

MANET 中移动预测方法研究^{*}

谭长庚 陈松乔 龚晓霞 王建新

(中南大学信息科学与工程学院 长沙 410083)

摘要 MANET 具有网络资源有限、网络中的节点可以任意移动、网络拓扑结构变化迅速等特点,导致了重路由操作的频繁发生,极大地消耗了网络资源,降低了网络性能。网络节点运动的预测在很大程度上有利于解决这个问题。本文首先讨论了 MANET 的移动特性和链路预测的可行性,然后对各种链路预测的基本原理和方法进行了分析与比较,最后探讨了该问题进一步的研究工作。

关键词 MANET, 移动预测, 链路可用性

Study of Mobility Prediction Method in Mobile Ad Hoc Networks

TAN Chang-Geng CHEN Song-Qiao GONG Xiao-Xia WANG Jian-Xin

(College of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083)

Abstract Mobile Ad hoc network is a self-organizing and dynamically reconfiguration wireless network, which has scarce radio resource and battery power. These features lead to high frequency of rerouting operation and costing the limited resources, so severely degrade the performance of Ad hoc networks. The mobility prediction can contribute to efficiently solve this problem. In this paper, we study the mobility features of Ad hoc networks and the feasibility of the mobility prediction, then the comparisons and analyses of these prediction schemes are made with simulations. Lastly, further research works are presented.

Keywords Mobile Ad hoc network, Mobility prediction, Link availability

1 引言

MANET(Mobile Ad-hoc Networks)是一种不依赖于存在的固定网络设施,能够快速展开的、自治的、多跳的网络结构。它由一组带有无线收发装置的节点组成,网络中的每个节点能够快速运动,并且具有主机和路由器的功能^[1]。它具有建立方便快捷、灵活、不受网络基础设施的制约等特点,在需要固定网络设施支持的通信网络遭破坏后,这种分布式控制和无中心的网络结构由于具有较好的鲁棒性与抗毁能力,能够维持剩余通信能力,确保重要的通信指挥畅通,因而可以用于救灾、国防战备等需要建立临时通信网络的环境中,具有广泛的应用前景。

MANET 中没有用于路由的固定网络设施,使用无线传输。而无线传输的范围受到能源的限制、频道的影响,使得信息传输需要在多跳路径上进行。由于节点都是相互独立地运动,使得链路频繁地断裂。当一条路径上的任何一个链路断裂时,这一路径就需要找到另一个可用的链路,以恢复连接,或寻找新的路由。这些重路由由操作极大地消耗了 MANET 有限的网络资源,也容易造成网络的拥塞,同时重路由所带来的传输延时,极大地影响了对网络应用的服务质量,从而降低了网络的运行性能。所以,在这样的网络中选择一条稳定路径,最大限度地减少重路由操作,减少网络拓扑结构的动态变化对路由操作的影响,具有非常重要的意义。

为了解决这一问题,如何寻找一条最稳定的路径成了关

键,而一条路径的稳定性依赖于组成这一路径的所有链路的稳定性。假设某一传输路径 $P = \{L_1, L_2, \dots, L_k\}$ 是由 L_1, L_2, \dots, L_k k 条链路组成, $f(L_i)$ 表示链路 L_i 的稳定性, $F(P)$ 表示传输路径 P 的稳定性,则 $F(P) = f(L_1) * f(L_2) * \dots * f(L_k)$ 。在通常情况下,节点的运动具有一定的规律,同时每个节点可以保存各自运动的历史记录以及当前的运动状况,这就为预测某一节点在以后的某时刻的运动状态信息提供了可能。根据这些信息可以找到最稳定的路径,最大限度地减少节点运动对于路由的影响。

2 链路预测方法

目前已经提出的关于链路预测的策略主要有以下 4 种:链路可用性模型^[2](Path Availability Model)、基于预测的链路可用性估测模型^[3](Prediction-based Link Availability Estimation)、传输链路保持连接时间的预测模型^[4]以及节点位置预测模型^[5]。

2.1 链路可用性模型

该预测方案建立在随机行走模型(random walk-based mobility model)的基础上。随机行走模型具有以下特点:每个节点的运动都由一系列随机长度的运动间隔(Mobility Epochs)组成,在每个运动间隔上节点的运动速度 v_n 和方向 θ_n 都保持不变。在时间 t 上,运动间隔的数目 $N(t)$ 是一个独立的随机过程^[7]。

节点 n 的运动可以用一个三元组 $\langle \lambda_n, \mu_n, \sigma_n \rangle$ 来表示,其

^{*} 国家自然科学基金(90304010, 60403032)、湖南省自然科学基金(03JJY5032)。谭长庚 副教授,在职博士研究生,主要研究领域为移动自组网络的路由协议和性能评价;陈松乔 教授,博导,主要研究领域为软件工程与计算机网络;王建新 教授,博导,主要研究领域为路由算法及网络性能评价;龚晓霞 硕士研究生,主要研究领域为移动自组网络的路由协议和性能评价。

中

①运动间隔 epoch 的长度 T_n 服从于 λ_n^{-1} 的 IID 的指数分布;

②速度服从均值为 μ_n 、方差为 σ_n 的 IID 的随机分布, 在同一 epoch 上保持不变;

③方向 θ_n 是在 $[0, 2\pi]$ 上的 IID 的均匀分布, 在同一 epoch 上保持不变;

④epoch 的长度, v_n 和 θ_n 无关联; 节点运动不相关联。

在该运动模型的基础上, 可得到单个节点 n 的运动具有以下规律:

$$P(R_n(t) \leq r) \approx 1 - \exp(-r^2/\alpha_n), 0 \leq r < \infty,$$

$$\alpha_n = 2t(\mu_n + \sigma_n)/\lambda_n$$

$$P(\theta_n \leq \Phi) = \Phi/2\pi, 0 \leq \Phi \leq 2\pi$$

考虑两个节点的联合运动, 将其转化成一个节点相对于另一个节点的运动, 则可以得到

$$P(R_{m,n}(t) \leq r) \approx 1 - \exp(-r^2/\alpha_{m,n}), 0 \leq r < \infty,$$

$$\alpha_{m,n} = \alpha_m + \alpha_n = 2t((\mu_m + \sigma_m)/\lambda_m) + (\mu_n + \sigma_n)/\lambda_n$$

$$P(\theta_{m,n} \leq \Phi) = \Phi/2\pi, 0 \leq \Phi \leq 2\pi$$

假设节点的传输距离为 R_{eq} , 考虑某链路 $L(m, n)$, 假设在 t_0 时刻可用, 则在 $t_0 + t$ 时刻该链路可用的概率表示为链路可用性。根据最初的状态和节点 m, n 的位置, 链路可用性的预测分为两种情况: 节点激活状态(Node activation), 即 t_0 时刻 m 在 n 的通信范围之内活动; 链路激活状态(Link activation), 即 t_0 时刻 m 运动到距离 n 的 R_{eq} 边缘。定义 Z 为一个节点按随机方向到达另一节点的 R_{eq} 边缘所需运动的距离。所以链路可用性可以表示为 $A_{m,n}(t) = Pr\{R_{m,n}(t) < Z\}$ ^[9,10]。在以上两种情况下, 链路可用性分别为:

①节点激活状态

$$Pr\{R_{m,n}(t) < Z\} = 1 - \Phi(1/2, 2, -4R_{eq}^2/\alpha_{m,n}),$$

其中 $\Phi(a, b, z)$ 是 Kummer-Confluent Hypergeometric 函数。

②链路激活状态

$$Pr\{R_{m,n}(t) < Z\} = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} I_0(-2R_{eq}^2/\alpha_{m,n}) \exp(-2R_{eq}^2/\alpha_{m,n})$$

其中 I_0 是第一类修正贝塞耳函数(modified Bessel function of the first kind)。

A. Bruce McDonald 等将该链路可用性的预测方案应用到了一种新的 MANET 的组织结构——基于运动框架模型的自适应分簇算法^[8]。

2.2 基于预测的链路可用性估测模型

该预测方法的基本思想^[1-3]是, 一个节点首先预测一个连续时间区间 T_p (T_p 为假设在两个节点的运动都不变的情况下, 目前可用的链路从 t_0 开始可持续的时间), 然后再考虑 t_0 与 $t_0 + T_p$ 之间, 两节点运动可能发生变化的情况下, 估计该链路持续到 $t_0 + T_p$ 的概率 $L(T_p)$:

$$L(T_p) \approx p\{\text{To last to } t_0 + T_p | \text{available at } t_0\}$$

首先假设运动间隔的长度服从 λ^{-1} 的指数分布, 即 $E(x) \approx p\{\text{Epoch length} \leq x\} = 1 - e^{-\lambda x}$, 且各节点的运动无关联。考虑两个节点的运动是否发生变化, 可得到 $L(T_p) = L_1(T_p) + L_2(T_p)$, 其中 $L_1(T_p)$ 表示在两节点运动均不发生变化的情况下, 链路在 $t_0 + T_p$ 时刻仍可用的概率, 否则用 $L_2(T_p)$ 表示其概率。

$$L_1(T_p) \approx p\{\text{Epoch length} \geq T_p\} * p\{\text{Epoch length} \geq T_p\} = e^{-2\lambda T_p}.$$

$$L_2 \approx (2\lambda T_p)^{-1} + \epsilon + e^{-2\lambda T_p} (p\lambda T_p - (2\lambda T_p)^{-1} - \epsilon - 1)$$

所以

$$\begin{aligned} L(T_p) &\approx L_1(T_p) + L_2 \\ &= (2\lambda T_p)^{-1} + \epsilon + e^{-2\lambda T_p} (p\lambda T_p - (2\lambda T_p)^{-1} - \epsilon); p=0.5 \\ &= (1 - e^{-2\lambda T_p})((2\lambda T_p)^{-1} + \epsilon) + (1/2)\lambda T_p e^{-2\lambda T_p} \end{aligned}$$

其中 ϵ 采用测量值来估计。若令 $\epsilon=0$, 则得到 $L(T_p)$ 的最小值: $L_{\min}(T_p)$ 。

2.3 传输链路保持连接时间的预测模型

在某时刻节点 i, j 之间可直接通信, 节点的传输范围为 r 。节点 i : 位置 (x_i, y_i) , 速度 v_i , 方向 θ_i ; 节点 j : 位置 (x_j, y_j) , 速度 v_j , 方向 θ_j 。则预测节点 i, j 保持连接的时间 LET (Link Expiration Time)^[4,5] 为

$$LET = \frac{\sqrt{(a^2 + c^2)r^2 - (ad - bc)^2} - (ab + cd)}{a^2 + c^2}$$

其中 $a = v_i \cos\theta_i - v_j \cos\theta_j$; $b = x_j - x_i$; $c = v_i \sin\theta_i - v_j \sin\theta_j$; $d = y_j - y_i$ 。

该预测模型的基本思想是首先预测路径上每一跳的 LET, 然后根据这条路径上最小的 LET 确定 RET(Route Expiration Time)。FORP (the Flow Oriented Routing Protocol)^[6] 就采用了预测 LET 的策略, 其测试表明在移动性很高的环境中, FORP 能在吞吐量的降低最小的情况下, 有效保持较小的延迟, 更重要的是它能够最大限度的减少控制信息开销。在具有移动预测的距离矢量协议 DV-MP^[4] 和 QRMP^[9] 中, 也采用了 RET(Route Expiration Time) 作为在路由表中选择路由的决定参数。因此, 数据可在最稳定的路径上传输。在 MANET 组播路由协议 ODMRP^[4] (On-Demand Multicast Routing Protocol) 中也采用了该预测方案, 一个多播的接收节点对路径的选择是基于路径稳定性的, 也就是具有最大的 RET 的路径。为了选择这样的一条路径, 接收节点必须从接收到第一个表(Join Table)开始, 等待适当的时间, 以获得所有可能的 RET 和路由信息, 然后选择最稳定的路径。

2.4 节点位置预测模型

根据节点运动状态信息中是否包含运动方向 θ , 分为两种情况进行预测^[5]。

(1)若运动状态信息中包含运动方向 θ

某节点 n 在 t 时刻, 运动速度为 v , 运动方向为 θ , 位置为 (x, y) , 则可以预测节点 n 在将来某时刻 t_p 的位置为 (x_p, y_p) 。其中 $x_p = x + v(t_p - t)\cos\theta$; $y_p = y + v(t_p - t)\sin\theta$ 。

(2)若节点运动状态信息中不包含运动方向 θ

由于某节点 n 没有运动方向信息, 则需要用到最近两次更新信息表所保存的运动信息来预测节点 n 在未来某时刻 t_p 的位置 (x_p, y_p) 。

若最近两次节点 n 的位置分别为: t_1 时刻 (x_1, y_1) , t_2 时刻 (x_2, y_2) , 速度为 v , $t_2 > t_1$, 则

$$\begin{aligned} x_p &= x_2 + \frac{v(t_p - t_2)(x_2 - x_1)}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}} \\ y_p &= y_1 + \frac{(x_p - x_2)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \end{aligned}$$

Samarth H. Shah 和 Klara Nahrstedt 等人将该预测方法应用到了属于源路由的 QoS 路由策略中^[5], 在这类路由算法中, 任一个节点 n 都具有网络中每个节点的信息。由于使用了基于更新信息的节点位置预测, 我们可以预测出某个路径上的所有临近节点是否会相互运动到各自的传输范围之外。所以, 重路由的操作可以在路由断裂之前开始, 从而减少在传

输过程中由于路径断裂对网络性能带来的影响。

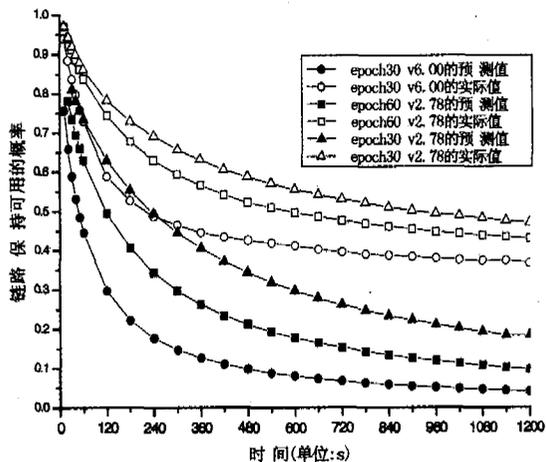
3 预测方法的比较与分析

本文通过仿真对移动预测的方法进行评价,从而分析和比较各种方法的优缺点。仿真工具是加州大学洛杉矶分校并行计算实验室研制的 Glomosim2.03,它主要是针对无线网络系统的仿真。

3.1 模拟环境

模拟环境:50个节点随机的分布在2500m×2500m的区域内,节点的运动采用基于行走的随机运动模型,节点的传输范围均为500m,每次模拟的时间为1200s。每个场景都重复50次实验,采集的数据为这些试验结果的统计平均值。

对于以上提到的4种预测方案,在节点的运动参数不同的情况下,分别统计仿真结果和预测方案的理论值,以分析各预测方案的准确性,以及运动参数对预测方案准确性的影响。



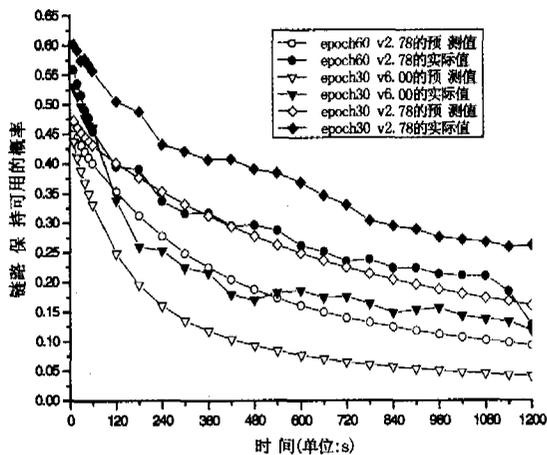
(a) 节点激活状态

3.2 性能分析

3.2.1 不同运动参数条件下的链路可用性的比较

图1(a)给出了在链路可用性模型中节点激活状态下的链路保持可用的概率。图1(b)给出了在链路可用性模型中链路激活状态下的链路保持可用的概率。图中横坐标表示预测的时间,单位为秒;纵坐标表示链路在某预测时间仍可用的概率。预测值为按预测方法进行计算所得值,而实际值来源于仿真的统计结果。

从图1(a)可以看出,理论预测值与实际值随预测时间的变化趋势基本相同,而且预测值都小于相对应的实际值;随着预测时间的增加,预测值与实际值之间的差距加大。随着节点运动速度的增加,链路保持可用的概率在下降,而在相同速度的情况下,运动间隔的增加也导致链路保持可用的概率下降。由于图1(b)反映的是链路激活状态下的链路保持可用的概率,所以图中其实际值的曲线有明显的波动。



(b) 链路激活状态

图1 不同参数条件下的链路可用性的比较

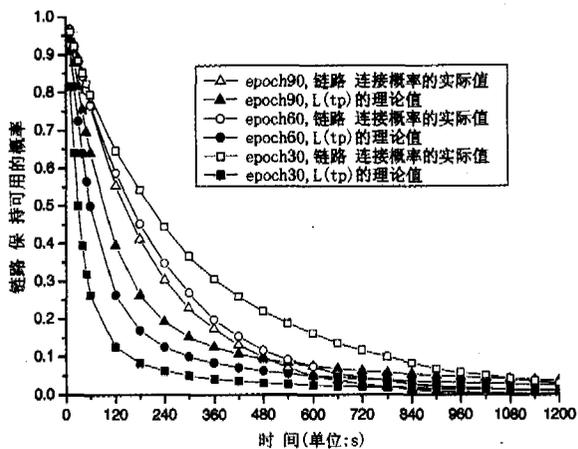


图2 链路可用性模型和基于预测的链路可用性估测的比较

该预测方案只适用于节点运动模型为随机行走模型的情况,并且它只考虑某链路在 t_0+t 时刻是否可用,不管中间是否有断裂,只要在 t_0+t 时刻可用,都认为该链路可用。在实际网络运行中,通常链路断裂之后,不可能等待到其恢复连接后再进行通信,而是立即查找新的路径,所以在这种情况下,预测在某种程度上就失去了意义。

3.2.2 链路可用性模型和基于预测的链路可用性估测

模型的预测性能分析

图2比较了链路可用性模型和基于预测的链路可用性估测模型的预测性能,仿真时的运动间隔为30s,速度为2.78m/s。尽管当预测时间较长时,基于预测的链路可用性估测与实际值很接近,但是链路保持连接的概率也很低。通常在预测时间较短、连接概率较高的情况下预测才具有实际价值。链路可用性模型在预测时间较短的时候,预测准确性要比基于预测的链路可用性估测准确性高一些。

基于预测的链路可用性估测适用于节点运动 epoch 服从 λ^{-1} 的指数分布的情况,而不仅仅是随机行走运动模型,所以它的使用范围比链路可用性模型有很大的改善。

3.2.3 链路保持时间(LET)的预测准确性分析

图3和图4都说明了链路保持时间(LET)的预测准确性。图中的两条曲线分别表示为预测链路保持时间(LET)和链路实际保持时间。图3反映的是节点运动速度对LET预测方案准确性的影响。纵坐标表示保持时间的长度,横坐标表示链路两端的节点运动的平均速度。由图可以看出,随着节点运动的平均速度的增加,预测值与实际值趋向一致。速度越快,预测越准确,这是因为当运动速度越快的时候,链路的两个节点在运动状态改变之前,很快就达到了相互通信的边界,而发生断裂。如果在一段较短的时间内,节点的运动状态没有发生改变,则预测时所用到的信息都是完全准确的信

息,所以预测会越来越准确。图4反映了节点运动间隔(mobility epoch)对LET预测方案的影响。由图可以看出,epoch越长,即运动越稳定时,预测越准确。

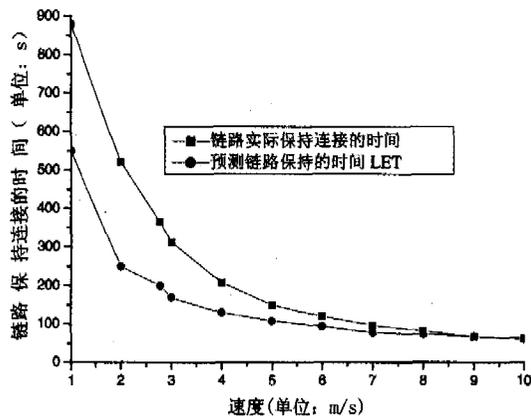


图3 链路保持连接时间的预测(运动间隔=30s)

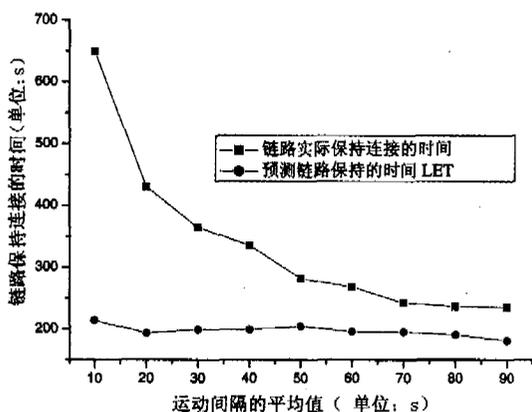


图4 链路保持连接时间的预测(运动速度=2.78m/s)

LET预测适用于任何节点任何形式的运动,不受节点运动模型的局限,故使用范围更广。

3.2.4 节点位置预测准确性分析

图5与图6说明了节点位置预测中有节点运动方向的预测和无节点运动方向的预测情况。横坐标表示预测时间,纵坐标表示节点在某时刻的实际位置与预测位置的距离,即 $\sqrt{(x_p-x)^2+(y_p-y)^2}$,它表明了预测与实际值的接近程度,其中 (x_p, y_p) 为某一时刻节点的预测位置, (x, y) 表示在网络运行过程中节点的实际位置。从图可以看出,这两种预测方案的准确性很接近,但是当节点运动速度比较快时,有方向信息的预测要优于无方向信息的预测。而且从图中可以看出,节点位置的预测更容易受到节点运动速度和mobility epoch的影响。在运动速度小和mobility epoch长的情况下,预测比较准确。

链路LET的预测和节点位置的预测这两个方案非常相似,且都是基于同一种假设,即在最近的运动状态更新之后,节点运动方向和运动速度保持不变。区别在于节点的位置预测只是对链路的其中一个端点的位置进行预测,而在LET的预测中,则是同时对链路的两个端点的位置进行预测,然后根据预测的两个节点位置计算这一链路是否仍然可用,确定LET。

另外节点位置的预测比LET的预测增加了无运动方向信息情况下的预测。根据无运动方向信息下的节点位置预测

的原理,我们同样可以计算出这种情况下的某个链路的LET。

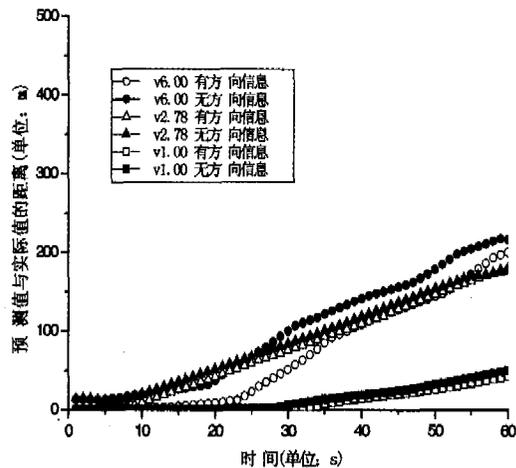


图5 运动节点位置预测(时间<60s,运动间隔=30s)

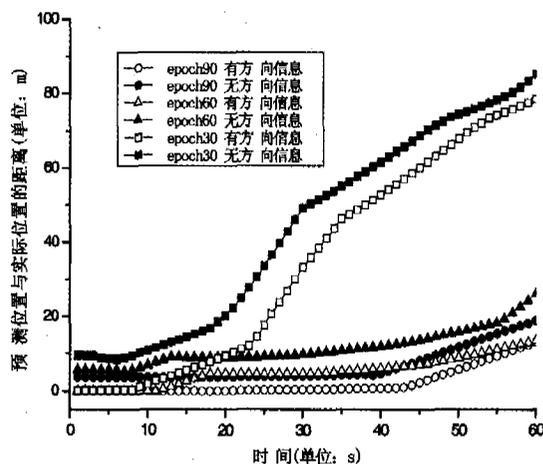


图6 节点位置预测(时间<60s)

以上分析可知,四种链路预测方案的准确性都不能令人满意,尤其是在运动速度快,运动变化迅速,预测时间较长的情况下,预测准确性受到了很大影响。从图1(a)、图1(b)可以看出,第一种预测方法在预测时间较短的情况下,相对比较准确,但实际链路保持连接的概率要高于预测的概率。从图2可以看出基于预测的链路可用性估测模型在预测较长时间时,预测准确性较高,但是链路保持连接概率低。从图3和图4可以看出,链路保持连接时间的预测,在运动速度很快,运动比较稳定的情况下预测准确性很高。从图5和图6可以看出,节点位置预测模型,只适用于节点运动速度慢、运动比较稳定的节点的位置预测。

结论 由于MANET本身固有的移动性,使得网络的拓扑结构可能随时发生变化,路由的稳定性成为影响MANET性能的重要因素。为了尽量减少这种影响,提高通信的可靠性,提出了多种路由预测方法,以减少路由发起次数,一定程度上解决了这方面的问题。由于MANET的高动态性,网络路由协议在选择传输路径时无法保证路径的稳定性。选择稳定的传输路径对于网络的服务质量和减少路由协议的开销十分重要,预测的准确程度将直接影响网络性能。本文讨论了MANET中关于节点运动预测的方法,分析和比较了各种方法的性能。预测机制是提高MANET传输路径稳定性的重要手段,为MANET的应用提供了进一步的保障。进一步的

研究工作包括:基于具体应用的预测模型的建立和分析;节点运动数学模型的建立和分析;网络链路信息获取与预测机制的关系;基于预测的网络通信协议等。

参考文献

- 1 Mobile Ad-hoc Networks (MANET). <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>
- 2 McDonald A B, Znati T. A Path Availability Model for Wireless Ad-Hoc Networks. In: He D J, Jiang S M, Rao J Q, et al. eds. Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference 1999 (WCNC'99), Link availability prediction model for wireless ad hoc networks. Proc. 2000 International Conference on Distributed Computing System Workshop, Taipei, Taiwan, (April 10-13, 2000). D7~D11
- 3 Jiang Shengming, He D J, Rao J Q. A prediction-based link availability estimation for mobile Ad Hoc networks. IEEE Infocom, 2001
- 4 Su W, Lee Sung-Ju, Gerla M. Mobility prediction and routing in ad hoc wireless networks. International Journal of Network Management, 2001, 11, 3~30

- 5 Shah H, Nahrstedt K. Predictive Location-Based QoS Routing in Mobile Ad Hoc Networks. In: Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC 2002), New York, NY, April 2002
- 6 Su W, Gerla M. Ipv6 flow handoff in ad-hoc wireless networks using mobility prediction. In: Proceedings of IEEE GLOBECOM'99, Rio de Janeiro, Brazil, Dec. 1999
- 7 Zonoozi M, Dassanayake P. User mobility modeling and characterization of mobility patterns. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1997, 15(7)
- 8 McDonald A B, Znati T. A mobility based framework for adaptive clustering in wireless ad-hoc networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Aug. 1999. Special Issue on Ad-Hoc Networks, (in press)
- 9 Wang Jianxin, Deng Shuguang, Chen Songqiao, et al. QoS Routing with Mobility Prediction in MANET. In: 2001 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM'01), Victoria, Canada, Aug 2001, 357~360
- 10 McDonald A B, Znati T. Link availability models for mobile ad-hoc networks; [Technical Report]. TR99-07. Department of Computer Science, University of Pittsb Mayurgh, 1999

(上接第 42 页)

4 求解算法 MDLP_Algorithm()

下面对线性规划问题 Optimize(L_n) 进行求解过程描述, 即算法 MDLP_Algorithm()。

MDLP_Algorithm(){

Begin: 给 a_n^i 赋初值为 $a_n^i = \frac{1}{\sum_{j=1}^m \frac{1}{\omega_j}}$

- (1) 将 a_n^i 值代入(4)和(7)式得出 $t_D(L_n)$ 的值。
- (2) 由(9)式可得出 a_n^i 是一个关于 a_n^i 的函数, $a_n^i = f(a_n^i)$
- (*) 将(*)代入(1)式, 求得新的 a_n^i 及 a_n^i 。
- (3) 若 $t_D(L_n)$ 收敛, 则结束。否则转向 1 继续迭代。)

MDLP_Algorithm() 是一个迭代的过程, 在此期间 a_n^i 和 $t_D(L_n)$ 会有震荡, 但始终会收敛。并且这个求解过程中由于 $t_D(L_n)$ 是一个关于 $t_D(L_{n-1})$ 的函数, 因此 $t_D(L_n)$ 的计算可以不用如文[12]中一样预先知道 $t_D(L_{n-1})$ 的准确值, 可以在 $t_D(L_{n-1})$ 的计算过程中逐步求精。

5 模拟试验

我们用分布式系统资源分配的传统度量手段 AOR 来显示 MDLP 的性能, 如图 4。AOR = ACT/OCT 是任务真实完成时间与最优计算时间的比率 (ACT: Actual Complement Time, OCT: Optimal Computing Time)。通过多台计算机的多端口 Socket 通信模拟线性网络。理论上由于 L_n 是可以划分为任意大小的, 因此结果有一定的误差。从图 4 可以看出, 随着任务总量增加, ACT 与 OCT 的逼近度有一定震荡, 这是由于模拟环境不准确的原因。

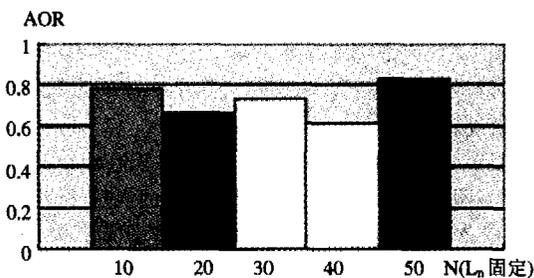


图 4

结论 本文提出了一个异构线性网络中可进行多个可划分任务资源分配的策略 MDLP。MDLP 通过构建一个线性

规划问题, 简化了复杂的求解过程, 并且在 MDLP 的算术模型中, 不必预先知晓前个任务的结束时间就可以求得最优解。但是 MDLP 的问题在于, 我们没有对 MDLP 的最优解进行形式化的描述, 也没有证明 MDLP 始终会找到最优解。这将会在我们将来的工组中完成。

参考文献

- 1 Hou Y T, Panwar S S. On Generalized Max-Min Rate Allocation and Distributed Convergence Algorithm for Packet Networks. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2004, 15 (5), 401~416
- 2 Yang Juan, Baiyun, et al. DJSM—A Generally Dynamic Job scaling Mathematic Model for Parallel Applications. In: Proceedings of The 2005 International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA'05), Las Vegas, NV, June, 2005. 1099~1105
- 3 Georgiadis L, Nikolaou C, et al. A fair workload allocation policy for heterogeneous systems. Journal of Parallel and Distributed Computing, 2004, 64(1): 507~519
- 4 Rotaru T, Hans-Heinrich N. Dynamic load balancing by diffusion in heterogeneous systems. Journal of Parallel and Distributed Computing, 2004, 64(4): 481~497
- 5 Ali Shoukat, Kim Jong-Kook, et al. Greedy Heuristics for Resource Allocation in Dynamic Distributed Real-Time Heterogeneous Computing Systems. In: 2002 International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA'02), Las Vegas, NV; CSREA Press, 2002. 519~530
- 6 Ravindran B, Li Peng, et al. Proactive resource allocation for asynchronous real-time distributed systems in the presence of processor failures. Journal of Parallel and Distributed Computing, 2003, 63(12): 1219~1242
- 7 Ranaweera S, Agrawal D P. A Task Duplication Based Scheduling Algorithm for Heterogeneous Systems. In: Proceedings of the 16th International Parallel and Distributed Processing Symposium, Florida; IEEE Computer Society Press, 2002. 445~450
- 8 Sohn J, Robertazzi T G. Optimal divisible job load sharing on bus networks. IEEE Transactions on aerospace Election Systems, 1996, 32: 34~40
- 9 Barlas G. Collection-aware optimum sequencing of operations and closed-form solutions for the distribution of a divisible load on arbitrary processor trees. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 1998, 9(5): 429~441
- 10 Blazewicz J, Bharadwaj V, et al. Divisible task scheduling-concept and verification. Parallel Computing, 1999, 25: 87~98
- 11 Eshahin M M. Heterogeneous Computing. Artech House, Norwood, MA, 1996
- 12 Bharadwaj V, min W H. Scheduling divisible loads on heterogeneous linear daisy chain networks with arbitrary processor release times. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2004, 15(3): 273~288
- 13 Bharadwaj V, Li H F, et al. Scheduling divisible loads in bus networks with arbitrary processor release times. Computing Math Application, 1996, 32(7): 57~77
- 14 Min W H, Veeravalli B, et al. Design and performance evaluation of load distribution strategies for multiple divisible loads on heterogeneous linear daisy chain networks. Journal of Parallel and Distributed Computing, 2005, 65: 1558~1577
- 15 Hsu W J, Chung M J, et al. Linear recursive networks and their applications in distributed systems. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 1997, 8(7): 673~680