

基于本地信息的移动模型检测框架

彭敏, 洪佩琳, 卢汉成, 薛开平

(中国科学技术大学 电子工程与信息科学系, 安徽 合肥 230027)

摘要: 为了获取能够辅助路由决策的实时移动模型信息, 提出了一种基于本地信息的移动模型检测框架。利用邻居发现机制获取本地连通性信息并生成连通性矩阵, 在提取连通性矩阵中节点相对位置变化规律的基础上, 实时地检测节点移动模型。仿真结果表明, 该检测框架能在不依赖辅助设备的情况下达到较好的检测效果。

关键词: 延迟容忍网络; 移动模型; 邻居发现; 连通性矩阵

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-436X(2010)11-0073-07

Framework for mobility model detection based on local information

PENG Min, HONG Pei-lin, LU Han-cheng, XUE Kai-ping

(Department of Electronic Engineering and Information Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China)

Abstract: In order to get the real-time mobility model information which could be exploited to assist routing decision, a framework for mobility model detection based on local information (FMDL) was proposed. In FMDL, each node collected the local information on connectivity through neighbor discovery mechanism and generated the connectivity matrix. The changing rule of relative position could be extracted from the connectivity matrix, and then the real-time mobility model was detected. The simulation results show that FMDL achieves high detection rate without any auxiliary equipment.

Key words: delay tolerant network; mobility model; neighbor discovery; connectivity matrix

1 引言

在延迟容忍网络 (DTN, delay tolerant network) 中, 节点分布较为稀疏, 导致端到端路径不一定存在, 为了完成消息投递, 需要利用节点的移动性将消息逐跳向目的节点转发^[1]。在无线网络中, 通常用移动模型来描述节点的移动性特征。节点的移动模型可以是随机的 (如随机游走模型^[2,3]), 也可以是具有规律性的 (如群组移动模型^[4]和摆渡节点模型^[5])。

在实际网络中, 部分节点的移动是具有一定规律的, 例如, 在军事战术网络中, 士兵分为若干小组 (群组) 执行任务, 每个群组的成员一起运动, 这种移动模型即为群组移动模型; 无人机在战区飞行, 它可以为稀疏分布的节点传递消息, 就像渡口上的摆渡船只一样为其他节点服务, 这就是摆渡节点模型。在消息投递过程中, 如果能充分利用节点的移动模型信息, 将可以有效改善路由协议的性能^[6]。如图 1 所示, 网络中存在一个群组, 在群组中, 节点总是按近似的方向和速度运动; 节点 F 是一个摆

收稿日期: 2010-06-23; 修回日期: 2010-10-09

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (“863”计划) 基金资助项目 (2009AA012002); 国家自然科学基金重点项目 (60832005); 国家自然科学基金资助项目 (60772033, 60903216)

Foundation Items: The National High Technology Research and Development Program of China (863 Program) (2009AA012002); Major Program of the National Natural Science Foundation of China (60832005); The National Natural Science Foundation of China (60772033, 60903216)

渡节点，它按照虚线所示的路径频繁地访问某些节点。在图 1 中，如果节点 S 需向节点 D 发送消息，若无移动模型先验知识， S 将向其邻居节点 A 或 B 发送消息，这样的路由效率较为低下，甚至在极端情况下，由于节点的移动使网络拓扑呈现分割状态，造成消息无法投递。如果获得了节点的移动模型及其相关参数，源节点 S 将知道节点 F 会先后访问 S 和 D ，在延时符合要求的情况下，可以将消息通过 F 转发给目的节点 D 。显然，获得节点的移动模型及其相关参数之后，路由效率将得到明显提升。

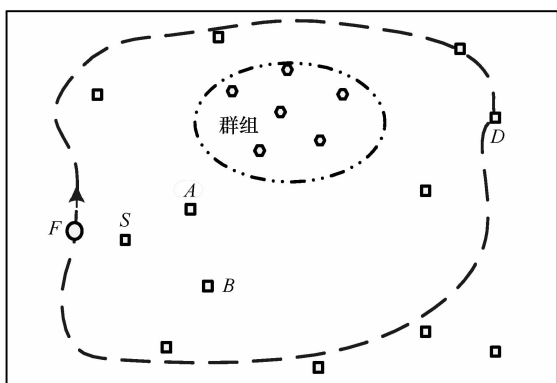


图 1 移动模型示例

然而，在实际网络中，节点并不一定能感知自身的移动模型，并且节点的移动模型及其相关参数可能会随着时间的推移发生变化。因此，为了能将移动模型用于路由决策，需要实时地检测移动模型，得到节点的移动模型及其相关参数。为此，本文提出一种基于本地信息的移动模型检测框架 (FMDL, framework for mobility model detection based on local information)。FMDL 的流程如图 2 所示。每个节点通过邻居发现机制获得与其他节点的连通性信息并保存为一个连通性矩阵 (C 矩阵)。 C 矩阵描述了本节点与其他节点的连通性状态随时间的变化，因此，如果能找出典型移动模型的连通性状态特征并在 C 矩阵中提取出来，就可以检测出节点的移动模型。在 FMDL 中，每个节点仅利用本地信息就可以检测移动模型，不需要额外的设备，易于实现且检测的复杂度较低。节点完成移动模型检测后，为了得到更为精确的移动模型参数，可以与其他节点交互移动模型检测结果。

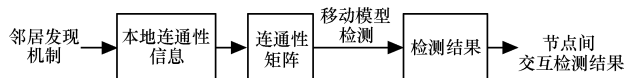


图 2 FMDL 流程

本文的后续部分安排如下：第 2 节介绍现有移动模型检测方法；第 3 节详细介绍基于本地信息的移动模型检测框架；第 4 节使用仿真实验对移动模型检测的性能进行评估；第 5 节是结束语。

2 现有移动模型检测方法

目前，关于移动模型检测的已有研究主要分为 2 类：一类是对较长时间内大量节点的历史轨迹信息进行处理，从而提取节点的移动模型^[7,8]，这种检测是非实时的，其目的一般是统计用户行为和改善网络覆盖；另一类为提取节点的移动模型^[9,10]以便辅助路由决策，这一类检测一般要求具有实时性。

2.1 非实时检测

移动模型的非实时检测依赖于节点的历史轨迹信息，现有研究通常采用 AP、GPS 等辅助设备获取节点的运动轨迹，并根据运动轨迹提取出节点的移动模型^[7,8]。

文献[7]指出可以根据移动节点的轨迹提取运动特性，并且提出了一种利用移动设备所接入的 AP 来估计用户物理位置的方法。由于网络中的 AP 位置是已知的，根据节点访问 AP 的次序便可以得到节点的大致运行轨迹，然后通过提取三角质心、卡尔曼滤波等方法就可以提取节点的移动模型。提取出移动模型后，文献[7]对节点的停留时间、运动速度和运动方向做了分析，根据与实际轨迹的对比，可以证明这样的提取方式是可行的。

文献[7]的移动模型提取是基于 AP 的，利用 GPS 同样可以达到提取移动模型的目的。文献[8]在上海城域车载网络(SUVnet)中的 4 000 多辆出租车上部署 GPS，利用 GPS 所得的位置信息提取车辆的移动模型。通过对 SUVnet 中车辆移动模型的提取，可以研究 SUVnet 的网络拓扑和连通度，为车载网络的组网提供参考。

2.2 实时检测

非实时方式的移动模型提取一般适用于统计用户行为，以便更好地部署无线网络接入点和改善网络覆盖。如果节点的移动模型保持不变，这样提取出的移动模型同样可以用于路由决策，但是，如果节点的移动模型随着时间的推移而发生变化，这种非实时方式检测出的移动模型将不再适用于辅助路由决策。为此，文献[9]和文献[10]提出了移动模型的实时检测方式。

文献[9]提出可以使用 hublist 获取热点地区的

节点列表，从而得到节点在一段时间内的大致运行轨迹并据此提取节点的移动模型。这种方法实现简单，并且可以达到较好的检测效果，但 hublist 的获取依赖于能标识地理位置的辅助设备(如 GPS、接入设备等)，因此其应用范围受到了一定的限制。

如果能获取网络中节点的链路容量信息，根据这一信息所提取的移动模型将具有很强的实时性，在文献[10]中，每个节点获取网络中所有节点的链路容量信息，通过对三维容量矩阵的处理来提取节点的移动模型，这样的方式可以很好地解决实时性问题。但是，获取三维容量矩阵需要节点间保持较为精确的时钟同步，这在 DTN 中很难实现，如果时钟同步问题处理不好，检测的精度将严重下降，同时，三维矩阵的获取和处理会带来巨大的开销。

可以看出，现有的移动模型实时检测方法在对辅助设备的依赖性、实现难度、算法的复杂性方面存在一定的局限性，为了能将移动模型用于 DTN 路由，需要一种易于实现的实时移动模型检测方法。

3 基于本地信息的移动模型检测

移动模型是对节点移动性特征的描述，因此，为了检测节点的移动模型，需要获取节点的位置变化规律。在无特殊辅助设备(如 GPS 等)时，很难获取节点的绝对位置信息，但是，通过本节点与其他节点的连通性状态信息，可以获知节点的相对位置。在路由协议中，消息的投递依赖于邻接关系，而邻接关系正是由节点的相对位置决定的。因此，利用相对位置信息来检测移动模型不仅能降低检测的难度，也符合路由协议的需求。

3.1 连通性矩阵

本文采用连通性矩阵(C 矩阵)来描述节点的连通性状态随时间的变化，并根据 C 矩阵反映出的节点相对位置变化规律检测节点的移动模型。

C 矩阵的获取过程如下。

1) 在时间间隔 Δ 内，通过路由协议的邻居发现机制，节点可以获知哪些节点与自身处于连通状态。如果把与本节点连通的节点用“1”表示，其他节点用“0”表示，便可以获得一个具有 N (N 为网络中节点的数量) 个元素的连通性列向量。

2) 当获得连续 L 个连通性列向量后，可构成一个 C 矩阵，它描述了节点在 T ($T=L\Delta$) 时间内与其他节点的连通性状态。

其中， Δ 为获取连通性信息的间隔，由于连通性信

息是通过邻居发现报文获得的，因此 Δ 就是邻居发现报文的周期； L 为 C 矩阵的列数， L 越大，则 C 矩阵所描述的连通性状态的时间跨度越大，也就越容易得到准确的检测结果，但是耗费的计算资源和存储资源也越多，因此， L 需要根据检测精度的要求和节点的存储处理能力选择合适的值。

连通性列向量的收集过程是在一直进行的，但在检测移动模型时可以只取最近 T 时间内的连通性信息。这一过程可以看作是一个大小为 L 的滑动窗口，只有在窗口范围内的连通性列向量才被列入 C 矩阵中，通过窗口向后滑动，可以实现 C 矩阵的更新并一直保持为 L 列。

节点 n 所得的 C 矩阵定义为

$$C_n = \{c_n(i, j)\}_{N \times L}, \quad i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, L$$

C 矩阵中的元素 $c_n(i, j)$ 表示节点 n 和节点 i 在 $t - T + j\Delta$ 时刻的连通性状态，其中， t 为当前时刻。 C 矩阵可以表征本节点与其他节点在一段时间内的连通性状态，因此，如果能把 C 矩阵中连通性状态的变化规律提取出来，便可以得到本节点的移动模型及其相关参数。

3.2 移动模型检测算法

在得到 C 矩阵之后，可以利用 C 矩阵中的连通性状态特性来进行移动模型检测。以群组移动模型和摆渡节点模型为例来介绍移动模型检测算法。

3.2.1 群组移动模型检测算法

群组移动模型的典型特征是一些节点作为一个整体一起运动，因此，群组内节点间相互连通的概率非常高。如果节点 n 与节点 i 属于同一群组，则在节点 n 的 C 矩阵中，第 i 行出现“1”的数量会明显高于非群组节点对应的行。

群组移动模型的检测算法如下。

输入： C 矩阵。

输出：本节点是否属于群组移动模型，哪些节点与本节点同属一个群组。

执行步骤：

1) 将 C 矩阵中的列向量相加，得到一个列向量 $R = \{r_i\}_{N \times 1}$ ；

2) 若 $r_i > \lambda L$ ，则节点 i 与本节点同属一个群组，否则不属同一群组；

3) 对 $1 \leq i \leq N$ ，重复步骤 2)。

其中， λ 为群组移动模型检测系数。完成检测后，如果有节点与本节点同属一个群组，则本节点属于

群组移动模型。

通过这样的检测, 不仅能检测本节点是否属于群组移动模型, 还可以得出哪些节点与本节点属于同一群组。

3.2.2 摆渡节点模型检测算法

摆渡节点的显著特征是, 它会依次访问某些特定节点。若节点 i 被摆渡节点 n 频繁访问, 则节点 n 与节点 i 在连通一段时间后, 会断开较长时间, 然后再重复这一过程。因此, 对摆渡节点模型的检测可以从 2 方面考虑: 一方面, 摆渡节点依次访问一些节点, 与每个节点连通的时间都不长, 因此每一行中“1”的数量都不多; 另一方面, 由于沿着相同或近似的路径运动, 摆渡节点 2 次访问节点 i 的时间间隔近似。需要注意的是, 摆渡节点并不一定要访问所有节点, 因此, 只要有 2 个以上节点符合第 2 条规律即可。

摆渡节点模型的检测算法如下。

输入: C 矩阵。

输出: 本节点是否属于摆渡节点, 哪些节点被摆渡节点有规律地访问。

执行步骤:

1) 将 C 矩阵中的列向量相加, 得到一个列向量 $R=\{r_i\}_{N \times 1}$;

2) 若 $r_i > \omega L$, 则本节点对节点 i 的访问不符合摆渡节点模型规律, 转向步骤 4); 若 $r_i \leq \omega L$, 转向步骤 3);

3) 检测 C 矩阵中第 i 行中连续“0”的长度(首尾出现的连续“0”除外), 如果出现多次连续“0”, 且连续“0”的长度近似, 则认为该行符合摆渡节点访问特性;

4) 对 $1 \leq i \leq N$, 重复步骤 2) 和步骤 3)。

其中, ω 为摆渡节点模型检测系数。如果 C 矩阵中有多行元素符合摆渡节点访问特性, 则可以判定为摆渡节点模型, 符合这一规律的行所对应的节点就是摆渡节点定期访问的节点。

使用统计学中的差异系数(标准差除以均值)来衡量连续“0”的长度是否近似。假设出现了 x 次连续“0”, 它们长度的均值为 μ 、标准差为 σ , 若差异系数 $\sigma/\mu < \rho$, 则认为连续“0”的长度近似。其中, ρ 为差异系数阈值。

由检测算法可以看出, 群组移动模型和摆渡节点模型检测算法的输入和步骤 1) 相同, 只需执行一次即可, 因此, 2 种模型的检测可以在同一框架下

进行, 这种方式可以有效地减少运算。

为了实现移动模型的实时检测, 可以每隔一定的时间执行一次检测, 检测的间隔可以根据本节点的需求而定。在检测移动模型时, 除了识别节点属于哪种移动模型外, 还将获取移动模型的相关参数, 如群组移动模型节点有哪些群组成员、摆渡节点定期访问哪些节点等, 这些参数能为路由决策提供参考。

3.2.3 其他移动模型检测

在群组移动模型和摆渡节点模型中, C 矩阵具有非常典型的连通性状态变化规律, 利用这一特征可以提取出移动模型及其相关参数。在其他移动模型中, 如果可以提取出唯一标识该移动模型的连通性状态变化规律, 则 FMDL 同样适用于检测该移动模型。

在实际网络中, 社区模型也是一种比较常见的移动模型。在大学校园内, 学生在上课和吃饭时分别在教室和食堂聚集, 而晚上则回到各自的寝室, 这样的聚集具有一定的社会规律性, 这种移动模型就是社区模型^[9,11]。对社区模型来说, 群组成员和聚合的地点会随时间变化, 但在一段时间内可以看作是群组移动模型。在社区模型中, 尽管群组成员会随时间变化, 但由于 C 矩阵是实时获取的, 因此 FMDL 同样适用于社区模型。

在摆渡节点模型中, 如果访问的周期完全固定, 便可以得到周期模型。由摆渡节点模型检测算法可以看出, 只需在检测时把差异系数阈值 ρ 设置得更严格就可使 FMDL 适用于周期模型的检测。

在随机游走模型中, 节点的运动是随机的, 对于这样的移动模型, C 矩阵中节点间的连通性状态毫无规律性, 每一行都不会出现很明显的持续连接。但这一特征并不能唯一标识随机游走模型, 其他随机性移动模型同样会表现出这一特征。在 FMDL 中, 可以将随机移动看作一种默认的节点移动方式, 并不需要一个额外的检测过程来检测随机游走模型。如果在连通性矩阵中找不出明显的规律性, 可以认为该节点的运动是随机的, 可能是随机游走模型, 也可能是随机路点模型等其他随机性移动模型。对于不能找出明显运动规律的节点, 无论它符合随机游走模型还是随机路点模型, 在辅助消息转发决策方面并不重要, 因此, 在用于路由协议时并不需要对这些随机性移动模型加以严格区分。

3.3 信令开销和算法复杂性分析

在 FMDL 中，节点利用本地信息检测移动模型，每个节点检测出移动模型后，可以通过交互检测结果的方式得到更为精确的移动模型参数。因此，FMDL 的信令开销需要从 2 方面考虑：本地信息收集开销和结果交互开销。

由于本地连通性信息的收集基于路由协议的邻居发现机制，因此并不需要额外的信令开销；在结果交互方面，可以利用路由协议的已有信令（如邻居发现等）来完成，这些交互信令是已经存在的，额外的开销仅仅是增加少量移动模型信息。可见，FMDL 的信令开销不大。

在算法复杂性方面，为了检测移动模型，需要执行对每一行的元素求和以及统计连续“0”的数量。两者的复杂性均为 $O(NL)$ 。因此，FMDL 算法的复杂性为 $O(NL)$ ，其中， N 为网络中的节点数量， L 为 C 矩阵的列数。

4 仿真结果和讨论

为了评估移动模型检测的效果，采用 NS2 对 FMDL 进行仿真。在仿真中，40 个节点部署在 $(1000 \times 1000)\text{m}^2$ 的网络中，其中，节点 0~13 以较低的速度运动，节点 14 为频繁访问节点 0~13 的摆渡节点，节点 15~20 和节点 21~26 分别为 2 个群组，其他节点在网络中随机游走。节点的通信范围设置为 50m，所采用的 MAC 协议为 IEEE 802.11。

仿真时间为 1000s，每 100s 执行一次移动模型检测，检测参数 $\Delta=1\text{s}$ 、 $L=200$ 。仿真重复进行 10 次，每次仿真中节点的运动参数有所改变，最后对 10 次仿真的结果取平均值。

本文使用检测率和误检率来衡量移动模型检测的性能。其中，检测率定义为正确检测为该移动模型的节点数与符合该移动模型的节点总数的比值；误检率是指被错误地检测为该移动模型的节点数与检测为该移动模型的节点总数的比值。

4.1 群组移动模型检测性能

在仿真中，采用参考点群组移动模型 (RPGM, reference point group mobility model)^[4]来实现节点的群组运动。在 RPGM 中，定义了一个虚拟的逻辑中心，可以用这个逻辑中心的运动来表示整个群组的运动。群组内的每个节点都存在一个参考点，这些虚拟的参考点在逻辑中心附近运动，而群组内的节点又在各自的参考点附近运动。因此，群组内节

点的运动可以分解为 2 种运动：跟随群组的运动和相对于逻辑中心的运动。

为了描述群组内节点相对于逻辑中心的运动，RPGM 定义了 2 个参数 R_1 和 R_2 ， R_1 表示群组的半径，即群组内节点的参考点围绕逻辑中心运动时允许的最大半径； R_2 表示每个节点围绕其参考点运动时允许的最大半径。 R_1 可以描述群组内节点的紧密程度， R_1 越小则群组成员联系越密切； R_2 描述了群组成员相对位置的变化程度， R_2 越大则说明群组成员相对于群组逻辑中心的位置变化越剧烈。

图 3 描述了群组移动模型的检测率和误检率随检测参数 λ 的变化。由图 3 可以看出， $0.2 < \lambda < 0.6$ 时，在 2 组不同的 RPGM 参数下都能很好地检测出所有的群组移动模型节点。如果 λ 过大，检测率会明显下降，这是由于此时的检测条件过于严格，以致群组内的某些节点也不满足检测条件；而如果 λ 太小，则检测算法中对群组移动模型的检测条件过于宽松，导致误检率较高。

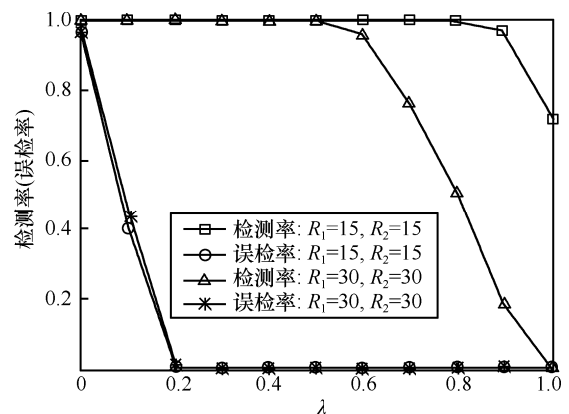


图 3 群组移动模型检测性能

在检测群组移动模型时，群组本身的 RPGM 参数也会影响检测结果。当 R_1 和 R_2 较小时，群组内节点联系更为密切，且节点间的相对位置变化也较小，因此在 C 矩阵中连通性特性表现得更为明显，被检测出来的可能性也就更大。

在实际使用中，为了确保不发生误检，可以将 λ 设置得较为严格，例如 0.4，此时需要节点间的连通时间占总时间的 40% 以上才判定为同属一个群组，这样可以较为彻底地过滤非群组节点。当群组内节点的相对位置变化较为剧烈时，对某个节点来说，可能会将某些群组成员漏检，但是通过节点间的交互可以获得更为精确的群组移动模型参数，即与本节点同属一个群组的节点信息。因此，即使检测参

数 λ 设置得较为严格, 也可以通过交互检测结果的方式加以纠正。

4.2 摆渡节点模型检测性能

从检测算法可以看出, 摆渡节点模型的检测与参数 ρ 和 ω 有关, 本文分别为这 2 个参数设置不同的值并进行了仿真。

图 4 描述了参数 ρ 对摆渡节点模型检测结果的影响。在摆渡节点模型检测算法中, 参数 ρ 用于判断节点访问某个特定节点时的访问间隔是否近似, ρ 越小则检测条件越严格。当 $\rho=0$ 时, 需要严格符合周期模型才能被检测出, 仿真中的摆渡节点并非严格周期的, 因此检测率为 0。当 $\rho>0.7$ 时, 即使访问的间隔相差很大也符合 $\sigma/\mu<\rho$ 这一检测条件, 因此误检率明显上升。

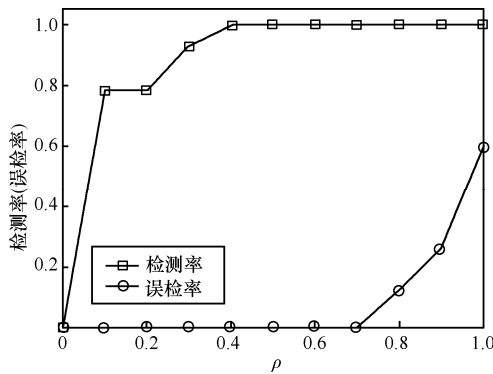


图 4 摆渡节点模型检测性能随 ρ 的变化($\omega=0.5$)

在实际网络中, 摆渡节点访问其他节点的间隔有所变化, 但变化的幅度一般不会达到 2 倍, 因此将参数 ρ 设置成 0.6 左右的值就可以达到较好的检测效果; 对于周期模型, 由于访问间隔几乎保持不变, 需要将参数 ρ 设置得较为严格, 例如 0.1 或更小。

在检测算法中加入参数 ω 是为了先进行一次筛选, 对于不可能是摆渡节点模型的节点不再检测其访问间隔, 从而减少不必要的运算。参数 ω 的引入本身不会提高检测率, 但是, 如果参数 ω 设置过小, 则可能将某些原本属于摆渡节点模型的节点排除在外而导致漏检。在图 5 中, 当 $\omega<0.2$ 时, 排除了部分属于摆渡节点模型的节点, 导致检测率下降。

虽然引入参数 ω 不会提高检测率, 但是可以利用 ω 排除一些不可能是摆渡节点的情况, 对这些节点不需要继续判断其访问间隔。 ω 的选择应该与群组移动模型检测参数 λ 相匹配 (例如 $\omega=\lambda$), 这样既可以达到减少运算的目的, 又不会造成漏检。

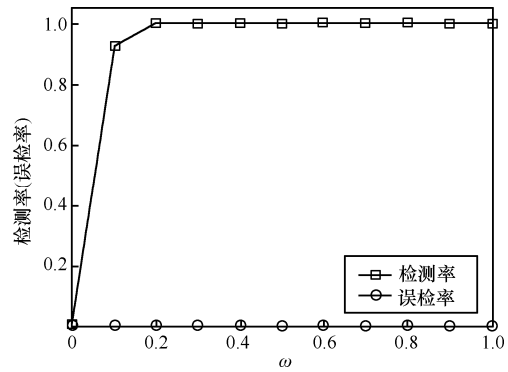


图 5 摆渡节点模型检测性能随 ω 的变化($\rho=0.5$)

5 结束语

在 DTN 中, 移动模型对路由协议性能有较大影响, 如果能实时获取移动模型信息, 将有助于节点做出最佳路由决策。本文提出了一种基于本地信息的移动模型检测框架 (FMDL)。在 FMDL 中, 每个节点通过邻居发现机制收集本地连通性信息并得到一个连通性矩阵 (C 矩阵), 如果能提取出 C 矩阵中连通性状态的变化规律, 便可检测出节点的移动模型。通过本地连通性信息和 C 矩阵的更新, 可以实现对移动模型的实时检测。为了评估 FMDL 的性能, 对 2 种典型的移动模型 (群组移动模型和摆渡节点模型) 进行了仿真。仿真结果表明, FMDL 能在不依赖辅助设备的情况下达到较好的检测效果。

参考文献:

- [1] BURLEIGH S, HOOKE A, TORGERSON L, *et al.* Delay-tolerant networking: an approach to interplanetary Internet[J]. IEEE Communications Magazine, 2003, 41(6): 128-136.
- [2] CAMP T, BOLENG J, DAVIES V. A survey of mobility models for ad hoc network research[J]. Wireless Communications and Mobile Computing (WCMC), 2002, 2(5): 483-502.
- [3] 赵建立, 商瑞强, 孙秋霞等. Ad hoc 网络运动模型及其连通强度相关性的研究[J]. 通信学报, 2006, 27(1): 119-123.
ZHAO J L, SHANG R Q, SUN Q X, *et al.* Study of the relationship between mobility model of ad hoc network and its connectivity[J]. Journal on Communications, 2006, 27(1): 119-123.
- [4] HONG X, GERLA M, PEI G, *et al.* A group mobility model for ad hoc wireless networks[A]. 2nd ACM International Workshop on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems[C]. Seattle,

Washington, United States, 1999. 52-60.

- [5] ZHAO W, AMMAR M, ZEGURA E. A message ferrying approach for data delivery in sparse mobile ad hoc networks[A]. ACM MobiHoc[C]. Tokyo, Japan, 2004. 187-198.
- [6] ALSHANYOUR A, BAROUDI U. Random and realistic mobility models impact on the performance of bypass-AODV routing protocol[A]. 1st IFIP Wireless Days[C]. Dubai, United Arab Emirates, 2008. 1-5.
- [7] KIM M, KOTZ D, KIM S. Extracting a mobility model from real user traces[A]. IEEE INFOCOM[C]. Barcelona, Spain, 2006. 1-13.
- [8] HUANG H, LUO P, LI M, *et al.* Performance evaluation of SUVnet with real-time traffic data[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2007, 56(6): 3381-3396.
- [9] GHOSH J, PHILIP S J, QIAO C. Sociological orbit aware location approximation and routing (SOLAR) in MANET[J]. Ad Hoc Networks, 2007, 5(2): 189-209.
- [10] 周晓波, 张幸, 彭敏等. DTN 中基于泛模板运算的运动模式发现机制[J]. 电子与信息学报, 2009, 31(2): 472-475.
ZHOU X B, ZHANG X, PENG M, *et al.* General template-operation based mobility model discovery mechanism in DTN[J]. Journal of Electronics and Information Technology, 2009, 31(2): 472-475.
- [11] SOUNGALO T, WANG D, LIU Y. Performance evaluation of campus mobility model in mobile ad hoc networks[A]. International Conference on New Trends in Information and Service Science[C]. Beijing, China, 2009. 743-748.

作者简介:



彭敏 (1983-), 男, 湖南岳阳人, 中国科学技术大学博士生, 主要研究方向为移动自组织网络与延迟容忍网络。



洪佩琳 (1960-), 女, 浙江宁波人, 中国科学技术大学教授、博士生导师, 主要研究方向为下一代网络体系结构、网络安全技术、移动自组织网络等。



卢汉成 (1977-), 男, 湖北通城人, 中国科学技术大学副教授, 主要研究方向为下一代移动互联网、P2P 网络、极端网络环境下的路由机制、移动 IP 等。



薛开平 (1980-), 男, 江苏东台人, 中国科学技术大学讲师, 主要研究方向为下一代 Internet 网络、网络安全与分布式网络。