

文章编号:1001-9081(2009)05-1204-04

基于 IEEE 802.16e 协议的公平调度算法

张红霞, 戴居丰

(天津大学 电子信息工程学院, 天津 300072)

(zhanghx@tju.edu.cn)

摘要:无线城域网标准 IEEE 802.16e 规定了系统的服务质量(QoS)框架,并把所有服务划分为五种类型,但没有规定具体的 QoS 调度算法。提出了在不同的业务类型间进行资源调度的算法,并把所有的业务流划分为领先、同步、滞后三种状态,根据业务流的类型以及其所处的状态,采取两级额外带宽再分配策略和补偿机制。仿真结果显示使用该算法提高了系统的资源利用率,同时公平性也得到很好的保障。

关键词:IEEE 802.16e;服务质量;调度算法;补偿;公平性

中图分类号: TN929.5 **文献标志码:** A

Fair scheduling algorithm in IEEE 802.16e system

ZHANG Hong-xia, DAI Ju-feng

(College of Electrical Information and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: IEEE 802.16e, standard of wireless metropolitan area networks, defines the structure of Quality of Service (QoS), and divides all services into five scheduling types. But it does not define detail-scheduling algorithm of QoS. An algorithm was proposed here to schedule resources in different service types, and divide all service flows into three states: leading, synchronal and lagging. It also used two-phase extra-bandwidth allocation policy and compensation strategy according to the service flows' type and state. Simulation results indicate that the resource utilization efficiency is improved, and the fairness is guaranteed well.

Key words: IEEE 802.16e; Quality of Service (QoS); scheduling algorithm; compensation; fairness

0 引言

无线城域网(Wireless Metropolitan Area Network, WMAN)凭借其经济和易于实施等优点正逐步取代传统的有线网络,以解决“最后一公里”的接入问题。作为全球统一的宽带无线接入(Broadband Wireless Access, BWA)标准,IEEE 802.16 定义了无线城域网的空中接口规范,其中 IEEE 802.16-2004(802.16d)^[1]用于固定宽带无线接入,可支持 120 Mbps 的数据速率;802.16e^[2]是对 802.16d 的进一步完善,同时支持移动性宽带无线接入,其工作频段为 2~6 GHz,支持车速移动。为了促进标准的发展完善和市场推广,由世界知名通信企业联合发起了全球互联微波接入(World Interoperability for Microwave Access, WiMAX)论坛,在全球范围内推广 802.16 标准。

IEEE 802.16 标准是第一个改变了传统无线网络中无服务质量(Quality of Service, QoS)的宽带无线接入标准,详细规定了服务类别的划分以及系统的 QoS 框架和具体的信令交互机制,但是没有规定具体的 QoS 调度算法,而是将其留给设备制造商来解决。在传统的有线网络中,加权公平排队(Weighted Fair Queuing, WFQ)是非常经典的公平调度算法,但由于无线链路的可变性、受限的带宽以及突发错误等问题,WFQ 算法并不能直接应用于无线网络。文献[3-7]提出了应用于 IEEE 802.16 系统的调度算法,但都只是针对一种业务类型,文献[3]的算法针对 IPTV 业务,文献[4-5]的算法针对 VoIP(IP 电话)业务,文献[6]提出的算法针对视频业务,文献[7]的算法适用于非实时业务。文献[8-9]提出的

算法针对多种业务类型进行调度,但只考虑了提高系统的吞吐量,而没有提供公平性的保障。文献[10]的算法针对多种业务类型,并保证非实时业务的公平性,但实时业务的公平性没有考虑,文献[11]则只能对相同业务类型的公平性予以保证。本文提出的算法,针对 IEEE 802.16e 系统中定义的多种业务类型进行资源调度,保障各个业务流的公平性。

1 IEEE 802.16e 系统模型及 QoS 机制

1.1 网络模型

IEEE 802.16e 标准定义了两种网络结构:点到多点(Point to Multipoint, PMP)结构和网格结构(Mesh)。点到多点结构即一个基站(Base Station, BS)以广播的方式为多个用户站(Mobile Station, MS)提供服务,业务仅在基站和用户站之间传递;网格结构是 IEEE 802.16e 标准中可选的一种网络结构,它与点到多点结构最大的不同在于业务可以通过其他用户站转发,即可以不通过基站直接在用户站之间传递。本文使用点到多点结构。

1.2 系统的物理层设计

IEEE 802.16e 的物理层既可以支持单载波又可以支持多载波,基于单载波的物理层规范分为:无线城域网单载波调制(Wireless MAN-SC)和无线城域网单载波自适应调制(Wireless MAN-SCa);基于多载波的物理层规范分为:无线城域网正交频分复用调制(Wireless MAN-OFDM)和无线城域网正交频分复用多址调制(Wireless MAN-OFDMA)。本系统的空中接口采用 Wireless MAN-OFDM。

在 IEEE 802.16e 系统中,上行和下行数据以帧的形式进

收稿日期:2008-11-04;修回日期:2009-01-14。

作者简介:张红霞(1975-),女,天津人,博士研究生,主要研究方向:服务质量保障、无线城域网、宽带无线接入;戴居丰(1944-),男,湖北宜昌人,教授,博士生导师,主要研究方向:通信网、移动通信、MMIC 与 SoC 电磁仿真。

行传输,帧是我们所要调度的对象。每一个帧又分为多个子帧,子帧的双工方式包括:时分双工(Time Division Duplex, TDD)和频分双工(Frequency Division Duplex, FDD)。TDD是指多个子帧在不同的时间里传输,共享同一频段;FDD是指多个子帧在同一时间里,不同的频段传输。本系统的帧结构采用TDD模式。

1.3 IEEE 802.16e 系统的 QoS 机制

根据业务的不同特性及需求,IEEE 802.16e 把所有的业务流划分为五种不同等级的业务调度类型:主动授权业务(Unsolicited Grant Service, UGS)、实时轮询业务(Real-time Polling Service, rtPS)、扩展的实时轮询业务(Extended Real-time Polling Service, ertPS)、非实时轮询业务(Non-Real-time Polling Service, nrtPS)和尽力而为业务(Best Effort, BE)。

1.3.1 UGS

UGS 用来支持实时的、周期性的、固定速率的业务流,例如 T1/E1 业务和无静音压缩的 VoIP 业务。BS 周期性的向该类业务提供固定大小的带宽授权,授权大小为业务包加上 MAC 头和授权间隔,不接受来自 SS 的任何竞争请求,也不允许其使用捎带请求,这样就消除了带宽请求的开销和时延。它的 QoS 参数包括:可容忍的抖动,服务数据单元大小,最小预留速率,最大延迟,主动授权间隔,请求/传输策略,授权调度类型。

1.3.2 rtPS

rtPS 用于支持实时的、周期性的、可变速率的业务流,例如 MPEG 业务。BS 为此类业务提供周期性地单播轮询请求机会,根据 MS 提出的带宽请求,为 MS 分配带宽。由于每次请求的带宽大小可变,因此比 UGS 能更有效地传输数据,但同时也增加了协议开销和传输延迟。它的 QoS 参数包括:最小预留速率,最大延迟,最大维持速率,传输优先级,主动轮询间隔,请求/传输策略,调度类型。

1.3.3 ertPS

ErtPS^[4] 集合了 UGS 和 rtPS 的优势,支持实时的、可变速率的业务流,例如有静音压缩的 VoIP 业务。BS 既可以像 UGS 一样主动为 MS 提供单播授权,以节省由于带宽请求所带来的延迟;又可以动态地分配带宽,适应可变速率业务的需要,减少资源浪费。它的 QoS 参数包括:最小预留速率、最大维持速率、传输优先级、请求/传输策略、调度类型。

1.3.4 nrtPS

nrtPS 用于支持非实时的、业务量频繁的、可变速率的业务流,例如 FTP 业务。BS 为此类业务提供周期性的单播轮询请求机会,但是它的轮询间隔比 rtPS 业务要大得多。另外,SS 也可以用竞争和捎带请求的方式来请求带宽。它的 QoS 参数包括:最小预留速率、最大维持速率、传输优先级、请求/传输策略、调度类型。

1.3.5 BE

BE 属于最低等级的业务调度类型,主要用于非实时、无任何速率和时延要求的业务,例如:短信和 E-mail 业务。SS 可以用竞争和捎带请求的方式来请求带宽,但是不允许它们使用任何单播轮询的请求机会。它的 QoS 参数包括:最大维持速率、请求/传输策略、调度类型。

2 公平调度算法

2.1 算法描述

由于无线链路的可变性以及突发错误,用户实际所能得

到的服务往往与它在理想无错系统中应该得到的服务是不一致的,本文使用参数 lag 来表示两者的差值。

$$lag = S_r - S_i \quad (1)$$

其中, S_r 表示用户实际收到的服务, S_i 表示用户在理想无错系统中应该收到的服务。根据 lag 参数的值将所有的业务流分为以下3类:

- 领先的流 用户实际收到的服务大于其应该收到的服务 ($lag > 0$);
- 同步的流 用户实际收到的服务等于其应该收到的服务 ($lag = 0$);
- 滞后的流 用户实际收到的服务小于其应该收到的服务 ($lag < 0$)。

图1所示为本算法的流程图,其中补偿进程和额外带宽再分配进程将在后面两节详细描述。

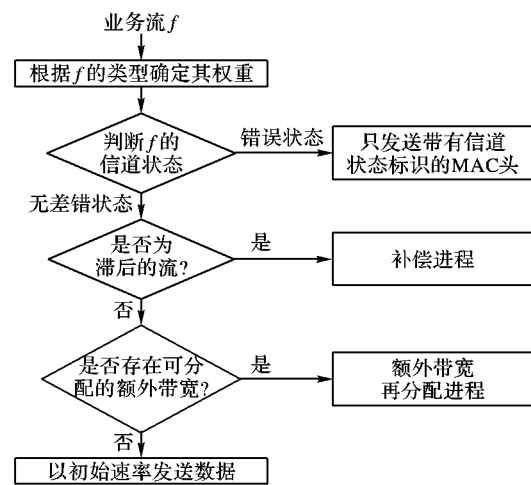


图1 算法流程

2.2 两级资源再分配策略

为了提高资源利用率,当信道处于错误状态时,它会把绝大部分带宽资源分配给那些处于无差错状态的业务流,我们把这部分带宽称为额外带宽 (B_e)^[12]。因为 BS 周期性地向 UGS 业务提供固定大小的带宽授权,所以 UGS 业务不参与额外带宽的再分配,额外带宽的分配只在可变速率的业务流之间进行,并遵循两级分配策略。根据业务流的状态,为每一个业务流指定一个优先级,滞后的流拥有最高优先级,其次是同步的流,领先的流优先级最低。也就是说,额外带宽首先分配给滞后的流,然后分配给同步的流,最后分配给领先的流。根据业务类型的不同,为每一个业务流规定相应的权重 (w),几种业务类型的权重按照从大到小的顺序依次为: w_{rtPS} 、 w_{ertPS} 、 w_{nrtPS} 、 w_{BE} 。额外带宽的分配由业务流的权重以及它处于某种状态的时间共同决定。

假设系统中有两个 VoIP 业务流: f_m 和 f_n , 两者的优先级相同,它们持续处于当前状态的时间分别为 t_m 和 t_n ,那么额外带宽的分配将遵循以下原则:

- 1) f_m 和 f_n 为领先的流,那么 $b_m/b_n = w_m t_n / w_n t_m$;
- 2) f_m 和 f_n 为同步的流,那么 $b_m/b_n = w_m / w_n$;
- 3) f_m 和 f_n 为滞后的流,那么 $b_m/b_n = w_m t_m / w_n t_n$ 。

其中, b_m 是 f_m 所得到的额外带宽, b_n 是 f_n 所得到的额外带宽。

2.3 补偿机制

综上所述,当某业务流的信道状态发生错误时,会把指定给它的带宽分配给其他处于无差错状态的业务流使用,这时,该业务流变为滞后的流。当它从错误状态恢复出来时,补偿

机制被激活,领先的流释放部分带宽资源用于补偿滞后的流,直到变为同步的流,补偿过程结束。在补偿的过程当中,为了保证领先流的 QoS,我们设置最小带宽限制参数,确保领先的流在为滞后的流提供补偿的同时,自己也能得到相应服务;滞后的流根据自身的权重和处于错误状态的时间得到相应的带宽补偿。

假设系统中有 n 个滞后的流从错误状态恢复为无差错状态,领先的流所能释放的补偿带宽为 B_c ,则滞后的流获得的补偿带宽 b_{lag} 满足下式:

$$\begin{cases} b_{lag1}:b_{lag2}:\dots:b_{lagn} = w_1t_1:w_2t_2:\dots:w_nt_n \\ b_{lagi} = w_it_iB_c / (\sum_{j=1}^n w_jt_j) \end{cases} \quad (2)$$

当系统中有滞后的流变为同步的流时,调整上式中 n 的值,重新计算剩余的滞后流所能得到的补偿带宽。当系统中不存在领先的流时,补偿过程结束。

3 仿真结果及分析

为了方便起见,假设系统的总带宽为 1 Mbps,系统中存在 4 个业务流(Flow 1,Flow 2,Flow 3 和 Flow 4),它们的权重及被指定的初始带宽如表 1 所示,领先的流带宽限制系数为 1/2。假设两种业务场景,场景 1 为一般情况:业务流 2 在 $t = 2$ 时发生信道错误,在 $t = 4$ 时恢复为无差错状态,其他业务流始终处于无差错状态;场景 2:业务流 1 在 $t = 1$ 时发生信道错误,业务流 2 在 $t = 3$ 时发生信道错误,业务流 3 在 $t = 4$ 时发生信道错误,它们都在 $t = 5$ 时恢复为无差错状态,业务流 4 始终处于正常状态,此为一种特殊情况,验证的是多个业务流从错误状态恢复时,系统的性能指标。

表 1 业务流参数值

名称	权重	带宽/Kbps
业务流 1	1	100
业务流 2	2	200
业务流 3	3	300
业务流 4	4	400

由图 2 可以看出,在场景 1 的情况下,当业务流 2 发生信道错误时,其他业务流的指定带宽就会进行相应的调整,未发生信道错误的业务流所接受的服务以更快的速率上升,这个过程就是额外带宽再分配的过程。当发生信道错误的业务流恢复为无差错状态时,各领先的流(业务流 4)释放部分带宽,在最短的时间内弥补滞后流的损失,这个过程就是补偿过程。可以看到,在一般情况下,经过补偿进程,系统中滞后的流和领先的流都会尽快的变为同步的流。

图 3~5 是在场景 2 的情况下的仿真结果。由图 3 可以看出,由于有多个业务流同时从错误状态恢复,为了保证领先的流不被饿死,业务流 4 保留最小带宽,而把其他带宽贡献给业务流 1、2 和 3 分配,可以看到,业务流 4 在整个补偿过程中保持固定带宽不变,其所接受的服务增长速率也明显放缓,直到补偿进程结束,才恢复为初始指定带宽。业务流 1、2 和 3,在这个过程中指定带宽都有不同程度的增加,补偿过程结束,恢复为初始状态。

由图 4、5 可以看到,业务流 2 发生信道错误它实际接受的服务小于它应该接受到的服务,变为滞后的流,业务流 4 得到了额外带宽,它实际接受的服务大于它应该接受到的服务,变为领先的流。采取补偿机制后,业务流 4 接受的服务以低

于其初始指定带宽的速率增长,业务流 2 接受的服务以高于其初始指定带宽的速率增长,最终领先的流和滞后的流都变为同步的流,即在一个长时段里,每个业务流实际接受的服务与它应该得到的服务是相等的,公平性得到保证。

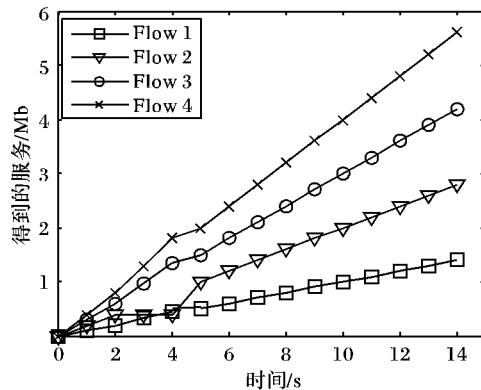


图 2 场景 1:业务流接受的服务随时间变化曲线

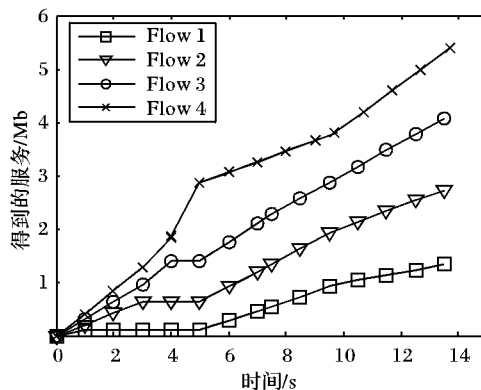


图 3 场景 2:业务流接受的服务随时间变化曲线

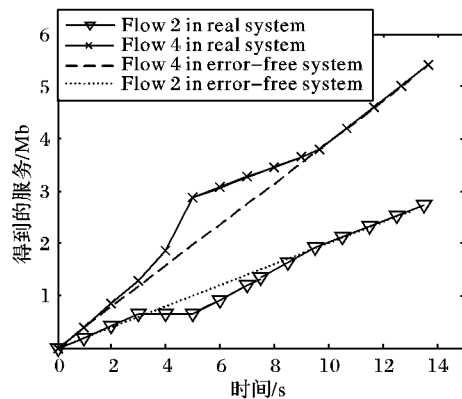


图 4 实际接受的服务与应该接受的服务对比

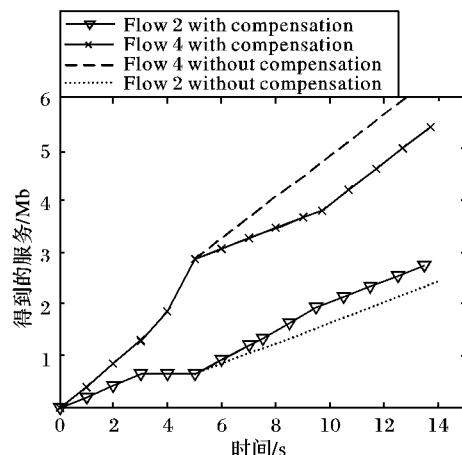


图 5 采取补偿机制与不采取补偿机制对比

4 结语

本文提出了一种在 IEEE 802.16e 系统中针对不同业务类型的调度算法,通过采用两级资源再分配策略和补偿机制,有效地保证了 QoS 要求。算法根据业务流状态确定优先级,根据业务类型确定权重,合理分配资源,既提高了系统资源的利用率,又保障了公平性。

参考文献:

- [1] IEEE Std 802.16-2004 (Revision of IEEE Std 802.16-2001): IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems [S]. 2004.
- [2] IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access System-Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands [S]. 2005.
- [3] HOU FEN, CAI L X, SHE J, *et al.* Cooperative multicast scheduling scheme for IPTV service over IEEE 802.16 networks [C]// IEEE International Conference on Communications. Washington, DC: IEEE Press, 2008: 2566 - 2570.
- [4] LEE H, KWON T, CHO D-H, *et al.* Performance analysis of scheduling algorithms for VoIP services in IEEE 802.16e Systems [C]// IEEE 63rd Vehicular Technology Conference: VTC 2006-Spring. Washington, DC: IEEE Press, 2006, 3: 1231 - 1235.
- [5] OH S-M, CHO S, KIM J-H, *et al.* VoIP scheduling algorithm for AMR speech codec in IEEE 802.16e/m system [J]. IEEE Communications Letters, 2008, 12(5): 374 - 376.
- [6] PAHALAWATTA P, BERRY R, PAPPAST, *et al.* Content-aware

resource allocation and packet scheduling for video transmission over wireless networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2007, 25(4): 749 - 759.

- [7] WU JING, MO J, WANG TING. A method for non-real-time polling service in IEEE 802.16 wireless access networks [C]// IEEE 66th Vehicular Technology Conference: VTC-2007 Fall. Washington, DC: IEEE Press, 2007: 1518 - 1522.
- [8] PENG MU-GEN, WANG WEN-BO. Advanced scheduling algorithms for supporting diverse quality of services in IEEE 802.16 wireless metropolitan area networks [C]// IEEE 18th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. Washington, DC: IEEE Press, 2007: 1 - 6.
- [9] MIHRJOO, MEHRI SHEN, XUEMIN. An efficient scheduling scheme for heterogeneous traffic in IEEE 802.16 wireless metropolitan area networks [C]// International Symposium on Telecommunications: IST 2008. Washington, DC: IEEE Press, 2008: 263 - 267.
- [10] WANG LI-LEI, XU HUI-MIN. A new management strategy of service flow in IEEE 802.16 systems [C]// 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications: ICIEA 2008. Washington, DC: IEEE Press, 2008: 1716 - 1719.
- [11] FREITAG J, da FONSECA N L S. Uplink scheduling with quality of service in IEEE 802.16 networks [C]// Global Telecommunications Conference: GLOBECOM apos. Washington, DC: IEEE Press, 2007: 2503 - 2508.
- [12] ZHANG HONG - XIA, CHEN HONG, FU XIAO - MEI, *et al.* A scheduling algorithm based on channel state for VoIP services in IEEE Std 802.16e system [C]// 10th International Conference on Advanced Communication Technology: ICACT 2008. Washington, DC: IEEE Press, 2008, 3: 1521 - 1525.

(上接第 1203 页)

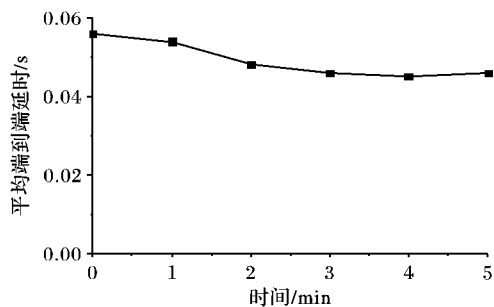


图 5 平均端到端延时

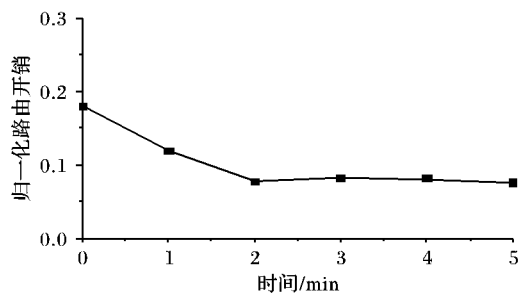


图 6 归一化路由开销

4 结语

本文在无线链路干扰模型的基础上,针对 WMN 骨干网拓扑结构的特点,提出一种新的支持 QoS 保证的 WMN 路由策略 WQRI。该策略实现网络流的有效接入控制以及 QoS 违约的及时恢复功能。仿真证明了 WQRI 协议能够为实时应用

提供 QoS 支持。

参考文献:

- [1] JUN J, SICHITIU M L. The nominal capacity of wireless mesh networks [J]. IEEE Wireless Communications, 2003, 10(5): 8 - 14.
- [2] TANG JIAN, XUE GUO-LIANG, ZHANG WEI-YI. Interference-aware topology control and QoS routing in multi-channel wireless mesh networks [C]// Proceedings of ACM MOBIHOC 2005. New York: ACM Press, 2005: 68 - 77.
- [3] LEE S, NARLIKAR G, PAL M, *et al.* Admission control for multi-hop wireless backhaul networks with QoS support [C]// Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference: WCNC'06. Washington, DC: IEEE Press, 2006, 1: 92 - 97.
- [4] KONE V, DAS S, ZHAO B Y, *et al.* QUORUM: Quality of service routing in wireless mesh networks [J]. Mobile Networks and Applications, 2007, 12(5): 358 - 369.
- [5] IEEE 802.11s Task Group, IEEE P802.11s/D1.07 [S]. 2007.
- [6] 束永安,洪佩琳,覃振权. 无线网状网中基于干扰模型的多信道分配策略 [J]. 电子学报, 2008, 36(7): 1256 - 1260.
- [7] 束永安,李津生,洪佩琳,等. 一种基于干扰模型的无线网状网自适应路由策略 [J]. 小型微型计算机系统, 2008, 29(1): 12 - 16.
- [8] PADHYE J, DRAVES R, ZILL B. Routing in multi-radio, multi-hop wireless mesh networks [C]// Proceedings of ACM MobiCom Conference. New York: ACM Press, 2004: 114 - 128.
- [9] PERKINS C E, BELDING-ROYER E-M. Ad Hoc on demand distance vector (AODV) routing, draft-perkins-manet-aodvbis-00.txt, Internet Draft [S]. 2003.
- [10] The Enhanced Network Simulator [DB/OL]. [2008 - 10 - 12]. http://www.cse.iitk.ac.in/users/braman/tens/.