

# 基于利润最大化的数据资产价值评估模型

董祥千<sup>1</sup>, 郭兵<sup>1</sup>, 沈艳<sup>2</sup>, 段旭良<sup>1</sup>, 申云成<sup>1</sup>, 张洪<sup>1</sup>

1. 四川大学计算机学院(软件学院), 四川 成都 610065;

2. 成都信息工程大学计算机学院, 四川 成都 610225

## 摘要

“数据是有价值的,并将成为一种经济商品”的理念已成为共识,然而数据的非竞争性使数据价值有别于有形资产的价值。正确理解数据资产价值是实现数据共享与交换、发展数字经济的前提与保障。首先分析数据价值评价方法及数据资产的商品属性,然后讨论数据资产交易的市场模型,最后在综合数据资产属性及市场模型的基础上提出参与者利润建模方法。提出模型化数据市场参与者利润的相关特性,为参与者进入市场提供理论参考依据。

## 关键词

数据资产;数据市场;交易模型

中图分类号:TP399

文献标识码:A

doi: 10.11959/.issn.2096-0271.2020020

## *Data assets value evaluation model based on profit maximization*

DONG Xiangqian<sup>1</sup>, GUO Bing<sup>1</sup>, SHEN Yan<sup>2</sup>, DUAN Xuliang<sup>1</sup>, SHEN Yuncheng<sup>1</sup>, ZHANG Hong<sup>1</sup>

1. College of Computer Science(College of Software Engineering), Sichuan University, Chengdu 610065, China

2. School of Computer Science, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China

## *Abstract*

The idea that data is valuable and will become an economic commodity has become a consensus. However, the nonrivalry of data makes that the value of data is different from tangible assets. A correct understanding of the value of data is the premise and guarantee for the realization of data sharing and exchange and for the development of digital economy. Firstly, the evaluation method of data value and the commodity attribute of data assets were analyzed. Then the market model of data assets transaction was discussed. Finally, a profit model of participants was proposed based on the comprehensive reviews of data asset attributes and market model. The profit of participants in data market was modeled, and a guide for participants entering the market was provided.

## *Key words*

data asset, data market, transaction model

## 1 引言

大数据、云边端、物联网(IoT)等技术的广泛应用使得数据收集成为一种普遍现象,催生出新型的经济形态与交易市场——数字经济与数据市场。数据(信息)是21世纪经济的命脉,是企业的重要资产<sup>[1]</sup>。在全球市值排名前八名的公司中,有7家是数据公司,数据驱动了经济的发展,也影响着人们生活的方方面面。例如,专业的数据公司知道你将要购买的商品、即将出发的旅游目的地,熟悉你的饮食、健康情况,甚至“比你自己还了解自己”。数据已成为公司、个人最有价值的资产<sup>[2]</sup>,理应成为一种可交易的商品<sup>[3]</sup>。本文主要探讨数据价值、数据成为资产的可能性、数据的资产特性及数据资产交易场所——数据市场的相关内容,并从宏观经济的角度模型化市场参与者利润的相关特性,为参与者进入市场提供理论参考依据。

## 2 数据资产与数据市场

### 2.1 数据与数据资产

数据不仅是未来经济的“石油”,还是社会创造力和技术进步的源泉。梅宏院士

在题为《大数据:发展现状与未来趋势》的讲座中指出,大数据为人类提供了全新的思维方式和探知客观规律、改造自然和社会的新手段,是引发经济社会变革的关键因素。数据的潜在价值及其对经济生活的冲击引起了社会各界的高度重视:2017年12月,习近平总书记在中共中央政治局就实施国家大数据战略进行的第二次集体学习上提出“要构建以数据为关键要素的数字经济”;2019年11月,中国共产党第十九届中央委员会第四次全体会议新闻发布会上首次提出“数据可作为生产要素按贡献参与分配”。

数据是以数字化的形式存储的其他业务功能或活动的副产品,即数据也是一种劳动力产品。一般用数据所提供的服务实现业务需求、改善系统性能、提高企业竞争力的能力或程度来衡量数据的价值。由此可见,数据价值的评价依赖于具体应用,没有统一的标准。**表1**列出了针对实际应用的常用数据价值评价方法<sup>[4-5]</sup>。

随着计算机处理能力、网络通信能力、机器学习等算法处理能力的提升以及经济生活对数据的依赖性的提高,一种以数据为基础的新型经济学形态形成了,即数据经济学。数据经济学以数据资产为基础,以开放、流通、保护隐私为前提,以数据存储、传输、安全、质量、应用为目标,支持数据量化、交易定价、收益分成等经济学行为,研究数据内在价值挖掘、生产和行

表1 针对实际应用的常用数据价值评价方法

| 名称      | 含义  |
|---------|---|
| 基于成本的方法 | 依据数据产生、数据收集及数据处理所需的全部成本确定数据价值的方法  |
| 基于隐私的方法 | 通过数据隐私保密度衡量数据价值的方法,常用隐私保护算法的参数(如差分隐私、 $k$ -匿名中的参数 $\epsilon$ 和 $k$ )来度量 |
| 基于市场的方法 | 根据等价产品的市场价格或用户的支付意愿确定数据价值的方法  |
| 基于收入的方法 | 通过估计数据形成的生产力或未来带来的现金流定义数据价值的方法  |
| 收益货币化方法 | 通过定义特定数据产品的收益,并将收益货币化来估计数据价值的方法   |
| 基于影响的方法 | 通过评估数据可用性对经济和社会结果的影响,或通过评估由于数据有限或质量差而导致的效率低下或决策失误而产生的成本来确定数据价值的方法       |

为模式。

数据(信息)被视为企业的重要资产始于1992年, Peter Drucker提出:“围绕着信息的流动来组织经济”。Moody D L和Walsh P<sup>[2]</sup>论证了“数据(信息)比员工或客户更能满足资产的定义”。朱扬勇等人<sup>[6]</sup>将数据资产定义为:拥有数据权属(勘探权、使用权、所有权)、有价值、可计量、可读取的网络空间中的数据集。通常来说,数据资产指由企业拥有或者控制的,能够为企业带来经济利益的,以物理或电子的方式记录的数据资源,如文件资料、电子数据等。在企业中,并非所有的数据都能构成数据资产,数据资产是能够为企业产生价值的的数据资源<sup>[6-7]</sup>。

数据资产与信息资产、数字资产类同<sup>[6]</sup>,但有别于其他有形资产,数据资产具有独特的属性。非竞争性是数据资产在经济管理方面的主要属性,指不同的使用者可以同时、无限次数地重复使用数据,而不会相互干扰。数据资产的这些特性使其不遵循简单的商品经济规律,必须加以研究,才能正确衡量数据的价值。同时,数据资产的估值也有其特殊性,参考文献[2]提出从会计理论角度出发,根据成本、市场、效益实现对数据资产的估值。

## 2.2 数据资产的商品属性

在企业的所有资产中,数据资产是较难管理,也是管理较差的资产之一。为了更好地管理数据资产,有必要仔细分析数据作为经济商品的新属性。数据的商品属性源于数据的非竞争特性。非竞争性一方面使数据交换(复制、分发)变得容易,另一方面又使得在保护私有数据、敏感数据或知识产权时产生问题。参考文献[8-9]对比了数据资产与有形资产之间的差异,笔者归纳了数据资产的商品属性,具体见表2。

## 3 数据市场及模型

### 3.1 数据市场

数据市场的概念可以追溯到1998年提出的信息市场<sup>[10]</sup>,它模拟了数字图书馆之间的信息交易,关注参与者的动机、行为及合作因素。数据市场是一个可以买卖数据的平台(类似有形资产商品交易市场),支持和促进了专有/商业数据资产的可信、安全共享和交易,自动地强化和控制数据所有者的合法权益及应得报酬。数据市场将法律、法规与技术(如大数据、云计算、隐私保护等)结合,确保数据主体及数据所有者对数据的有效控制。建立开放的数据市场是实现我国经济转型、适应工业4.0及数据驱动经济发展的基础。

现有的数据市场交易是基于服务订购的(针对不同的需求,通过协商采用不同的服务模式)。服务订购未能提供统一的模型,也没有经过充分的概念研究(概念研究需要广泛的经验和观察基础)。

数据市场的核心功能是为供需双方提供可信的数据交换和交易的环境,是数字经济的重要驱动力。数据市场允许遵守既定规则的参与者通过使用标准化数据管理接口——应用程序编程接口(application programming interface, API)加入市场,以充分发挥数据的潜能。数据市场以云计算技术、大数据架构为基础,提供以下功能特性:

- 支持不同处理阶段的异构数据交换(通过数据目录、数据交换协议实现);
- 以参与者为中心,实现参与者管理;
- 交易、管理的自动化、协同化、智能化;
- 区域/部门服务专业化;
- 有效的监管措施,实现安全、可信、

表2 数据资产的商品属性

| 属性                | 含义   |
|-------------------|--|
| 数据主权/数据所有权/知识产权   | 数据所有者对数据的控制权。数据主权强调在数据使用前需经数据所有者同意(知情权)  |
| 可信性/可审核性/可追踪性/真实性 | 包括数据提供者、数据收集与处理过程的可信性与可验证性   |
| 可重用性/非竞争性/可共享性    | 源自数据“一次收集重复使用”的特性。可重用性意味着数据商品是非消耗品,决定了数据商品价值的特殊性,也意味着劳动(数据收集)报酬率是恒定的                     |
| 可交换性              | 指数据在不同主体间的协同性、易用性。可交换性要求数据应遵循特定的格式,如CVS、API等   |
| 可操作性              | 消费者购买的数据应能支持其业务需求,并且执行业务的相关操作和流程是可行的   |
| 可度量性              | 包括数据作为经济商品进行评估和交换的可度量性以及数据处理的可度量性。可度量是成本估计的前提  |
| 可查找性              | 对于人类和计算机来说,数据应该是易于识别和查找的。数据的可查找性依赖元数据的有效组织及其可搜索性   |
| 可访问性              | 数据应长期存储,以便在特定的条件下访问或下载。数据的可访问性依赖有效的数据存储技术  |
| 互操作性              | 易与其他数据集联合,不存在术语及语义上的差别。数据互操作性依赖元数据规范及形式化规则   |
| 时效性               | 数据的价值随时间的推移而显著降低   |
| 质量                | 既指高质量数据的相关特性,也指提高数据质量的过程。前者指满足数据消费者的期望和需求的程度   |
| 价值                | 实现消费者业务需求的程度。数据的价值随数据的精度、使用率以及与其他数据集的结合力的增加而增长,但随时间的推移而显著降低(数据的时效性)。数据价值并不随着数据量的增加而成比例增长 |
| 品牌                | 数据服务的认知程度  |

可审计的数据交易服务;

- 操作透明化;
- 数据商品化运维。

然而,建立有效的数据市场机制仍存在诸多挑战<sup>[8]</sup>,具体如下:

- 数据作为经济商品的属性仍需仔细地研究和定义,以利于数据交易的常态发展;
- 建立新的数据市场模式及机制,实现在保留数据所有权和主权的同时交易数据;
- 现有的数据保护法案(如《个人信息保护条例》《通用数据保护条例(GDPR)》)提供了通用规则,但需要技术的保障和实施,以实现更严格的数据管理。

### 3.2 数据市场模型

根据参与者在市场中的功能差异,数据市场可以划分出3类典型的参与者,即数据提供者、数据市场以及数据消费者。典型的数据市场模型如图1所示。

如图1所示,数据提供者通过智能手机、传感设备等收集数据,并将数据及数据访问策略传至数据市场。数据市场完成数据存储、维护、处理,并向数据消费者(数据提供者是潜在的消费者)提供服务。数据消费者依据其支付意愿从数据市场订购服务,并预付一定费用(数据消费者的支出)到数据市场。市场按一定的比例向数据提供者支付数据使用费(数据提供者的利润)。

借助数据市场的概念,易于实现应用与数据的分离,即将原本存储在应用服务提供商平台(如购物平台、搜索平台等)的数据剥离出来,独立存储在云数据市场中,从而真正实现数据的可控性与透明性。从这个角度而言,数据市场与数据空间(data space, DS)的思想一致,且与纯粹的数据空间相比,数据市场还具备数据处理和提供服务的能力。

该模型与现有数据市场的设计是一致的<sup>[11-12]</sup>,本节将探讨数据市场的本质性问题,即从经济学的角度,结合数据资产属性

及数据价值评价方法,分析并讨论市场参与者的利润最大化模型<sup>[13-14]</sup>,为参与者进入市场提供理论参考依据。

数据交易的经济模型已引起学术界的广泛关注和研究。参考文献[15]讨论了在不同数据归属下的4种优质资源配置方案:社会计划者(social planner)方案、企业拥有数据的方案、消费者拥有数据的方案以及法律禁止数据销售方案,并给出各种方案下的最优解。据笔者所知,该文献最早从经济学的角度研究数据商品资产特性。其后,参考文献[14]进一步扩展了这一研究领域,并在假定参与者具有支付意愿的情况下讨论了各参与者的具体行为模型。参考文献[13]则从经济成本的角度,首先讨论了数据市场交易模型,之后分析了数据存储及数据中心的最佳配置方案。参考文献[16]从服务效用的角度研究了服务提供者及服务消费者的最优价格模式和最优订购模式。参考文献[5]从隐私与效用的角度讨论了数据市场及数据消费者的优化方法。本文提出的利润最大化模型主要基于参考文献[14-15],考虑了数据质量及数据的商品属性。

## 4 参与者利润最大化模型

假设进入市场的参与者都是理性的,即只有在其期望利润大于零的条件下才会参与市场行为。模型化参与者利润是本文的核心目的,本节从数据市场模型及资产价值入手,探讨参与者利润最大化模型。通过最大化利润来衡量参与者的期望利润及为获取期望利润应投入的数据和劳动力,从而决定是否进入市场。

### 4.1 数据提供者

假设在时刻 $t$ (时间是一个离散的无穷

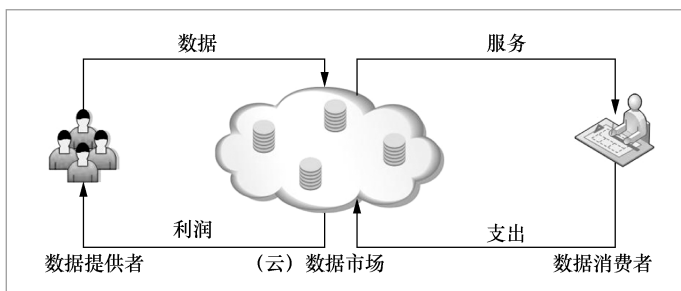


图1 典型的数据市场模型

量)有 $N_t$ 个数据提供者 $p$ ,即 $p \in \mathcal{P} = \{1, 2, \dots\}$ ,且 $|\mathcal{P}| = N_t$ 。数据提供者 $p$ 消耗单位的劳动力(与数据生成相关的各种投入,如数据采集所投入的设备、资金等),产生质量为 $A_{pt}$ 的 $D_{pt}$ 个单位的数据商品,则在 $t$ 时刻,数据提供者 $p$ 的劳动总产出(即数据量)为 $Q_{pt}$ ,则有 $Q_{pt} = A_{pt} D_{pt}^\eta L_{pt}$ (其中 $L_{pt}$ 是提供者 $p$ 的劳动量, $\eta$ 是数据的重要性)。

用 $S_{pt}$ 表示提供者 $p$ 共享数据的因子,则 $t$ 时刻提供者 $p$ 实际共享的数据量为: $Y_{pt} = S_{pt} Q_{pt}$ ,且 $t$ 时刻系统共享的数据总量可表示为: $Y_t = \left( \int_0^{N_t} Y_{pt}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} dp \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}$ ( $\sigma$ 是数据的替代弹性指数),则根据逆需求函数,数据的(市场)价格可以表示为: $P_{st} = \bar{P} Y_t^{-\gamma}$ ( $\gamma$ 是价格指数)。

同理,用 $m_{pt}$ 表示提供者 $p$ 共享的数据总量与市场总劳动量之比,即 $m_{pt} = Y_{pt}/L_{pt}$ ,则其市场总值 $m_t$ 为: $m_t = \left( \int_0^{N_t} m_{pt}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} dp \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}$ 。

因而数据提供者 $p$ 的利润最大化模型可表示为:

$$\max_{\{m_{pt}, S_{pt}\}} \int_0^{\infty} e^{-\rho t} L_0 \left( P_{st} m_t - r_t - \frac{1}{N_t} \int_0^{N_t} S_{pt} dp \right) dt \quad (1)$$

s.t.

$$m_t = \left( \int_0^{N_t} m_{pt}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} dp \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \quad (2)$$

$$P_{st} = \bar{P} Y_t^{-\gamma} \quad (3)$$

$$L_t = L_0 e^{g_t t} \quad (4)$$

$$\dot{N}_t = \frac{1}{\chi} L_{cr} = \frac{1}{\chi} (L_t - L_{tr}) \quad (5)$$

其中,  $\rho$  被称为时间偏好率, 一般而言, 数据资产价值随时间而显著降低。  $L_0$  是系统初始劳动力,  $r_t$  是数据提供者的数据资本平均回报率。  $m_t$  也可表示为  $m_t = \frac{Y_t}{L_t}$ 。式(5)称为数据提供者状态方程, 即  $\dot{N}_t$  表示数据提供者数量的变化率,  $\dot{N}_t = \frac{dN_t}{dt}$ 。  $L_t$  表示  $t$  时刻系统的总劳动力,  $L_{cr}$ 、  $L_{tr}$  分别表示  $t$  时刻系统外生、内生劳动力 (决定是增加新的提供者, 还是增加现有提供者的劳动力)。  $g_L$  是劳动力的外生增长率,  $\chi$  是数据提供者总量增长系数。

数据提供者模型的典型参数取值为:  $\rho=0.025$ 、  $L_0=100$ 、  $\sigma=4$ 、  $g_L=0.02$ 、  $N_t=10\ 000$ 、  $\eta=0.06$ 、  $\chi=0.01$  (数据消费者、数据市场与此一致)。

## 4.2 数据消费者

同理, 假设在  $t$  时刻有  $M_t$  个数据消费者  $c$ , 即  $c \in \mathcal{C} = \{1, 2, \dots\}$ , 且  $|\mathcal{C}| = M_t$ 。消费者通过数据查询接口向数据市场订购数据,  $G(c)$  表示当前查询所需的数据提供者集, 且  $|G(c)| = n_p$ ;  $w_c(p)$  表示  $G(c)$  中每个数据提供者提供数据的最低质量等级, 并要求  $A_{pt} \geq w_c(p)$ ,  $\forall p \in G(c)$ 。则对于数据消费者而言, 其利润 (即消费者的效用) 最大化模型可以表示为:

$$\max_{\{S_i, Y_{st}\}} \int_0^{M_t} Y_{st} (u(c_i, s_i) - p_{st}) di \quad (6)$$

s. t.

$$u(c_i, s_i) = \begin{cases} 0, & s_i < s_{\min} \\ 2 \left( \frac{s_i - s_{\min}}{s_{\max} - s_{\min}} \right)^2, & s_{\min} < s_i < s_{\text{mid}} \\ 1 - 2 \left( \frac{s_{\max} - s_i}{s_{\max} - s_{\min}} \right)^2, & s_{\text{mid}} < s_i < s_{\max} \end{cases} \quad (7)$$

$$s_i \leq S_{pt} \quad (8)$$

$$P_{st} \geq P_{st} \quad (9)$$

式(7)中,  $Y_{st}$  是消费者  $c_i$  从市场购买的共享因子为  $s$  的数据量,  $u(c_i, s_i)$  表示消费者  $c_i$  在购买共享因子为  $s_i$  的数据时的效用。  $s_{\min}$ 、  $s_{\text{mid}}$ 、  $s_{\max}$  是对数据提供者提供的数据敏感等级的划分, 即将  $S_{pt}$  划分为最低、中值、最高3个敏感等级。式(8)、式(9)分别表示  $s_i$ 、  $P_{st}$  的取值范围。  $P_{st}$ 、  $P_{st}$  分别表示数据的市场价格和消费者实际支付的价格。

## 4.3 数据市场

数据市场模型即服务提供者模型。

假设有  $l$  个服务提供者  $\text{ser}$ , 即  $\text{ser} \in \mathcal{S} = \{1, 2, \dots\}$ , 且  $|\mathcal{S}| = l$ 。数据市场的成本包括数据传输成本 ( $k_{\text{sert}}$ , 包括带宽和时延成本)、数据存储成本 ( $k_{\text{serts}}$ )、数据处理成本 ( $k_{\text{serp}}$ )。则对于服务提供者而言, 其利润最大化模型可以表示为:

$$\max_{\{P_{st}, Y_{pt}\}} \int_0^{M_t} P_{st} Y_{ct} dc - \int_0^{N_t} P_{st} Y_{pt} dp - k_{\text{ser}} \quad (10)$$

s. t.

$$Y_{pt} \leq Y_{pt}, \Delta Y_{pt} = S_{pt} Q_{pt} \forall p \quad (11)$$

$$Y_{st} \leq Y_{ct} \quad (12)$$

$$k_{\text{ser}} = k_{\text{sert}} + k_{\text{serts}} + k_{\text{serp}} \quad (13)$$

其中,  $P_{st}$ 、  $Y_{ct}$  分别是数据消费者在数据市场购买的数据的价格及数量。  $P_{st}$ 、  $Y_{pt}$  分别是数据提供者处购买的数据的价格及数量。  $k_{\text{ser}}$  是数据市场提供服务的成本。

## 4.4 模型说明

在数据市场的3类参与者中, 数据提供者是价格的决定者, 数据市场及数据消费者是价格的接受者。因而模型求解时可以将数据提供者视为博弈的领导者, 数据市场及数据消费者视为博弈的跟随者。

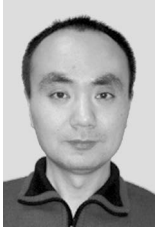
## 5 结束语

大数据时代推动数据成为重要的生产要素,数据是促进数据流通、挖掘数据价值的必备条件。数据资产化为数据成为生产要素创造了条件,然而,数据的非竞争性导致数据资产交易复杂化,因而有必要重新认识数据资产交易。基于这一目的,从分析数据价值及数据交易市场的发展过程入手,讨论了数据资产及数据市场的特性,并从经济学的角度分析了数据市场中各参与者的行为。针对参与者模型利润最大化需求,在数据市场中如何有效配置资源是下一步研究的主要方向。

## 参考文献:

- [1] DAMA International. The DAMA guide to the data management body of knowledge[M]. Basking Ridge: Technics Publications, 2013.
- [2] MOODY D L, WALSH P. Measuring the value of information – an asset valuation approach[C]// The 7th European Conference on Information Systems. Copenhagen: Copenhagen Business School, 1999: 496–512.
- [3] SCHOMM F, STAHL F, VOSSEN G. Marketplaces for data: an initial survey[J]. ACM SIGMOD Record, 2013, 42(1): 15–26.
- [4] BELTER C W. Measuring the value of research data: a citation analysis of oceanographic data sets[J]. PLoS ONE, 2014, 9(3): e92590.
- [5] YANG J, XING C X. Personal data market optimization pricing model based on privacy level[J]. Information, 2019, 10(4): 123.
- [6] 朱扬勇, 叶雅珍. 从数据的属性看数据资产[J]. 大数据, 2018, 4(6): 65–76.
- ZHU Y Y, YE Y Z. Defining data assets based on the attributes of data[J]. Big Data Research, 2018, 4(6): 65–76.
- [7] DAMA International. DAMA-DMBOK: data management body of knowledge (2nd edition) [M]. Basking Ridge: Technics Publications, 2017.
- [8] DEMCHENKO Y, LOS W, LAAT C D. Data as economic goods: definitions, properties, challenges, enabling technologies for future data markets[J]. ITU Journal: ICT Discoveries, 2018, 1(2): 1–10.
- [9] WILKINSON M, DUMONTIER M, AALBERSBERG I. The fair guiding principles for scientific data management and stewardship[J]. Scientific Data, 2016(3): 1–9.
- [10] ARMSTRONG A, DURFEE E H. Mixing and memory: emergent cooperation in an information marketplace[C]// Proceedings of the 3rd International Conference on Multiagent Systems. Piscataway: IEEE Press, 1998: 1522–1532.
- [11] BALAZINSKA M, HOWE B, SUCIU D. Data markets in the cloud: an opportunity for the database community[J]. VLDB Endowment, 2011, 4(12): 1482–1485.
- [12] LI C, LI D Y, MIKLAU G, et al. A theory of pricing private data[J]. ACM Transactions Database Systems, 2014, 39(4): 33–44.
- [13] REN X Q, PALMA L, JUBA Z, et al. Datum: managing data purchasing and data placement in a Geo-distributed data market[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2018, 26(2): 893–905.
- [14] VELDKAMP L, FARBOODI M, MIHET R, et al. Big data and firm dynamics[J]. AEA Papers and Proceedings, 2019, 109(1): 38–42.
- [15] JONES C I, TONETTI C. Nonrivalry and the economics of data[R]. Cambridge: National Bureau of Economic Research, 2019.
- [16] NIYATO D, ALSHEIKH M A, WANG P, et al. Market model and optimal pricing scheme of big data and Internet of Things(IoT)[C]// 2016 IEEE International Conference on Communications. Piscataway: IEEE Press, 2016: 1–6.

## 作者简介



董祥千 (1975- ), 男, 博士, 四川大学计算机学院副教授, 主要研究方向为个人大数据。



郭兵 (1970- ), 男, 博士, 四川大学计算机学院教授、博士生导师, 中国计算机学会高级会员, 主要研究方向为绿色计算、个人大数据。



沈艳 (1973- ), 女, 博士, 成都信息工程大学计算机学院教授, 主要研究方向为智能终端、智能仪器。



段旭良 (1982- ), 男, 四川大学计算机学院博士生, 主要研究方向为个人大数据。



申云成 (1979- ), 男, 四川大学计算机学院博士生, 主要研究方向为个人大数据。



张洪 (1980- ), 男, 四川大学计算机学院博士生, 主要研究方向为个人大数据。

收稿日期 :2020-01-31

基金项目 :国家自然科学基金资助项目 (No.61772352); 四川省科技计划基金资助项目 (No.2019YFG0400, No.2018GZDZX0031, No.2018GZDZX0004, No.2017GZDZX0003, No.2018JY0182, No.19ZDYF1286)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (No. 61772352), The Science and Technology Planning Project of Sichuan Province (No.2019YFG0400, No.2018GZDZX0031, No.2018GZDZX0004, No.2017GZDZX0003, No.2018JY0182, No.19ZDYF1286)