

版权注意事项：

- 1、书籍版权归作者和出版社所有
- 2、本PDF仅限用于个人获取知识，进行私底下的知识交流
- 3、PDF获得者不得在互联网上以任何目的进行传播
- 4、如觉得书籍内容很赞，请购买正版实体书，支持作者
- 5、请于下载PDF后24小时内删除本PDF。

区块链技术 进阶与实战

蔡亮 李启雷 梁秀波 ● 著



- 专注介绍区块链核心原理和应用技术
- 详细解读区块链平台以太坊和HyperLedger
- 注重实战，全书包含5个完整实际项目案例



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

蔡亮，博士，副教授，浙江大学计算机学院软件工程系主任，浙江省重大科技专项专家。主要从事区块链、云计算、网络安全、可信计算和金融业务处理的研究，在国家级核心期刊和国际会议上发表了数十篇论文。参与了多项国家级或省部级科研项目，如国防军工预研基金项目、国家创新基金项目、863项目等。获得教育部科技进步一等奖、浙江省科技进步一等奖和三等奖。

李启雷，博士，讲师，杭州趣链科技有限公司首席技术官。主要从事体感人机交互、区块链和移动互联网技术等方面的研究与开发。作为核心研究人员参与国家863计划和国家科技支撑计划，在国内外学术期刊发表论文九篇，获得国家发明专利一项、软件著作权一项。

梁秀波，博士，副研究员，杭州趣链科技有限公司副总经理。主要从事机器学习、区块链、数字娱乐和移动互联网等方面的研究与开发，曾赴法国进行为期一年的访问研究。作为核心研究人员参与国家级和省部级科研项目近十项，主持企事业单位委托项目二十余项。已发表论文十余篇，获得国家发明专利三项。

TURING 图灵原创

区块链技术 进阶与实战

蔡亮 李启雷 梁秀波 著

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

区块链技术进阶与实战 / 蔡亮, 李启雷, 梁秀波著.

— 北京 : 人民邮电出版社, 2018. 4

(图灵原创)

ISBN 978-7-115-47179-6

I. ①区… II. ①蔡… ②李… ③梁… III. ①电子商务—支付方式 IV. ①F713.361.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第286209号

内 容 提 要

本书从实战的角度出发, 结合实际应用开发场景, 对区块链技术进行了全面介绍和剖析。全书共分为四个部分: 第一部分对区块链进行了全景分析, 介绍了其概念、历史、技术流派和典型应用场景, 并给出了当前区块链产业生态图谱; 第二部分对知名开源区块链平台以太坊和 Hyperledger 进行了详细解读, 并介绍了如何基于这两个平台进行区块链应用开发; 第三部分以自主可控联盟区块链 Hyperchain 为例, 分析了企业级区块链平台的核心技术, 介绍了基于 Hyperchain 的企业级区块链应用开发技术; 第四部分介绍了多个区块链实际应用项目案例, 并对开发过程和关键代码进行了详细分析。本书不仅全面深入, 而且注重实战, 非常适合区块链开发人员由浅入深地学习区块链技术。

本书适用于对区块链技术感兴趣的程序员、架构师和高校学生, 可作为高校教材和培训资料。

◆ 著 蔡 亮 李启雷 梁秀波

责任编辑 张 霞

责任印制 周昇亮

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京鑫正大印刷有限公司印刷

◆ 开本: 800×1000 1/16

印张: 18.75

字数: 443千字

2018年4月第1版

印数: 1—4 000册

2018年4月北京第1次印刷

定价: 69.00元

读者服务热线: (010)51095186转600 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京东工商广登字 20170147 号

序 一

打造自主可控联盟区块链，开创金融科技发展新天地

近年来，以比特币为代表的“数字加密货币”在世界范围内广为流行，其价格经历了数轮爆发式增长，对现有金融体系产生了一定的冲击，同时带来了新的机遇和挑战。区块链作为“数字加密货币”系统的底层支撑技术，展现出了巨大的潜在应用价值，将在金融、贸易、物流、征信、物联网、共享经济等诸多领域引发技术革新浪潮。截至 2017 年底，全球已有 20 多个国家投资了区块链技术，区块链领域的风险投资超过了 20 亿美元，区块链相关专利数量也已超过 3000 个。我国政府对区块链技术的发展也非常重视，2016 年 12 月，国务院将区块链列入“十三五”国家信息化规划。总体上，当前区块链技术尚处于起步阶段，国内外发展差距并不大。为了避免在该重要新兴技术领域出现类似操作系统、数据库等底层关键技术被国外巨头垄断的局面，研发一套完全自主可控的区块链底层平台意义重大。

区块链技术本质上是一种分布式账簿数据库，它利用块链式数据结构来验证与存储数据，基于分布式共识算法来生成和更新数据，并通过密码学的方式保证数据传输和访问的安全。从功能层面上来看，区块链记录不可篡改，无需第三方可信中介，天然适合多个机构在区块链网络中相互监督并实时对账，通过智能合约大大提高了经济活动与契约的自动化程度。按其组织形态，区块链平台可分为公有链、联盟链和私有链。公有链是非许可链，具有完全去中心化的特性，但存在共识效率极低、缺乏权限控制与隐私保护等问题，除了“数字加密货币”之外，很难应用于其他领域。联盟链是许可链，需经过一定的权限许可方能加入网络。私有链也属于许可链，其许可权掌握在单一机构手中。从时间维度来看，区块链技术自诞生以来发生了三次重要的技术演进。第一次发生在 2009 年，代表平台为比特币，首次验证了无中心机构的“数字货币”的可行性，但其交易频率极低，仅为每秒几笔交易。第二次发生在 2013 年，代表平台为以太坊，首次在区块链平台中增加了可编程特性，从而大大拓展了区块链的应用范围，但其交易频率仍然不高，仅为每秒几百笔。第三次发生在 2015 年，代表平台为 Hyperledger Fabric 和 Hyperchain，首次在区块链平台中加入权限控制和隐私保护，并将交易频率提高到了每秒几千笔甚至到上万笔。

联盟区块链具有高效共识、智能合约、多级加密、权限控制、隐私保护等特性，辅以可视监控、动态配置等功能，主要面向企业级应用场景，是区块链发展的最新形态，在中国有极其广泛的应用价值，其核心优势主要有三点：(1) 从监管角度看，联盟区块链可以通过 CA 认证准入、制定监管规则合约等方式为监管提供便利；(2) 商业机构及用户对账户和部分交易信息有隐私保护的需求，联盟区块链可以通过加密、分区等方式实现隐私保护；(3) 从商业应用角度来看，交易吞吐量和时延是企业最关心的交易性能指标，联盟区块链通过共识算法的创新使交易效率得到很大提升。但是，一些商业需求的场景对联盟区块链提出了更高的技术要求，例如：(1) 高性能，如何在多个节点之间高效地达成共识，如何有效地提升智能合约的执行效率；(2) 高可用，应允许在不宕机的情况下加入新节点，并可在节点重启之后快速恢复；(3) 安全隐私，如何设计权限控制机制使之符合国家标准，并能有效地保护隐私数据；(4) 可编程，应提供图灵完备的、安全的智能合约引擎，可支持多语言的、复杂的智能合约。然而，当前主流的开源区块链平台（如以太坊、Hyperledger Fabric 等）尚未达到上述技术要求。

在杨小虎研究员、蔡亮副教授的领导下，浙江大学超大规模信息系统研究中心对联盟区块链的核心技术开展了多层次的研究工作。杭州趣链科技有限公司的核心骨干均来自于浙江大学超大规模信息系统研究中心，公司研发的 Hyperchain 联盟区块链平台在高性能、高可用、安全隐私和可编程技术方面取得突破，支持了国内首个接入银行核心系统的区块链项目的落地和稳定运行。目前 Hyperchain 平台已在金融等众多领域得到了实际应用。

本书对以太坊、Hyperledger Fabric 和 Hyperchain 的技术特点及内核代码进行了详细的分析，对各平台的应用开发技术进行了介绍。相信本书对区块链技术的爱好者和区块链行业的从业者会有很好的参考价值。

陈纯

中国工程院院士，浙江大学计算机科学与技术学院教授，
曾任浙江大学软件学院院长和浙江大学计算机软件研究所所长

序 二

利用区块链构建新型多方业务协作平台

很荣幸受邀为本书撰序，也很高兴看到这样一本全面、系统、综合介绍区块链技术的图书问世。

随着一系列以比特币为代表的“虚拟货币”大热，区块链这一底层支撑技术浮出水面，受到广泛关注。相关从业人员逐渐发现该技术的应用场景不仅是产生一种新型的“数字货币”，而是解决万物互联的产品交换问题，改变商品交易模式，进而影响和改变未来的经济和金融形态。甚至认为它像 TCP/IP 协议一样，将对互联网的发展产生颠覆性的作用，在未来万物互联的世界里，对人类社会产生重大影响，彻底改变社会生产方式和人们的生活方式。以 TCP/IP 协议为基础的第一代互联网只解决了信息传输的效率问题，却未解决信任问题。在涉及多方协作的业务场景时，除了要建设信息系统、建立中介机构以完成信息传输和交换外，还需要额外采取一系列的措施来解决各方信任问题，这大大增加了各方沟通和协作的成本。区块链技术通过建立多节点参与共识的、难以篡改的分布式总账，使得利益相关方可以从技术层面上共组一个网络、共记一套账本，因而可以大大降低业务协作过程中的沟通和人力成本。

对新型多方业务协作系统而言，区块链的价值主要体现在 4 个方面：(1) 降低系统对接复杂性，跨系统数据交互与路由下沉到区块链层，降低应用开发的难度和成本，并提高开发效率；(2) 提高数字资产流动性，通过资产上链，提高流动性，实现价值传输；(3) 实现全流程监控，智能合约记录信息和状态的流转，数据难以篡改，实现信息的全流程可监控；(4) 多方可信合作，使产业链可信合作成为可能，符合轻资产运行需求。

中国外汇交易中心多年致力于金融科技（FinTech）领域的前沿技术研究，在区块链、人工智能、分布式架构、微服务和软件形式化等方面均有探索，对于区块链和分布式账本技术的研究，形成了符合中心技术规划和技术发展路线的区块链架构方案，并以国密算法、共识协议、智能合约等关键技术为突破口，明确了对通用区块链技术的改进方案，取得了丰硕的研究成果。交易中心与浙江大学杨小虎研究员、蔡亮副教授的研究团队在金融科技领域有多年的合作研究基础，在

区块链方面从 2016 年开始与杭州趣链科技有限公司展开合作，现已形成一定的技术储备。杭州趣链科技有限公司研发的 Hyperchain 平台具有性能优异、安全可靠、监控可视化、支持合约无缝升级和数据存储横向扩展等特性，是国内非常具有竞争力的、自主可控的企业级区块链底层平台，是基于区块链搭建新一代价值传输和业务协作平台的理想选择。

除了金融领域，区块链技术在贸易、物流、征信、物联网、社会公益等领域也得到了越来越多的关注和应用，越来越多的专业人员开始从事区块链平台研究和应用开发工作，但当前市面上介绍区块链开发技术的图书却不多，可指导读者动手实践的书更是凤毛麟角。本书基于浙江大学和杭州趣链科技有限公司多年的区块链技术研发经验，对知名的开源区块链平台以太坊和 Hyperledger Fabric 以及自研的 Hyperchain 平台展开了深入剖析，在讲解平台功能的过程中，穿插说明了区块链的关键算法和核心原理，并配有各个平台的开发指南和项目案例，深入浅出地介绍了当前主流的区块链开发技术。相信本书可帮助读者更深刻地理解区块链技术原理，并有效地提升区块链技术开发能力。

许再越

中国外汇交易中心副总裁

前言

区块链技术是金融科技领域乃至整个 IT 领域的重大技术创新。该技术本质上是以数据加密、时间戳和分布式共识算法等基础技术为依托,实现链式存储、智能合约和隐私保护等高级功能的分布式账本技术。该技术通过区块链网络节点之间的相互验证、监督和数据备份,从技术层面上保证在链式账本中所存储的数据无法被恶意篡改,特别适合用于解决多方业务协作场景中为维护信用而导致的成本居高不下的问题。

区块链技术起源于比特币,是“数字加密货币”的底层支撑技术。自 2009 年诞生以来,比特币系统已在无中心维护机构的情况下稳定运行达 8 年之久,单个比特币的价格也经过了数轮暴涨。随着比特币的流行,数以百计的“数字加密货币”快速涌现。近年来,人们发现“数字加密货币”背后的区块链技术可能具有发挥更大价值的潜力,将来可用于极为广泛的业务场景。许多专家认为,区块链技术可用于解决新一代互联网去中心化的价值交换问题,即网络传输的信用问题。

用于“数字加密货币”的区块链技术只能实现交易转账等基础功能,被认为是 1.0 版本的区块链技术。要想将区块链应用于“数字加密货币”之外的广泛场景,必须对该技术加以改进。2014 年,以太坊应运而生。该平台通过支持智能合约将业务逻辑的设计和控制权转移到了平台用户手中,允许通过编写合约代码来满足各种复杂的业务场景的需求。该平台作为区块链 2.0 版本的典型代表,广受赞誉和追捧。

然而,以太坊平台并不是一个完美的区块链平台,还存在共识效率低下、隐私保护缺乏、大规模存储困难和信息难以监管等问题,无法应用于大规模的企业级信息系统。针对这些问题,一些企业级的区块链平台诞生了,其中的典型代表是 IBM 支持的 Hyperledger Fabric 和趣链科技的 Hyperchain。通过高效共识、多级加密、权限控制、可视监控、动态配置等技术,企业级区块链平台为区块链技术打开了更为广泛的应用空间。

本书是一本介绍区块链核心原理和应用技术的专业图书,与当前市场上的绝大部分区块链图书不同,不会天马行空地设想各种短期无法落地的应用场景,而是专注于介绍技术“干货”和实战,读者通过本书的学习即可上手使用当下最受欢迎的区块链平台,参考本书实例即可快速开发自己的第一个区块链应用,实战性非常强。

本书结构

本书共分为四个部分。

第一部分介绍区块链的基础知识,使读者快速对区块链技术有一个整体认识。本部分包含了1章内容,即第1章,对区块链技术的发展情况进行了全面分析,介绍了其概念、历史、技术流派、关键技术和典型应用场景,通过对主流平台进行对比分析,给出当前区块链产业生态图谱。

第二部分对知名开源区块链平台以太坊和 Hyperledger 进行详细解读,并介绍如何基于这两个平台进行区块链应用开发。本部分包含了4章的内容。

第2章对以太坊的发展历史、基本概念、客户端、账户管理及以太坊网络等基础知识进行了介绍,并对以太坊共识机制、虚拟机、数据存储和加密算法等以太坊关键模块的核心原理进行了剖析,详细介绍了以太坊智能合约的编写、部署、测试与执行,最后对以太坊发展过程中的重大事件和目前存在的主要问题进行了分析探讨。

第3章首先介绍了如何搭建以太坊的开发环境,包括 Go 语言环境、Node.js 和 npm 的配置、Solc 编译器的安装,以及如何使用以太坊 geth 客户端搭建私有链;接着讲解了以太坊智能合约开发的集成开发环境,包括 Mix IDE 和在线浏览器编译器;然后讲述了 JSON RPC 和 JavaScript API 两种以太坊编程接口,通过这两种接口可以实现和以太坊底层的交互,实现合约方法的调用;随后讲述了目前主流的以太坊开发框架与流程,包括 Metero、Truffle 和商业化开发中的分层可扩展开发流程;最后给出了第一个较为完整的以太坊应用开发实例。

第4章对 Hyperledger Fabric 进行了深入解读,有助于读者深入理解 Fabric 的底层实现原理。首先,介绍了 Hyperledger 及其子项目的发展现状及管理模式,重点介绍了 Hyperledger Fabric。之后,对 Hyperledger Fabric 架构进行深入分析,从成员服务、区块链服务以及合约代码服务三个方面探讨 Hyperledger Fabric 的架构组成与特点,给出了 Fabric 架构设计和模块组件。然后,给出了 Chaincode 代码结构、调用方式和执行流程。最后,对交易背书流程展开了详细分析。

第5章主要介绍如何在 Hyperledger Fabric 平台上开发区块链应用,首先讲述了 Hyperledger Fabric 的开发运行环境的搭建过程,然后给出了 Chaincode 开发和部署流程,最后介绍了 CLI 应用接口和 SDK 接口,并通过实例说明了如何基于这两种接口开发 Hyperledger Fabric 的区块链应用。

第三部分以自主可控联盟区块链 Hyperchain 为例对企业级区块链平台的核心技术进行分析,并介绍了基于 Hyperchain 的企业级区块链应用开发技术。本部分包含了2章的内容。

第6章以企业级区块链平台 Hyperchain 为例,介绍了构成企业级区块链平台的核心组件的实现原理。企业级区块链同公有链和私有链不同,它直接面对企业级应用的需求,对区块链系统的安全性、灵活性以及性能都有着更加严格的要求。Hyperchain 企业级区块链平台在优化传统 PBFT 的基础上设计实现了灵活、高效、稳定的共识算法 RBFT,在智能合约的支持上选择了支持开源领域活跃的 Solidity 语言,对其执行虚拟机进行了系统层面的优化,并通过对交易、交易链路、应用开发包等多层面进行加密处理,加强企业级区块链的安全等级。此外,Hyperchain 还设计实

现了支持系统监控、合约编写、合约编译等多功能的企业级区块链管控平台。

第 7 章主要介绍了 Hyperchain 区块链上应用开发的相关内容。首先,从交易调用、合约管理以及区块查询几个方面介绍了 Hyperchain 平台对外提供的主要接口;其次,从 Hyperchain 集群的配置、部署和运行等方面介绍了如何搭建一个可运行的企业级区块链系统 Hyperchain;最后以模拟银行为例,介绍了如何在 Hyperchain 平台上进行智能合约应用的开发。

第四部分介绍了多个区块链实际应用项目案例,并对其开发过程和关键代码进行了详细分析。本部分包含了 2 章的内容。

第 8 章介绍了两个基于以太坊的实际项目案例,每个案例的介绍均包括项目简介、系统功能分析、系统总体设计、智能合约设计、系统实现和部署等部分,并通过相关下载链接提供了这些案例完整的源代码。基于前面章节所学习的以太坊基础知识和开发技术,读者可对照本章的内容,一步一步地动手实践,在实战过程中更好地理解相关概念和技术,从而为自己基于以太坊构建区块链应用项目打好基础。

第 9 章介绍了两个基于 Hyperchain 的企业级区块链应用项目案例,每个案例的介绍均包括项目简介、系统功能分析、系统总体设计、智能合约设计、系统实现和部署等部分。可以看到,利用 Hyperchain 可以构建功能完备、技术领先、符合企业级要求的区块链应用。读者可对照本章内容,通过 Hyperchain 提供的完善的开发接口,对区块链应用开发进行深入的学习和实践。

示例代码与勘误

本书第 8 章和第 9 章中的所有项目案例代码已上传至 GitHub 供开发者下载: <https://github.com/Blockchain-book>, 后续若增加新的项目案例,也会同步更新到该仓库中。

开发者可以使用 Git 版本控制 clone 项目到本地或直接下载代码,目前默认的检出分支为 master 分支。如果对某项目有疑问或意见,可以在该项目中提交 Issue。如果想要接收某项目的更新邮件提醒,请点击 Watch;如果要持续关注某项目,请点击 Star;如果要复制代码到自己的账户,请点击 Fork。

由于作者时间和水平有限,本书难免会存在一些纰漏和错误,欢迎广大读者批评指正。勘误请提交至图灵社区本书主页 www.it-ebooks.com.cn/book/2434,或发送至作者邮箱: liangxiubo@hyperchain.cn。对于读者发现的问题,我们将在本书后续印次和版本中加以改正。

开发者平台及更多技术支持

为了进一步降低区块链技术使用门槛,让更多的区块链开发者、爱好者以及正在尝试接入区块链技术的企业能够快捷地开发区块链应用,趣链科技于 2017 年 9 月 14 日正式上线了基于联盟链的“开发者平台”。基于该平台,用户可以更方便地创建、发布和使用多中心化的应用程序。

通过平台提供的在线智能合约编辑器,用户可便捷、准确地编写智能合约程序;通过平台提供的区块链浏览器,用户可方便地获取链上区块信息、区块链节点状态、节点维护方信息等。欢迎广大区块链相关从业人员访问体验,开发者平台网址为:<https://dev.hyperchain.cn/>。

如需获得更多关于区块链技术的最新技术动态和趣链科技的技术支持,可扫描如下二维码关注微信公众号。



致谢

作为区块链技术人员,能够编写一本技术性和实践性非常强的区块链图书,我们感到非常荣幸。在此向所有给我们提供指导、支持和鼓励的朋友表示衷心的感谢。

感谢浙江大学计算机科学与技术学院和软件学院为我们提供的优良条件和各种便利,感谢陈纯院士、杨小虎研究员一直以来的关怀和支持,使得本书得以顺利完稿。

感谢杭州趣链科技有限公司全体人员的大力支持,特别感谢李伟博士、邱炜伟博士后、尹可挺博士为本书成稿所给予的鼎力支持,感谢汪小益、黄方蕾、戎佳磊、陈宇峰、吴发翔、吴琛、胡为、宋家锦、郭威、李超等对书稿材料汇编所做出的突出贡献,感谢刘耀傲、胡麦芳、卓海振、钟蔚蔚、孙琪、赵科、黄志胜等对书稿校阅所付出的时间和汗水。

感谢万达网络科技集团先进技术研究中心副总经理季宙栋、区块链资深研究员张梦航对本书第4章和第5章内容的有益补充。

感谢人民邮电出版社图灵公司的编辑们,是他们不辞辛苦、仔细严谨的审阅和校对工作为本书的顺利出版提供了有力保障。

蔡亮 李启雷 梁秀波

2017年9月于浙江杭州

目 录

第一部分 区块链基础

第1章 区块链基础入门	2
1.1 区块链基础知识	2
1.1.1 从比特币到区块链	2
1.1.2 区块链定义	3
1.1.3 区块链相关概念	4
1.1.4 区块链分类	6
1.2 区块链发展历程	8
1.2.1 技术起源	8
1.2.2 区块链 1.0——“数字货币”	9
1.2.3 区块链 2.0——智能合约	9
1.2.4 区块链 3.0——超越货币、 经济和市场	10
1.3 区块链关键技术	10
1.3.1 基础模型	10
1.3.2 数据层	11
1.3.3 网络层	16
1.3.4 共识层	17
1.3.5 激励层	19
1.3.6 合约层	20
1.4 区块链产业现状	21
1.4.1 区块链发展态势	21
1.4.2 区块链政府规划	22
1.4.3 区块链生态图谱	25
1.5 区块链应用场景	26
1.5.1 数字票据	26
1.5.2 供应链金融	27
1.5.3 应收账款	27
1.5.4 数据交易	27
1.5.5 债券交易	28

1.5.6 大宗交易	28
1.5.7 其他场景	28
1.6 区块链主流平台	29
1.7 本章小结	31

第二部分 开源区块链平台

第2章 以太坊深入解读	36
2.1 以太坊基础入门	36
2.1.1 以太坊发展历史	36
2.1.2 以太坊基本概念	37
2.1.3 以太坊客户端	39
2.1.4 以太坊账户管理	43
2.1.5 以太坊网络	46
2.2 以太坊核心原理	46
2.2.1 以太坊共识机制	47
2.2.2 以太坊虚拟机	49
2.2.3 以太坊数据存储	51
2.2.4 以太坊加密算法	53
2.3 以太坊智能合约	53
2.3.1 智能合约与 Solidity 简介	54
2.3.2 智能合约的编写与部署	56
2.3.3 智能合约测试与执行	67
2.3.4 智能合约实例分析	71
2.4 以太坊重大事件与现存问题	74
2.4.1 The DAO 攻击事件	74
2.4.2 以太坊现存问题	75
2.5 本章小结	77
第3章 以太坊应用开发基础	78
3.1 以太坊开发环境搭建	78

3.1.1	配置以太坊环境	78
3.1.2	搭建以太坊私有链	80
3.2	以太坊集成开发环境	83
3.2.1	Mix IDE	83
3.2.2	Solidity 在线实时编译器 IDE	86
3.3	以太坊编程接口	89
3.3.1	JSON RPC	89
3.3.2	JavaScript API	94
3.4	DApp 开发框架与流程	97
3.4.1	Meteor	97
3.4.2	Truffle	100
3.4.3	分层可扩展开发流程	102
3.5	第一个以太坊应用	104
3.5.1	优化 MetaCoin 应用	104
3.5.2	MetaCoin 代码详解	106
3.5.3	MetaCoin 应用运行	109
3.6	本章小结	111
第 4 章	Hyperledger Fabric 深入解读	112
4.1	项目介绍	112
4.1.1	项目背景	112
4.1.2	项目简介	113
4.2	Fabric 简介	115
4.3	核心概念	116
4.4	架构详解	118
4.4.1	架构解读	118
4.4.2	成员服务	120
4.4.3	区块链服务	124
4.4.4	合约代码服务	127
4.5	合约代码分析	128
4.5.1	合约代码概述	128
4.5.2	合约代码结构	129
4.5.3	CLI 命令行调用	131
4.5.4	链码执行泳道图	132
4.6	交易流程	133
4.6.1	通用流程	133
4.6.2	流程详解	135
4.6.3	背书策略	138
4.7	本章小结	139

第 5 章	Hyperledger Fabric 应用开发基础	140
5.1	环境部署	140
5.1.1	软件下载与安装	140
5.1.2	开发环境搭建	142
5.1.3	Go 和 Docker	144
5.2	链码开发指南	147
5.2.1	实现智能合约的接口	147
5.2.2	智能合约的依赖关系	148
5.2.3	智能合约的数据格式	148
5.2.4	智能合约的接口解析	149
5.2.5	智能合约案例代码分析	149
5.3	CLI 应用实例	152
5.3.1	CLI 介绍	152
5.3.2	CLI 应用开发	153
5.4	SDK 应用实例	163
5.4.1	SDK 介绍	163
5.4.2	SDK 应用开发	165
5.5	本章小结	169

第三部分 企业级区块链平台 Hyperchain

第 6 章	企业级区块链平台核心原理剖析	172
6.1	Hyperchain 整体架构	172
6.2	共识算法	174
6.2.1	RBFT 概述	174
6.2.2	RBFT 常规流程	174
6.2.3	RBFT 视图更换	176
6.2.4	RBFT 自动恢复	177
6.2.5	RBFT 节点增删	178
6.3	智能合约	179
6.3.1	智能合约执行引擎	180
6.3.2	HyperVM 设计原理	180
6.3.3	HyperVM 执行流程	181
6.4	账本数据存储机制	183
6.4.1	区块链	183
6.4.2	合约状态	185
6.4.3	Merkle 树	186
6.5	安全与隐私机制	189

6.5.1 多级加密机制	189	8.1.3 系统总体设计	216
6.5.2 基于 CA 的权限控制	190	8.1.4 智能合约设计	218
6.6 可视化监管平台	191	8.1.5 系统实现	224
6.6.1 Hypervision 概览	191	8.1.6 系统部署	233
6.6.2 Hypervision 区块链管理	192	8.2 基于以太坊的电子优惠券系统案例	
6.6.3 Hypervision 合约管理	193	分析	235
6.7 本章小结	194	8.2.1 项目简介	235
第 7 章 Hyperchain 应用开发基础	195	8.2.2 系统功能分析	236
7.1 平台功能	195	8.2.3 系统总体设计	237
7.1.1 JSON-RPC 格式	195	8.2.4 智能合约设计	239
7.1.2 交易调用	196	8.2.5 系统实现与部署	246
7.1.3 合约管理	200	8.3 本章小结	250
7.1.4 区块查询	203	第 9 章 企业级区块链应用实战案例	
7.2 平台部署	206	详解	251
7.2.1 Hyperchain 配置	207	9.1 基于 Hyperchain 的数字票据系统	
7.2.2 Hyperchain 部署	207	案例分析	251
7.2.3 Hyperchain 运行	209	9.1.1 项目简介	251
7.3 第一个 Hyperchain 应用	210	9.1.2 系统功能分析	252
7.3.1 编写智能合约	211	9.1.3 系统总体设计	253
7.3.2 部署与合约调用	212	9.1.4 智能合约设计	256
7.4 本章小结	212	9.1.5 系统实现与部署	261
第四部分 区块链应用案例		9.2 基于 Hyperchain 的出行打车平台	
第 8 章 以太坊应用实战案例详解	214	案例分析	263
8.1 基于以太坊的通用积分系统案例		9.2.1 项目简介	263
分析	214	9.2.2 系统功能分析	264
8.1.1 项目简介	214	9.2.3 系统总体设计	267
8.1.2 系统功能分析	215	9.2.4 智能合约设计	269
		9.2.5 系统实现与部署	284
		9.3 本章小结	286

第一部分

区块链基础

□ 第1章 区块链基础入门