

DOI: 10.7652/xjtuxb201312019

移动自组网中节点兴趣导向的人类运动模型

陈家旭¹, 唐亚哲¹, 宁京宣², 王桂娟¹

(1. 西安交通大学计算机科学与技术系, 710049, 西安; 2. 中国人民解放军 63956 部队, 100852, 北京)

摘要: 针对移动自组网中对人类运动情况模拟的精确性问题,提出了节点兴趣导向的人类运动模型。该模型考虑到人类对感兴趣地点的访问偏好,忽略了难以有效探测和利用的短暂相遇,设计了将人类之间的社会关系转化为节点兴趣向量的方法,并将其作为模型的输入,以此达到精确、定量地重现目标场景中的主要社会关系的效果。该模型通过直接关联节点兴趣向量值来调整节点运动,便于针对节点兴趣的路由协议研究。通过将该模型生成的模拟场景与实际运动场景的统计量分布情况进行对比,证明该模型可以生成接近于人类实际运动的数据,其中接触间隔时间和接触时长的 JSD(Jensen-Shannon Divergence)偏差分别为 0.048 和 0.014。

关键词: 移动自组网;人类运动模型;节点兴趣;社会关系

中图分类号: O121.8; G558 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2013)12-0110-06

Node Interest Oriented Human Mobility Model in MANETs

CHEN Jiayu¹, TANG Yazhe¹, NING Jingxuan², WANG Guijuan¹

(1. Department of Computer Science and Technology, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;

2. Chinese People's Liberation Army of 63956 Troops, 100852 Beijing, China)

Abstract: A human mobility model with node interest orientation is proposed to improve the simulation accuracy of human mobility in mobile ad hoc networks. The model takes people's access preference to interest locations into consideration and ignores the undetectable and unusable temporary passing-bys. A method to convert people's social relationships into node interest vectors is designed and the resulting node interest vectors are used as inputs of the model so that the meaningful social relationships of target scenarios can be reproduced accurately and quantitatively. The model adjusts nodes' mobility by correlating them to node interest vectors, and is convenient for routing protocol research on node interest. Comparisons of statistic distributions between the scenario generated by the model and the real trace scenarios show that the model is able to generate traces similar to real human mobility, and the JSD (Jensen-Shannon Divergences) of inter-contact time and contact duration are 0.048 and 0.014, respectively.

Keywords: mobile ad hoc network; human mobility model; node interest; social relationship

在移动自组网的研究中,为模拟人类运动进行了很多现实场景的实验,通过收集到的运动轨迹来观察人类运动的典型统计特征,其中 2 个最重要的特征量是接触间隔时间和接触时长,因为接触间隔

时间刻画了两个人之间相遇的频率,在依赖人们相遇而进行数据传输的分组交换网络中,与路由协议的性能有重要关联,而接触时长则刻画了两个人每次相遇状态持续的时间长度,限制着相遇过程中所

收稿日期: 2013-03-10。 作者简介: 陈家旭(1983—),男,博士生;唐亚哲(通信作者),男,副教授。 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61170245)。

网络出版时间: 2013-09-22 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1069.T.20130922.0933.008.html>

能传递的数据数量。起初观测到人类运动的接触间隔时间呈幂律分布^[1]。后续研究发现,更准确地说是由幂律分布和指数分布共同组成^[2]。然而,以前广泛使用的随机路点等随机运动模型的接触间隔时间经证明服从指数分布^[3],不适合用来模拟人类运动,需要提出更为精确的人类运动模型。

本文提出一种兴趣导向的运动模型,该模型设置简单,能够准确模拟人类运动并定量地重现输入场景中的社会关系。通过与实际运动数据的统计特征如接触间隔时间和接触时长的互补累积分布函数进行对比,证明了该模型可以生成接近于人类实际运动的数据。此外,通过与实际运动轨迹的主要社会关系进行比较,验证了本模型中利用节点兴趣定量刻画节点间社会关系方法的可行性。

1 相关工作

近年提出的人类运动模型各自采用了若干人类运动特点作为设计基础,从而模拟出人类运动的部分特征。Truncated Levy-Walk, TLW 使用类似于莱维行走的方法生成了运动轨迹,并且在行走长度和停止时间方面都采用了幂律分布的概率密度函数^[4],生成了类似于实际运动的接触间隔时间分布,然而由于各节点独立运动,TLW 并没有捕获到节点之间的社会行为。后续的 Self-similar Least Action Walk, SLAW 在此基础上对不同节点之间的运动进行了协调,并考虑了不同种类界限的运动区域和分形的路点^[5],从而能够生成接近实际运动的行走长度和接触间隔时间的分布。然而,SLAW 对节点社会关系的刻画并未给出显式的交待。

Musolesi 等以社会网络理论为基础提出了注重节点社区运动的 Caveman Mobility Model, CMM^[6]。Boldrini 等发现了 CMM 存在缺陷,即一些特定情况下,CMM 中的所有节点都将收敛于同一点。通过在 CMM 中加入若干人类运动特性,包括人们喜欢访问少量地点并作长时间停留以及人们更喜欢短途运动,弥补了这个缺陷。与实际运动的匹配结果表明,Home-cell Community-based Mobility Model, HCMM 可以生成符合真实情况的行走长度。^[7]

Yang 等关注了不同种类的社会关系^[8]。在匹配实际运动的过程中,以真实运动数据的社区覆盖情况作为输入,生成了与之接近的接触间隔时间分布以及节点作为路由中继的次数。Mei 在设计 Sinal World In Motion, SWIM 时,仅以一个人类运

动特点为主,即人们经常去一些离家不远而又能遇到许多其他人的地方^[9-10]。通过合理的设计,SWIM 生成了接近实际运动的接触间隔时间、接触时长和接触数量分布以及社区结构。

本文提出的兴趣导向的运动模型(Interest Oriented Mobility Model, IOMM)实现了以节点对为单位,定量地重现了网络中节点的社会关系。相比现有的模型,例如 HCMM、SWIM 以节点社区为单位重现网络中的社会关系,具有更好的精度。此外,该模型的参数设置直接关联节点兴趣,更便于在针对节点兴趣的路由协议研究中使用。

2 兴趣导向的运动模型

2.1 IOMM 的设计基础

在实际场景中,人们经常访问若干地点,并以较高的概率访问更感兴趣的地点,这些地点称为热点。热点是与人的兴趣相关联的,例如工作、学习、餐饮和运动场所。人们会在其中一些地点停留较长时间,例如工作或学习场所;在另一些地点则停留较短的时间,例如餐饮或运动场所。

同时,实际场景中人们在路上(即运动过程)花费的时间非常有限,绝大部分的时间都花费在不同地点的停留。人们喜欢根据每次运动的目的地远近来选择不同的运动方式,例如,对于较近的距离人们通常选择步行,稍远的情况下骑车,更远的情况则考虑乘车或驾车。

此外,实际生活中两个人的有效相遇往往是在两人相对静止时发生。有效相遇指在实际相遇时间内,两人所持通信设备能探测到对方并传输数据。例如,学校里身上携带处于激活状态的无线通信设备的两名同学在校园里擦肩而过时,无线通信设备很难探测到对方,仅当此两人在同一时间段内停留在相同的地点时,无线设备才有足够的时间探测到对方的存在从而进行数据传输。

既然在从某地点到另一地点的运动过程中发生的无效相遇不计,这两个地点在整个区域中的地理位置和它们之间的距离便不再对相遇情况造成影响。这时某段时间内影响甲乙两人在某地点相遇情况的因素是:甲何时来到这个地点,停留了多久;乙何时来到这个地点,停留了多久。若将这段时间扩展为甲乙所在的整个社会网络的运行时间,那么甲乙两人在该地点的接触间隔时间和接触时长主要取决于两人访问该地点的概率及每次在该地点停留的时间。因此,理论上,通过合理地设置节点经常访问

的地点的个数、概率以及每次到达之后的停留时间,有望生成接近人类实际运动的统计特征和社会关系。

2.2 IOMM 的运动细则

IOMM 是节点兴趣导向的运动模型。节点兴趣在 IOMM 中体现为网络区域中的热点,并与这些热点一一对应。由于 IOMM 并不注重热点的地理位置,因此热点可以位于网络区域的任意坐标,只需要保证任意两个热点之间的距离都大于节点的通信半径,以使得正在访问不同热点的节点不会相遇,从而保证节点兴趣之间相互独立。

节点每次运动的目的地都只能在网络的热点中选取。初始,每个节点的位置在网络区域中随机平均分布。节点对各个兴趣有不同的权重,体现为节点访问兴趣对应热点的概率值。节点根据概率选择本次运动的目的热点。对于任意节点,访问所有热点的概率之和为 1。节点若不关注某兴趣,则访问与之对应的热点的概率为 0。节点选定本次运动的目的热点以后,以固定的时间匀速直线运动到目的热点,即节点运动速度与路程长度成正比。节点到达目的热点以后,停止一段时间,之后进行下一次运动。停止时间服从具有上限的幂律分布。IOMM 中当且仅当两节点均访问同一热点时,才记为两节点相遇。即运动过程中一节点路过另一节点的传输半径之内的区域不记为相遇。

由以上设定可见,IOMM 将人类对热点喜好的综合因素以兴趣值替代,并弱化了具体的地理位置信息,从而更加便于模型的设置和参数的更改,消除了兴趣之外的原因对热点的访问概率造成的约束,忽略了运动中的相遇,在符合人类实际运动情况下简化了模型,同时保留了相遇情况的全部统计信息,因此对人类运动统计信息的模拟在数学上有望达到更高的精确粒度。

2.3 IOMM 中的节点兴趣相似性及社会关系

文献[11]分析了节点兴趣相似度与节点社会关系之间的关联,并将其用于路由协议设计,然而文中分析所采用的运动模型是 SWIM,在调整节点兴趣权重的同时难以对节点访问热点概率作出相应的调整,而本文提出的 IOMM 可解决此问题。

假设网络中有 n 个热点,对应着 n 个节点兴趣, n 个节点兴趣组成了一个 n 维的节点兴趣空间,每个节点都有一个 n 维的兴趣向量值对应着 n 维兴趣空间中的一个点。设节点 x 的兴趣向量为 $(x_1, x_2,$

$\dots, x_n)$, 则 $\sum_{i=1}^n x_i = 1$ 。用余弦相似度来衡量两节点兴趣向量 $\mathbf{A}$ 、 $\mathbf{B}$ 之间的相似程度

$$\theta(\mathbf{A}, \mathbf{B}) = \cos(\angle \mathbf{AB}) = \frac{\mathbf{A} \cdot \mathbf{B}}{\|\mathbf{A}\| \|\mathbf{B}\|} \quad (1)$$

另一方面,在延迟容忍网络的研究中,更大的接触时长代表着节点之间更密切的关系,因此节点的社会关系常用接触时长来表示^[12],本文也沿用这种表示方法。

为探索 IOMM 中节点兴趣相似度和节点之间的社会关系即接触时长之间的关联,完成了一系列模拟实验。每个实验中设置 2 个节点,4 个节点兴趣,并取多组不同的兴趣向量值如 $(0.3, 0.3, 0.3, 0.1)$ 、 $(0.1, 0.2, 0.3, 0.4)$ 等考虑顺序的排列方式,令两节点的共同兴趣个数分别为 1、2、3、4。模拟时间为 3 d, 即 259 200 s。节点兴趣的余弦相似度 $\theta(\mathbf{A}, \mathbf{B})$ 与接触时长 t_d 的关系如图 1 所示。图 1 并未显示出节点兴趣相似度与接触时长精确的比例关系,然而事实上,接触时长与节点兴趣余弦相似度的分子部分(即两节点兴趣向量的点积 $\mathbf{A} \cdot \mathbf{B}$)成正比关系,如图 2 所示。

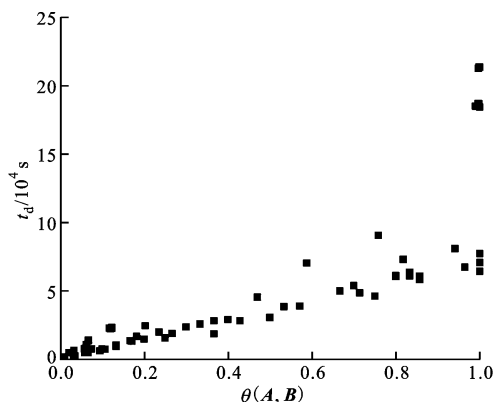


图 1 $\theta(\mathbf{A}, \mathbf{B})$ 与接触时长的关系

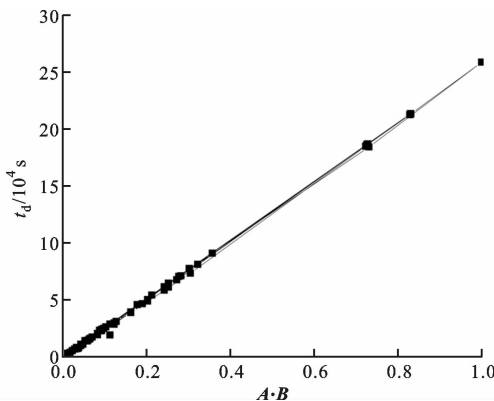


图 2 $\mathbf{A} \cdot \mathbf{B}$ 与接触时长的关系

从图 2 可以观察到,IOMM 可以通过调整节点兴趣向量来精确地控制节点之间的接触时长,从而对实际运动的社会关系进行定量模拟。就目前所知,尚无运动模型可以定量地刻画输入的社会关系。下一节将使用 IOMM 对人类实际运动状况进行对比模拟实验,并用模拟结果来验证本结论,同时说明 IOMM 可以准确模拟人类运动。

3 实际运动模拟

3.1 实际运动数据

本节采用 2006 年在 INFOCOM 国际会议采集到的真实运动数据(记为 INFOCOM 06)来与 IOMM 进行模拟对比^[13]。

在 INFOCOM 06 中共有 98 个节点,其中有 20 个节点是固定的 iMote,通信半径大于其他 78 个节点。出于对同质节点的考虑,只取了 78 个由与会者携带的 iMote 的统计结果。每个 iMote 的通信半径为 30 m。为发现邻居节点,节点进行周期性的同步扫描,扫描过程需时 5~10 s,扫描间隔为 120 s,并且在主动扫描时不能接受任何请求。INFOCOM 06 中两节点相遇定义为一个时间段,该时间段内一节点所有连续的扫描都得到了另一节点的回应,因此 INFOCOM 06 中至少要经过两次扫描才能确定一次节点相遇。这种情况下处于运动状态的节点几乎不可能检测到相遇情况,也支持了 IOMM 中不计运动节点相遇的合理性。

INFOCOM 06 中,由于各节点的异步周期性扫描,每对节点彼此探测到的接触间隔时间和接触时长都不是对称的。这里取了这 78 个节点的所有探测到的接触间隔时间,但是对接触时长进行了并集处理,即若 INFOCOM 06 给出的节点 A 探测到与节点 B 的接触时长为 C_{A-B} ,节点 B 探测到与节点 A 的接触时长为 C_{B-A} ,则将所有节点接触时长的矩阵对称化,取 C_{A-B} 和 C_{B-A} 的较大值为节点 A 和 B 之间的接触时长。

3.2 模拟环境

模拟实验中输入部分参数包括正方形网络区域的边长 b ,单位为 m;节点个数 N ;节点通信半径 r ,单位为 m;模拟时间 T_s ,单位为 s;节点运动时间 T_t ,单位为 s;停止时间的概率密度函数 $p_t()$;节点兴趣个数 n ; $H_i(x,y), i \in [1,n]$ 为与兴趣 i 相关联的热点坐标; $\mathbf{X}_j = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, $\sum_{i=1}^n x_i = 1, j \in [0, N-1]$ 为节点 j 的兴趣向量。

模型的输出是记录着运动中与接触相关的量以及节点之间的全部社会关系的 txt 文件,具体包括记录所有发生的接触间隔时间的一系列数据 inter-contact time. txt、记录所有节点对之间的每次接触的接触时长的一系列数据 contact duration. txt 和节点接触时长矩阵 interaction matrix. txt。

本文用 VC++6.0 实现了 IOMM 离散事件模拟,因此通过修改代码可增加模型的输出项,以观察所有节点每次运动的开始和到达情况。

3.3 实验结果

在模拟 INFOCOM 06 的运动场景时,IOMM 的参数也要根据 INFOCOM 06 进行设置,并通过调整来匹配 INFOCOM 06 的数据。本文选择 3 个量进行对比,分别是接触间隔时间、接触时长和“所有具有大于某界限值 T_{th} 的接触时长的节点关系”。接触间隔时间刻画了节点之间可以进行数据传输的机会的频率,在分组交换网络中非常重要。接触时长则刻画了节点之间的熟悉程度,即社会关系。熟人之间通常有更长的接触时长。“所有具有大于某界限值 T_{th} 的接触时长的节点关系”则相当于以节点对为单位、场景中大于某阈值的主要社会关系。

IOMM 中 N 、 r 和 T_s 都取了与 INFOCOM 06 相同的数值,分别是 78 个、30 m 和 3 d(259 200 s)。由于 IOMM 对地理位置的弱化,正方形网络区域的边长只要在足够容纳所需数目的热点的条件下,可任意设置。INFOCOM 06 中并未给出实验范围的数据,这里取 $400\text{ m} \times 400\text{ m}$ 。运动时间为 10 s,停止时间取服从 $[120\text{ s}, 4\,800\text{ s}]$ 之间斜率为 6 的幂律分布。

节点兴趣个数和所有节点的兴趣向量可根据 2.3 节中“两节点兴趣向量的点积与这两个节点的接触时长成正比”的结论获得。注意到一个极端情况:当图 2 中两个节点都有且只有一个兴趣,并且这两个兴趣相同时,它们的兴趣向量点积为 1,而接触时长为全部的模拟时间 T_s ,因此这个正比的系数约为 $1/T_s$ 。

假设这 78 个节点的兴趣向量分别是 $\mathbf{X}_0, \mathbf{X}_1, \dots, \mathbf{X}_{77}$,用 $\text{sum}(\mathbf{X})$ 表示向量 $\mathbf{X}$ 中各元素的和。INFOCOM 06 的接触时长矩阵为 78×78 维,记为 $\mathbf{D}$,则其中节点 i 和节点 j 的接触时长为 $\mathbf{D}_{ij}$ 。有方程组

$$\left. \begin{aligned} \text{sum}(\mathbf{X}_i) &= 1, i \in [0, 77] \\ \mathbf{X}_i \cdot \mathbf{X}_j &= \frac{\mathbf{D}_{ij}}{T_s}, i, j \in [0, 77], i \neq j \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

方程组(2)有 $n \times 78$ 个变量, $(78 \times 77/2 + 78)$ 个方程。选择适当的 n 值, 可使方程组(2)有解。使用 MATLAB 求出方程组(2)的近似解, 其中任何一组特解都可作为 IOMM 中节点兴趣的输入。图 3~图 6 为 IOMM 模拟场景与 INFOCOM 06 实际场景运动情况的对比图。

图 3 和图 4 对比了本模型对 INFOCOM 06 的模拟场景(IOMM)与 INFOCOM 06 实际场景运动数据的统计情况, 并给出了实际场景与模拟场景的 JSD(Jensen-Shannon Divergence)偏差^[14]。可以看出, IOMM 能够较好地模拟出实际运动的接触间隔时间 t_i 和接触时长 t_d 。图 5、图 6 则说明, IOMM 能够定量地刻画节点之间的社会关系。就目前所知, 尚无其他运动模型具有这种特点。

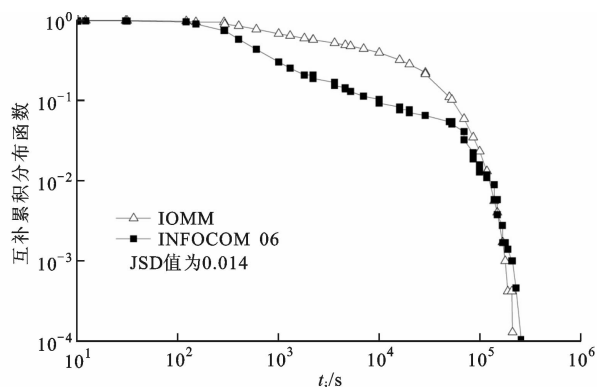


图 3 INFOCOM 06 实际场景与 IOMM 模拟场景的接触间隔时间对比

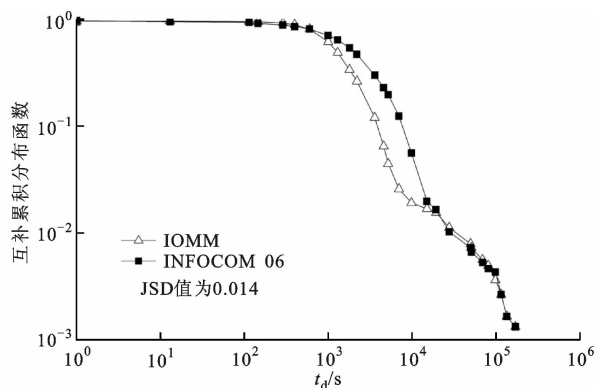


图 4 INFOCOM 06 实际场景与 IOMM 模拟场景的接触时长对比

图 5 和图 6 是两个有权无向图。图中的结点代表网络中的节点, ID 一一对应。图中结点之间的连线表示两节点之间的社会关系大于某界限值, 即两节点之间的接触时长大于 T_{th} , 边上的数字为权值, 定义为两节点之间的接触时长 t_d 除以网络的实际

运行时间 T_s , 并保留两位小数。

观察图 5、图 6 可知, 网络中所有节点的社会关系除了社区之外, 还存在一些社区检测算法(例如 k -clique^[15], $k > 2$)探测不到的密切的节点关系(如图 5 中的 13 和 16, 18 和 25 等), 这种关系在文献[13]中被定义为“朋友关系”。IOMM 除了完整地重现出输入(INFOCOM 06)中的社区关系之外, 还能完整地重现出朋友关系, 而且对输入数据中被社区检测算法淘汰掉的社会关系都能够重现, 这大大提高了运动模型所能重现的社会关系的精确程度。

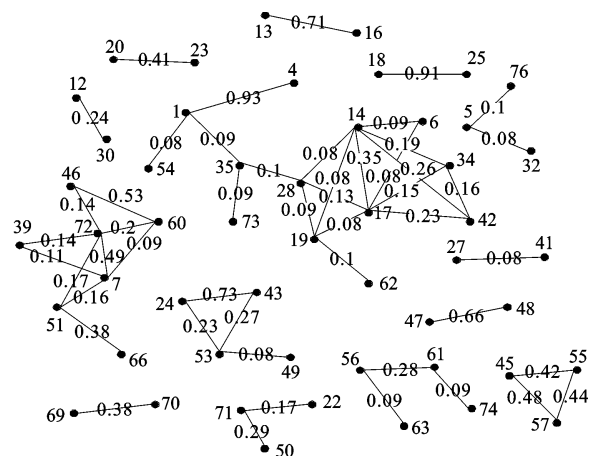


图 5 INFOCOM 06 的主要社会关系 ($T_{th} > 20\ 000$)

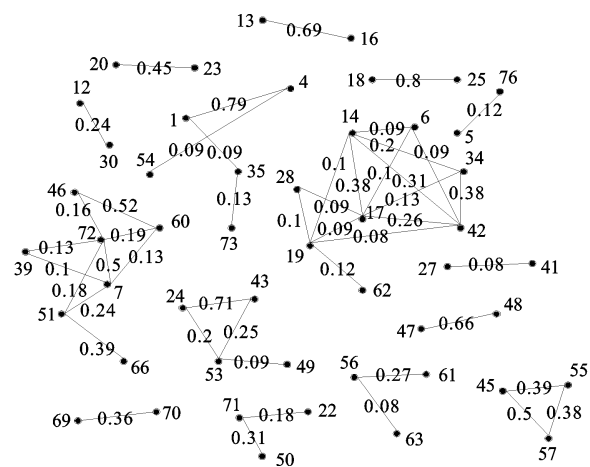


图 6 IOMM 的主要社会关系 ($T_{th} > 20\ 000$)

4 结 论

通过对当前移动自组网和延迟容忍网络研究的总结, 本文提出了一个移动自组网中节点兴趣导向的运动模型 IOMM。IOMM 通过直接关联节点兴趣向量值而调整节点运动, 便于针对节点兴趣的路由协议研究。在模拟人类运动特征方面, IOMM 也表现出了良好的性能, 可以较好地模拟出与实际运

动相似的接触间隔时间和接触时长的分布情况,并且能够定量地重现输入的社会关系,提高了运动模型刻画的输入社会关系的精确程度。

参考文献:

- [1] CHAINTREAU A, HUI Pan, CROWCROFT J, et al. Impact of human mobility on the design of opportunistic forwarding algorithms [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2007, 6(6): 606-620.
- [2] KARAGIANNIS T, BOUDEK J Y L, VOJNOVIC M. Power law and exponential decay of inter contact times between mobile devices [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2010, 9(10): 1377-1390.
- [3] CAI H, EUN D Y. Crossing over the bounded domain: from exponential to power-law inter-meeting time in MANET [C]//Proceedings of the 13th Annual ACM International Conference on Mobile Computing and Networking. New York, USA: ACM, 2007: 159-170.
- [4] RHEE I, SHIN M, HONG S, et al. On the levy-walk nature of human mobility [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2011, 19(3): 630-643.
- [5] LEE K, HONG S, KIM J, et al. SLAW: a mobility model for human walks [C]//Proceedings of the International Conference on Computer Communications. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2009: 855-863.
- [6] MUSOLESI M, MASCOLO C. Designing mobility models based on social network theory [J]. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, 2007, 11(3): 59-70.
- [7] BOLDRINI C, PASSARELLA A. HCMM: modeling spatial and temporal properties of human mobility driven by users' social relationships [J]. Computer Communications, 2010, 33(9): 1056-1074.
- [8] YANG Shusen, YANG Xinyu, ZHANG Chao, et al. Using social network theory for modeling human mobility [J]. IEEE Network, 2010, 24(5): 6-13.
- [9] MEI A, STEFA J. SWIM: a simple model to generate small mobile worlds [C]//Proceedings of the International Conference on Computer Communications. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2009: 2106-2113.
- [10] KOSTA S, MEI A, STEFA J. Small world in motion (SWIM): modeling communities in ad-hoc mobile networking [C]//Proceedings of the 7th Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor Mesh and Ad Hoc Communications and Networks. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2010: 1-9.

- [11] MEI A, MORABITO G, SANTI P, et al. Social-aware stateless forwarding in pocket switched networks [C]//Proceedings of the International Conference on Computer Communications. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2011: 251-255.
- [12] HUI Pan, CROWCROFT J, YONEKI E. Bubble rap: social-based forwarding in delay-tolerant networks [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2011, 10(11): 1576-1589.
- [13] HUI Pan, SCOTT J, CHAINTREAU A. CRAW-DAD metadata: cambridge/haggle/imote/infocom2006 (V. 2009-05-29) [EB/OL]. (2009-05-29) [2013-02-04]. <http://crawdad.cs.dartmouth.edu/cambridge/haggle/imote/infocom2006>.
- [14] Anon. Jensen-Shannon divergence [EB/OL]. (2012-12-16) [2013-02-04]. http://en.wikipedia.org/wiki/Jensen-Shannon_divergence.
- [15] PALLA G, DERNYI I, FARKAS I, et al. Uncovering the overlapping community structure of complex networks in nature and society [J]. Nature, 2005, 435(7043): 814-818.

[本刊相关文献链接]

- 王换招,董贝,罗韩梅,等.基于k-覆盖保证的异构传感器网络节点调度策略.2008,42(8):940-944.[doi:10.7652/xjtuxb200808003]
- 王换招,孟凡治,李增智.最大化网络有效寿命的传感器网络覆盖保持协议.2009,43(10):66-70.[doi:10.7652/xjtuxb200910014]
- 何晖,王换招,李昊,等.增强Ad Hoc网络稳定性的移动问题解决策略.2011,45(4):6-11.[doi:10.7652/xjtuxb201104002]
- 陈衡,钱德沛,伍卫国,等.传感器网络基于邻居信息量化的能量平衡路由.2012,46(4):1-6.[doi:10.7652/xjtuxb201204001]
- 杨文静,杨新宇,董翅勇.移动Ad Hoc网络中提高路由稳定性的动态备份多径路由.2010,44(12):16-21.[doi:10.7652/xjtuxb201012004]
- 刘刚,崔刚.面向移动节点不确定性特征的自组网路由协议.2010,44(6):46-50.[doi:10.7652/xjtuxb201006009]
- 赵季红,曲桦,张鹏.Ad Hoc网络中基于链路故障的路由修复机制.2009,43(10):47-51.[doi:10.7652/xjtuxb200910010]
- 张颖,沈中,常义林.一种信号强度感知的Ad Hoc网络节点移动控制算法.2011,45(2):107-110.[doi:10.7652/xjtuxb201102022]

(编辑 武红江)