

基于群移动模型的战术互联网路由 协议性能仿真与评估

赵建强^{1,2}, 孙燎原¹, 朱培栋¹, 曹介南¹

(1. 国防科学技术大学 计算机学院, 湖南 长沙 410073;

2. 中国人民解放军西安政治学院 计算机教研室, 陕西 西安 710068)

摘要:在深入分析战术互联网特点的基础上,选取适合战术互联网节点移动特点的参考点群组移动模型,选择了几种具有代表性的无线路由协议,基于 ns2 网络模拟平台,以参考点群组移动模型生成移动场景文件,应用层使用 CBR 数据流量,对几种协议在不同参数条件下的性能进行了模拟测试。通过对测试结果数据的分析,总结出了几种路由协议在战术互联网条件下端到端延迟、报文交付率和路由负载三个方面的特点。为进一步在战术互联网下作相关研究提供参考。

关键词:战术互联网;无线路由协议;群组移动模型;性能评估

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2010)11-0010-04

Simulation and Performance Analysis of Wireless Routing Protocols Based on Group Mobility Model in Tactical Internet Environment

ZHAO Jian-qiang^{1,2}, SUN Liao-yuan¹, ZHU Pei-dong¹, CAO Jie-nan¹

(1. School of Computer, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;

2. Department of Computer, Xi'an Politics Institute of PLA, Xi'an 710068, China)

Abstract: In this paper, several representative wireless routing protocols were simulated based on ns2 network simulation platform with different parameters. The simulation scene was generated based on reference point group mobility model and data flow is CBR flow. The reference point group mobility model was selected as the tactical Internet mobility model after a deep analysis of tactical Internet features. The features of routing protocols in terms of end-to-end delay, packet delivery ratio and routing overhead were concluded under tactical Internet environment. Our work is useful for further study about tactical Internet.

Key words: tactical Internet; wireless routing protocol; group mobility model; performance evaluation

0 引言

移动自组网络^[1](Mobile Ad Hoc Network, 简称 MANET)是一种不依赖固定基础设施的无线网络,它具有的自组织性、无基础设施要求和易铺设等特点使得被广泛应用于军事和民用领域。战术互联网就是 MANET 在战场指挥通信领域的一个典型应用。它是分组无线网络技术为基础的战术级数字化战场支撑平台。IETF 的 MANET 工作组已经提出了多种路由协议,每种协议都有其性能最佳的适用条件。因此,在战术互联网条件下路由协议的性能特点是要以网络环

境特点和应用需求为背景进行分析和评估的。

文中对战术互联网的网络环境特点和应用需求进行了分析,选取适当的节点移动模型,结合路由协议评估的技术指标,对几种典型的无线路由协议进行了仿真,并对仿真结果进行了分析比较,为进一步研究战术互联网的各种应用提供参考依据。

1 战术互联网的特点

战术互联网的骨干网络的覆盖范围比较大。以美军为例,其师一级的网络覆盖范围可以达到 80km * 40km,节点数量可以达到几千个^[2]。实际上在战时旅团级以上的节点移动性很小,通信有专门的通信单元负责,装备有大功率战术无线电台、指挥车甚至卫星通信工具。团以下节点具体执行战术任务,节点移动性强,无法随时架设通信设施,主要通过战术互联网来上传战场信息,接受上级命令等。因此,战术互联网的

收稿日期:2010-03-25;修回日期:2010-06-24

基金项目:国家自然科学基金项目(60873214);国家 863 计划项目(2006AA01Z213)

作者简介:赵建强(1979-),男,硕士,讲师,CCF 会员,研究方向为无线网络和网络安全;朱培栋,博士,教授,研究方向为网络安全和路由技术。

主要组成节点应该是旅团以下的战术战斗单元节点,网络覆盖范围远小于骨干网,节点数量较少,电台功率也较小。

由于作战指挥的层次性结构和部队编成建制的要求,战术互连网络呈现明显的分层特点。为保证各战术单元之间的密切协同和战术任务的要求,节点一般会分布在几个区域,每个区域中节点相对集中,如图 1 所示。如果简单地使用均匀分布或正态分布的建设来构建仿真拓扑环境,仿真得出的结果是不准确的。

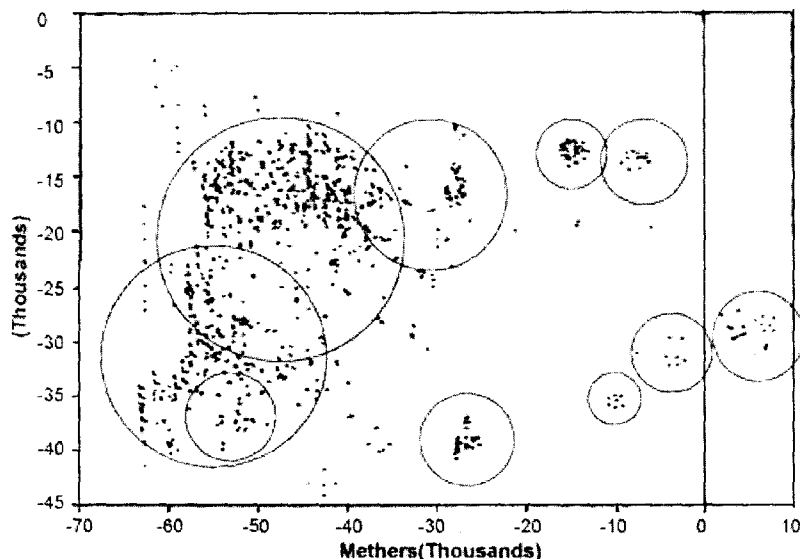


图 1 典型战术互连网络拓扑图

战术互连网络中,命令的下达以及战场信息的上报,都不是持续进行的,由于网络节点电池的限制和通信保密要求,节点无线电一般处于静默状态,只有必须传输信息时才进行信息的交换,因此,战术互连网络中信息流量主要以突发信息流量为主,通信数据量不会非常大且不会长时间持续。

2 MANET 网络移动模型

节点的移动特性与网络拓扑结构的变化密切相关,从而影响路由协议的性能。因此,评估路由协议的性能^[3~6]必须要在特定移动模型下进行^[7,8]。

移动模型反映了网络中节点的移动特点和规律。按照移动节点的移动特性,移动模型可分为个体移动模型和群组移动模型两类。

2.1 个体移动模型

个体移动模型中节点之间的运动相互独立。主要包括随机走动移动模型(Random Walk Mobility Model)、随机路点移动模型(Random Waypoint Mobility model, RWP)、随机方向移动模型(Random Direction Mobility Model)、高斯-马尔科夫移动模型(Gauss-Markov Mobility Model)等^[9]。

在随机走动移动模型中,节点从一个位置运动到新的位置,其运动时的方向和速度都是在一个范围内随机选择,运动速度选择处在 $[\text{minspeed}, \text{maxspeed}]$ 范围内,方向的选择处在 $[0, 2\pi]$ 范围内。

而在随机路点移动模型中节点运动方式则有所不同,节点在模拟开始时被随机放置在模拟区域中,每个节点在运动时会随机选择区域中的某个节点作为目标点,随后以随机速度向目标点运动,到达后停顿随机时间,再重复之前的运动方式。

随机方向移动模型是为了克服随机路点移动模型中移动节点容易出现聚合-分散-聚合的循环而创建的。在此模型中,节点在运动时,会随机选择一个运动方向,而不是目标点,以随机速度运动,达到区域边界后,停顿随机时间,然后在 $[0, 180]$ 度之间随机选择方向继续重复之前的运动方式。

高斯-马尔科夫移动模型中节点移动速度被看作时间上相关的高斯-马尔科夫过程。开始时,每个节点设计一个当前速度和方向,在一个固定时间间隔后,每个节点更新当前的速度和方向。

2.2 群组移动模型

群组移动模型中节点运动呈现出以组为单位运动特点,组内阶段运动相互独立。群组模型主要有追踪模型(Pursue Model)、参考点群移动模型^[10,11](Reference Point Group Mobility model, RPGM)、队列模型(Column Model)、游牧团体移动模型等。

追踪模型模拟的是一组移动节点在向一个特定移动节点运动。移动节点运动的下一个位置与它的当前位置、加速函数和随机向量都有关系。

队列模型表示的是一个移动节点的集合被组织成一个队列统一地向一个方向前进,每个节点可以在它的初始位置徘徊。

游牧团体移动模型中一组节点被看作一个团体,团体中的每个节点可以以随机方式在“团体空间内”运动,它们在给定的参考点附近使用一种随机移动模型运动。

参考点群组移动模型中,每一个群都有一个群首作为参考点,群内其他节点的运动以群首的运动为参考,在群首运动的速度和方向基础上,叠加一个随机的偏移量,作为自己的速度和方向。战术互连网络中战术单元都是以一个部队建制为基本单元执行任务,不同单元移动特征不尽相同,移动呈现明显的群组特性。

每个单元都有指挥员,单元内部成员的移动取决于指挥员的移动速度和方向。因此,战术互联网的移动特性使用 RPGM 描述是比较合适的。

3 路由协议介绍

按照路由表建立的方式不同,无线路由协议主要可以分为先应式路由协议和反应式路由协议两大类。

3.1 先应式路由协议

先应式路由协议需要周期性地在网络中广播路由更新消息,用来维护路由表的一致性和正确性。由于路由已经存储在路由表中,因此路由寻址快。但由于要周期性更新路由,会占用较多的网络带宽资源。先应式路由协议主要包括 DSDV,OLSR^[12],CGSR 等。

DSDV 协议即目的地序号距离矢量协议。此协议基于有线网络中的距离矢量路由协议,每个节点都保持有一张完整的路由表,表中记录了从该节点到网络中其他所有节点的路由信息。为了维持路由表中有最新的路由信息,需要周期性广播路由信息,造成路由负载较重,特别是在网络拓扑频繁变化的情况下,路由负载更加严重。OLSR 协议即优化链路状态路由协议。此协议在网络节点启动时,各节点相互发送消息,建立各自的路由表。为了维护路由表的最新状态,协议需要周期性更新路由信息,其采用 MPR 的优化传输方案减少了路由控制信息。CGSR 即簇首网关交换路由协议。此协议将网络按照分簇算法 LCC(Least Cluster Change,最小群变化协议)划分为若干簇,通过簇首实现簇内信息处理,簇间通过簇内网关节点进行信息交换。每个节点需要维护簇成员表和路由选择表,此协议在簇首变化频繁时效率较低。

3.2 反应式路由协议

反应式路由协议只有在需要传输数据时才向网络中广播请求路由信息,优点是节约网络带宽,但缺点是路由寻址时间比较长。反应式路由以 AODV,DSR 和 TORA 等为代表。

AODV 协议是一种按需平面距离矢量协议。它结合了 DSR 和 DSDV 协议优点,借用了 DSR 中按需进行路由发现、维护的机制和 DSDV 中的逐跳路由、定期触发广播机制。DSR 即动态源路由协议。此协议采用路由缓冲技术存放路由信息,每一个寻路的分组头部都携带有完整的路由信息,因此,在分组转发时中间节点无需维护更新路由信息。TORA 即临时按序路由协议。此协议是源始发的路由协议,能向每一对源-目

的节点提供多径路由。

4 路由协议性能仿真及结果分析

4.1 路由协议的评价指标

* 数据分组的投递率:数据分组的投递率=成功接收到的数据分组个数/总共发出数据分组个数。该量反映了协议传输的可靠性和健壮性。

* 数据分组端到端投递延迟(ETE delay):数据分组平均 ETE 时延=数据分组 ETE 时延的总和/成功接收到数据分组个数。该指标反映出协议传输数据的延迟特性。

* 路由负载(Routing Overhead):路由开销=单位时间内网络中全部节点发送的路由控制分组的总数。

4.2 仿真参数及结果

仿真平台采用 ns2(ns-2.30)作为仿真平台。节点数量及参数配如表 1。

表 1 仿真参数

网络拓扑范围	1000m * 1000m
节点数目	30, 50, 80, 100, 120, 150, 180
暂停时间(s)	0, 50, 100, 200, 400, 800
节点最大移动速度	18m/s
路由队列接口	50
参考点组移动模型	组最大节点数为 9, 最小节点数为 3
模拟时间	1800s, 系统稳定的跳过时间 800s
对比的路由协议	AODV, DSR, DSDV, OLSR
CBR 数据	数据流为节点数 60%, 数据包大小为 512B

文中选择节点数目为 50 时的仿真参数,具体结果如图 2、图 3 和图 4 所示。

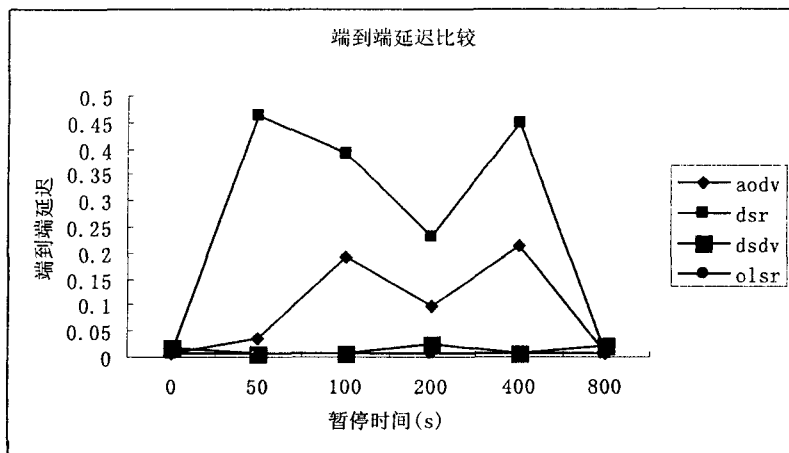


图 2 节点 50 时不同暂停时间下端到端延迟比较

5 仿真结果分析

从以上仿真结果来看,OLSR 和 DSDV 传输延迟最小,几乎相同,且受节点移动性增强影响小,而 AODV 和 DSR 的都较大,其中 DSR 的最大(图 2)。这

是因为 DSDV 和 OLSR 协议中每个节点都存储有全网的路由信息,数据传输时不需要像 AODV 和 DSR 协议那样去查找路由,因此,传输延迟小。AODV 和 DSR 协议由于在数据传输时才进行路由查找,网络拓扑的变化会直接影响路由的形成时间。

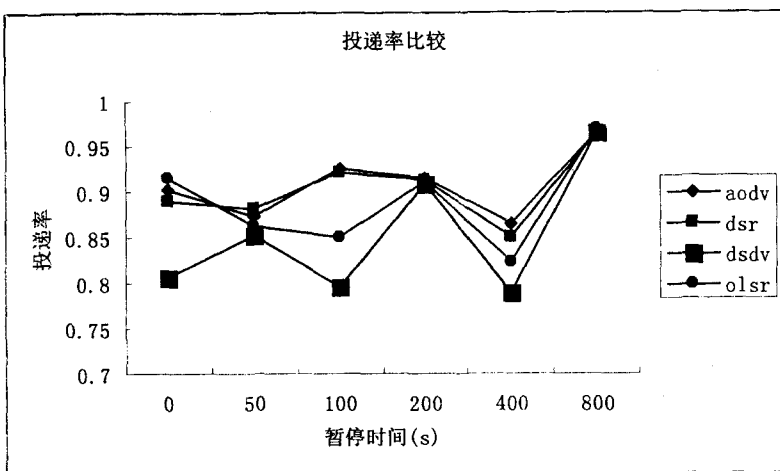


图 3 节点 50 时不同暂停时间下报文投递率比较

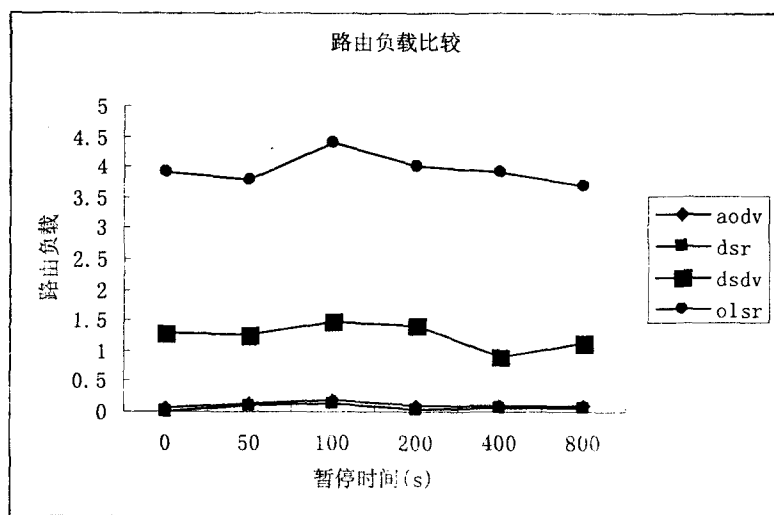


图 4 节点 50 时不同暂停时间下路由负载比较

随着节点移动性的增强,四个路由协议的报文投递率都会随之下降,这是由于随着节点移动性的增强,会使得已建好路径断开的概率增大,造成数据传输失败的概率也增大。DSR 和 AODV 比 DSDV 和 OLSR 的报文交付率高,其中 DSR 优于 AODV,OLSR 优于 DSDV(图 3)。这是由于随着节点移动性的增强,DS-DV 和 OLSR 缓冲的路由失效的概率增大,造成数据传输失败的概率也增大,而 AODV 和 DSR 协议,由于在发送数据时才寻找路由,路由能较好的反映最新的网络拓扑,因此,报文投递率相对较高。

由于 DSR 和 AODV 在需要时才查找路由,因此,从图 4 可以看出,其路由负载明显小于 OLSR 和 DSDV 协议。随着节点移动性的增强,四个路由协议的

负载基本保持不变,这是由于 OLSR 和 DSDV 协议路由负载的产生主要是由路由更新的周期决定,节点移动性的变化基本不会影响。而对 AODV 和 DSR 协议,只有在发送数据时才进行路由查找,因此,路由负载主要是由发送的数据量来决定,也不会受节点移动性变化的影响。

6 结束语

文中首先分析了战术互联网的特点,介绍了移动自组网的移动模型和路由协议,选取了四种具有代表性的移动自组网路由协议,并选定参考点群组移动模型来生成网络拓扑,在 ns2 网络模拟平台上,选取合适的参数对这四种路由协议的性能进行仿真。详细对比分析了四种路由协议在战术互联网环境下端到端传输延迟、报文投递率和路由负载三个主要性能指标。通过仿真结果分析发现节点的移动性对报文交付率影响较大,但对路由负载影响很少,对 AODV 和 DSR 协议的端到端传输延迟有较大的影响,但是对 DSDV 和 OLSR 协议的端到端延迟影响几乎没有。目前仅只是对几种常见协议性能在战术互联网环境下作了简单的评估,下一步将会在此基础上做战术互联网下相关应用的进一步研究工作。

参考文献:

- [1] Perkins C E. Ad Hoc Networking[M]. London: Addison-Wesley, 2001.
- [2] Sass P. Communications networks for the Force XXI Digitized Battlefield[J]. Mobile Networks and Applications, 1999(4): 139-155.
- [3] 屈文杰, 吴长奇. AODV 和 AOMDV 路由协议性能仿真与分析[J]. 计算机工程, 2007, 33(17): 143-145.
- [4] 何昆鹏, 李腊元. Ad Hoc 网络中按需路由协议的仿真与性能分析[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(3): 82-84.
- [5] 张登银, 沈邵帅. Ad Hoc 网络路由协议仿真分析[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(8): 23-26.
- [6] 张登银, 姬广芹. Ad Hoc 网络中基于 DSR 的节能路由协议研究[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(8): 16-22.
- [7] 王建新, 李健, 朱贤曼. MANET 中节点的运动模型和性能分析[J]. 计算机工程, 2006, 32(19): 125-130.
- [8] 石丛军, 任清华, 郑博, 等. MANET 节点移动模型仿真研究[J]. 计算机工程, 2009, 35(14): 101-103.

d_0 为 50m。

3.2 仿真结果分析

主要从网络生存时间和节点存活个数随时间的变化两个方面进行了比较,以此来评价改进后算法的性能。

改进算法 LEACH-EV 和 LEACH 算法网络的生命期如图 1 所示,从图可知改进后的算法明显延长了网络生存时间。

图 2 显示改进后的算法网络节点生存情况明显好于 LEACH 算法的网络。仿真结果表明改进算法比 LEACH 算法有更好的网络生存期,而且节点死亡整体跨度(从第一个节点死亡到所有节点死亡所经的时间)小,这说明网络节点间能量整体均衡消耗,即能耗均衡性更好。

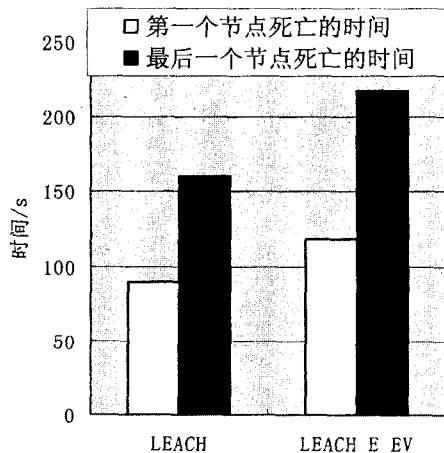


图 1 第一个节点和最后一个节点死亡的时间比较

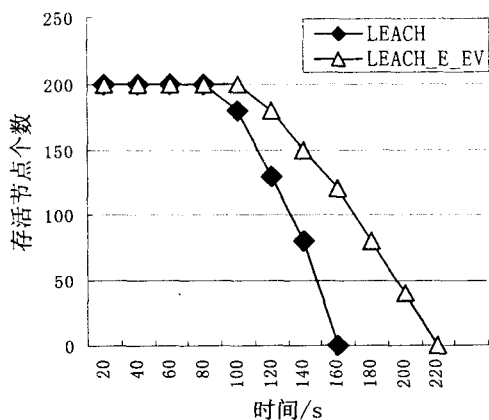


图 2 存活节点数目随时间的变化

4 结束语

文中在分析经典算法 LEACH 的基础上,针对其不足,提出了基于能量与能耗速度的簇头选择机制,给出了节点成为簇头节点的概率计算模型,使得剩余能量大、能耗速度小的节点当选为簇头的概率大,有效地延长了节点的生存时间,在成簇阶段使用能量、能耗速度和与基站的距离三个因素来对成簇规模进行约束控制,并提出了簇规模的计算模型,改善了簇之间负载不均衡的问题。仿真结果显示,改进后的算法能有效地延长网络的生存时间。

参考文献:

- [1] 孙利民,李建中,陈渝,等. 无线传感器网络[M]. 北京:清华大学出版社, 2005.
- [2] 徐建波. 无线传感器网络分布式簇和节能的数据收集协议研究[D]. 长沙:湖南大学, 2008.
- [3] 李翔. 无线传感器网络簇状网的研究[D]. 天津:天津大学, 2006.
- [4] 尚杨,张凤登. 一种新的能量有效性无线传感器网络分簇算法[J]. 微计算机信息, 2007, 23(25): 142-144.
- [5] 沈波,张世永,钟亦平. 无线传感器网络分簇路由协议[J]. 软件学报, 2006, 17(7): 1688-1700.
- [6] Heinzelman W R, Chandrakasan A, Balakrishnan H. An application-specific protocol architecture for wireless micro sensor networks[J]. IEEE Transactions of Wireless Communications, 2002, 1(4): 660-670.
- [7] Younis O, Fahmy S. HEED: A hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad hoc sensor networks[J]. IEEE Trans. on Mobile Computing, 2004, 3(4): 660-669.
- [8] 卿利,朱清新,王明文. 异构传感器网络的分布式能量有效成簇算法[J]. 软件学报, 2006, 17(3): 481-489.
- [9] Lin Tsung-Hsien, Kaiser W J, Pottie G J. Integrated Low-Power Communication System Design for Wireless Sensor Networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2004, 42(12): 142-150.
- [10] 武春涛,胡艳军. 无线传感器网络 LEACH 算法的改进[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(3): 80-83.
- [11] 李冰,李捷. 一种基于 GAF 的无线传感器网络分簇算法[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(12): 113-115.
- [12] 陈敏. OPNET 网络仿真[M]. 北京:清华大学出版社, 2004.

(上接第 13 页)

- [9] 赵金晶,朱培栋. AdHoc 网络移动模型及应用[J]. 计算机工程与科学, 2005, 27(5): 15-16.
- [10] Hong Xiaoyan, Gerla M, Pei Guangyu. A Group Mobility Model for Ad Hoc Wireless Networks[C]//Proc. of ACM/IEEE MSWIM'99. Seattle, WA, USA: [s. n.], 1999: 53-60.

- [11] 董超,杨盘龙,田畅. 一种 adhoc 网络组移动模型[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(7): 1879-1883.
- [12] Clausen T, Jacquet P. Optimized link state protocol[S]. RFC 3626, 2003.