

# 典型群组移动模型研究

侯延顺 孙甲琦 王晓波

(北京遥测技术研究所 北京 100076)

**摘要** 移动模型是移动性建模和仿真的基础。当前,个体移动模型得到了比较充分的研究,同时也被证明存在节点分布不理想、速度衰减等问题,而对群组移动模型的研究比较匮乏。文章深入研究了两种最典型的群组移动模型——指数相关模型、参考点群组移动模型,详细分析了其节点分布、速度分布、时间相关性、节点相关性和参数可控性等特性,为模型选择和参数设置提供了参考。

**关键词** 群组移动模型,指数相关,参考点,节点分布,速度分布,时间相关性,节点相关性

**中图法分类号** TP391.9 **文献标识码** A

## Research of Representative Group Mobility Models

HOU Yan-shun SUN Jia-qi WANG Xiao-bo

(Telemetry Technology Research Institute of Beijing, Beijing 100076, China)

**Abstract** Mobility models are the base of mobility modeling and simulation. Individual mobility models have been studied thoroughly and some defects, such as imperfect nodes distribution and velocity attenuation, have been proved. By comparison, less researches have been made on group mobility models. This paper researched 2 most representative group mobility models, i. e. RPGM and ECM, analyzed their nodes distribution, velocity distribution, time correlation, nodes' correlation and parameters' controllability, provided reference for model choice and parameter setting.

**Keywords** Group mobility models, ECM, RPGM, Nodes distribution, Velocity distribution, Time correlation, Nodes' correlation

## 1 引言

移动模型用于描述物体的移动模式,在自组网移动性建模、城市车辆移动性建模、战场环境动态模拟等众多领域具有广泛应用。按照节点运动方式的不同,移动模型分为个体移动模型和群组移动模型。典型个体移动模型有随机点模型(Random Way Point Model, RWP)、随机游走模型(Random Walk Model, RWM)、随机方向移动模型(Random Direction Mobility Model, RD)、高斯-马尔可夫模型(Gaussian-Markov Model, GMM)等;典型群组移动模型有指数相关模型(Exponential Correlated Mobility Model, ECM)、参考点群组移动模型(Reference Point Group Mobility Model, RPGM)等,在RPGM基础上又衍生出了游牧团体模型(Nomadic Community Mobility Model, NCM)、参考速度群组移动模型(Reference Velocity Group Mobility Model, RVGM)等多种模型<sup>[1-7]</sup>。

在个体移动模型中,节点彼此独立地选择自己的运动参数。这类模型出现较早,得到了比较充分的研究。然而,一些学者发现个体移动模型存在节点分布不理想(如密度波现象)<sup>[8,9]</sup>、速度衰减<sup>[10,11]</sup>等问题,不能很好地反映客观物体的移动规律。在群组移动模型中,节点以某种合作的、相互依赖的方式移动,从而在一定程度上反映了真实世界的组织或社会关系。相比之下,对群组模型进行的研究略显匮乏,这给研究人员的模型选取和参数设置工作带来了困难。文章深入研

究了两种最典型的群组移动模型——指数相关模型、参考点群组移动模型,详细分析了其节点分布、速度分布、时间相关性、节点相关性和参数可控性等特性,为模型选择和参数设置提供了参考。

## 2 移动模型的评价指标

移动模型的设计目标是能够尽可能真实地反映客观物体的移动特性。一种好的移动模型应具有以下几个特点<sup>[12]</sup>:

(1)节点分布:节点分布即节点在空间中的位置分布随时间的变化规律。良好的节点分布要求节点在空间中的位置或者是均匀分布的,以体现节点运动的随机性;或者具有某种特定的趋势,以反映特定的群体行为特点。群体行为特点通常与特定任务及工作场景紧密关联,如,节点的聚集可用来模拟大规模飞行器在指定空域的编队会合;节点的离散可用来模拟大规模飞行器在敌空域内执行区域搜索和侦察任务等。

(2)速度分布:良好的速度分布要求所有节点的平均速度大小随着时间的变化是平稳的,而在很多移动模型中,随着时间的推进,节点的速度会发生衰减或者剧烈起伏。

(3)时间相关性:时间相关性要求节点运动状态应贴近现实的节点运动,即速度大小和方向具有时间相关性,不会发生较大的突变。

(4)节点相关性:现实中物体的运动往往不是孤立的,多个物体的运动具有相关性,一个好的移动模型应该能够反映

侯延顺(1988—),男,硕士,主要研究方向为航天通信、测控技术;孙甲琦(1976—),博士,研究员,主要研究方向为航天测控系统总体设计;王晓波(1978—),高级工程师,主要研究方向为航天测控系统总体设计。

出这种相关性,并能够调整节点间的相关强度。

(5)参数可控性:即可以通过参数配置达到不同的效果,来满足不同的需求。

### 3 典型群组移动模型研究

#### 3.1 指数相关模型

指数相关模型<sup>[13]</sup>使用如下移动函数来表征群组中节点的移动情况:

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

其中, $b(n)$ 表示节点在第 $n$ 次运动后的位置向量; $\tau$ 表示位置变化率, $r$ 是方差为 $\sigma$ 的高斯变量, $\tau$ 和 $\sigma$ 的取值应与实际情况相符合。

研究发现,当节点活动范围固定时,指数相关模型的各项参数指标主要取决于参数 $\tau$ 和 $\sigma$ 的比值,因此,在下面的仿真中,令参数 $\tau$ 取合适的值并保持不变,仅改变参数 $\sigma$ 的取值,以获得不同的仿真结果。

##### 3.1.1 节点分布

图1显示了指数相关模型在不同参数下的节点分布。其中,第一行表示节点在 $1 \times 1$ 范围内的初始分布情况,下面各行分别代表在运动一定次数后节点的分布情况;各列参数不同。

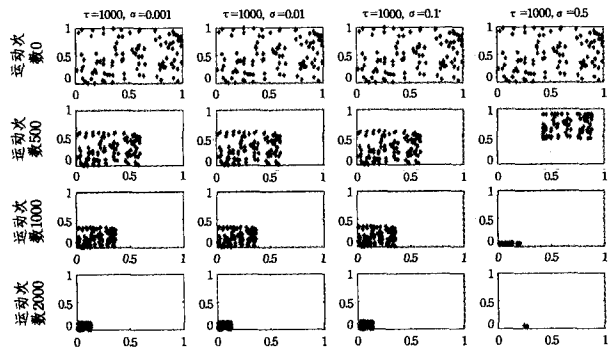


图1 指数相关模型的节点分布

从图1可以看出,指数相关模型存在节点聚集现象,即经过较多的运动次数以后,节点聚集在一个极小的范围内。这使得指数相关模型不适合长时间的仿真,但是在短时间的仿真中,指数相关模型可以很好地模拟特定任务中的节点聚集现象。

##### 3.1.2 速度分布

图2显示了指数相关模型的速度分布,即网络中所有节点的平均速度大小随时间的变化。在这里,将网络中节点个数设置为500,参数 $\tau$ 取值不变,参数 $\sigma$ 取多个不同的值。

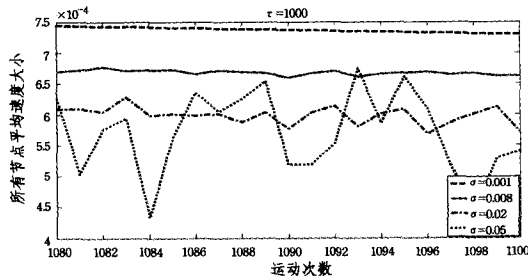


图2 指数相关模型的速度分布

从图2可以看到, $\sigma$ 和 $\tau$ 的比值较小时,指数相关模型的速度分布很平稳,但是存在缓慢的衰减趋势,随着时间的推移,所有节点的平均速度以及每个节点的移动速度都在逐渐

减小。可以预见,若仿真时间足够长,最终网络将趋于静止。因此,该模型不适合用于长时间仿真。当 $\sigma$ 和 $\tau$ 的比值增大到一定程度以后,不再出现明显的速度衰减,但是速度起伏会变得非常剧烈,这与节点的实际运动状态相去甚远。

从速度分布的角度来讲,指数相关模型中的参数 $\sigma$ 和 $\tau$ 的比值越小,速度分布越平稳;但是为了避免速度衰减使得网络趋于静止,仿真时间不能太长。

##### 3.1.3 时间相关性

图3和图4分别显示了指数相关模型中节点的移动速度大小和转向角随时间的变化。其中,参数 $\tau$ 取值不变,参数 $\sigma$ 分别取不同的值。从图中可以看到,参数 $\sigma$ 与 $\tau$ 的比值越小,节点速度大小的变化越平稳,出现大幅度转向的概率也越小,时间相关性越好,与现实节点的运动越贴近;参数 $\sigma$ 与 $\tau$ 的比值越大,节点速度大小的变化越剧烈,出现大幅度转向的概率也越大,即时间相关性越差。

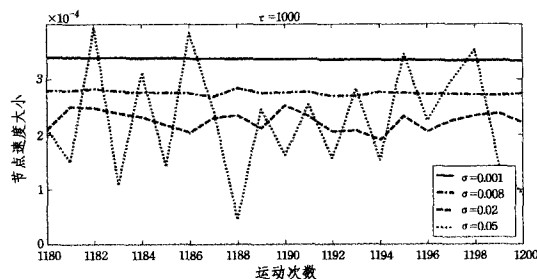


图3 节点速度大小随时间的变化

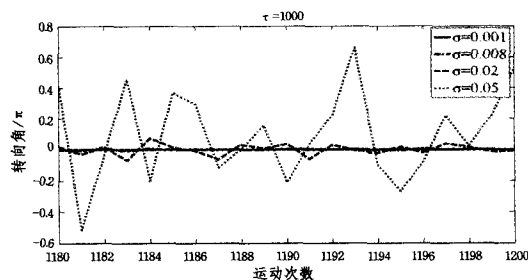


图4 节点转向角随时间的变化

##### 3.1.4 节点相关性

图5显示了在不同的参数组合下,指数相关模型中任意两个节点的运动轨迹。可以看到,不论参数如何设置,任意两个节点的轨迹几乎是一致的,即节点之间具有极强的相关性。因此,该模型适用于节点相关性很强的场景,这也在一定程度上限制了其应用范围。

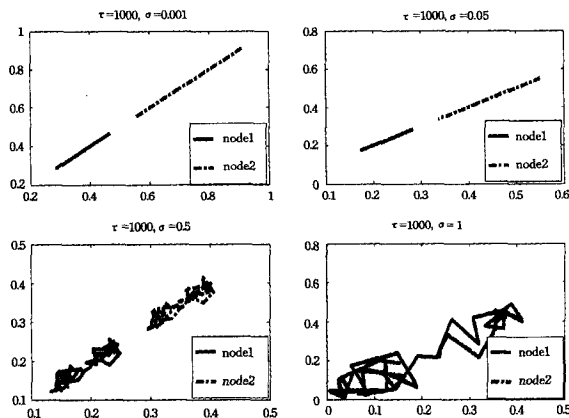


图5 任意两个节点的运动轨迹

### 3.2 参考点群组移动模型

在参考点群组移动模型中,每个群组有一个逻辑中心,逻辑中心的移动属性定义了群组整体的移动属性,包括位置、速度、方向、加速度等。逻辑中心的移动采用个体移动模型,如随机点模型、高斯-马尔可夫模型等。各节点都有一个参考点,参考点的移动与逻辑中心一致。节点分布在参考点周围,并在一定范围内自由移动<sup>[12]</sup>。

#### 3.2.1 节点分布

图6显示了逻辑中心采用随机点模型和高斯-马尔可夫模型时的节点分布,其中,各行分别代表在运动一定次数之后节点分布的情况。可以看到,当逻辑中心使用随机点模型时,参考点群组移动模型的节点分布并不均匀,有些地方节点密度大,有些地方节点密度小,而且没有规律;当逻辑中心使用高斯-马尔可夫模型时,节点分布则变得非常均匀。

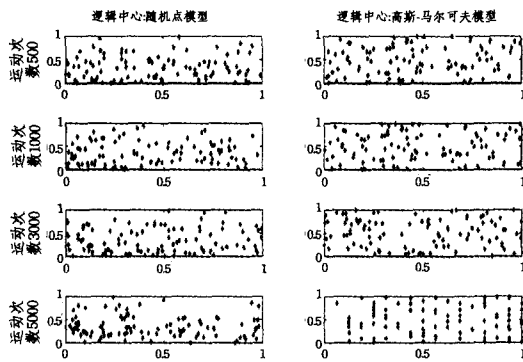


图6 参考点群组移动模型的节点分布

#### 3.2.2 速度分布

图7(a)和(b)分别显示了逻辑中心采用随机点模型和高斯-马尔可夫模型时,参考点群组移动模型的速度分布。可以看到,当逻辑中心使用随机点模型时,模型的速度分布都存在较大的起伏,速度分布并不理想;当逻辑中心采用高斯-马尔可夫移动模型时,速度分布得到很大的改善,变得更加平稳了。不论逻辑中心采用何种移动模型,速度分布都没有出现衰减趋势。

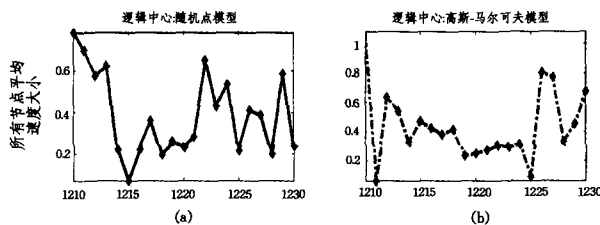


图7 参考点群组移动模型的速度分布

#### 3.2.3 时间相关性

图8(a)和(c)、(b)和(d)分别显示了逻辑中心采用随机点模型和高斯-马尔可夫模型时,节点移动速度大小和方向的变化。从图8可以看到,当逻辑中心采用随机点模型时,节点的移动速度存在较大的起伏,出现大幅度转向的概率也较大,即节点运动的时间相关性很差,不能很好地逼近真实节点的运动状况;当逻辑中心采用高斯-马尔可夫模型时,节点的速度大小变化趋于平稳,出现大幅度转向的概率也相对减小,节点运动的时间相关性得到较大的改善。

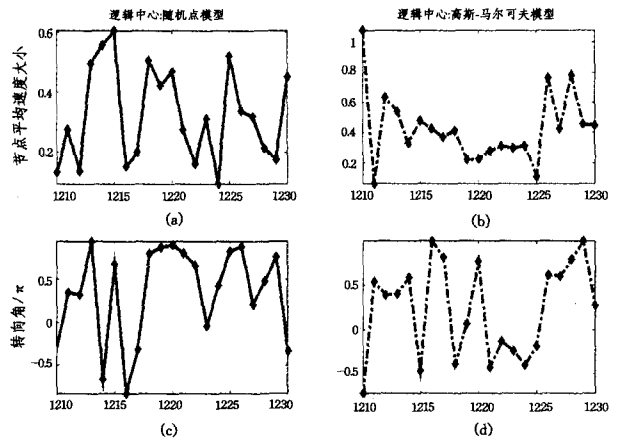


图8 参考点群组移动模型的时间相关性

#### 3.2.4 节点相关性

图9(a)和(b)分别显示了逻辑中心采用随机点模型和高斯-马尔可夫模型时,任意两个节点的运动轨迹。从图9可以看到,逻辑中心使用随机点模型时,节点运动轨迹没有相关性,不能很好地反映群组内节点的运动状态和组织关系;使用高斯-马尔可夫模型时,节点运动轨迹表现出了明显的相关性,能更好地反映群组的运动状态和组织关系。

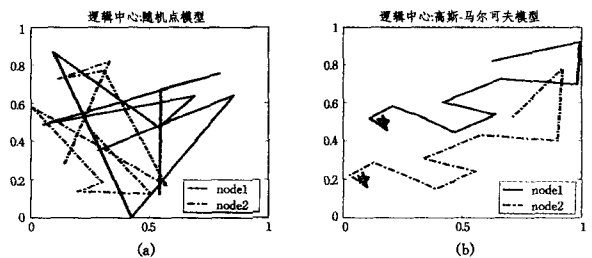


图9 任意两个节点的运动轨迹

**结束语** 通过对指数相关模型和参考点群组移动模型进行的各方面的仿真和研究,可知这两种移动模型各有优劣,适用于不同的工作场景。

指数相关模型存在节点聚集和速度衰减现象,适用于短时间仿真,在此场景下:参数 $\sigma$ 和 $\tau$ 的比值越小,模型的时间相关性越强,速度和方向的改变越平稳,对应节点和网络的移动变化越缓慢;反之,时间相关性越弱,对应节点和网络的运动状态变化越剧烈。因此,在短时间仿真中,可以通过设置这两个参数,很好地表征节点和群组的运动状态。

参考点群组移动模型中不存在节点聚集或速度衰减现象,可用于长时间的仿真。当逻辑中心使用随机点模型时,节点之间不具有相关性,而且节点的时间相关性不好,不能很好地逼近真实节点的运动状态。当逻辑中心使用高斯-马尔可夫模型时,节点的运动轨迹既有随机性,又体现出了群组内节点的相关性;同时,节点的速度起伏趋于平缓,时间相关性得到较大改善,能够更好地逼近现实节点的运动状态。因此,可以根据不同的情况,选择逻辑中心所使用的模型,以很好地反映群组内节点的运动状态和组织关系。

### 参考文献

[1] 张衡阳,许丹,刘云辉,等.一种平滑高斯半马尔可夫无线传感器网络移动模型[J].软件学报,2008,19(7):1707-1715

- [2] 董超,杨盘龙,田畅. 一种 Ad Hoc 网络组移动模型[J]. 系统仿真学报,2006,18(7):1879-1883
- [3] 石丛军,任清华,郑博,等. MANET 双层群节点移动模型设计与研究[J]. 系统仿真学报,2009,21(22):7139-7142
- [4] Liu Hui,Zhang Jun. High Dynamic Adaptive Mobility Network Model and Performance Analysis [J]. Science in China Series F: Information Sciences,2008,51(8):1154-1166
- [5] Liang Ben, Zygmunt H. Predictive Distance-based Mobility Management for PCS Networks [J]. IEEE / ACM Trans on Networking,2003,11(5):718-732
- [6] Dong Chang, Yang Pan-long, Tian Chang. Group mobility model for ad hoc network[J]. Journal of System Simulation,2006,18(7):1879-1883
- [7] Wang Ka-ren, Li Bao-chun. Group Mobility and Partition Prediction in Wireless Ad-hoc Networks[C]//Proc. of the IEEE Int'l Conf. on Communications (ICC2002). NewYork: IEEE Press, 2002:1017-1021
- [8] Li Hui, Yu D. Influence of Mobility Models on Node Distribution in Ad-hoc Network[C]//Proceeding of ICCT 2003. 2003: 985-989
- [9] Royer E, Melliar-smith P, Moser L. An Analysis of the Optimum Node Density for Ad-hoc Mobile Networks[C]//Proceeding of the IEEE International Conference on Communications (ICC). 2001:857-861
- [10] Yoon Jung-keun, Liu Ming-yuan, Brian N. Random Waypoint Considered Harmful[C]//IEEE. 2003:1312-1321
- [11] Yoon Jung-keun, Liu Ming-yuan, Brian N. Sound mobility models[C]//ACM, MobiCom,2003:205-216
- [12] 彭辉,沈林成,卜彦龙,等. 一种 AdHoc 网络群组移动模型[J]. 软件学报,2008,19(11):2999-3010
- [13] 刘宴涛,王雪冰,秦娜. 无线自组网移动性建模技术[M]. 北京: 电子工业出版社,2012

(上接第 146 页)

3. 表 2 中,在使用 RANSAC 方法消除误匹配时,正确率不但没有提高,反而略有下降,这与 RANSAC 方法的原理有关,由于方法中的特征点的选取存在随机性,因此不能保证每一次的实验都能得到理想结果。

4. 在使用 PLS 方法消除误匹配时,选取不同的阈值,匹配效果也会不同。在相同条件下, $T$  分别取平均数和中位数时,得到的结果是有差异的。虽然  $T$  取平均数时匹配点对数较多,但是会受到极端数据的影响,造成严重的误匹配,使得结果不稳定。而  $T$  取中位数时虽然也存在误匹配,但匹配结果相对稳定,因此选取中位数作为设定阈值效果更好。

5. 表 2 加入颜色不变量信息,与表 1 传统的 SIFT 算法相比较,此时的匹配点对数减少了,但匹配正确率有所改进,匹配效果更好。

**结束语** 传统的 SIFT 算法在匹配颜色结构相似的特征点时容易产生误匹配,使得最终的匹配结果不准确。针对此不足,本文引入颜色不变量生成彩色描述子,并借助形状上下文算法生成形状描述子,把这两种描述子级联构成一个新的联合描述子,并通过定义的联合距离对特征点进行匹配,得到初始匹配对。匹配结果中仍可能存在误匹配,所以我们采用基于偏最小二乘法的剔除误匹配方法,利用 SIFT 匹配后的特征点对的位置信息,通过偏最小二乘方法进行重新描述,结合定义的影响函数,将影响大的特征点对剔除,以实现精确匹配。实验部分采用不同的匹配算法对相同图像进行匹配,得到对应的图像匹配效果图,进而对实验结果做了总结分析,证明本文算法具有一定的有效性和可行性。与其他几种匹配算法相比较,本文所提算法得到的实验结果中,虽然匹配点对数减少,但匹配准确率并未降低。

## 参 考 文 献

- [1] Azad P, Asfour T, Dillmann R. Combining Harris Interest Points and the SIFT Descriptor for Fast Scale-Invariant Object Recognition[C]//Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. 2009:4275-4280
- [2] Rassem T H, Khoo B E. Object Class Recognition using Combination of Color SIFT Descriptors[C]//Proceedings of IEEE Imaging Systems and Techniques (IST). 2011:290-295
- [3] Geng Cong, Jiang Xu-dong. SIFT Features for Face Recognition [C]// Proceedings of IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology (ICCSIT). 2009:598-602
- [4] Bastanlar Y, Temizel A, Yardimci Y. Improved SIFT matching for image pairs with scale difference [J]. Electronics Letters, 2010,46(5):1-2
- [5] Huang Lei, Li Zhen. Feature-based image registration using the shape context [J]. Remote Sensing, 2010,31(8):2169-2177
- [6] 杨恒,王庆. 一种新的局部不变特征检测和描述算法[J]. 计算机学报,2010,33(5):935-944
- [7] Geusebroek J-M, van den Boomgaard R, Smeulders A W M. Color Invariance[C]// Proceedings of IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2001:1338-1350
- [8] 肖潇,王宪保,王守觉. 一种边缘点特征图像配准算法[J]. 小型微型计算机系统,2012,33(11):622-627
- [9] Wold H. Path models with latent variables: The NIPALS approach [C]// Proceedings of Quantitative Sociology: International Perspectives on Mathematical and Statistical Model Building. 1975:307-357
- [10] Salve S G, Jondhale K C. Shape Matching and Object Recognition Using Shape Contexts[C]//Proceedings of IEEE Computer Science and Information Technology (ICCSIT). 2010:471-474
- [11] 延伟东,田铮,温金环,等. 基于偏最小二乘的 SIFT 误匹配校正方法[J]. 计算机应用,2012,32(5):1255-1257,1268
- [12] 刘岩,吕肖庆,秦叶阳,等. 尺度与颜色不变性图像特征描述[J]. 小型微型计算机系统,2012,33(10):2297-2302
- [13] Salve S G, Jondhale K C. Shape Matching and Object Recognition Using Shape Contexts[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology (ICCSIT). 2010:471-474
- [14] Abdel-Hakim A E, Farag A A. CSIFT: A SIFT Descriptor with Color Invariant Characteristics[C]//Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2006:1-6