

基于地理位置的 Ad Hoc 路由协议

林彦汝,周继鹏

(暨南大学 计算机科学系,广州 510632)

(linyru@126.com; tjzhou@jnu.edu.cn)

摘要:针对 Ad Hoc 网络中基于地理位置信息的路由面临的贪婪转发策略失败的本地最小问题,提出了一种基于斜率的 Ad Hoc 路由协议 GAR。GAR 不需要维护全局网络拓扑结构,利用斜率转发策略解决了路由算法解决本地最小问题所带来的复杂性问题。在 GAR 协议的基础上进一步改进,提出了 GALMR 协议,该协议通过标记节点发现过程,减少路由跳数,提高算法的执行效率。理论分析和实验结果显示,GALMR 算法具有较高的数据分组抵达率和较低的平均端到端延迟。

关键词:自组网络;地理位置;本地最小节点;斜率转发策略;仿真模拟

中图分类号: TP393.07 **文献标志码:** A

Geographic routing protocol in Ad Hoc networks

LIN Yan-ru, ZHOU Ji-peng

(Department of Computer Science, Jinan University, Guangzhou Guangdong 510632, China)

Abstract: Geographic routing in Ad Hoc Networks faces a local minimum problem when greedy forwarding strategy fails. The proposed Geographic Ad hoc Routing protocol (GAR) did not need to maintain global network topology, and it used slope-based forwarding strategy to solve the local minimum problem and is easy to implement. GALMR protocol was proposed by improving GAR protocol. The proposed protocol takes advantage of landmarks to reduce the hops of routing paths, and the performance is improved. The analytical and experimental results show that GALMR protocol has high data packet arrival rate and low average end-to-end delay.

Key words: Ad Hoc network; geographic location; local minimum node; slope forwarding strategy; simulation

0 引言

无线自组网络(Wireless Mobile Ad Hoc Network, Ad Hoc 网络)是由一组自治无线移动节点组成的临时性网络。Ad Hoc 网络无需预先设置中心控制节点,移动节点通过多跳无线链路实现相互间的通信。网内每个节点要有报文转发能力,即要具备路由器功能^[1-2]。

随着全球卫星定位系统(Global Positioning System, GPS)^[3]的广泛应用,许多基于地理位置的 Ad Hoc 网络路由协议被提了出来,具有代表性的有:位置辅助的路由(Location Aided Routing, LAR)^[4],栅格位置服务(Grid Location Service, GLS)^[5], DREAM^[6](Distance Routing Effect Algorithm for Mobility)。LAR 和 DREAM 采用限定区域洪泛,算法简单,通信复杂度低;GDIR 采用分级路由策略来避免洪泛,但划分网格的难度大;GPSR^[7]采用贪婪式转发,当数据包转发到本地最小节点后,采用右手规则绕过障碍区域,且每个节点存储动态的周边模式信息将付出很大的代价。

本文提出一种基于地理位置的 Ad Hoc 路由协议——GAR 协议,核心思想是数据包到达本地最小节点后,通过标记发现过程,以斜率转发策略绕过障碍区。与其他路由协议相比,该协议有以下特点:

1) 利用斜率转发策略时,查找斜率值最小的邻节点作为下一跳扩展节点,只需要局部信息,不需要像 GPSR 协议那样

维护全局网络拓扑结构。

2) 采用标记发现过程查找标记节点,提高了数据包的抵达率,一定程度上缩短了路径长度。

3) 斜率转发策略不需要像 GPSR 协议那样构建平面图,该算法相对于 GPSR 算法来说比较简单,更容易实现。

1 GAR 协议

1.1 GAR 协议路由转发策略

在介绍路由转发策略前,先引入几个符号。

k_{ab} 表示节点 a 与节点 b 所构成直线的斜率值,设节点 a 和 b 的坐标值分别为 (x_a, y_a) , $b(x_b, y_b)$, 则 $k_{ab} = (y_b - y_a) / (x_b - x_a)$ 。

$h(a)$ 表示节点 a 到目标节点 D 的距离。

$d(a, b)$ 表示节点 a 到节点 b 的距离。

顺(逆)时针选路规则:计算本地最小节点 X 和目标节点 D 构成直线的斜率值 k_{XD} , 节点 X 的邻节点集 N 中的节点 n 与 D 构成直线的斜率值 k_{nD} , 比较两个值的大小,若 $k_{XD} > k_{nD}$ ($k_{XD} < k_{nD}$), 则说明节点 n 是 X 符合顺(逆)时针选路规则的邻节点,选取所有符合该条件的邻节点作为下一跳扩展节点的候选节点。

GAR 协议的路由转发策略分为两种,即贪婪转发策略和斜率转发策略:贪婪转发策略就是选择比当前节点 X 距离目标节点更近的邻居节点转发数据包;斜率转发策略就是选择

收稿日期:2010-06-21;修回日期:2010-08-17。

基金项目:广东省自然科学基金资助项目(7005946);教育部科学技术研究重点项目(207143)。

作者简介:林彦汝(1987-),女,浙江温州人,硕士研究生,主要研究方向:自组网络路由协议;周继鹏(1962-),男,教授,主要研究方向:并行与分布式计算、计算机网络。

邻居节点中斜率最小(顺时针方向)或最大(逆时针方向)的节点作为下一跳转发数据的节点。当数据包转发过程中不能满足贪婪转发条件时,即没有比当前节点距离目标节点更近的邻居节点问题称为本地最小问题,当前节点称为本地最小节点,贪婪转发策略失败,启用斜率转发策略来转发数据包。

当数据转发过程中遇到本地最小节点 X ,则开始启用斜率转发策略来转发数据。斜率转发策略中利用节点地理位置信息,计算 $h(X)$ 的值,以及 X 的邻居节点集 N 中的节点与目标节点 D 构成的各条直线的斜率值,再利用顺时针方向(或逆时针方向)选路规则来选择下一跳扩展节点的候选节点,即选择斜率值最小(或最大)的节点作为下一跳扩展节点,若斜率值最小时有多个节点,则选择离目标节点较近的节点作为下一跳扩展节点。之后,选出的每个扩展节点都选择邻居节点集中与目标节点构成直线的斜率值最小的节点作为下一跳扩展节点,直到数据转发到目标节点为止或存在有比当前节点距离目标节点更近的邻居节点,再启用贪婪转发。若出现两个节点 (x_a, y_a) 和 (x_b, y_b) 的横坐标相等,即 $x_a = x_b$,则在本次转发中所有的斜率计算改为 $Ch_{ab} = -(x_b - x_a)/(y_b - y_a)$,顺(逆)时针选路规则仍然成立。

斜率转发策略的优点在于,如顺时针选路规则中总是选择邻居节点集中斜率值最小的节点作为下一跳扩展节点,而且一直朝着顺时针方向来选路,如图1中 a_1, b_1, c_1 在 X 的顺时针方向上,并通过顺时针选路规则,选择 a_1 作为 X 的下一跳扩展节点,则 a_1 继续利用顺时针选路规则进行选路,而 X 是在 a_1 的逆时针方向上,则不符合顺时针选路规则,因此,这种转发策略可以避免发生数据包回转的情况。

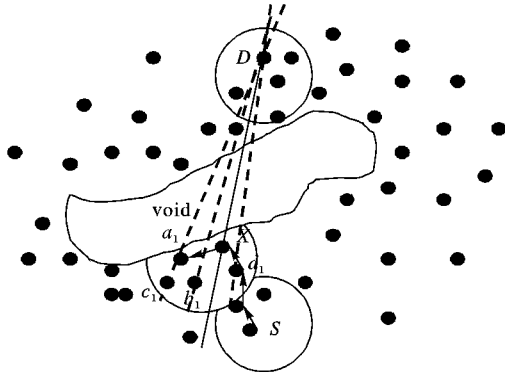


图1 斜率转发策略示意图

1.2 GAR 协议数据转发过程

根据GAR协议的路由转发策略,数据转发过程如图2所示,该过程可描述如下。

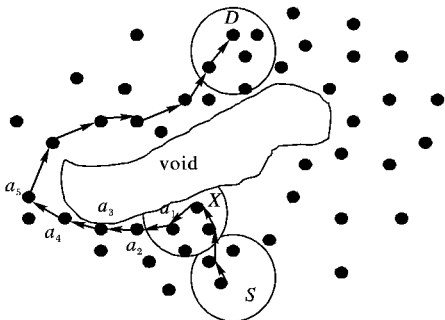


图2 GAR 协议数据包转发过程示意图

步骤1 源节点 S 使用贪婪转发策略开始向目标节点 D 转发数据包,直至数据包转发到目标节点 D 。

步骤2 当贪婪转发过程中遇到本地最小节点 X ,则采用

斜率转发策略来转发数据包,选出节点 a_1 作为下一跳扩展节点,并继续使用该转发策略进行数据转发,直到数据转发到可以重新开始贪婪转发的节点 a_5 为止;

步骤3 当节点 a_5 可以重新开始贪婪转发时,使用贪婪转发策略来转发数据包,直至数据包转发到目标节点 D 。

由上面三个步骤可知,图2中从源节点 S 到目标节点 D 的数据转发是从节点 S 贪婪转发到本地最小节点 X 后再斜率转发到节点 a_5 ,最后再贪婪转发数据包到节点 D ,即路径为 $\langle S, \dots, X, \dots, a_5, \dots, D \rangle$,跳数为14。

2 GALMR 协议

GALMR协议是在GAR协议的基础上进行改进,采用标记发现过程查找标记节点,通过标记节点实现数据包的转发,并以此来提高数据转发的效率。

2.1 GALMR 协议标记发现过程

在介绍标记发现过程前,先定义以下参数。

标记节点集 L_p :本地最小节点 X 利用斜率转发策略转发后,找到的可以重新开始贪婪转发的节点 P 的集合。

FLD(Forward Landmark Discovery)控制包:记录了转发过程中, $\langle S, D \rangle$ 路径上的跳数和标记节点集 Lsd 。

BLD(Backward Landmark Discovery)控制包:记录了转发过程中, $\langle D, S \rangle$ 路径上的跳数和标记节点集 Lds 。

LC(Landmark Cache)表:表中存储了源节点 S 和目标节点 D 的位置信息,以及 $\langle S, D \rangle$ 路由上的所有标记节点的信息。

标记发现过程如图3所示,详细过程如下:

步骤1 源节点 S 携带FLD包,开始使用贪婪转发策略向目标节点 D 转发,直至发送到目标节点 D 为止;

步骤2 若转发过程中遇到了本地最小节点 X ,根据顺时针选路规则,使用斜率转发策略查找下一跳扩展节点,直到转发到可以重新开始贪婪转发的节点 Lsd 为止,并把 Lsd 的信息记入FLD包,继续使用路由转发策略,并把路径 $\langle S, D \rangle$ 中的跳数记入FLD包;

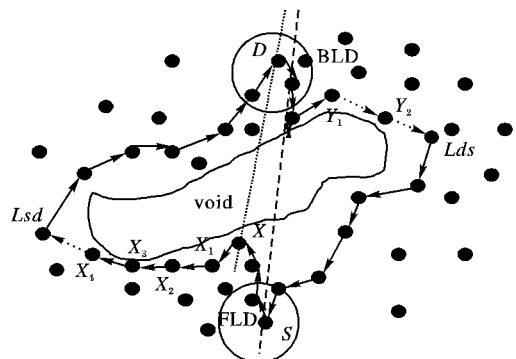


图3 GALMR 协议标记发现过程

步骤3 当目标节点 D 收到FLD包后,创建一个BLD包,并复制FLD包上的信息,向 S 节点转发,其过程与步骤2相同,并同时把标记节点 Lds 的信息和路径 $\langle D, S \rangle$ 中的跳数记入BLD包;

步骤4 比较BLD包中两条路径中的跳数,选择跳数比较少的路径 $\langle D, S \rangle$ 中的标记节点 Lds 作为节点 S 和 D 之间路由的最终标记节点,并把该标记节点的信息记入 S 节点的LC表中。

2.2 GALMR 协议数据转发过程

根据图3中GALMR协议的标记发现过程,协议的数据

转发过程如图4所示,该过程可描述如下。

步骤1 源节点 S 开始向目标节点 D 转发数据时,查看该节点中是否有 LC 表,若 LC 表不存在,则转到步骤2;若 LC 表存在,且为空,则转到步骤3;若 LC 表存在,且不为空,则转到步骤4。

步骤2 当源节点 S 中不存在 LC 表时, S 节点开始标记发现过程,若在标记发现过程中没有发现标记节点,则说明该路径中没有障碍区,把 LC 表置空,转到步骤3。若在标记发现过程中找到标记节点集 L_p ,则把该标记节点集的信息以及源节点 S 和目标节点 D 的信息记入 LC 表中,再转到步骤4。

步骤3 LC 表为空,则源节点 S 直接使用贪婪转发策略向目标节点 D 转发数据包,当数据包转发到 D 节点后结束转发。若转发过程中遇到本地最小节点,则转到步骤1,重新开始标记发现。

步骤4 LC 表不为空,则提出 LC 表中的标记节点集,把节点 S 和节点 D 之间的路由分割为节点 S 与节点 L_p 之间和节点 L_p 与节点 D 之间两条路由,再根据路由转发策略向目标节点 D 转发数据包,当数据包转发到 D 节点后结束转发。

根据上面四个步骤可知,图4中路由的数据转发是从节点 S 经由标记节点 L_{ds} 后,再转发数据包到节点 D ,即路径为 $\langle S, \dots, L_{ds}, \dots, D \rangle$,跳数为10,由1.2节可知,图中若采用 GAR 协议进行路由转发的跳数是14,则说明 GALMR 协议采用标记节点转发后,减少了路由跳数。

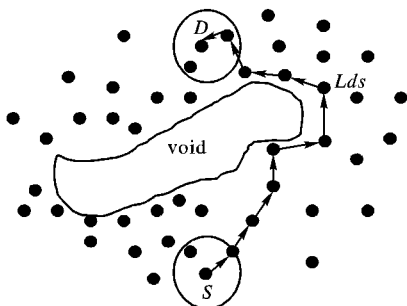


图4 GALMR 协议数据转发过程

3 算法分析及仿真实验

3.1 算法分析

GPSR 协议、GAR 协议以及 GALMR 协议都各有不同,主要体现在:首先,从算法实现过程上来说,GPSR 协议在遇到本地最小节点时采用右手规则来绕过障碍区,然而右手规则找到路径的概率比较低,而且每个节点要维护整个网络的平面图,开销较大。GAR 协议中提出了使用斜率转发策略来解决贪婪转发失败后绕过障碍区域的一种新的方法,该方法只使用局部信息,不需要全局网络结构,且容易理解和实现。而 GALMR 协议提出使用标记发现过程来找到标记节点,以此来提高数据包的抵达率并一定程度上缩短路径长度,同时,GAR 和 GPSR 协议都是先应式的路由,而 GALMR 协议需要建立路径来确定路由,它们之间有着本质的区别。

从算法效率上来说,GAR 和 GPSR 协议的路由信息总是保持最新可用,端到端延迟相对较小。而 GALMR 协议需要建立正向路径和反向路径,通过发现标记节点来达到数据转发的目的。同时在通信过程中维护路由。总之,GALMR 协议比 GPSR 协议在实现上来得更简单,同时还优化了 GAR 协议,有更高的效率。

3.2 仿真模拟与性能分析

本文利用 NS2^[8-9] 仿真环境,对 GPSR、GAR 和 GALMR 三种协议进行比较分析。文中使用 $800 \text{ m} \times 800 \text{ m}$ 的网络场景,场景中随机分布150个节点。本文的实验使用 NS2 的随机场景生成工具 setdest 生成移动速度分别为 1 m/s , 2 m/s , 5 m/s , 10 m/s ,其中,通信半径依据文献[2]来定义,可得通信半径 $r = 200 \text{ m}$ 。节点的移动模型依照 Random waypoint 随机模型^[10],每个节点随机选择初始位置和目标位置,源节点和目标节点也对随机产生。源节点每秒发送2个数据包到目标节点,每个数据包包含512 B的数据。节点发送邻居探测数据包(beacon)的间隔为0.5 s,节点判定邻居实效的时间为1.5倍的邻居探测间隔,节点停留时间为30 s。

仿真模拟过程中使用到的数据测试指标分别是数据分组抵达率、平均路由跳数和平均端到端延迟。

数据分组抵达率 指成功送达目标的数据分组数与源节点发送的所有数据分组数的比值。数据分组抵达率是衡量协议有效性的指标,该值越大越好,证明协议能很好地完成路由功能。

平均路由跳数 计算所有路由从源节点成功转发数据包到目标节点所经过的节点数目,并求取平均值进行比较。该值越小,协议效率越高。

平均端到端延迟 指数据分组从源发送到目标节点经过的时间间隔。我们计算所有端到端延迟,求取平均值。该指标反映路由协议的响应速度、无线信道效率等。

图5中,随着节点移动速度的提高,三个协议的数据分组抵达率都有不同程度的下降,这是由于节点的移动性影响着数据分组的接收情况,数据分组往往由于路由路径的失效而导致超时。通过实验结果可以看出:GAR 协议和 GALMR 协议的数据分组抵达率均高于 GPSR,这是由于这两种协议在遇到本地最小问题时,都采用斜率转发策略。而 GALMR 协议中使用标记发现过程,寻找标记节点,因此提高了数据转发的成功率。

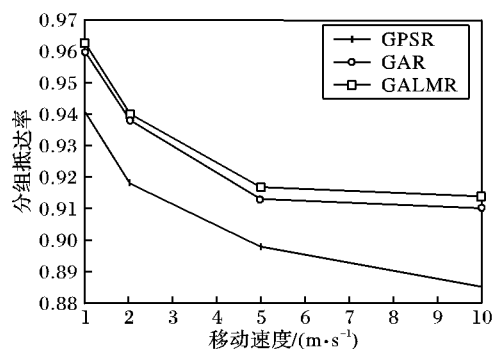


图5 移动速度对数据分组抵达率的影响

图6中,GALMR 协议的平均路由跳数最少,而 GPSR 协议的则最多。这是由于 GALMR 协议虽然还要携带 FLD 和 BLD 包,但标记节点可以避免当数据包在相同源节点和目标节点之间多次转发时遇到的本地最小问题,所以减少了平均路由跳数。

图7中,随着节点移动速度的增加,三个协议的平均端到端延迟都有所增加,这是由于 Ad Hoc 网络的拓扑变化必然带来某些路由路径的失效,以及由此而带来的重新建立路由的时间开销。其中,GAR 协议和 GALMR 协议的延迟均小于 GPSR 协议,说明 GPSR 协议采用的右手规则使得数据分组抵达率不高,导致

重新建立路由的概率较高,因此,该协议的平均端到端延迟相对较高。同时,GALMR 协议的平均端到端延迟高于 GAR 协议,这是由于 GALMR 协议需要通过标记发现过程发现标记节点,并进行标记路由过程,因此进一步增加了平均端到端延迟,但这是我们为路由性能改善而付出的合理代价。

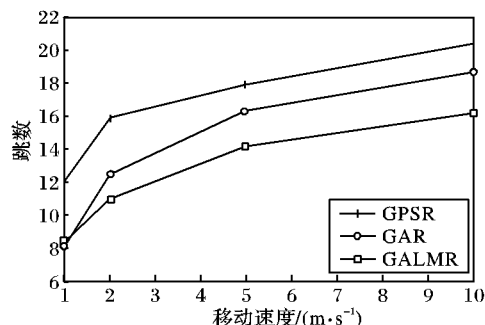


图 6 移动速度对平均路由跳数的影响

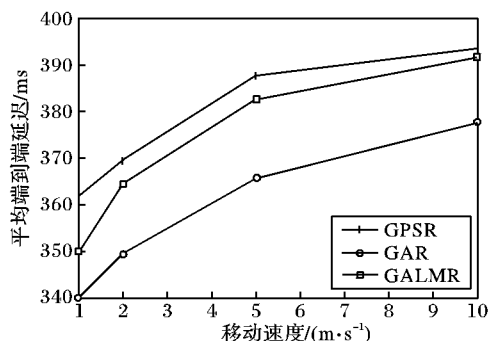


图 7 移动速度对平均端到端延迟的影响

4 结语

本文在研究了现有一些典型的基于地理位置路由协议的基础上,明确了现有路由协议的优缺点,提出了斜率转发策略和标记节点路由方法。在本文算法中,当数据转发遇到本地最小节点时,转发策略由贪婪转发策略转向斜率转发策略,在

路由过程中,加入标记节点,利用标记发现在实现路由发现过程。这样,比使用右手规则来转发数据有更高的效率和更少的跳数。最后,对 GPSR、GAR 和 GALMR 算法进行仿真模拟,并对实验结果进行分析比较,验证了斜率转发策略的有效性。从实验结果看,GAR 和 GALMR 协议相对于 GPSR 协议来说,具有数据抵达率高、平均端到端延迟低的优点。

参考文献:

- [1] 王金龙. Ad Hoc 移动无线网络[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004: 37-115.
- [2] 于宏毅. 无线移动自组织网[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005: 222-244.
- [3] 陈林星, 曾曦, 曹毅. 移动 Ad Hoc 网络: 自组织分组无线网络技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006: 102-230.
- [4] WU S-L, LIN C-Y, TSENG Y-C, *et al.* A new multi-channel MAC protocol with on-demand channel assignment for multi-hop mobile Ad Hoc networks [C]// WCNC: IEEE Wireless Communications and Networking Conference. Washington, DC: IEEE, 2000: 324-341.
- [5] 江有福, 吴伟志. 一种基于地理位置的启发式 Ad Hoc 路由协议[J]. 计算机工程, 2008, 134(1): 137-139.
- [6] KUHN F, WATTENHOFER R. Geometric Ad Hoc routing: Of theory and practice [C]// Proceedings of the 22nd ACM International Symposium on Principles of Distributed Computing. New York: ACM, 2003: 63-72.
- [7] NA J, KIM C-K. GLR: A novel geographic routing scheme for large wireless Ad Hoc networks [J]. Computer Networks, 2006, 50: 3434-3448.
- [8] 徐雷鸣, 庞博, 赵耀编. NS 与网络模拟[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003: 13-264.
- [9] 王永胜, 吴德伟, 刘勇. 基于 NS2 网络仿真研究[M]. 计算机仿真, 2004, 21(11): 257-259.
- [10] LEE S J, SU W, HSU J, *et al.* A performance comparison study of Ad Hoc wireless multicast protocols [C]// Proceedings of the IEEE INFOCOM 2000. Washington, DC: IEEE, 2000, 2: 565-574.

(上接第 218 页)

- [4] LI CHANGYI, ZHENG GUOXIN, AI QIAN. Channel estimation for OFDM based UWB wireless communication [C]// Proceedings of the 7th WSEAS International Conference on Mathematical Methods and Computational Techniques in Electrical Engineering. Stevens Point, Wisconsin, USA: World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS), 2005: 81-85.
- [5] BATRA A, BALAKRISHNAN J, AIELLO G R, *et al.* Design of a multiband OFDM system for realistic UWB channel environment [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2004, 52(9): 2123-2138.
- [6] ITU-T. G.114 Series G; Transmission systems and media, digital systems and networks, "One-way transmission time" [S]. ITU-T, 2003.
- [7] IEEE Computer Society. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, Amendment 8: Medium Access Control (MAC) quality of service enhancements [S]. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2005.
- [8] CHOI E, LEE W, SHIH T K. Traffic flow based EDCF for QoS enhancement in IEEE802.11e wireless LAN [C]// AINA'07: The IEEE 21st International Conference on Advanced Information Networking and Application. Washington, DC: IEEE, 2007: 467-473.
- [9] LAN Y W, YEH J H, CHEN J C, *et al.* Performance enhancement of IEEE802.11e EDCA by contention adaption [C]// VTC '05:

The IEEE 61st Vehicular Technology Conference. Washington, DC: IEEE, 2005: 2096-2100.

- [10] MBARUSHIMANA C, SHAHRABI A. E-TCP: Enhanced TCP for IEEE802.11e mobile Ad Hoc networks [C]// ICPADS'09: 15th International Conference on Parallel and Distributed Systems. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2009: 632-639.
- [11] DATTA S, SESKAR I, DEMIRHAN M. Ad-Hoc extensions to the 802.15.3 MAC protocol [C]// WOWMOM '05: Proceedings of the Sixth IEEE International Symposium on World of Wireless Mobile and Multimedia Networks. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2005: 293-298.
- [12] GUO F L, CHIUH T C. Software TDMA for VoIP applications over IEEE802.11 wireless LAN [C]// INFOCOM 2007: Proceedings of 26th IEEE International Conference on Computer Communication. Washington, DC: IEEE, 2007: 2366-2370.
- [13] GARG S, KAPPES M. An experimental study of throughput for UDP and VoIP traffic in IEEE 802.11b networks [C]// WCNC'03: Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference. Washington, DC: IEEE, 2003: 1748-1753.
- [14] SANGHO S, SCHLZRRINNE H. Experimental measurement of the capacity for VoIP traffic in IEEE 802.11 WLANs [C]// INFOCOM 2007: Proceedings of 26th IEEE International Conference on Computer Communication. Washington, DC: IEEE, 2007: 2018-2026.