

基于人类真实场景的分时段的机会网络移动模型

程刚¹, 张云勇², 张勇¹, 宋梅¹

(1. 北京邮电大学 安全生产智能监控北京市重点实验室, 北京 100876; 2. 中国联通研究院 平台与云计算研究中心, 北京 100032)

摘要: 针对现有移动模型不能有效反映出节点移动过程中的行为特性, 提出了一种基于人类真实场景中的分时段的机会网络移动模型, 通过建立节点日常移动模型, 依据时间段划分节点子移动模型, 分析了基于人类真实场景的机会网络移动模型下的节点行为特性, 包括节点平均停留时间、不同时段社区节点个数以及目的变换频率等。并与已采集到的真实移动数据和其他移动模型进行仿真比较。仿真结果充分表明, 在节点相遇间隔时间等方面, 该模型贴近真实场景中节点所表现出的行为特性, 并且优于其他节点移动模型。

关键词: 机会网络; 移动模型; 节点相遇间隔时间

中图分类号: TN915.9

文献标识码: B

文章编号: 1000-436X(2013)Z1-0182-08

Period dividing opportunistic networks mobility model based on human realistic scenarios

CHENG Gang¹, ZHANG Yun-yong², ZHANG Yong¹, SONG Mei¹

(1. Beijing Key Laboratory of Work Safety Intelligent Monitoring, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China;

2. Department of Platform and Cloud Computing, China Unicom Research Institute, Beijing 100032, China)

Abstract: Existing mobility models are unable to effectively reflect the behavioral trait of nodes during movement, so the period dividing opportunistic network mobility model based on human realistic scenarios was proposed, by setting up a node daily mobility model and dividing node mobility submodels according to time segment. The features of node activities based on the realistic human scenario and the opportunistic network mobility model were analyzed, including the node average detention time, the number of nodes in a community during different time interval and the changing frequency of destinations etc. And a contrast has been made between the collected realistic mobility data and data from other mobility models in the way of simulation. The results of simulation show that with respect to node meeting time interval etc., the performances of the model are closer to the activity features in realistic scenarios than other node mobility models.

Key words: opportunistic networks; mobility model; inter-contact time

1 引言

随着移动 ad-hoc 网络的发展, 机会网络作为一种在非全连通组网环境下进行信息通信的手段, 近些年来越来越受到研究者的关注^[1-4]。机会网络可以在不用预先铺设通信基础设施并且不需要维护端到端的完整链路的情况下, 利用节点的移动性来建立中断容忍的链路进行有效通信^[5,6]。机会网络主

要应用在无法建立全连通网络的环境下, 如偏远地区网络传输、野生动物追踪、车载通信、便携设备自组网等^[7,8]。另外一种场景下, 研究者主要关注在城市区域中的基于人群移动的机会网络, 利用节点的移动性扩大无线通信的覆盖范围^[9-11]。然而, 先前的关于节点移动模型的研究一般都参考 Random WayPoint^[12], 该移动模型的特点是所有移动节点特性都一样, 所有移动节点彼此可识别, 在一定时间

收稿日期: 2013-07-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61171097); 国家科技重大专项基金资助项目(2012ZX03004001)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (61171097); State Major Science and Technology Special Projects (2012ZX03004001)

内所有节点的运动行为不会发生改变，节点运动的路径没有任何规律。但是这些场景无法准确描述真实生活中的节点移动的复杂特性。在真实的场景中，节点的移动具有群组移动的特性，每个节点有各自不同的移动模型，在短时间内节点一直呆在某个区域内，在很长的时间内，节点一直保持一个相同的运动轨迹。

事实上，很难找到一个合适的机会网络移动模型完全适用于人类移动的真实场景。首先，每个移动模型只适用于一个场景或几个场景，而无法适用于所有场景。其次，一般机会网络中的移动模型没有移动范围限制，而在人类移动的真实场景中，它的移动模型将受到非常大的限制。本文主要基于传统机会网络移动模型，对人类真实场景中的分时段移动模型进行了研究，并以参照模型以及实际测试数据为例进行了验证实验，主要研究贡献如下。

1) 提出了一种分时段热点冷点转换模型，以匹配真实场景下人类移动的时间异构性。由于在不同的时段里，节点所趋向于去的地方不一样。在一段时间内，节点趋向于去某个地方，某个地方因此成为热点区域，而其他地方成为冷点区域；而在另一段时间内，节点趋向于去另一个地方。另一个地方成为热点区域，而其他地方成为冷点区域。依据时间段的变化来转换热点以及冷点区域，从而匹配了真实场景下人类移动的时间异构性。

2) 提出了一种基于马尔科夫链的节点移动状态转移概率转换方法。通过建立一种学生日常移动模型，将模型分为独立的依据时间划分的子模型来分析，依据时间的变化分析不同时间段的节点移动状态转移概率，并用马尔科夫链进行表示。该方法能准确地描述实际情况，基于该方法的性能分析也将越准确。根据冷点以及热点区域的转换，分析节点平均停留时间、不同时段社区节点个数以及节点目的变换频率等几个参数并与真实场景节点移动特征进行比较，验证了节点的真实移动场景。

3) 与以往研究中关于持续性观察空间和节点移动和连接性的方法不同，该模型提出了一种离散的空间分析方法，降低了系统复杂度。基于已采集到的实际人员移动数据，分析 POMM 模型下的节点移动特性并将其与 HCRWP 移动模型进行性能比较，实验表明，该模型与真实场景节点移动所表现

的特征非常相似，并且优于其他节点移动模型。

2 相关工作

移动模型在移动网络中演绎着一个非常重要的角色。常见的 2 种移动模型为 RWP(random waypoint) 和 RD(random direction)。其他模型在文献[13~16]中提出。然而由于大量的移动模型都参考 Random WayPoint，因此将是研究的重点之一。图 1 展示了一种移动模型分类。虽然 RWP 移动模型已经广泛被用于研究，但是与之相关的缺点也相应暴露出来，RWP 移动模型中的空间节点分布从均匀分布转向非均匀分布，如图 2 所示。位于空间中央处时，节点密度最高，网络达到了一个稳定状态。越往边缘区域，节点密度趋近于 0。节点的平均邻居节点数目随着时间处于一个波动状态^[17]。

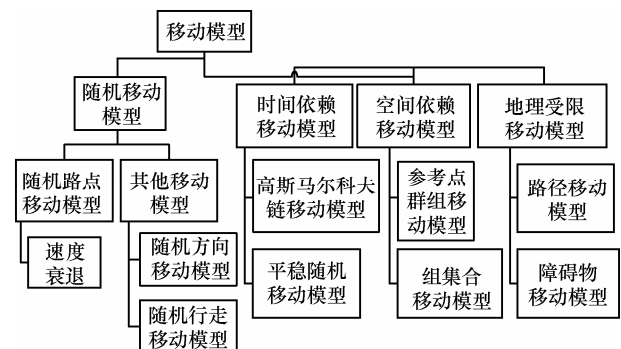


图 1 移动模型分类

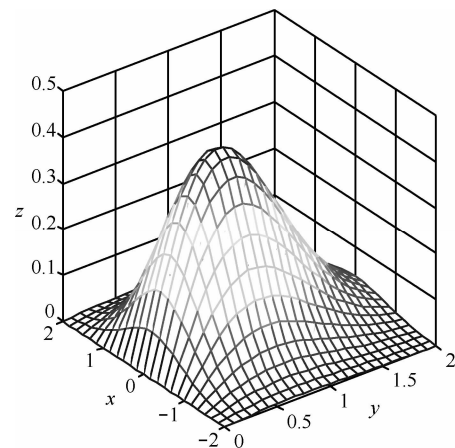


图 2 节点空间分布情况

在机会网络的移动模型中，节点相遇时间和节点相遇间隔时间是两项重要的性能评价指标。节点相遇时间是一个节点进入另一个节点的通信范围到离开该通信范围的时间间隔。节点相遇间隔时间是一个节点退出另一个节点的通信范围到另外一

个节点进入该通信范围的时间间隔。节点相遇时间反映了 2 个相遇的节点在相遇期间能够彼此传输的数据量，而节点相遇间隔时间反映了 2 个相遇节点彼此传输数据的频率。在以往的研究中，节点相遇时间与节点相遇间隔时间都是模拟人类移动的真实场景中的重要指标。

关于节点相遇时间和节点相遇间隔时间的函数分布情况有很多不同的讨论。在早期真实人类移动模型研究中，节点相遇间隔时间通过多次实验，证明其服从幂律分布^[18]。然而 Karagiannis 等人提出节点相遇间隔时间在前面一段时间服从幂律分布，之后便服从指数分布^[19]。Musolesi 等人^[20]展现了一种基于社交网络的移动模型。由于社交网络的兴起，节点更倾向于去朋友呆的地方。由于一天时间的变化，朋友也会发生改变。在白天和同事在一起，而晚上和家人在一起。然而，本文没有考虑节点自身的偏好和群组特性，并且没有考虑节点相遇间隔时间的分布在一天当中的比例。文献[21]提出了一种基于群的移动模型。群是人们经常去的地方的集合。在一般时间，节点以等概率去各个群，而在特殊时间，节点去家的群比去其他群的频率要多。遗憾的是，该文并没有比较在人类移动的真实场景中节点相遇时间分布与节点相遇间隔时间的分布情况。因此，可以设定一些经常去的地方和一些不经常去的地方。在一个群内，所有的节点都使用相同的移动模式。因此，设定的群将不会是地理位置上的中心而是逻辑位置上的中心。

针对节点相遇间隔时间服从幂律分布的情况，文献[22]提出了一种在广阔区域中的随机移动模型。即使广阔区域中的随机移动模型的节点相遇间隔时间也服从幂律分布，但是对于人类移动的真实场景来说，广阔区域中的随机移动模型显得有些不太切合实际。

3 分时段移动模型

本文主要关注几项关键的人类移动属性，例如，时间异构性以及时间周期性等。第一种属性是时间异构性，人类移动趋向于时间异构性。在不同的时段里，节点所呆的地方不一样。比如白天，节点呆在教室时间长一些，而晚上呆在图书馆时间长一些。第二种移动属性是时间周期性，人类移动模型在一段时间内是重复的，例如，节点每隔一段时间去某个地方，人类的移动具有一定的周期性。

在真实场景中，可以模拟为：白天一个班级里的节点在一个教室里上课；晚上节点经常在图书馆；子夜节点回到家。白天节点经常在教室，教室此时成为热点区域，而图书馆和家为冷点区域。晚上节点呆在图书馆，图书馆此时就成为热点区域，而家和教室就成为了冷点区域。子夜节点都回家了，此时家成为了热点区域，而教室和图书馆成为冷点区域。

在 POMM 模型中，本文将一天分为 M 个时段，把时段 1 内节点常去的地方定义为热点区域 1，不常去的地方定义为冷点区域 1；把时间段 2 内节点常去的地方定义为热点区域 2，不常去的地方定义为冷点区域 2；把时间段 M 内节点常去的地方定义为热点区域 M ，不常去的地方定义为冷点区域 M 。

以下以 $M=3$ 为例，详细说明本文所提的移动模型。

本文将一天分为 3 个时间段： T_1 为 09:00~17:00， T_2 为 17:00~24:00， T_3 为 00:00~09:00。把节点白天经常去的地方定义为“热点区域 T_1 ”，把节点白天不经常去的地方定义为“冷点区域 T_1 ”，把节点晚上经常去的地方定义为“热点区域 T_2 ”，把节点晚上不经常去的地方定义为“冷点区域 T_2 ”，把节点子夜经常去的地方定义为“热点区域 T_3 ”，把节点子夜不经常去的地方定义为“冷点区域 T_3 ”。在规定的间隔 $[t_1, t_2]$ 内，对于节点 i ，它的热点区域所覆盖的地点记为 $HS_i^j(t_1, t_2)$ ，它的冷点区域所覆盖的地点记为 $CS_i^j(t_1, t_2)$ ， $t \in \{T_1, T_2, T_3\}$ 。

为了清晰地展现这个模型，本文将描述一个简单的 POMM 模型。假设节点的数量为 N ，群的数量为 Y ，群内的节点个数为 B_i 。

$$\sum_1^Y B_i = N \tag{1}$$

在 T_1 时间段，把节点移动分为 3 个区域：家、教室、图书馆。当热点区域 T_1 为教室时，节点以教室为目的地进行移动，此时家和图书馆变为冷点区域 T_1 。对于时间段 T_2 与 T_3 ，其节点移动特性与 T_1 类似。描述节点在家、教室以及图书馆的移动状态转移概率可以用 3 个状态的马尔科夫链表示。

由图 3 可见，本文定义在全天时段里， $\pi_2^{i,t}$ 为节点在教室的概率， $\pi_3^{i,t}$ 为节点在图书馆的概率， $\pi_1^{i,t}$ 为节点在家的概率， $t \in \{T_1, T_2, T_3\}$ 。

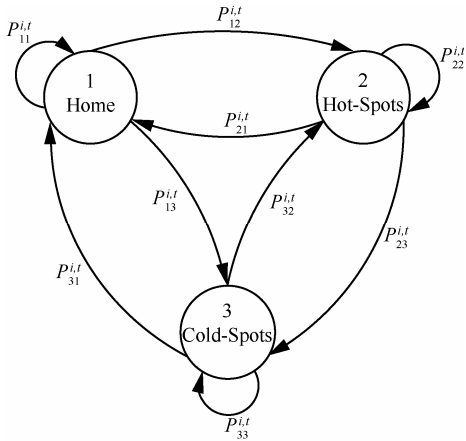


图 3 基于马尔科夫链的节点移动状态转移概率

根据马尔科夫链理论可得

$$\begin{cases} \pi_1^{i,t} \cdot P_{11}^{i,t} + \pi_3^{i,t} \cdot P_{31}^{i,t} + \pi_2^{i,t} \cdot P_{21}^{i,t} = \pi_1^{i,t} \\ \pi_1^{i,t} \cdot P_{12}^{i,t} + \pi_3^{i,t} \cdot P_{32}^{i,t} + \pi_2^{i,t} \cdot P_{22}^{i,t} = \pi_2^{i,t} \\ \pi_1^{i,t} \cdot P_{13}^{i,t} + \pi_3^{i,t} \cdot P_{33}^{i,t} + \pi_2^{i,t} \cdot P_{23}^{i,t} = \pi_3^{i,t} \\ \pi_1^{i,t} + \pi_2^{i,t} + \pi_3^{i,t} = 1 \end{cases} \quad (2)$$

为了简化上述马尔科夫链模型，将模型分为 3 个独立的依据时间划分的模型来分析，分别为白天节点移动模型、晚上节点移动模型和子夜节点移动模型。

首先，分析白天节点移动模型。在白天，节点初始状态在家，节点以 P_{11}^{i,T_1} 的概率继续留在家中，以 P_{12}^{i,T_1} 的概率去教室，而以 P_{13}^{i,T_1} 的概率去图书馆。此时，教室作为热点区域，而家和图书馆作为冷点区域，如图 4 所示。其中，节点的转移概率关系以和状态转移概率矩阵表示如下：

$$P_{11}^{i,T_1} + P_{12}^{i,T_1} + P_{13}^{i,T_1} = 1 \quad (3)$$

$$X = \begin{bmatrix} P_{11}^{i,T_1} & P_{12}^{i,T_1} & P_{13}^{i,T_1} \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

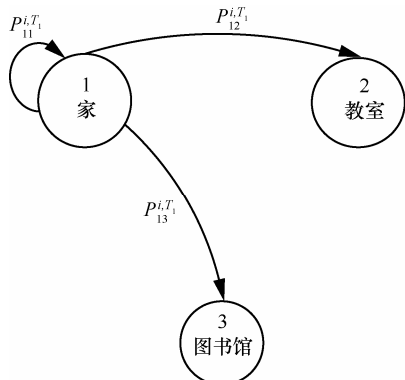


图 4 白天节点移动状态转移概率

在晚上节点移动模型中，节点初始状态在教室，节点以 P_{21}^{i,T_2} 的概率回到家中，以 P_{22}^{i,T_2} 的概率去教室，而以 P_{23}^{i,T_2} 的概率去图书馆。此时图书馆作为热点区域，而家和图书馆作为冷点区域，如图 5 所示。其中，节点的转移概率关系以和状态转移概率矩阵表示如下

$$P_{21}^{i,T_2} + P_{22}^{i,T_2} + P_{23}^{i,T_2} = 1 \quad (5)$$

$$Y = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ P_{21}^{i,T_2} & P_{22}^{i,T_2} & P_{23}^{i,T_2} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

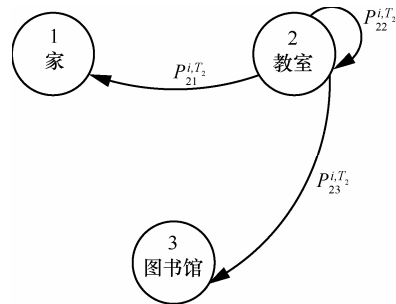


图 5 晚上节点移动状态转移概率

在子夜节点移动模型中，节点初始状态在图书馆，节点以 P_{31}^{i,T_3} 的概率回到家中，以 P_{32}^{i,T_3} 的概率去教室，而以 P_{33}^{i,T_3} 的概率去图书馆。此时家作为热点区域，而教室和图书馆作为冷点区域，如图 6 所示。其中，节点的转移概率关系以和状态转移概率矩阵表示如下

$$P_{31}^{i,T_3} + P_{32}^{i,T_3} + P_{33}^{i,T_3} = 1 \quad (7)$$

$$Z = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ P_{31}^{i,T_3} & P_{32}^{i,T_3} & P_{33}^{i,T_3} \end{bmatrix} \quad (8)$$

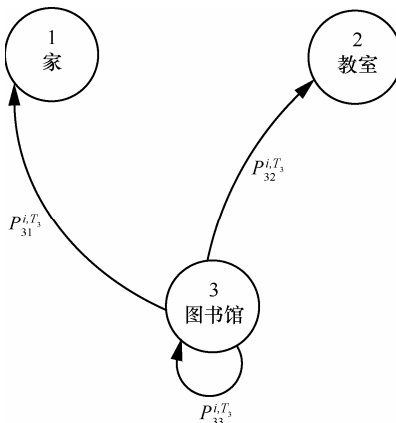


图 6 子夜节点移动状态转移概率

从上述模型可以看出，当时间段发生变化时，热点区域和冷点区域在发生互相转换。定义节点移动状态转移概率矩阵 $\mathbf{X} = (X_1, X_2, X_3)$ ，其中， X_1 表示节点一直以家为目的地而进行移动的概率，比如节点从教室或图书馆移动到家， X_2 表示节点一直以教室为目的地而进行移动的概率，比如节点从家或图书馆移动到教室， X_3 表示节点一直以图书馆为目的地而进行移动的概率，比如节点从家或教室移动到图书馆。

4 仿真与结果分析

本文将所提的 POMM 模型与参照模型 HC-RWP 以及实际测试数据进行比较，分析 POMM 模型下的节点移动特性。在参照模型中，将节点仿真时间设置为 24 h，分为白天 12 h 和晚上 12 h 2 个时段，同时将 100 个节点平均分给 2 个组，节点的通信范围为 30 m，所有节点在一个 1 000 m×500 m 的方形区域进行移动。

为了模拟一个真实场景，POMM 模型将采用 ONE (opportunistic networks environment) 平台进行仿真。该平台可以设置节点的移动速度、通信范围等节点属性。首先，仿真中使用北京邮电大学校园地图作为模拟地图，通过分析地图并且基于移动模型来决定节点在地图中的位置。其次，相比较于其他简单的随机移动模式来说，本文采用一种符合人类日常生活移动的真实地图，随着时间的变化，不同的节点有不同的日常生活移动模式，该模式能够更加贴近人类日常生活的模拟场景。在 POMM 模型中，假设网络中有 50 个节点，节点的通信范围为 30 m， S 为 1 000 m×500 m 的方形区域，方形区域里包括 3 个 20 m×20 m 的方形区域，仿真时间设置为 24 h，包括白天 8 h (T_1)，晚上 7 h (T_2) 和子夜 9 h (T_3)。

仿真的场景参数如表 1 所示。

本节中仿真的性能指标如下。

- 1) 节点平均停留时间: 节点在不同社区的停留时间可以反映出时间异构性。
- 2) 不同时段社区节点个数: 不同时间段不同社区中的节点个数可以反映出节点异构性。
- 3) 目的变换频率: 节点目的变换频率随时间的变化情况可反映出节点的移动性。目的变换频率越高，说明节点的移动性越大。

仿真参数	参数值
仿真时间	12 h
网络节点数目	100 个
副本数量限制	15 条
消息数目	100 条
消息生存时间	10 min
数据长度	100 bit
数据传输速度	1 Mbit/s
通信范围	15 m
网络规模	1 000 m×500 m

图 7 所示在一天时间里，节点分别在 3 个社区的平均停留时间，其中，在代表家的 A 社区平均停留时间为 9.2 h，代表教室的 C 社区平均停留时间为 7.9 h，代表图书馆的 B 社区平均停留时间为 6.9 h。仿真场景设置的是白天 09:00~17:00 时间段总计 8 h，晚上 17:00~24:00 时间段总计 7 h，子夜 00:00~09:00 时间段总计 9 h。由图 7 可以基本看出，白天节点基本停留在教室，晚上基本停留在图书馆，而子夜节点则基本在家。POMM 移动模型所得出的节点在不同社区的平均停留时间与仿真场景设置时间接近，比较符合人类真实生活场景。

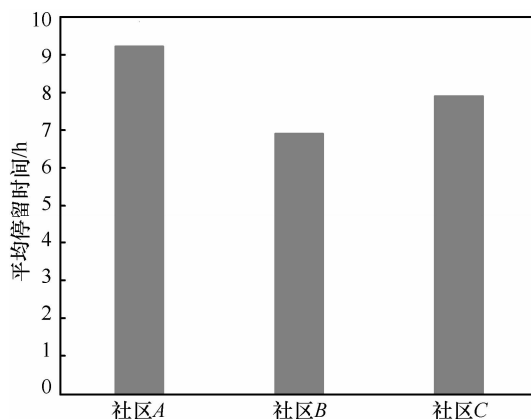


图 7 一天中节点在 3 个社区的平均停留时间

图 8 所示一天中不同时间段 3 个社区中的节点个数，其中， T_1 表示 09:00~17:00 时间段， T_2 表示 17:00~24:00 时间段， T_3 表示 00:00~09:00 时间段。社区 A 代表家，社区 B 代表图书馆，而社区 C 代表教室。社区 A 在 T_1 时间段中的节点个数为 29 个，在 T_2 时间段中的节点个数为 32 个，在 T_3 时间段中的节点个数为 87 个；社区 B

在 T_1 时间段中的节点个数为 4 个，在 T_2 时间段中的节点个数为 63 个，在 T_3 时间段中的节点个数为 9 个；社区 C 在 T_1 时间段中的节点个数为 70 个，在 T_2 时间段中的节点个数为 8 个，在 T_3 时间段中的节点个数为 7 个。由图 8 可以看出，在白天 09:00~17:00 时间段，教室停留的节点最多，家其次，图书馆停留的节点最少；晚上 17:00~24:00 时间段，节点在图书馆停留的居多，家其次，教室为少；而子夜 00:00~09:00 时间段，节点基本上都返回家休息，在图书馆和教室的人数很少。根据以上分析，证明 POMM 模型比较符合人类真实生活场景。

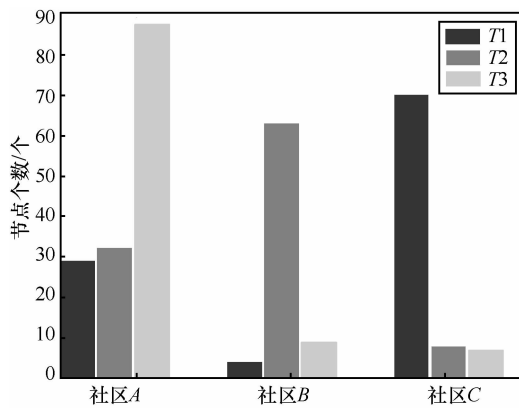


图 8 一天中不同时间段 3 个社区中的节点个数

图 9 所示一天中随着时间的推移，节点目的变换频率的变化情况。可以直观地看出，节点在 06:00~10:00 期间，目的变换频率为 0.2，因为在这段时间内，节点会从家到教室上课，故而这段时间内节点频繁变换；14:00~16:00 期间目的变换频率为 0.1，16:00~18:00 期间目的变换频率为 0.3，目的变换频率也较高，是因为这段时间节点下课后，会从教室转移到图书馆看书或者回家休息；而 22:00~02:00 期间节点变换也较为频繁，目的变换频率为 0.3，节点即会从图书馆或者教室陆陆续续返回家，所以这段时间节点的目的变换频率也相对较高。除此 3 段时间之外，节点的目的变换频率均为 0，因为在此期间节点在教室或者家或者图书馆内停留，节点并不发生移动，因此节点目的变换频率为 0。

为了将 POMM 模型、HC-RWP 移动模型与实际收集到的移动模型数据进行比较，将选用节点相遇间隔时间作为性能指标来评价哪种模型更加贴近实际移动模型的曲线。

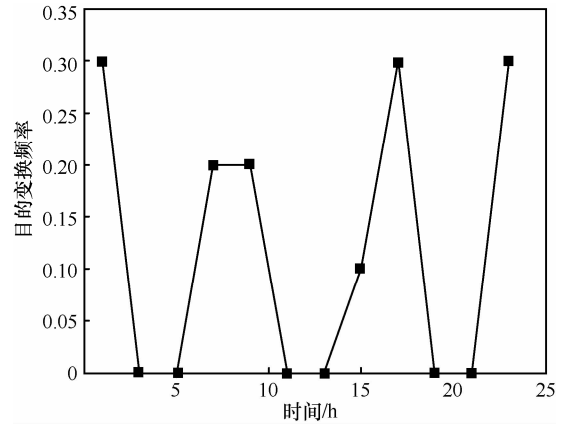


图 9 一天中目的变换频率随时间的变化情况

令 A 组节点移动状态转移概率矩阵

$$\begin{aligned}
 \mathbf{X}^\alpha &= \begin{bmatrix} 0.1 & 0.8 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\
 \mathbf{Y}^\alpha &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.1 & 0.8 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\
 \mathbf{Z}^\alpha &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

令 B 组节点移动状态转移概率矩阵

$$\begin{aligned}
 \mathbf{X}^\beta &= \begin{bmatrix} 0.2 & 0.6 & 0.2 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\
 \mathbf{Y}^\beta &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.2 & 0.6 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\
 \mathbf{Z}^\beta &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0.6 & 0.2 & 0.2 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

其中， \mathbf{X}^α 表示白天 A 组节点移动状态转移概率矩阵， \mathbf{Y}^α 表示晚上节点移动状态转移概率矩阵， \mathbf{Z}^α 表示子夜节点移动状态转移概率矩阵； \mathbf{X}^β 表示白天 B 组节点移动状态转移概率矩阵， \mathbf{Y}^β 表示晚上 B 组节点移动状态转移概率矩阵， \mathbf{Z}^β 表示子夜 B 组节点移动状态转移概率矩阵。

图 10 给出了节点不同移动状态转移概率下的节点相遇间隔时间的概率随时间变化的情况。 B 组节点移动状态转移概率矩阵比 A 组节点移动状态转

移概率矩阵产生更大的节点相遇间隔时间，这是因为节点移动状态转移概率矩阵为 B 的节点更趋向于围绕多个区域移动，而 A 组节点趋于围绕一个区域移动。相对于节点主要在一个区域移动的情况，围绕多个区域移动的节点往往较少相遇，故而会产生较大的节点相遇间隔时间。从以上分析及结论可知，POMM 模型能够有效地从节点相遇间隔时间的角度分析出节点的移动行为特性。

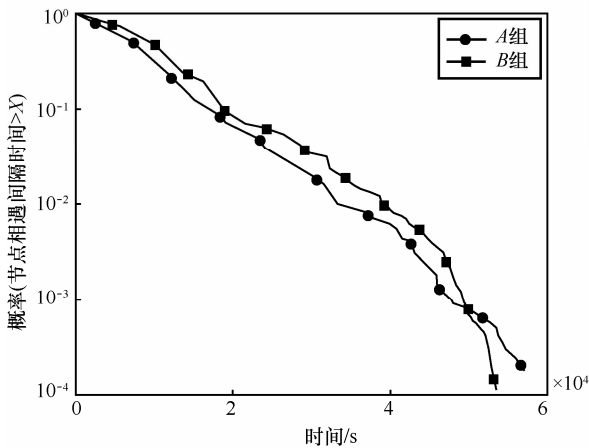


图 10 不同移动状态转移概率下节点相遇间隔时间的概率随时间变化关系

图 11 所示为节点相遇间隔时间的概率随时间的变化近似服从指数分布的情况。曲线 A 为实际收集到的节点相遇信息所形成的节点相遇间隔时间的概率曲线。曲线 B 为 POMM 模型所形成的节点相遇间隔时间的概率曲线。曲线 C 为 HC-RWP 移动模型所形成的节点相遇间隔时间的概率曲线。通过比较，可以发现本文的 POMM 模型形成的节点相遇间隔时间概率随时间变化的情况比 HC-RWP 模型更加贴近实际测试所得数据。由仿真结果分析

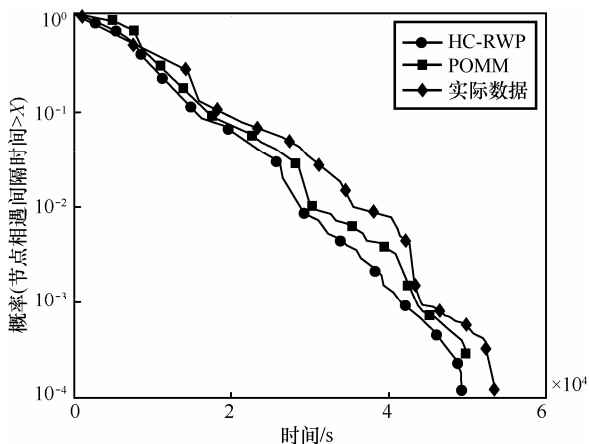


图 11 不同移动模型下节点相遇间隔时间的概率随时间变化关系

可知， M 值设定的越大，模型越能准确地描述实际情况，基于这个模型的性能分析也将越准确，但是，整个模型的复杂度也会随着 M 值的增大而增大，从而导致计算复杂度更高，消耗更多的网络资源。

5 结束语

本文将机会网络应用到人类真实移动场景的研究中，提出了一种新的基于人类真实场景的分时段的机会网络移动模型 POMM，POMM 通过建立学生日常移动模型，将模型分为 3 个独立的依据时间划分的子模型来分析，根据时间的变化转换冷点以及热点区域，测量相关参数并与真实场景节点移动特征进行比较。基于已采集到的实际人员移动数据，通过与其他节点移动模型比较，结果表明，该模型与真实场景节点移动所表现的特征非常相似，并且优于其他节点移动模型。分时段的机会网络移动模型 POMM 为真实场景下的机会网络节点移动模型研究提供了一种有效的新方法。但是，当前移动模型所考虑的区域还比较简单化，今后将考虑更为复杂以及更多的区域。

参考文献:

- [1] GUERRIERI A, CARRERAS I, DEPELLEGRINI F, *et al.* Distributed estimation of global parameters in delay-tolerant networks[A]. IEEE International Symposium of World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks& Workshops[C]. 2009. 1-7.
- [2] BJUREFORS F, GUNNINGBERG P, *et al.* Interest dissemination in a searchable data-centric opportunistic network[A]. Wireless Conference (EW)[C]. 2010. 889-895.
- [3] ABDULLA M, SIMON R. Characteristics of common mobility models for opportunistic networks[A]. PM2HW2N'07: Proceedings of the Second ACM Workshop on Performance Monitoring and Measurement of Heterogeneous Wireless and Wired Networks[C]. 2007. 105-109.
- [4] CONTI M, KUMAR M. Opportunities in opportunistic computing[J]. Computer, 2010, 43(1):42-50.
- [5] HUANG C M, LAN K C, *et al.* A survey of opportunistic networks[A]. International Conference on Advanced Information Networking and Applications[C]. AINA. 2008. 1672-1677.
- [6] PELUSI L, PASSARELLA A, *et al.* Opportunistic networking: data forwarding in disconnected mobile ad hoc networks[J]. communications Magazine, 2006, 44(11):134-141.
- [7] NIU J W, ZHOU X, WANG K Q, *et al.* A data transmission scheme for community-based opportunistic networks[A]. the 5th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing[C]. 2009. 1-5.
- [8] NIU J W, WU F F, HUO D, *et al.* Message publish/subscribe scheme based on opportunistic network[A]. the 7th International Conference on Ubiquitous Intelligence & Computing and 7th International Con-

- ference on Autonomic & Trusted Computing (UIC/ATC). 2010. 180-184.
- [9] BOLDRINI C, CONTI M, *et al.* Users mobility models for opportunistic networks: the role of physical locations[A]. Proc of IEEE WIRECOM[C]. 2007. 151-157.
- [10] BOLDRINI C, CONTI M, PASSARELLA A. Context and resource awareness in opportunistic network data dissemination[A]. World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks[C]. 2008. 1-6.
- [11] BOLDRINI C, *et al.* User-centric mobility models for opportunistic networking[A]. 1st Workshop on Bio-Inspired Design of Networks[C]. 2008. 255-267.
- [12] ABDULLA M, *et al.* Characteristics of common mobility models for opportunistic networks[A]. ACM PM2HW2N'07[C]. 2007. 105-109.
- [13] BOUDEC L J, VOJNOVI M. Perfect simulation and stationarity of a class of mobility models[A]. INFOCOM[C]. 2005. 2743-2754.
- [14] JARDOSH A, *et al.* Towards realistic mobility models for mobile ad hoc networks[A]. MobiCom'03[C]. 2003. 217-229.
- [15] HONG X, *et al.* A group mobility model for ad hoc wireless networks[A]. MSWiM[C]. 1999. 53-60.
- [16] SPYROPOULOS T, PSOUNIS K, RAGHAVENDRA C. Performance analysis of mobility-assisted routing[A]. ACM Mobihoc 2006[C]. 2006. 49-60.
- [17] BLOUGH D M, RESTA G, SANTI P. A statistical analysis of the long-run node spatial distribution in mobile ad hoc networks[A]. Proceedings of ACM International Workshop on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems(MSWiM)[C]. Atlanta, GA, 2002. 1-5.
- [18] CHAINTREAU A, HUI P, CROWCROFT J, *et al.* Impact of human mobility on the design of opportunistic forwarding algorithms[A]. Proc INFOCOM'06[C]. 2006.1-13.
- [19] KARAGIANNIS T, BOUDEC J Y L, VOJNOVIC M. Power law and exponential decay of inter contact times between mobile devices[A]. Microsoft Research[C]. 2007. 1377-1390.
- [20] MUSOLESI M, MASCOLO C. A community based mobility model for ad hoc network research[A]. Proc 2nd ACM/SIGMOBILE International Workshop on Multi-hop Ad Hoc Networks: from theory to reality[C]. 2006. 31-38.
- [21] SPYROPOULOS T, PSOUNIS K. Performance analysis of mobility assisted routing[A]. Proceedings of ACM MOBIHOC[C]. 2006. 49-60.
- [22] CAI H, EUN D. Y. Crossing over the bounded domain: from exponential to power-law inter-meeting time in manet[A]. Mobicom[C]. 2007. 159-170.

作者简介:



程刚 (1989-), 男, 江西九江人, 北京邮电大学博士生, 主要研究方向为自组织网络、机会网络、物联网、云计算等。



张云勇 (1976-), 男, 江苏盐城人, 中国联通研究院平台与云计算研究中心教授, 主要研究方向为下一代网络、3G 核心网、无线互联网、公共运算。



张勇 (1975-), 男, 安徽蚌埠人, 北京邮电大学副教授、博士生导师, 主要研究方向为下一代网络、异构网络、自组织网络。



宋梅 (1960-), 女, 北京人, 北京邮电大学电子工程学院副院长、教授、博士生导师, 主要研究方向为融合网络、移动互联网、通信集成电路与系统、下一代网络与物联网。