

## 基于区块链技术的道路路边停车管理系统

杨迪<sup>1</sup>, 徐涵<sup>1</sup>, 龙承念<sup>2</sup>, 彭绍亮<sup>3</sup>

1. 国防科技大学 计算机学院, 湖南长沙 410073

2. 上海交通大学 电子信息与电气工程学院, 上海 200240

3. 湖南大学 信息科学与工程学院, 湖南长沙 410082

**摘要:** 针对当前道路路边停车管理中存在的效率低下、交易不透明等缺点, 提出了一个基于区块链技术的道路路边停车管理系统。根据边缘设备终端的车牌识别算法采集停车信息, 将关键停车交易数据发送并存储至 Web 服务器的 MySQL 数据库缓存, 之后由 Fabric SDK 中间件存储到 Hyperledger Fabric 区块链平台。该系统依靠区块链去中心化、链上数据不可篡改的特点, 在满足业务需求基础上提高了用户的隐私性和交易的可靠性。

**关键词:** 路边停车; 管理系统; 区块链; 系统设计; 系统实现

**中图分类号:** TP315

**文章编号:** 0255-8297(2021)01-0090-09

## Roadside Parking Management System Based on Blockchain Technology

YANG Di<sup>1</sup>, XU Han<sup>1</sup>, LONG Chengnian<sup>2</sup>, PENG Shaoliang<sup>3</sup>

1. College of Computer, National University of Defense Technology,  
Changsha 410073, Hunan, China

2. School of Electronic Information and Electrical Engineering,  
Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China

3. College of Computer Science and Electronic Engineering,  
Hunan University, Changsha 410082, Hunan, China

**Abstract:** Aiming at the shortcomings of low efficiency and opaque transaction in current roadside parking management, a roadside parking management system based on blockchain technology is proposed. Parking information is collected by license plate recognition algorithm of edge device terminal, and key parking transaction data is sent and stored in MySQL database cache of Web server, and then stored in Hyperledger Fabric blockchain platform through Fabric SDK middleware. Relying on the decentralization of the blockchain and the non-tamperable nature of the on-chain data, the system not only meets business needs but also improves the privacy of users and the reliability of transactions.

收稿日期: 2020-10-31

基金项目: 国家重点研发计划基金 (No.2018YFC0910405, No.2017YFC1311003); 国家自然科学基金 (No.61772543, No.U1435222); 上海市科委高新技术项目基金 (No.19511102102) 资助

通信作者: 彭绍亮, 教授, 研究方向为区块链、生物信息、大数据。E-mail: slpeng@hnu.edu.cn

**Keywords:** roadside parking, management system, blockchain, system design, system implementation

近年来随着社会的发展,中国私家车的数量不断增加。据统计,截止2020年4月,全国汽车保有量约为2.6亿辆,比2009年多了2倍<sup>[1]</sup>。汽车数量的增加加剧了城市的拥堵,也使得停车难的问题愈加突出。目前,中国城市停车场通过出入口的闸机以及扫码缴费等方式,已逐渐实现智能化管理,提升了管理运营效率。然而,对于城市道路路边停车而言,仍然以人工收费方式为主。这种方式存在以下几个弊端:1)管理效率低下,每个人管理的停车范围非常有限;2)人工收费存在“中饱私囊”的问题;3)存在停车时长和收费不明发生纠纷的可能;4)财务和审计部门在收费结算和核算的流程方面较为复杂。

物质世界数字化是提高效率的一种有效方法。随着信息技术的发展,城市基础设施越来越智能化和数字化。例如,人脸识别技术在车站安检口的使用、高速公路ETC技术的推广等大大提高了人员和车辆的通行效率。对于道路路边停车而言,很有必要引入一套数字化的管理系统来取代传统的人工模式。

区块链最早由中本聪在2008年提出<sup>[2]</sup>,是一种将时序数据以链式结构组合而成、以密码学机制保证交易数据不可篡改的分布式账本,具有分布式、不可篡改、安全可信等优点,可以为停车收费数据提供可靠性保障。区块链根据参与节点的身份是否确定以及是否引入了经济激励机制,分为公有链和许可链。目前综合各类因素来看,许可链更适合国内商业级部署<sup>[3]</sup>。它通过内部若干机构或组织共同参与管理区块链,各自运行一个或多个节点,其中的数据只允许系统内不同的机构进行读取和发送交易,并且共同记录交易数据。

许可链的典型框架是Hyperledger Fabric<sup>[4]</sup>,它是Linux基金会于2015年发起的推进区块链数字技术和交易验证的开源项目。拥有灵活的区块链网络结构,可以提供企业级安全性、可扩展性和良好的吞吐性能。它独特的分布式分类账技术(distributed ledger technology, DLT)能够确保数据的完整性和一致性,因此本系统采用Fabric平台搭建停车管理区块链系统。

围绕数字化停车管理的研究很多。文献[5]设计了一种基于闸口放行的停车场数字化管控方案。文献[6]提出了一种路边停车系统的设计方案,但仅仅是围绕动态引导及寻车、违停提醒等进行了探讨,并没有在根本上改变路边停车的管理方式。文献[7]从保护用户隐私的角度出发,基于FISCO BCOS联盟链设计了一套停车场与用户之间交互、政府部门和系统管理者监管的停车管理系统。文献[8]强调了区块链系统相比于传统中心化节点所具有的优点,并针对拥挤城市停车难的问题设计了一套停车位置共享和引导系统,便于司机获得空置车位的实时信息。文献[9]提出了一种面向停车场和用户的停车收费管理系统,旨在打通各停车场之间的边界,方便停车用户使用。以上研究都没有针对道路路边停车问题提出有效的解决方案。为此,本文提出并实现了一个基于Hyperledger Fabric许可链的道路路边停车管理系统,通过边缘设备采集停车信息,将关键数据存储至区块链平台。本系统具有以下特点:1)引入数字化的管理,提高路边停车管理效率。2)将停车交易数据存放在区块链上,利用区块链的防篡改特性保证停车收费数据安全可靠。3)优化多部门业务交互关系,利用Fabric链上数据访问控制机制,保护用户的隐私性。

## 1 系统设计

### 1.1 系统业务设计

本系统的业务主体有交通管理部门、财务部门、审计部门、停车用户以及边缘设备,如图

1 所示。主要有以下四部分的业务开发:

#### 1) Fabric 环境部署及链码开发业务

根据系统的功能需求部署 Fabric 环境, 建立 Fabric 网络。本系统配置有 3 个组织, 分别为交通管理部门、财务部门、审计部门, 每个组织的节点上安装不同的链码以实现不同的功能。

#### 2) 多部门查询停车数据业务

各部门根据自身业务需求, 拥有不同的数据查询权限。交通管理部门主要查询车位的使用情况, 财务和审计部门主要查询停车费用的入账及核账情况。

#### 3) 客户端/管理端业务

客户端可实现绑定车辆、解绑车辆、查看停车交易记录、电子化支付等功能。管理端主要供交通管理部门下辖的管理人员使用, 实现车位增加、删除等操作。

#### 4) 边缘设备业务

每台边缘服务器与  $N$  个摄像头组网形成边缘节点, 再通过 Nginx 服务与 Web 服务器相连。摄像头捕获停车信息后将视频元数据发送至相连的边缘设备。边缘设备接收到数据后, 对视频进行丢帧处理, 并使用部署在边缘设备的深度学习算法识别车牌。待车牌识别完成后, 将车牌号、停车地点、时间戳发送至 Web 服务器。

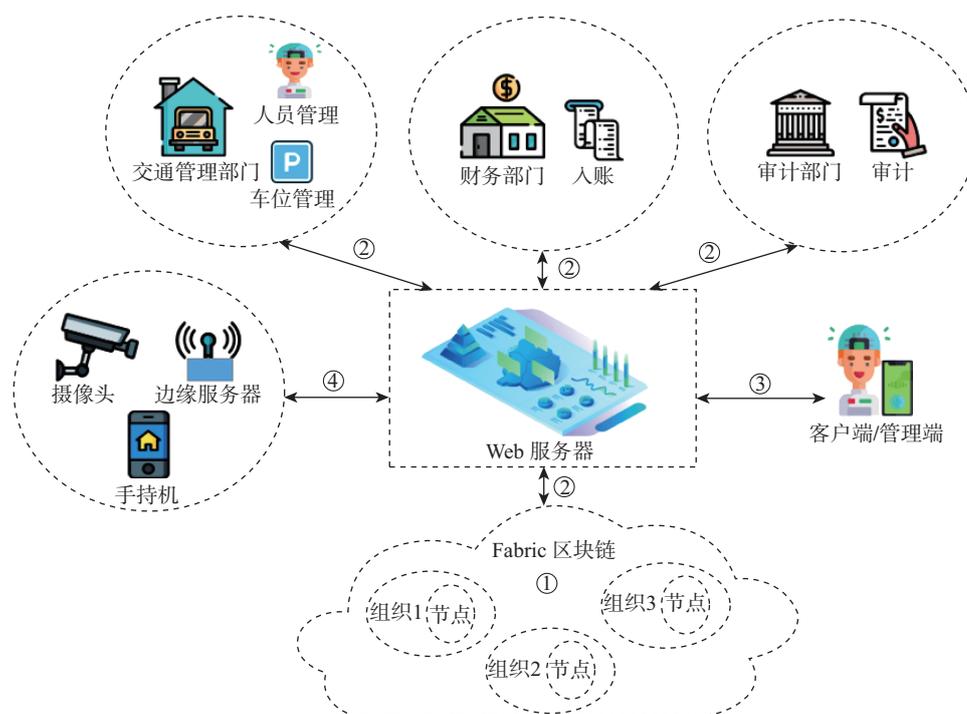


图 1 业务流程

Figure 1 Business process

## 1.2 系统架构设计

本系统架构主要包括 Fabric 区块链平台、Web 服务器端和客户端/管理端三部分, 其具体架构设计如图 2 所示。

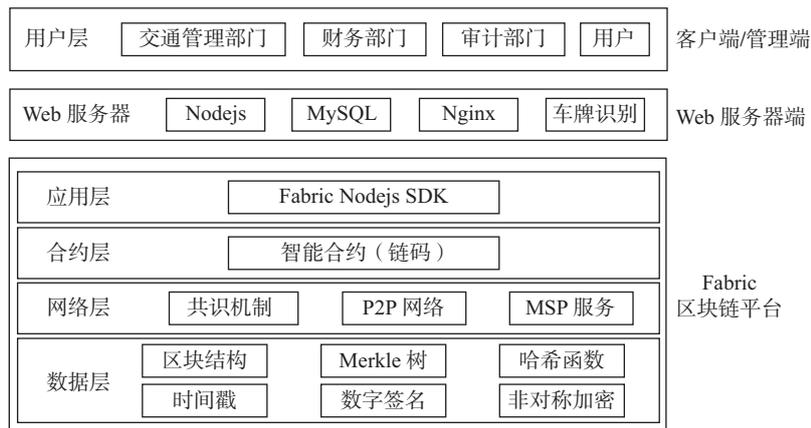


图2 系统架构

Figure 2 System architecture

Fabric 区块链平台包括数据层、网络层、合约层,其功能是对上传的关键停车数据进行存储。其中数据层是区块链的核心部分,可以将停车数据加密后上传到区块链;网络层是 Fabric 区块链平台信息传输的基础,包括共识机制、P2P 网络及网络中的数据验证机制;合约层封装的是能够实现系统功能的智能合约。Fabric 上的智能合约又称为链码,是一段可以在 Fabric 区块链平台上进行验证、存储和执行等操作的代码,可以与 Fabric 网络进行交互<sup>[10]</sup>。最外层是 Fabric SDK 模块,是区块链系统与后端服务的连接件。

Web 服务器是系统的中枢,本系统采用 Node.js 作为后端业务框架,结合 Nginx 服务对客户请求进行负载均衡处理。后端服务在接收到客户端/管理端传来的图片后,调用车牌识别功能进行识别,之后通过 Fabric SDK 将停车信息上链。考虑到 Fabric 区块链吞吐量不大<sup>[11]</sup>,为减少数据上链存储操作,在 Web 服务器端增加 MySQL 数据库作为缓存。用户开始停车时先将停车数据写入 MySQL 数据库,待用户驾车离开时再将 MySQL 中开始停车时的数据取出,与离开时的时间戳等停车交易信息进行上链存储操作。该方法将开始停车和结束停车两次上链操作缩减为一次,从而提高了系统的综合性能。

客户端/管理端为用户及管理人员提供交互界面。本系统采用微信小程序作为前端框架,通过 API 与 Web 服务器后端交互,实现业务逻辑功能及数据流动。

## 2 系统功能实现

路边停车管理系统主要涉及 Fabric 区块链平台、Web 服务器端、客户端/管理端 3 个部分的开发。

### 2.1 Fabric 区块链平台

#### 2.1.1 Fabric 网络环境部署

Fabric 网络环境是链码开发以及运行的基础。在操作系统中,首先需要安装环境依赖程序,如 Go 语言、Docker 容器等,并下载 Fabric 系统文件。之后使用 Fabric 文件中的 bootstrap.sh 脚本,下载相关的 bin 二进制执行文件、docker 镜像及 fabric-samples 文件。完成上述步骤后使用 fabric-samples 中的 configtx 配置文件创建组织节点,生成相应证书、数据文件以及系统和通道的初始块,并开启 orderer 节点和 peer 节点,待通道创建后将节点加入,

完成单机系统部署。之后,使用 kubernetes 容器编排技术完成 Fabric 网络的多机部署。本系统根据需求创建 3 个组织 1 个通道的 Fabric 系统,其配置信息中的组织标识符和组织 ID 及后续所安装的链码名称如表 1 所示。

表 1 Fabric 区块链组织信息  
Table 1 Fabric's organization information

机构名称	组织标示符	组织 ID	链码名称
交通管理部门	Org1	Org1MSP	jtgl_cc
财务部门	Org2	Org2MSP	cw_cc
审计部门	Org3	Org3MSP	sj_cc

### 2.1.2 Fabric 链码开发

链码是 Fabric 网络业务逻辑的载体,本系统中的链码使用 Go 语言开发。3 个链码分别安装在不同组织的节点上,可以通过链码上传停车信息或根据各自业务需要查询不同的链上数据。

在链码部署成功后的实例化过程中,首先调用 Init 方法完成系统初始化,接着调用 Invoke 方法执行数据上链存储或查询操作。本系统定义了以下 4 种 Invoke 方法,如表 2 所示。

表 2 Fabric 链码 Invoke 方法  
Table 2 Invoke method of chaincode

名称	方法	功能
addTx()	PutState	数据上链存储
queryTxByUser()	GetState	客户端查询
queryTxByFinacial()	GetState	财务部门查询
queryTxByAudit()	GetState	审计部门查询

表中, addTx() 用于数据上链存储操作, queryTxByUser()、queryTxByFinacial()、queryTxByAudit() 分别对应客户端、财务、审计的查询。调用不同的链码方法,可以实现隐私数据的隔离访问。

在链码中,首先需要定义链上数据结构。本系统上链数据包括用户账户名、车牌号、收费值、开始和结束停车时间以及停车位置信息。之后,链码读取 MySQL 数据库中的停车数据,将数据编码后以键值对的形式通过 API 接口存储至区块链。链码具体的执行过程如图 3 所示。

数据查询和数据上链存储过程存在较大的不同之处,其区别在于:

数据查询操作首先通过步骤 ① 获得身份认证后,在步骤 ② 与 peer 节点建立连接并发送交易提案。peer 节点对提案进行组织身份、通道信息及链码地址的验证。验证成功后,在 peer 节点构建交易模拟器,之后经过步骤 ⑤ 启动链码,按照交易提案内容通过步骤 ⑥ 查询对应的账本,取出数据后经步骤 ⑦ 返回查询结果至客户端。

数据上链存储操作在步骤 ① 与 ② 的基础上获得 peer 节点签名并满足背书策略要求,通过步骤 ③ 将交易和响应信息封装后广播到共识网络,待完成排序服务后经步骤 ④ 打包成区

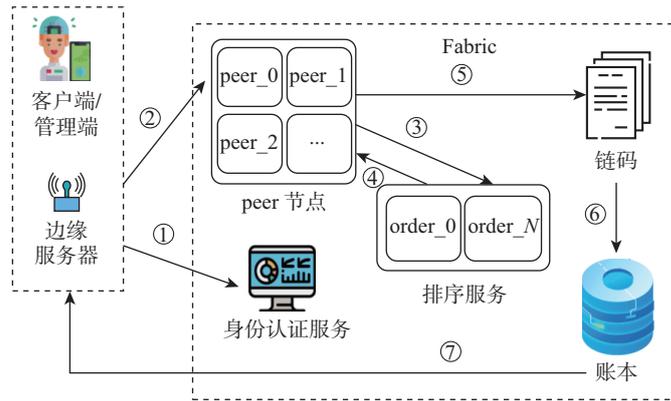


图3 链码执行过程

Figure 3 Chaincode execution process

块广播到同一个通道的所有 peer 节点。peer 节点收到共识网络发来的区块后, 首先对区块中的交易背书策略、区块数据、交易版本号进行验证, 然后通过步骤 ⑤ 调用链码并经过步骤 ⑥ 将区块添加到通道对应的链上。最后, 由步骤 ⑦ 返回上链成功的信息至客户端。

### 2.2 Web 服务器端

Web 服务器接收到车牌图片后, 先通过车牌识别服务识别出车牌号, 将车辆信息优先缓存至 MySQL 数据库, 再通过 Fabric SDK 存储关键数据至 Fabric 区块链。

#### 2.2.1 车牌识别

车牌识别算法不是本文的研究重点, 且该算法目前已比较成熟, 有很多开源的项目。本系统使用了 HyperLPR<sup>[12]</sup>, 该方法的识别准确率可达 95% 以上, 识别时间可控制在 100 ms 以内, 其识别过程如图 4 所示。通过图像预处理、车牌定位、字符分割、字符识别等过程, 完成车牌的识别。

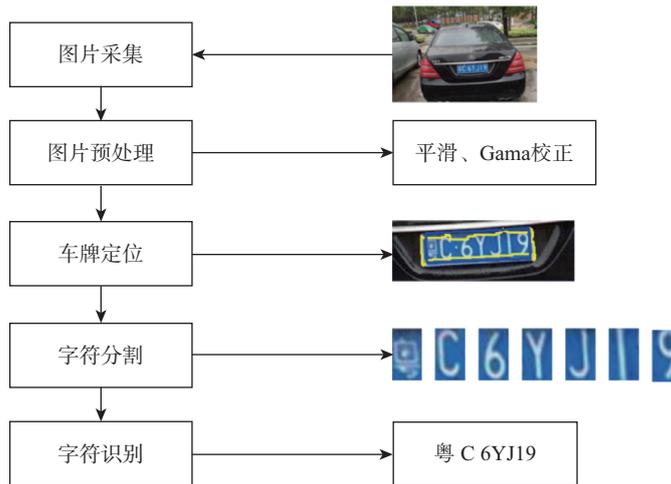


图4 车牌识别过程

Figure 4 License plate recognition process

### 2.2.2 MySQL 缓存数据库

MySQL 数据库主要存放用户个人信息、停车位信息、车辆信息以及停车支付、充值、提现等交易信息，其数据库设计如图 5 所示。

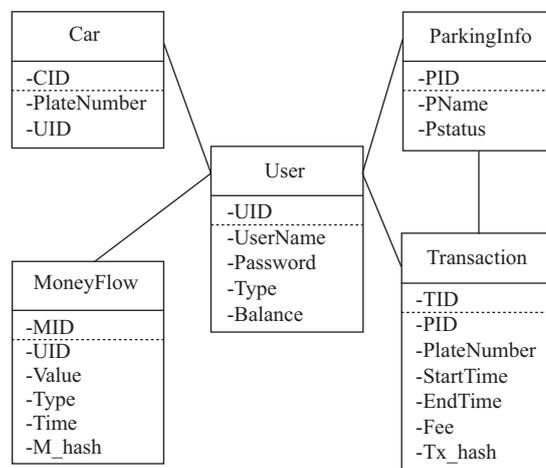


图 5 MySQL 数据库表的设计

Figure 5 Design of MySQL database tables

在图 5 中，所有表的主键 ID 均是由系统自动生成的唯一标识。User 表存储用户信息，其中 Password 存放的是用户密码的 Hash 值，用于保护车主账户安全；Type 用以区分用户和管理员，Balance 表示该账户的余额。MoneyFlow 表存储用户资金流水信息，Type 用以区分充值操作和提现操作。ParkingInfo 表存储停车位信息，其中 Pstatus 表示停车位的状态，分别是未停车、已停车。Car 表与 User 表关联，存储用户账户下注册的汽车车牌，其中 PlateNumber 表示车牌号。Transaction 表是停车系统的核心，存储停车交易信息，主要包括车牌号 PlateNumber、停车位 ID、起止时间、付费值 Fee。

### 2.2.3 Fabric SDK

Fabric SDK 是 Web 服务器与 Fabric 区块链网络之间的桥梁，通过 Farbric 的 Peer 节点和 Orderer 节点并基于 gRPC 协议的接口，实现 Peer 节点与 Orderer 节点命令/数据交互。Fabric 官方提供了多种语言的 SDK 来封装操作区块链网络的 API，本系统采用 Nodejs 语言的 SDK。借助 fabric-network、fabric-client、fabric-ca-client 这 3 个模块，Fabric 区块链应用可以访问 Fabric 区块链网络中的账本、交易、链码、事件、权限管理等多种资源。

### 2.3 客户端/管理端

客户端/管理端是系统与人交互的窗口界面，在系统业务中是发起服务请求的载体。为便于使用，本系统均采用微信小程序的方式实现。通过账户管理系统，实现用户/管理员的注册、登录、找回密码等功能，其前端界面如图 6 所示。

下面以用户停车过程为例，阐述该过程的业务流程。

**步骤 1** 用户通过绑定车辆的操作，为其账户添加注册车辆 Car\_x。

**步骤 2** 用户停车至停车位 P\_x，管理员在管理端将 Car\_x 车牌号拍照后与停车位 P\_x 信息一起上传至 Web 服务器。



(a) 客户端界面 (b) 管理端界面  
(a) Interface of client (b) Interface of management

图6 客户端/管理端界面

Figure 6 Interface of client and management

**步骤3** Web 服务器识别出 Car\_x 车牌号 Plate\_x 后, 将车牌号 Plate\_x、停车位 P\_x、时间戳 T\_start 存储至 MySQL 数据库。

**步骤4** 用户驾车离开时, 管理员确认车辆离开信息, 将时间戳 T\_end 上传并写入 MySQL 数据库中停车位 P\_x 对应的最后条目。后端应用访问 MySQL 数据库取出该条停车数据, 根据收费标准和停车时间, 计算收费值 Fee\_x 并完成扣费。最后将车牌号 Plate\_x、停车位 P\_x、时间戳 T\_start 和 T\_end、付费值 Fee\_x 进行上链存储。

### 3 性能测试分析

本系统 Web 服务及 Fabric 区块链环境搭建在云服务器中, 操作系统为 Centos 7.6, 处理器主频为 2.5 GHz, 处理器核心数为 2, 内存为 4 GB, 硬盘为 40 GB, 网络带宽为 5 Mbit/s。

数据上链和数据查询性能指标主要为吞吐量以及响应延迟时间, 由 Hyperledger Caliper 性能基准测试框架<sup>[13]</sup>进行测试, 各链码执行性能结果如表 3 所示。

表3 Caliper 测试链码性能结果

Table 3 Caliper test chaincode performance results

测试	链码名称	发送率/tps	平均延时/ms	吞吐量/tps
1	addTx()	1 000	340	220
2	queryTxByUser()	1 000	71	570
3	queryTxByFinacial()	1 000	140	650
4	queryTxByAudit()	1 000	176	670

由表 3 可以看出: 在测试发送率 send rate 设置为 1 000 的条件下, Fabric 区块链查询吞吐量平均在 500 tps (transaction per second) 以上, 延迟小于 200 ms; 数据上链存储吞吐量

为 220 tps, 延迟小于 500 ms。由于本系统数据上链存储操作采取定时的惰性的从 MySQL 数据库中读取的方式, 虽然仅有 220 tps 的吞吐量, 但也可以满足业务场景正常的使用需求。

## 4 结 语

本文针对道路路边停车应用场景, 设计了一个基于 Fabric 区块链的路边停车管理系统。通过手机管理端采集停车信息, 并将停车关键数据存储至 Fabric 区块链平台, 依靠区块链去中心化、链上数据不可篡改等特点, 保证停车收费数据安全可靠。经过性能分析可以知道: 链上数据查询时间在 200 ms 以内, 数据上链吞吐量在 200 tps 以上, 可以满足实际业务需要。下一步, 我们计划针对智慧城市万物互联的特点, 综合运用摄像头、地磁、RFID 等边缘设备并结合物联网技术, 进一步优化路边停车管理的方式。

## 参考文献:

- [1] 发改委. 目前全国汽车保有量大约在 2.6 亿辆左右 [EB/OL]. [2020-09-15]. <http://auto.people.com.cn/n1/2020/0409/c1005-31667713.html>.
- [2] NAKAMOTO S. Bitcoin: a peer-to-peer electronic cash system [EB/OL]. [2020-09-15]. <https://www.cnblogs.com/huangshiyu13/p/6848212.html>.
- [3] 袁勇, 王飞跃. 区块链技术发展现状与展望 [J]. 自动化学报, 2016, 42(4): 481-494.  
YUAN Y, WANG F Y. Blockchain: the state of the art and future trends [J]. Journal of Automatica Sinica, 2016, 42(4): 481-494. (in Chinese)
- [4] Linux. Hyperledger Fabric [EB/OL]. [2020-09-15]. <https://www.hyperledger.org/>.
- [5] GRODI R, RAWAT D B, RIOS-GUTIERREZ F. Smart parking: parking occupancy monitoring and visualization system for smart cities [C]//Southeastcon, IEEE, 2016: 1-5.
- [6] 尹梦雅, 林楠, 王雨笛. 智慧城市路边停车管理系统构想 [J]. 山西建筑, 2019, 45(22): 180-181.  
YIN M Y, LIN N, WANG Y D. Design of roadside parking management system in smart city [J]. Shanxi Architecture, 2019, 45(22): 180-181. (in Chinese)
- [7] HU J, HE D, ZHAO Q, et al. Parking management: a blockchain-based privacy-preserving system [J]. IEEE Consumer Electronics Magazine, 2019, 8(4): 45-49
- [8] AMIRI W, BAZA M, BANAWAN K, et al. Towards secure smart parking system using blockchain technology [C]//IEEE Consumer Communications and Networking Conference, 2020: 1-2.
- [9] 余璨璨, 戚湧, 赵学龙, 等. 基于 Fabric 的停车管理区块链系统 [J]. 计算机应用, 2019(A01): 192-197.  
YU C C, QI Y, ZHAO X L, et al. Parking management blockchain system based on fabric [J]. Journal of Computer Applications, 2019(A01): 192-197. (in Chinese)
- [10] 禹忠, 郭畅, 谢永斌, 等. 基于区块链的医药防伪溯源系统研究 [J]. 计算机工程与应用, 2020, 56(3): 35-41.  
YU Z, GUO C, XIE Y B, et al. Research on anti-counterfeiting traceability system of medicine based on blockchain [J]. Computer Engineering and Applications, 2020, 56(3): 35-41. (in Chinese)
- [11] 李燕, 马海英, 王占君. 区块链关键技术的研究进展 [J]. 计算机工程与应用, 2019, 55(20): 13-23.  
LI Y, MA H Y, WANG Z J. Research progress on key technologies of blockchain [J]. Computer Engineering and Applications, 2019, 55(20): 13-23. (in Chinese)
- [12] Yu J. HyperLPR [EB/OL]. [2020-09-15]. <https://github.com/szad670401/HyperLPR>.
- [13] Linux. Hyperledger Caliper [EB/OL]. [2020-09-15]. <https://github.com/hyperledger/caliper>.

(编辑: 秦 巍)