

物联网感知层移动自组织网可靠性评估方法

何明¹ 陈国华^{1,2} 赖海光¹ 梁文辉^{1,3} 杨飞¹

(解放军理工大学指挥自动化学院 南京 210007)¹ (中国人民解放军 65655 部队 赤峰 024000)²
(中国人民解放军 61345 部队 西安 710004)³

摘要 移动自组织网可靠性是影响物联网应用的数据采集和设备控制的关键因素之一。为解决移动自组织网络可靠性的不确定性分析和量化评估的问题,综合考虑节点移动性引起的动态连接以及网络组件故障的因素,提出了一种基于节点移动的 Ad_hoc 网的可靠性计算方法。在两个节点移动时都保持速度和方向不变的条件下,首先预测其中一个节点有效链路保持的持续时间,然后考虑此节点某段时间内在速度和方向上的变化来评估此链路的有效性,进而间接地计算自组织网的可靠性。实验结果表明,移动自组织网的可靠性不仅依赖节点、链路可靠性,还依赖于网络拓扑的冗余度和节点在网络中的分布。

关键词 物联网, Ad hoc 网, 节点移动, 可靠性
中图分类号 TP393 **文献标识码** A

Methods for Evaluating Reliability of Mobile Ad hoc Networks in the Perception Layer of IOT

HE Ming¹ CHEN Guo-hua^{1,2} LAI Hai-guang¹ LIANG Wen-hui^{1,3} YANG Fei¹

(Institute of Command Automation, PLA Science and Technology University, Nanjing 210007, China)¹
(65655 Armies, PLA, Chifeng 024000, China)² (61345 Armies, PLA, Xi'an 710004, China)³

Abstract The reliability of mobile Ad hoc network is the key factors that affect data acquisition and device control in the application of IOT. In order to solve the problem of uncertainty of the reliability analysis and quantitative assessment, through overall considering these factors of dynamic connection and network components failures, which are brought out by nodes mobility, a method for computing the reliability of Ad hoc network based on nodes mobility was presented. When the speed and direction of two mobile nodes are stable, the continuous time in which valid link of one node is kept is forecasted. Then during some time, the speed and direction of the mobile node alter, and the validity of the link is evaluated. Therefore, the reliability of Ad hoc network is indirectly computed. The experiment results show that the reliability of Ad hoc network depends on not only the reliability of nodes and links but also the redundancy of topology and the distribution of nodes.

Keywords IOT, Ad hoc networks, Nodes mobility, Reliability

移动自组织网(mobile Ad hoc networks)是随无线通信技术的快速发展而出现的一种新型移动网络。其移动性体现在两方面:一是无需任何提前构建的基础设施就能进行组网,可由一组带有无线收发装置的移动终端组成一个临时的多跳自治系统;二是网络中的节点既是移动终端,又具有路由器功能。这些特点使它更适用于军事领域和应急救援通信。但是,由于其网络拓扑结构动态变化、带宽和能量受限等不利因素,使其应用面临巨大的挑战。例如节点的移动性和链路的不稳定性^[1]、网络的可靠性评估是一个有待解决的重要问题^[2]。

移动 Ad hoc 网络可以在何种程度上满足服务需求,需要有适合的方法来量化。量化方法就是网络可靠性测量。典型的网络可靠性问题是计算特定节点集合在给定时间段内相互

通信的概率。现有的网络可靠性评估方法大多数是基于节点全部是理想的、链路是静态且不可替代的假设条件下的。网络可靠性的测度主要有 4 类指标:抗毁性、生存性、有效性、可行性。网络的抗毁性和生存性只是在图论或图论与概率论的角度来考察网络的可靠性问题^[3],由于技术水平的提高使硬件设备实际上具有相当高的可靠性,实际的网络因为其网络部件失效而导致的系统失效的可能性很小,人们主要关心的还是网络“完成规定功能的能力”,因此必须考虑网络的业务性能(如网络的吞吐量和时延等行为)。网络的有效性(Availability)便是一种基于网络业务性能的可靠性指标,它指出了网络在网络部件失效条件下满足通信业务性能要求的程度。然而,在移动 Ad hoc 网络中节点具有移动性,连接和链路会快速改变,因此上述假设条件是不成立的。

到稿日期:2011-07-02 返修日期:2012-01-05 本文受国家自然科学基金(60974086),江苏省自然科学基金(BK2010132)资助。

何明(1978-),男,副教授,硕士生导师,主要研究方向为物联网、网络可靠性评估等, E-mail: review_paper@126.com; 陈国华(1986-),男,硕士生,主要研究方向为物联网安全; 赖海光(1975-),男,副教授,主要研究方向为网络安全; 梁文辉(1986-),男,硕士生,主要研究方向为物联网安全; 杨飞(1972-),女,讲师,主要研究方向为系统工程。

Deuermeyer 提出了一种基于网络吞吐量的有效性指标。此外,传输时延也是一种重要的有效性指标,它主要取决于信息在中继节点的排队时间和处理时间, Park 等在其论文中曾采用了这一指标。Bonaventura 针对线路交换网和报文交换网分别提出了基于时延的有效性指标,反映了用户对网络时延的要求。Kyandoghene 等研究了网络故障后再路由策略对网络的影响问题,提出了网络有效性指标框架。由于考虑了网络部件失效引起网络业务性能下降的问题,网络的有效性研究更面向通信业务、面向用户,更具直观性,把网络可靠性的研究工作大大地推进了。

由于无线通信链路的广播特性,使其极容易受干扰和天气状况以及地形的影响而失去连接;又因为无线移动设备电源受限,影响了传输范围和位置移动的能力,因此,有线网络中的可靠性计算技术不能直接应用于无线网络中。本文主要解决移动 Ad hoc 网络中链路的有效性计算问题。

1 理论基础

为了计算网络的连通概率,给出如下网络模型。

在一个移动 Ad hoc 网络 G 中,含 N 个节点、 E 条链路,源节点为 s ,目的节点为 d ,每个节点的运行概率为 p_n 。设移动 Ad hoc 网随机分布于一个给定的区域内,各节点的初始位置已知,每个节点 $i(i=1,2,\dots,N)$ 在 t 时刻的坐标位置为 $(x_i(t), y_i(t))$ ($t=0$ 为初始时刻),移动方位角 $\theta_i(t)$ 和移动速度 $v_i(t)$ 由节点移动模型决定。设网络中每个节点的通信距离为 r ,即当两节点之间距离不大于 r 时可直接通信,否则需要由中间节点转发以实现通信。

要解决的问题是计算源节点和目的节点间存在运行路径的概率,其记为 $R_s, d(G)$ 。除源点和目的节点外,所有节点允许根据已知的移动模型自由移动。此外,节点故障服从指数分布,记为 φ 。因此,两终端可靠性是一个时间和变化频率的函数,其依赖节点运动和节点故障。 E 中每条链路的运行概率为 p_e (链路 e 以概率 p_e 连接节点 v_i 和 v_j),可表示为 $p_e = P_e$ (e 存在 | v_i 和 v_j 运行正常)。 E 中每条链路都有两个状态:工作或故障。工作状态可表示为 $Q(t) = [Q_1(t), Q_2(t), \dots, Q_E(t)]$ 。 $Q(t)$ 中第 e 项在链路工作时为 1,其它情况为 0。因此, $Q(t)$ 的概率为

$$P(Q(t)) = \prod_{e=1}^E P_e^{Q_e(t)} (1 - P_e)^{1 - Q_e(t)} \quad (1)$$

用构造函数 $\eta_{s,d}(\cdot)$ 来检验状态,检查源节点和目的节点间是否至少存在一条路径。如果 $Q(t)$ 至少包含一条路径,则 $\eta_{s,d}(Q(t)) = 1$ 。两终端可靠性表达为

$$R_{s,d}[G(t)] = \sum_{\text{all } Q(t)} \eta_{s,d}(Q(t)) P(Q(t)) \quad (2)$$

2 基于节点移动的可靠性评估方法

与传统固定网络不同的是,在移动 Ad hoc 网中,节点的移动会使网络拓扑结构不断发生变化,而且变化的方式和速度通常是难以预测的。因此,其网络可靠性还与节点的移动性 $N_i(m, v, t)$ (即节点移动性与节点移动模式 m 、移动速度 v 和时间 t 有关)导致的网络拓扑结构动态变化相关。

为此,有必要采用一种更符合移动 Ad hoc 网络特性的可靠性评价方法,以满足其性能分析的需要。基于上述分析,移动 Ad hoc 网可靠性可以表示为

$$Rel(G) = f[R_n, R_l, T, N_i(m, v, t)] \quad (3)$$

式中, R_n 表示节点可靠性, R_l 表示链路可靠性, T 表示时间。式(3)包含了影响移动 Ad hoc 网可靠性的主要因素,可以将其作为分析移动 Ad hoc 网络可靠性的设计依据,但是难以直接应用解析的方法对网络的可靠性进行数值计算。

所提估计方法的基本思想是:假定在 T_p 时间内,某条链路上的两个节点都保持速度和方向不变,首先预测其中一个节点从 t_0 时刻起当前有效链路仍能保持有效的持续时间 T_p ;然后考虑在 $t_0 \rightarrow t_0 + T_p$ 时间内速度/方向上的某些变化,来估计此链路能有效持续到时间 $t_0 + T_p$ 时刻的概率 $L(T_p)$ 。精确计算出 $L(T_p)$ 是很困难的,但是可以给出一个合理的估计。 T 是两节点以常值速度与方向进行移动的随机时间间隔。

2.1 基于测量的 T_p 预测方法

设有两个移动节点 A 和 B,在一个时段 T 内以速度 v_a 和 v_b 沿着固定的线路移动(见图 1)。时段是指一个随机的时间间隔,在此间隔内节点以固定的方向和速度移动。A 和 B 之间的距离在 $t_i = t_0 + T_i$ 时刻为 d_i ,可以用三角公式来计算,不失一般性,可以设 $t_0 = 0$,则有

$$d_i^2 = (l + v_a T_i)^2 + (m + v_b T_i)^2 - 2 \cos \theta (l + v_a T_i)(m + v_b T_i) \quad (4)$$

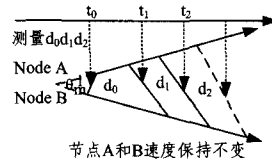


图 1 T_p 预测算法示例

因为 v_a, v_b, l, m 和 θ 在 T_i 时段内是不变的,有 $\partial^2 d_i^2 / \partial^2 T_i = 0$,所以 d_i 可表示为

$$d_i^2 = \alpha T_i^2 + \beta T_i + \gamma \quad (5)$$

式中, α, β, γ 在 T_i 时段是不变的。令 d_0, d_1 和 d_2 表示 t_0, t_1 和 t_2 时刻的距离,根据式(5)可得

$$\begin{cases} \alpha = \frac{(d_1^2 t_2 - d_2^2 t_1) - d_0^2 (t_2 - t_1)}{t_1 t_2 (t_1 - t_2)} \\ \beta = \frac{(d_1^2 t_2^2 - d_2^2 t_1^2) - d_0^2 (t_2^2 - t_1^2)}{t_1 t_2 (t_2 - t_1)} \\ \gamma = d_0^2 \end{cases} \quad (6)$$

因此,只要测定 $d_0 - d_2$,之后任意时刻 $t_i \leq T$ 的 t_i 都可以用式(5)和式(6)计算出来。用 D 表示两个节点间可以满足最小通信信号质量的最大距离,如果在 T_p 时段内速度没有变化,由式(4)可以得出计算 T_p 的公式

$$T_p = \frac{\sqrt{\beta^2 + 4D^2} - 4\alpha\gamma - \beta}{2\gamma} - t_2 \quad (7)$$

需要特别说明,上述计算无需知道 v_a, v_b, l, m 和 θ ,这一点在应用中非常重要,因为在移动 Ad hoc 网中这些参数很难得到。

T_p 预测的精确度依赖于 d_i 和 t_i 的精确度。如果 d_i 和 t_i 是精确的,则根据式(7)就可以得到精确的 T_p 预测值。通过测量两次事件的时间间隔可以得出 t_i ,通过测量接收信号强度获取 d_i ,而有些环境中因为衰减、抖动或噪声引起的误差较大。文献[10]提出一个类似方法,基于从 GPS 获取的速度预测 T_p ,因为如今很多人都装备了手持 GPS 接收机,它可以

利用第三代网格系统实现基站与便携电话的同步。通过GPS,节点可以得到自己的位置,并向邻居广播位置消息,而该消息可以用来计算 d_i 。经过以上研究,本文假设 T_p 已知,下面主要研究 $L(T_p)$ 的评估。

2.2 评估链路可用性 $L(T_p)$

评估算法假设中提到的条件^[6],即中断移动性是非关联的,时间间隔服从指数分布,期望值为 $1/\lambda$:

$$A(x) = P\{\lambda \leq x\} = 1 - e^{-\lambda x} \quad (8)$$

给定连续可用时间段 $T_p > 0$,在 t_0 时刻两个节点间活跃链路的可用性 $L(T_p)$ 定义为

$$L(T_p) \triangleq P\{\text{链路在 } t_0 \text{ 时刻的可用性能持续到 } t_0 + T_p\} \quad (9)$$

即链路从 t_0 时刻到 $t_0 + t_p$ 时刻一直保持可用的概率。利用式(9)可以计算 T_p 时刻的 $L(T_p)$ 。从统计意义上说, $L(T_p)$ 可以通过测量 T_r/T_p 得到, T_r 指最后的 T_p 时刻之后链路又持续的时间段。

$$\text{令 } A_1(x) = 1 - e^{-\lambda_1 x}, \quad A_2(x) = 1 - e^{-\lambda_2 x}, \text{ 有} \\ L_1(T_p) = [1 - A_1(T_p)][1 - A_2(T_p)] = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)T_p} \quad (10)$$

注意,直观上 p 的设置不适用于封闭环境,即环境边界迫使节点运动方向返回环境空间内。这将导致封闭运动比自由运动更频繁,然而很难确定不同环境的概率 p 。

同理

$$L_2(\phi) = \phi + \frac{(T_p - \phi)p e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)(T_p - \phi)}}{T_p} + \epsilon \quad (11)$$

因此

$$P\{\phi \leq \Phi < T_p\} = [A_1(T_p) - A_1(\phi)][1 - A_2(T_p)] + [A_2(T_p) - A_2(\phi)][1 - A_1(T_p)] + [A_1(T_p) - A_1(\phi)][A_2(T_p) - A_2(\phi)] \\ = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)\phi} - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)T_p} \quad (12)$$

由于 $f(\phi) = (\lambda_1 + \lambda_2)e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)\phi}$,可得

$$E[L_2] = \int_0^{T_p} L_2(\phi) f(\phi) d\phi \\ = \frac{e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)T_p}}{\lambda_1 + \lambda_2} \left\{ \frac{pT_p}{2} (\lambda_1^2 + \lambda_2^2) - \lambda_2(1 + \epsilon) + e^{(\lambda_1 + \lambda_2)T_p} \left[\frac{1}{T_p} + (\lambda_1 + \lambda_2)\epsilon \right] - \lambda_1(1 + \epsilon) - pT_p\lambda_2 \right\} \quad (13)$$

将上式相加,可得

$$L(T_p) \approx \frac{e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)T_p}}{\lambda_1 + \lambda_2} \left\{ \frac{pT_p}{2} (\lambda_1 + \lambda_2)^2 - (\lambda_1 + \lambda_2)\epsilon - \frac{1}{T_p} + e^{(\lambda_1 + \lambda_2)T_p} \left[\frac{1}{T_p} + (\lambda_1 + \lambda_2)\epsilon \right] \right\} \quad (14)$$

将 $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$ 代入式(14),令 $\epsilon = 0$,可得

$$L_{\min}(T_p) = \frac{e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)T_p}}{(\lambda_1 + \lambda_2)T_p} \left[\frac{p}{2} T_p^2 (\lambda_1 + \lambda_2)^2 + e^{(\lambda_1 + \lambda_2)T_p} - 1 \right] \quad (15)$$

ϵ 的值主要依赖于节点密度、无线覆盖率、空间大小等环境参数,因为这些参数随着时间和运动改变,很难用公式在变化中描述 ϵ ,因此更实际的办法是通过测量确定 ϵ 。这样可确保评估能够适应环境变化,即在 t_0 时刻链路预测可以持续到 T_p 后,再测量链路实际持续时间 T_r 。

以上评估 $L(T_p)$ 的方法也可以用于综合环境中。例如网格网络与移动 Ad hoc 网的结合网络,其中有些移动性低,甚

至静止节点,可以充当路由器。此时这些节点的时间间隔很大,甚至近乎无穷,记为 λ_2^{-1} 。如果 $\lambda_2^{-1} = \infty$,则式(11)和式(12)可进一步简化为

$$L(T_p) \approx e^{-\lambda_1 T_p} \left[\frac{pT_p\lambda_1}{2} - \frac{1}{T_p\lambda_1} - \epsilon + e^{\lambda_1 T_p} \left(\frac{1}{T_p\lambda_1} + \epsilon \right) \right] \quad (16)$$

式中, p 和 ϵ 的值可以用上节讨论的相同方法获得。为了使节点可以获知其他节点的 λ ,则 λ 需要利用某些协议来广播。例如在 DSR 中, λ 可以嵌入路由请求包里。

$$L_{\min}(T_p) = \frac{e^{-\lambda_1 T_p}}{\lambda_1 T_p} \left[\frac{p}{2} T_p^2 \lambda_1^2 + e^{\lambda_1 T_p} - 1 \right] \quad (17)$$

由以上的讨论可以发现,简单而精确地计算 $L(T_p)$ 很难做到,尤其是在最常见的时隙服从指数分布的移动模型中。 $L(T_p)$ 计算的简易性非常重要,因为这对路由选择是至关重要的,而且在移动 Ad hoc 网中节点的能源也是有限的。

3 实验结果及分析

在仿真实验中,首先研究了节点不同故障率对网络性能参数的影响,如丢包率和控制消息数量。然后,分析了动态网络对可靠性的影响。

仿真试验环境如下:考虑有 6、11 和 18 个节点的网络,节点分布在 500m * 500m 的平面内,构造出如图 2 所示的网格。选择网格构造是为了保证可靠性高层可以在每种情况下都能够得到。无线节点的传输范围接近 200m,服从两径地基传播模型,因此至少 3 跳才能创建从源节点到目的节点的路径。随机路径迁移模型(RWP)^[9]类似无线节点移动方式,该模型中在一个确定的小时间段内,节点可以看作是静止的。节点在仿真的范围内以已知的平均速度随机移动。当所有节点到达目的地,在该位置静止一个时间段(即暂停一个时间段),此后节点选择另一个随机的目的地并向此移动,整个过程重复持续到仿真结束。如果节点在移动过程中碰到仿真区域边缘,将以同样的速度弹回。

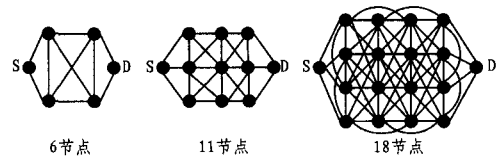


图 2 移动 Ad hoc 网络示意图

3.1 节点故障对网络性能的影响

无线节点的故障率将影响附着其上的所有无线链路,因此任何节点的故障都将改变网络拓扑结构,影响网络的可靠性^[10]。研究节点故障率对网络性能参数的影响,如丢包率和控制消息负载。随着故障率的增加,网络充斥着控制消息(如 RREQ、RREP),其丢包率显著增长。路由协议将尝试在剩余节点间探索出新的路径来应对节点故障,可以通过在仿真区域部署更多的节点来降低故障率的影响。因此,无线网络可靠性不依赖于组件的可靠性,但依赖网络拓扑中的冗余程度。

3.2 节点移动对两终端可靠性的影响

节点移动可以用速度和移动方式,如方向和速率等来描述。如果速度较慢,暂停时间较长,则网络可靠性较稳定,这是因为网络路由会稳定较长时间。随着节点平均速度的增加,越来越多的链路故障导致源和目的节点间路径减少^[11]。

(下转第 137 页)

和研究中需要设计更有效的执行方案执行策略,同时还需将研究工作扩展到国产基础软件的性能测试和可靠性测试等方面。

参考文献

- [1] 兰雨晴,赵同,高静,等. 基础软件平台质量评估[J]. 软件学报, 2009, 20(3): 567-582
- [2] 高静,兰雨晴,金茂忠. 基础软件平台集成测试组合选择方法[J]. 北京航空航天大学学报, 2010, 36(3): 265-269
- [3] Yoon I-C, Sussman A, Memon A, et al. Direct-dependency-based software compatibility testing[C]//Proc. of the 22st Int'l Conf. on Automated Software Engineering. Nov. 2007
- [4] Mariani L, Papagiannakis S, Pezze M. Compatibility and Regression Testing of COTS-Component-Based Software, icse[C]// 29th International Conference on Software Engineering (ICSE' 07). 2007: 85-95
- [5] Yoon I-C. Automating Software Compatibility Testing [C]// Proc. of the Int'l Symposium on Software Testing and Analysis. July 2008
- [6] Van T-T, Vo B, Le B. Mining Sequential Rules Based on Prefix Tree[C]//New Challenges for Intelligent Information and Database Systems. 2011, SCI 351: 147-156
- [7] Czarnecki K, Helsen S, Eisenecker U. Formalizing cardinality-based feature models and their specialization[J]. Software Process: Improvement and Practice, 2005, 10(1): 7-29
- [8] Syrjanen T. A rule-based formal model for software configuration[R]. A55. Helsinki University of Technology, Dec. 1999
- [9] 温嘉佳, 陈俊亮, 彭泳. 基于目标距离评估的启发式 Web Services 组合算法[J]. 软件学报, 2007(01): 85-93
- [10] Lin Yi-bing, Lai Wei-ru, Chen J-J. Effects of Cache Mechanism on Wireless Data Access[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2003, 2(6): 1247-1258
- [11] Schmidt T, Kuhn L, Price B, et al. A depth-first approach to target-value search[Z]. Palo Alto Research Center, 2009
- [12] Yoon I-C, Sussman A, Memon A, et al: Effective and Scalable Software Compatibility Testing[C]//Proc. of the Int'l Symposium on Software Testing and Analysis. July 2008
- [13] Oh N, Mitra S, McCluskey E J. Error Detection by Diverse Data and Duplicated Instructions[J]. IEEE Transaction on Computers, 2002, 51(2): 180-199
- [14] VMware Inc. Streamlining software testing with IBM Rational and VMware [M]. Test lab automation solution-whitepaper, 2003
- [15] Duarte A, Wagner G, Brasileiro F, et al. Multi-environment software testing on the Grid[C]//Proc. of the Workshop on Parallel and Distributed Systems: Testing and Debugging. July 2006

(上接第 106 页)

随着时间推移,可以发现网络可靠性渐近 0.1,这是由于 RWP 移动模型中节点的非一致分布。RWP 移动模型导致节点机终止于仿真区域的中间,因此源和目的节点间的可用路径减少。

结束语 移动自组织网络可靠性是影响物联网应用的数据采集和设备控制的关键因素之一。而移动自组织网络拓扑结构的动态变化和无线终端设备的能量限制等因素又直接影响着移动自组织网络的可靠性。要让物联网在更广泛的领域得到普及性应用,物联网感知层移动自组织网络可靠性理论与评估方面还存在很多技术难题需要突破。本文的研究成果对提升移动自组织网络节点的性能以及合理部署自组织网络节点具有指导意义,将为物联网信息全面感知奠定理论基础。

参考文献

- [1] 高飞,张少中,王光兴. 计算无线通信网络 2-终点可靠性的快速算法[J]. 计算机学报, 2007, 30(6): 1035-1039
- [2] 闵军,张海星,朱桂斌. 自组网可靠性评价方法[J]. 电子科技大学学报, 2008, 37(3): 436-438
- [3] Chen X, Lyu M R. Reliability analysis for various communication schemes in wireless CORBA[J]. IEEE Transactions on Reliability, 2005, 54(2): 232-242
- [4] AboElFotouh H M F, Iyengar S S, Chakrabarty K. Computing Reliability and Message Delay for Cooperative Wireless Distributed Sensor Networks Subject to Random Failures[J]. IEEE Transaction on Reliability, 2005, 54(1): 145-155
- [5] Andrew A D M, Snow P, Upkar Varshney. Reliability and Survivability of Wireless and Mobile Networks [J]. Computer, 2000, 33(7): 49-55
- [6] Zhen Yan, Wu Mu-qing, Wu Da-peng, et al. Toward path reliability by using adaptive multi-path routing mechanism for multimedia service in mobile Ad-hoc network[J]. The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications, 2010, 17(1): 93-100
- [7] 何明,裘杭萍,鲍广宇,等. 基于多径路由的无线 Mesh 网可靠性评估[J]. 应用科学学报, 2009, 27(5): 441-445
- [8] 赵蕴龙,单宝龙,高振国,等. 无线 Mesh 网骨干层 2-终端可靠性计算策略[J]. 计算机学报, 2009, 32(3): 424-431
- [9] Abdule S M, Hassan S, Ghazali O, et al. The effect of speed on AODV protocol performance using RWP in Ad hoc network[C]// Proceedings of 2010 International Conference on Broadcast Technology and Multimedia Communication (Volume5). Wuhan: IITA, 2010
- [10] Kalmanek C R, Ge I, Lee S. Using exploratory data mining to raise the bar on network reliability and performance[C]// Design of Reliable Communication Networks, 2009. Washington: IEEE Press, 2009: 1-10
- [11] 李海波,蔡一兵,李忠诚,等. 一种基于节点间距离提高 Ad hoc 路由稳定性的方法[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(10): 2374-2378