

基于多智能体的社会网络研究

蒋巍川
东南大学

关键词：社会网络 多智能体系统

引言

社会网络在很多领域引起了人们的极大关注，其研究成果无论在科学研究还是社会现实中都具有很大的意义。社会网络主要由自治的社会主体和它们之间的社会交互关系所组成^[1,2]，而多智能体计算已经被公认为是一种能对自治多主体系统进行有效建模分析的方法^[3]。

本文主要将社会网络研究与多智能体方法相结合，寻找社会网络与多智能体系统之间的关联性，提出基于多智能体研究社会网络的模型框架；同时，本文还论述了基于多智能体研究社会网络中的典型问题——信息传播；最后，我们将基于多智能体的社会网络研究方法与其他两种经典的社会网络研究方法进行比较，指出基于多智能体的社会网络研究方法的优缺点和未来发展趋势。

社会网络研究的三大流派

社会网络主要是由社会主体

(比如个人、群体、组织、单位等)和它们之间的社会交互关系所构成。根据在研究中对社会主体和社会关系结构的侧重情况，相关研究可以分为三大派别：面向结构的流派、面向主体的流派、主体与结构交叉的流派^[4]。

面向结构的流派

面向结构的流派主要是研究社会网络的拓扑结构特征，即主要关注社会关系结构^[4]。在社会网络的早期研究阶段，比如20世纪60~70年代，主要从图论和代数的角度来分析社会网络的结构拓扑性质和特征。在这种方法中，社会网络可表示为图的形式。其中图的节点表示社会网络中的社会主体，图的边表示社会网络中的社会交互关系。在进行基于图论的社会网络研究时，主要关注社会网络的以下典型拓扑结构特征：中心度、权威度、结构平衡、传递性、结团、角色、位置、三元组等^[5]。这种方法由于有图论、矩阵、代数论等成熟的数学工具为基础，因此具有理论性强、验证严密等特点。

另外，当前的社会网络由于规模大，呈现出了复杂网络的形式。因此，社会网络的很多研究工作都采用了复杂网络的研究方法，通过统计的手段对大规模的数据进行实证研究。这类研究方法主要研究社会网络所呈现出的复杂网络的结构特征，包括小世界特性、无标度特性、随机网络特性等。比如，人们发现大多数社交网站都具有一种无标度主导(leadership)结构^[6]。

总而言之，面向结构的流派将众多丰富多彩、性质各异的社会主体抽象为图中的统一节点，而忽略了这些社会主体的行为特征和社会属性的影响，这是此类研究的局限性。

面向主体的流派

该流派主要研究社会网络中社会主体的行为方式和群体特征，还重点关注社会主体对社会网络结构的影响机制。在该流派研究中，社会网络被认为是社会主体群集行为的环境，其拓扑结构特征并不是太受关注。这部分的相关工作有：社会网络中的主

体群集协作研究、社会群体中的社会影响力研究、社会网络中的信息传播、电子商务社会网络中的协商等。

最近几年这方面的研究涌现出了非常多的成果,特别在社会网络中的群集行为建模和行为特征分析方面取得了很大的进展^[7]。比如,人们通过对社交网站中不同群体的行为数据的实证分析,发现了具有不同文化趣味和社会关系的群体之间的行为影响规律,以及不同种类社会群体的行为特征;通过对社会网络中的用户博客数据进行实证分析,预测博客转发的规律。

主体与结构交叉的流派

在该流派中,社会主体与社会网络关系结构都被同时关注,既探索社会网络结构对社会主体行为的影响,也关注社会主体行为如何形成和改变网络结构,特别是两者之间的交叉作用更是研究的重点。

这方面的工作在最近几年取得了巨大的进展,并引起了学术界的极大关注。比如,人们研究了社会网络结构与信息传播的关系^[8],发现小世界拓扑特征有利于仅需一次交互就能传播的行为扩散,而高聚类网络特征会有利于需要多次交互才能传播的行为扩散。其原因是:小世界网络结构能为一次交互就能传播的行为提供更多更快的传播路径,而高

聚类网络结构能为需要多次交互才能传播的行为提供更多冗余的强化连接关系。

当前的研究越来越重视社会主体和群集行为的作用^[11]。所以,本文主要关注面向主体和主体与结构交叉的研究,而对只面向结构的研究不进行讨论。

基于多智能体的社会网络研究模型¹

从面向主体和主体与结构的研究观点而言,社会网络就是一种自组织的复杂多主体系统。因此,在最近几年出现了许多基于智能体研究社会网络的相关工作,主要有:(1)采用多智能体方法对社会网络进行建模和仿真,比如基于多智能体方法对脸谱(Facebook)中的朋友链接关系网络进行研究开发^[9];对社会网络中的社会交互和人群行为用智能体模型进行分析^[10]。(2)采用多智能体技术实现社会网络中的智能化、自适应、自治的服务,比如采用智能体技术和语义网技术来处理社会网络中大量的极端稀疏和异类的用户数据^[11]。(3)利用多智能体分布式解决问题的能力,将其作为一种优化计算算法来研究社会网络。比如,将多智能体控制机制与社区挖掘算法结合起来发掘实时动态Web文本中的社区^[12]。

但是,总体而言,在已有的

相关研究中,主要还只是利用多智能体某一项具体的技术去研究具体的某个社会网络,而尚未从方法学的角度提出基于智能体研究社会网络的综合性框架模型。

总体框架

不管是在社会网络还是多智能体系统中,协作(coordination)都是至关重要的问题。因此,我们主要基于协作问题将社会网络和多智能体系统关联起来^[11]。图1是一个社会网络与多智能体系统的对应关系图。从图1中可以看出,我们可以将社会主体建模为智能体;将社会网络环境与社会交互法则建模为多智能体系统中的交互环境与协作机制;将社会网络结构建模为多智能体系统中的组织结构。因此,通过这种方法,就可以有效地基于多智能体来对社会网络的各个关键要素进行建模分析。

在多智能体系统中以下四种协作情况较为常见:(1)合作(cooperation),智能体之间采取合作的方式进行协作;(2)非合作(noncooperation),智能体之间采取非合作的方式进行协作;(3)不可靠协作(undependable coordination),智能体在协作中会采取一些主观的、违背既定协议的非可靠行为;(4)异类与多维协作(heterogeneous and multidimensional coordination),智能体属于不同的组织并且性质是异类的。

¹ 本节思想的更详细内容可见作者前期在IEEE TPDS发表的论文^[1]。

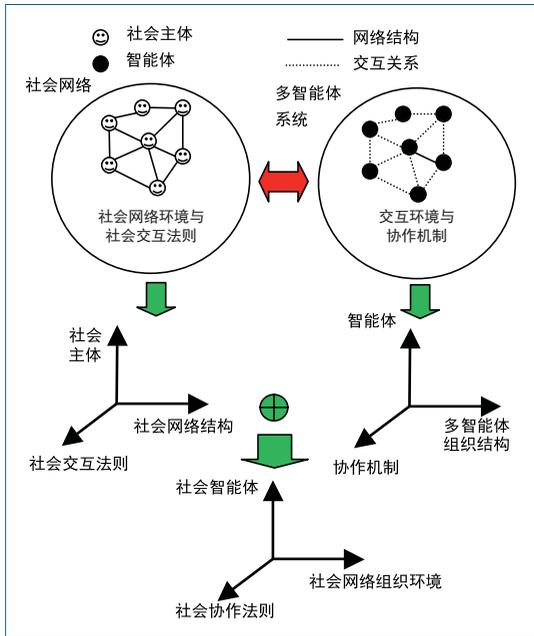


图1 社会网络与多智能体系统之间的对应关系

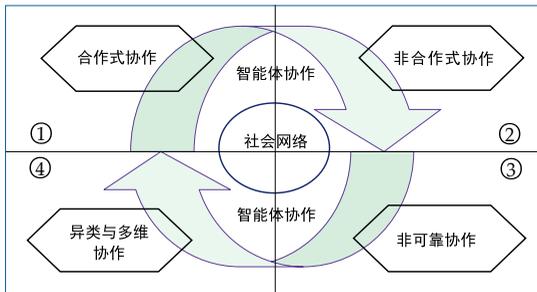


图2 社会网络中常用的多智能体协作技术

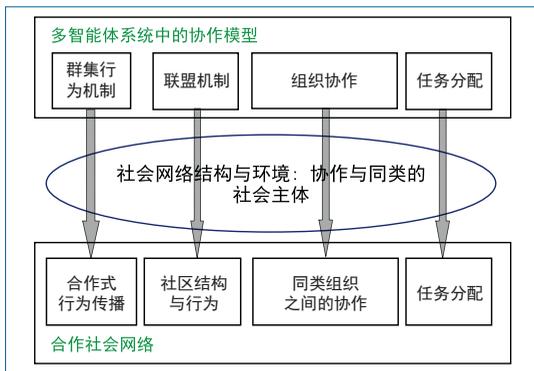


图3 合作社会网络中常用的多智能体模型

因此，在社会网络中常用的多智能体协作技术也是这四种，如图2所示。

网络的行为，然后再不断地用新获得的社会网络数据来验证该多智

目前主要有两种基于多智能体研究社会网络的典型方法：一种是直接应用方法，另外一种是间接应用方法。

直接应用方法直接将多智能体模型应用于社会网络中，它又主要包括两类：一是采取多智能体机制来改善社会网络的性能，比如采取多智能体系统中的博弈论方法

来改善社会网络中主体之间的竞争性交互以获得最大的系统效能值；二是采取多智能体方法来分析社会网络的性质，比如采取多智能体中的联盟机制来分析社会网络中的社区性质。

间接应用方法是多智能体模型作为一种中介介质去研究社会网络。比如，有关社会网络详细的数据知识不一定能完全得到，

我们可以首先根据已有的数据知识构造一个多智能体模型来预测社会网络的行为，然后再不断地用新获得的社会网络数据来验证该多智

能体模型的正确性和有效性。如果该多智能体模型与新获得的真实社会网络数据有差距，则继续修改完善该模型。这种过程将一直持续下去，直到该多智能体模型满足需求为止。

常见社会网络中的多智能体模型

常见的社会网络有三类：合作社会网络、非合作社会网络、非可靠社会网络。下面我们进一步叙述这三种网络中常用的多智能体模型。

在合作社会网络中，常见的研究有：合作社会主体之间的行为传播、社区结构与行为、同类社会主体之间的协作合作、社会主体之间的任务分配等。而在这几种研究中，常用到的多智能体模型与合作社会网络的对应关系为：基于多智能体系统中的群集行为机制可用于研究社会网络中的行为传播；基于多智能体系统中的联盟机制可用于研究社会网络中的社区结构；基于多智能体系统中的组织协作可用于研究社会网络中的合作网络协作演化；

基于多智能体系统中的任务分配机制可用于研究社会网络中的任务分配，如图3所示。

在非合作社会网络中，常见的研究有：非合作社会主体之间的行为传播、非合作社会主体之间的社会博弈、非合作社会主体之间的任务分配。在这三种代表性研究中，常用的多智能体模型主要有：博弈论、机制设计、信

任/信誉机制。其中在非合作社会网络的传播与社会博弈中,经常使用多智能体的博弈论、机制设计、信任/信誉机制;在非合作社会网络的任务分配中,经常使用多智能体的机制设计和信任/信誉机制,如图4所示。

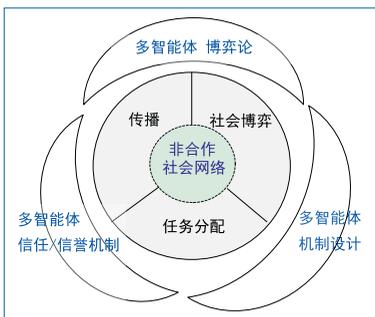


图4 非合作社会网络中常用的多智能体模型

在非可靠社会网络中,主要有两种典型情况:一种是非可靠的社会主体;另外一种是非可靠的社会连接关系^[13]。前者是由于社会主体本身主观上会采取非可靠的行为,从而违背社会网络中既定的法则与协议;后者有多种原因,可能是由于建立连接关系的社会主体不可靠,也有可能是连接关系的强度太弱小,甚至可能是社会主体之间通信中断。针对不同的非可靠类型,我们可以采取不同的多智能体模型。比如,我们可以采取博弈论来为非可靠社会主体之间的交互建模;采取信任/信誉机制来衡量社会主体的可靠性;同样,博弈论和信任/信誉机制也可以用来分析社会连接关系的不可靠情况建模。另

外,多智能体系统中的结构调整机制也可以用于非可靠连接关系中,使得社会主体能自适应地感觉周围环境而调整连接关系,如图5所示。

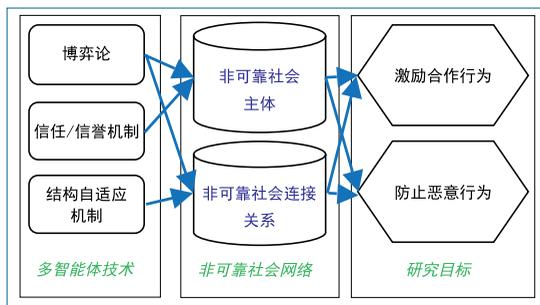


图5 非可靠社会网络中常用的多智能体模型

基于多智能体研究社会网络中的信息传播²

信息传播简介

社会网络中的信息传播主要研究信息在社会网络的社会群体中如何传播影响,从而达到协同^[14]。我们经过总结分析,发现社会网络中的信息传播包括以下三个关键要素:(1)传播主体(diffusion actor),也就是社会网络中传播信息的社会主体,表示由“谁(Who)”来传播信息;(2)传播媒介(diffusion medium),也就是信息传播的社会网络环境,表示“在哪儿(Where)”传播信息,包括社会网络连接特征(强连接或者弱连接)、社会网络结构(高聚类网络、随机网络、小世界网络等)等;(3)传播内容(diffusion content),表示传播的是“什么(What)”,指具体传播的对象,包括创新、谣言、病毒、行为习惯等。

然后,根据上述社会网络中信息传播的三个关键要素的不同,人们提出了许多种传播模

型(diffusion model)。传播模型表示传播过程中主体之间的交互协议和决策机制等,主要表示“如何(How)”传播信息。目前涌现出了非常多的传播模型,其中有代表性的有以下几种:(1)基于博弈论的传播模型:比如基于收益最大化博弈策略的社会网络中的创新传播模型^[15]。(2)基于阈值理论的传播模型,也就是每个社会主体根据其社会网络中的交互对象采取某种策略的比例是否超过一定阈值来决定自身策略^[16]。(3)基于模仿机制的社会网络的信息传播模型:比如社会主体根据其网络结构中的邻居所采取的策略值进行选择模仿^[17]。(4)基于传染病传播机制的信息传播模型,比如易感-感染-易感(Susceptible-Infected-Susceptible, SIS)模型以及其他变种^[18]。

因此,我们认为社会网络中的信息传播可以建模为“3W+1H”。在这个框架下产生了大量的研究成果。

基于多智能体的研究模型

² 本章节思想的更详细内容可见作者前期在IEEE TSMC发表的论文^[2]。

实际上，社会网络中的群集信息传播的核心本质就是一群自治的社会主体针对该信息的交互协商而最后涌现出来的一种协同现象。因此，采用多智能体对社会网络中的群集信息传播进行建模和仿真最近获得了极大关注^[2,19]。在基于多智能体的建模分析方法中，信息传播的各个关键要素都可以用智能体的相关方法和模型来进行分析。目前采用多智能体方法的社会网络的信息传播研究主要有两种^[19]：(1) 提供一种理论分析的工具和视角，主要关注传播过程的抽象和宏观层面；(2) 另外一种是基于实证数据，然后采用多智能体方法进行建模和仿真，从而预测和分析传播过程中的规律。

通过多智能体方法，社会网络信息传播中的关键要素和传播模型可以采取多智能体交互模型来进行建模研究：传播主体可以建模为交互智能体；传播媒介可以建模为多智能体系统中的交互环境；传播内容可以建模为多智能体系统中的交互协商对象；而传播模型可以建模为多智能体系统中的交互协议和决策机制；最后，社会网络中信息传播的最终目的就可以建模为多智能体系统中的交互协商目标。总的研究框架如图6所示。

与其他经典研究方法的比较

目前研究社会网络的经典方

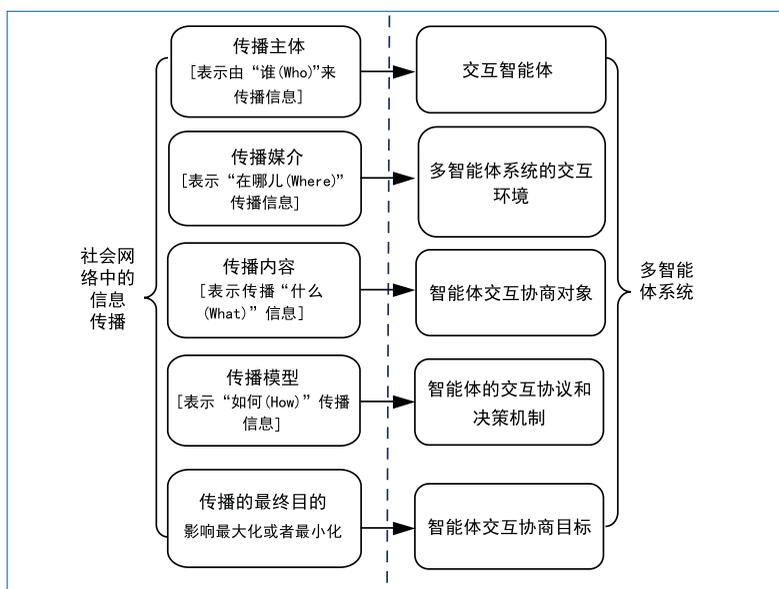


图6 基于多智能体的社会网络中的信息传播研究框架

法主要有两种：一种是图论结构方法^[5]，主要是借助图论代数工具来分析研究社会网络的拓扑结构特征；另外一种实证数据研究方法^[20]，主要是通过对社会网络数据的收集分析来实证研究社会网络的性质特征。

与上述两种经典方法比较，多智能体方法优缺点说明如下：

- 与图论结构方法比较而言，多智能体方法考虑了社会主体协作的影响力，更能有效地分析社会网络中从局部交互到全局协调的涌现机制；另外，多智能体方法能提供一种更有效的建模和仿真工具，能对自治社会网络系统进行有效的仿真和预测。但是，多智能体方法不能像图论结构方法那样提供一种严密的局部结构分析工具，且

在理论验证上不够完善，因此在对社会网络结构局部拓扑特征的理论研究分析上略逊一筹。

- 与实证数据研究方法比较，多智能体方法能提供一种相对经济的手段来研究社会网络，其原因是多智能体方法能模拟和预测社会网络的行为和演化；另外，许多已有的多智能体方法技术可以用来改善社会网络的性能。但是多智能体方法不能像实证数据研究方法那样有效地分析大规模动态的社会网络系统，且有时候所得到的结果不一定完全符合实际情况。因此，需要提高并改善多智能体方法在大规模动态社会网络系统中的实际应用性和适用性。所以，为了提高多智能体方

法在社会网络中的适用性，我们需要将其与这两种经典方法结合起来使用，如图7所示。一方面

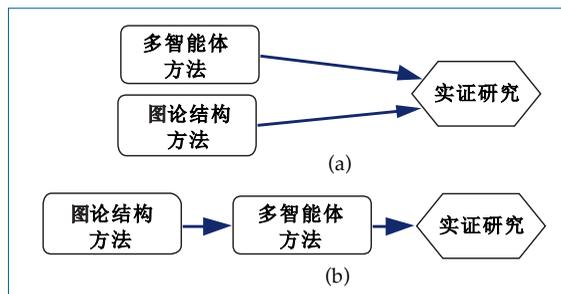


图7 多智能体方法与两种经典研究方法的结合

是将多智能体方法与图论结构方法都作为实证研究的前期理论研究方法；另外一种是先利用图论结构方法获得理论上的局部知识，然后再采用多智能体方法建模仿真分析，最后采用实证研究方法进行验证分析。

结语

社会网络引起了人们的极

大关注，最近几年的相关研究越来越重视社会网络中社会主体和群体行为的作用。而多智能体系统作为一种相对成熟的研究工具，能有效地对自组织多主体系统进行建模分析。本文主要论述了如何将多智能体系统与社会网络结合起来，并从方

法学的角度提出基于多智能体研究社会网络的框架模型。希望本文的观点，能促进社会网络与多智能体两大研究领域的紧密结合与发展。■



蒋焱川

CCF高级会员。东南大学教授。主要研究方向为多智能体系统与社会网络。
yjjiang@seu.edu.cn

参考文献

- [1] Y.Jiang, J.C.Jiang. Understanding Social Networks from a Multiagent Perspective. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, DOI: 10.1109/TPDS.2013.254.
- [2] Y. Jiang, J. C. Jiang. Diffusion in Social Networks: A Multiagent Perspective. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, DOI:10.1109/TSMC.2014.2339198.
- [3] Nicholas R.Jennings. An Agent-Based Approach for Building Complex Software Systems. *Communications of the ACM*, 2001,44(4): 35~41.
- [4] M. E. J. Newman. The Structure and Function of Complex Networks. *SIAM Review*, 2003,45(2): 167~256.
- [5] Stanley Wasserman, Katherine Faust. *Social Network Analysis: Methods and Applications*.

CCF TC

普适计算专委会、人机交互专业组 第四届全国可穿戴计算学术会议举行

第四届全国可穿戴计算学术会议暨首届中国（国际）智能可穿戴技术与产业论坛（会议编号：CCF-TC-14-36R）于7月26日在成都开幕。大会由CCF主办、普适计算专委会与人机交互专业组等承办。大会主席、程序委员会主席分别由电子科技大学教授**陈东义**和中科院计算所研究员**陈益强**担任。CCF人机交互专业组主任、中科院软件所研究员**戴国忠**，普适计算专业委员会主任、浙江大学教授**吴朝晖**担任大会荣誉主席。

10位著名学者受邀作了大会报告，26位专家作了专题报告。会议安排了“可穿戴与大数据”、“面向智能可穿戴的材料”、“智能可穿戴终端、身体传感网络”、“交互、设计、用户体验、多方向交叉”、“可穿戴计算发展战略研讨”等专题讨论，还有企业展示、创客产品交流、Poster交流以及可穿戴服装展示。

大会共收到92篇论文，中国科学院心理学研究所**刘焯**、**王思睿**、**傅小兰**等撰写的论文《五种基本情绪的心肺系统生理反应模式》获得最佳论文奖。

Cambridge: Cambridge University Press, 1997.

- [6] T.Zhou, M.Medo, G.Cimini, Z.K.Zhang, Y.C.Zhang. Emergence of Scale-Free Leadership Structure in Social Recommender Systems. *PLoS One*, 2011,6(7): e20648.
- [7] K.Lewis, M.Gonzalez, J.Kaufman. Social Selection and Peer Influence in an Online Social Network. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2012,109(1): 68-72.
- [8] D.Centola. The Spread of Behavior in an Online Social Network Experiment. *Science*, 2010,Vol.329: 1194-1197.
- [9] S.M.A.Abbas. An Agent-Based Model of The Development of Friendship Links within Facebook. *Computational and Mathematical Organization Theory*, 2013,19(2): 232-252.
- [10] B.A.Diaz. Agent Based Models on Social Interaction and Demographic Behaviour. PhD Dissertation, Wien:Vienna University of Technology, 2010.
- [11] F.Bergenti, E.Franchi, A.Poggi. Enhancing Social Networks with Agent and Semantic Web Technologies. *Collaboration*

and the Semantic Web: Social Networks, Knowledge Networks, and Knowledge Resources, *IGI Global*, 2012:83-100.

- [12] H.Yang, Z.Wang Z, X.Zhou. A Community Mining Algorithm for Web Texts Based on Multi-agent System. *Journal of Computational Information Systems*, 2010,6(11): 3509-3516.
- [13] Y.C.Jiang, Y.F.Zhou, W.Y.Wang. Task Allocation for Undependable Multiagent Systems in Social Networks. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 2013,24(8): 1671-1681.
- [14] E.Bakshy, I.Rosenn, C.Marlow, L.Adamic. The Role of Social Networks in Information Diffusion. *Proceedings of the 21st International Conference on World Wide Web (WWW-12)*, pp.519-528, Lyon, France, April 16-20, 2012.
- [15] A.Montanari, A.Saberi. The Spread of Innovations in Social Networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2010,107(47): 20196-20201.
- [16] S.Xu, W.Lu, L.Xu. Push-and Pull-Based Epidemic Spreading

in Networks: Thresholds and Deeper Insights. *ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems*, 2012,7(3): Article 32.

- [17] H.Ohtsuki, C.Hauert, E.Lieberman, M.A.Nowak. A Simple Rule for the Evolution of Cooperation on Graphs and Social Networks. *Nature*, 2006,Vol.441: 502-505.
- [18] N.Antulov-Fantulin, and et al.. FastSIR Algorithm: A Fast Algorithm for the Simulation of the Epidemic Spread in Large Networks by Using the Susceptible-Infected-Recovered Compartment Model. *Information Sciences*, 2013,Vol.239: 226-240.
- [19] E.Kiesling, M.Günther, C.Stummer, L.M. Wakolbinger. Agent-Based Simulation of Innovation Diffusion: A Review. *Central European Journal of Operations Research*, 2012, 20(2): 183-230.
- [20] Patricia Rogosch, Eric Hohl. Data Protection and Facebook: An Empirical Analysis of the Role of Consent in Social Networks. *LIT Verlag Munster*, 2012.