网络群体行为的演化博弈模型与分析方法

王元卓1）于建业1）邱雯1）沈伟华1）程学旗1）林闯2）

1）（中国科学院计算技术研究所 北京 100190）

2）（清华大学计算机科学与技术系 北京 100084）

摘 要 随着社会关系网络和在线社会网络应用的不断发展，如何理解和分析群体合作行为的稳定维持和演化是社会关系网络研究中面临的最大的挑战之一.文中综述了网络群体行为和随机演化博弈模型与分析方法等方面的研究工作，介绍了可用于网络群体行为分析评价的指标和模型.总结了网络群体行为和随机演化博弈模型的若干研究和分析方法，探讨了应用随机演化模型进行网络群体行为研究的可行性.基于这些探讨，展望了社会关系网络中的网络群体行为研究所面临的挑战.

关键词 社会关系网络；随机模型；演化博弈；网络群体行为；评价技术；社交网络；社会计算

中图法分类号 TP393　　　DOI号：10.3724/SP.J.1016.2015.00282

**Evolutionary Game Modle and Analysis Methods for Network Group Behavior**

WANG Yuan-Zhuo1) YU Jian-Ye1) QIU Wen1) SHEN Hua-Wei1) Cheng Xue-Qi1) LIN Chuang2)

1)(Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Science, Beijing 100190)

2)(Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University, Beijing 100084)

**Abstract** With the continues development of social networks and online social network applications, how to understand and analyze the maintenance and evolution of the stability of cooperative behavior is being confronted with many significant challenges faced in the study of social information networks. In this paper, we provide a complete overview on models and analysis methods for network behaviors and stochastic evolutionary games. The author indicate several targets and models for evaluation of network group behaviors, and also provide several analysis methods for modeling of network group behaviors and stochastic evolutionary games. The author discuss the feasibility that applies stochastic evolutionary game models to study network group behaviors. Finally, the authors give some concluding remarks on new and challenging directions for future and potential research of network group behaviors on social information network.

**Key words** social information network; stochastic modeling; evolutionary game; network group behavior; evaluation technique; social networks; social computing

1引言

近年来，随着信息技术和应用的不断发展，人们信息化进程大大加速，信息交流日益频繁，截至2012年12月底，我国网民规模达到5.64亿。其中，微博用户规模达到3.09亿。社

交网站用户规模为2.75亿。互联网的普及极大的推动了以信息为生产要素的社会关系网络［１］的发展，同时也造就了一支日益庞大的网络信息用户队伍．在这样的社会关系

网络中所产生的所有跟信息有关的行为，我们都将

之称为网络信息行为．网络用户通过各种网络信息

行为间的作用关系有机地关联在一起，形成具有一

定拓扑结构关系的网络群体．

一般地，网络群体是指互联网上，有着相似特

质、共同目标或价值观以及团体意识的两个或两个

以上的用户以一定方式进行线上线下交互或活动而

构成的用户群体．网络群体不但具有一般群体的特

点：如网络群体成员有着相似的特质、共同的目标或

价值观、成员对群体有认同感和归属感、群体成员间

建有关系构成群体的结构等，还具有其自身的特点：

依托于社会关系网络，网络群体不受地理等因素的

影响、成员分布范围极广、网络群体的时效性比一般

群体强等．网络群体形成的方式多种多样，大致归类

为以下几种：（１）由某种固定关系形成的群体，通常

是现实社会中的实际关系在网络中的具体映射，例

如由同学及校友关系形成的网络校友群体，这类群

体的结构比较稳定，形成之后随时间的变化不大，成

员的活跃程度有限；（２）由某种不确定的共同需求

形成的群体，例如，微博中的微群、豆瓣的群组等，这

类群组中的成员多是由共同的需求或目的聚集在一

起，随着时间的变化，群体成员会发生一定的流动，

但是流动的主要是度数相对较低的节点；（３）由某

种突发事件驱动而形成的群体，这类群体具有很强

的时效性，通常由一个焦点事件引发产生，其结构变

化与该事件的关注度涨落有关，在事件平息后的短

时间内群体就会解散．

在社会关系网络中，微观层面的个体信息行为

在宏观层面的网络群体行为中所表现出来的特征更

加复杂．网络群体的行为受到社会性和随机性等的

影响，这使得群体的行为往往表现出极大的不确定

性，而更加值得关注的现象是群体行为的涌现现象．

由用户行为导致的信息的传播一般都具有从逐渐积

累到一夕爆发的特点，这样的积累并不是线性的，也

不是用户行为产生效应的简单迭加，而是一系列小

的局部变化，每一个小的局部变化都不足以对整体

系统造成影响，但当这些变化的积累达到某个临界

状态时，整个系统出现临界相变．整个系统表现出来

的现象是所有局部行为相互作用的结果．社会关系

网络中的大量涌现现象包括信息扩散数量上的涌

现、网络结构特征的涌现、特定网络群体的涌现以及

特定网络群体行为的涌现等［２］．

作为理论简化和直观表达，对网络群体行为进

行分析和建模是社会网络研究的重要内容．目前对

于网络群体行为的模型的研究集中在对网络群体行

为定性描述的模型上，主要作为表示和呈现个体信

息行为复杂过程的一种方法．社会关系网络是一个

多维度的复杂系统，网络内部节点之间的相互影响

与相互作用频繁．然而，由于网络群体行为的社会

性、随机性和复杂性使得传统的统计研究方法不能

够对于网络群体行为产生的影响动态走向进行预

测，因此迫切需要新的基础理论和研究方法．目前，

网络群体行为模型的相关研究工作主要包括信息传

播及观点交互模型、群体行为演化模型、群体结构模

型和突发群体事件模型等，但还没有一个公认的成

体系的研究思路．近年来，对信息网络的建模方面进

行了大量工作，比如对于社会网络静态社区结构特

性的研究，在演化过程中社会网络动态社区结构变

化规律的发现等．但是，这些研究工作的关注点主要

集中在网络拓扑结构之上，对于网络群体行为的预

测调控工作超出了其研究范围．

演化博弈被认为是适合解决网络中动态博弈问

题的建模方法．在网络群体中，信息的传播和演化博

弈中策略的选择都可以看做是服从某种规律的网络

上的动力学行为．如何刻画这种动力学行为，发现该

动力学行为的机制等是研究者们关注的重点．由此，

研究网络群体内部和群体间行为的演化博弈关系、分

析网络群体结构对合作行为演化的影响，并深入探索

网络群体行为演化和群体稳定维持的动力学机制，对

深入认识网络群体及网络群体行为的客观规律、合理

利用和引导群体行为以促进或抑制信息传播、促进网

络经济的发展等，都将具有重要的指导意义［３］．

目前，关于网络群体行为定量分析的研究还处

于起步阶段，大部分工作是针对局部网络或特定场

景，还没有形成一套完整系统的理论方法．本文以网

络群体行为的分析评价方法为主线，介绍网络群体

行为相关的分析评价模型的研究现状与进展，并介

绍适用于刻画网络群体行为研究的随机演化博弈模

型，最后提出一些未来可能的研究思路．

本文第２节从网络群体及群体行为构成的网络

结构和行为特性两方面给出可行的评价指标；第３

节则依据第２节的评价指标，总结网络群体行为及

群体结构相关的模型，并提出网络群体行为分析评

价的模型框架；第４节着重探讨随机演化博弈模型；

第５节探讨网络群体行为导致的网络群体事件的分

析方法；第６节分析网络群体行为演化模型与分研究面临的挑战．

# 2网络群体行为评价指标

为了能够定量分析网络群体行为，有必要建立

可量化的评价指标体系．现有的工作主要集中在使

用过程模型对网络用户信息行为进行定性描述，以

及对个体行为的研究．文献［４］中对网络中用户个体

行为的可信性进行研究，提出了统一度量的框架．而

网络群体定量分析的研究还处在起步阶段，网络群

体行为的量化评估并没有系统的规划，也没有完整

的指标体系．

由于网络个体行为对于网络群体行为的涌现趋

势和演化结果有着重要的影响，对个体信息行为进

行分析评估和预测也是网络群体行为研究中的重要

内容．本文将网络群体行为的评价指标分为３类：网

络个体行为的评价指标、网络群体行为的评价指标

和网络群体之间行为的评价指标．这３类指标分别

从个体、群体和群体间３个层面综述了网络群体行

为的评价指标．这些指标反映了个体和群体的不同

侧面的特点，在对网络群体进行分析评价时，所选择

的评价指标依赖于待解决的问题及应用场景．图１

总结了可用于刻画网络群体行为的评价指标．

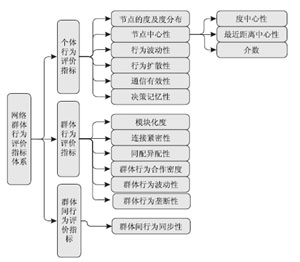


图 1网络群体行为评价指标

２.１　个体行为评价指标

个体行为评价指标主要的评价对象是网络用户

个体及其交互行为所构成的结构和行为特性．这类

指标描述了群体中节点的性质、节点之间的组织和

交互关系以及群体中个体行为的交互与传播特性．

社会关系网络中，网络群体广泛存在，其拓扑结构与

大规模复杂网络的结构具有相似的性质［５］．同一群

体中的个体倾向于采取相同或相近的策略，以保持

群体行为的一致性，反之，采用相同或相近策略的个

体更可能属于同一群体．因此，通过研究网络群体的

结构来评价网络中个体行为及其演化是一个重要的

研究思路．

（１）节点的度与度分布

节点的度是描述网络局部特性的基本参数，也

是反映个体交际能力的指标，进而反映成员占领网

络资源的情况［６］，其数学表示

其中，如果节点i和j相连，且i＝j，否则

aij＝０，n表示网络中的节点数．

从群体层面看，节点的度分布反映了网络结构

宏观的统计特征．在网络中随机选取一个节点，其度

数为犽的概率是犘，那么犘值随着犽的变化函数

犘（犽）即为度分布函数．度分布函数随着网络结构的

不同有不一样的表达式，例如无标度网络的度分布

服从幂律分布、均匀网络度分布近似为泊松分布等．

近年来的研究显示现实中的网络更多符合幂指数不

同的幂律分布．

网络的拓扑结构决定了网络中节点不同的社会

地位和作用，有些节点是具有重要的地位的中心节

点（ｈｕｂ），有些可能是不同群体之间的联络者

（ｓｔｒｕｃｔｕｒａｌｈｏｌｅｓｐａｎｎｅｒｓ）［７］另外一些可能只是无

足轻重的小度数的边缘节点（ｏｕｔｓｉｄｅｒ

**稿件提交时的基本要求：**

（1）本模板中要求的各项内容正确齐全，无遗漏；

（2）语句通顺，无中文、英文语法错误，易于阅读理解，符号使用正确，图、表清晰无误；

（3）在学术、技术上，论文内容正确无误，各项内容确定。

## **1.1** 二级标题 \*字体为5号黑体\*标题**2**

### 1.1.1 三级标题 \*字体为5号宋体\*标题3

\*正文部分, 字体为5号宋体\* 正文文字

文件排版采用MS Word2003。

**正文文字要求语句通顺，无语法错误，结构合理，条理清楚，不影响审稿人、读者阅读理解全文内容。以下几类问题请作者们特别注意**：

1)文章题目应明确反映文章的思想和方法；文字流畅，表述清楚；

2)中文文字、英文表达无语法错误；

3)公式中无符号、表达式的疏漏，没有同一个符号表示两种意思的情况；

4)数学中使用的符号、函数名用斜体；

5)使用的量符合法定计量单位标准；

6)矢量为黑体，标量为白体；

7)变量或表示变化的量用斜体；

8)图表规范，量、线、序无误，位置正确（图表必须在正文中有所表述后出现，即…如图1所示）(注意纵、横坐标应有坐标名称和刻度值)。

9)列出的参考文献必须在文中按顺序引用，即参考文献顺序与引用顺序一致，各项信息齐全(格式见参考文献部分)；

10）首次出现的缩写需写明全称，首次出现的符号需作出解释。

11）图的图例说明、坐标说明全部用中文或量符号。

12）图应为矢量图。

13）表中表头文字采用中文。

14）公式尺寸：

标准：10.5磅

下标/上标：5.8磅

次下标/上标：4.5磅

符号：16磅

次符号：10.5磅

15）组合单位采用标准格式，如：“pJ/bit/m4”应为 “pJ/(bit·m4)”

定理**1.** \*\*\*\*\*\*. \*定理内容.\*

[“定义”、“假设”、“公理”、“引理”等的排版格式与此相同，详细定理证明、公式可放在附录中]

证明. \*证明过程.\* [“例 x”等的排版格式相同]

证毕.



图X 图片说明 \*字体为小5号，图片应为黑白图，图中的子图要有子图说明\*

表X 表说明 \*表说明采用黑体\*

|  |  |
| --- | --- |
| \*示例表格\* | \*第一行为表头,表头要有内容\* |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

算法**X**. 算法名称.

输入：… …

输出：… …

\*《计算机学报》的算法描述字体为小5号宋体, IF 、THEN等伪代码关键词全部用大写字母，变量和函数名称用斜体\*

过程 X. 过程名称

\*《计算机学报》的方法过程描述字体为小5号宋体，IF 、THEN等伪代码关键词全部用大写字母，变量和函数名称用斜体\*

致 谢 \*致谢内容.\* 致谢

参 考 文 献

[1] 网上的文献[[1]](#footnote-1)(举例：The Cooperative Association for Internet Data Analysis(CAIDA),http://www.caida.org/data 2010,7,18) **\*请采用脚注放于正文出现处\***

[2] 中文的参考文献需给出中英文对照。形式如[3]。

[3] Zhou Yong-Bin, Feng Deng-Guo. Design and analysis of cryptographic protocols for RFID. Chinese Journal of Computers, 2006, 29(4): 581-589 (in Chinese)  
(周永彬, 冯登国. RFID安全协议的设计与分析. 计算机学报, 2006, 29(4): 581-589)

[4] 期刊、会议、书籍名称不能用缩写。

[编号] 作者(外国人姓在前，名在后可缩写, 后同). 题目(英文题目第一字母大写，其它均小写)：副标题(如果有). 刊名(全称), 年, 卷(期): 页码 **\*期刊论文格式\***

[编号] 作者. 文章题目(英文题目第1字母大写，其它均小写)：副标题(如果有)//Proceedings of the … (会议名称). 会议召开城市, 会议召开城市所在国家, 年: 页码 **\*会议论文集论文格式\***

[编号] 作者. 文章题目(英文题目第一字母大写, 其它均小写): 副标题(如果有)//编者. 文集标题. 出版地: 出版社, 出版年: 页码 **\*文集格式\***

[编号] 作者. 书名: 副标题(如果有). 版次(初版不写). 出版社地点: 出版社, 出版年 **\*书籍格式\***

[编号] 作者. 文章题目[博士学位论文/硕士学位论文]. 单位名称,单位地点, 年 **\*学位论文格式\***

[编号] 作者. 文章题目(英文题目第一字母大写，其它均小写). 单位地点: 单位, 技术报告: 报告编号, 年 **\*技术报告\***

[编号] 专利拥有人. 专利名称，专利授权国家，专利授权日期

**\*技术专利\***

附录X.

\***附录内容**置于此处，字体为小5号宋体。附录内容包括：**详细的定理证明、公式推导、原始数据**等\*

**Author1**, … …\*计算机学报第1作者提供照片电子图片，尺寸为1寸。英文作者介绍内容包括：出生年,学位(或目前学历),职称,主要研究领域（**与中文作者介绍中的研究方向一致**）.\* \*字体为小5号Times New Roman\*

第一作者

照片

(高清照片)

**AuthorX**, … …\*英文作者介绍内容包括：出生年,学位(或目前学历),职称,主要研究领域（**与中文作者介绍中的研究方向一致**）。\* \*字体为小5号Times New Roman\*

**Background**

\*论文背景介绍为**英文**，字体为小5号Times New Roman体\*

论文后面为400单词左右的英文背景介绍。介绍的内容包括：

本文研究的问题属于哪一个领域的什么问题。该类问题目前国际上解决到什么程度。

本文将问题解决到什么程度。

课题所属的项目。

项目的意义。

本研究群体以往在这个方向上的研究成果。

本文的成果是解决大课题中的哪一部分，如果涉及863\973以及其项目、基金、研究计划，注意这些项目的英文名称应书写正确。

1. The Cooperative Association for Internet Data Analysis(CAIDA),http://www.caida.org/data 2010,7,18 [↑](#footnote-ref-1)