

面向微博影响力的社交网络特征分析

吕非非^{1*}, 徐雅斌^{1,2}, 李卓^{1,2}, 武装^{1,2}

(1. 北京信息科技大学 计算机学院, 北京 100101; 2. 网络文化与数字传播北京市重点实验室(北京信息科技大学), 北京 100101)

(* 通信作者电子邮箱 76620996@qq.com)

摘要: 社交网络的影响力与其自身的结构特征密切相关。基于新浪微博的数据, 对用户的粉丝数、关注数的分布及这些特征之间的关系进行分析, 发现用户的粉丝数、关注数、微博数都符合幂律分布; 探讨了节点之间的距离特征, 发现并证明了微博网络中存在着“小世界”现象; 研究了节点之间的链接形成问题, 发现链接的形成满足三元闭包原理。以上三方面研究结果, 对于探索微博影响力同底层社交网络结构特征的关系、设计微博影响力控制机制具有重要的意义。

关键词: 影响力; 幂律分布; 小世界; 三元闭包

中图分类号: TP393.094; TP18 **文献标志码:** A

Analysis of characteristics of social networks in terms of microblog impact

LYU Feifei^{1*}, XU Yabin^{1,2}, LI Zhuo^{1,2}, WU Zhuang^{1,2}

(1. Computer School, Beijing Information Science and Technology University, Beijing 100101, China;

2. Beijing Key Laboratory of Internet Culture and Digital Dissemination Research (Beijing Information Science and Technology University), Beijing 100101, China)

Abstract: The influence of social network is closely related with its structural characteristics. Based on the data from Sina microblog, the distributions of the number of followers and followings were analyzed and found that the number of followers and followings both were power-law distributed. The distance characteristic between different pairs of nodes was discussed, and it was found and proved that there was "small-world" phenomenon in the microblog network. At last, the links between nodes in the network were investigated and found that the formation of the link satisfied triple closure principle. The investigation results on the above three topics are important for us to explore the relationship between the influence of microblog and the structural characteristics of its underlying social network, as well as to the design of mechanisms to control the influence.

Key words: influence; power law distribution; small-world; triple closure

0 引言

随着 Web2.0 的兴起, 社交网络开始迅速发展。作为 Web2.0 技术的应用, 论坛(BBS)、博客(Blog)、微博(Microblog)等广泛普及, 使人们进入社交网络时代。其中, 微博创作门槛低、操作方便, 用户可以使用个人电脑、平板电脑、手机等多种终端设备, 随时随地进行登录和访问, 因此, 其拥有巨大的用户群体, 信息经其可快速传播。微博成为了最重要的社交网络之一, 是一个新的信息获取、信息交流、知识共享、自我表达、产品推广以及营销的平台, 其相关内容涉及政治、经济、娱乐、卫生、科技等各个领域, 微博在政治决策、公共事件处理等方面也开始发挥重要作用。例如, Twitter 为奥巴马 2012 年成功连任美国总统产生重要影响, 新浪微博对温州动车事故等公共事件的披露和解决中多次起到关键作用。

微博的巨大影响力, 在一定程度上是由其潜在网络结构决定的。信息通过特定路径进行传播, 所以, 传播速度、传播范围等因素取决于传播路径的结构特性。在微博中, 传播路径由用户之间的“关注”关系决定, 所以, 关注关系所构成的拓扑结构图对微博影响力起着至关重要的作用。文献[1-2]提出了 IC (Independent Cascades) 和 LT (Linear

Threshold) 模型, 来寻找社交网络中影响力最大的节点; 文献[3-4]通过建立 NewGreedyIC 模型和 DegreeDiscountIC 模型, 提出一种改进的启发式算法来计算最大影响力的节点集合。已有的这些工作, 多是从理论角度研究社交网络中影响信息传播速度的关键节点发现机制, 缺乏对网络宏观结构同影响力之间关联机理的分析, 而后者可为前者优化打下基础, 为此, 本文对微博影响力相关的社交网络拓扑结构进行研究分析。

1 基于微博的实验数据集和社交网络模型

目前, 国内最为流行的微博应用有新浪、腾讯、搜狐和网易, 其中新浪、腾讯的市场份额最大。《华尔街日报》印刷版援引市场研究公司 RedTech Advisors 的数据称, 2011 年第一季度, 新浪微博占据国内微博用户总量的 57%, 占国内微博活动总量的 87%^[5]。腾讯微博虽然也拥有一定市场份额, 但是, 它是基于 QQ 用户的, 在默认情况下自动开通, 同时, 不少腾讯微博用户属于“僵尸用户”, 其覆盖人数及比例的参考价值有限。新浪微博用户的数量增长具有乘数效应, 加之多数主流认证用户(明星、专业机构等)也扎根于此, 具有较大社会影响, 因此, 本文选择新浪微博的数据进行研究和分析。

抓取的数据集包括:

收稿日期: 2013-08-05; **修回日期:** 2013-08-15。 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(60973107); 网络文化与数字传播北京市重点实验室资助项目(ICDD201106, ICDD201207); 国家社会科学基金重大项目(12&ZD234)。

作者简介: 吕非非(1987-), 女, 河北邢台人, 硕士研究生, 主要研究方向: 云计算、物联网; 徐雅斌(1962-), 男, 辽宁锦州人, 教授, CCF 会员, 主要研究方向: 云计算、物联网; 李卓(1983-), 男, 河南南阳人, 讲师, CCF 会员, 主要研究方向: 无线网络、移动计算。

1) 9940 个用户的关注数、粉丝数、微博数,以期对这些同微博影响力相关的属性进行统计分析;

2) 656 个用户到某一特定用户(姚晨)的距离,目的是探索网络拓扑是否符合“小世界”理论;

3) 13805 个节点在 2012 年 12 月、2013 年 3 月两个时间点关注关系的演化情况,以此分析用户间关系的演化机理;

4) 2652 对有关注关系的节点的共同关注数,3509 对没有关注关系的节点对共同关注数。

用 Python 语言编写爬虫程序,抓取新浪微博的网页数据。将用户作为节点,用户之间的关注关系作为边,建立微博对应的网络结构拓扑图。

有向图 $G = \langle V, E \rangle$, 其中 $V = \{v | v \text{ 是 } G \text{ 中的一个节点}\}$, $E = \{\langle u, v \rangle | u, v \in V \text{ 且 } u \text{ 直关注 } v\}$, v 的出度 $v_{out} = |\{v | \langle v, u \rangle \in E\}|$, v 的入度 $v_{in} = |\{u | \langle u, v \rangle \in E\}|$ (为了使描述更形象直观,直接使用“粉丝数”和“关注数”来作图的度数)。微博中用户之间的这种“关注”关系,使得微博的网络拓扑图呈现一种层层发散的结构,这种发散结构使得信息以核裂变的速度传播。图 1 为微博网络的结构示意图。

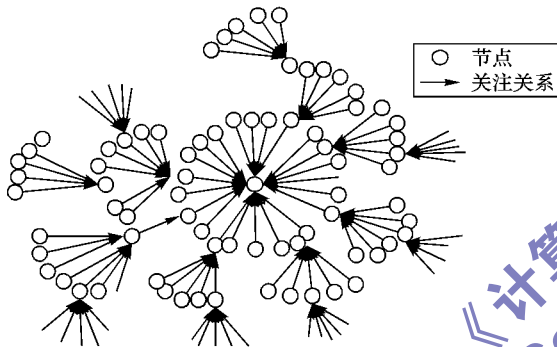


图 1 微博网络结构示意图

从图论角度来看,节点度数、距离、路径和聚类系数等是社会网络分析的基础指标,节点的度数越大,它对信息的传播力越强、传播范围越广,因而影响力越大。距离是两个节点之间的最短路径的长度,平均距离描述了网络的分离程度,即网络有多小,反映了演化速度快慢的特征。网络具有空间和时间演化复杂性,网络随着时间和空间的变化也时刻发生着变化,表现为节点之间相互影响、相互作用的复杂行为,展示了微博的影响力。由于度数、距离和关系演化是反映社交网络影响力的三个重要特征,下面将分别针对用户间关系特征、信息传播路径和关系的演化三个方面开展研究和分析。

2 用户粉丝数、关注数的特征及其关系

用户粉丝数在一定程度上折射出了用户的影响力,拥有粉丝数多的用户,在网络结构中表现为对应节点拥有很多的出边,信息正是通过这些边进行传播的。边数多,信息的接收者就多,信息的传播范围越广,影响力也就越大。微博用户间的这种“关注”关系,实际上是一种“订阅”关系,用户按照自己的兴趣爱好订阅关注者,粉丝数越多,对应被关注者影响力也就越大。与粉丝数多的用户相比,关注数多的用户在信息传播的过程也有重要的作用。依据传播学^[6-8]相关理论,关注者是一个信息收集器,从被关注者那里获取信息。关注数越多,获得信息越多,掌握有效信息的机会就越大,潜在影响力相应地也就越大。在新浪微博上,关注者和被关注者之间,信息的传播是双向的:用户的信息直接发布给他的粉丝,而他

的粉丝也可以使用“@”将信息传送给他。关注数大的节点所对应的关注对象中大节点出现的概率高于关注数小的节点,更容易将信息传出去,所以,也是决定微博影响力的因素之一。接下来,进一步分析粉丝数、关注数中所隐含的规律。

用户粉丝数的累积分布函数(Cumulative Distribution Function, CDF)如图 2 所示。

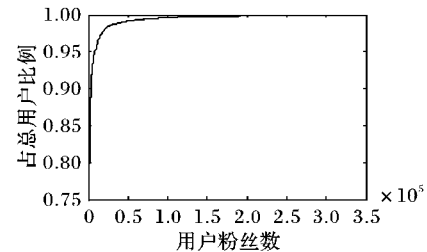


图 2 用户粉丝数分布的 CDF 图

图 2 中 X 轴表示用户的粉丝数, Y 轴表示小于对应关注数的用户所占总用户的比例。从图中可以很明显看出,粉丝数越多,所对应的用户数量越少,粉丝数量很大的用户只占总用户的极少部分,具体数据如表 1 所示。

表 1 用户粉丝数和所占比例

粉丝数	相应的用户所占的比例/%
≤ 100	13.28
≤ 500	53.72
≤ 1000	75.00
≤ 1440	80.64

据上可以推测,用户的粉丝数服从幂律分布(Power Law Distribution)^[9]。绘制粉丝数和对应的用户出现频率在对数坐标系下的概率分布函数(Probability Mass Function, PMF),如图 3 所示。从图 3 中看出,在 $10^2 \leq x \leq 10^4$ 这个范围内,去掉上方几个孤立的点,这些点可以近似认为分布在一块直线上。将这些点用最小二乘拟合,得到直线函数方程为 $Y = aX + b$, 其中, $a = -0.7449$, $b = 6.1391$, 图 3 中的虚线即为所拟合的直线。因此,可以得出粉丝数服从 $f(x) = CX^{-\alpha}$ 这样一个幂律分布,其中 $\alpha = -0.7449$, $\lg C = 6.1391$ 。同样地,用户关注数和用户所发的微博数也服从幂律分布,对应参数分别为 $\alpha = -1.4488$, $\lg C = 10.6255$ 和 $\alpha = -0.5194$, $\lg C = 4.4807$ 。

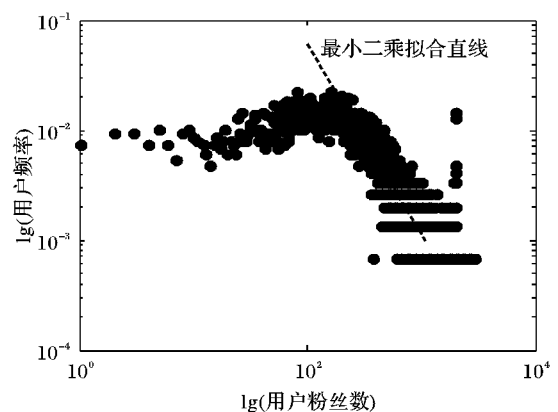


图 3 用户粉丝数分布的 PMF 图

幂律分布广泛存在于物理学、计算机科学、生物学等很多领域中。该规律的发现对研究微博影响力非常重要,使用幂律分布生成的网络,称为无标度网络(Scale-free-network)。如果在已有的影响力计算模型,如 LT 模型、NewGreedyIC 模型和

DegreeDiscountIC 模型,将度数的分布规律引入到计算中,影响力的传播概率和边的权重将更准确,影响力的计算结果将更加符合实际。

对用户的关注数和粉丝数的进行统计,其分布如图 4 所示。从图 4 中可以看出大部分用户均匀地分布在坐标轴的左下方区域,这个区域中关注数和粉丝数都相对较小,粉丝数和关注数都在 $[0, 2000]$ 变化。这一数据说明,很多用户可能和另外 2000 个用户直接关联着,他们从这 2000 个用户获得信息,也可以将信息发布给这 2000 个用户,这种信息量是现实生活中的数倍,这将“一传十,十传百”口口相传的效应扩展成“一传千,千传百万”,从速度和范围上凸显了微博的巨大影响力。

从图 4 还可以观察到:粉丝数很大时,关注数却很小;关注数很大时,粉丝数反而很小。这类情况在微博中很常见,如:姚晨的粉丝数有四千多万,关注数仅有六百多;潘石屹的粉丝有一千多万,而他关注的人只有一百多个。这些人通常是娱乐界、商界、政界等现实生活中的名人,他们的粉丝来源于“名人效应”。另外,微博的质量也是十分重要的因素,一条有价值的微博,在很短的时间内会引来很多人的关注。因此,可以通过提高微博的质量,来提升用户的影响力。

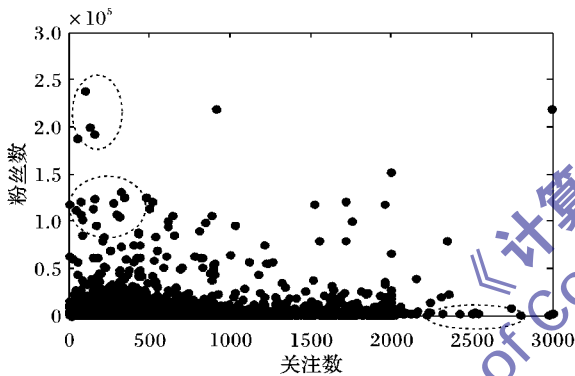


图 4 用户关注数与粉丝数分布

对用户的关注数和微博数进行统计,其分布如图 5 所示。

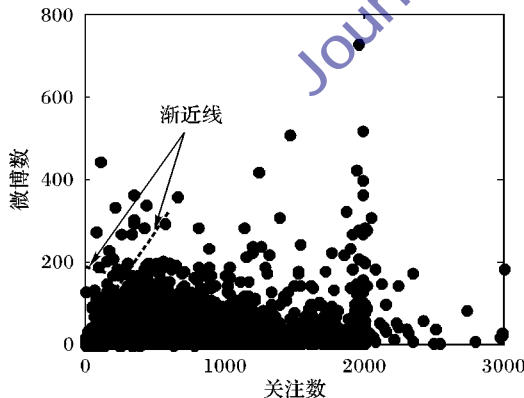


图 5 用户关注数与微博数的分布

从图 5 中可以看出,微博数在 $0 \leq x \leq 500$ 范围内随着关注数的增多而增多;然而,当 $x > 500$ 时,微博数却随着关注数的增加而减少。这说明,在一定范围内,关注的人越多,看到的微博、话题越多,增加了转发、评论和发表微博的机会;但是,一个人的精力是有限的,虽然关注数很大,但是实际上真正关注的人是有限的。所以,用户的微博数并不会随着关注数的增多而无限增多。对用户的粉丝数和微博数的分布进行统计,发现粉丝数和微博数并不存在简单的相关性,即并非微

博发得越多粉丝就越多,这个结论其实很显然。试想一下,假如一个人发了一条很有价值的微博,会引来很多人的关注和转发,这个人的粉丝会急剧增加。所以,即使微博数很少,但是每一条的质量都很高,很有价值,那么他的粉丝数会很大;反之,如果一个用户微博数很多,但没有价值,那么他的粉丝不会很多。这说明,如果将粉丝数看成是评价影响力的标准,单纯增加用户个人的微博数量并不能提高用户的影响力。

3 微博社交网络中的距离和路径

地球上的任意两个人之间,有一条两两相识的熟人短链连接着,这就是“小世界”现象。1967 年 Stanley Milgram 和他的同事进行实验分析得出,两个人之间的这条短链的长度距离中值为 6,称为“六度分割”^[10]。在很多领域都存在“小世界”现象,如:演员合作出演关系网络,平均路径长度^[11]近似为 2.9;即时通信(Instant Messaging, IM)网络中平均路径长度为 6.6^[12]。微博这个显著的关系网络,它打破了地域、行业的限制,人们可以自由、快速地交流,并建立关系。可以推断,“小世界”现象在微博中应该更突出。

随机选择 656 个新浪用户,然后计算每个用户到某一特定用户(姚晨)的距离。部分路径及路径长度如表 2 所示。在所选的 656 个节点中,距离为 1 的有 109 个,占总人数的 16.62%;距离为 2 的有 531,占总人数的 80.95%;距离为 3 的有 15 个,占总人数的 2.29%;距离为 4 的有 1 个,占总人数的 0.15%。在所选的节点中不存在距离大于 4 的节点,节点的平均距离为 1.8598。

表 2 部分路径及距离

节点 UID	路径(1266321801 为姚晨的 UID)	距离
1842803890	1842803890→2341019062→1266321801	2
1630676760	1630676760→1266321801	1
1842803890	1842803890→2341019062→1266321801	2
2481466540	2481466540→1195301385→1266321801	2
2011219680	2011219680→1048631277→1266321801	2
2438913092	2438913092→1351696972→1773958222→1266321801	3
1753224563	1753224563→1728860841→1266321801	2
1351696972	1351696972→1773958222→1266321801	2
2149732713	2149732713→1827336822→2435986195→2698745822→1266321801	4
1794889254	1794889254→2795088154→1266321801	2

虽然不能根据以上数据得出新浪微博中的节点的平均路径为 1.8598,但是,微博中不乏存在很多像姚晨一样有很多粉丝的用户,包括娱乐界、体育界、商界、政界以及一些草根明星,即便我们不关注这些用户,我们到达这些用户的距离仍然很短,因此,微博网络中的确存在“小世界”现象。

以上结论表明,虽然物理世界两个节点相距遥远,但在通过社交网络建立的虚拟世界中两个人之间的距离却很近,经过很少的条数就可以到达另一个节点,在极短的时间可以覆盖整个网络,影响整个网络。

4 微博中链接的形成

微博中链接的形成过程,实际上是“关注”关系形成的过程,也是某一用户成为另一个用户“粉丝”的过程,发现这种链接的形成机制,对研究影响力、提升影响力至关重要。

如果社会网络中的两个人,有一个共同朋友,那么这两个人将来成为朋友的可能性会更大,这就是三元闭包原理^[13-14]。从所抓取的数据中,发现有很多三元闭包。三元闭包是社交网络链接形成的基本法则。

一般的社交网络中,三元闭包中的链接是无向的,微博中的三元闭包是有向的,节点与节点之间的关系是一种关注关系,这种关注关系与其他的社交网络中的朋友关系相比是一种弱关系。这种关注关系中的三元闭包有如图 6 所示的四种类型。

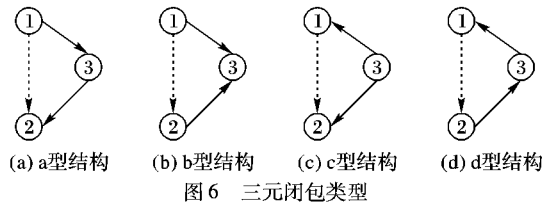


图 6 三元闭包类型

图 6 中,箭头方向由关注者指向被关注者,虚线箭头表示新形成的链接。其中:(a)表示节点 1 关注节点 3,节点 3 关注节点 2,那么节点 1 就关注节点 3;(b)表示节点 1 和节点 2 共同关注节点 3,那么,节点 1 就关注节点 2;(c)表示节点 1 和节点 2 有共同的粉丝 3,那么节点 1 就关注节点 2;(d)表示节点 2 关注节点 3,节点 3 关注节点 1,那么节点 1 就关注节点 2。每一条新生成边的周围都可能有一种上述类型结构或者几种类型相叠加,本文对这几类类型结构作单独分析。

将 13 805 个节点在 2013 年 1 月的关注关系,与这些节点在 2013 年 3 月的关注关系进行对比,可以发现:1 月这些节点之间有 2 706 589 条边,3 月有 2 746 081 条,产生了 285 418 条新边。从新生成的边中选出 200 条边,对这些边周围的结构作进一步的研究发现,其中:102 条边周围有 a 型结构,155 条边周围有 b 型结构,94 条边周围有 c 型结构,81 条边周围有 d

型结构。b 型结构最多,这从一定程度上反映了共同关注关系促进了两个节点之间的链接的形成;其次是 a 型结构,说明关注关系具有传递性,如图(a)所示,2 所发的微博很可能被 3 转发,这样就增大了 1 认识和关注 2 的机会。上述统计结果中,共同关注的作用比关注关系的传递性作用更大,这是因为新浪微博有显示共同关注的功能,这也增加了由关注关系产生新的链接可能性。

新生成的边周围,可能有多个同一类型的结构,如图 7 所示。

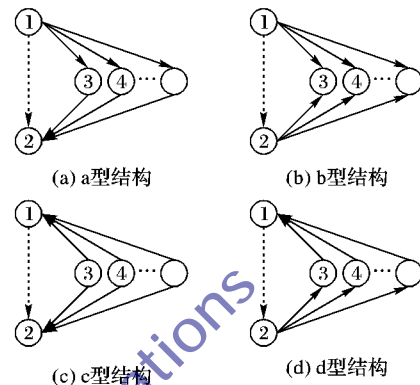


图 7 新生成链接周围的结构

对新生成的每一条边周围的各种类型结构的数量进行统计,结果如图 8 所示,其中图(a)、(b)、(c)分别对应图 6 中的 a、b、c 型结构。可以看出,a、b 类型结构周围存在更多新生成的边;b、c 类型结构中,某一条新生成边的周围,如果存在某一类型的结构,那么这一类型的结构的数量会比较大。这说明共同关注或者共同粉丝只有在数量上达到一定程度,才能使两个节点之间产生链接,而关注关系的传递性作用更容易产生新链接。

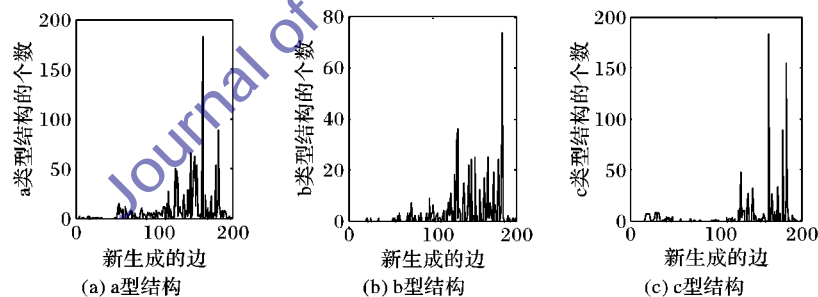


图 8 新生成边的周围结构类型统计

随机选择 2 652 对有关注关系的用户,统计他们的共同关注数;另外选择了 3 509 对没有关注关系的用户,同样统计他们的共同关注数。通过对比发现,前者的平均共同关注数为 36,后者的平均共同关注数为 21,有链接的两个节点的共同关注数确实更多。这说明,有链接的两个节点结构上确实更相似。

关注关系的传递性促进了链接的形成,这可以解释为:你关注的人如果关注了另外一个人,那你将有更大的机会和动机来关注另外一个人,这说明影响力有一定的传递性。可以让像姚晨一样具有大量粉丝数的用户关注我们,根据关注关系的传递性,他们的粉丝将可能成为我们的粉丝,进而提高我们的影响力。另外,微博是一个用户关系网络,在这个动态网络中,结构的相似性也起着一定的作用,粉丝数和关注数随着时间的增长而增长,同时也逐渐累积了共同关注或者共同粉丝数,它们表示节点在结构上的相似性,而相似性会使两个节

点产生链接。所以,共同关注数和共同粉丝数越多表明两个节点越相似,当两者数目积累到一定程度,就会使两个节点之间产生链接,这种相似性的力量是巨大的。

5 结语

本文对与影响力相关的微博网络拓扑结构进行研究,发现了用户的粉丝数、关注数和所发微博数都符合幂律分布,这一规律的发现将使得量化影响力、计算影响力更有实际意义;另外,对粉丝数、关注数和微博数三者之间的分析,发现了其内在联系,以及与微博影响力之间的关系。微博中也存在“小世界”现象,“小世界”现象的存在能加速信息的传播,提高重要用户的影响力。微博中用户关系演化过程符合三元闭包原理,表现为关注关系的传递性和结构上的相似性,这对研究微博影响力同底层社交网络结构的关系及如何控制微博影响力意义重大。

(下转第 3418 页)

传感器网络的监测区域。通过依赖于局部区域的节点分布的簇头选举方法,保证在节点密集的区域选举到更多的簇头,从而使得簇头在单位数量节点上得到均匀分布。通过对簇头节点在地理位置和节点分布上的均匀性,使无线传感器的能耗更均衡地分布到网络的所有节点上,从而降低整体能耗,延长无线传感器网络的生命周期。其中,在准备阶段的网格划分,并不是实际的物理分簇,只是为了保证簇头能相对均匀地分布到监测区域。

参考文献:

- [1] 任丰原,黄海宁,林闯. 无线传感器网络[J]. 软件学报, 2003, 14(7): 1282-1291.
- [2] 张瑞华,贾智平,程合友. 基于非均匀分簇和最小能耗的无线传感网络路由算法[J]. 上海交通大学学报, 2012, 46(11): 1774-1778.
- [3] SHIO K S, SINGH M P, SINGH D K. A survey of energy-efficient hierarchical cluster-based routing in wireless sensor networks [J]. International Journal of Advanced Networking and Applications, 2010, 2(2): 570-580.
- [4] HEINZELMAN W R, CHANDRAKASAN A, BALAKRISHNAN H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks [C]// Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on System Sciences. Piscataway: IEEE, 2000: 3005-3014.
- [5] HEINZELMAN W R, ANANTHA P, CHANDRAKASAN H B. An application specific protocol architecture for wireless microsensor networks [J]. IEEE Transactions on Wireless Communication, 2002, 1(4): 660-670.
- [6] SZEWCZYK R, FERENCZ A. Energy implications of network sensor designs. [EB/OL]. [2013-04-10]. http://bwrcs.eecs.berkeley.edu/Classes/CS252/Projects/Reports/robert_szewczyk.pdf.
- [7] KUBISCH M, KARL H, WOLISZ A, et al. Distributed algorithm for transmission power control in wireless sensor networks [C]// WCNC 2003: Proceedings of the 2003 IEEE Wireless Communications and Networking. Washington, DC: IEEE Communications Society, 2003, 1: 558-563.
- [8] LI L, HALPERN J Y, BAH L P, et al. Analysis of a cone-based distributed topology control algorithm for wireless multi-hop networks [C]// PODC '01: Proceedings of the 2001 Twentieth Annual ACM Symposium on Principles of Distributed Computing. New York: ACM, 2001: 264-273.
- [9] 衣晓,邓露,刘瑜. 基于基站划分网格的无线传感器网络分簇算法[J]. 控制理论与应用, 2012, 2(19): 145-150.
- [10] LI C F, YE M, CHEN G H, et al. An energy-efficient unequal clustering mechanism for wireless sensor networks [C]// Proceedings of the 2005 IEEE Conference on Mobile Ad-Hoc and Sensor Systems. Piscataway: IEEE, 2005: 597-604.
- [11] 蒋畅江,石为人,唐贤伦,等. 能量均衡的无线传感器网络非均匀分簇路由协议[J]. 软件学报, 2012, 23(5): 1222-1232.
- [12] 郑志华. 无线传感器网络中基于环的非均匀分簇路由算法[J]. 科学技术与工程, 2010, 10(1): 99-103.
- [13] 鲁松,徐文春,杨云. 一种分环多跳的无线传感器网络分簇路由加权算法[J]. 山东大学学报, 2012, 8(4): 24-28.
- [14] KUBISCH M, KARL H, WOLISZ A, et al. Distributed algorithm for transmission power control in wireless sensor networks [C] // WCNC 2003: Proceedings of the 2003 IEEE Wireless Communications Networking. Washington, DC: IEEE Communications Society, 2003: 16-20.
- [15] 孙利民,方贵. 能量效率导向的无线传感器网络协议的研究 [EB/OL]. [2013-05-10]. <http://www.ccf.org.cn/web/resource/newspic/2005/5/10/chuangangqiwangluo.pdf>.
- [16] CHANDRAKASAN A, MIN R, BHARDWAJ M, et al. Power aware wireless microsensor systems [C]// ESSCIRC 2002: Proceedings of the 28th European Solid-State Circuits Conference. Piscataway: IEEE, 2002: 47-54.
- [17] HEINZELMAN W B. Application specific protocol architectures for wireless networks [D]. Boston: Massachusetts Institute of Technology, 2000.

(上接第3362页)

参考文献:

- [1] GUILLE A, HACID H. A predictive model for the temporal dynamics of information diffusion in online social networks [C]// WWW'12 Companion: Proceedings of the 21st International Conference Companion on World Wide Web. New York: ACM, 2012: 1145-1152.
- [2] KEMPE D, KLEINBERG J, TARDOS É. Maximizing the spread of influence through a social network [C]// KDD'03: Proceedings of the Ninth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. New York: ACM, 2003: 137-146.
- [3] CHEN W, WANG Y J, YANG S Y. Efficient influence maximization in social networks [C]// KDD'09: Proceedings of the 15th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. New York: ACM, 2009: 199-208.
- [4] CHEN W, YUAN Y F, ZHANG L. Scalable influence maximization in social networks under the linear threshold model [C]// ICDM '10: Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Data Mining. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2010: 88-97.
- [5] 上方文 Q. 国内微博市场份额: 新浪 57% 遥遥领先 [EB/OL]. [2013-03-28]. <http://news.mydrivers.com/1/197/197788.htm>.
- [6] RARAN S J, DAVIS D K. 大众传播理论: 基础、争鸣与未来 [M]. 曹书乐, 译. 北京: 清华大学出版社, 2001.
- [7] McQUAIL D, WINDAHL S. 大众传播模式论 [M]. 祝建华, 武伟, 译. 上海: 上海译文出版社, 2000.
- [8] McQUAIL D. 麦奎尔大众传播理论 [M]. 崔保国, 李琨, 译. 4 版. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [9] NEWMAN M E J. Power laws, Pareto distributions and Zipf's law [EB/OL]. [2013-03-28]. <http://arxiv.org/pdf/cond-mat/0412004.pdf>.
- [10] MILGRAM S. The small world problem [J]. Psychology Today, 1967, 2(1): 60-67.
- [11] Simon Singh. Erdos-bacon numbers [EB/OL]. [2013-03-15]. <http://simonsingh.net/media/articles/maths-and-science/erdos-bacon-numbers/>.
- [12] LESKOVEC J, HORVITZ E. Planetary-scale views on a large instant-messaging network [C]// WWW'08: Proceedings of the 17th International Conference on World Wide Web. New York: ACM, 2008: 915-924.
- [13] EASLEY D, KLEINBERG J. Networks, crowds, and markets: reasoning about a highly connected world [M]. New York: Cambridge University Press, 2010.
- [14] RAPOPORT A. Spread of information through a population with socio-structural bias: I. Assumption of transitivity [J]. The Bulletin of Mathematical Biophysics, 1953, 15(4): 523-533.