

无线 Mesh 网络中的路由分析与设计

秦 军¹, 陈 迪², 袁翰林²

(1. 南京邮电大学 教育科学与技术学院, 江苏 南京 210003;

2. 南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京 210003)

摘 要:由于无线 Mesh 网络拓扑结构的动态变化以及无线信道的不稳定性, 如何设计无线 Mesh 网络的路由协议成为决定其性能的关键因素之一。文中主要研究与分析了 Mesh 网络现有的几种典型的三层路由协议(DSDV 和 AODV), 并针对三层路由的 Qos 较大受限于网络拓扑结构变化的缺陷与不足, 提出了一种基于二层路由的网络模型, 将数据包的转发以及通信链路的建立和维护放到 Mac 层完成。模拟仿真测试表明, 二层路由对数据包转发的效率有较大的改进, 同时也有效地减少了路由开销和端到端的时延。

关键词:无线 Mesh 网; 路由协议; 二层; 拓扑

中图分类号:TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)02-0053-04

Analysis and Design on Routing of Wireless Mesh Network

QIN Jun¹, CHEN Di², YUAN Han-lin²

(1. College of Edu. Science and Techn., Nanjing Univ. of Posts & Telecomm., Nanjing 210003, China;

2. College of Computer, Nanjing University of Posts & Telecomm., Nanjing 210003, China)

Abstract: For the instability of wireless Mesh network topology and wireless channel, design of Mesh routing protocol becomes one of the key factors for its performance. It mainly studies and analyzes the existing Mesh network of several typical routing protocols (DSDV and AODV). Considering Qos for layer3 routing is fragile to the change of network topology, a new model based on layer2 routing is proposed to avoid such defects and limitations, the packet forwarding, setup and maintenance of the connectivity are accomplished in Mac layer. Simulation tests show layer2 packet forwarding is much more efficient, and also reduces the routing overhead as well as the P2P delay.

Key words: wireless Mesh network; routing protocol; layer2; topology

0 引 言

无线 Mesh 网(WMN)是一种动态自组织、自配置网络。WMN 主要由 Mesh 路由器和 Mesh 终端组成, Mesh 网络中的所有节点自动建立一个动态网络并维护网络的连通性^[1,2]。由于在军事通信、高速移动、应急通信等场合的广泛应用以及组网灵活、成本低廉、易于扩展等特点,无线 Mesh 网络成为当前研究的热点之一。

路由层是无线 Mesh 网络中提高网络资源利用率的关键通信协议层之一,在路由层中,有效带宽会被内部无线接口和外部无线接口分享^[3]。WMN 的路由算法必须根据多跳无线网络的特点以满足以下需求:

(1)链路质量变化:路由算法必须能够对链路质

量变化作出快速反应,提供有效的备选路由。

(2)结点拓扑变化:路由算法要降低延迟以适应高速移动环境下网络拓扑结构的快速变化,在尽可能短的时间内完成全网的拓扑同步和稳定。

(3)负载均衡:路由算法要提供高效路由以考虑在网状网络中节点的负荷,防止一些节点负荷过大导致发送延迟和吞吐率的下降。

1 路由协议分析

1.1 DSDV 协议

目的节点序列距离矢量协议是一种距离矢量协议,该协议最主要的设计思想是为每条路由维护一个单调递增的目的节点序列号,在不需要邻节点互相协作的情况下,对比节点序列号,保证不出现路由环路。DSDV 协议规定,该目的节点序列号保存在每一个网络节点的路由表条目中。通过在数据包中加入目的节点域,这些目的节点的距离信息通过每次路由更新在邻节点中相互进行交换。这样,每个节点利用从邻居

收稿日期:2011-07-02;修回日期:2011-10-15

基金项目:江苏省科技支撑计划项目(BE2009157)

作者简介:秦 军(1955-),女,教授,硕士生导师,研究方向为计算机网络技术、多媒体技术、数据库技术;陈 迪(1987-),男,江苏溧阳人,硕士研究生,研究方向为计算机在通信中的应用。

节点收到的距离矢量来更新自己的路由表,以保证当前路由最新最好。

DSDV 协议要求每个节点保存到其它所有节点的路由信息^[4]。节点之间通过周期性的广播发布即时的路由更新以捕捉和交换路由变化信息,从而保证当前节点路由表的信息能够准确及时地反映网络连接变化情况。当前网络有新节点加入时,新入节点会向全网节点广播自己的信息,其余节点一旦接收到新入节点的广播分组信息时,一方面会先将指向新节点的路由添加到自己的路由表中,另一方面,为防止路由表波动,将在延迟一定时间后将分组向网络中的其它节点转发。当网络中出现由于节点位置移动或其它突发原因引起的路由断链时,首先感知链路中断的节点会将路由表中对应的条目的跳数设置为无穷大,并即时触发(并不延迟)一个更新分组,告之邻居节点此节点已不可达,这样可以确保在网络拓扑发生显著的变化时节点能作出快速反应,加速路由的收敛性能。

DSDV 路由协议的最大特点是在任何情况下都能有效避免路由环路。但是在网络拓扑快速变化频繁,节点高速移动的情况下,DSDV 协议的收敛性能将急剧恶化。并且,DSDV 不论节点是否真正需要发送数据都要求其定期地向邻节点广播更新消息。这样,如果加入网络的节点越来越多,网络流量密度不断加大,路由表的容量、开销以及带宽的相应增加将加重网络的负载,网络规模受到限制是 DSDV 最主要的缺点。此外,DSDV 协议规定每个节点保存到网络中所有节点的路由,而大部分路由是从未得到使用的。实际的网络环境中,单个节点应该更多地保存当前网络中活跃有效的路由,避免不必要的路由冗余,以免造成较大的路由开销和资源的浪费。

1.2 AODV 协议

AODV 是一种典型的按需路由协议,它是在 DSDV 算法的基础上,结合 DSR 算法中的按需路由机制而被提出的^[5]。如图 1 所示,如果 Node1 有数据需要向 Node7 发送,而 Node1 中没有相关路由信息记录,协议流程如图 1 所示。

上述协议中节点不需要发现或维持到另一节点的路由,除非两个节点需要进行通信,虽然 AODV 存在很多优点,也相对比较成熟,但可能会存在如下不足:

(1)业务传输开始时才建立路由,跳数多会带来很大延时。

(2)路由的发现占用相当的带宽,对于系统资源相对紧张情况下可行性值不大。

(3)路径发现采用广播式策略^[5],在节点相对集中的状况时,很容易产生碰撞。

(4)由于无线信道存在丢帧或信号不确定因素,最终找到的路径并非最优路径,不能反应实际网络拓扑结构。

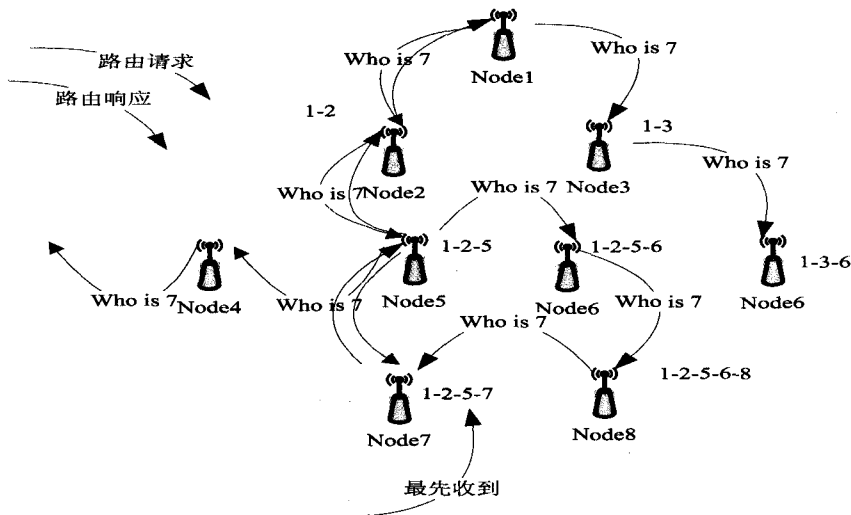


图 1 AODV 协议流程图

2 路由方案设计

事实上,各种三层路由协议的性能在具体不同的网络中表现又有不同,网络拓扑结构的复杂程度对路由协议的性能有很大的制约性。

2.1 二层路由特点

二层路由协议 (Layer2 Routing) 基于节点的拓扑结构,该协议是由网络节点拓扑结构信息根据特定算法获取各节点的路由信息,是一种先验式路由协议,该协议的实现可采用集中式,也可采用分布式策略。二层路由协议与传统协议不同之处在于:二层路由通过 MAC 地址寻址,数据包通过二层转发,上层协议栈不需要对它进行额外的拆分和封装^[6,7],邻居、拓扑结构在 MAC 层建立和维护,不需要额外发送通告,路由更新等消息来建立和维护路由,这样可以减少路由协议所带来的系统开销、节约系统带宽、降低时延,特别适用于数据传输实时性要求高以及节点数量较多、网络结构复杂的多跳网络。

2.2 路由协议流程

二层路由协议流程如图 2 所示。

每个节点在初始化完毕后都会周期性地发送广播通告消息,每个节点会收到其他节点发送的广播通告,

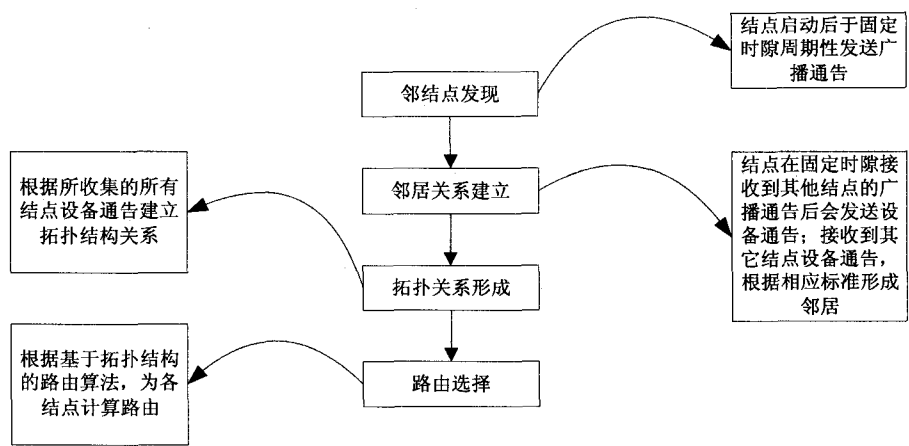


图2 二层路由协议流程

节点在接收到其他节点发送的广播通告消息后,根据相应的判断标准,如 RSSI、距离等,建立邻居关系,并将本节点的邻居关系通过邻居拓扑帧发送给邻居,邻居节点接收到邻居拓扑帧后,再结合本节点的相关信息向其邻居发送,这样就会使得每个节点都能够获取当前网络的拓扑结构。其中各消息帧可以分别以 TLV 格式封装进行发送,接收方根据 TLV 进行解析。

2.3 路由算法实现

这里讨论 Mesh 节点的路由,算法的实现需要考虑跳数、传输时延、链路可用带宽、丢包率、路径干扰等因素,简单起见,考虑简单路由算法的实现,即跳数最小路由算法。

假定有邻居关系表(1 代表连通,0 代表不连通):

	1	2	3	4	5
1	0	1	0	0	0
2	1	0	1	1	1
3	0	1	0	1	1
4	0	1	1	0	1
5	0	0	1	1	0

以节点 1 为例描述路由路径发现流程:

(1)节点 1 的邻居(一级)为 2,记录到达路径:

1 -> 2

(2)结点 2 的邻居(二级)为 3、4,记录到达路径:

1 -> 2 -> 3

1 -> 2 -> 4

(3)节点 3 的邻居(三级)为 2、4、5,已到达的不再记录,得到路径如下:

1 -> 2 -> 3 -> 5

此时发现所有节点已遍历完毕,因此最终的节点 1 的路由信息如下:

1 -> 2

1 -> 2 -> 3

1 -> 2 -> 4

1 -> 2 -> 3 -> 5

3 路由寻址和数据转发

3.1 路由寻址

数据包的路由主要涉及以下几个模块:Mac Layer、Mesh Route 和 IPFM。其协议栈如图 3 所示:

(1) MAC Layer 主要负责资源、时隙的分配和冲突避免并同时维护网络拓扑表 topo_table 和邻居

表 neighbour_table;

(2)Mesh Route 主要负责从 MAC Layer 得到网络拓扑表,并计算二层路由,选择路径;

(3)IPFM 为 IP 转发管理,主要功能是主机路由的转发,维护主机路由表 host_table。

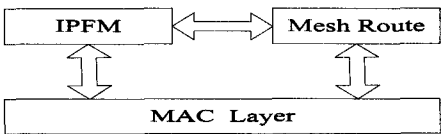


图3 协议栈模型

模拟网络应用场景如图 4 所示:

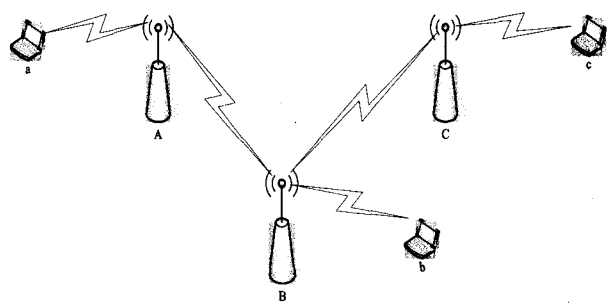


图4 模拟网络场景

现假设有数据从主机 a 发往主机 c,数据包的路由过程如下:

首先 Mesh 节点 A 查找 topo_table,未找到主机 c 信息,通过查找 neighbour_table,发送 query 报文给邻居 Mesh 节点 B 询问;Mesh 节点 B 查找 topo_table,未找到主机 c 信息,发送 query 报文给邻居 Mesh 节点 C 询问;Mesh 节点 C 查找 topo_table,发现主机 c 挂载在当前节点下,于是通过 C->B->A 路径回复给 A,c 的数据包交由 Mesh 节点 C 来交付。这样,A 通过 Mesh Route 计算并查找到达 Mesh 节点 C 的路径,发现 Mesh 路由的下一跳是 Mesh 节点 B,所以发送报文给 Mesh 节点 B(B 到 C 重复同样过程),数据包到达 C 后,C 查找 host_table,将数据包交付给 c。

3.2 数据转发

为了降低系统的处理延时,可采用二三层混合转

发的模式;在转发数据中增加目标节点的标识,如果接收方接收到数据后目标节点不是自己,则通过 Mesh Route 查目标节点的下一跳节点,在二层进行转发,不再需要查路由;如果接收方收到数据后目标节点就是自己,则送 IPFM 路由模块查路由转发;为了降低因为路由计算错误导致的对整个网络的影响,在传输数据中增加 TTL 字段,根据网络规模由数据的发起节点填写。每经过一个节点减 1,当减到 0 仍然没有到达目的节点,则数据丢弃。

4 测试结果

根据前述的路由方案设计,模拟了数据包的二层寻址及转发。文中在 Linux 操作系统下采用 NS2 仿真软件进行仿真。1000m×1000m 的仿真区域内均匀分布 50 个无线 Mesh 节点,每个测试节点间的距离大于 100m,节点的最大移动速度为 25m/s。在相同仿真场景下,通过改变测试节点的移动速度,对典型的三层 AODV 和二层路由算法的路由开销和平均时延等参数进行比较,并模拟了在不同网络拓扑结构下网络的吞吐量。

4.1 路由开销

路由开销是指一个分组成功传送所花费的平均控制分组数量^[8,9],路由算法的选取对路由开销的大小有较大影响。

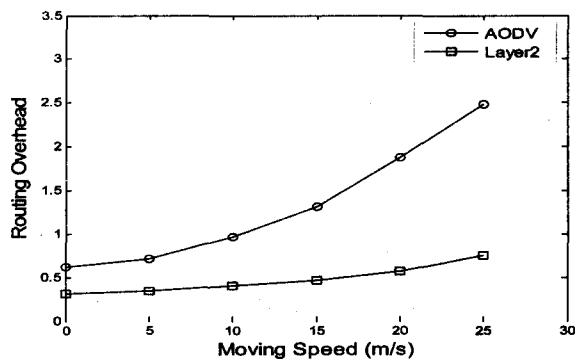


图 5 路由开销

如图 5 所示,二层路由比 AODV 路由在路由开销上有明显的优势。节点移动速度的增大,势必会导致出现链路断开的几率加大,此时需要更多的系统开销进行链路修复。由于二层路由方案中节点拓扑结构的稳定在 Mac 层建立和维护,不需要额外发送通告、路由更新等消息来建立和维护路由,如果 Mesh 节点下挂的主机节点变化不大,则各个 Mesh 节点间的路由开销就很少,这样就有效地提高了路由的效率和数据包交付的成功率,同时也减少了修复链路的次数^[10],从而在很大程度上降低了网络路由开销。

4.2 端到端时延

端到端时延是指数据分组从离开源节点到抵达目

的节点的时间差值,可以有效地衡量路由算法的时间效率^[11]。而对于实时性要求比较高的语音视频流来说,时延抖动尤为重要^[12,13]。

从图 6 可以看出,随着节点位置的变化以及移动速度的增大,路由通路的断裂的可能性变大,拓扑的稳定和路由重建需要更多额外的时间,因此端到端的时延也相应增加,而二层路由将数据包的转发放在 Mac 层进行,一方面减少了协议封装与拆分,转发速度更快;另一方面,在 Mac 层维护链路的稳定比在 IP 层处理更快速有效,所以明显降低了端到端时延。

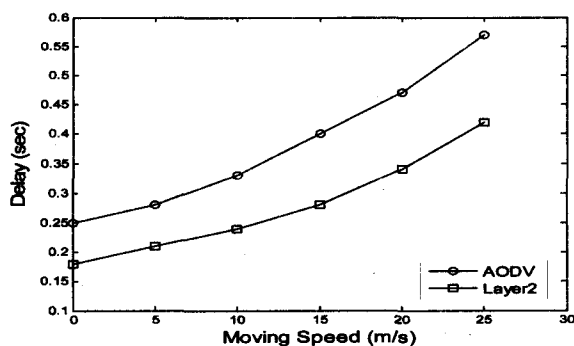


图 6 端到端平均时延

5 结束语

文中研究与分析了现有的典型 Ad Hoc/Mesh 架构网络路由协议的特点与缺陷,提出了基于二层路由的方案设计,将数据包的转发以及通信链路的建立和维护放到 Mac 层完成。模拟仿真测试表明,数据包的二层转发,提高了系统的时延与转发效率,尤其适用于无线多跳的复杂网络。

参考文献:

- [1] 于宏毅. 无线移动自组织网[M]. 北京:人民邮电出版社, 2005.
- [2] Hossain E, Leung K K. 无线 Mesh 网络构架与协议[M]. 北京:机械工业出版社, 2009.
- [3] 方旭明. 下一代无线因特网技术-无线 Mesh 网络[M]. 北京:人民邮电出版社, 2006.
- [4] 徐 静. 无线 Ad Hoc 网络路由协议比较[J]. 广西通信技术, 2004(2): 21-24.
- [5] 沈 奔, 秦 军, 万 丽. 无线 Ad Hoc 网络中 AODV 路由算法的研究与改进[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(3): 150-153.
- [6] 王晓燕. 无线 Mesh 网络路由协议的研究[D]. 西安:西安电子科技大学, 2005.
- [7] 方旭明, 马建建. 无线 Mesh 网络的跨层设计理论与关键技术[J]. 西南交通大学学报, 2005(6): 711-719.
- [8] 全 武, 宋瀚涛, 江宇红. Ad Hoc 无线网络及其路由选择协议[J]. 计算机应用, 2002(6): 26-31.

(下转第 60 页)

图像信息。文中还使用三种质量评价指标对文中的融合效果进行了客观评价。

表 1 给出了融合图像的平均梯度、熵、边缘融合质量指标数据。

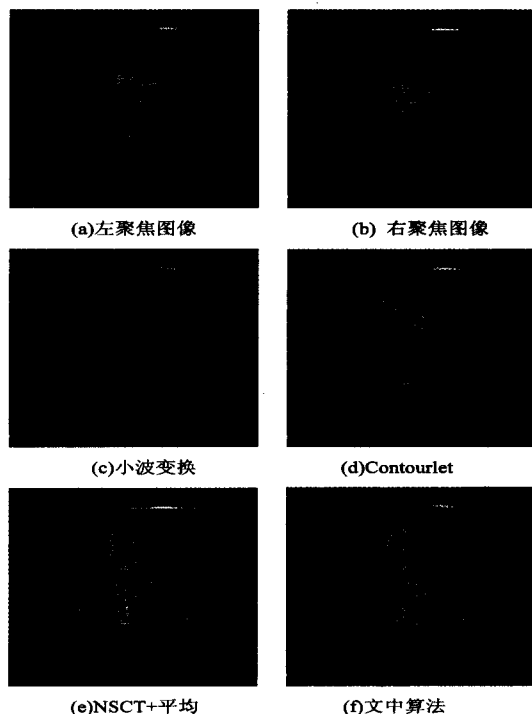


图 2 Clock 多聚焦图像的融合

表 1 各种融合算法的质量评价结果

融合算法	\bar{G}	Entropy	$Q^{AB/F}$
算法一	7.2184	7.1074	0.6657
算法二	7.2103	7.1268	0.6835
算法三	7.3297	7.2873	0.6014
文中算法	7.5060	7.3953	0.7220

从表 1 的统计数据可以看出,文中算法融合图像的 $Q^{AB/F}$ 大于算法三,可见基于灰度形态学的融合方法能够有效保留源图像的边缘信息。并且平均梯度最大,说明得到的融合图像清晰度更高,细节内容更加丰富。相比于其他的融合方法,文中方法的各项指标值均优于其他三种融合方法,并且与对融合结果视觉质量的评价是一致的。

5 结束语

文中将 NSCT 运用到多聚焦图像融合中,对低频子带系数采用基于灰度形态学的方法,能够有效地保留图像的边缘信息。对带通方向子带系数采用基于区域能量的方法,能够保留更多的细节信息,提高图像的清晰度。实验结果也表明,文中算法能够更好地保持源图像的有用信息,目视效果与主要性能指标均优于传统的小波方法和 Contourlet 方法。

参考文献:

- [1] 敬忠良,肖刚,李振华. 图像融合-理论与应用[M]. 北京:高等教育出版社,2007:3-8.
- [2] 杨亚,王铮,张素兰,等. 基于小波变换的多聚焦图像融合[J]. 计算机技术与发展,2010,20(3):56-58.
- [3] Do M N, Vetterli M. The contourlet transform: an efficient directional multiresolution image representation [J]. IEEE Trans on Image Proc, 2005, 14(12): 2091-2106.
- [4] 闫敬文,屈小波. 超小波分析及应用[M]. 北京:国防工业出版社,2008:159-174.
- [5] Cunha A L, Zhou Jianping, Do M N. The nonsubsampled contourlet transform: theory, design and applications [J]. IEEE Trans on Image, 2006, 15(10): 3089-3101.
- [6] 白蕊,杨万海,张艳妮. 基于 Contourlet 变换的遥感图像融合[J]. 中国图象图形学报,2009,14(6):1173-1177.
- [7] 陈文永,范延滨. 基于形态学梯度的 DWT 域自适应水印算法[J]. 计算机仿真,2009,26(8):100-103.
- [8] 王亚杰,王晓岩,刘学平. 基于小波变换的多聚焦图像融合评述[J]. 沈阳航空工业学报,2005,22(4):65-67.
- [9] 闫敬文. 数字图像处理[M]. MATLAB 版. 北京:国防工业出版社,2007:182-190.
- [10] Xydeas C S, Petrovic V. Objective Image Fusion Performance Measure[J]. Electronics Letters, 2000, 36(4): 308-309.
- [11] Qu Xiaobo, Yan Jingwen, Xiao Hongzhi, et al. Image Fusion Algorithm Based on Spatial Frequency-Motivated Pulse Coupled Neural Networks in Nonsampled Contourlet Transform Domain[J]. Acta Automatica Sinica, 2008, 34(12): 1508-1514.
- [12] 黄伟. 像素级图像融合研究[D]. 上海:上海交通大学, 2008.

(上接第 56 页)

- [9] Liu Jian, Li Fangmin. An improvement of AODV protocol based on reliable delivery in mobile Ad hoc networks[C] // Proc of the 5th International Conference on Information Assurance and Security. Washington DC: IEEE Computer Society, 2009:507-510.
- [10] Akyildiz I F, Wang X, Wang W. Wireless Mesh Networks: A Survey[J]. Computer Networks Journal (Elsevier), 2005, 47(4):445-487.
- [11] Jones E P C, Karsten M, Ward P A S. Multipath load balancing

in multi-hop wireless networks[C] // IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob 2005). Canada: [s. n.], 2005.

- [12] Xue Q, Ganz A. Ad hoc QoS on-demand routing (AQOR) in mobile ad hoc networks[J]. J Parallel Distrib Comput, 2003, 63(2):154-165.
- [13] Sun Y, Belding-Royer E M, Perkins C E. Internet Connectivity for Ad Hoc Mobile Networks [J]. International Journal of Wireless Information Networks, 2002, 9(2):75-88.