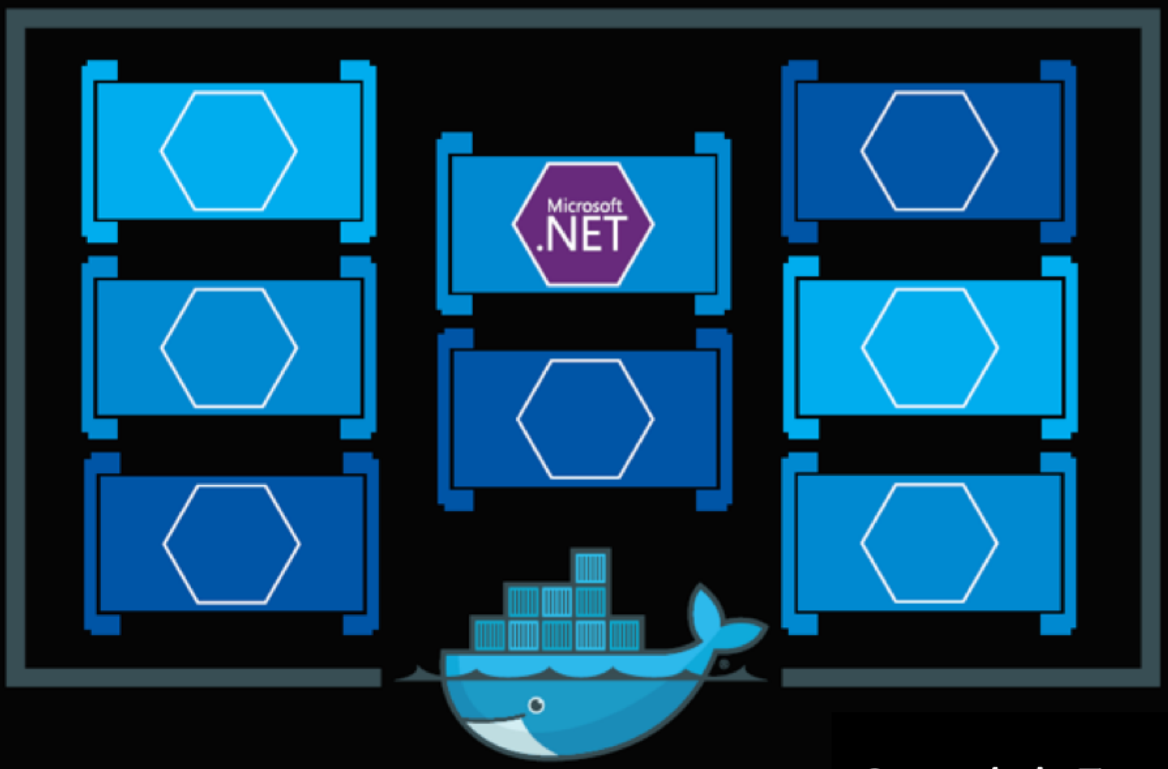
第二版
(支持.NET Core 2)

Microsoft

.NET 微服务：容器化 .NET 应用架构指南



Cesar de la Torre
Bill Wagner
Mike Rousos

Microsoft Corporation

版本 v2.01

电子版下载地址：https://aka.ms/microservicesebook

出版商

微软开发部门，.NET 和 Visual Studio 产品组

微软公司下设部门

One Microsoft Way
Redmond, Washington 98052-6399

作者：

Cesar de la Torre, Sr. PM, .NET product team, Microsoft Corp.

Bill Wagner, Sr. Content Developer, C+E, Microsoft Corp.

Mike Rousos, Principal Software Engineer, DevDiv CAT team, Microsoft

编辑：

Mike Pope

Steve Hoag

参与人员和审阅者：

Jeffrey Ritcher, Partner Software Eng, Azure team, Microsoft

Jimmy Bogard, Chief Architect at Headspring

Udi Dahan, Founder & CEO, Particular Software

Jimmy Nilsson, Co-founder and CEO of Factor10

Glenn Condron, Sr. Program Manager, ASP.NET team

Mark Fussell, Principal PM Lead, Azure Service Fabric team, Microsoft

Diego Vega, PM Lead, Entity Framework team, Microsoft

Barry Dorrans, Sr. Security Program Manager

Rowan Miller, Sr. Program Manager, Microsoft

Ankit Asthana, Principal PM Manager, .NET team, Microsoft

Scott Hunter, Partner Director PM, .NET team, Microsoft

Dylan Reisenberger, Architect and Dev Lead at Polly

Steve Smith, Software Craftsman & Trainer at ASPSmith Ltd.

Ian Cooper, Coding Architect at Brighter

Unai Zorrilla, Architect and Dev Lead at Plain Concepts

Eduard Tomas, Dev Lead at Plain Concepts

Ramon Tomas, Developer at Plain Concepts

David Sanz, Developer at Plain Concepts

Javier Valero, Chief Operating Officer at Grupo Solutio

Pierre Millet, Sr. Consultant, Microsoft

Michael Friis, Product Manager, Docker Inc

Charles Lowell, Software Engineer, VS CAT team, Microsoft

Microsoft

目录

引言

越来越多的企业开始认识到，使用容器可以节约成本，解决部署方面的问题，改进 DevOps 和产品运维。借助诸如 Azure 容器服务和 Azure Service Fabric 等一系列产品，以及与业界领导者，例如 Docker、Mesosphere 和 Kubernetes 广泛开展合作，微软发布了一系列基于 Windows 和 Linux 的革命性容器产品。无论企业选择何种平台和工具，这些产品提供的容器化解决方案，都可以帮助企业在云端迅速、可扩展地构建和部署应用程序。

在容器行业，Docker 已经成为事实上的标准，在 Windows 和 Linux 生态系统中，绝大多数有影响力的提供商都支持 Docker（微软是支持 Docker 的主要云服务提供商之一）。未来，在云端或本地数据中心中，Docker 可能会变得无处不在。

此外，微服务架构正在成为设计分布式关键应用程序的一种重要方法。在基于微服务的架构中，可通过多个服务的集合构建应用程序，这些服务可以独立开发、测试、部署并进行版本控制。

关于本书

本书介绍了基于微服务的应用程序的开发方法，以及通过容器进行管理的方法。本书主要讨论使用.NET Core 和 Docker 容器架构进行设计和实现的具体方法。为了让大家更快地上手使用容器和微服务，本书主要以一款基于微服务的容器化应用程序为例进行介绍，您可以通过该示例学习和研究。示例应用可从 eShopOnContainers 的 GitHub 仓库下载。

本书为开发和架构设计提供了一个基础指南。在开发环境层面，主要专注于两种技术：Docker 和.NET Core。我们的目的是，在阅读本书后，当您考虑应用程序设计时，可以无需关注产品运行环境的基础设施（云端或本地）。您可以在应用程序需要部署到生产环境时，再决定使用什么样的基础设施。因此，本书在基础设施方面是中立的，主要以开发环境为中心。

在学习完本书之后，接下来您可以开始学习 Microsoft Azure 上已经可正式商用的微服务。

版本

本书通过修订已涵盖.NET Core 2 版本，以及许多与新兴技术（Azure 和第三方技术）有关的其他更新，并与.NET Core 2 版本保持一致。

本书不包含的内容

本书不包含应用程序生命周期、DevOps、CI/CD 流程和团队协作方面的内容。关于这些内容，可以参考《基于微软平台和工具的容器化 Docker 应用程序生命周期》这本书。本书也未涉及 Azure 基础设施上的具体实现细节，例如关于特定编排引擎的信息。

其他资源

- 基于微软平台和工具的容器化 Docker 应用程序生命周期 (电子书)
  https://aka.ms/dockerlifecycleebook

本书的目标读者

本书主要面向刚接触基于 Docker 的应用程序开发，以及基于微服务架构设计的开发人员和架构师。如果想要学习如何使用微软开发技术（尤其是使用.NET Core）和 Docker 容器来架构和设计应用程序原型并进行概念验证，那么本书就是为您而作的。

如果您是技术决策者（例如企业架构师），在决定选择何种方式来实现全新的现代化分布式应用程序前，您想要概要性地了解架构和技术，那么本书也会为您提供巨大的帮助。

如何使用本书

本书的第一部分介绍了 Docker 容器，讨论了如何在.NET Core 和.NET Framework 开发框架间取舍，随后概括介绍了微服务。这部分内容是专为只需要概要性了解，不需要深入了解代码实现细节的架构师和技术决策者设计的。

本书的第二部分内容从“基于 Docker 的应用程序开发流程”这一章讲起。这部分内容主要专注于基于.NET Core 和 Docker 构建应用程序过程中的开发和微服务模式。这部分内容是专为想要了解代码、模型和实现细节的开发人员和架构师设计的。

微服务和容器示例应用：eShopOnContainers

eShopOnContainers 是一个基于.NET Core 和微服务的开源应用程序示例，它可以直接部署到 Docker 容器中。这个应用程序由多个子系统组成，包括网上商城前端（一个网页应用和一个原生移动应用），以及用于服务端运作的几个必需的后端容器化微服务。

请向我们发送您的反馈

本书是为了帮助您理解.NET 中容器化应用程序和微服务架构而作的。本书和相关示例应用程序将来还会继续更新，所以我们十分欢迎您的反馈！如果您有关于本书的反馈意见，请直接发送到：

dotnet-architecture-ebooks-feedback@service.microsoft.com

2

容器和 Docker 简介

容器化是一种软件开发方法。通过使用容器化的开发方法，应用程序或服务以及它们的依赖和配置（抽象为 Mainfest 文件并部署）可打包在一起成为一个容器镜像。容器化的应用程序可以作为独立的单元进行测试，也可以作为容器镜像实例，部署到主机操作系统（OS）上。

就像在运送集装箱的时候，可以通过船、火车或汽车来运输货物，而无需关心货物的内部情况一样，软件容器充当了软件标准单元的角色，它可以包含不同的代码和依赖。软件容器化这种方式可以让开发人员和 IT 专业人员在很少或不做修改的情况下，跨环境部署软件。

容器还可让应用程序在一个共享的操作系统上实现彼此隔离。容器化的应用程序运行在容器主机（Container Host）中，容器主机运行在 OS（Windows 或 Linux）上。因此容器比虚拟机镜像更轻便。

每个容器可以运行完整的 Web 应用或服务，如图 2-1 所示。在该示例中，Docker 主机充当了容器主机，App 1、App 2、SVC 1 和 SVC 2 是容器化的应用或服务。

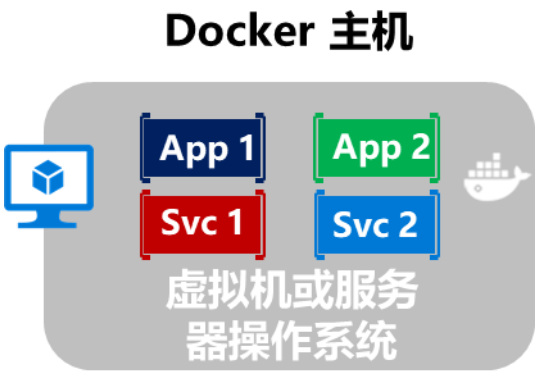


*图 2-1. **运行在一个容器主机上的多个容器***

容器化的另一个优势是可扩展性。针对一些短期任务，我们可以通过创建新容器的方法快速进行横向扩展。从应用程序的角度来看，实例化一个镜像（创建容器）和实例化一个服务或网页应用这样的过程基本是类似的。从可靠性的角度来说，当我们跨多个主机服务器运行同一个镜像的多个实例时，肯定希望每个容器（镜像实例）运行在不同故障域中的不同主机服务器或虚拟机上。

总之，容器提供了隔离性、可移植性、灵活性、可扩展性和对整个应用程序生命周期可控性等方面的优势。这其中最重要的优势是：实现了开发和运维之间的隔离。

什么是 Docker?

Docker 是一个开源项目，这个项目旨在通过把应用程序打包为可移植、自给自足的容器（可运行在云端或本地），实现应用程序的自动化部署。Docker 也是一家专门促进和发展这门技术的公司，它和多家云提供商、Windows、Linux 提供商都有合作，微软也包括在内。

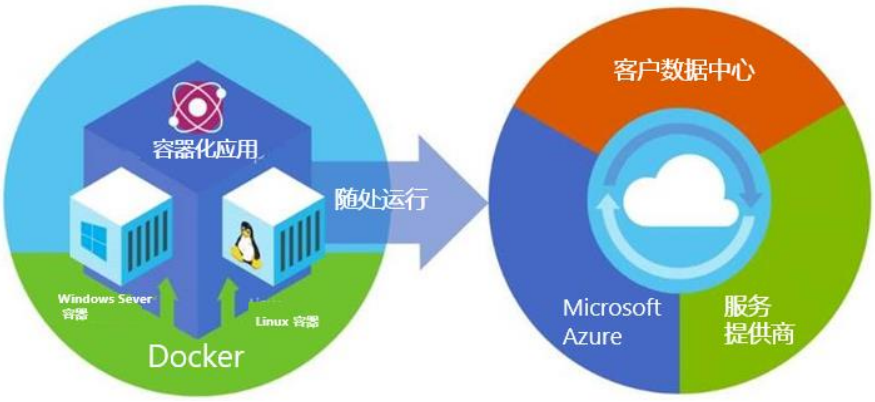


*图 2-2. **Docker 可以把容器部署到混合云的各个层面上***

在 Windows 和 Linux 上，Docker 镜像容器可以本地化运行。但是 Windows 镜像只能运行在 Windows 主机上，Linux 镜像只能运行在 Linux 主机上，这意味着镜像需要托管到服务器或虚拟机上。

开发人员可以使用 Windows、Linux 或 macOS 上的开发环境进行工作。在开发机上，开发人员可以通过一个 Docker 主机部署 Docker 镜像，其中包含了应用程序本身和相关依赖。使用 Linux 和 Mac 的开发人员所用的 Docker 主机是基于 Linux 的，只能创建用于 Linux 容器的镜像。（使用 Mac 的开发人员可以在 macOS 上编辑代码或运行 Docker 命令行工具，但是截止撰写本书时，容器还不能直接运行在 macOS 上。）使用 Windows 的开发人员，既可以创建基于 Windows 容器的镜像，也可以创建基于 Linux 容器的镜像。

为了在开发环境中托管容器和提供辅助开发工具，Docker 发布了 Windows 版和 macOS 版的 Docker 社区版(CE)。这些产品会安装必需的虚拟机（Docker 主机）来托管容器。Docker 还提供了 Docker 企业版(EE)，这个版本是专为企业开发设计的，需要在生产环境中构建，交付和运行大型关键业务应用程序的 IT 团队可以使用这个版本。

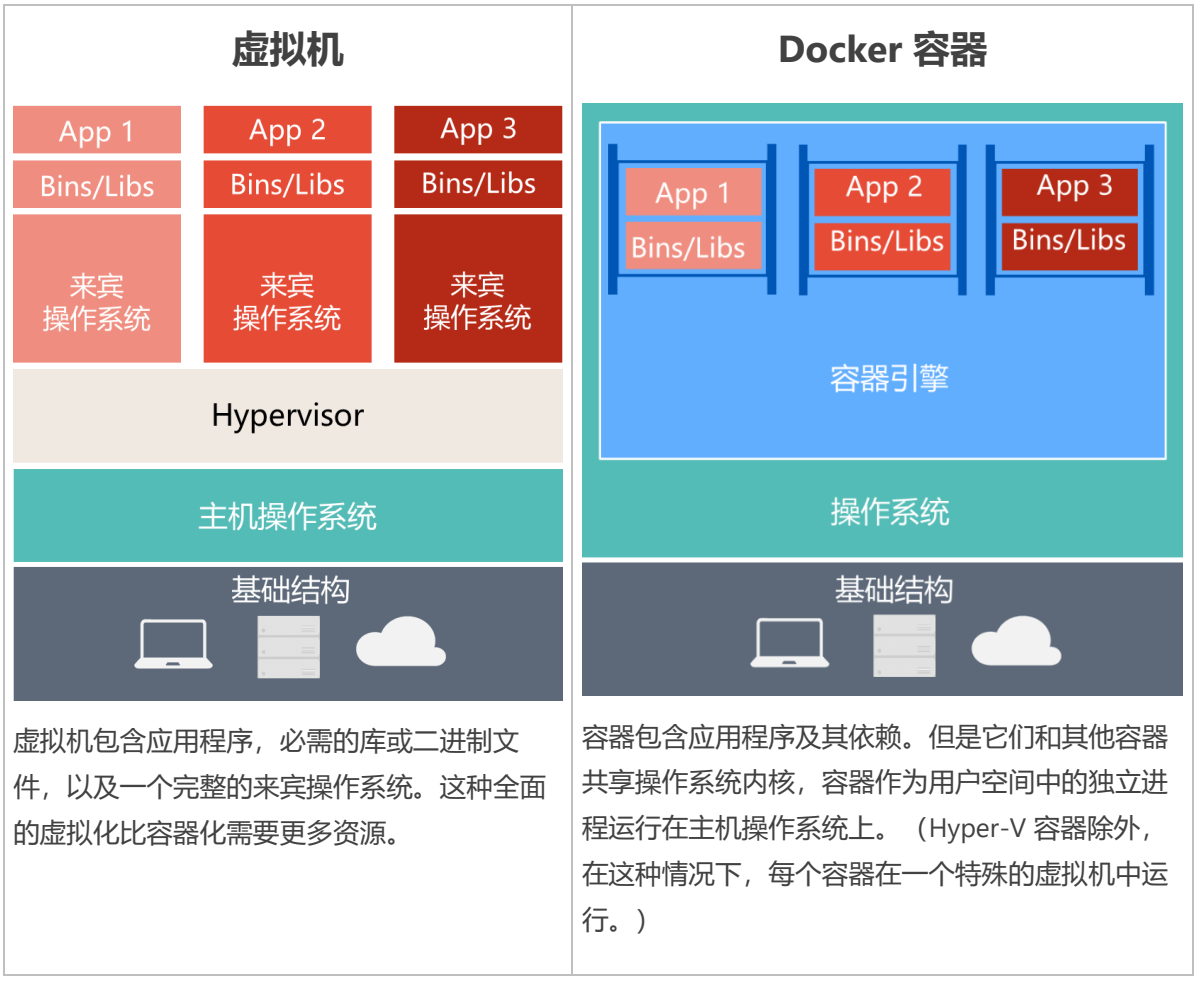
Windows 容器提供了两种不同类型容器（或称运行时）：

- Windows Server 容器：通过进程和命名空间隔离技术实现应用程序的隔离。Windows Server 容器会在容器主机，以及主机上运行的所有容器之间共享同一个内核。
- Hyper-V 容器：通过在深度优化的虚拟机上运行每个容器，借此加强 Windows Server 容器的隔离性。在这种结构中，容器主机的内核不会与同一主机运行的其他 Hyper-V 容器共享，从而提供了更好的隔离性。

这两种容器的镜像以相同方式创建，并具有相同功能。不同之处在于通过镜像创建容器的方法——运行 Hyper-V 容器需要额外的参数。具体细节可以参考 Hyper-V 容器。

Docker 容器和虚拟机之间的对比

图 2-3 展示了虚拟机和 Docker 容器之间的对比。



虚拟机包含应用程序，必需的库或二进制文件，以及一个完整的来宾操作系统。这种全面的虚拟化比容器化需要更多资源。

容器包含应用程序及其依赖。但是它们和其他容器共享操作系统内核，容器作为用户空间中的独立进程运行在主机操作系统上。（Hyper-V 容器除外，在这种情况下，每个容器在一个特殊的虚拟机中运行。）

*图 2-3. **传统虚拟机和 Docker 容器之间的对比***

因为容器需要的资源更少（例如，不需要完整的操作系统），所以更易于部署，启动速度更快。借此可以获得更高“密度”，也就是说，在同一个硬件单元上，可以运行更多服务，从而降低成本。

运行在同一个内核上，这种做法的副作用是：隔离性不如虚拟机那么高。

镜像存在的意义在于，它可以让多次部署操作中的环境（依赖性）保持一致。这意味着我们可以在自己的机器上调试应用程序，然后确保以相同环境部署到另一台机器上。

容器镜像是一种打包方法，可以把应用程序或服务打包，然后用可靠、可重复的方式部署。可以说，Docker 不仅是一门技术，还是一种方法论，一种工作流程。

在使用 Docker 时，我们肯定不会听到开发人员这样说：“在我的机器上运行正常，怎么到生产环境下就不行了呢？”他们会简单地来一句：“在 Docker 上就能正常运行”，这是因为打包的 Docker 应用程序可以在任何支持 Docker 的环境中运行，并且保证在所有部署场景中按预期方式运行（开发、测试、预发布、生产等）。

Docker 术语

在更深入了解 Docker 前，本小节将介绍一些应该熟悉的术语和定义。如果想进一步了解各种定义，可以参考 Docker 提供的完整的词汇表（https://docs.docker.com/glossary/）。

容器镜像（Container image）：一个包含了创建容器所需所有依赖和信息的“包”。镜像包含所有依赖（例如各种框架）和容器运行时需要使用的所有部署和执行配置。通常，一个镜像可来自多个基础镜像，它们一层一层地堆砌成了容器的文件系统。创建好的镜像是不可变的。

容器（Container）：Docker 镜像的实例。一个容器代表一个正在运行的应用程序、进程或服务。它由 Docker 镜像、执行环境和标准指令集组成。需要扩展服务时，我们可以从同一个镜像创建多个容器实例，或者也可以通过同一个镜像创建多个实例，分别给每个实例传递不同参数，通过批处理方式实现。

标签（Tag）：用于镜像的标记或标签，让不同镜像或同一镜像的不同版本（依赖于版本号或目标环境）可以区分开来。

Dockerfile：一个文本文件，其中包含创建镜像的指令。

构建（Build）：构建容器镜像的操作。可基于 Dockerfile 提供的信息和上下文，以及构建这个镜像的文件夹中其他文件来构建一个容器镜像。我们可以使用 Docker 命令（docker build）来构建镜像。

仓库（Repository，Repo）：相关 Docker 镜像的集合，用标签来表示镜像版本。有些仓库会包含某个特定镜像的多个变体，例如，一个镜像包含若干 SDK（更加重量级），一个镜像只包含运行时（更加轻量级）等。这些变体可以用标签来标记。一个仓库可包含多个平台变体，例如一个 Linux 镜像和一个 Windows 镜像。

注册表（Registry）：为仓库提供访问服务。对于大多数公共镜像来说，默认的注册表是 Docker Hub（它隶属于 Docker 公司）。一个注册表通常包含来自于多个团队的仓库。企业通常会创建私有注册表来存储和管理他们创建的镜像。Azure 容器注册表也是一种注册表。

Docker Hub：公用的注册表，可用来上传镜像并让它们协同工作。Docker Hub 提供了 Docker 镜像托管服务、公有或私有注册表、构建触发器和 Web hook，可以和 GitHub 与 Bitbucket 无缝集成。

Azure 容器注册表（Azure Container Registry）：一种和 Docker 镜像配合使用的公共资源，它的组件位于 Azure 中。它提供了一个与用户的 Azure 部署紧密相关的注册表，我们可以使用 Azure Active Directory 组和权限对其进行访问控制。

Docker 可信注册表（Docker Trusted Registry）：一种 Docker 注册表服务（来自 Docker 公司），可以在本地安装，所以它一般在企业内部数据中心和网络中使用。对于需要在企业内部进行管理的私有镜像来说，这种方式更加方便。Docker 可信注册表包含在 Docker Datacenter 产品中。详细信息可以参考 Docker 可信注册表（DTR）。

Docker 社区版(CE)：针对 Windows 和 macOS 的开发工具集，用于在本地构建，运行和测试容器。Docker CE for Windows 提供了 Linux 容器和 Windows 容器开发环境。Windows 上的 Linux Docker 主机是基于 Hyper-V 虚拟机的。而 Windows 容器主机是直接基于 Windows 的。Docker CE for Mac 基于 Apple 的 Hypervisor 框架和 xhyve hypervisor，它在 macOS 上提供了一个 Linux Docker 主机虚拟机。Docker CE for Windows 和 Docker CE for Mac 替代了基于 Oracle VirtualBox 的 Docker Toolbox。

Docker 企业版(EE)：适用于 Linux 和 Windows 开发的企业级 Docker 工具集。

Compose：命令行工具和用于定义并运行多容器应用程序的 YAML 文件格式元数据。可以用一个或多个.yml 文件（取决于具体环境，可以覆写部分值），基于多个镜像定义一个应用程序。创建了这些定义后，我们只用一行命令（docker-compose up）就可以完成整个多容器应用的部署，这行命令会在 Docker 主机上为每个镜像创建一个容器。

集群（Cluster）：一组 Docker 主机可通过一个虚拟的 Docker 主机暴露，让应用程序可以扩展为多个服务实例，分布到集群内的多个主机上。Docker 集群可以使用 Docker Swarm、Mesosphere DC/OS、Kubernetes 和 Azure Service Fabric 来创建。（如果使用 Docker Swarm 管理集群，通常使用 Swarm 这个术语来代表集群。）

编排引擎（Orchestrator）：用来简化集群和 Docker 主机管理的工具。编排引擎可以让我们通过一个命令行工具（CLI）或者一个图形化的界面来管理镜像，容器和主机。我们可以管理容器网络、配置、负载均衡、服务发现、高可用性、Docker 主机配置等。编排引擎负责在一组节点上运行、分发、扩展和修复工作负载。通常来说，编排引擎产品和提供集群基础设施的产品（如 Mesosphere DC/OS、Kubernetes、Docker Swarm 和 Azure Service Fabric）是相同的。

Docker 容器、镜像和注册表

使用 Docker 时，开发人员需要创建一个应用或服务，然后将其与依赖项打包到一个容器镜像中。镜像其实是应用或服务，及其配置和依赖的静态表现形式。

要运行应用和服务，这个应用的镜像会被实例化进而创建一个容器，这个容器将会运行在 Docker 主机上。而容器最初可在开发环境或 PC 上进行测试。

开发人员应该把镜像存储到注册表中，注册表可充当镜像库，同时也是部署到生产环境中的编排引擎时必不可少的。Docker 维护了一个名为 Docker Hub 的公共注册表，其他提供商也为不同镜像集合提供了各种注册表。此外，企业可以在本地创建私有注册表，供企业内部的 Docker 镜像使用。

图 2-4 展示了 Docker 中镜像和注册表，以及其他组件之间的关系。图中也展现了来自其他供应商的多个注册表。

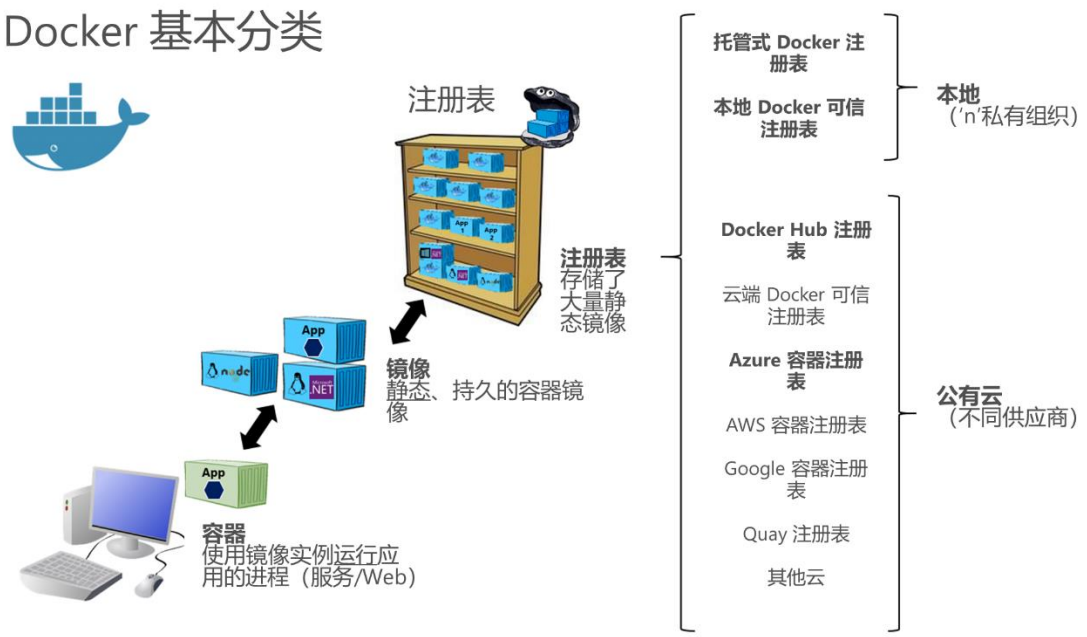


*图 2-4. **Docker 术语和概念的分类***

把镜像放到注册表中，可以让我们存储静态和不可变的应用程序块，其中还可包含它们在框架层面上的所有依赖。随后这些镜像可进行版本控制，并在多个环境中部署，因此镜像提供了一致的部署单元。

以下这些情况，推荐使用私有镜像注册表（既可部署到本地，也可部署到云端）：

- 基于保密性考虑，镜像不能被公开共享。
- 希望将镜像和部署环境间的网络延迟降至最低。例如，如果生产环境是 Azure 云，那么我们可能更希望在 Azure 容器注册表中存储镜像，进而让网络延迟最小化。如果生产环境在本地，可能更希望在同一个内网中使用本地 Docker 可信注册表。

3

为 Docker 容器选择.NET Core 或.NET Framework

使用.NET 构建服务端容器化的应用程序时，有两个框架可供选择：.NET Framework 和.NET Core。它们之间共享了很多.NET 平台组件，我们可以在它们之间共享代码。但是这两者也有着根本性的不同，选择哪个框架，取决于想实现什么。本章会针对不同情况下框架的选择给出一些建议。

一般建议

本小节针对.NET Core 和.NET Framework 的选择提供了概要性介绍。下文还将详细介绍这些选择。

如下这些情况，应使用.NET Core 和 Linux 或 Windows 容器来开发容器化的 Docker 服务端应用程序：

- 需要跨平台。例如，需要同时使用 Linux 容器和 Windows 容器。
- 应用程序架构是基于微服务的。
- 需要容器快速启动，希望容器尽量保持轻量级，以获得更高“密度”，也就是说，为了节约成本，希望在每个硬件单元上承载更多容器。

简言之，在创建一个新的容器化.NET 应用程序时，应该把.NET Core 作为默认选择。.NET Core 有很多优势，并且它和容器的方法论和工作方式完美匹配。

使用.NET Core 的另一个优势是，在同一台机器上，可以同时运行基于不同.NET 版本的应用程序。对于不使用容器的服务器或虚拟机来说，这一点更加重要，因为容器可根据不同.NET 版本将应用程序隔离。（只要它们和底层操作系统是兼容的。）

如下这些情况，应该使用.NET Framework 来开发容器化的 Docker 服务端应用程序：

- 应用程序目前使用了.NET Framework，并且高度依赖于 Windows。
- 需要使用.NET Core 不支持的 Windows API。
- 需要使用.NET Core 不支持的第三方的.NET 库或 NuGet 包。

使用 Docker 部署.NET Framework 程序可以改善部署体验，简化部署方面的问题。这样的“平移”场景对于使用.NET Framework 技术开发的传统应用程序（如 ASP.NET WebForms、MVC Web App 或 WCF）的容器化工作来说，是十分重要的。

其他资源

- **电子书：借助 Azure 云和 Windows 容器让现有.NET 应用程序实现现代化革新**
  https://aka.ms/liftandshiftwithcontainersebook
- **示例应用：使用 Windows 容器让传统 ASP.NET Web 应用实现现代化革新**
  https://aka.ms/eshopmodernizing

什么情况下选择.NET Core 开发基于 Docker 容器的应用程序

由于.NET Core 具有模块化和轻量级的特性，所以对容器来说，它是绝佳的“黄金搭档”。在部署和启动容器时，.NET Core 镜像比.NET Framework 镜像体积小得多。而且，如果想在容器中使用.NET Framework，那么必须基于 Windows Server Core 基础镜像来构建自己的镜像。如果使用.NET Core，可以基于 Windows Nano Server 镜像或 Linux 镜像来构建容器镜像，而 Windows Nano Server 系统镜像或 Linux 系统镜像相比 Windows Server Core 系统镜像轻很多。

此外，.NET Core 是跨平台的，所以我们可以使用 Linux 或 Windows 容器镜像来部署服务端应用程序。然而如果使用传统.NET Framework，则只能部署基于 Windows Server Core 的镜像。

关于选择.NET Core 的理由，下文进行了更详细的阐述。

跨平台开发和部署

显而易见，如果您的目标是实现在多个平台（Linux 和 Windows）上都可运行的 Docker 应用程序（网页应用或服务），那么.NET Core 是最合适的选择，因为.NET Framework 只支持 Windows。

.NET Core 虽支持 macOS，目前只能作为开发平台。当需要把容器部署到 Docker 主机时，这个主机必须运行 Linux 或 Windows。例如在开发环境中，我们可以在 Mac 上运行 Linux 虚拟机来使用。

Visual Studio 为 Windows 提供了一个支持 Docker 开发的集成开发环境（IDE）。

Visual Studio for Mac 是由 Xamarin Studio 演化而来的 IDE，运行在 macOS 上，它支持基于 Docker 的应用程序开发。对于想在 Mac 上使用强大的 IDE 的开发人员来说，这应该是一个更好的选择。

我们还可使用 Visual Studio Code（VS Code），它支持 macOS、Linux 和 Windows。VS Code 可完整支持.NET Core，并支持智能提示和调试。VS Code 是一个轻量级编辑器，在 Mac 上可使用 VS Code，Docker CLI 和.NET Core Command-Line Interface (CLI)配合开发容器化应用程序，也可使用支持.NET Core 的第三方编辑器，如 Sublime、Emacs、vi 和开源的 OmniSharp 项目（同样支持智能提示）。

除了 IDE 和编辑器，我们还可以使用.NET Core CLI 工具，它支持所有平台。

基于容器从头开发一个新项目

虽然容器通常和微服务架构一起配合使用，但也可以使用其他架构模型来开发容器化的网页应用或服务。在 Windows 容器上，可以使用.NET Framework，但是对容器和微服务架构来说，模块化和轻量级的.NET Core 才是完美的“黄金搭档”。创建和部署容器时，使用.NET Core 的镜像体积比使用.NET Framework 的镜像体积小很多。

在容器上创建和部署微服务

我们可以使用传统的.NET Framework 来开发基于微服务的应用程序（非容器化的），因为.NET Framework 也支持跨进程安装和共享，而进程是轻量级的，可以快速启动。但如果要使用容器，对于容器中的微服务来说，基于 Windows Server Core，或传统.NET Framework 的镜像还是太重了。

相比之下，如果要基于容器开发原生微服务系统，.NET Core 才是最佳选择，因为.NET Core 更加轻量级，而且相关容器镜像既可以是 Linux 镜像，也可以是 Windows Nano 镜像，它们更轻，因此容器也更轻，从而可以快速启动。

微服务的目标是尽可能“小”：运行起来要轻，空间占用要小，边界上下文要小，依赖性要小，启动和停止要快。为满足这些要求，需要使用类似.NET Core 容器镜像这样更小巧，可快速实例化的容器镜像。

微服务架构可以让我们跨越服务边界混搭各种技术。借此可以渐进式迁移到.NET Core，因为全新的微服务既可以和其他微服务一起工作，也可以和使用 Node.js、Python、Java、GoLang 或其他技术开发的服务一起工作。

在可扩展的系统中进行高密度部署

如果基于容器的系统需要最优密度、颗粒度和性能，那么.NET Core 和 ASP.NET Core 将是绝佳选择。ASP.NET Core 比传统.NET Framework 中的 ASP.NET 快 10 倍以上，而且相对于其他业界流行的微服务技术（如 Java Servlets、Go 和 Node.js）来说，它处于业界领先地位。

因为在微服务架构中，我们通常需要运行几百个微服务（容器），所以对微服务来说，这至关重要。在 Linux 或 Windows Nano 上使用 ASP.NET Core 的镜像（基于.NET Core 运行时），可以在更少量的服务器或虚拟机上运行系统，进而在基础设施和主机方面节约大量成本。

什么情况下选择.NET Framework 开发容器化的应用程序

尽管对全新的应用程序和应用程序模型来说，.NET Core 的优势十分明显，但是在很多遗留系统的场景下，.NET Framework 仍然是一个不错的选择。

将现有应用程序直接迁移到 Windows 容器中

即使不想创建微服务，我们可能也想使用 Docker 容器来简化部署。例如，也许想通过 Docker 改善 DevOps 工作流程 — 容器可以提供隔离性更好的测试环境。此外，当迁移到生产环境时，容器还可以帮助我们排除一些由于缺少必要依赖而引起的部署问题。在这些情况下，即使只需要部署一个独立应用程序，让当前的.NET Framework 应用程序使用 Docker 和 Windows 容器也是比较明智的。

针对这个场景，在绝大多数情况下，我们不需要把现有应用程序迁移到.NET Core 上，而是可以使用包含传统.NET Framework 的 Docker 容器。但是，当需要扩展应用程序时，使用.NET Core 是更推荐的方式，例如用 ASP.NET Core 写一个新服务。

需要使用.NET Core 不支持的第三方库和 NuGet 包

第三方库正在迅速拥抱.NET Standard，这个标准可以让代码在各种.NET 框架上实现共享，其中也包括.NET Core。随着.NET Standard Library 2.0 和兼容不同框架的 API 应用越来越广泛，在.NET Core 2.0 中，应用程序也可以直接使用各种现有的.NET Framework 库（可以参考兼容性说明）。

然而，虽然.NET Standard 2.0 和.NET Core 2.0 已经做了一些额外改进，但总有这样一些场景：某些 NuGet 包需要 Windows 才能运行，并且它们可能不支持.NET Core。如果这些包对您的应用程序至关重要，那么必须在 Windows 容器上使用.NET Framework。

需要使用.NET Core 不支持的.NET 技术

有些.NET Framework 技术在当前版本的.NET Core（撰写本书时的最新版为 2.0）中并不可用。这些不可用的技术中，有些在以后的.NET Core 版本（.NET Core 2.X）中将会支持，而有些并不符合.NET Core 新应用程序模型的设计目标，它们很可能永远无法获得支持。

下文列出了一些在.NET Core 2.X 中不可用的技术：

- ASP.NET Web Form。该技术只能在.NET Framework 上使用。当前并没有计划在.NET Core 上支持 ASP.NET Web Form。

- WCF 服务。虽然有一个来自.NET Core 的 WCF 客户端库可以用来连接 WCF 服务（基于 2017 年上半年的版本），但是 WCF 的服务端实现只支持.NET Framework。这个场景在将来的.NET Core 版本中会加以考虑。
- 工作流相关的服务。Windows Workflow Foundation(WF)、Workflow Services(WCF + WF)和 WCF Data Services（原名 ADO.NET Data Services）只支持.NET Framework。当前没有计划在.NET Core 上支持它们。

除了在官方.NET Core 路线图中列出的技术，其他特性也有可能会被引入到.NET Core 中。完整列表可参考 CoreFX 的 GitHub 主页上添加有 port-to-core 标签的条目。注意：这个列表并不表示微软承诺会把这些组件引入到.NET Core 中——这些条目只是简单地记录了来自社区的请求。如果您比较关注上面列出的某些组件，可以考虑参加 GitHub 上的讨论，以便让大家听到您的声音。如果您考虑的话题尚不存在，可以在 CoreFX 仓库中新开一个问题。

需要使用不支持.NET Core 的平台或 API

有些微软的，或第三方的平台并不支持.NET Core。例如，有些 Azure 服务提供了 SDK，而 SDK 并不支持.NET Core。但这是暂时的，所有 Azure 服务最终都会使用.NET Core。例如，在 2016 年 11 月 16 日，.NET Core 的 Azure 文档数据库 SDK 已经发布了预览版本，现在它已经是稳定的通用版（GA）。

与此同时，如果某些 Azure 平台或服务的客户端 API 还不支持.NET Core，您可以使用来自 Azure 服务相对应的 REST API 或者基于.NET Framework 的客户端 SDK。

其他资源

- **.NET Core 指南**
  https://docs.microsoft.com/dotnet/articles/core/index
- **移植.NET Framework 到.NET Core**
  https://docs.microsoft.com/dotnet/articles/core/porting/index
- **Docker 上的.NET Framework 指南**
  https://docs.microsoft.com/dotnet/articles/framework/docker/
- **.NET 组件概览**
  https://docs.microsoft.com/dotnet/articles/standard/components

决策表：什么情况下，在 Docker 中使用怎样的.NET 框架

下表概括总结了应该使用.NET Framework 或.NET Core 的决策因素。请务必注意，Linux 容器必须使用基于 Linux 的 Docker 主机（虚拟机或服务器），而 Windows 容器必须使用基于 Windows Server 的 Docker 主机（虚拟机或服务器）。

架构/应用类型	Linux 容器	Windows 容器
基于容器的微服务	.NET Core	.NET Core
单体应用	.NET Core	.NET Framework .NET Core
获得最好的性能和可扩展性	.NET Core	.NET Core
传统 Windows Server 应用程序(“遗留的应用程序”)迁移到容器	--	.NET Framework
基于容器的全新应用程序(“新开发的应用程序”)	.NET Core	.NET Core
ASP.NET Core	.NET Core	.NET Core(推荐) .NET Framework
ASP.NET 4 (MVC 5、Web API 2 和 Web Forms)	--	.NET Framework
SignalR 服务	.NET Core 2.1 (发布后) 或更高版本	.NET Framework .NET Core 2.1 (发布后) 或更高版本
WCF、WF 和其他传统框架	WCF in .NET Core (仅支持 WCF 客户端库)	.NET Framework WCF in .NET Core (只支持 WCF 客户端库)
需要使用 Azure 服务	.NET Core (最终所有 Azure 服务都会提供支持.NET Core 的客户端 SDK)	.NET Framework .NET Core (最终所有 Azure 服务都会提供支持.NET Core 的客户端 SDK)

.NET 容器应该选择哪种操作系统

考虑到 Docker 可支持多样化的操作系统，并且.NET Framework 和.NET Core 之间存在巨大差异，用户需要结合自己使用的框架确定最适合的操作系统和版本。

对于 Windows，可使用 Windows Server Core 或 Windows Nano Server。这些 Windows 版本提供了.NET Framework 或.NET Core 应用程序可能需要的不同特征（如 IIS，以及 Kestrel 等自托管 Web 服务器）。

对于 Linux，官方提供的.NET Docker 镜像已可以使用并支持多种发行版（如 Debian）。

图 3-1 列出了取决于所用.NET 框架，可以使用的操作系统版本。

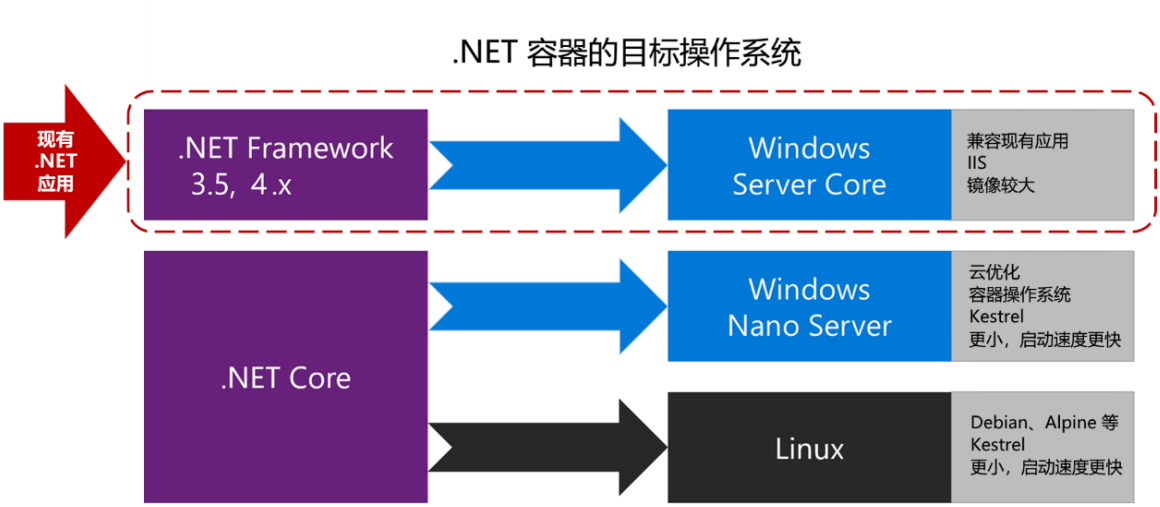


*图 3-1. **根据.NET 框架的版本来选择操作系统***

在某些情况下，我们可能需要使用其他 Linux 发行版，或者想使用的镜像版本微软尚未提供，此时可以创建自己的 Docker 镜像。例如，可以用运行在传统.NET Framework 和 Windows Server Core 上的 ASP.NET Core 创建一个镜像，对于 Docker 来说，这并不是特别常见的场景。

当我们把镜像名称添加到 Dockerfile 文件时，可以通过标签来指定操作系统和运行时的具体版本，下面是一些具体的实例：

`microsoft/dotnet:2.0.0-runtime-jessie`	Linux 上的.NET Core 2.0 运行时
`microsoft/dotnet:2.0.0-runtime-nanoserver-1709`	Windows Nano Server 上的.NET Core 2.0 运行时（Windows Server 2016 秋季创意者更新版本 1709）
`microsoft/aspnetcore:2.0`	.NET Core 2.0 多架构：支持依赖于具体主机的 Linux 和 Windows Nano Server。aspnetcore 镜像针对 ASP.NET Core 做了一些优化

官方.NET Docker 镜像

官方的.NET Docker 镜像是由微软创建和优化的 Docker 镜像。它们都公开发布在 Docker Hub 上的 Microsoft 仓库中。每个仓库可包含多个镜像，分别提供了不同的.NET 版本，操作系统类型和版本（Linux Debian、Linux Alpine、Windows Nano Server、Windows Server Core 等）。

对于.NET 仓库来说，微软的愿景是尽量构建小而专的仓库。一个仓库代表一种具体场景，或者一个需要完成的具体工作。例如，microsoft/aspnetcore 镜像应该在 Docker 上使用 ASP.NET Core 的场景下使用，因为这些镜像做了额外优化，可以让容器更快地启动。

而.NET Core 镜像（microsoft/dotnet）是为基于.NET Core 的控制台应用程序设计的。例如：批处理、Azure WebJobs 和其他应该使用.NET Core 的控制台场景。这些镜像并不包含 ASP.NET Core 栈，所以容器镜像的体积会更小一些。

大多数镜像仓库都提供了很多标签，帮助我们选择特定的框架版本和操作系统（Linux 发行版或不同版本的 Windows）。

关于微软提供的官方.NET Docker 镜像的详细信息，可参考.NET Docker 镜像摘要。

.NET Core 和 Docker 镜像为开发与生产提供的优化措施

为开发人员构建 Docker 镜像的时候，微软主要把精力放到了以下场景：

- 用于开发和构建.NET Core 应用程序的镜像。
- 用于运行.NET Core 应用程序的镜像。

为什么需要多个镜像？当开发、构建和运行容器化应用程序时，我们通常会有不同优先级。通过为这些独立的任务提供不同镜像，微软可以帮助大家分别优化开发，构建和部署应用的流程。

开发和构建阶段

开发阶段最重要的事情是：迭代新功能的速度和调试新功能的能力。镜像体积并不像代码变更以及快速查看这些变更的能力那么重要。一些工具和“生成代理容器”，会在开发和生成时使用开发版的 ASP.NET Core 镜像（microsoft/aspnetcore-build）。在容器内部构建时，重要的事情是编译应用程序所需的组件，这其中包括编译器、其他.NET 依赖，以及类似 npm、Gulp 和 Bower 这样的网页开发所需的依赖。

这种构建镜像为什么重要？实际上我们并不会把这种镜像部署到生产环境中，这种镜像只是用来构建一些需要放到生产镜像中的内容，用于持续集成（CI）环境和构建环境。举例来说，与其直接在构建代理主机（例如虚拟机）上手动安装所有应用程序依赖，不如让构建代理直接实例化一个带有构建应用程序所需所有依赖的.NET Core 构建镜像。构建代理只需要知道怎样运行这个 Docker 镜像就可以了。借此可简化 CI 环境，使其变得更加可预测。

生产环境

在生产环境中，最重要的事情是我们可以快速部署并启动基于产品化.NET Core 镜像的容器。所以，基于 microsoft/aspnetcore 的运行时镜像通常比较小，借此可以更快速地从 Docker 注册表传输到 Docker 主机。提前准备好需要运行的内容，可以让启动容器后在最短时间内产生处理结果。在 Docker 模型中，无需从 C#代码的编译开始，而是在构建容器过程中，运行 dotnet build 或 dotnet publish 命令完成的。

在这个优化过的镜像中，我们只需要把二进制文件和运行应用程序所需的其他内容放进去即可。例如，通过 dotnet publish 命令创建的部署包只包含编译过的.NET 二进制文件、图片、.js 和.css 文件。运行之后，我们会看到一些包含 JIT 预编译包的镜像。

虽然.NET Core 和 ASP.NET Core 镜像有多个版本，但它们之间共享了一个或多个镜像层，其中包括基础镜像层。所以，存储一个镜像所需的磁盘空间很小。它只包含自定义镜像相对于基础镜像的增量内容，因此从注册表拉取镜像的过程也可以更快。

在 Docker Hub 上浏览.NET 镜像仓库的时候，我们会发现用标签分类或标记的多个版本。下表可以帮助我们选择应该使用的版本：

microsoft/**aspnetcore:2.0**	基于 Linux 和 Windows（多架构），只包含 ASP.NET Core 运行时和 ASP.NET Core 的一些优化
microsoft/**aspnetcore-build:2.0**	基于 Linux 和 Windows（多架构），包含 ASP.NET Core 的 SDK

4

基于容器和微服务的应用架构

愿景

微服务提供了强大优势的同时也带来了巨大的新挑战。微服务架构模式则为创建微服务应用提供了基础支持。

通过上文内容，您已经了解了容器和 Docker 的基本知识，这是开始使用容器的基本要求。虽然容器是微服务的促进者和良好搭配，但并非微服务架构所必须的，本章的很多架构理论上也可以不使用容器。在介绍过容器的重要性后，本书的重点将关注于搭配使用这两种技术方面。

企业应用通常比较复杂并且由多个服务组成，而不是只包含单一服务的应用。此时我们需要理解其他架构方法，例如微服务，以及某种领域驱动设计（DDD）模式外加容器编排理论。本章节不仅介绍基于容器的微服务，同时也涵盖了其他容器化的应用。

容器设计原则

在容器模型中，一个容器镜像的实例代表一个独立的进程。通过定义容器镜像作为进程边界，可以创建扩展或批处理进程的初始状态。

设计容器镜像时，在 Dockerfile 里会看到一个入口点（ENTRYPOINT）定义。它定义了进程的生命周期，也控制着容器的生命周期。进程结束后，容器的生命周期也结束了。容器能够用来运行诸如 Web 服务器这样需要长期运行的进程，也能用来运行诸如批处理任务这样的短期进程，例如在 Azure 上早就已经实现了的 Web 作业（Job）。

如果进程运行失败，容器也会结束，然后编排引擎开始接管。如果编排引擎被配置成同时运行 5 个实例，随后其中一个实例失败，编排引擎会创建另一个容器实例来替换失败进程。在批处理任务中，进程可以带参数启动。当进程结束时，整个任务也就结束了。下文会深入讨论编排引擎。

或许您会找到一种方式在一个容器中运行多个进程。由于每个容器只能有一个入口点，这种方式需要在容器中运行脚本来启动多个程序。例如可以使用 Supervisor 或类似工具来管理启动方式。然而即使能找到让每个容器运行多个进程的架构，这样的方式也并不多见。

容器化单体应用

或许我们想创建一个单体部署的 Web 应用或服务，然后部署在容器里，但应用本身或许不算单体式的，而是由多种库、组件、甚至很多层（应用层，领域层，数据访问层等）构成。表面上看，它就是一个独立容器：一个独立的进程，一个独立的网页应用或一个独立的服务。

为了管理这种模式，需要部署一个单一容器来容纳应用。要纵向扩展时，只需添加更多应用副本，并将其放在负载均衡设施之后即可。因为只需管理一个单一的容器或虚拟机部署，因此这种方式比较简单。

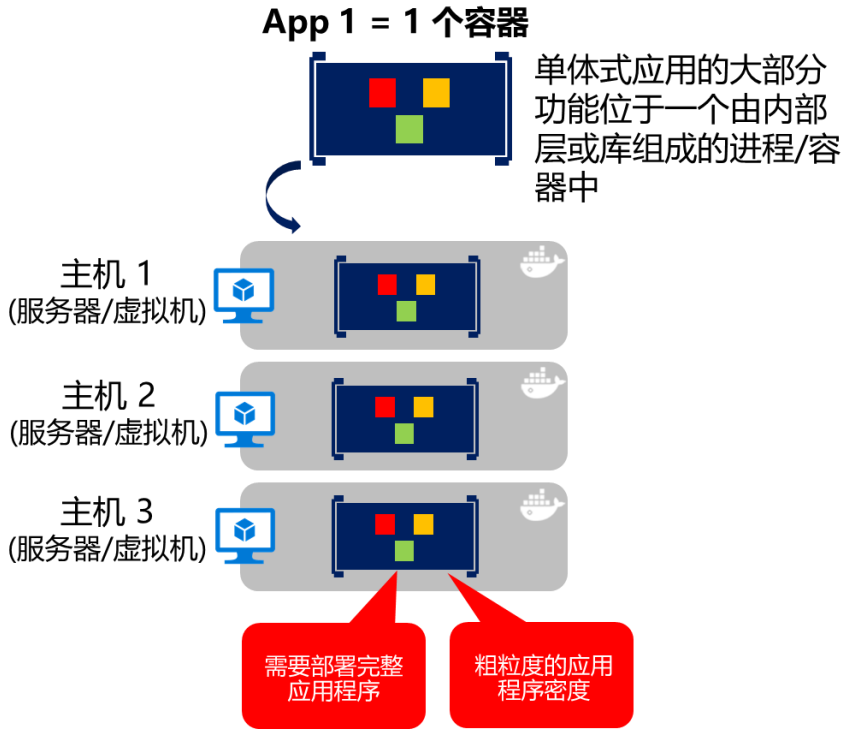


*图 4-1. **单体应用容器化架构示例***

我们可以在每个容器中包含多个组件、库或内部分层，如图 4-1 所示。然而，这种单体式的模式或许跟“一个容器做一件事，而且用一个进程来做”的原则冲突。但在某些情况下也是可取的。

这种方式的缺陷会随着应用的增长和扩展变得更明显。如果整个应用能够扩展，倒没有太大问题。然而在多数情况下，只有应用的少数瓶颈部分需要扩展，而其他组件的使用本身就很少。

例如在一个典型的电子商务应用中，我们可能需要扩展产品信息子系统，因为浏览产品信息的客户数量远多于最终购买的客户数量，使用“购物车”的客户远多于实际付款的客户，给商品留下评论或查看自己购物历史的客户就更少了。员工人手有限，而且还要管理内容和营销工作。如果对单体式设计进行扩展，等同于实现所有不同任务的代码都必须以相同的方式多次部署并进行同等程度的扩展。

应用的扩展方式多种多样：横向复制，将应用的不同功能区域进行拆分，为类似的业务概念或数据创建分区等。但是除了扩展所有组件可能会遇到问题，单个组件的变更还会导致整个应用全部需要重新测试，所有实例全部需要重新部署。

然而这种单体式应用很常见，因为比微服务方式的开发更简单，所以很多组织使用这种架构方式来开发应用，有些组织得到了尚可的结果，但大部分组织会在这方面遇到瓶颈。很多组织选择使用这种模式来设计应用，主要是因为多年前的工具和基础架构很难实现面向服务的架构（SOA），并且在应用程序真正需要扩展前，他们也没有意识到这方面的需求。

从基础架构的角度来看，同一台主机中运行的每个服务器都能够运行多个应用（如图 4-2 所示），并且资源利用率方面也能获得可接受的结果。

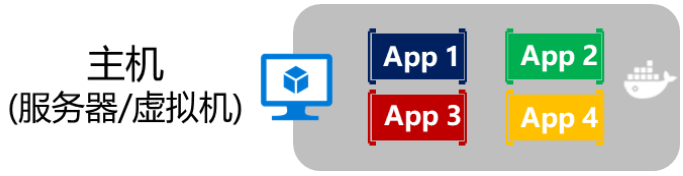


*图 4-2. **单体式方法：主机里运行多个应用，每个应用以一个容器的方式运行***

在 Microsoft Azure 中，可将单体应用的每个实例部署在专用虚拟机中。另外，使用 Azure 虚拟机规模集（VM Scale Sets）能够轻松扩展虚拟机。Azure 应用服务（App Service）也可用来运行单体式应用并方便地扩展实例，而且不需要管理虚拟机。从 2016 年起，Azure 应用服务还能运行 Docker 容器的单个实例，借此可简化部署。

在测试或受限的生产环境中，我们可以部署多个 Docker 主机，然后使用 Azure 负载均衡器来管理，如图 4-3 所示。这样即可以一种粗旷增长的方式来管理扩展，因为整个应用都位于单一容器中。

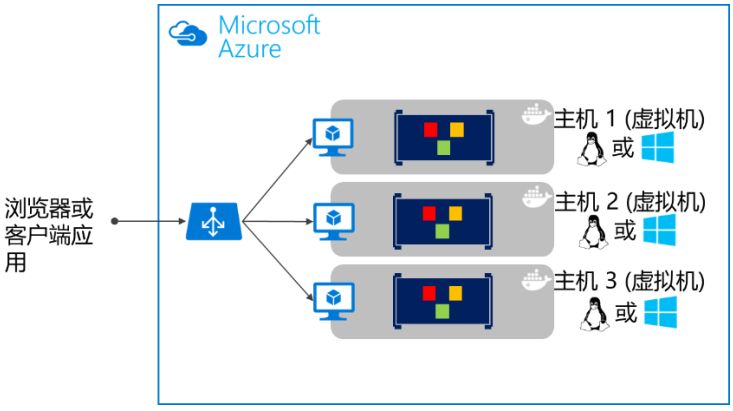


*图 4-3. **多主机扩展单一容器应用示例***

多主机部署也可使用传统部署技术加以管理。Docker 主机可以使用命令行管理工具，例如 docker run 或 docker-compose 等进行手动管理，也可以使用持续部署（CD）流程等自动化方式。

用容器部署单体应用

使用容器来管理单体式应用的部署可获得很多优势，容器实例的扩展也远比部署额外的虚拟机更快更容易。就算使用虚拟机规模集，虚拟机也需要时间来启动。如果以传统应用实例来部署，应用的配置会作为虚拟机的一部分进行管理，这不是最理想的做法。

以 Docker 镜像部署更新，这种方式速度也会更快，并且网络资源消耗更少。Docker 镜像通常几秒钟就可启动完成，要下线 Docker 镜像实例也很简单，运行 docker stop 命令就可以在几秒钟内完成。

因为容器按照设计是不可变的，我们永远不需要担心它会搞坏虚拟机。相反，虚拟机的更新脚本更有可能遗漏某些特殊的配置，或者残留一些文件在磁盘上。

只从优势角度来看，单体式应用能够从 Docker 获益。容器的额外优势来自于使用容器编排引擎来部署，编排引擎管理着多个容器实例以及每个实例的生命周期。把单体式应用拆分成可扩展、可开发和可单独部署的子系统，是进入微服务领域的切入点。

发布单容器应用到 Azure 应用服务

无论是要验证部署在 Azure 上的容器，或只需要处理简单的单容器应用，Azure 应用服务都为单容器服务的扩展提供了良好的支持。Azure 应用服务的使用很简单，能够与 Git 良好集成帮助我们更方便地获取代码，使用 Visual Studio 编译，然后直接部署到 Azure。

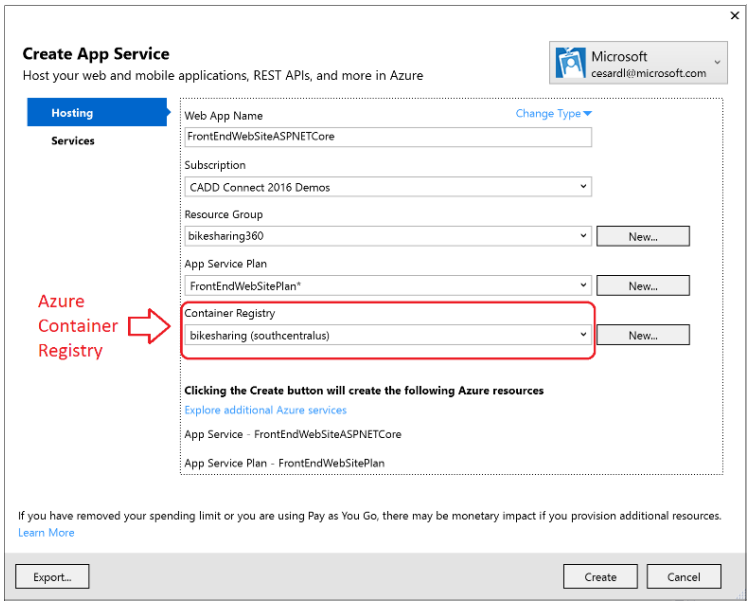


图 4-4. 从 Visual Studio 发布单容器应用到 Azure 应用服务

在不使用 Docker 的情况下，如果需要其他功能、框架或 Azure 应用服务还不支持的依赖库，此时我们只能等待 Azure 团队更新依赖库，或者换为使用其他服务，例如 Azure Service Fabric、Azure 云服务（Cloud Service）甚至虚拟机，借此可以获得更进一步的控制权，为应用安装必要的组件和框架。

Visual Studio 2017 开始支持容器，使得我们能够在应用环境中引入想要的任何内容，如图 4-4 所示。通过容器运行应用时，如果想要添加依赖，只需在 Dockerfile 或 Docker 镜像里添加即可。

如图 4-4 所示，发布过程中推送了一个镜像到容器注册表，这个注册表可以是 Azure Container Registry（与 Azure 中的部署更接近的注册表，可使用 Azure Active Directory 用户组和账户来保证安全性），或其他 Docker 注册表，例如 Docker Hub 或本地注册表。

Docker 应用的状态和数据

大多数情况下，可以将容器看作进程的一个实例。进程不维护持久化状态。容器可以写入本地存储，而容器实例可以持续存在，就如同内存中可以持久存在位置一样。容器镜像与进程类似，可以有多个实例，并且最终会被终止。通过编排引擎来管理，即可将容器从一个节点或虚拟机移动到另一个节点或虚拟机。

Docker 提供了一个名为遮罩（Overlay）文件系统的功能，借此实现了一种写入时复制（Copy-on-write）的任务，可将更新后的信息存储至容器的根文件系统，这些信息是容器原始镜像的补充。如果从系统中删除容器，这些更新也会丢失。因此，虽然在容器的本地存储中可以保存状态，但基于这种机制的系统设计与容器设计的前提相冲突，所以默认情况下，容器是无状态的。

我们可以用下列方法管理和持久化 Docker 应用的数据：

- 挂载到主机的数据卷。
- 使用数据卷容器，通过外部容器提供可在容器间共享的存储。
- 使用卷插件将加卷挂载为远程服务，借此提供永久存储。
- 使用具备地域分布特性的 Azure 存储，为容器提供良好的永久存储方案。
- 使用远程关系型数据库（如 Azure SQL 数据库）或 NoSQL 数据库（如 Azure Cosmos DB），或者缓存服务（如 Redis）。

下文将详细解释这些选项。

数据卷是指从主机操作系统映射到容器的目录。当容器中的代码访问这些目录时，实际上是在访问主机操作系统中的文件夹。这些目录并没有绑定到容器本身的生命周期中，它们能被直接运行在主机操作系统中的代码访问，或被其他同样映射了该目录的容器访问。因此，数据卷按照设计可独立于容器生命周期来实现数据的持久存储。如果从 Docker 主机删除容器或镜像，数据卷中的数据并不会被删除，其中的数据依然能从主机操作系统访问。

数据卷容器是常规数据卷的“升级版”，数据卷容器是指包含一个或多个数据卷的简单容器，可为容器访问提供统一的接入点。由于可对原始数据位置创建抽象，因此这种数据访问方法更方便。除此之外，

它跟普通的数据卷很相似。所以，数据可独立、持久地存储在这种专用容器中，并与应用容器的生命周期区别开来。

如图 4-5 所示，常规 Docker 卷可位于容器之外，但必须在主机服务器或虚拟机的物理存储中，因此 Docker 容器无法从一个主机服务器或虚拟机访问另一个主机或虚拟机中的数据卷。换而言之，我们不能使用这样的卷管理运行在不同 Docker 主机里的容器间共享的数据。

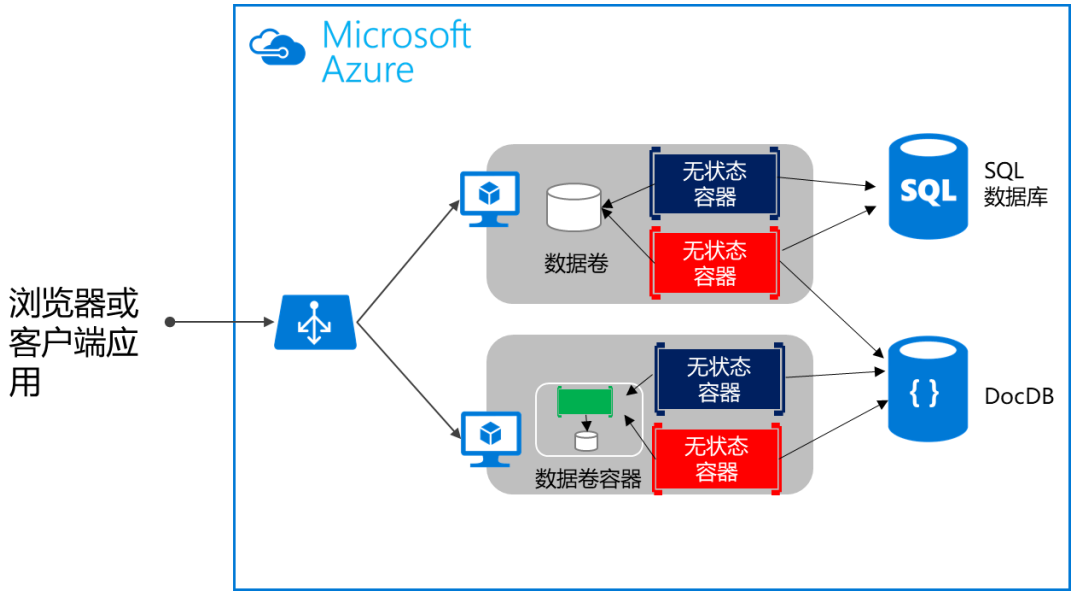


*图 4-5. **容器化应用的数据卷和外部数据源***

另外，当使用编排引擎管理 Docker 容器时，在集群优化过程中，容器可能在主机之间“移动”。因此不推荐使用数据卷来保存业务数据。但如果用来保存跟踪文件、临时文件或不影响业务数据一致性的其他文件，这依然是一种足够好的机制。

卷插件类似于 Flocker，能为集群里所有机器提供数据访问。虽然不同的卷插件各有特点，但通常均可为不可变的容器提供可靠、持久化的外部存储。

远程数据源和缓存工具（如 Azure SQL 数据库、Azure Cosmos DB）或远程缓存（如 Redis），也能用在容器化应用中，具体做法与未使用容器时的方法相同。这是一种经过验证的存储业务数据的方式。

Azure 存储，业务数据通常需要保存在外部资源或数据库中，如 Azure 存储。简而言之，Azure 存储提供了下列云服务：

- Blob 存储，可用于保存非结构化对象数据。Blob 可以是任意类型的文本或二进制数据，例如文档或媒体文件（图片、音频和视频）。Blob 存储也称为对象存储。
- 文件存储，为使用 SMB 协议的传统应用提供了共享存储方式。Azure 虚拟机和云服务能通过挂载的共享，在应用程序组件之间共享文件数据的访问。本地应用程序可通过文件服务 REST API 访问此类共享中存储的文件数据。

- 表存储，用来保存结构化数据集。表存储是一种 NoSQL 的键-值数据存储，可实现快速开发和海量数据的高速访问。

关系型数据库和 NoSQL 数据库。外部数据库有很多选择，从关系型数据库 SQL Server、PostgreSQL、Oracle，到 NoSQL 数据库 Azure Cosmos DB、MongoDB 等。这些话题属于完全不同的主题，本书不打算深入涉及。

面向服务的架构

面向服务的架构（SOA）是一个被滥用的词汇，不同人有不同的理解。不过作为一个通用标准，SOA 意味着需要从结构上将应用尽可能解耦成多个服务（通常为 HTTP 服务），这些服务要能区分成不同的类型，如子系统或分层。

这些服务也可作为 Docker 容器来部署，因为所有依赖都包含在容器镜像里，这就解决了部署方面的问题。然而在纵向扩展 SOA 应用时，如果部署在单个 Docker 主机中，或许会面临扩展性和可用性的挑战。这就需要 Docker 集群软件或编排引擎的帮助，下文详细介绍微服务部署方法时将进一步介绍。

Docker 容器对面向服务的传统架构以及更先进的微服务架构都能提供巨大价值（但并非必需）。

微服务是从 SOA 派生而来的，但 SOA 与微服务是不同的架构。例如大型中心代理、企业级中心编排引擎和企业服务总线（ESB）都是典型的 SOA 功能。在微服务社区中，大多数情况下这都是 SOA 的反模式设计。实际上，有争议认为“微服务架构只是正确实现 SOA 之后的产物”。

本书重点在于微服务架构，因为相比微服务架构，SOA 在要求和技术方面的规范更宽松一些。只要知道如何创建微服务应用，那么就会知道如何创建一个简单的 SOA 应用。

微服务架构

顾名思义，微服务架构是一种以小型服务集合来创建服务端应用的方法。每个服务在独立进程中运行，通过通信协议（如 HTTP/HTTPS、WebSockets 或 AMQP）彼此通信。每个微服务负责实现一个特定的端到端领域，或有着确定边界的业务逻辑，并且每个微服务必须能独立开发和部署。最后，每个微服务应该拥有自己特定的领域数据模型和领域逻辑（自治和去中心化的数据管理），它们是基于不同数据存储技术（SQL、NoSQL）和不同编程语言实现的。

微服务到底能有多小？在开发微服务时，大小不应该是重点，重点是要创建低耦合的服务，以便能独立地开发、部署和扩展每个服务。当然在确定和设计微服务时，只要它们之间没有太多直接依赖，就应该使它们尽可能地小。比大小更重要的还有必要的内部一致性和对其他服务的依赖。

为什么需要微服务架构？简而言之，它提供了长期的敏捷性。微服务可以基于多个独立部署的服务来创建应用，这些服务通常拥有细粒度和独立生命周期等特征，这使得复杂的、大型的以及高度扩展的系统拥有更好的可维护性。

微服务的另一个优势在于能独立进行横向扩展。相对于单体应用必须作为整体来扩展，微服务可以只扩展特定部分，这样就能只扩展真正需要更多处理资源或网络带宽的功能，而不是一起将本不需要扩展的其他功能区域也进行扩展。因为使用的硬件更少，这也意味着可以节约成本。

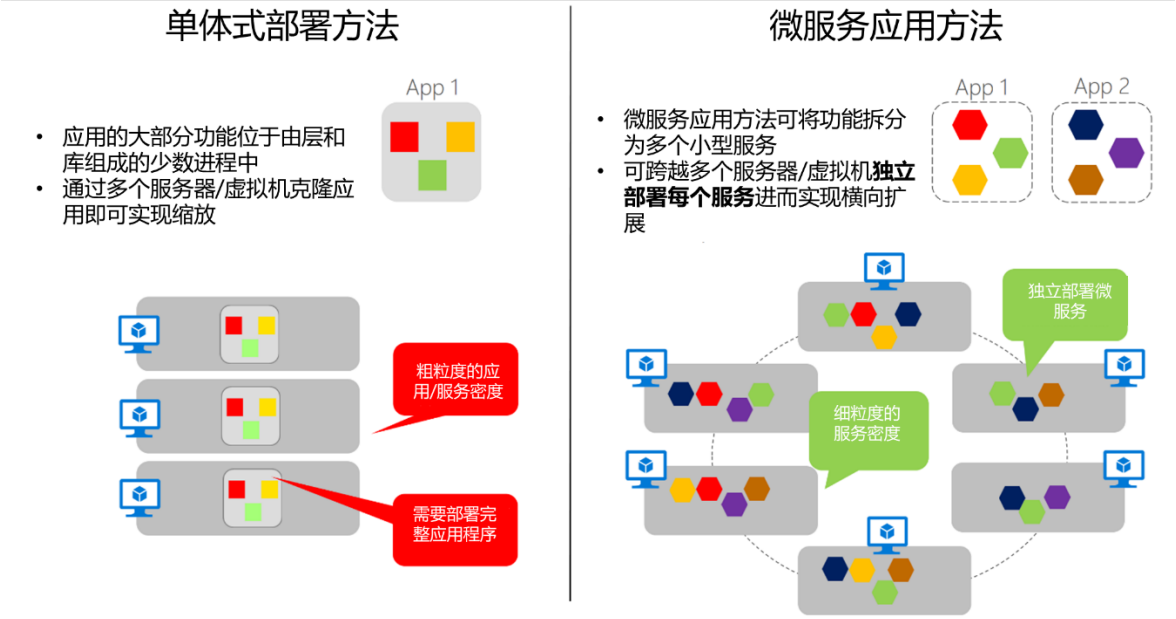


*图 4-6. **单体式部署和微服务方式的对比***

如图 4-6 所示，对于复杂的大型可扩展应用程序，我们可以只变更其中的特定区域，所以微服务方式可以让我们对每个微服务进行敏捷变更和快速迭代。

通过设计基于微服务的细粒度应用架构，即可顺利采用持续集成和持续部署实践，并能加速新功能的发布。细粒度构成的应用也使得独立地运行和测试微服务成为可能，并且通过维护清晰的交互协议实现自主进化。只要不变更接口和协议，就能在任何一个微服务里修改内部实现或添加新功能，而不会破坏其他微服务。

要想成功将微服务系统投入生产环境，需要注意下列重点：

- 服务和基础架构的监测和监控状态。
- 为服务扩展基础架构（云和编排引擎）
- 在多个层级设计并实现安全性：认证、授权、密文密码管理和安全通信等。
- 快速应用发布，通常由不同的团队来实现不同微服务。
- DevOps 和 CI/CD 的实践和架构。

对于上述众多重点，本书只涵盖并介绍前三条。后两条重点涉及应用生命周期，详情可参阅另一本书《使用微软平台和工具的容器化 Docker 应用的生命周期》。

其他资源

- **Mark Russinovich.微服务：云带来的应用革命**
  https://azure.microsoft.com/blog/microservices-an-application-revolution-powered-by-the-cloud/
- **Martin Fowler.微服务**
  http://www.martinfowler.com/articles/microservices.html
- **Martin Fowler.微服务的先决条件**
  http://martinfowler.com/bliki/MicroservicePrerequisites.html
- **Jimmy Nilsson.分块云计算**
  https://www.infoq.com/articles/CCC-Jimmy-Nilsson
- **Cesar de la Torre.使用微软平台和工具的容器化 Docker 应用的生命周期（可下载的电子书）**
  https://aka.ms/dockerlifecycleebook

微服务的数据自治

微服务架构有一条重要规则：每个微服务必须拥有领域逻辑和数据。与完整的应用有逻辑和数据类似，在自治的生命周期内，微服务也有自己的逻辑和数据，并可针对每个微服务独立部署。

这意味着子系统和微服务的领域概念模型会有差别。假设有个企业应用，例如客户关系管理（CRM）系统，交易记录子系统和客户支持子系统都会调用客户实体的属性和数据，而它们是隶属于不同上下文边界的。

这样的原则在领域驱动设计（DDD）里也是相似的，每个限界上下文、自治的子系统或服务必须拥有自己的领域模型（数据 + 逻辑 + 行为）。每一个 DDD 限界上下文关联到一个业务的微服务（一个或多个服务）。（下一节会进一步详细介绍限界上下文的设计。）

另一方面，很多应用程序中使用的传统设计方法（单体式数据）会使用单一的中心化数据库，或有限的几个数据库。通常此时会为整个应用和所有内部子系统中使用符合范式的 SQL 数据库，如图 4-7 所示。

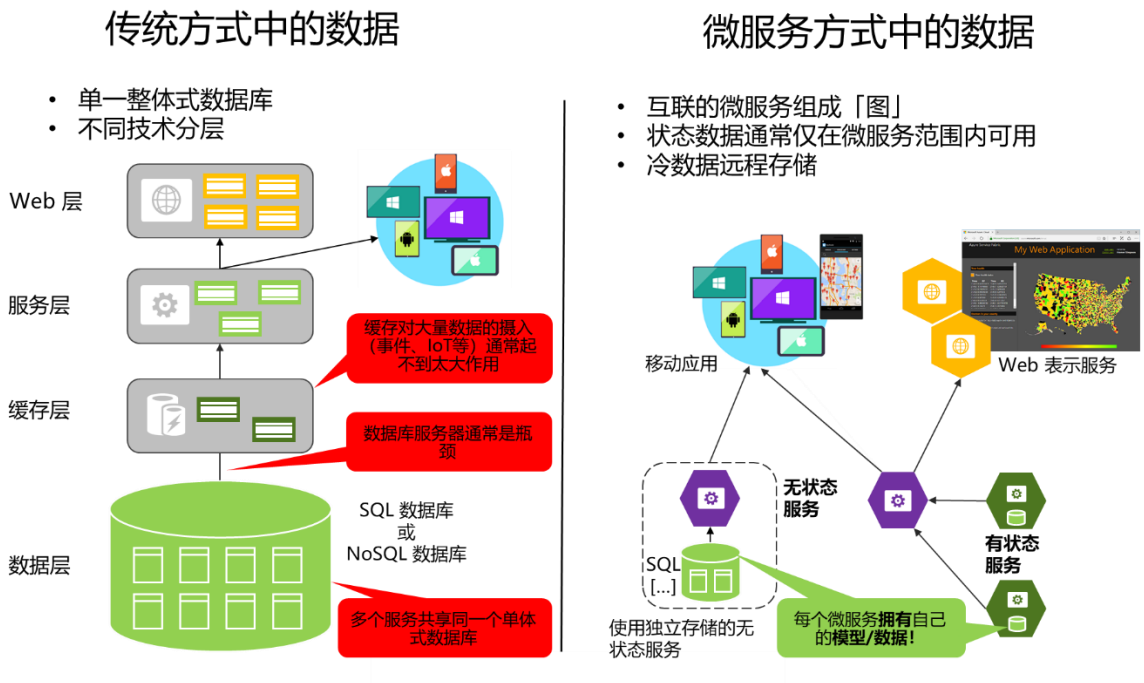


*图 4-7. **数据自治对比：单体式数据库和微服务***

这种中心化数据库的方式初看起来比较简单，好像能够在不同子系统间复用实体，以确保所有内容保持一致。但现实情况是，为了满足多个不同子系统需求，要建立非常大的表，其中包含大部分情况下都不需要的属性和字段。这就像使用同一张地形图来满足徒步旅行、长途汽车旅行和学习地理知识的需求。

具有单一关系型数据库的单体式应用有两个重要优点：在应用程序的所有数据库表和数据层面，都支持 ACID 事务和 SQL 语言。这种方式能简单地写出关联多张表组合数据的查询语句。

然而，微服务架构的数据访问会变得更加复杂。即使在一个微服务或限界上下文里能够或者应该做到 ACID 事务一致，但每个微服务的数据是独立的，所以只能通过微服务的 API 来访问。将数据进行封装确保了微服务是松耦合且能独立变化的。如果多个服务访问相同数据，数据的更新就要求协调同步到所有服务，这会破坏微服务生命周期的自治性。这就表示，当业务流程跨越多个微服务时，最终一致性是唯一的办法。这比写一个简单的 SQL 连接要复杂得多。同理，很多其他关系型数据库功能也不支持跨微服务使用。

此外，不同微服务通常使用不同种类的数据库。对于现代的应用存储和不同类型数据的处理来说，关系型数据库也不总是最佳选择。一些场景下，NoSQL 数据库（如 Azure CosmosDB 或 MongoDB）比 SQL 数据库（如 SQL Server 或 Azure SQL Database）有着更方便的数据模型和更好的性能与扩展性。但在其他方面，关系型数据库仍然是最佳方式。因此，基于微服务的应用通常会混合使用 SQL 和 NoSQL 数据库，这种做法有时会被称为混合数据持久化（Polyglot Persistence）。

这种隔离的混合数据持久化架构有很多优点，包括服务的松散耦合，更好的性能、扩展性，更低成本和可管理性等。然而也带来了一些分布式数据管理的挑战，在本章后续的“识别领域模型边界”一节将详细介绍。

微服务和限界上下文模式的关系

微服务的理论源自领域驱动设计（DDD）的限界上下文（BC）模式。DDD 将大型业务划分成多个 BC，并明确它们的边界，每个 BC 必须有自己的模型和数据库。类似的，每个微服务也拥有跟自己相关的数据。另外，每个 BC 通常使用自己的通用语言在开发人员和领域专家之间进行沟通。

不同限界上下文的表示语言中的信息（主要是领域实体）可以有不同名称，即使不同领域实体共用相同标识（即通过唯一 ID 从存储中读取实体）也是如此。例如在一个用户资料的限界上下文中，用户 User 领域实体可能跟订单限界上下文的买家 Buyer 领域实体共享标识。

所以微服务与限界上下文非常类似，但微服务是一种分布式服务，每个微服务都以独立进程的方式创建，并且必须使用先前提到的分布式协议，如 HTTP/HTTPS、WebSockets 或 AMQP。然而限界上下文模式并没有明确一个 BC 到底是分布式服务或只是单体式部署的应用中的简单逻辑边界（例如常见的子系统）。

需要强调的是，为每个限界上下文定义一个服务是很好的开始，但也没必要局限于此。有时候必须设计出由多个物理服务组成的限界上下文或业务微服务。但从本质来看，限界上下文和微服务这两种模式都极其相似。

DDD 也能从分布式微服务清晰定义的边界中获益。但诸如不需要在微服务间共享模型这种做法，通常也是我们需要在限界上下文中实现的目标。

其他资源

- **Chris Richardson.模式：服务独立的数据库**
  http://microservices.io/patterns/data/database-per-service.html
- **Martin Fowler.限界上下文**
  http://martinfowler.com/bliki/BoundedContext.html
- **Martin Fowler.混合持久化**
  http://martinfowler.com/bliki/PolyglotPersistence.html
- **Alberto Brandolini.使用上下文映射的策略性领域驱动设计**
  https://www.infoq.com/articles/ddd-contextmapping

逻辑架构和物理架构

接下来可以讨论逻辑架构和物理架构的区别，以及如何将其应用在微服务应用的设计中了。

首先，创建微服务并不要求必须使用某种技术，例如 Docker 容器就不是必需的。微服务能够作为普通进程运行，微服务是一种逻辑架构。

其次，即使微服务能够以独立的服务、进程或容器（简单来说，这就是 eShopOnContainers 初始版本采用的方式）方式来实现，这种在业务微服务和物理服务或容器之间的同等性不是必要的，尤其是当我们需要创建一个由成百上千的服务组成的大型复杂应用时。

这就是应用程序的逻辑架构和物理架构差别所在。系统的逻辑架构和逻辑边界与物理或部署架构没必要一一对应，虽然可行，但通常并不这样做。

您或许已经确定了业务微服务或限界上下文，但不意味着最佳实现方式就是为每个业务微服务创建单独的服务（例如作为一个 ASP.NET Web API）或单独的 Docker 容器。没有规定说每个业务微服务必须使用单独服务或容器来实现。

因此，业务微服务或限界上下文是一个逻辑架构，或许确实（也可以不是）与物理架构一致。重点在于，业务微服务或限界上下文必须自主地进行代码和状态的独立版本控制、部署和扩展。

如图 4-8 所示，目录业务微服务由多个服务或进程组成，它们可以是多个 ASP.NET Web API 或使用 HTTP 或其他协议的服务。更重要的是，这些服务共享相同的数据，因为它们都结合在一个相同的业务领域里。

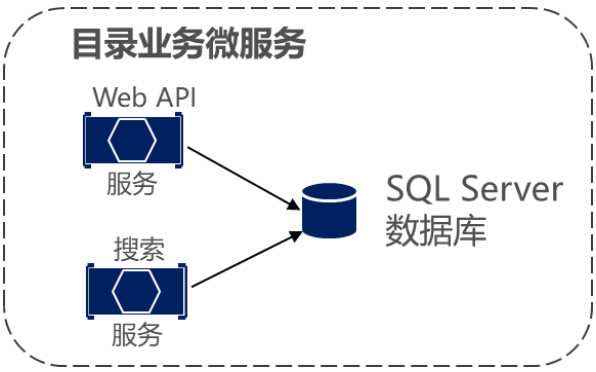


*图 4-8. **多个物理服务组成的业务微服务***

本例中的 Web API 服务和搜索服务使用了同一个数据源，它们共享相同的数据模型。所以在物理实现业务微服务时，对功能进行了拆分，以便能够按需向上或向下扩展每个内部服务。例如 Web API 通常需要更多的运行实例，反之亦然。

简而言之，微服务的逻辑架构通常与物理架构并不相同。本书提到的微服务是业务或逻辑上的微服务，可以对应到一个或多个服务，虽然大多数情况下对应一个服务，但也可以对应多个。

分布式数据管理的挑战和解决方案

挑战 1:如何定义微服务边界

定义微服务的边界，这可能是每个人会碰到的第一个挑战。每个微服务必须成为应用的一部分，并且每个微服务应该是自治的，这是一种优势和并存的情况。那么要如何定义边界？

首先，需要关注应用的逻辑领域模型和相关数据。必须尝试识别同一个应用中解耦后的数据孤岛和不同的上下文。每个上下文都可以有不同的商业语言（不同的业务术语），上下文的定义和管理应该独立进行。在不同上下文中使用的术语和实体可能听起来相似，但有时在特定上下文中的一个业务概念在另一个上下文中可能会被用于不同的目，甚至可能使用不同名称。例如，同一个“用户”，可以是身份或会员系统上下文中的“用户”，是 CRM 中的“客户”，甚至还是订单上下文中的“买方”等。

识别多个应用上下文以及每个上下文所对应不同领域之间边界的方法，也能用来识别每个业务微服务和相关领域模型和数据的边界。我们需要尽可能降低这些微服务之间的耦合，下文“识别微服务的领域模型边界”一节将详细介绍识别方法和领域驱动设计。

挑战 2:如何创建从多个微服务获取数据的查询

第二个挑战在于：如何实现从多个微服务获取数据的查询，同时避免远程客户端和微服务之间不必要的通信。例如一个移动 App 需要一个页面来展示由购物篮、产品目录和用户身份微服务包含的用户信息。再如一个复杂的报表系统涉及到位于多个微服务的多个表。适合的解决方案取决于查询的复杂性。但无论如何都需要一种方式来聚合信息，以提高系统的通信效率。最流行的解决方案如下。

API 网关：对于从多个拥有不同数据库的微服务进行的简单数据聚合，推荐的方式是通过名为 API 网关的机制聚合微服务。然而使用这种模式时需要当心，它可能成为系统瓶颈，也可能违反微服务自治的原则。为了降低这些可能性，可以使用多个细粒度的 API 网关，每个网关主要面向系统的一个垂直“切片”即业务领域。API 网关模式将在下文“使用 API 网关”一节详细介绍。

CQRS 查询/读取表：另一种聚合多个微服务数据的方案是物化视图模式（Materialized View Pattern），这种方案会提前（在实际查询发生前准备好非规范的数据）生成包含多个微服务数据的只读表，并且这种表会使用适合客户端应用需求的格式。

假设有一个移动 App 的界面，如果有一个数据库，就可以使用一个 SQL 查询获取界面所需的全部数据，该查询会针对多个表执行复杂的联接。但如果使用了分布在不同微服务中的多个数据库，就不能查询这些数据库并创建 SQL 联接。此时复杂的查询将变成巨大的挑战。为此可以使用 CQRS 方案：在不同数据库中创建一个只用作查询的非规范表，这个表可以针对复杂查询所需的数据专门设计，把应用界面所需的字段和查询表的字段一一对应。这样的查询表还可以用在报表中。

这种方式不仅解决了最初的问题（如何跨微服务查询和联接），与复杂的 SQL 联接语句相比还能进一步提升性能，因为应用所需的数据已经在查询表里了。当然，使用命令查询职责分离（CQRS）的查询/读取表需要额外的开发工作，并且需要面对数据最终一致性问题。然而在需要高性能和高扩展性的协作场景（或者竞争场景，取决于视角）下，应该使用 CQRS 来处理多数据库。

中心数据库的“冷数据”：对于可能不需要实时数据的复杂报表和查询，此时一种通用方案是将“热数据”（微服务里的交易数据）导出为“冷数据”存储到报表专用的大型数据库中。这里的中心数据库系统可以是基于大数据的系统，如 Hadoop，也可以是数据仓库，如 Azure SQL 数据仓库，甚至可以是单独的报表专用 SQL 数据库（如果容量不是问题的话）。

需要注意的是，中心数据库应该只用于不需要实时数据的报表查询，作为事实数据源的原始更新和交易数据必须在微服务中。为了同步数据，可采用事件驱动通信（下一节会详细介绍），或使用数据库基础结构提供的导入/导出工具。如果使用事件驱动通信的方式，整合流程将与上文提到的使用 CQRS 查询表获取数据的方式类似。

然而，如果应用在设计上需要不断从多个微服务里进行聚合数据并进行复杂查询，上述设计将变得非常糟糕，毕竟微服务之间应该尽可能地保持相互独立（使用中心冷数据库的报表分析系统除外）。通常在遇到此类问题后，我们也许会合并微服务。我们需要在每个微服务的自治式进化和部署，以及强依赖、高内聚和数据聚合之间进行权衡。

挑战 3:如何在多个微服务之间实现一致性

如上文所述，每个微服务拥有的数据是私有的，只能通过微服务 API 来访问。因此会遇到这样一个挑战：如何跨多个微服务保持一致性的同时实现端到端的业务逻辑。

为了分析这个问题，让我们看看示例应用 eShopOnContainers 中的一个例子。目录（Catalog）微服务维护着所有产品信息，包括价格。购物篮（Basket）微服务管理着用户加入购物篮的产品临时数据，包括添加到购物篮时的产品价格。当目录服务中一个产品的价格发生变化后，购物篮中相同产品的价格也应该变化，另外，系统应该告诉用户说购物篮里的某个产品的价格变了。

假如这个应用有一个单体式版本，当产品表中的价格发生变化时，产品子系统能够简单地使用 ACID 事务来更新购物篮表里的价格。

然而在微服务应用里，产品表和购物篮表被各自的微服务所占有。任何微服务不应该在自己的事务中包含其他微服务的表或存储，即使是直接查询也是不可以的。如图 4-9 所示。

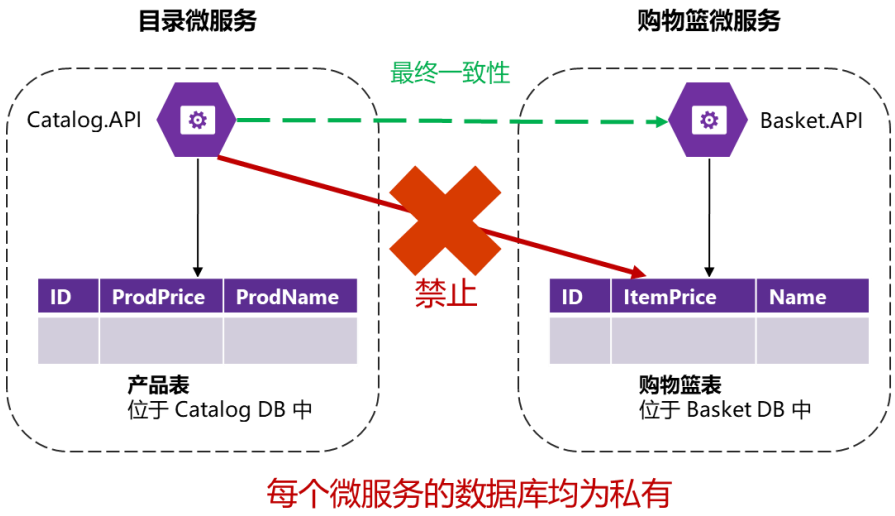


*图 4-9. **微服务不能直接访问其他微服务的表***

目录微服务不能直接更新购物篮表，因为购物篮表被购物篮微服务占有。要更新购物篮微服务，产品微服务应该使用基于异步通信，如集成事件（消息和基于事件的通信）的最终一致性。示例应用 eShopOnContainers 就是这样跨微服务解决一致性的。

根据 CAP 理论，我们需要在可用性和强 ACID 一致性之间作出选择。大多数微服务场景要求高可用性和高扩展性，而非强一致性。重要应用必须保持随时在线，开发人员可以使用弱一致性或最终一致性的技术来做到强一致性。这也是大多数基于微服务的架构所采取的方法。

此外，ACID 风格或两步提交事务不仅违背微服务原则，大多数 NoSQL 数据库（如 Azure CosmosDB、MongoDB 等）也不支持两步提交事务。然而，跨服务和数据库维护数据的一致性非常重要。这个挑战也关系到当某些数据需要实现冗余时，如何跨微服务执行变更的问题，例如需要更新目录微服务和购物篮微服务中的产品名称或描述时。

因此，总结来说，解决这个问题的方法之一是，在微服务之间使用事件驱动通信和发布订阅系统来实现最终一致性。这些话题会在下文“异步事件驱动通信”一节中介绍。

挑战 4:如何在多个微服务之间通信

跨微服务边界的通信是一个真正的挑战。这里所谓的“通信”不是指该用什么协议（HTTP 和 REST、AMQP、消息等），而是指该使用什么样的通信方式，尤其是如何耦合微服务。取决于耦合等级，在宕机发生时，会对系统产生不同程度的影响。

诸如微服务这样的分布式系统中，有很多内容需要四处移动，组成分布式服务的诸多服务器或主机等组件最终都可能面临故障，部分宕机甚至大面积失效也会发生。面对这样的分布式系统，需要在设计微服务和跨服务通信时就考虑到这些常见的风险。

一种流行的方法是采用基于 HTTP（REST）的微服务，这种方式很简单，但完全可以接受，问题在于该如何使用。如果微服务使用 HTTP 请求响应的方式与客户端应用或 API 网关交互，这是可以的。但如果在多个微服务间创建了长串的同步 HTTP 调用，把微服务视作单体式应用中的对象通过通信跨边界传递，应用最终将会碰到问题。

举例来说，假设客户端应用发起了一个 HTTP API 请求，需要调用另一个独立的微服务，例如订单微服务，如果订单微服务随后在同一个请求/响应周期内使用 HTTP 调用另一个微服务，这就创建了一个 HTTP 调用链条。听起来也许合理，然而如果打算这样做，有些重要的问题需要考虑：

- 阻塞和性能低下。由于 HTTP 的同步本质，最初的请求在所有内部 HTTP 请求全部完成前不会获得响应结果。假设这样的请求量在逐步增长，同时某个中间微服务的 HTTP 调用被阻塞，结果就是性能受到影响，并且整体扩展性由于额外 HTTP 请求的增加遇到几何级增长的影响。
- 使用 HTTP 耦合微服务。业务微服务不应该被其他业务微服务耦合。理想情况下，它们不应该“知道”其他微服务的存在。如果我们的应用像示例一样依靠耦合的微服务，几乎无法实现每个微服务的自治。

- 任何微服务引起的宕机。如果实现使用 HTTP 调用的链式微服务，当任何一个微服务宕机（最终每个微服务都可能宕机）时，整个微服务链会挂掉。微服务系统应该设计成在部分宕机情况下尽可能地继续正常运行。即使客户端逻辑使用了越来越快和灵敏的重试机制，HTTP 调用链越复杂，实现基于 HTTP 的容错策略过程就越复杂。

实际上，如果内部微服务采用上述链式 HTTP 请求来通信，可能会产生这样一种争议：这实际上是一种单体式应用，它的进程间是基于 HTTP 的，而没有使用进程内通信机制。

因此，为了促进微服务的自治并获得更高弹性，应该减少使用跨服务的链式请求/响应通信。建议微服务间的通信只使用异步交互，例如使用基于消息或事件的异步通信，或者使用与原始 HTTP 请求/响应独立的 HTTP 轮询（Polling）方式。

本书后续章节“异步整合方式增强微服务自治”和“异步消息通信”详细介绍了异步通信。

其他资源

- **CAP 定理**
  https://en.wikipedia.org/wiki/CAP_theorem
- **最终一致性**
  https://en.wikipedia.org/wiki/Eventual_consistency
- **数据一致性入门**
  https://msdn.microsoft.com/library/dn589800.aspx
- **Martin Fowler. CQRS（命令查询职责分离）**
  http://martinfowler.com/bliki/CQRS.html
- **物化视图**
  https://docs.microsoft.com/azure/architecture/patterns/materialized-view
- **Charles Row. ACID 和 BASE：数据库事务处理的 pH 值变换**
  http://www.dataversity.net/acid-vs-base-the-shifting-ph-of-database-transaction-processing/
- **补偿事务**
  https://docs.microsoft.com/azure/architecture/patterns/compensating-transaction
- **Udi Dahan. 面向服务的组合**
  http://udidahan.com/2014/07/30/service-oriented-composition-with-video/

识别微服务的领域模型边界

虽然微服务应该尽可能地趋向于小型化，但识别每个微服务的模型边界不是为了尽可能拆成细粒度，而是根据领域知识来进行最有意义的划分。重点不在于大小，而在于业务需要。另外，如果因为存在庞大复杂的依赖关系而要求应用的某个领域有清晰一致的需求，这也就表明该领域应该是一个独立的微服务。“一致”这个特点是用来识别如何拆分或组合微服务的方法之一。本质上，当我们对相关领域的了解越深入，就应该越能够适配微服务的大小。找到正确的大小，这个目标无法一蹴而就。

Sam Newman 是公认的微服务布道师，同时也是《微服务设计》一书的作者，他强调应该基于上文提到的限界上下文（BC）模式（领域驱动设计的一部分）来设计微服务。有时候，一个 BC 能够由多个物理服务组成，反之则未必。

最终确定的 BC 或微服务中需要具备包含特定领域实体的领域模型。BC 界定了领域模型的适用性，借此开发团队成员可以清晰地理解哪些内容必须结合，哪些可以独立开发，并共享知识。微服务的目标正是如此。

另一个会影响设计决策的工具是康威定律，该定律认为，应用程序本身体现了创造这个应用的企业本身的组织架构。有时候反过来理解也是正确的：公司的组织架构应围绕软件来组成。您也许想逆康威定律而行，按照自己的想法构建公司的组织架构，那就必须学习业务流程咨询。

上下文映射模式是一种 DDD 模式，可以用来识别限界上下文。借此，我们可以识别应用中不同上下文和它们的边界。现实中通常每个子系统有不同的上下文和边界。上下文映射是一种明确并定义领域之间边界的方式。BC 是自治的，包含了一个领域中的各种细节，例如领域实体，并定义了与其他 BC 的交互接口。这与微服务的定义十分相似：是自治的，实现了特定的领域功能，必须提供接口。因此上下文映射和限界上下文模式是用来识别微服务的领域模型边界的好方法。

在设计大型应用时，我们会看到它的领域模型是如何拆得支离破碎，例如产品领域的专家和物流领域的专家会给产品和库存领域的实体进行不同的命名。再例如一个想把客户所有细节都保存下来的 CRM 专家和一个只想要客户部分数据的订单领域专家，在处理用户领域实体时会有不同的大小和字段数量。有时候我们很难消除大型应用里所有领域术语之间的歧义，但重点不在于试图统一术语，而在于接纳每个领域的差异和多样性。如果想要为整个应用建立统一的数据库，企图达到统一词汇的目的，这样的做法本身就会让人感觉奇怪，并且对任何领域专家都是不合适的。因此，BC（以微服务实现）会帮助澄清哪里需要特定的领域术语，以及哪里需要把系统拆分成额外的不同领域 BC。

如果在领域模型之间有少量强关联，我们就可以确定每个 BC 和领域模型已经具备恰当的边界和大小。当进行常规应用操作时，我们通常不需要整合多个领域模型的信息。

每个微服务的领域模型到底该有多大？这个问题的最佳答案也许是这样的：应该有一个尽可能独立的自治 BC，使得我们无需不断在其他上下文（其他微服务模型）之间切换。如图 4-10 所示，多个微服务（多个 BC）有自己的领域模型，从中可以看出实体的定义方式，具体方法主要取决于应用中每一个识别出来的领域所具有的特定需求。

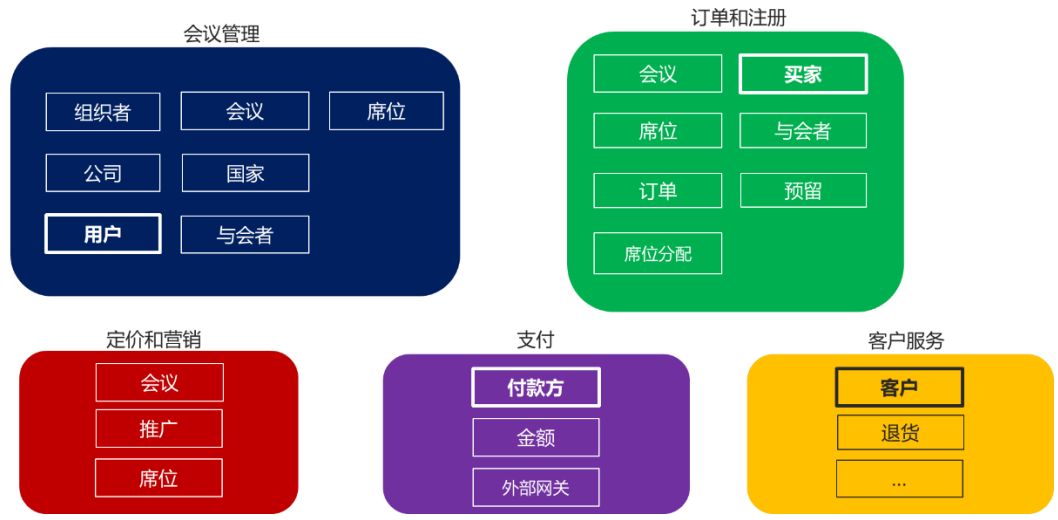


*图 4-10. **识别实体和微服务模型的边界***

图 4-10 展示了一个在线会议管理系统的场景示例。基于领域专家定义的领域信息，我们已经识别出多个能够作为微服务来实现的 BC。如图所示，有些实体只存在于一个独立的微服务里，如支付微服务里的支付信息。这些实现起来很容易。

然而也有些具有不同形态但却共用相同标识的实体，它们存在于多个微服务所包含的多个领域模型中。例如会议管理微服务中有一个“用户”实体，该实体所对应的同一个用户，在订单微服务里被称为“买家”，在支付微服务里名为“付款方”，而在客户服务微服务里称作“客户”。这是因为：基于每个领域专家使用的通用语言，会对同一个用户有不同视角，甚至包含不同属性。会议管理微服务里的用户实体应该包含最多的个人数据属性，但是同一个用户在支付微服务里的“买家”标识和客户服务里的“客户”标识就不需要那么多属性了。

图 4-11 展示了另一种类似的方法。

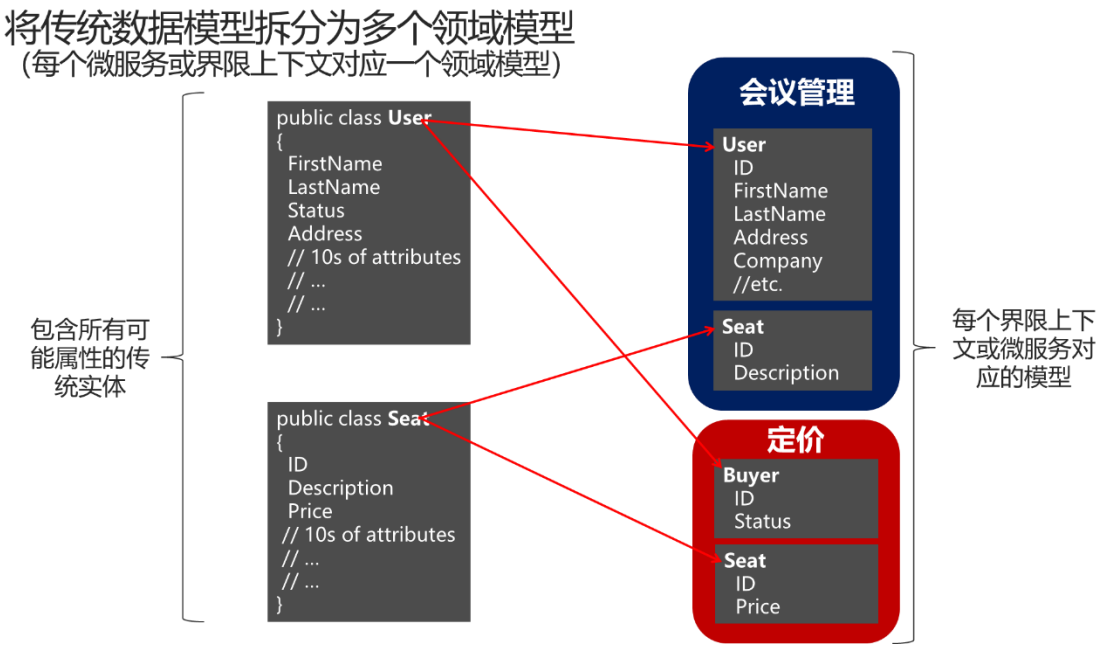


*图 4-11. **传统数据模型分解成多个领域模型***

从图中可以看到，用户在会议管理微服务里表示为“User”实体，在定价微服务里以“Buyer”实体来体现，并增加了作为买家需要的额外属性和细节。每个微服务或 BC 也许不需要 User 实体的全部数据，根据要解决的问题或上下文，具备部分数据即可。例如在定价微服务里不需要用户的地址，只要有 ID（作为标识）和状态，就可以在为每个买家定价时决定每个席位的价格折扣。

席位 Seat 实体在每个领域模型里虽然有相同的名称但是却有不同的属性，它们共用相同 ID 作为标识，这一点与 User 和 Buyer 一样。

从根本上来看，存在于多个共用用户标识的服务（或领域）里的用户有一种通用的概念，但是每个领域模型里的用户实体可能有不同的补充细节。因此需要用某种方式把一个领域（或微服务）的用户实体映射到另一个领域（或微服务）。

在领域间共用用户实体，但不使用相同的属性，这种做法可以带来很多好处。其中之一是减少了重复，所以微服务模型里无需包含任何不需要的数据。另一个好处是，可以用一个主（Master）微服务，用它包含每个实体特定类型的数据，更新和查询都由这个微服务发起。

客户端微服务直连和 API 网关模式

在微服务架构中，每个微服务会暴露一套（通常情况下）定义良好的接口，这会影响到客户端和微服务之间的通信，本节将作介绍。

客户端微服务直连

一种方法是使用客户端和微服务直接连接的通信架构，客户端应用能够直接向微服务发起请求，如图 4-12 所示。

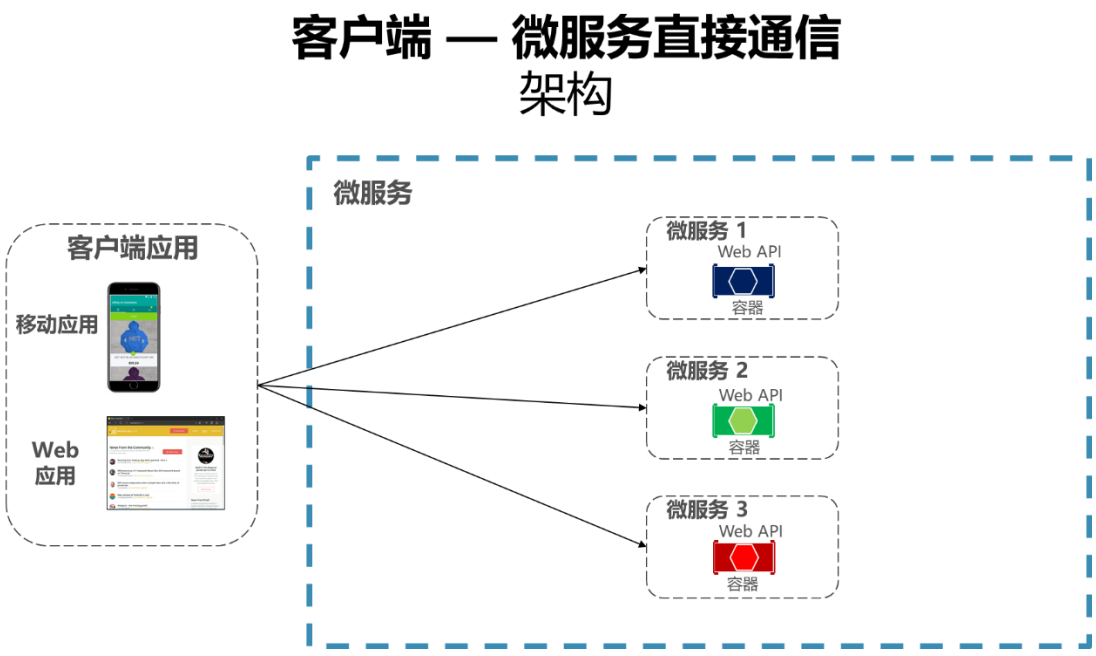


*图 4-12. **使用客户端微服务直连的架构***

这种方式中，每个微服务有一个公开的端点，有时候每个微服务有不同的 TCP 端口。例如某个特定服务在 Azure 上的 URL 地址如下：

http://eshoponcontainers.westus.cloudapp.azure.com:88/

在生产环境集群中，这个 URL 应该映射到集群的负载均衡器上，借此将请求分发给微服务。在生产环境的微服务和互联网之间，应该有一个应用分发控制器（ADC），例如 Azure 应用网关（Application Gateway），作为透明层，它不仅可以用来实现均衡负载，还提供了保证服务安全的 SSL。通过将 CPU 密集的 SSL 处理和其他路由任务负载转移到 Azure 应用网关，可提升主机的处理能力。无论如何，从架构视角来看，负载均衡和 ADC 对于逻辑应用是透明的。

客户端微服务直连架构足矣胜任小型微服务系统，尤其是当客户端是服务器上的 Web 应用，例如 ASP.NET MVC 时。但在创建复杂的大型微服务应用（例如要处理几十个微服务类型），尤其是客户端都是远程的移动应用或 SPA Web 应用时，这种方法会遇到一些问题。

在开发大型微服务应用时，应该考虑如下问题：

- 客户端应用如何降低到后台的请求数量，并减少与多个微服务的无效交互？

一个单独的 UI 界面与多个微服务交互，这种做法会增加网络交互的数量，以及 UI 的延迟和复杂程度。理想情况下，应该在服务端有效聚合这些响应，借此降低延迟。当多块数据并行返回时，一些 UI 能够在数据到位时立即更新。

- 如何处理跨界限问题，例如授权、数据传输和动态请求派发？

  为每个微服务实现安全和界限问题，例如安全性和授权机制，这需要大量的开发投入。为了限制从外部直接访问，一种可能的方法是把这些服务放进 Docker 主机或内部集群中，再通过一个中间位置，例如 API 网关来解决跨界限问题。

- 客户端如何与使用非互联网友好协议的服务进行交互？

  服务端使用的协议（如 AMQP 或二进制协议）通常无法被客户端支持。因此，请求必须通过诸如 HTTP/HTTPS 的协议来发起，并在后端转换成其他协议。“中间人”方法能满足这个场景。

- 如何设计外观模式，尤其是面向移动应用进行设计？

  很多微服务的 API 也许不能很好地满足不同客户端的需要。例如移动端与网页应用的要求就是截然不同的，移动端需要进一步优化以便数据响应更有效率。为此，我们也许可以整合多个微服务的数据来返回单个数据集，有时要从响应中去掉移动端不需要的数据，还要压缩数据。所以这样的场景下，在移动端和微服务之间使用外观模式（Facade）或 API 就变得很方便了。

使用 API 网关

当设计和创建支持多种客户端的大型或复杂微服务应用时，一种好办法是使用 API 网关，这是一种能为多个微服务提供单个入口的服务，类似于面向对象设计的外观模式，但 API 网关也是分布式系统的一部分。API 网关模式有时也称为“面向前端的后端（BFF）”，因为它是为了满足客户端需要而创建的。

图 4-13 展示了 API 网关是如何融合在微服务架构中的。

在图中需要强调的一点是，我们可以使用单一的自定义 API 网关服务来面对多个不同客户端应用，但这会造成巨大的风险，因为 API 网关服务会随着客户端应用需求的变化而增长并演化，最终它会因为需求的变化而变得臃肿，在效果上将会等同于单体应用或服务。因此我们极力推荐将 API 网关拆分成多个服务或多个小型的 API 网关，每个 API 网关都有自己的形式。

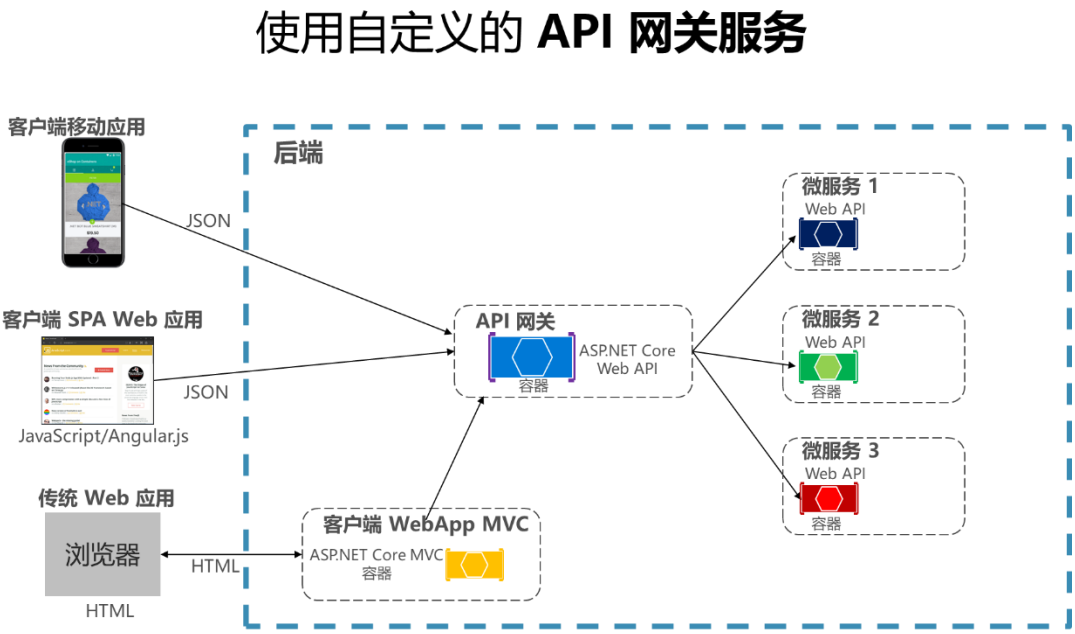


图 4-13. 在微服务架构中使用 API 网关模式

在这个例子里，API 网关使用自定义的 Web API 来实现，并运行在容器中。

如上所述，我们应该创建多个 API 网关，以便为每种客户端需求实现不同外观。每个 API 网关能针对客户端需求提供适合，但略有差异的 API，甚至可能基于客户端展现形式或设备来实现特定的适配代码，这些代码在底层调用多个内部的微服务。

由于自定义 API 网关通常是数据聚合器，因此需要小心处理。通常来说，使用一个 API 网关将应用中所有内部微服务聚合在一起，这种做法并不明智。如果这么做，就等同于创建了一个将所有微服务耦合在一起的单体聚合器或编排引擎，这违反了微服务的自治原则。因此，API 网关应该基于业务边界来拆分，而不是作为整个应用的一个聚合器。

有时候，粒度化的 API 网关本身也能成为一个微服务，甚至有自己的领域或业务名称以及相关数据。根据业务或领域的描述来确定 API 网关的边界会对设计有帮助。

将 API 网关粒度化分层，这种做法对基于微服务的，更高级的组合 UI 应用特别有好处，因为设计精良的 API 网关跟 UI 组合服务的概念很类似。我们将后续的“基于微服务创建组合 UI”一节详细讨论。

因此，针对很多大中型应用，使用自定义 API 网关通常是一个好方案，但不应将其用作单体式聚合器或唯一的中央 API 网关。

另一种方案是使用 Azure API 管理（API Management）这样的产品，如图 4-14 所示。这种方案不仅满足 API 网关的需求，也提供了如搜集 API 统计信息的功能。如果使用 API 管理方案，API 网关将成为整个 API 管理方案的一个组件。

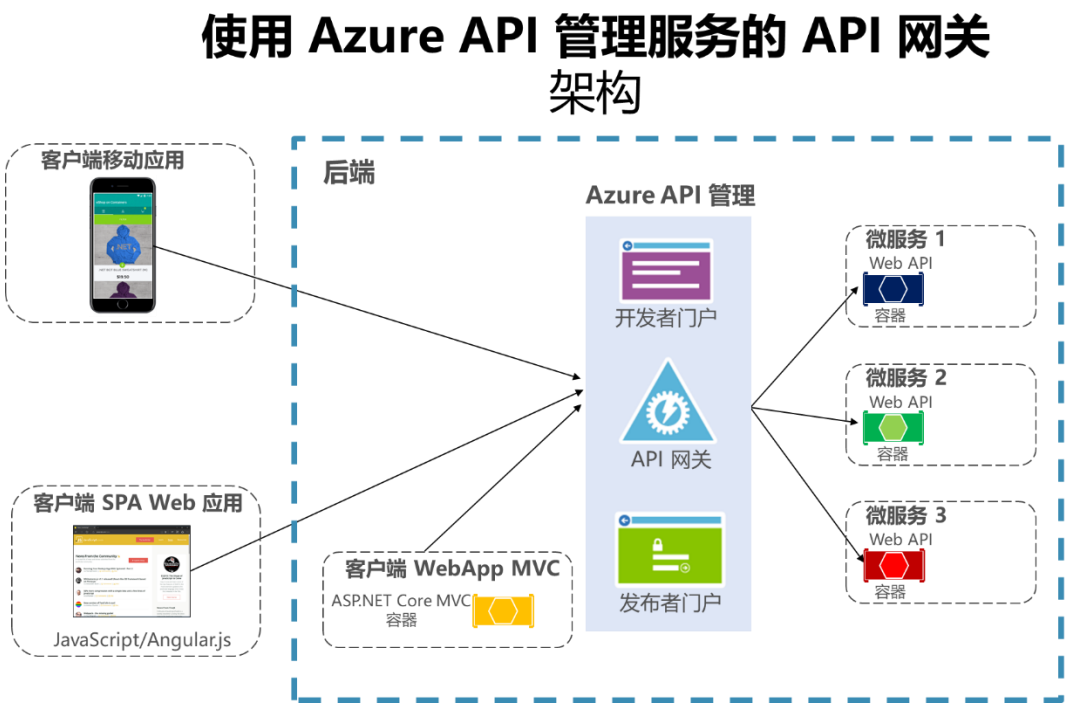


*图4-14. **使用Azure API 管理（API Management）实现API 网关***

本方案使用了 Azure API 管理这样的产品，由于这样的 API 网关更“扁平”，所以使用单一 API 网关也不会有太大风险，这意味着我们不必自己写很多朝着单体组件发展的 C#代码了。

这类产品更像是入口通信的反向代理，在这单独的一层中，我们也可以过滤内部微服务的 API，或者在已发布的 API 上添加授权。

API 管理系统的统计信息可以帮助我们了解 API 是如何使用的，性能表现如何，还可以让我们查看近乎实时的分析报告，以便识别可能影响业务的趋势。另外也可通过请求响应日志进一步在线或离线分析。

通过使用 Azure API 管理，我们可以用密码、密钥和 IP 过滤器来实现安全性，这些功能可以加强灵活性，提供设计精良的限额和速率限制，使用策略来调整 API 的表现和行为，并使用响应缓存提升性能。

在本书以及示例应用 eShopOnContainers 中，我们把架构简化成自定义的容器化架构，以便聚焦在不使用 Azure API 管理这种 PaaS 类产品的扁平容器上。但对于部署在 Microsoft Azure 上的大型微服务应用，我们建议您使用 Azure API 管理作为 API 网关的基础。

网关模式的不足之处

- 最大的不足是：实现 API 网关时，相应层级的内部微服务就被耦合起来了。这样的耦合也许会为应用带来很大的麻烦。Azure 服务总线团队架构师 Clemens Vaster 在 2016 年 GOTO 上的演讲“消息和微服务”中提到了这个潜在的问题，并将其称作“新 ESB”。
- 使用 API 网关增加了额外的故障点。

- API 网关因额外的网络调用增加了响应时间，但是这些额外调用产生的影响通常并不像客户端接口直接调用内部微服务的影响那么大。
- 如果没有适当扩展，API 网关可能会变成瓶颈。
- 如果 API 网关包含自定义逻辑和数据集成，会要求额外的开发成本和未来的维护成本。为了暴露每个微服务的接口，开发人员必须更新 API 网关。甚至内部微服务的实现逻辑变更也会导致 API 网关的代码变更。然而如果 API 网关只使用了安全性、日志管理和版本管理（当使用 Azure API 管理时）功能，这些额外的开发工作便不会发生。
- 如果 API 网关由一个团队开发，那么会存在开发瓶颈。因此提供多个设计精良的，处理不同客户端要求的 API 网关，这种方式往往显得更适合。我们也可以在内部把 API 网关拆分成多个区域或层级，并由不同的内部微服务团队来开发。

其他资源

- **Charles Richardson. 模式：API 网关/前端和后端**
  http://microservices.io/patterns/apigateway.html
- **Azure API 管理（API Management）**
  https://azure.microsoft.com/services/api-management/
- **Udi Dahan. 面向服务的组合**
  http://udidahan.com/2014/07/30/service-oriented-composition-with-video/
- **Clemens Vasters. GOTO 2016 上的“消息和微服务”（视频）**
  https://www.youtube.com/watch?v=rXi5CLjIQ9k

微服务间的通信

在通过一个进程运行的单体应用中，组件调用将使用语言级别的方法和函数。如果使用代码创建对象（如 new ClassName()）就会造成强耦合，或者可以使用依赖注入来引用抽象类而不是具体类的实例，借此实现解耦的方式调用。不管哪种方式，对象都运行在相同进程里。将单体应用改成微服务应用的最大挑战就是通信机制的变化，直接把进程内方法调用改成服务间 RPC 调用，会导致在分布式环境中产生性能低下、零散、低效的通信。如何设计合适的分布式系统，这已经成为一个知名的挑战，甚至有个名叫分布式计算谬误的准则，列出了开发人员在迁移单体应用到分布式设计时碰到的问题。

解决方案并非唯一的，而是有很多种。其中之一是尽可能使业务微服务独立，在内部微服务间使用异步通信，并将通常在进程内的细粒度通信替换成粗粒度通信。为此可以把调用组合起来，然后给客户端返回聚合了多个内部调用结果的数据。

微服务应用是一种运行在多个进程或服务里的分布式系统，通常会跨多个服务器和主机。每个服务实例通常是一个进程。因此根据每个服务的本质，服务间必须使用进程间通信协议（如 HTTP、AMQP）或二进制协议（如 TCP）。

微服务社区推崇“端点智能管道静默”的哲学，这个口号鼓励微服务间尽可能解耦，独立的微服务内部尽可能协作的设计。如前所述，每个微服务拥有自己的数据和领域逻辑，但是微服务在组成端到端的应

用时，通常会简单地使用 REST 通信而不是复杂协议（如 WS-*），并使用稳定的事件驱动通信代替中心化的业务处理编排引擎。

此时有两种常用协议：用 HTTP 请求/响应来调用资源 API（大部分用于查询），以及通过轻量的异步消息跨多个微服务进行更新。下文将详细介绍具体细节。

通信类型

客户端和服务的通信有很多不同类型，每种有不同的目的和场景，这些通信类型可以分为两个维度：

第一个维度取决于协议是异步或是同步的：

- 同步协议。HTTP 是一种同步协议。客户端发起请求并等待服务端响应。客户端代码可独立实现同步（线程被阻塞）或异步（线程非阻塞，最终的响应通过回调来处理）的执行方式。这里的重点在于协议（HTTP / HTTPS）是同步的，客户端代码只能在收到 HTTP 服务端的响应后才可以继续先前的任务。
- 异步协议。诸如 AMQP（很多操作系统和云环境支持的一种协议）等协议使用了异步消息。客户端代码或消息发送者通常不需要等待响应，只要把消息发送给 RabbitMQ 队列或其他消息代理即可。

第二个维度取决于有单个接收者或是多个接收者：

- 单个接收者。每个请求必须准确地被一个接收者或服务来处理，例如命令模式。
- 多个接收者。每个请求能被 0 个或多个接收者处理，这类通信必须是异步的，例如事件驱动架构里的发布/订阅机制。它基于事件总线接口或消息代理，在多个微服务间通过事件传送数据。这种模式通常以使用主题和订阅的服务总线或类似的产品，如 Azure 服务总线（Azure Service Bus）来实现。

一个微服务应用通常会组合使用这些通信风格。当调用常规 Web API HTTP 服务时，最通用的类型是使用单个接收者的同步协议，如 HTTP/HTTPS。微服务也经常使用消息协议来实现微服务间的异步通信。

明白这些维度对于清晰认识可能的通信机制有好处，但是它们不是创建微服务的重点。集成微服务时，重点在于客户端线程执行的异步特性并不是所选协议的异步特性。重要的是在维持微服务独立性的同时，能够异步地集成它们。下文将详细介绍。

异步整合方式增强微服务自治

如前所述，创建微服务应用的重点在于整合微服务的方式。理想情况下，应该减少内部微服务间的通信，微服务间的交互越少越好，当然很多场景下不得不进行一些交互。着手开发时要注意，核心规则是微服务间的交互需要异步。这并不意味着一定要使用某种特定协议（如异步消息或同步 HTTP），只是

表明微服务间通过异步传输数据来通信，但不要依赖于其他内部微服务作为自己 HTTP 请求/响应的一部分。

如果可能，即便只是用于查询，也绝不要依赖微服务间的同步通信（请求/响应）。每个微服务应以自治以及对客户端可用为目标，即使作为端到端应用一部分的其他服务发生故障或不稳定也应如此。如果需要从一个微服务调用其他微服务（如发起 HTTP 请求来查询数据）为客户端应用提供响应结果，那么这样的架构在其他微服务发生故障时就变得不稳定。

此外，微服务间如果存在 HTTP 依赖，例如串联 HTTP 请求创建很长的请求/响应周期，如图 4-15 的第一部分所示，这样不仅使微服务不能自治，而且一旦这个链条上的某个服务有性能问题，整个服务的性能都将受到影响。

微服务间添加的同步依赖（如查询请求）越多，客户端应用的总响应时间就会越长。

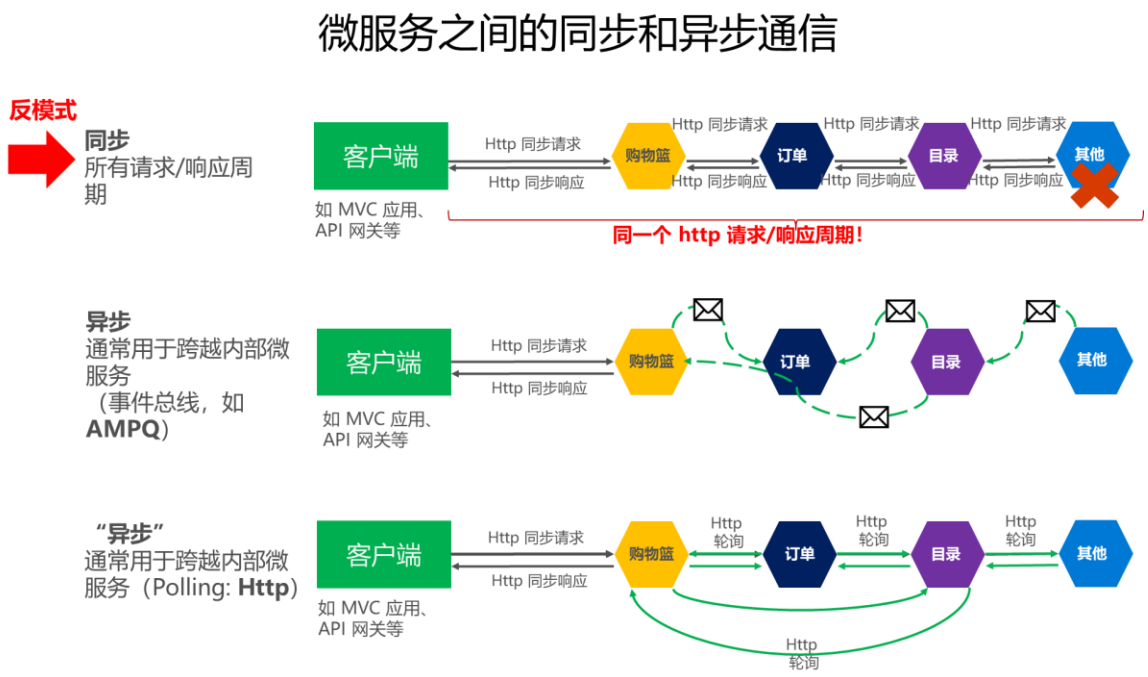


*图 4-15. **微服务通信的反模式和模式***

如果微服务确实需要在其他微服务里引发额外操作，可能的情况下尽量不要用同步方式执行，也不要将其作为这个微服务请求响应操作的一部分，而是用异步方式处理（使用异步消息或集成事件、队列等）。但是请尽最大可能不要作为最初同步请求响应操作的一部分去同步地调用这些额外操作。

最后（这也是创建微服务时碰到最多的问题），如果最初的微服务需要原本在别的微服务里拥有的数据，不要依靠同步请求来获取数据。而是通过最终一致性（通常通过集成事件，下文将详细介绍）方式来复制或传输这些数据到最初的微服务的数据库中。

在前文“识别微服务的领域模型边界”一节里提到过，跨多个微服务复制数据这做法本身并没有错，相反，此时可以将数据转换成领域或限界上下文特定的语言或术语。例如在 eShopOnContainers 应用中有一个叫 identity.api 的微服务，其中包含一个名为 User 的实体被用来管理大部分用户数据。然而，当我们需要在订单微服务里保存用户数据时，就以名为 Buyer 的不同实体来存储。Buyer 实体与 User 实体共用相同标识，但订单领域只需要很少的属性而不是整个用户资料。

为了获得最终一致性，可以使用任何协议在微服务间异步地通信来获取数据。如前所述，可以使用事件总线或消息代理的集成事件，甚至使用 HTTP 轮询都可以。重点在于：不要在微服务间创建同步依赖。

下文将详细介绍可以考虑用在微服务应用里的不同通信风格。

通信风格

根据通信类型，可通过多种协议和选择进行通信。如果使用同步的请求/响应通信机制，最常用的协议是 HTTP 和 REST，尤其是把服务发布在 Docker 主机或微服务集群之外时。内部通信（在 Docker 主机或微服务内部）也可以使用二进制通信机制（如远程 Service Fabric 或使用 TCP 和二进制格式的 WCF）。另外也可以使用异步的、基于消息的通信机制（如 AMQP）。

我们还可以选择多种消息格式，如 JSON 或 XML，甚至更高效的二进制格式。如果选择非标准的二进制格式，服务的对外发布会遇到麻烦。此时可以为内部微服务选择非标准格式，例如在 Docker 主机或微服务集群（Docker 编排引擎或 Azure Servie Fabric）内的微服务间通信时采取这样的做法，或者在专用客户端应用和微服务通信时，也可以使用这种方式。

使用 HTTP 和 REST 的请求/响应通信

当客户端使用请求/响应通信时，将发起一个到服务端的请求，随后服务端处理请求并返回响应内容。请求/响应通信尤其适合客户端应用的实时数据查询 UI（实时界面）。因此在微服务架构中，我们可能会使用这种通信机制来处理大部分查询。如图 4-16 所示。

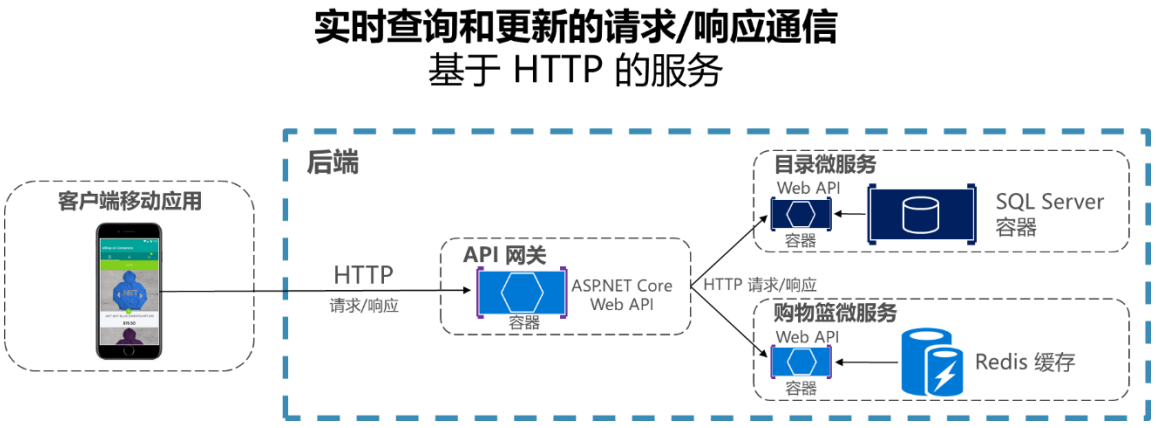


*图 4-16. **使用 HTTP 请求/响应通信（同步或异步）***

当客户端使用请求/响应通信时，前提认为响应内容会在很短时间内返回，通常低于 1 秒，最多几秒时间。面对延迟的响应，需要基于消息模式和消息技术来实现异步通信，这是一种不同方式，下文将详细介绍。

REST 是一种流行的请求/响应通信架构风格，这种方式基于 HTTP 协议并与其紧密耦合，会使用 HTTP 谓词（如 GET、POST 和 PUT）。REST 是创建服务时最常用的架构通信方式，我们可以通过开发 ASP.NET Core Web API 服务来实现 REST 服务。

使用 HTTP REST 服务作为接口定义语言还可以带来额外的优势，例如使用 Swagger 元数据来描述服务 API，借此便可使用工具来生成能够直接发现和使用服务的客户端。

其他资源

- **Martin Fowler. Richardson 成熟度模型。REST 模型的一种描述**
  http://martinfowler.com/articles/richardsonMaturityModel.html
- **Swagger.** 官方网站
  http://swagger.io/

基于 HTTP 的推送和实时通信

另一种方法（通常用于与 REST 不同的目的）是使用高级框架和协议（如 ASP.NET SignalR 和 WebSockets）实现实时的一对多通信机制。

如图 4-17 所示，实时 HTTP 通信意味着，当数据可用时，服务端代码会推送内容到已连接的客户端，而不是服务端等待客户端来请求新数据。

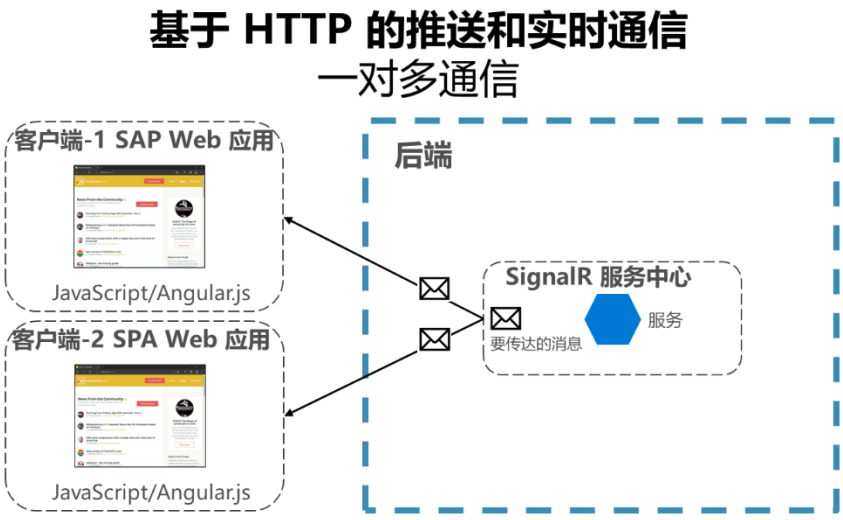


*图 4-17. **一对一的实时异步消息通信***

因为通信是实时的，客户端应用几乎能立即显示变化，这通常是通过诸如 WebSockets 这样的协议来处理，并使用多个 WebSockets 连接（每个客户端一个）。一个典型的例子是：服务端同时传输体育运动的分数给多个客户端网页应用。

异步消息通信

跨越多个微服务及其相关领域模型传送变化时，使用异步消息和事件驱动的通信至关重要。如前所述，模型（用户、客户、产品、帐户等）在不同微服务或 BC 里可能有不同含义。这意味着当发生变化时，需要一些方法来协调不同模型中的变化。一种解决方案是基于异步消息传递和事件驱动的最终一致性。

当使用消息时，进程间通过异步交换消息进行通信。客户端向服务器发送消息来下达命令或发起请求。如果服务端需要回复，则会向客户端发送另一个不同消息。由于这是一种基于消息的通信，客户端会认为该回复将不会立即收到，并且可能根本不会有响应。

消息由标题（如标识或安全信息的元数据）和主体组成。消息通常通过异步协议（如 AMQP）发送。

在微服务社区中，这种类型通信的首选底层架构是轻量级消息代理，它与 SOA 中使用的大型代理和编排引擎不同。在轻量级消息代理中，底层架构通常是“愚蠢的”，仅用作消息代理，例如 RabbitMQ 等简单的实现，以及 Azure 服务总线等云端的可扩展服务总线实现。此时大多数“智能”思维仍然存在于生产和使用消息的端点，即微服务中。

我们还需要尽可能遵循另一个规则：只在内部服务间使用异步消息传递，只在从客户端应用到前端服务（API 网关加上第一级微服务）间使用同步通信（如 HTTP）。

异步消息通信有两种：单接收者消息通信，多接收者消息通信。下文将详细介绍。

单接收者消息通信

与单个接收者进行基于消息的异步通信，意味着通过点对点通信，将消息分发给正在通过信道读取的消费者，并且该消息仅处理一次。但是也有特例，例如云系统在尝试自动从故障中恢复时，同一个消息可以发送多次。由于网络或其他故障，客户端必须能够重试发送消息，并且服务器必须实现幂等的操作，以确保特定消息仅处理一次。

单接收者消息通信特别适合将异步命令从一个微服务发送到另一个微服务，图 4-18 展示了这种方法。

一旦开始发送基于消息的通信（使用命令或事件），应避免将基于消息的通信与同步 HTTP 混合。

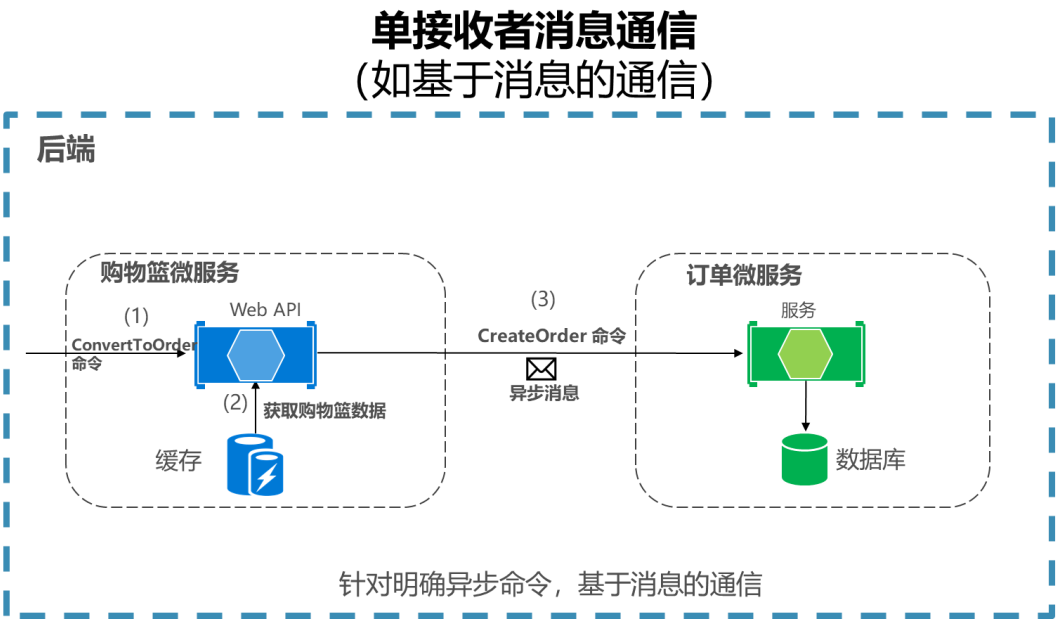


*图 4-18. **一个接收异步消息的微服务***

请注意，当命令来自客户端应用程序时，可以实现 HTTP 同步命令。当需要更高级别的可扩展性，或者已经在使用基于消息的业务流程时，就应该使用基于消息的命令。

多接受者消息通信

作为一种更灵活的方法，我们可能还需要使用发布/订阅机制，以便发布者的通信可用于其他订阅者微服务或外部应用。因此，这种方式可以帮助我们在发送服务中遵循开闭原则。这样将来便可以添加其他订阅者，而无需修改发送服务。

使用发布/订阅通信时，我们可以使用事件总线接口将事件发布到任何一个订阅者。

异步事件驱动通信

使用异步事件驱动通信时，如果一个微服务的领域内发生了需要告知其他微服务的事件（例如目录微服务中的价格变化），此时该微服务会发布一条集成事件。其他微服务只需订阅这个事件，便可异步接收。对于这种情况，接收者可能需要更新自己的领域实体，这可能导致发布更多集成事件。这样的发布/订阅系统通常使用事件总线来实现。事件总线可以设计成抽象形式或接口形式，使用 API 来实现需要订阅或取消的事件和发布事件。事件总线可以由基于任何进程间和消息代理的一个或多个实现，例如支持异步通信的消息队列或服务总线，以及发布/订阅模式。

如果系统使用由集成事件驱动的最终一致性，建议让这种方法对最终用户完全透明。系统不应该使用模仿集成事件的方法，如来自客户端的 SignalR 或轮询系统。最终用户和业务方必须明确接受系统的最终一致性，并意识到在许多情况下，只要是明确的，就不会对业务造成任何问题。

如前文在“分布式数据管理的挑战和解决方案”一节所述，我们可以使用集成事件来实现跨多个微服务的业务任务。借此便可在这些服务间实现最终一致性。最终一致的事务由分布式的操作集合而成。在每个操作中，相关微服务更新一个领域实体，并发布另一个集成事件，该事件在相同的端到端业务任务中引发下一个操作。

重点在于我们可能要与多个订阅了相同事件的微服务通信，为此可以使用基于发布/订阅的消息事件驱动通信，如图 4-19 所示。发布/订阅机制不是微服务架构独有的，它与 DDD 里的限界上下文通信和 CQRS 架构模式中从可写数据库到只读数据库产生更新的方式相似。目的在于，在分布式系统中跨多个数据源达到最终一致性。

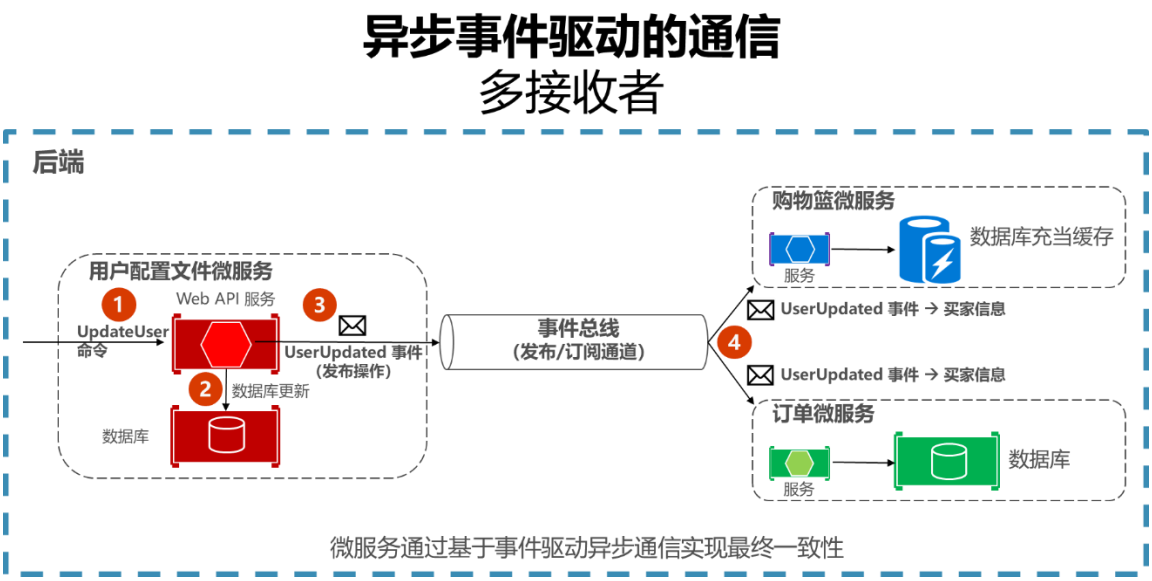


*图 4-19. **异步事件驱动消息通信***

具体实现中要决定为事件驱动及基于消息的通信采用什么协议。AMQP 有助于实现可靠的队列通信。

使用事件总线时，可能需要使用抽象层级（如事件总线接口），它使用相关的类代码来实现，并使用消息代理（如 RabbitMQ 或服务总线，如 Azure 主题服务总线）的 API。另外，可能需要使用高层级的服务总线（如 NServiceBus、MassTransit 或 Brighter）来作为事件总线和发布订阅系统的表示层。

关于生产系统的消息技术

用来实现抽象事件总线的消息技术有不同层级。例如 RabbitMQ（一种消息传送代理）和 Azure 服务总线等产品属于较低层级；此外还有其他产品（如 NServiceBus、MassTransit 或 Brighter）能在 RabbmitMQ 和 Azure 服务总线之上运行。我们可以根据应用对功能以及开箱即用的扩展性需求作出选择。如果只是在开发环境实现验证理论的事件总线，就如同 eShopOnContainers 示例中的做法那样，一个运行在 Docker 容器中，在 RabbitMQ 基础上简单的实现就足够了。

对于需要高扩展性的关键生产系统，可以考虑 Azure 服务总线。如果想要使用高层级抽象和功能让分布式应用的开发变得更容易，推荐考虑其他商业或开源的服务总线，如 NServiceBus，MassTransit 和

Brighter。当然我们也可以在低层级技术（如 RabbitMQ 和 Docker）基础上创建自己的服务总线，但这些繁重的工作对于企业应用会造成很大的开销。

弹性发布到事件总线

跨多个微服务实现事件驱动的架构有一个挑战：当弹性发布集成事件到事件总线上时，如何自动更新原始微服务的状态？尤其是某些基于事务的方式更容易遇到这样的情况。下文列举了一些（并非全部的）实现方式。

- 使用（基于 DTC 的）事务队列，如 MSMQ（但这是一种遗留方法）。
- 使用事务日志挖掘。
- 使用完整的事件溯源模式。
- 使用远见模式：创建和发布事件的组件使用事务数据库的表作为消息队列存储。

使用异步通信还要考虑消息的幂等和重复等问题。这些话题将在本书“在微服务间实现事件通信（集成事件）”一节详细介绍。

其他资源

- **事件驱动的消息**
  http://soapatterns.org/design_patterns/event_driven_messaging
- **发布/订阅渠道**
  http://www.enterpriseintegrationpatterns.com/patterns/messaging/PublishSubscribeChannel.html
- **Udi Dahan. 认清 CQRS**
  http://udidahan.com/2009/12/09/clarified-cqrs/
- **命令查询职责分离 (CQRS)**
  https://docs.microsoft.com/azure/architecture/patterns/cqrs
- **限界上下文间的通信**
  https://msdn.microsoft.com/library/jj591572.aspx
- **最终一致性**
  https://en.wikipedia.org/wiki/Eventual_consistency
- **Jimmy Bogard. 向弹性重构：评估耦合**
  https://jimmybogard.com/refactoring-towards-resilience-evaluating-coupling/

创建、改进和控制微服务 API 的版本和契约

微服务的 API 是服务端和客户端之间的契约。我们只能在不破坏 API 契约的前提下独立地改进微服务，所以契约很重要。如果改变了契约，就会影响到客户端应用或 API 网关。

API 的定义依赖于所用协议。例如使用（诸如 AMQP 这类协议）消息时，API 由消息类型组成。如果使用 HTTP 和 REST 风格的服务，API 则由 URL 和请求以及 JSON 格式的响应组成。

然而，即便初始版本的契约已经考虑周全了，随着时间发展，服务的 API 也可能需要改变。如果发生了变化，尤其是被多个客户端应用调用的公共 API，通常无法强制所有客户端升级到新的 API 契约。通常这需要增量部署服务的新版本，同时也要让老版本和新版本服务契约同时运行。因此，服务的版本策略很重要。

如果 API 的改动较小，例如添加了属性或参数，使用旧版 API 的客户端应该能切换过来，和新版服务协同工作。我们可以为必需的属性提供默认值，客户端将会忽略任何额外的属性。

但有时我们需要对服务 API 进行不兼容的大版本更新。因为不能强制客户端应用或服务立刻升级到新版，服务端必须支持老版本继续运行一段时间。如果使用基于 HTTP 的机制（如 REST），一种方式是把 API 的版本号嵌入到 URL 或 HTTP 头部。然后可以决定是在一个服务里同时实现两个版本的 API，或是部署不同的服务来各自处理一个版本的 API。此时一种较好的方法是采用中介者模式（如 MediatR 库）将不同版本的实现用不同的处理器来处理。

最后，如果使用 REST 架构，Hypermedia 是用来进行服务版本化和改进的最佳选择。

其他资源

- **Scott Hanselman. 轻松实现 ASP.NET Core RESTful Web API 版本管理**
  http://www.hanselman.com/blog/ASPNETCoreRESTfulWebAPIVersioningMadeEasy.aspx
- **RESTful Web API 版本管理**
  https://docs.microsoft.com/azure/architecture/best-practices/api-design#versioning-a-restful-web-api
- **Roy Fielding. 版本、超媒体和 REST**
  https://www.infoq.com/articles/roy-fielding-on-versioning

微服务的可发现性和服务注册

每个微服务通过一个唯一名称（URL）代表自己的地址。无论运行在哪里，微服务都必须是可发现的。如果不得不仔细回想某个微服务到底运行在哪台计算机上，局面很快将变得非常糟糕。与 DNS 将 URL 解析到特定计算机一样，微服务也需要有唯一名称，确保自己的地址是可发现的。微服务需要有可发现的名称，借此将自己从运行微服务的基础设施中区分出来，这也意味着在服务的部署方式和发现方式之间存在交互，因此需要具备服务注册表。同理，当一个节点发生故障，注册表必须能够指出该服务最新的运行位置。

服务注册模式是服务发现的关键部分。注册表是一个包含服务实例网络地址的数据库。服务注册表需要高度可用并保持最新。客户端可以将从服务注册表获取的网络地址缓存起来，但这些信息最终会过时，导致客户端找不到服务实例。因此，服务注册表通常由采用复制协议来维持可用性的服务器集群组成。

在一些微服务部署环境（称为集群，下文会介绍）中，服务发现能力是内置的。例如在 Azure 容器服务（Container Service)环境里，使用 Marathon 的 Kubernetes 和 DC/OS 处理服务实例的注册和撤销。此外还能在每个集群中运行一个代理，用来作为服务端发现的路由。另一个例子是 Azure Service Fabric，它也提供了开箱即用的命名服务来实现服务注册。

请注意：服务注册和 API 网关模式有些功能上的重叠也有助于解决这个问题。例如 Service Fabric 反向代理实现了基于 Service Fabric 命名服务的 API 网关，能用来解决内部服务的地址查找问题。

其他资源

- **Chris Richardson. 模式：服务注册**
  http://microservices.io/patterns/service-registry.html,xu
- **Auth0. 服务注册**
  https://auth0.com/blog/an-introduction-to-microservices-part-3-the-service-registry/
- **Gabriel Schenker. 服务发现**
  https://lostechies.com/gabrielschenker/2016/01/27/service-discovery/

创建基于多个微服务组合界面，其中包括由微服务生成的可视化 UI 外观和布局

微服务架构通常始于服务端的数据处理和逻辑。但一种更先进的方法是设计基于微服务的应用界面，这意味着我们拥有一个由多个微服务生成的组合界面，而不是由一个单体客户端应用来调用服务器上的微服务。采用这种方式的微服务能够完整地包括逻辑和可视化展现。

图 4-20 简单展示了一个单体式客户端应用调用后端微服务的场景。当然，我们应该用一个 ASP.NET MVC 服务来生成 HTML 和 JavaScript。该图进行了简化，借此突出单一（单体式）客户端界面调用多个微服务的过程，这些微服务仅仅关注逻辑和数据，而不关注界面展现（HTML 和 JavaScript）。

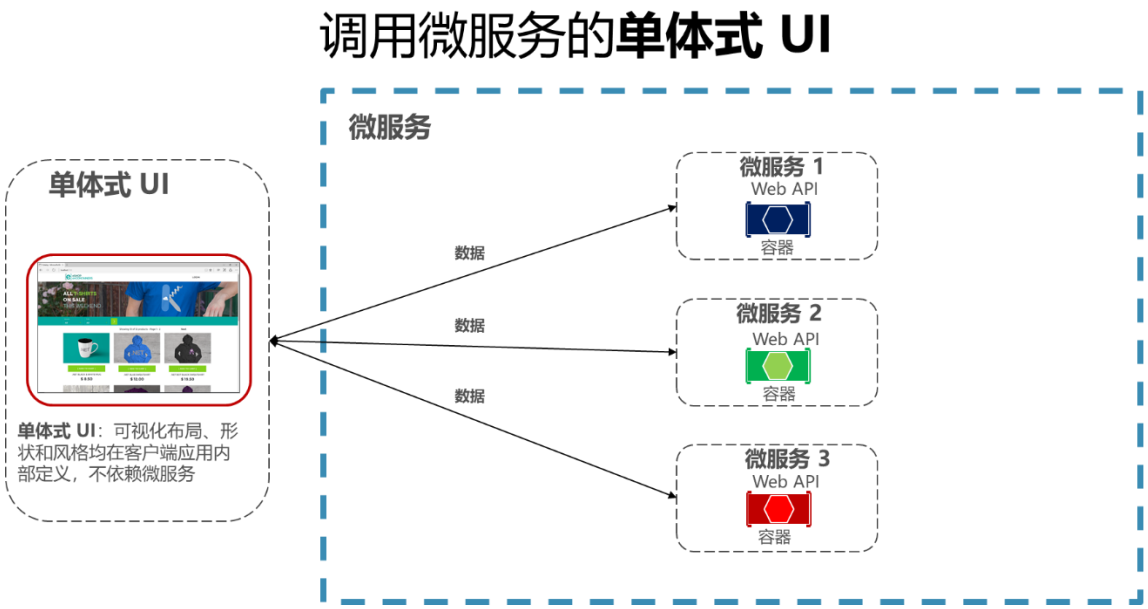


图 4-20. 一个调用多个后台微服务的单体 UI 应用

作为对比，组合式界面是由微服务自己生成并组合的。某些微服务控制了界面特定区域的可视化展现。关键区别在于：客户端界面组件（如 TS 类）是基于模板的，而这些模板的数据可视界面的 ViewModel 来自各个微服务。

在客户端应用启动时，每个 UI 组件（如 TypeScript 类）将自己注册到能为特定场景提供 ViewModel 的底层微服务上。如果这个微服务更新了展现，界面也会发生变化。

图 4-21 展示了这样的组合式界面。此图也进行了简化，因为我们或许还有其他微服务来聚合不同技术的细粒度模块 - 这取决于是在创建传统 Web 应用（ASP.NET MVC）还是 SPA（单页面应用）。

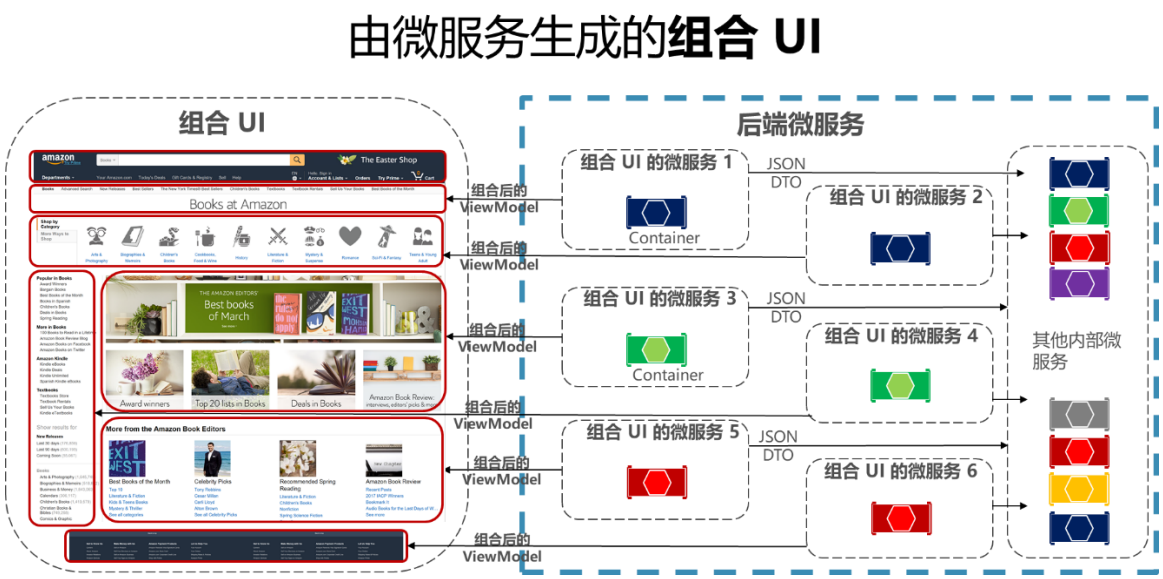


*图 4-21. **由后端微服务生成的组合式界面应用示例***

每个界面组合的微服务与小型 API 网关类似，但在这里它只负责一小区域的界面。

根据界面所采用的技术，由微服务生成组合式界面的方式或多或少会带来挑战。例如，我们将不能使用与传统 Web 应用相同的技术来创建 SPA 或原生移动应用（尤其是开发 Xamarin 应用时，这种方式会更有难度）。

由于多种原因，示例应用 eShopOnContainers 采用了单体式界面。首先，它是用来介绍微服务和容器的，组合式界面更先进，但在设计和开发界面时更复杂。其次，eShopOnContainers 提供了基于 Xamarin 的原生移动应用，会使客户端的 C#代码变得更复杂。

另外我们鼓励大家参考下列资源来了解更多的基于微服务的组合式界面。

其他资源

- **使用 ASP.NET 的组合 UI（Particular 的一个 Workshop）**
  https://github.com/Particular/Workshop.Microservices/tree/master/demos/CompositeUI-MVC
- **Ruben Oostinga. 微服务架构下的单体前端应用**
  http://blog.xebia.com/the-monolithic-frontend-in-the-microservices-architecture/

- **Mauro Servienti. 更好组合 UI 的秘诀**
  https://particular.net/blog/secret-of-better-ui-composition
- **Viktor Farcic. 将前端 Web 组件包含在微服务中**
  https://technologyconversations.com/2015/08/09/including-front-end-web-components-into-microservices/
- **管理微服务架构中的前端应用**
  http://allegro.tech/2016/03/Managing-Frontend-in-the-microservices-architecture.html

微服务的适应性和高可用性

意外故障的处理是个大难题，对分布式系统来说尤为如此。我们开发的大部分代码均包含异常处理，这还需要花大量时间进行测试。问题在于处理故障比写代码更困难。微服务发生故障时，服务器到底发生了什么？我们不仅要检测到微服务的故障（本身的问题），还需要一些条件来重启微服务。

微服务要能适应故障，并且能（通常来说）在其他机器上重启以获得可用性，这种适应性同样适用于底层保存的微服务状态，无论是否成功重启，均可通过这种状态恢复微服务。换句话说，计算容量（进程随时能重启）和状态数据（数据不丢失且保持一致）都需要适应性。

某些情况下，适应性问题会更严峻，例如应用升级过程中遇到故障时。所部署系统中的微服务需要决定能否继续升级新版本，或者为了维护一致的状态数据而回滚到以前的版本。因此我们需要充分考虑诸如是否有足够的机器来升级，以及如何恢复以前的版本等问题。这就要求微服务能够发布运行状况信息，以便整个应用和编排引擎能够作出决定。

另外，适应性还关系到云系统必要的功能。如前所述，云端系统必须能接受故障并尝试自动从故障中恢复。例如，假设网络和容器发生故障，客户端应用或服务必须通过策略重新发送消息或重新发起请求，因为大多数情况下云端故障都是局部的。在本书的“实现弹性应用”一章介绍了如何处理局部故障，并推荐了一些技术手段（例如采用越来越快的重试，或者通过在.NET Core 里使用诸如 Polly 库的断路器模式），它们都提供了处理这个问题的多种策略。

微服务的运行状况管理和诊断

一个虽然明显但经常被忽略的问题在于：微服务必须报告它的运行状况和诊断信息，否则从运营角度上获取的信息会很少。跨越多个独立服务将诊断事件关联在一起，以及处理机器时钟偏差让事件顺序更合理，这些方面有着不小的挑战。如同微服务间的交互需要统一的协议和数据格式，我们也需要通过标准来规定如何记录运行状况和诊断事件，最终保存在事件存储器中供查询查看。微服务方式下，关键在于不同团队必须采用统一的日志格式。应用中也需要通过一致的方式来查看诊断事件。

运行状况检查

运行状况与诊断不同。运行状况是微服务报告当前状态以便执行合适操作的过程，例如配合升级和部署机制来维护可用性。虽然由于进程崩溃或机器重启而不稳定，但服务可能仍然是能用的。此时就不应该

通过执行升级操作让情况进一步恶化。面对这种情况，可以先进行调查，或者留出时间让微服务恢复。微服务的运行状况事件可以帮助我们做出有依据的决定，并有效帮助我们创建能自愈的服务。

在本书“在 ASP.NET Core 服务里实现运行状况检查”一节中，详细解释了如何在微服务中使用新的 ASP.NET HealthChecks 库，以便微服务能向监控服务报告状态来执行合适的操作。

使用诊断和日志事件流

日志提供了应用或服务运行状况信息，包括异常、警告和简单说明类信息。通常日志体现为文本格式，每行对应一个事件，不过有时候一些异常会提供包含多行内容的栈跟踪信息。

在单体式服务端应用中，我们可以简单地将日志写入磁盘上的文件（日志文件）中，然后用工具分析。由于应用被限制运行在固定的服务器或虚拟机上，通常分析事件流不会太复杂。然而在编排引擎或集群中通过多个节点运行多个服务的分布式应用中，要把分布的事件关联起来就成了一个挑战。

微服务应用不应该尝试自己存储事件输出流或日志，也不需要管理集中存储的事件路由。它应该是透明的，这意味着每个进程只需要将事件流写入到标准输出，运行进程的底层基础执行环境会收集这些信息。例如 Microsoft.Diagnostic.EventFlow 就是这样的一种事件转发器，它会从多个源收集事件流然后发布到输出系统，包括开发环境用到的简单标准输出，或者云上的系统，例如 Application Insights、OMS（本地部署使用）和 Azure 诊断。另外还有大量第三方日志分析平台和工具可提供搜索、报警、报表和监控等功能，甚至可以实时进行，例如 Splunk。

编排引擎管理运行状况和诊断信息

创建微服务应用时不可避免需要应对复杂性，当然，单独的一个微服务很容易处理，但如果有上百种类型和上千个实例，情况将变得异常复杂。如果需要一个稳定的协作系统，不仅要创建微服务架构，还需要具备高可用性、可寻址能力、适应性、运行状况和诊断机制等。

*图 4-22. **微服务平台是一个应用的运行状况管理的基础***

图 4-22 中列出的这些复杂问题，自行解决其实非常困难。开发团队应该解决业务问题并使用微服务方式建立自己的应用程序，而不应该关注复杂的基础架构问题。如果这么做，任何微服务应用的成本都会居高不下。因此目前有很多包括编排引擎或微服务集群的，面向微服务的平台，它们正在尝试解决创建和运行服务的问题，以及如何有效地使用基础架构的资源。

不同编排引擎也许看起来相似，但是提供的诊断和运行状况检测等在功能和成熟度方面有差别，有时候这依赖于操作系统，这一点将在下一章中详细介绍。

其他资源

- **The Twelve-Factor App. XI. Logs: 将日志作为事件流**
  https://12factor.net/logs
- **Microsoft Diagnostic EventFlow 库的 GitHub 地址**
  https://github.com/Azure/diagnostics-eventflow
- **什么是 Azure 诊断**
  https://docs.microsoft.com/azure/azure-diagnostics
- **将 Windows 计算机连接到 Azure 中的 Log Analytics 服务**
  https://docs.microsoft.com/azure/log-analytics/log-analytics-windows-agents
- **记录有意义的日志：使用语义日志应用模块**
  https://msdn.microsoft.com/library/dn440729(v=pandp.60).aspx
- **Splunk.** 官方网站
  http://www.splunk.com
- **EventSource 类. Windows 下的事件跟踪 API（ETW）**
  https://msdn.microsoft.com/library/system.diagnostics.tracing.eventsource(v=vs.110).aspx

编排高扩展和高可用的多容器微服务

如果应用是基于微服务的，或简单地拆分成多个容器，那么就有必要为准备投产的应用使用编排引擎。如前所述，在微服务方案中，每个微服务拥有自己的模型和数据，以便在开发和部署上做到自治。但如果是由多个服务（如 SOA）组成的传统应用，也需要用多个容器或服务来构成一个单体业务应用，并作为分布式系统来部署。这类系统难以扩展和管理。因此，如果想要一个生产环境就绪并且可扩展的多容器应用，就必须使用编排引擎。

图 4-23 展示了在集群上部署的多个微服务（容器）组成的应用。

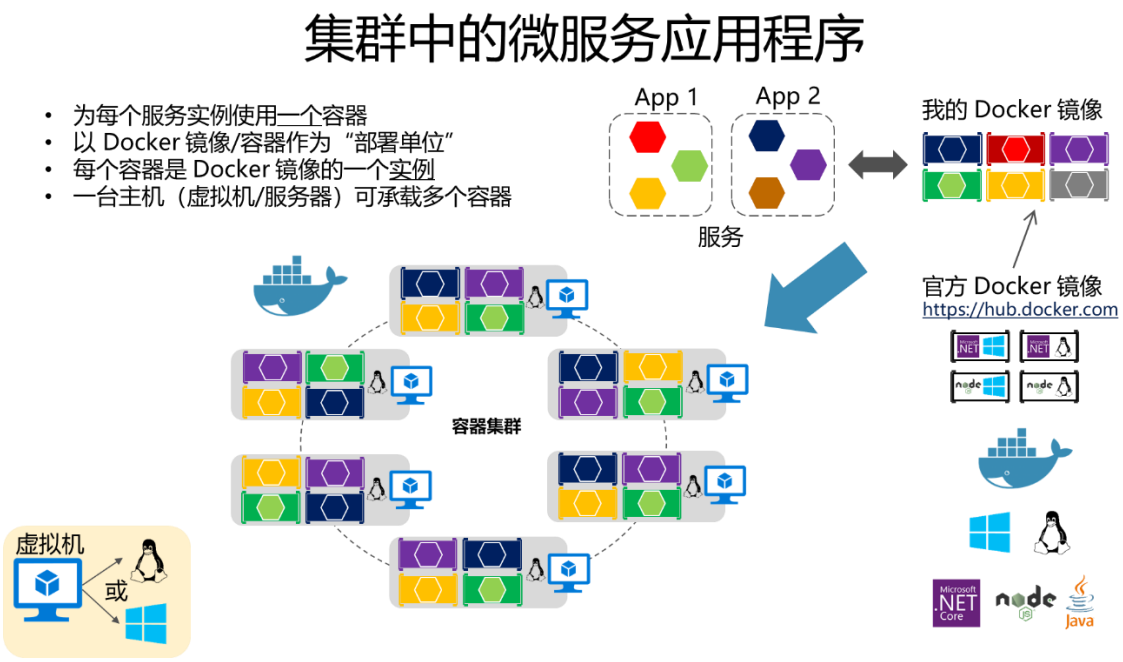


*图 4-23. **一个容器集群***

虽然看起来是一种合乎逻辑的设计，但要如何处理这些组合应用的负载均衡、路由和编排？

在一个主机上运行 Docker 引擎即可满足在一个主机上管理一个容器的需求，但用来管理部署在多个主机中多个容器内的复杂分布式应用时就显得力不从心了。大部分情况下，我们需要一个能按需自动启动、挂起或关闭容器的管理平台，理想情况下还要能控制资源的访问（例如网络和数据存储）。

要从管理独立容器或简单的组合应用切换到管理大型的企业级微服务应用，必须换为使用编排引擎和集群平台。从架构和开发角度来看，如果在创建大型企业组合式微服务应用，一定要对下列为高级场景提供支持的平台和产品有着充分的理解：

集群和编排引擎：如果需要在多个 Docker 主机上横向扩展应用，尤其是大型微服务应用，必须能通过抽象底层平台的复杂性，像一个独立的集群一样管理所有主机。容器集群和编排引擎能帮我们做到这一点。编排引擎主要包括 Azure Service Fabric、Kubernetes、Docker Swarm 和 Mesosophere DC/OS，后面三个开源编排引擎可通过 Azure 容器服务在 Azure 上提供。

调度器：调度意味着管理员可以启动集群容器，因此也需要提供界面。集群调度器有很多职责：有效地使用集群资源、设置用户提供的约束条件、跨节点或主机有效地均衡容器的负载，以及确保高可用性的强容错能力。

集群和调度器在概念上紧密相关，所以不同供应商的产品常常提供了这两类功能。下表展示了可为集群和调度器选择的最重要的平台和软件，这些编排引擎通常已经在公有云（如 Azure）上提供了。

容器集群、编排和调度软件平台

Kubernetes 	Kubernetes 是一个开源软件，功能涵盖集群基层架构到容器调度编排。能够跨集群和主机自动化地部署、扩展和运营应用容器。 Kubernetes 提供以容器为中心的基础架构，将应用容器组织成逻辑单元来方便管理和发现。 Linux 上的 Kubernetes 相比 Windows 上的成熟度更高一些。
Docker Swarm 	Docker Swarm 可帮助我们使用 Docker 容器创建集群并进行调度。借助 Swarm，我们可以把一组 Docker 主机转变成一个独立的虚拟 Docker 主机。客户端能像与主机发起请求一样向 Swarm 发起 API 请求，这意味着 Swarm 让应用在多个主机间的扩展变得更容易。 Docker Swarm 是 Docker 公司的产品。 Docker v1.12 或更新版可原生运行或运行在内置的 Swarm 模式下。
Mesosphere DC/OS 	Mesosphere 企业级 DC/OS（基于 Apache Mesos）是一个可用于生产环境的产品，可用于运行容器和分布式应用。 Linux 上的 DC/OS 相比 Windows 上的成熟度更高一些。 DC/OS 可将集群中的可用资源抽象为集合，并提供给上层组件。通常可把 Marathon 作为调度器与 DC/OS 配合使用。
Azure Service Fabric 	Service Fabric 是微软提供的，用于创建应用程序的微服务平台。它是一个创建主机集群的服务编排引擎。Service Fabric 能以容器或普通进程的方式部署服务，甚至能在同一个应用和集群中混合进程中的服务和容器中的服务。 Service Fabric 提供了附加的以及可选的编程模型规范，如状态服务和 Reliable Actors。 Service Fabric 在 Windows 上（经过了多年的改进）比 Linux 上更成熟。 从 2017 年开始，Service Fabric 可同时支持 Linux 和 Windows 容器。

在 Microsoft Azure 中使用容器编排引擎

很多云供应商提供的 Docker 容器包含了对 Docker 集群和编排的支持，例如 Microsoft Azure、Amazon EC2 Container Service 以及 Google Container Engine。Microsoft Azure 通过 Azure 容器服务（ACS）提供了 Docker 集群和编排，这部分内容会在下一节介绍。

此外还可使用 Microsoft Azure Service Fabric（一种微服务平台），它也支持基于 Linux 和 Windows 容器的 Docker。Service Fabric 可运行在 Azure 或其他云上，也可在本地运行。

使用 Azure 容器服务

Docker 集群可将多个 Docker 主机组合在一起，随后将其暴露为单个虚拟 Docker 主机，这样就能在集群里部署多个容器。集群会处理所有复杂的管理工作（如可扩展性和运行状况等）。图 4-23 展示了 Dcoker 集群组合应用程序并映射到 Azure 容器服务（ACS）上的具体做法。

ACS 为预先配置为运行容器化应用的虚拟机集群的创建、配置和管理提供了简化方法。通过使用流行的开源调度和业务流程工具进行优化配置，ACS 可以帮助我们利用现有技能，或利用不断增长的社区专业知识来部署和管理 Microsoft Azure 上基于容器的应用。

Azure 容器服务专门为 Azure 上流行的 Docker 集群开源工具和技术进行了配置优化，为我们提供了开放的解决方案，它同时提供了容器配置和应用配置的可移植性。我们只需选择大小、主机数量和编排引擎工具，容器服务会处理其他所有任务。

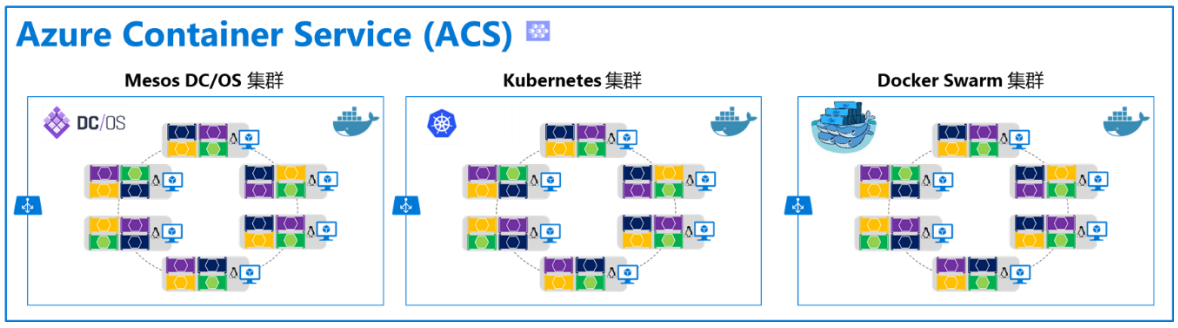


*图 4-24. **Azure 容器服务的集群选择***

ACS 利用 Docker 镜像来保证应用容器的完全可移植性。它支持选用开源编排引擎，如 DC/OS（基于 Apache Mesos）、Kubernetes（最初由 Google 创建）和 Docker Swarm 等来确保应用可以扩展到数千甚至数万个容器。

Azure 容器服务可以让我们在使用 Azure 企业级功能的同时，在编排引擎层面保持应用的可移植性。

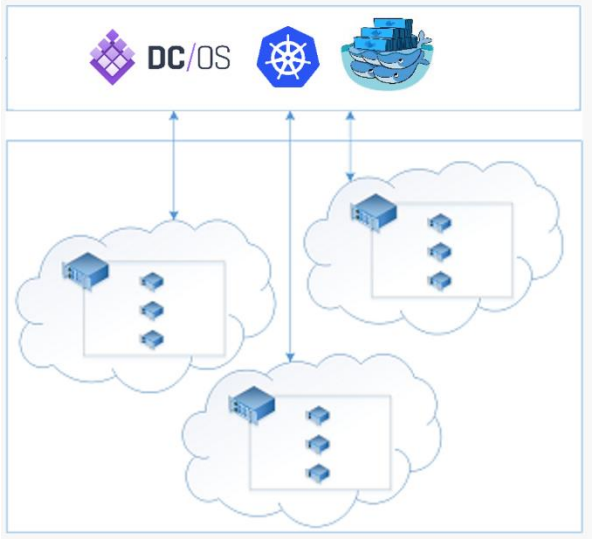


*图 4-25. **ACS 里的编排引擎***

如图 4-25 所示，Azure 容器服务只是 Azure 提供的，用于部署 DC/OS、Kubernetes 或 Docker Swarm 的简单基础架构，ACS 没有实现任何额外的编排引擎。因此 ACS 本身并不是编排引擎，只是利用现有的开源编排引擎的基础架构。

从使用的角度来看，Azure 容器服务的目标是通过使用流行的开源工具和技术来提供容器托管环境。为此，它为所选编排引擎暴露了标准 API 接口。通过这些 API，我们可以使用任何能与它通信的软件。例如，对于 Docker Swarm 的 API 可选择 Docker 命令行接口（CLI），对于 DC/OS 可选择 DC / OS CLI。

Azure 容器服务入门

使用 Azure 容器服务前，请通过 Azure 门户中的 Azure 资源管理器模板或 CLI 来部署 Azure 容器服务集群。可用模板包括 Docker Swarm、Kubernetes 和 DC/OS。我们可以修改快速入门模板，添加额外的高级 Azure 配置。有关部署 Azure 容器服务集群的详情，请参阅“部署 Azure 容器服务集群”。

作为 ACS 的一部分，默认安装的任何软件都不收费。所有默认选项都是用开源软件实现的。

ACS 目前可用于标准的 A、D、DS、G 和 GS 系列 Linux 虚拟机。它仅对所选择的计算实例以及其他底层基础资源（如存储和网络）计费。ACS 本身不产生额外费用。

其他资源

- **使用 Azure 容器服务的 Docker 容器主机解决方案介绍**
  https://azure.microsoft.com/documentation/articles/container-service-intro/
- **Docker Swarm 概览**
  https://docs.docker.com/swarm/overview/
- **Swarm 模式概览**
  https://docs.docker.com/engine/swarm/
- **Mesosphere DC/OS 概览**
  https://docs.mesosphere.com/1.7/overview/

- **Kubernetes.** 官方网站
  http://kubernetes.io/

使用 Azure Service Fabric

Azure Service Fabric 源自微软从提供本地运行的软件产品（通常是单体式应用），到提供服务的过渡阶段所创建和运营大规模服务的经验。这些经验来自各种大规模服务，如 Azure SQL 数据库（Azure SQL Database）、Azure 文档数据库（Azure Document DB）、Azure 服务总线（Service Bus）及 Cortana 后端的构建和运维过程，进而形成了 Service Fabric。随着逐渐演变，该平台开始被越来越多的服务使用。重要的是，Service Fabric 不仅能运行在 Azure 上，还可在独立部署的 Windows Server 上运行。

Service Fabric 旨在解决创建和运行服务过程中，以及高效利用基础架构资源过程中遇到的问题，借此可以帮助团队使用微服务方法解决业务问题。

Service Fabric 可在下列两个领域帮助用户创建使用微服务方案的应用：

- 通过一个平台提供的系统服务帮助用户部署、扩展、升级、检测和重启失败服务，发现服务位置、管理状态和监控运行状况。这些系统服务可有效实现上文描述的很多微服务特征。
- 通过 Reliable Actors 和 Reliable Services 等编程 API 或框架，帮助用户将应用构建为微服务。当然，我们可以用其他代码来创建微服务，但这些 API 可以简化开发过程，能与平台实现更深入的集成。借此可以获得运行状况和诊断信息，并充分利用更可靠的状态管理。

Service Fabric 与服务的具体构建方式无关，我们可以使用任何技术来构建。但它提供了内置的编程 API，可以让用户更容易地构建微服务。

如图 4-26 所示，我们可以在 Service Fabric 中用简单的进程或 Docker 容器形式创建和运行微服务。还可以将基于容器的微服务与基于进程的微服务组合在同一个 Service Fabric 集群中。

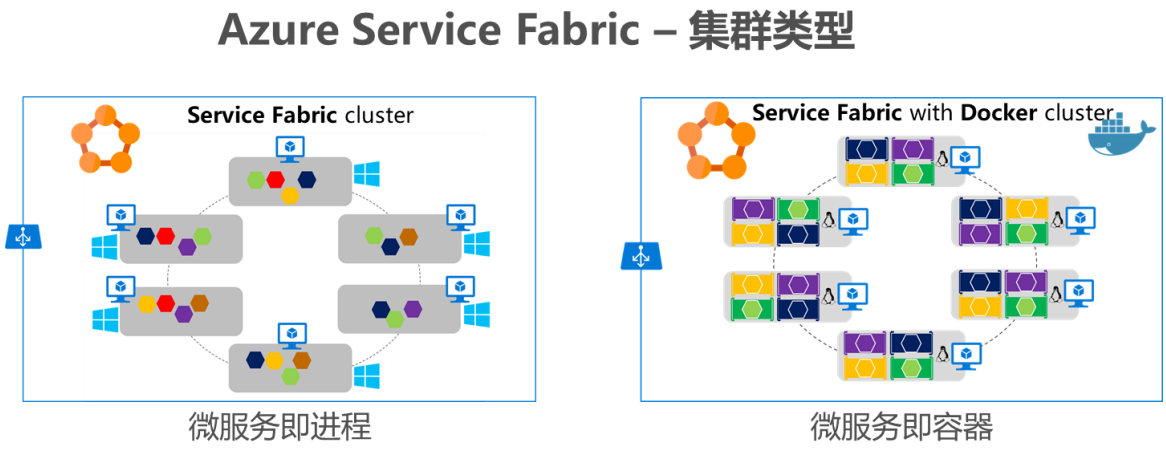


*图 4-26. **在 Azure Service Fabric 以进程或容器部署微服务***

基于 Linux 和 Windows 主机的 Service Fabric 集群可以运行 Docker Linux 容器和 Windows 容器。

有关 Azure Service Fabric 容器支持的最新信息，请参阅 Service Fabric 和容器。

Service Fabric 是一个绝佳的示例平台，证明了我们可以借此定义与物理实现不同的逻辑架构（业务微服务或限界上下文），具体情况可参考前文“逻辑架构和物理架构”一节所介绍的内容。例如，如果在 Azure Service Fabric 中实现有状态的 Reliable Services，便可具备由多个物理服务组成的业务微服务概念。这种做法这会在下文“无状态与有状态的微服务”一节详细介绍。

如图 4-27 所示，从逻辑/业务微服务的角度来看，在实施 Service Fabric 有状态的 Reliable Service 时，通常需要实现两层服务。首先是处理多个分区的后端有状态 Reliable Service，其次是负责跨多个分区或有状态服务实例进行路由和数据聚合的前端服务或网关服务。该网关服务还可结合 Service Fabric 反向代理来处理使用后端重试循环的客户端通信。

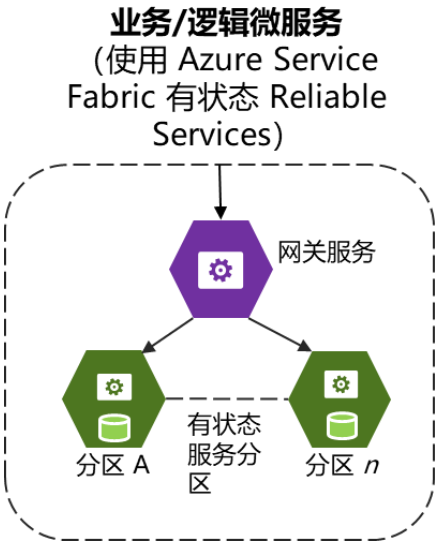


*图 4-27. **使用多个有状态服务实例和一个自定义网关前端的业务微服务***

任何情况下，当使用 Service Fabric 有状态 Reliable Services 时，同时也将具备通常由多个物理服务组成的逻辑或业务微服务（限界上下文）。如图 4-27 所示，网关服务和分区服务都可以实现为 ASP.NET Web API 服务。

在 Service Fabric 中，可以将服务分组并部署为 Service Fabric 应用，这是编排引擎或集群用来打包和部署的基本单位。因此 Service Fabric 应用也可映射到自治的业务和逻辑微服务边界或限界上下文中。

Service Fabric 和容器

对于 Service Fabric 中的容器，还可以使用 Service Fabric 集群在容器镜像中部署服务。如图 4-28 所示，大多数情况下每个服务只有一个容器。

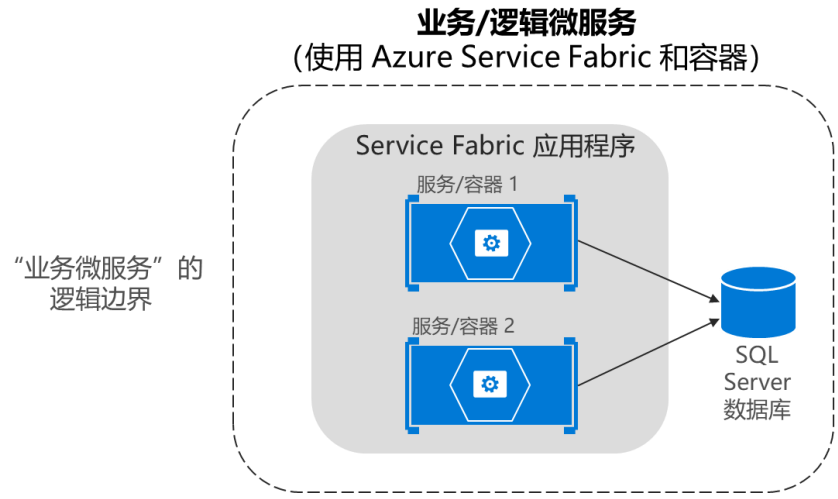


*图 4-28. **在 Service Fabric 中使用多个服务（容器）的业务微服务***

然而，所谓的“边斗车（Sidecar）”容器（两个容器必须作为逻辑服务的一部分一起部署）在 Service Fabric 中也是可行的。重点在于，业务微服务就是围绕几个内聚元素的逻辑边界。多数情况下可能是单独的服务具有单个数据模型，但有时候也可能拥有多个实体服务。

截至 2017 年中旬，通过 Service Fabric 还无法在容器上部署有状态的 Reliable Services，只能部署无状态服务和角色服务。但请注意，我们可以在同一个 Service Fabric 应用的容器中混合使用进程中的服务和/或容器中的服务，如图 4-29 所示。

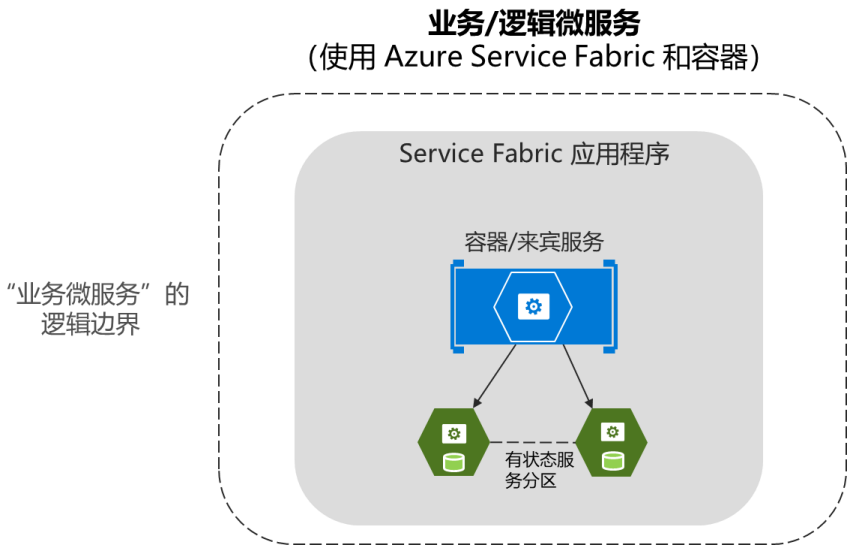


*图 4-29. **使用容器和有状态服务映射到一个 Service Fabric 应用的业务微服务***

如果想进一步了解 Azure Service Fabric 容器支持情况，请参阅 Service Fabric 和容器。

无状态和有状态的微服务

如前所述，每个微服务（逻辑限界上下文）必须拥有自己的领域模型（数据和逻辑）。在无状态微服务的情况下，数据库将是外置的，采用关系型数据库，如 SQL Server；或采用 NoSQL 数据库，如 MongoDB 或 Azure 文档数据库（Document DB）。

但服务本身也可以是有状态的，这意味着数据位于微服务内部。这些数据可能并不位于同一台服务器上，但肯定是在微服务进程内的内存中并持久化保存在硬盘上，并复制到其他节点。图 4-30 展示了这些不同方法。

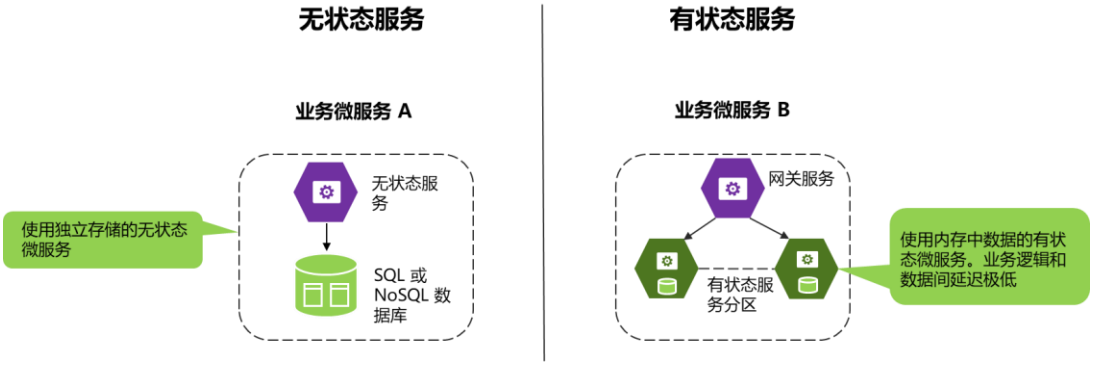


*图 4-30. **无状态和有状态的微服务***

无状态方法是完全有效的，并且比有状态微服务更容易实现，因为它类似于传统的公认模式。但是无状态的微服务在进程和数据源之间施加了延迟。当尝试通过额外的缓存和队列来提高性能时，还涉及更多需要移动的数据块。这最终将导致由过多层次组成的复杂架构。

相比之下，有状态微服务更胜任高级场景，因为领域逻辑和数据间没有延迟。大型数据处理、游戏后端、数据库即服务和其他低延迟场景都可以从有状态服务中受益，因为这样做能更快地访问本地状态。

无状态和有状态服务是互补的。例如在图 4-30 中，右侧是一个能够划为多个分区的有状态服务。要访问这些分区，可能需要一个无状态服务充当网关，该服务知道如何根据分区键对每个分区进行寻址。

有状态服务也有自己的局限。它们在横向扩展方面会上增加一定程度的复杂性。通常由外部数据库系统实现的功能必须针对诸如跨有状态微服务和数据分区的数据复制等任务进行处理。然而，这也是编排引擎（如包含有状态 Reliable Services 的 Azure Service Fabric）的价值所在，编排引擎可通过 Reliable Services API 和 Reliable Actors 来简化有状态微服务的开发过程和生命周期。

此外还有其他微服务框架支持有状态服务，支持 Actor 模式，并且改善了业务逻辑和数据之间的容错和延迟特性，这些框架包括微软研究院的 Microsoft Orleans 和 Akka.NET。这两个框架正在改进对 Docker 的支持。

请注意，Docker 容器本身是无状态的。如果要实现有状态服务，需要使用上文提到的其他规范和更高级别的框架。

5

基于 Docker 的应用程序开发流程

愿景

为了帮助开发者用自己习惯的方式开发容器化应用程序，在 IDE 方面，微软通过 Visual Studio 和 Visual Studio 的 Docker 工具来提供支持，同时在 CLI/编辑器方面，微软通过 Docker CLI 和 Visual Studio Code 来提供支持。

Docker 应用程序的开发环境

开发工具的选择：IDE 还是编辑器?

无论是喜欢全功能的强大 IDE，还是钟情于灵活的轻量级编辑器，开发者都可以使用微软提供的工具开发 Docker 应用程序。

Visual Studio（Windows 版）。当使用 Visual Studio 开发基于 Docker 的应用程序时，推荐使用 Visual Studio 2017 或更高版本，这些版本已内置 Docker 工具。这些 Docker 工具可以帮助我们直接在目标 Docker 环境中开发、运行和验证应用程序。我们可以按 F5 直接进入 Docker 主机，并运行和调试应用程序（单容器应用程序或多容器应用程序），或者也可以按 CTRL+F5，在不重新构建容器的前提下编辑和刷新应用程序。对基于 Docker 的应用程序开发来说，这是最强大的选择。

Visual Studio for Mac。这是一个由 Xamarin Studio 演化而来的 IDE，运行在 macOS 之上，从 2017 年中期开始支持 Docker。对于使用 Mac 计算机，想获得具备强大功能 IDE 的开发人员来说，这应该是一个更好的选择。

Visual Studio Code 和 Docker CLI。如果更喜欢可以支持任意开发语言的轻量级跨平台编辑器，可以使用 Microsoft Visual Studio Code（VS Code）和 Docker CLI。这是一个跨平台的开发解决方案，支持 Mac、Linux 和 Windows。

安装 Docker 社区版（CE）工具后，便可使用 Docker CLI 构建 Windows 应用程序和 Linux 应用程序。

其他资源

- **Visual Studio 的 Docker 工具**
  https://docs.microsoft.com/aspnet/core/publishing/visual-studio-tools-for-docker
- **Visual Studio Code**.官方网站
  https://code.visualstudio.com/download
- **Mac 和 Windows 下的 Docker 社区版（CE）**
  https://www.docker.com/community-editions

支持 Docker 容器的.NET 语言和框架

正如本书前几章所述，如果要开发 Docker 容器化的.NET 应用程序，可以使用.NET Framework、.NET Core 或开源的 Mono 项目。对于基于 Linux 或 Windows 容器的应用程序，根据所用.NET 框架，可以使用 C#、F#或 Visual Basic。关于.NET 语言的详细信息，可以参考这篇博客：.NET 语言策略。

Docker 应用程序的开发流程

应用程序开发生命周期始于开发人员的计算机。在开发计算机上，开发人员会使用他们最喜欢的语言来为应用程序编写代码，然后在本机测试。无论选择哪种语言、框架和平台，按照本流程只需开发和测试 Docker 容器即可，而且可以在本地计算机上完成。

每个容器（Docker 镜像的一个实例）包含以下组件：

- 一个选定的操作系统（Linux 发行版、Windows Nano Server 或 Windows Server Core）
- 开发人员添加的文件（应用程序的二进制文件等等）
- 配置信息（环境设置和依赖）

基于 Docker 容器的应用程序开发流程

本小节主要介绍基于 Docker 的应用程序的“内环”开发流程。“内环”开发流程是指：不考虑更宽泛的 DevOps 流程，只关注开发人员机器上的开发工作本身。此流程并不包含安装环境的初始步骤，这些工作只需要在实际开发前进行一次。

应用程序由开发者自己的服务和附加库（依赖）组成。构建 Docker 应用程序的基本步骤如图 5-1 所示：

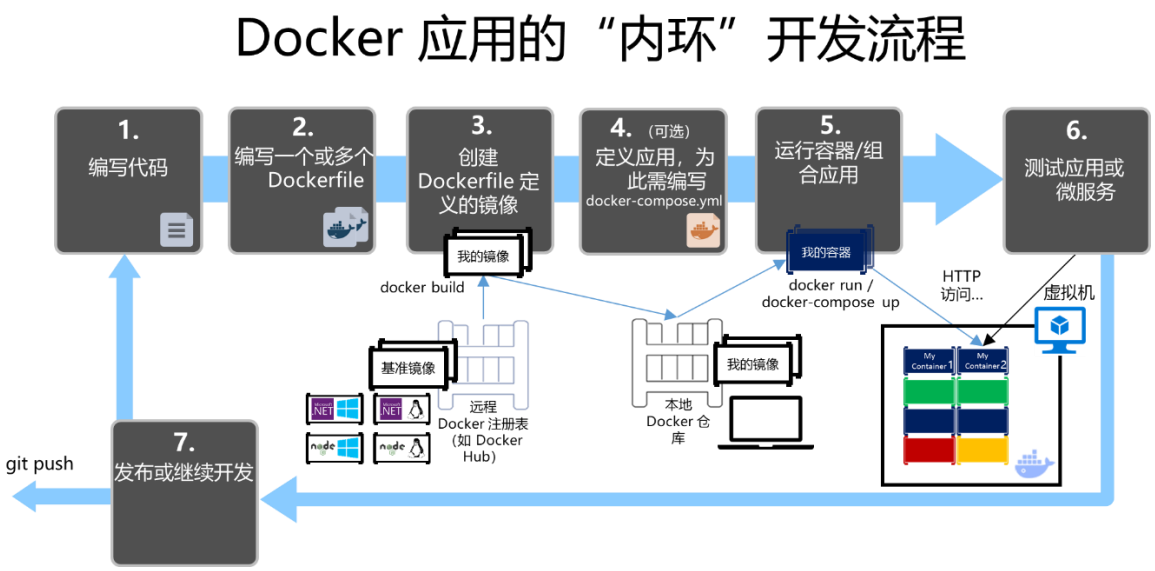


*图 5-1. **开发 Docker 容器化应用程序的步骤***

下文会详细解析整个流程，同时每个主要步骤都会基于 Visual Studio 环境提供详细说明。

当使用编辑器/CLI 开发工具（如在 macOS 或 Windows 上使用 Visual Studio Code 外加 Docker CLI）时，必须清楚了解每个步骤的细节，一般来说，要具备比单纯使用 Visual Studio 时更详细的了解。关于在 CLI 环境下开发工作的更多信息，可参考这本电子书：使用微软平台和工具的容器化 Docker 应用的生命周期。

当使用 Visual Studio 2015 或 Visual Studio 2017 时，大部分步骤已经自动处理好了，因此可以大幅提高生产力。尤其是使用 Visual Studio 2017 开发多容器应用程序时。举例来说，只要点一下鼠标，Visual Studio 就会把包含应用程序配置的 Dockerfile 和 docker-compose.yml 文件添加到项目中。当我们在 Visual Studio 中运行这个应用程序时，它会帮我们构建 Docker 镜像，然后直接在 Docker 中运行多容器应用程序。这些特性可以加快开发速度。

虽然 Visual Studio 自动化了这些步骤，但并不意味着我们就可以不用了解在底层是如何使用 Docker 的。所以在接下来的指导中，我们会详细解释每一个步骤。

步骤 1、开始编码，然后创建原始应用程序或基础服务

开发 Docker 应用程序和开发非 Docker 应用程序的方法基本类似。不同之处在于：基于 Docker 开发时，需要在本地环境（可以使用由 Docker 安装的 Linux 虚拟机，如果使用 Windows 容器则可直接使用 Windows）中部署和测试运行在 Docker 容器内部的应用程序或服务。

用 Visual Studio 搭建本地环境

首先确保已安装适用于 Windows 的 Docker 社区版(CE)，详细说明可参阅：Windows 上的 Docker CE 入门。

此外还需要安装 Visual Studio 2017，相对于使用带有 Visual Studio Tools for Docker 插件的 Visual Studio 2015 来说，这是更好的选择，因为 Visual Studio 2017 为 Docker 提供了更高级别的支持，如调试容器方面的支持。如果在安装时选择了.NET Core 和 Docker 安装项，那么 Visual Studio 2017 就已包含 Docker 工具。如图 5-2 所示：

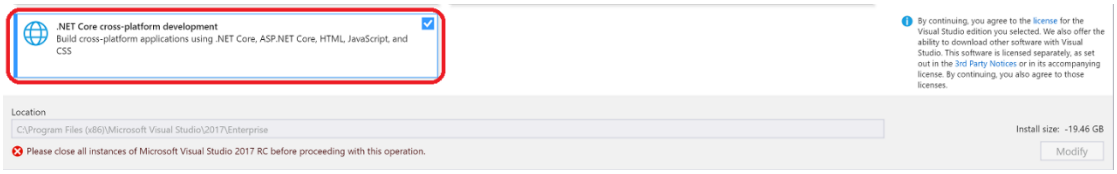


*图 5-2. **安装 VisualStudio 2017 时选择.NET Core 和 Docker 安装项***

甚至在应用程序启用 Docker 前，我们就已可以直接用.NET（如果打算使用容器，通常可用.NET Core）编写代码了，随后可在 Docker 中部署测试应用程序。但是强烈建议尽早在 Docker 上开始工作，这是真实的环境，各种潜在问题也会尽早暴露出来。Visual Studio 可以让 Docker 开发变得更轻松，以至于根本感觉不到它的存在——尤其是在 Visual Studio 中调试多容器应用程序时。因此强烈建议尽早在 Docker 上开始开发工作。

其他资源

- **Windows 上的 Docker 社区版入门**
  https://docs.docker.com/docker-for-windows/
- **Visual Studio 2017**
  https://www.visualstudio.com/vs/visual-studio-2017/

步骤 2、基于现有.NET 基础镜像创建 Dockerfile

对于想构建的每个自定义镜像来说，Dockerfile 都是不可或缺的；无论是要在 Visual Studio 中进行自动化部署，还是用 Docker CLI（docker run 和 docker-compose 命令）手动部署，对于要部署的每个容器来说 Dockerfile 也是必不可少的。如果应用程序只包含一个自定义服务，那么只需要一个 Dockerfile；如果应用程序包含多个服务（如在微服务架构中），那么每个服务都需要一个 Dockerfile。

Dockerfile 应该放在应用程序或服务的根目录中。它包含一些命令，这些命令会告诉 Docker 如何在容器中安装和运行应用程序或服务。我们可以用编码的方式手动创建 Dockerfile，然后把它和其他应用程序依赖一起添加到项目中。

如果用 Visual Studio 和 Docker 工具，这个任务只需轻点几下鼠标即可完成。在 Visual Studio 2017 中创建新项目时，有个名为“启用容器（Docker）支持”的选项，如图 5-3 所示。

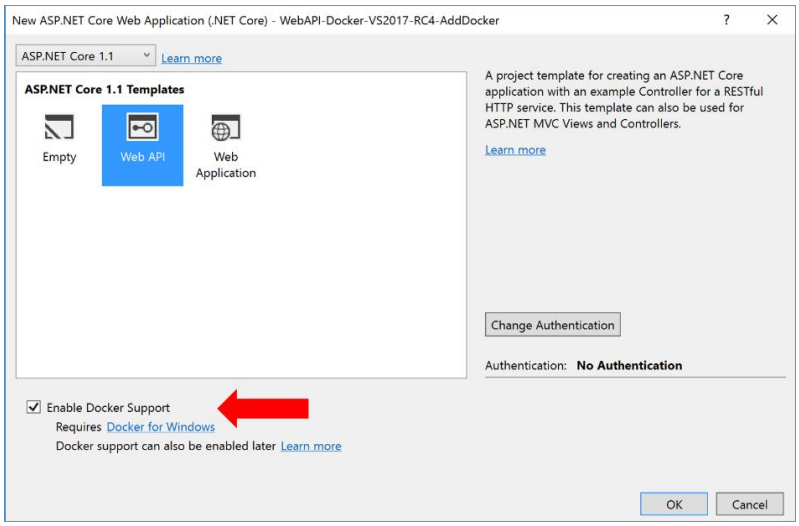


图 5-3. 在 Visual Studio 2017 中创建新项目时启用 Docker 支持

在 Visual Studio 中，也可以通过右击项目文件，选择“Docker 支持”的方式，为新项目或现有项目启用 Docker 支持。如图 5-4 所示。

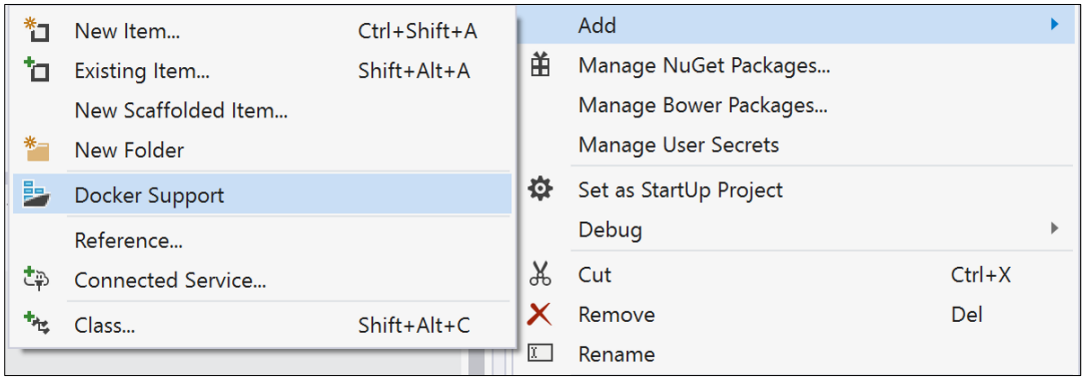


图 5-4. 为现有 Visual Studio 2017 项目启用 Docker 支持

针对项目（如 ASP.NET 网页应用程序或 Web API 服务）执行该操作，会添加一个带有所需配置的 Dockerfile 到项目中。它还会为整个解决方案添加一个 docker-compose.yml 文件。在接下来的几个小节中，将会一一说明在每个文件中都写入了哪些具体信息。Visual Studio 可以帮我们完成这个工作，但是弄清楚在 Dockerfile 中写入哪些具体信息对我们也有很大帮助。

可选步骤 A、用现有的官方.NET Docker 镜像创建项目

我们通常会在基础镜像之上为容器构建自定义镜像，为此可以在 Docker Hub 注册表的官方仓库中获取这些基础镜像。在 Visual Studio 中启用 Docker 支持后，Docker 即可在底层一丝不苟地完成各种工作。此时 Dockerfile 会使用现有的 aspnetcore 镜像。

上文曾经提到应根据所选择的框架和操作系统使用哪种 Docker 镜像。例如，如果想使用 ASP.NET Core（Linux 或 Windows 版本），应使用 microsoft/aspnetcore:2.0 镜像。因此我们必须指定 Docker 容器需要使用的基础镜像。为此只需把 FROM microsoft/aspnetcore:2.0 这行命令添加到 Dockerfile 中即可。Visual Studio 中该操作可自动完成，但如果需要更新镜像版本，则要自行更新该值。

使用来自 Docker Hub，带有版本号的官方.NET 镜像仓库，可以确保在所有机器（包括开发，测试和生产）上同样的语言特性都可用。

下列范例展示了专为 ASP.NET Core 容器设计的 Dockerfile 文件的详细内容。

```
FROM microsoft/aspnetcore:2.0
ARG source
WORKDIR /app
EXPOSE 80
COPY ${source:-obj/Docker/publish} .
ENTRYPOINT ["dotnet", " MySingleContainerWebApp.dll "]
```

在这个例子中，使用了一个基于 2.0 版官方 Linux 的 ASP.NET Core Docker 镜像（支持 Linux 和 Windows 多架构）。这是通过 FROM microsoft/aspnetcore:2.0 命令设置的。（关于该镜像的详细信息，可以参考 ASP.NET Core Docker Image 和.NET Core Docker Image。）我们还必须在 Dockerfile 中指定 Docker 需要在运行时监听的 TCP 端口（本例中为 80 端口，这是通过 EXPOSE 配置的）。

在 Dockerfile 中，取决于所用语言和框架，还可以指定其他设置。例如，ENTRYPOINT 设置为 ["dotnet", "MySingleContainerWebApp.dll"]会告诉 Docker 需要运行一个.NET Core 应用程序。如果使用 SDK 和.NET CLI（dotnet CLI）来构建和运行.NET 应用程序，这个设置会有所不同。最底部一行为 ENTRYPOINT 行。根据应用程序选择的语言和平台，其他设置也会有所差异。

其他资源

- **为.NET Core 应用建立 Docker 镜像**
  https://docs.microsoft.com/dotnet/articles/core/docker/building-net-docker-images
- **Docker 官方文档：创建您自己的镜像**
  https://docs.docker.com/engine/tutorials/dockerimages/

使用多架构镜像仓库

一个仓库（repo）可以包含多个平台，例如 Linux 镜像和 Windows 镜像。这个特性可以让像微软这样的提供商（基础镜像创建者）创建一个仓库（repo）即可涵盖多个平台（Linux 和 Windows）。例如，Docker Hub 注册表上的 microsoft/aspnetcore 仓库，通过同一个仓库名同时实现了对 Linux 和 Windows Nano Server 的支持。

如果指定了标签，那么会显式地指定某个具体平台，如下实例所示：

`microsoft/aspnetcore:2.0.0-jessie`	基于 Linux，只包含.NET Core 2.0 运行时

`microsoft/dotnet: 2.0.0-nanoserver`	基于 Windows Nano Server，只包含.NET Core 2.0 运行时

但是从 2017 年中期以来又有了新情况，如果指定了同样的镜像名，甚至同样的标签，那么全新的多架构镜像（例如支持多架构的 aspnetcore 镜像）会根据部署的 Docker 主机的操作系统来选择要使用的 Linux 或 Windows 版本，如下实例所示：

`microsoft/aspnetcore:2.0`	根据 Docker 主机的 OS，选择 Linux 或 Windows Nano Server 上的.NET Core 2.0 运行时

使用这种方式时，当我们拉取一个 Windows 主机镜像时，实际会拉取 Windows 的变体；拉取具有同一个镜像名的 Linux 主机镜像时，会拉取一个 Linux 的变体。

可选步骤 B、从零开始创建基础镜像

我们也可以从零开始创建自己的基础镜像。不建议 Docker 新手这样做，但如果想自定义自己的基础镜像，那么也是可行的。

其他资源

- **多重架构.NET Core 镜像：**
  https://github.com/dotnet/announcements/issues/14
- **官方文档：创建基础镜像**
  https://docs.docker.com/engine/userguide/eng-image/baseimages/

步骤 3、创建自定义 Docker 镜像，然后在镜像中嵌入应用程序或服务

应用程序中的每个服务都需要创建一个对应的镜像。如果应用程序由一个服务或 Web 应用程序组成，那么只需要一个镜像。

注意：Visual Studio 会自动帮我们创建好 Docker 镜像。下列步骤只有使用编辑器/CLI 时才需要，这些步骤只是为了解释清楚底层到底发生了什么。

作为开发人员，在我们把完整的功能或变更推送到源代码控制系统之前，需要一直在本地进行开发和测试。这意味着，我们需要创建一个 Docker 镜像，把容器部署到本地 Docker 主机（Windows 或 Linux 虚拟机）上，然后针对本地容器进行运行、测试和调试。

要在本地环境中用 Docker CLI 和 Dockerfile 创建自定义镜像，可使用 docker build 命令，如图 5-5 所示：

```
PS C:\dev\netcore-webapi-microservice-docker> docker build -t cesardl/netcore-webapi-microservice-docker:first .
Sending build context to Docker daemon 1.148 MB
Step 1 : FROM microsoft/dotnet:latest
latest: Pulling from microsoft/dotnet
5c90d4a2d1a8: Downloading [================>                                  ] 18.34 MB/51.35 MB
ab30c63719b1: Downloading [==================================================> ] 18.48 MB/18.55 MB
c6072700a242: Downloading [====================>                              ] 18.34 MB/42.53 MB
121d7eef6c20: Waiting
eb57cf4f29ee: Waiting
b2c5ae2d325b: Waiting
```

*图 5-5. **创建一个自定义的 Docker 镜像***

除了从项目文件夹直接运行 docker build 命令，还可以运行 dotnet publish 命令，首先生成一个带有必需.NET 库和二进制文件的部署文件夹，然后使用 docker build 命令。

这会创建一个名为 cesardl/netcore-webapi-microservice-docker:first 的镜像。在本例中，:first 是标签，表示一个特定版本。对于组合应用程序来说，对需要创建的每个自定义镜像重复此步骤即可。

当一个应用程序由多个容器组成时（也就是说，它是一个多容器应用程序），也可以使用 docker-compose up–build 命令，通过相关 docker-compose.yml 文件暴露出的元数据构建所有相关镜像。

我们可以用 docker images 命令找到在本地仓库中有哪些镜像，如图 5-6 所示：

```
PS C:\dev\netcore-webapi-microservice-docker> docker images
REPOSITORY                                      TAG                 IMAGE ID            CREATED             SIZE
cesardl/netcore-webapi-microservice-docker      first               384c4ac1809b        4 minutes ago       579.8 MB
microsoft/dotnet                                latest              49aaf5daa850        30 hours ago        548.6 MB
ubuntu                                          latest              cf62323fa025        5 days ago          125 MB
hello-world                                     latest              c54a2cc56cbb        12 days ago         1.848 kB
```

*图 5-6. **使用 docker images 命令查看现有的镜像***

用 Visual Studio 创建 Docker 镜像

在使用 Visual Studio 创建支持 Docker 的项目时，无需明确创建镜像。在按下 F5 运行容器化的应用程序或服务时，Visual Studio 会帮我们创建。在 Visual Studio 中该操作可自动完成，不向用户展示具体过程，但有必要了解底层实际执行的操作。

步骤 4、构建多容器 Docker 应用程序时，在 docker-compose.yml 中定义服务

docker-compose.yml 文件可以让我们把需要部署一系列相关服务定义成一个组合应用程序，然后用部署命令进行部署。

要使用 docker-compose.yml 文件，首先需要在解决方案根目录创建该文件，其内容类似于下列范例：

```
version: '3'
services:
  webmvc:
```

```
    image: eshop/web
    environment:
      - CatalogUrl=http://catalog.api
      - OrderingUrl=http://ordering.api
    ports:
      - "80:80"
    depends_on:
      - catalog.api
      - ordering.api
  catalog.api:
    image: eshop/catalog.api
    environment:
      - ConnectionString=Server=sql.data;Port=1433;Database=CatalogDB;…
    ports:
      - "81:80"
    depends_on:
      - postgres.data
  ordering.api:
    image: eshop/ordering.api
    environment:
      - ConnectionString=Server=sql.data;Database=OrderingDb;…
    ports:
      - "82:80"
    extra_hosts:
      - "CESARDLBOOKVHD:10.0.75.1"
    depends_on:
      - sql.data
  sql.data:
    image: mssql-server-linux:latest
    environment:
      - SA_PASSWORD=Pass@word
      - ACCEPT_EULA=Y
    ports:
      - "5433:1433"
```

请注意：这个 docker-compose.yml 文件是一个简化、合并后的版本。其中包含每个容器的静态配置数据（如自定义镜像名），这类数据是必备的，此外还包含一些依赖于部署环境的配置信息，如连接字符串等。在后面几个小节中，将会介绍如何把 docker-compose.yml 中的配置分割到多个 docker-compose 文件，并重写依赖于环境和执行类型（debug 或 release）的值。

上述 docker-compose.yml 文件范例中定义了 4 个服务：1 个 Web MVC 服务（Web 应用程序），2 个微服务（ordering.api 和 basket.api），以及 1 个数据源容器：基于 SQL Server for Linux 并以容器方式运行的 sql.data。每个服务都将作为一个容器来部署，所以对每个服务来说，必须具备一个 Docker 镜像。

这个 docker-compose.yml 文件不仅指定了使用哪种容器，还指定了它们各自的配置。例如在这个.yml 文件中，webmvc 容器的定义说明如下：

- 使用预构建的 eshop/web: latest 镜像。但是也可以配置这个镜像在 docker-compose 实际执行时再构建，为此可通过 docker-compose 文件中的“build:”这个附加配置项实现。
- 初始化了 2 个环境变量（CatalogUrl 和 OrderingUrl）。
- 在该容器上把 80 端口暴露给主机上的外部 80 端口。
- 用 depends_on 设置把该 Web 服务链接到购物篮和下单服务上。这个设置可以让本服务在其他指定的服务启动之后再启动。

下文在讨论如何实现微服务和多容器应用程序时，还会重新讨论 docker-compose.yml 文件。

在 Visual Studio 2017 中使用 docker-compose.yml

在给 Visual Studio 解决方案中的服务项目添加 Docker 支持时（如图 5-7 所示），Visual Studio 会在项目中添加一个 Dockerfile，同时还会在解决方案中添加一个带有多个 docker-compose.yml 文件的服务节点（项目）。如果要组合多容器解决方案，这是一种比较轻松、快捷的方法。我们可以打开这些 docker-compose.yml 文件，更新它们的其他特性。

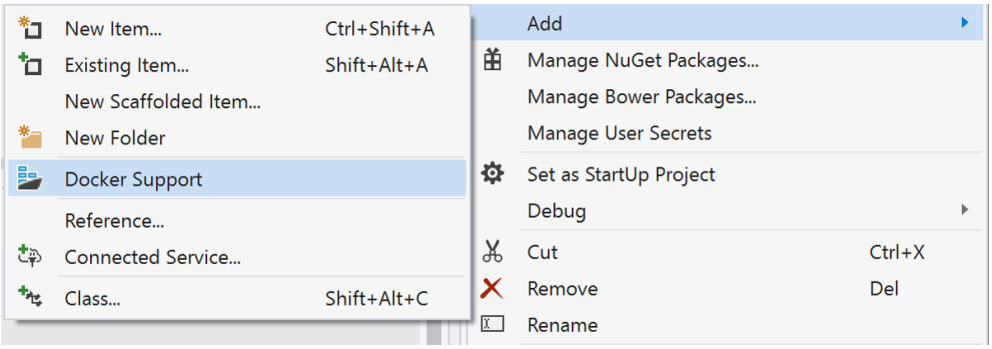


图 5-7. 在 Visual Studio 2017 中，右击 ASP.NET Core 项目添加 Docker 支持

在 Visual Studio 中添加 Docker 支持，不仅会在项目中添加 Dockerfile，还会在几个全局 docker-compose.yml 文件中添加一些配置信息，这些配置均为解决方案层面的设置。

在 Visual Studio 中给解决方案添加 Docker 支持后，可以在解决方案资源管理器中看到一个新的节点（在 docker-compose.dcproj 项目中），其中包含一些 Visual Studio 添加的 docker-compose.yml 文件，如图 5-8 所示。

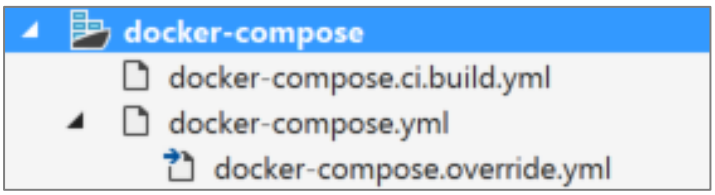


图 5-8. Visual Studio 2017 解决方案资源管理器中 docker-compose 树节点

通过 docker-compose up 命令，我们可以用一个 docker-compose.yml 文件部署多容器应用程序。但是 Visual Studio 还是会添加一组.yml 文件，以便于根据具体环境（开发环境或生产环境）和执行类型（release 或 debug）重写某些值。下文还将详细介绍该功能。

步骤 5、生成并运行 Docker 应用程序

如果应用程序只有一个容器，可以把它部署到 Docker 主机（虚拟机或物理机）上运行。但是如果应用程序包含多个服务，可以把它作为一个组合应用程序来部署，用一行 CLI 命令（docker-compose up）或者用 Visual Studio（在后台也是使用同一个命令）都可完成该操作。此时有两种可选的步骤：

可选步骤 A：用 Docker CLI 运行单容器应用程序

我们可以用 docker run 命令运行 Docker 容器，如图 5-9 所示：

```
docker run -t -d -p 80:5000 cesardl/netcore-webapi-microservice-docker:first
```

```
PS C:\dev\netcore-webapi-microservice-docker> docker run -t -d -p 80:5000 cesardl/netcore-webapi-microservice-docker:first
d96975a683b0a9411595816f63be6c135801878b8a85181a4d86dc848ea4ca6f
```

*图 5-9. **用 docker run 命令运行 Docker 容器***

本例中这个命令会把容器内部的 5000 端口绑定到主机的 80 端口。这意味着主机会监听 80 端口，然后把消息发送到该容器的 5000 端口上。

可选步骤 B：运行多容器应用程序

在大多数企业场景中，一个 Docker 应用程序通常由多个服务组成，这意味着需要运行多容器应用程序，如图 5-10 所示：

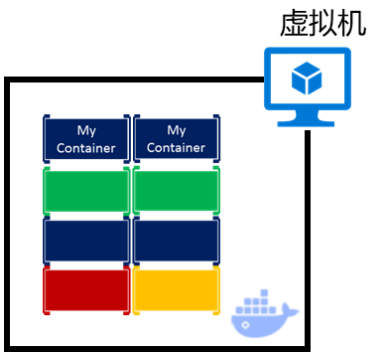


*图 5-10. **部署了 Docker 容器的虚拟机***

用 Docker CLI 运行多容器应用程序

要用 Docker CLI 运行多容器应用程序，可以使用 docker-compose up 命令。这个命令会用到 docker-compose.yml 文件，该文件位于要部署的多容器应用程序的解决方案节点下。图 5-11 展示了从主项目目录（其中包含 docker-compose.yml 文件）运行该命令的结果。

```
PS C:\Dev\WebApplication> docker-compose up
Recreating webapplication_webapplication_1
Attaching to webapplication_webapplication_1
webapplication_1    | Hosting environment: Production
webapplication_1    | Content root path: /app
webapplication_1    | Now listening on: http://*:80
webapplication_1    | Application started. Press Ctrl+C to shut down.
```

*图 5-11. **运行 docker-compose up 命令的结果***

运行完 docker-compose up 命令后，应用程序和相关容器会部署到 Docker 主机中，如图 5-10 所示。

用 Visual Studio 运行和调试多容器应用程序

用 Visual Studio 2017 运行多容器应用程序的方法已经非常简单。我们不仅可以运行这个多容器应用程序，还可以设置常规断点，直接在 Visual Studio 中调试应用中包含的所有的容器。

正如上文所述，每次在解决方案中给项目添加 Docker 解决方案支持时，都会在全局（解决方案层面上）docker-compose.yml 文件中配置这个项目，这可以让我们快速运行和调试整个解决方案。Visual Studio 会为每个添加了 Docker 解决方案支持的项目单独启动一个容器，然后执行所有后台步骤（dotnet publish、docker build 等）。

最重要的一点是：在 Visual Studio 2017 中，有一个附加的 F5 键 Docker 命令，如图 5-12 所示。这个选项会运行解决方案级的 docker-compose.yml 文件中定义的所有容器，以此来运行和调试多容器应用程序。可调试的多容器解决方案，意味着我们可以设置多个断点，每个断点在不同项目（容器）中，在 Visual Studio 中调试时，运行在不同容器上的各个项目中的断点都会中断。

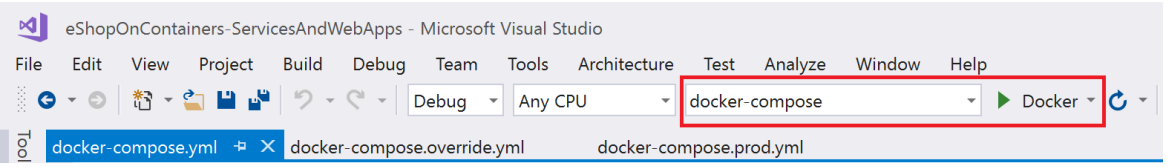


*图 5-12. **在 Visual Studio 2017 中运行多容器应用程序***

其他资源

- **将 ASP.NET 容器部署到远程 Docker 主机**
  https://azure.microsoft.com//documentation/articles/vs-azure-tools-docker-hosting-web-apps-in-docker/

用编排引擎测试和部署的注意事项

docker-compose up 和 docker run 命令（或在 Visual Studio 中运行和调试容器）对于在开发环境中测试容器来说，已经勉强够用。但如果面对 Docker 集群和诸如 Docker Swarm、Mesosphere DC/OS 或 Kubernetes 这样的编排引擎，就不应使用该方法了。如果使用了类似 Docker Swarm 模型这样的集群（在 Docker CE for Windows 和 Mac 的 1.12 版后可用），那么需要用 docker service create 这样的命令来部署和测试单个服务。如果正在部署由多个容器组成的应用程序，可以用 docker compose bundle 和 docker deploy myBundleFile 命令，把组合应用程序部署成一个“栈”。详细信息可参考 Docker 站点上的这篇博客“Introducing Experimental Distributed Application Bundles in the Docker documentation”。

对于 DC/OS 和 Kubernetes 来说，也需要使用不同部署命令和脚本。

步骤 6、用本地 Docker 主机测试 Docker 应用程序

根据应用程序功能的不同，这一步也有所差异。在简单的.NET Core Web 应用程序中，它会作为容器或服务来部署。在 Docker 主机上打开浏览器，访问图 5-13 所示的站点，随后就可以访问该服务。（如果 Dockerfile 中的配置把容器映射到了主机的非 80 端口，还应在 URL 上添加相应的主机端口号。）

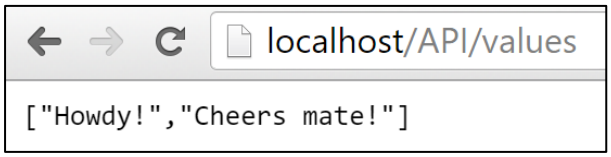


*图 5-13. **用 localhost 在本地测试 Docker 应用程序***

如果 localhost 并没有指向 Docker 主机 IP（默认情况下，如果使用 Docker CE 应该会指向），则需要使用计算机网卡的 IP 地址访问服务。

注意：对于本例中讨论的范例容器来说，浏览器中的这个 URL 使用了 80 端口。但是，在内部这个请求实际会被重定向到 5000 端口，因为它是用上一个步骤中解释过的 docker run 命令部署的。

我们也可以在终端中通过 curl 来测试这个应用程序，如图 5-14 所示。如果在 Windows 上安装 Docker，那么除了机器的实际 IP 地址，还有默认的 Docker 主机 IP：10.0.75.1。

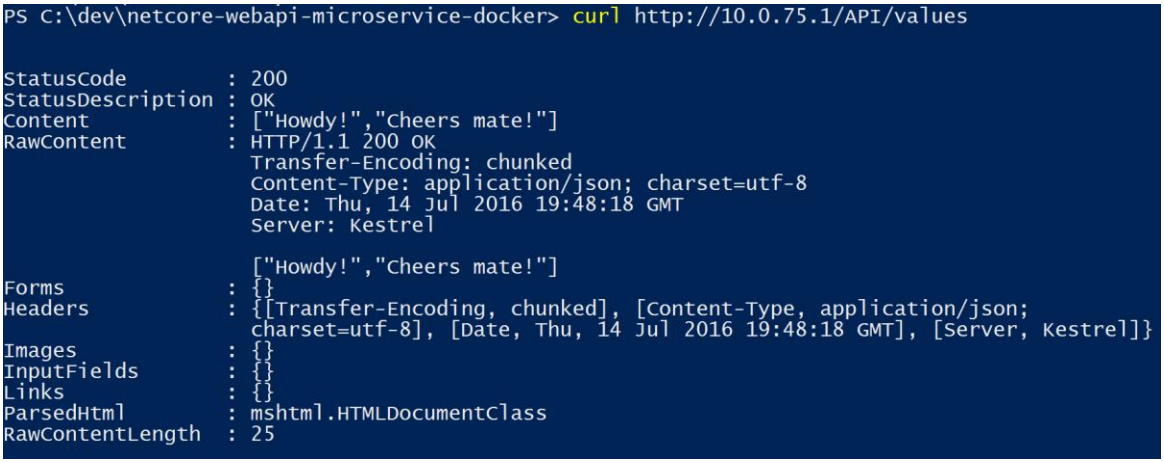


*图 5-14. **用 curl 在本地测试 Docker 应用程序***

用 Visual Studio 2017 测试和调试容器

使用 Visual Studio 2017 运行和调试容器时，可以继续使用以往的常规方法来调试.NET 应用程序，和不使用容器时的做法完全相同。

不使用 Visual Studio 2017 测试和调试

如果使用编辑器/CLI 来开发，那么调试容器会更困难一些，只能通过生成跟踪的方式来调试。

其他资源

- **调试本地 Docker 容器中的应用**
  https://azure.microsoft.com/en-us/documentation/articles/vs-azure-tools-docker-edit-and-refresh/
- **Steve Lasker. 创建、调试和部署使用 Docker 的 ASP.NET Core 应用（视频）**
  https://channel9.msdn.com/Events/Visual-Studio/Visual-Studio-2017-Launch/T115

使用 Visual Studio 开发容器的简化流程

实际上，使用 Visual Studio 的工作流程比使用编辑器/CLI 简单很多。与 Dockerfile 和 docker-compose.yml 文件相关的大多数 Docker 所需步骤都被 Visual Studio 隐藏或简化了，如图 5-15 所示：

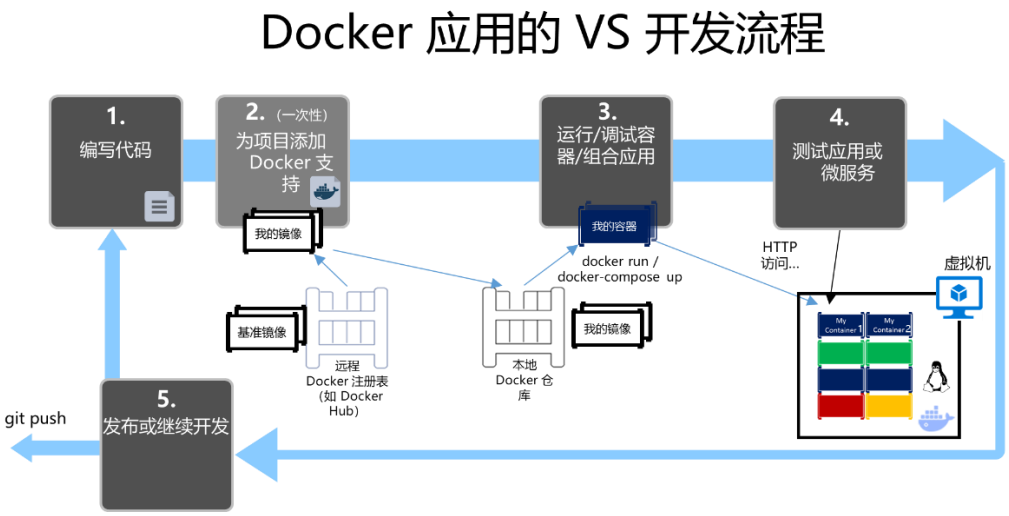


*图 5-15. **使用 Visual Studio 开发的简化工作流程***

我们只需额外执行一次步骤 2（给项目添加 Docker 支持）即可。所以这个工作流程和平时的开发任务（用.NET 做其他类型的开发的时候）基本类似。我们需要了解底层发生了什么（镜像构建过程，正在使用哪种基础镜像，容器的部署等。）因为有时也需要编辑 Dockerfile 或 docker-compose.yml 文件来自定义一些行为。但是大多数工作已被 Visual Studio 大幅简化，这可以显著提高工作效率。

其他资源

- **Steve Lasker. 使用 Visual Studio 2017 进行.NET Docker 开发**
  https://channel9.msdn.com/Events/Visual-Studio/Visual-Studio-2017-Launch/T111
- **Jeffrey T. Fritz. 使用 Visual Studio 的新 Docker 工具将一个.NET Core 应用放入容器中**
  https://blogs.msdn.microsoft.com/webdev/2016/11/16/new-docker-tools-for-visual-studio/

在 Dockerfile 中用 PowerShell 命令创建 Windows 容器

Windows 容器可以让我们把现有 Windows 应用程序转换到 Docker 镜像中，然后用 Docker 生态系统中的其他工具部署。要使用 Windows 容器，需要在 Dockerfile 中运行 PowerShell 命令，如下例所示：

```
FROM microsoft/windowsservercore
LABEL Description="IIS" Vendor="Microsoft" Version="10"
RUN powershell -Command Add-WindowsFeature Web-Server
CMD [ "ping", "localhost", "-t" ]
```

本例使用了 Windows Server Core 基础镜像（FROM 设置），然后用一个 PowerShell 命令（RUN 设置）安装 IIS。同理，也可以用 PowerShell 命令添加其他组件（如 ASP.NET 4.x、.NET 4. 或其他 Windows 软件）。例如在 Dockerfile 中，可通过下列命令安装 ASP.NET 4.5：

```
RUN powershell add-windowsfeature web-asp-net45
```

其他资源

- **aspnet-docker/Dockerfile.** 用来包含 Windows 特性的演示 Powershell 命令的 Dockerfile
  https://github.com/Microsoft/aspnet-docker/blob/master/4.6.2/Dockerfile

6

在 Linux 或 Windows Nano Server 上部署单容器.NET Core Web 应用程序

愿景

我们可以用 Docker 容器实现简单 Web 应用程序的单体部署，借此改进持续集成和持续部署流程，最终成功部署到生产环境。“在我的机器上完全正常，在生产环境下为什么就不行了呢？”这样的情况一去不复返了。

基于微服务的架构有很多好处，但同时也增加了复杂性方面的成本。某些情况下，成本比收益更重要，运行在单个容器或少数几个容器中的单体部署应用程序，可以节约大量成本。

单体部署的应用程序可能很难拆分到彼此完全独立的微服务中。正如上文所述，应该通过功能来划分微服务：微服务应该彼此独立，以实现更有弹性的应用程序。如果不能交付独立的应用程序功能块，那么划分只会增加复杂性。

应用程序也许并不需要可独立扩展的功能块。假设在示例应用程序 eShopOnContainers 生命周期的早期，流量并不足以支撑把各种功能划分到不同微服务中。流量很小的情况下，给服务添加资源通常意味着给所有服务添加资源。此时把这个应用程序划分到离散的服务中，性价比很低。

此外在应用程序开发的早期，对于原生的功能边界到底在哪，也许并没有清晰的想法。当开发一个最小化可行产品时，原生的划分也许还没有形成。

上述这些情况，有些是临时性的。我们可以先创建一个单体应用程序，以后再划分成若干功能，开发并部署成微服务。而其他一些情况，对于应用程序的问题空间来说，可能是不可避免的，这意味着这样的应用程序可能永远不会被拆分成多个微服务。

把应用程序划分成多个离散的进程还会带来开销方面的问题。而把功能划分成多个不同进程会进一步增加复杂性，通信协议也会变得更复杂。由于无法直接进行方法调用，必须在服务间使用异步通信。当迁移到微服务架构时，需要添加许多在 eShopOnContainers 应用程序的微服务版本中实现的模块：事件总线处理、弹性消息和重试，最终一致性等。

eShopOnContainers 的高度简化版本（名为 eShopWeb，也在同一个 GitHub 仓库中）是作为一个 MVC 单体应用程序来运行的。正如上文所述，这种设计选择有很多优势。您可以从 GitHub 下载这个应用程序的源代码，然后在本地运行。即使这个单体应用程序也会从容器环境中的部署获益。

首先，容器化的部署意味着这个应用程序的每个实例都运行在同样的环境中。这其中包括了早期测试和开发所用的开发环境。开发团队可以在与生产环境完全匹配的容器化环境中运行这个应用程序。

其次，容器化应用程序的扩展成本也很低。正如前文提到的，与传统虚拟机环境相比，容器环境可以共享更多资源。

最后，容器化应用程序可以促进业务逻辑服务器和存储服务器之间的分离。在扩展应用程序时，多个容器都依赖于同一个物理存储媒体。这通常是一个运行 SQL Server 数据库的高可用性服务器。

应用程序概览

eShopWeb 应用程序提取了 eShopOnContainers 应用程序的部分功能，作为一个单体应用程序来运行，这是一个运行在.NET Core 之上，基于 ASP.NETCore MVC 的应用程序。它主要提供了前几章中提到的目录浏览功能。

这个应用程序使用 SQL Server 数据库来保存目录。在基于容器的部署中，该单体应用程序可以像基于微服务的应用程序一样访问同样的数据仓库。这个应用程序被配置为将 SQL Server 运行在单体应用程序之外的另外一个容器中。在生产环境中，SQLServer 会运行在高可用的机器上，也就是说，运行在 Docker 主机外部。在开发和测试环境中，为了方便起见，推荐在单独的容器中运行 SQL Server。

最初的功能只有浏览目录，后续版本会包含容器化应用程序的所有功能。单体 Web 应用程序架构的高级特性可参考这本电子书：ASP.NET Web 应用架构实战和配套的 eShopOnWeb 示例应用程序。在这个例子中，应用程序并非运行在 Docker 上，因为它的场景主要是用 ASP.NET Core 进行常规 Web 开发。

而 eShopOnContainers 的简化版本（eShopWeb）是运行在 Docker 容器中的。

Docker 支持

eShopWeb 项目运行在.NET Core 之上。因此它既可以在 Linux 容器中运行，也可以在 Windows 容器中运行。Docker 部署时需要注意：应用程序应该和 SQL Server 使用同类型主机。推荐使用 Linux 容器，因为更轻量级。

Visual Studio 提供了一个项目模板，可用于给解决方案添加 Docker 支持。右键点击项目，点击“Add”，然后选择“Docker Support”即可。这个模板会给项目添加一个 Dockerfile，同时还会添加一个新的 docker-compose 项目，它提供了初始的 docker-compose.yml 文件。在从 GitHub 下载回来的 eShopWeb 项目中，这一步已经完成了。我们可以看到这个解决方案已包含 eShopOnWeb 项目和 docker-compose 项目，如图 6-1 所示：

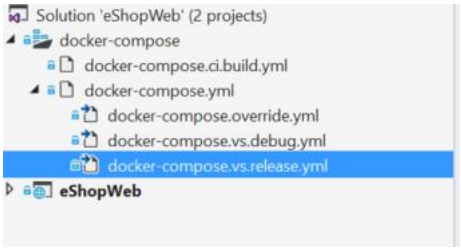


*图 6-1. **在单容器 Web 应用程序中的 docker-compose 项目***

这些文件是标准的 docker-compose.yml 文件，与其他 Docker 项目相同。我们可以通过 Visual Studio 和命令行来使用它们。该应用程序运行在.NET Core 上，使用 Linux 容器，所以也可以在 Mac 或 Linux 机器上编码、生成和运行。

docker-compose.yml 文件包含了如下信息：要构建哪些镜像，要启动哪些容器。这个模板指定了构建 eshopweb 镜像的方法和启动应用程序容器的方法。除此之外，我们还需要添加对 SQL Server 相关的依赖，包括添加一个 SQL Server 镜像（如 mssql-server-linux），并为 sql.data 镜像添加一个服务，让 Docker 来构建和启动这个容器。具体示例如下：

```
version: '2'

services:
  eshopweb:
    image: eshop/web
    build:
      context: ./eShopWeb
      dockerfile: Dockerfile
    depends_on:
      - sql.data
  sql.data:
    image: microsoft/mssql-server-linux
```

depends_on 指令会告诉 Docker：eShopWeb 镜像依赖于 sql.data 镜像。随后的几行指令将用 microsoft/mssql-server-linux 镜像来构建一个标签为 sql.data 的镜像。

在 docker-compose.yml 主节点之下，docker-compose 项目还包含了其他 docker-compose 文件，从视觉上即可看出这些文件是相关的。docker-compose-override.yml 文件包含所有服务的设置，例如，连接字符串和其他应用程序设置。

下列示例展示了 docker-compose.vs.debug.yml 文件的内容，它包含在 Visual Studio 调试会用到的设置。在该文件中，eshopweb 镜像具有一个附加的 dev 标签，借此可将调试镜像和发布镜像区分开来，防止不小心把调试信息部署到生产环境中。

```
version: '2'

services:
  eshopweb:
    image: eshop/web:dev
```

```
    build:
      args:
        source: ${DOCKER_BUILD_SOURCE}
    environment:
      - DOTNET_USE_POLLING_FILE_WATCHER=1
    volumes:
      - ./eShopWeb:/app
      - ~/.nuget/packages:/root/.nuget/packages:ro
      - ~/clrdbg:/clrdbg:ro
    entrypoint: tail -f /dev/null
    labels:
      - "com.microsoft.visualstudio.targetoperatingsystem=linux"
```

随后添加的最后一个文件是 docker-compose.ci.build.yml。在 CI 服务器中，通过命令行生成项目时会用到它。这个 compose 文件会启动一个 Docker 容器，为应用程序构建必需的镜像。下列示例展示了 docker-compose.ci.build.yml 文件的内容：

```
version: '2'

services:
  ci-build:
    image: microsoft/aspnetcore-build:latest
    volumes:
      - .:/src
    working_dir: /src
    # The following two lines in the document are one line in the YML file.
    command: /bin/bash -c "dotnet restore ./eShopWeb.sln && dotnet publish
                                    ./eShopWeb.sln -c Release -o ./obj/Docker/publish"
```

请注意：这是 ASP.NET Core 生成镜像。后者包含了 SDK 和生成工具，用来生成应用程序并创建所需镜像。运行 docker-compose 项目会用这个文件来启动生成容器，随后在该容器中构建应用程序的镜像。在 Docker 容器中，我们需要把这个 docker-compose 文件添加到生成命令中，然后执行。

在 Visual Studio 中，可以把 docker-compose 项目设置为启动项目，然后按“Ctrl+F5”（F5 用来调试），直接在 Docker 容器中运行应用程序，这和其他应用程序没有什么不同。启动 docker-compose 项目时，Visual Studio 会用 docker-compose.yml 文件、docker-compose.override.yml 文件和其中一个 docker-compose.vs.*文件来运行 docker-compose 命令。如果应用程序已启动，Visual Studio 会直接启动浏览器。

如果在调试器中启动该应用程序，Visual Studio 会附加到运行在 Docker 中的应用程序上。

疑难解答

本小节列出了几个在本地运行容器时常见的问题及解决方法。

停止 Docker 容器

启动容器化应用程序后，容器会一直运行，即使已停止调试容器依然会处于运行状态。我们可以在命令行中运行 docker ps 命令来查看正在运行的容器。docker stop 命令可停止正在运行的容器，如图 6-2 所示：

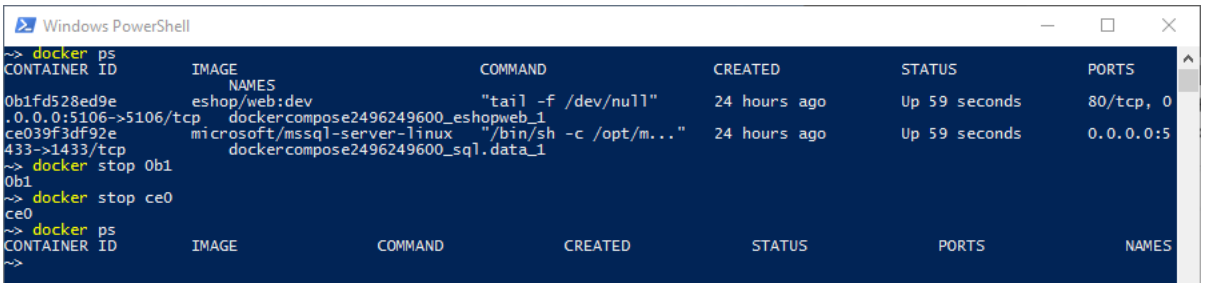


图 6-2. 用 docker ps 和 docker stop CLI 命令查看和停止容器

在不同配置间来回切换时，可能需要停止正在运行的进程。否则正在运行 Web 应用程序的容器会占用其他应用程序的端口（本例中是 5106 端口）。

给项目添加 Docker 支持

添加 Docker 支持向导会和正在运行的 Docker 进程通信。启动该向导时，如果 Docker 还未启动，该向导将无法正常运行。此外该向导还会检查当前选择的容器，以便于添加正确的 Docker 支持。如果想添加 Windows 容器支持，启动该向导时必须有在 Windows 容器模式下运行的 Docker；如果想添加 Linux 容器支持，启动该向导时必须有在 Linux 容器模式下运行的 Docker。

7

将传统的单体.NET Framework 应用程序迁移到 Windows 容器中

愿景

Windows 容器可改进开发和测试环境，还可用来部署基于传统.NET Framework 技术，如 Web Forms 的应用程序。将传统应用程序运行在容器中，这种做法也叫做“平移”（lift and shift）。

本书上文对微服务架构进行了细致的介绍，在微服务架构中，业务应用程序会划分到不同容器中，每个容器运行一个小而精的服务。这种做法会带来很多好处，对于全新开发的应用，强烈选择这样的方法，并且对于企业核心业务应用程序来说，重构和重新实现的投资回报率也很高。

但是从投资回报率的角度来说，并非每个应用程序都值得这样做。当然，这并不意味着这些应用程序就不能在容器场景中使用。

本章将深入讨论 eShopOnContainers 这个应用程序，如图 7-1 所示，eShopOnContainers 企业团队的人员会使用这个应用程序来查看和编辑产品信息。

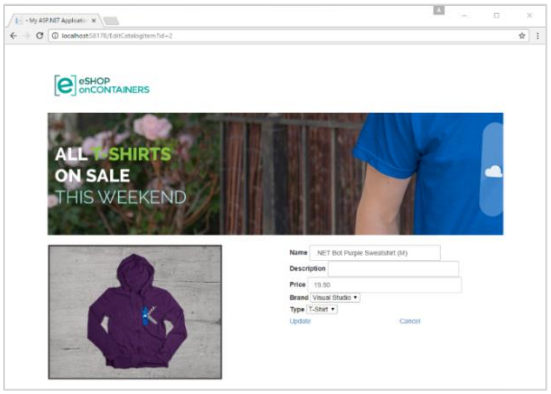


*图 7-1. **Windows 容器上的 ASP.NET Web Forms 应用程序（传统技术）***

这是个用来浏览和修改产品信息的 Web Forms 应用程序。对 Web Forms 的依赖意味着该应用程序如果不使用 ASP.NET Core MVC 代替 Web Forms 重写，是无法在.NET Core 上运行的。接下来，我们将介绍这样的应用程序如何在不做任何修改的情况下直接在容器中运行，此外还将介绍如何只进行很少量的修改就能给该应用程序引入混合模型，在混合模型中，有些功能会被迁移到独立的微服务中，而大多数功能仍然保留在单体应用程序中。

容器化单体应用程序的好处

Catalog.WebForms 应用程序已经正式发布到 eShopOnContainers 的 GitHub 仓库（https://github.com/dotnet/eShopOnContainers）。这是一个独立的应用程序，需要独立访问一个高可用的数据存储。即便如此，在容器中运行该应用程序还是能获得很多优势。我们首先需要为该应用程序创建镜像，以后每个部署都会运行在同样的环境中。每个容器都使用相同的操作系统版本，安装相同版本的依赖项，使用同样的框架，并且用同样的流程生成。在图 7-2 中可以看到，在 Visual Studio 2017 中打开的这个应用程序。

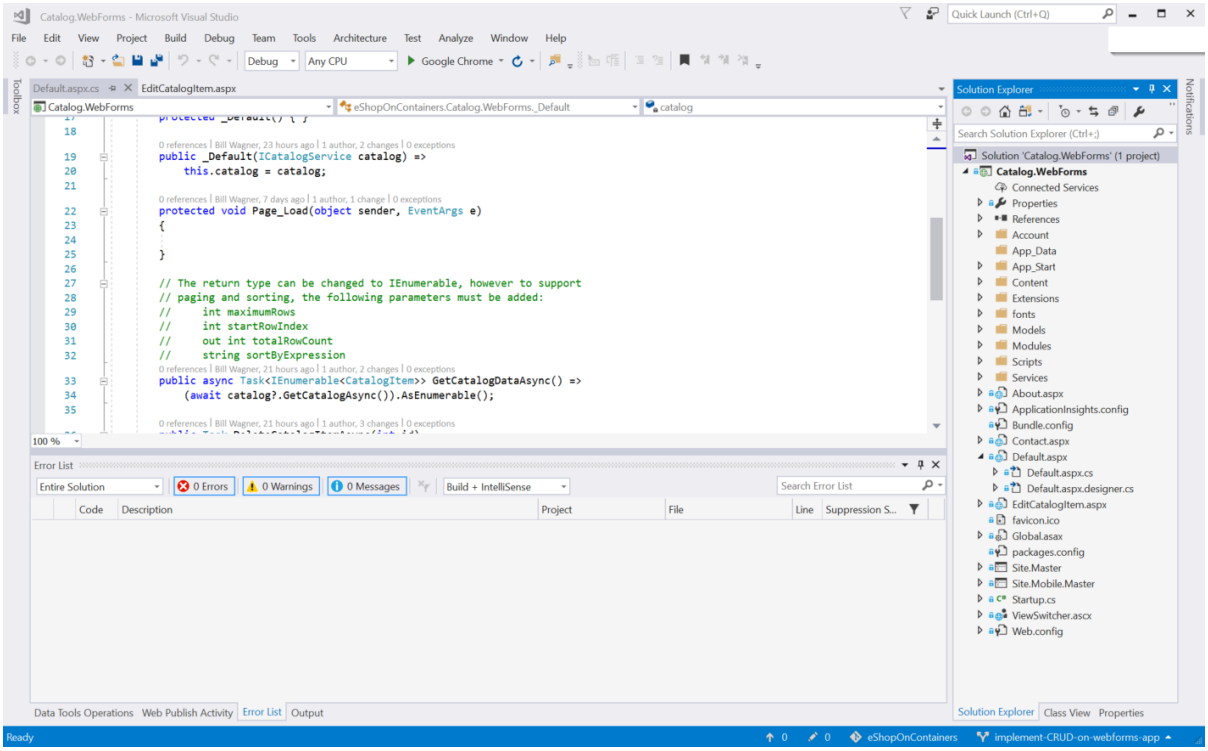


*图 7-2. **Visual Studio 2017 中的产品管理 Web Forms 应用程序***

另外，所有开发人员都可以在完全一致的环境中运行该应用程序。如果出现只在某个版本上才会遇到的问题，所有开发人员立刻将会察觉，而不用等到预发布环境或生产环境下才发现。如果应用程序运行在容器中，那么开发团队之间开发环境的差异已经无关紧要了。

最后，容器化应用程序的扩展曲线很平滑。前几章已经介绍过在虚拟机或物理机上启用多个容器的方法，这也意味着更高密度和更少资源占用。

基于上述理由，可以考虑进行“平移”，让传统的单体应用程序直接在容器中运行。“平移”描述了任务范围：从一台物理机或一台虚拟机“提起”整个应用程序，然后把它“移动”到一个容器中。理想情况下，无需修改任何应用程序代码，就可以让它直接在容器中运行。

可能的迁移路径

作为单体应用程序，Catalog.Webforms 是一个包含了所有代码的 Web 应用程序，其中包含数据访问库。数据库运行在独立的高可用机器上。在样例代码中，将通过仿真的产品服务来模拟这个配置：我们可以用仿真数据运行 Catalog.WebForms 应用程序，来模拟单纯的“平移”场景。这是一种最简单的迁移路径，在该迁移路径中，只需把现有内容移动到容器中运行即可，无需修改任何代码。此路径适用于已完成且与要移动到微服务的功能仅有最小交互的应用程序。

然而 eShopOnContainers 网站已经为不同场景实现了通过微服务访问数据存储的方式。所以可以对目录编辑器做一些额外的小修改，让它也能使用目录微服务，而不是直接访问产品的数据存储。

这些修改展示了如何使应用程序保持连续性。此时有很多迁移路径可选择：在不做任何修改的情况下把现有应用程序迁移到容器中；做少量修改让现有应用程序可以访问新的微服务；用基于微服务的全新架构完全重写整个应用程序。哪种迁移路径更适合，取决于迁移的投资回报率。

应用程序概览

我们可以在 Visual Studio 中打开 Catalog.WebForms 解决方案，把该应用程序作为一个独立的应用程序来运行。在当前配置中，该应用程序使用仿真服务来返回数据，而非持久化存储的数据库。该应用程序使用 Autofac（https://autofac.org/）来做反转控制（IoC），通过依赖注入(DI)，可以配置该应用程序是使用仿真数据还是使用真实的产品数据服务。（关于 DI，下文很快将进行介绍。）启动代码会从 web.config 文件读取 useFake 值，然后根据该设置的值来配置 Autofac 容器是注入仿真数据服务还是真实的产品服务。如果运行这个应用程序并在 web.config 文件中把 useFake 设置为 false，那么会看到这个 Web Forms 应用程序显示的是产品数据。

这个应用程序使用的绝大多数技术，对于使用 Web Forms 的人来说应该都比较熟悉。但是，对目录微服务引入的两个技术，可能有些陌生：依赖注入(DI)，刚刚曾提到该技术，在 Web Forms 中它可以和异步数据存储一起协同工作。

传统的面向对象的策略会在编写类时分配所有必需资源，而 DI 中，类可以从服务容器请求依赖项。DI 的优势在于：可以用仿真（或模拟）的服务代替外部服务来支持测试或其他环境。

DI 容器会用 web.config 中的 appSettings 配置来控制是使用仿真的产品数据还是使用来自于运行中服务的真实数据。该应用程序注册了一个 HttpModule 对象来生成容器，同时还注册了一个预请求处理程序来注入依赖。在 Modules/AutoFacHttpModule.cs 文件中，可以看到这些代码如下例所示：

```
private static IContainer CreateContainer()
{
    // Configure AutoFac:
    // Register Containers:
    var settings = WebConfigurationManager.AppSettings;
```

```
    var useFake = settings["usefake"];
    bool fake = useFake == "true";
    var builder = new ContainerBuilder();
    if (fake)
    {
        builder.RegisterType<CatalogMockService>()
            .As<ICatalogService>();
    }
    else
    {
        builder.RegisterType<CatalogService>()
            .As<ICatalogService>();

        builder.RegisterType<RequestProvider>()
            .As<IRequestProvider>();
    }
    var container = builder.Build();
    return container;
}

private void InjectDependencies()
{
    if (HttpContext.Current.CurrentHandler is Page page)
    {
        // Get the code-behind class that we may have written
        var pageType = page.GetType().BaseType;

        // Determine if there is a constructor to inject, and grab it
        var ctor = (from c in pageType.GetConstructors()
                    where c.GetParameters().Length > 0
                    select c).FirstOrDefault();

        if (ctor != null)
        {
            // Resolve the parameters for the constructor
            var args = (from parm in ctor.GetParameters()
                        select Container.Resolve(parm.ParameterType))
                        .ToArray();

            // Execute the constructor method with the arguments resolved
            ctor.Invoke(page, args);
        }

        // Use the Autofac method to inject any
        // properties that can be filled by Autofac
        Container.InjectProperties(page);

    }
}
```

该应用程序的页面（Default.aspx.cs 和 EditPage.aspx.cs）定义了一些用于获取依赖的构造器。注意：默认构造器一直是可用的。该基础构造的代码如下：

```
protected _Default() { }

public _Default(ICatalogService catalog) =>
```

```
    this.catalog = catalog;
```

产品 API 都使用了异步方法。Web Forms 所有数据控制方法都支持异步。Catalog.WebForms 应用程序的列表页和编辑器使用模型绑定，页面控件定义了 SelectMethod、UpdateMethod、InsertMethod 和 DeleteMethod 属性，指定了任务返回时的异步操作。Web Forms 控件可以知道绑定到控件上的方法是否是异步的。使用异步查询方法时，唯一的局限在于不支持分页。分页标记需要 out 参数，而异步方法没有 out 参数。需要从产品服务获取数据的其他页面也使用了同样的技术。

目录 Web Form 应用程序的默认配置使用 catalog.api 服务的模拟来实现。这个模拟实现的数据使用了硬编码的数据集，但出于简化考虑移除了开发环境中与 catalog.api 服务相关的依赖。

平移

Visual Studio 为应用程序的容器化提供了完善的支持。只需右击项目节点，选择“添加”和“Docker 支持”即可。Docker 项目模板会给解决方案添加一个名为“docker-compose”的项目。该项目包含 Docker 资源，可用于组合（或构建）所需镜像，并运行必要的容器，如图 7-3 所示。

这个最简单的直接迁移场景，所涉及的应用程序仅仅是 Web Forms 应用程序这一个服务。模板还会把启动项目设置为“docker-compose”项目。按下“Ctrl+F5”或“F5”会创建 Docker 镜像，然后启动容器。

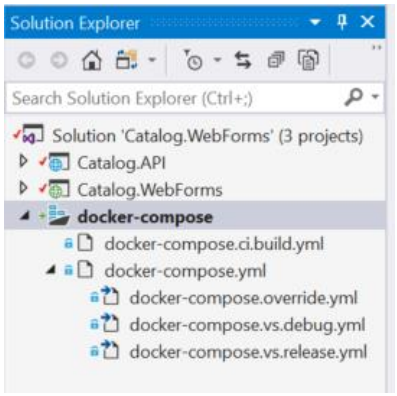


*图 7-3. **Web Forms 解决方案中“docker-compose”项目***

在运行该解决方案前，必须确保已经把 Docker 配置成使用 Windows 容器。为此可在 Windows 中右击 Docker 任务栏图标，选择“切换到 Windows 容器”，如图 7-4 所示：

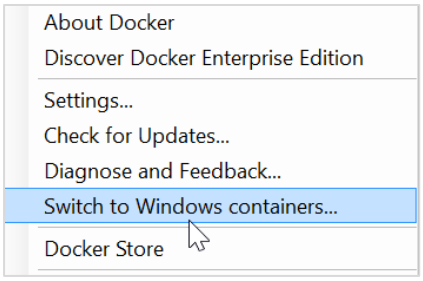


图 7-4. 在 Windows 中，Docker 任务栏图标中的“切换到 Windows 容器”菜单项

如果这个菜单项显示“切换到 Linux 容器”，说明 Docker 已运行在 Windows 容器模式下。

运行解决方案会重启 Docker 主机。执行生成操作时，会为该 Web Forms 项目生成一个应用程序和一个 Docker 镜像。首次执行该操作会花费较长时间，这是因为生成过程会拉取基础 Windows Server 镜像和辅助的 ASP.NET 镜像。后续生成和运行速度会加快。

随后深入研究一下 Docker 项目模板添加的文件。模板可以帮助我们创建多个文件，Visual Studio 会用这些文件创建 Docker 镜像并启动容器。在 CLI 中手动运行 Docker 命令时，也可以使用这些文件。

下文的 Dockerfile 范例展示了构建 Docker 镜像的基础设置，该镜像是基于 Windows ASP.NET 构建的，其中承载了一个 ASP.NET 网站：

```
FROM microsoft/aspnet
ARG source
WORKDIR /inetpub/wwwroot
COPY ${source:-obj/Docker/publish} .
```

这个 Dockerfile 文件初看起来和 Linux 容器中运行 ASP.NET Core 应用程序的镜像基本类似，但也有几个重要区别。最主要的差异在于基础镜像是 microsoft/aspnet，这是最新的 Windows Server 镜像，其中包含.NET Framework。另一个区别是从源目录复制到的目标目录不同。

docker-compose 项目中的其他文件是构建和配置容器必需的 Docker 资源。Visual Studio 会把多个 docker-compose.yml 文件放在一个节点下，以突出它们的作用。基础的 docker-compose 文件包含针对所有配置的通用指令。docker-compose.override.yml 文件包含环境变量和可以重写的开发人员配置。.vs.debug 和.vs.release 两个变体包含环境设置，这些设置可以让 Visual Studio 附加到正在运行的容器中，并管理正在运行的容器。

为解决方案添加 docker 支持还会添加 Visual Studio integration，与此同时我们还可以在命令行下用 docker-compose up 命令生成并运行应用程序，具体做法在上文已进行了介绍。

从现有.NET Core 目录微服务获取数据

如果不使用仿真数据，也可以把这个 Web Forms 应用程序配置成使用 eShopOnContainers 目录微服务来获取数据。为此可编辑 web.config 文件，把 useFake 的值设置为“false”。随后 DI 容器会使用访问真实目录微服务的类来代替返回硬编码数据的类。其他代码无需做任何修改。

访问真实的产品服务，意味着需要更新 docker-compose 项目，以便构建产品服务镜像并启动产品服务容器。Windows 中的 Docker 社区版支持 Linux 和 Windows 容器，但无法同时运行 Linux 和 Windows 容器。要运行该微服务，我们需要构建一个镜像，并在 Windows 容器上运行这个目录微服务。相比上文提到的做法，这个微服务项目需要另一个 Dockerfile，Dockerfile.windows 文件中包含了构建产品 API 容器镜像所需的配置设置，借此即可在 Windows 容器上运行，例如可以使用 Windows Nano Docker 镜像。

产品服务依赖 SQL Server 数据库，因此还需要使用一个基于 Windows 的 SQL Server Docker 镜像。

变更完成后，docker-compose 项目也需做些额外调整才能启动应用程序。该项目现在需要用基于 Windows 的 SQL Server 镜像来启动 SQL Server。它会在 Windows 容器中启动目录微服务，并且还要启动基于 Web Forms 的产品编辑器容器，当然，这也是 Windows 容器。如果缺少某个镜像需要构建，则会首先创建所需镜像。

开发环境和生产环境

开发环境与生产环境的配置有些许差异。在开发环境中，我们会在多个 Windows 容器中分别运行 Web Forms 应用程序、目录微服务和 SQL Server，但是这些容器都运行在同一台 Docker 主机上。上文曾经提到过，SQL Server 镜像和其他基于.NET Core 的服务都部署到了同一台基于 Linux 的 Docker 主机上。在同一个 Docker 主机（或集群）上运行多个微服务，这种做法的优势在于网络通信较少，容器间的通信延迟更低。

在开发环境中，我们必须在同一个操作系统上运行所有容器。适用于 Windows 的 Docker 社区版并不支持同时运行 Windows 和 Linux 容器。在生产环境中，我们可以决定是要在同一台 Docker 主机上的 Windows 容器中运行目录微服务，还是让 Web Forms 应用程序和运行在不同 Docker 主机上 Linux 容器中的目录微服务的一个实例之间彼此通信。这取决于优化网络延迟的具体方式。大多数情况下，我们通常希望应用程序依赖的微服务也运行在同一台 Docker 主机（或 Swarm）上，这样可以让开发工作变得更容易一些，同时可以降低网络延迟。在这样的配置中，微服务实例与用于持久化数据存储的高可用服务器之间的通信成本是唯一的通信成本。

8

设计开发多容器和基于微服务的.NET 应用程序

愿景

开发容器式微服务应用程序意味着要构建多容器应用程序。然而多容器应用程序其实也能更简单（例如三层应用程序），甚至可以不使用微服务体系结构来构建。

此前我们曾提出一个问题：“构建微服务架构时，是否必须使用 Docker？”，答案很明显，并非必须。Docker 虽然具备很多优势，但容器和 Docker 并非微服务的必要条件。例如，当使用 Azure Service Fabric（支持将微服务作为简单进程或 Docker 容器运行）时，可以使用或不用 Docker 创建基于微服务器的应用程序。

但是，如果知道如何设计和开发基于微服务，同时也基于 Docker 容器的应用程序，那么我们就能设计开发任何其他更简单的应用程序模型。例如，可以设计一个需要多容器技术的三层应用程序。因此，考虑到微服务架构是容器世界的重要趋势，本节将重点介绍使用 Docker 容器的微服务体系结构实现。

设计面向微服务的应用程序

本节着重介绍如何开发服务器端企业应用程序示例。

应用规范

该应用程序通过执行业务逻辑访问数据库，然后返回 HTML、JSON 或 XML 响应为请求提供服务。应用程序支持各种客户端，包括运行单页应用程序（SPA）的桌面浏览器、传统 Web 应用程序、移动 Web 应用程序和原生移动应用程序。该应用程序可能会暴露 API 供第三方使用，它还应能异步集成微服务或外部应用程序，以便在局部故障的情况下让微服务顺利恢复。

应用程序由下列类型的组件组成：

- 展示组件。负责处理 UI 和调用远程服务。
- 应用程序业务逻辑。
- 数据库访问逻辑。包括负责访问数据库（SQL 或 NoSQL）的数据访问组件。
- 应用集成逻辑。包括主要基于消息代理的消息通道。

该应用程序需要具备较高的可扩展性，同时允许其垂直子系统自动扩展，因为某些子系统可能需要比其他子系统更高的扩展性。

应用程序必须能部署在多种基础设施环境（多种公有云和私有云）中，并且最好应该是跨平台的，能够轻松地从 Linux 迁移到 Windows（反之亦然）。

开发团队环境

我们还假设该应用程序的开发过程如下：

- 有多个开发团队，专注于应用程序的不同业务领域。
- 新团队成员必须快速成长，应用程序必须易于理解和修改。
- 应用程序将具有长期演进和不断变化的业务规则。
- 需要良好的长期可维护性，这意味着在未来实现新变化时具有敏捷性，同时能在对其他子系统影响最小的前提下更新多个子系统。
- 希望实践应用程序的持续集成和持续部署。
- 在开发应用程序时，希望利用新兴技术（框架，编程语言等）的优势。不想在迁移到新技术时完全迁移应用程序，因为这将导致高成本并影响应用程序的可预测性和稳定性。

选择架构

应用程序部署架构应该是怎样的？根据应用程序的规范及开发环境，应该将应用程序分解为独立的子系统，以协作微服务和容器的形式构建应用程序，其中一个微服务就是一个容器。

在这种方法中，每个服务（容器）实现一组高内聚的功能。例如，应用程序可能包括目录服务、订单服务、购物篮服务、用户配置文件服务等服务。

微服务使用诸如 HTTP（REST）之类的协议通信，但会尽可能地使用异步方式（例如使用 AMQP），特别是在利用集成事件传播更新时。

微服务开发和部署为彼此独立的容器。这意味着开发团队可以在不影响其他子系统的情况下开发和部署某个微服务。

每个微服务有自己的数据库，并与其他微服务完全解耦。必要时，使用应用程序级集成事件（通过逻辑事件总线），如命令查询职责分离（CQRS）实现来自不同微服务的数据库间一致性。因此，业务约束必须包含多个微服务器和相关数据库之间最终的一致性。

eShopOnContainers：使用容器部署的.NET Core 和微服务的示例应用程序

我们可以专注于架构和技术，而无需考虑虚构的，自己并不熟悉的业务领域，因此选择了一个众所周知的业务领域：简化的电子商务（e-shop）应用程序，该应用提供产品目录、客户订单、验证库存、执行其他业务功能等功能。该容器应用程序的源代码可在 eShopOnContainers 的 GitHub 仓库下载。

该应用程序由多个子系统组成，包括几个商店 UI 前端（Web 应用程序和原生移动应用程序），以及承担所有必要服务器端操作的后端微服务和容器。示例应用的架构如图 8-1 所示。

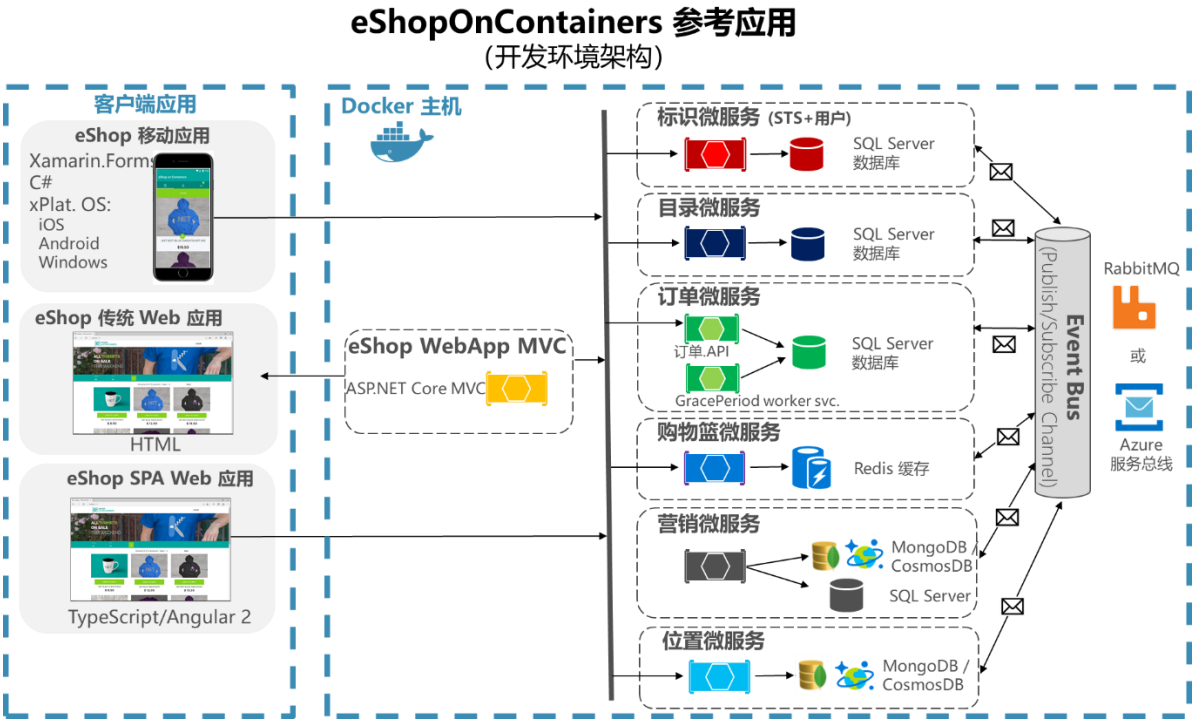


图 8-1. 针对开发环境的 eShopOnContainers 示例应用程序架构

托管环境。在图 8-1 中可以看到，在一个 Docker 主机中部署了多个容器，这是使用 docker-compose up 命令部署到单个 Docker 主机实现的。但是，如果正在使用编排引擎或容器集群，则每个容器可能在不同主机（节点）中运行，并且任何节点都可运行任意数量的容器，正如上文架构部分所述。

通信架构。具体取决于功能操作的类型（查询与更新和事务），eShopOnContainers 应用程序使用了两种通信类型：

- 客户端与微服务的直接通信。用于查询和接收来自客户端应用程序的更新或事务命令。
- 异步事件通信。通过事件总线传播来自微服务的更新或与外部应用程序集成。事件总线可使用任何消息代理架构技术（如 RabbitMQ）来实现，也可使用诸如 Azure 服务总线、NServiceBus、MassTransit 或 Brighter 等更高级的服务总线。

该应用程序以容器形式部署为一组微服务。客户端应用程序可与容器通信，也可在微服务间通信。如前所述，这种初始架构在客户端和微服务间使用了直接通信架构，这意味着客户端应用程序可直接向每个微服务发请求。每个微服务有一个公共终结点，如 https://servicename.applicationname.companyname。如果需要，每个微服务可使用不同 TCP 端口。在生产模式中，该 URL 将映射到微服务的负载均衡器，负载均衡器将请求分发到可用的微服务实例。

有关 eShopOnContainers 中 API 网关与直接通信的重要说明：如本指南的架构部分所述，构建基于微服务的复杂大型应用程序时，在客户端和微服务间使用直接通信架构可能有些局限。但是对于诸如 eShopOnContainers 这样的小型应用程序来说，重点在于帮助大家通过基于容器的简单 Docker 应用程序来入门，因此并不打算创建可能影响微服务自动部署的单体 API 网关。

但如果要设计包含数十个微服务的大型微服务应用，强烈建议考虑 API 网关模式，具体原因已在架构部分解释过了。

如果需要为特殊外观模式的客户端开发适用于生产环境的应用，这样的架构将需要重构。根据客户端应用程序的外观因素设计多个自定义 API 网关，这种做法可以为每个客户端应用程序提供不同的数据聚合功能，并且可以向客户端应用隐藏内部微服务或 API，并在同一层中进行授权。但是正如前面提到的那样，大型单体 API 网关的使用需要慎重，这可能扼杀微服务开发过程中的自治性。

每个微服务的数据主权

在示例应用程序中，每个微服务拥有自己的数据库或数据源，并且每个数据库或数据源会部署为一个单独的容器。这种设计只是为了让开发人员能够轻松获取和克隆 GitHub 代码，并在 Visual Studio 或 Visual Studio Code 中打开。此外还可以使用.NET Core CLI 和 Docker CLI 编译定制的 Docker 镜像，然后在 Docker 开发环境中部署和运行。无论哪种方式，使用数据源容器都可以让开发人员在几分钟内构建并部署，而无需为外部数据库或任何其他基础设施（云端或本地）依赖的数据源提供配置。

在真实生产环境中，为了实现高可用性和可扩展性，数据库应基于云端数据库服务器或本地数据库服务器，而不是容器。

因此，微服务部署（甚至本应用程序中的数据库）的单位是 Docker 容器，示例应用程序是采用微服务原则的多容器应用程序。

其他资源

- **eShopOnContainers GitHub 仓库。示例应用程序的源代码**
  https://aka.ms/eShopOnContainers/

基于微服务的解决方案的优点

这种基于微服务的解决方案有很多优点：

每个微服务相对较小 - 易于管理和改进。 特别是：

- 开发人员很容易理解并快速开始，因此生产力更高。
- 容器启动迅速，这使开发人员效率更高。
- 诸如 Visual Studio 这样的 IDE 可快速加载较小的项目，使开发人员更有效率。
- 每个微服务都可独立于其他微服务进行设计、开发和部署，借此可获得敏捷性，因为新版微服务的部署会更容易。

可以扩展应用程序的各个区域。例如，目录服务或购物篮服务可能需要扩展，但订购过程不需要。从资源利用率的角度来看，微服务架构比单体架构更高效。

可以将多个团队间的开发工作分开。每个服务都可由单独的开发团队负责，每个团队可以独立于其他团队来管理、开发、部署和扩展自己的服务。

问题的隔离程度更高。如果一个服务中存在问题，只有该服务会受到影响（除非使用了错误的设计，而且在微服务间存在直接依赖关系），其他服务可以继续处理请求。相比之下，单体部署架构中的一个故障组件可能导致整个系统崩溃，特别是当它涉及资源（如内存泄漏）时。另外，当微服务中的问题得到解决后，可以仅部署受影响的微服务，而不影响应用程序的其余部分。

更方便使用最新技术。我们可以独立开发服务，并能并行地运行（得益于容器和.NET Core），我们可以方便地开始使用最新技术和框架，而不是停留在整个应用程序的旧技术栈或框架上。

微服务解决方案的缺点

这种基于微服务的解决方案也有一些缺点：

分布式应用。在开发人员设计和构建服务时，分发应用程序的过程变得更复杂性。例如，开发人员必须使用诸如 HTTP 或 AMQP 等协议实现内部服务通信，这增加了测试和异常处理的复杂性，还增加了系统的延迟。

部署的复杂性。具有数十个微服务并需要高可扩展性的应用程序（需要能为每个服务创建多个实例，并在多个主机间平衡这些服务），意味着 IT 运维和管理变得更复杂。如果不使用面向微服务的基础架构（如编排引擎和调度器），那么额外的复杂性可能需要比业务应用程序本身更多的开发工作。

原子事务。多个微服务间的原子事务通常是不可能实现的。业务需求必须包含多个微服务间的最终一致性。

全局资源需求增加（所有服务器或主机的总内存，驱动器和网络资源）。在许多情况下，当使用微服务方法替换单体应用程序时，新的微服务应用程序所需的全局资源数量将大于原本的单体应用程序对基础架构的需求。这是因为更高的颗粒度和分布式服务需要更多全局资源。然而，考虑到一般来说资源成本较低，而且在单体应用演进过程中，与长期成本相比，能够将应用程序在特定领域的能力扩大等优势，因此资源用量的增加对大规模、长期运行的应用程序来说，通常是一个很好的权衡。

客户端与微服务的直连通信问题。当应用程序很大，包含很多微服务时，如果应用程序需要客户端与微服务之间进行直接通信，通常会面临挑战和局限。例如客户端的需求和每个微服务暴露的 API 间可能不匹配。在某些情况下，客户端应用程序可能需要通过大量单独的请求来组成用户界面，这在互联网上可能是低效的，在移动网络上更是不切实际。因此，客户端应用程序对后端系统的请求应尽可能最少。

客户端与微服务直接通信造成的另一个问题是：一些微服务可能使用了非标准的 Web 协议。例如一个服务可能使用二进制协议，另一个服务可能使用 AMQP 消息。这些协议通常会被防火墙屏蔽，因此最好只在内部使用。通常，应用程序应该使用 HTTP 和 WebSockets 等协议来进行防火墙外通信。

客户端和服务之间的这种直接通信造成的另一个问题：难以重构。随着时间推移，开发人员可能会想修改系统划分为服务的方式。例如，可能会合并两个服务，或将一个服务拆分为两个或更多服务。但是如果客户端直接与服务通信，则执行此类重构可能会破坏与客户端应用程序的兼容性。

如架构部分所述，在基于微服务设计和构建复杂应用程序时，我们可能会考虑使用多个细粒度的 API 网关，而不是使用更简单的直接客户端到微服务的通信方法。

分割微服务。最后，无论为微服务架构采取哪种方法，另一个挑战在于：如何将端到端应用程序分割成多个微服务。如本指南架构部分所述，我们可以使用多种技术和方法。基本上，我们需要确定应用程序与其他区域解耦并具有低数量硬依赖的区域。在大部分情况下，这与用例中的分区服务一致。例如，在我们的电子商店应用中，有一个订单服务，负责与订单流程相关的所有业务逻辑。此外还有实现其他功能的目录服务和购物篮服务。理想情况下，每项服务应该只有一小部分职责。这与应用于类的单一职责原则（SRP）类似，即：只能出于一个原因更改某个特定的类。但对于微服务，划分的范围将大于单个类。最重要的是：微服务必须完全自治、端到端，有自己的数据源。

外部与内部架构和设计模式

外部架构是由多个服务组成的微服务架构，遵循本指南基础架构部分所述的原则。然而，根据每个微服务的性质，并且独立于所选择的高级微服务体系结构，对于不同微服务，很可能会使用不同的内部架构（每种都基于不同模式），有时这是更适合的做法。微服务甚至可以使用不同技术和编程语言。图 8-2 展示了这种多样性。

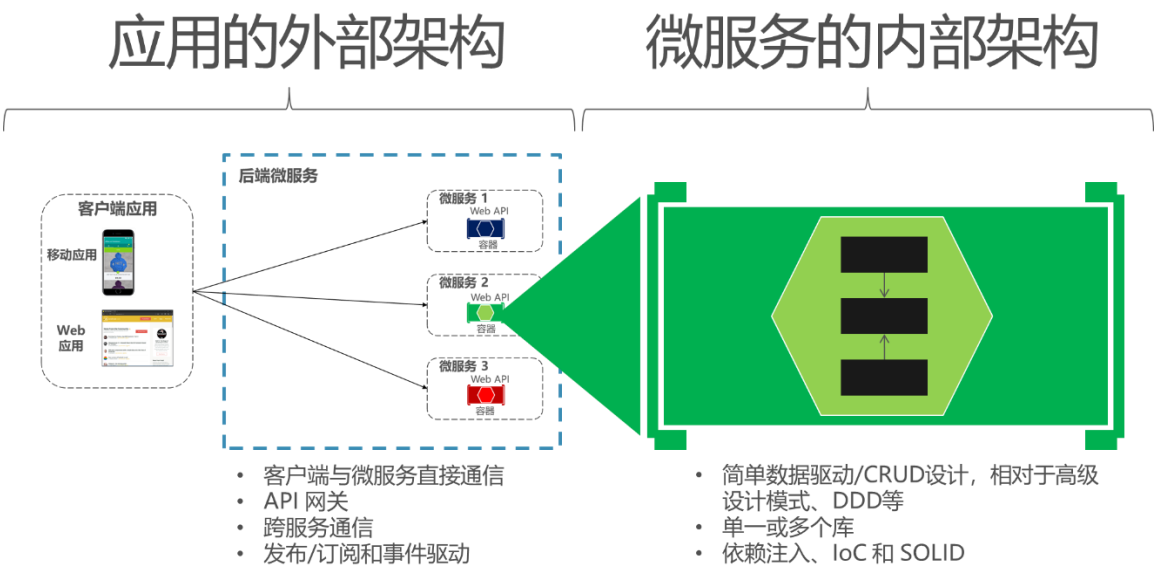


*图 8-2. **外部与内部架构和设计***

例如，在 eShopOnContainers 示例中，目录、购物篮和用户配置文件微服务很简单（基本上是 CRUD 子系统），因此它们的内部架构和设计很简单。但是我们可能还有其他微服务，如订单微服务，它更复杂，代表了不断变化的业务规则，具有高度的领域复杂性。这种情况下，我们可能希望在特定微服务中实现更高级的模式，例如使用领域驱动设计（DDD）定义的模式，正如在 eShopOnContainers 订单微服务中所做的那样。（为介绍 eShopOnContainers 订单微服务的实现，下文将回顾这些 DDD 模式）

每个微服务采用不同技术的另一个原因可能源自每个微服务的性质。例如，如果针对 AI 和机器学习领域使用诸如 F#这样的函数式编程语言，甚至 R 这样的语言可能会更好一些，而不建议选择 C#这样更为面向对象的编程语言。

每个微服务可以基于不同设计模式具有不同内部架构。并非所有微服务都应使用先进的 DDD 模式来实现，因为这会导致过度设计。同理，具有不断变化业务逻辑的复杂微服务不应实现为 CRUD 组件，否则代码质量会大为降低。

新世界：多种架构模式和多语言微服务

软件架构师和开发人员会使用不同的架构模式，例如下文列举的模式（混合架构风格和架构模式）：

- 简单的 CRUD，单层
- 传统 N 层
- 领域驱动设计 N 层
- 干净架构（eShopOnWeb 使用的）

- 命令和查询职责分离（CQRS）
- 事件驱动架构（EDA）

我们还可以使用多种技术和语言构建微服务，如 ASP.NET Core Web API、NancyFx、ASP.NET Core SignalR（可用于.NET Core 2）、F#、Node.js、Python、Java、C++、GoLang 等。

重点在于：没有任何一种架构模式或风格，以及任何一种特定技术，能够适用于所有情况。图 8-3 显示了可用于不同微服务的部分方法和技术（先后顺序与实际关系无关）。

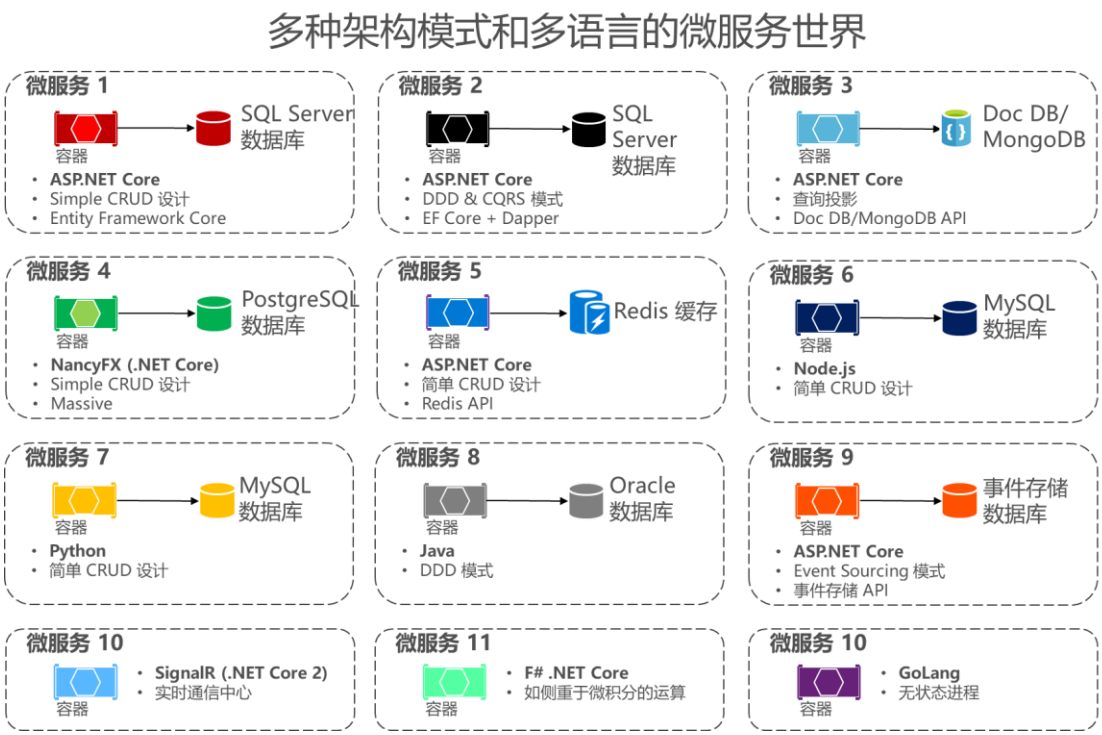


*图 8-3. **多种架构模式和多语言的微服务世界***

如图 8-3 所示，在由多个微服务（领域驱动设计术语中的边界上下文，或作为自主微服务的简单“子系统”）组成的应用程序中，可以用不同方式实现每个微服务。每个微服务可能具有不同架构模式，并根据应用程序的性质、业务需求和优先级使用不同的语言和数据库。某些情况下，微服务可能是相似的，但是通常并非总是如此，因为每个子系统的上下文边界和要求通常是不同的。

例如，对于简单的 CRUD 维护应用程序，设计和实现 DDD 模式可能没什么意义。但对于核心领域或核心业务，可能需要应用更先进的模式来应对业务规则不断变化的业务复杂性。

特别是当处理由多个子系统组成的大型应用程序时，不应该基于单个架构模式应用一个顶级架构。例如，CQRS 不能作为整个应用程序的顶级架构应用，但可能对特定的服务集有用。

对每个特定情况来说，并不存在“万能药”或任何情况均适用的架构模式。我们不可能用“一种架构模式来解决所有问题”。根据优先级，必须为每个微服务选择不同方法。下文还将详细介绍。

创建简单的数据驱动的 CRUD 微服务

本节概述了如何创建一个简单微服务，在数据源上执行创建、读取、更新和删除（CRUD）操作。

设计简单的 CRUD 微服务

从设计角度来看，这种容器化微服务非常简单。也许要解决的问题很简单，或者说该实现方法只是为了证明概念。

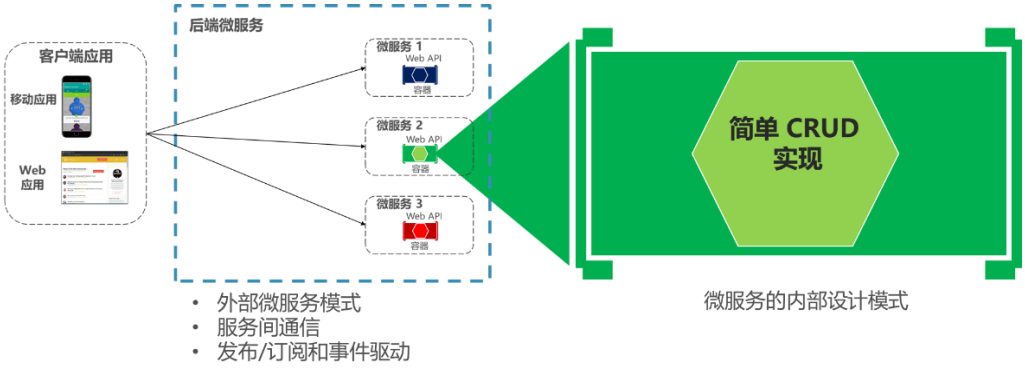


图 8-4. 简单的 CRUD 微服务的内部设计

这种简单数据驱动服务的范例之一是 eShopOnContainers 示例应用程序的目录微服务。这种类型的服务在单个 ASP.NET Core Web API 项目中实现所有功能，该项目包括数据模型类、业务逻辑类及其数据访问代码类。它还将相关数据存储在运行于 SQL Server（作为另一个用于开发/测试目的的容器）的数据库中，但也可以使用任何常规的 SQL Server 主机，如图 8-5 所示。

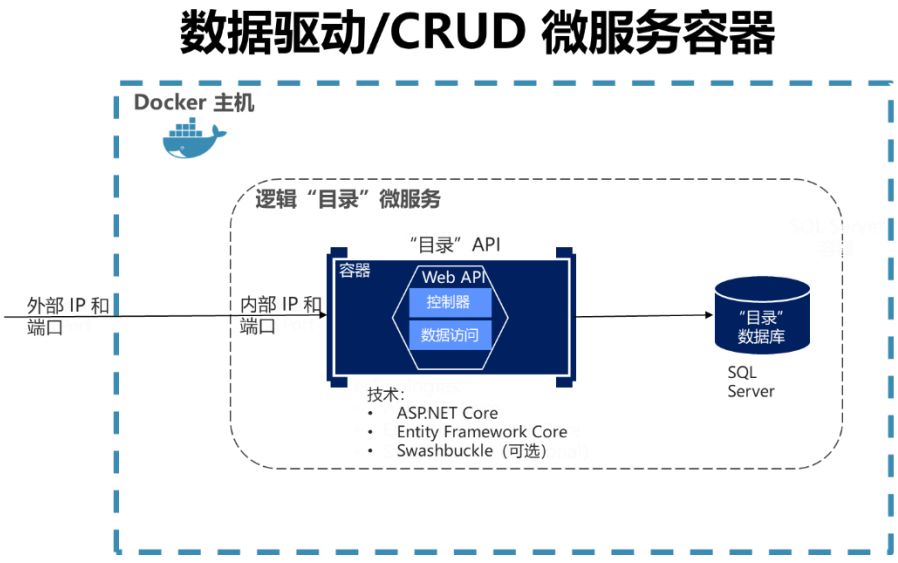


图 8-5. 简单的数据驱动/CRUD 微服务设计

开发此类服务时，只需 ASP.NET Core 和数据访问 API 或 ORM，如 Entity Framework Core。我们还可以通过 Swashbuckle 自动生成 Swagger 元数据，借此为服务提供说明。具体方法可参阅下文。

请注意：在 Docker 容器内运行数据库服务器（如 SQL Server）是开发环境中的一种建议做法，因为我们可以使所有依赖项启动并运行，而无需在云或本地部署数据库。这在运行集成测试时非常方便。但对于生产环境，不建议在容器中运行数据库服务器，因为这种方法通常不具有高可用性。对于 Azure 中的生产环境，建议使用 Azure SQL 数据库或可提供高可用性与高可扩展性的其他数据库技术，例如对于 NoSQL 来说，可以选择 DocumentDB。

最后，通过编辑 Dockerfile 和 docker-compose.yml 元数据文件，我们可以配置如何创建该容器的镜像，例如要使用的基本镜像以及设置选项，如内部和外部名称以及 TCP 端口等。

使用 ASP.NET Core 实现简单的 CRUD 微服务

要使用.NET Core 和 Visual Studio 实现简单的 CRUD 微服务，首先要创建一个简单的 ASP.NET Core Web API 项目（在.NET Core 上运行，以便在 Linux Docker 主机上运行），如图 8-6。

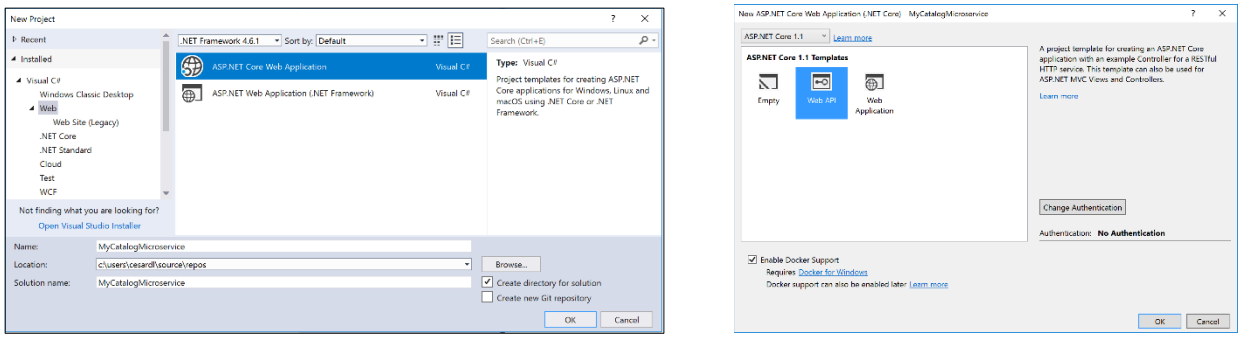


图 8-6. 在 Visual Studio 中创建一个 ASP.NET Core Web API 项目

创建项目后，可以像任何其他 Web API 项目一样实现 MVC 控制器，并使用 Entity Framework API 或其他 API。在新的 Web API 项目中，可以看到这个微服务中唯一的依赖是 ASP.NET Core 本身。在内部的 Microsoft.AspNetCore.All 依赖中，它引用了 Entity Framework 和多个.NET Core Nuget 包，如图 8-7 所示。

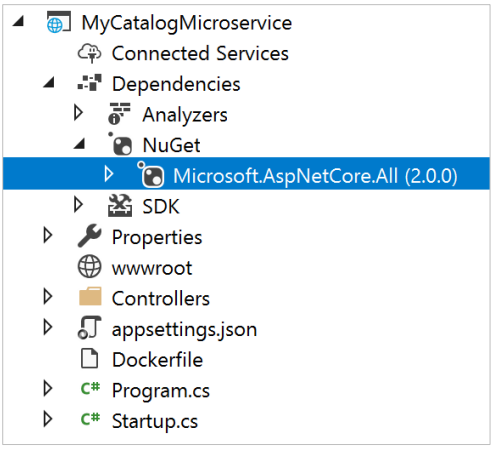


*图 8-7. **一个简单的 CRUD Web API 微服务中的依赖关系***

使用 Entity Framework Core 实现 CRUD Web API 服务

Entity Framework (EF) Core 是流行的 Entity Framework 数据访问技术的轻量级版本，可扩展和跨平台。EF Core 是一种对象关系映射器（ORM），可供.NET 开发人员使用.NET 对象处理数据库。

目录微服务使用了 EF 和 SQL Server 提供程序，因为它的数据库运行在包含 SQL Server for Linux Docker 镜像的容器中。但是数据库可以部署到任何 SQL Server 中，例如 Windows 本地部署或 Azure SQL 数据库。我们只需要更改 ASP.NET Web API 微服务中的连接字符串即可。

数据模型

在 EF Core 的帮助下，数据访问可通过模型的方式执行。模型由实体类和派生上下文组成，代表了与数据库的会话，可供查询和保存数据。我们可以从现有数据库生成模型，手动编写模型以匹配数据库，或使用 EF 迁移功能从模型创建数据库（随着模型和时间而变化）。目录微服务使用了最后一种方法。我们可以在下列代码示例中看到 CatalogItem 实体类的内容，这是一个简单的 Plain Old CLR Object（POCO）实体类。

```
public class CatalogItem
{
    public int Id { get; set; }
    public string Name { get; set; }
    public string Description { get; set; }
    public decimal Price { get; set; }
    public string PictureFileName { get; set; }
    public string PictureUri { get; set; }
    public int CatalogTypeId { get; set; }
    public CatalogType CatalogType { get; set; }
    public int CatalogBrandId { get; set; }
    public CatalogBrand CatalogBrand { get; set; }
    public int AvailableStock { get; set; }
```

```
    public int RestockThreshold { get; set; }
    public int MaxStockThreshold { get; set; }

    public bool OnReorder { get; set; }
    public CatalogItem() { }

    // Additional code ...
}
```

我们还需要一个代表数据库会话的 DbContext。对于目录微服务，CatalogContext 类派生自 DbContext 基类，如下所示：

```
public class CatalogContext : DbContext
{
    public CatalogContext(DbContextOptions<CatalogContext> options) : base(options)
    {
    }
    public DbSet<CatalogItem> CatalogItems { get; set; }
    public DbSet<CatalogBrand> CatalogBrands { get; set; }

    public DbSet<CatalogType> CatalogTypes { get; set; }
    // Additional code ...
}
```

我们还可以拥有其他 DbContext 实现。例如在示例 Catalog.API 微服务中，有另一个名为 CatalogContextSeed 的 DbContext，它在第一次尝试访问数据库时会自动填充示例数据。此方法对演示数据很有用。

在 DbContext 中，还可以使用 OnModelCreating 方法自定义对象/数据库实体映射和其他 EF 扩展性特点。

从 Web API 控制器查询数据

实体类的实例通常使用 Language Integrated Query（LINQ）从数据库中检索，如下所示：

```
[Route("api/v1/[controller]")]
public class CatalogController : ControllerBase
{
    private readonly CatalogContext _catalogContext;
    private readonly CatalogSettings _settings;
    private readonly ICatalogIntegrationEventService
                                            _catalogIntegrationEventService;
    public CatalogController(CatalogContext context,
                             IOptionsSnapshot<CatalogSettings> settings,
                             ICatalogIntegrationEventService
                                               catalogIntegrationEventService)
    {
```

```
        _catalogContext = context ?? throw new
                                        ArgumentNullException(nameof(context));
        _catalogIntegrationEventService = catalogIntegrationEventService ??
throw new ArgumentNullException(nameof(catalogIntegrationEventService));
        _settings = settings.Value;
        ((DbContext)context).ChangeTracker.QueryTrackingBehavior =
                                                QueryTrackingBehavior.NoTracking;
    }
    // GET api/v1/[controller]/items[?pageSize=3&pageIndex=10]
    [HttpGet]
    [Route("[action]")]
    [ProducesResponseType(typeof(PaginatedItemsViewModel<CatalogItem>),
                           (int)HttpStatusCode.OK)]
    public async Task<IActionResult> Items([FromQuery]int pageSize = 10,
                                           [FromQuery]int pageIndex = 0)
    {
        var totalItems = await _catalogContext.CatalogItems
            .LongCountAsync();

        var itemsOnPage = await _catalogContext.CatalogItems
            .OrderBy(c => c.Name)
            .Skip(pageSize * pageIndex)
            .Take(pageSize)
            .ToListAsync();

        itemsOnPage = ChangeUriPlaceholder(itemsOnPage);
        var model = new PaginatedItemsViewModel<CatalogItem>(
            pageIndex, pageSize, totalItems, itemsOnPage);

        return Ok(model);
    }
    //...
}
```

保存数据

使用实体类的实例可以在数据库中创建、删除和修改数据。我们可以在 Web API 控制器中添加以下硬编码示例（此处使用了 Mock 数据）。

```
var catalogItem = new CatalogItem() {CatalogTypeId=2, CatalogBrandId=2,
                                     Name="Roslyn T-Shirt", Price = 12};

_context.Catalog.Add(catalogItem);
_context.SaveChanges();
```

ASP.NET Core 和 Web API 控制器中的依赖注入

在 ASP.NET Core 中，我们可以使用开箱即用的依赖注入（DI）。此时不需要设置第三方控制反转（IoC）容器，但如果需要，可以将首选 IoC 容器插入到 ASP.NET Core 基础架构中。在这种情况下，这意味着可以通过控制器的构造函数直接注入所需的 EF DBContext 或其他仓储库。

在上述 CatalogController 类的例子中，通过 CatalogController()构造函数注入了一个 CatalogContext 类型的对象和其他对象。

在 Web API 项目中有一个重要设置不能忽略：将 DbContext 类注册到服务的 IoC 容器中。通常可以在 Startup 类中通过在 ConfigureServices 方法调用 services.AddDbContext<DbContext>()方法执行此操作，如下所示：

```
public void ConfigureServices(IServiceCollection services)
{
    // Additional code…

      services.AddDbContext<CatalogContext>(options =>
    {
        options.UseSqlServer(Configuration["ConnectionString"],
                                sqlServerOptionsAction: sqlOptions =>
                                {
                                    sqlOptions.
                                               MigrationsAssembly(
                                                      typeof(Startup).
                                                           GetTypeInfo().
                                                                  Assembly.
                                                                    GetName().Name);
                                    //Configuring Connection Resiliency:

                                    sqlOptions.
                                            EnableRetryOnFailure(maxRetryCount: 5,
                                            maxRetryDelay: TimeSpan.FromSeconds(30),
                                            errorNumbersToAdd: null);
                                });
        // Changing default behavior when client evaluation occurs to throw.
        // Default in EFCore would be to log warning when client evaluation is done.
        options.ConfigureWarnings(warnings => warnings.Throw(
                                    RelationalEventId.QueryClientEvaluationWarning));
    });
    //...
}
```

其他资源

- **查询数据**
  https://docs.microsoft.com/ef/core/querying/index
- **保存数据**
  https://docs.microsoft.com/ef/core/saving/index

Docker 容器使用的 DB 连接字符串和环境变量

我们可以使用 ASP.NET Core 设置，并将 ConnectionString 属性添加到 settings.json 文件中，如下所示：

```
{
  "ConnectionString": "Server=tcp:127.0.0.1,5433;Initial Catalog=
      Microsoft.eShopOnContainers.Services.CatalogDb;User Id=sa;Password=Pass@word",
  "ExternalCatalogBaseUrl": "http://localhost:5101",
  "Logging": {
    "IncludeScopes": false,
    "LogLevel": {
      "Default": "Debug",
      "System": "Information",
      "Microsoft": "Information"
    }
  }
}
```

settings.json 文件可包含 ConnectionString 属性或任何其他属性的默认值。但是使用 Docker 时，这些属性将被 docker-compose.override.yml 文件中指定的环境变量值覆盖。

我们可以从 docker-compose.yml 或 docker-compose.override.yml 文件初始化这些环境变量，以便 Docker 将其设置为操作系统环境变量，如下 docker-compose.override.yml 文件所示（为了增加可读性，本例中的连接字符串和其他一些内容设置了换行，但实际使用中不应换行）。

```
# docker-compose.override.yml

catalog.api:
  environment:
    - ConnectionString=Server=sql.data;
              Database=Microsoft.eShopOnContainers.Services.CatalogDb;
              User Id=sa;Password=Pass@word
    # Additional environment variables for this service
  ports:
    - "5101:80"
```

解决方案级别的 docker-compose.yml 文件不仅比项目或微服务级别的配置文件灵活，而且更安全。建议不为每个微服务构建的 Docker 镜像中包含 docker-compose.yml 文件，仅包含每个微服务的二进制文件和配置文件，包括 Dockerfile 即可。但是 docker-compose.yml 和 docker-compose.override.yml 文件并不包含在 Docker 镜像中，不会随应用程序一起部署，它们仅在部署时使用。

因此在这些 docker-compose.yml 文件中放置环境变量值（即使不加密），比将这些值放置在与代码一起部署的常规.NET 配置文件中更为安全。

最后，我们可以通过使用 Configuration["ConnectionString"]从代码中获取该值，如上述示例中的 ConfigureServices 方法所示。

但是对于生产环境，可能需要考虑如何通过其他方式存储连接字符串等机密信息。通常这些信息可由编排引擎管理，详情可参考 Docker Swarm 加密管理的内容。

在 ASP.NET Web API 中实现版本控制

随着业务需求的变化，可能会增加新的资源集合，资源之间的关系也可能发生变化，资源结构可能会被修改。更新 Web API 以处理新的需求是一个相对简单的过程，但是必须考虑这种更改对调用 Web API 的客户端应用程序产生的影响。虽然设计和实现 Web API 的开发人员可以完全控制该 API，但开发人员对可能由第三方组织远程构建的客户端应用程序没有相同程度的控制权。

版本控制使 Web API 能够指示其暴露的功能和资源。然后，客户端应用程序便可向特定版本的功能或资源提交请求。实现版本控制有几种方法：

- URI 版本控制
- 查询字符串版本控制
- Header 版本

查询字符串和 URI 版本控制是最简单的方法。Header 版本控制也很实用，但不像 URI 版本控制那样明显和直接。因为 URL 版本是最简单明确的，所以 eShopOnContainers 示例应用程序使用了这种方法。

通过使用 URI 版本控制，eShopOnContainers 示例应用程序中每次修改 Web API 或更改资源模式时，都可以向每个资源的 URI 添加一个版本号。现有 URI 应该像以前一样继续运行，返回与请求的版本相匹配的模式的资源。

如下代码示例所示，可以使用 Web API 中的 Route 属性来设置版本，这样 URI 中的版本会显得更明显（例如本例中为 v1）。

```
[Route("api/v1/[controller]")]
public class CatalogController : ControllerBase
{
   // Implementation ...
```

这种版本控制机制很简单，将由服务器将请求路由到适当的服务。然而对于更复杂的版本控制和使用 REST 的最佳方法来说，应该使用超媒体并实现 HATEOAS (Hypertext as the Engine of Application State)。

其他资源

- **Scott Hanselman. 简易 ASP.NET Core RESTful Web API 版本控制**
  http://www.hanselman.com/blog/ASPNETCoreRESTfulWebAPIVersioningMadeEasy.aspx
- **对 RESTful Web API 进行版本控制**
  https://docs.microsoft.com/azure/architecture/best-practices/api-design#versioning-a-restful-web-api

- **Roy Fielding. 版本控制，超媒体和 REST**
  https://www.infoq.com/articles/roy-fielding-on-versioning

从 ASP.NET Core Web API 生成 Swagger 描述元数据

Swagger 是一个常用的开源框架，具有一个包含大量工具的生态系统，可帮助我们设计、构建、记录和调用 RESTful API。它正在成为 API 描述元数据领域的标准。我们应该使用 Swagger 描述任何类型的微服务元数据，包括数据驱动的微服务或更高级的领域驱动的微服务（如下一节所述）。

Swagger 的核心是 Swagger 规范，它是 JSON 或 YAML 文件中的 API 描述元数据。该规范可为 API 创建 RESTful 契约，以人机可读的格式详细描述所有资源和操作，以便于开发、发现和集成。

该规范是 OpenAPI 规范（OAS）的基础，在开放、透明和协作的社区中开发而来，借此可将 RESTful 接口定义的方式实现标准化。

该规范定义了如何发现服务以及如何理解其功能的结构。更多信息，包括网页编辑器和来自 Spotify、Uber、Slack 和 Microsoft 等公司的 Swagger 规范示例，请参阅 Swagger 站点（http://swagger.io）。

为什么使用 Swagger？

为 API 生成 Swagger 元数据的主要原因如下。

其他产品能够自动调用和集成 API。数十种产品和商业工具以及众多库和框架均支持 Swagger。Microsoft 也提供了可以自动使用基于 Swagger 的 API 的高级产品和工具，例如：

- AutoRest。可以自动生成调用 Swagger 的.NET 客户端类。该工具可从 CLI 中使用，还可与 Visual Studio 集成，以便通过 GUI 轻松使用。
- Microsoft Flow。可自动使用 API 并集成到高级 Microsoft Flow 工作流中，无需任何编程技能。
- Microsoft PowerApps。可借助使用 PowerApps Studio 构建的 PowerApps 移动应用程序自动使用 API，而无需编程技能。
- Azure App Service Logic Apps。可以自动使用并将 API 集成到 Azure 应用服务逻辑应用（App Service Logic App）中，而不需要编程技能。

能够自动生成 API 文档。创建大型 RESTful API（例如基于微服务的复杂应用程序）时，需要处理很多使用不同数据模型的终结点，这些模型将在请求和响应负载中使用。借助 Swagger 获得必要文档以及稳定的 API 资源管理器，是 API 成功实现和降低开发者使用难度的关键。

Swagger 元数据可供 Microsoft Flow、PowerApps 和 Azure Logic Apps 理解如何使用 API 并连接到它们的元数据。

如何使用 Swashbuckle NuGet 软件包自动生成 API Swagger 元数据

手动生成 Swagger 元数据（以 JSON 或 YAML 文件格式）的过程可能非常繁琐。但是我们可以使用 Swashbuckle NuGet 软件包动态生成 Swagger API 元数据，使 ASP.NET Web API 服务的 API 发现实现自动化。

Swashbuckle 会为 ASP.NET Web API 项目自动生成 Swagger 元数据。它支持 ASP.NET Core Web API 项目和传统的 ASP.NET Web API，以及任何其他风格的项目，如 Azure API App、Azure Mobile App、基于 ASP.NET 的 Azure Service Fabric 微服务。它还支持部署在容器中的普通 Web API，如示例应用程序所示。

Swashbuckle 结合了 API Explorer、Swagger 或 swagger-ui，为 API 消费者提供了丰富的发现能力和文档。除了 Swagger 元数据生成器引擎外，Swashbuckle 还包含 swagger-ui 的嵌入式版本，安装后可自动运行。

这意味着我们可以通过具备良好可发现性的 UI 作为 API 的补充，以帮助开发人员使用我们的 API。这种方式只需要很少量的代码和维护，因为全过程是自动的，因此我们也可以更加专注于 API 的构建。API Explorer 界面如图 8-8 所示。

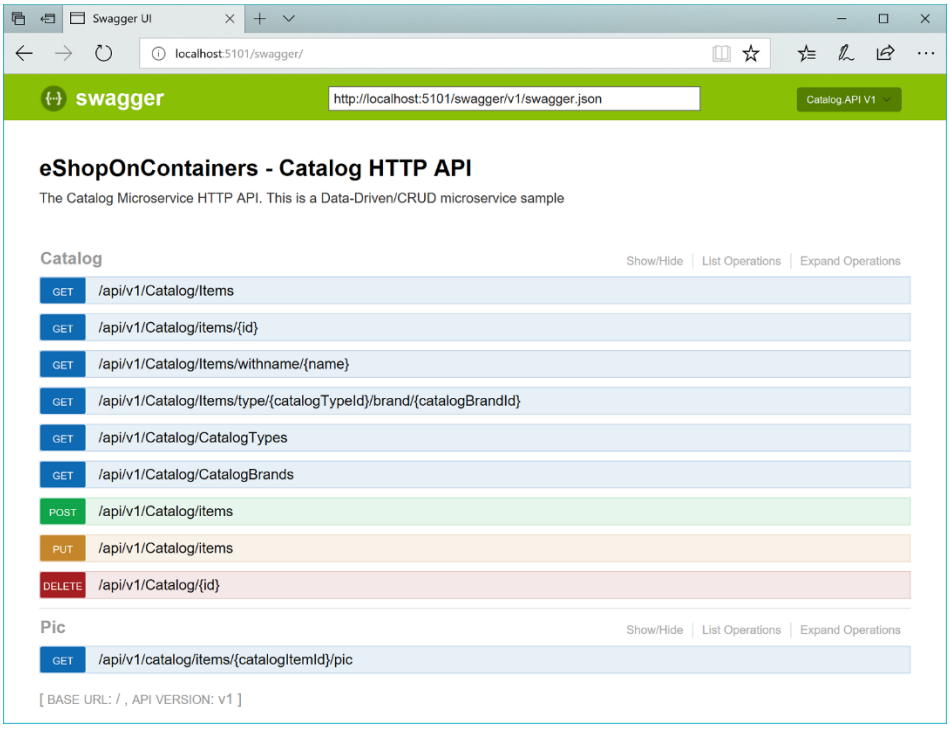


*图 8-8. **Swashbuckle API Explorer，基于 Swagger 元数据的 eShopOnContainers 目录微服务***

Swagger 的价值不仅仅在于 API 资源管理器本身。一旦拥有可以在 Swagger 元数据中描述自己的 Web API，就可以从基于 Swagger 的工具无缝地使用 API，包括针对不同平台的客户端代理类代码生成器。

例如，如上所述，AutoRest 可自动生成.NET 客户端类，但也可以使用其他工具，如 swagger-codegen，它们可以自动生成 API 客户端库、服务器存根和文档。

目前，对 ASP.NET Core 应用程序来说，Swashbuckle 包含两个内部 NuGet 软件包，位于高级元软件包 Swashbuckle.AspNetCoreSwaggerGen version 1.0.0 或更高版本中。

在 Web API 项目中将这些依赖关系添加到 NuGet 包后，还需要在 Startup 类中配置 Swagger，如下所示：

```
public class Startup
{
    public IConfigurationRoot Configuration { get; }

    // Other startup code...

    public void ConfigureServices(IServiceCollection services)
    {
        // Other ConfigureServices() code...

       // Add framework services.
       services.AddSwaggerGen(options =>
       {
           options.DescribeAllEnumsAsStrings();
           options.SwaggerDoc("v1", new Swashbuckle.AspNetCore.Swagger.Info
           {
               Title = "eShopOnContainers - Catalog HTTP API",
               Version = "v1",
               Description = "The Catalog Microservice HTTP API",
               TermsOfService = "Terms of Service"
           });
       });
       // Other ConfigureServices() code...
    }

    public void Configure(IApplicationBuilder app,
                          IHostingEnvironment env,
                          ILoggerFactory loggerFactory)
    {
        // Other Configure() code...
        // ...
        app.UseSwagger()
          .UseSwaggerUI(c =>
          {
              c.SwaggerEndpoint("/swagger/v1/swagger.json", "Catalog.API V1");
          });
    }
}
```

完成该操作后，便可启动应用程序，使用这些 URL 来浏览下列 Swagger JSON 和 UI 终结点：

```
http://<your-root-url>/swagger/v1/swagger.json
http://<your-root-url>/swagger/
```

上述操作可以看到由 Swashbuckle 为 http//<your-root-url>/swagger 这样的 URL 创建的 UI。图 8-9 还展示了测试所有 API 的方法。

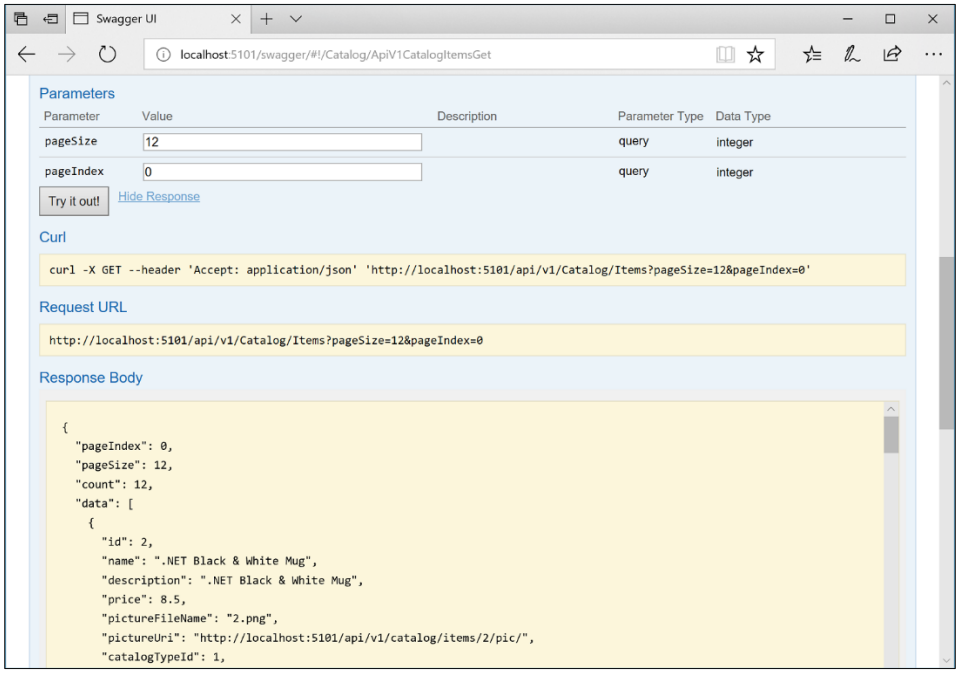


*图 8-9. **Swashbuckle UI 测试 Catalog/Items API 方法***

图 8-10 显示了当使用 Postman 请求<your-rooturl>/swagger/v1/swagger.json 时，eShopOnContainers 微服务生成的 Swagger JSON 元数据（这是由工具在底层使用的）。

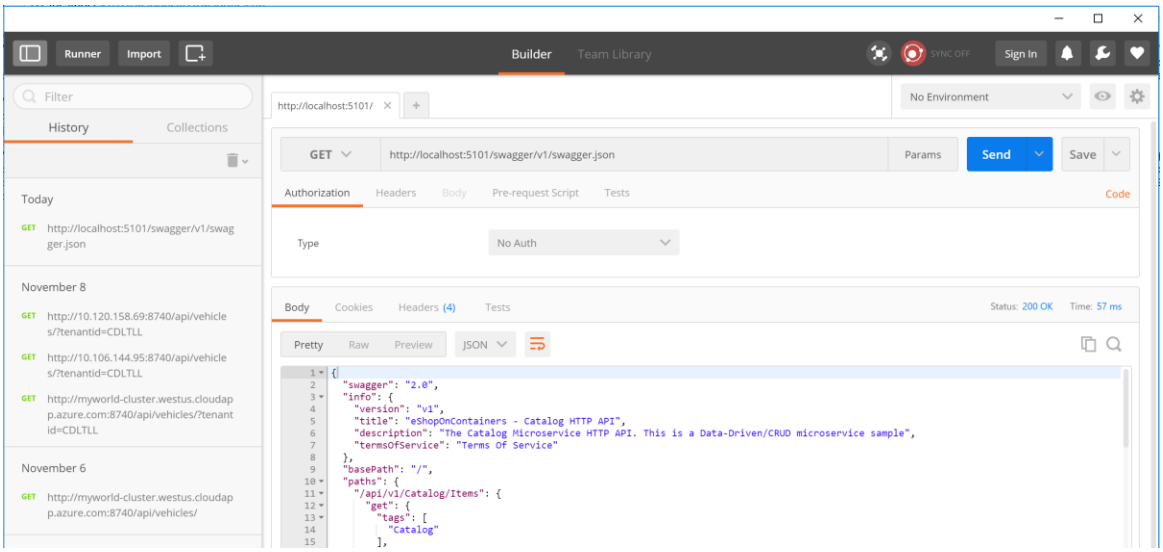


*图 8-10. **Swagger JSON 元数据***

整个过程很简单。由于内容均自动生成，向 API 添加更多功能后，Swagger 元数据也会随之更新。

其他资源

- **使用 Swagger 的 ASP.NET Web API 帮助页面**
  https://docs.microsoft.com/aspnet/core/tutorials/web-api-help-pages-using-swagger

使用 docker-compose.yml 定义多容器应用程序

在本书中，docker-compose.yml 文件已在步骤 4、当构建多容器 Docker 应用程序的时候，在 docker-compose.yml 中定义您的服务中作了介绍。但是，使用 docker-compose 文件还有很多细节值得介绍。

例如，我们可以显式描述如何在 docker-compose.yml 文件中部署多容器应用程序，或者还可以描述如何构建自定义 Docker 镜像。（自定义 Docker 镜像也可使用 Docker CLI 构建。）

基本上，我们需要为每个容器部署定义要附加的特性。一旦拥有了多容器部署描述文件，就可以在由 docker-compose up CLI 命令编排的单个操作中部署整个解决方案，也可从 Visual Studio 透明部署。否则，就必须使用 Docker CLI，通过使用命令行中的 docker run 命令借助多个步骤部署容器。因此在 docker-compose.yml 中定义的每个服务必须指定一个镜像或构建。其他选项是可选的，对应了 docker run 命令行的相应选项。

下列 YAML 代码是 eShopOnContainers 示例使用的 docker-compose.yml 文件内容，该文件可全局使用，但此处单独使用。这不是 eShopOnContainers 中实际的 docker-compose 文件，相反它是单个文件简化并合并后的版本。不过这并不是使用 docker-compose 文件的最佳方法，稍后将做出说明。

```
version: '2'
services:
  webmvc:
    image: eshop/webmvc
    environment:
      - CatalogUrl=http://catalog.api
      - OrderingUrl=http://ordering.api
      - BasketUrl=http://basket.api
    ports:
      - "5100:80"
    depends_on:
      - catalog.api
      - ordering.api
      - basket.api
  catalog.api:
    image: eshop/catalog.api
    environment:
      - ConnectionString=Server=sql.data;Initial Catalog=CatalogData;
                                                User Id=sa;Password=your@password
    expose:
      - "80"
    ports:
      - "5101:80"
```

```
    #extra hosts can be used for standalone SQL Server or services at the dev PC
    extra_hosts:
      - "CESARDLSURFBOOK:10.0.75.1"
    depends_on:
      - sql.data
  ordering.api:
    image: eshop/ordering.api
    environment:
      - ConnectionString=Server=sql.data;Database=Services.OrderingDb;
                                                    User Id=sa;Password=your@password
    ports:
      - "5102:80"
    #extra hosts can be used for standalone SQL Server or services at the dev PC
    extra_hosts:
      - "CESARDLSURFBOOK:10.0.75.1"
    depends_on:
      - sql.data
  basket.api:
    image: eshop/basket.api
    environment:
      - ConnectionString=sql.data
    ports:
      - "5103:80"
    depends_on:
      - sql.data
  sql.data:
    environment:
      - SA_PASSWORD=your@password
      - ACCEPT_EULA=Y
    ports:
      - "5434:1433"
  basket.data:
    image: redis
```

此文件根键是 services。在该键下，我们可以定义执行 docker-compose up 命令时，或使用此 docker-compose.yml 文件从 Visual Studio 部署时，所要部署和运行的服务。本例中 docker-compose.yml 文件定义了多个服务，如下表所述。

docker-compose.yml 中的服务名称	**描述**
webmvc	包括从服务器端 C#调用微服务的 ASP.NET Core MVC 应用程序的容器
catalog.api	包括产品 ASP.NET Core Web API 微服务的容器
ordering.api	包括订单 ASP.NET Core Web API 微服务的容器
sql.data	运行 SQL Server for Linux，支持微服务数据库的容器
basket.api	购物篮 ASP.NET Core Web API 微服务容器
basket.data	运行 Redis 缓存服务的容器，将购物篮数据库作为 Redis 缓存

一个简单的 Web Service API 容器

针对单个容器，catalog.api 容器微服务提供了简单的定义：

```
catalog.api:
  image: eshop/catalog.api
  environment:
    - ConnectionString=Server=catalog.data;Initial Catalog=CatalogData;
                                                    User Id=sa;Password=your@password
  expose:
    - "80"
  ports:
    - "5101:80"

  #extra hosts can be used for standalone SQL Server or services at the dev PC
  extra_hosts:
    - "CESARDLSURFBOOK:10.0.75.1"

  depends_on:
    - sql.data
```

此容器化服务具有以下基本配置：

- 基于自定义的 eshop/catalog.api 镜像。简化起见，文件中未包含 build: key 设置，这意味着镜像必须已经构建（使用 docker build）或已从 Docker 注册表下载（使用 docker pull 命令）。
- 使用连接字符串定义了名为 ConnectionString 的环境变量，由 Entity Framework 访问包含目录数据模型的 SQL Server 实例。在这种情况下，同一 SQL Server 容器保存了多个数据库，借此可降低对开发机器的内存要求。但是我们也可为每个微服务数据库部署一个 SQL Server 容器。
- SQL Server 的名称是 sql.data，它与 Linux 上运行 SQL Server 实例的容器名称相同。这是为了获得便利性，使用该名称解析（Docker 主机内部）能够解析网络地址，因此不需要知道正在从其他容器访问的容器的内部 IP。

  因为连接字符串是由环境变量定义的，因此可以通过不同机制在不同时间来设置该变量。例如，我们可以在最终主机中部署生产环境时设置不同连接字符串，也可在 VSTS 或其他 DevOps 系统的 CI/CD 管道中进行设置。
- 暴露了 80 端口，以便从内部访问 Docker 主机中的 catalog.api 服务。主机目前是 Linux VM，因为它使用了基于 Linux 的 Docker 镜像，但是也可将容器配置为在 Windows 镜像上运行。
- 将容器暴露的端口 80 转发到 Docker 主机（Linux VM）上的端口 5101。
- 将 Web 服务连接到 sql.data 服务（在容器中运行的 Linux 数据库 SQL Server 实例）。设置此依赖项时，只有 sql.data 容器已经启动，才能启动 catalog.api 容器。这很重要，因为 catalog.api 需要首先启动并运行 SQL Server 数据库。但是这种容器依赖关系在许多情况下是不够的，因为 Docker 仅在容器级别进行检查，有时，服务（在这种情况下为 SQL Server）可能

还没有准备好，因此建议在客户端微服务中实现基于指数退避算法的重试逻辑，借此，如果依赖项容器在短时间内没有准备就绪，应用程序仍可迅速恢复。

- 配置为允许访问外部服务器：extra_hosts 设置允许我们访问外部服务器或 Docker 主机之外的机器（即默认作为开发 Docker 主机的 Linux VM 之外的机器），例如在开发 PC 上的本地 SQL Server 实例。

此外还有其他更高级的 docker-compose.yml 设置，我们将在以下部分中讨论。

使用 docker-compose 文件面向多种目标环境

docker-compose.yml 是一种定义文件，可被能够理解该格式的多种基础架构使用。此时最直接的工具是 docker-compose 命令，但其他工具，如编排引擎（例如 Docker Swarm）也能理解这种文件。

因此通过使用 docker-compose 命令，可以针对以下主要场景为目标。

开发环境

开发应用程序时，必须能在独立的开发环境中运行应用程序。我们可以使用 docker-compose CLI 命令来创建开发环境，或通过 Visual Studio 来使用 docker-compose。

docker-compose.yml 文件可用于配置和记录应用程序的所有服务依赖关系（其他服务、缓存、数据库、队列等）。借助 docker-compose CLI 命令，我们可以用一个命令（docker-compose up）为每个依赖关系创建并启动一个或多个容器。

docker-compose.yml 文件是由 Docker 引擎解释的配置文件，也可作为多容器应用程序组合的文档文件。

测试环境

单元测试和集成测试是任何持续部署（CD）或持续集成（CI）流程的重要组成部分。这些自动化测试需要一个独立的环境，以避免应用程序数据中用户或任何其他变化的影响。

借助 Docker Compose，可以使用命令提示符或脚本中的几条命令轻松创建或销毁这样的独立环境，如下所示：

```
docker-compose up -d
./run_unit_tests
docker-compose down
```

生产环境

我们也可以使用 Compose 部署到远程 Docker 引擎。典型的情况是部署到单个 Docker 主机实例（如使用 Docker Machine 配置的生产 VM 或服务器），但也可部署到完整的 Docker Swarm 集群，因为集群也与 dockercompose.yml 文件兼容。

如果正在使用任何其他编排引擎（Azure Service Fabric、Mesos DC/OS、Kubernetes 等），则可能需要像其他 docker-compose.yml 一样添加设置和元数据配置，但要使用其他编排引擎支持的格式。

无论如何，docker-compose 是用于开发、测试和生产工作流程的便捷工具和元数据格式，不过您正在使用的编排引擎所提供的生产工作流程可能会有所不同。

使用多个 docker-compose 文件处理多个环境

面向不同环境时，应该使用多个 compose 文件。借此便可根据环境创建多个配置。

重写基本 docker-compose 文件

我们可以使用单个 docker-compose.yml 文件，前几节的简化示例就是这样做的。但是对大多数应用程序来说，并不推荐使用这种方式。

默认情况下，Compose 会读取两个文件：一个 docker-compose.yml 和一个可选的 docker-compose.override.yml 文件。如图 8-11 所示，当使用 Visual Studio 并启用 Docker 支持时，Visual Studio 还会创建一个额外的 docker-compose.ci.build.yml 文件，供我们在 CI/CD 管道中使用，VSTS 也是类似做法。

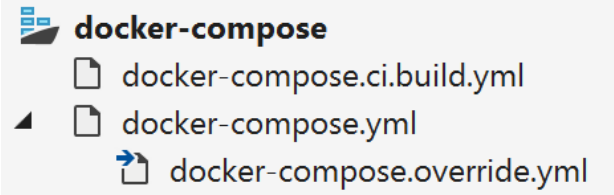


*图 8-11. **Visual Studio 2017 中的 docker-compose 文件***

我们可以使用任何编辑器（如 Visual Studio Code 或 Sublime）编辑 docker-compose 文件，并使用 docker-compose up 命令运行应用程序。

按照惯例，docker-compose.yml 文件包含基本配置和其他静态设置。这意味着服务配置不应根据面向的部署环境而改变。

docker-compose.override.yml 文件，顾名思义，包含了重写基本配置的配置设置，例如依赖于部署环境的配置。我们也可以使用不同名称的多个重写文件。重写文件通常包含应用程序所需的附加信息，并且取决于特定环境或部署。

针对多个环境

一个典型用例是定义多个 compose 文件，以针对多个环境，如生产、预发布、持续集成或开发。为了支持这些差异，我们可以将 Compose 配置拆分成多个文件，如图 8-12 所示。

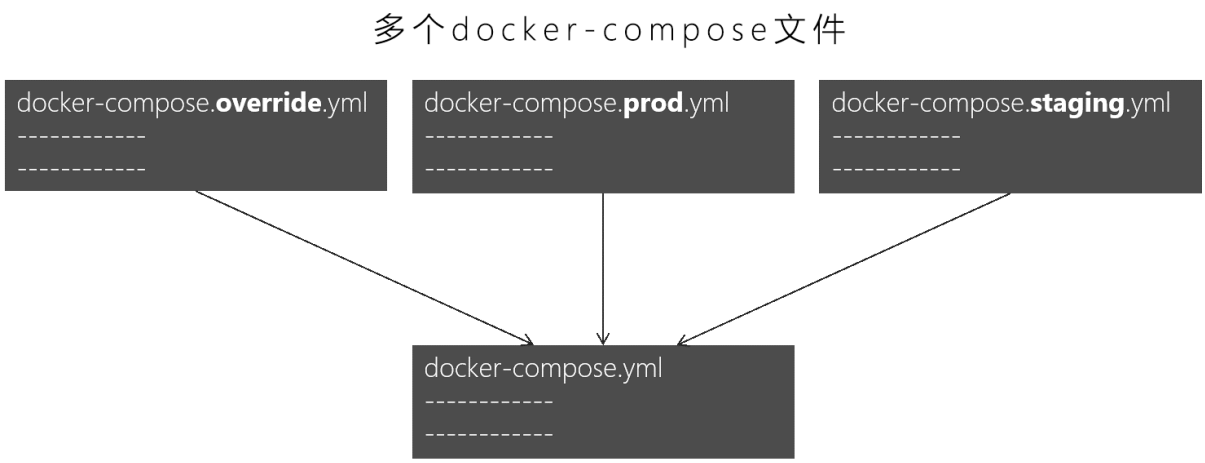


图 8-12. 多个 docker-compose 文件重写基本 docker-compose.yml 文件中的值

从基础 docker-compose.yml 文件开始，该基础文件必须包含依赖环境，并且不会更改的基本或静态配置设置。例如，eShopOnContainers 使用下列内容的 docker-compose.yml 文件作为基础文件（已简化为较少的服务）。

```
#docker-compose.yml (Base)
version: '3'
services:
  basket.api:
    image: eshop/basket.api:${TAG:-latest}
    build:
      context: ./src/Services/Basket/Basket.API
      dockerfile: Dockerfile
    depends_on:
      - basket.data
      - identity.api
      - rabbitmq

  catalog.api:
    image: eshop/catalog.api:${TAG:-latest}
    build:
      context: ./src/Services/Catalog/Catalog.API
      dockerfile: Dockerfile
    depends_on:
      - sql.data
      - rabbitmq

  marketing.api:
    image: eshop/marketing.api:${TAG:-latest}
    build:
      context: ./src/Services/Marketing/Marketing.API
      dockerfile: Dockerfile
    depends_on:
      - sql.data
```

```
      - nosql.data
      - identity.api
      - rabbitmq

  webmvc:
    image: eshop/webmvc:${TAG:-latest}
    build:
      context: ./src/Web/WebMVC
      dockerfile: Dockerfile
    depends_on:
      - catalog.api
      - ordering.api
      - identity.api
      - basket.api
      - marketing.api

  sql.data:
    image: microsoft/mssql-server-linux:2017-latest

  nosql.data:
    image: mongo

  basket.data:
    image: redis

  rabbitmq:
    image: rabbitmq:3-management
```

基础 docker-compose.yml 文件中的值不应该因为针对不同的部署环境而更改。

例如，如果关注 webmvc 服务定义，无论可能面向哪个环境，都可以看到很多类似信息，例如：

- 服务名称：webmvc。
- 容器的自定义镜像：eshop/webmvc。
- 构建自定义 Docker 镜像的命令，指示要使用哪个 Dockerfile。
- 依赖的其他服务，因此在其他依赖项容器启动之后，此容器才会启动。

我们可以进行其他配置，但一定要在基础 dockercompose.yml 文件中进行，我们只需要设置不同环境中的一般信息，然后将每个环境的特定信息放置在 docker-compose.override.yml 或用于生产环境或预发布环境的类似文件中。

通常来说，docker-compose.override.yml 将用于开发环境，如 eShopOnContainers 中以下示例所示：

```
#docker-compose.override.yml (Extended config for DEVELOPMENT env.)
version: '3'

services:
# Simplified number of services here:

  basket.api:
```

```
    environment:
      - ASPNETCORE_ENVIRONMENT=Development
      - ASPNETCORE_URLS=http://0.0.0.0:80
      - ConnectionString=${ESHOP_AZURE_REDIS_BASKET_DB:-basket.data}
      - identityUrl=http://identity.api
      - IdentityUrlExternal=http://${ESHOP_EXTERNAL_DNS_NAME_OR_IP}:5105
      - EventBusConnection=${ESHOP_AZURE_SERVICE_BUS:-rabbitmq}
      - EventBusUserName=${ESHOP_SERVICE_BUS_USERNAME}
      - EventBusPassword=${ESHOP_SERVICE_BUS_PASSWORD}
      - AzureServiceBusEnabled=False
      - ApplicationInsights__InstrumentationKey=${INSTRUMENTATION_KEY}
      - OrchestratorType=${ORCHESTRATOR_TYPE}
      - UseLoadTest=${USE_LOADTEST:-False}

    ports:
      - "5103:80"

  catalog.api:
    environment:
      - ASPNETCORE_ENVIRONMENT=Development
      - ASPNETCORE_URLS=http://0.0.0.0:80
      - ConnectionString=${ESHOP_AZURE_CATALOG_DB:-
Server=sql.data;Database=Microsoft.eShopOnContainers.Services.CatalogDb;User
Id=sa;Password=Pass@word}
      - PicBaseUrl=${ESHOP_AZURE_STORAGE_CATALOG_URL:-
http://localhost:5101/api/v1/catalog/items/[0]/pic/}
      - EventBusConnection=${ESHOP_AZURE_SERVICE_BUS:-rabbitmq}
      - EventBusUserName=${ESHOP_SERVICE_BUS_USERNAME}
      - EventBusPassword=${ESHOP_SERVICE_BUS_PASSWORD}
      - AzureStorageAccountName=${ESHOP_AZURE_STORAGE_CATALOG_NAME}
      - AzureStorageAccountKey=${ESHOP_AZURE_STORAGE_CATALOG_KEY}
      - UseCustomizationData=True
      - AzureServiceBusEnabled=False
      - AzureStorageEnabled=False
      - ApplicationInsights__InstrumentationKey=${INSTRUMENTATION_KEY}
      - OrchestratorType=${ORCHESTRATOR_TYPE}
    ports:
      - "5101:80"

  marketing.api:
    environment:
      - ASPNETCORE_ENVIRONMENT=Development
      - ASPNETCORE_URLS=http://0.0.0.0:80
      - ConnectionString=${ESHOP_AZURE_MARKETING_DB:-
Server=sql.data;Database=Microsoft.eShopOnContainers.Services.MarketingDb;User
Id=sa;Password=Pass@word}
      - MongoConnectionString=${ESHOP_AZURE_COSMOSDB:-mongodb://nosql.data}
      - MongoDatabase=MarketingDb
      - EventBusConnection=${ESHOP_AZURE_SERVICE_BUS:-rabbitmq}
      - EventBusUserName=${ESHOP_SERVICE_BUS_USERNAME}
      - EventBusPassword=${ESHOP_SERVICE_BUS_PASSWORD}
      - identityUrl=http://identity.api
      - IdentityUrlExternal=http://${ESHOP_EXTERNAL_DNS_NAME_OR_IP}:5105
      - CampaignDetailFunctionUri=${ESHOP_AZUREFUNC_CAMPAIGN_DETAILS_URI}
      - PicBaseUrl=${ESHOP_AZURE_STORAGE_MARKETING_URL:-
http://localhost:5110/api/v1/campaigns/[0]/pic/}
      - AzureStorageAccountName=${ESHOP_AZURE_STORAGE_MARKETING_NAME}
      - AzureStorageAccountKey=${ESHOP_AZURE_STORAGE_MARKETING_KEY}
```

```
      - AzureServiceBusEnabled=False
      - AzureStorageEnabled=False
      - ApplicationInsights__InstrumentationKey=${INSTRUMENTATION_KEY}
      - OrchestratorType=${ORCHESTRATOR_TYPE}
      - UseLoadTest=${USE_LOADTEST:-False}
    ports:
      - "5110:80"

  webmvc:
    environment:
      - ASPNETCORE_ENVIRONMENT=Development
      - ASPNETCORE_URLS=http://0.0.0.0:80
      - CatalogUrl=http://catalog.api
      - OrderingUrl=http://ordering.api
      - BasketUrl=http://basket.api
      - LocationsUrl=http://locations.api
      - IdentityUrl=http://10.0.75.1:5105
      - MarketingUrl=http://marketing.api
      - CatalogUrlHC=http://catalog.api/hc
      - OrderingUrlHC=http://ordering.api/hc
      - IdentityUrlHC=http://identity.api/hc
      - BasketUrlHC=http://basket.api/hc
      - MarketingUrlHC=http://marketing.api/hc
      - PaymentUrlHC=http://payment.api/hc
      - UseCustomizationData=True
      - ApplicationInsights__InstrumentationKey=${INSTRUMENTATION_KEY}
      - OrchestratorType=${ORCHESTRATOR_TYPE}
      - UseLoadTest=${USE_LOADTEST:-False}
    ports:
      - "5100:80"
  sql.data:
    environment:
      - MSSQL_SA_PASSWORD=Pass@word
      - ACCEPT_EULA=Y
      - MSSQL_PID=Developer
    ports:
      - "5433:1433"
  nosql.data:
    ports:
      - "27017:27017"
  basket.data:
    ports:
      - "6379:6379"
  rabbitmq:
    ports:
      - "15672:15672"
      - "5672:5672"
```

在这个例子中，开发重写配置将一些端口暴露给主机，使用重定向 URL 定义环境变量，并为开发环境指定了连接字符串。所有这些设置只适用于开发环境。

运行 docker-compose up（或从 Visual Studio 启动）时，该命令将自动读取重写，效果等同于这两个文件合并。

假设需要另一个 Compose 文件用于生产环境，但具有不同的配置值、端口或连接字符串，可以创建另一个覆盖文件，如具有不同设置和环境变量，名为 docker-compose.prod.yml 的文件。该文件可能存储在不同 Git 仓库中，或由不同团队管理和保管。

如何使用特定的重写文件进行部署

要使用多个重写文件或使用不同名称的重写文件，可以使用 docker-compose 命令的-f 选项来指定文件。Compose 会按照命令行中指定的顺序合并文件。以下示例显示了如何使用重写文件进行部署。

```
docker-compose -f docker-compose.yml -f docker-compose.prod.yml up -d
```

在 docker-compose 文件中使用环境变量

能够从环境变量获取配置信息是非常方便的，生产环境中尤为如此，如上文例子所示。我们可以使用语法${MY_VAR}引用 docker-compose 文件中的环境变量。dockercompose.prod.yml 文件中的下列内容显示了引用环境变量值的方法。

```
IdentityUrl=http://${ESHOP_PROD_EXTERNAL_DNS_NAME_OR_IP}:5105
```

取决于主机环境（Linux、Windows、云集群等），需要以不同方式创建和初始化环境变量。但是更方便的方法是使用.env 文件。docker-compose 文件支持在.env 文件中声明默认环境变量。这些环境变量的值是默认值，而我们可以用每个环境中定义的值（主机操作系统或集群中的环境变量）重写。将.env 文件放在执行 docker-compose 命令的文件夹中即可。

以下示例显示了类似于 eShopOnContainers 应用程序中的.env 文件内容。

```
# .env file
ESHOP_EXTERNAL_DNS_NAME_OR_IP=localhost
ESHOP_PROD_EXTERNAL_DNS_NAME_OR_IP=10.121.122.92
```

Docker-compose 要求.env 文件中每行的格式为<variable>=<value>。

请注意：运行时环境中设置的值将始终重写.env 文件中定义的值。同理，通过命令行命令参数传递的值也将重写.env 文件中设置的默认值。

其他资源

- **Docker Compose 概述**
  https://docs.docker.com/compose/overview/
- **多个 Compose 文件**
  https://docs.docker.com/compose/extends/#multiple-compose-files

构建优化的 ASP.NET Core Docker 镜像

在互联网上查询与 Docker 和.NET Core 有关的资料就会发现，Dockerfiles 通过将源代码复制到容器中来证明 Docker 镜像构建过程的简单程度。这些示例证明了，只需简单的配置，便可使用包含应用程序环境的 Docker 镜像。以下是一个简单的 Dockerfile 内容示例。

```
FROM microsoft/dotnet
WORKDIR /app
ENV ASPNETCORE_URLS http://+:80
EXPOSE 80
COPY . .
RUN dotnet restore
ENTRYPOINT ["dotnet", "run"]
```

这样的 Docker 文件已经可以正常工作。但是我们可以进一步优化镜像，尤其是生产镜像。

在容器和微型服务模型中，我们需要不断地启动容器。典型的使用方式中，我们并不会重启动一个休眠的容器，因为容器是一次性的。编排引擎（如 Docker Swarm、Kubernetes、DC/OS 或 Azure Service Fabric）此时将直接新建镜像实例。这意味着我们需要在构建应用程序时进行的预编译来实现优化，以便让实例化的过程进展更快。当容器启动后，便准备好运行了。我们不应该在运行时从 dotnet CLI 使用 dotnet restore 和 dotnet build 命令进行恢复和编译，很多有关.NET Core 和 Docker 的博客文章都提出过这样的建议。

.NET 团队一直在努力使.NET Core 和 ASP.NET Core 成为针对容器进行优化的框架。.NET Core 不仅是一个内存占用小的轻量级框架，开发团队还非常关注启动性能，并生成了一些优化过的 Docker 镜像，例如 Docker Hub 提供的 microsoft/aspnetcore 镜像，相比常规的 microsoft/dotnet 或 microsoft/nanoserver 镜像，这种镜像的性能更出色。microsoft/aspnetcore 镜像包含 aspnetcore_urls 到端口 80 的自动设置以及程序集的 pre-ngend 缓存，这两个设置都会提升启动速度。

其他资源

- **使用 ASP.NET Core 构建优化的 Docker 镜像**
  https://blogs.msdn.microsoft.com/stevelasker/2016/09/29/building-optimized-docker-images-with-asp-net-core/

从构建（持续集成）容器构建应用程序

Docker 的另一个优点在于，我们可以从预配置的容器构建应用程序，如图 8-13 所示。因此我们并不需要创建构建机器或虚拟机来构建应用程序，而是可以在开发机器上运行，借此直接使用或测试构建容器。更有趣的是，我们还可以使用与 CI（持续集成）管道中相同的构建容器。

用容器构建应用程序

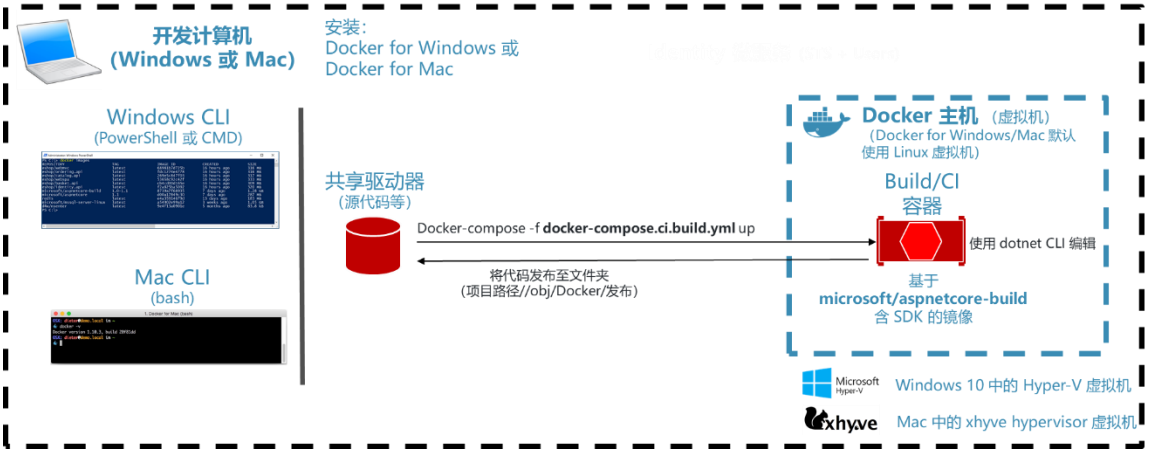


*图 8-13. **Docker 构建容器编译.NET 二进制组件***

对于这种情况，我们提供了 microsoft/aspnetcore-build 镜像，大家可以使用该镜像编译并构建自己的 ASP.NET Core 应用程序。程序的输出内容将放置在基于 microsoft/aspnetcore 镜像的镜像中，如上文所述，这也是一种优化过的运行时镜像。

该 aspnetcore-build 镜像包含编译 ASP.NET Core 应用程序所需的一切内容，包括.NET Core、ASP.NET SDK、npm、Bower、Gulp 等。

构建时需要这些依赖关系，但我们并不想在运行时与应用程序一起附带这些依赖项，因为这会使镜像体积不必要的变大。在 eShopOnContainers 应用程序中，我们可以通过运行以下 docker-compose 命令从容器中构建应用程序。

```
docker-compose -f docker-compose.ci.build.yml up
```

图 8-14 显示了在命令行运行命令的结果。

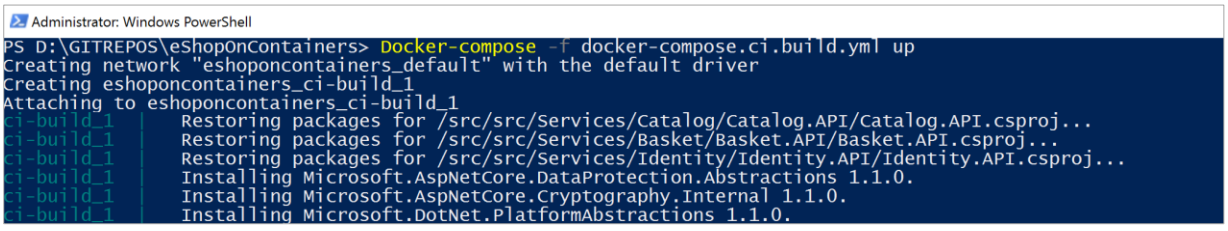


*图 8-14. **从容器构建.NET 应用程序***

如图所示，正在运行的容器是 ci-build_1 容器。该容器基于 aspnetcore-build 镜像，因此可以从该容器内而不是从 PC 中编译和构建整个应用程序。而也正是因此，在现实中我们需要在 Linux 中构建和编译.NET Core 项目，因为容器运行在默认的 Docker Linux 主机上。

该镜像的 docker-compose.ci.build.yml 文件（eShopOnContainers 的一部分）包含以下代码。从中可以看到，它将使用 microsoft/aspnetcore-build 镜像启动构建容器。

```
version: '3'

services:

  ci-build:

    image: microsoft/aspnetcore-build:2.0

    volumes:
      - .:/src

    working_dir: /src

    command: /bin/bash -c "pushd ./src/Web/WebSPA && npm rebuild node-sass && popd
&& dotnet restore ./eShopOnContainers-ServicesAndWebApps.sln && dotnet publish
./eShopOnContainers-ServicesAndWebApps.sln -c Release -o ./obj/Docker/publish"
```

一旦构建容器启动并运行，将针对解决方案中的所有项目运行.NET SDK dotnet restore 和 dotnet publish 命令，以编译.NET 字节码。在这个示例中，由于 eShopOnContainers 还有一个基于 TypeScript 和 Angular 的客户端 SPA 代码，因此还需要使用 npm 检查 JavaScript 依赖关系，但该操作与.NET 字节码无关。

dotnet publish 命令会进行构建，并将每个项目文件夹中的编译输出发布到../obj/Docker/publish 文件夹，如图 8-15 所示。

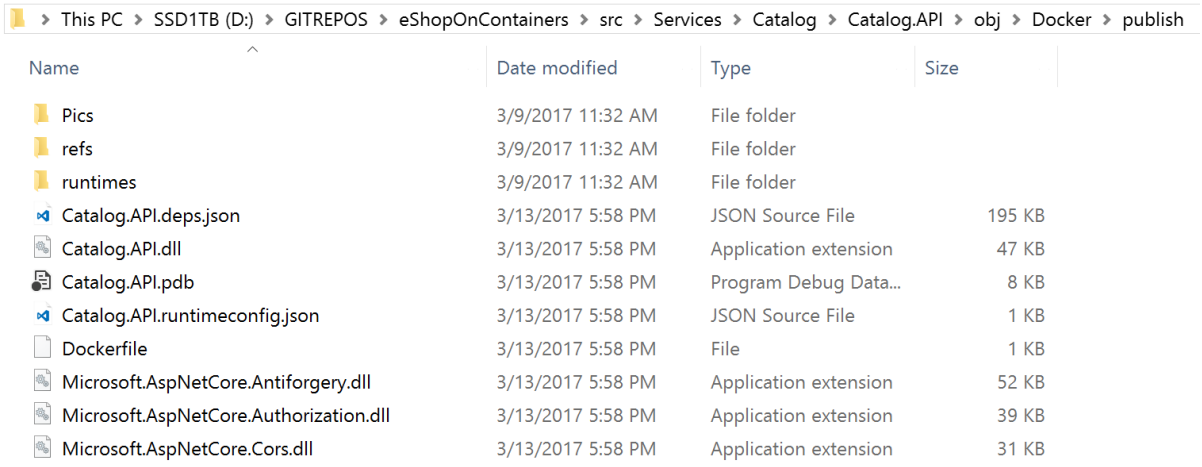


*图 8-15. **由 dotnet publish 命令生成的字节码文件***

从 CLI 创建 Docker 镜像

一旦将应用程序输出发布到相关文件夹（每个项目中），下一步还需要实际构建 Docker 镜像。为此可以使用 docker-compose build 和 dockercompose up 命令，如图 8-16 所示。

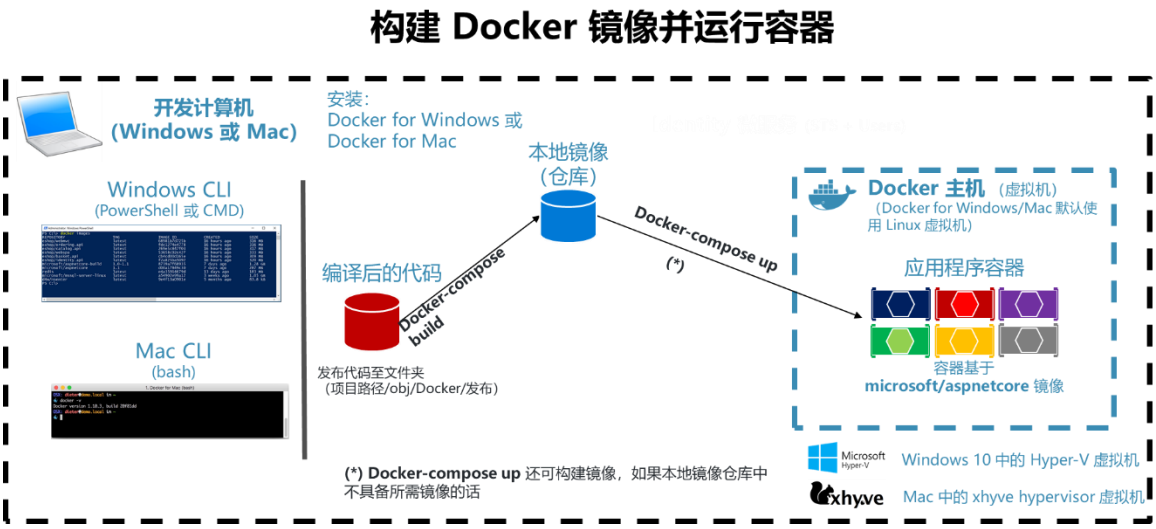


*图 8-16. **构建 Docker 镜像并运行容器***

在图 8-17 中可以看到 docker-compose build 命令的运行方式。

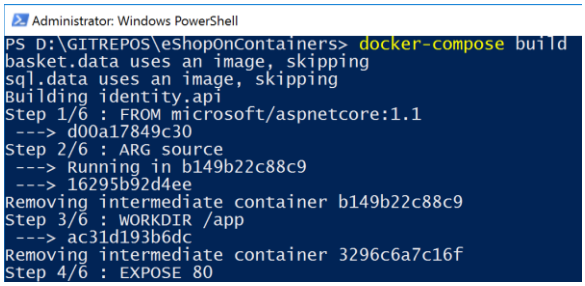


*图 8-17. **使用 docker-compose build 命令构建 Docker 镜像***

docker-compose build 和 docker-compose up 命令的区别在于，docker-compose up 包含构建镜像和启动镜像两个操作。

使用 Visual Studio 时，所有这些步骤都将在后台执行。Visual Studio 会编译.NET 应用程序，创建 Docker 镜像，并将容器部署到 Docker 主机中。Visual Studio 还提供了其他功能，例如直接从 Visual Studio 调试在 Docker 中运行的容器。

总体来说，我们能以与 CI/CD 管道相同的方式构建应用程序：从容器而非从本地机器构建。创建镜像后，只要使用 docker-compose up 命令运行 Docker 镜像即可。

其他资源

- **从容器构建字节码：在 Windows CLI 环境中设置 eShopOnContainers 解决方案（dotnet CLI、Docker CLI 和 VS Code）**
  https://github.com/dotnet/eShopOnContainers/wiki/03.-Setting-the-eShopOnContainers-solution-up-in-a-Windows-CLI-environment-(dotnet-CLI,-Docker-CLI-and-VS-Code)

使用容器运行数据库服务

我们可以将数据库（SQL Server、PostgreSQL、MySQL 等）安装在常规独立服务器，本地部署的集群中，或云端的 PaaS 服务中，如 Azure SQL 数据库。但是对于开发和测试环境，将数据库作为容器运行是一种更方便的做法，因为不会遇到任何外部依赖关系，只需运行 docker-compose 命令即可启动整个应用程序。将这些数据库作为容器运行也非常适合集成测试，因为数据库在容器中启动，并且始终填充相同的样本数据，因此测试的可预测性更强。

将 SQL Server 作为具有微服务相关数据库的容器运行

在 eShopOnContainers 的 docker-compose.yml 文件中定义了一个名为 sql.data 的容器，该容器运行了 SQL Server for Linux，其中包含微服务所需的全部 SQL Server 数据库。（我们还可以为每个数据库分配一个 SQL Server 容器，但这需要给 Docker 分配更多内存。）微服务的重点在于每个微服务都拥有与自身相关的数据，这意味着每个微服务拥有相关的 SQL 数据库，但数据库可以部署在任何位置。

示例应用程序中的 SQL Server 容器由 docker-compose.yml 文件中的以下 YAML 代码进行配置，该文件会在运行 docker-compose up 时执行。请注意：YAML 代码已经从通用 docker-compose.yml 文件和 docker-compose.override.yml 文件中整合了配置信息。（通常我们会将环境设置与 SQL Server 镜像相关的基础或静态信息分开。）

```
sql.data:
  image: microsoft/mssql-server-linux
  environment:
    - MSSQL_SA_PASSWORD=Pass@word
    - ACCEPT_EULA=Y
    - MSSQL_PID=Developer
  ports:
    - "5434:1433"
```

以类似的方式，通过以下 docker run 命令（而不是使用 docker-compose）即可运行该容器：

```
docker run -e 'ACCEPT_EULA=Y' -e 'SA_PASSWORD= your@password' -p 1433:1433 -d
microsoft/mssql-server-linux
```

但如果要部署多容器应用程序（如 eShopOnContainers），此时使用 docker-compose up 命令会更方便，借此可为应用程序部署所有必需的容器。

首次启动该 SQL Server 容器时，容器将使用我们提供的密码初始化 SQL Server。一旦 SQL Server 作为容器运行，便可通过任何常规 SQL 连接（如 SQL Server Management Studio、Visual Studio 或 C＃代码）进行连接并更新数据库。

eShopOnContainers 应用程序在启动时将填充种子数据，初始化每个微服务数据库中的示例数据。这些操作将在下文介绍。

将 SQL Server 作为容器运行不仅仅适用于可能无法访问 SQL Server 实例时的演示。如上所述，这种做法也适用于开发和测试环境，因此可以从干净的 SQL Server 镜像和填充示例种子数据后的已知数据开始，轻松运行集成测试。

其他资源

- **在 Linux、Mac 或 Windows 上运行 SQL Server Docker 镜像**
  https://docs.microsoft.com/sql/linux/sql-server-linux-setup-docker
- **使用 sqlcmd 在 Linux 上连接和查询 SQL Server**
  https://docs.microsoft.com/sql/linux/sql-server-linux-connect-and-query-sqlcmd

在 Web 应用程序启动时填充种子测试数据

要在应用程序启动时向数据库添加数据，可以在 Web API 项目的 Startup 类中的 Configure 方法中添加如下代码：

```
public class Startup
{
    // Other Startup code...

    public void Configure(IApplicationBuilder app,
                          IHostingEnvironment env,
                          ILoggerFactory loggerFactory)
    {
        // Other Configure code...

        // Seed data through our custom class
        CatalogContextSeed.SeedAsync(app)
                          .Wait();

        // Other Configure code...
    }
}
```

自定义的 CatalogContextSeed 类中的以下代码将会填充数据。

```
public class CatalogContextSeed
{
    public static async Task SeedAsync(IApplicationBuilder applicationBuilder)
    {
        var context = (CatalogContext)applicationBuilder
            .ApplicationServices.GetService(typeof(CatalogContext));
        using (context)
        {
            context.Database.Migrate();

            if (!context.CatalogBrands.Any())
            {
                context.CatalogBrands.AddRange(
                    GetPreconfiguredCatalogBrands());
```

```
                    await context.SaveChangesAsync();
                }
                if (!context.CatalogTypes.Any())
                {
                    context.CatalogTypes.AddRange(
                        GetPreconfiguredCatalogTypes());

                    await context.SaveChangesAsync();
                }
            }
        }
        static IEnumerable<CatalogBrand> GetPreconfiguredCatalogBrands()
        {
            return new List<CatalogBrand>()
            {
                new CatalogBrand() { Brand = "Azure"},
                new CatalogBrand() { Brand = ".NET" },
                new CatalogBrand() { Brand = "Visual Studio" },
                new CatalogBrand() { Brand = "SQL Server" }
            };
        }

        static IEnumerable<CatalogType> GetPreconfiguredCatalogTypes()
        {
            return new List<CatalogType>()
            {
                new CatalogType() { Type = "Mug"},
                new CatalogType() { Type = "T-Shirt" },
                new CatalogType() { Type = "Backpack" },
                new CatalogType() { Type = "USB Memory Stick" }
            };
        }
    }
```

运行集成测试时，我们往往希望生成与集成测试一致的数据。从头开始创建所有内容，包括在容器上运行的 SQL Server 实例，这是一种更有利于测试环境的做法。

EF Core InMemory 数据库与作为容器运行的 SQL Server

运行测试时，另一个推荐的做法是使用 Entity Framework InMemory 数据库提供程序。我们可以在 Web API 项目的 Startup 类中的 ConfigureServices 方法中指定该配置：

```
public class Startup
{
   // Other Startup code ...
   public void ConfigureServices(IServiceCollection services)
   {
       services.AddSingleton<IConfiguration>(Configuration);

       // DbContext using an InMemory database provider
       services.AddDbContext<CatalogContext>(opt => opt.UseInMemoryDatabase());

       //(Alternative: DbContext using a SQL Server provider
       //services.AddDbContext<CatalogContext>(c =>
```

```
        //{
        //    c.UseSqlServer(Configuration["ConnectionString"]);
        //
        //});
    }
    // Other Startup code ...
}
```

但是有一个重要的问题需要注意：内存数据库不支持特定数据库的许多约束。例如，我们也许要在 EF Core 模型的列上添加唯一索引，并对内存数据库进行测试，以检查它是否不允许添加重复值。但是当使用内存数据库时，我们将无法处理列上的唯一索引。因此内存数据库的行为与真正的 SQL Server 数据库行为并不完全一致，无法模拟特定于数据库的约束。

即使如此，内存数据库仍然可用于测试和原型设计。但是如果要针对特定数据库创建能实现更精确行为的集成测试，则需要使用 SQL Server 这样的真实数据库。为此，在容器中运行 SQL Server 是更好的选择，并且比 EF Core InMemory 数据库更准确。

使用在容器中运行的 Redis 缓存服务

我们可以在容器上运行 Redis，特别是用于开发和测试以及概念验证的方案中。这种方法很方便，因为可以将所有依赖项运行在容器中，这不仅适用于本地开发机器，还适用于 CI/CD 管道中的测试环境。

然而在生产环境中运行 Redis 时，最好选择诸如 Microsoft Azure Redis 缓存这样的高可用解决方案，这是一种 PaaS（平台即服务）产品。我们只需要在代码中更改连接字符串即可。

Redis 提供了支持 Redis 的 Docker 镜像。该镜像可从 Docker Hub 的下列 URL 处获得：

https://hub.docker.com/_/redis/

我们可以通过命令提示符执行以下 Docker CLI 命令直接运行 Docker Redis 容器：

```
docker run --name some-redis -d redis
```

Redis 镜像包括 expose:6379（Redis 使用的端口），因此标准容器链接将对要链接的容器自动可用。

在 eShopOnContainers 中，basket.api 微服务使用作为容器运行的 Redis 缓存。该 basket.data 容器被定义为多容器 docker-compose.yml 文件的一部分，如下所示：

```
//docker-compose.yml file
//...
  basket.data:
    image: redis
    expose:
      - "6379"
```

docker-compose.yml 中的上述代码基于 Redis 镜像定义了一个名为 basket.data 的容器，并在内部发布端口 6379，这意味着它只能从 Docker 主机中运行的其他容器内访问。

最后，在 docker-compose.override.yml 文件中，eShopOnContainers 示例的 basket.api 微服务定义了用于该 Redis 容器的连接字符串：

```
basket.api:
  environment:
    // Other data ...
    - ConnectionString=basket.data
    - EventBusConnection=rabbitmq
```

在微服务（集成事件）之间实现基于事件的通信

如前所述，使用基于事件的通信时，微服务会在事件发生时发布事件，如更新业务实体时。其他微服务会订阅这些事件。当微服务收到事件时，可以更新自己的业务实体，这可能导致更多的事件发布。这种发布/订阅系统通常通过使用事件总线的实现来执行。事件总线可以设计为一个接口，包括订阅和取消订阅事件以及发布事件所需的 API，还可以具有基于任何进程间或消息通信的一个或多个实现，如消息队列或支持异步通信以及发布/订阅模型的服务总线。

我们可以使用事件来实现跨多个服务的业务事务，借此在服务间保持最终一致性。最终一致性的事务由一系列分布式操作组成。在每个操作中，微服务更新业务实体并发布一个事件来触发下一个操作。

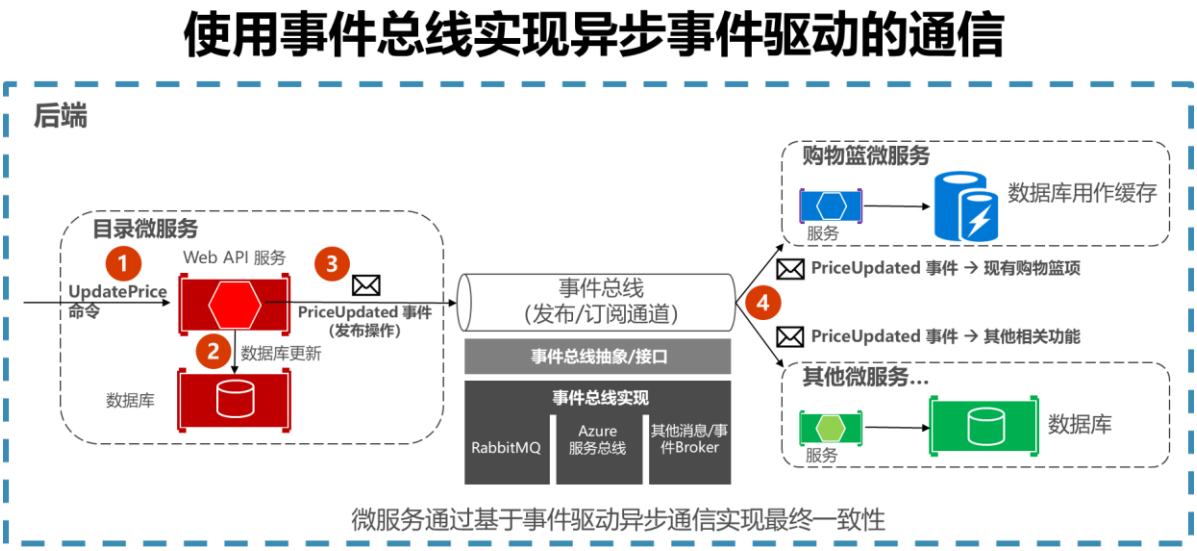


*图 8-18. **基于事件总线的事件驱动通信***

本节将介绍如何使用通用事件总线接口在.NET 平台实现此类通信，如图 8-18 所示。对此有多个可能的实现，分别基于不同技术或基础架构，如 RabbitMQ，Azure 服务总线，或其他第三方开源或商业服务总线。

在生产环境中使用消息代理和服务总线

如上文架构部分所述，我们可以从多种消息传递技术中选择实现抽象事件总线，但这些技术分为不同层次。例如 RabbitMQ 是一种消息传输代理，比诸如 Azure 服务总线、NServiceBus、MassTransit 或 Brighter 等商业总线更底层。大多数此类产品可以在 RabbitMQ 或 Azure 服务总线的基础上工作。具体的产品选择取决于应用程序需要多少功能，以及何种程度的开箱即用可扩展性。

针对开发环境，为了实现概念验证性的事件总线，例如在 eShopOnContainers 示例中，可将 RabbitMQ 之上的简单实现作为容器运行，这就已经足够了。但是对于需要高可扩展性的任务关键型和生产系统，可能需要评估和使用 Azure 服务总线。

如果需要高级抽象和更丰富的功能，如 Sagas，可通过具有长期运行的进程简化分布式开发工作，使用其他商业或开源服务总线，如 NServiceBus、MassTransit 和 Brighter 都值得考虑。这种情况下，使用的抽象和 API 通常直接由高级服务总线提供，而无需我们自己抽象（如 eShopOnContainers 中提供的简单事件总线抽象）。对于这个问题，可以参阅使用 NServiceBus 的 eShopOnContainers 分支（*特定软件*实现的其他派生示例）。

当然，我们也可以随时在诸如 RabbitMQ 和 Docker 等底层技术的基础上构建自己的服务总线功能，但是重新设计轮子所需的工作对于需要定制的企业应用来说可能成本太高了。

重申：eShopOnContainers 示例中展示的示例事件总线抽象和实现仅用作概念证明。一旦决定要进行异步和事件驱动的通信，如本节所述，应该选择最符合生产环境需求的服务总线产品。

集成事件

集成事件可用于跨多个微服务或外部系统同步领域状态，这是通过在微服务之外发布集成事件来实现的。当事件发布到多个接收微服务（与订阅集成事件相同的微服务）时，每个接收微服务中的相应事件处理程序将处理该事件。

集成事件基本上是一种数据保存类，如下所示：

```
public class ProductPriceChangedIntegrationEvent : IntegrationEvent
{
    public int ProductId { get; private set; }
    public decimal NewPrice { get; private set; }
    public decimal OldPrice { get; private set; }

    public ProductPriceChangedIntegrationEvent(int productId, decimal newPrice,
                                               decimal oldPrice)
    {
```

```
        ProductId = productId;
        NewPrice = newPrice;
        OldPrice = oldPrice;
    }
}
```

集成事件可在每个微服务的应用程序级定义，因此它们是与其他微服务解耦的，方式与服务器和客户端中的 ViewModel 的定义相当。不建议在多个微服务间共享一个通用的集成事件库，这样做会将这些微服务与单个事件定义数据库相结合。不这样做的原因与不建议在多个微服务中共享通用的领域模型相同：微服务必须完全自治。

但也有几种类型的库应该在微服务中共享：最终的应用程序块，例如 eShopOnContainers 中的 Event Bus 客户端 API；以及可以作为 NuGet 组件共享的工具库，如 JSON 序列化程序。

事件总线

事件总线可以让微服务之间进行发布/订阅式通信，而不需要组件明确了解彼此，如图 8-19 所示。

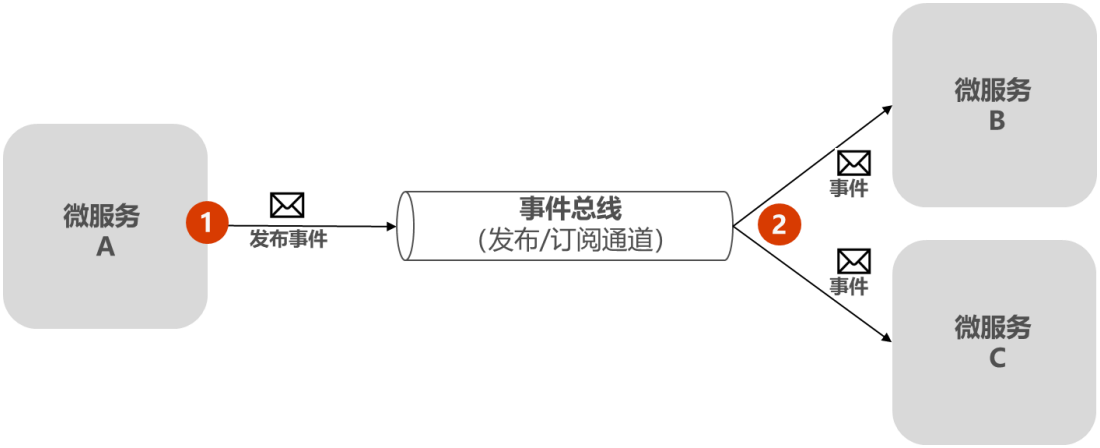


*图 8-19. **使用事件总线发布/订阅的基础形式***

事件总线与观察者模式和发布订阅模式相关。

观察者模式

在观察者模式中，主要对象（称为可观察对象，Observable）可以用相关信息（事件）通知其他有兴趣的对象（称为观察者）。

发布-订阅（Pub/Sub）模式

发布/订阅模式的目的与观察者模式相同：希望在发生某些事件时通知其他服务。但是观察者和发布/订阅模式之间存在重要的语义差异：在发布/订阅模式中，重点是广播消息；在观察者模式中，可观察对象并不知道事件将发送给谁，它只负责发布。换句话说，可观察对象不知道观察者（订阅者）是谁。

中间人或事件总线

如何实现发布者和订阅者之间的匿名性？一个简单的方法是让中间人负责所有沟通。事件总线就是这样的中间人。

事件总线通常由两部分组成：

- 抽象或接口
- 一个或多个实现

在图 8-19 中可以看到，从应用程序的角度来看，事件总线只不过是发布/订阅通道。实现此异步通信的方式可能有很多种，具体可以有多个实现，以便根据环境要求（如生产与开发环境）进行切换。

在图 8-20 中可以看到一个事件总线的抽象，基于诸如 RabbitMQ、Azure 服务总线或其他事件/消息代理，并具有多个实现。

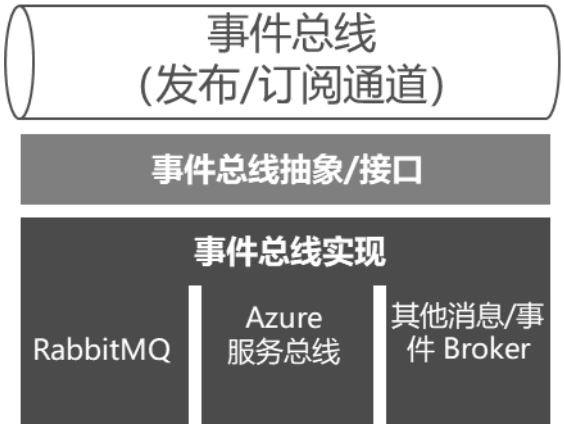


*图 8- 20. **事件总线的多种实现***

然而如前所述，只有当需要被抽象支持的基本事件总线功能时，才能使用自己的抽象（事件总线接口）。如果需要更丰富的服务总线功能，则应该使用商用服务总线提供的 API 和抽象，而非自己的抽象。

定义事件总线接口

我们先从事件总线接口的一些实现代码开始进行探索。接口应该是通用、简单的，例如下面这个接口。

```
public interface IEventBus
{
    void Publish(IntegrationEvent @event);

    void Subscribe<T, TH>()
        where T : IntegrationEvent
        where TH : IIntegrationEventHandler<T>;

    void SubscribeDynamic<TH>(string eventName)
```

```
        where TH : IDynamicIntegrationEventHandler;

    void UnsubscribeDynamic<TH>(string eventName)
        where TH : IDynamicIntegrationEventHandler;

    void Unsubscribe<T, TH>()
        where TH : IIntegrationEventHandler<T>
        where T : IntegrationEvent;
}
```

Publish 方法很简单：事件总线将集成事件广播给订阅了该事件的任何微服务，甚至是外部应用程序。该方法由发布事件的微服务使用。

Subscribe 方法（取决于不同参数，可以使用多个实现）由想要接收事件的微服务使用。这个方法有两个参数：第一个是要订阅的集成事件（IntegrationEvent），第二个参数是集成事件处理程序（或回调方法），名为 IIntegrationEventHandler<T>，当接收方微服务获取该集成事件消息时执行。

为开发或测试环境使用 RabbitMQ 实现事件总线

首先要注意，如果创建基于运行在容器中的 RabbitMQ 自定义的事件总线，例如 eShopOnContainers 应用那样，这种方式只能用于开发和测试环境。除非将其作为可随时投产的服务总线的一部分进行构建，否则不应将其用于生产环境。简单的自定义事件总线可能缺少商业服务总线具有的许多可用于生产环境的关键功能。

eShopOnContainers 中的一个自定义事件总线的实现基本上是使用 RabbitMQ API 库获得的（还有另一个基于 Azure 服务总线的实现）。

该事件总线的实现使微服务能够订阅事件，发布事件并接收事件，如图 8-21 所示。

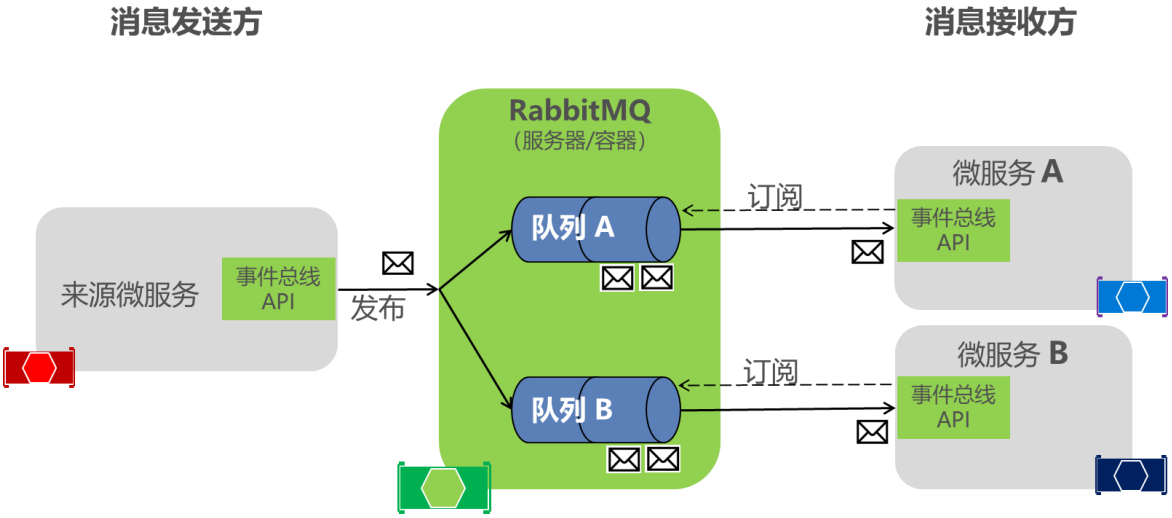


*图 8-21. **使用 RabbitMQ 实现事件总线***

在代码中，EventBusRabbitMQ 类实现了通用 IEventBus 接口。这是基于依赖注入的，以便从开发/测试版本切换到生产版本。

```
public class EventBusRabbitMQ : IEventBus, IDisposable
{
   // Implementation using RabbitMQ API
   //...
```

示例开发/测试事件总线的 RabbitMQ 实现可以作为范例代码。它必须处理与 RabbitMQ 服务器的连接，并提供将消息事件发布到队列的代码。它还必须为每个事件类型实现一个字典，作为集成事件处理程序的集合，这些事件类型可为每个接收者微服务，拥有不同的实例化和不同订阅，如图 8-21 所示。

使用 RabbitMQ 实现简单的发布方法

以下代码是针对 RabbitMQ 简化事件总线实现的一部分，在 eShopOnContainers 的实际代码中进行了改进。除非需要改进，通常不需要修改这部分代码。下列代码会首先获取 RabbitMQ 的连接和通道，创建消息，然后将消息发布到队列中。

```
public class EventBusRabbitMQ : IEventBus, IDisposable
{
    // Member objects and other methods ...
    // ...
    public void Publish(IntegrationEvent @event)
    {
        var eventName = @event.GetType().Name;
        var factory = new ConnectionFactory() { HostName = _connectionString };
        using (var connection = factory.CreateConnection())
        using (var channel = connection.CreateModel())
        {
            channel.ExchangeDeclare(exchange: _brokerName,
                                    type: "direct");

            string message = JsonConvert.SerializeObject(@event);
            var body = Encoding.UTF8.GetBytes(message);

            channel.BasicPublish(exchange: _brokerName,
                                 routingKey: eventName,
                                 basicProperties: null,
                                 body: body);
        }
    }
}
```

通过使用 Polly 重试策略，可以改善 eShopOnContainers 应用程序中 Publish 方法的实际代码，如果 RabbitMQ 容器未准备就绪，该策略会将任务重复一定次数。当使用 docker-compose 启动容器时，可能会发生这种情况，例如 RabbitMQ 容器可能比其他容器启动得慢。

如前所述，RabbitMQ 中有多种可能的配置，因此该代码只能用于开发/测试环境。

使用 RabbitMQ API 实现订阅代码

与发布代码一样，以下代码简化了 RabbitMQ 事件总线实现的一部分。再次强调，除非需要进一步改进，否则通常不需要改动这段代码。

```
public class EventBusRabbitMQ : IEventBus, IDisposable
{
    // Member objects and other methods ...
    // ...

    public void Subscribe<T, TH>()
        where T : IntegrationEvent
        where TH : IIntegrationEventHandler<T>
    {
        var eventName = _subsManager.GetEventKey<T>();

        var containsKey = _subsManager.HasSubscriptionsForEvent(eventName);
        if (!containsKey)
        {
            if (!_persistentConnection.IsConnected)
            {
                _persistentConnection.TryConnect();
            }

            using (var channel = _persistentConnection.CreateModel())
            {
                channel.QueueBind(queue: _queueName,
                                  exchange: BROKER_NAME,
                                  routingKey: eventName);
            }

        }

        _subsManager.AddSubscription<T, TH>();
    }

}
```

每个事件类型都有一个相关的通道来从 RabbitMQ 获取事件。随后即可根据需要为每个通道和事件类型设置尽可能多的事件处理程序。

Subscribe 方法可接受 IIntegrationEventHandler 对象（类似当前微服务中的回调方法），以及相关的 IntegrationEvent 对象。随后该代码会将事件处理程序添加到事件处理程序列表，列表中包含每个客户端微服务中每个集成事件类型的事件处理程序。如果客户端代码尚未订阅该事件，则代码将为该事件类型创建一个通道，以便当该事件从任何其他服务发布时，可以从 RabbitMQ 接收推送的事件。

订阅事件

使用事件总线的第一步是使微服务订阅想要接收的事件。这应该在接收者微服务中完成。

下列简化后的代码显示了启动服务时（即在 Startup 类中），为了订阅所需事件而需要实现的每个接收者微服务。本例中 basket.api 微服务需要订阅 ProductPriceChangedIntegrationEvent 和 OrderStartedIntegrationEvent 消息。

例如，当订阅 ProductPriceChangedIntegrationEvent 事件后，购物篮微服务会关注对产品价格的更改，并且如果该产品已位于用户购物篮中，还可以向用户发出价格更改通知。

```
var eventBus = app.ApplicationServices.GetRequiredService<IEventBus>();

eventBus.Subscribe<ProductPriceChangedIntegrationEvent,
                   ProductPriceChangedIntegrationEventHandler>();
eventBus.Subscribe<OrderStartedIntegrationEvent,
                   OrderStartedIntegrationEventHandler>();
```

上述代码运行后，订阅者微服务将通过 RabbitMQ 通道监听。当任何类型为 ProductPriceChangedIntegrationEvent 的消息到达后，将调用传递给它的事件处理程序并处理事件。

通过事件总线发布事件

最后，消息发送方（原始微服务）使用类似下列内容的代码发布集成事件。（这是一个不考虑原子性的简化示例。）每当事件必须跨多个微服务传播时，通常在从原始微服务提交数据或事务之后，就需要实现类似的代码。

首先，事件总线实现对象（基于 RabbitMQ 或基于服务总线）将被注入控制器构造函数，如下代码所示：

```
[Route("api/v1/[controller]")]
public class CatalogController : ControllerBase
{
    private readonly CatalogContext _context;
    private readonly IOptionsSnapshot<Settings> _settings;
    private readonly IEventBus _eventBus;

    public CatalogController(CatalogContext context,
                             IOptionsSnapshot<Settings> settings,
                             IEventBus eventBus)
    {
        _context = context;
        _settings = settings;
        _eventBus = eventBus;
        // ...
    }
```

随后可以从控制器中的方法中使用，如 UpdateProduct 方法：

```
[Route("update")]
[HttpPost]
public async Task<IActionResult> UpdateProduct([FromBody]CatalogItem product)
{
    var item = await _context.CatalogItems.SingleOrDefaultAsync(
```

```
                                                        i => i.Id == product.Id);
    // ...
    if (item.Price != product.Price)
    {
        var oldPrice = item.Price;
        item.Price = product.Price;
        _context.CatalogItems.Update(item);

        var @event = new ProductPriceChangedIntegrationEvent(item.Id,
                                                             item.Price,
                                                             oldPrice);
        // Commit changes in original transaction
        await _context.SaveChangesAsync();

       // Publish integration event to the event bus
       // (RabbitMQ or a service bus underneath)
       _eventBus.Publish(@event);
       // ...
```

此时由于原始微服务是简单的 CRUD 微服务，因此该代码被直接放置在 Web API 控制器中。在更高级的微服务中，例如使用 CQRS 方法时，可以在提交原始数据后在 CommandHandler 类中实现。

在发布到事件总线时设计原子性和弹性

通过分布式消息系统（如事件总线）发布集成事件时，会遇到原子更新原始数据库和发布事件的问题。例如，在上文所示的简化示例中，当产品价格更改后，代码将数据提交给数据库，然后发布 ProductPriceChangedIntegrationEvent 消息。首先，这两个操作一定要以原子性的方式执行。但如果正在使用涉及数据库和消息代理的分布式事务，就像在微软消息队列（MSMQ）等旧系统中所做的那样，这并非推荐的做法，CAP 定理介绍了这一原因。

基本上，使用微服务是为了构建可扩展、高可用性的系统。简单来说，CAP 定理认为，我们无法构建同时满足持续可用、强一致，并且能容忍任何分区这三个特征的数据库（或拥有其模型的微服务器）。此时只能从这三个特征中选择两个来实现。

在基于微服务的体系结构中，应该选择可用性和容忍度，不再强调强一致性。因此在大部分基于微服务的现代应用程序中，通常不需要在消息传递中使用分布式事务，就像在基于使用 MSMQ 的 Windows 分布式事务处理协调器（DTC）实现分布式事务时一样。

回到最初的问题及例子。如果服务在数据库更新后崩溃（本例中，崩溃发生在 _context.SaveChangesAsync()代码行之后），但又发生在集成事件发布前，整个系统可能会变得不一致。取决于正在处理的业务操作，遇到问题的很可能是关键业务。

如上文架构部分所述，我们可以使用多种方法来处理此问题：

- 使用完整的事件溯源模式
- 使用事务日志挖掘

- 使用发件箱模式。这是一个用于存储集成事件（扩展本地事务）的事务表。

对于这种情况，使用完整的事件溯源（ES）模式就算不是最佳方法，也是最好的方法之一。但是在很多应用场景中，可能无法实现完整的 ES 系统。ES 意味着只将领域事件存储在事务数据库中，而非存储当前的状态数据。仅存储领域事件可以带来很多好处，例如将拥有可用的系统历史记录，并能随时确定系统在过去任意时刻的状态。然而实施完整的 ES 系统需要重新构建系统的大部分内容，并引入很多其他复杂性和要求。例如，将要使用专门用于事件溯源的数据库，如 Event Store 或 Azure Document DB、MongoDB、Cassandra、CouchDB、RavenDB 等文档数据库。ES 可以很好地解决这个问题，但并非最简单的解决方案，除非已经熟悉事件溯源模式。

使用事务日志挖掘的方案最初看起来是透明。但是，为了使用这种方法，必须将微服务耦合到 RDBMS 事务日志，如 SQL Server 事务日志。这种做法可能会存在问题。另一个局限在于：记录在事务日志中的低级别更新可能与高级别集成事件并不在相同级别上，此时对事务日志进行逆向工程分析的过程可能很困难。

一个折衷的方法是将事务数据库表和简化的 ES 模式组合使用。我们可以使用诸如“ready to publish the event”的状态，将其提交到集成事件表后，它将在原始事件中设置。然后，尝试将事件发布到事件总线，如果发布操作成功，将在原始服务中启动另一个事务，并将状态从“ready to publish the event”更新为“event already published”。

如果事件总线中的发布事件操作失败，数据在原始微服务中不会不一致：仍会被标记为“ready to publish the event”，而对于其他服务依然将最终保持一致。我们可以随时使用后台作业检查事务或集成事件的状态。如果作业发现处于“ready to publish the event”状态的事件，则可尝试将该事件重新发布到事件总线。

请注意：通过这种方法，只会保留每个原始微服务的集成事件，以及要与其他微服务或外部系统通信的事件。而在完整的 ES 系统中，可以存储所有领域事件。

因此这种折衷的方法是一种简化的 ES 系统，需要使用当前状态（“ready to publish”与“published”）的集成事件列表。但是只需要为集成事件实现这些状态。在这种方法中，不需要像完整的 ES 系统那样将所有领域数据作为事件存储在事务数据库中。

如果已经在使用关系数据库，则可以使用事务表来存储集成事件。要在应用程序中实现原子性，可以使用基于本地事务的两步过程。基本上我们需要在存储领域实体的数据库中有一个 IntegrationEvent 表，该表用作实现原子性的保证，以便将持久集成事件包括在提交领域数据的相同事务中。

因此循序渐进的步骤如下：应用程序开始本地数据库事务，然后更新领域实体状态，并将事件插入集成事件表中，最后提交事务，即实现所需的原子性。

在实施发布事件的步骤时，有以下选择：

- 在提交事务后立即发布集成事件，并使用另一个本地事务将表中的事件标记为已发布。在远程微服务发生问题的情况下，使用该表作为工件来跟踪集成事件，并根据存储的集成事件执行补救措施。
- 将表用作一种队列。使用单独的应用程序线程或进程查询集成事件表，将事件发布到事件总线，然后使用本地事务将事件标记为已发布。

图 8-22 展示了第一种方法的架构。

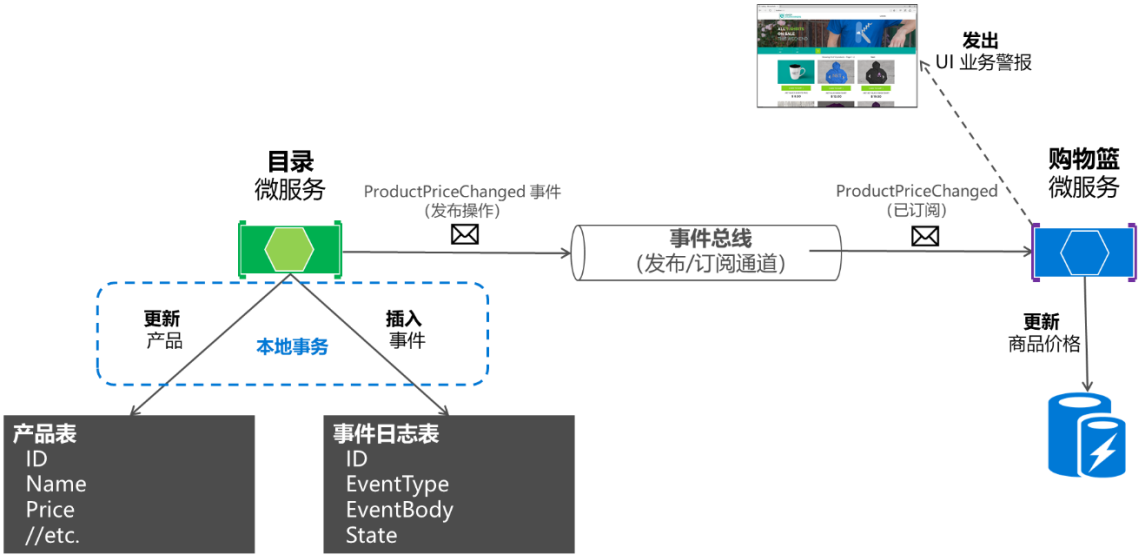


*图 8-22. **将事件发布到事件总线时的原子性***

图 8-22 所示的方法缺少附加的 Worker 微服务，该微服务将负责检查和确认已发布的集成事件是否成功。如果发生故障，附加的检查工作微服务可从表中读取事件并重新发布。

关于第二种方法：将 EventLog 表用作队列，并始终使用一个 Worker 微服务来发布消息。这种情况的过程如图 8-23 所示，该图显示了一个附加的微服务，表则是发布事件时的单一来源。

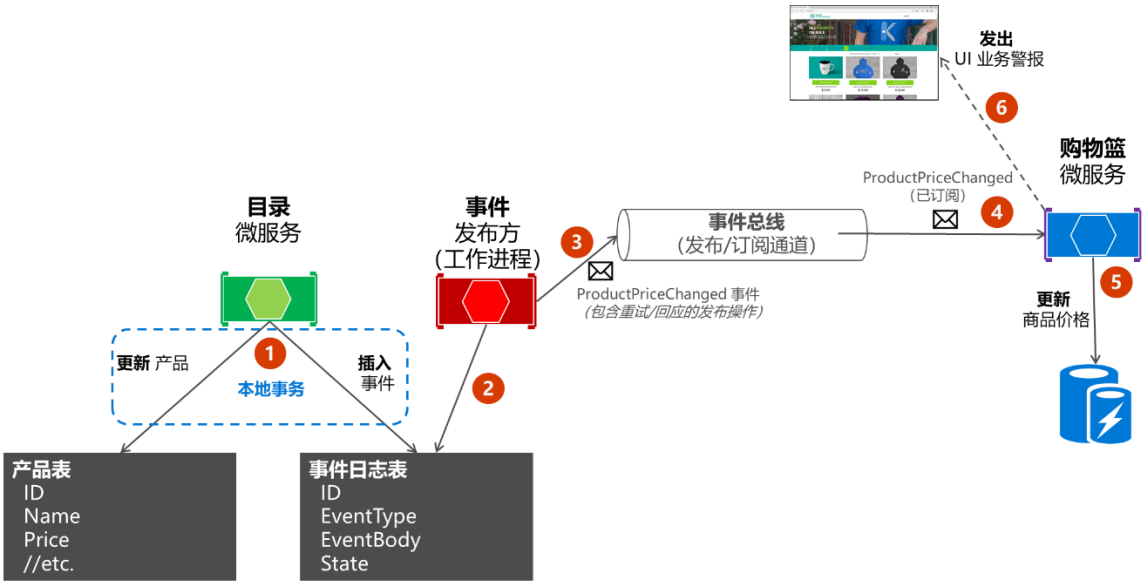


*图 8-23. **使用 Worker 微服务将事件发布到事件总线时的原子性***

简化起见，eShopOnContainers 示例使用了第一种方法（没有其他进程或检查者微服务）以及事件总线。但是 eShopOnContainers 并不处理所有可能的故障情况。在部署到云端的实际应用中，必须接受一个事实：问题最终总会出现，必须实现检查和重发逻辑。如果将表作为单一事件来源，通过事件总线发布时，将表用作队列将比第一种方法更有效。

通过事件总线发布集成事件时实现原子性

下列代码展示了如何创建涉及多个 DbContext 对象的单个事务：其中一个上下文与要更新的原始数据相关，第二个上下文与 IntegrationEventLog 表相关。

请注意，如果与数据库的连接在代码运行时遇到任何问题，下列示例代码中的事务将无法迅速恢复。这在基于云的系统中可能会发生，如 Azure SQL 数据库，因为可能会跨服务器移动数据库。要在多个上下文中实现弹性事务，请参阅本书下文的“实现弹性 Entity Framework Core SQL 连接”部分。

简化起见，下列示例在一段代码中展示了整个过程。但是 eShopOnContainers 的实现实际上经过了重构，并将此逻辑分为多个类，以便于维护。

```
// Update Product from the Catalog microservice
//
public async Task<IActionResult> UpdateProduct([FromBody]CatalogItem
                                                        productToUpdate)
{
  var catalogItem =
       await _catalogContext.CatalogItems.SingleOrDefaultAsync(i => i.Id ==
                                                        productToUpdate.Id);
  if (catalogItem == null) return NotFound();

  bool raiseProductPriceChangedEvent = false;
  IntegrationEvent priceChangedEvent = null;
```

```
  if (catalogItem.Price != productToUpdate.Price)
          raiseProductPriceChangedEvent = true;

  if (raiseProductPriceChangedEvent) // Create event if price has changed
  {
      var oldPrice = catalogItem.Price;
      priceChangedEvent = new ProductPriceChangedIntegrationEvent(catalogItem.Id,
                                                                  productToUpdate.Price,
                                                                  oldPrice);
  }
  // Update current product
  catalogItem = productToUpdate;

  // Just save the updated product if the Product's Price hasn't changed.
  if !(raiseProductPriceChangedEvent)
  {
      await _catalogContext.SaveChangesAsync();
  }
  else  // Publish to event bus only if product price changed
  {
        // Achieving atomicity between original DB and the IntegrationEventLog
        // with a local transaction
        using (var transaction = _catalogContext.Database.BeginTransaction())
        {
                _catalogContext.CatalogItems.Update(catalogItem);
                await _catalogContext.SaveChangesAsync();

                // Save to EventLog only if product price changed
                if(raiseProductPriceChangedEvent)
                    await
       _integrationEventLogService.SaveEventAsync(priceChangedEvent);

                transaction.Commit();
        }

      // Publish the intergation event through the event bus
      _eventBus.Publish(priceChangedEvent);

      integrationEventLogService.MarkEventAsPublishedAsync(
                                                priceChangedEvent);
  }

  return Ok();
}
```

在创建 ProductPriceChangedIntegrationEvent 集成事件后，存储原始领域操作的事务（更新目录项）还包括事件在 EventLog 表中的持久性。这使它成为一个单一事务，我们将始终能检查事件消息是否已发送。

事件日志表与原始数据库操作进行原子更新，对同一数据库使用本地事务。如果有任何操作失败，将抛出异常，并对所有已完成的操作执行事务回滚，从而保持领域操作与发送的事件消息间的一致性。

从订阅接收消息：接收者微服务中的事件处理程序

除了事件订阅逻辑外，还需要实现集成事件处理程序的内部代码（如回调方法）。事件处理程序决定了某个类型事件消息将被接收和处理的位置。

事件处理程序首先从事件总线接收事件实例，随后定位与该集成事件相关的要处理的组件，传播该事件并持久化为接收者微服务中状态的变化。例如，如果 ProductPriceChanged 事件来源于目录微服务，则将在购物篮微服务中处理，并更改此接收者购物篮微服务中的状态，如下面的代码所示。

```
//
//Integration-Event handler
//

Namespace Microsoft.eShopOnContainers.Services.Basket.
                                                    API.IntegrationEvents.EventHandling
{

    public class ProductPriceChangedIntegrationEventHandler :
                    IIntegrationEventHandler<ProductPriceChangedIntegrationEvent>
    {
        private readonly IBasketRepository _repository;

        public ProductPriceChangedIntegrationEventHandler(
                                                    IBasketRepository repository)
        {
            _repository = repository ??
                                throw new ArgumentNullException(nameof(repository));
        }

        public async Task Handle(ProductPriceChangedIntegrationEvent @event)
        {
            var userIds = await _repository.GetUsers();
            foreach (var id in userIds)
            {
                var basket = await _repository.GetBasket(id);
                await UpdatePriceInBasketItems(@event.ProductId, @event.NewPrice,
                                                basket);
            }
        }


        private async Task UpdatePriceInBasketItems(int productId, decimal newPrice,
                                                    CustomerBasket basket)
        {
            var itemsToUpdate = basket?.Items?.
                        Where(x => int.Parse(x.ProductId) == productId).ToList();

            if (itemsToUpdate != null)
            {
                foreach (var item in itemsToUpdate)
                {
                    if(item.UnitPrice != newPrice)
                    {
                        var originalPrice = item.UnitPrice;
                        item.UnitPrice = newPrice;
```

```
                        item.OldUnitPrice = originalPrice;
                    }
                }

                await _repository.UpdateBasket(basket);
            }
        }
    }
}
```

事件处理程序需要验证产品是否存在于任何购物篮实例中，此外还会更新每个相关购物篮订单项的价格。最后，将创建一个警告，向用户显示价格变化，如图 8-24 所示。

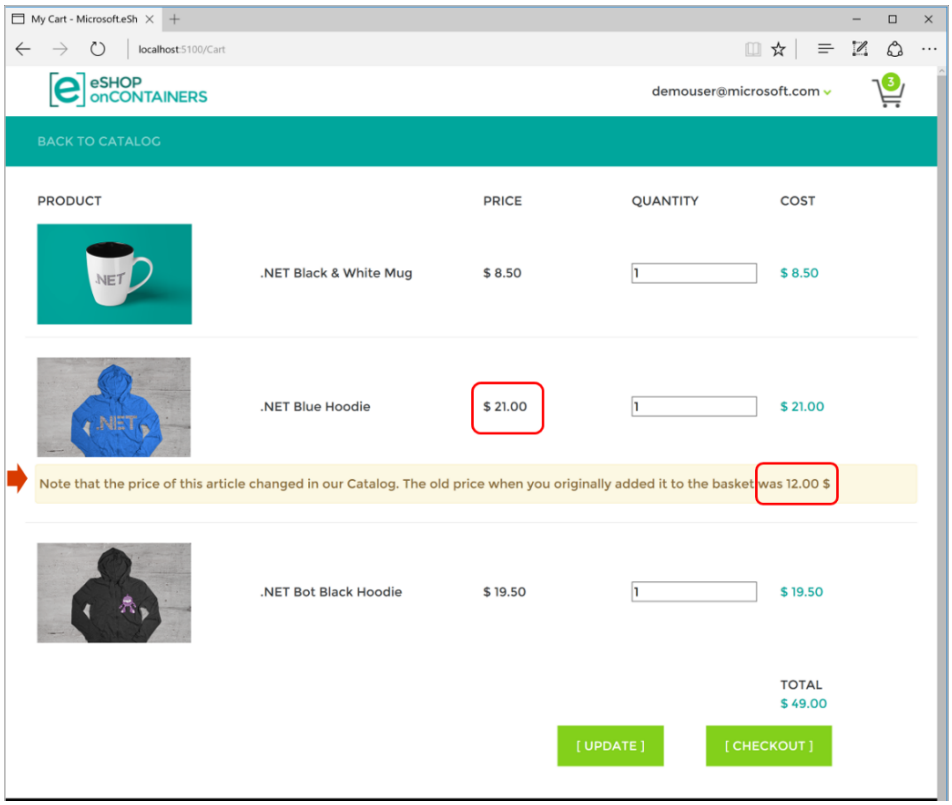


*图 8-24. **通过集成事件通信来显示购物篮中的项目价格变动***

更新消息事件中的幂等性

更新消息事件时需要注意一个问题，通信中的任何故障都应导致重新发送消息，否则后台任务可能会尝试发布已发布的事件，导致竞争状态。我们需要确保更新是幂等的，或者能提供足够的信息，以确保可以检测到重复并丢弃，仅发送一个响应。

如前所述，幂等性意味着可以多次执行操作而不改变结果。在消息传递环境中传播事件时，如果可以多次传送事件而不改变接收者微服务的结果，则事件是幂等的。因为事件本身的性质，或由于系统处理事件的方式，这可能是必需的。不仅在实现事件总线模式的应用程序中，在任何使用消息传递的应用程序中，消息幂等性都同样重要。

幂等操作可以通过这样的 SQL 语句例子来理解，该语句只有当表中不存在数据时才将数据插入到表中。运行该插入 SQL 语句的次数无关紧要，结果一定是相同的，并且结果数据会包含在表中。如果消息可能被发送并因此处理多次，那么在处理消息时也可能需要这样的幂等性。例如，如果重试逻辑导致发送者多次发送完全相同的消息，需要确保它是幂等的。

幂等消息可通过设计获得。例如，可以创建一个表示“将产品价格设置为$25”而不是“将产品价格增加$5”的事件。此时可以安全地处理第一条消息，无论处理多少次结果都一样。第二个消息则完全不同。但即使在第一种情况下，也可能不想处理第一个事件，因为系统也可能发送了较新的价格变动事件，并将覆盖新的价格。

发送到多个订阅者的订单完成事件也是这样的例子。重要的是，即使同一订单完成事件有重复的消息事件，也只需在其他系统中更新订单信息一次。

让每个事件具有某种类型的标识是种方便的做法，我们可以创建强制每个接收者对每个事件只处理一次的逻辑。

一些消息处理过程本质上是幂等的。例如，如果系统生成图像缩略图，那么无论生成缩略图的消息被处理多少次，结果可能都不重要，因为结果就是生成缩略图，因此必定每次都相同。而诸如调用支付网关对信用卡收费的操作绝不是幂等的。在这些情况下，我们需要确保多次处理消息也能产生期望的效果。

其他资源

- **尊重消息幂等性（本页的小标题）**
  https://msdn.microsoft.com/library/jj591565.aspx

删除重复的集成事件消息

我们可以确保在不同层面上，每个订阅者仅发送和处理消息事件一次。方法之一是使用正在用的消息架构提供的重复数据删除功能，另一种方法是在目标微服务中实现自定义逻辑。在传输层面和应用层面进行验证是最好的选择。

在 EventHandler 级别删除重复消息事件

要确保任何接收者只处理一次事件，一种方法是在事件处理程序中处理消息事件时实现某些逻辑。例如，这是 eShopOnContainers 应用程序中使用的方法，在 OrdersController 类的源代码中可以看到，OrdersController 类会收到 CreateOrderCommand 命令。（这种情况下可使用 HTTP 请求命令，而不是基于消息的命令，但是需要创建基于消息的命令幂等性的逻辑是类似的。）

当使用 RabbitMQ 时删除重复消息

当发生间歇性网络故障时，消息有可能重复，消息接收者必须准备好处理这些重复的消息。如果可能，接收方应以幂等的方式处理消息，这比用删除重复数据的方式直接处理消息更好。

根据 RabbitMQ 文档，如果消息传递给消费者，然后重新排队（例如，在消费者掉线前被确认），那么 RabbitMQ 会在再次传送时将其设置为“redelivered”标志（无论是相同或不同消费者）。

如果设置“redelivered”标志，接收方必须考虑到这一点，因为该消息可能已被处理。但这一点无法保证，消息可能在离开消息代理后没有到达接收者，也许是因为网络问题。另一方面，如果没有设置“redelivered”标志，则该消息未被发送多次是可以保证的。因此只有在消息中设置了“redelivered”标志时，接收方才需要以幂等方式对消息进行重复数据删除或处理消息。

其他资源

- **使用 NServiceBus（特定软件）的 eShopOnContainers 分支**
  http://go.particular.net/eShopOnContainers
- **事件驱动消息**
  http://soapatterns.org/design_patterns/event_driven_messaging
- **Jimmy Bogard. 重构弹性：评估耦合**
  https://jimmybogard.com/refactoring-towards-resilience-evaluating-coupling/
- **发布-订阅通道**
  http://www.enterpriseintegrationpatterns.com/patterns/messaging/PublishSubscribeChannel.html
- **限界上下文之间的通信**
  https://msdn.microsoft.com/library/jj591572.aspx
- **最终一致性**
  https://en.wikipedia.org/wiki/Eventual_consistency
- **Philip Brown. 集成限界上下文的策略**
  http://culttt.com/2014/11/26/strategies-integrating-bounded-contexts/
- **Chris Richardson. 使用聚合，事件溯源和 CQRS 开发事务性微服务 - 第 2 部分**
  https://www.infoq.com/articles/microservices-aggregates-events-cqrs-part-2-richardson
- **Chris Richardson. 事件溯源模式**
  http://microservices.io/patterns/data/event-sourcing.html
- **事件溯源介绍**
  https://msdn.microsoft.com/library/jj591559.aspx
- **Event Store 数据库。**官方网站
  https://geteventstore.com/
- **Patrick Nommensen. 针对微服务的事件驱动数据管理**
  https://dzone.com/articles/event-driven-data-management-for-microservices-1
- **CAP 定理**
  https://en.wikipedia.org/wiki/CAP_theorem
- **什么是 CAP 定理?**
  https://www.quora.com/What-Is-CAP-Theorem-1
- **数据一致性入门**
  https://msdn.microsoft.com/library/dn589800.aspx

- **Rick Saling. CAP 定理：为什么在云和互联网中“一切都不一样”**
  https://blogs.msdn.microsoft.com/rickatmicrosoft/2013/01/03/the-cap-theorem-why-everything-is-different-with-the-cloud-and-internet/
- **Eric Brewer. CAP 十二年后：“规则”如何改变**
  https://www.infoq.com/articles/cap-twelve-years-later-how-the-rules-have-changed
- **参与外部（DTC）事务（MSMQ）**
  https://msdn.microsoft.com/library/ms978430.aspx#bdadotnetasync2_topic3c
- **Azure 服务总线。 代理消息：重复检测**
  https://code.msdn.microsoft.com/Brokered-Messaging-c0acea25
- **可靠性指南（RabbitMQ 文档）**
  https://www.rabbitmq.com/reliability.html#consumer

测试 ASP.NET Core 服务和 Web 应用

对任何 ASP.NET Core API 服务和 ASP.NET MVC Web 应用程序来说，控制器都是最核心的部分。因此应该相信控制器会按应用程序的预期正常工作。自动测试可以提供这种保证，并可在部署到生产环境前检测错误。

我们需要根据有效或无效的输入来测试控制器的运行情况，并根据其执行的业务操作结果来测试控制器的响应。但是对微服务的测试应该有以下几种类型：

- 单元测试。这些测试确保应用程序的各个组件按预期工作。此时可使用断言测试组件 API。
- 集成测试。这些测试确保组件交互按预期方式与诸如数据库的外部工件进行工作。使用断言可以测试组件 API、UI 或数据库 I/O，日志记录等操作的副作用。
- 为每个微服务进行功能测试。这些测试确保应用程序按照用户的预期运行。
- 服务测试。这些测试确保端到端服务使用情况，包括同时测试多个服务的测试。对于此类测试，需要先准备环境，这意味着要启动服务（例如使用 docker-compose up）。

实现 ASP.NET Core Web API 的单元测试

单元测试会在与基础架构和依赖关系相隔离的情况下对程序的部分内容进行测试。将单元测试用于测试控制器逻辑时，将只测试单个 Action 或方法的内容，而非其依赖项或框架本身的行为。单元测试不会检测组件交互中的问题，这些测试需要通过集成测试进行。

对控制器的 Action 进行单元测试时，请确保只关注它们的行为。控制器单元测试可避免过滤器、路由或模型绑定之类的问题。因为只专注测试这一件事情，单元测试通常很容易开发，运行也很快。精心编写的单元测试可以经常运行，而不需要太多开销。

单元测试是基于诸如 xUnit.net、MSTest、Moq 或 NUnit 等测试框架实现的。eShopOnContainers 示例应用程序使用了 XUnit。

为 Web API 控制器编写单元测试时，可以使用 C#中的 new 关键字直接实例化控制器类，以便测试尽可能快地运行。以下示例显示了如何使用 XUnit 作为测试框架执行此操作。

```
[Fact]
public void Add_new_Order_raises_new_event()
{
    // Arrange
    var street = " FakeStreet ";
    var city = "FakeCity";
    // Other variables omitted for brevity ...

    // Act
    var fakeOrder = new Order(new Address(street, city, state, country, zipcode),
                                          cardTypeId, cardNumber,
                                          cardSecurityNumber, cardHolderName,
                                          cardExpiration);
    // Assert
    Assert.Equal(fakeOrder.DomainEvents.Count, expectedResult);
}
```

为每个微服务实施集成和功能测试

如上所述，集成测试和功能测试具有不同的意义和目的。然而在测试 ASP.NET Core 控制器时，实现方式是类似的，所以本节将重点关注集成测试。

集成测试可确保应用程序的组件在集成后能够正常运行。ASP.NET Core 支持使用单元测试框架的集成测试和内置的测试 Web 主机，可用于处理请求而无需网络开销。

与单元测试不同，集成测试经常涉及应用程序基础架构问题，如数据库、文件系统、网络资源或 Web 请求和响应。单元测试使用虚拟或模拟对象代替这些关注点。但集成测试的目的是确认系统按照预期方式与这些系统一起工作，因此对于集成测试，不要使用虚拟的或模拟的对象，相反应包括基础设施，如数据库访问或其他服务的服务调用。

因为集成测试比单元测试执行更多的代码，并且集成测试依赖基础架构，所以往往比单元测试慢一个数量级。因此对编写和运行的集成测试加以限制是一个好做法。

ASP.NET Core 包含内置的测试 Web 主机，可用于处理 HTTP 请求而无需网络开销，这意味着可以比使用真实 Web 主机更快地运行这些测试。我们可以使用名为 Microsoft.AspNetCore.TestHost 的 NuGet 组件测试 Web，它可添加到集成测试项目中，并用于托管的 ASP.NET Core 应用程序。

如下代码所示，为 ASP.NET Core 控制器创建集成测试时，可通过测试主机实例化控制器，这与 HTTP 请求相当，但运行速度更快。

```
public class PrimeWebDefaultRequestShould
{
    private readonly TestServer _server;
    private readonly HttpClient _client;
    public PrimeWebDefaultRequestShould()
    {
        // Arrange
        _server = new TestServer(new WebHostBuilder()
                                            .UseStartup<Startup>());
        _client = _server.CreateClient();
    }
    [Fact]
    public async Task ReturnHelloWorld()
    {
        // Act
        var response = await _client.GetAsync("/");
        response.EnsureSuccessStatusCode();

        var responseString = await response.Content.ReadAsStringAsync();

        // Assert
        Assert.Equal("Hello World!",
            responseString);
    }
}
```

其他资源

- **Steve Smith. 控制器测试 (ASP.NET Core)**
  https://docs.microsoft.com/aspnet/core/mvc/controllers/testing
- **Steve Smith. 集成测试 (ASP.NET Core)**
  https://docs.microsoft.com/aspnet/core/testing/integration-testing
- **在.NET Core 中使用 dotnet test 的单元测试**
  https://docs.microsoft.com/dotnet/articles/core/testing/unit-testing-with-dotnet-test

在多容器应用程序上实现服务测试

如前所述，测试多容器应用程序时，所有微服务都要在 Docker 主机或容器集群中运行。端到端的服务测试，包括多个微服务的多个操作，要求通过运行 docker-compose 命令（或者其他类似机制，如果使用编排引擎的话）在 Docker 主机中部署并启动整个应用程序。一旦整个应用程序及所有服务正在运行，就可以执行端到端的集成和功能测试。

此时有几种方法可以使用。在用于部署应用程序（或类似 Docker-compose.ci.build.yml）的 docker-compose.yml 文件中，可以在解决方案级别扩展入口点以使用 dotnet test。还可以使用另一个 compose 文件，以便在目标镜像中运行测试。通过使用另一个 compose 文件进行集成测试，包括容器上的微服务和数据库，可以确保在运行测试之前，相关数据始终重置为原始状态。

一旦组合应用程序启动并运行，如果运行 Visual Studio，即可使用断点和异常。或者可以在 Visual Studio Team Services 或支持 Docker 容器的任何其他 CI/CD 系统的 CI 管道中自动运行集成测试。

使用 IHostedService 和 BackgroundService 类在微服务中实现后台任务

实际上，我们可能需要在基于微服务的应用程序或任何类型的应用程序中实现后台任务和计划任务。使用微服务架构的区别在于，可以实现单独的微服务进程/容器来托管这些后台任务，以便根据需要进行缩放，或者甚至可以确保它只运行该微服务进程/容器的单个实例。

从一般的角度来看，在.NET Core 中，我们将这些类型的任务称为*托管服务*，因为它们是在主机/应用程序/微服务中托管的服务/逻辑。请注意，这种情况下托管服务仅简单表示具有后台任务逻辑的类。

自.NET Core 2.0 以来，框架提供了一个名为 IHostedService 的新接口，可以帮助我们轻松实现托管服务。该接口的基本想法是：可以注册多个后台任务（托管服务），在 Web 主机或主机运行时，它们将在后台运行，如图 8-25 所示。

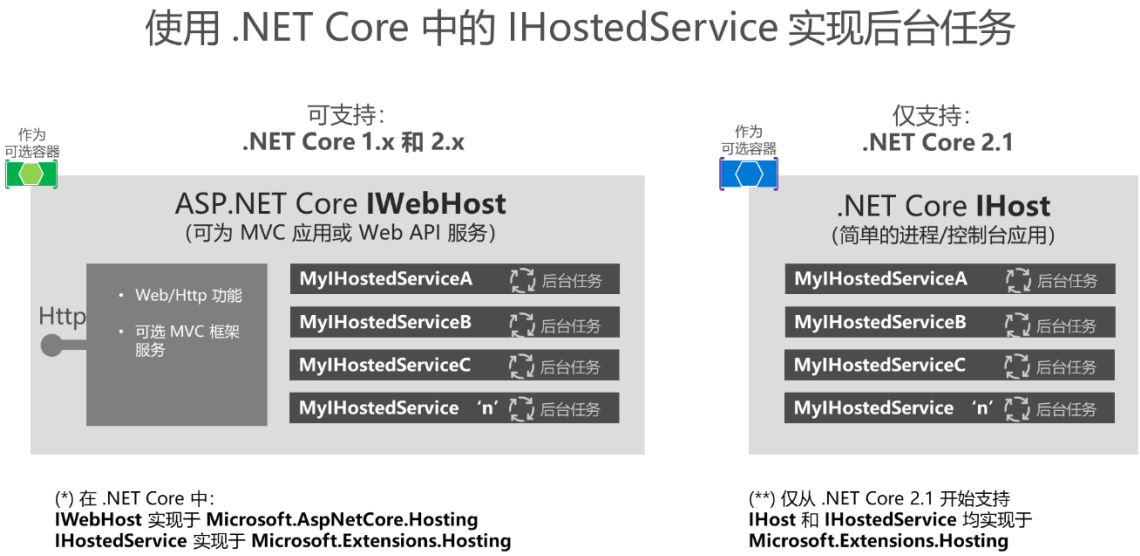


图 8-25. 在 WebHost 与主机中使用 IHostedService

请注意 WebHost 和 Host 之间的区别。

ASP.NET Core 2.0 中的 WebHost（实现 IWebHost 的基类）是用于为进程提供 Http 服务器功能的基础设施工件，例如，用于实现 MVC Web 应用程序或 Web API 服务。它提供了 ASP.NET Core 中基础架构的所有新增优势，可以使用依赖注入在 Http 管道中插入中间件等，并精确地将 IHostedServices 用于后台任务。

但是 Host（实现 IHost 的基类）是.NET Core 2.1 中的新功能（截至撰写本文时尚未发布）。基本上，Host 允许有一个类似于 WebHost（依赖注入，托管服务等）的基础设施，但是这种情况下我们可能只是希望有个简单轻量级的进程作为 Host，没有任何与 MVC，Web API 或 Http 服务器相关的功能。

因此，可以选择并创建一个专门的主机进程来处理托管服务，这样的微服务仅用于托管 IHostedServices，或者可以换一种方式扩展现有 ASP.NET Core WebHost，例如现有的 ASP .NET Core Web API 或 MVC 应用程序。每种方法都有优缺点，主要取决于业务和可扩展性需求。

在 WebHost 或 Host 中注册托管服务

继续深入 IHostedService 接口，因为它在 WebHost 或 Host 中的使用非常相似。

SignalR 是使用托管服务工件的一个示例，但是也可以使用它来执行更简单的操作，例如：

- 轮询数据库查找更改的后台任务
- 定期更新某个缓存的计划任务
- 允许任务在后台线程上执行的 QueueBackgroundWorkItem 实现
- 在 Web 应用程序的后台处理消息队列中的消息，同时共享 ILogger 等常用服务。

基本上可以将这些操作转移到基于 IHostedService 的后台任务。

为了将一个或多个 IHostedServices 添加到 WebHost 或 Host，可通过 ASP.NET Core WebHost（或 .NET Core 2.1 中的 Host）中的标准 DI（依赖注入）注册。基本上，我必须在 Startup 类中的 ConfigureServices()方法中注册托管服务，如下便是一个典型的 ASP.NET WebHost 中的代码示例。

```
public IServiceProvider ConfigureServices(IServiceCollection services)
{
    //Other DI registrations;

    // Register Hosted Services
    services.AddSingleton<IHostedService, GracePeriodManagerService>();
    services.AddSingleton<IHostedService, MyHostedServiceB>();
    services.AddSingleton<IHostedService, MyHostedServiceC>();
    //...
}
```

在该代码中，GracePeriodManagerService 托管服务是来自 eShopOnContainers 中的订单业务微服务的实际代码，其他两个仅仅是范例。

IHostedService 后台任务的执行与应用程序的生命周期（主机或微服务）是一致的。我们可以在应用程序启动时注册任务，并在应用程序关闭时有机会做一些操作或清理工作。

在不使用 IHostedService 的情况下，总是可以启动后台线程来运行任何任务。不同之处在于应用程序关闭时，该线程会直接被终止，而没有机会运行正常的清理操作。

IHostedService 接口

注册 IHostedService 时，.NET Core 将分别在应用程序启动和停止期间调用 IHostedService 类型的 StartAsync()和 StopAsync()方法。具体而言，在服务器启动并启动 IApplicationLifetime.ApplicationStarted 之后调用 start。

在.NET Core 中定义的 IHostedService 如下所示。

```
namespace Microsoft.Extensions.Hosting
{
    //
    // Summary:
    //     Defines methods for objects that are managed by the host.
    public interface IHostedService
    {
        //
        // Summary:
        // Triggered when the application host is ready to start the service.
        Task StartAsync(CancellationToken cancellationToken);
        //
        // Summary:
        // Triggered when the application host is performing a graceful shutdown.
        Task StopAsync(CancellationToken cancellationToken);
    }
}
```

我们可以创建 IHostedService 的多个实现，并在 ConfigureService()方法中将它们注册到 DI 容器中，如前所示。所有这些托管服务将随应用程序/微服务一起启动和停止。

作为开发人员，当主机触发 StopAsync()方法时，需要负责处理停止操作或服务。

使用从 BackgroundService 基类派生的自定义托管服务类来实现 IHostedService

我们可以继续从头开始创建自定义托管服务类，并实现 IHostedService ，在使用.NET Core 2.0 时需要这样做。

但是由于大多数后台任务在取消令牌管理和其他典型操作方便，都具有非常相似的需求，因此.NET Core 2.1 将提供一个非常方便的抽象基类，名为 BackgroundService，可以从该类派生自己的实现类。

该类提供了设置后台任务所需的主要工作。请注意，这个类来自.NET Core 2.1 库，所以不需要写代码。

不过截至本文撰写之时，.NET Core 2.1 尚未发布，因此在目前使用.NET Core 2.0 的 eShopOnContainers 中，我们只是从开源仓库中“窃取”了这个类，因为它与.NET Core 2.0 中的当前 IHostedService 接口是兼容的。.NET Core 2.1 发布后，只需要指向正确的 NuGet 包即可。

下列代码是在.NET Core 2.1 中实现的抽象 BackgroundService 基类。

```
// Copyright (c) .NET Foundation. Licensed under the Apache License, Version 2.0.
/// <summary>
/// Base class for implementing a long running <see cref="IHostedService"/>.
/// </summary>
public abstract class BackgroundService : IHostedService, IDisposable
{
    private Task _executingTask;
    private readonly CancellationTokenSource _stoppingCts =
                                                    new CancellationTokenSource();

    protected abstract Task ExecuteAsync(CancellationToken stoppingToken);

    public virtual Task StartAsync(CancellationToken cancellationToken)
    {
        // Store the task we're executing
        _executingTask = ExecuteAsync(_stoppingCts.Token);

        // If the task is completed then return it,
        // this will bubble cancellation and failure to the caller
        if (_executingTask.IsCompleted)
        {
            return _executingTask;
        }

        // Otherwise it's running
        return Task.CompletedTask;
    }

    public virtual async Task StopAsync(CancellationToken cancellationToken)
    {
        // Stop called without start
        if (_executingTask == null)
        {
            return;
        }

        try
        {
            // Signal cancellation to the executing method
            _stoppingCts.Cancel();
        }
        finally
        {
            // Wait until the task completes or the stop token triggers
            await Task.WhenAny(_executingTask, Task.Delay(Timeout.Infinite,
                                                          cancellationToken));
        }

    }

    public virtual void Dispose()
    {
        _stoppingCts.Cancel();
    }
}
```

当从上述抽象基类派生时，得益于这个内置的实现，只需要在自己定制的托管服务类中实现 ExecuteAsync()方法，就像下列 eShopOnContainers 中的简单代码，在需要时轮询数据库并将集成事件发布到事件总线即可。

```
public class GracePeriodManagerService
       : BackgroundService
{
    private readonly ILogger<GracePeriodManagerService> _logger;
    private readonly OrderingBackgroundSettings _settings;

    private readonly IEventBus _eventBus;

    public GracePeriodManagerService(IOptions<OrderingBackgroundSettings> settings,
                                     IEventBus eventBus,
                                     ILogger<GracePeriodManagerService> logger)
        {
            //Constructor's parameters validations...
        }

        protected override async Task ExecuteAsync(CancellationToken stoppingToken)
        {
            _logger.LogDebug($"GracePeriodManagerService is starting.");

            stoppingToken.Register(() =>
                    _logger.LogDebug($" GracePeriod background task is stopping."));

            while (!stoppingToken.IsCancellationRequested)
            {
                _logger.LogDebug($"GracePeriod task doing background work.");

                // This eShopOnContainers method is quering a database table
                // and publishing events into the Event Bus (RabbitMS / ServiceBus)
                CheckConfirmedGracePeriodOrders();

                await Task.Delay(_settings.CheckUpdateTime, stoppingToken);
            }

           _logger.LogDebug($"GracePeriod background task is stopping.");

            await Task.CompletedTask;
        }

        protected override async Task StopAsync (CancellationToken stoppingToken)
        {
               // Run your graceful clean-up actions
        }
}
```

具体到 eShopOnContainers 这个例子，它正在执行一个应用程序方法来查询数据库表以查找具有特定状态的订单，并且在应用更改时，会通过事件总线（可以使用 RabbitMQ 或 Azure 服务总线）发布集成事件。

当然，也可以运行其他任何业务后台任务。

默认情况下，取消令牌会设置为 5 秒超时，但也可使用 IWebHostBuilder 的 UseShutdownTimeout 扩展在构建 WebHost 时更改该值。这意味着我们的服务应该在 5 秒内完成，否则会更可能被直接关闭。

下列代码可将这个时间改为 10 秒。

```
WebHost.CreateDefaultBuilder(args)
    .UseShutdownTimeout(TimeSpan.FromSeconds(10))
    ...
```

类图摘要

图 8-26 显示了实现 IHostedServices 时所涉及的类和接口的可视摘要。

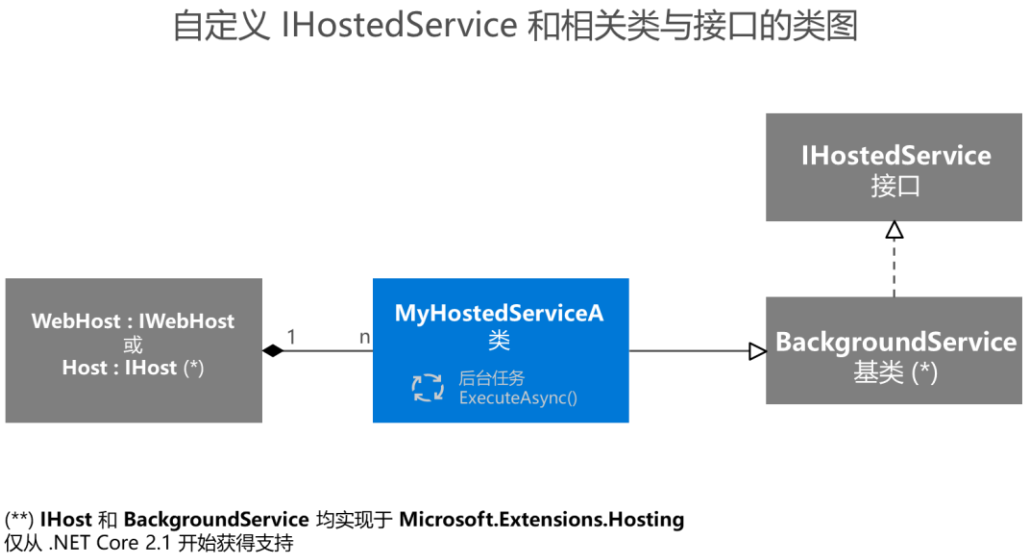


*图 8-26. **显示与 IHostedService 相关的多个类和接口的类图***

结论

IHostedService 接口为 ASP.NET Core Web 应用程序（在.NET Core 2.0 中）或任何进程/主机（从支持 IHost 的.NET Core 2.1 开始）启动后台任务提供了一种便捷的方法。

它的优势主要在于：当主机本身关闭时，可以利用优雅的取消令牌来清理后台任务代码。

其他资源

- **在 ASP.NET Core/Standard 2.0 中构建计划任务**

https://blog.maartenballiauw.be/post/2017/08/01/building-a-scheduled-cache-updater-in-aspnet-core-2.html

- **在 ASP.NET Core 2.0 中实现 IHostedService**
  https://www.stevejgordon.co.uk/asp-net-core-2-ihostedservice
- **ASP.NET Core 2.1 Hosting 示例**
  https://github.com/aspnet/Hosting/tree/dev/samples/GenericHostSample

9

在微服务中通过 DDD 和 CQRS 应对业务复杂性

愿景

为每个微服务或限界上下文设计能反映对业务领域理解的领域模型。

本章主要讨论更高级的微服务，例如需要处理复杂子系统的微服务，或继承自领域专家不断变更的商业规则的微服务。本章讨论的架构模式是基于领域驱动设计（DDD）和命令查询职责分离（CQRS）的方法，如图 9-1 所示。

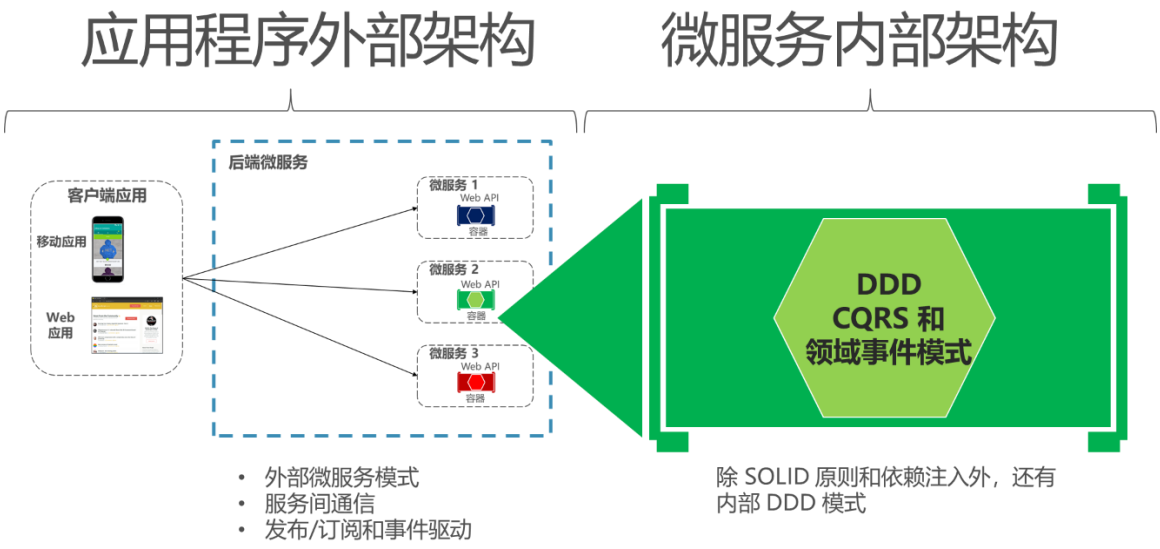


*图 9-1. **应用外部微服务架构与微服务内部架构模式***

然而大部分数据驱动微服务所用的技术，例如，实现 ASP.NET Core Web API 服务的方法，或使用 Swashbuckle 暴露 Swagger 元数据等方法也同样适用于使用 DDD 模式作为内部实现的高级微服务。本章是上一章的延展，因为上文描述的大部分实践同样适用于本章以及任何类型的微服务。

本章首先介绍了示例应用 eShopOnContainers 中简化后的 CQRS 模式详情，随后概括介绍了 DDD 技术，借此读者可以将模式方面的共通之处用在自己的应用程序中。

DDD 是一个庞大的主题，拥有丰富的学习资源，我们可以通过 Eric Evans 撰写的《领域驱动设计》一书，以及来自 Vaughn Vernon、Jimmy Nilsson、Greg Young、Udi Dahan、Jimmy Bogard 等

DDD/CQRS 专家提供的资料学习 DDD。但首先，我们需要尝试着学习如何在对话、白板、业务领域专家的领域建模会议中运用 DDD 技术。

其他资源

DDD（领域驱动设计）

- **Eric Evans. 领域语言**
  http://domainlanguage.com/
- **Martin Fowler. 领域驱动设计**
  http://martinfowler.com/tags/domain%20driven%20design.html
- **Jimmy Bogard. 强化您的领域：入门**
  https://lostechies.com/jimmybogard/2010/02/04/strengthening-your-domain-a-primer/

DDD 书籍

- **Eric Evans. 领域驱动设计，软件核心复杂性应对之道**
  https://www.amazon.com/Domain-Driven-Design-Tackling-Complexity-Software/dp/0321125215/
- **Eric Evans. 领域域驱动设计参考：定义和模式摘要**
  https://www.amazon.com/Domain-Driven-Design-Reference-Definitions-2014-09-22/dp/B01N8YB4ZO/
- **Vaughn Vernon. 实现领域驱动设计**
  https://www.amazon.com/Implementing-Domain-Driven-Design-Vaughn-Vernon/dp/0321834577/
- **Vaughn Vernon. 领域驱动设计精华**
  https://www.amazon.com/Domain-Driven-Design-Distilled-Vaughn-Vernon/dp/0134434420/
- **Jimmy Nilsson. 应用领域驱动设计和模式**
  https://www.amazon.com/Applying-Domain-Driven-Design-Patterns-Examples/dp/0321268202/
- **Cesar de la Torre. .NET 多层面向领域的架构指南**
  https://www.amazon.com/N-Layered-Domain-Oriented-Architecture-Guide-NET/dp/8493903612/
- **Abel Avram 和 Floyd Marinescu. 领域驱动设计快速教程**
  https://www.amazon.com/Domain-Driven-Design-Quickly-Abel-Avram/dp/1411609255/
- **Scott Millett, Nick Tune - 领域驱动设计的模式、原则和实践**
  http://www.wrox.com/WileyCDA/WroxTitle/Patterns-Principles-and-Practices-of-Domain-Driven-Design.productCd-1118714709.html

DDD 培训

- **Julie Lerman 和 Steve Smith. 领域驱动设计基础**
  http://bit.ly/PS-DDD

在微服务中运用简化的 CQRS 和 DDD 模式

CQRS 是一种用来分离读写数据模型的架构模式。命令查询分离（CQS）这个术语原本是 Bertrand Meyer 在他的书籍《面向对象的软件结构》中定义的，其基本思想是将系统操作划分成两个独立类别：

- 查询：返回结果且不改变系统状态，即查询是没有副作用的。

- 命令：改变系统状态。

CQS 是一个简单概念：同一个对象中作为查询或命令的方法，每个方法或者返回状态，或者改变状态，但不能两者兼备。甚至简单的仓储模式对象也可遵循 CQS。CQS 可以看作是 CQRS 的基本原则。

命令查询职责分离（CQRS）由 Greg Young 提出，并被 Udi Dahan 等人大力推动。它基于 CQS 原则但更详细，可以看作是基于命令、事件以及可选异步消息的模式。多数情况下，CQRS 主要用于更高级的场景，例如一个物理数据库用来读取（查询），用另一个数据库写入（更新）。此外，更先进的 CQRS 系统还可以为更新数据库实现事件溯源（ES），这样只需在领域模型中存储事件，而非存储当前状态的数据。但本书不会用到这种方式，我们将使用最简单的 CQRS 模式，即仅仅将查询和命令分离。

CQRS 的分离是指将查询操作组合在一层，而命令组合到另一层的做法。每一层有自己的数据模型（注：这里的模型未必是另一个数据库），并通过各自模式和技术组合来构建。更重要的是，这两层可以包含在相同物理层级或微服务里，如本书示例应用里（Ordering 微服务）的用法。这两层也可以在不同微服务或进程中实现，以便单独优化和独立地横向扩展，避免彼此干扰。

CQRS 意味着将两个对象分别用于读/写操作，而其他方式只需要一个。出于一些原因，我们可以使用非规范化的只读数据库，一些更高级的 CQRS 课程中通常会涉及这种做法，但本书并未使用该方法，毕竟我们的目标是让查询更灵活，而不是像聚合那样通过 DDD 模式的约束对查询进行限制。

例如示例应用 eShopOnContainers 的订单微服务。该服务基于简化的 CQRS 方法实现，使用单个数据源或数据库，但是对于事务领域使用了两个逻辑模型和 DDD 模式，如图 9-2 所示。

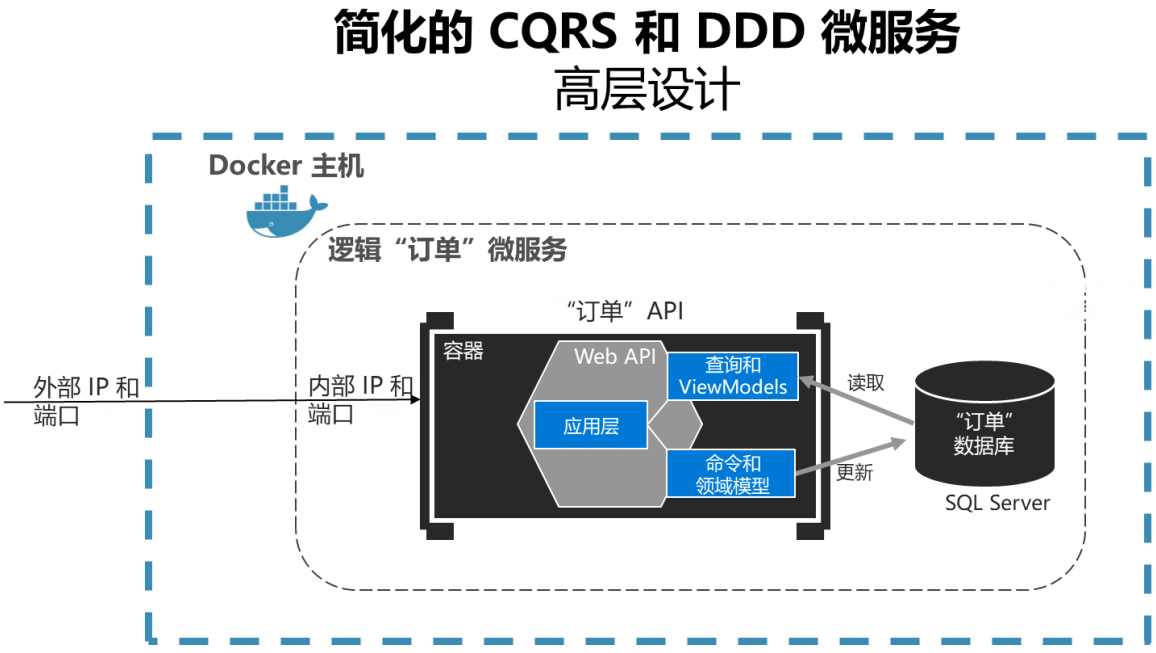


*图 9-2. **基于简化的 CQRS 和 DDD 的微服务***

应用层可以是 Web API 本身，这里的设计重点在于微服务已经按照 CQRS 模式将查询和 ViewModel（专门为客户端应用创建的数据模型）与命令、领域模型和事务拆分开了。这种方法使查询可以独立于来自 DDD 模式的限制和约束，这些模式只对事务和更新有意义，下文将会详细介绍。

将 CQRS 和 CQS 方式应用到 eShopOnContainers 的 DDD 微服务中

示例应用 eShopOnContainers 中订单微服务的设计基于 CQRS 原则，但使用了最简单的方式，即只将查询和命令分离并使用相同数据库。

这些模式的本质和重点在于查询是幂等的：无论查询一个系统多少次，系统的状态都不会改变。即使订单微服务使用相同数据库，也可以使用不同的“读取”数据模型而不是事务逻辑里“写入”领域模型。因此这是一个简化的 CQRS 方法。

另一方面，触发事务和数据更新的命令会改变系统状态。使用命令时需要小心处理系统复杂性和不断变化的业务规则。因此我们可以在这方面应用 DDD 技术实现更好的建模系统。

本书介绍的 DDD 模式不是普遍适用的，它们会为设计引入约束，这些约束提供了诸如随着时间推移进一步提高质量等好处，特别是会改变系统状态的命令和其他代码可以从中获益中。但是这些约束增加了读取和查询数据的复杂性。

聚合模式也是这样的模式之一，我们将在下文进一步讨论。简而言之，聚合模式会将多个领域对象视为单个单位，作为其在领域中的关系结果。对于查询，可能不会总是从这种模式中获益，因为这种做法增加了查询逻辑的复杂性。对于只读查询，也无法从将多个对象视为单个聚合中得到任何好处，只会增加复杂性。

如图 9-2 所示，本书建议仅在微服务的事务/更新区域（即由命令触发的）使用 DDD 模式。查询可以遵循更简单的方法，并且应按照 CQRS 方法与命令分离。

为实现“查询层”，有多种方式可选择，例如使用 EF Core、AutoMapper 映射、存储过程、视图、物化视图等全面的 ORM，或者使用微型 ORM。

在本书和 eShopOnContainers（特别是订单微服务）中，我们选择使用 Dapper 这样的微型 ORM 来实现直接查询。借此即可实现任何基于 SQL 语句的查询并获得最佳性能，毕竟这是一种开销更小的轻量级框架。

但是使用该方法时请注意，任何影响实体如何持久化到 SQL 数据库的模型更新都需要单独更新 Dapper 用到的 SQL 查询或其他单独（非 EF）的查询。

CQRS 和 DDD 模式不是顶级架构

CQRS 和大多数 DDD 模式（如 DDD 分层或带有聚合的领域模型）都不是架构风格，而只是架构模式，这一点很重要。例如微服务、SOA 和事件驱动架构（EDA）是架构风格，它们描述了由很多组件构成的系统，如多个微服务；而 CQRS 和 DDD 模式描述了单个系统或组件内的某些东西，在这里是指微服务内部的东西。

不同的限界上下文（BC）将采用不同模式，有不同职责，因此有不同解决方案。值得强调的是，每种情况强行使用相同模式将导致失败，不要在任何地方都使用 CQRS 和 DDD。很多子系统、限界上下文或微服务都比较简单，很容易用简单的 CRUD 服务或其他方式来实现。

应用架构只应该有一种：正在设计的系统或端到端应用程序（如微服务架构）的架构。然而，该应用程序中的每个限界上下文或微服务的设计反映了其在架构模式级别下的自身权衡和内部的设计决策。不要尝试在任何地方运用相同的架构模式，例如 CQRS 或 DDD。

其他资源

- **Martin Fowler. CQRS**
  https://martinfowler.com/bliki/CQRS.html
- **Greg Young. CQS vs. CQRS**
  http://codebetter.com/gregyoung/2009/08/13/command-query-separation/
- **Greg Young. CQRS 文档**
  https://cqrs.files.wordpress.com/2010/11/cqrs_documents.pdf
- **Greg Young. CQRS、基于任务的 UI 和事件溯源**
  http://codebetter.com/gregyoung/2010/02/16/cqrs-task-based-uis-event-sourcing-agh/
- **Udi Dahan. 认清 CQRS**
  http://udidahan.com/2009/12/09/clarified-cqrs/
- **CQRS**
  http://udidahan.com/2009/12/09/clarified-cqrs/
- **事件溯源(ES)**
  http://codebetter.com/gregyoung/2010/02/20/why-use-event-sourcing/

在 CQRS 微服务中实现读取/查询

对于读取/查询，示例应用 eShopOnContainers 订单微服务的查询是独立于 DDD 模型和事务实现的。这主要是因为，查询和事务的需求大不相同。写入执行的事务必须符合领域逻辑，另一方面，查询是幂等的，可从领域规则中分离出来。

方法很简单，如图 9-3 所示。API 接口由 Web API 控制器使用任何基础架构（例如 Dapper 等微型 ORM）来实现，并根据 UI 应用的需要返回动态 ViewModel。

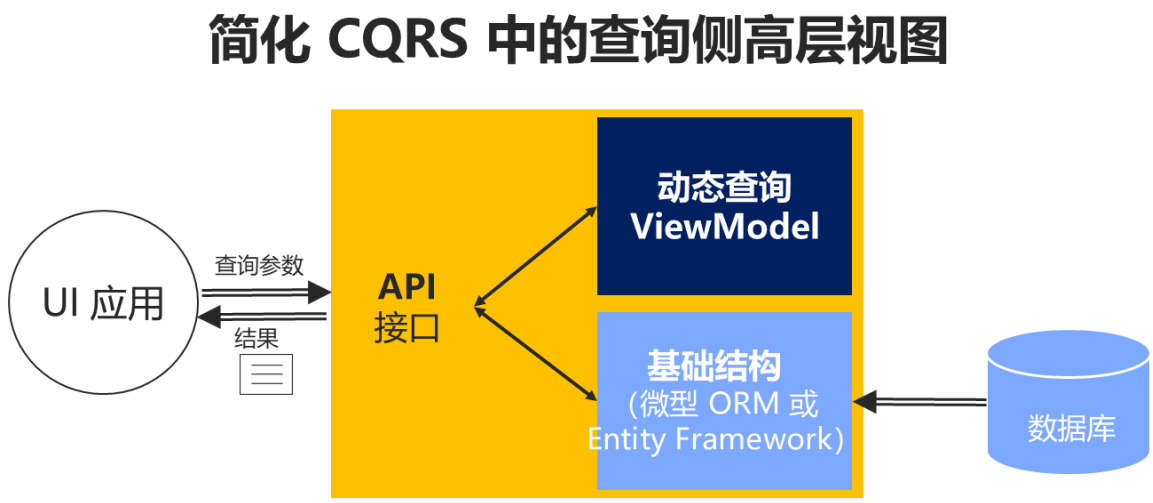


图 9-3. 一个 CQRS 微服务中最简单的查询

这是最简单的查询方法。查询的定义是查询数据库并返回为每个查询动态构建的 ViewModel。由于查询是幂等的，所以无论运行多少次查询，都不会更改数据。因此不需要受到任何事务层面使用的 DDD 模式限制，如聚合和其他模式，这就是查询与事务分离的原因。只需简单地查询数据库以获取 UI 所需数据，然后返回一个动态 ViewModel，而不需要在任何位置明确定义（即没有为 ViewModel 定义类），但 SQL 语句除外。

由于这是一个简单的方法，查询层所需代码（例如使用 Dapper 等微型 ORM 的代码）可在同一个 Web API 项目中实现。图 9-4 展示了这一点。查询是在 eShopOnContainers 解决方案中的 Ordering.API 微服务项目中定义的。

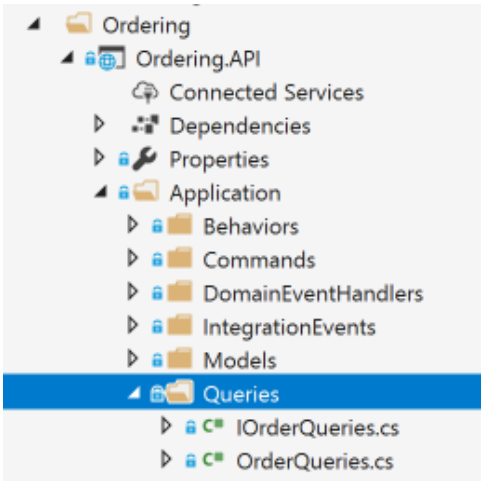


图 9-4. eShopOnContainers 的订单微服务中的查询

使用独立于领域模型约束且专为客户端应用创建的 ViewModel

由于查询是用来获取客户端应用所需数据的，因此可以根据查询返回的数据为客户端专门创建返回类型。这些模型或数据传输对象（DTO）称为 ViewModel。

返回的数据（ViewModel）可以是连接数据库中多个实体或表的数据结果，也可以是事务领域模型中定义的多个聚合结果。这种情况下，因为正在创建独立于领域模型的查询，所以聚合的边界和约束可彻底忽略，我们可以自由地查询需要的任何表和列。这种方法为开发人员创建或更新查询提供了极大的灵活性和生产力。

ViewModel 可以是在类中定义的静态类型，或者可根据执行的查询来动态创建（订单微服务中就是这样做的），这对开发人员来说非常的灵活。

使用 Dapper 作为微型 ORM 实现查询

我们可以使用任何微型 ORM、Entity Framework Core 甚至纯 ADO.NET 进行查询。示例应用选择了 Dapper 作为 eShopOnContainers 中的订单微服务，毕竟微型 ORM 现在非常流行。作为轻量级框架，它能以足够好的性能运行纯 SQL 查询。使用 Dapper 可以编写访问和连接多个表的 SQL 查询。

Dapper 是一个开源项目（最初由 Sam Saffron 创建），并是 Stack Overflow 使用的构建块的组成部分。使用 Dapper 前只需通过 Dapper 的 NuGet 包安装，如下图所示。

此外还需要添加一个 using 语句，以便代码可以访问 Dapper 的扩展方法。

在代码中使用 Dapper 时，直接使用 System.Data.SqlClient 命名空间中的 SqlClient 类，通过 QueryAsync 方法和 SqlClient 类的其他扩展方法，可以简单直观地运行查询。

动态与静态的 ViewModel

将 ViewModel 从服务器端返回到客户端应用时，可将这些其视为 DTO（数据传输对象），它们可能与实体模型的内部领域实体不同，因为 ViewModel 按客户端应用需要的方式保存数据。因此大部分情况下，可汇总来自多个领域实体的数据，并根据客户端应用需要的数据精确组合 ViewModel。

ViewModel 或 DTO 可以显式定义（类似数据持久化类），就像下文列举的代码片段中 OrderSummary 类一样，或者可以简单地根据查询返回的属性返回动态的 ViewModel 或 DTO。

动态类型作为 ViewModel

如下列代码所示，ViewModel 可通过查询直接返回，查询内部基于获取的属性简单地生成一个动态类型。这意味着要返回的属性子集是基于查询本身的。如果向查询或表连接新增一列，则该数据将动态添加到返回的 ViewModel 中。

优点：这种方式减少了只要更新查询的 SQL 语句就要修改静态 ViewModel 类的需要，使得这种设计方式在编码时非常敏捷、直截了当并快速响应未来变化。

```
using Dapper;
using Microsoft.Extensions.Configuration;
using System.Data.SqlClient;
using System.Threading.Tasks;
using System.Dynamic;
using System.Collections.Generic;
public class OrderQueries : IOrderQueries
{
  public async Task<IEnumerable<dynamic>> GetOrdersAsync()
  {
      using (var connection = new SqlConnection(_connectionString))
      {
        connection.Open();
        return await connection.QueryAsync<dynamic>(@"SELECT o.[Id] as ordernumber,
                  o.[OrderDate] as [date],os.[Name] as [status],
                  SUM(oi.units*oi.unitprice) as total
                  FROM [ordering].[Orders] o
                  LEFT JOIN[ordering].[orderitems] oi ON  o.Id = oi.orderid
                  LEFT JOIN[ordering].[orderstatus] os on o.OrderStatusId = os.Id
                  GROUP BY o.[Id], o.[OrderDate], os.[Name]");
      }
  }
}
```

重点在于使用动态类型，返回的数据集合将被动态地组合为 ViewModel。

缺点：从长远来看，动态类型会降低清晰度甚至影响服务和客户端应用的兼容性。另外，如果使用动态类型，类似 Swagger 等中间件软件就无法基于返回类型提供相同层次的文档。

预先定义的 DTO 类作为 ViewModel

优点：使用预先确定的静态 ViewModel 类，类似于基于明确 DTO 类的“契约”，对公开 API 和长期使用的微服务明显更好，即使它们用在同一个应用中。

如果要为 Swagger 指定响应类型，就需要使用明确的 DTO 类作为返回类型。因此，预先确定的 DTO 类使得我们可以从 Swagger 提供更丰富的信息。这对于 API 文档和调用 API 时的兼容性都有好处。

缺点：如前所述，当更新代码时，需要用更多步骤更新 DTO 类。

我们的经验之谈：在 eShopOnContainers 的订单微服务里实现的查询中，起初使用动态 ViewModel 开发，因为非常简单敏捷。然而一旦开发稳定了，基于前面描述的原因，我们选择重构这个主题，并为 ViewModel 使用静态的或预先确定的 DTO 类。

在下面的代码中可以看到，该场景下查询是如何通过使用明确的 ViewModel DTO 类来返回数据的，即 OrderSummary 类：

```
using Dapper;
using Microsoft.Extensions.Configuration;
using System.Data.SqlClient;
using System.Threading.Tasks;
using System.Dynamic;
using System.Collections.Generic;

public class OrderQueries : IOrderQueries
{
  public async Task<IEnumerable<OrderSummary>> GetOrdersAsync()
    {
        using (var connection = new SqlConnection(_connectionString))
        {
            connection.Open();
            var result = await connection.QueryAsync<dynamic>(
                  @"SELECT o.[Id] as ordernumber,
                  o.[OrderDate] as [date],os.[Name] as [status],
                  SUM(oi.units*oi.unitprice) as total
                  FROM [ordering].[Orders] o
                  LEFT JOIN[ordering].[orderitems] oi ON  o.Id = oi.orderid
                  LEFT JOIN[ordering].[orderstatus] os on o.OrderStatusId = os.Id
                  GROUP BY o.[Id], o.[OrderDate], os.[Name]
                  ORDER BY o.[Id]");
        }
    }
}
```

描述 Web API 的响应类型

开发人员调用 Web API 和微服务最关心的问题是：返回的结果是什么——尤其是响应类型和错误码（如果非标准）。这些是通过 XML 注释和数据标注来处理的。

如果在 Swagger UI 里没有合适的文档，调用者就缺少返回什么类型或返回什么 HTTP 编码的信息。这个问题可通过添加 ProducesResponseType 特性（在 Microsoft.AspNetCore.Mvc 中定义）来解决，因此 Swagger 会生成返回类型和值的丰富信息，如下列代码所示：

```
namespace Microsoft.eShopOnContainers.Services.Ordering.API.Controllers
{
    [Route("api/v1/[controller]")]
    [Authorize]
    public class OrdersController : Controller
    {
       //Additional code...
       [Route("")]
       [HttpGet]
       [ProducesResponseType(typeof(IEnumerable<OrderSummary>),
                             (int)HttpStatusCode.OK)]
       public async Task<IActionResult> GetOrders()
       {
           var orderTask = _orderQueries.GetOrdersAsync();
```

```
            var orders = await orderTask;
            return Ok(orders);
        }
    }
}
```

然而 ProducesResponseType 特性无法使用 dynamic 作为类型，必须使用明确类型，例如 OrderSummary 这样的 ViewModel DTO，如下列代码片段所示：

```
public class OrderSummary
{
    public int ordernumber { get; set; }
    public DateTime date { get; set; }
    public string status { get; set; }
    public double total { get; set; }
}
```

长期来看，这也是为什么说明确的返回类型比动态类型要好的另一个原因。

当使用 ProducesResponseType 特性时，也可根据可能的 HTTP 错误或代码指定期望的输出，如 200、400 等。

如下图所示，展示了 Swagger UI 是如何展示响应类型信息的。

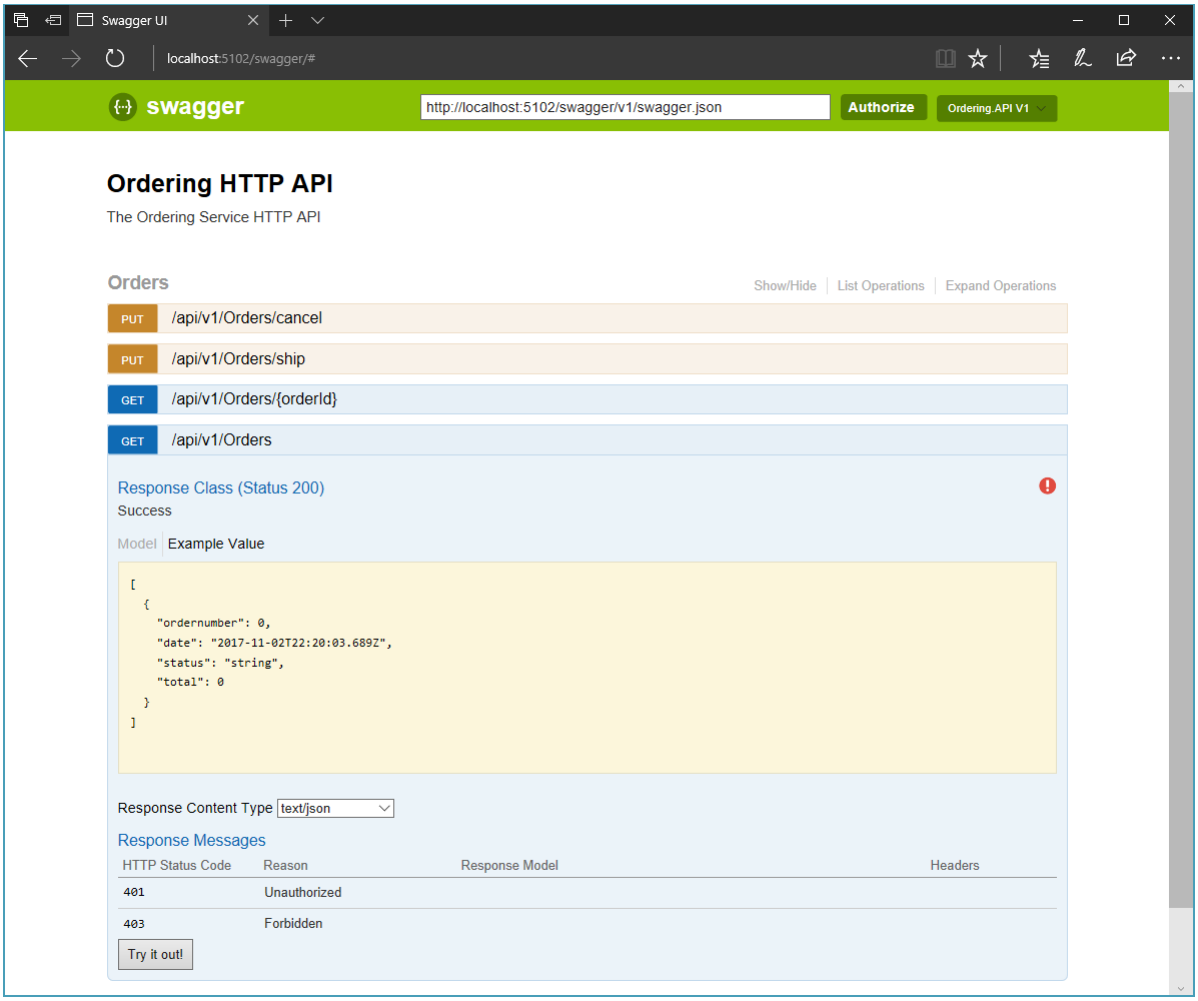


图 9-5. Swagger UI 展示一个 Web API 的响应类型和可能的 HTTP 状态码

在上图中还可以看到一些示例值，它们基于 ViewModel 类型和可能返回的 HTTP 状态码。

其他资源

- **Dapper**
  https://github.com/StackExchange/dapper-dot-net
- **Julie Lerman. Data Points - Dapper, Entity Framework 和混合应用程序（MSDN 杂志文章）**
  https://msdn.microsoft.com/magazine/mt703432.aspx
- **使用 Swagger 生成 ASP.NET Core Web API 的帮助页面**
  https://docs.microsoft.com/en-us/aspnet/core/tutorials/web-api-help-pages-using-swagger?tabs=visual-studio

设计面向 DDD 的微服务

领域驱动设计（DDD）主张根据和用例相关的实际业务来建模。在构建应用程序的上下文中，DDD 将问题作为领域，它把独立问题域看作限界上下文（每个限界上下文与一个微服务有关），并突出一种说

明这些问题的通用语言。它也提出了多种技术概念和模式来支持内部实现，例如丰富模型领域实体（非贫血领域模型）、值对象、聚合和聚合根（或根实体）规则。本节将介绍这些内部模式的设计和实现。

有时这些 DDD 技术规则和模式会被看作障碍，因为在实现 DDD 方法时有陡峭的学习曲线。但重点不在于模式本身，而是要组织代码，以便划清业务问题并使用相同业务术语（统一语言）。此外，DDD 方式应该只用于实现拥有重要业务规则的复杂微服务。诸如 CRUD 服务等简单的任务可使用更简单的方法管理。

如何确定边界是设计和定义微服务的关键任务。DDD 模式可以帮助我们理解领域的复杂性。对于每个限界上下文中的领域模型，识别和定义用来模型化该领域的实体、值对象和聚合。构建并提炼在一个定义上下文边界里的领域模型。很明显这是微服务的形式。那些边界内组件最终会成为微服务，即使在某些情况下，一个 BC 或业务微服务可以由多个物理的服务组成。DDD 和微服务都是关于边界的。

保持相对较小的微服务上下文边界

决定在限界上下文之间划分边界要平衡两个相互竞争的目标。首先，最开始需要创建尽可能小的微服务，尽管不应该是主要意图，但也应该为需要内聚的事物建立边界。其次，需要避免微服务间无谓的通信。这两个目标互相制约，需要权衡，尽可能将系统拆分成多个小型微服务，直到尝试拆分新的限界上下文而出现快速增长的边界通信时即可停止拆分。内聚是独立限界上下文的关键。

这与实现类时的不当亲密关系的代码习惯很类似。如果两个微服务需要很多协作，它们应该成为同一个微服务。

另一种看待这种情况的方法是自主权。如果一个微服务必须依靠其他服务来直接处理请求，那么就不是真正的自治。

DDD 微服务中的分层

大多数具有重要业务和技术复杂性的企业应用都定义了多个层级。层级是一种逻辑体，与服务的部署无关，它们的存在是为了帮助开发人员管理代码复杂性。不同层（如领域模型层和表现层等）可能有不同类型，因此在这些类型间需要转义。

例如，一个实体可能从数据库中加载，随后实体的部分信息或包含其他实体额外数据的信息聚合，能通过 REST Web API 发送到客户端 UI。这里的要点是领域实体包含在领域模型层内部，并且不应传送到不属于它的其他区域，比如表现层。

此外，需要由聚合根（根实体）控制的始终有效的实体（详见“设计领域模型层的验证”一节），因此实体不应该与客户端视图绑定，因为在 UI 层级的某些数据可能未经验证。这就是 ViewModel 的用武之地，ViewModel 是一个仅为满足表现层需要的数据模型。领域实体不直属于 ViewModel，相反，需要在 ViewModel 和领域实体之间相互转换。

当应对复杂性时，重点是要有一个由聚合根（稍后会详细介绍）控制的领域模型，以确保与该组实体（聚合）相关的所有不变量和规则都通过一个单独的入口点或门来进行，这就是聚合根。

图 9-5 显示了 eShopOnContainers 应用中是如何实现分层设计的。

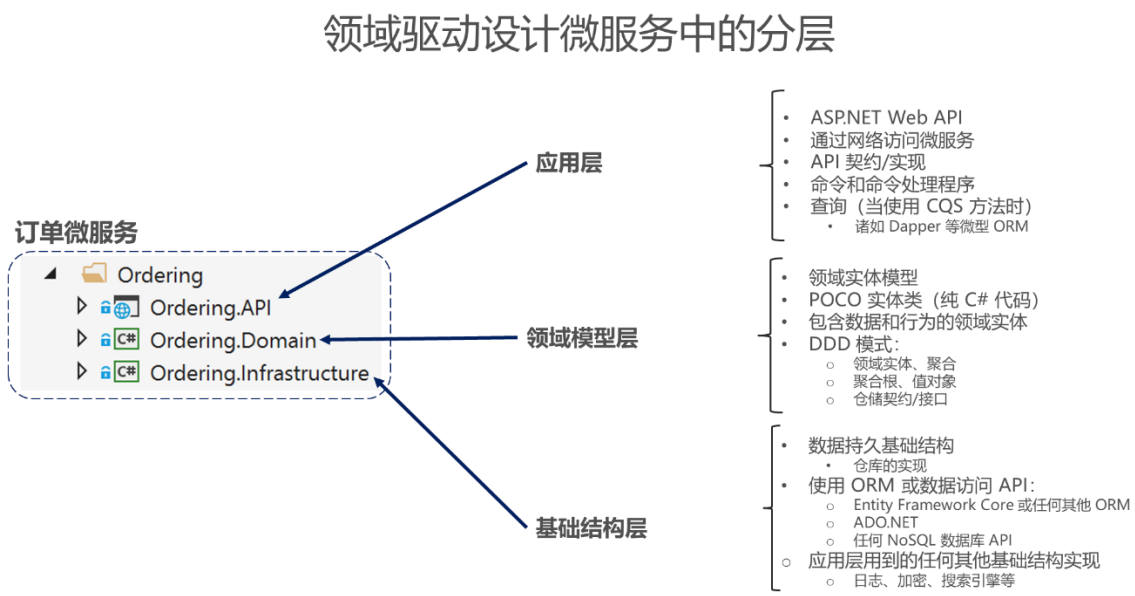


*图 9-5. **eShopOnContainers 里订单微服务中的 DDD 分层***

假设想设计系统以便每一层只与特定的其他层进行通信，强制将这些层作为不同类库来实现会更容易，因为能清晰地识别类库间有哪些依赖。例如，领域模型层不应该依赖于其他任何层（领域模型类应该是普通的 CLR 对象，或称为 POCO 的类）。如图 9-6 所示，Ordering.Domain 类库仅依赖.NET Core 的库或 NuGet 包，而没有依赖任何其他自定义库（数据层类库，持久化库等等）。

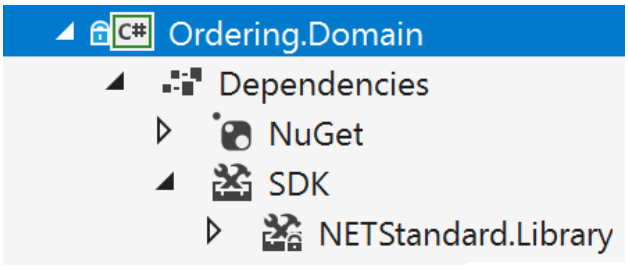


*图 9-6. **作为类库实现的层可以更好地控制层与层之间的依赖***

领域模型层

Eric Evans 的名著《领域驱动设计》中描述了领域模型层和应用层。

> ***领域模型层：**负责表达业务概念、业务状态信息及业务规则。尽管保存业务状态的技术细节是由基础设施层实现的，但反映业务情况的状态是由本层控制并使用的，领域模型层是业务软件的核心。*

领域模型层是表达业务的地方。在.NET 中使用微服务来实现领域模型层时，该层使用包含获取数据和行为（具有业务逻辑的方法）的领域实体的类库来实现。

根据持久化透明和基础架构透明原则，该层必须完全忽视数据持久化的细节，这些持久化任务应该在基础架构层完成。因此该层不应直接依赖基础架构层，这意味着一个重要规则：领域模型实体类应该是 POCO。

领域实体不应对任何数据访问基础框架，如 Entity Framework 或 NHibernate 有任何直接依赖。理想情况下，领域实体不应该继承自或实现任何基础框架里的任何类型。

大多数现代的 ORM 框架，如 Entity Framework Core 允许使用这种方式，因此领域模型类不会与基础架构耦合。然而在使用某些 NoSQL 数据库和框架时，使用 POCO 实体也是可行做法，如 Azure Service Fabric 里的 Actors 和 Reliable 集合。

虽然为领域模型遵守持久化透明原则很重要，但也不应忽略持久化问题。理解数据的物理模型和如何映射到实体对象模型依然很重要，否则设计就无法实现。

另外，这也并非意味着可以将为关系型数据库设计的模型直接移动到 NoSQL 或面向文档的数据库中。对于某些实体模型也许可以这么做，但通常是不行的。此外也有一些实体模型必须遵守同时来自于存储技术和 ORM 技术的约束条件。

应用层

对于应用层，可以再次引用 Eric Evans 的《领域驱动设计》：

> ***应用层：****定义软件要完成的任务，并指挥表达领域概念的对象来解决问题。这一层所负责的工作对业务来说意义重大，也是与其他系统的应用层进行交互的必要渠道。应用层要尽量简单，不包含业务规则或知识，而只为下一层中的领域对象协调任务，分配工作，使它们互相协作。它没有反映业务情况的状态，但却可具有另一种状态，即为用户或程序显示某个任务的进度。*

.NET 中的微服务应用层通常使用 ASP.NET Core Web API 项目来实现，包括微服务的交互、远程网络访问和从界面或客户端应用发起的外部 Web API 调用。它还包含使用 CQRS 方法时的查询、微服务接受的命令以及微服务间的事件驱动通信（集成事件）。表示应用层的 ASP.NET Core Web API 必须不包含业务规则或领域知识（尤其是事务或更新的领域规则），这些内容应该由领域模型类库所拥有。应用层必须仅协调任务而不能保留或定义任何领域状态（领域模型）。应用层将业务规则的执行委托给领域模型类本身（聚合根或领域实体），最终在那些领域实体中更新数据。

基本上，应用逻辑是实现基于特定前端的所有用例的地方，例如与 Web API 服务相关的实现。

这样做地目的在于，在领域模型层中的领域逻辑，包括不变量、数据模型和相关业务规则必须完全独立于表现层和应用层。最重要的是领域模型层必须不能直接依赖任何基础架构框架。

基础架构层

基础架构层用于将最初保留在（内存中）领域实体中的数据持久化到数据库或其他持久存储中。例如使用 Entity Framework Core 实现的仓储模式类将 DBContext 数据持久化到关系型数据库中。

根据前文提到的持久化透明和基础架构透明原则，基础架构层绝对不能“污染”领域模型层。我们必须在绝对不产生框架强依赖的前提下确保领域模型实体类和用来持久化数据（EF 或任何其他框架）的基础架构无关。领域模型层类库应该只有领域代码，即仅有实现软件核心的 POCO 实体类，并且与基础架构技术完全解耦。

因此层或类库以及项目应该最终依赖于领域模型层（库），反之是不行的。如图 9-7 所示。

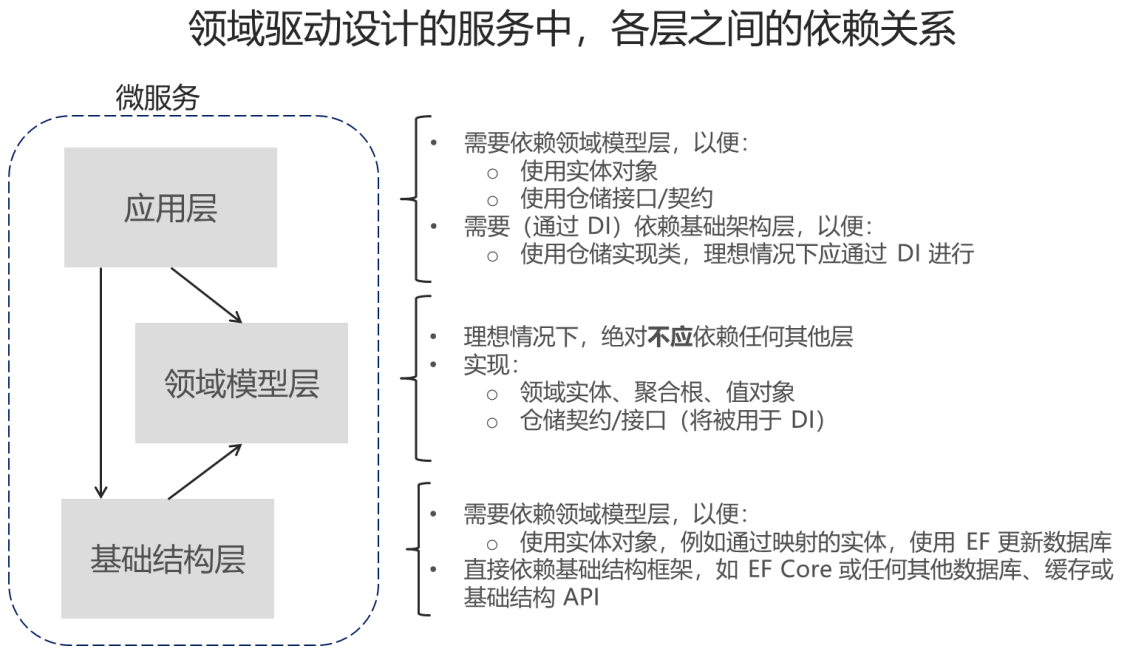


*图 9-7. **DDD 中各层之间的依赖关系***

每个微服务的基础架构层设计应该是独立的。如前所述，可以按照 DDD 模式实现复杂微服务，而用更简单的方法实现更简单的数据驱动微服务（单层中的简单 CRUD）。

其他资源

- **DevIQ. 持久化透明原则**
  http://deviq.com/persistence-ignorance/
- **Oren Eini. 基础架构透明原则**
  https://ayende.com/blog/3137/infrastructure-ignorance
- **Angel Lopez. 领域驱动开发的分层架构**
  https://ajlopez.wordpress.com/2008/09/12/layered-architecture-in-domain-driven-design/

设计微服务领域模型

为每个业务微服务或限界上下文定义一个富领域模型

我们的目标是为每个业务微服务或限界上下文（BC）创建一个单一的内聚领域模型。但是请注意，BC 或业务微服务有时可能由多个共享同一领域模型的物理服务组成。领域模型必须捕获它所表达的单一限界上下文或业务微服务的规则、行为、业务语言和约束条件。

领域实体模式

实体表示领域对象，主要由其标识、连续性和随时间变化的持久性来定义，而不仅仅是构成它们的属性。正如 Eric Evans 所说“主要由其标识来定义的对象被称为实体”。由于实体是模型的基础，因此它们在领域模型中非常重要。我们应该仔细识别并设计。

一个实体的标识可以跨多个微服务或限界上下文。

相同标识（尽管不是相同实体）可跨多个限界上下文或微服务进行建模。然而并不意味着具有相同属性和逻辑的相同实体应该在多个限界上下文中实现。相反，每个限界上下文中的实体必须将它们的属性和行为限定在领域必需的范围内。

例如买家实体可能拥有大部分个人属性，这些属性定义在个人资料或标识微服务中的用户实体里，包括标识。但订单微服务中的买家实体属性略少，因为只有部分买家数据与订单流程相关。每个微服务或限界上下文的环境影响它们的领域模型。

领域实体除了实现数据属性之外，还必须实现行为。

DDD 中的领域实体必须实现与实体数据（内存中访问的对象）相关的领域逻辑或行为。例如，作为订单实体类的一部分，必须将业务逻辑和操作以任务的方法实现，例如添加订单项、数据验证和计算总和。实体的方法需要处理实体的不变量和规则，而不是将它们扩散到应用层。

图 9-8 显示的领域实体不仅实现了数据属性，而且实现了相关领域逻辑的操作或方法。

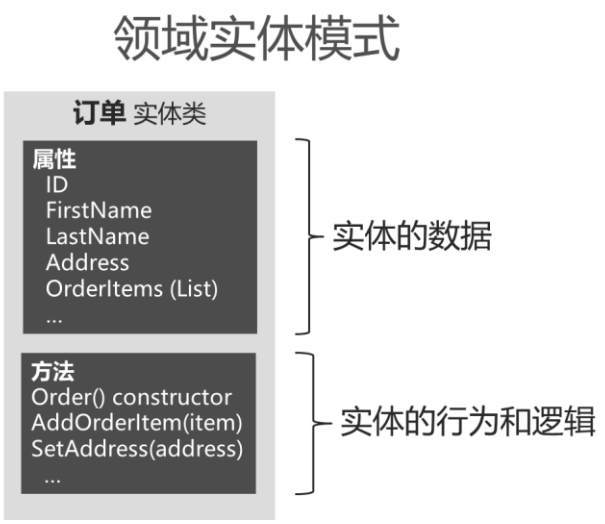


*图 9-8. **实现数据和行为的领域实体设计示例***

当然，有时可以拥有不实现任何逻辑的实体类，例如在聚合子实体中，子实体可能没有任何特殊逻辑，因为大部分逻辑已经在聚合根里定义了。如果有一个复杂的微服务，在服务类中实现了大部分逻辑，而不是在领域实体中实现的话，可能会陷入贫血领域模型中，下一节将会详细解释。

富领域模型和贫血领域模型

Martin Fowler 在他的帖子贫血领域模型中以这种方式进行了描述：

> *贫血领域模型一个明显的特征是：它仅仅是看上去和领域模型一样，都是对象，都以领域空间中定义的名词命名，这些对象通过实际领域模型中丰富的关系和结构相互关联。但是观察模型所持有的业务逻辑时会发现，贫血模型中除了大量 getter 和 setter，几乎没有其他业务逻辑。*

当然，在使用贫血领域模型时，那些数据模型会从一系列服务对象（传统上称为业务层）中使用，这些服务对象会捕获所有领域或业务逻辑。业务层位于数据模型层之上，并仅将数据模型作为数据使用。

贫血领域模型只是一种过程化的风格设计。因为缺乏行为（方法），贫血实体对象不是真正的对象。它们只有数据属性，因此也不是面向对象的设计。通过将所有行为放到服务对象（业务层）中，最终得到的是面条式代码或事务性脚本，因此失去了领域模型提供的优势。

无论如何，如果微服务或限界上下文非常简单（如 CRUD 服务），使用表现为只有数据属性的实体对象的贫血领域模型或许足够了，此时可能不值得实现更复杂的 DDD 模式。这种情况下，它将是一个简单的持久化模型，因为已经有意为 CRUD 这个目标创建了只有数据的实体。

因此微服务架构完美适用于依赖每个限界上下文的多重架构方法。例如在 eShopOonContainers 中，订单微服务实现了 DDD 模式，但简单的 CRUD 服务，如目录微服务就没有用到。

有人说贫血领域模型是一个反模式。这其实取决于要实现什么。如果正在创建的微服务足够简单（如 CRUD 服务），遵循贫血领域模型就不是反模式。但如果要应对微服务的领域有很多不断变化的业务规则并且很复杂，贫血领域模型对这样的微服务或限界上下文可能就是一个反模式。这种情况下，将其设计为包含数据和行为以及实现额外的 DDD 模式（聚合，值对象等等）的富模型，或许对微服务的长期成功有更大好处。

其他资源

- **DevIQ. 领域实体**
  http://deviq.com/entity/
- **Martin Fowler. 领域模型**
  https://martinfowler.com/eaaCatalog/domainModel.html
- **Martin Fowler. 贫血领域模型**
  https://martinfowler.com/bliki/AnemicDomainModel.html

值对象模式

正如 Eric Evans 所说“许多对象没有概念上的标识。这些对象描述了一件事情的某些特征。”

实体需要标识，但系统中很多对象没有标识，如值对象模式。值对象是描述领域方面没有概念上标识的对象。这些对象是实例化用来临时表示设计元素的。我们只关心它们是什么，而不关心它们是谁。例如数字和字符串，但也有高级别的概念，例如一组属性。

一个微服务中的实体可能不是另一个微服务的实体，因为在后一种情况下，限界上下文可能有不同含义。例如，电子商务应用中的一个地址可能根本没有标识，因为它可能只是表示一个人或公司的客户资料的一组属性。这种情况下，地址应该归类为值对象。然而在电力公司的应用中，客户地址应该对于业务领域很重要。因此地址必须有标识，以便计费系统能够直接关联到地址。这种情况下的地址应该归类为领域实体。

带有名和姓的人通常是实体，因为人有标识，即使名和姓与另一组值相同，例如同姓不同名的两个人。

值对象在关系型数据库和类似 EF 的 ORM 中很难管理，而在文档型数据库里更容易实现和使用。

其他资源

- **Martin Fowler. 值对象模式**
  https://martinfowler.com/bliki/ValueObject.html
- **值对象**
  http://deviq.com/value-object/
- **测试驱动开发中的值对象**
  https://leanpub.com/tdd-ebook/read#leanpub-auto-value-objects
- **Eric Evans. 领域驱动设计，软件核心复杂性应对之道（图书，包括关于值对象的讨论）**
  https://www.amazon.com/Domain-Driven-Design-Tackling-Complexity-Software/dp/0321125215/

聚合模式

领域模型包含不同数据实体的聚集，以及控制特定功能区域的流程，例如订单履行或库存。更细粒度的 DDD 单元就是聚合，聚合描述了可被视为一个内聚体的一组实体和行为。

通常可基于需要的事务来定义聚合。例如订单包含了一组订单项。订单项通常是实体，但它在订单聚合里会是一个子实体，它也会包含作为它的根实体的订单实体，这通常被称作聚合根。

识别聚合会很困难。聚合是一组必须一致的对象，但不能仅选择一组对象并将它们标记为聚合。我们必须从领域概念开始，并考虑与概念相关的，用在最通用的事务中的实体。需要事务性一致的实体可以构成聚合。考虑事务操作很可能是识别聚合的最佳方法。

聚合根或根实体模式

聚合至少包含一个实体：聚合根。也叫做根实体或者主标识。此外可以有多个子实体和值对象。所有实体对象共同协作去实现所需的行为和事务。

聚合根的用途是保证聚合的一致性。它应该是聚合根类中通过方法或操作更新聚合的唯一入口点。我们应该只通过聚合根修改聚合里的实体。因此它是聚合一致性的保护者，负责聚合中所有所需要遵守的不变性和一致性规则。如果独立更改子实体或值对象，聚合根将无法保证聚合处于有效状态，就像腿不够牢靠的桌子。维护一致性是聚合根的主要用途。

在图 9-9 中可以看到简单的买家聚合，它包含一个单一实体（聚合根 Buyer），订单聚合包含多个实体和一个值对象。

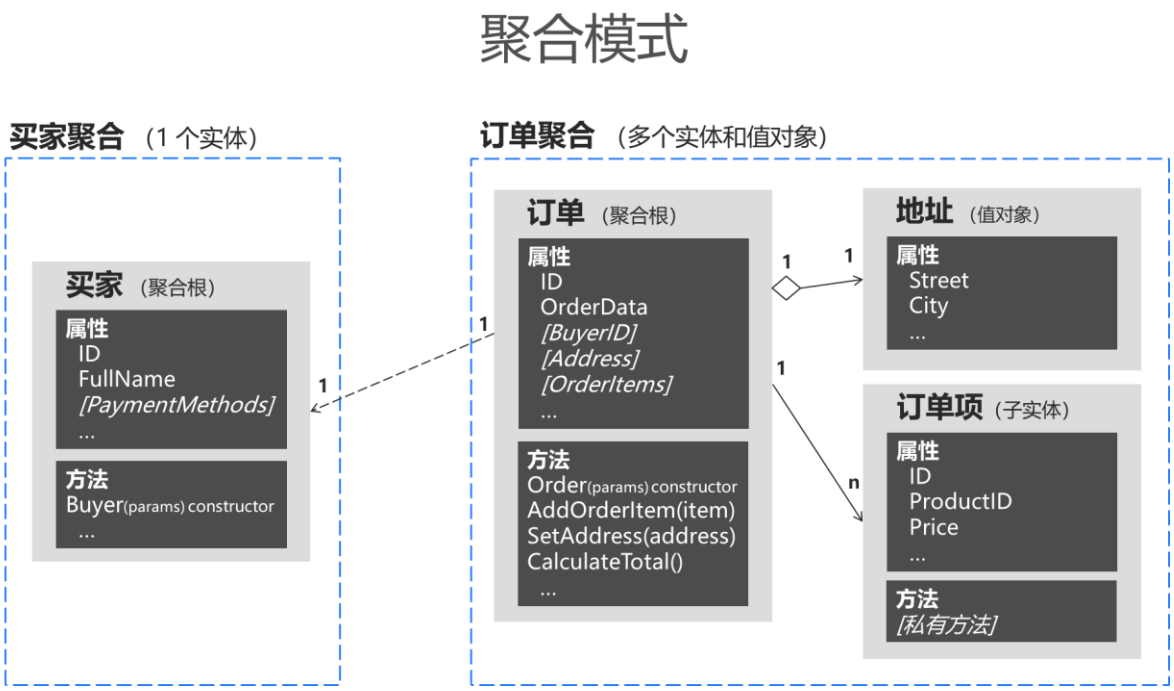


*图 9-9. **跟单一或多个实体聚合的例子***

注意，买家聚合可以包含额外的实体，这取决于领域，就像在 eShopOnContainers 示例应用的订单微服务那样。图 9-9 只是用买家作为一个聚合只包含一个聚合根对象的演示，所以只包含一个实体。

为了维护聚合的独立并保持清晰的边界，作为好的实践方式，可在 DDD 领域模型中禁止直接在聚合间导航，并只包含外键（FK）字段。如同 eShopOnContainers 在订单微服务的领域模型中的实现。Order 实体只包含买家的 FK 字段，而不是 EF Core 导航属性。如下代码所示：

```
public class Order : Entity, IAggregateRoot
{
    private DateTime _orderDate;
    public Address Address { get; private set; }
    private int? _buyerId;  //FK pointing to a different aggregate root
    public OrderStatus OrderStatus { get; private set; }
        private readonly List<OrderItem> _orderItems;
    public IReadOnlyCollection<OrderItem> OrderItems => _orderItems;

    //… Additional code
}
```

标识和使用聚合需要研究和经验，更多信息可参考下列资源列表：

其他资源

- **Vaughn Vernon. 高效聚合设计 - 卷 1：单个聚合建模**
  https://vaughnvernon.co/wordpress/wp-content/uploads/2014/10/DDD_COMMUNITY_ESSAY_AGGREGATES_PART_1.pdf
- **Vaughn Vernon. 高效聚合设计 - 卷 2：组合聚合**
  https://vaughnvernon.co/wordpress/wp-content/uploads/2014/10/DDD_COMMUNITY_ESSAY_AGGREGATES_PART_2.pdf
- **Vaughn Vernon. 高效聚合设计 - 卷 3：通过发现获得洞察力**
  https://vaughnvernon.co/wordpress/wp-content/uploads/2014/10/DDD_COMMUNITY_ESSAY_AGGREGATES_PART_3.pdf
- **Sergey Grybniak. DDD 战术设计模式**
  https://www.codeproject.com/Articles/1164363/Domain-Driven-Design-Tactical-Design-Patterns-Part
- **Chris Richardson. 使用聚合开发事务性微服务**
  https://www.infoq.com/articles/microservices-aggregates-events-cqrs-part-1-richardson
- **DevIQ. 聚合模式**
  http://deviq.com/aggregate-pattern/

使用.NET Core 实现微服务领域模型

上一节已经阐述了设计领域模型的基本设计原则和模式，下文将介绍如何使用.NET Core（纯 C#代码）和 EF Core 实现领域模型的各种可能途径。注意：领域模型将只包含简单的代码，只需要 EF Core 模型类，不真正依赖 EF。我们不需要在领域模型中硬性引用或依赖 EF Core 或其它 ORM。

自定义.NET 标准库中的领域模型结构

eShopOnContainers 示例应用程序中的文件目录结构体现了应用程序的 DDD 模型。通常来说，用不同文件夹进行组织，会使得应用程序的设计方式表达得更清晰。如图 9-10 所示，订单微服务模型有两个聚合：Order 聚合和 Buyer 聚合，每个聚合是一组领域实体和值对象，不过我们也可以用单个领域实体（聚合根或者根实体）来构成一个聚合。

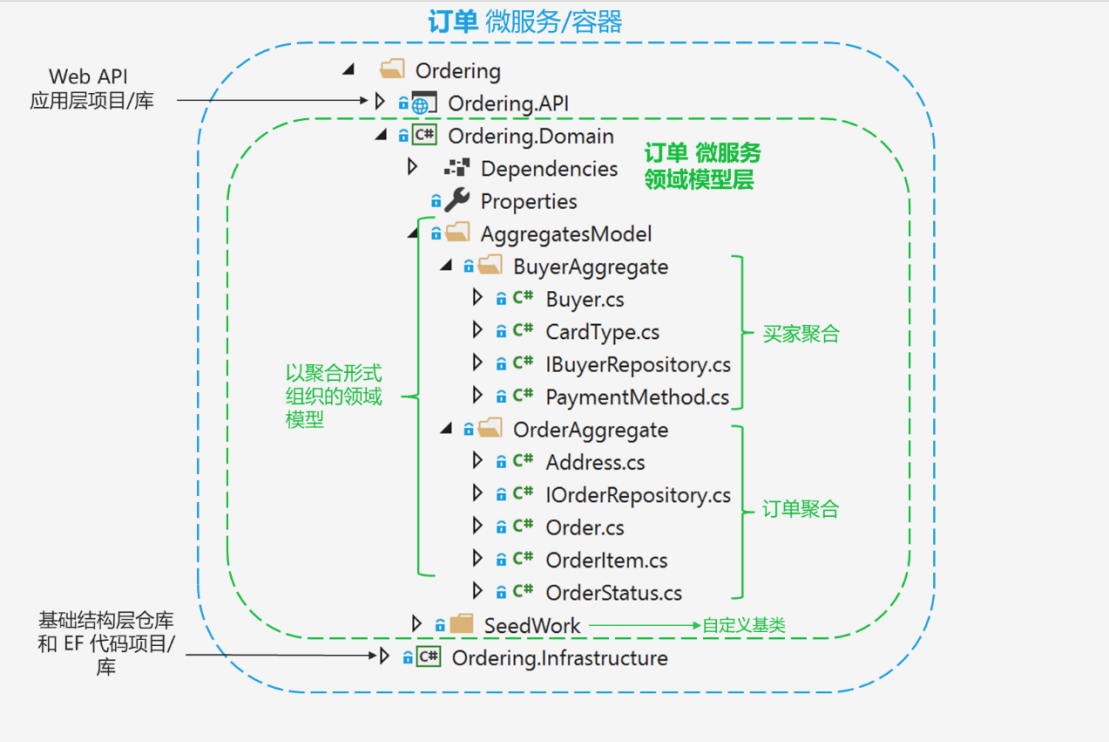


图 9-10. eShopOnContainers 中订单微服务的领域模型结构

另外，领域模型层包括了领域模型需要从基础设施中获得的仓储契约（接口）。换句话说，这些接口表达了基础设施层需要拥有什么仓储以及如何实现。这对于在领域模型层之外，通过基础设施层库实现仓储非常重要，借此可确保领域模型层不被 API 或者基础设施技术所“污染”（也就是领域模型和所用的基础设施技术强绑定在一起，译者注），比如 Entity Framework 就是这样做的。

此外还可以看到一个叫做 SeedWork 的目录，其中包含了自定义基类，我们可以将其用作领域实体和值对象的基础。这样，就不会在每个领域对象中出现冗余代码。

在自定义.NET 标准库中组织聚合

聚合是指按照匹配事务性一致性分组的一批领域对象。这些对象可以是实体（根聚合或者根实体之一）的实例。

事务性一致性意味着聚合可保证一致，并且在业务活动结束后保持最新。例如 eShopOnContainers 的订单微服务领域模型的订单聚合由图 9-11 所示的内容构成。

*图 9-11. **Visual Studio 解决方案中的订单聚合***

打开任意一个聚合文件夹，可以看到它是如何被标记为自定义基类，或者接口的，例如 SeedWork 文件夹中实现的实体或值对象。

以 POCO 类实现领域实体

我们可以通过 POCO 类作为领域实体在.NET 里实现领域模型。在下列例子中，Order 类被定义为实体，同时也是聚合根。因为 Order 从 Entity 基类继承，它可以重用实体相关的公共代码。请牢记，基类和接口是在领域模型项目中定义的，所以这是我们自己的代码，而不像 EF 那样是来自 ORM 的基础设施代码。

```
// COMPATIBLE WITH ENTITY FRAMEWORK CORE 2.0
// Entity is a custom base class with the ID
public class Order : Entity, IAggregateRoot
{
    private DateTime _orderDate;
    public Address Address { get; private set; }
    private int? _buyerId;

    public OrderStatus OrderStatus { get; private set; }
    private int _orderStatusId;

    private string _description;
    private int? _paymentMethodId;

    private readonly List<OrderItem> _orderItems;
```

```
    public IReadOnlyCollection<OrderItem> OrderItems => _orderItems;

    public Order(string userId, Address address, int cardTypeId,
                 string cardNumber, string cardSecurityNumber,
                 string cardHolderName, DateTime cardExpiration,
                 int? buyerId = null, int? paymentMethodId = null)
    {
        _orderItems = new List<OrderItem>();
        _buyerId = buyerId;
        _paymentMethodId = paymentMethodId;
        _orderStatusId = OrderStatus.Submitted.Id;
        _orderDate = DateTime.UtcNow;
        Address = address;

        // ...Additional code ...
    }

    public void AddOrderItem(int productId, string productName,
                             decimal unitPrice, decimal discount,
                             string pictureUrl, int units = 1)
    {
        //...
        // Domain rules/logic for adding the OrderItem to the order
        // ...

        var orderItem = new OrderItem(productId, productName, unitPrice,
discount, pictureUrl, units);

        _orderItems.Add(orderItem);

    }
    // ...
    // Additional methods with domain rules/logic related to the Order
aggregate
    // ...
}
```

注意这是一个以 POCO 类实现的领域实体，这很重要。其中不包含任何对 Entity Framework Core 或其它基础设施框架的直接依赖。这个实现与 DDD 中的做法类似，不过是用 C#代码实现的领域模型。

此外，这个类被一个名为 IAggregateRoot 的接口修饰，这是一个空接口，有时被称为标记接口。它用于指示这个实体类同时也是一个聚合根。

标记接口有时会被认为是反模式，然而这同时是一种对类进行清晰标记的方式。特别是当这个接口可能会不断演化时。特性（Attribute）也可用作标记，但是相比在类前面增加[Aggregate]特性，在基类（Entity）之后跟着 IAggregate 可读性更高。无论如何，这两个办法纯属开发人员的个人喜好。

拥有聚合根，这意味着与一致性和业务规则有关的聚合实体的大部分代码应通过 Order 聚合根类的方法实现（如用于添加 OrderItem 到聚合的 AddOrderItem）。我们不应独立或直接创建和更新 OrderItem 对象。AggregateRoot 类必须对子实体的任何更新操作维持控制并保持一致性。

在领域实体中封装数据

实体模型的一个常见问题是：它们以公有可访问的列表类型暴露了集合导航属性。借此其他协作的程序员可以操纵这些集合类型的内容。这将绕过相关集合的重要业务规则，可能导致对象拥有无效状态。解决方案是以只读访问的方式暴露这些相关集合，同时显式提供让调用者操纵它们的方法。

在之前的代码中，请注意很多特性是只读的，或者私有且只能由类的方法更新。因此任何更新都无例外地由领域模型和类的方法所指定的逻辑负责。

例如在下列 DDD 中，不应该在任何命令处理程序方法或应用层的类中做下面的事情：

```
// WRONG ACCORDING TO DDD PATTERNS – CODE AT THE APPLICATION LAYER OR
// COMMAND HANDLERS

// Code in command handler methods or Web API controllers

//... (WRONG) Some code with business logic out of the domain classes ...
OrderItem myNewOrderItem = new OrderItem(orderId, productId, productName,
                                         pictureUrl, unitPrice, discount, units);

//... (WRONG) Accessing the OrderItems colletion directly from the application layer
// or command handlers

myOrder.OrderItems.Add(myNewOrderItem);

//...
```

在这个例子中，Add 方法是一个纯粹添加数据的方法，它直接访问了 OrderItems 集合。因此与子实体相关的大部分领域逻辑、规则或验证会扩散到应用层（命令处理程序，或 Web API 控制器）。

如果遍历聚合根，聚合根将无法保证不变性、有效性和一致性。最终将会产生形如面条式代码或事务性脚本代码（指的是一次性编写的不良代码，译者注）。

为了遵守 DDD 模式，实体的任何实体属性都必须不含有任何公有的 Set 属性访问器。实体中的改动应该以如何在实体中执行更改的通用语言明显说明的方法显式驱动。

另外，带有实体的集合（如 Orderitems）应该是只读属性（AsReadOnly 方法，之后会提到），我们只能从聚合根类方法或者子实体方法中更新。

从代码中的 Order 聚合根代码可以看到，所有 Set 属性访问器应该是私有的，或者起码是对外部只读的。因此任何对实体数据或子实体的操作都将通过实体类的方法进行。借此可以受控和面向对象的方式维护一致性，以取代用事务性脚本的实现。

下列代码片段展示了添加 OrderItem 对象到 Order 聚合的任务的正确方式。

```
// RIGHT ACCORDING TO DDD--CODE AT THE APPLICATION LAYER OR COMMAND HANDLERS

// The code in command handlers or WebAPI controllers, related only to application
stuff
// There is NO code here related to OrderItem object's business logic

myOrder.AddOrderItem(productId, productName, pictureUrl, unitPrice, discount,
units);

// The code related to OrderItem params validations or domain rules should
// be WITHIN the AddOrderItem method.
//...
```

在上述代码片段中，与 OrderItem 对象创建有关的大部分验证和逻辑将受到 Order 聚合根的控制（通过 AddOrder 方法），聚合中其他元素相关的验证和逻辑尤其如此。例如，多次调用 AddOrderItem，结果将得到相同的产品项。在此方法中，可以验证产品项并将相同产品归为一个拥有多个单位的 OrderItem。此外，如果对相同产品 ID 有不同折扣比例，希望应用比例高的折扣，这个原则也将运用到 OrderItem 对象的其它领域逻辑中。

另外，在 Order 聚合根里的 new OrderItem(params)操作也将被 AddOrderItem 方法控制和执行。因此，大部分逻辑或相关操作（特别是影响到子实体一致性的）的验证将放在聚合根这唯一的位置中。而这就也聚合根模式的最终目的。

当使用 Entity Framework Core 1.1、2.0 或更新版本时，将能更好地表达 DDD 实体，因为 EF Core 1.1 或 2.0 的一个新功能可以在额外的属性中映射到字段。这对于保护子实体和值对象的集合很有用。借助该功能，我们可以使用私有字段代替属性，还可以在公有方法中实现对字段集合的任何更新，并通过 AsReadOnly 方法提供只读访问。

在 DDD 中，我们希望更新只通过实体中的方法（或者构造方法）进行，以便控制数据的所有不变性和一致性。所以只定义 Get 属性访问器即可。属性拥有私有的后备字段，私有成员只能通过类内部访问，然而这也有一个例外：EF Core 也需要设置这些字段。

映射只有 Get 访问器的字段到数据库表

映射属性到数据库表的列，这并非领域而是基础设施和持久层的职责。在这里提出这一点，只是想让大家意识到，EF Core 1.1, 2.0 或更新版的新特性关系到对实体建模的方式。关于该细节的更多介绍可参阅基础设施和持久化相关章节。

使用带有 DbContext 类的 EF Core 1.0 时，需要将只定义了 Get 访问器的属性映射到实际数据库表的字段。为此可使用 PropertyBuilder 的 HasField 方法实现。

映射没有属性的字段

借助 EF Core 1.1 和 2.0 将列映射到字段的特性，还可以不使用属性，而是只将字段映射到表的列。对此一个常见的使用场景是：内部状态的私有字段不需要被实体外部访问。

例如在上文的 OrderAggregate 代码示例中有若干私有字段，如_paymentMethodId，没有与之相关的 Get 或 Set 属性访问器。该字段可以在 Order 的业务逻辑中计算，并被 Order 类的方法使用。但是它也需要被放入数据库持久化。所以在 EF Core(从 1.1 版开始)中，提供了一个不需要相关属性就能映射到数据库表列的方式。这一点也在本书的基础架构层小节中解释了。

其他资源

- **Vaughn Vernon. 使用 DDD 和 EF 建模聚合。 注意，不是 EF Core。**
  https://vaughnvernon.co/?p=879
- **Julie Lerman. 领域驱动设计的编码：关注数据的开发技巧**
  https://msdn.microsoft.com/magazine/dn342868.aspx
- **Udi Dahan. 如何创建完全封装的领域模型**
  http://udidahan.com/2008/02/29/how-to-create-fully-encapsulated-domain-models/

Seedwork（可重复用于领域模型的基类和接口）

如上文所述，在解决方案文件夹中还可以看到 SeedWork 文件夹，这个文件夹包含了可用于领域实体和值对象的自定义基类，因而可避免在每个领域对象中包含冗余代码。包含这种类型的类的文件夹也叫做 SeedWork，而不是 Framework。这是因为这个文件夹只包含了少量可重用类的集合，因此还不能称得上是真正的框架库。Seedwork 这个术语是 Michael Feathers 提出的，并被 Martin Fowler 推广，但是我们也可以将这个目录命名为 Common、ShareKernel 或其他类似名称。

图 9-12 显示了订单微服务中领域模型的 Seedwork 类，其中拥有几个自定义基类，如 Entity、ValueObject 及 Enumeration，还有一些接口。这些接口（IRepository 和 IUnitOfWork）可以告诉基础设施层需要实现什么，这些接口还被应用层的依赖注入使用。

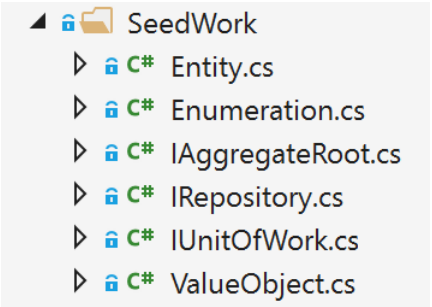


*图 9-12. **领域模型中的“seedwork”基类和接口的一些例子***

这是一种复制粘贴式的重用，很多开发人员用它在不同项目中共享代码。这不是正式框架。Seedwork 可放在任何层或库中，然而如果这个类和接口的集合变得足够大，需要考虑创建一个单独的类库。

自定义 Entity 基类

下面是 Entity 基类的一个例子，其他领域实体可以用相同方式放入代码。如实体 ID、相等判断操作、每个实体的领域事件列表等。

```
// COMPATIBLE WITH ENTITY FRAMEWORK CORE (1.1, 2.0 or later)
public abstract class Entity
{
    int? _requestedHashCode;
    int _Id;
    private List<INotification> _domainEvents;
    public virtual int Id
    {
        get
        {
            return _Id;
        }
        protected set
        {
            _Id = value;
        }
    }

    public List<INotification> DomainEvents => _domainEvents;
    public void AddDomainEvent(INotification eventItem)
    {
        _domainEvents = _domainEvents ?? new List<INotification>();
        _domainEvents.Add(eventItem);
    }
    public void RemoveDomainEvent(INotification eventItem)
    {
        if (_domainEvents is null) return;
        _domainEvents.Remove(eventItem);
    }

    public bool IsTransient()
    {
        return this.Id == default(Int32);
    }

    public override bool Equals(object obj)
    {
```

```
        if (obj == null || !(obj is Entity))
            return false;
        if (Object.ReferenceEquals(this, obj))
            return true;
        if (this.GetType() != obj.GetType())
            return false;
        Entity item = (Entity)obj;
        if (item.IsTransient() || this.IsTransient())
            return false;
        else
            return item.Id == this.Id;
    }

    public override int GetHashCode()
    {
        if (!IsTransient())
        {
            if (!_requestedHashCode.HasValue)
                _requestedHashCode = this.Id.GetHashCode() ^ 31;
             // XOR for random distribution. See:
              //
// http://blogs.msdn.com/b/ericlippert/archive/2011/02/28/guidelines-and-rules-for-
gethashcode.aspx
            return _requestedHashCode.Value;
        }
        else
            return base.GetHashCode();
    }
    public static bool operator ==(Entity left, Entity right)
    {
        if (Object.Equals(left, null))
            return (Object.Equals(right, null)) ? true : false;
        else
            return left.Equals(right);
    }
    public static bool operator !=(Entity left, Entity right)
    {
        return !(left == right);
    }
}
```

上述代码使用的每个实体的领域事件列表，将在下文有关领域事件的小节中介绍。

领域模型层的仓储契约（接口）

仓储契约其实是一种.NET 接口，表达了每个聚合所需的仓储契约需求。

仓储本身以及所带的 EF Core 代码或其它基础设施和代码依赖（Linq、SQL 等），不能在领域模型中实现。仓储应该只实现我们自己定义的接口。

与该模式（在领域模型层放置仓储接口）对应的是分离接口模式，对此，Martin Fowler 解释为“使用分离接口模式在一个包中定义接口，但在另一个包中实现。借此，调用者所需要的接口依赖可对它的实现完全透明”。

遵循分离接口模式使得应用程序层（本案例中的微服务的 Web API 项目）拥有对定义在领域模型的需求的依赖关系，但是不直接依赖基础设置/持久化层。另外，我们可以用依赖注入来隔离在基础设施/持久化层中使用仓储的代码实现。

例如下例中，使用 IOrderRepository 接口定义了 OrderRepository 类在基础设施层中需要实现的操作，在应用程序的当前实现中，代码仅需要添加和更新订单到数据库，而查询按照 CQRS 模式切分。

```
// Defined at IOrderRepository.cs
public interface IOrderRepository : IRepository<Order>
{
    Order Add(Order order);

    void Update(Order order);

    Task<Order> GetAsync(int orderId);
}

// Defined at IRepository.cs (Part of the Domain Seedwork)
public interface IRepository<T> where T : IAggregateRoot
{
    IUnitOfWork UnitOfWork { get; }
}
```

其他资源

- **Martin Fowler. 分离的接口**
  http://www.martinfowler.com/eaaCatalog/separatedInterface.html

实现值对象

如上文对实体和聚合的讨论可知，标识是实体的基础。然而系统中很多对象和数据项不需要标识和标识跟踪，例如值对象。

值对象可以引用其他实体，例如应用程序生成了描述一个点到另一个点的路径，那么这个路径对象就是值对象，它是对特定路径上点的快照，但是路径通常是没有标识的，尽管从外部来看，可能参照了城市、街道等实体。

图 9-13 显示了 Order 聚合里的 Address 值对象。

图 9-13. Order 聚合中的 Address 值对象

如图 9-13 所示，实体往往由多个属性组成。例如 Order 实体可建模成带有 ID 及 OrderId、OrderDate、OrderItems 等内在属性的实体。而地址是由国家、城市、街道等组成的复合值，在这个领域中没有 ID，必须以值对象的方式建模和使用。

值对象的重要特征

值对象有两个重要特征：

- 没有 ID

- 是不可变的

第一个特征已经讨论过了，不变性是非常重要的需求。创建后，对象的值必须不可再更改。因而在构造对象时必须提供所需值，而在对象生命周期里不允许再改变。

得益于不变性的特征，值对象可以让我们使用特定技巧来优化性能。当系统中可能存在数以千计的值对象实例，而它们中的很多拥有相同值的时候，这一点尤为突出。因为不变，所以可重用。它们是可以互相替换的对象，因为它们没有 ID，而且值相同。这种优化有时可以让运行缓慢的系统拥有更好的性能。当然，所有这些情况取决于应用程序的环境和部署上下文。

值对象在 C# 中的实现

在实现方面，可以先创建一个值对象基类，包含基本的辅助方法，例如比较全部属性以判断是否相等（因此值对象不能基于 ID），以及其它基础特性。下列示例来自 eShopOnContainers 订单微服务的值对象基类。

```
public abstract class ValueObject
{
    protected static bool EqualOperator(ValueObject left, ValueObject right)
    {
        if (ReferenceEquals(left, null) ^ ReferenceEquals(right, null))
        {
            return false;
        }
        return ReferenceEquals(left, null) || left.Equals(right);
    }

    protected static bool NotEqualOperator(ValueObject left, ValueObject right)
    {
        return !(EqualOperator(left, right));
    }

    protected abstract IEnumerable<object> GetAtomicValues();

    public override bool Equals(object obj)
    {
        if (obj == null || obj.GetType() != GetType())
        {
            return false;
        }
        ValueObject other = (ValueObject)obj;
        IEnumerator<object> thisValues = GetAtomicValues().GetEnumerator();
        IEnumerator<object> otherValues = other.GetAtomicValues().GetEnumerator();
        while (thisValues.MoveNext() && otherValues.MoveNext())
        {
            if (ReferenceEquals(thisValues.Current, null) ^
                                        ReferenceEquals(otherValues.Current, null))
            {
                return false;
            }
            if (thisValues.Current != null &&
                                       !thisValues.Current.Equals(otherValues.Current))
```

```
            {
                return false;
            }
        }
        return !thisValues.MoveNext() && !otherValues.MoveNext();
    }
    // Other utilility methods
}
```

实现实际的值对象时，可以使用下列代码，以及下面所示的 Address 值对象。

```
public class Address : ValueObject
{
    public String Street { get; private set; }
    public String City { get; private set; }
    public String State { get; private set; }
    public String Country { get; private set; }
    public String ZipCode { get; private set; }
    public Address(string street, string city, string state,
                   string country, string zipcode)
    {
        Street = street;
        City = city;
        State = state;
        Country = country;
        ZipCode = zipcode;
    }

    protected override IEnumerable<object> GetAtomicValues()
    {
        // Using a yield return statement to return each element one at a time
        yield return Street;
        yield return City;
        yield return State;
        yield return Country;
        yield return ZipCode;
    }
}
```

借此可以理解这个 Address 类是如何实现的，它没有 ID，因此没有 ID 字段，Address 类甚至 ValueObject 类均是如此。

Entity Framework 在 EF Core 2.0 以前不能使用没有 ID 字段的类，EF Core 2.0 为没有 ID 的值对象的实现提供了强大的支持，下文还将进一步介绍。

如何使用 EF Core 2.0 将值对象持久化到数据库中

至此已经介绍了如何在领域模型中定义值对象，但是如何通过 Entity Framework Core 将其存入通常目标是带有 ID 的实体数据库中?

背景以及 EF Core 1.1 中的旧方法

作为背景或历史知识，使用 EF Core 1.0/1.1 时会遇到一个限制：不能使用传统.NET Framework 中 EF 6.x 那样的复合类型。在 EF Core 1.0/1.1 中，需要将值对象作为带有 ID 字段的实体来存储。为了让它看起来更像没有 ID 的值对象，可能需要隐藏 ID，以确保领域模型中 ID 对于值对象是不重要的。我们可以将 ID 作为影子属性。因此在模型中隐藏 ID 的配置是在 EF 基础设施层进行的。某种程度上，对于领域模型是透明的。

在最初版本的 eShopOnContainers（.NET Core 1.1）中，隐藏 ID 需要通过 EF Core 基础设施中用下列方式实现，在基础设施项目中的 DbContext 层面上使用 Fluent API。借此 ID 从领域模型的角度来看已被隐藏，但在基础设施层仍然保留。

```
// Old approach with EF Core 1.1
// Fluent API within the OrderingContext:DbContext in the Infrastructure project
void ConfigureAddress(EntityTypeBuilder<Address> addressConfiguration)
{
    addressConfiguration.ToTable("address", DEFAULT_SCHEMA);

    addressConfiguration.Property<int>("Id")  // Id is a shadow property
        .IsRequired();
    addressConfiguration.HasKey("Id");   // Id is a shadow property
}
```

然而将值对象持久化到数据库中的操作，更像是在不同表中放入常规实体。

通过 EF Core 2.0，我们可以通过新增并且更完善的方式保存值对象。

在 EF Core 2.0 中以被持有实体类型持久化值对象

虽然 DDD 中值对象模式和 EF Core 的被持有的实体类型仍然有差距（参阅本节末尾的限制部分），但这依然是 EF Core 2.0 保存值对象的最佳方式。

被持有的实体类型特性从 2.0 版开始加入到 EF Core 中。

被持有的的实体类型可供我们在实体中映射没有在领域模型显式定义其 ID 并被用作属性的类型（如值对象）。被持有的实体类型和其它实体类型共享 CLR 类型。实体中包含对其拥有者实体的导航定义。查询其拥有者时，会默认包含被持有的类型。

观察领域模型会看到，被持有的类型看上去没有任何 ID，但是，在表面之下，被持有的类型有 ID，只是所有者的导航属性是此 ID 的一部分。

被持有类型的 ID 实例并非自己完全拥有的，其中包含三个组件：持有者 ID，指向自身的导航属性，以及就被持有类型的集合来说（EF Core 2.0 尚未实现）另外一个独立组件。

例如在 eShopOnContainers 的订购领域模型中，作为 Order 实体的一部分，Address 值对象被实现为持有者实体 Order 实体内被持有的实体类型。地址是在领域模型里定义的，没有 ID 属性的类型。在 Order 类型中被作为属性用来指定某个订单的邮寄地址。

作为约定，将创建持有者类型的影子主键，并会使用表切分同一个持有者一起映射到相同的表里。这使得使用被持有类型和在传统.NET Framework 的 Entity Framework 6 使用的复合类型很相似。

但是请重点注意，按照约定，被持有的类型在 EF Core 中不会被发现。所以必须显式定义它们。

在 eShopOnContainers 的 OrderingContext.cs 中，OnModelCreating()方法中应用了多个基础设施配置项。其中一个和 Order 实体相关。

```
// Part of the OrderingContext.cs class at the Ordering.Infrastructure project
//
protected override void OnModelCreating(ModelBuilder modelBuilder)
{
    modelBuilder.ApplyConfiguration(new ClientRequestEntityTypeConfiguration());
    modelBuilder.ApplyConfiguration(new PaymentMethodEntityTypeConfiguration());
    modelBuilder.ApplyConfiguration(new OrderEntityTypeConfiguration());
    modelBuilder.ApplyConfiguration(new OrderItemEntityTypeConfiguration());
    //...Additional type configurations
}
```

下述代码是持久化基础设施在 Order 实体中定义的位置。

```
// Part of the OrderEntityTypeConfiguration.cs class
//
public void Configure(EntityTypeBuilder<Order> orderConfiguration)
{
    orderConfiguration.ToTable("orders", OrderingContext.DEFAULT_SCHEMA);
    orderConfiguration.HasKey(o => o.Id);
    orderConfiguration.Ignore(b => b.DomainEvents);
    orderConfiguration.Property(o => o.Id)
        .ForSqlServerUseSequenceHiLo("orderseq", OrderingContext.DEFAULT_SCHEMA);

    //Address value object persisted as owned entity in EF Core 2.0
    orderConfiguration.OwnsOne(o => o.Address);

    orderConfiguration.Property<DateTime>("OrderDate").IsRequired();

    //...Additional validations, constraints and code...
    //...
}
```

上面的代码中，orderConfiguration.OwnsOne(o => o.Address); 方法指定 Address 属性为 Order 类的被持有实体。

EF Core 约定将为被持有的实体类型的属性数据库列命名为 EntityProperty_OwnedEntityProperty。随后，Address 的内部属性将以 Address_Street、Address_City（州、国家和邮政编码等）的名字出现在 Orders 表中。

我们可以追加 Property().HasColumnName()这一 Fluent API 方法来重命名这些列，当 Address 是公有属性的情况下，映射如下所示：

```
orderConfiguration.OwnsOne(p => p.Address)
                            .Property(p=>p.Street).HasColumnName("ShippingStreet");

orderConfiguration.OwnsOne(p => p.Address)
                            .Property(p=>p.City).HasColumnName("ShippingCity");
```

可以在 Fluent API 的映射中链式调用 OwnsOne 方法。在下面假想的例子里，OrderDetails 拥有 BillingAddress 和 ShippingAddress，都是 Address 类型。Order 类型拥有 OrderDetails。

```
orderConfiguration.OwnsOne(p => p.OrderDetails, cb =>
                                {
                                    cb.OwnsOne(c => c.BillingAddress);
                                    cb.OwnsOne(c => c.ShippingAddress);
                                });
//...
//...
public class Order
{
    public int Id { get; set; }
    public OrderDetails OrderDetails { get; set; }
}

public class OrderDetails
{
    public StreetAddress BillingAddress { get; set; }
    public StreetAddress ShippingAddress { get; set; }
}

public class Address
{
    public string Street { get; set; }
    public string City { get; set; }
}
```

被持有的实体类型的更多细节：

- 被持有的类型的定义方式是使用 OwnsOne fluent API 配置导航属性到特定类型。
- 元数据模型中的被持有类型的定义由以下组成：被持有类型、导航属性以及被持有类型的 CLR 类型。
- 堆栈中被持有类型的 ID(键)的实例由被持有类型的 ID 和被持有类型的定义构成。

被持有实体的兼容性

- 被持有类型可以引用其它实体，无论是被持有（嵌套的被持有类型）或非被持有（常规引用导航属性到其它实体）。

- 通过分离的导航属性作为相同所有者实体的不同被持有类型，可以映射相同的 CLR 类型。
- 表切分是由约定设置的，但可通过 ToTable 映射被持有类型到另一个不同的表来实现自定义。
- 贪婪加载自动在被持有类型上执行，例如，不需要在查询中调用 Include()。

被持有实体的限制

- 不能创建被持有类型的 DbSet<T>（设计特性）。
- 不能在被持有类型上调用 ModelBuilder.Entity<T>()（目前的设计特性）
- 目前没有被持有类型的集合（但在 EF Core 2.0 以后将获支持）
- 不支持通过特性来配置
- 不支持在相同表（如使用表切分）中映射给持有者的被持有类型的可选（如 nullable），这是因为没有 null 的单独标识。
- 被持有类型不支持继承，但可映射相同继承层次结构下的两个叶子类型作为不同的被持有类型。EF Core 将不会对它们是相同层次的事实进行推断。

和 EF6.x 的复合类型的主要不同

- 表切分是可选的，例如它们可以可选地被映射到分离的表中并且仍然是被持有的类型。
- 它们可以引用其它实体（例如可以作为其它非被持有类型的关系的依赖方）。

其他资源

- **Martin Fowler. 值对象模式**
  https://martinfowler.com/bliki/ValueObject.html
- **Eric Evans. 领域驱动设计，软件核心复杂性应对之道**
  https://www.amazon.com/Domain-Driven-Design-Tackling-Complexity-Software/dp/0321125215/
- **Vaughn Vernon. 实现领域驱动设计**
  https://www.amazon.com/Implementing-Domain-Driven-Design-Vaughn-Vernon/dp/0321834577/
- **影子属性**
  https://docs.microsoft.com/ef/core/modeling/shadow-properties
- **复杂类型和/或值对象。 在 EF Core GitHub 中的讨论（Issues 标签）**
  https://github.com/aspnet/EntityFramework/issues/246
- **eShopOnContainers 中的值对象基类，ValueObject.cs。**
  https://github.com/dotnet/eShopOnContainers/blob/masterdev/src/Services/Ordering/Ordering.Domain/SeedWork/ValueObject.cs
- **eShopOnContainers 中的简单值对象类，Address 类。**
  https://github.com/dotnet/eShopOnContainers/blob/masterdev/src/Services/Ordering/Ordering.Domain/AggregatesModel/OrderAggregate/Address.cs

使用枚举类代替 C#语言的 enum 类型

枚举（简写为 enum）是对单一完整类型的精简式语言包装器。在存储封闭的一组值时，我们可能希望限制只使用一个枚举，例如基于性别分类（男、女、未知）或尺码（S、M、L、XL）。使用枚举来控制

流程或实现更健壮的抽象，这是一种有味道的代码。这种用法将产生很多控制流语句来检查枚举的值，导致代码变得脆弱。

取而代之的是，我们可以创建 Enumeration 类，利用面向对象语言的丰富特性。

然而这并不是什么重要问题，并且很多情况下，简化起见，如果有这样的偏好，仍然可以使用传统的枚举类型。

实现枚举类

eShopOnContainers 里的订单微服务提供了一个简化的 Enumeration 基类实现，如下例所示：

```
public abstract class Enumeration : IComparable
{
    public string Name { get; private set; }

    public int Id { get; private set; }

    protected Enumeration()
    {
    }
    protected Enumeration(int id, string name)
    {
        Id = id;
        Name = name;
    }
    public override string ToString()
    {
        return Name;
    }
    public static IEnumerable<T> GetAll<T>() where T : Enumeration, new()
    {
        var type = typeof(T);
        var fields = type.GetTypeInfo().GetFields(BindingFlags.Public |
                                                  BindingFlags.Static |
                                                  BindingFlags.DeclaredOnly);
        foreach (var info in fields)
        {
            var instance = new T();
            var locatedValue = info.GetValue(instance) as T;

            if (locatedValue != null)
            {
                yield return locatedValue;
            }
        }
    }


    public override bool Equals(object obj)
    {
        var otherValue = obj as Enumeration;

        if (otherValue == null)
```

```
        {
            return false;
        }

        var typeMatches = GetType().Equals(obj.GetType());
        var valueMatches = Id.Equals(otherValue.Id);

        return typeMatches && valueMatches;
    }

    public int CompareTo(object other)
    {
        return Id.CompareTo(((Enumeration)other).Id);
    }

    // Other utility methods ...
}
```

我们可以在任何实体或值对象中将这个类作为类型使用，如下面的 CardType 的枚举类：

```
public class CardType : Enumeration
{
    public static CardType Amex = new CardType(1, "Amex");
    public static CardType Visa = new CardType(2, "Visa");
    public static CardType MasterCard = new CardType(3, "MasterCard");

    protected CardType() { }
    public CardType(int id, string name)
        : base(id, name)
    {
    }

    public static IEnumerable<CardType> List()
    {
        return new[] { Amex, Visa, MasterCard };
    }
    // Other util methods
}
```

其他资源

- **Enum 是邪恶的——更新**
  http://www.planetgeek.ch/2009/07/01/enums-are-evil/
- **Daniel Hardman. enum 是如何变成顽疾以及应对之策**
  https://codecraft.co/2012/10/29/how-enums-spread-disease-and-how-to-cure-it/
- **Jimmy Bogard. 枚举类**
  https://lostechies.com/jimmybogard/2008/08/12/enumeration-classes/
- **Steve Smith. C#的 enum 的替代方法**
  http://ardalis.com/enum-alternatives-in-c
- **eShopOnContainers 的枚举基类，Enumeration.cs**
  https://github.com/dotnet/eShopOnContainers/blob/master/src/Services/Ordering/Ordering.Domain/SeedWork/Enumeration.cs

- **eShopOnContainers 的枚举类的例子，CardType.cs**
  https://github.com/dotnet/eShopOnContainers/blob/master/src/Services/Ordering/Ordering.Domain/AggregatesModel/BuyerAggregate/CardType.cs

在领域模型层设计验证

DDD 中的验证规则可以视作不变的。聚合的主要职责是在其内的所有实体的跨状态更改都强制要求不变性。

领域实体应该永远是有效的实体。对于一个对象，有特定数量的不变量总是为真。例如，订单项目对象，其数量必须永远是正整数，外加商品名称和价格。因此对不变性的强制措施是领域实体（特别是聚合根）的职责，并且实体对象不允许存在无效状态。不变性规则可简单表述为契约，或当它们被违反时产生的异常或通知。

这样做的原因在于：很多 Bug 都是因为对象出现所不该出现的状态而引起。Greg Young 在一次在线讨论中对此有很好的解释：

> *假设有个 SendUserCreationEmailService 服务，该服务可接受 UserProfile……如果服务中的 Name 字段为 null，如何合理理解？需要再次检查么？或者根本不需要检查，只需要“希望能获得更好的结果”，例如希望别人在发数据过来之前进行检查。当然，使用 TDD 时，首先要测试的就是：当我们发送一个 name 为 null 的客户信息时，能否直接产生错误信息。但当我们开始一遍遍写这种测试时，我们意识到……“如果一开始规定 name 不能为 null，那么何必费事进行这些测试”。*

在领域模型层实现验证

验证通常在领域模型的构造方法或更新实体的方法中实现。实现验证的方法有很多，例如校验数据，校验失败产生异常。此外还有更高级的方法，例如使用规格模式（Specification 模式）验证，以及通知模式，每次验证出现失败时，用返回错误的集合代替返回异常。

校验条件并抛出异常

下面的代码范例显示了最简单的校验领域模型并抛出异常的方式。在本节末尾的参考中，可以看到基于我们之前讨论过的模式的更高级的实现的链接。

```
public void SetAddress(Address address)
{
    _shippingAddress = address?? throw new ArgumentNullException(nameof(address));
}
```

另外还有一个更好的例子，它将演示为何要保证或者内部状态没有改变，或者在方法里所有的变化都改变。例如下面的实现将导致对象进入无效状态：

```
Public void SetAddress(string line1, string line2,
                       string city, string state, int zip)
{
```

```
    _shipingAddress.line1 = line1 ?? throw new ...
    _shippingAddress.line2 = line2;
    _shippingAddress.city = city ?? throw new ...
    _shippingAddress.state = (IsValid(state) ? state : throw new …);
}
```

如果状态值是无效的，第一行的 Address 和 City 已经被改变了，这将导致地址无效。

另一个简单的做法是使用实体构造方法，通过抛出异常保证实体一旦创建就是有效的。

在模型中使用基于数据标记的验证特性

另一个方式是使用基于数据标记的验证特性。验证特性为配置模型验证提供了一种方式。与数据库表的字段验证概念类似。它包含了诸如数据类型和非空字段的约束。其它类型的验证还包括按照业务规则强制应用的格式，如信用卡号、电话号码或电子邮件地址。使用验证特性可以简化强制实施这些需求。

然而如下所示，该方式对 DDD 模型太具侵入性，因为它通过 Microsoft.AspNetCore.Mvc.ModelState 引入了对 ModelState.IsValid 的依赖，必须在 MVC 控制器里调用。模型验证在每个控制器动作被调用之前优先调用，控制器方法的职责是通过 ModelState.IsValid 的调用得到结果，并做出适当处理。最终是否使用，则取决于是否希望模型和基础设施层紧密耦合。

```
using System.ComponentModel.DataAnnotations;
// Other using statements ...
// Entity is a custom base class which has the ID

public class Product : Entity
{
    [Required]
    [StringLength(100)]
    public string Title { get; private set; }

    [Required]
    [Range(0, 999.99)]
    public decimal Price { get; private set; }

    [Required]
    [VintageProduct(1970)]
    [DataType(DataType.Date)]
    public DateTime ReleaseDate { get; private set; }

    [Required]
    [StringLength(1000)]
    public string Description { get; private set; }

    // Constructor...

    // Additional methods for entity logic and constructor...
}
```

然而从 DDD 的观点看，领域模型倾向实体行为方法中的异常的使用，或实现用规格和通知模式来强制实施规则。诸如 ASP.NET Core 的数据标记或类似 FluentValidation 等验证框架会产生对应用框架的调用。例如调用数据标记中的 ModelState.IsValid，就需要调用 ASP.NET 控制器。

在应用层的 ViewModel 类（代替领域模型）中使用数据标记接受输入并在 UI 层数据验证是明智的。然而领域模型中的专有的验证不应该这么做。

通过实现规格模式和通知模式实现对实体的验证

最后，在领域模型中实现验证的一个更详尽的方法是使用规格模式外加通知模式实现。这一点在下文的附加资源列表里有解释。

值得注意的是，我们也可以只使用其中一种模式。例如通过控制语句手动验证，但是使用通知模式去堆叠和返回验证错误的列表。

在领域中使用延迟验证

在领域中进行延迟验证的方法有很多，Vaughn Vernon 在自己的著作《领域驱动设计的实现》中，在验证一节进行了讨论。

两步验证

此外还可考虑两步验证，在命令数据传输对象（DTO）上使用字段级别的验证，以及实体内的领域级别验证。借此可以通过返回结果对象代替异常，以使得处理验证错误更简单。

使用数据标记的字段验证，例如，不需要重复验证的定义。在 DTO（如命令和 ViewModel)里，可以同时在客户端和服务器端执行。

其他资源

- **Rachel Appel. ASP.NET Core MVC 模型验证入门**
  https://docs.microsoft.com/aspnet/core/mvc/models/validation
- **Rick Anderson. 添加验证**
  https://docs.microsoft.com/aspnet/core/tutorials/first-mvc-app/validation
- **Martin Fowler. 用验证中的通知代替抛出异常**
  https://martinfowler.com/articles/replaceThrowWithNotification.html
- **规范通知模式**
  https://www.codeproject.com/Tips/790758/Specification-and-Notification-Patterns
- **Lev Gorodinski. DDD 中的验证**
  http://gorodinski.com/blog/2012/05/19/validation-in-domain-driven-design-ddd/
- **Colin Jack. 领域模型验证**
  http://colinjack.blogspot.com/2008/03/domain-model-validation.html
- **Jimmy Bogard. 在 DDD 中的验证**
  https://lostechies.com/jimmybogard/2009/02/15/validation-in-a-ddd-world/

客户端验证（表示层验证）

尽管真正的来源是领域模型，最终我们必须在领域模型层验证，验证仍然需要同时在领域模型层（服务器端）和客户端处理。

客户端验证对于用户是非常便利的，可以节约用户时间，否则用户将需要等待数据通过服务器绕一大圈来返回验证错误。在商业环境下，哪怕几秒钟的耽搁，乘以每天几百次，都会累积成很长的时间、花费、挫折。直接、立即的验证使得用户可以更高效地工作，并提高输入输出的质量。

类似于视图模型和领域模型的不同，视图模型验证和领域模型验证可能类似，但是服务于不同目的。如果关注到 DRY 原则（Don't Repeat Yourself），在这种情况下，代码重用也意味着耦合，在企业应用中，比起遵循 DRY 原则来说，不要耦合服务器端更重要。

尽管使用了客户端验证，我们也应该始终在服务器端验证命令或输入的 DTO，因为服务器 API 是一个可能的受攻击方向。通常最好能两手抓，因为从 UX 的观点来看，应用程序最好能主动防止用户输入无效信息。

因此在客户端代码中，我们通常需要验证视图模型。此外也可以在发送 DTO 或命令到服务之前验证客户端的输出。

客户端验证的实现取决于构建的客户端应用类型。对于在 MVC 中编写大部分代码的 Web 应用程序，大部分验证代码可用 JavaScript 或 TypeScript 编写的 SPA（单页面应用），以及使用 Xamarin 和 C#编写的移动应用，它们是不同的。

其他资源

Xamarin 移动应用中的验证

- **验证文本输入并显示错误**
  https://developer.xamarin.com/recipes/ios/standard_controls/text_field/validate_input/
- **验证回调**
  https://developer.xamarin.com/samples/xamarin-forms/XAML/ValidationCallback/

ASP.NET Core 应用中的验证

- **Rick Anderson. 添加验证**
  https://docs.microsoft.com/aspnet/core/tutorials/first-mvc-app/validation

单页 Web 应用（SPA）（Angular 2, TypeScript, JavaScript）中的验证

- **Ado Kukic. Angular 2 表单验证**
  https://scotch.io/tutorials/angular-2-form-validation
- **表单验证**
  https://angular.io/docs/ts/latest/cookbook/form-validation.html
- **验证.** Breeze 文档.
  http://breeze.github.io/doc-js/validation.html

作为总结，以下是验证方面最重要的概念：

- 实体和聚合应强制保持一致性，并做到始终有效。聚合根在相同聚合内负责多实体的一致性。

- 如果考虑实体需要进入无效的状态，应考虑使用不同对象模式，例如使用临时 DTO，直到创建最终的领域实体。
- 如果需要创建几个相关的对象，例如聚合，并且只有在创建完所有对象后才有效，请考虑使用工厂模式。
- 验证框架最好在特定层中使用，例如表示层或应用程序/服务层，但通常不在领域模型层，因为需要其强依赖于基础设施框架。
- 大多数情况下，在客户端进行冗余验证是好的，因为应用程序理应积极主动验证。

领域事件的设计和实现

我们可以使用领域事件来明确实现领域内更改产生的副作用。换句话说，通过 DDD 术语来表达，就是说，我们可以使用领域事件来显式实现跨多个聚合的副作用。作为可选方案，为了获得更好的可扩展性并对数据库锁产生的影响更小，可以使用在同一领域的聚合之间的最终一致性。

什么是领域事件?

事件是指过去发生的事情。领域事件在逻辑上是特定领域中发生的事情，并且希望同一领域（进程内）的其他部分知道并可能对其作出反应的事情。

领域事件的一个重要优点是：事件发生后的副作用可以很明确而不是隐含的。这些副作用必须一致，或者所有与业务相关的操作都会发生，或者一个都不发生。此外，领域事件可以更好地分离同一领域的类的关注点。

例如，如果只使用 Entity Framework 和实体甚至是聚合，如果有个用例必须引发副作用，则在发生事件后，它们将被隐含在耦合的代码中。如果只看到这段代码，可能不知道该代码（副作用）是主要操作的一部分还是真的是副作用。另一方面，可以使用领域事件使概念明确，并且作为通用语言的一部分。例如，在 eShopOnContainers 应用中，创建订单不仅是关于订单，它会根据原始用户更新或创建买家聚合，因为用户在下订单之前还不是买家。如果使用领域事件，可以根据领域专家提供的通用语言明确表达该领域规则。

领域事件有点类似于消息风格的事件，但有一个重要的区别。使用实时消息、消息队列、消息代理或使用 AMPQ 的服务总线时，消息总是以异步方式发送，并跨越进程和计算机进行通信。这对于集成多个限界上下文、微服务甚至不同应用来说是有用的。但是对于领域事件，可能希望从当前正在运行的领域操作来引发事件，并且希望任何副作用都发生在同一个领域中。

领域事件及其副作用（由事件处理程序管理的后续触发的操作）几乎会立即发生，通常在进程内并在同一个领域中。因此，领域事件可以是同步或异步的。但是集成事件应该始终是异步的。

领域事件和集成事件

从语义上来看，领域和集成事件是相同的：关于刚刚发生的事情的通知。但是它们的实现必须是不同的。领域事件只是推送到领域事件调度器的消息，它可以作为基于 IoC 容器或任何其他方法的内存调解器来实现。

另一方面，集成事件的目的是将提交的事务和更新传播到附加子系统，无论它们是其他微服务、限界上下文或外部应用。因此只有当实体成功持久化时才会出现这种情况，因为在大部分情况下，如果失败则整个操作就不会发生。

此外，如上所述，集成事件必须基于多个微服务（其他限界上下文）甚至外部系统或应用间的异步通信。因此事件总线接口需要一些可以允许潜在远程服务间进行进程内和分布式通信的基础架构。例如可以基于商业的服务总线、队列、用作邮箱的共享数据库，或任何其他分布式的、理想的基于推送的消息系统。

领域事件作为在同一领域内多个聚合触发副作用的首选方式

如果执行与聚合实例相关的命令需要在一个或多个其他聚合上运行其他领域规则，则应该设计并实现由领域事件触发那些副作用。如图 9-14 所示，作为最重要的用例之一，在同一领域模型中应该使用领域事件在多个聚合之间传播状态更改。

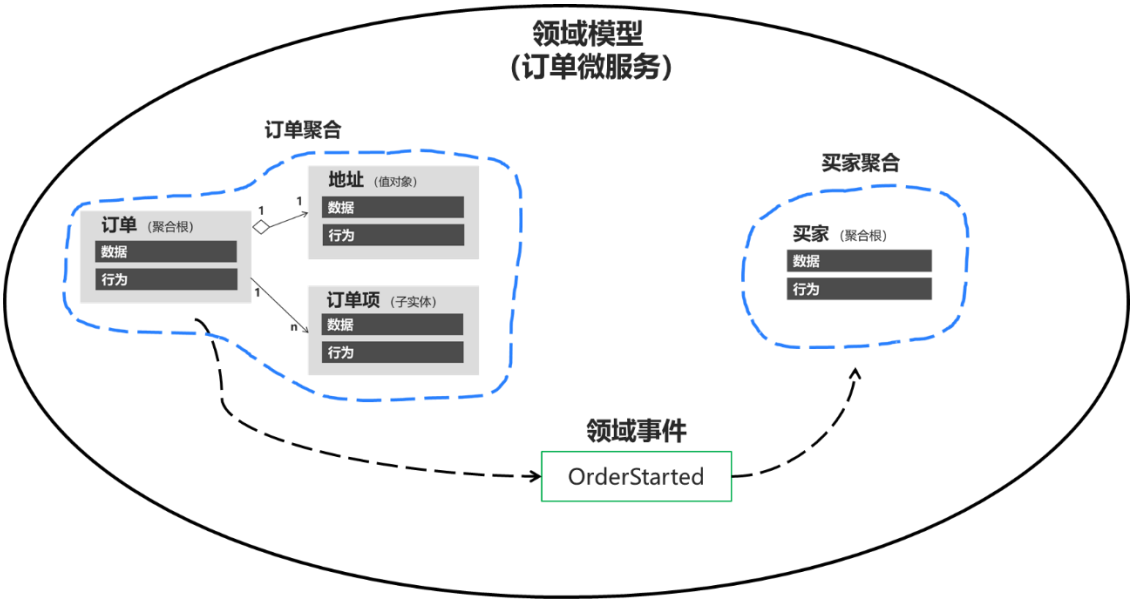


*图 9-14. **用领域事件来强制同一领域内多个聚合之间的一致性***

如上图所示，用户创建订单时，OrderStarted 领域事件将触发在订单微服务中根据来自身份微服务的原始用户信息（使用 CreateOrder 命令中提供的信息）创建 Buyer 对象。领域事件是由首先创建的订单聚合生成的。

另外，可订阅聚合根来获取成员（子实体）提供的事件。例如，每个 OrderItem 子实体可在单价高于特定数值时产生事件，或当产品数量过多时引发事件。聚合根可接收这些事件并执行全局计算或聚合。

重要的是要理解这种基于事件的通信不是直接在聚合内实现的，而是需要实现领域事件处理程序。处理领域事件是应用程序关注的问题。领域模型层应该只关注领域逻辑，即领域专家理解的东西，而不是应用程序基础架构，例如处理程序和使用存储库的副作用持久化操作。因此当引发领域事件时，应该在应用程序层面具有能触发操作的领域事件处理程序。

领域事件也可用于触发任何数量的应用程序操作，更重要的是，必须是开放的，在未来可以用解耦的方式增加数量。例如下订单时，可能需要发布领域事件以将该信息传播到其他聚合，甚至可以发起诸如通知之类的应用程序操作。

关键在于，当领域事件发生时要执行操作的开放数量。最终领域和应用中的操作和规则将会增多。当事件发生时，副作用的复杂性或数量会增加，但如果代码是“胶合”（即仅使用 C#的 new 关键字实例化对象）的，则每次要添加新操作时都需要修改原始代码。这可能导致新 Bug，因为每个新需求都需要修改原始代码。这也违反了 SOLID 的开闭原则。不仅如此，编排操作的原始类将会越来越多，这违反了单一职责原则（SRP）。

另一方面，如果使用领域事件，则可以通过使用下列方法分离职责来创建细粒度的解耦的实现：

1. 发送命令（例如 CreateOrder）。
2. 在命令处理程序中接收命令。
    - 执行单个聚合的事务。
    - （可选）发起副作用的领域事件（例如 OrderStartedDomainDvent）。
3. 处理在多个聚合或应用程序操作中执行开放数量的副作用的领域事件（在当前进程中）。如：
    - 验证或创建买家和付款方式。
    - 创建并发送相关的集成事件到事件总线，以跨微服务传播状态或触发外部操作，例如向买家发送电子邮件。
    - 处理其他副作用。

如图 9-15 所示，从同一个领域事件开始可以有多个处理操作，它们可以和领域中的其他聚合相关，或者也可以是跨微服务连接集成事件和事件总线时需要的额外的应用程序操作。

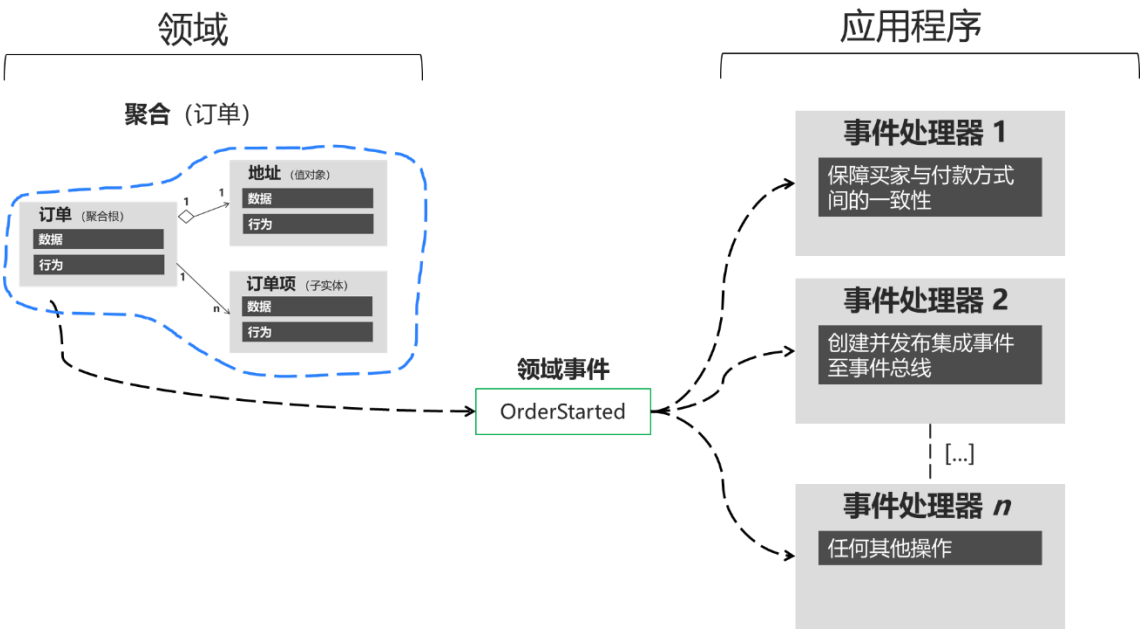


*图 9-15. **一个领域中处理多个操作***

事件处理程序通常在应用程序层，因为需要使用基础架构的对象（如存储库或应用 API）来实现微服务的行为。在这个场景下，事件处理程序类似于命令处理程序，所以这两者都是应用程序层的一部分。重要区别在于：一个命令应该只被处理一次，领域事件可被处理 0 或 n 次，因为可由具有不同目的的多个事件处理程序或多个接收者接收。

每个领域事件的处理程序开放数量的可能性使得我们可以添加更多领域规则而不影响当前代码。例如，实现如下在事件后立即发生的业务规则，或简单添加一些事件处理程序（甚至只需要一个）：

> *当客户在商店中购买的所有订单总额超过 6,000 美元时，每个新订单可享受 10%的优惠并发送电子邮件通知客户。*

实现领域事件

在 C#中，领域事件只是一个类似 DTO 的数据存储结构或类，其中包含与领域中刚刚发生的事件相关的所有信息，如下例所示：

```
public class OrderStartedDomainEvent : INotification
{
    public string UserId { get; private set; }
    public int CardTypeId { get; private set; }
    public string CardNumber { get; private set; }
    public string CardSecurityNumber { get; private set; }
    public string CardHolderName { get; private set; }
    public DateTime CardExpiration { get; private set; }
    public Order Order { get; private set; }
```

```
    public OrderStartedDomainEvent(Order order,
                                   int cardTypeId, string cardNumber,
                                   string cardSecurityNumber, string cardHolderName,
                                   DateTime cardExpiration)
    {
        Order = order;
        CardTypeId = cardTypeId;
        CardNumber = cardNumber;
        CardSecurityNumber = cardSecurityNumber;
        CardHolderName = cardHolderName;
        CardExpiration = cardExpiration;
    }
}
```

这本质上是一个包含与 OrderStarted 事件相关所有数据的类。

就领域的通用语言来讲，由于事件是过去发生的事情，事件的类名应该表示为动词过去式，如 OrderStartedDomainEvent 或 OrderShippedDomainEvent。这就是 eShopOnContainers 中订单微服务实现领域事件的方法。

正如上文所述，事件的一个重要特征是它表示过去发生的事情，所以不应该改变。因此它必须是不可变的类。在上述代码中可以看到，属性对外部都是只读的。更新对象的唯一方法是在创建事件对象时使用构造方法。

引发领域事件

下一个问题是如何引发领域事件，并到达相关的事件处理程序。可以使用很多种方法。

Udi Dahan 最初提出（有一些相关文章，如“Domain Events – Take 2”）：可以使用静态类来管理和引发事件。例如使用一个名为 DomainEvents 的静态类，在调用如 DomainEvents.Raise(Event myEvent) 这样的方法时立即引发领域事件。Jimmy Bogard 写了一篇博客“Strengthening your domain: Domain Events”，也建议采用类似的方法。

但是当领域事件类为静态时，它也会立即发送到处理程序。这使得测试和调试更加困难，因为在事件发生后立即执行了具有副作用逻辑的事件处理程序。进行测试和调试时，只需要关注当前聚合类中发生的情况，而不想突然被重定向到其他事件处理程序，这些事件处理程序与其他聚合或应用逻辑是相关的，具有副作用。

因此随后又出现了其他方法，接下来我们将介绍这些方法。

延迟引发和分派事件的方式

相对于立即派送到领域事件处理程序，更好的方法是将领域事件添加到集合中，然后在提交事务前或提交后发送这些领域事件（与 EF 中的 SaveChanges 一样）。（这个方法由 Jimmy Bogard 在博文“A better domain events pattern”中提出。）

决定是在提交事务之前或之后发送领域事件很重要，因为它将决定是否将副作用作为一部分包含在同一个事务中，或包含在不同事务中。对于后者，我们需要处理多个聚合中的最终一致性。本主题将在下一章讨论。

eShopOnContainers 使用了延迟的方法。首先，将实体中发生的事件添加到每个实体的集合或事件列表中。这个列表应该是实体对象的一部分，最好是实体类基类的一部分，如下示例的基类 Entity 所示：

```
public abstract class Entity
{
     //...
     private List<INotification> _domainEvents;
     public List<INotification> DomainEvents => _domainEvents;

     public void AddDomainEvent(INotification eventItem)
     {
         _domainEvents = _domainEvents ?? new List<INotification>();
         _domainEvents.Add(eventItem);
     }

     public void RemoveDomainEvent(INotification eventItem)
     {
         if (_domainEvents is null) return;
         _domainEvents.Remove(eventItem);
     }
     //... Additional code
}
```

想引发事件时，只需要在聚合根实体的任何方法代码中将它添加到事件集合里，如下代码所示，这是 eShopOnContainers 的 Order 聚合根的一部分：

```
var orderStartedDomainEvent = new OrderStartedDomainEvent(this, //Order object
                                                           cardTypeId, cardNumber,
                                                           cardSecurityNumber,
                                                           cardHolderName,
                                                           cardExpiration);
this.AddDomainEvent(orderStartedDomainEvent);
```

请注意，AddDomainEvent 方法唯一的用途在于将事件添加到列表中，不会分发事件，也不会调用事件处理程序。

将事务提交到数据库时，实际上希望稍后分派事件。如果使用 Entity Framework Core，这一过程将在 EF DbContext 的 SaveChanges 方法中发生，如以下代码所示：

```
// EF Core DbContext
public class OrderingContext : DbContext, IUnitOfWork
{
  // ...
   public async Task<bool> SaveEntitiesAsync(CancellationToken cancellationToken =
                                                          default(CancellationToken))
  {
```

```
    // Dispatch Domain Events collection.
    // Choices:
    // A) Right BEFORE committing data (EF SaveChanges) into the DB. This makes
    //    a single  transaction including side effects from the domain event
    //    handlers that are using the same DbContext with Scope lifetime
    // B) Right AFTER committing data (EF SaveChanges) into the DB. This makes
    //    multiple transactions. You will need to handle eventual consistency and
    //    compensatory actions in case of failures.
     await _mediator.DispatchDomainEventsAsync(this);

     // After this line runs, all the changes (from the Command Handler and Domain
     // event handlers) performed through the DbContext will be commited
     var result = await base.SaveChangesAsync();
  }
  // ...
}
```

使用这段代码可将实体事件分派到各自的事件处理程序。最终结果是将引发领域事件（简单地添加到内存列表中）和分派到事件处理程序解耦了。另外，根据使用的分派程序，可以同步或异步分派事件。

请注意，事务边界在这里变得很明显。如果工作单位和交易单位可跨越多个聚合（如使用 EF Core 和关系数据库），这种方式的效果会很好。但如果事务不能跨聚合，例如使用了 NoSQL 数据库（如 Azure DocumentDB），必须执行额外的步骤来实现一致性。这是持久性忽略没有那么普遍的另一个原因，这也取决于使用的存储系统。

跨聚合的单个事务与跨聚合最终一致性

到底是跨聚合执行单个事务，还是依赖于跨聚合的最终一致性，这是一个有争议的问题。许多 DDD 作者，包括 Eric Evans 和 Vaughn Vernon 倡导“一个事务 = 一个聚合”的规则，因此对跨聚合的最终一致性，业界一直有争议。例如 Eric Evans 在他的《领域驱动设计》一书中表示：

> *不要期望任何跨越聚合的规则在任何时候都是最新的。通过事件处理、批处理或其他更新机制，其他的依赖可以在特定时间内解决。（第 128 页）*

Vaughn Vernon 在文章有效聚合设计，第二部分：使聚合协同工作中说到如下观点：

> *因此，如果在一个聚合实例上执行命令需要在一个或多个聚合上执行额外的业务规则，就使用最终一致性[...]有一种实用的方式来支持 DDD 模型中的最终一致性。聚合方法应该发布及时传递给一个或多个异步订阅者的领域事件。*

这个原理基于细粒度的事务，而非跨越多个聚合或实体的事务。这个想法来自于第二种情况，在具有高可扩展性需求的大规模应用程序中将，数据库锁的数量是巨大的。拥抱高可扩展应用不需要在多个聚合间具有即时事务一致性，这也有助于接受最终一致性的概念。业务往往不需要原子性的更改，无论如何，领域专家有责任说明特定操作是否需要原子事务。如果操作总是需要在多个聚合间进行原子事务处理，那么可能会询问聚合是否应该更大，或者设计本身出现了问题。

然而也有一些开发人员和架构师（例如 Jimmy Bogard 等），他们建议跨多个聚合来执行单个事务，但只有当这些额外的聚合与相同的原始命令的副作用相关时才可以。例如，Bogard 在文章 “一种更好的领域事件模式”中说道：

> *通常，我希望领域事件的副作用发生在相同逻辑事务中，但不一定在引发领域事件的相同范围 [...] 在提交事务之前，我们将事件分派到相应的处理程序。*

如果在提交原始事务前分派领域事件，那是因为希望将这些事件的副作用包含在同一个事务中。例如，如果 EF DbContext 的 SaveChanges 方法失败，则事务回滚所有更改，包括由相关领域事件处理程序实现的任何副作用操作的结果。这是因为 DbContext 的生命作用范围默认定义为“范围的”。因此，DbContext 对象在同一范围或对象树中被实例化的多个存储库对象共享。这与开发 Web API 或 MVC 应用时的 HttpRequest 的范围是一致的。

实际上，这两种方法（单原子事务和最终一致性）都是正确的。这完全取决于领域或业务需求，以及领域专家的建议。此外还取决于需要怎样扩展服务（更细粒度的事务对数据库锁的影响较小），也取决于愿意在代码中做多少投入，因为最终一致性需要更复杂的代码，以便检测跨聚合的可能不一致，以及需要实现的补偿措施。考虑到如果对原始聚合进行更改之后，当事件已经被分派后出现问题并且事件处理程序无法提交其副作用，则聚合之间将存在不一致。

一种允许补偿措施的方法是将领域事件存储在额外的数据库表中，以便它们可以作为原始事务的一部分。随后，我们可以通过批处理将事件列表与聚合的当前状态进行比较来检测不一致并运行补偿措施。补偿措施是一个庞大复杂的主题，需要深入分析，甚至与业务用户和领域专家进行讨论。

无论如何，我们可以选择自己需要的方法。但最初的延迟方法：即使用单个事务在提交前引发事件，这是使用 EF Core 和关系数据库时最简单的方法。在很多业务场景中这种做法都容易实现并且可用。这也是 eShopOnContainers 中订单微服务使用的方法。

但是，实际上是如何将这些事件分派到各自的事件处理程序的？上一个示例中看到的_mediator 对象是什么？这与用来映射事件和事件处理程序的技术和工件有关。

领域事件分派程序：从事件到事件处理程序的映射

一旦能够分派或发布事件，我们需要一些发布事件的工件，以便每个相关处理程序都可以获取并处理基于该事件的副作用。

一种方法是真正的消息系统或事件总线，例如是基于服务总线而不是内存中的事件。然而对于第一种情况，真正的消息系统对领域事件的处理有些大材小用，因为我们只需要在相同进程（即同一领域和应用程序层）内处理这些事件。

将事件映射到多个事件处理程序的另一种方法是在 IoC 容器中使用类型注册，以便动态地推断将事件分派到哪里。换句话说，需要知道什么事件处理程序需要获取特定的事件。图 9-16 展示了一个简化的方法。

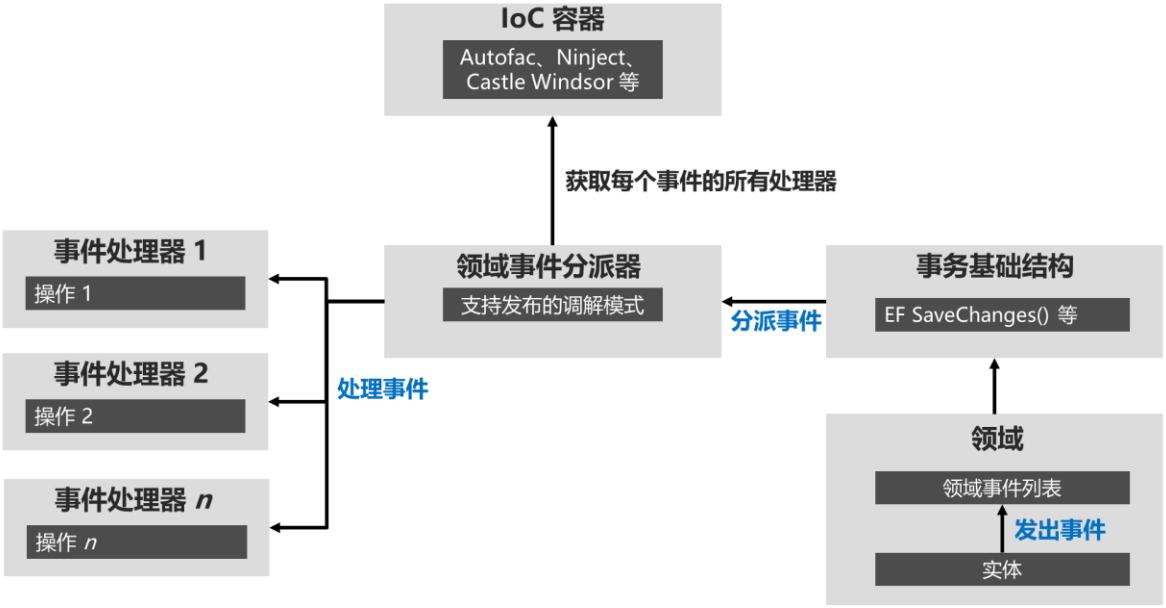


*图 9-16. **使用 IoC 的领域事件分派***

我们可以创建所有管道和工件来自行实现这种方法，但也可以用现成的库（如 MediatR 等），其中包含需要的 IoC 容器。因此可以直接使用预定义接口和调解器对象的发布/分派方法。

在代码中，首先需要在 IoC 容器中注册事件处理程序的类型，如下 eShopOnContainers 的订单微服务的代码所示：

```
public class MediatorModule : Autofac.Module
{
    protected override void Load(ContainerBuilder builder)
    {
        // Other registrations ...
        // Register the DomainEventHandler classes (they implement
        // IAsyncNotificationHandler<>) in assembly holding the Domain Events

        builder.RegisterAssemblyTypes(
                typeof(ValidateOrAddBuyerAggregateWhenOrderStartedDomainEventHandler)
                            .GetTypeInfo().Assembly)
                              .AsClosedTypesOf(typeof(IAsyncNotificationHandler<>));

        // Other registrations ...
        //...
    }

}
```

代码中首先通过定位包含任何处理程序的程序集（使用 typeof(ValidateOrAddBuyerAggregateWhenXxxx)，但也可以选择任何其他事件处理程序来定位程序集）来标识包含领域事件处理程序的程序集。由于所有事件处理程序都实现了 IAsyncNotificationHandler 接口，所以代码只需要搜索这些类型然后注册所有的事件处理程序。

如何订阅领域事件

使用 MediatR 时，每个事件处理程序必须使用 IAsyncNotificationHandler 接口的通用参数提供的事件类型，如下面的代码所示：

```
public class ValidateOrAddBuyerAggregateWhenOrderStartedDomainEventHandler
                        : IAsyncNotificationHandler<OrderStartedDomainEvent>
```

根据事件和事件处理程序之间的关系，可以将其视为订阅，MediatR 工件可发现每个事件的所有事件处理程序并触发每个事件处理程序。

如何处理领域事件

最后，事件处理程序通常实现应用程序层的代码，这些代码使用基础架构存储库来获取所需的额外聚合，并执行具有副作用的领域逻辑。下列 eShopOnContainers 的领域事件处理代码展示了一种方式。

```
public class ValidateOrAddBuyerAggregateWhenOrderStartedDomainEventHandler
                    : INotificationHandler<OrderStartedDomainEvent>
{
   private readonly ILoggerFactory _logger;
   private readonly IBuyerRepository<Buyer> _buyerRepository;
   private readonly IIdentityService _identityService;

    public ValidateOrAddBuyerAggregateWhenOrderStartedDomainEventHandler(
                      ILoggerFactory logger,
                      IBuyerRepository<Buyer> buyerRepository,
                      IIdentityService identityService)
    {
        // ...Parameter validations...
    }

    public async Task Handle(OrderStartedDomainEvent orderStartedEvent)
    {
        var cardTypeId = (orderStartedEvent.CardTypeId != 0) ?
                          orderStartedEvent.CardTypeId : 1;

        var userGuid = _identityService.GetUserIdentity();

        var buyer = await _buyerRepository.FindAsync(userGuid);
        bool buyerOriginallyExisted = (buyer == null) ? false : true;

        if (!buyerOriginallyExisted)
        {
```

```
            buyer = new Buyer(userGuid);
        }

        buyer.VerifyOrAddPaymentMethod(cardTypeId,
                                       $"Payment Method on {DateTime.UtcNow}",
                                       orderStartedEvent.CardNumber,
                                       orderStartedEvent.CardSecurityNumber,
                                       orderStartedEvent.CardHolderName,
                                       orderStartedEvent.CardExpiration,
                                       orderStartedEvent.Order.Id);

        var buyerUpdated = buyerOriginallyExisted ? _buyerRepository.Update(buyer) :
                                                    _buyerRepository.Add(buyer);

        await _buyerRepository.UnitOfWork.SaveEntitiesAsync();

       // Logging code using buyerUpdated info, etc.
    }
}
```

上述事件处理程序代码是应用程序层代码，因为它使用了基础架构存储库，例如将在下一章介绍的基础架构持久层。事件处理程序也可以使用其他基础架构组件。

领域事件能生成发布到微服务边界之外的集成事件

最后需要提醒注意：我们有时可能想跨多个微服务传播事件。这是一种集成事件，可以通过事件总线从任何特定的领域事件处理程序发布。

领域事件的结论

如上所述，使用领域事件可明确实现领域内更改的副作用。使用 DDD 术语来说明，就是使用领域事件来显式实现一个或多个聚合的副作用。另外，为了更好的可扩展性和对数据库锁较小的影响，请使用同一领域内聚合之间的最终一致性。

其他资源

- **Greg Young. 什么是领域事件**
  http://codebetter.com/gregyoung/2010/04/11/what-is-a-domain-event/
- **Jan Stenberg. 领域事件和最终一致性**
  https://www.infoq.com/news/2015/09/domain-events-consistency
- **Jimmy Bogard. 一种更好的领域事件模式**
  https://lostechies.com/jimmybogard/2014/05/13/a-better-domain-events-pattern/
- **Vaughn Vernon. 有效聚合设计，第二部分：使聚合协同工作**
  http://dddcommunity.org/wp-content/uploads/files/pdf_articles/Vernon_2011_2.pdf
- **Jimmy Bogard. 强化您的领域：领域事件**
  https://lostechies.com/jimmybogard/2010/04/08/strengthening-your-domain-domain-events/
- **Tony Truong. 领域事件模式示例**
  http://www.tonytruong.net/domain-events-pattern-example/

- **Udi Dahan. 如何创建完全封装的领域模型**
  http://udidahan.com/2008/02/29/how-to-create-fully-encapsulated-domain-models/
- **Udi Dahan. 领域事件 — 2**
  http://udidahan.com/2008/08/25/domain-events-take-2/
- **Udi Dahan. 领域事件 – 救赎**
  http://udidahan.com/2009/06/14/domain-events-salvation/
- **Jan Kronquist. 不要发布领域事件，返回它们**
  https://blog.jayway.com/2013/06/20/dont-publish-domain-events-return-them/
- **Cesar de la Torre. DDD 和微服务架构中的领域事件与集成事件**
  https://blogs.msdn.microsoft.com/cesardelatorre/2017/02/07/domain-events-vs-integration-events-in-domain-driven-design-and-microservices-architectures/

设计持久层基础架构

数据持久层组件为微服务内承载的数据（即微服务的数据库）提供了数据访问，并包含如仓储和工作单元的实际组件实现，例如定制的 EF DbContext。

仓储模式

仓储是封装了访问数据源所需逻辑的类或者组件。这种集中化的数据访问功能可以提高可维护性，并将领域模型层从用于访问数据库的基础架构或技术中解耦。如果使用过 ORM 技术，如 Entity Framework，由于 LINQ 和强类型，实现的代码可被简化。借此我们可以专注于数据持久性逻辑而非数据访问管道。

仓储模式是文档完备的使用数据源的方式。在《企业应用架构模式》一书中，Martin Fowler 对仓储进行了如下的描述：

> *仓储协调领域模型和数据映射层，起到类似内存中领域对象集合的作用。客户对象以声明的方式构建查询说明，并把它们提交给仓储以获取满足条件的对象。从概念上说，仓储封装了保存在数据存储中的对象集以及这些对象上执行的操作，提供了更符合面向对象观点的持久层实现。仓储也支持在领域和数据分配或映射层之间实现彻底分离和单向依赖关系的目标。*

为每个聚合定义一个仓储

对应于每个聚合或聚合根，应当创建一个仓储类。在基于 DDD 模式的微服务中，更新数据库的唯一渠道应当是仓储。这是因为它们与聚合根是一对一关系，控制了聚合的不变性和事务一致性。此外也可以通过其它途径查询数据库（如 CQRS 方式），因为查询不改变数据库状态。但是事务领域的更新，必须始终由仓储和聚合根控制。

基本上，仓储可以让我们以领域实体的形式把来自数据库的数据填充到内存中。一旦实体处于内存中，就可以通过事务修改并更新回数据库中。

如前所述，如果使用 CQS/CQRS 架构模式，初始查询将由领域模型中的查询侧执行，执行使用简短的 SQL 语句。这种方式比仓储灵活，因为可以查询和连接任何所需表，并且查询不受聚合中的规则限制。这些数据将被用于表示层或者客户端应用。

如果用户对数据做出更新，更新后的数据将从客户端应用或表示层来到应用层（如 Web API 服务），在命令处理器中收到带有数据的命令后，使用仓储从数据库中获取待更新的数据。我们可以使用命令传递的信息在内存中更新数据，然后通过事务在数据库中添加或者更新数据（领域实体）。

必须再次强调，对于每个聚合根只应定义一个仓储，如图 9-17 所示。为了达到聚合根在聚合中的所有对象之间维护事务一致性的目的，绝对不能对数据库中的每张表创建一个仓储。

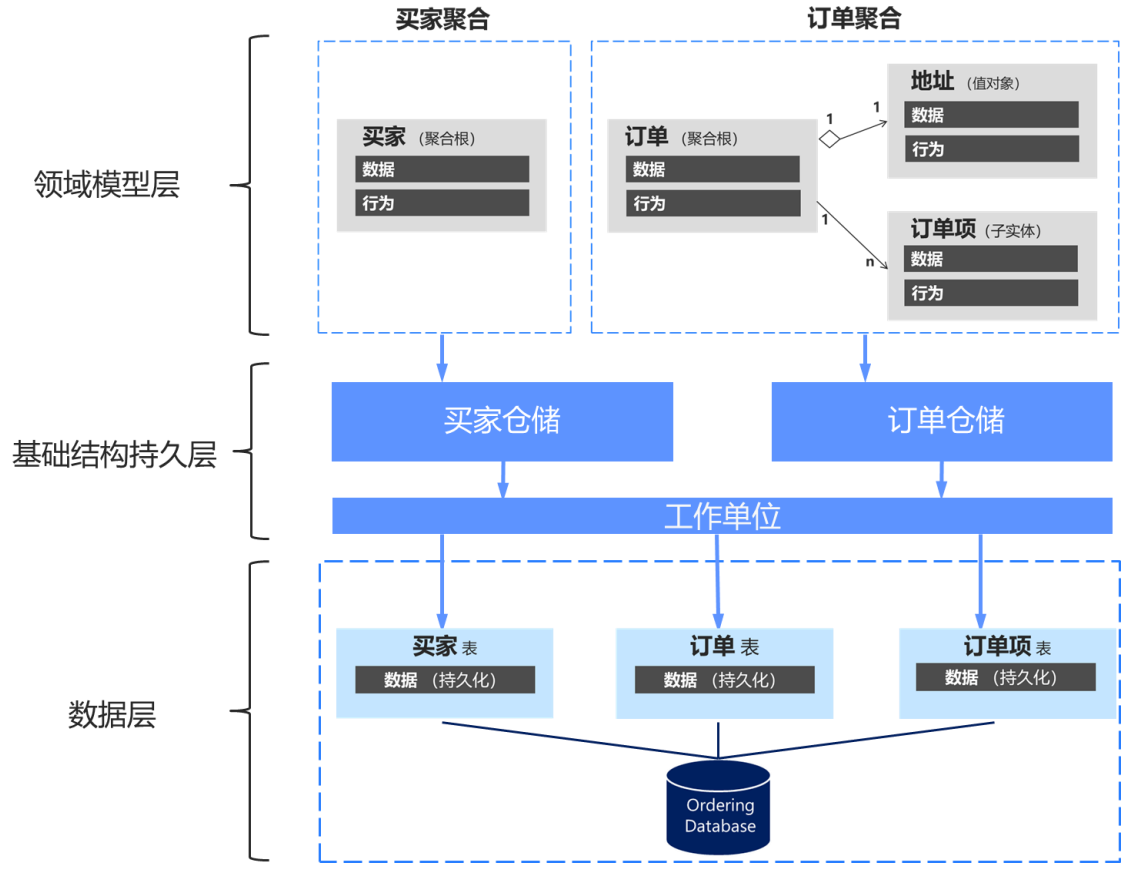


*图 9-17. **仓储、聚合与数据库之间的关系***

强制每个仓储有一个聚合根

以这种方式实现仓储设计是有价值的，强制只有聚合根拥有仓储。我们可以创建一个泛型或者仓储基类，以约束它所使用的实体类型，确保它们具有 IAggregateRoot 标记接口。

随后可在基础架构层每个仓储类实现其自身的约定或者接口，代码如下所示：

```
namespace Microsoft.eShopOnContainers.Services.Ordering.Infrastructure.Repositories
{
```

```
public class OrderRepository : IOrderRepository
{
```

每个特定仓储接口实现泛型的 IRepository 接口：

```
public interface IOrderRepository : IRepository<Order>
{
    Order Add(Order order);
    // ...
}
```

其实更好的方式是让代码强制执行约定，即每个仓储应当仅与单个聚合相关。实现泛型的仓储类型，以明确表示正在使用的仓储针对特定的聚合。通过在 IRepository 接口中使用泛型，可以很容易完成此操作，代码如下所示：

```
public interface IRepository<T> where T : IAggregateRoot
```

仓储模式使得测试应用程序逻辑变得简单

仓储模式使得我们可以更容易地使用单元测试来测试应用程序。但是单元测试仅测试代码，而非基础架构，所以仓储概念的抽象使得我们可以更易于达到这个目标。

如前所述，建议在领域模型层定义和构建仓储接口，以便应用层（例如 Web API 微服务）不直接依赖于实际实现仓储类的基础架构层。通过这种方式并在 Web API 应用程序中的控制器使用依赖注入，可以返回模拟数据而非来自数据库数据的模拟仓储。这种解耦的方式，使得我们可以不需要连接到数据库，就创建并运行仅测试应用逻辑的单元测试。

与数据库的连接可能会失败，更重要的是，基于数据库运行成百个测试，这是非常错误的方法，原因有二。首先，大量测试会花费大量时间。其次，数据库记录可能会发生变化从而影响测试结果，以致不一致。基于数据库的测试是集成测试而不是单元测试。快速运行的单元测试越多越好，基于数据库的集成测试越少越好。

从关注点分离的角度来看单元测试，应用逻辑应该在内存中操作领域实体。这需要假定仓储类负责交付。一旦逻辑修改了领域实体，就需要加订仓储类将会正确保存。这里重点在于基于领域模型和其领域逻辑创建单元测试。在 DDD 中聚合根是主要的一致性边界。

仓储模式与旧式数据访问类(DAL 类)模式的区别

数据访问对象直接执行数据访问和基于存储的持久化操作。仓储在内存中将数据标记为工作单元对象上（在 EF 中使用 DbContext）执行的操作，但这些操作不会立即执行。

工作单元是执行多个插入、更新或删除操作的单个事务单位。简单地说，意味着一个特定的用户操作（如在网站注册），所有插入、更新和删除事务在单个事务中处理。这比松散地处理多个数据库事务更高效。

当来自应用层的代码下达命令时，随后将执行多个持久化操作。将内存中的修改应用到实际数据库存储中的决策通常基于工作单元模式。在 EF 中，工作单元模式由 DbContext 实现。

大部分场景下，对存储运用这种操作模式或方式，可以增强应用程序的性能并降低不一致的可能性。此外，还减少了在数据库表上的事务阻塞，因为所有意向操作被作为单个事务的一部分提交。与对数据库执行许多独立操作相比，这种方式更高效。因此所选中的 ORM 能够通过分组同一事务中的多个更新操作，而不是多个小的和单独的事务操作，来优化数据库的执行。

仓储不是强制的

基于上述原因，创建自定义仓储是有用的，这也是 eShopOnContainers 中订单微服务采用的方式。但是在 DDD 设计，甚至在.NET 的常规开发中，这并不是必要的模式。

例如，Jimmy Bogard 在为本书提供直接反馈时说：

> *这可能是我最重大的反馈。我真的不喜欢仓储，主要因为它们隐藏了底层持久化机制的重要细节。这也是为什么我通过 DediatR 使用 Command 的原因。我可以使用持久层全部的能力，并将所有领域行为推入聚合根。我通常不会 mock 我的仓储 - 我仍然需要与实际的东西进行集成测试。CQRS 意味着我们不再需要仓储了。*

我们发现仓储很有用，但是也要承认这对 DDD 设计并不重要，就像聚合模式和富领域模型一样。因此，请根据情况按照合适的方式使用仓储模式。

其他资源

仓储模式

- **Edward Hieatt 和 Rob Mee. 仓储模式**
  http://martinfowler.com/eaaCatalog/repository.html
- **仓储模式**
  https://msdn.microsoft.com/library/ff649690.aspx
- **仓储模式：一种数据持久化抽象**
  http://deviq.com/repository-pattern/
- **Eric Evans. 领域驱动设计：软件核心复杂性应对之道（书籍：包括仓储模式的讨论）**
  https://www.amazon.com/Domain-Driven-Design-Tackling-Complexity-Software/dp/0321125215/

工作单元模式

- **Martin Fowler. 工作单元模式**
  http://martinfowler.com/eaaCatalog/unitOfWork.html
- **在 ASP.NET MVC 应用中实现仓储和工作单元模式**
  https://www.asp.net/mvc/overview/older-versions/getting-started-with-ef-5-using-mvc-4/implementing-the-repository-and-unit-of-work-patterns-in-an-asp-net-mvc-application

规格模式

规格模式，全称查询规格(Query-specification) 模式，是一种领域驱动设计模式，按照设计可表示对带有可选排序和分页逻辑定义的查询。

规格模式通过对象来定义查询。例如，为了封装搜索某些产品的分页查询，可以创建一个带有必要输入参数（pageNumber、pageSize、filter 等）的 PagedProduct 规格。然后在任何 Repository 方法（通常是一个 List（）重载）中接受 ISpecification 对象，并根据该规格运行预期的查询。

这种方式有几个好处。

- 规格有一个可以讨论的名称（而不仅仅是一堆 LINQ 表达式）。
- 规格可以单独进行单元测试以确保它是正确的。如果需要类似行为（例如在 MVC 视图操作和 Web API 操作以及各种服务中），可以轻松地重用它。
- 也可以使用规格来描述要返回的数据的形状，以便查询可以仅返回所需的数据。这消除了在 Web 应用程序中进行延迟加载的需要（这通常不是一个好主意），并有助于使存储库免受这些细节的干扰。

下面通用规格的示例代码来自 eShopOnweb：

```
// https://github.com/dotnet-architecture/eShopOnWeb
public interface ISpecification<T>
{
    Expression<Func<T, bool>> Criteria { get; }
    List<Expression<Func<T, object>>> Includes { get; }
    List<string> IncludeStrings { get; }
}
```

下文将介绍如何使用 Entity Framework Core 2.0 实现规格模式，以及如何从任何 Repository 类使用。

重要提示：规格模式是一种悠久的模式，可以使用不同方式实现，如下资源所示。作为一种模式/思想，了解以前的处理方式很好，但也要留意那些没能利用现代语言功能（如 Linq 和表达式)的老版本。

其他资源

- **规格模式**
  http://deviq.com/specification-pattern/
- **Evans, Eric (2004). 领域驱动设计 Addison-Wesley. 第 224 页.**
- **Martin Fowler：规格**
  https://www.martinfowler.com/apsupp/spec.pdf

使用 Entity Framework Core 实现持久层基础架构

在使用关系数据库，如 SQL Server、Oracle 或 PostgreSQL 时，建议的方式是基于 Entity Framework(EF)实现持久层。EF 支持 LINQ，并为模型提供了强类型对象，并有简化的持久性数据库操作。

作为.NET Framework 的一部分，Entity Framework 有很长的历史。在使用.NET Core 时，也应该使用 Entity Framework Core。与.NET Core 类似，它可以运行在 Windows 或 Linux 上。EF Core 对 Entity Framework 进行了完全重写，在减小体积的同时提供了重要的性能改进。

Entity Frameowrk 简介

Entity Framework (EF) Core 是一种轻量级、可扩展、跨平台的流行实体框架数据访问技术。在 2016 年中期被引入.NET Core。

由于在 Microsoft 文档中已提供了有关 Entity Framework Core 的介绍，这里只提供针对这些信息的链接。

其他资源

- **Entity Framework Core**
  https://docs.microsoft.com/ef/core/
- **使用 Visual Studio 的 ASP.NET Core 和 Entity Framework Core 入门**
  https://docs.microsoft.com/aspnet/core/data/ef-mvc/
- **DbContext 类**
  https://docs.microsoft.com/ef/core/api/microsoft.entityframeworkcore.dbcontext
- **EF Core 和 EF6.x 的对比**
  https://docs.microsoft.com/ef/efcore-and-ef6/index

从 DDD 视角看 Entity Framework Core 的基础架构

从 DDD 的观点来看，EF 的重要能力之一是能使用 POCO 风格的领域实体，在 EF 术语中称为 POCO 代码优先实体。如果使用 POCO 领域实体，领域模型类就是持久化透明的，遵循持久化透明和基础架构透明的原则。

根据 DDD 模式，应当在实体类中封装领域行为和规则，以便在访问任何集合时可以控制不变量、验证和规则。因此在 DDD 中，允许公开访问子实体集合或者值对象不是好做法。相反，应该望暴露一些方法来控制如何以及何时可以更新字段和属性集合，以及在发生这些情况时，应该发生的行为和操作。

从 EF Core 1.1 开始，为了满足这些 DDD 需求，可以在实体中使用纯字段，而非公共属性。如果不希望实体字段可在外部访问，可以只创建特性或字段而非属性，也可以使用私有的属性设置器。

类似地，现在可以使用类型为 IReadOnlyCollection<T>的公共属性对集合进行只读访问，集合中的私有字段（如 List<>)支持 EF 持久化。以前版本的 Entity Framework 需要集合属性支持 ICollection<T>，这意味着任何开发人员可以使用父实体类从属性集合添加或删除项目。这种可能性将违背 DDD 的推荐模式。

在公开只读 IReadOnlyCollection 对象时可以使用私有集合，如下代码所示：

```
public class Order : Entity
{
    // Using private fields, allowed since EF Core 1.1
    private DateTime _orderDate;
    // Other fields ...

    private readonly List<OrderItem> _orderItems;
    public IReadOnlyCollection<OrderItem> OrderItems => _orderItems;

    protected Order() { }
    public Order(int buyerId, int paymentMethodId, Address address)
    {
          // Initializations ...
    }

    public void AddOrderItem(int productId, string productName,
                             decimal unitPrice, decimal discount,
                             string pictureUrl, int units = 1)
    {
        // Validation logic...

        var orderItem = new OrderItem(productId, productName,
                                      unitPrice, discount,
                                      pictureUrl, units);
        _orderItems.Add(orderItem);
    }
}
```

注意 OrderItems 属性只能使用 IReadOnlyCollection<OrderItem>只读访问。该类型是只读的，因此可以防止常见的外部更新。

EF Core 提供了一种将领域模型映射到物理数据库而不会污染领域模型的方法。该方法是纯.NET POCO 代码，因为映射操作实现在持久层。在该映射操作中，需要配置字段到数据库的映射。下文的 OnModelCreating 方法示例中，高亮代码会告诉 EF Core 通过它的字段访问 OrderItems 属性。

```
// At OrderingContext.cs from eShopOnContainers
protected override void OnModelCreating(ModelBuilder modelBuilder)
{
   // ...
   modelBuilder.ApplyConfiguration(new OrderEntityTypeConfiguration());
   // Other entities' configuration ...
   // ...
}
```

```
// At OrderEntityTypeConfiguration.cs from eShopOnContainers
class OrderEntityTypeConfiguration : IEntityTypeConfiguration<Order>
{
    public void Configure(EntityTypeBuilder<Order> orderConfiguration)
    {
        orderConfiguration.ToTable("orders", OrderingContext.DEFAULT_SCHEMA);
        // Other configuration
        // ...

        var navigation =
              orderConfiguration.Metadata.FindNavigation(nameof(Order.OrderItems));

        //EF access the OrderItem collection property through its backing field
        navigation.SetPropertyAccessMode(PropertyAccessMode.Field);

        // Other configuration
        // ...
    }
}
```

使用字段而非属性时，OrderItem 实体将保持不变，就如具有 List<OrderItem>属性一样。但是它暴露了单个访问器 AddOrderItem()方法，用于向订单添加新项。因此行为和数据捆绑在一起，并且在所有使用该领域模型的应用代码中都保持一致。

使用 Entity Framework Core 实现自定义仓储

在实现层面，仓储只是一个在执行更新时，由工作单元（EF Core 中的 DbContext）协调的数据持久性代码的类。如下所示。

```
// using statements...
namespace Microsoft.eShopOnContainers.Services.Ordering.Infrastructure.Repositories
{
    public class BuyerRepository : IBuyerRepository
    {
        private readonly OrderingContext _context;
        public IUnitOfWork UnitOfWork
        {
            get
            {
                return _context;
            }
        }

        public BuyerRepository(OrderingContext context)
        {
            _context = context ?? throw new ArgumentNullException(nameof(context));
        }

        public Buyer Add(Buyer buyer)
        {
```

```
            return _context.Buyers
                .Add(buyer)
                .Entity;
        }

        public async Task<Buyer> FindAsync(string BuyerIdentityGuid)
        {
            var buyer = await _context.Buyers
                .Include(b => b.Payments)
                .Where(b => b.FullName == BuyerIdentityGuid)
                .SingleOrDefaultAsync();

            return buyer;
        }
    }
}
```

注意，作为规约，IBuyerRepository 接口来自领域模型层。但是仓储实现是在持久层和基础架构层完成的。

EF DbContext 通过依赖注入提供给构造函数。它在同一 HTTP 请求范围内被多个仓储共享，这得益于 IoC 容器（可使用 services.AddDbContext<>显示设置）的默认生命周期（ServiceLifetime.Scoped）。

在仓储中实现的方法（更新、事务与查询）

在每个仓储类中，都应当置入用来更新相关聚合中所包含实体状态的持久性方法。请记住，在聚合和相关仓储间存在一对一关系。考虑到聚合根实体对象可能在 EF 关系图内有嵌入的子实体。例如，买方可能有作为相关子实体的多个付款方式。

由于 eShopOnContainers 中订单微服务的处理方式也基于 CQS/CQRS，大多数查询都不是在自定义的仓储中实现的。开发人员可自由创建表示层所需要的查询和联接，而不受限于聚合、每个聚合的自定义仓储和 DDD。本指南建议的大多数自定义仓储都有一些更新或者事务方法，但只是查询用来更新的数据的方法。例如，BuyerRepository 仓储实现了 FindAsync 方法，因为应用需要在创建关联到新买家的订单前知道特定买家是否存在。

但是如前所述，在基于灵活查询的 CQRS 查询中，使用基于 Dapper 的实现，真正实现了将获取的数据提供给展示层或客户端应用的查询方法。

对比自定义仓储与直接使用 EF DbContext

Entity Framework DbContext 类基于工作单元和仓储模式，可直接被代码使用，例如通过 ASP.NET Core MVC 的控制器使用。借此可以创建最简代码，例如 eShopOnContainers 中的 CRUD 目录微服务。在需要最简代码的情况下，可能希望直接使用 DbContext 类，许多开发人员正是这样做的。

但是在实现更复杂的微服务或应用时，实现自定义的仓储更有优势。工作单元和仓储模式用于封装基础架构持久层，以便与应用程序和领域模型层解耦。实现这些模式有助于模拟对数据库的访问。

在图 9-18 中可以看到不使用仓储（直接使用 EF DbContext）与使用仓储的区别，这使得模拟这些仓储更为容易。

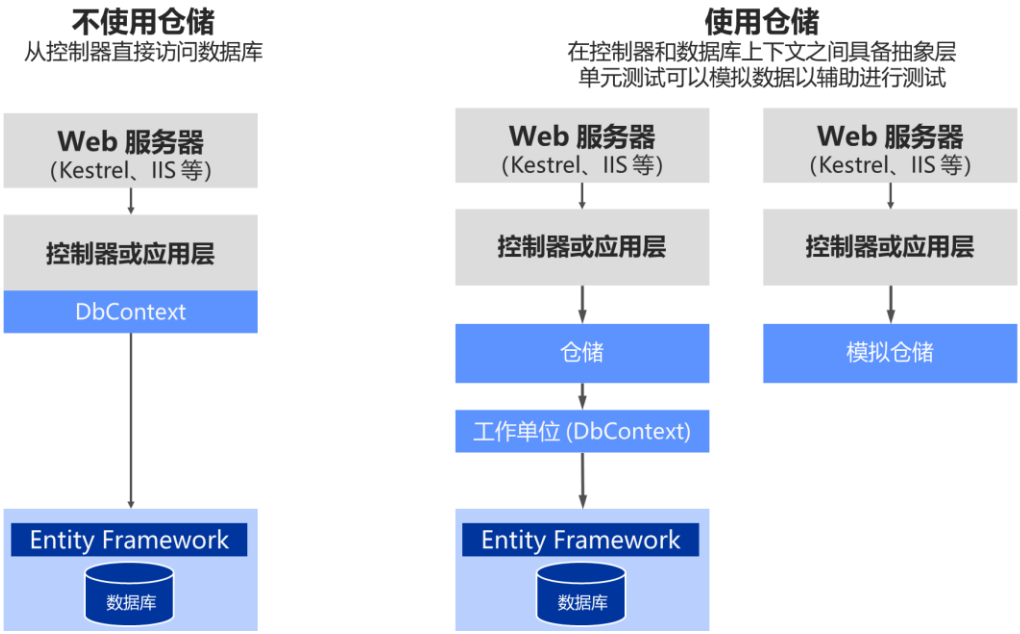


*图 9-18. **使用自定义仓储与使用纯 DbContext***

模拟时有多种选择，我们可以仅模拟仓储，或模拟整个工作单元。通常仅模拟仓储就够了，抽象并模拟整个工作单元通常是不必要的。

稍后在介绍应用层时，将会介绍依赖注入是如何在 ASP.NET Core 中工作的，以及当使用仓储时是如何实现的。

简而言之，自定义仓储使得在不受数据层状态影响的情况下，通过单元测试测试代码更方便。如果测试需要通过 Entity Framework 访问实际数据库，那么这不是单元测试，而是集成测试，速度会更慢。

如果直接使用 DbContext，则唯一的选择是使用具有预置数据的内存中 SQL Server 来运行单元测试。我们将无法以相同方式在仓储级别控制模拟对象和仿冒数据。当然，可以随时测试 MVC 控制器。

IoC 容器中的 EF DbContext 和 IUnitOfWork 实例生命周期

DbContext 对象（以 IUnitOfWork 对象暴露）可能需要在同一 HTTP 请求范围内的多个仓储间共享。例如，当正在执行的操作必须处理多个聚合时，或者仅仅因为使用了多个仓储实例。必须提醒注意的是，接口 IUnitOfWork 是领域层的一部分，而不是 EF Core 类型。

为此 DbContext 对象实例必须将服务的生命周期设置为 ServiceLifetime.Scoped。在 ASP.NET Core Web API 项目中，从 Startup.cs 文件的 ConfigureServices 方法中使用 services.AddDbContext 在 IoC 容器中注册 DbContext 时，这是默认的生命周期。下列代码说明了这一点。

```
public IServiceProvider ConfigureServices(IServiceCollection services)
{
    // Add framework services.
    services.AddMvc(options =>
    {
        options.Filters.Add(typeof(HttpGlobalExceptionFilter));
    }).AddControllersAsServices();
     services.AddEntityFrameworkSqlServer()
            .AddDbContext<OrderingContext>(options =>
            {
                options.UseSqlServer(Configuration["ConnectionString"],
                    sqlOptions => sqlOptions.MigrationsAssembly(typeof(Startup).
                                                        GetTypeInfo().
                                                         Assembly.GetName().Name));
            },
            ServiceLifetime.Scoped  // Note that Scoped is the default choice
                                    // in AddDbContext. It is shown here only for
                                    // pedagogic purposes.
            );
}
```

不应将 DbContext 实例化模式配置为 ServiceLifetime.Transient 或 ServiceLifetime.Singleton。

IoC 容器中仓储实例的生命周期

同理，仓储生命周期通常设置为作用域（Autofac 中的 InstancePerLifetimeScope），也可能是瞬态的（Autofac 中的 InstancePerDependency），但是当使用作用域生命周期时，服务在内存方面更高效。

```
// Registering a Repository in Autofac IoC container
builder.RegisterType<OrderRepository>()
                .As<IOrderRepository>()
                .InstancePerLifetimeScope();
```

请注意，如果将 DbContext 设置为作用域（InstancePerLifetimeScope）生命周期（DbContext 的默认生命周期），同时对仓储使用单例生命周期，可能会导致严重的并发问题。

其他资源

- **在 ASP.NET MVC 应用中实现仓储和工作单元模式**
  https://www.asp.net/mvc/overview/older-versions/getting-started-with-ef-5-using-mvc-4/implementing-the-repository-and-unit-of-work-patterns-in-an-asp-net-mvc-application
- **Jonathan Allen. 使用 Entity Framework, Dapper 和 Chain 的仓储模式实现策略**
  https://www.infoq.com/articles/repository-implementation-strategies
- **Cesar de la Torre. 对比 ASP.NET Core IoC 容器服务的生命周期和 Autofac IoC 容器实例范围**
  https://blogs.msdn.microsoft.com/cesardelatorre/2017/01/26/comparing-asp-net-core-ioc-service-life-times-and-autofac-ioc-instance-scopes/

表映射

表映射标识可发现查询和保存到数据库中的表数据。上文已经讨论了领域实体（如产品或订单领域）如何用于生成相关数据库架构。EF 是围绕 *约定* 这个概念设计的。约定解决了类似“表名是什么？”或“主键是哪个属性？”的问题。约定通常基于约定俗成的命名，例如作为主键的属性通常 Id 结尾。

按照约定，每个实体都将设置成映射到作为 DbSet<TEntity>属性相同的表，这暴露了在派生上下文中的实体。如果没有为特定实体提供 DbSet<TEntity>值，则将使用类名。

数据标记与 Fluent API

有很多额外的 EF Core 约定，其中大部分可使用 OnModelCreating 方法中的数据标记或 Fluent API 进行更改。

数据标记必须在实体模型类本身使用，从 DDD 角度这是更具侵入性的方式。这是因为会使用与基础架构数据库相关的数据标记来污染模型。另一方面，Fluent API 是修改数据持久化基础架构层中大量约定并映射的一种方便方法，因为实体模型将是干净的，并且与持久化基础架构解耦。

Fluent API 与 OnModelCreating 方法

如上所述，为了更改约定和映射，可以在 DbContext 类中使用 OnModelCreating 方法。

eShopOnContainers 中的 Ordering 微服务可在需要时实现显式的映射和配置，如下代码所示。

```
// At OrderingContext.cs from eShopOnContainers
protected override void OnModelCreating(ModelBuilder modelBuilder)
{
   // Other entities' configuration ...
   modelBuilder.ApplyConfiguration(new OrderEntityTypeConfiguration());
}

// At OrderEntityTypeConfiguration.cs from eShopOnContainers
class OrderEntityTypeConfiguration : IEntityTypeConfiguration<Order>
{
    public void Configure(EntityTypeBuilder<Order> orderConfiguration)
    {
            orderConfiguration.ToTable("orders", OrderingContext.DEFAULT_SCHEMA);
            orderConfiguration.HasKey(o => o.Id);
            orderConfiguration.Ignore(b => b.DomainEvents);

            orderConfiguration.Property(o => o.Id)
                .ForSqlServerUseSequenceHiLo("orderseq",
                                             OrderingContext.DEFAULT_SCHEMA);
            //Address Value Object persisted as owned entity supported since EF Core 2.0
            orderConfiguration.OwnsOne(o => o.Address);
```

```
            orderConfiguration.Property<DateTime>("OrderDate").IsRequired();
            orderConfiguration.Property<int?>("BuyerId").IsRequired(false);
            orderConfiguration.Property<int>("OrderStatusId").IsRequired();
            orderConfiguration.Property<int?>("PaymentMethodId").IsRequired(false);
            orderConfiguration.Property<string>("Description").IsRequired(false);

            var navigation =
                   orderConfiguration.Metadata.FindNavigation(nameof(Order.OrderItems));
            navigation.SetPropertyAccessMode(PropertyAccessMode.Field);

            orderConfiguration.HasOne<PaymentMethod>()
                .WithMany()
                .HasForeignKey("PaymentMethodId")
                .IsRequired(false)
                .OnDelete(DeleteBehavior.Restrict);
            orderConfiguration.HasOne<Buyer>()
                .WithMany()
                .IsRequired(false)
                .HasForeignKey("BuyerId");
            orderConfiguration.HasOne(o => o.OrderStatus)
                .WithMany()
                .HasForeignKey("OrderStatusId");
    }
}
```

我们可以在同一个 OnModelCreating 方法中设置所有 Fluent API 映射，但最好对代码进行分区，并且有多个配置类，每个实体一个，如示例所示。尤其是对于特别大的模型，可以有单独的配置类来配置不同实体类型。

示例中的代码展示了显式定义和映射。但是 EF Core 约定能自动处理许多映射，因此在实际情况中，需要编写的代码可能更少。

EF Core 中的 Hi/Lo 算法

上述代码最有趣的地方在于使用了 Hi/Lo 算法作为关键字生成策略。

Hi/Lo 算法在需要唯一键时很有用。简要来说，Hi/Lo 算法可为表中的行分配唯一标识符，而不需要立即将行存储到数据库中。这使得我们可以立即开始使用标识符，就像常规的数据库序列 ID 一样。

Hi/Lo 算法描述了在客户端而不是在数据库中生成安全 Id 的机制。在这里安全意味着没有碰撞。由于以下原因，此算法很有趣：

- 不破坏工作单元模式
- 不需要其它 DBMS 中序列生成器方式的往返

- 与使用 GUID 技术不同，可生成人工易读的标识符

EF Core 使用 ForSqlServerUseSequenceHiLo 方法支持 Hi/Lo 算法，如前面的例子所示。

映射字段而不是属性

借助从 EF Core 1.1 开始增加的特性，我们可以直接将数据库列映射到字段，可以不使用实体类中的任何属性，只将表中的列映射到字段。对于不需要从实体外部访问的内部状态，通常可使用私有字段。

我们可对单个字段或者集合，例如 List<>字段执行此操作。上文讨论对领域模型类建模时提到过这一点，但是在这里可以看到如何使用 PropertyAccessMode.Field 配置上述高亮代码。

在 EF Core 中使用影子属性，在基础架构层面隐藏 ID

在 EF Core 中，影子属性是在实体类模型中不存在的属性。这些属性的值或状态仅在基础架构级别的 ChangeTracker 类中维护。

实现规格模式

正如上文设计部分介绍的那样，规格模式，全称是(Query-specification pattern)，是一种领域驱动设计模式，按照设计可用来表示对带有可选的排序和分页逻辑定义的查询。

规格模式通过对象来定义查询。例如，为了封装搜索某些产品的分页查询，可以创建带有必要输入参数（pageNumber、pageSize、filter 等）的 PagedProduct 规格。随后在任何 Repository 方法（通常是一个 List()重载）中，接受 ISpecification 对象，并根据该规格运行预期的查询。

下面通用规格的示例代码来自 eShopOnweb：

```
// GENERIC SPECIFICATION INTERFACE
// https://github.com/dotnet-architecture/eShopOnWeb

public interface ISpecification<T>
{
    Expression<Func<T, bool>> Criteria { get; }
    List<Expression<Func<T, object>>> Includes { get; }
    List<string> IncludeStrings { get; }
}
```

随后，通用的规格基类如下实现。

```
// GENERIC SPECIFICATION IMPLEMENTATION (BASE CLASS)
// https://github.com/dotnet-architecture/eShopOnWeb

public abstract class BaseSpecification<T> : ISpecification<T>
{
    public BaseSpecification(Expression<Func<T, bool>> criteria)
    {
        Criteria = criteria;
    }
    public Expression<Func<T, bool>> Criteria { get; }
```

```
    public List<Expression<Func<T, object>>> Includes { get; } =
                                            new List<Expression<Func<T, object>>>();

    public List<string> IncludeStrings { get; } = new List<string>();

    protected virtual void AddInclude(Expression<Func<T, object>> includeExpression)
    {
        Includes.Add(includeExpression);
    }

    // string-based includes allow for including children of children
    // e.g. Basket.Items.Product
    protected virtual void AddInclude(string includeString)
    {
        IncludeStrings.Add(includeString);
    }
}
```

下列规格或使用 basket 的 ID，或使用 basket 所属的买家 ID 加载单个 basket 实体。它将提前加载 basket 的项目集合。

```
// SAMPLE QUERY SPECIFICATION IMPLEMENTATION

public class BasketWithItemsSpecification : BaseSpecification<Basket>
{
    public BasketWithItemsSpecification(int basketId)
        : base(b => b.Id == basketId)
    {
        AddInclude(b => b.Items);
    }
    public BasketWithItemsSpecification(string buyerId)
        : base(b => b.BuyerId == buyerId)
    {
        AddInclude(b => b.Items);
    }
}
```

最后可以看到泛型 EF Repositofy 如何使用这些规格对特定实体类型 T 进行过滤并提前加载相关数据。

```
// GENERIC EF REPOSITORY WITH SPECIFICATION
// https://github.com/dotnet-architecture/eShopOnWeb

public IEnumerable<T> List(ISpecification<T> spec)
{
    // fetch a Queryable that includes all expression-based includes
    var queryableResultWithIncludes = spec.Includes
        .Aggregate(_dbContext.Set<T>().AsQueryable(),
            (current, include) => current.Include(include));

    // modify the IQueryable to include any string-based include statements
    var secondaryResult = spec.IncludeStrings
        .Aggregate(queryableResultWithIncludes,
            (current, include) => current.Include(include));

    // return the result of the query using the specification's criteria expression
```

```
    return secondaryResult
                    .Where(spec.Criteria)
                    .AsEnumerable();
}
```

除了封装过滤逻辑，规格还可指定返回的数据的形状，包括要填充哪些属性。

尽管不建议从仓储库中返回 IQueryable，但在仓储库中使用它们构建一组结果是完全正确的做法。我们可以在上述 List 方法中看到这种方式，该方法中使用中间的 IQueryable 表达式在最后一行执行具有规格条件的查询之前，构建查询的包含列表。

其他资源

- **表映射**
  https://docs.microsoft.com/ef/core/modeling/relational/tables
- **使用 HiLo 和 Entity Framework Core 生成键**
  http://www.talkingdotnet.com/use-hilo-to-generate-keys-with-entity-framework-core/
- **后台字段**
  https://docs.microsoft.com/ef/core/modeling/backing-field
- **Steve Smith. 在 Entity Framework Core 中封装集合**
  http://ardalis.com/encapsulated-collections-in-entity-framework-core
- **影子属性**
  https://docs.microsoft.com/ef/core/modeling/shadow-properties
- **规格模式**
  http://deviq.com/specification-pattern/

使用 NoSQL 数据库作为持久基础架构

使用 NoSQL 数据库作为数据层基础架构时，很明显我们不会使用类似 Entity Framework Core 的 ORM，而会使用由 NoSQL 引擎提供的 API，如 Azure Cosmos DB、MongoDB、Cassandra、RavenDB、CouchDB 或 Azure Storage Tables。

但是在使用 NoSQL 数据库，尤其是文档导向的数据库，如 Azure Cosmos DB、MongoDB、Cassandra 或 RavenDB 时，虽然使用 DDD 聚合方式设计模型与使用 EF Core 所做的部分类似，识别聚合根、子实体类和值对象类，但最终数据库的选择将影响设计。

在使用文档导向的数据库时，可将聚合实现为单个文档，序列化为 JSON 或其它格式。但是从领域模型代码的角度来看，数据库的使用是透明的。使用 NoSQL 数据库时，仍然要使用实体类和聚合根类，但是比使用 EF Core 更为灵活，因为持久化是非关系的。

区别在于如何实现持久化模型。如果基于 POCO 实体类实现领域模型，基础架构持久化对此透明，那么可能觉得可以转移到不同的持久性基础架构，甚至从关系型到 NoSQL。然而这并不应该是我们的目

标，不同数据库总有限制将我们挡回来，因此不能对关系型数据库或 NoSQL 数据库拥有相同模型。持久模型的更改很麻烦，因为事务和持久化操作存在极大差异。

例如在文档导向的数据库中，聚合根拥有多个子集合属性是可以的。在关系数据库中，查询多个子集合属性则非常糟糕，因为将从 EF 得到使用 UNION ALL 这样的 SQL 语句。对关系型数据库和 NoSQL 数据库拥有同样的领域模型是一种麻烦的做法，建议不要考虑。我们需要基于不同数据库对数据使用方式的理解来设计自己的领域模型。

使用 NoSQL 数据库的一个好处是实体更为非标准化，所以不必设置表映射。领域模型比使用关系数据库更为灵活。

在基于聚合设计领域模型时，转移到使用 NoSQL 和文档导向数据库可能比使用关系数据库更容易，因为聚合根更类似于在文档导向数据库中序列化的文档。随后我们可以包含这些“包”中可能需要的所有信息。

例如在使用文档导向的数据库时，下面的 JSON 代码是订单聚合的示例实现。它类似于我们在 eShopOnContainers 示例中实现的订单集，但其中没有使用 EF Core。

```
{
    "id": "2017001",
    "orderDate": "2/25/2017",
    "buyerId": "1234567",
    "address": [
        {
            "street": "100 One Microsoft Way",
            "city": "Redmond",
            "state": "WA",
            "zip": "98052",
            "country": "U.S."
        }
    ],
    "orderItems": [
        {"id": 20170011, "productId": "123456", "productName": ".NET T-Shirt",
             "unitPrice": 25, "units": 2, "discount": 0},
        {"id": 20170012, "productId": "123457", "productName": ".NET Mug",
             "unitPrice": 15, "units": 1, "discount": 0}
    ]
}
```

Azure Cosmos DB 和原生 Cosmos DB API 简介

Azure Cosmos DB 是 Microsoft 针对关键任务型应用程序的全球分布式多模式数据库服务。Azure Cosmos DB 提供遍布全球开箱即用的部署，全球范围吞吐量和存储的弹性扩展，第 99 百分位的个位数毫秒等待时间，5 个明确定义的一致性水平以及有保障的高可用性，所有这些都由行业领先的 SLA 提供

支持。Azure Cosmos 数据库可自动索引数据，无需处理模式和管理索引。该服务支持多模型，包括文档、键值、图形和列式数据模型。

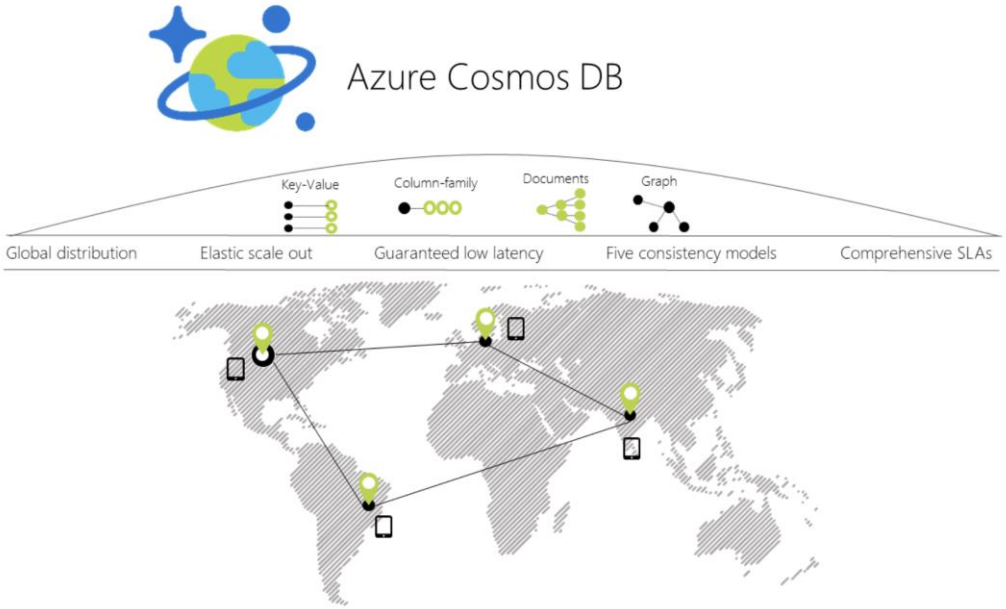


*图 9-19. **Azure Cosmos DB 全球分布***

在使用 C#模型实现该聚合以用于类似 Azure Cosmos DB API 时，该聚合类似于 EF Core 中使用的 C# POCO 类。区别在于从应用程序和基础架构层中使用它们的方式，如下代码所示：

```
// C# EXAMPLE OF AN ORDER AGGREGATE BEING PERSISTED WITH AZURE COSMOS DB API
// *** Domain Model Code ***
// Aggregate: Create an Order object with its child entities and/or value objects.
// Then, use AggregateRoot's methods to add the nested objects & apply invariants.
Order orderAggregate = new Order
{
    Id = "2017001",
    OrderDate = new DateTime(2005, 7, 1),
    BuyerId = "1234567",
    PurchaseOrderNumber = "PO18009186470"
}
Address address = new Address
{
   Street = "100 One Microsoft Way",
   City = "Redmond",
   State = "WA",
   Zip = "98052",
   Country = "U.S."
}

orderAggregate.UpdateAddress(address);

OrderItem orderItem1 = new OrderItem
{
   Id = 20170011,
```

```
    ProductId = "123456",
    ProductName = ".NET T-Shirt",
    UnitPrice = 25,
    Units = 2,
    Discount = 0;
};

//Using methods with domain logic within the entity. No anemic-domain model
orderAggregate.AddOrderItem(orderItem1);
// *** End of Domain Model Code ***

// *** Infrastructure Code using Cosmos DB Client API ***
Uri collectionUri = UriFactory.CreateDocumentCollectionUri(databaseName,
                                                           collectionName);
await client.CreateDocumentAsync(collectionUri, order);

// As your app evolves, let's say your object has a new schema. You can insert
// OrderV2 objects without any changes to the database tier.
Order2 newOrder = GetOrderV2Sample("IdForSalesOrder2");
await client.CreateDocumentAsync(collectionUri, newOrder);
```

从中可以看到，使用领域模型的方式与基础架构为 EF 时在领域模型层中使用领域模型的方式是类似的。我们仍然使用同样的聚合根方法来确保聚合中的一致性、不变量和验证。

但当模型持久化到 NoSQL 数据库后，与 EF Core 或与关系数据库相关的任何其它代码相比，代码和 API 都发生了显著变化。

针对 MongoDB 和 Azure Cosmos DB 实现.NET 代码

在.NET 容器中使用 Azure Cosmos DB

我们可以从运行在容器中的.NET 代码访问 Azure Cosmos DB 数据库，就像从任何其他.NET 应用程序一样。例如，eShopOnContainers 中的 Locations.API 和 Marketing.API 微服务实现，所以它们可以使用 Azure Cosmos DB 数据库。

但从 Docker 开发环境角度来看，Azure Cosmos DB 存在一些限制，即使在本地 Azure Cosmos DB 仿真器能够在本地开发机器（如 PC）中运行的情况下。截至 2017 年底它只支持 Windows，不支持 Linux。

在 Docker 上运行模拟器是可行的，但是在 Windows 容器上运行的却不是 Linux 容器。如果应用程序部署为 Linux 容器，这对开发环境来说将会是面临的第一个障碍，因为目前不能同时在 Docker for Windows 上部署 Linux 和 Windows 容器。所有部署的容器都必须全部使用 Linux 或 Windows。

开发/测试解决方案时，更理想也更直接的方式是将数据库系统作为容器与自定义容器一起部署，借此开发/测试环境才能始终保持一致。

为本地开发/测试 Linux/Windows 容器和 Azure Cosmos DB 使用 MongoDB API

Cosmos DB 数据库支持 MongoDB API for .NET 以及本地 MongoDB 有线协议。这意味着通过使用现有驱动程序，为 MongoDB 编写的应用程序可与 Cosmos DB 通信，并使用 Cosmos DB 数据库而非 MongoDB 数据库，如图 9-20 所示。

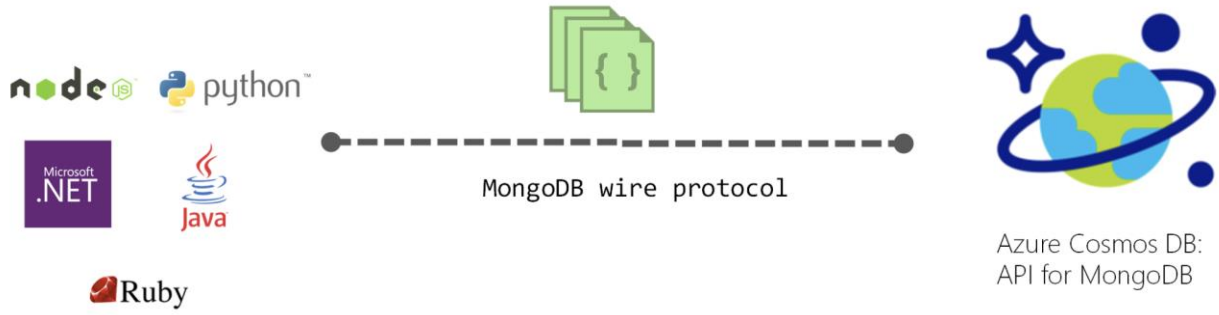


*图 9-20. **使用 MongoDB API 和协议访问 Azure Cosmos DB***

这是一个非常方便的方法，可以帮助我们验证 Docker 环境下的 Linux 容器概念，因为 MongoDB Docker 镜像是支持 Docker Linux 容器和 Docker Windows 容器的多拱形镜像。

如图 9-21 所示，通过使用 MongoDB API，eShopOnContainers 支持用于本地开发环境的 MongoDB Linux 和 Windows 容器，但我们可以简单地更改 MongoDB 连接字符串指向 Azure Cosmos DB 来转移到可扩展 PaaS 云解决方案如 Azure Cosmos DB。

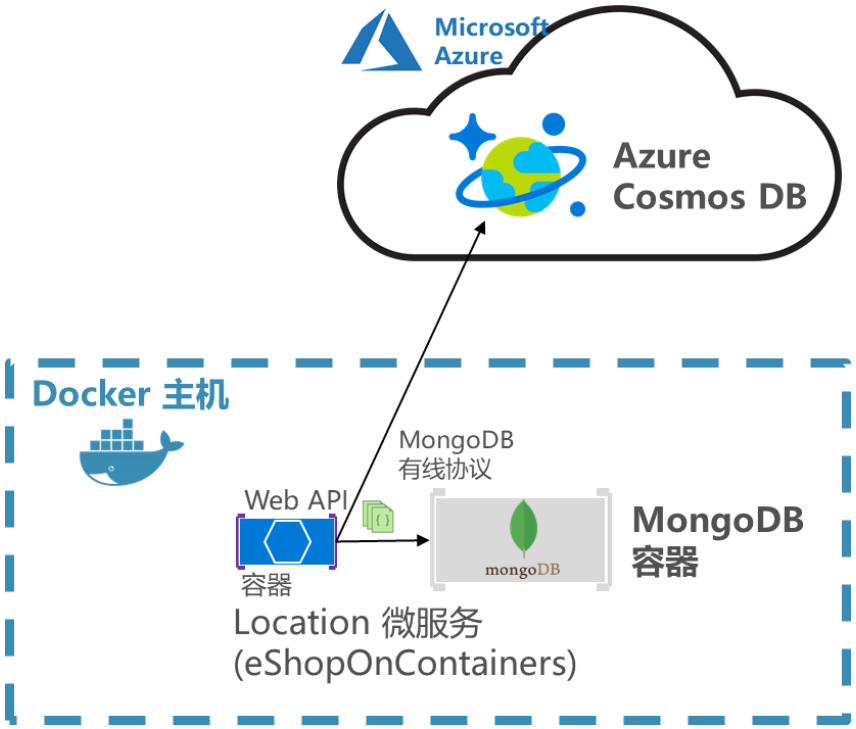


*图 9-21. **eShopOnContainers 使用 MongoDB 容器用于开发环境或者产品的 Azure Cosmos DB 环境***

作为 PaaS 和可扩展服务，生产环境的 Azure Cosmos DB 可在 Azure 云中运行和缩放。

自定义.NET Core 容器可在本地开发 Docker 主机（即在 Windows 10 计算机上使用 Docker for Windows）上运行，也可部署到生产环境中，如 Azure AKS 或 Azure Service Fabric 中的 Kubernetes。第二种情况下，我们将仅部署.NET Core 定制容器，但不部署 MongoDB 容器，因为此时将使用云中的 Azure Cosmos DB 来处理生产数据。

如果使用 MongoDB API，一个明显的好处是解决方案可在 MongoDB 或 Azure Cosmos DB 这两个数据库引擎上运行，所以迁移到不同环境应该很容易。但有时候为了充分利用特定数据库引擎功能，使用本地 API（即本地的 Cosmos DB API）是值得的。

要进一步比较在云中简单使用 MongoDB 与 Cosmos DB，请参阅：使用 Azure Cosmos DB 的优势。

分析生产应用程序的方式：MongoDB API 与 Cosmos DB API

在 eShopOnContainers 中，我们使用了 MongoDB API，因为我们的首要任务是搭建使用 NoSQL 数据库的一致开发/测试环境，这个数据库也可用于 Azure Cosmos 数据库。

但如果计划使用 MongoDB API 访问 Azure 中的 Azure Cosmos DB 用于生产应用程序，则应首先分析使用 MongoDB API 与使用本机 Azure Cosmos DB API 访问 Azure Cosmos DB 数据库时的功能和性能差异。根据具体情况可能有所不同，所以可以继续使用 MongoDB API，并同时支持两个 NoSQL 数据库引擎，或者如果 Azure Cosmos DB 中有任何特殊的功能，与使用 MongoDB API 时的执行方式不同，则需要区别对待。

此外我们也可以用 MongoDB 集群作为 Azure 云的生产数据库，还可使用 MongoDB Azure 服务。但这不是 Microsoft 提供的 PaaS 服务。在这种情况下，Azure 只是托管来自 MongoDB 的解决方案。

基本上，这只是一个免责声明，让大家知道不应总是针对 Azure Cosmos DB 使用 MongoDB API，就像我们在 eShopOnContainers 中的做法那样，因为对 Linux 容器来说这是更方便的选择。请根据生产应用程序的特定需求和测试酌情决定。

代码：在.NET Core 应用中使用 MongoDB API

MongoDB API for .NET 基于 NuGet 包，需要添加到我们自己的项目中，例如图 9-22 所示的 eShopOnContainers 中的 Locations.API。

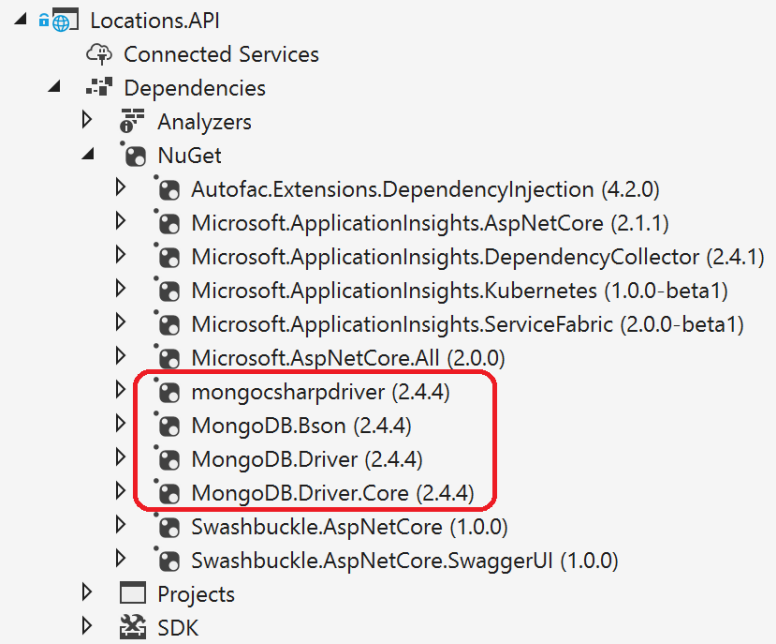


图 9-22. 在 .NET Core 项目中的 MongoDB API NuGet 包引用

关于代码，还有几个地方需要检查，下文将分别介绍。

MongoDB API 使用的模型

首先要定义一个模型，用于在应用程序内存空间中保存来自数据库的数据。以下是 eShopOnContainers 中用于位置的模型示例。

```
using MongoDB.Bson;
using MongoDB.Bson.Serialization.Attributes;
using MongoDB.Driver.GeoJsonObjectModel;
using System.Collections.Generic;

public class Locations
{
    [BsonId]
    [BsonRepresentation(BsonType.ObjectId)]
    public string Id { get; set; }
    public int LocationId { get; set; }
    public string Code { get; set; }
    [BsonRepresentation(BsonType.ObjectId)]
    public string Parent_Id { get; set; }
    public string Description { get; set; }
    public double Latitude { get; set; }
    public double Longitude { get; set; }
    public GeoJsonPoint<GeoJson2DGeographicCoordinates> Location
                                                        { get; private set; }
    public GeoJsonPolygon<GeoJson2DGeographicCoordinates> Polygon
                                                        { get; private set; }
    public void SetLocation(double lon, double lat) => SetPosition(lon, lat);
    public void SetArea(List<GeoJson2DGeographicCoordinates> coordinatesList)
                                                  => SetPolygon(coordinatesList);
```

```
    private void SetPosition(double lon, double lat)
    {
        Latitude = lat;
        Longitude = lon;
        Location = new GeoJsonPoint<GeoJson2DGeographicCoordinates>(
            new GeoJson2DGeographicCoordinates(lon, lat));
    }

    private void SetPolygon(List<GeoJson2DGeographicCoordinates> coordinatesList)
    {
        Polygon = new GeoJsonPolygon<GeoJson2DGeographicCoordinates>(
                  new GeoJsonPolygonCoordinates<GeoJson2DGeographicCoordinates>(
                  new GeoJsonLinearRingCoordinates<GeoJson2DGeographicCoordinates>(
                                                                  coordinatesList)));
    }
}
```

我们可以看到来自 MongoDB NuGet 包的一些属性和类型。

NoSQL 数据库通常非常适合处理非关系但分层的数据。在本例中，我们使用特别为地理位置而设计的 MongoDB 类型，比如 **GeoJson2DGeographicCoordinates**。

检索数据库和集合

在 eShopOnContainers 中，我们创建了一个自定义的数据库上下文，在这里我们通过实现代码来检索数据库和 MongoCollections，如下代码所示。

```
public class LocationsContext
{
    private readonly IMongoDatabase _database = null;

    public LocationsContext(IOptions<LocationSettings> settings)
    {
        var client = new MongoClient(settings.Value.ConnectionString);
        if (client != null)
            _database = client.GetDatabase(settings.Value.Database);
    }
    public IMongoCollection<Locations> Locations
    {
        get
        {
            return _database.GetCollection<Locations>("Locations");
        }
    }
}
```

检索数据

随后，从任何 C#代码（如 Web API 控制器或自定义仓储库）中，通过 MongoDB API 进行查询时，可以编写类似代码，_context 对象是上文提到的 LocationsContext 类的实例。

```
public async Task<Locations> GetAsync(int locationId)
{
    var filter = Builders<Locations>.Filter.Eq("LocationId", locationId);
    return await _context.Locations
                         .Find(filter)
                         .FirstOrDefaultAsync();
}
```

在 docker-compose.override.yml 文件中使用环境变量作为 MongoDB 连接串

在创建 MongoClient 对象时，所需的参数恰好是 ConnectionString 指向 eShopOnContainers 的情况，既可以指向本地 MongoDB Docker 容器，也可指向“生产”Azure Cosmos DB 数据库。该连接字符串来自 docker-compose 或 Visual Studio 部署时在 docker-compose.override.yml 文件中定义的 envitronment 变量，如下 yml 代码所示。

```
# docker-compose.override.yml
version: '3'
services:
  # Other services
  locations.api:
    environment:
      # Other settings
      - ConnectionString=${ESHOP_AZURE_COSMOSDB:-mongodb://nosql.data}
```

ConnectionString 环境变量是可定义的，因此如果在带有 Azure Cosmos DB 连接字符串的.env 文件中定义了 ESHOP_AZURE_COSMOSDB 全局变量，它将访问云中的 Azure Cosmos DB 数据库。

在这里可以看到，带有 Azure Cosmos DB 连接字符串 gloval 环境变量的.env 文件，在 eShopOnContainers 中用作便捷的方法。

```
# .env file, in eShopOnContainers root folder
# Other Docker environment variables
ESHOP_EXTERNAL_DNS_NAME_OR_IP=localhost
ESHOP_PROD_EXTERNAL_DNS_NAME_OR_IP=<YourDockerHostIP>

#ESHOP_AZURE_COSMOSDB=<YourAzureCosmosDBConnData>

#Other environment variables for additional Azure infrastructure assets
#ESHOP_AZURE_REDIS_BASKET_DB=<YourAzureRedisBasketInfo>
#ESHOP_AZURE_SERVICE_BUS=<YourAzureServiceBusInfo>
```

我们应取消 ESHOP_AZURE_COSMOSDB 注释行，并使用从 Azure 管理门户获取的真实 Azure Cosmos DB 连接字符串进行更新，具体可参阅：[将 MongoDB 应用程序连接到 Azure Cosmos DB]。

如果 ESHOP_AZURE_COSMOSDB 全局变量为空，即在.env 文件中注释它，那么将使用默认 MongoDB 连接字符串，该连接字符串指向在 eShopOnContainers 中部署的本地 MongoDB 容器，该容器名为 nosql.data，在 docker-compose 文件中，如下.yml 代码所示。

```
# docker-compose.yml
version: '3'
services:
```

```
  # ...Other services...
  nosql.data:
    image: mongo
```

其他资源

- **为 NoSQL 数据库的文档数据建模**
  https://docs.microsoft.com/en-us/azure/cosmos-db/modeling-data
- **Vaughn Vernon. 理想的领域驱动设计聚合存储?**
  https://vaughnvernon.co/?p=942
- **Azure Cosmos DB 介绍： 面向 MongoDB 的 API**
  https://docs.microsoft.com/en-us/azure/cosmos-db/mongodb-introduction
- **Azure Cosmos DB：使用 .NET 和 Azure 门户构建 MongoDB API 的 Web 应用**
  https://docs.microsoft.com/en-us/azure/cosmos-db/create-mongodb-dotnet
- **在本地开发和测试时使用 Azure Cosmos DB 仿真器**
  https://docs.microsoft.com/en-us/azure/cosmos-db/local-emulator
- **将 MongoDB 应用连接到 Azure Cosmos DB**
  https://docs.microsoft.com/en-us/azure/cosmos-db/connect-mongodb-account
- **Cosmos DB 模拟器的 Docker 影像（Windows 容器）**
  https://hub.docker.com/r/microsoft/azure-cosmosdb-emulator/
- **MongoDB Docker 镜像（Linux 和 Windows 容器）**
  https://hub.docker.com/r/_/mongo/
- **用 MongoChef (Studio 3T) 访问 Azure Cosmos DB： MongoDB 账户 API**
  https://docs.microsoft.com/en-us/azure/cosmos-db/mongodb-mongochef

设计微服务应用层和 Web API

使用 SOLID 原则和依赖注入

SOLID 原则是用于任何现代和关键任务应用程序的关键技术，例如可用于开发使用 DDD 模式的微服务。SOLID 是五个基础原则的缩写：

- 单一职责原则（Single Responsibility principle）
- 开闭原则（Open/closed principle）
- 李氏替换原则（Liskov substitution principle）
- 接口分离原则（Inversion Segregation principle）
- 依赖倒置原则（Dependency Inversion principle）

SOLID 主要围绕如何设计应用程序或微服务的内部层并解耦它们之间的依赖关系。它与领域无关，而是与应用程序的技术设计有关。最后的依赖倒置原则，可以让我们将基础架构层与其它层解耦，这样可以更好地解耦 DDD 中各层的实现。

DI 是实现依赖倒置原则的一种方式。它可实现在对象和依赖之间的弱耦合，而不是直接实例化，或使用静态引用的技术。类所需要的用于执行其操作的对象被提供（或“注入”）给类。通常，类通过构造函数声明其依赖，从而类遵循显式依赖原则。DI 通常基于特定的控制反转（IoC）容器。ASP.NET Core 提供了一个简单的内置 IoC 容器，但是也可以使用其他 IoC 容器，如 AutoFac 或 Ninject。

通过遵循 SOLID 原则，我们的类自然会变得更小、分解良好并易于测试。但如何才能知道是否有太多依赖项被注入到类中？如果通过构造函数使用 DI，那么只需要查看构造函数的参数个数就可以很容易地检测这一点。如果存在太多依赖，这通常是一个信号（有味道的代码）：想通过类做得事情太多了，还可能违背单一职责原则。

SOLID 原则的完整介绍完全可以写成一本书，因此本指南只要求大家对这些主题有最基本的了解。

其他资源

- **SOLID：基础 OOP 原则**
  http://deviq.com/solid/
- **控制反转容器和依赖注入模式**
  https://martinfowler.com/articles/injection.html
- **Steve Smith. New 是一种胶水**
  http://ardalis.com/new-is-glue

使用 Web API 实现微服务应用层

使用依赖注入将基础架构对象注入到应用层

如上文所述，应用层可作为正在构建的产品的一部分来实现。如在 Web API 项目或 MVC Web 应用项目中。在使用 ASP.NET Core 构建的微服务中，应用层通常是 Web API 库，如果希望将来自 ASP.NET Core（其基础架构和控制器）的部分从自定义应用层代码中分离，还可将应用层放在单独的类库中，但这是可选的。

例如，订单微服务的应用层代码直接实现为 Ordering.API 项目的一部分（ASP.NET Core Web API 项目），如图 9-23 所示。

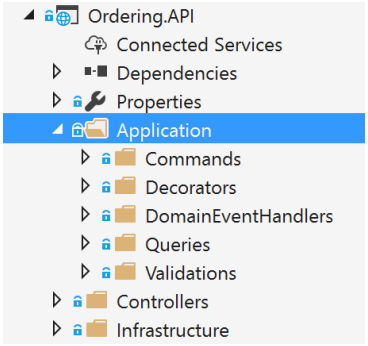


*图 9-23. **Ordering.API ASP.NET Core Web API 项目的应用层***

ASP.NET Core 包括一个简单的内置 IoC 容器（通过 IServiceProvider 接口表示），默认支持构造函数注入。ASP.NET 通过 DI 提供某些服务。ASP.NET Core 使用术语*服务*表示注册的，将通过 DI 注入的类型。在应用程序 Startup 类的 ConfigureServices 方法中配置内置容器的服务，即可将依赖项实现为服务所需类型。

通常我们希望注入实现基础架构对象的依赖项，仓储是一种典型的依赖注入。但也可注入任何所拥有的其它基础架构依赖项。对于更简单的实现，可直接注入工作单元模式对象（EF Context 对象），因为 DbContext 同样实现为基础架构持久对象。

在下列示例中可以看到.NET Core 如何通过构造函数注入仓储对象。该类是一个命令处理器，我们将在下一节中介绍。

```
// Sample command handler
public class CreateOrderCommandHandler
    : IAsyncRequestHandler<CreateOrderCommand, bool>
{
    private readonly IOrderRepository _orderRepository;
    private readonly IIdentityService _identityService;
    private readonly IMediator _mediator;

    // Using DI to inject infrastructure persistence Repositories
    public CreateOrderCommandHandler(IMediator mediator,
                                     IOrderRepository orderRepository,
                                     IIdentityService identityService)
    {
        _orderRepository = orderRepository ??
                           throw new ArgumentNullException(nameof(orderRepository));
        _identityService = identityService ??
                           throw new ArgumentNullException(nameof(identityService));
        _mediator = mediator ??
                                throw new ArgumentNullException(nameof(mediator));
    }

    public async Task<bool> Handle(CreateOrderCommand message)
    {
        // Create the Order AggregateRoot
        // Add child entities and value objects through the Order aggregate root
```

```
        // methods and constructor so validations, invariants, and business logic
        // make sure that consistency is preserved across the whole aggregate
        var address = new Address(message.Street, message.City, message.State,
                                  message.Country, message.ZipCode);
        var order = new Order(message.UserId, address, message.CardTypeId,
                              message.CardNumber, message.CardSecurityNumber,
                              message.CardHolderName, message.CardExpiration);

        foreach (var item in message.OrderItems)
        {
            order.AddOrderItem(item.ProductId, item.ProductName, item.UnitPrice,
                               item.Discount, item.PictureUrl, item.Units);
        }

        _orderRepository.Add(order);

        return await _orderRepository.UnitOfWork
            .SaveEntitiesAsync();
    }
}
```

该类使用注入的仓储来执行事务并持久化状态变更。该类具体是命令处理器、ASP.NET Core 的 Web API 控制器方法，或是 DDD 应用服务方法都无关紧要。终归这是一个简单的类，使用类似于命令处理器的仓储、领域实体和其它应用程序配合方法。依赖注入对所有提到的类使用相同的工作方式，如在使用基于构造函数的 DI 示例中所示。

注册依赖实现类型，接口或抽象

在使用通过构造函数注入的对象前，需要知道在何处注册接口并生产通过 DI 注入到应用程序类中的对象类（如前所述，DI 基于构造函数）。

使用 ASP.NET Core 内置的 IoC 容器

当使用由 ASP.NET Core 提供的内置 Ioc 容器时，要在 Startup.cs 文件的 ConfigureServices 方法中注册希望注入的类型，如下代码所示。

```
// Registration of types into ASP.NET Core built-in container
public void ConfigureServices(IServiceCollection services)
{
    // Register out-of-the-box framework services.
    services.AddDbContext<CatalogContext>(c =>
    {
        c.UseSqlServer(Configuration["ConnectionString"]);
    },
    ServiceLifetime.Scoped
    );
    services.AddMvc();
    // Register custom application dependencies.
    services.AddScoped<IMyCustomRepository, MyCustomSQLRepository>();
}
```

在注册类型到 IoC 容器时，最常见的模式是注册一对类型 - 接口和相关实现类。然后在通过构造函数从 IoC 容器请求对象时，会请求特定接口类型的对象。例如在上述示例中，最后一行代码指出，任何依赖 IMyCustomRepository（接口或抽象）的构造函数，IoC 容器将注入 MyCustomSQLRepository 实现类的实例。

使用 Scrutor 库实现自动类型注册

当在.NET Core 中使用 DI 时，可能希望扫描程序集并通过约定自动注册其类型。此功能目前在 ASP.NET Core 中不可用。但是可以使用 Scrutor 库来实现。需要在 IoC 容器中注册的类型时，此方法非常方便。

其他资源

- **Matthew King. 使用 Scrutor 注册服务**
  https://mking.io/blog/registering-services-with-scrutor
- **Kristian Hellang. Scrutor 的** GitHub 仓库
  https://github.com/khellang/Scrutor

使用 Autofac 作为 IoC 容器

我们还可以使用其它 IoC 容器并将其插入到 ASP.NET Core 处理管道中。eShopOnContainers 的订单微服务使用了 Autofac。使用 Autofac 时，通常通过模块注册类型，这样便可以根据类型的位置拆分多个文件间的注册类型。这种做法与将应用程序类型分布在多个类库中一样。

例如，以下代码是 Ordering.API Web API 项目中 Autofac 应用模块内希望注入的类型。

```
public class ApplicationModule : Autofac.Module
{
    public string QueriesConnectionString { get; }

    public ApplicationModule(string qconstr)
    {
        QueriesConnectionString = qconstr;
    }
    protected override void Load(ContainerBuilder builder)
    {
        builder.Register(c => new OrderQueries(QueriesConnectionString))
            .As<IOrderQueries>()
            .InstancePerLifetimeScope();

        builder.RegisterType<BuyerRepository>()
            .As<IBuyerRepository>()
            .InstancePerLifetimeScope();

        builder.RegisterType<OrderRepository>()
            .As<IOrderRepository>()
            .InstancePerLifetimeScope();
```

```
        builder.RegisterType<RequestManager>()
            .As<IRequestManager>()
            .InstancePerLifetimeScope();
    }
}
```

注册的过程和概念非常类似于使用内置 ASP.NET Core IoC 容器注册类型的方式，只是在使用 Autofac 时语法略有差异。

在示例代码中，抽象 IOrderRepository 与其实现类 OrderRepository 一起注册，这意味着每当构造函数通过 IOrderRepository 声明依赖项时，IoC 容器将注入 OrderRepository 类的实例。

实例作用域类型决定了实例如何在同一服务或依赖项的请求之间共享。当请求依赖项时，IoC 容器可以返回如下结果：

- 每个生命周期内的单个实例（在 ASP.NET Core 的 IoC 容器中称为 *scoped*）
- 每个依赖一个新实例（在 ASP.NET Core 的 IoC 容器中称为 *transient*）
- 在使用 IoC 容器的所有对象间共享的单个实例（在 ASP.NET Core 的 IoC 容器中称为 *singleton* ）

其他资源

- **ASP.NET Core 中的依赖注入简介**
  https://docs.microsoft.com/aspnet/core/fundamentals/dependency-injection
- **Autofac.** 官方文档
  http://docs.autofac.org/en/latest/
- **对比 ASP.NET Core IoC 容器服务生命周期和 Autofac IoC 容器示例范围 - Cesar de la Torre**
  https://blogs.msdn.microsoft.com/cesardelatorre/2017/01/26/comparing-asp-net-core-ioc-service-life-times-and-autofac-ioc-instance-scopes/

实现命令和命令处理器模式

在上一节展示的通过构造函数的 DI 示例中，IoC 容器通过类中的构造函数注入了仓储。但到底是在哪里注入的？在简单的 Web API（如 eShopOnContainers 中的目录微服务）中，可以在 MVC 控制器的构造函数中注入，但是在本节的初始代码（eShopOnContainers 中来自 Ordering.API 服务的 CreateOrderCommandHandler 类）中，依赖的注入通过特定命令处理器来完成。下文将介绍命令处理器是什么，以及为什么要使用。

命令模式本质上与本指南上文介绍的 CQRS 模式相关。CQRS 模式由两方面组成。首先是查询，通过 Dapper 微 ORM 使用简洁查询，上文已经介绍过。其次是命令，它是事务的起点，以及来自服务外部的输入通道。

如图 9-24 所示，该模式从客户端接收命令，基于领域模型规则处理，最终使用事务持久化状态。

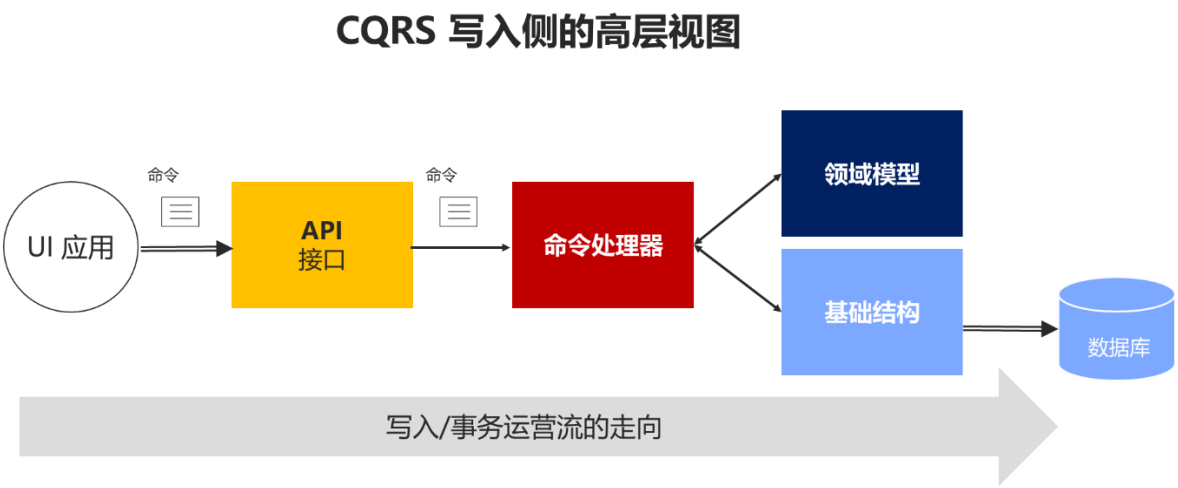


*图 9-24. **CQRS 模式中命令或“事务层面”的高级视图***

命令类

命令是请求系统执行改变系统状态的操作的请求。命令是强制的，应该只执行一次。

命令是强制的，所以通常使用命令语气中的谓词（如“创建”或“更新”）来命名，并可能包括聚合类型，如 CreateOrderCommand。与事件不同，命令不是过去的事实，仅是请求，因此可能被拒绝。

命令可源自来自 UI 的用户初始请求，或源自进程管理器指示聚合执行的操作。

命令的重要特征之一在于，它应该由一个接收器仅处理一次。原因在于，命令实际上是我们希望在应用程序中执行的单个操作或事务。例如，不应多次处理同一个创建订单命令。这是命令和事件间的一个重要区别。事件可能被多次处理，因为很多系统或微服务可能都对事件感兴趣。

此外，在命令非幂等的情况下，命令只处理一次是很重要的。如果命令可以执行多次而不改变结果，不管这是因为命令的本质，或是因为系统处理命令的方式导致的，则均可认为命令是幂等的。

作为最佳实践，可以在领域业务规则和不变量有意义的情况下，让命令和更新实现幂等。例如，使用同样的示例，如果由于任何原因（重试逻辑、黑客公机等），相同 CreateOrder 命令多次到达系统，应当能区分并确保不会多次创建订单。为此要在操作中附加某种标识，并确定是否已处理该命令或更新。

将命令发送到单个接收方，而不应将其发布出去。“发布”可用于说明事实的集成事件，即发生了某些事情，可能对事件接收器来说感兴趣。但是对于“事件”，发布者不关心哪些接收者得到了事件，或它们将用事件做什么。不过集成事件的相关问题已经在上文中专门讨论过了。

命令可实现为包含所有执行命令所需信息的数据字段或集合的类。命令是一种特殊的数据传输对象 (DTO)，是专门用于请求更新或事务的一种对象。该命令本身基于处理命令所需的信息，仅此而已。

如下代码展示了简化的 CreateOrderCommand 类，这是 eShopOnContainers 中用于订单服务的不变命令。

```
// DDD and CQRS patterns comment
// Note that it is recommended that you implement immutable commands
// In this case, immutability is achieved by having all the setters as private
// plus being able to update the data just once, when creating the object
// through the constructor.

// References on immutable commands:
// http://cqrs.nu/Faq
// https://docs.spine3.org/motivation/immutability.html
// http://blog.gauffin.org/2012/06/griffin-container-introducing-command-support/
// https://msdn.microsoft.com/library/bb383979.aspx

[DataContract]
public class CreateOrderCommand : IRequest<bool>
{
    [DataMember]
    private readonly List<OrderItemDTO> _orderItems;
    [DataMember]
    public string City { get; private set; }
    [DataMember]
    public string Street { get; private set; }
    [DataMember]
    public string State { get; private set; }
    [DataMember]
    public string Country { get; private set; }
    [DataMember]
    public string ZipCode { get; private set; }
    [DataMember]
    public string CardNumber { get; private set; }
    [DataMember]
    public string CardHolderName { get; private set; }
    [DataMember]
    public DateTime CardExpiration { get; private set; }
    [DataMember]
    public string CardSecurityNumber { get; private set; }
    [DataMember]
    public int CardTypeId { get; private set; }
    [DataMember]
    public IEnumerable<OrderItemDTO> OrderItems => _orderItems;

    public CreateOrderCommand()
    {
        _orderItems = new List<OrderItemDTO>();
    }

    public CreateOrderCommand(List<BasketItem> basketItems, string city,
        string street,
        string state, string country, string zipcode,
        string cardNumber, string cardHolderName, DateTime cardExpiration,
        string cardSecurityNumber, int cardTypeId) : this()
    {
        _orderItems = MapToOrderItems(basketItems);
        City = city;
        Street = street;
        State = state;
```

```
        Country = country;
        ZipCode = zipcode;
        CardNumber = cardNumber;
        CardHolderName = cardHolderName;
        CardSecurityNumber = cardSecurityNumber;
        CardTypeId = cardTypeId;
        CardExpiration = cardExpiration;
    }
    public class OrderItemDTO
    {
        public int ProductId { get; set; }
        public string ProductName { get; set; }
        public decimal UnitPrice { get; set; }
        public decimal Discount { get; set; }
        public int Units { get; set; }
        public string PictureUrl { get; set; }
    }
}
```

基本上，该命令类包含使用领域模型对象执行业务事务所需的所有数据。因此，命令是包含只读数据和没有行为的简单数据结构的。命令的名称代表了它的用途。在诸如 C#等很多语言中，命令可表示为类，但它们不是真正的面向对象意义上的类。

此外命令是不变的，因为预期的用法是它们由领域模型直接处理。在生命周期中命令不需要改变。在 C#类中，不变性可通过没有任何 Setter 或其它改变内部状态的方法来实现。

例如，用于创建订单的命令类在数据方面可能与要创建的订单数据类似，但可能不需要同样的特性。例如，CreateOrderCommand 没有订单 ID，因为订单尚未创建。

很多命令类可以很简单，只需要一些关于要改变状态的字段。如果只是需要将订单的状态从“处理中”更新为“已付款”或“已发货”，则使用类似下面的命令即可：

```
[DataContract]
public class UpdateOrderStatusCommand
    :IAsyncRequest<bool>
{
    [DataMember]
    public string Status { get; private set; }
    [DataMember]
    public string OrderId { get; private set; }
    [DataMember]
    public string BuyerIdentityGuid { get; private set; }
}
```

有些开发人员将他们的 UI 请求对象与命令 DTO 对象分开，但这只是偏好问题。这是一种乏味的拆分，没有多少附加值，对象几乎完全类似。例如在 eShopOnContainers 中，有些命令就直接来自客户端。

命令处理器类

我们应当为每个命令实现专用命令处理器类。这是该模式的工作方式，需要使用命令对象、领域对象和基础架构仓储对象。从 CQRS 和 DDD 的角度来说，命令处理器是应用层的核心。但是所有领域逻辑应当包含于领域类中 - 位于聚合根（根实体）、子实体、或领域服务中，但不能位于命令处理器中，命令处理器是来自应用层的类。

命令处理器接收命令，并从所用聚合根获得结果。结果或者是命令成功执行，否则是一个异常。在异常情况下，系统状态应不变。

命令处理器通常采取如下步骤：

- 接收命令对象，如 DTO （从中介或者其它基础架构对象）
- 验证命令有效（如果中介没有验证）
- 实例化当前命令，作为当前命令目标的聚合根对象实例
- 执行聚合根对象实例的方法，从命令获取必要的数据
- 将聚合的新状态持久化到相关的数据库。最后的操作是实际的事务

通常，命令处理器处理由聚合根（根实体）所驱动的单个聚合。如果多个聚合被接收的单个命令所影响，则可以使用领域事件在多个聚合间传播状态或操作。

这里的一个重点是：处理命令时，所有领域逻辑应当在领域模型（聚合）中，完全封装且单元测试就绪。命令处理器只是作为从数据库中获取领域模型的一种方式，作为最后一步，告知基础架构层（仓储）在模型修改后持久化更新。这种方式的好处是可在隔离的、完全封装的、丰富的行为领域模型上重构领域逻辑，而无需更新应用层或基础架构层，即管道级别代码（命令处理器、Web API、仓储等）。

当命令处理器变得复杂，逻辑太多时，意味着代码可能变味了。请检查这些代码，如果找到领域逻辑，请重构代码以将该领域行为转移到领域对象（聚合根和子实体）的方法中。

作为命令处理器示例，以下代码展示了在本章开头所看到的 CreateOrderCommandHandler 类。这里我们希望突出使用领域对象/聚合的处理方法和操作。

```
public class CreateOrderCommandHandler
    : IAsyncRequestHandler<CreateOrderCommand, bool>
{
    private readonly IOrderRepository _orderRepository;
    private readonly IIdentityService _identityService;
    private readonly IMediator _mediator;

    // Using DI to inject infrastructure persistence Repositories
    public CreateOrderCommandHandler(IMediator mediator,
                                     IOrderRepository orderRepository,
                                     IIdentityService identityService)
    {
```

```
        _orderRepository = orderRepository ??
                           throw new ArgumentNullException(nameof(orderRepository));
        _identityService = identityService ??
                           throw new ArgumentNullException(nameof(identityService));
        _mediator = mediator ??
                               throw new ArgumentNullException(nameof(mediator));
    }

    public async Task<bool> Handle(CreateOrderCommand message)
    {
        // Create the Order AggregateRoot
        // Add child entities and value objects through the Order aggregate root
        // methods and constructor so validations, invariants, and business logic
        // make sure that consistency is preserved across the whole aggregate

        var address = new Address(message.Street, message.City, message.State,
                                  message.Country, message.ZipCode);
        var order = new Order(message.UserId, address, message.CardTypeId,
                              message.CardNumber, message.CardSecurityNumber,
                              message.CardHolderName, message.CardExpiration);

        foreach (var item in message.OrderItems)
        {
            order.AddOrderItem(item.ProductId, item.ProductName, item.UnitPrice,
                               item.Discount, item.PictureUrl, item.Units);
        }

        _orderRepository.Add(order);

        return await _orderRepository.UnitOfWork
            .SaveEntitiesAsync();
    }
}
```

命令处理器应执行的其它步骤包括：

- 使用命令的数据操作聚合根的方法和行为
- 在领域对象内部，在执行事务时引发领域事件，但是从命令处理器的角度这是透明的。
- 如果聚合的操作成功完成且事务完成之后，引发集成事件命令处理程序。（这些也可能由诸如仓储的基础架构类所引发）

其他资源

- **Mark Seemann. 在边界，应用程序不是面向对象的**
  http://blog.ploeh.dk/2011/05/31/AttheBoundaries,ApplicationsareNotObject-Oriented/
- **命令和事件**
  http://cqrs.nu/Faq/commands-and-events
- **命令处理器是做什么的?**
  http://cqrs.nu/Faq/command-handlers

- **Jimmy Bogard. 领域命令模式——处理器**
  https://jimmybogard.com/domain-command-patterns-handlers/
- **Jimmy Bogard. 领域命令模式——验证**
  https://jimmybogard.com/domain-command-patterns-validation/

命令处理管道：如何触发命令处理器

下一个问题是如何调用命令处理器。我们可以从每个相关 ASP.NET Core 控制器中手工调用。然而这种方式过于耦合，并不理想。

另外两个主要选择（推荐选择）是：

- 通过内存中的中介者模式组件
- 在控制器和命令处理器之间使用异步消息队列

在命令管道中使用中介者模式（内存中）

如图 9-25 所示，在 CQRS 方式中使用了智能中介器。类似于内存中的总线，根据所接收到的命令或 DTO 类型重定向到正确的命令处理器。组件间的黑色箭头表示对象间的依赖关系（多数情况下通过 DI 注入）及其相关交互。

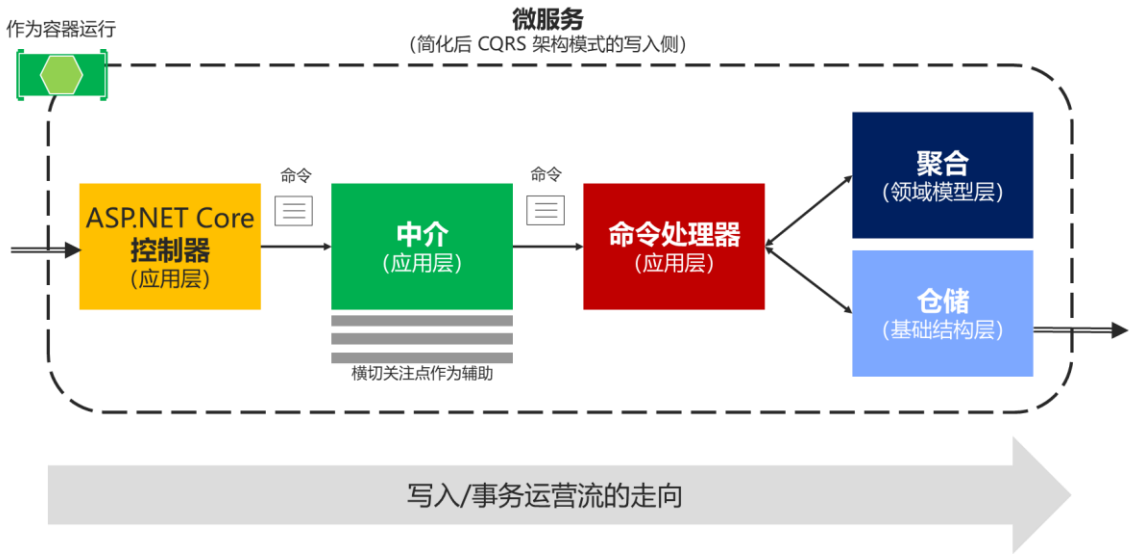


*图 9-25. **在单个 CQRS 微服务进程中使用中介者模式***

使用中介者模式的意义在于，在企业应用中，处理请求可能会变得复杂。我们可能希望加入开放的横切关注点（Cross-cutting concern），如日志记录、验证、审计和安全。在这些情况下，可以依赖中介者管道（参见中介者模式）为这些额外的行为或横切关注点提供支持。

中介者是封装该处理“如何做”的对象，它可根据状态、命令处理器调用方式，或提供给处理器的有效载荷来协调执行。借助中介者组件，可以通过使用修饰器（或来自 MediatR v3 的管道行为）以中心化和透明化的方式应用横切关注点。（更多信息，请参阅修饰模式）

修饰器和行为类似于面向切面编程（AOP），仅适用于由中介组件管理的特定处理管道。在 AOP 中，实现横切关注点的方面（Aspects）基于编译时注入的方面编织器（Aspect weaver）或基于对象调用拦截实现。这两种典型的 AOP 方式有时被认为“像魔术一样”，因为不容易看出 APO 是如何工作的。当处理严重问题或 Bug 时，AOP 方式难以调试。反过来说，这些修饰器/行为是显式的，只在中介者上下文中应用，因此调试更为容易预测和简单。

例如在 eShopOnContainers 的订单微服务中，我们实现了两个示例行为，一个 LogBehavior 类和一个 ValidatorBehavior 类。下文将通过展示 eShopOnContainers 如何使用 MediatR 3 介绍行为的实现。

在命令管道中使用消息队列（进程外）

另一个选择是使用基于 Broker 或消息队列的异步消息，如图 9-26 所示。该选择也可在命令处理器之前与中介组件组合在一起。

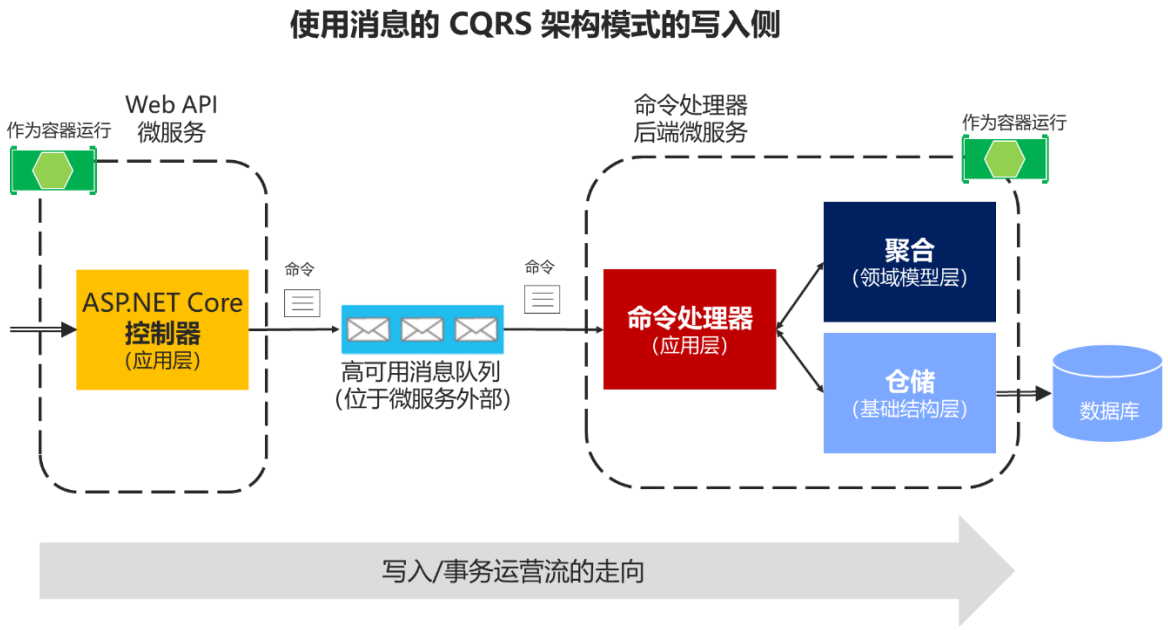


*图 9-26. **使用 CQRS 命令的消息队列（进程外通信和进程间通信）***

使用消息队列接收命令可能使得命令管道更为复杂，因为可能需要将管道拆分为两个通过外部消息队列连接的进程。但是如果需要基于异步消息传递改进可伸缩性和性能，则应该这样做。考虑到在图 9-26 中，MVC 控制器仅需要将命令消息投递到管道中并返回，随后命令处理器可按照自己的速度处理消息。对队列来说这是一个巨大优势，当需要更高可伸缩性时，队列可充当缓冲区，例如对于具有大量入口数据的股票或任何类似场景。

但是由于消息队列的异步特性，我们需要找出如何与客户端应用通信，以了解命令处理成功或失败。这里的规则是，永远不应使用“发射后不管”的命令。任何商业应用需要知道被处理的命令是否被成功，或者至少有效并被接受。

因此在验证提交给异步队列的命令消息后，能够对客户端做出响应，这种行为增加了系统复杂性，与在运行事务后返回操作结果的进程内命令进程相比，使用消息队列，可能需要通过其它操作结果消息来返回命令处理结果，这需要在系统中具备额外的组件和自定义通讯。

此外异步命令是单向命令，在许多场景下可能并不需要，正如 Burtsev Alexey 和 Greg Yound 的一次网聊中所做的有趣交流一样。

> *[Burtsev Alexey] 我发现人们大量使用异步命令处理或单向命令消息，而其实没有任何理由这样做（他们没有做长时间操作，也没有执行外部异步代码，甚至没有跨应用程序边界就使用消息总线）。为什么要引入这种不必要的复杂性？实际上，到目前为止，我都还没有看到一个 CQRS 的示例代码使用阻塞命令处理器，尽管在大多数情况下它都会正常工作。*
>
> *[Greg Young] 异步命令并不存在，它实际上是另一种事件。如果必须接收您发送给我的东西，如果我不同意的话，就抛出事件，这就不是您告诉我去做什么。这是您告诉我已经发生了什么。这与一开始似乎有点不同，但它有很多含义。*

异步命令极大增加了系统复杂性，因为缺乏指示失败的简单方式。因此除了需要伸缩性要求或特性情况下通过消息在内部微服务之间的通信，否则不建议使用异步消息命令。这些场景下，必须为故障设计一个单独的报告和恢复系统。

在初始版 eShopOnContainers 中，我们决定使用同步命令处理，从 HTTP 请求开始，由中介者模式驱动。这样便可很容易地返回处理结果的成功或失败，CreateOrderCommandHandler 中就是这样做的。

任何情况下，这都应该根据应用程序或微服务的业务需求来决定。

使用中介者模式（MediatR）实现命令处理管道

作为示例实现，本指南建议基于中介者模式的进程内管道来驱动命令接收，并将它们（在内存中）路由到正确的命令处理器。本指南还建议应用行为以分离横切关注点。

对于.NET Core 中的实现，有多个中介者模式的开源库可用。本指南使用了 MediatR 开源库（由 Jimmy Bogard 创建），但也可使用其它方式。MediatR 是一个小巧简单的库，可用于使用修饰器或行为处理内存中的消息，例如命令。

使用中介者模式有助于减少耦合，并隔离所请求的工作关注点，同时自动连接到执行该工作的处理器 - 这里，就是命令处理器。

在审阅本指南时，Jimmy Bogard 给出了另外一个使用中介者模式的好理由。

我认为最值得一提的是测试 - 它为系统行为提供了一个很好的一致窗口，请求进，响应出。我们发现在构建持续的行为测试方面相当有价值。

首先，一起通过示例 WebAPI 看看实际使用中介者对象的控制器代码。如果没有使用中介者对象，则需要为该控制器注入所有依赖项，如日志器对象或其它对象。因此构造函数将非常复杂。另外，如果使用中介者对象，控制器的构造函数将简单得多，如果每个横切操作都有一个依赖项，那么依赖项的数量也会少很多。如下示例所示：

```
public class MyMicroserviceController : Controller
{
    public MyMicroserviceController(IMediator mediator,
                                    IMyMicroserviceQueries microserviceQueries)
    // ...
```

可以看到，中介者提供了一个干净、精简的 Web API 控制器构造函数。此外在控制器方法中，向中介者对象发送命令的代码几乎就是一行。

```
[Route("new")]
[HttpPost]
public async Task<IActionResult> ExecuteBusinessOperation([FromBody]RunOpCommand
                                                          runOperationCommand)
{
    var commandResult = await _mediator.SendAsync(runOperationCommand);

    return commandResult ? (IActionResult)Ok() : (IActionResult)BadRequest();
}
```

实现幂等命令

在 eShopOnContainers 中，比上述示例更高级的做法是从 Ordering 微服务提交 CreateOrderCommand 对象的例子。但是由于 Ordering 业务流程略微复杂，在我们的例子中，它实际上是从购物篮微服务开始的，提交 CreateOrderCommand 对象的操作是从名为 UserCheckoutAcceptedIntegrationEvent.cs 的集成事件处理程序执行的，而不是像上文更简单的例子中那样，通过一个简单的客户端应用程序 WebAPI 控制器调用。

不过将命令提交给 MediatR 的操作非常相似，如下面的代码所示。

```
var createOrderCommand = new CreateOrderCommand(eventMsg.Basket.Items,
                                                 eventMsg.UserId, eventMsg.City,
                                                 eventMsg.Street, eventMsg.State,
                                                 eventMsg.Country, eventMsg.ZipCode,
                                                 eventMsg.CardNumber,
                                                 eventMsg.CardHolderName,
                                                 eventMsg.CardExpiration,
                                                 eventMsg.CardSecurityNumber,
                                                 eventMsg.CardTypeId);
```

```
var requestCreateOrder = new IdentifiedCommand<CreateOrderCommand,bool>(
                                                                    createOrderCommand,
                                                                    eventMsg.RequestId);
result = await _mediator.Send(requestCreateOrder);
```

但这种情况其实也有些高级，因为同时还实施了幂等指令。CreateOrderCommand 过程应该是幂等的，所以如果同一个消息通过网络重复（因为任何原因，如重试），最终只处理同一个业务订单。

这是通过封装业务命令（本例中为 CreateOrderCommand）并将其嵌入到通用 IdentifiedCommand 中实现的，后者由通过网络传递的每个消息的 ID 跟踪，该 ID 必须是幂等的。

在下列代码中可以看到，IdentifiedCommand 只不过是一个带有 ID 的 DTO 以及包装的业务命令对象。

```
public class IdentifiedCommand<T, R> : IRequest<R>
    where T : IRequest<R>
{
    public T Command { get; }
    public Guid Id { get; }

    public IdentifiedCommand(T command, Guid id)
    {
        Command = command;
        Id = id;
    }
}
```

随后，IdentifiedCommand 的 CommandHandler（名为 IdentifiedCommandHandler.cs）将主要检查作为消息一部分的 ID 是否已经存在于表中。如果已经存在，那么这个命令将不被再次处理，所以它的行为是幂等的。该基础结构代码由以下_requestManager.ExistAsync()方法调用执行。

```
// IdentifiedCommandHandler.cs

public class IdentifiedCommandHandler<T, R> :
                                    IAsyncRequestHandler<IdentifiedCommand<T, R>, R>
                                    where T : IRequest<R>
{
    private readonly IMediator _mediator;
    private readonly IRequestManager _requestManager;

    public IdentifiedCommandHandler(IMediator mediator,
                                     IRequestManager requestManager)
    {
        _mediator = mediator;
        _requestManager = requestManager;
    }

    protected virtual R CreateResultForDuplicateRequest()
    {
        return default(R);
    }
```

```
    public async Task<R> Handle(IdentifiedCommand<T, R> message)
    {
        var alreadyExists = await _requestManager.ExistAsync(message.Id);
        if (alreadyExists)
        {
            return CreateResultForDuplicateRequest();
        }
        else
        {
            await _requestManager.CreateRequestForCommandAsync<T>(message.Id);

            // Send the embeded business command to mediator
            // so it runs its related CommandHandler
            var result = await _mediator.Send(message.Command);

            return result;
        }
    }

}
```

由于 IdentifiedCommand 的行为类似于业务命令的卷宗，当业务命令需要处理时，由于它不是重复的 ID，那么将采用该内部业务命令并将其重新提交给 Mediator，如上所示代码的最后部分，从 IdentifiedCommandHandler.cs 运行_mediator.Send(message.Command)。

这样做的话，会链接并运行业务命令处理程序，此时将按照 Ordering 数据库运行事务的 CreateOrderCommandHandler，如以下代码所示：

```
// CreateOrderCommandHandler.cs

public class CreateOrderCommandHandler
                                    : IAsyncRequestHandler<CreateOrderCommand, bool>
{
    private readonly IOrderRepository _orderRepository;
    private readonly IIdentityService _identityService;
    private readonly IMediator _mediator;

    // Using DI to inject infrastructure persistence Repositories
    public CreateOrderCommandHandler(IMediator mediator,
                                     IOrderRepository orderRepository,
                                     IIdentityService identityService)
    {
        _orderRepository = orderRepository ??
                           throw new ArgumentNullException(nameof(orderRepository));
        _identityService = identityService ??
                           throw new ArgumentNullException(nameof(identityService));
        _mediator = mediator ??
                                throw new ArgumentNullException(nameof(mediator));
    }

    public async Task<bool> Handle(CreateOrderCommand message)
    {
        // Add/Update the Buyer AggregateRoot
```

```
        var address = new Address(message.Street, message.City, message.State,
                                  message.Country, message.ZipCode);
        var order = new Order(message.UserId, address, message.CardTypeId,
                              message.CardNumber, message.CardSecurityNumber,
                              message.CardHolderName, message.CardExpiration);

        foreach (var item in message.OrderItems)
        {
            order.AddOrderItem(item.ProductId, item.ProductName, item.UnitPrice,
                               item.Discount, item.PictureUrl, item.Units);
        }

        _orderRepository.Add(order);

        return await _orderRepository.UnitOfWork
            .SaveEntitiesAsync();
    }
}
```

注册 MediatR 使用的类型

为了使 MediatR 知道命令处理程序类，我们需要在 IoC 容器中注册中介类和命令处理程序类。默认情况下，MediatR 使用 Autofac 作为 IoC 容器，但也可以使用内置 ASP.NET Core IoC 容器或 MediatR 支持的任何其他容器。

下列代码展示了使用 Autofac 模块时如何注册 Mediator 类型和命令。

```
public class MediatorModule : Autofac.Module
{
    protected override void Load(ContainerBuilder builder)
    {
        builder.RegisterAssemblyTypes(typeof(IMediator).GetTypeInfo().Assembly)
            .AsImplementedInterfaces();

        // Register all the Command classes (they implement IAsyncRequestHandler)
        // in assembly holding the Commands
        builder.RegisterAssemblyTypes(
                              typeof(CreateOrderCommand).GetTypeInfo().Assembly).
                                   AsClosedTypesOf(typeof(IAsyncRequestHandler<,>));

        // Other types registration
        //...
    }
}
```

这是 MediatR“魔术发生”的地方。

由于每个命令处理程序都使用通用 IAsyncRequestHandler<T>实现接口，因此在注册程序集时，由于 CommandHandler 类中声明的关系，代码将 RegisterAssemblyTypes 中的所有类型都作为 RequestHandler 注册，同时将 CommandHandlers 与其命令相关联，例如下列代码：

```
public class CreateOrderCommandHandler
    : IAsyncRequestHandler<CreateOrderCommand, bool>
{
```

这是将命令与命令处理程序相关联的代码。该处理器只是一个简单的类，但它继承自 RequestHandler<T>，并且 MediatR 确保它被正确的载荷所调用。

在使用 MeadiatR 中的行为处理命令时应用横切关注点

我们可以应用横切关注点到 Mediator 管道中。此外我们也可以在 Autofac 注册模块的代码末尾看到它是如何注册行为类型的，具体来说，这是一个自定义的 LoggingBehavior 类和一个 ValidatorBehavior 类。但是也可以添加其他必要的自定义行为。

```
public class MediatorModule : Autofac.Module
{
    protected override void Load(ContainerBuilder builder)
    {
        builder.RegisterAssemblyTypes(typeof(IMediator).GetTypeInfo().Assembly)
            .AsImplementedInterfaces();

        // Register all the Command classes (they implement IAsyncRequestHandler)
        // in assembly holding the Commands
        builder.RegisterAssemblyTypes(
                               typeof(CreateOrderCommand).GetTypeInfo().Assembly).
                                    AsClosedTypesOf(typeof(IAsyncRequestHandler<,>));

        // Other types registration
        //...

        builder.RegisterGeneric(typeof(LoggingBehavior<,>)).
                                                    As(typeof(IPipelineBehavior<,>));

        builder.RegisterGeneric(typeof(ValidatorBehavior<,>)).
                                                    As(typeof(IPipelineBehavior<,>));

    }
}
```

LoggingBehavior 类可实现为下列代码，它记录了正在执行的命令处理程序的信息，以及执行结果。

```
public class LoggingBehavior<TRequest, TResponse>
        : IPipelineBehavior<TRequest, TResponse>
{
    private readonly ILogger<LoggingBehavior<TRequest, TResponse>> _logger;
    public LoggingBehavior(ILogger<LoggingBehavior<TRequest, TResponse>> logger) =>
                                                                _logger = logger;

    public async Task<TResponse> Handle(TRequest request,
                                        RequestHandlerDelegate<TResponse> next)
    {
        _logger.LogInformation($"Handling {typeof(TRequest).Name}");
        var response = await next();
        _logger.LogInformation($"Handled {typeof(TResponse).Name}");
```

```
        return response;
    }
}
```

只要实现这个行为类并注册行为类型，所有通过 MediatR 处理的命令将被记录关于执行的信息。

eShopOnContainers 中 Ordering 微服务还为基本验证应用了第二种行为，即依赖于 FluentValidation 库的 ValidatorBehavior 类，如下代码所示：

```
public class ValidatorBehavior<TRequest, TResponse>
         : IPipelineBehavior<TRequest, TResponse>
{
    private readonly IValidator<TRequest>[] _validators;
    public ValidatorBehavior(IValidator<TRequest>[] validators) =>
                                                        _validators = validators;

    public async Task<TResponse> Handle(TRequest request,
                                        RequestHandlerDelegate<TResponse> next)
    {
        var failures = _validators
            .Select(v => v.Validate(request))
            .SelectMany(result => result.Errors)
            .Where(error => error != null)
            .ToList();

        if (failures.Any())
        {
            throw new OrderingDomainException(
                $"Command Validation Errors for type {typeof(TRequest).Name}",
                        new ValidationException("Validation exception", failures));
        }

        var response = await next();
        return response;
    }
}
```

随后，我们基于 FluentValidation 库创建了对使用 CreateOrderCommand 传递的数据进行的验证，如下代码所示：

```
public class CreateOrderCommandValidator : AbstractValidator<CreateOrderCommand>
{
    public CreateOrderCommandValidator()
    {
        RuleFor(command => command.City).NotEmpty();
        RuleFor(command => command.Street).NotEmpty();
        RuleFor(command => command.State).NotEmpty();
        RuleFor(command => command.Country).NotEmpty();
        RuleFor(command => command.ZipCode).NotEmpty();
        RuleFor(command => command.CardNumber).NotEmpty().Length(12, 19);
        RuleFor(command => command.CardHolderName).NotEmpty();
        RuleFor(command =>
command.CardExpiration).NotEmpty().Must(BeValidExpirationDate).WithMessage("Please
specify a valid card expiration date");
```

```
        RuleFor(command => command.CardSecurityNumber).NotEmpty().Length(3);
        RuleFor(command => command.CardTypeId).NotEmpty();
        RuleFor(command =>
command.OrderItems).Must(ContainOrderItems).WithMessage("No order items found");
    }

    private bool BeValidExpirationDate(DateTime dateTime)
    {
        return dateTime >= DateTime.UtcNow;
    }

    private bool ContainOrderItems(IEnumerable<OrderItemDTO> orderItems)
    {
        return orderItems.Any();
    }
}
```

我们还可以创建其它验证，借此用干净、优雅的方式执行命令验证。

借助类似方式，我们还可以实现其他行为，进而在处理命令时应用其他方面或横切关注点。

其他资源

中介者模式

- **中介者模式**
  https://en.wikipedia.org/wiki/Mediator_pattern

修饰器模式

- **修饰器模式**
  https://en.wikipedia.org/wiki/Decorator_pattern

MediatR (Jimmy Bogard)

- **MediatR.** GitHub 仓库.
  https://github.com/jbogard/MediatR
- **使用 MediatR 和 AutoMapper 的 CQRS**
  https://lostechies.com/jimmybogard/2015/05/05/cqrs-with-mediatr-and-automapper/
- **将您的控制器加入饮食：POST 和命令**
  https://lostechies.com/jimmybogard/2013/12/19/put-your-controllers-on-a-diet-posts-and-commands/
- **使用中介者管道应对横切关注点**
  https://lostechies.com/jimmybogard/2014/09/09/tackling-cross-cutting-concerns-with-a-mediator-pipeline/
- **CQRS 和 REST：最佳搭档**
  https://lostechies.com/jimmybogard/2016/06/01/cqrs-and-rest-the-perfect-match/
- **MediatR 管道示例**
  https://lostechies.com/jimmybogard/2016/10/13/mediatr-pipeline-examples/
- **针对 MediatR 和 ASP.NET Core 的垂直切片测试**
  https://lostechies.com/jimmybogard/2016/10/24/vertical-slice-test-fixtures-for-mediatr-and-asp-net-core/

- **微软依赖注入的 MediatR 扩展现已发布**
  https://lostechies.com/jimmybogard/2016/07/19/mediatr-extensions-for-microsoft-dependency-injection-released/

Fluent 验证

- **Jeremy Skinner. FluentValidation.** GitHub 仓库.
  https://github.com/JeremySkinner/FluentValidation

实现弹性应用

愿景

微服务和基于云的应用程序一定会包含终将发生的局部故障。我们需要设计应用程序，以便其能够从局部故障中恢复。

弹性是指从故障中恢复并继续工作的能力。它并不是为了避免故障，而是接受故障终将发生的事实，以避免停机或丢失数据的方式作出响应。弹性的目标是在故障后将应用程序恢复到完全正常运行的状态。

设计和部署基于微服务的应用程序很有挑战性。但是我们还要在某种必然发生故障的环境下确保应用程序运行。因此应用程序应该具有弹性。应用程序应被设计为可应对局部故障，如网络故障、节点或云中虚拟机崩溃，甚至集群中微服务（容器中)转移到其它节点，导致应用程序出现间歇性短暂故障。

应用程序中的很多独立组件还应包含运行状态监视功能。通过本章准则，即使在复杂的，或基于云的部署中出现短暂停机或常规故障的情况下，应用程序也可以顺利工作。

处理局部故障

在分布式系统，例如基于微服务的应用程序中，经常存在部分故障的风险。例如，微服务/容器可能失败，或者短时间内无法响应，或者虚拟机或服务器可能崩溃。由于客户端和服务端是独立进程，因此服务可能无法及时响应客户端的请求。服务可能过载，导致请求响应速度非常慢，或由于网络问题服务短时间不可用。

例如可以仔细考虑 eShopOnContainers 示例应用中的“订单详情页”。当用户试图提交订单时，订单微服务没有响应，这就是客户端进程（MVC 应用程序）错误实现的一个范例— 例如，如果客户端代码使用没有超时的同步 RPC 调用，将导致阻塞线程无限地等待响应。除了糟糕的用户体验，每个无响应的等待都会消耗或阻塞线程，而线程在高度可伸缩的应用程序中是极其珍贵的资源。如果有很多阻塞的线程，最终应用程序的运行时将耗尽线程。在这种情况下，应用程序可能变的全面不响应，而不是局部不响应，如图 10-1 所示。

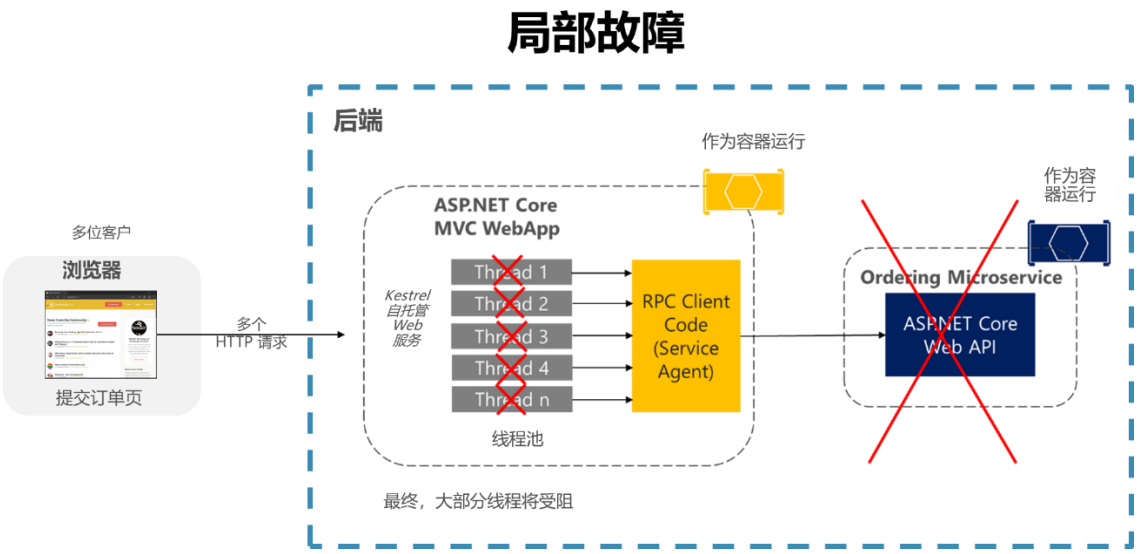


*图 10-1. **由于影响服务线程可用性的依赖关系导致部分故障***

在基于微服务的大型应用程序中，任何局部故障都可能会被放大，特别是如果大部分内部微服务基于同步 HTTP 调用协作时（这被认为是反模式）。考虑一下每天接收数以百万计传入调用的系统。如果系统有一个基于长链同步 HTTP 调用的错误设计，这些传入调用可能导致数百万的传出调用（假设比率为 1：4）被发送给数十个作为同步依赖的内部微服务。这种情况如图 10-2 所示，尤其是依赖#3。

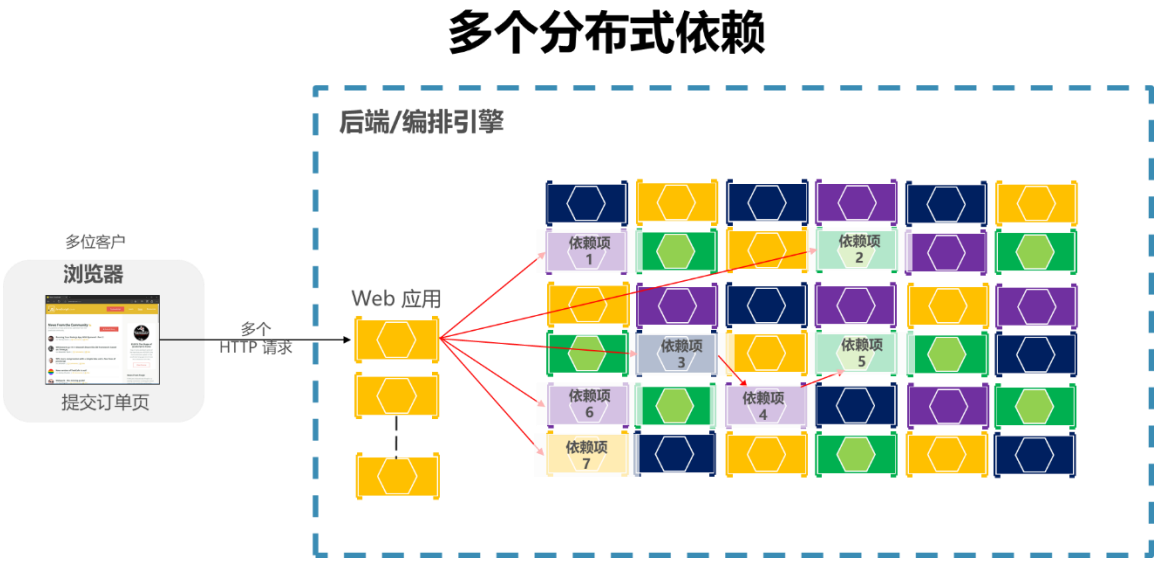


*图 10-2. **具有长链 HTTP 请求的错误设计的影响***

在分布式和云系统中，即使每个依赖项本身具有很好的可用性，间歇性故障也肯定会发生。这个问题必须妥善考虑。

如果没有设计和实现用以确保容错的技术，即使小的停机也可能被放大。例如，由于连锁反应，每个月有 99.99%可用性的 50 个依赖项都会导致数小时停机。当一个微服务依赖项在处理大量请求时失败，该故障会很快导致每个服务中的所有可用请求线程饱和，使整个应用程序崩溃。

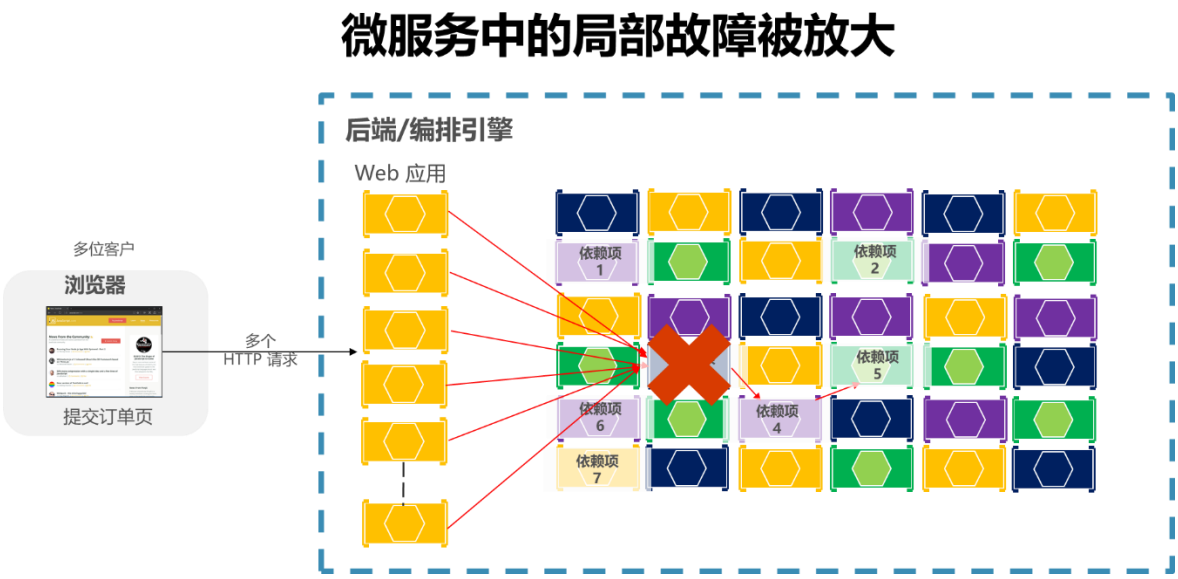


图 10-3. 具有长链的同步 HTT 调用的微服务放大局部故障

为了最大限度减少此类问题，在“异步微服务集成强制微服务自治”一节中（在体系结构章节中），我们鼓励大家在跨内部微服务调用中使用异步通讯。下一节将简要说明。

此外，设计微服务和客户端以处理局部故障是很有必要的，我们需要构建有弹性的微服务和客户端应用程序。

处理局部故障的策略

处理局部故障的策略包括：

在内部微服务间使用异步通讯（如基于消息的通讯）。最好不要在内部微服务间创建同步 HTTP 调用的长链，因为错误的设计终将成为导致故障停机的主要原因。相反，除了客户端应用程序和第一级微服务或细粒度的 API 网关间的前端通信外，在初始的请求/响应周期后，建议仅使用异步（基于消息）通信。最终一致性和事件驱动架构将有助于最大限度地减少涟漪效应。这些方法强制执行较高级别的微服务自治，防止此处提到的问题。

使用指数补偿重试。当服务仅在短期内不可用时，通过一定次数的重试调用，有助于避免短时间和间歇性故障。这可能是在间歇性网络故障的情况下，或在微服务/容器迁移到集群中其它节点时发生。但是如果这些重试没有用断路器模式恰当设计，还会加剧连锁反应，最终导致拒绝服务（DoS）。

解决网络超时。通常，客户端应设计为非无限期阻塞，并在等待响应时始终使用超时。使用超时可确保资源不会无限期地被占用。

使用断路器模式。在这种方式中，客户端进程会跟踪失败请求的数量。如果错误率超过配置的限制，则触发“断路器”跳闸，从而使进一步的尝试立即失败。（如果大量请求失败，则表明该服务不可用，继续发送请求毫无意义）在超时之后，客户端应再次尝试，如果新请求成功，则关闭断路器。

提供回退。在这种方式中，客户端进程在请求失败时执行回退逻辑，例如返回缓存的数据或默认值。这是适合查询的方式，对于更新或者命令则更为复杂。

限制排队请求的数量。客户端应对微服务客户端可以发送到特定服务的未完成请求数量施加上限。如果已经达到上限，继续发出请求可能毫无意义，这些尝试应立即失败。在实施方面，Polly 隔板隔离策略可以用来满足这一需求。该方法实质上是一个并行的节流 SemaphoreSlim 实现。它也允许在隔板外面有一个“队列”。即使在执行前，我们也可以预先将超出的负荷入库（例如当认为容量已满时）。这使得它对某些故障场景的响应比断路器速度更快，因为断路器等待故障发生。Polly 隔板策略对象暴露隔板和队列“满”的程度，并提供了溢出事件，所以也可以用于自动化的水平缩放。

其他资源

- **弹性模式**
  https://docs.microsoft.com/azure/architecture/patterns/category/resiliency
- **添加弹性和优化性能**
  https://msdn.microsoft.com/library/jj591574.aspx
- **Bulkhead.** GitHub 仓库。使用 Polly 策略实现
  https://github.com/App-vNext/Polly/wiki/Bulkhead
- **为 Azure 设计弹性应用**
  https://docs.microsoft.com/azure/architecture/resiliency/
- **瞬态故障处理**
  https://docs.microsoft.com/azure/architecture/best-practices/transient-faults

使用指数补偿实现重试

使用指数补偿重试是一种尝试重试操作的技术，使用指数递增的等待时间，直到达到最大重试次数（指数补偿）。该技术包含了这样一个事实：由于任何原因，云资源可能间歇性地不可用几秒钟。例如，编排引擎可能将容器转移到集群中的另一个节点以进行负载均衡。在这段时间内，有些请求可能会失败。另一个示例可能是类似 Azure SQL 这样的数据库，数据库可以转移到另一台服务器进行负载均衡，导致数据库在数秒内不可用。

有多种方式来实现具有指数补偿的重试逻辑。

实现弹性 Entity Framework Core SQL 连接

对于 Azure SQL 数据库，Entity Framework Core 库已提供了内部数据连接的弹性和重试逻辑。如果希望拥有弹性 EF Core 连接，需要对每个 DbContext 连接启用 Entity Framework 执行策略。

例如，下列代码在 EF Core 连接层启用了“如果连接失败则进行重试”的弹性 SQL 连接。

```
// Startup.cs from any ASP.NET Core Web API
public class Startup
{
    // Other code ...
    public IServiceProvider ConfigureServices(IServiceCollection services)
    {
       // ...
       services.AddDbContext<OrderingContext>(options =>
          {
             options.UseSqlServer(Configuration["ConnectionString"],
                                  sqlServerOptionsAction: sqlOptions =>
                                  {
                                      sqlOptions.EnableRetryOnFailure(
                                          maxRetryCount: 5,
                                          maxRetryDelay: TimeSpan.FromSeconds(30),
                                          errorNumbersToAdd: null);
                                    });
          });
    }
//...
```

执行策略和使用 BeginTransaction 和多 DbContexts 的显式事务

当在 EF Core 连接中启用重试时，使用 EF Core 执行的每个操作都是独立的可重试操作。如果发生瞬时故障，则每个查阅和每个对 SaveChanges 的调用都将作为一个单元进行重试。

但是如果代码使用 BeginTransaction 启动事务，则要定义自己的一组需要视为一个单元的操作，如果发生故障，事务内所有操作都将被回滚。如果在使用 EF 执行策略（重试策略）时尝试执行该事务，并且在事务中包含多个 DbContexts 的 SaveChanges 调用，则会看到类似下面的异常。

```
System.InvalidOperationException: The configured execution strategy
'SqlServerRetryingExecutionStrategy' does not support user initiated
transactions. Use the execution strategy returned by
'DbContext.Database.CreateExecutionStrategy()' to execute all the operations in
the transaction as a retriable unit.
```

解决方案是用表示所有需要执行的内容的委托来手动调用 EF 执行策略。如果发生瞬时故障，执行策略将重新调用该委托。例如，下面的代码演示了在更新产品，然后需要使用不同 DbContext 来保存 ProductPriceChangedIntegrationEvent 对象的情况下，如何在 eShopOnContainers 中实现使用两个 DbContext（_catalogContext 和 IntegrationEventLogContext）的做法。

```
public async Task<IActionResult> UpdateProduct([FromBody]CatalogItem
                                                productToUpdate)
{
```

```
    // Other code ...

    // Update current product
    catalogItem = productToUpdate;

    // Use of an EF Core resiliency strategy when using multiple DbContexts
    // within an explicit transaction
    // See:
    // https://docs.microsoft.com/ef/core/miscellaneous/connection-resiliency
    var strategy = _catalogContext.Database.CreateExecutionStrategy();

    await strategy.ExecuteAsync(async () =>
    {
        // Achieving atomicity between original Catalog database operation and the
        // IntegrationEventLog thanks to a local transaction
        using (var transaction = _catalogContext.Database.BeginTransaction())
        {
            _catalogContext.CatalogItems.Update(catalogItem);
            await _catalogContext.SaveChangesAsync();

            // Save to EventLog only if product price changed
            if (raiseProductPriceChangedEvent)
                await _integrationEventLogService.SaveEventAsync(priceChangedEvent);

            transaction.Commit();
        }
    });
```

第一个 DbContext 是_catalogContext，第二个 DbContext 在_integrationEventLogService 对象中。Commit 使用了 EF 执行策略执行跨多个 DbContext 的操作。

其他资源

- **Entity Framework 中的弹性连接和命令捕获**
  https://docs.microsoft.com/azure/architecture/patterns/category/resiliency
- **Cesar de la Torre. 使用弹性的 EF Core SQL 连接和事务**
  https://blogs.msdn.microsoft.com/cesardelatorre/2017/03/26/using-resilient-entity-framework-core-sql-connections-and-transactions-retries-with-exponential-backoff/

使用自定义的带有指数补偿的 HTTP 调用重试

为了创建弹性微服务，需要处理可能出现的 HTTP 故障场景。为此可以使用指数补偿来创建自己的重试实现。

除了处理暂时的资源不可用，指数补偿还需要考虑云提供商可能会限制资源的可用性，以防止资源使用过量。例如，非常快速地创建过多连接请求，可能被云提供商视为拒绝服务(DoS)攻击。因此在遇到容量阈值时，需要提供一种机制来相应缩减连接请求。

作为初步探索，可以使用指数补偿工具类实现自己的代码，例如如在 RetryWithExponentialBackoff.cs 中添加如下代码（代码也在 GitHub 仓库中）。

```
public sealed class RetryWithExponentialBackoff
```

```
{
    private readonly int maxRetries, delayMilliseconds, maxDelayMilliseconds;

    public RetryWithExponentialBackoff(int maxRetries = 50,
                                       int delayMilliseconds = 200,
                                       int maxDelayMilliseconds = 2000)
    {
        this.maxRetries = maxRetries;
        this.delayMilliseconds = delayMilliseconds;
        this.maxDelayMilliseconds = maxDelayMilliseconds;
    }

    public async Task RunAsync(Func<Task> func)
    {
        ExponentialBackoff backoff = new ExponentialBackoff(this.maxRetries,
                                         this.delayMilliseconds,
                                         this.maxDelayMilliseconds);
        retry:
        try
        {
            await func();
        }
        catch (Exception ex) when (ex is TimeoutException ||
                                   ex is System.Net.Http.HttpRequestException)
        {
            Debug.WriteLine("Exception raised is: " +
                            ex.GetType().ToString() +
                            " -Message: " + ex.Message +
                            " -- Inner Message: " +
                            ex.InnerException.Message);
            await backoff.Delay();
            goto retry;
        }
    }
}
public struct ExponentialBackoff
{
    private readonly int m_maxRetries, m_delayMilliseconds, m_maxDelayMilliseconds;
    private int m_retries, m_pow;

    public ExponentialBackoff(int maxRetries, int delayMilliseconds,
                              int maxDelayMilliseconds)
    {
        m_maxRetries = maxRetries;
        m_delayMilliseconds = delayMilliseconds;
        m_maxDelayMilliseconds = maxDelayMilliseconds;
        m_retries = 0;
        m_pow = 1;
    }

    public Task Delay()
    {
        if (m_retries == m_maxRetries)
        {
            throw new TimeoutException("Max retry attempts exceeded.");
        }
        ++m_retries;
        if (m_retries < 31)
```

```
        {
            m_pow = m_pow << 1; // m_pow = Pow(2, m_retries - 1)
        }
        int delay = Math.Min(m_delayMilliseconds * (m_pow - 1) / 2,
                             m_maxDelayMilliseconds);
        return Task.Delay(delay);
    }
}
```

在 C#客户端应用程序中（其他 Web API 客户微服务，ASP.NET MVC 应用，甚至 C# Xamarin 应用程序），这些代码的使用都很简单。下面的示例演示了如何使用 HttpClient 类。

```
public async Task<Catalog> GetCatalogItems(int page,int take, int? brand, int? type)
{
    _apiClient = new HttpClient();
    var itemsQs = $"items?pageIndex={page}&pageSize={take}";
    var filterQs = "";

    var catalogUrl =
        $"{_remoteServiceBaseUrl}items{filterQs}?pageIndex={page}&pageSize={take}";
    var dataString = "";
    //
    // Using HttpClient with Retry and Exponential Backoff
    //
    var retry = new RetryWithExponentialBackoff();
    await retry.RunAsync(async () =>
   {
        // work with HttpClient call
        dataString = await _apiClient.GetStringAsync(catalogUrl);
    });

    return JsonConvert.DeserializeObject<Catalog>(dataString);
}
```

但是此代码仅适用于作为概念验证。下一节将介绍如何使用更为复杂和经过验证的库。

使用基于 Polly 的指数补偿实现 HTTP 调用重试

使用指数补偿重试的推荐用法是利用更高级的.NET 库，如开源的 Polly 库。

Polly 是一个提供弹性和瞬时故障处理能力的.NET 库。我们可以通过应用 Polly 策略，如重试、断路器、隔舱隔离、超时和回退，轻松实现这些功能。Polly 支持.NET 4.x 和.NET Standard 库 1.0（支持.NET Core）。

eShopOnContainers 中的 HTTP 重试就是通过 Polly 重试策略实现的。我们可以实现一个接口，这样即可选择注入标准 HttpClient 或使用 Polly 的 HttpClient 弹性版本，具体取决于想使用的重试策略配置。

下列示例演示了在 eShopOnContainers 中的接口实现。

```
public interface IHttpClient
{
    Task<string> GetStringAsync(string uri, string authorizationToken = null,
```

```
                                string authorizationMethod = "Bearer");

    Task<HttpResponseMessage> PostAsync<T>(string uri, T item,
                            string authorizationToken = null, string requestId = null,
                            string authorizationMethod = "Bearer");

    Task<HttpResponseMessage> DeleteAsync(string uri,
                            string authorizationToken = null, string requestId = null,
                            string authorizationMethod = "Bearer");
    // Other methods ...
}
```

如果不想使用弹性机制，就像在开发或测试更简单的方法时一样，此时可以使用标准实现。下列代码展示了在允许可选带有身份验证令牌请求的情况下，标准的 HttpClient 实现。

```
public class StandardHttpClient : IHttpClient
{
    private HttpClient _client;
    private ILogger<StandardHttpClient> _logger;

    public StandardHttpClient(ILogger<StandardHttpClient> logger)
    {
        _client = new HttpClient();
        _logger = logger;
    }
    public async Task<string> GetStringAsync(string uri,
                                             string authorizationToken = null,
                                             string authorizationMethod = "Bearer")
    {
        var requestMessage = new HttpRequestMessage(HttpMethod.Get, uri);
        if (authorizationToken != null)
        {
            requestMessage.Headers.Authorization =
             new AuthenticationHeaderValue(authorizationMethod, authorizationToken);
        }

        var response = await _client.SendAsync(requestMessage);
        return await response.Content.ReadAsStringAsync();
    }

    public async Task<HttpResponseMessage> PostAsync<T>(string uri, T item,
                string authorizationToken = null, string requestId = null,
                string authorizationMethod = "Bearer")
    {
    // Rest of the code and other Http methods ...
```

此外还有一个有趣的实现，我们可以开发另一个类似的类，但这次使用 Polly 实现希望使用的弹性机制，在下列示例中，展示了带有指数补偿的重试。

```
public class ResilientHttpClient : IHttpClient
{
    private HttpClient _client;
    private PolicyWrap _policyWrapper;
    private ILogger<ResilientHttpClient> _logger;
```

```
    public ResilientHttpClient(Policy[] policies,
                               ILogger<ResilientHttpClient> logger)
    {
        _client = new HttpClient();
        _logger = logger;

        // Add Policies to be applied
        _policyWrapper = Policy.WrapAsync(policies);
    }

    private Task<T> HttpInvoker<T>(Func<Task<T>> action)
    {
        // Executes the action applying all
        // the policies defined in the wrapper
        return _policyWrapper.ExecuteAsync(() => action());
    }

    public Task<string> GetStringAsync(string uri,
                                       string authorizationToken = null,
                                       string authorizationMethod = "Bearer")
    {
        return HttpInvoker(async () =>
        {
            var requestMessage = new HttpRequestMessage(HttpMethod.Get, uri);


            // The Token's related code eliminated for clarity in code snippet


            var response = await _client.SendAsync(requestMessage);
            return await response.Content.ReadAsStringAsync();
        });
    }
    // Other Http methods executed through HttpInvoker so it applies Polly policies
    // ...
}
```

使用 Polly，我们可以使用重试次数、指数补偿配置，以及在出现 HTTP 异常（如记录错误）时要执行的操作来定义重试策略。在此例中，策略配置为在 IoC 容器中注册类型时重试指定的次数。由于指数补偿配置，当代码检测到 HttpRequest 异常时，基于策略的配置方式，会在等待一段呈指数增长的时间后重试 Http 请求。

重要的是 HttpInvoker 方法，它在这个工具类中负责调用 HTTP 请求。该方法在内部调用 _policyWrapper.ExecuteAsync 执行 HTTP 请求，同时考虑重试策略。在 eShopOnContainers 中可在 IoC 容器中注册类型时指定 Polly 策略，如下代码来自 MVC Web 应用的 startup.cs 类。

```
// Startup.cs class

if (Configuration.GetValue<string>("UseResilientHttp") == bool.TrueString)
{
    services.AddTransient<IResilientHttpClientFactory,
                          ResilientHttpClientFactory>();

    services.AddSingleton<IHttpClient,
```

```
                            ResilientHttpClient>(sp =>
                                    sp.GetService<IResilientHttpClientFactory>().
                                                        CreateResilientHttpClient());
}
else
{
    services.AddSingleton<IHttpClient, StandardHttpClient>();
}
```

注意 IHttpClient 对象做为单例而非瞬态被实例化，这样服务就可以有效使用 TCP 连接，且不会发生套接字的问题。

但是关于弹性的重要一点是，在 CreateResilientHttpClient 方法中的 ResilientHttpClientFactory 中应用了 Polly 的 WaitAndRetryAsync 策略，如下述代码所示：

```
public  ResilientHttpClient CreateResilientHttpClient()
        => new ResilientHttpClient(CreatePolicies(), _logger);
// Other code

private Policy[] CreatePolicies()
    => new Policy[]
    {
        Policy.Handle<HttpRequestException>()
        .WaitAndRetryAsync(
            // number of retries
            6,
            // exponential backoff
            retryAttempt => TimeSpan.FromSeconds(Math.Pow(2, retryAttempt)),
            // on retry
            (exception, timeSpan, retryCount, context) =>
            {
                var msg = $"Retry {retryCount} implemented with Pollys
                    RetryPolicy " +
                    $"of {context.PolicyKey} " +
                    $"at {context.ExecutionKey}, " +
                    $"due to: {exception}.";
                _logger.LogWarning(msg);
                _logger.LogDebug(msg);
            }),
    }
```

实现断路器模式

如前所述，当尝试连接的远程服务或资源发生故障时，可能需要处理需要一段时间才能恢复的错误。处理这种类型的故障可以提高应用程序的稳定性和弹性。

在分布式环境下，对远程资源和服务的调用可能会由于瞬态故障，例如网络连接速度慢和超时，或资源缓慢或暂时不可用而失败。这些故障通常会在很短时间内自行修复，而健壮的云应用程序应该准备好使用类似重试模式这样的策略来处理它们。

但是也可能是由于无法预料的事件造成故障，可能需要更长时间才能修复。在严重程度上，这些故障可能包括从部分连接丢失到服务完全失败等。在这些情况下，应用程序不断重试不太可能成功，操作可能毫无意义。相反，应该将应用程序编码为接受操作失败并相应地处理故障。

断路器模式的用途与重试模式不同。重试模式使应用程序能够在期望操作最终成功时执行重试操作。断路器模式可防止应用程序执行可能失败的操作。应用程序可以组合这两种模式，使用重试模式并通过断路器调用操作。但是重试逻辑应对断路器所返回的任何异常敏感，如果断开则表明故障不是瞬态的，应放弃重试尝试。

使用 Polly 实现断路器模式

在实现重试时，建议的断路器方式是利用经过验证的.NET 库，如 Polly。

eShopOnContainers 应用程序在实现 HTTP 重试时使用了 Polly 的断路器策略。实际上，应用程序将这两种策略应用于 ResilientHttpClient 使用工具类。无论何时使用 ResilientHttpClient 的对象进行 HTTP 请求时（来自 eShopOnContainers），都将同时应用这些策略，但也可以添加其它策略。

在这里，相对于 HTTP 调用重试代码，唯一的变化在于将断路器策略添加到要使用的策略列表中的代码，如下代码结尾处所示。

```
public  ResilientHttpClient CreateResilientHttpClient()
        => new ResilientHttpClient(CreatePolicies(), _logger);

private Policy[] CreatePolicies()
    => new Policy[]
    {
        Policy.Handle<HttpRequestException>()
        .WaitAndRetryAsync(
            // number of retries
            6,
            // exponential backofff
            retryAttempt => TimeSpan.FromSeconds(Math.Pow(2, retryAttempt)),
            // on retry
            (exception, timeSpan, retryCount, context) =>
            {
                var msg = $"Retry {retryCount} implemented with Polly
                    RetryPolicy " +
                    $"of {context.PolicyKey} " +
                    $"at {context.ExecutionKey}, " +
                    $"due to: {exception}.";
                _logger.LogWarning(msg);
                _logger.LogDebug(msg);
            }),
        Policy.Handle<HttpRequestException>()
        .CircuitBreakerAsync(
            // number of exceptions before breaking circuit
            5,
            // time circuit opened before retry
            TimeSpan.FromMinutes(1),
            (exception, duration) =>
            {
                // on circuit opened
```

```
                _logger.LogTrace("Circuit breaker opened");
            },
            () =>
            {
                // on circuit closed
                _logger.LogTrace("Circuit breaker reset");
            })};
    }
```

该代码将策略添加到 HTTP 包装器中。该策略定义了当代码检测到指定数量的连续异常（行中的异常）时打开断路器，如在 exceptionsAllowedBeforeBreaking 参数中传递的那样（本例中为 5）。当断路器打开时，HTTP 请求不会工作，但会抛出异常。

如果在与执行 HTTP 调用的客户端应用程序或服务不同的环境中部署的特定资源可能存在问题，则还应使用断路器将请求重定向到后备基础架构。这样，如果数据中心的中断仅影响后端微服务，而非客户端应用程序，则客户端应用程序可以重定向到后备服务。Polly 正在计划一个新的策略来自动化该故障转移策略。

当然，所有这些特性都是针对在.NET 代码中管理故障转移的情况，而不是使用带有位置透明性的 Azure 自动为您管理。

从 eShopOnContainers 使用 ResilientHttpClient 工具类

使用 ResilientHttpClient 实用工具类的方法与使用.NET HttpClient 类的方式类似。在下列示例中，从 eShopOnContainers 的 MVC Web 应用程序(OrderController 使用的 OrderingService 代理类)中，通过构造函数的 httpClient 参数注入 ResilientHttpClient 对象。然后该对象用于执行 HTTP 请求。

```
public class OrderingService : IOrderingService
{
    private IHttpClient _apiClient;
    private readonly string _remoteServiceBaseUrl;
    private readonly IOptionsSnapshot<AppSettings> _settings;
    private readonly IHttpContextAccessor _httpContextAccesor;

    public OrderingService(IOptionsSnapshot<AppSettings> settings,
                           IHttpContextAccessor httpContextAccesor,
                           IHttpClient httpClient)
    {
        _remoteServiceBaseUrl = $"{settings.Value.OrderingUrl}/api/v1/orders";
        _settings = settings;
        _httpContextAccesor = httpContextAccesor;
        _apiClient = httpClient;
    }

    async public Task<List<Order>> GetMyOrders(ApplicationUser user)
    {
        var context = _httpContextAccesor.HttpContext;
        var token = await context.Authentication.GetTokenAsync("access_token");

        _apiClient.Inst.DefaultRequestHeaders.Authorization = new
```

```
                System.Net.Http.Headers.AuthenticationHeaderValue("Bearer", token);
        var ordersUrl = _remoteServiceBaseUrl;
        var dataString = await _apiClient.GetStringAsync(ordersUrl);
        var response = JsonConvert.DeserializeObject<List<Order>>(dataString);

        return response;
    }
    // Other methods ...

    async public Task CreateOrder(Order order)
    {
        var context = _httpContextAccesor.HttpContext;
        var token = await context.Authentication.GetTokenAsync("access_token");
        _apiClient.Inst.DefaultRequestHeaders.Authorization = new
                System.Net.Http.Headers.AuthenticationHeaderValue("Bearer", token);
        _apiClient.Inst.DefaultRequestHeaders.Add("x-requestid",
                                                  order.RequestId.ToString());
        var ordersUrl = $"{_remoteServiceBaseUrl}/new";
        order.CardTypeId = 1;
        order.CardExpirationApiFormat();
        SetFakeIdToProducts(order);
        var response = await _apiClient.PostAsync(ordersUrl, order);
        response.EnsureSuccessStatusCode();
    }
}}
```

每当使用_appClient 成员对象时，其内部会使用 Polly 策略的包装类 - 重试策略、断路器策略和任何其它可能需要的应用从 Polly 收集的策略集。

在 eShopOnContainers 中测试重试

在 Docker 主机中启动 eShopOnContainers 解决方案时，需要启动多个容器。一些容器的启动和初始化比较慢，如 SQL Server 容器。特别是第一次在 Docker 中部署 eShopOnContainers 应用时尤其如此，因为需要设置镜像和数据库。某些容器比其它容器启动慢的事实造成其它服务开始抛出 HTTP 异常，甚至在 Docker 编排级别设置了容器之的依赖之后也会如此。容器间的 Docker 编排依赖仅仅处于进程级别。容器的入口点进程可能已经启动，但是 SQL Server 可能并没有准备好接受查询。结果可能是一连串的错误，应用程序在尝试使用特定容器时得到异常。

当应用程序部署到云，可能还会在启动时看到这种类型的错误。这种情况下，在平衡群集节点上的容器数量时，编排引擎可能会将容器从一个节点或虚拟机转移到另一个（即启动新实例）。

eShopOnContainers 解决这个问题的方式是使用上文介绍的重试模式。这也是为什么在启动应用程序时，可能得到如下日志跟踪或警告的原因：

```
"Retry 1 implemented with Polly's RetryPolicy, due to:
System.Net.Http.HttpRequestException: An error occurred while sending the
request. ---> System.Net.Http.CurlException: Couldn't connect to server\n   at
System.Net.Http.CurlHandler.ThrowIfCURLEError(CURLcode error)\n   at  [...].
```

在 eShopOnContainers 中测试断路器

我们可以通过多种方式打开断路，并在 eShopOnContainers 中测试。

一种方式是在断路器策略中将最低允许的重试次数设置为 1，重新在 Docker 中部署整个解决方案。使用单次重试，很有可能在部署期间 HTTP 请求就将失败，断路器被打开，并收到错误。

另一种方式是在购物篮微服务中实现自定义的中间件。启动此中间件后，将捕获所有 HTTP 请求并返回状态码 500。我们可以通过对故障 URI 发出 GET 请求来启用中间件，如下所示：

- `GET /failing`

  该请求返回中间件的当前状态。如果中间件启用，则请求返回状态码 500。如果中间件被禁用，则无响应。

- `GET /failing?enable`

  该请求可启用中间件

- `GET /failing?disable`

  该请求可禁用中间件

例如，一旦应用程序运行，可以在浏览器中使用如下 URI 来发出请求以启用中间件。注意订单微服务使用的端口是 5103。

```
http://localhost:5103/failing?enable
```

我们可以使用 URI http://localhost:5103/failing 来检查状态，如图 10-4 所示。

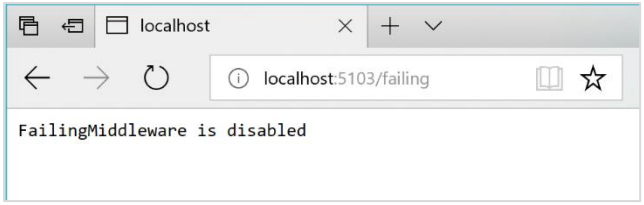


图 10-4. 检查“故障” ASP.NET 中间件的状态，在这个场景下被禁用了。

此时，无论何时通过调用访问，购物篮微服务都会返回响应码 500。

一旦中间件运行，可以尝试从 MVC Web 应用程序中创建订单。因为请求失败，断路器将打开。

在下列示例中，可以看到 MVC Web 应用程序在下订单的逻辑中存在一个 catch 块。如果代码捕获到断路器打开的异常，将向用户显示一条友好的消息，让用户稍等片刻。

```
public class CartController : Controller
{
    //…
    public async Task<IActionResult> Index()
    {
        try
        {
            //… Other code
```

```
        }
        catch (BrokenCircuitException)
        {
            // Catch error when Basket.api is in circuit-opened mode
            HandleBrokenCircuitException();
        }
        return View();
    }

    private void HandleBrokenCircuitException()
    {
        TempData["BasketInoperativeMsg"] = "Basket Service is inoperative, please
try later on. (Business Msg Due to Circuit-Breaker)";
    }
}
```

总结来说，重试策略可尝试多次以发出 HTTP 请求并获取 HTTP 错误。当尝试次数达到为断路器设置的最大值（本例中为 5）时，应用程序抛出 BrokenCircuitException 异常。结果可以显示友好的消息，如图 10-5 所示。

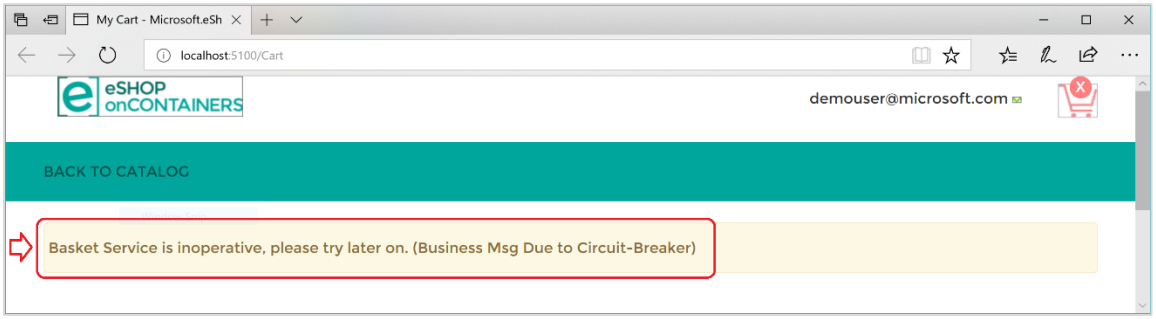


*图 10-5. **断路器向 UI 返回错误***

我们可以实现不同逻辑来决定何时打开断路器，在具备后备数据中心或冗余后端系统的情况下，可以对其他后端微服务尝试 HTTP 请求。

最后，CircuitBreakerPolicy 的另一种可能是使用 Isolate（强制打开并保持打开断路器）和 Reset（再次关闭）。这可用于构建一个实用工具 HTTP 端点，直接调用 Isolate 和 Reset 策略。这样的 HTTP 端点也可在生产中用于临时隔离下游系统，例如在升级系统时使用。或者可以手工触发，以保护怀疑有故障的下游系统。

在重试策略中添加抖动策略

常规的重试策略可以在高并发、可伸缩和高争用的情况下影响系统。为克服在部分停机时来自大量客户端的类似重试峰值，一个很好的方案是在重试算法/策略中添加抖动策略。这可以通过在指数补偿中增加随机性来改善端对端系统的整体性能。当问题发生时，借此可分散峰值。使用 Polly 时，实现抖动的代码可能类似如下示例。

```
Random jitterer = new Random();
```

```
Policy
  .Handle<HttpResponseException>() // etc
  .WaitAndRetry(5,    // exponential back-off plus some jitter
      retryAttempt => TimeSpan.FromSeconds(Math.Pow(2, retryAttempt))
                    + TimeSpan.FromMilliseconds(jitterer.Next(0, 100))
  );
```

其他资源

- **重试模式**
  https://docs.microsoft.com/azure/architecture/patterns/retry
  弹性连接（Entity Framework Core）
  https://docs.microsoft.com/ef/core/miscellaneous/connection-resiliency
- **Polly**（.NET 弹性和瞬态故障处理库）
  https://github.com/App-vNext/Polly
- **断路器模式**
  https://docs.microsoft.com/azure/architecture/patterns/circuit-breaker
- **Marc Brooker. Jitter: 随机性让事情变得更好**
  https://brooker.co.za/blog/2015/03/21/backoff.html

运行状况监测

运行状况监测可以提供关于应用程序和微服务近乎实时的状态信息。运行状况监测对于运营微服务的多个方面至关重要，并且在协调分阶段应用程序升级时尤为重要，如后所述。

基于微服务的应用程序经常使用心跳或运行状况检查来启用性能监视器、调度器和编排引擎，以跟踪众多服务。如果服务不能按需或按计划发送某类“我还活着”的信号，则在部署升级时，应用程序可能会面临风险，或者只是太晚检测到故障，无法阻止可能导致主要宕机的级联故障。

在典型的模式中，服务发送关于状态的报告，并将信息聚合起来，以提供应用程序运行状况的整体视图。如果使用编排引擎，可以为编排引擎群集提供运行状况信息以便群集可以采取相应行动。如果为应用程序定制高质量的运行状况报告，就可以更轻松地检测并修复运行中的应用程序问题。

在 ASP.NET Core 服务中实现运行状况检查

在开发 ASP.NET Core 微服务或 Web 应用程序时，可以使用 ASP.NET 团队提供的 HealthChecks 库（早期预览版已发布到 GitHub）。

该库易于使用，可提供一些可以帮助我们验证应用程序所需任何特定外部资源（如 SQL Server 数据库或远程 API）是否正常工作的特性。使用该库时，还可以定义可将资源视作正常运行的具体条件，如后所述。

为使用此库，首先要在微服务中使用该库。其次，需要一个前端应用来查询运行状况报告。前端应用可以是定制的报告应用，或编排引擎本身，它可以对运行状况做出相应的反应。

在后端 ASP.NET 微服务中使用 HealthChecks 库

我们可以在 eShopOnContainers 示例应用程序中看到 HealthChecks 库的用法。首先，需要定义构成每个微服务运行状况的要素。在示例应用程序中，如果微服务 API 可通过 HTTP 访问，且相关 SQL Server 数据库也可用，则微服务是正常的。

我们还可进一步通过 NuGet 包来安装 HealthChecks 库。但直到撰写本书时，还是需要下载并编译代码作为应用程序的一部分。克隆 https://github.com/dotnet-architecture/HealthChecks 中的代码，复制如下文件夹到解决方案中。

```
src/common
src/Microsoft.AspNetCore.HealthChecks
src/Microsoft.Extensions.HealthChecks
src/Microsoft.Extensions.HealthChecks.SqlServer
```

我们还可以使用类似 Azure(Microsoft.Extensions.HealthChecks.AzureStorage)的其它检查，但由于此版本的 eShopOnContainers 对 Azure 没有任何依赖，因此实际并不需要。此时不能使用 ASP.NET 的运行状况检查，因为 eShopOnContainers 基于 ASP.NET Core。

图 10-6 展示了在 Visual Studio 中的 healthChecks 库，作为编译块可以被任何微服务所使用。

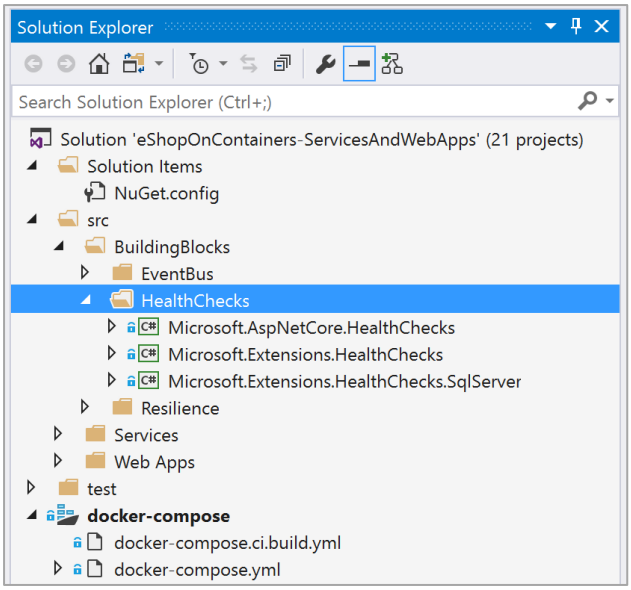


*图 10-6. **Visual Studio 解决方案中的 ASP.NET Core HealthChecks 库源码***

如前所述，在每个微服务项目中要做的第一件事是添加对三个 HealthChecks 库的引用。随后添加要在该微服务中执行的运行状况检查操作。这些操作基本上依赖于其它微服务（HttpUrlCheck）或数据库（当前 SqlCheck*用于 SQL Server 数据库）。请在每个 ASP.NET 微服务或 ASP.NET Web 应用程序的启动类中添加操作。

每个服务或 Web 应用程序都应通过将其所有 HTTP 或数据库依赖作为一个方法 AddHealthCheck 进行配置。例如，eShopOnContainers 的 MVC Web 应用程序依赖许多服务，因此有多个 AddCheck 方法添加到运行状况检查中。

例如在下列代码中，可以看到 catelog 微服务添加了对 SQL Server 数据库的依赖项。

```
// Startup.cs from Catalog.api microservice
//
public class Startup
{
  public void ConfigureServices(IServiceCollection services)
  {
    // Add framework services
    services.AddHealthChecks(checks =>
    {
        checks.AddSqlCheck("CatalogDb", Configuration["ConnectionString"]);
    });
    // Other services
  }
}
```

但是 eShopOnContainers 的 MVC Web 应用程序对其它微服务有多个依赖项。因此它为每个微服务调用一个 AddUrlCheck 方法，如下示例所示。

```
// Startup.cs from the MVC web app
public class Startup
{
  public void ConfigureServices(IServiceCollection services)
  {
    services.AddMvc();
    services.Configure<AppSettings>(Configuration);

    services.AddHealthChecks(checks =>
    {
        checks.AddUrlCheck(Configuration["CatalogUrl"]);
        checks.AddUrlCheck(Configuration["OrderingUrl"]);
        checks.AddUrlCheck(Configuration["BasketUrl"]);
        checks.AddUrlCheck(Configuration["IdentityUrl"]);
    });
  }
}
```

直到微服务所有检查都正常，微服务才会提供“正常”状态。

如果微服务不依赖其它服务或 SQL Server，可以仅添加一个 Healthy(“OK”)检查。下列代码来自 eShopOnContainers 的 **basket.api** 微服务。（购物篮微服务使用 Redis 缓存，但是该库不包含 Redis 运行状况检查提供器。）

```
services.AddHealthChecks(checks =>
{
   checks.AddValueTaskCheck("HTTP Endpoint", () => new
                   ValueTask<IHealthCheckResult>(HealthCheckResult.Healthy("Ok")));
});
```

要使服务或 Web 应用程序公开运行状况检查端点，必须启用 UserHealthChecks（[url_for_health_checks]）扩展方法。此方法位于 ASP.NET Core 或 Web 应用程序的 Main 方法中的 WebHostBuilder 级别，如下面代码所示紧随 UseKestrel。

```
namespace Microsoft.eShopOnContainers.WebMVC
{
    public class Program
    {
        public static void Main(string[] args)
        {
            var host = new WebHostBuilder()
                .UseKestrel()
                .UseHealthChecks("/hc")
                .UseContentRoot(Directory.GetCurrentDirectory())
                .UseIISIntegration()
                .UseStartup<Startup>()
                .Build();
            host.Run();
        }
    }
}
```

该过程的工作方式如下：每个微服务公开端点/hc。该端点由 HealthChecks 库 ASP.NET Core 中间件创建。当调用该端点时，它运行在 Startup 类中 AddHealthChecks 方法配置的所有运行状况检查。

UseHealthChecks 方法需要一个端口或路径。该端口或路径是用于检查服务运行状态的端点。例如，目录微服务使用路径为/hc。

缓存运行状况检查响应

如果不希望在服务中导致拒绝服务（DoS），或只是不希望由于频繁检查资源而影响服务性能，可以缓存检查结果并为每个运行状况配置缓存的持续时间。

默认情况下，缓存的持续时间内部设置为 5 分钟，但可更改每个运行状况检查的缓存时间，如下代码所示。

```
checks.AddUrlCheck(Configuration["CatalogUrl"], 1);  // 1 min as cache duration
```

查询微服务以报告其运行状况

如果已经按此处所述配置了运行状况检查，一旦微服务运行在 Docker 中，可直接从浏览器检查是否正常。（这需要将容器端口映射到宿主机，以便直接通过 localhost 或外部 Docker Host IP 访问）。图 10-7 展示了浏览器中的请求和相应的响应。

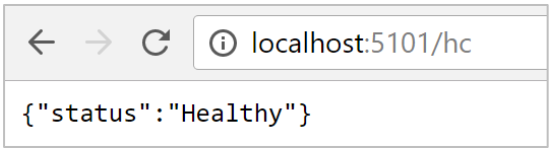


图 10-7. 通过浏览器检查单个服务的运行状况

在这个测试中可以看到 catalog.api 微服务（运行在 5101 端口）是正常的，返回了 HTTP 状态码 200 以及 JSON 格式的状态信息。它还意味着在内部还检查了 SQL Server 数据库依赖关系的运行状况，并报告其同样正常。

使用 Watchdog

Watchdog 是一种独立服务，可监视服务的运行状况和负载，并通过查询上文介绍的 HealthChecks 库来报告微服务运行状况。这有助于防止基于单个服务视图而无法检测到的错误。Watchdog 也适合在没有用户交互的情况下，放置对已知条件进行补救操作的代码。

eShopOnContainers 示例中包含一个 Web 页面显示运行状况监测报告。如图 10-8 所示。这是可使用的最简单的 Watchdog，因为它所做的事情只是显示 eShopOnContainers 中微服务和 Web 应用程序的状态。通常，Watchdog 在检测到不正常状态时也会采取行动。

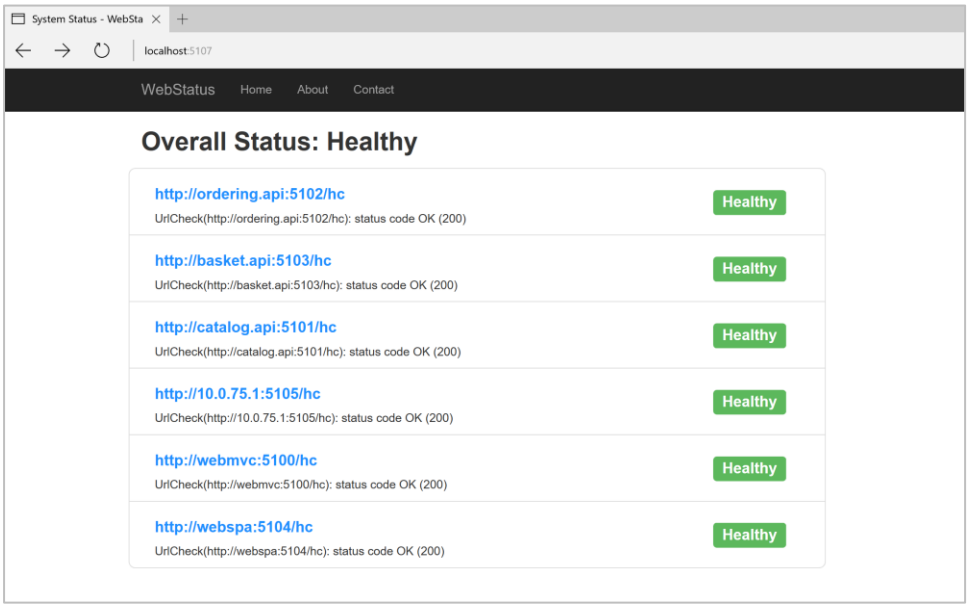


图 10-8. 在 eShopOnContainers 中的示例运行状况监测报告

总之，ASP.NET Core 的中间件 HealthChecks 库为每个微服务提供了单一运行状况检查端点。其将执行定义的所有运行状况检查，并根据所有这些检查返回整体运行状况状态。

HealthChecks 库可通过进一步对外部资源添加新的运行状况检查以进行扩展。例如，我们预计将来该库将对 Redis 缓存和其它数据库进行运行状况检查。该库允许由多个服务或应用程序依赖项进行运行状况报告，随后即可根据这些运行状况检查执行操作。

使用编排引擎时的运行状况检查

为了监视微服务的可用性，诸如 Docker Swarm、Kubernetes 和 Service Fabric 等编排引擎会定期发送请求来测试微服务执行运行状况检查。当编排引擎检测到某个服务/容器不再正常时，将停止对该实例的路由请求。通常还会创建该容器的一个新实例。

例如，大部分编排引擎可以使用运行状况检查来管理零停机部署。只有当服务/容器的状态变为正常时，编排引擎才会开始将通信路由到服务/容器实例。

当编排引擎执行应用程序升级时，运行状况监视尤为重要。有些编排引擎（如 Azure Service Fabric）分阶段更新服务，例如，每个应用程序升级可能更新 1/5 的群集。同时升级的节点集合称为升级域。升级每个升级域并可供使用后，升级域必须在部署转移到下一个升级域之前成功通过运行状况检查。

服务运行状况的另一方面是源自服务的报告指标。这是某些编排引擎运行状况模型的高级功能，例如 Service Fabric。在使用编排引擎时，度量指标非常重要，它们可用于平衡资源的使用。指标也可以是系统运行状况的指示器。例如，可能有一个具备很多微服务的应用程序，每个实例都报告每秒请求（RPS）量。如果一个服务正在使用比其它服务更多的资源（内存、处理器等），则编排引擎可以在群集中移动服务实例，以便尝试保持均衡的资源利用率。

请注意，如果使用 Azure Service Frabic，它将提供自己的运行状况监视模型，这比简单的运行状况检查更为高级。

高级监视：可视化、分析和警报

监视的最后一部分是可视化事件流，报告服务性能，并在检测到问题时发出警报。我们可以在这方面使用多种不同解决方案。

例如可以使用简单的定制应用程序来展示服务状态。就像在解释 ASP.NET Core HealthChecks 时显示的自定义页面一样。或者，可以使用更高级的工具，如 Azure Application Insight 和 Operations Management Suite，来根据事件流发出警报。

最后，如果存储了所有事件流，则可以使用 Microsoft Power BI 或第三方解决方案（如 Kibana 或 Splunk）来可视化数据。

其他资源

- **ASP.NET Core HealthChecks**（早期发布版本）
  https://github.com/aspnet/HealthChecks/
- **Service Fabric 运行状况监视简介**
  https://docs.microsoft.com/azure/service-fabric/service-fabric-health-introduction
- **Azure Application Insights**
  https://azure.microsoft.com/services/application-insights/
- **Microsoft Operations Management Suite**
  https://www.microsoft.com/cloud-platform/operations-management-suite

保护.NET 微服务和 Web 应用程序

在.NET 微服务和 Web 应用程序中实现验证

通常，服务所公开的资源和 API 必须仅限受信任的特定用户和客户端访问。进行此类 API 级别决策的第一步是身份验证。验证是可靠确定用户身份的过程。

在微服务场景中，身份验证通常统一处理。如果使用 API 网关，则网关是进行验证的好位置，如图 11-1 所示。如果使用这种方式，请确保无法直接（不通过 API 网关）访问微服务，除非有其它的安全机制来验证消息是否来自网关。

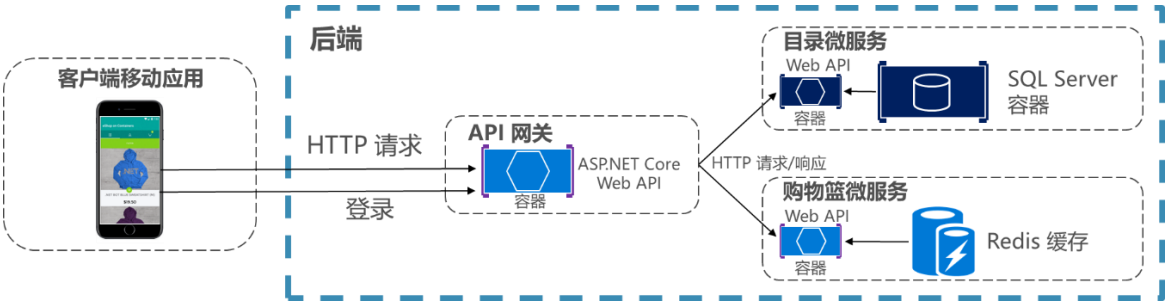


*图 11-1. **使用 API 网关中心化验证***

如果服务可被直接访问，可以用诸如 Azure 活动目录的验证服务或类似安全令牌服务（STS）的专用验证微服务验证用户身份。信任决策是在具有安全令牌或 Cookie 的服务间共享的。（如果需要，可在应用程序间共享带有数据保护服务的 ASP.NET Core）。此模式如图 11-2 所示。

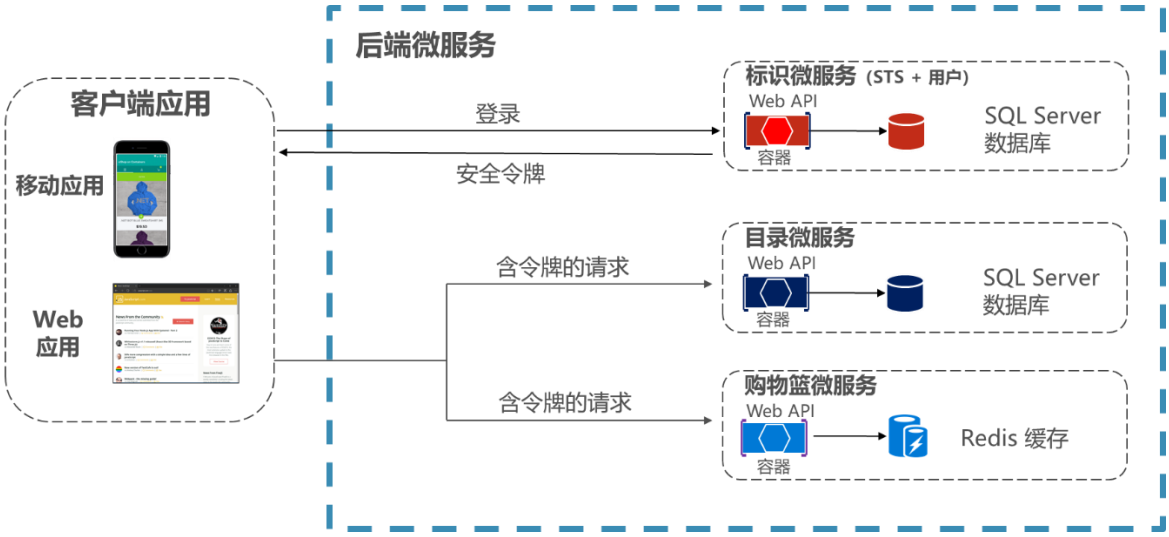


*图 11-2. **使用共享授权令牌的身份验证微服务验证***

使用 ASP.NET Core Identity 验证

ASP.NET Core 中用于验证用户的主要机制是 ASP.NET Core Identity 成员系统。ASP.NET Core Identity 在开发人员配置的数据存储区中存储用户信息（包括登录信息、角色和声明）。通常，ASP.NET Core Identity 数据存储在由 Microsoft.AspNetCore.Identity.EntityFrameworkCore 包提供的 Entity Framework 存储。但也可使用自定义存储或第三方包在 Azure 表存储、DocumentDB 或其它位置存储标识信息。

下列代码取自使用独立用户账户身份验证的 ASP.NET Core Web 应用程序项目模板。它显示了在启动配置方法中使用 Entity Framework Core 配置 ASP.NET Core 的方法。

```
services.AddDbContext<ApplicationDbContext>(options =>
    options.UseSqlServer(Configuration.GetConnectionString("DefaultConnection")));
services.AddIdentity<ApplicationUser, IdentityRole>()
    .AddEntityFrameworkStores<ApplicationDbContext>()
    .AddDefaultTokenProviders();
```

配置 ASP.NET Core Identity 后，就可在服务的 Startup.Configure 方法中调用 app.UserIdentity 启用。

使用 ASP.NET Core Identity 可实现以下几种情况：

- 使用 UserManager 类型创建新用户信息（UserManager.CreateAsync）
- 使用 SignInManager 类型验证用户。可以使用 signInManager.SignInAsync 直接登录，或使用 signInManager.PasswordSignInAsync 确认用户的口令是正确的，然后登录。
- 基于存储在 Cookie 中的信息（由 ASP.NET Core 中间件读取）识别用户，以便在浏览器的后继请求中包含登录用户的身份和声明。

ASP.NET Identity Core 还支持双因子验证。

对于使用本地用户数据存储，并在请求间使用 Cookie 保持身份的身份验证场景（如典型的 MVC Web 应用程序），ASP.NET Core Identity 是一个推荐的解决方案。

使用外部提供器验证

ASP.NET Core 还支持使用外部验证提供器通过 OAuth 2.0 流登录。这意味着用户可使用来自 Microsoft、Google、Facebook 或 Twitter 等供应商的现有身份验证过程登录，并将这些身份与 ASP.NET Core Identity 应用程序中的身份关联起来。

若要使用外部身份验证，请在应用程序的 HTTP 请求处理管道中包括适当的身份验证中间件。该中间件负责处理从身份验证提供器返回的 URI 路由请求，捕获身份信息并通过 SignInManager.GetExternalLoginInfo 方法使其可用。

下面列出了流行的外部身份验证提供器及其相关 NuGet 包：

提供器	包
Microsoft	Microsoft.AspNetCore.Authentication.MicrosoftAccount
Google	Microsoft.AspNetCore.Authentication.Google
Facebook	Microsoft.AspNetCore.Authentication.Facebook
Twitter	Microsoft.AspNetCore.Authentication.Twitter

任何情况下，中间件都通过在 Startup.Configure 中调用类似 app.Use{ExternalProvider}Authentication 的注册方法注册。这些注册方法接收提供器所需的选项对象，其中包含应用程序的 ID 和机密信息（如口令）。外部身份验证提供器要求注册应用程序（如 ASP.NET Core 文档所述），这样就可以通知用户请求访问其身份的的应用程序。

一旦中间件在 Startup.Configure 中注册，就可以提示用户从任何控制器的 Action 中登录。为此需要创建一个 AuthenticationProperties 对象，其中包括身份验证提供器的名称和重定向 URL。然后返回一个通过 AuthenticationProperties 对象质询响应。示例代码如下：

```
var properties = _signInManager.ConfigureExternalAuthenticationProperties(provider,
                                                                           redirectUrl);
return Challenge(properties, provider);
```

参数 redirectUrl 包括一旦用户被验证后，外部提供器应重定向的 URL 地址。该 URL 应表示将根据外部标识信息对用户进行签名的 Action，如下简化的示例所示：

```
// Sign in the user with this external login provider if the user
// already has a login.
var result = await _signInManager.ExternalLoginSignInAsync(info.LoginProvider,
info.ProviderKey, isPersistent: false);
if (result.Succeeded)
{
    return RedirectToLocal(returnUrl);
}
else
{
    ApplicationUser newUser = new ApplicationUser
    {
        // The user object can be constructed with claims from the
        // external authentication provider, combined with information
        // supplied by the user after they have authenticated with
        // the external provider.
        UserName = info.Principal.FindFirstValue(ClaimTypes.Name),
        Email = info.Principal.FindFirstValue(ClaimTypes.Email)
    };

    var identityResult = await _userManager.CreateAsync(newUser);
    if (identityResult.Succeeded)
    {
        identityResult = await _userManager.AddLoginAsync(newUser, info);
```

```
        if (identityResult.Succeeded)
        {
            await _signInManager.SignInAsync(newUser, isPersistent: false);
        }

        return RedirectToLocal(returnUrl);
    }
}
```

如果在 Visual Studio 中创建 ASP.NET Core Web 应用程序项目时，选择**独立用户账户**验证选项，在项目中所有使用外部提供器所需的代码都已经准备好了，如图 11-3 所示。

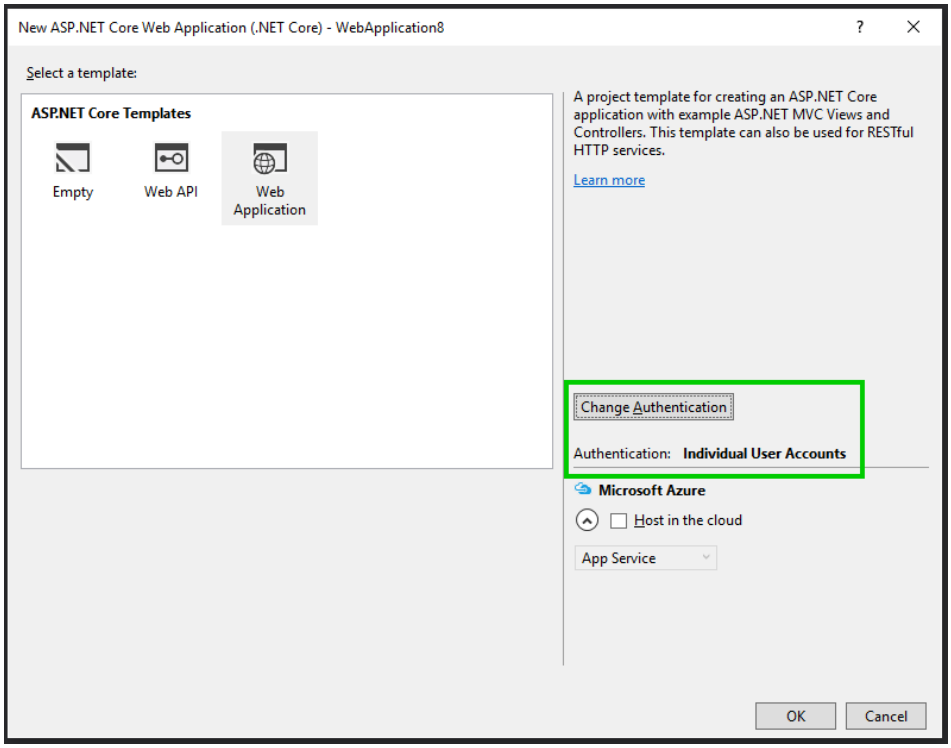


图 11-3. 在创建 Web 应用程序时选择使用外部验证选项

除了上文列出的外部验证提供器，还有第三方软件包为使用更多的外部身份验证提供中间件。相关列表请参阅 GitHub 上的 AspNet.Security.OAuth.Providers 仓库。

当然，也可以创建自己的外部验证中间件。

使用 Bearer token 验证

使用 ASP.NET Core Identity 外加外部验证提供器，这种方法适用于很多 Web 应用程序场景，这些场景中在 Cookie 中存储用户信息是适当的。但在其它场景中，Cookie 并不是保持和传输数据的自然方式。

例如在 ASP.NET Core Web API 中，公开了可能由单页应用程序（SPA）、本地客户端，甚至其它 Web API 访问的 RESTful 风格端点，因此通常使用 Bearer token 验证。此类应用程序不再使用 Cookie，但是

很容易获取 Bearer Token，并将其包含在后继请求的 Authorization 头中。为了启用令牌验证，ASP.NET Core 支持使用 OAuth 2.0 和 OpenID Connect 等几个选项。

使用 OpenID Connect 或 OAuth 2.0 Identity 提供器验证

如果用户信息存储在 Azure Active Directory 或者支持 OpenID Connect 或 OAuth 2.0 的其它 Identity 方案中，可以使用 Microsoft.AspNetCore.Authentication.OpenIdConnect 包的 OpenID Connect 流进行验证。例如，基于 Azure Active Directory 验证，ASP.NET Core Web 应用程序可使用该包的中间件，如下例所示：

```
// Configure the OWIN pipeline to use OpenID Connect auth
app.UseOpenIdConnectAuthentication(new OpenIdConnectOptions
{
    ClientId = Configuration["AzureAD:ClientId"],
    Authority = String.Format(Configuration["AzureAd:AadInstance"],
                              Configuration["AzureAd:Tenant"]),
    ResponseType = OpenIdConnectResponseType.IdToken,
    PostLogoutRedirectUri = Configuration["AzureAd:PostLogoutRedirectUri"]
});
```

配置值来自应用程序注册为 Azure AD 客户端时创建的 Azure AD 值。如果多个微服务需要通过 Azure AD 验证用户，单个客户端 ID 可在应用程序的多个微服务间共享。

请注意，使用此工作流时，不再需要 ASP.NET Core Identity 中间件，因为所有用户信息存储和验证都由 Azure AD 管理。

从 ASP.NET Core 服务中颁发安全令牌

如果希望为本地 ASP.NET Core Identity 用户颁发安全令牌，而不是使用外部 Identity 提供器，可以使用很多第三方库实现。

IdentityServer4 和 OpenIddict 是 OpenID Connect 提供器，可轻松与 ASP.NET Core Identity 集成，进而从 ASP.NET Core 服务颁发安全令牌。IdentityServer4 文档有深入的使用说明。使用 IdentityServer4 颁发令牌的基本步骤如下：

1. 在 Startup.Configure 方法中调用 app.UseIdentityServer 添加 IdentityServer4 到应用程序的 HTTP 请求管理管道中。让库可以处理类似/connect/token 的 OpenID Connect 和 OAuth2 端点请求。
2. 调用 services.AddIdentityServer 方法在 Startup.ConfiguraServices 方法中配置 IdentityServer4。
3. 提供以下数据配置 Identity 服务器
    - 用于签名的 credentials
    - 用户可能请求访问的 Identtiy 和 API 资源

- API 资源指用户可使用访问令牌访问的受保护数据或功能，例如需要授权的 Web API（或 API 集）
- Identity 资源指向客户端提供用于标识用户的信息（声明）。这些声明可能包括用户名、电子邮件地址等。

- 为了请求令牌将要连接的客户端。
- 用户信息的存储机制，如 ASP.NET Core Identity 或者替代方法。

指定要使用 IdentityServer4 客户端和资源时，可将 IEnumerable<T>的适当类型集合传递给使用内存中或资源存储的方法。或者对于更为复杂的场景，可通过依赖注入提供客户端或资源提供类型。

IdentityServer4 使用的内存中资源，和由自定义 IClientStore 类型提供的客户端配置，可能类似于如下示例：

```
// Add IdentityServer services
services.AddSingleton<IClientStore, CustomClientStore>();

services.AddIdentityServer()
    .AddSigningCredential("CN=sts")
    .AddInMemoryApiResources(MyApiResourceProvider.GetAllResources())
    .AddAspNetIdentity<ApplicationUser>();
```

使用安全令牌

基于 OpenID Connect 端点或颁发自己的安全令牌验证覆盖了一些场景。但如果服务仅需要限制那些拥有由不同服务提供的有效安全令牌的用户，又该如何处理?

对于此类场景，Microsoft.AspNetCore.Authentication.JwtBearer 包提供了处理 JWT 令牌的验证中间件。JWT 代表“JSON Web Token”，是一种常用安全令牌格式（由 RFC 7519 定义），用于通信安全声明。关于如何通过中间件使用这些令牌的简单示例，可能类似如下示例。代码必须在调用 ASP.NET Core MVC 中间件（app.UseMVC）之前调用。

```
app.UseJwtBearerAuthentication(new JwtBearerOptions()
{
    Audience = "http://localhost:5001/",
    Authority = "http://localhost:5000/",
    AutomaticAuthenticate = true
});
```

参数如下所示：

- Audience 表示传入令牌的接收者或令牌访问授权的资源。如果参数中指定的值不匹配令牌中的参数，令牌将被拒绝。

- Authority 为颁发令牌的验证服务器地址。JWT Bearer 验证中间件使用这个 URI 来获取可用于校验令牌签名的公钥。中间件还要确认令牌中的参数匹配此 URI。
- AutomaticAuthenticate 是一个标识令牌定义的用户是否自动登录的布尔值。

另一个参数 RequireHttpsMetadata，在此示例中未使用。该参数用于测试目的，将此参数设置为 false，可在没有证书的环境中测试。在实际部署中，JWT bearer token 应当仅通过 HTTPS 传输。

中间件就绪后，JWT 令牌被自动从 Authorization 请求头中提取。然后反序列化，校验（使用在 Audience 和 Authority 参数中的值），并存储为稍后由 MVC 的 Action 或授权过滤器引用的用户信息。

JWT Bearer 验证中间件还支持更高级的场景，例如在 Authority 不可用时，使用本地证书来验证令牌。对于这种场景，可以在 JwtBearerOptions 对象上指定一个 TokenValidationParameters 对象。

其他资源

- **在应用程序之间共享 Cookie**
  https://docs.microsoft.com/aspnet/core/security/data-protection/compatibility/cookie-sharing#sharing-authentication-cookies-between-applications
- **Identity 简介**
  https://docs.microsoft.com/aspnet/core/security/authentication/identity
- **Rick Anderson. 使用短信的双因子验证**
  https://docs.microsoft.com/aspnet/core/security/authentication/2fa
- **使用 Facebook, Google 和其他外部提供者实现验证**
  https://docs.microsoft.com/aspnet/core/security/authentication/social/
- **Michell Anicas. OAuth 2 简介**
  https://www.digitalocean.com/community/tutorials/an-introduction-to-oauth-2
- **AspNet.Security.OAuth.Providers** （ASP.NET OAuth 提供器的 GitHub 仓库）
  https://github.com/aspnet-contrib/AspNet.Security.OAuth.Providers/tree/dev/src
- **Danny Strockis. 将 Azure AD 整合到 ASP.NET Core Web 应用**
  https://azure.microsoft.com/resources/samples/active-directory-dotnet-webapp-openidconnect-aspnetcore/
- **IdentityServer4. 官方文档**
  https://identityserver4.readthedocs.io/en/release/

.NET 微服务和 Web 应用程序的授权

验证后，ASP.NET Core Web API 需要授权访问。此过程允许服务使得 API 对某些验证用户可用，但并不是所有验证用户。授权可基于用户的角色或基于自定义的策略，这可能包括检查声明或其它方式。

限制对 ASP.NET Core 路由的访问与将 Authorize 特性应用到 Action 方法同样简单（或者控制器，如果所有控制器中的 Action 都要求授权），如下代码所示：

```
public class AccountController : Controller
{
```

```
    public ActionResult Login()
    {
    }

    [Authorize]
    public ActionResult Logout()
    {
    }
```

默认情况下，添加没有参数的 Authorize 特性将限制对控制器或 Action 限制为已验证用户。如果进一步限制仅对特定的用户 API 可用，还可扩展该特性以指定必需的角色或策略。

实现基于角色的授权

ASP.NET Core Identity 具有内置的角色概念。除了用户，ASP.NET Core Identity 可存储用于应用程序的不同角色信息，并跟踪哪些用户分配了哪些角色。这些分配可通过类型 RoleManager（可以更新持续存储中的角色）和 UserManager（可以将用户从角色中分配或取消分配）以编程方式进行更新。

如果使用 JWT Bearer Token 验证，ASP.NET Core 的 JWT Bearer 验证中间件将基于从令牌中发现的角色声明来填充用户的角色。若要限制对 MVC 中 Action 或控制器的访问仅为特定角色中的用户，可在 Authorize 特性中包含 Roles 参数，如下所示。

```
[Authorize(Roles = "Administrator, PowerUser")]
public class ControlPanelController : Controller
{
    public ActionResult SetTime()
    {
    }

    [Authorize(Roles = "Administrator")]
    public ActionResult ShutDown()
    {
    }
}
```

在示例中，仅 Administrator 和 PowerUser 用户可访问 ControlPanelController 中的 API（如 SetTime 这个 Action）。ShutDown API 则进一步限制为只有 Administrator 角色中的用户方可访问。

对于必需拥有多个不同角色的用户，可以使用多个 Authorize 特性，如下示例所示：

```
[Authorize(Roles = "Administrator, PowerUser")]
[Authorize(Roles = "RemoteEmployee ")]
[Authorize(Policy = "CustomPolicy")]
public ActionResult API1 ()
{
}
```

在这个示例中，为调用这个 API1，用户必须

- 在角色 Adminstrator 或 PowerUser 中，并且
- 在角色 RemoteEmployee 中，并且
- 满足 CustomPolicy 授权的自定义处理程序。

实现基于策略的授权

此外还可以使用授权策略编写自定义授权规则。在本节中我们将提供概览。详细信息可通过在线的 ASP.NET 授权研讨会了解。

自定义授权策略通过在 Startup.ConfigureServices 方法使用 service.AddAuthorization 方法注册。该方法采用一个参数为 AuthorizationOptions 的委托。

```
services.AddAuthorization(options =>
{
    options.AddPolicy("AdministratorsOnly", policy =>
        policy.RequireRole("Administrator"));
    options.AddPolicy("EmployeesOnly", policy =>
        policy.RequireClaim("EmployeeNumber"));
    options.AddPolicy("Over21", policy =>
        policy.Requirements.Add(new MinimumAgeRequirement(21)));
});
```

如示例所示，策略可与不同类型的需求相关联。注册策略后，可将策略名称作为 Authorize 特性的 Policy 参数应用于 Action 或 Controller（例如`[Authorize(Policy="EmployeesOnly")]`），策略可拥有多个必需条件，而不是一个（如示例所示）。

在上文的示例中，第一个 AddPolicy 调用只是通过角色授权的一种方式。如果`[Authorize(Policy="AdministratorsOnly")]`应用于某个 API，将只有被赋予 Administrator 角色的用户可以访问。

第二个 AddPolicy 调用演示了一种简单的方式，要求用户提供特定声明。RequireClaim 方法还可选地为该声明获取预期的值。如果指定值，只有既提供正确类型的声明，又拥有指定值的用户，才能满足要求。如果使用 JWT Bearer 验证中间件，所有的 JWT 属性将作为用户声明可用。

最有趣的策略是第三个 AddPolicy 方法，它使用了自定义的验证 Requirement。通过使用自定义授权 Requirement，可以对如何执行授权获得更大控制力。要执行此操作，必须实现如下类型：

- 实现 IAuthorizationRequirement 的 Requirements 类型，包含特定 Requirement 的详细信息的字段。在本示例中，这里有一个 Age 字段用于 MinimumAgeRequirement 类型。
- 实现 AuthorizationHandler<T>的处理器，其中 T 是处理程序可以满足的 IAuthorizationRequirement 类型。该处理程序必须实现 HandleRequirementAsync 方法。其检查包含用户信息的上下文是否满足要求。

- 如果用户满足要求，则调用 context.Succeed 来表示用户已授权。如果用户有多种方式可满足授权要求，则可创建多个处理程序。

除了使用 AddPolicy 注册自定义的策略要求外，还需要通过依赖注入注册自定义 Requirement 处理程序（services.AddTransient<IAuthorizationHandler, MinimumAgeHandler>()）。

ASP.NET Core 授权文档提供了关于检查用户年龄（基于 DateOfBirth）的自定义授权 Requirement 和处理器的示例。

其他资源

- **ASP.NET Core 认证**
  https://docs.microsoft.com/aspnet/core/security/authentication/identity
- **ASP.NET Core 授权**
  https://docs.microsoft.com/aspnet/core/security/authorization/introduction
- **基于角色的授权**
  https://docs.microsoft.com/aspnet/core/security/authorization/roles
- **自定义基于策略的授权**
  https://docs.microsoft.com/aspnet/core/security/authorization/policies

在开发中安全存储应用程序密钥

为了连接受保护的资源或其它服务，ASP.NET Core 应用程序通常需要使用连接串、口令或包含敏感信息的其它凭据。这些敏感信息被称为密钥。最佳实践是不要在源代码中包含密钥，当然也不要将密钥存储在源代码管理器中。相反，应当使用 ASP.NET Core 配置模型从更安全的位置读取密钥。

应该将用于开发的密钥和预发布资源的密钥从访问生产资源的密钥分离出来，因为不同的人需要访问不同密钥集。为了存储在开发过程中使用的密钥，常见方式是在环境变量中存储密钥，或使用 ASP.NET Core 密钥管理工具。为了在生产环境中实现更安全的存储，微服务可在 Azure 密钥保管库中存储密钥。

在环境变量中存储密钥

源代码中不存储密钥的一种方式是开发人员将使用的密钥设置为开发机上的环境变量。当使用环境变量存储具有分层结构的名称（嵌套在配置节中）的密钥时，请为包含该密钥名称的完整分层结构的环境变量创建一个名称，并使用冒号（:）分隔。

例如，将环境变量 Logging:LogLevel:Default 设置为 Debug，将等效于下面的 JSON 文件中的配置值：

```
{
  "Logging": {
    "LogLevel": {
      "Default": "Debug"
    }
```

```
    }
}
```

要从环境变量访问这些值，应用程序只需在构造 IConfigurationRoot 对象时，在 ConfigurationBuilder 上调用 AddEnvironmentVariables 方法。

注意，环境变量通常存储为纯文本，因此如果存储环境变量的计算机或进程被攻破，环境变量将外泄。

使用 ASP.NET Core 密钥管理器存储密钥

ASP.NET Core 密钥管理工具提供了另一种不将密钥保存到源代码中的方式。要使用“密钥管理器”工具，请在项目文件中包含工具引用（DotNetCliToolReference）到 Microsoft.Extensions.SecretManager 包。一旦该依赖项存在并被恢复，dotnet 用户密钥命令就可从命令行设置密钥值。这些密钥将以 JSON 格式文件存储在用户配置文件目录中（具体因操作系统而不同），从而远离源代码。

密钥管理工具设置的密钥由使用密钥项目的 UserSecretsId 属性组织。因此，必须确保项目文件中设置 UserSecretsId 属性（如下所示）。作为 ID 使用的实际字符串并不重要，但在项目中必须唯一。

```
<PropertyGroup>
  <UserSecretsId>UniqueIdentifyingString</UserSecretsId>
</PropertyGroup>
```

在应用程序中在 ConfigurationBuilder 实例上调用 AddUserSecrets<T>即可使用存储在密钥管理器中密钥。泛型参数 T 应当是使用 UserSecretId 的程序集类型。通常使用 AddUserSecrets<Startup>即可。

在产品中使用 Azure 密钥保管库保护密钥

将密钥作为环境变量存储，或使用密钥管理工具存储，仍然要在本地计算机上存储机密。存储密钥更安全的方式是 Azure 密钥保管库，它为存储密钥和机密提供了一个安全的中心位置。

包 Microsoft.Extensions.Configuration.AzureKeyVault 可以帮助我们通过 ASP.NET Core 应用程序从 Auzre 密钥保管库读取配置信息。要使用 Azure 密钥保管库中存储的密钥，请按照如下步骤操作：

1. 将应用程序注册为 Azure AD 应用程序。（对密钥库的访问由 Azure AD 管理）。这可通过 Azure 管理门户完成。

   或者，如果希望应用程序使用证书（而非密码或者客户端密钥），则可使用 New-AzureRmADApplication 这个 PowerShell 命令。我们在 Azure 密钥保管库中注册的证书只需要公钥。（应用程序将使用私钥。）

2. 创建新的服务主体，授予注册的应用程序访问密钥库的权限。可使用如下 PowerShell 命令。

   ```
   $sp = New-AzureRmADServicePrincipal -ApplicationId "<Application ID guid>"
   ```

```
Set-AzureRmKeyVaultAccessPolicy -VaultName "<VaultName>" -ServicePrincipalName
$sp.ServicePrincipalNames[0] -PermissionsToSecrets all -ResourceGroupName
"<KeyVault Resource Group>"
```

3. 在创建 IConfigurationRoot 实例时，调用 IConfigurationBuilder.AddAzureKeyVault 扩展方法，将密钥库作为配置源包含在应用程序中。请注意，调用 AddAzureKeyVault 将需要注册的应用程序 ID，并在前面的步骤中授予对密钥存储库的访问权限。

目前，.NET 标准库和.NET Core 支持使用客户端 ID 和客户端密钥从 Azure 密钥保管库获取配置信息。.NET Framework 应用程序可使用 IConfigurationBuilder.AddAzureKeyVault 的一个重载，该 AddAzureKeyVault 需要证书来代替客户端密钥。在撰写本书时，对于.NET Standard 和.NET Core 的重载版本正在开发中。在接受证书的 AddAzureKeyVault 重载可用前，ASP.NET Core 应用程序可通过显式创建 KeyVaultClient 对象来访问具有基于证书身份验证的 Azure 密钥保管库，如下所示：

```
// Configure Key Vault client
var kvClient = new KeyVaultClient(new KeyVaultClient.AuthenticationCallback(async
    (authority, resource, scope) =>
{
    var cert = // Get certificate from local store/file/key vault etc. as needed
    // From the Microsoft.IdentityModel.Clients.ActiveDirectory pacakge
    var authContext = new AuthenticationContext(authority,
                                                TokenCache.DefaultShared);
    var result = await authContext.AcquireTokenAsync(resource,
           // From the Microsoft.Rest.ClientRuntime.Azure.Authentication pacakge
           new ClientAssertionCertificate("{Application ID}", cert));
    return result.AccessToken;
}));

// Get configuration values from Key Vault
var builder = new ConfigurationBuilder()
    .SetBasePath(env.ContentRootPath)
    // Other configuration providers go here.
    .AddAzureKeyVault("{KeyValueUri}", kvClient,
                      new DefaultKeyVaultSecretManager());
```

在此示例中，对 AddAzureKeyVault 的调用在配置提供程序注册结束时出现。最佳实践是将 Azure 密钥保管库注册为最后一个配置提供程序，以便它有机会重写前面提供程序的配置值，并使其它源中的配置值不会覆盖密钥存储库中的这些参数。

其他资源

- **使用 Azure Key Vault 保护应用秘密**
  https://docs.microsoft.com/azure/guidance/guidance-multitenant-identity-keyvault
- **在开发阶段安全存储应用密钥**
  https://docs.microsoft.com/aspnet/core/security/app-secrets
- **配置数据保护**
  https://docs.microsoft.com/aspnet/core/security/data-protection/configuration/overview

- **密钥管理和生命周期**
  https://docs.microsoft.com/aspnet/core/security/data-protection/configuration/default-settings#data-protection-default-settings
- **Microsoft.Extensions.Configuration.DockerSecrets.** GitHub 仓库
  https://github.com/aspnet/Configuration/tree/dev/src/Microsoft.Extensions.Configuration.DockerSecrets

关键结论

作为总结和要点，以下是本书最重要的结论。

使用容器的优势。基于容器的方案可以大幅节省成本，因为容器是解决由于在生产环境下缺失依赖关系而导致的部署问题的解决方案。容器可显著改善 DevOps 和生产作业流程。

容器无处不在。在 Windows 和 Linux 生态系统中最重要的供应商支持下，基于 Docker 的容器正成为容器行业的事实标准。这些供应商包括微软、亚马逊 AWS、谷歌和 IBM。在不久的将来，Docker 可能在云和内部数据中心无处不在。

容器作为部署单位。对于任何基于服务器的应用程序或者服务，Docker 容器成为部署的基本单位。

微服务。微服务架构正成为分布式、大型或复杂关键任务型应用程序的首选方式，它基于多个独立的子系统，以自主服务的形式运行。在基于微服务的架构中，应用程序可构建为可独立开发、测试、版本化、部署和扩展的服务集合，这可以包括任何相关的自治的数据库。

领域驱动设计和 SOA。微服务架构模式源于面向服务的体系结构(SOA)和领域驱动设计(DDD)。当您为不断发展的业务规则形成的特定领域的领域设计和开发微服务时，必须考虑到 DDD 方法和模式。

微服务的挑战。微服务提供了许多强大功能，如独立部署，强子系统边界和技术多样性。然而它们也引发了与分布式应用程序开发相关的众多新挑战，例如分散和独立的数据模型、通信、最终一致性，以及来自多个微服务的聚合日志记录和监视信息导致的操作复杂性。这些方面引入了比传统单体应用程序更高的复杂性。因此只有特定场景适用基于微服务的应用程序。其中包括具有多个演进子系统的大型复杂应用程序。在这些情况下，值得投资于更复杂的软件架构，因为它将提供更好的长期敏捷性和更好的应用程序维护性。

适用于任何应用程序的容器。容器适用于微服务，但并不排斥其它类型的应用。容器还可与单体应用程序一起使用，例如基于传统.NET Framework 的遗留应用程序，可通过 Windows 容器进行现代化。Docker 的优势适用于多种不同类型的应用程序，例如解决许多部署到生产系统的问题，并提供最先进的开发和测试环境。

CLI 与 IDE。利用微软的工具，您可以使用偏爱的方式开发容器化.NET 应用程序。通过使用 Docker CLI 和 Visual Studio Code，可以使用 CLI 和基于编辑器的环境开发。或者利用 Visual Studio 和其对 Docker 的特有特性的支持，使用以 IDE 为中心的方式开发，例如能够调试多容器的应用程序。

弹性云应用程序。在基于云的系统和分布式系统中，总是存在部分故障的风险。由于客户端和服务是分离的进程（容器），服务可能无法及时响应客户端的请求。例如，由于部分故障或维护，服务可能会关闭；或者该服务可能过载，响应速度非常慢；或者由于网络问题，可能在短时间内无法访问该服务。因

此基于云的应用程序必须接受这些故障，并制订应对策略。这些策略可以包括重试策略（重新发送消息或者重试请求），并实现熔断器模式以避免重复请求导致的指数负载。基本上，基于云的应用程序必须具有弹性机制，无论是定制的还是基于云基础设施的机制，例如来自编排引擎或者服务总线的高级框架。

安全。现代化容器和微服务可能会暴露新的漏洞。基础应用安全是基于验证和授权的，存在多种实现方式。但是容器安全性包含了额外的关键组件，这些组件可以产生更安全的应用程序。构建更安全的应用程序的一个关键因素是有一个与其它应用程序和系统进行通讯的安全方式，通常需要凭据、令牌、密码和其它类型的机密信息 - 通常称为应用程序机密。任何安全解决方案必须遵循安全最佳实践，例如在传输过程中加密；静态加密；以及在最终应用程序消费数据时，防止无意中泄密。这些机密需要在某个地方存储并保持安全。为提高安全，您可以利用您所选择的编排引擎的基础架构，或者利用 Azure 基础架构，例如 Azure 的密钥保管库键值以及其提供给应用程序代码使用的方式。

编排引擎。基于容器的编排引擎，例如 Azure 容器服务（Kubernetes、Mesos DC/OS 和 Docker Swarm），以及 Azure Service Fabric 中提供的，对于任何生产就绪的基于微服务的应用程序，和具有显著复杂性的、需扩展及持续演进的多容器应用程序来说，都是必不可少的。本书介绍了编排引擎及其在基于微服务和容器的解决方案中的作用。如果应用需要转移到复杂的容器应用，您将发现寻找更多资源去深入了解编排引擎是有帮助的。