

当区块链遇上物联网

移动互联网与金融大数据实验室 InPlus Lab

陈武辉

Outline

- Blockchain: new research hotspot
- Challenge Issues of IoT
- Blockchain Meets IoT
- Blockchain-IoT Use Cases
- Research Issues

区块链

国家战略《“十三五”国家信息化规划》

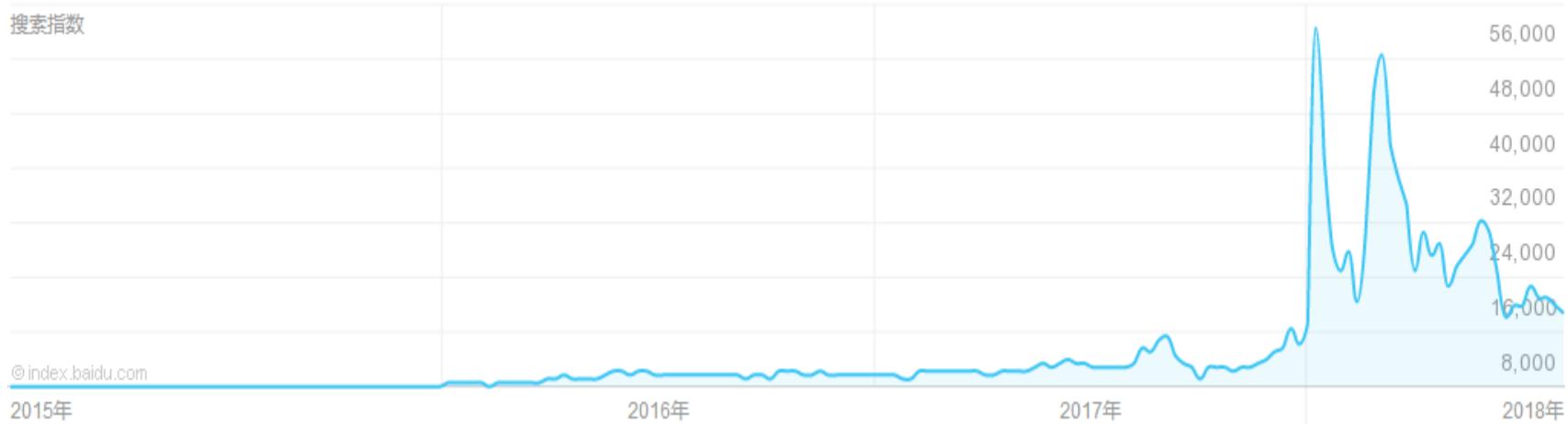
(二) 发展形势。

“十三五”时期，全球信息化发展面临的环境、条件和内涵正发生深刻变化。从国际看，世界经济在深度调整中曲折复苏、增长乏力，全球贸易持续低迷，劳动人口数量增长放缓，资源环境约束日益趋紧，局部地区地缘博弈更加激烈，全球性问题和挑战不断增加，人类社会对信息化发展的迫切需求达到前所未有的程度。同时，全球信息化进入全面渗透、跨界融合、加速创新、引领发展的新阶段。信息技术创新代际周期大幅缩短，创新活力、集聚效应和应用潜能裂变式释放，更快速度、更广范围、更深程度地引发新一轮科技革命和产业变革。物联网、云计算、大数据、人工智能、机器深度学习、**区块链**、生物基因工程等新技术驱动网络空间从人人互联向万物互联演进，数字化、网络化、智能化服务将无处不在。现

强化战略性前沿技术超前布局。立足国情，面向世界科技前沿、国家重大需求和国民经济主要领域，坚持战略导向、前沿导向和安全导向，重点突破信息化领域基础技术、通用技术以及非对称技术，超前布局前沿技术、颠覆性技术。加强量子通信、未来网络、类脑计算、人工智能、全息显示、虚拟现实、大数据认知分析、新型非易失性存储、无人驾驶交通工具、**区块链**、基因编辑等新技术基础研发和前沿布局，构筑新赛场先发主导优势。加快构建智能穿戴设备、高级机器人、智能汽车等新兴智能终端产业体系和政策环境。鼓励企业开展基础性前沿性创新研究。

区块链热度

■ 百度指数 (2015.1~2018.8)

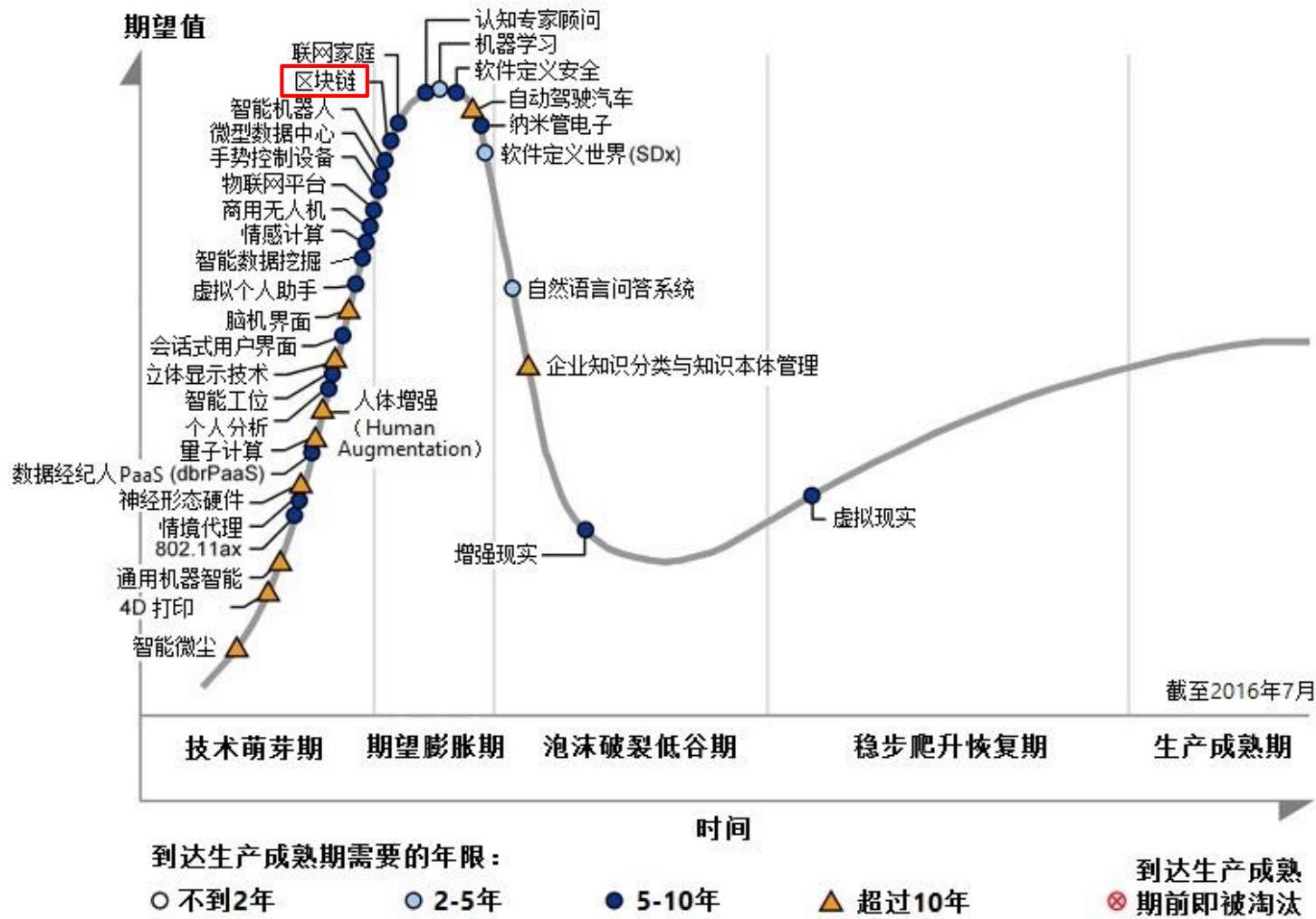


■ Google Trends (2015.1~2018.8)



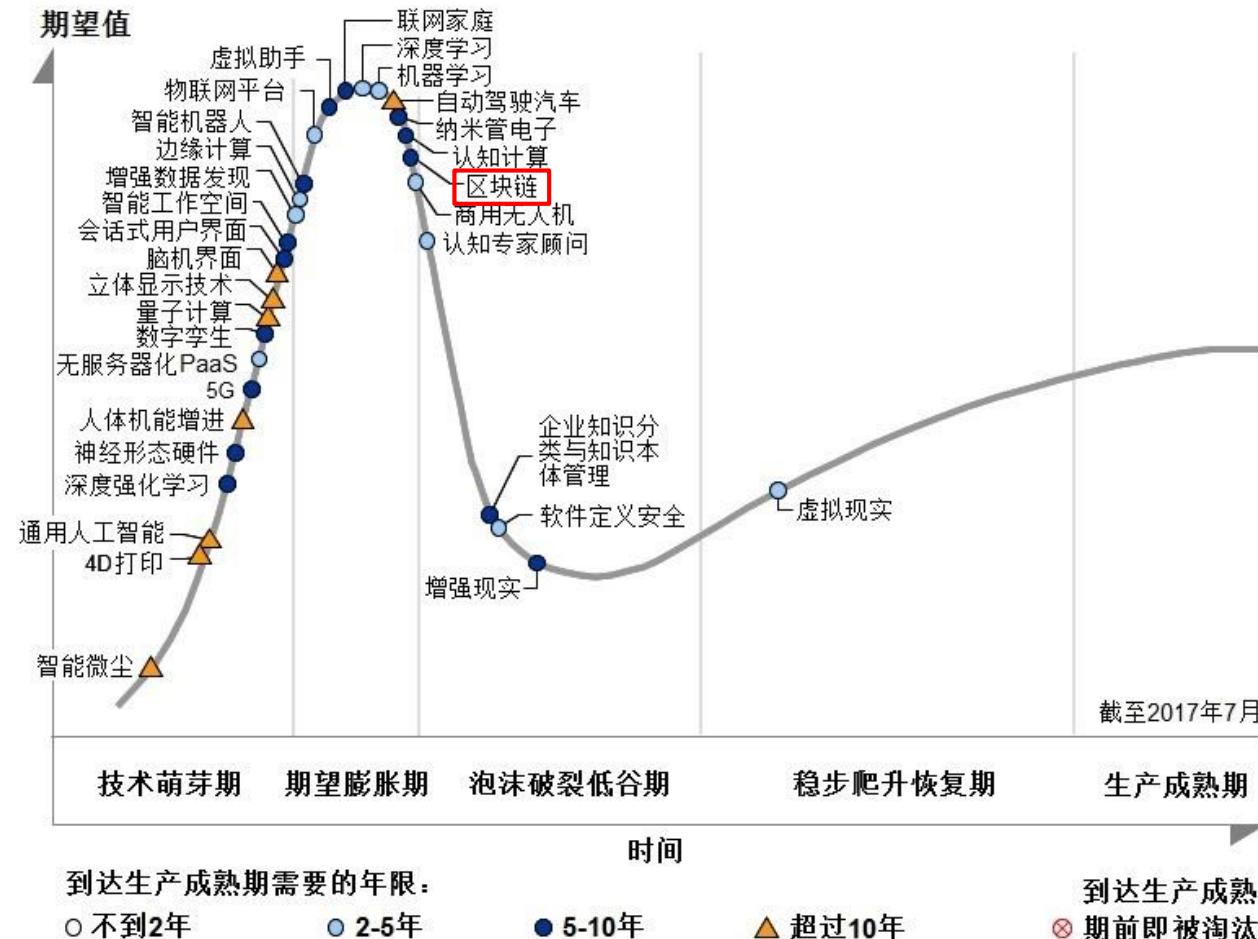
区块链：成熟度曲线

Gartner新兴技术成熟度曲线-2016



区块链：成熟度曲线

Gartner新兴技术成熟度曲线-2017



来源: Gartner (2017年7月)

区块链：十大科技趋势

Gartner2017十大科技趋势预测

- 1、人工智能和先进机器学习
- 2、智能应用程序
- 3、智能物件
- 4、虚拟现实和增强现实
- 5、数字孪生(digital Twin)
- 6、**区块链和分布式账本**
- 7、对话式系统
- 8、网状网应用程序和服务架构
- 9、数字化技术平台
- 10、适应性安全架构

Gartner2018十大科技趋势预测

- 1、人工智能基础
- 2、智能应用与分析
- 3、智能物件
- 4、数字孪生
- 5、从云到边缘
- 6、会话式平台
- 7、沉浸式体验
- 8、**区块链**
- 9、事件驱动
- 10、持续自适应风险和信任

区块链：巨头布局

公司	区块链项目名称\应用场景
中国平安	资产交易和征信
中银香港	按揭区块链应用
台湾中国信托商业银行	区块链实验室
浙商银行	区块链移动数字汇
中国银联	跨行积分兑换系统
万向集团	万向创新聚能城
阿里	与以太坊合作公共金融云、联合法大大推出区块链邮箱存证
百度	战略投资Circle
蚂蚁金服	区块链公益平台
京东金融	数字票据和ABS云
微众银行	基于转讯云的联盟链云服务
万达集团	合作推出大力神项目
乐视金融	与Stellar合作跨境支付、用户信用监控系统•
汇银集团	2000万美元建立区块链风险投资子公司
中国证券登记结算公司	与俄罗斯NSD达成区块链合作
众安科技	安链云网络

区块链：地方政府文件

中国地方政府区块链政策扶持

各省（自治区和直辖市）区块链扶持政策数量



链塔智库研究绘制

www.blockdata.club

贵州：大力发展战略与大数据的结合

广东：每年财政投入2亿元

上海：出台金融区块链指导政策

北京：最高支持金额不超过500万元

区块链：融资情况

近五年中国区块链产业融资情况

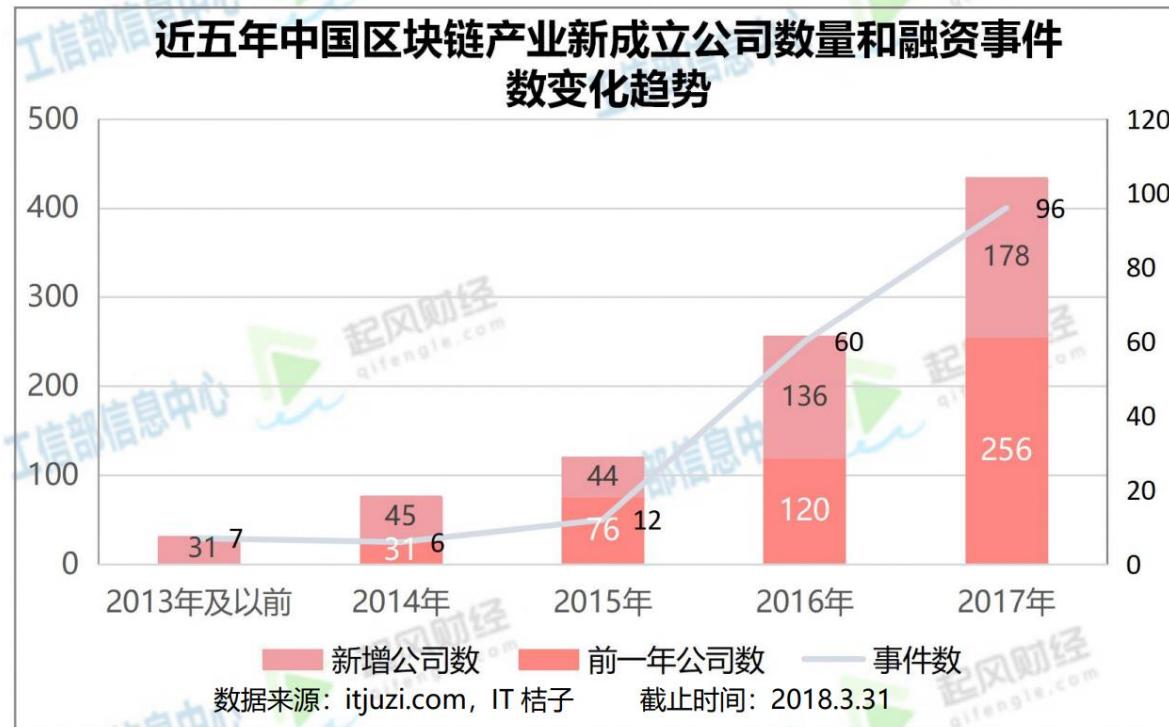
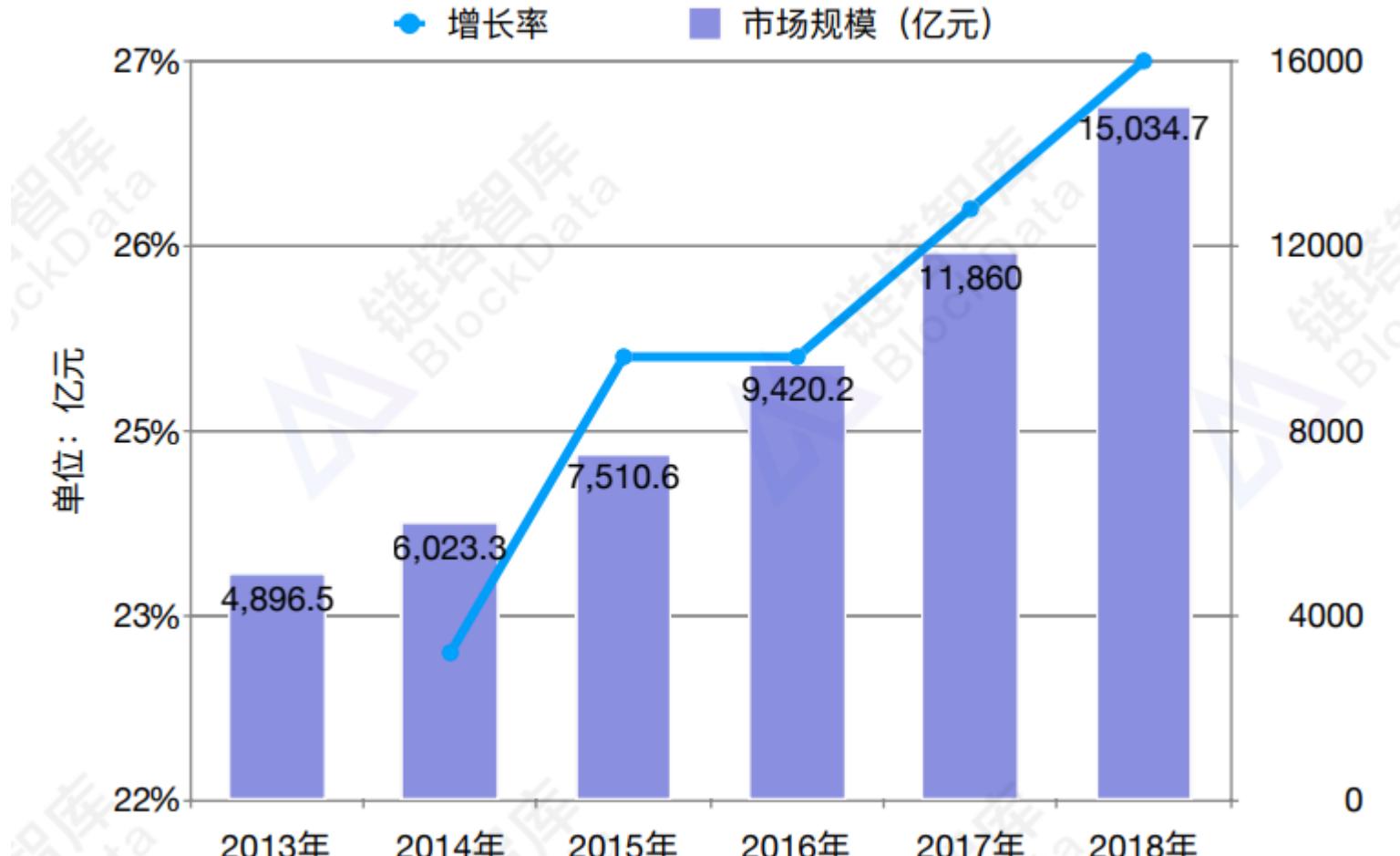


图 1 近五年中国区块链产业新成立公司数量和融资事件数变化趋势

Challenge Issues of IoT

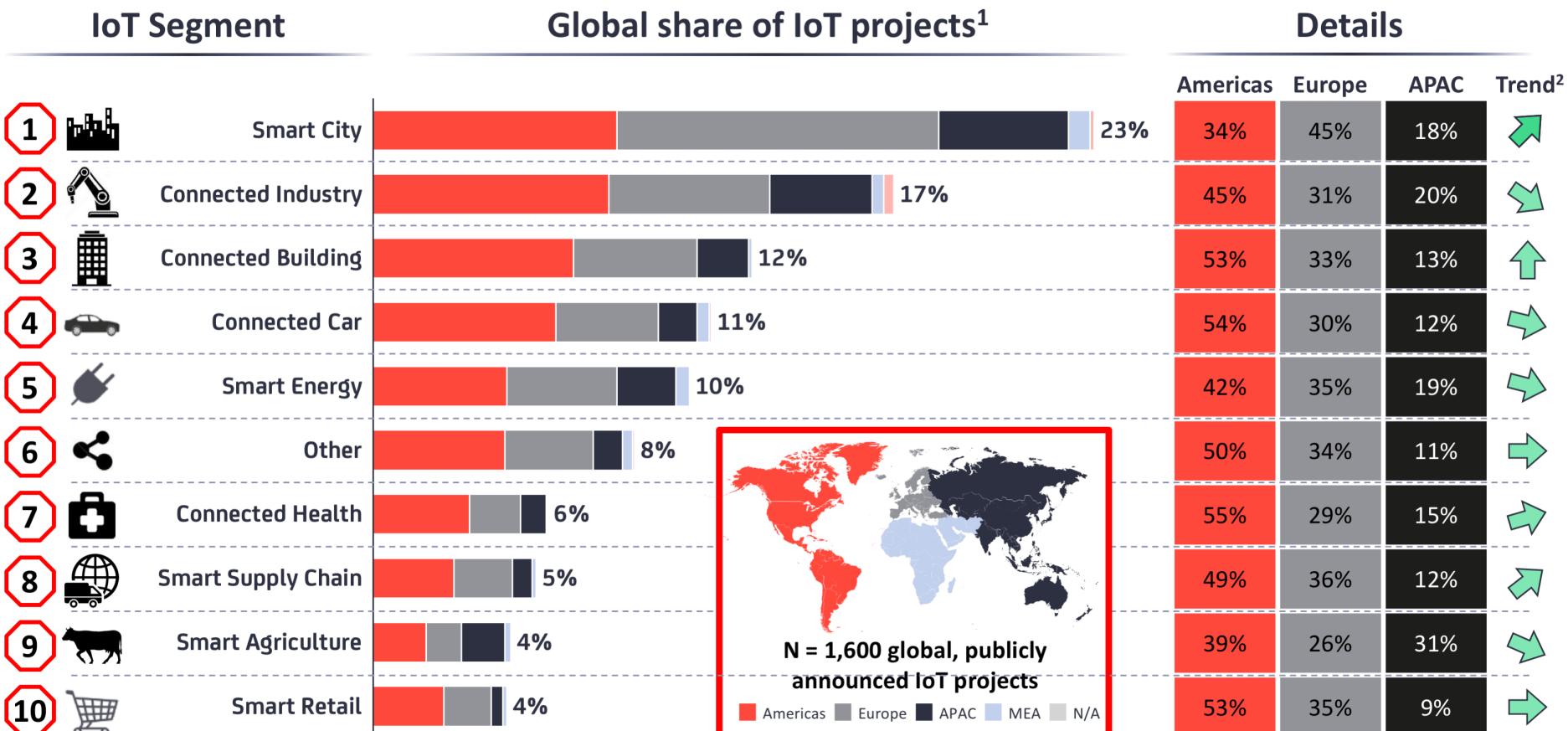
物联网在中国

我国物联网产业规模趋势图



数据来源：物联网行业应用领域市场需求与投资预测分析报告

The top 10 IoT segments in 2018



1. Based on 1,600 publicly known enterprise IoT projects (Not including consumer IoT projects e.g., Wearables, Smart Home). 2. Trend based on comparison with % of projects in the 2016 IoT Analytics Enterprise IoT Projects List. A downward arrow means the relative share of all projects has declined, not the overall number of projects. 3. Not including Consumer Smart Home Solutions. Source: IoT Analytics 2018 Global overview of 1,600 enterprise IoT use cases (Jan 2018)

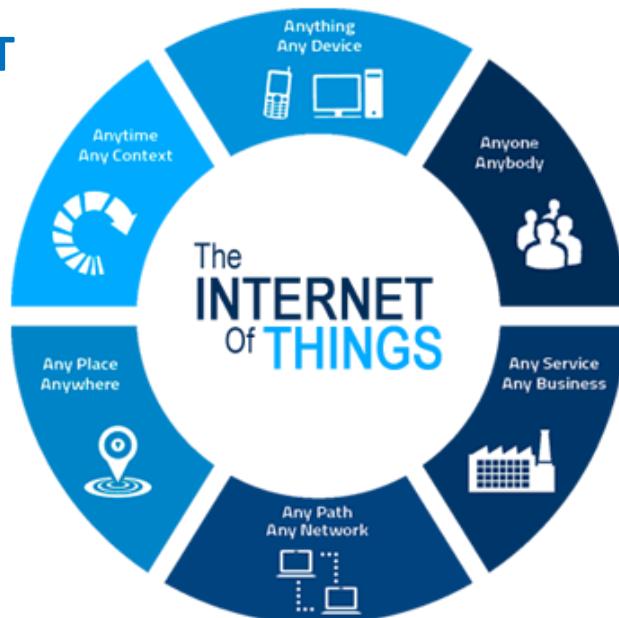
Source: IoT Analytics, Jan 2018

What is IoT?

The **Internet of things (IoT)** is the network of devices, vehicles, and home appliances which allows these things to connect, interact and exchange data.

The Ubiquitous IoT

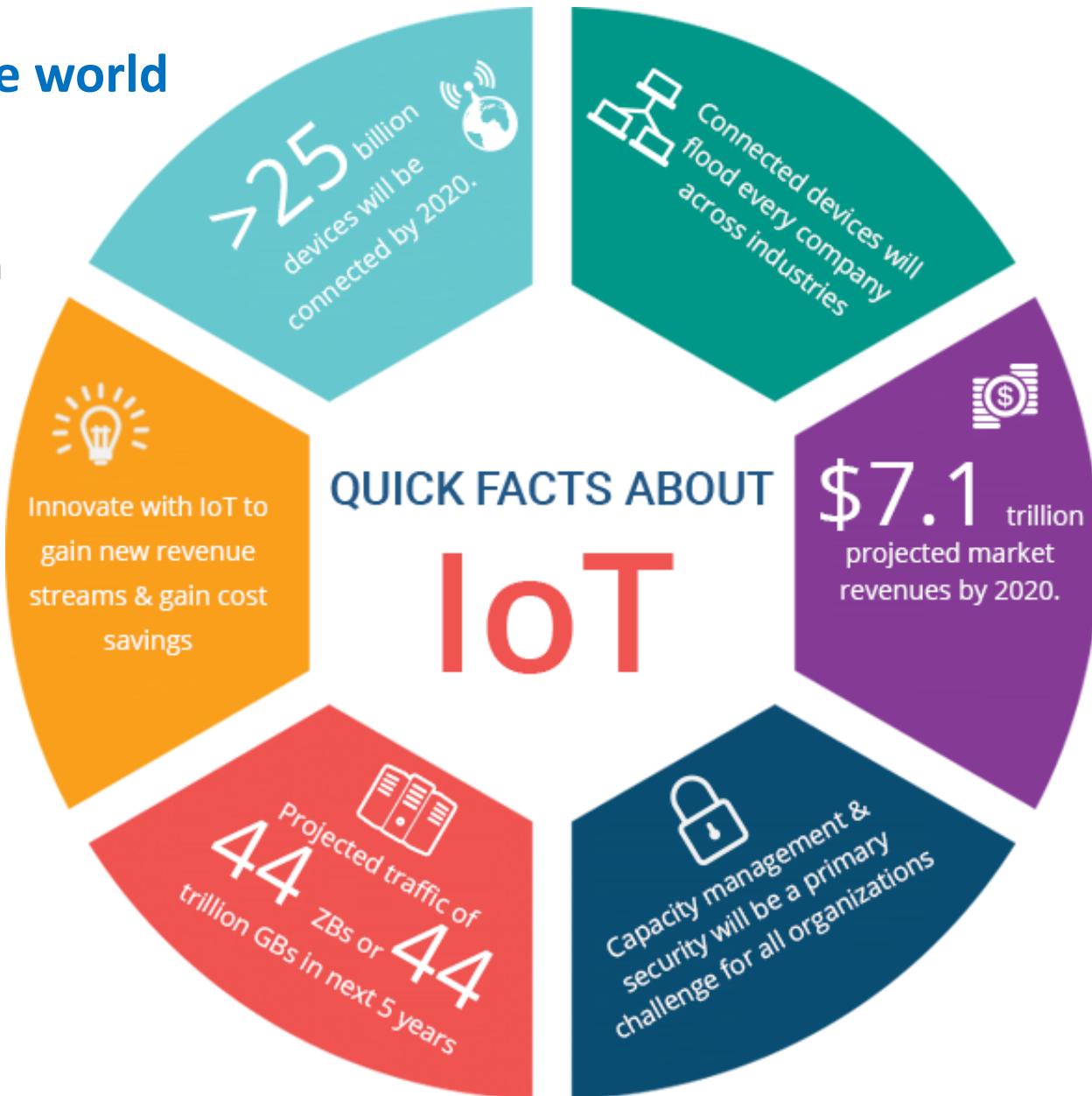
Any Things/Devices
Body
Time
Place
Network
Service/Business
.....



Why IoT?

IoT: going to change the world

- Scalability and mobility
- Better M2M communication
- Automation
- Facilitate monitoring
- Systematic use of data
- Save cost
- Comfort
- Rich applications



Key components and layered architecture of IoT

IoT's Key Components



Things (Devices):

Smart, connected products and other Things combine processors, sensors and software with connectivity.



Communication Infrastructure

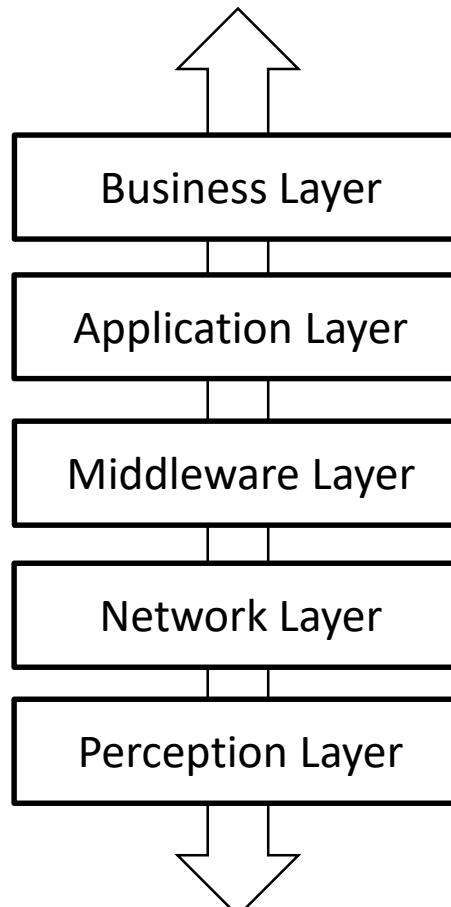
Wired and wireless networks connect Things to the Internet and each other.



Computing Infrastructure

Data capture and analytics tools, new business and software applications create new forms of value.

IoT's Basic Layered Architecture



Cover entire IoT applications and services management.

Manage IoT applications.

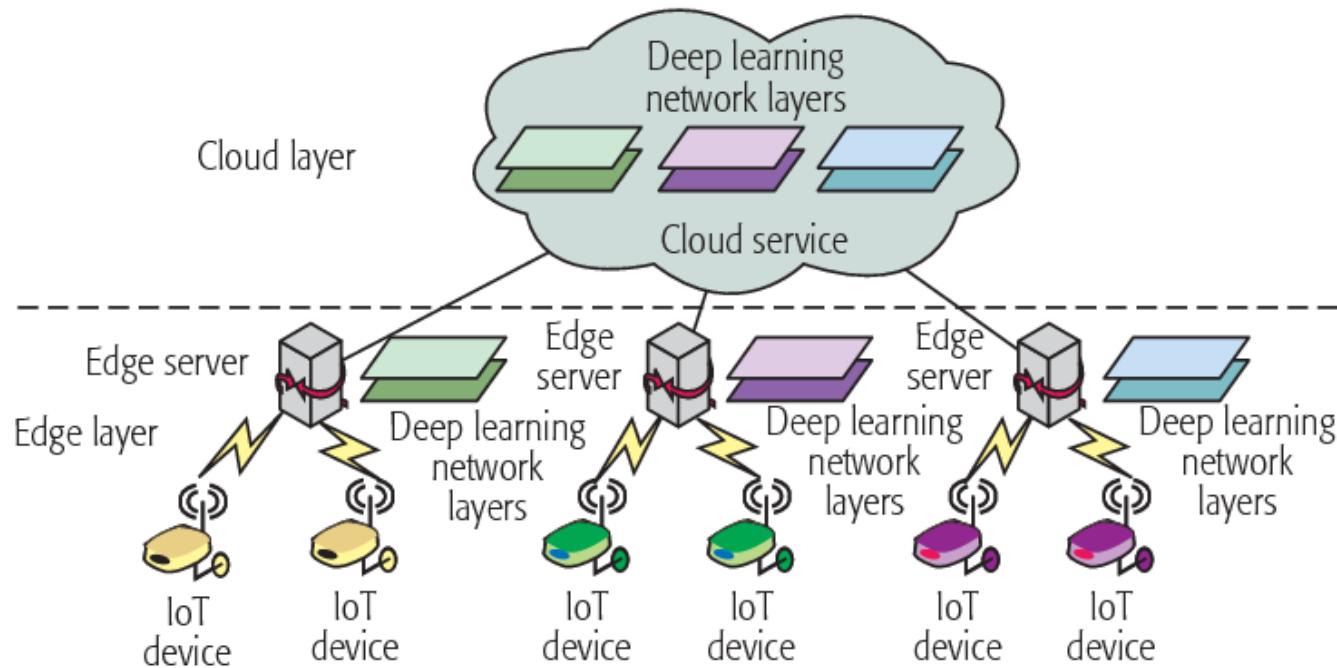
Service management and storing lower layer data into database.

Forward information from perception layer to upper layers.

Consist of sensor devices to collect specific information.

Cloud/Edge computing and IoT

- **Cloud computing:** great computing and management capacity.
 - **Edge computing:** providing computation services with low latency.
 - **Cloud/edge-based model:** extending the scale and applications of IoT.
-



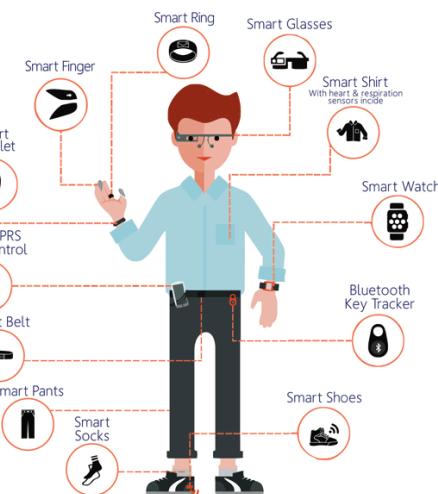
Edge/Cloud based IoT System

Applications of IoT

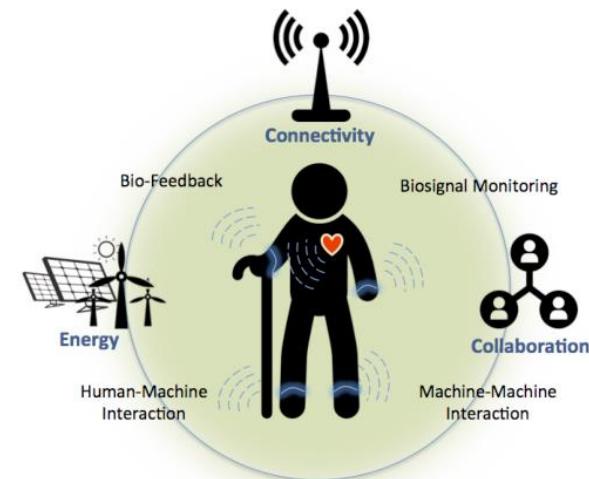
The extensive set of applications for IoT devices is often divided into consumer, commercial, industrial, and infrastructure spaces.



Smart home



IoT wearable devices



IoT for elder care

Consumer& Commercial IoT

Industrial Internet of Things



Industrial IoT



Condition Monitoring



Factory of the Future



Infrastructure applications of IoT



Smart Grid



Industrial Control

Industrial internet applications

物联网行业痛点

● 数据传输成本高昂

物联网连接下的智能设备需要周期性的更新迭代其版本和功能，智能设备所获取的数据流也均需汇总在中心化的平台，每一次的互动传输需要消耗巨大的流量，产生高昂的成本。而智能设备一年会有数次的软件在线升级，成本压力巨大。

● 中心化运营带来的安全风险

中心化运营会不可避免的带来安全风险，中央服务器如果出现安全漏洞将会对整个网络中的节点产生安全风险和安全隐患。被麻省理工科技评论评为2017年十大突破性技术的物联网连接下的僵尸网络累计感染超过200万台摄像机等物联网设备。除去技术风险，物联网服务商若遭遇运营、成本危机，设备将无法正常使用。

物联网行业痛点

- **用户隐私得不到有效保障**

用户隐私问题同样是中心化运营平台所带来的通病，当人与物在各种交互与交易过程中，中心化服务器的拥有者存在一定的道德风险，中心化网络可以零成本随意搜集用户隐私，造成隐私泄露等问题。排除运营商作恶问题，也存在因安全漏洞导致的用户隐私泄露。

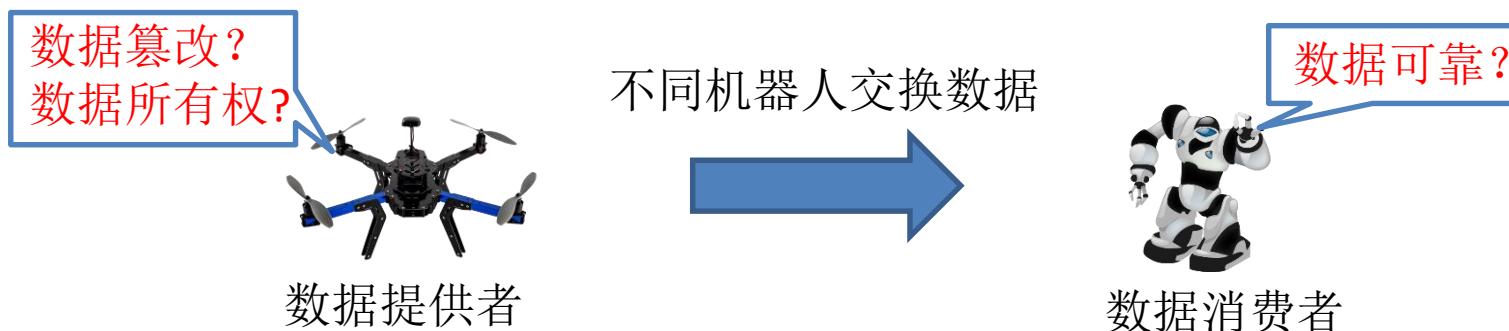
- **产业非标准化造成信息孤岛**

物联网厂商都基于自己的标准去搭建平台，造成了信息不兼容等问题。不同设备、平台无法实现信息的传输，信息是碎片化的，容易形成信息孤岛，极大制约了物联网的发展。

物联网行业痛点

● IoT设备交互存在可行问题

比如，机器人集群交互（如：数据共享、计算资源共享）存在可信安全问题



Blockchain Meets IoT

区块链+物联网：未来物联网的方向

区块链物联网发展历程

时间	主要事件
1990	施乐公司以可乐售卖机的形式进行了最早的物联网实践。
1995	比尔盖茨在《未来之路》中第一次提及了物联网，但未引起重视。
1999	麻省理工学院提出“万物皆可通过网络互联”，阐明了其基本含义。
2005	国际电信联盟发布物联网报告，物联网不再止于RFID技术的研究。
2009	IBM首席执行官彭明盛首次提出 智慧地球 的概念，轰动全球。
2009	温家宝“感知中国”讲话推进了中国的互联网研究和应用开发。
2017	ETC开始试水物联网领域，是区块链涉足物联网领域的开端。
2017	IOTA项目发行，占据区块链物联网行业龙头地位。

数据来源：链塔智库分析整理

www.blockdata.club

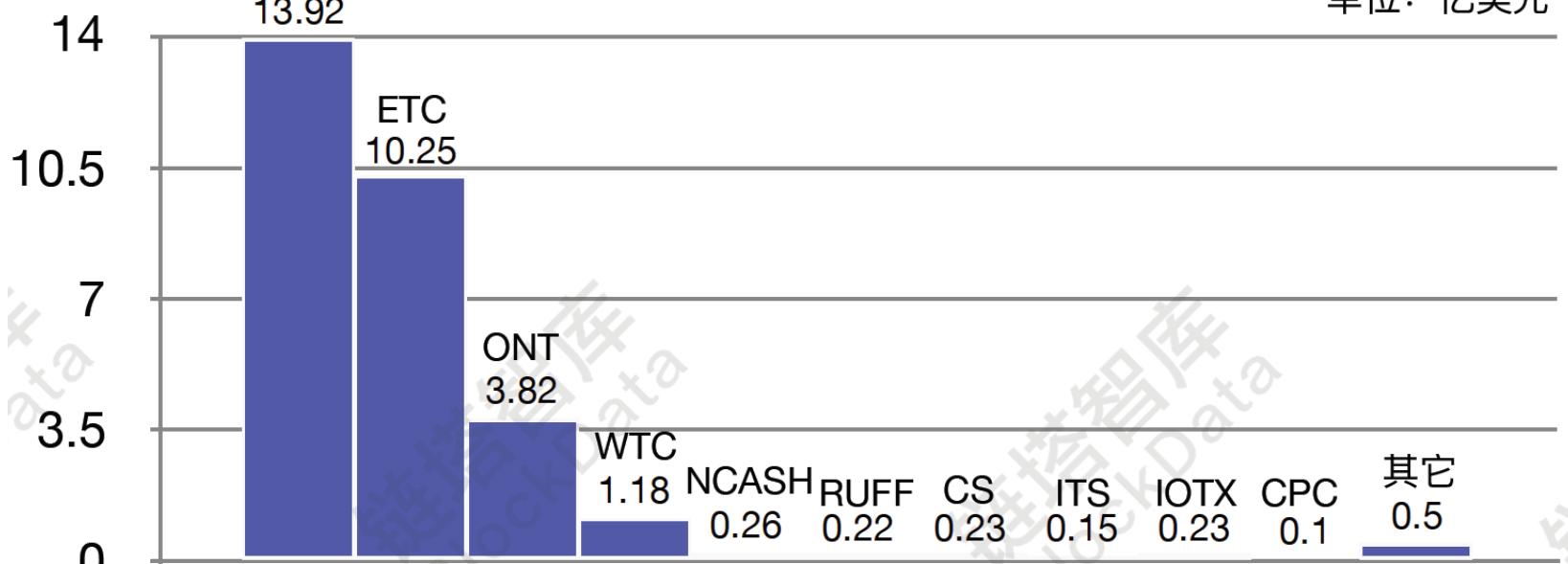
链塔智库BlockData发布《2018区块链物联网行业研究报告》，报告显示，区块链在物联网领域的应用正处在爆发阶段，区块链物联网项目共计54个，涉及物联网平台、智能制造、车联网、农业、供应链等诸多领域，形成激烈的竞争态势。

区块链+物联网

区块链物联网平台行业发展

区块链物联网项目市值占比图

单位：亿美元



数据来源：链塔数据平台

www.blockdata.club

区块链+物联网

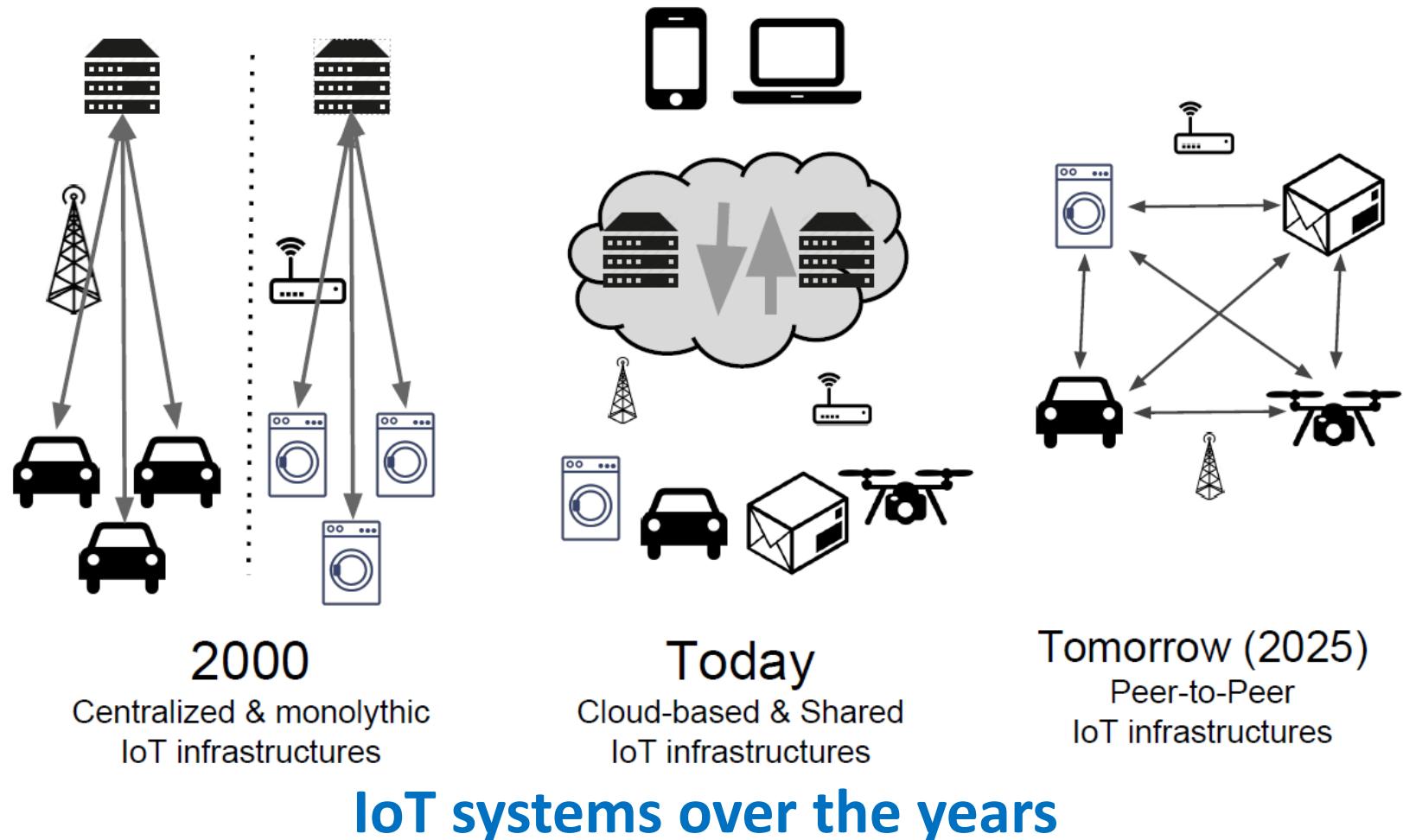
互联网巨头与物联网公司加速区块链技术布局

区块链物联网项目时间轴

2016.05	亚马逊	与DCG进行合作，为企业提供区块链实验环境
2016.08	Microsoft	微软区块链服务正式对Azure云平台用户开发
2016.10	IBM	推出Bluemix云平台上的区块链服务（BaaS）
2016.10	PREDIX	在GE Predix云上提供基于区块链的数据指纹
2017.03	阿里巴巴	与普华永道进行合作，进行食品溯源尝试
2017.04	Cisco	开始探索使用区块链进行设备的标识登记
2017.05	SAP	发布了Leonardo，提供区块链云服务
2018.03	京东	发布区块链白皮书，在供应链领域进行布局

What can blockchains bring to IoT?

The blockchain-based decentralized model adopts a **P2P communication model** and distributes the computation and storage across the IoT network, offering feasible solutions **for trustworthy enhancement, cost reduction, and failure avoidance**.



区块链物联网的优势

- **分布式连接降低数据传输成本**

区块链技术分布式连接的特点可以形成一个具有庞大体量节点的P2P传输网络，**通过闲置资源利用与点对点的连接，可以对物联网的组网架构进行优化，节约存储空间和传输流量费用。**据IOEX解决方案相关描述，**区块链技术的引用可以节省物联网硬件70%的升级更新费用。**

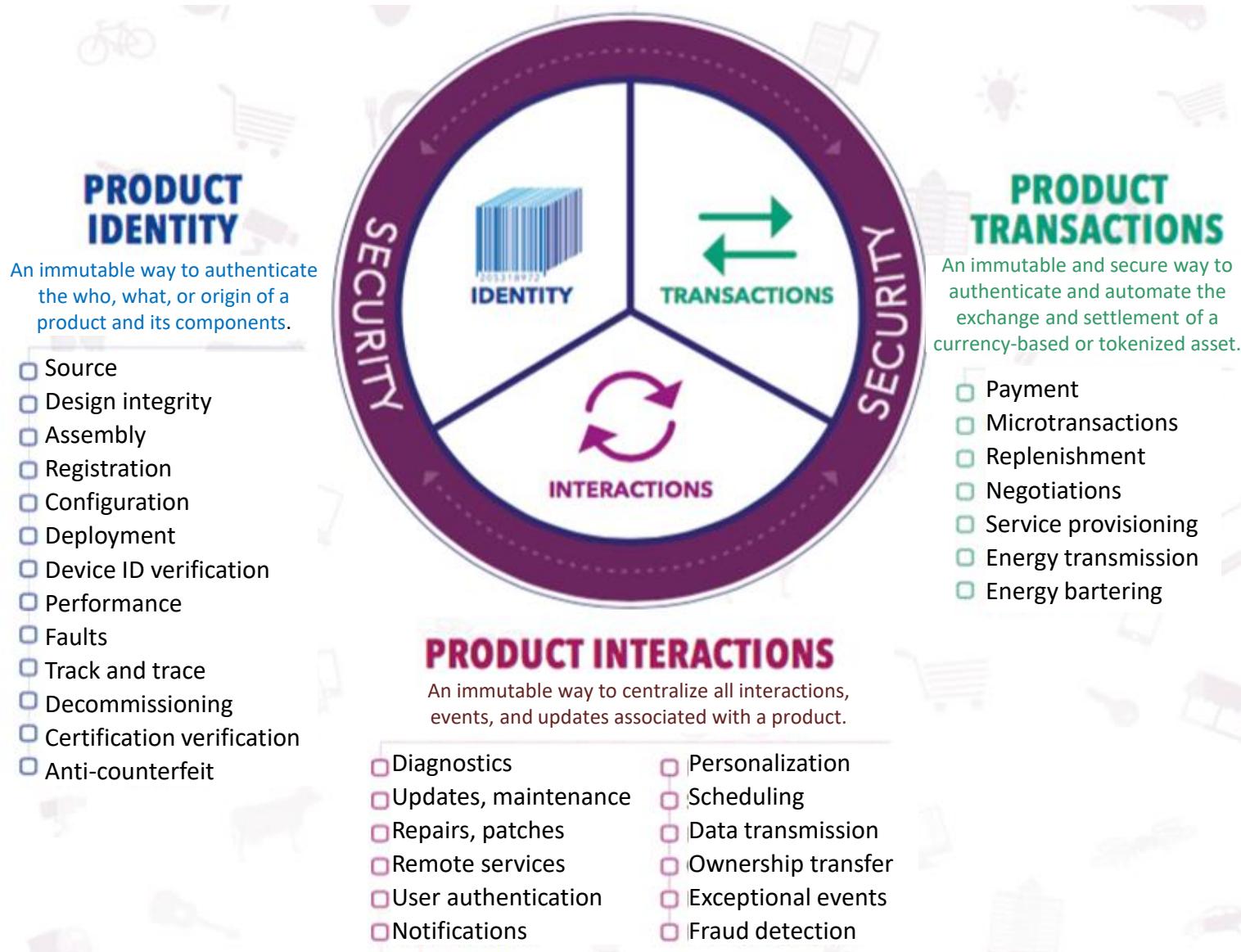
- **智能合约的调用降低管理运营成本**

利用智能合约编程实现物联网信息传递、加工、处理的智能化操纵和交易等的自动进行，**一方面节省了中心服务器的运营与维护成本，另一方面实现了数以万计的终端设备的低成本互联，大大降低了管理运营成本。**

- **去中心化存储解决信息安全与用户隐私保护**

区块链技术的应用使得物联网实现了去中心化的运营，**没有一个掌握了所有数据与用户信息的中心服务器的存在，规避了信息泄露的风险。与此同时，通过非对称加密算法等安全加密技术可以最大化保护用户的隐私。**

Blockchain supports IoT products across three use categories



By 2019, 20% of all IoT deployments will have basic levels of blockchain services enabled (IDC)

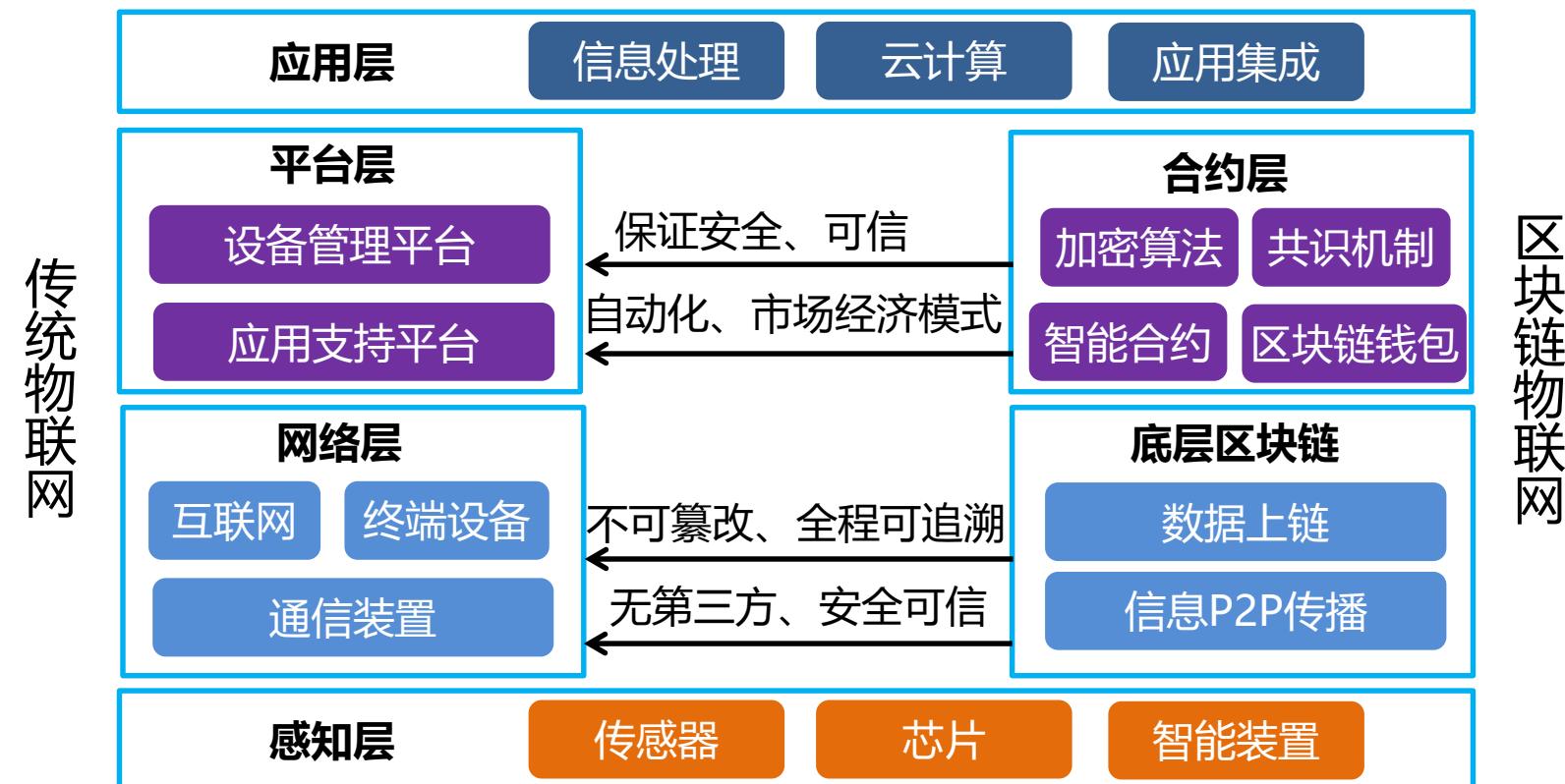
区块链物联网平台整体构架

区块链物联网基础架构图



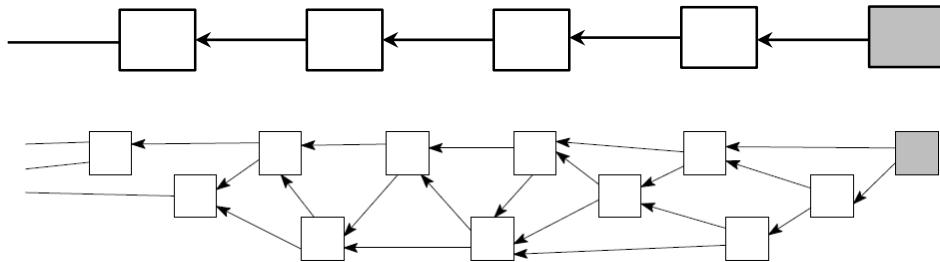
区块链物联网与传统物联网对比

- 区块链物联网中**合约层与底层区块链代替了传统物联网的平台层与网络层**。区块链物联网平台多采用底层公链进行平台搭建，编写智能合约，建立物联网运营服务体系，确保系统的实际有效运行、可持续性和商业闭环。
- 区块链物联网中，**感知层采集的信息和数据在底层区块链进行上链存储，全程可追溯，并实现信息的不可篡改**，通过点对点的分布式连接进行信息的传递；合约层通过一系列的智能合约编写实现系统的自动运行，进行交易等操作。



Enhance Scalability for Blockchain-supported IoT

Tangle: 新型的区块链结构

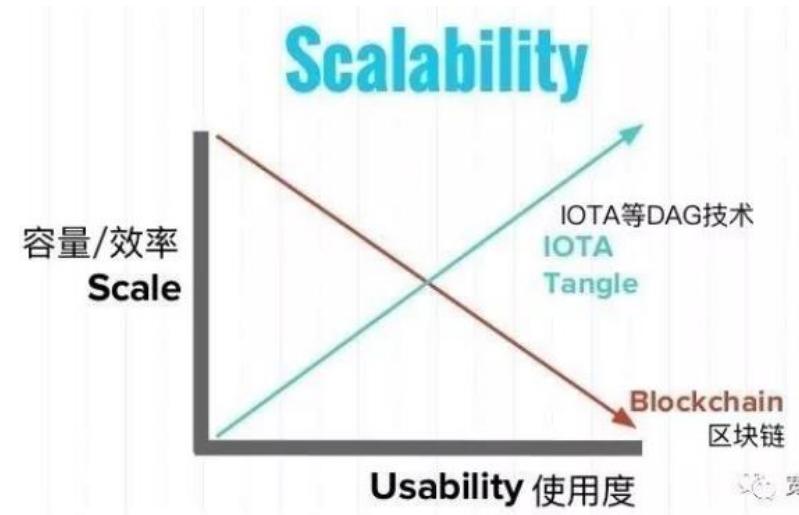
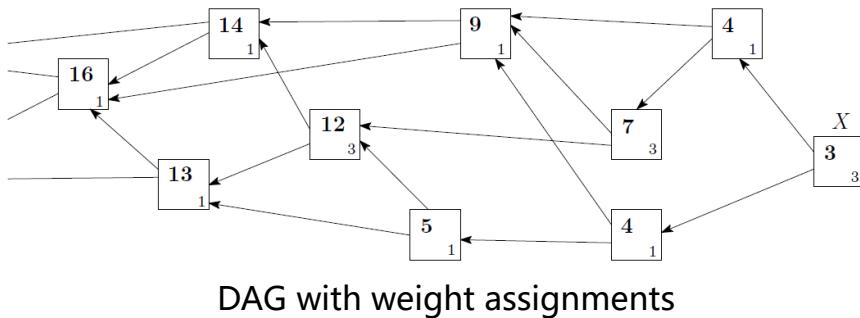


普通区块链：单向，每个区块产生时只需要验证前一个区块的交易。

有向无环图的Tangle结构，每个区块产生需要验证前面两个区块的交易。

Tangle的优点

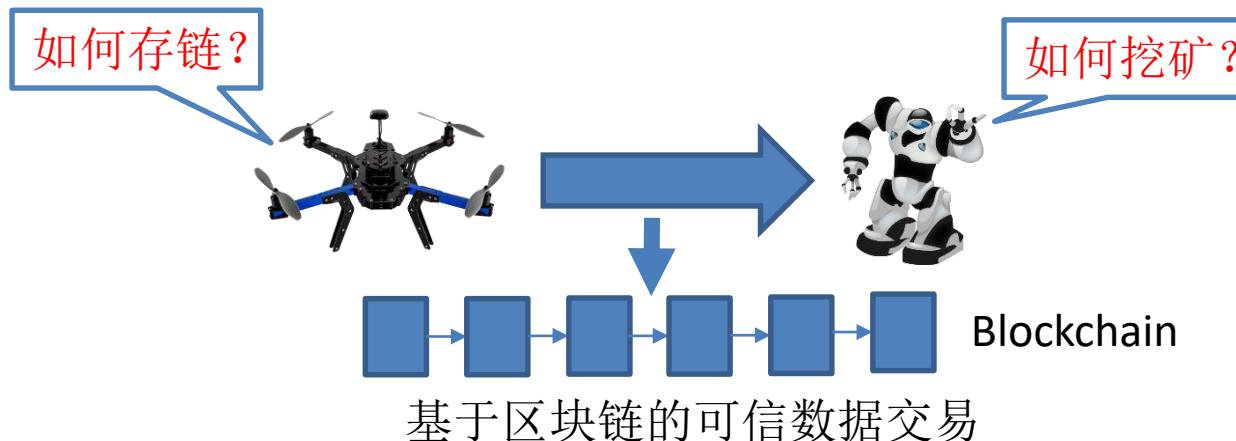
- 更低的交易成本：Tangle使用全网参与的共识机制（而不是矿工），交易与共识同时进行，降低了成本，
- 更好的可扩展性：全网参与的验证机制使得Tangle不会出现比特币中的网络拥堵，用户越多验证者越多，适用于更大规模的IoT。
- 更好的安全性：通过设置区块权重，更有效的防止攻击。



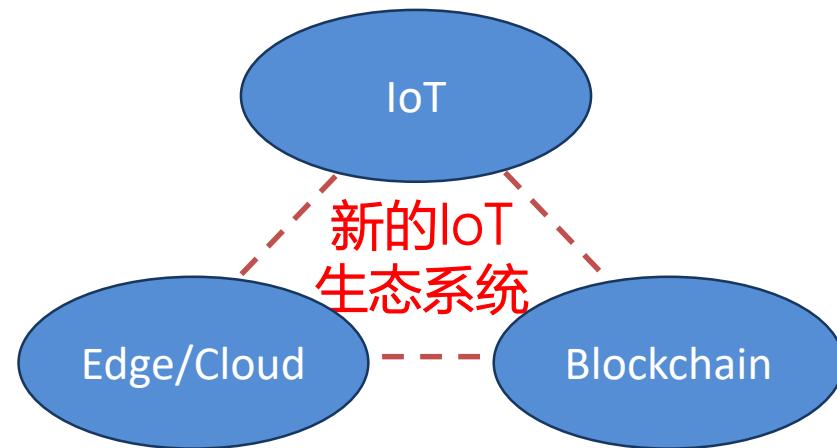
*Directed Acyclic Graph (DAG) : 有向无环图

Enhance Computation Capacity for Blockchain-supported IoT

口 基于区块链的IoT交互带来了计算、存储不足的挑战



解决方法：**基于边缘计算/云计算的区块链物联网构架**



IoT + Edge/Cloud + Blockchain = New IoT Ecosystem

Blockchain supports IoT:

- Decentralization
- Security
- Smart contracts supporting a variety of interactions

Edge/Cloud supports IoT:

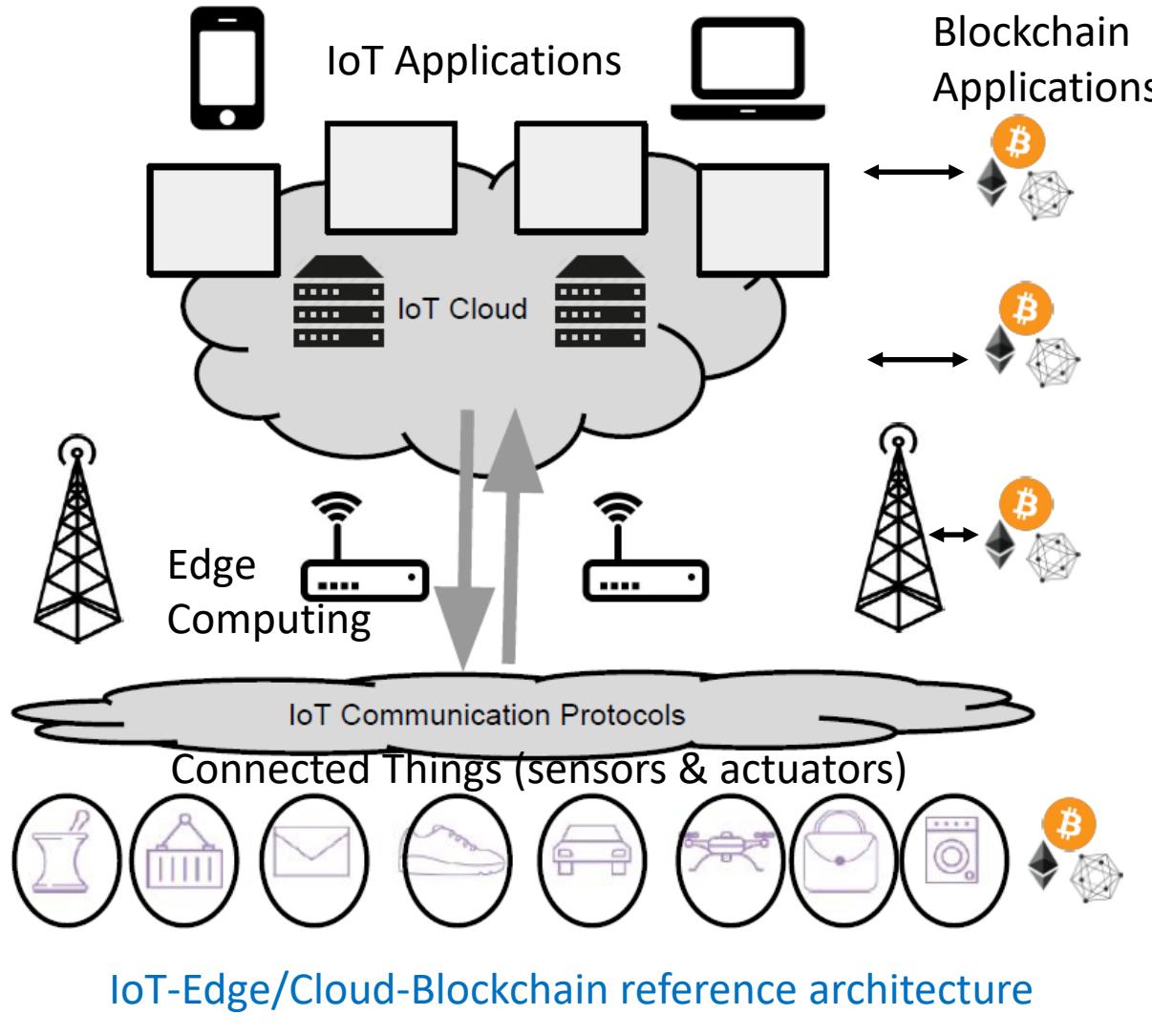
- Latency
- Energy-efficiency
- Cost reduction

Blockchain supports Edge/Cloud:

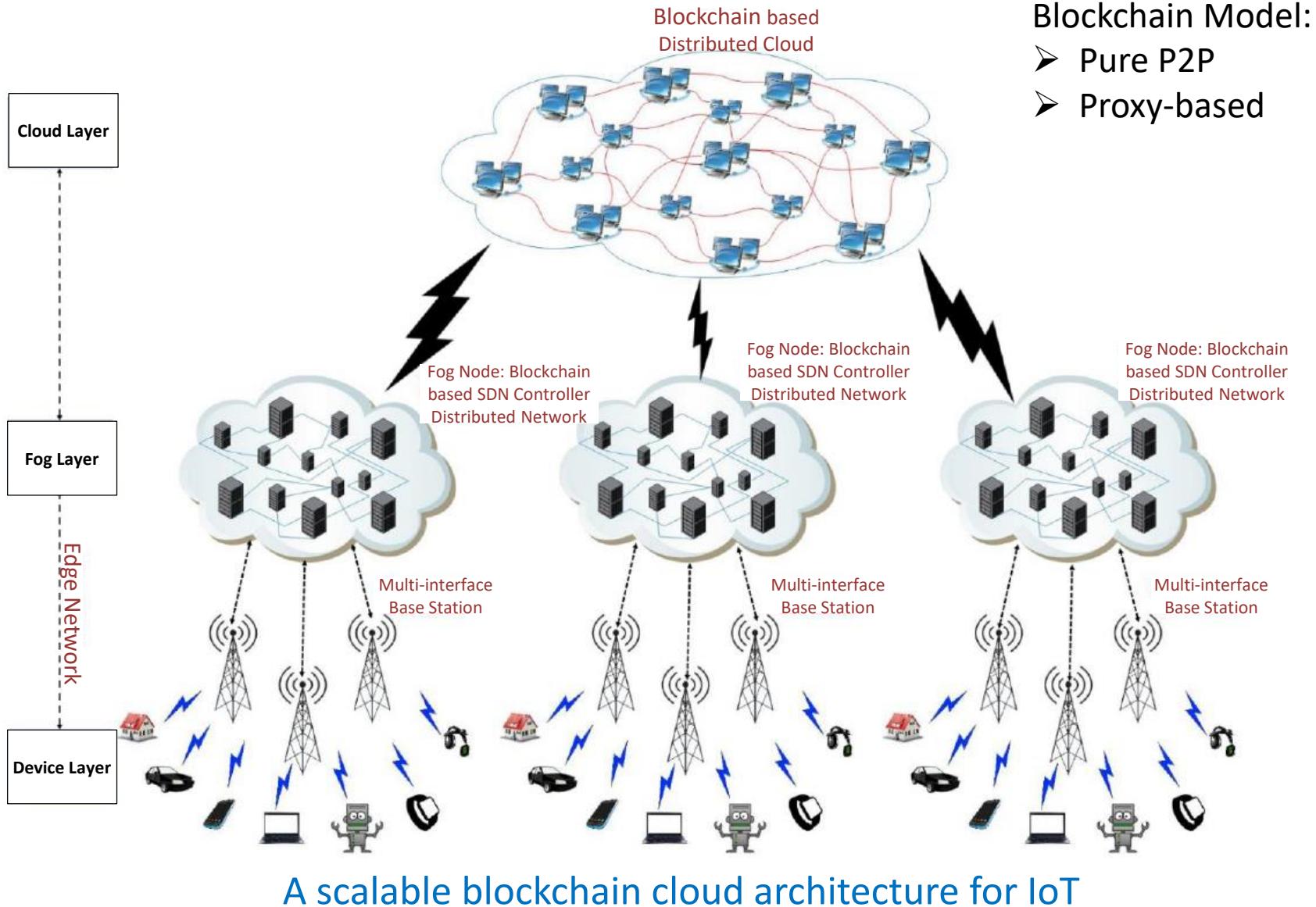
- Security
- Trust
- Energy-efficiency

Edge/Cloud supports blockchain:

- Mining process support
- Lower latency
- Scalability



IoT + Edge/Cloud + Blockchain = New IoT Ecosystem



Blockchain-IoT Use Cases

Use case 1: IOTA



- IOTA是一条专门为物联网而设计的一个**新型交易结算和数据转移系统**，它针对物联网存在的交易成本高、数据隐私安全等痛点，试图打造一个**可以满足大量数据处理、高频实时通信的物联网平台**。
- Tangle（缠结）是该项目的独特技术，基于有向无圈图（DAG）设计了了一种全新的分布式账本，可以解决交易效率与拓展性等问题。

亮点	挑战
独创的Tangle技术与特殊的共识机制可以有效解决交易效率与拓展性的问题。	DAG异步通讯的特征为双花攻击提供了可能，存在安全方面的潜在问题。
市值处于行业领先地位，形成寡头垄断，有利于其进一步的发展。	协管员作为一种由项目方进行秩序维护的特殊节点不可避免的带来了中心化的问题。
项目团队实力较为雄厚，具有丰富的区块链及物联网研究经验。	IOTA的持有趋于集中，排位靠前的占有者的持有比例提高，具有操纵风险。
交易无手续费，有利于吸引用户参与使用，构建良好的生态。	项目团队信息披露不够，部分成员经验存疑。

Use case 2: ETC (Ethereum Classic)

- ETC是由于以太坊的代码漏洞攻击事件而发生的分裂形成的一条独立的区块链，侧重于物联网领域的技术开发，**运行一个数学验证的以太坊虚拟机，目标是链接世界上不同设备的高效交换媒介。**
- ETC与以太坊的底层技术相似，**修改了其固定增发机制，随着出块不断递减。**

亮点	挑战
致力于通过侧链技术实现ETC的扩容，解决拥堵问题。	侧链技术仍在开发阶段，技术成熟度不足，存在潜在风险。
市值处于行业领先地位，形成寡头垄断，有利于其进一步的发展。	面临IOTA等物联网项目强有力的竞争。
项目团队实力较为雄厚，具有丰富的区块链及物联网研究经验。	作为一个DApp平台，未吸引足量应用入驻，增长缓慢。
区块链技术更为成熟，且拥有用户基础与知名度，有利于其生态构建。	无鲜明特色，是否能吸引更多用户入驻是其面临挑战。



Use case 3: IoTeX

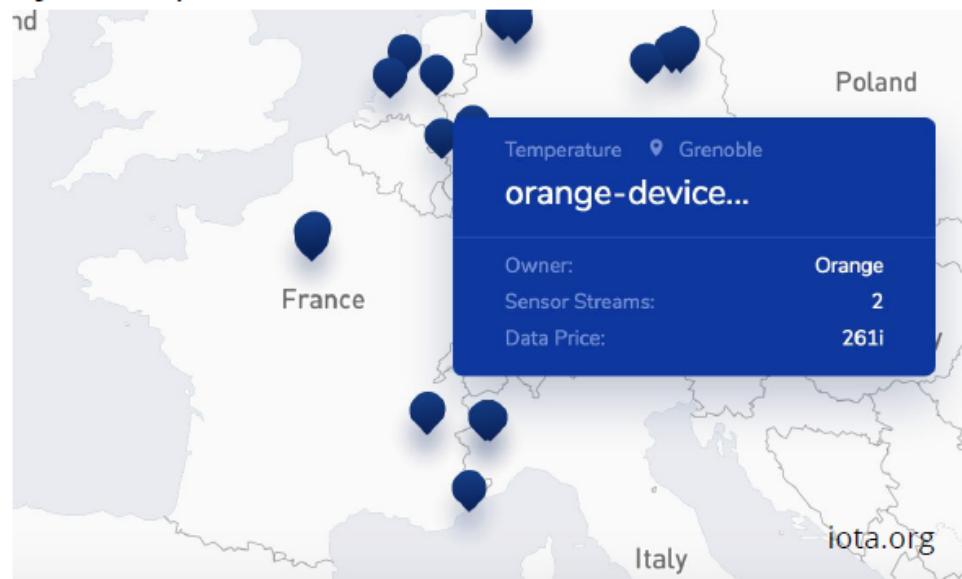
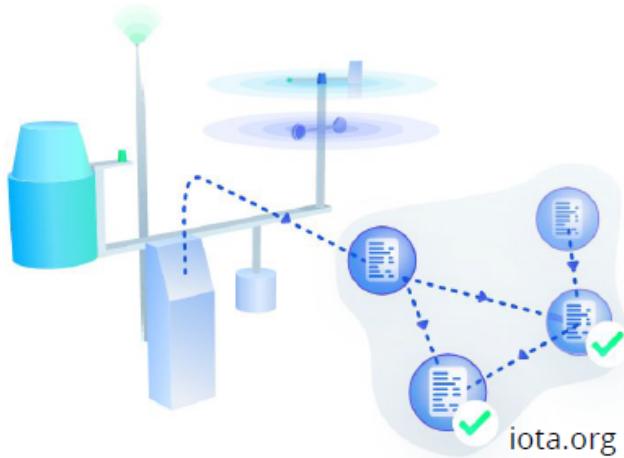


- IoTeX是物联网的自动可拓展和以隐私为中心的区块链基础设施，旨在通过区块链技术实现为大众带来自主设备物联网网络化的目标。IoTeX致力于打造轻量级、私密性和易拓展的区块链底层技术，构建一个支持物联网应用的区块链平台。

亮点	挑战
链中链结构和子链、跨链技术的应用提高了交易速度，多种共识机制的切换也提高了网络的效率。	跨链与侧链等技术还未成熟，存在潜在风险与安全性等问题。
项目代码提交次数高于750次，更新能力强，产品更新发布快，具有竞争优势。	面临IOTA、ETC等项目强有力的竞争，无突出优势。
项目团队实力较为雄厚，具有丰富的区块链，机器学习和物联网研究经验。	白皮书未披露代币分配及发布情况，有操盘风险。
投资机构数量众多，获得了传统投资机构和区块链专项机构的共同青睐，获投情况良好。	物联网目前的发展还不完善，能否吸引到足够的用户入驻是其面临的重大挑战之一。

Use case 4: Sensing-as-a-service

- securing the sensors data streams
 - Each new data is appended to the ledger (aka irrevocable time-serie DB)
- monetize sensors data streams
 - sensors are owned (and maintained) by companies and individuals
 - customers are companies, research centers, ...
 - sensors are weather station, air quality, self quantified wearables, ...



- Example: datum.iota.org

Use case 5: Open energy market

Microgrid energy productions

- Rooftop photovoltaic panels
 - US \$30 billion in 2016 (grow 11% over 6 years)
- Residential energy storage systems
 - 95 MW in 2016 to 3700 MW by 2025

Application

- Individuals can sell stored and solar electricity to neighbours

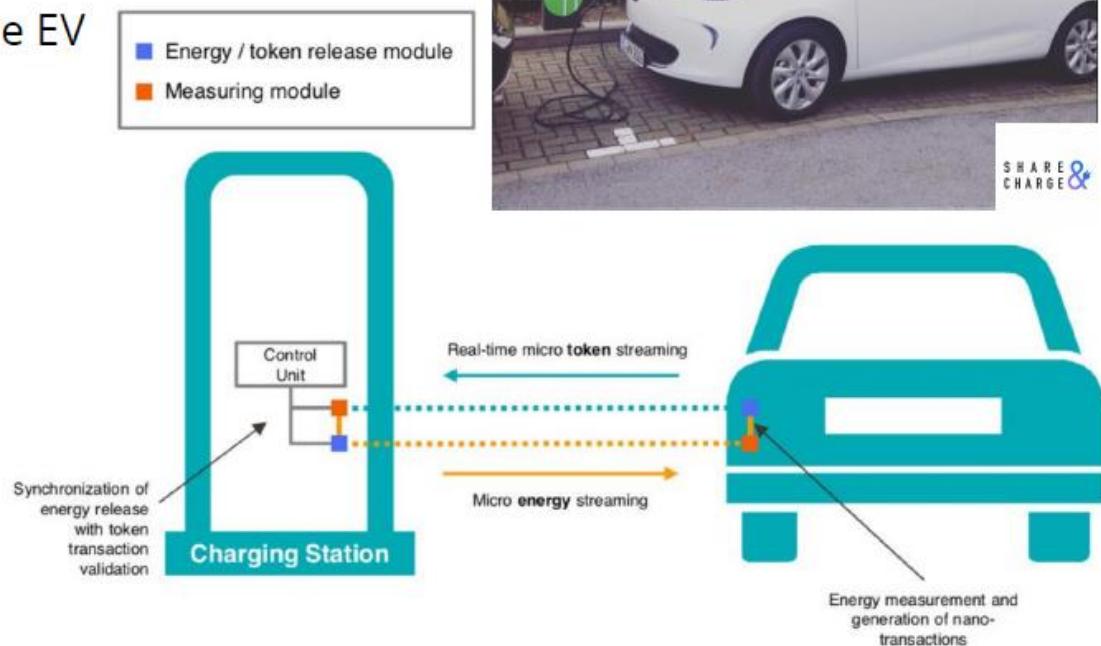
Examples

- Io3energy.com (DLT is Hyperledger Fabric)
- SolarCoin.org (Join Ethereum Alliance)



Use case 6: Electric vehicle charging

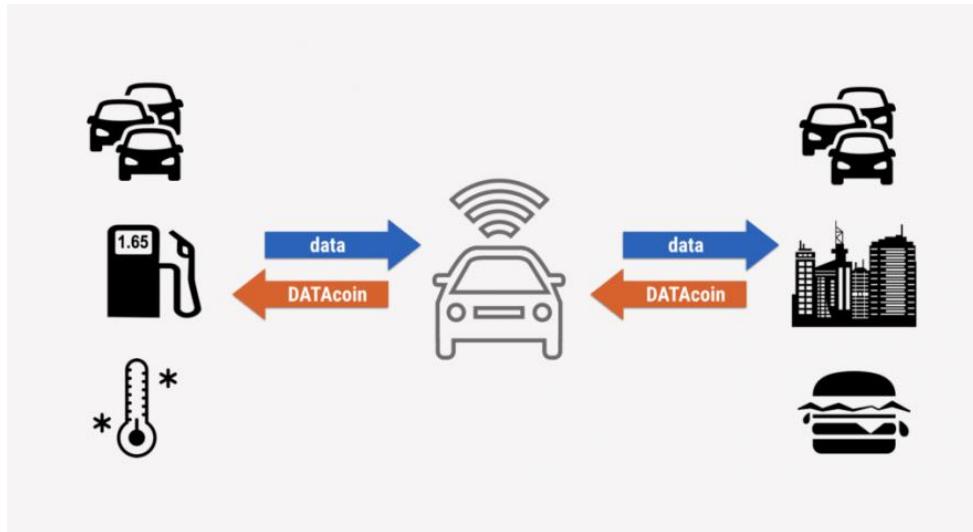
- EV problems
 - Lack of EV charging infrastructure
 - Complex charging contracts
- Applications
 - Share EV chargers
 - Micro payment for charging the EV
- Next step
 - Autonomous car
 - Drones
- Example
 - Share&Charge
 - BlockCharge



Use case 7: Data trading

Digital information

- Vast amounts of data produced by smart cars, smart devices, and wearable devices.
- Real time data is highly valuable but often underutilized



Solution

- Tokenizing data on a blockchain.
- Data is made available for purchasing with tokens, providing payment for the owner.

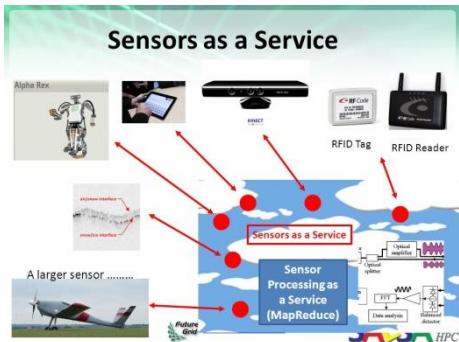
Example: Streamr



Research Issues

Blockchain-supported IoT Interactions

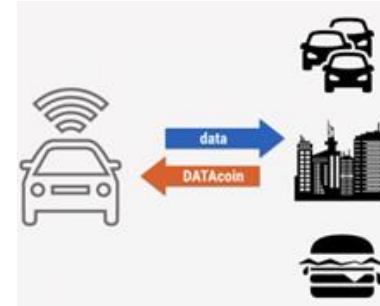
Blockchain technology can support all interactions in IoT



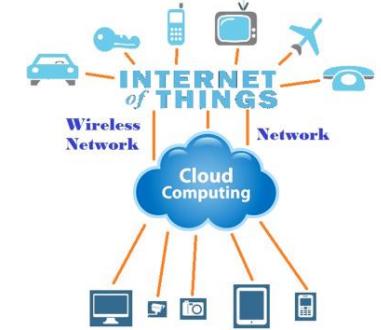
Sensor as a service



Energy as a service



Data as a service

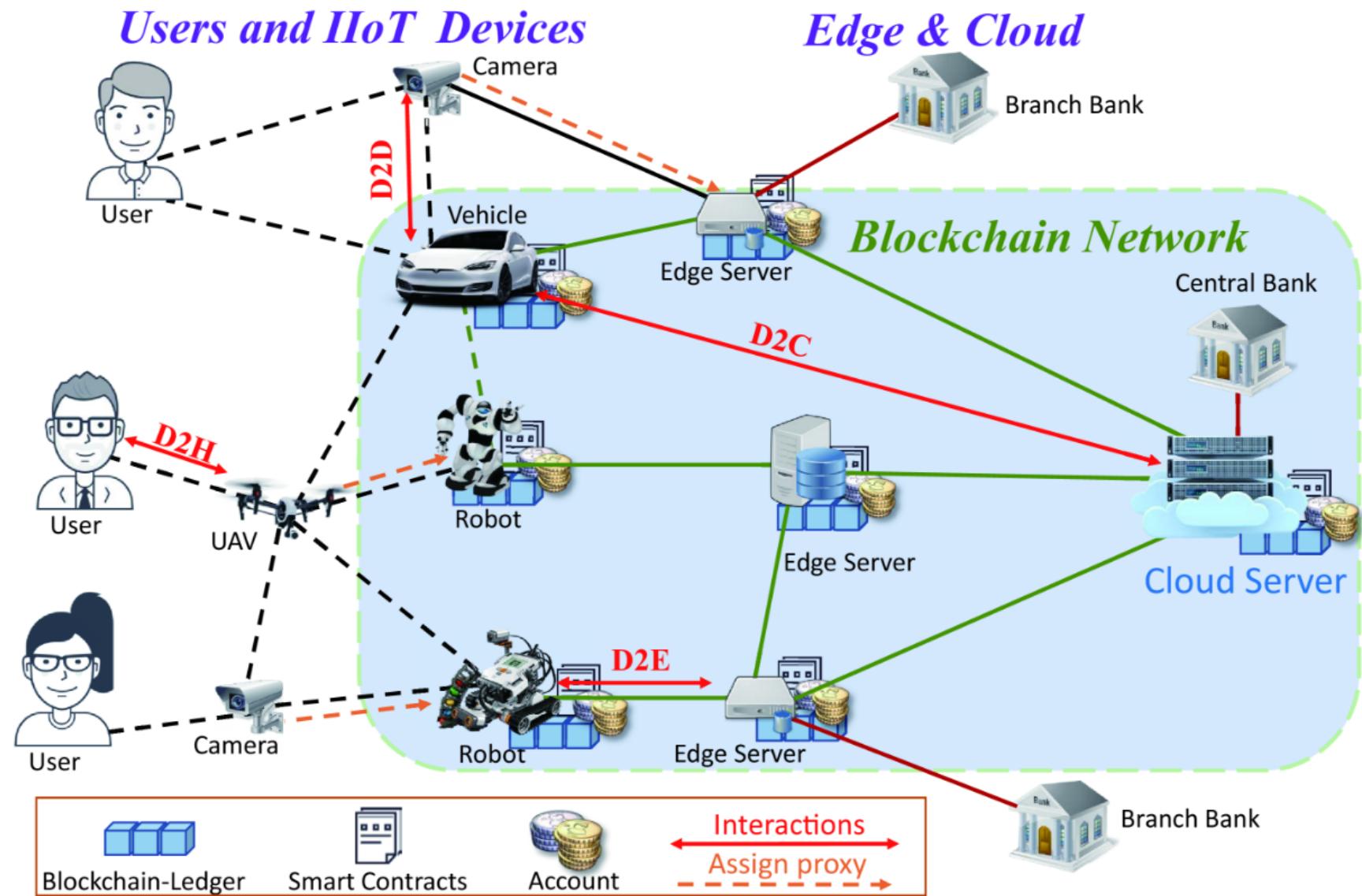


Resource as a service

Blockchain applications for IoT

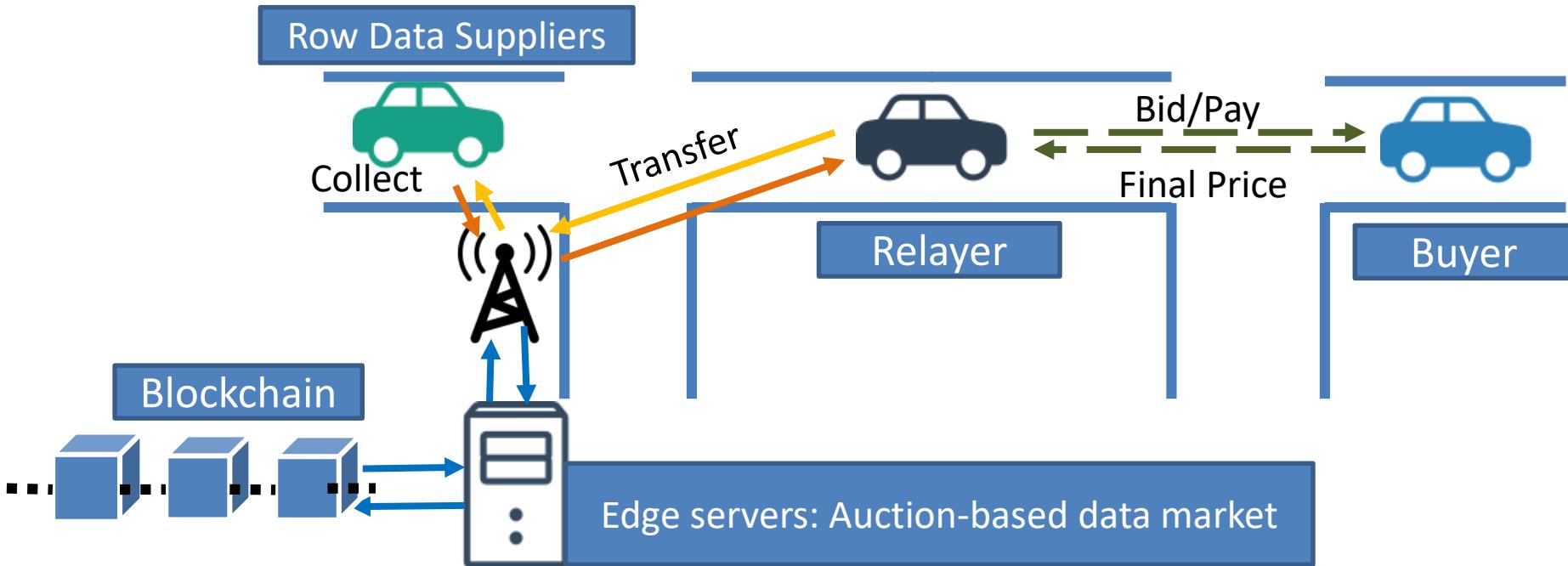
- Internet of healthcare things
- Internet of things in the 5G era
- Internet of vehicles
- Internet of Energy
- Internet of Things devices
- Access Management in IoT
- Collaborative video delivery
- Internet of Cloud
- Intrusion Detection
- Software-defined networking
- Edge Computing
- Distributed P2P Applications
- Crowd sensing Applications
- Data storage

Edge/Cloud Enhanced Blockchain-based IoT Architecture



研究内容一：可信数据交易策略

- **研究问题：**基于区块链与边缘计算进行机器人高效数据交易，如何实现数据提供者、数据消费者、中继传输者三者整体利益最大化
- **研究思路：**
 - 基于数据质量与易腐蚀性的数字商品估值
 - 基于迭代双向拍卖竞价的数据交易机制，以保护用户隐私
 - 基于凭证的Sprite算法，激励中继传输者参与数据传输

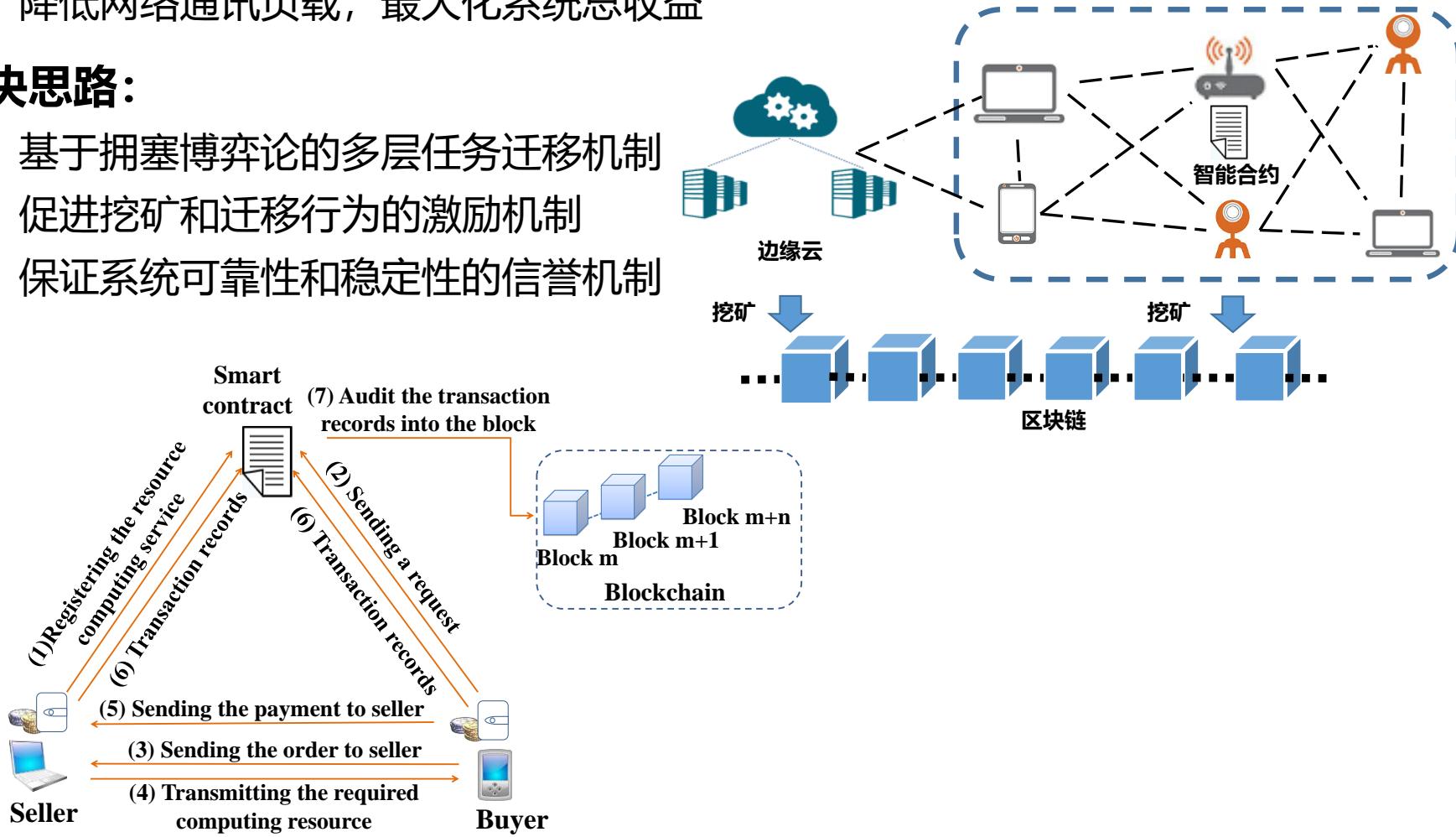


研究内容二：边缘计算可信计算资源交易

- **研究问题：**利用边缘云资源支撑物联网的区块链系统，如何设计算法协调集群中各个节点的计算迁移决策，合理分配挖矿资源，同时在保证系统可靠性的基础上，降低网络通讯负载，最大化系统总收益

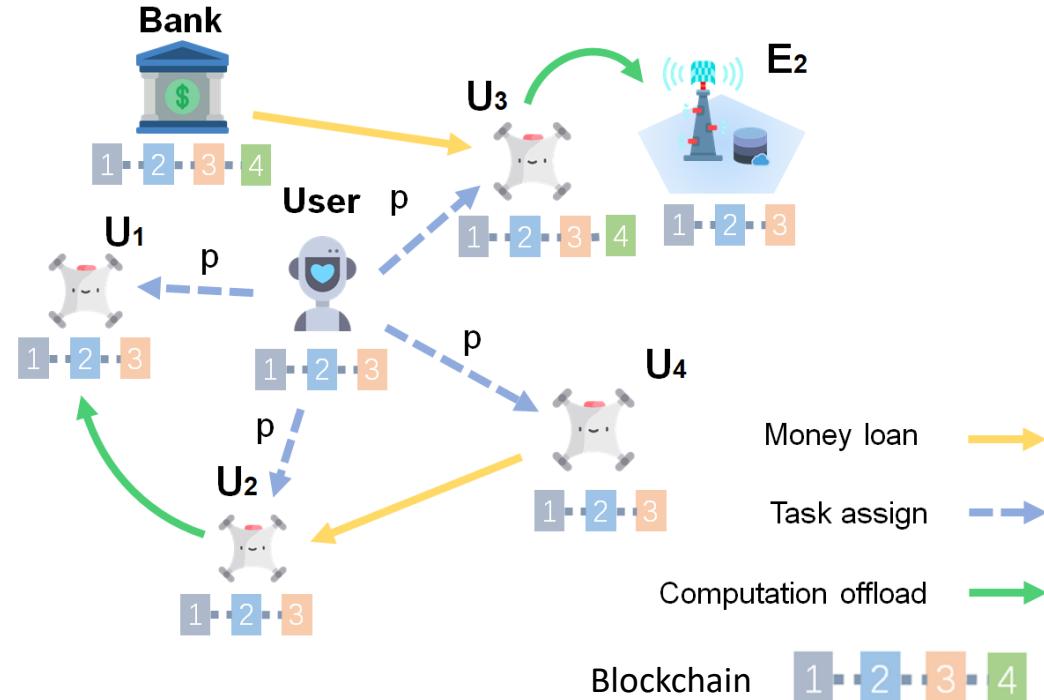
● 解决思路：

- 基于拥塞博弈论的多层任务迁移机制
- 促进挖矿和迁移行为的激励机制
- 保证系统可靠性和稳定性的信誉机制



研究内容三：面向数据交易与计算资源交易的可信借贷系统

- **研究问题：**基于区块链在物联网中引入银行和借贷系统，设计借贷机制实现系统资源的最大化利用，激励数据与计算资源的交易，并维持系统稳健运行。
- **解决思路：**
 - 基于区块链金融系统下利用借贷机制提高机器人集群服务质量。
 - 基于Stackelberg博弈的一对多借贷最优定价机制。



研究实例：区块链下车联网数据交易借贷问题研究

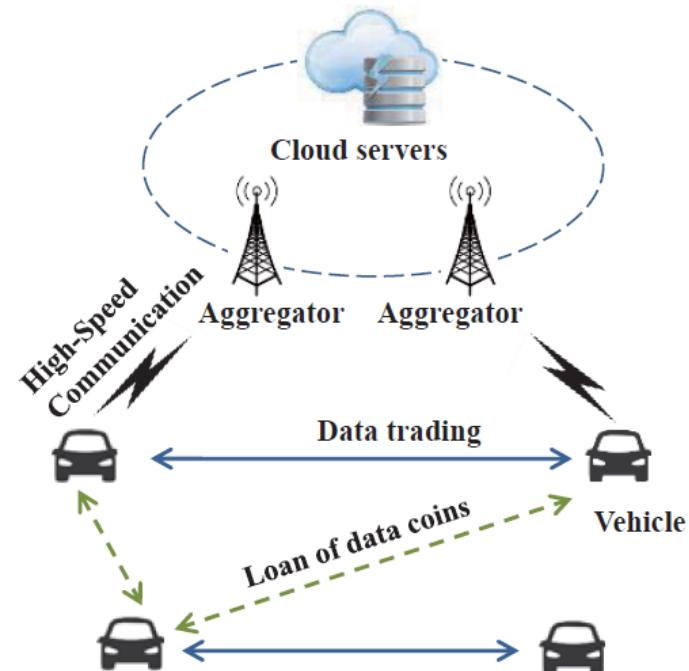
数据交易中为什么需要借贷？

- 区块链交易系统的交易确认延时
- 新用户冷启动问题

方法：基于Stackelberg Game 模型的竞价机制

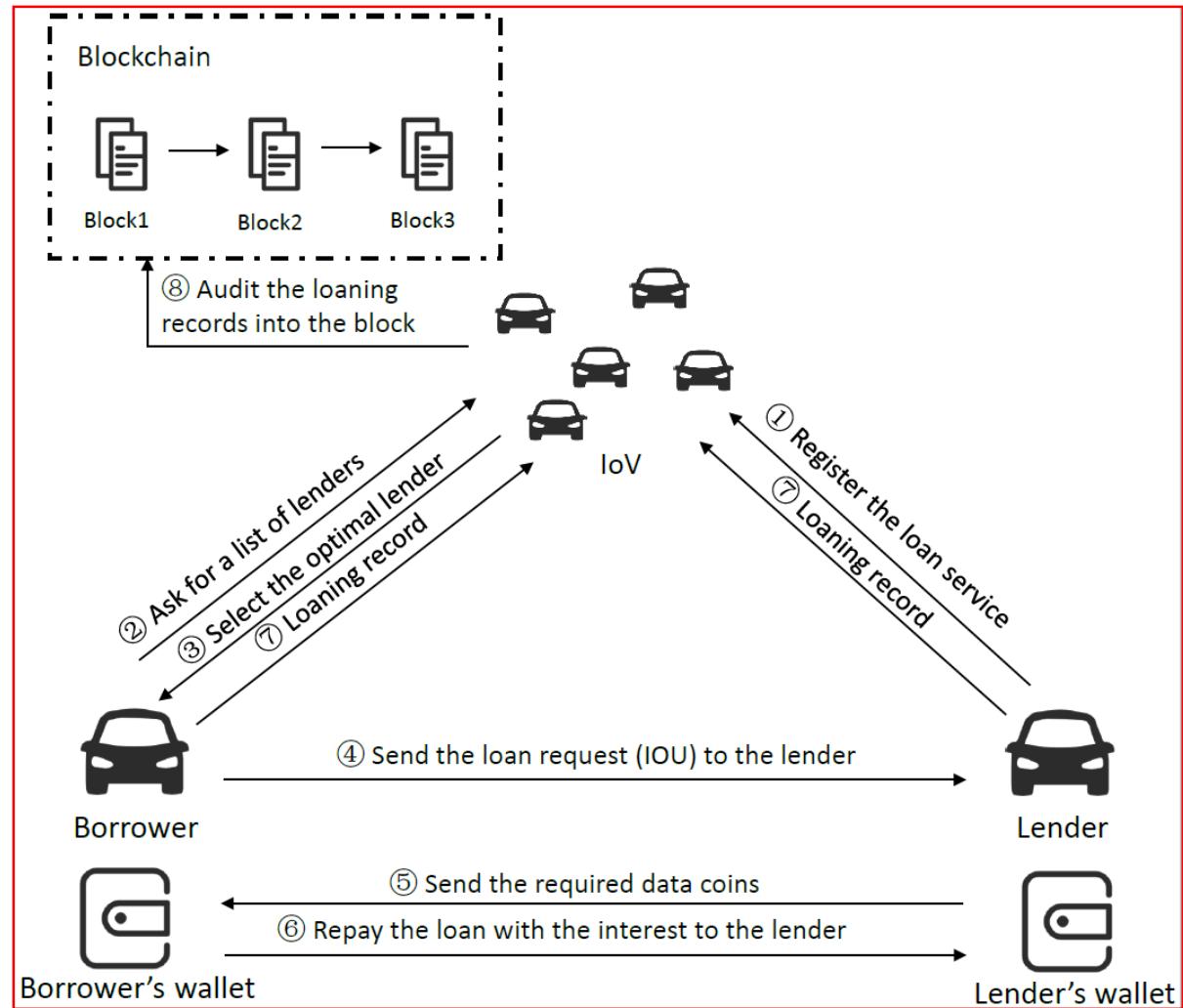
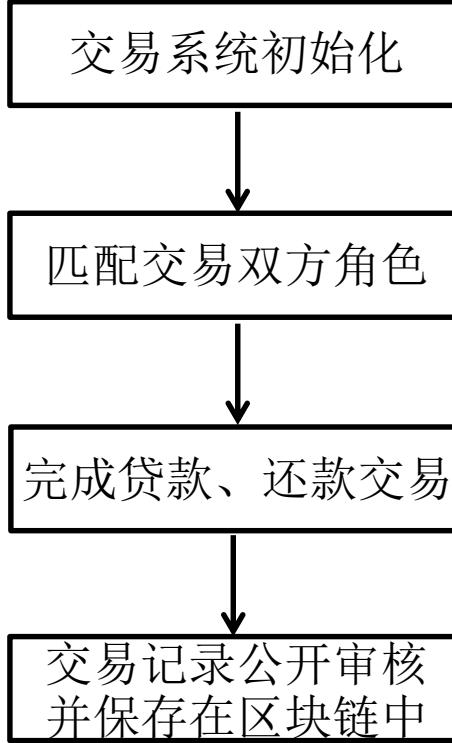
Stackelberg Game 基本思路：

1. 博弈双方并不对等，分为领导者与追随者
2. 博弈中领导者（Leader）首先给出策略集
3. 追随者（Follower）根据领导者的策略集给出最佳响应策略
4. 领导者进一步根据追随者的响应策略决定最终策略
5. Stackelberg Game 均衡点（最优策略点）一般通过逆向归纳法得出



基于云计算的车联网数据交易与借贷系统

基于区块链的车联网数据交易借贷流程



基于Stackelberg game的借贷定价机制

场景一：一对一借贷

Leader: 贷方

Follower: 借方

通过竞价最终只有一个
贷方贷款给借钱方

逆向归纳：

Problem 1. (Borrower's subgame for lender i):

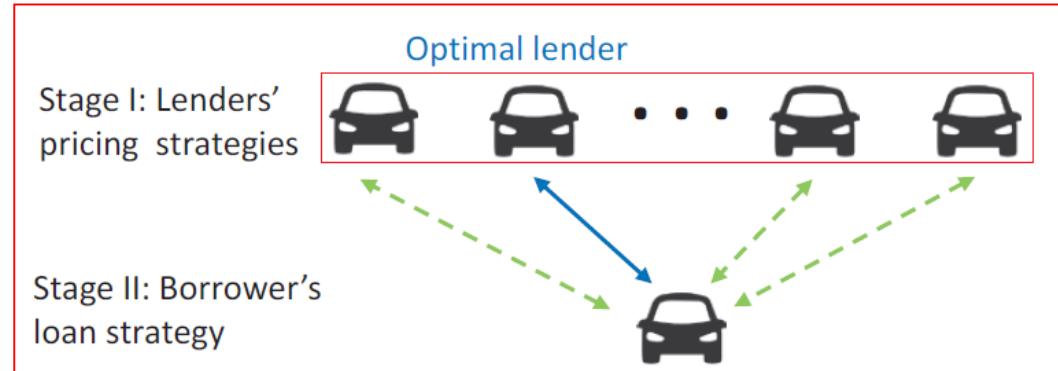
$$\underset{x_i}{\text{maximize}} \quad BU_i(x_i, y_i)$$

Subject to $x_i \in [x_{min}, x_{max,i}]$.

阶段二：借方决定贷款额 x_i

阶段一：贷方根据 x_i
决定定价策略 y_i

*此处定价策略 y_i 设为贷款利息 r_i 的倒数， d_i 为与贷款意愿有关的常数



借方效益函数

$$BU_i(x_i, r_i) = \exp\left(\ln(x_i) - \frac{x_i r_i}{d_i}\right)$$

$$\downarrow \quad y_i = 1/r_i$$

$$BU_i(x_i, y_i) = \exp\left(\ln(x_i) - \frac{x_i}{d_i y_i}\right)$$

贷方效益函数

$$LU_i(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \rho_i \phi_i(x_i, y_i).$$

$$\text{贷方竞争力 } \rho_i(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \frac{BU_i(x_i, y_i)}{\overline{BU}},$$

$$\text{贷方收益 } \phi_i(x_i, y_i) = x_i \left(\frac{1}{y_i} - r_{min,i} \right).$$

求解借方与贷方最优策略

Stage II: Borrower's loan game

$$\frac{\partial BU_i}{\partial x_i} = \left(\frac{1}{x_i} - \frac{1}{d_i y_i} \right) \exp \left(\ln(x_i) - \frac{x_i}{d_i y_i} \right)$$

$$\downarrow \frac{\partial BU_i}{\partial x_i} = 0$$

$$x_i^* = d_i y_i.$$

$$\downarrow$$

$$BU_i(x_i^*, y_i) = \frac{d_i y_i}{e}.$$

Stage I: Lender's pricing game

$$LU_i(\mathbf{x}^*, \mathbf{y}) = \frac{Nd_i y_i}{\alpha_i} (1 - y_i r_{min,i}).$$

$$\text{where } \alpha_i = \sum_{j \in N} \frac{d_j}{d_i} y_j.$$

$$\downarrow \frac{\partial LU_i(\mathbf{x}^*, \mathbf{y})}{\partial y_i} = 0$$

$$y_i^* = \mathcal{F}_i(\mathbf{y}) = \sqrt{\beta_i^2 + \frac{1}{r_{min,i}}} \beta_i - \beta_i$$

$$\beta_i = \alpha_i - y_i = \sum_{j \neq i} \frac{d_j}{d_i} y_j > 0.$$

基于梯度下降的算法

Algorithm 1. Iterative gradient algorithm to find the Stackelberg equilibrium of optimal pricing

初始化

基于梯度下降的迭代算法

输出

```
1: Initialization
2: Set the initial input  $\mathbf{y}^{(0)} = \{y_i^{(0)}\}_{i \in N}$ , where  $y_i^{(0)} \in [1/r_{max}, 1/r_{min,i}]$ ,  $k = 1$ , and a predefined threshold  $\varepsilon$ 
3: repeat
4:   for each lender  $i, i \in N$ 
5:     The borrower decides its loan amount  $x_i^{(k)}$  from  $i$  based on  $x_i^* = d_i y_i$ ;
6:   end for
7:   for each lender  $i, i \in N$ 
8:      $i$  updates its pricing strategy by  $\mathbf{x}^{(k)} = \{x_i^{(k)}\}_{i \in N}$  using a gradient-assisted search algorithm:
       
$$y_i^{(k+1)} = y_i^{(k)} + \mu \frac{\partial LU_i(\mathbf{x}^{(k)}, \mathbf{y}^{(k)})}{\partial y_i}$$
,
       where  $\mu$  is the updating step size of the pricing strategies  $\mathbf{y}^{(k)}$ .
9:   end for
10:  Set  $k = k + 1$ 
11: until  $\frac{\sum_{i \in N} |y_i^{(k)} - y_i^{(k-1)}|}{\sum_{i \in N} |y_i^{(k-1)}|} < \varepsilon$ 
12: Find the optimal utility of the borrower:
    
$$BU^* = BU_l(x_l^{(k)}, y_l^{(k)}) = \max\{BU_i(x_i, y_i)\}_{i \in N}$$
,
    where  $l$  is the optimal lender
13: Output: the optimal lender  $l$ , the optimal loan amount  $x_l^{(k)}$ , and the optimal loan pricing  $y_l^{(k)}$ .
```

初始化贷方定价策略 $\mathbf{y}^{(0)}$, ε 为一个非常小的精确度阈值。

通过 $x_i^* = d_i y_i$ 对每个贷方求出当前定价策略 $\mathbf{y}^{(k)}$ 下借方的最佳贷款额 $\mathbf{x}^{(k)}$ 。

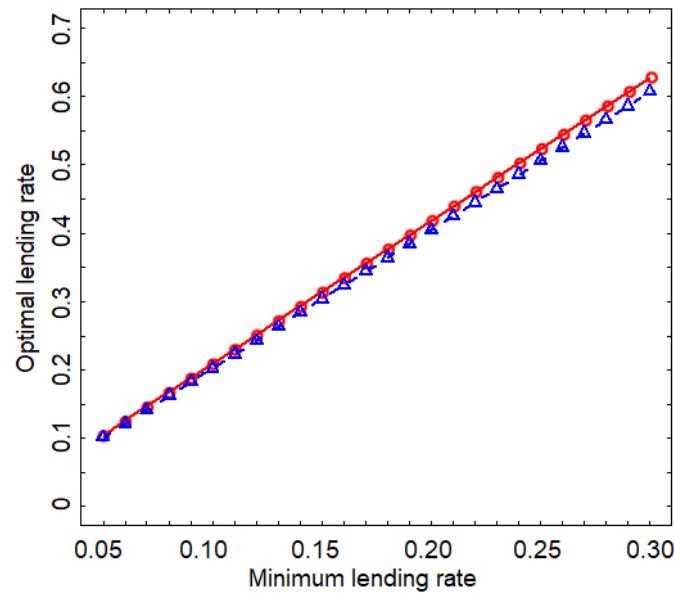
根据 $\mathbf{y}^{(k)}$, $\mathbf{x}^{(k)}$ 求得 $\frac{\partial LU_i(\mathbf{x}^{(k)}, \mathbf{y}^{(k)})}{\partial y_i}$, 使用梯度法更新 \mathbf{y} , μ 为每次更新的步进因子。

反复迭代直到 \mathbf{y} 的更新趋于稳定。

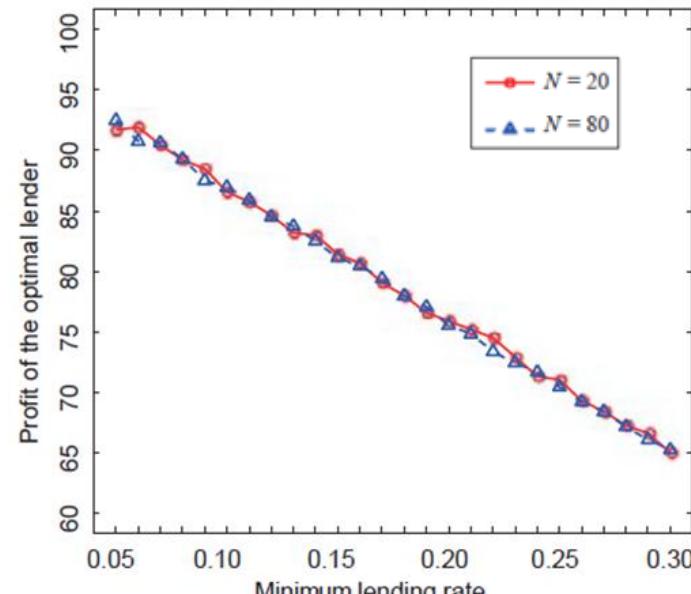
比较选择不同贷方时借方最终收益, 使借方最终收益最大的为最优贷方, 并输出双方的定价与贷款策略。

结果分析：

1. 贷方提高最低利率会使收益减少，进一步促进利率下调。
2. 贷方的竞争减少了借钱方应支付的利息，促进了借贷交易。



(b) The optimal lend rate of the optimal lender.



(e) The profit of the optimal lender

Minimum lending rate: 贷方预设的最低利率

Optimal lending rate: 最优贷方的贷款利率

Profit of the optimal lender: 最优贷方的收益

N: 贷方数量

场景二：一对多借贷

Leader: 借方 (决定利率)

Follower: 贷方 (决定投资额)

逆向归纳:

Problem 1. (lender i subgame)

阶段二: 贷方决定贷款额 x_i

$$\begin{aligned} & \underset{x_i}{\text{maximize}} \quad LU_i(x_i, \mathbf{x}_{-i}, r_i) \\ & \text{subject to} \quad x_i \in [0, x_i^{\max}], \forall i \in \mathcal{N}. \end{aligned}$$

Problem 2. (borrower subgame)

阶段一: 借方根据 x_i 决定利率 r_i

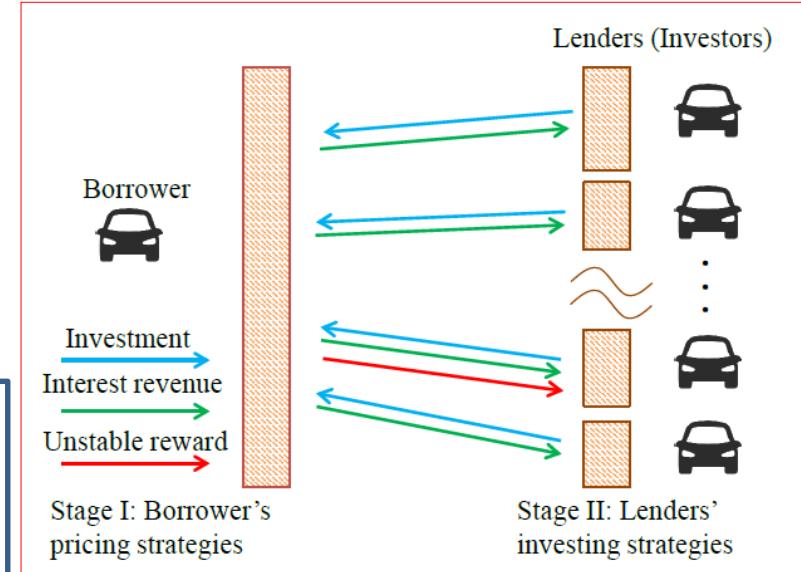
$$\begin{aligned} & \underset{r}{\text{maximize}} \quad BU(\mathbf{x}, \mathbf{r}) \\ & \text{subject to} \quad r_i \in [r_i^{\min}, r^{\max}], \forall i \in \mathcal{N}. \end{aligned}$$

贷方效益函数 $LU_i(x_i, \mathbf{x}_{-i}, r_i) = \frac{x_i}{\sum_{j \in \mathcal{N}} x_j} \phi_i R + (r_i - r_i^{\min}) x_i.$

投资意愿: $\phi_i = w(x_i^{\max} + R - x_i)/x_i^{\max},$

$$\begin{aligned} \text{借方效益函数 } BU(\mathbf{x}, \mathbf{r}) &= BU_{sat}(\mathbf{x}) - \sum_{i \in \mathcal{N}} (r_i x_i + \frac{x_i}{\sum_{j \in \mathcal{N}} x_j} R) \\ &= BU_{sat}(\mathbf{x}) - \sum_{i \in \mathcal{N}} r_i x_i - R. \end{aligned}$$

借方收益: $BU_{sat}(\mathbf{x}) = \eta \ln(\sum_{i \in \mathcal{N}} x_i - X + 1),$



基于投资模式的一对多借贷

两种收入方法:

稳定收入: 利息收入

不确定奖励: 投资额度越大, 得到奖励概率越大

两种定价机制:

统一定价: 对所有贷方设置相同利率

区别定价: 对不同贷方设置不同利率

R : 借方预设的奖励

r_i^{\min} : 贷方 i 可接受的最低利率

x_i^{\max} : 贷方 i 可投资的最大额度

X : 借方最小集资额度

w, η : 预设常数, 表示双方投资于集资意愿

求解借方与贷方最优策略

Lenders' Investing Strategies in Stage II:

$$\frac{\partial LU_i}{\partial x_i} = \frac{wR}{x_i^{\max}\alpha^2} [(r_i - r_i^{\min}) \frac{x_i^{\max}\alpha^2}{wR} + (x_i^{\max} + R)\beta_i - 2x_i\alpha + x_i^2]$$

$$\downarrow \quad \frac{\partial LU_i}{\partial x_i} = 0,$$

$$x_i^* = \mathcal{F}_i(\mathbf{x}) = \sqrt{\frac{wR(\beta_i^2 + x_i^{\max}\beta_i + R\beta_i)}{wR - x_i^{\max}(r_i - r_i^{\min})}} - \beta_i$$

$$\text{Where } \alpha = \sum_{i \in N} x_i, \beta_i = \sum_{j \neq i} x_j$$

Borrower's Pricing Strategies in Stage I:

$$\begin{aligned} & \underset{\mathbf{r}}{\text{maximize}} \quad BU(\mathbf{x}, \mathbf{r}) = \eta \ln(\sum_{i \in \mathcal{N}} x_i - X + 1) \\ & \quad - \sum_{i \in \mathcal{N}} r_i x_i - R \end{aligned}$$

$$\downarrow \quad \frac{\partial x_i}{\partial r_j} = 0, \forall j \neq i$$

$$\frac{\partial BU}{\partial r_i} = \frac{\psi_i \eta}{\alpha - X + 1} - (x_i + \psi_i r_i),$$

$$\psi_i = \frac{\partial x_i}{\partial r_i} = \frac{x_i^{\max} \sqrt{wR(\beta_i^2 + x_i^{\max}\beta_i + R\beta_i)}}{2[wR - x_i^{\max}(r_i - r_i^{\min})]^{3/2}}$$

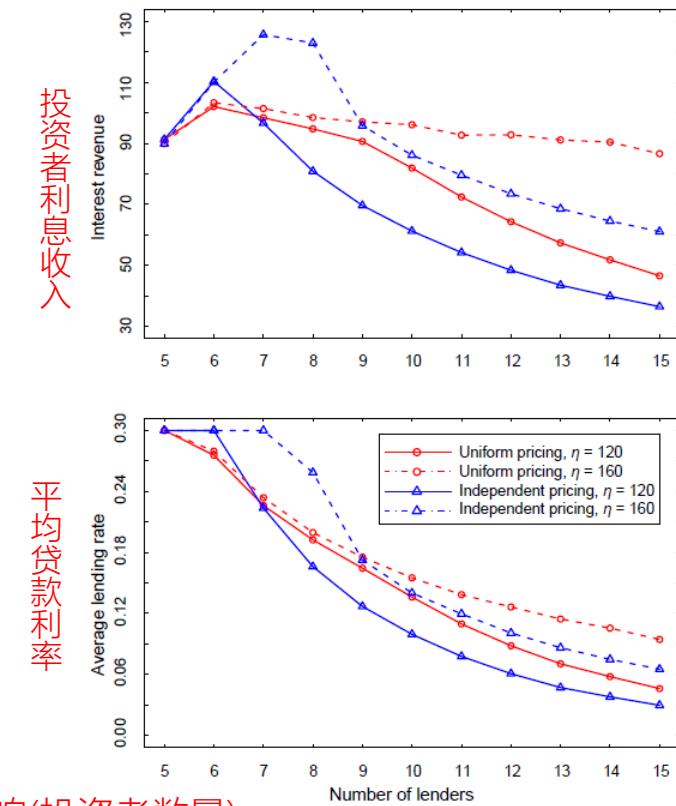
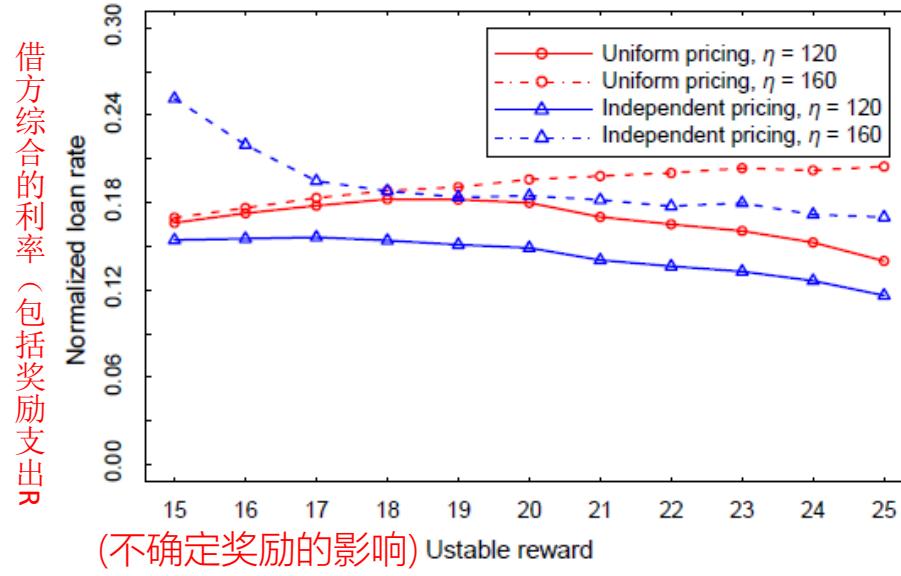
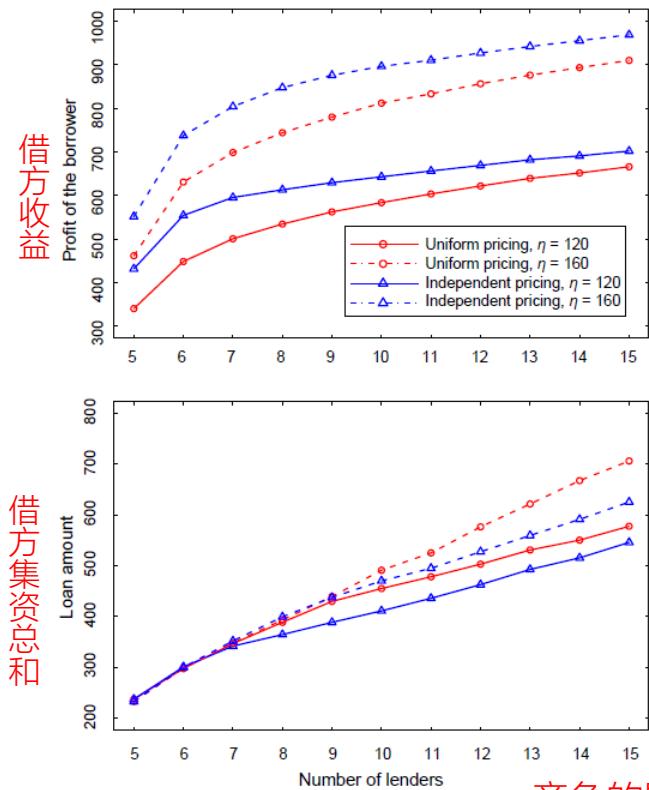
算法

统一定价机制：定价策略较少，基于搜索的算法

区别定价机制：基于梯度下降的算法

结果分析:

1. 投资方的竞争使借钱方收益提高，区别定价机制下借钱方收益更大。
2. 在区别定价机制下，借钱方通过增大对不确定奖励的投入，进一步鼓励投资方竞争，降低了利息成本。



分组讨论

1. 区块链物联网有什么挑战点？有什么研究方向？列举3点
2. 区块链物联网有什么应用场景？列举3个

欢迎加入我们!

移动互联网与金融大数据实验室 InPlus Lab
智能物联网与边缘计算小组

Email: chenwuh@mail.sysu.edu.cn