

移动模型研究综述

童 超 牛建伟 龙 翔 高小鹏

(北京航空航天大学计算机学院 北京 100083)

摘 要 移动模型决定节点如何移动,它是对节点运动方式的抽象,已被广泛应用于无线网络相关研究中。首先介绍了当前常用的移动模型,并对其进行了分类比较;接着论述了当前研究主要集中在提出新的适合各种移动环境的移动模型、对移动模型的节点移动特征进行分析、对追踪移动模型的追踪策略研究和对移动模型的评估等;然后给出了移动模型目前存在的问题;最后指出了移动模型的研究趋势。

关键词 移动模型,系统仿真,Ad hoc 网络,蜂窝网络,无线传感器网络

中图法分类号 TP391.9 文献标识码 A

Survey on Mobility Model

TONG Chao NIU Jian-wei LONG Xiang GAO Xiao-peng

(Department of Computer, Beihang University, Beijing 100083, China)

Abstract Mobility model decides how the nodes move and describe mobility manners of nodes. Hence it has been widely used in research on wireless network. This paper firstly introduced, classifies and compares the current familiar mobility models. Secondly, it was discussed that current research focus on new mobility models, analysis of nodes mobility features, trace strategy, and evaluation of mobility model. Next, it was covered the existing problems of mobility models. Finally, this paper involved what calls for further study.

Keywords Mobility model, System simulation, Ad hoc network, Cellular network, Wireless sensor network

蜂窝网络、Ad hoc 网络和无线传感器网络等无线网络中节点的移动性被视为网络控制与管理的主要障碍。为了解决和克服节点移动性带来的种种问题,就必须首先研究节点的移动特性。通常,不同的移动节点在不同时段有不同的运动方式,移动模型描述节点的移动模式(包括它们的位置、速度和加速度的变化等),决定节点如何移动,是对节点运动方式的抽象。

移动模型被广泛应用于无线网络相关协议和算法的性能评价中。无线网络的行为和性能紧密地依赖于采用的移动模型中节点的移动行为,移动模型及其参数的选择对仿真结果具有重要影响。移动模型也常被应用于蜂窝网络的系统设计与网络规划中。在对蜂窝网络性能预测和评估、优化蜂窝的大小、位置管理、无线资源管理、无线传输分析、智能寻呼、资源预留等研究中,移动模型的重要性也日益显现。

1 移动模型综述

1.1 随机漫步模型

随机漫步模型(Random Walk Mobility Model)^[1-6]最早由 Einstein^[7]提出,最初用来模拟物理微粒的快速不规则的随机运动(即布朗运动)。

节点选择一个时间段或距离来计算 Step。以时间段来计算 Step 为例,节点在每段时间 t 内独立地随机选择移动速

度和方向。节点选取的方向 $\theta(t)$ 满足 $[0, 2\pi)$ 上的均匀分布;速度 $v(t)$ 服从 $[v_{\min}, v_{\max}]$ 上的均匀分布或高斯分布。当节点移动到边界时,该节点按照一个引入的角度(遵守类似于光的反射定律或采用其他方法确定)反弹回去继续移动。一个 Step 结束后,节点随机选择新的移动方向和速度移动(另一个 Step),重复前述过程至仿真结束。图 1 表示了随机漫步模型的一个节点移动轨迹。

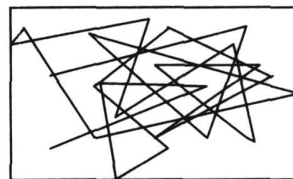


图 1 随机漫步模型的节点移动轨迹(以时间为 Step)

Basagni^[8-10]和 Gerla^[21]修订了随机漫步模型,提出等速度随机方向模型(Constant Velocity Random Direction Mobility Model)。该模型有着固定的速度大小和只有在边界才改变方向。

1.2 随机路径点模型

随机路径点模型(Random Waypoint Model)^[15-18]定义为:在移动区域内随机取起始点 S 和目的点 D 。随机取速度 $v \in (v_{\min}, v_{\max})$,使用速度 v 从 S 沿直线移动到 D ,其中 v_{\max} 是

到稿日期:2008-11-11 返修日期:2009-01-22 本文受国家自然科学基金(60873241),863 国家重点基金项目(2007AA01A127)资助。

童 超(1978—),男,博士生,研究方向为计算机网络, E-mail: tongchao@buaa.edu.cn; 牛建伟(1969—),男,博士,副教授,研究方向为计算机网络; 龙 翔(1963—),男,博士,教授,博士生导师,研究方向为计算机网络; 高小鹏(1970—),男,博士,副教授,研究方向为计算机网络。

节点的最大移动速度; v_{\min} 是节点的最小移动速度。在 D 随机选取一个时间 $t_{\text{pause}} \in (t_{\min}, t_{\max})$ 暂停, 其中 t_{\max} 是节点的最大暂停时间; t_{\min} 是节点的最小暂停时间。这样完成一个 Step 过程。将本次的目的点 D 作为下次运动的起始点 S , 进行下一个 Step 过程, 如此反复。

边界随机路径点模型 (Random Borderpoint Model)^[19 25] 类似随机路径点模型, 只是路径点 P 都位于仿真区域的边界之上。

1.3 随机方向模型

随机方向模型 (Random Direction Model)^[20] 定义为: 在运动区域内随机找一个起始点 S , 从 $(0, \pi)$ 随机均匀选择方向 γ , 按照预定义的速度 v 一直移动到运动区域的边界点 D , 然后保持静止 t_{pause} 时间, 再以 D 作为新起始点 S , 重新选择一个方向 γ 一直走到该运动区域新的边界点 D , 然后保持静止 t_{pause} 时间, 如此反复。其中 γ 满足如下概率分布:

$$f(\gamma) = \begin{cases} \frac{1}{\beta - \alpha}, & \alpha < \gamma < \beta \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

其中, $0 < \alpha < \gamma < \beta < \pi$, α 与 β 分别代表节点在当前所在的边界点向着仿真区域内部移动的角度上下限。

Royer 等提出随机方向模型的修改版 (Modified Random Direction Model)^[13 14 20], 节点不再被要求一定要移动到仿真区域的边界, 可以在移动区域内暂停并改变方向。

1.4 无限仿真域模型

无限仿真域模型 (Boundless Simulation Area)^[24] 的节点移动区域没有边界, 当节点到达边界后继续移动, 并从区域的另一面边界出现。这样, 仿真区域成为一个环状, 如图 2 所示。

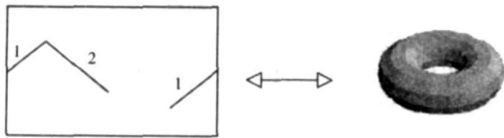


图 2 无限仿真域模型节点移动到边界时移动情况及仿真区域

节点的速度用速度矢量 $\vec{v} = (v, \theta)$ 描述; 位置描述为 (x, y) 。每隔 Δt 时间间隔, 节点的速度矢量和位置都要改变, 由如下公式计算:

$$v(t + \Delta t) = \min[\max(v(t) + \Delta v, 0), V_{\max}];$$

$$\theta(t + \Delta t) = \theta(t) + \Delta \theta$$

$$x(t + \Delta t) = x(t) + v(t) * \cos \theta(t);$$

$$y(t + \Delta t) = y(t) + v(t) * \sin \theta(t)$$

其中, v_{\max} 是节点的最大速度 Δv 是速度在均匀分布 $[-A_{\max} * \Delta t, A_{\max} * \Delta t]$ 上的变化。 A_{\max} 是节点的最大加速度。 $\Delta \theta$ 是防线在均匀分布 $[-\alpha * \Delta t, \alpha * \Delta t]$ 上的变化。 α 是节点移动方向上的最大角改变。

1.5 基于概率矩阵的随机漫步模型

基于概率矩阵的随机漫步模型^[11 14] (Probabilistic Version of Random Walk Mobility Model) 采用 3 个状态来决定移动方向。状态 0 表示节点当前位置, 状态 1 表示节点先前的位置, 状态 2 表示节点如果保持现有方向在下一步的位置。该模型使用概率矩阵表示节点的状态改变。概率矩阵表示如下:

$$P = \begin{bmatrix} p(0, 0) & p(0, 1) & p(0, 2) \\ p(1, 0) & p(1, 1) & p(1, 2) \\ p(2, 0) & p(2, 1) & p(2, 2) \end{bmatrix}$$

其中, $p(a, b)$ 表示节点从状态 a 到状态 b 的概率。图 3 表示该模型的一个节点移动轨迹。

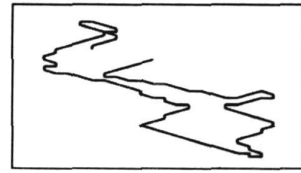


图 3 基于概率矩阵的随机漫步模型的节点移动轨迹

1.6 移动矢量模型

移动矢量模型 (Mobility Vector Model)^[37] 中, 节点的速度 2 维分量用矢量 (x_v, y_v) 表示; 速度的标量值则根据节点移动的位置、时间计算出来。移动矢量 $M = (x_m, y_m)$ (或 (γ_m, θ_m)) 是基本矢量 $\vec{B} = (b_x, b_y)$ (或 (γ_b, θ_b)) 和偏离矢量 $\vec{V} = (v_x, v_y)$ (或 (γ_v, θ_v)) 之和, 即 $M = \vec{B} + \alpha \times \vec{V}$ 。基本矢量是节点的主要速度和方向, 偏离矢量表示节点对基本矢量的偏离。 α 是一个加速因子, 通过调整加速因子使得速度在 $[Min, Max]$ 范围内, 以使节点平滑地移动。该模型由一些基本框架比如位置依赖模型 (Location Dependent Model)^[37]、目标模型 (Targeting Model)^[39] 和组运动模型 (Group Motion Model)^[39] 等组成。

1.7 高斯-马尔可夫模型

高斯-马尔可夫模型 (Gauss Markov Model)^[5 22] 中第 n 次运动可以参照第 $n-1$ 次运动的速度值、方向值和一个随机变量进行计算, 计算公式如下:

$$v_n = \alpha v_{n-1} + (1 - \alpha) \bar{v} + \sqrt{1 - \alpha^2} v_{x_{n-1}}$$

$$d_n = \alpha d_{n-1} + (1 - \alpha) \bar{d} + \sqrt{1 - \alpha^2} d_{x_{n-1}}$$

其中, v_n, d_n 表示节点在第 n 个间隔的速度和方向; $0 \leq \alpha \leq 1$, 用来调节随机性; \bar{v}, \bar{d} 表示当 $n \rightarrow \infty$ 时的速度和方向的平均值; $v_{x_{n-1}}, d_{x_{n-1}}$ 是符合 Gaussian 分布的随机变量。

在第 n 个间隔, 节点的位置可以利用下述公式得到:

$$x_n = x_{n-1} + v_{n-1} \cos d_{n-1}; y_n = y_{n-1} + v_{n-1} \sin d_{n-1}$$

其中, $(x_n, y_n), (x_{n-1}, y_{n-1})$ 分别是节点在第 n 次和第 $n-1$ 次间隔的坐标; v_{n-1}, d_{n-1} 分别是节点在第 $n-1$ 次间隔的速度和方向值。图 4 是节点在高斯-马尔可夫模型的一个节点移动轨迹。

类似地, 平滑随机移动模型 (Smooth Random Mobility model)^[34] 中, 节点移动的速度和方向也平滑改变, 更接近真实的移动环境。基于优选速度和方向的用户移动性模型 (User Mobility Model Based on Preferred Speed and Direction)^[40] 使节点的移动既具有目的性又不失随机性。

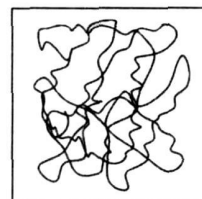


图 4 高斯-马尔可夫模型的节点移动轨迹

1.8 曼哈顿移动模型

曼哈顿移动模型(Manhattan Mobility Model)^[26]起源于曼哈顿街区的建模,用来建模城市区域的移动。节点在城区地图里沿着垂直和水平的街道移动。在十字路口,节点可以左转、右转或者向前移动。在同一个街道上移动的概率为0.5,左转和右转的概率分别为0.25。节点移动的速度依赖于时间。图5描述了曼哈顿移动模型的街区地图。

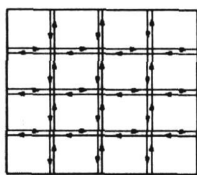


图5 曼哈顿移动模型街区地图

类似地,市区移动模型(City Section Mobility Model)^[14]模拟了市区内公路或街道行人的移动模式。文献[27]结合交通理论提出了市区、地区、街区移动模型(City Area, Area Zone, Street Unit Mobility Models)^[27]。Lam^[28]提出的城市、国家、国际移动模型(Metropolitan Mobility Model, National Mobility Model, International Mobility Model)是一种分层移动模型(Hierarchy of Mobility Model),3个模型关注不同区域层次的移动。障碍物移动模型(Obstacle Mobility Model)^[23]中,建筑物等障碍物被建模。基于图的移动模型(Graph-based Mobility Model)^[29]利用图来建模环境设施对节点移动的限制。虚拟路径组移动模型(Virtual Track based Group Mobility Model)^[30]利用“虚拟路径”建模组移动。

1.9 方向移动模型

方向移动模型(Directional Mobility Model)^[42]采用的动态追踪方案分成4个策略:基于距离的策略、基于移动的策略、基于计时器的策略和多层策略。

假定移动用户选择某一方向为特权方向。如图6所示, m 是移动用户切换蜂窝的概率, $1-m$ 为移动用户仍然待在相同蜂窝的概率。 a 是方向参数。 $m/(5+a)$ 是沿特权方向移动蜂窝切换的概率, $m/(5+a)$ 是沿其它方向移动的概率,它们之和始终为 m 。如果 $a=1$,那么各方向移动概率相同,没有特权方向。

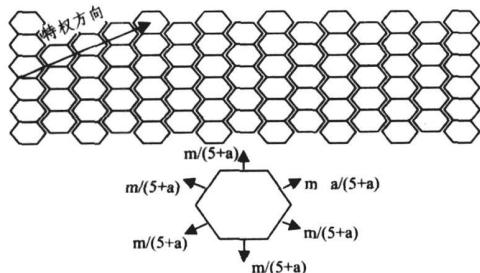


图6 方向移动模型示意图

1.10 加权路径点模型

加权路径点模型(Weighted Way Point model)^[31,43]建模真实移动场景中有较高访问频率的热点地区,用于南加州大学校园内的移动建模。该模型中:(1)节点并不随机选择目的地,不同地区分配不同的权值,表示目的地被访问的概率。(2)目的地的权值选择依赖于节点当前的位置和时间。采用时间变量马尔可夫模型表示权值对节点当前位置和时间的依赖关系。(3)每个位置的暂停时间分布是不同的。

1.11 指数相关随机移动模型

指数相关随机移动模型(Exponential Correlated Random Mobility Model)^[12,36]中节点采用如下公式来决定时刻 $t+1$ 节点的位置 $b(t+1)$:

$$b(t+1) = b(t)e^{-\frac{1}{\tau}} + (\sigma \sqrt{1 - (e^{-\frac{1}{\tau}})^2})r$$

其中, τ 决定了下一时刻位置的改变量, σ 是随机高斯变量 r 的方差。该模型中,选择合适的 τ 和 σ 非常关键,但很难。

1.12 基于社会网络的移动模型

基于社会网络的移动模型(Mobility Model Founded on Social Network Theory)^[30]采用加权图表示社会关系网络,权值用来衡量个体之间交互关系的强弱。交互关系矩阵 M 记录个体之间的社会关系信息。建立社会关系网络时,首先根据不同的需求选择不同的随机分布,生成交互关系矩阵。社交因子(Sociability Factor, SF)表示个体对其他个体的态度。个体分组在社会的层次上进行,或利用地理层次进行。 n_{groups} 表示地理组的数量。组吸引(Group attraction, GA)表示组 G 对节点 i 的吸引程度。个体容易与其地理位置相近的个体熟悉而成为朋友,该模型也建模这一现象。

个体的位置更新可由如下公式计算。

$$newX_{node_i} = currentX_{node_i} \pm speed_{node_i} \Delta t \pm speed_{group_i} \Delta t$$

$$newY_{node_i} = currentY_{node_i} \pm speed_{node_i} \Delta t \pm speed_{group_i} \Delta t$$

每一个组的位置更新由下列简化公式计算:

$$newX_{group_i} = currentX_{group_i} \pm speed_{group_i} \Delta t$$

$$newY_{group_i} = currentY_{group_i} \pm speed_{group_i} \Delta t$$

1.13 混合移动模型

混合移动模型(Hybrid Mobility Model)^[32]在加州大学圣迭戈分校校园内在AP端通过SNMP检测和TCPDump搜集移动用户行踪,从而获得节点移动统计数据。节点移动的方向公式如下:

$$Dir_{Next} = Dir_{Current} + Dir_{Update_factor}$$

根据统计数据可以得出 Dir_{Update_factor} 和节点的分布,从而计算出节点的下一步移动位置。

类似地,T模型^[33]是在Dartmouth大学校园花费2年时间搜集用户的移动踪迹而建立的追踪移动模型。基于真实用户踪迹的移动模型(Mobility Model from Real User Traces)^[43]生成合成移动踪迹,并把它和真实踪迹比较、验证和调整。

1.14 追逐移动模型

追逐移动模型(Pursue Mobility Model)^[35]模拟节点追逐某物时的移动模式,其节点新位置按下式计算: $new_position = old_position + acceleration(target_old_position) + random_vector$ 。其中 $acceleration(target_old_position)$ 是加速函数,表示被追逐节点移动的量; $random_vector$ 表示追逐节点移动的偏离量,可以通过某一个体移动模型(如随机漫步模型)获得。图7给出了6个节点在该模型中的移动,白色节点代表被追逐节点,黑色节点代表追逐节点。

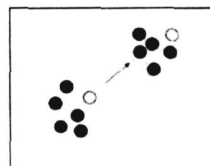


图7 追逐移动模型中6个节点的移动

类似地,列移动模型(Column Mobility Model)^[5]中的一组节点排成一行规律地向特定的方向移动。

1.15 参照点组移动模型

参照点组移动模型(Reference Point Group Mobility Model RPGM)^[12]建模一组节点随机移动以及组内单个节点的随机移动。如图8所示:(1)每个组都有一个逻辑中心,其移动属性定义了整个组的移动方式(包括位置、速度、方向、加速度等);(2)每个节点都被分配一个参照点(RP),节点在参照点范围内自由移动,参照点为节点提供配置参数;(3)参照点随着组一起移动时,参照点A首先根据组的位移矢量 \overrightarrow{GM} (由逻辑中心决定)发生位移 $A \rightarrow B$;(4)随机位移矢量 \overrightarrow{RM} 独立于参照点以前的位置。 \overrightarrow{RM} 的大小是以参照点为圆心的某一半径的长度,方向是 $0 \sim 360^\circ$,随机分布。新的节点位置由随机位移矢量 \overrightarrow{RM} 加到新的参照点B生成。

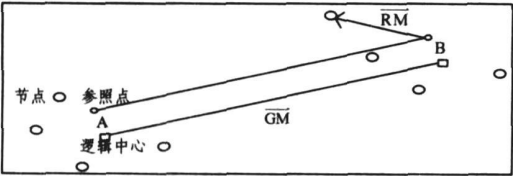


图8 参照点组移动模型示意图

类似地,游牧社会移动模型(Nomadic Community Mobility Model)^[35]犹如古代的游牧民族从一个地区迁徙到另外一个地区,建模一组节点集体地从一个位置移动到另外一个位置。

1.16 地理分隔移动模型

地理分隔移动模型(In-Place Mobility Model)^[12-14]中仿真区域被划分成许多小区域,不同的组节点在不同的小区域中活动。该模型建模有多个各自不同的目标的组,组内节点有相似目标且被分配在有限的区域内。组移动可采用参照点组移动模型计算组的下一个移动位置。

类似地,重叠型移动模型(Overlap Mobility Model)^[12-14]中不同的节点组在同一区域内实施不同的任务。展会型移动模型(Convention Mobility Model)^[12-14]把区域划分为很多小区域,节点组可以从一个小区域移动到其他小区域。该模型包含两类基本元素:展出者和参观者。

1.17 流移动模型

流移动模型(Fluid-Flow Mobility Model)^[14,28,41]描述宏观运动,通常用来表示交通流和其他节点持续不断的流动情况,其中有地区、平均速度和地区边界线。对一个人口密度 ρ 的圆形地区,平均速度为 v ,地区直径为 L ,则单位时间内地区横越次数 N 为: $N = \rho \pi L v$ 。

类似地,引力移动模型(Gravity Model)^[28,37]常用来建模人们在交通方面的移动行为。

2 移动模型分类比较

2.1 根据节点的移动特性

根据节点的移动特性可以将移动模型分为随机移动模型和受限移动模型。随机移动模型中节点的移动随机选择方向和速度;受限移动模型中节点的移动受到当前或历史因素的影响。

在受限移动模型中的一些模型里,节点的当前移动状态受到物理定律的限制和节点运动历史纪录的影响,与之前的

移动状态是相关的,称为基于时间的移动模型。在某些移动场景中(例如战场、旅游),节点的移动受到其附近某个领航节点的影响,即不同节点的移动实际上是相关的,这样的移动模型称为基于空间的移动模型。有些模型中节点的移动受到建筑、街道或其他障碍物的限制,称为地理受限的移动模型。

2.2 根据构建移动模型的方式

根据构建移动模型的方式可以将移动模型分为追踪(traces)移动模型和合成(synthetic)移动模型。追踪移动模型基于观察真实移动环境的移动模式,长时间观察大量的节点即可获取精确的节点踪迹信息。合成移动模型不需要追踪节点运动轨迹和任何统计数据,而是人们基于主观经验提出的。目前大多数移动模型都是合成移动模型,其优点在于易于创建、分析和实现。

2.3 根据节点之间的关系

根据节点之间的关系将移动模型划分为个体(Independent)移动模型和组(Group)移动模型。个体移动模型中节点之间是独立的,而组移动模型中节点间存在一定的相互关系。

2.4 根据应用环境

移动应用环境一般包括具有基础设施支持的蜂窝网络和无基础设施的Ad hoc网络。因此,按照应用环境可以将移动模型分为用于蜂窝网络的移动模型和用于Ad hoc网络的移动模型等。

2.5 常见移动模型分类比较

常见移动模型的分类比较如表1所列。

表1 常见移动模型分类比较

	移动特性	构建移动模型方式	节点之间的关系	应用环境
随机漫步模型	随机	合成	个体	蜂窝网、Ad hoc 网络
随机路径点模型	随机	合成	个体	蜂窝网、Ad hoc 网络
边界随机路径点模型	随机	合成	个体	蜂窝网、Ad hoc 网络
随机方向模型	随机	合成	个体	蜂窝网、Ad hoc 网络
无限仿真域模型	基于时间	合成	个体	蜂窝网、Ad hoc 网络
平滑随机移动模型	基于时间	合成	个体	蜂窝网、Ad hoc 网络
基于概率矩阵的随机漫步模型	基于时间	合成	个体	蜂窝网、Ad hoc 网络
移动矢量模型	基于时间	合成	个体	蜂窝网、Ad hoc 网络
高斯-马尔可夫模型	基于时间	合成	个体	蜂窝网、Ad hoc 网络
障碍物移动模型	地理受限	合成	个体	蜂窝网、Ad hoc 网络
曼哈顿移动模型	地理受限	合成	个体	蜂窝网、Ad hoc 网络
基于图的移动模型	地理受限	合成	个体	蜂窝网、Ad hoc 网络
方向移动模型	基于时间	合成	个体	蜂窝网
加权路径点模型	基于时间 地理受限	追踪	个体	蜂窝网、Ad hoc 网络
基于优选速度和方向的用户移动性模型	基于时间	合成	个体	蜂窝网、Ad hoc 网络
指数相关随机移动模型	基于时间	合成	组	蜂窝网、Ad hoc 网络
基于社会网络的移动模型	基于时间	合成	组	Ad hoc 网络
混合移动模型	地理受限	追踪	组	WLAN 网络
追逐移动模型	基于空间	合成	组	蜂窝网、Ad hoc 网络
参照点组移动模型	基于空间	合成	组	蜂窝网、Ad hoc 网络
地理分隔移动模型	地理受限 基于空间	合成	组	蜂窝网、Ad hoc 网络
引力移动模型	基于空间	合成	组	蜂窝网、Ad hoc 网络
虚拟路径组移动模型	地理受限	合成	组、个体	蜂窝网、Ad hoc 网络
流移动模型	基于空间	合成	组	蜂窝网、Ad hoc 网络

3 研究热点和发展趋势

3.1 研究热点

3.1.1 研究节点概率分布

文献[44, 45]通过分析及仿真实验证明了随机漫步模型节点概率分布属于均匀分布。

对随机路径点模型中节点概率分布的研究最多。文献[15]中对该模型的特点进行了统计分析。文献[25]给出了暂停时间为0、速度为定值 v 时一维空间下精确的节点概率分布和二维空间下近似的节点概率分布。文献[47]给出了一维和二维空间精确的节点空间概率分布。文献[49]将节点概率分布扩展到3维和 n 维空间,并给出具体的概率分布函数。文献[17]给出方形区域的一维空间节点概率分布和二维空间节点概率分布。文献[25]给出方形和圆形区域的一维空间精确节点概率分布和二维空间近似节点概率分布。文献[19, 50]针对节点空间概率分布和路径点间的平均距离进行了研究,并给出了矩形、圆形和其它一些不规则形状区域的一维和二维空间节点概率分布。

文献[19]给出了边界随机路径点模型中的矩形、圆形和其它一些不规则形状区域的一维和二维空间节点概率分布。

文献[48]给出了随机方向模型一维和二维空间节点概率分布。

3.1.2 节点速度、方向和暂停时间分布

文献[16]发现随机路径点移动模型中节点并不是处于一个稳定的状态,而是随着时间的流逝,节点的平均速度会降低。文献[51]给出了随机路径点移动模型的节点速度分布函数。文献[15]对随机路径点移动模型中的节点方向分布进行了研究。文献[51]给出了随机路径点移动模型的节点暂停时间分布。

3.2 移动模型存在问题

3.2.1 移动模型并不反映真实的移动环境

移动模型研究的初衷是为了模拟真实移动环境中节点的移动。然而,当前绝大多数移动模型仅仅从提出模型出发,依赖于研究者的直觉和观察,不能反映真实场景中节点的移动。因此,获得的仿真结果并不能准确体现协议的真正性能。例如随机移动模型中的节点突然停止、突然加速和急转方向等运动行为频繁发生,然而实际生活中无论是车载还是步行,速度和方向的变化在多数情况下都是平稳的。

移动模型及其参数的选择^[13]会对仿真结果产生重要的影响,从并不反映真实的移动环境的移动模型中获得的仿真结果将不能正确地反映无线网络的性能,可能会对其基础研究产生误导。

3.2.2 节点非均匀分布现象

Ad hoc网络拓扑结构复杂、非结构化,其理论研究和数学描述通常都简单地建立在对节点空间概率分布为均匀分布的假设之上,然而移动模型中节点并非都是均匀分布的。

随机路径点模型的节点非均匀分布现象^[34, 44-46, 52]目前研究得最多。该模型中节点移动的趋势是接近中心区域而远离边界区域,这样就形成了节点的非均匀分布现象,即边界效应(Border Effect)问题。边界效应是由该模型的特定移动行为导致的,其程度依赖于节点的移动参数。比如暂停时间减少,边界效应越严重。

3.2.3 速度衰减问题

文献[16]发现随机路径点模型中节点不能维持一个稳定的状态,随着时间流逝,其平均速度会降低,即速度衰减问题(speed decay problem)。这种现象会影响仿真结果的准确性。

3.3 移动模型发展趋势

早期的移动性建模,其目的在于为移动仿真平台提供尽可能贴近真实移动环境的节点移动模式,以方便评估网络的协议性能,提出的移动模型大多仅仅基于研究者的直观观察和经验,缺少对移动模型的形式化分析、验证和测试。如何从理论上证明一个移动模型贴近实际应用场景?有多贴近?追踪移动模型中需要对大量移动数据进行采样并加以统计分析,这对尚未实际应用的Ad hoc网络来说不太现实,而且需对追踪策略进行深入研究。移动模型的分析验证工具仍然缺乏。这些都将是移动模型未来需要解决的问题。随着研究的深入,研究者越来越关注利用移动模型来归纳和预测节点的移动,以此来指导各层协议,动态调整自身策略,以适应节点移动特征。

类似Ad hoc网络,利用移动模型不仅可以分析蜂窝网络移动性业务性能指标,还可以分析和比较移动性管理策略。跟踪和预测蜂窝网络中移动用户位置、跟踪和预测的策略与算法的设计分析,也有赖于移动模型。有效的位置跟踪预测,是实现预测移动性管理和有效资源预测的前提和基础。随着用户数量和数据速率的不断提高,蜂窝的范围从宏蜂窝进一步缩小到微蜂窝,甚至微微蜂窝,移动切换更加频繁,为保证移动多媒体业务的QoS,需要更为高效的移动性管理技术。现有的移动性管理方案都是一种消极的方案,只是被动地跟踪移动用户和维持终端与网络的连接,很难满足蜂窝移动通信快速发展的需要。因此,从移动用户的运动规律出发,建立用户的移动模型,采用一定的跟踪预测算法,有效地估计和预测用户位置,从而实现预测移动性管理是一种趋势。这种基于用户位置跟踪和预测的移动性管理策略,是一种积极的移动性管理策略,可以有效地改进移动性管理的性能,从而减少信令的开销,提高系统的有效容量。另外,根据用户的运动模式,在相邻某个或某几个小区中预留部分资源,并预先建立路由,实现快速可靠的切换,从而显著改善网络的QoS。

结束语 本文介绍了当前常用的移动模型,并对其进行了分类比较。当前研究移动模型主要是提出新的适合各种移动环境的移动模型;对某一具体移动模型的节点移动特征进行分析;对追踪移动模型的追踪策略的研究和移动模型的评估等。

移动模型目前仍然存在很多问题。随着研究的深入,现阶段研究者越来越关注利用移动模型来归纳和预测节点的移动,以此来指导各层协议,动态调整自身策略,以适应节点移动特征。比如蜂窝网络可以从移动用户的运动规律出发,建立用户的移动模型,然后采用一定的跟踪预测算法,有效地估计和预测用户位置,从而实现预测移动性管理。利用预测移动性管理,预留资源,可以改善网络的QoS。

参考文献

- [1] Bar-Noy A, Kessler L, Sidi M. Mobile users: To update or not to update[C] // Proceedings of the Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies(INFOCOM). 1994
- [2] Garcia-Luna-Aceves JJ, Madra E L. A multicast routing protocol for ad-hoc networks[C] // Proceedings of the Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies(INFOCOM). 1999
- [3] Rubin I, Choi C. Impact of the location area structure on the per-

- formance of signaling channels in wireless cellular networks[J] . IEEE Communications Magazine, 1997; 108-115
- [4] Zonoozi M, Dassanayake P. User mobility modeling and characterization of mobility pattern[J] . IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1997, 15(7): 1239-1252
- [5] Liang B, Haas Z. Predictive distance-based mobility management for PCS networks[C] //Proceedings of the Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFO-COM). March 1999
- [6] Hong X, Gerla M, Pei G, et al. A group mobility model for ad hoc wireless networks[C] //Proceedings of the ACM International Workshop on Modeling and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM). August 1999
- [7] Einstein A. Investigations on the Theory of the Brownian Movement[M] . Dover Publications, 1956
- [8] Basagni S, Chlamtac L, Syrotiuk V R, et al. A distance routing effect algorithm for mobility (DREAM)[C] //ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom98). 1998
- [9] Ko Y B, Vaidya N H. Location-aided routing (LAR) in mobile Ad hoc networks[C] //ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom98). 1998
- [10] Das S, Castaneda R, Yan J, et al. Comparative performance evaluation of routing protocols for mobile Ad hoc networks[C] //7th Int. Conf. on Computer Communications and Networks (IC3N). October 1998
- [11] Chiang C. Wireless Network Multicasting, in Computer Science [M] . California Los Angeles; University of California Los Angeles, 1998
- [12] Hong Xiaoyan, Gerla M, Pei Guangyu, et al. A Group Mobility Model for Ad hoc Wireless Networks[C] //ACM/IEEE MSWiM 1999, August 1999
- [13] Camp T, Boleng J, Davies V. A survey of mobility models for Ad hoc network research[J] . Wireless Communications & Mobile Computing, 2002, 2(5): 483-502
- [14] Davies V A. Evaluating mobility models within an Ad hoc network[M] . Mathematical and Computer Sciences. Colorado; Colorado School of Mines, 2000
- [15] Bettstetter C, Hartenstein H. Stochastic properties of the random waypoint mobility model[J] . ACM/Kluwer Wireless Networks; Special Issue on Modeling and Analysis of Mobile Networks, 2004, 10(5): 555-567
- [16] Yoon J, Liu M, Noble B. Random waypoint considered harmful [C] //Proceedings of IEEE INFOCOM. San Francisco, 2003
- [17] Bettstetter C, Resta G, Santi P. The node distribution of the random waypoint mobility model for wireless Ad hoc networks[J] . IEEE Trans. Mobile Computing, 2003, 3(2): 257-269
- [18] Brøch J. A performance comparison of multi-hop wireless Ad hoc network routing protocols[C] //Proceedings of the Fourth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom98). ACM, 1998
- [19] Hyttia E. Spatial Node Distribution in the Random Waypoint Mobility Model[J] . IEEE Transaction on Mobile Computing, 2004(1)
- [20] Royer E, Melliar S, Moser L. An analysis of the optimum node density for ad hoc mobile networks[C] //Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC). 2001
- [21] Gerla M, Pei G, Lee S. Wireless Mobile Ad Hoc Network Routing[C] //IEEE/ACM WINLAB/BERKELEY Workshop (FOCUS'99). May 1999
- [22] Tolety V. Load reduction in Ad hoc networks using mobile servers[D] . Colorado School of Mines, 1999
- [23] Jardosh A, Belding-Royer E M, Almeroth K G, et al. Towards Realistic Mobility Models For Mobile Ad hoc Networks[C] //Association for Computing Machinery. San Diego, CA., United States, 2003
- [24] Haas Z. A new routing protocol for reconfigurable wireless networks[C] //Proceedings of the IEEE International Conference on Universal Personal Communications (ICUPC). Oct. 1997: 562-565
- [25] Bettstetter C, Wagner C. The Spatial Node Distribution of the Random Waypoint Mobility Model Mobile Ad-Hoc Networks [C] //Deutscher Workshop über Mobile Ad-Hoc Netzwerke (WMAN 2002). 2002; 41-58
- [26] Fan Bai, Sadagopan N, Helmy A. IMPORTANT: A framework to systematically analyze the impact of mobility on Performance of routing protocols for Ad hoc networks[C] //Infocom'03. San Francisco, California, USA, April 2003
- [27] Markoulidakis J, Lyberopoulos G, Tsirikas D, et al. Mobility Modeling in Third-generation Mobile Telecommunications System[J] . 1997
- [28] Lam D C, Widom J. Teletraffic modeling for personal communications services[J] . IEEE Communications Magazine, 1997, 35(2): 79-87
- [29] Tian J. Graph-based Mobility Model for Mobile Ad hoc Network Simulation[C] //Simulation Symposium, 2002. Proceedings, 35th Annual, 2002
- [30] Musolesi M, Hailes S, Mascolo C. An Ad hoc mobility model founded on social network theory[C] //Venetia Italy; Association for Computing Machinery, New York, NY 10036-5701, United States, 2004
- [31] Hsu W J. Weighted waypoint mobility model and its impact on Ad hoc networks[C] //ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review. 2005; 59-63
- [32] Bhattacharjee D. Empirical modeling of campus-wide pedestrian mobility: Observations on the USC campus[M] . Los Angeles, CA, United States; Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2004
- [33] Jain R, Lelescu D, Balakrishnan M. Model T: An empirical model for user registration patterns in a campus wireless LAN[C] //Cologne, Germany; Association for Computing Machinery, 2005
- [34] Bettstetter C. Smooth is better than sharp: A random mobility model for simulation of wireless networks[C] //Roma Italy; Association for Computing Machinery, 2001
- [35] Sanchez M. Mobility models[EB/OL] . <http://www.disca.upv.es/misan/mobmodel.htm>. Accessed on May 13, 2001
- [36] Bergamo M. System design specification for mobile multimedia wireless network (MMWN)[R] . DARPA project DAAB07-95-C-D156. Oct. 1996
- [37] Hong Xiaoyan, Taek Jin Kwon, Gerla M, et al. A Mobility Framework for Ad hoc Wireless Networks[C] //Proceedings of the Second International Conference on Mobile Data Management. Springer House 8 Alexandria Road London SW19 7JZ UK, 2001

(下转第85页)

和迭代次数也会增加。由于无线通信设备对电池的要求也比较苛刻,因此这些参数是互相矛盾的。也就是说,迭代次数越多,解码和解调时间也就越长,这也会造成在接收端浪费更多的电源和有更大的时延,因此需要在这些参数中做折中。

结束语 IDMA 是很有希望被未来超 3G(4G)系统采纳的一种多址接入技术。利用迭代多用户检测和码片交织器, IDMA 的总体性能可以超过传统的扩频系统。本文主要提出应用差分进化算法和 SNR 演进来解决 IDMA 系统中的功率分配问题。本文通过仿真得到一些有意思的结论,即采用重复码或简单的卷积码时, IDMA 系统的频谱效率可以超过 1。这有利于研究 IDMA 频谱效率极限及其功率优化理论。

参 考 文 献

- [1] Verdu S. Multiuser detection[M]. Cambridge University Press, August 1998: 474
- [2] Xiaodong W, Poor H V. Iterative(turbo) soft interference cancellation and decoding for coded CDMA[J]. IEEE Transactions on communications, 1999, 47: 16
- [3] Li P, Lihai L, Leung W K. A simple approach to near-optimal multiuser detection; interleave-division multiple-access[J]. IEEE Wireless Communications and Networking, 2003, 1: 391-396
- [4] Li P, Lihai L. Analysis and design of IDMA systems based on SNR evolution and power allocation[C] //VTC' 04-Fall, Vol. 2, 2004: 1068-1072
- [5] Lihai L, Jun T, Li P. Analysis and optimization of CDMA systems with chip-level interleavers[J]. Selected Areas in Commu-

nications, IEEE Journal on, 2006, 24: 141-150

- [6] Zielinski K, Weitekemper P, Laur R, et al. Parameter study for Differential Evolution using a power allocation problem including interference cancellation[C] //2006 Ieee Congress on Evolutionary Computation. Vols 1-6, 2006: 1842-1849
- [7] Li P, Lihai L, Keying W, et al. Interleave division multiple-access[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2006, 5: 938-947
- [8] Price K, Storn R M, Lampinen J A. Differential Evolution: A Practical Approach To Global Optimization Endnote[M]. Springer, 2005
- [9] David K, Cleve M, Stephen N. Numerical Methods and Software[M]. Prentice Hall, 1989
- [10] L Kai, W Xiaodong, L Ping. Analysis and optimization of interleave-division multiple-access communication systems[C] //IC-ASSP' 05. Vol. 3, 2005: III/ 917-III/ 920
- [11] Tassing R, Zhu G, Lin P, et al. Power optimization in IDMA with SNR and Differential Evolutions[C] // 4th International Conference on Wireless Communications Networking and Mobile Computing, Dalian, China, 2008
- [12] Weitekemper P, Kammeier K D. Analysis and performance of an efficient iterative detection strategy for IDMA systems[C] // Multi-Carrier Spread Spectrum 2007. vol. 1, 2007: 87-96
- [13] Li P, Leung W K, Wu K Y. Low-rate turbo-Hadamard codes[J]. Information Theory, IEEE Transactions on, 2003, 49: 3213-3224

(上接第 10 页)

- [38] Zhou B, Xu K, Gerla M. Group and Swam Mobility Models for Ad hoc Network Scenarios Using Virtual Tracks[C] //Proceedings of MILCOM 2004, 2004
- [39] Xue G T. Group mobility model in mobile peer-to-peer media streaming system[C] //Shanghai, China: IEEE Computer Society, Los Alamitos, CA 90720-1314, United States, 2004
- [40] 段炼, 张浩亮, 吴伟陵. 基于优选速度和方向的无线网络用户移动性模型[J]. 北京邮电大学学报, 2002, 25(4): 26-30
- [41] Leung K K, Massey W A, Whitt W. Traffic models for wireless communication networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1994, 12(8): 1353-1364
- [42] Lombardo A, Palazzo S, Tedesco M. A comparative study of tracking strategies using directional mobility models[C] //Waves of the Year 2000', PIMRC' 97, The 8th IEEE International Symposium, 1997
- [43] Kim M, Kotz D, Kim S. Extracting a mobility model from real user traces[C] //IEEE INFOCOM' 06, Barcelona, Spain, 2006
- [44] Blough D M, Resta G, Santi P. A statistical analysis of the long-run node spatial distribution in mobile Ad hoc networks[J]. Wireless Networks, 2004, 10(5): 543-554
- [45] Blough D M, Resta G, Santi P. Analysis of Ad hoc networks: A statistical analysis of the longrun node spatial distribution in mobile ad hoc networks[C] //The 5th ACM Int'l Workshop on Modeling Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems, Atlanta, Georgia, USA, 2002
- [46] Bettstetter C, Krause O. On border effects in modeling and simulation of wireless ad hoc networks[C] //The 3rd IEEE Int'l Conf on Mobile and Wireless Communication Networks(MWC-MN). Recife, Brazil, 2001
- [47] 时锐, 杨孝宗. 自组网 Random Waypoint 移动模型节点空间概率分布的研究[J]. 计算机研究与发展, 2005, 42(12): 2056-2062
- [48] 时锐, 杨孝宗. 自组网 Random Direction 移动模型点空间概率分布的研究[J]. 计算机研究与发展, 2004, 41(7): 1166-1173
- [49] Esa H, Joma V. Random waypoint model in n-dimensional space[J]. Operations Research Letters, 2005, 33(6): 567-571
- [50] Hyttia E, Lassila P, Virtamo J. Spatial node distribution of the random waypoint mobility model with applications[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2006, 5(6): 680-694
- [51] Naviid W, Camp T. Stationary Distributions for the Random Waypoint Mobility Model[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2004, 3(1): 99-108
- [52] 康槿, 陈彦辉. 无线网络中的移动模型[J]. 电子科技, 2005(8): 62-64