

文章编号: 1000-582X(2012)12-149-06

物联网信息传播动力学建模与仿真

艾莉莎^a, 李 钢^a, 李 峰^b

(北京邮电大学 a. 社会化网络信息研究中心;

b. 网络与交换技术国家重点实验室, 北京 100876)

摘 要: 针对物联网环境下信息传播的感知性和适应性交互特征, 采用社会物理学思路并借鉴振动传播概念, 定义了物联网信息传播过程的动力学变量及其对传播行为的相应影响, 建立了基于阻尼振动方程的信息传播微观动力学模型, 结合 Multi-Agent 仿真技术和 Netlogo 仿真平台, 模拟了微观个体传播行为与宏观整体运行机制之间的动力学关系, 通过大量的数值仿真验证了模型的合理性, 依据仿真实验的结果分析了信息传播系统的非线性演化规律并提出了相关的策略建议。

关键词: 物联网; 复杂适应系统; 社会物理学; 微观动力学; 信息传播; 多主体

中图分类号: TP393

文献标志码: A

Dynamics modeling and simulation for information diffusion in Internet of things

Al Lisha^a, Li Gang^a, Li Feng^b

(a. Social Network Information Research Center; b. Network and Exchange Technology State Key Laboratory, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: According to the perception and adaptive interactive features of information diffusion under the environment of Internet of things, with social physics ideas and vibration propagation concept, the dynamics variables of information diffusion in Internet of things and their corresponding effects on propagation behavior are defined and an information diffusion microscopic dynamics model is constructed based on the damped vibration equation. The Multi-Agent simulation technology and Netlogo simulation platform are employed to simulate the dynamic relationship between the microscopic individual propagation behaviors and the macroscopic overall operation mechanism. The rationality of the model is verified with a large number of numerical simulations. The nonlinear evolution rule of information diffusion system is analyzed based on the simulation results, and the corresponding strategies are proposed.

Key words: internet of things; CAS; social physics; microscopic dynamics; information diffusion; multi-agent

作为当前最热门的前沿领域之一, 有关物联网^[1]的研究文献涉及广泛, 但绝大多数为关键技术(如基于 EPC 的物联网射频识别技术研究^[2]、基于 ANT 的无线传感器网络技术研究^[3]等); 商业模式(如物联网商业模式发展研究^[4]、物联网产业链构建

研究^[5]等); 实际应用(如智慧校园设计研究^[6]、车联网智能终端设计研究^[7]等)3 种类型。物联网在社会科学领域的研究极大缺失, 研究的具体问题和视角都在起步当中。物联网并非单一的技术逻辑的产物, 可以将它理解为人与物的深度对话机制和双向

收稿日期: 2012-07-12

基金项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET07-0107)

作者简介: 艾莉莎(1981-), 女, 北京邮电大学博士, 主要从事物联网研究, (E-mail)ailisha@bupt.edu.cn。

的信息翻译机制,有效解决了自然主体之间信息传播的虚拟间性难题,也预示着人类组织客观世界的更优方式和更高效率。探寻“物联网上的信息传播机制”是一项极具价值的研究工作。

目前的复杂网络^[8-9]传播模型主要从两类方法扩展而来:一类是基于概率论和随机过程理论建立的随机网络模型^[10],通过各种状态的转移概率来计算系统的终态概率,如BA模型;另一类是基于生物学病毒或计算机病毒建立的病毒传播模型^[11],通过一组确定性微分方程来描述感染和康复的时间演变过程,如SIS模型。但这两类方法都更关注系统宏观层面的整体特性,并未考虑个体属性和局部环境等微观因素的影响。物联网^[12-13]上的信息传播虽然在形式上仍然表现为信息的流动过程,但其网络节点已从单一的人和机器扩展到世界万物,传播行为的本质是人与物体、信息、环境相互作用的结果,存在多种非线性、随机性和时变性因素,以及多源、异构、并发实体间的复杂性动态交互过程,同时还需关注感知性和适应性等自主行为特征对传播进程的积极影响。显然,原有的两类方法对于物联网信息传播行为建模的适用性均不充分,近年来兴起的现代社会物理学^[14-15]为此提供了适宜的方法论借鉴。

基本思路按照理论概述(介绍研究模式)、场景假设(描绘微观形态)、建模设计(推导数学模型)、仿真实验(模拟演化过程)4个部分展开。

1 理论概述

社会物理学的研究思路普遍遵循如下的理论模式和逻辑推演:任意自然系统或社会系统中,随时(时间)随地(空间)都存在着广义的“差异”;只要存在广义的“差异”,必然产生广义的“梯度”;只要存在广义的“梯度”,必然产生广义的“力”;只要存在广义的“力”,必然产生广义的“流”;只要存在广义的“流”,必然产生广义的“均衡”。从“差异”到“均衡”的动态演化形成了自然系统或社会系统中的复杂时空过程。社会物理学主要研究广义流的存在形式、演化方向、表现强度、运行速率、波动周期、振动幅度、反馈机理、扩展空间等本质特性和本征行为,以及各种广义流在复杂时空系统中相互影响、相互作用的动力学原理,从而定量刻画自然系统或社会系统的运动规律和运行轨迹,揭示其微观的个体行为模式和宏观的整体演化机制之间相互依赖的动态关系。

应运而生的社会引力理论、社会激波理论、社会温度理论、社会能量理论、社会行为熵理论等研究成果逐渐呈现的,是社会的自然属性与非社会的自然

世界存在着的惊人相似性,这种社会机制与自然机制的同构现象,其普适性意义在于对纳入社会物理学目标函数的既定社会系统进行精确化统一解析的方法论实现。

2 场景假设

在现代社会物理学体系中,通常将微观个体及其空间占比拟为离散的粒子运动,将宏观整体及其时间演化比拟为连续的波动行为,这种“波粒二象性”的特征,易于从微观上的随机和无序中寻求宏观上的认知和观控,从而具备了还原论所梦想的由微观本源出发探索宏观规律的实证条件。虽然物联网实现“智慧地球”的广泛普及应用需待时日,针对其间信息传播的动力学行为模式还未及明晰呈现,但仍能从已经在局部特定领域的成功实践中,规约本质,提炼共性,进而仿真模拟其传播形态;可以把人和物分别视为具有不同属性的两类微观“粒子”,影响其间信息传播的各种因素视为两类“粒子”相互作用的“力学量”,人和物的信息交互即可视为两类“粒子”在各“力学量”作用下的“力”或“能量”的平衡与转化过程。

人对物的信息感知和物对人的情境适应可理解为双向的信息传播行为,人或物在不同时空的状态“差异性”总是不间断产生,持续性给予传播系统的状态演化提供“动能”,状态演化过程可理解为系统“形变”,反映人类行为和物体运动的“形变”过程持续生成,“形变”产生的“势能”又成为下一刻两类“粒子”交互时的“力学量”,传递并转化为作用于人的理解和思维的“影响力”和作用于物的记忆和经验的“反应力”,“形变”的回弹释放过程使系统获得信息“反馈”和情境“检验”,影响后续交互行为的发生和发展。由此可见,人对物的感知性可解释为物在不同时空的状态“差异性”产生了人与之交互的“影响力”结果;物对人的适应性可解释为人在不同时空的状态“差异性”产生了物与之交互的“反应力”结果。这种普遍存在的“差异性”以及交互生成的“作用力”,最终表现为传播系统整体性功能的“涌现性”结果。

3 建模设计

功能层面,物联网在互联网“人-人”通信的基础上实现了“人-物”通信和“物-物”通信。架构层面,物联网在互联网可靠传输的基础上实现了全面感知和智能处理。本研究选取物联网最核心的人与物之间的双向交互特性,并提炼人对物的感知性和物对人的适应性来分别表征,每一特性实际包括主体诸

多关联的“行为集合”以及衍生的更多“特性集合”,下面仅此描述信息的流动方向和传播形态。

与互联网的被动等待输入不同,物联网能够主动识别物体、采集数据、感知信息。人对物的感知性可以具体借鉴物资运输实例^[16],人能实时监测物品的发货、配送、抵达等运输环节,全面掌握当前最准确的位置、速度、路况等信息。与此相似,不难预见物联网的感知性功能在食品溯源^[17]、污染跟踪^[18]、灾害预警等领域的应用前景。此时,可以形象地将“发布信息”的物类比为振源,“传播信息”的人类比为产生振动的外力,外力触发的后续行为又产生新的信息交互,最终实现更多人或更多物的“逐级扩散效应”。

与互联网的被动传输数据不同,物联网能够主动理解行为、精确反馈、服务用户。物对人的适应性可以具体借鉴智能家居实例^[19],物能随时根据个人的睡眠、学习、娱乐等生活状态,自动调节与之最适宜的温度、湿度、光线等信息。与此相似,不难预见物联网的适应性功能在医疗保健^[20]、购物消费、工作协助等领域的应用前景。此时,可以形象地将“发布信息”的人类比为振源,“传播信息”的物类比为产生振动的外力,外力触发的后续行为又产生新的信息交互,最终实现更多物或更多人的“逐级扩散效应”。

综合考虑以上两个方面,借鉴物理学振动传播概念及其数学描述,定义物联网信息传播过程的各项特征量及其量化意义。

1) 振动幅度 A : 描述振动质点离开平衡位置的最大距离,类比为目标信息在传播周期中的价值系数 ν ,与信息的重要程度、信息作用于人的理解和思维的影响力、信息作用于物的记忆和经验的反应力等因素相关。

2) 阻尼系数 δ : 描述由于外界作用或系统原因引起的振动幅度逐渐降低的特性,类比为目标信息的价值系数随时间推移而逐渐降低的时效性,与信息的新旧程度、使用频率、适用周期等时变性因素相关。

3) 平衡位置 r_0 : 描述振动质点未产生弹性形变的初始状态,类比为影响力或反应力所决定的信息源的平均信息访问量 n_0 ,与网络的规模及开放性、信息的数量及关注度等因素相关。

4) 实时位置 r_t : 描述振动质点随时间变化的相对位置或轨迹,类比为信息源在任意时刻的传播状态,与信息被感知或被适应的数量(即实际参与传播的信息数量) n_p 和 n_a 、传播主体的偏好习惯和从众心理、传播主体之间的隶属关系和访问权限等随机性因素相关。

首先借鉴阻尼振动方程

$$x = Ae^{-\delta t} \cos(\omega t + \varphi)。$$

然后进行三角函数变换

$$x = Ae^{-\delta t} r_t / r_0。$$

最后依据各动力学变量的类比定义,确定信息传播的微观动力学方程

$$x(t) = \nu e^{-\lambda t} (\alpha \sum n_p + \beta \sum n_a) / \sum n_0。$$

其中, λ 为时效性特征标度因子; α 、 β 为偏好习惯或隶属关系等随机性特征影响因子。

方程右侧为 3 个特征数据项: ν 反映信息传播的价值,为信息重要程度的量化表征; $e^{-\lambda t}$ 反映信息传播的时效,为信息有效程度的量化表征; $(\alpha \sum n_p + \beta \sum n_a) / \sum n_0$ 反映信息传播的比例,为信息实用程度的量化表征。方程左侧项 $x(t)$ 即表示以信息价值为判定标准的信息传播行为在 t 时刻发生的概率。传播概率既反映信息传播的几率或可能性,又反映群体传播的趋势或倾向性,物联网环境下更体现不同智能空间中各种物体之间的互操作性和协调性能力。

上述微观动力学方程既与社会学信息传播规律的定性研究完全吻合(信息内容越重要,被关注与被传播数量越多,则受众再传播的概率也越大),又与物理学阻尼振动原理推导一致(振动质点质量越大,频率与相速越高,则振动传播的速度也越快),更与动力学变量类比定义准确对应,从而很好地印证了采用社会物理学方法构建物联网信息传播动力学模型的合理性。

4 仿真实验

仿真方法通过模拟微观个体的相互作用来涌现宏观层面的复杂行为,通过跟踪系统状态的演化过程来揭示真实世界的复杂机理,所以非常适合复杂系统研究应用。

仿真方法普遍基于如下假设^[21],由此判定在本研究中的适用合理性:微观个体之间自主交互,系统结构和关联模式以自组织方式形成;微观个体之间相互依赖,每个个体的决策函数包含其他个体的状态变量;微观个体的行为简单,决策逻辑和行为机制使用尽量简化的规则描述;微观个体具有适应性,不断学习并积累经验从而实现系统进化。

基于复杂适应系统理论(CAS)^[22]自底向上的建模思路,采用 Multi-Agent 仿真技术^[23-24]和 Netlogo 仿真平台,构建物联网信息传播动力学仿真模型。在 Netlogo 中,World 由 Turtles、Patches、Links 和 Observer 组成。Patches(静态 Agent)组成网格,

Turtles (动态 Agent) 在网格上移动, Links 连接两个 Turtles, Observer 观察 World 上的所有事情。

模型描述的是相对理想化的过程, 为此提出如下仿真假设: 不考虑个体自身的信息更新, 不考虑信息自身的突变影响; 信息传播为复制过程, 传播后自身信息不发生衰减; 个体之间没有信息差异时终止传播。设动态 Agent 的初始数量 $initial\text{-}particle\text{-}number=50$, 初始大小 $smallest\text{-}particle\text{-}size=0$ 和 $largest\text{-}particle\text{-}size=1$, 初始位置随机分布, 每步的移动方向、移动距离(当 Turtle 越过 World 边缘时, 默认回绕, 即在另一端重新出现, 不存在出界情况)和移动速度均随机确定, 每次仿真的时间步长 $ticks=500$, 每个参数空间运行 3 次仿真。本研究的仿真参数设置如表 1 所示。

表 1 信息传播动力学仿真实验参数设置

属性	变量	赋值/%
信息价值	info-value-ratio	0~100, 增量 1
信息时效	info-damping-ratio	0~100, 增量 1
传播比例	propagation-ratio	0~100, 增量 1
传播概率	propagation-probability	未赋值

仿真实验的过程通过可视化窗口输出, 运行界面为动态呈现, 为便于观察, 截取第 100 步的瞬时状态为例, 如图 1 所示, 圆形的大小代表当前的信息价值, 圆形逐渐减小代表信息时效的递减趋势, 圆形的碰撞代表个体之间的信息访问, 碰撞产生大小变化代表信息传播行为的发生, 信息传播与信息访问的比值即为传播比例。

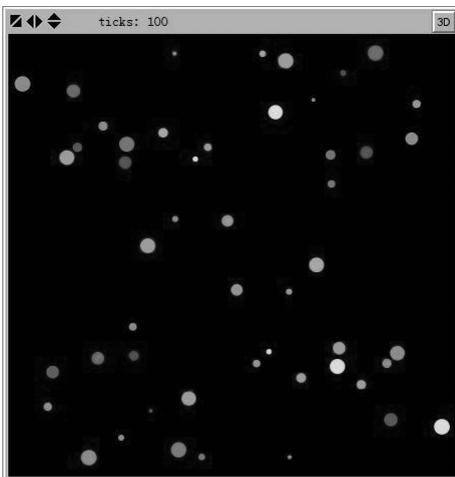


图 1 信息传播动力学仿真实验运行界面

仿真实验的结果通过图表化窗口输出, 呈现仿真模型在前 500 步内的整体变化趋势, 如图 2 所示。

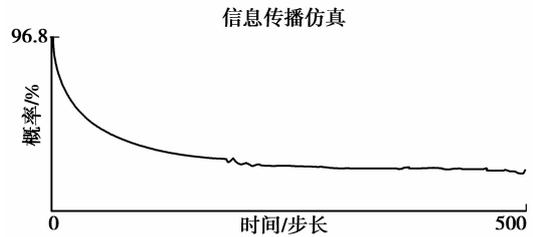
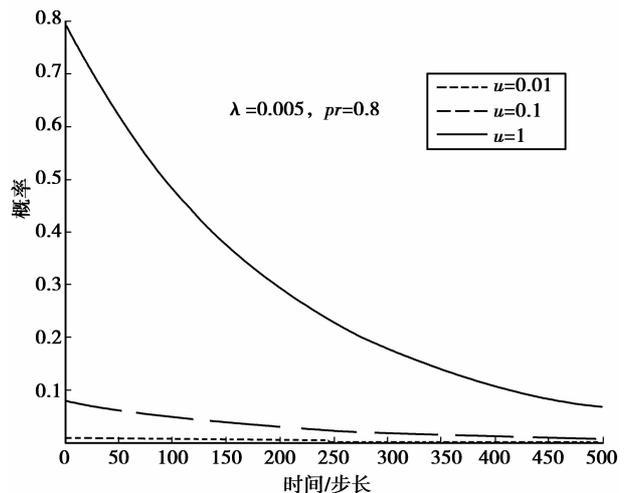
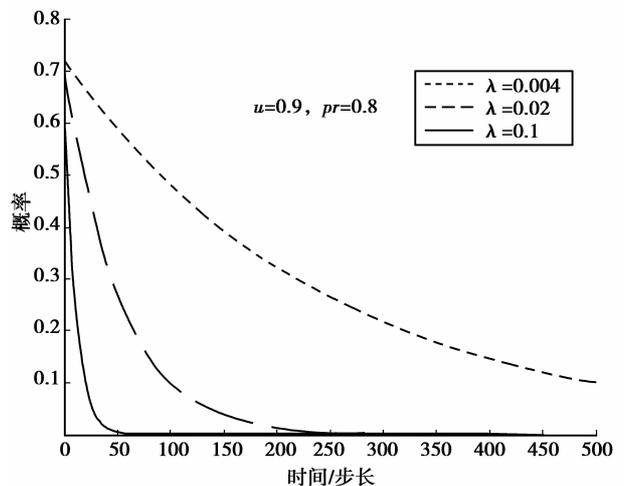


图 2 信息传播动力学仿真模型变化趋势

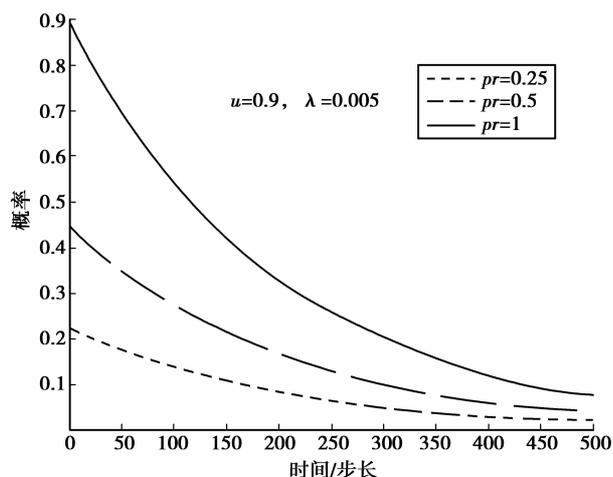
下面通过对仿真参数的设置与调整, 观察仿真曲线的变化特征, 假定其他参数不变的情况下, 分别给出信息价值、信息时效和传播比例对传播概率的影响, 对应坐标图中不同线型的 3 条曲线, 如图 3 所示。



(a) 信息价值对传播概率的影响



(b) 信息时效对传播概率的影响



(c) 传播比例对传播概率的影响

图 3 信息传播动力学仿真参数影响曲线

5 结 语

1) 信息价值与传播概率之间存在非线性正相关特性:如图 3(a)所示,相同的信息价值增幅下,传播概率呈明显的非线性增长趋势。当信息价值较低时,在无外界因素干预的情况下,传播概率很小且几乎不再随着时间变化,最终淹没在“信息海洋”里;当信息价值中等时,随着价值增长,传播概率的时间演化曲线从平缓逐渐变得陡峭,下降趋势骤然加剧,不稳定性随即增强,此时对信息传播实施有效监管的空间较大;当信息价值较高时,传播初期的概率亦维持在相当高位,如果错失掌控第一时间,庞大基数下必然呈现爆发性急剧扩散,且很长时间内一定的传播概率仍然持续。

社会环境影响下的人的价值观念与工业流水线生产的物品,因丧失其独特性和不可替代性而导致的价值衰减,会在原始价值越高时越发明显,且持续时间更为长久。

2) 信息时效与传播概率之间存在非线性负相关特性:如图 3(b)所示,相同的信息时效增幅下,传播概率呈明显的非线性下降趋势。当信息时效较低时,传播概率下降缓慢,降速亦越来越慢,受时变性因素影响不大,信息将在传播系统中持久发挥效用;当信息时效中等时,随着时效增长,传播概率的时间演化曲线逐渐向下滑落,前快后慢的降速差距迅速拉大,拐点附近传播概率的时变敏感度较高,管控措施的针对性和成效性往往更好;当信息时效较高时,传播概率陡然下降甚至垂直下降,在远离拐点的两端区域,概率与时间分别收敛于相对较小的差值范

围内,传播过程难以为续甚至戛然而止。

一时情绪或突发状况下的人的行为变异,一次性使用或有效期短暂的物品,甚至包括人为的物资浪费,因信息源逐渐隐退而导致的传播频次衰减,会在时效作用越强时越发明显,且衰变时限更为短促。

3) 传播比例与传播概率之间存在非线性正相关特性:如图 3(c)所示,相同的传播比例增幅下,传播概率呈明显的非线性增长趋势。综观传播概率的时间演化曲线,变陡或变缓的程度均不及前两种情况明显,也未出现趋近水平或垂直的极端现象,更无拐点等特殊区域呈现,总体的增长趋势平稳且均衡,没有明显特征正是当前最准确的特征描绘。

人与人之间容易产生从众心理的趋同性影响,个人更倾向于使用长期养成的行为习惯,人与物之间固有的隶属关系也轻易不变,对于原本陌生的事物,传播行为之间的这种示范作用和引导机制显然更为重要,特别是面对感知技术出现之前人类还无法对话的物质世界。

参考文献:

- [1] International Telecommunication Union. ITU internet reports 2005: the internet of things [R]. Geneva: ITU, 2005.
- [2] 胡小明. 基于 EPC 的物联网射频识别技术研究[D]. 南京:南京邮电大学硕士学位论文, 2011.
- [3] 唐璞. 基于 ANT 传感器网络研究与应用[D]. 北京:北京邮电大学硕士学位论文, 2012.
- [4] 郑欣. 物联网商业模式发展研究[D]. 北京:北京邮电大学硕士学位论文, 2011.
- [5] 戴蕾. 我国物联网产业链构建研究[D]. 北京:北京邮电大学硕士学位论文, 2011.
- [6] 宗平, 朱洪波, 黄刚, 等. 智慧校园设计方法的研究[J]. 南京邮电大学学报: 自然科学版, 2010, 30(4): 15-19, 51.
ZONG Ping, ZHU Hongbo, HUANG Gang, et al. Research and design of smart campus based on internet of things[J]. Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications: Natural Science, 2010, 30(4): 15-19, 51.
- [7] 郁建铭. 一种车联网智能终端设计及其路由算法研究[D]. 南京:南京邮电大学硕士学位论文, 2012.
- [8] Watts D J, Strogatz S H. Collective dynamics of small-world networks[J]. Nature, 1998, 393: 440-442.
- [9] Barabási A L, Albert R. Emergence of scaling in random networks[J]. Science, 1999, 286(5439): 509-512.
- [10] Erdős P, Rényi A. On the evolution of random graphs [J]. Publications of the Mathematical Institute of the

- Hungarian Academy of Sciences,1960,5:17-61.
- [11] Bailey N T J. The mathematical theory of infectious diseases[M]. New York:Hafner Press,1975.
- [12] 沈苏彬,范曲立,宗平,等. 物联网的体系结构与相关技术研究[J]. 南京邮电大学学报:自然科学版,2009,29(6):1-11.
SHEN Subin, FAN Quli, ZONG Ping, et al. Study on the architecture and associated technologies for internet of things[J]. Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications: Natural Science, 2009, 29 (6): 1-11.
- [13] 孙其博,刘杰,黎彝,等. 物联网:概念、架构与关键技术研究综述[J]. 北京邮电大学学报,2010,33(3):1-9.
SUN Qibo, LIU Jie, LI Shan, et al. Internet of things: summarize on concepts,architecture and key technology problem[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications,2010,33(3):1-9.
- [14] Castellano C, Fortunato S, Loreto V. Statistical physics of social dynamics [J]. Reviews of Modern Physics, 2009,81(2):591-646.
- [15] 牛文元. 社会物理学理论与应用[M]. 北京:科学出版社,2009.
- [16] 李雁碧. 物联网建设对智能化物流配送系统的优化研究[J]. 物流工程与管理,2011,33(7):56-57.
LI Yanbi. The research on optimizing the intelligentized logistics distribution system by building the internet of things [J]. Logistics Engineering and Management, 2011,33(7):56-57.
- [17] 孟源. 基于物联网的食品安全溯源体系分析[J]. 物联网技术,2011,1(9):86-89.
MENG Yuan. Analysis of food safety traceability system based on internet of things [J]. Internet of Things Technologies,2011,1(9):86-89.
- [18] 王希杰. 基于物联网技术的生态环境监测应用研究[J]. 传感器与微系统,2011,30(7):149-152.
WANG Xijie. Application research of ecological environment monitoring based on internet of things technology [J]. Transducer and Microsystem Technology,2011,30(7):149-152.
- [19] Darianian M, Michael M P. Smart home mobile RFID-based Internet-of-things systems and services [C] // Proceedings of the International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering, December 20-22, 2008, Phuket, Thailand. Piscataway: IEEE Press,2008:116-120.
- [20] Luo J R, Chen Y L, Tang K, et al. Remote monitoring information system and its applications based on the internet of things[C]// Proceedings of the International Conference on Future BioMedical Information Engineering, December 13-14, 2009, Sanya, China. Piscataway: IEEE Press,2009:482-485.
- [21] 张发,宣慧玉,赵巧霞. 复杂系统多主体仿真方法论 [J]. 系统仿真学报,2009,21(8):2386-2390.
ZHANG Fa, XUAN Huiyu, ZHAO Qiaoxia. Methodology of multi-agent based simulation for complex systems [J]. Journal of System Simulation, 2009,21(8):2386-2390.
- [22] 约翰·H·霍兰. 隐秩序:适应性造就复杂性[M]. 周晓牧,韩晖,译. 上海:上海科技教育出版社,2000.
- [23] Cai L Q, Zheng X S, Qu H C, et al. Risk accident simulation using virtual reality and multi-agent technology[J]. International Journal of Digital Content Technology and its Applications,2011,5(2):181-190.
- [24] Fujii H, Yoshimura S, Takano Y. Modeling of traffic accident in multi-agent-based traffic simulator [J]. Transactions of the Japanese Society for Artificial Intelligence,2011,26(1):42-49.

(编辑 侯湘)