

Ad Hoc 网络中城市街道移动模型的概率模型检测*

Probabilistic Model Checking of City Street Mobility Model in Ad Hoc Network

文 英, 董荣胜

WEN Ying, DONG Rong-sheng

(桂林电子科技大学计算机系, 广西桂林 541004)

(School of Computer Science, Guilin University of Electronic Technology, Guilin, Guangxi, 541004, China)

摘要:应用概率模型检测技术,在 Manhattan 移动模型和街道单元移动模型的基础上,提出城市街道移动模型,将其建模成离散时间马尔可夫链 DTMCs,然后运用概率模型检测工具 PRISM 分析节点位置及移动情况对 Ad Hoc 网络通信的影响。

关键词:Ad Hoc 网络 城市街道移动模型 PRISM 概率模型检测

中图分类号:TP393 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-7378(2006)04-0252-04

Abstract: Based on Manhattan mobility model and street unit mobility model, a city street mobility model is proposed for Ad Hoc network. A probabilistic finite state machine and Discrete Time Markov Chains (DTMCs) for this mobility model are established using probabilistic model checking. The influence of locations of nodes and mobility on the communication in Ad Hoc network is analyzed with probabilistic model checking tool-PRISM.

Key words: Ad Hoc network, city street mobility model, PRISM, probabilistic model checking

Ad Hoc 网络是一种无固定结构和中心控制的对等(Peer to Peer)网络。不同于传统的固定网络,整个 Ad Hoc 网络没有固定的基础设施,各移动节点地位平等,兼具主机和路由器的功能。两个移动节点之间的通信往往借助于若干个其它移动节点所形成的多跳(Multi-Hop)路径来完成。

由于节点的移动特性,拓扑随之发生变化,要求进行频繁的路由再计算,导致计算量的激增及通信控制开销的增加。为了解决和克服节点移动所带来的上述问题,就必须首先研究移动节点的移动特性。不同的移动模型会对协议的性能和结果、网络容量和实现成本产生很大影响。因此,如何正确地选择移动模型是系统设计及网络实现中所要考虑的关键问题之一^[1~3]。

移动模型用于描述移动节点的运动情况,包括移动节点的位置、速度和加速度是如何随时间变化而变化的。对移动模型的研究主要有如下两个方向:第一个方向(直到 2000 年之前为主要研究方向)是设计新的模型来更好地模拟现实场景;第二个方向(在后来成为主流)是分析这些模型,包括分析移动模型的统计性质,研究移动模型对路由协议性能的影响。根据不同的参数及分类方法,可以将移动模型划分为多种。如根据节点移动与过去历史、邻居以及所处环境的关系将模型划分为随机模型(如应用较为广泛的随机步行、随机路点移动模型)、具有暂时依赖的移动模型(如高斯-马尔可夫移动模型)、具有空间依赖的移动模型(如参考点移动模型)以及具有地理限制的移动模型(如 Manhattan、街道单元移动模型);根据节点移动行为的相互关系将其划分为代表独立移动节点的实体移动模型(如随机路点移动模型)和代表相互关联节点的组移动模型(参考点移动模型、游牧团体移动模型)。目前主要是基于仿真模拟来分析各移动模型^[3~6]。

收稿日期:2006-06-09

作者简介:文 英(1983-),女,广西桂林人,硕士研究生,主要从事形式化技术、计算机网络等研究。

* 广西自然科学基金(编号:0542052)资助项目。

在 Ad Hoc 网络的研究中,如何有效地选择与现实情况相符合的移动模型是研究路由协议的关键所在。不同的移动模型会对协议的性能和结果产生很大影响,掌握节点的移动情况及位置信息有助于分析节点间通信情况,提高路由协议的效率,改善网络性能。因此,选择合适的移动模型是开始进行协议实现和模拟、分析检测之前的一件非常重要的工作。随着城市移动无线网络里笔记本电脑、PDA 等的广泛使用,有必要对围绕城市街道进行移动通信的移动情况进行分析。本文在 Manhattan 和街道单元移动模型的基础上提出了城市街道移动模型,并使用概率模型检测工具 PRISM 对其进行了分析。

1 城市街道移动模型的分析与建模

1.1 城市街道移动模型描述

在 Manhattan 移动模型中,节点在所定义地图的街道中进行移动。使用这一模型可以描述城市区域里便携设备间移动通信的情况。Manhattan 移动模型中所使用的地图如图 1 所示。地图由东西方向的水平街道和南北方向的垂直街道组成(类似于 Manhattan 的街道)。移动节点可以沿着地图中水平和垂直网格进行移动。在水平和垂直街道的交叉点处,移动节点根据一定的概率选择向左、向右转或继续向前(保持不变)。移动节点在某一时刻的速度与前一次的速度相关。另外,节点的速度也受同一车道上前一个移动节点速度的影响^[3,4,6]。

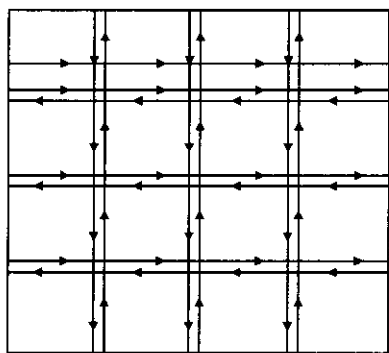


图 1 Manhattan 移动模型所使用的地图

街道单元模型包括高速公路、有交通灯控制的交通以及有高低优先级控制的街道这三个子模型。出于安全驾驶的考虑,街道单元模型根据街道特点,对街道上汽车即移动节点的速度进行了限制^[2,3,6]。

根据上述两个模型,考虑到城市街道实际交通的典型情况,我们建立城市街道移动模型如下:令垂直街道为南北方向,水平街道为东西方向,每一方向上有 2 个车道,共 4 个车道;为了便于描述,将街道

假设成规则网格状,建筑物用矩形块来代替。直观来看,这一移动模型类似于城市街道十字路口如图 2 所示(图中 s_0 所处的位置为南北方向 S_N,将在下文概率有限状态自动机中定义)。

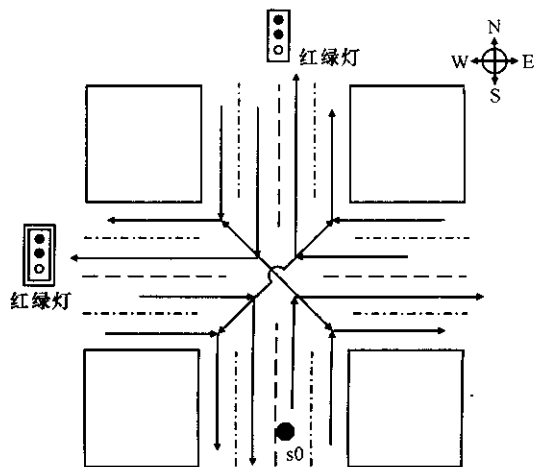


图 2 双向 4 车道城市街道十字路口

→: 车道方向; ----: 方向分隔线; - · - · -: 车道分隔线; ·: 十字路口

1.2 城市街道移动模型的分析与建模

为了简化建模,假设模型区域里共有 N 个移动节点,随机分布在模型区域的各车道上,每个节点具有相同的信号传输范围和相同的运动速度,其速度是人员-车辆级的,以保证单位时间内任何两个节点间的距离变化不超出这一区域。我们建立的模型是离散时间里的有限步执行,而且由于系统的有限状态转换是在特定情况下,按照不同的概率进行的,并没有非确定行为,所以建模为离散时间马尔可夫(DTMCs)模型。

建立状态间转换的概率有限状态自动机 M 。 M 是一个五元组,且 $M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$, 其中:

(1) $Q = \{q_0, q_1, \dots, q_7\} = \{S_N, E_W, W_E, N_S, S_N \text{ stop}, E_W \text{ stop}, W_E \text{ stop}, N_S \text{ stop}\}$ 是有限状态集合,其中状态 S_N 表示由南至北方向,状态 E_W 表示由东至西方向,状态 W_E 表示由西至东方向,状态 N_S 表示由北至南方向,状态 $S_N \text{ stop}$ 表示南北方向时停止运动,状态 $E_W \text{ stop}$ 表示东西方向时停止运动,状态 $W_E \text{ stop}$ 表示西东方向时停止运动,状态 $N_S \text{ stop}$ 表示北南方向时停止运动。

(2) $\Sigma = \{\sigma_0, \sigma_1, \dots, \sigma_5\} = \{\text{keep}, \text{left}, \text{right}, \text{stop}, \text{move}\}$ 是有限输入集合。

(3) $\delta: Q \times \Sigma \rightarrow Q$ 是转移函数,在此概率有限状态自动机中,输入所引起的相应转换满足一定概率 δ 。定义为 $q' = \delta(q_i, \sigma_i, p)$, 表示状态 q_i 输入 σ_i 时以 p

的概率转移到 q' , 其中 $0 \leq p \leq 1$ 。当节点处于图 2 所示 s_0 即 S_N 状态时:

$S_N = \delta(S_N, \text{keep}, 1/2)$ 表示节点以 1/2 的概率保持(keep)当前运动状态;

$E_W = \delta(S_N, \text{left}, 1/6)$ 表示节点以 1/6 的概率向左移动(left)从而转移到 E_W 状态;

$W_E = \delta(S_N, \text{right}, 1/6)$ 表示节点以 1/6 的概率向右移动(right)从而转移到 W_E 状态;

$S_N \text{ stop} = \delta(S_N, \text{stop}, 1/6)$ 表示节点以 1/6 的概率在当前状态停止运动(stop)从而转移到 $S_N \text{ stop}$ 状态。各状态的转移情况如图 3 所示。

(4) $q_0 \in Q$, 是初始状态。在此模型中, 由于初始时节点随机分布于街道中, 故 Q 中任一状态均可作为初始状态。

(5) $F \subset Q$, 是终结状态。此模型是对离散时间里的有限步转移进行建模, 又由于初态任意, 故 Q 中任一状态均可作为终结状态。

根据上述假设及定义, 城市街道移动模型具有如下形式的转移概率矩阵:

$$P = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{6} & \frac{1}{6} & - & \frac{1}{6} & - & - & - \\ \frac{1}{6} & \frac{1}{2} & - & \frac{1}{6} & - & \frac{1}{6} & - & - \\ \frac{1}{6} & - & \frac{1}{2} & \frac{1}{6} & - & - & \frac{1}{6} & - \\ - & \frac{1}{6} & \frac{1}{6} & \frac{1}{2} & - & - & - & \frac{1}{6} \\ \frac{1}{2} & - & - & - & \frac{1}{2} & - & - & - \\ - & \frac{1}{2} & - & - & - & \frac{1}{2} & - & - \\ - & - & \frac{1}{2} & - & - & - & \frac{1}{2} & - \\ - & - & - & \frac{1}{2} & - & - & - & \frac{1}{2} \end{pmatrix}$$

其中, 矩阵第 1~8 行(列)分别对应状态 $S_N, E_W, W_E, N_S, S_N \text{ stop}, E_W \text{ stop}, W_E \text{ stop}, N_S \text{ stop}$, “-”表示行列状态间不存在这一转移。该转移概率矩阵描述了从行中某一状态转移到列中某一状态的概率, 每一行的概率之和均为 1。

状态间转换的概率有限状态自动机 M 如图 3 所示(初态及终态如(4)(5)所述, 不再标出)。

从图 3 中可以看出, 处于某一状态(如 S_N)的节点, 保持原来运动情况的概率较大为 1/2, 而向左转、向右转以及停止运动的概率各为 1/6。

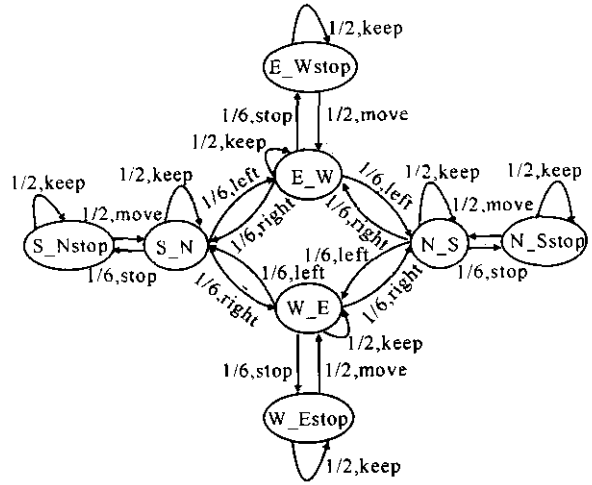


图 3 节点移动的概率有限状态机模型

1.3 城市街道移动模型的部分代码

将 M 转换为 PRISM 输入, 部分代码如下:

```

probabilistic //模型的类型是离散时间马尔可夫链 DTMCs
const r; //移动节点所处的状态
const t; //根据时刻 t 来分析测试模型
const k;
const j; //k, j 为通信的两个节点的初始状态
module node1
    s1:[0..7] init k; //共有 8 个状态, 初始状态为 k
    //S_N 编码为 0, E_W 编码为 1, W_E 编码为 2, N_S 编码为 3
    //S_N stop, E_W stop, W_E stop, N_S stop 分别编码为 4, 5, 6, 7
    t1:[0..180] init 0; //考虑的时间为 180 个单位
    []s1=0 -> 1/2:(s1'=0) & .(t1'=min(t1+1, 180)) + 1/6:(s1'=1) & .(t1'=min(t1+1, 180)) + 1/6:(s1'=2) & .(t1'=min(t1+1, 180)) + 1/6:(s1'=4) & .(t1'=min(t1+1, 180));
    ...
    []s1=7 -> 1/2:(s1'=3) & .(t1'=min(t1+1, 180)) + 1/2:(s1'=7) & .(t1'=min(t1+1, 180));
endmodule
module node2
    s2:[0..7] init j; //另一结点类似前一结点, 初始状态为 j
    ...
endmodule
    
```

2 模型检测

当通信的两节点处于相同或相似的位置状态时,可以认为这两个移动节点彼此相邻,并在较短的时间内相对静止,信号衰减少,因而其通信成功的概率较大。

在 t 时刻,考察 2 个移动节点通信成功的概率,其性质规约为 $P=? [true \cup (s1=r \& s2=r \& t1=t \& t2=t)]$,PRISM 分析结果如下:

2.1 r 不变时, k,j 随 t 的变化情况

如图 4 所示, $r=7$ 时,在开始的一段时间里,移动节点间通信成功的概率逐渐增大。与其它情况相比,初始状态为 $k=1, j=6$ 时,可以先达到 $r=7$ 的状态(参见图 3),故其概率较大;随着 t 的进一步增大,移动节点位置不断变化,彼此相邻的概率减小,故通信成功的概率逐渐减小。

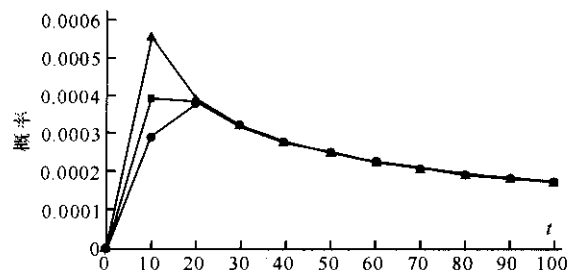


图 4 $r=7$ 时,具有不同初始状态 k,j 的移动节点在 t 时刻通信成功的概率

■: $k=0, j=0$; ▲: $k=1, j=6$; ●: $k=4, j=4$

2.2 t 不变时, k,j 随 r 的变化情况

由图 5 可知,随着 r 的增大,由于节点的移动使其所处的状态频繁发生变化,移动节点通信成功的概率变化较大,总体趋于减小。

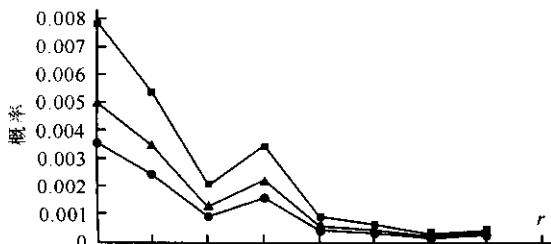


图 5 $k=0, j=0$ 且 t 不变时移动节点到达状态 r 时通信成功的概率

■: $t=20$; ▲: $t=50$; ●: $t=100$

2.3 k,j 随 r,t 的变化情况

由图 6 可知,初始状态为 $k=0, j=7$ 时,随着 r 的增大,节点通信成功的概率总体趋于减小。

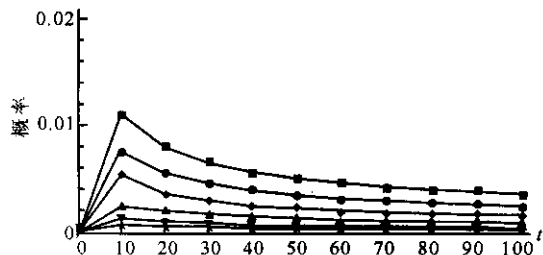


图 6 $k=0, j=7$ 时移动节点在 t 时到达不同 r 时通信成功的概率

■: $r=0$; ●: $r=1$; ▲: $r=2$; ◆: $r=3$;
▼: $r=4$; ★: $r=5$

3 结束语

本文应用概率模型检测技术,在 Manhattan 移动模型和街道单元移动模型的基础上,提出了城市街道移动模型,将其建模成离散时间马尔可夫链 DTMCs,然后运用概率模型检测工具 PRISM 分析了节点移动情况及位置对 Ad Hoc 网络通信的影响。

参考文献:

- [1] ZHENG QUNWEI, HONG XIAOYAN, SIBABRATA RAY. Recent advances in mobility modeling for mobile Ad Hoc network research: proceedings of the 42nd Annual Southeast Regional Conference [C]. April, 2004: 70-75.
- [2] MARKOULIDAKIS J G, LYBEROPOULOS G L, TSIRKAS D F, et al. Mobility modelling in third generation mobile telecommunication systems[J]. IEEE Personal Communications, 1997, 4(3): 41-56.
- [3] BAI F, HELMY A. A survey of mobility modeling and analysis in Wireless Adhoc networks[M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2004: 1-30.
- [4] BAI F, SADAGOPAN N, HELMY A. Important: a framework to systematically analyze the impact of mobility on performance of routing protocols for ad hoc networks: proceedings IEEE Infocom. IEEE[C]. April, 2003: 825-835.
- [5] CAMP T, BOLENG J, DAVIES V A. A survey of mobility models for Ad Hoc network research [J]. Wireless Communication and Mobile Computing, 2002, 2(5): 483-502.
- [6] DAVIES V A. Evaluating mobility models within an ad hoc network[Z]. Master's thesis. The Faculty and the Board of Trustees of the Colorado School, 2000.

(责任编辑: 韦廷宗)