

基于认知无线电的 QoS 路由算法

韩庆文,尚淑敏,王 韬,黄 宓

(重庆大学 通信工程学院,重庆 400044)

(shangshu59@163.com)

摘 要:一般无线网络的路由协议不适合直接应用于认知无线网络,需要提出一个新的路由算法以满足认知无线网络端到端的服务质量(QoS)性能。认知无线网络中的节点可以自主地进行信道选择和频谱切换,从而最大限度地满足流量需求和避免流内竞争。结合按需路由的基本流程,在充分考虑信道容量和流内竞争所带来的干扰对路由选择的影响下,提出了适用于认知无线网络的基于容量和干扰的路由算法。仿真结果表明,基于容量和干扰的路由算法比另两种路由算法具有更好的端到端 QoS 性能。

关键词:认知无线网络;端到端;服务质量;流量需求;流内竞争

中图分类号: TP393.07; TN915 **文献标志码:** A

QoS routing algorithm research based on cognitive radio

HAN Qing-wen, SHANG Shu-min, WANG Tao, HUANG Mi

(College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: General wireless network routing algorithms can not be directly used to cognitive radio network, therefore a new routing algorithm needs to be proposed to satisfy the end-to-end QoS performance in cognitive radio network. Nodes in the cognitive radio network can select channels and switch between spectrums autonomously, trying the best to meet capacity demand and avoid intra-flow competition. Being combined with the basic process of on-demand routing and taking full account of the influence of channel capacity and interference arising from intra-flow competition on the routing selection, the routing algorithm based capacity and interference which was suitable for cognitive radio network was proposed. The experimental results show that the routing algorithm based on the capacity and interference has better end-to-end QoS performance compared with other two algorithms.

Key words: cognitive radio network; end-to-end; Quality of Service (QoS); capacity demand; intra-flow competition

0 引言

随着无线通信的发展,频谱资源短缺的问题日趋明显,而有关部门的调查显示有相当一部分授权频段并未得到充分利用。授权频段的低利用率促使了认知无线电的发展,认知无线电的提出使非授权用户即认知用户能够感知空闲的授权信道,并且在不对授权用户造成干扰的前提下能够利用所感知到的空闲信道进行数据传输^[1]。如果某个授权用户需要使用相应的授权信道进行数据流传输,为了避免对授权用户造成干扰,正在占用此信道的认知用户需要终止数据流传输并且退出该授权信道。在认知无线网络中每个用户能够准确、动态地感知可用的空闲信道,形成频谱机会^[2](Spectrum Opportunity, SOP)集合,并且从中选取合适的信道最终形成一条可行、高效的路由路径;而现有的无线网络路由协议由于其固定的信道分配特点,不再适用于认知无线网络。

在无线网络中,某些业务对 QoS 性能具有较高的要求。信道容量是一个基本的 QoS 性能度量标准,路由请求的目的就是要选择一组满足流量需求使其具有最佳端到端服务质量(Quality of Service, QoS)性能的信道集合。在认知无线网络的路由选择中,某条链路与其干扰范围内不同的链路可能会拥有相同的空闲频谱,从而使这些链路之间的频谱机会集

合具有交叉点,进行数据传输时很容易造成流内竞争^[3]从而产生干扰。一般情况下,由于很难完全消除流内竞争所造成的干扰,这对要保证 QoS 性能的路由选择造成了十分严重的影响。现在国内外很多学者都针对认知无线网络的 QoS 性能进行了研究;文献[4]提出了数据流的阻止概率、丢弃概率和失败概率 3 个路由尺度,以此分析了认知无线网络的 QoS 性能;文献[5]针对信道容量和路径延迟提出了认知无线电的 QoS 路由算法;而文献[6]创新性地基于模糊逻辑研究了认知无线网络的 QoS 性能。但是上述文献都没有考虑到数据传输时流内竞争所带来的干扰对整个网络性能的影响。

本文针对认知无线网络的特点,详细分析了信道容量和流内竞争所带来的干扰对路由选择的影响,结合按需路由的基本流程,提出了基于容量和干扰的路由算法,使整个网络进行具有最佳端到端 QoS 性能的路由选择。

1 系统模型

在系统模型中,认知无线网络的每个用户都可以简化为一个节点,其路由分配问题的决策在网络层完成。认知无线网络采用信道容量和干扰调度方案,节点通过广播包含频谱机会集合的路由请求报文启动路由发现过程。为了保证

收稿日期:2010-08-10;修回日期:2010-09-20。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(NSTC60872038);重庆市自然科学基金资助项目(CSTC2009BB2205)。

作者简介:韩庆文(1969-),女,重庆人,高级工程师,博士研究生,主要研究方向:无线网络通信;尚淑敏(1985-),女,河南安阳人,硕士研究生,主要研究方向:无线网络;王韬(1977-),男,河南南阳人,讲师,博士研究生,主要研究方向:多飞行器测控、认知无线电、嵌入式系统;黄宓(1984-),男,重庆人,硕士研究生,主要研究方向:无线网络通信。

信道的最佳选择,每个节点都保存有其干扰范围内相邻节点的基本信息。认知无线网络的分层模型如图1所示:

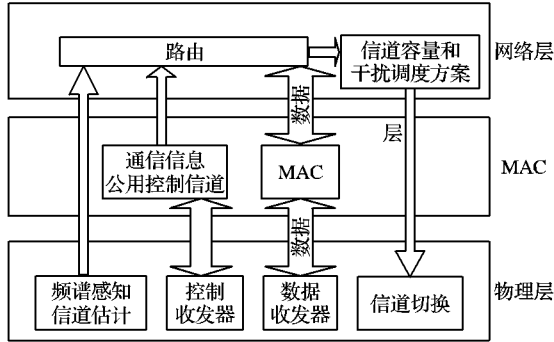


图1 分层模型

假设如下:

- 1) 网络中存在 M 个认知节点,每个认知节点的最大传输功率为 P_w ,其最大的传输范围和干扰范围分别为 R 和 R_I 。
- 2) 假设在源节点和目的节点之间存在 n_p 条路径,第 p ($p = 1, \dots, n_p$) 条路径由 n_e 跳组成,路径上的第 e ($e = 0, 1, \dots, n_e$) 个节点 $node_e^p$ 要为相应的第 e 条链路 $Link_e^p$ 选择信道完成数据传输过程。
- 3) 节点 $node_{e-1}^p$ 和节点 $node_e^p$ 之间的链路 $Link_e^p$ 的频谱机会集合为 sop_e^p ,等于这两个节点的频谱机会集合的交集,其可用信道数目为 $\delta_e^p = |sop_e^p|$,对于 $k \in sop_e^p$,其信道容量为 $Band_{e,k}^p$ 。
- 4) 节点 $node_{e-1}^p$ 和节点 $node_e^p$ 之间的距离为 $d_{e-1,e}$ 。
- 5) 在路径 p 中链路 e 对于给定的信道 k ,其容量需求满足率和抗干扰率分别为 $Cap_{e,k}^p$ 和 $Int_{e,k}^p$ 。
- 6) 与链路 e 在可用信道 k 中可能造成流内竞争的链路集合表示为 $Lt_{e,k}$ 。

2 基于容量和干扰的路由算法

由前可知,网络路由的选择需要考虑两个方面的因素,即信道容量和流内竞争带来的干扰。

2.1 信道容量尺度描述

假设节点都以相同的最大发射功率 P_w 发射信号,并且接收端具有相同的检测功率阈值 μ ,只有当接收端接收到的信号功率大于 μ 时才能进行数据传输,节点的传输范围 $R = (\frac{P_w}{\mu})^{-\tau}$,其中 τ 为路径衰减指数。

路径 p 中链路 $Link_e^p$ 通过信道 $k \in sop_e^p$ 进行传输时的容量计算公式如式(1)。

$$Band_{e,k}^p = W_k \log \left(1 + \frac{P_w}{N_0 W_k} \cdot d_{e-1,e}^{-\tau} \right) \quad (1)$$

其中: W_k 为信道 k 的带宽; N_0 为噪声功率谱密度。

对于给定的数据流量为 D 的路由请求,某条路径 p 中链路 e 选择信道 k 时的容量需求满足率为:

$$Cap_{e,k}^p = \max \left(0, \frac{Band_{e,k}^p}{D} - 1 \right) \quad (2)$$

2.2 信道干扰尺度描述

路由的路径选择存在两种潜在的竞争:流间竞争和流内竞争。流间竞争是由两个不同的路由请求所选择路径中的链路对空闲信道的竞争所造成的,而流内竞争则产生于同一个路由请求所选择路径中的不同链路之间。在路由路径的选择中,为每个链路上分配不同的空闲信道能够很容易消除流间竞争,然而流内竞争很难被消除,这主要是因为不能避免在某

条路径上彼此干扰范围内的某些不同链路共享了相同的可用信道,出现了多条链路对同一信道带宽的竞争从而产生干扰。

对于路径 p 中链路 $Link_e^p$,链路 e 免受其他链路干扰的必要条件^[7]是:

- 1) 组成链路 $Link_e^p$ 的两个节点之间的距离必须不大于传输范围,即 $d_{e-1,e} \leq R_0$ 。
- 2) 对于拥有某个相同可用信道 k 的链路,组成链路 $Link_e^p$ 的两个节点必须在其干扰范围之外。

对于路径 p 上的链路 $e^* \in Lt_{e,k}$,链路 e^* 的总容量为 $Tc_{e^*}^p = \sum_{n \in sop_{e^*}^p} Band_{e^*,n}^p$,定义路径 p 中链路 e 选择信道 k 进行数据传输时对链路 e^* 造成的影响率为 $\sigma_{e^*,k}^p = Band_{e^*,k}^p / Tc_{e^*}^p$,则链路 e 选择信道 k 的抗干扰率见式(3)。

$$Int_{e,k}^p = \max \left(0, 1 - \frac{\sum_{e^* \in Lt_{e,k}} \sigma_{e^*,k}^p}{|Lt_{e,k}|} \right) \quad (3)$$

2.3 路径性能尺度描述

基于容量和干扰的路由算法的基本思想就是尽量选择高容量的传输信道,但是要避免选择使用其干扰范围内其他链路仅有的空闲信道进行数据流传输,避免多条链路对同一信道的带宽竞争,以此尽可能地消除流内竞争所带来的干扰。

定义路径 p 中第 e 条链路的可用信道 $k \in sop_e^p$ 的性能尺度描述为:

$$CS_{e,k}^p = Cap_{e,k}^p + Int_{e,k}^p \quad (4)$$

则第 p 条路径中链路 e 的性能尺度描述为:

$$LS_e^p = \max(CS_{e,k}^p | k \in sop_e^p) \quad (5)$$

定义路径 p 的性能尺度描述为:

$$PS_p = \frac{1}{\sum_{e=1}^{n_e} \frac{1}{LS_e^p}} \quad (6)$$

从式(6)可以看出,某条路径的性能由此路径中所有的链路性能共同决定,提高某条链路的性能或者减小此路径的跳数都可以增加整个路径的性能。

2.4 路由算法描述

源节点和目的节点之间存在 n_p 条路径,在第 p ($p = 1, \dots, n_p$) 条路径中的第 e ($e = 0, 1, \dots, n_e$) 个节点要为相应的第 e 条链路选择最佳的信道,以保证此链路获得最好的性能。当目的节点收到全部 n_p 个路由应答(Route Reply, RREP)时,根据每条路径的性能尺度选择最佳的路径,详细的算法描述如下。

1) 如果节点 $node_e^p$ 是源节点(即 $e = 0$),转发源节点的频谱机会集合以及每条信道的容量需求满足率和抗干扰率给下一个节点 $node_{e+1}^p$;反之跳到2)。

2) 如果节点 $node_e^p$ 是中间节点(即 $1 \leq e \leq n_e$),首先计算节点 $node_{e-1}^p$ 和节点 $node_e^p$ 的频谱机会集合的交集,构成链路 $Link_e^p$ 频谱机会集合 sop_e^p ,反之跳到5)。

3) 利用频谱机会集合 sop_e^p 中每条可用信道 $Band_{e,k}^p$ ($1 \leq k \leq \delta_e^p$) 的容量需求满足率和抗干扰率,通过式(4)计算出每条信道的性能尺度 $CS_{e,k}^p$,然后利用式(5)计算出链路 $Link_e^p$ 的最佳信道选择 $Band_e^p$,最佳信道使链路具有最大的性能尺度。

4) 转发节点 $node_e^p$ 的频谱机会集合、每条信道的容量需求满足率和抗干扰率以及从源节点到此节点所有的最佳信道选择给下一个节点。

5) 如果节点是目的节点,通过2)、3)得出链路 $Link_{n_e}^p$ 选择的最佳信道 $Band_{n_e}^p$,最后利用式(6)计算每条路径的性能

尺度,从 n_p 条路径中选择具有最大性能尺度的路径作为最佳路由路径。

3 实验结果和性能分析

本文采用 NS2^[8] 环境进行认知无线网络的性能仿真,在一个 $2000\text{ m} \times 2000\text{ m}$ 的区域中随机地放置 10 个授权节点和若干个认知节点,每个节点的干扰范围是其传输范围的 2 倍,共享控制信道(2.4 GHz 频段)的传输距离设置为 372.214 m;在 20 MHz ~ 2.4 GHz 的频谱范围内为每个节点随机选取若干个频段构成 SOP 集合来模拟频谱分布的场景;在整个模拟过程中选择随机的源节点和目的节点注入若干个路由连接请求,其平均达到间隔时间设置为 10 ms。

本文把所提出的基于容量和干扰的路由算法与文献[5]所提出的路由算法 1 和文献[6]所提出的路由算法 2 进行仿真性能比较。其中文献[6]中,假设每个频段被占用时间 T_{on} 和空闲时间 T_{off} 分别服从参数为 $1/\alpha$ 和 $1/\beta$ 的指数分布且 α 和 β 的取值范围分别为 $0.5 \sim 1\text{ s}^{-1}$ 和 $0.15 \sim 0.5\text{ s}^{-1}$ 。

首先采用路由连接请求接收率(Ratio of Route Connection Request, RRCR)作为度量标准,对这 3 种算法下的网络性能进行仿真,其中 RRCR 定义为目的节点接收到的路由连接请求与总的路由连接请求之比,该度量标准反映了路由选择的可靠性。图 2 中除了 10 个授权节点,在区域中同时放置了 40 个认知节点,并且在整个仿真过程中注入了 300 个路由连接请求,随着仿真时间从 150 s 变化到 550 s, RRCR 的取值随之下降,但是相比于路由算法 1,本文所提出的算法和路由算法 2 具有更好的 RRCR 性能。图 3 中认知节点的取值从 10 变化到 90,仿真时间为 200 s。同样,本文所提出的算法和路由算法 2 表现出更好的 RRCR 性能。随着网络规模的增大 RRCR 并没有一直增加,这主要是因为一方面节点的增加虽然会给路由连接请求提供更多的可选路径;但是另一方面增加的节点会导致一个更密集的网络从而产生更多的干扰。采用了吞吐量作为度量标准进行性能评估,该度量标准反映了频谱带宽的利用率。

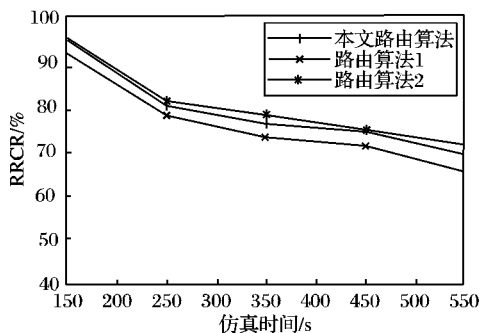


图 2 不同仿真时间下的 RRCR 性能

图 4 中整个仿真中 30 个数据流进行通信时,随着数据流速率从 100 Kbps 变化到 1500 Kbps,本文所提出的算法和路由算法 1 具有更好的吞吐量性能。图 5 中在数据流速率固定为 1000 Kbps 的条件下,改变数据流的数目,仿真网络的吞吐量性能,同样的,相比于路由算法 2,本文所提出的算法和路由算法 1 表现出更好的吞吐量性能。

路由算法 1 虽然考虑到最大信道容量的选择,具有较好的吞吐量性能,能够在一定程度上提高频谱带宽的利用率,但是却表现出最差的 RRCR 性能;路由算法 2 注重于最大信道利用率的选择,表现出最好的 RRCR 性能,能够进行最稳定的路由选择,但是却具有最差的吞吐量性能。总的来说,基于容量和

干扰的路由法的整体性能要优于路由算法 1 和路由算法 2。

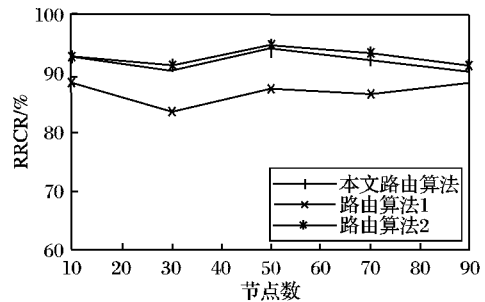


图 3 不同节点数目下的 RRCR 性能

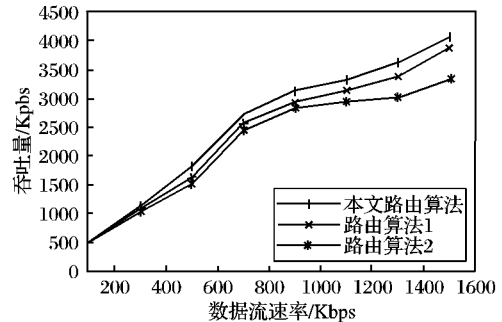


图 4 不同数据流速率下的吞吐量性能

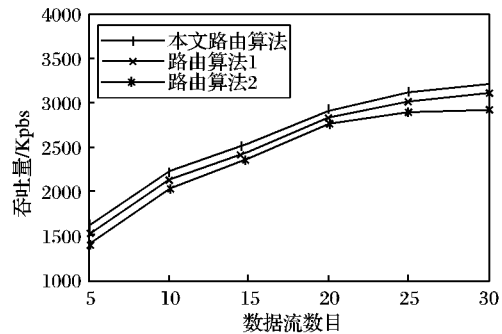


图 5 不同数据流数目下的吞吐量性能

4 结语

本文针对认知无线网络中信道的分布特点,提出了基于容量和干扰的路由算法,主要考虑了信道容量对流量需求的满足以及流内竞争所造成的干扰对路径选择的限制,综合两种情况最终得出具有最佳端到端 QoS 性能的路由算法。实验证明了在认知无线网络的环境下,基于容量和干扰的路由算法具有较好的路由请求接收率性能和吞吐量性能,体现了最佳的整体特性。

参考文献:

- [1] MITOLA J. Cognitive radio: An integrated agent architecture for software defined radio [D]. Sweden: Royal Institute Technology, 2000.
- [2] XIN CHUNG-SHEN, XIE BO, SHEN CHIEN-CHUNG. A novel layered graph model for topology formation and routing in dynamic spectrum access networks[C]// Proceedings of 1st IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2005: 308-317.
- [3] ZHAI HONG-QIANG, WANG JIAN-FENG, FANG YU-GUANG. Distributed packet scheduling for multihop flows in Ad Hoc networks [C]// Proceedings of 2004 IEEE Wireless Communications and Networking Conference. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2004: 1081-1086.

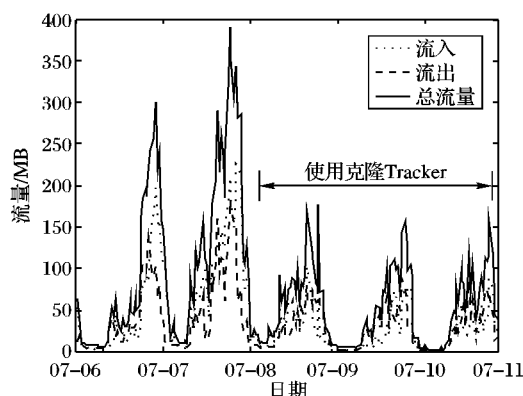


图6 5日流量变化

3.2 对 BT 客户端的影响

使用单个比特精灵客户端在无克隆 Tracker(图7)和有克隆 Tracker(图8)条件下,下载同一个共享文件,以此来查看克隆 Tracker 对客户端的影响。同时使用 Sniffer^[10] 提供的流量查看功能,通过端口镜像查看单个客户端所在交换机上的 BT 进出口流量的带宽占用情况,其中灰色部分为每秒字节数,黑色部分为每秒包个数。

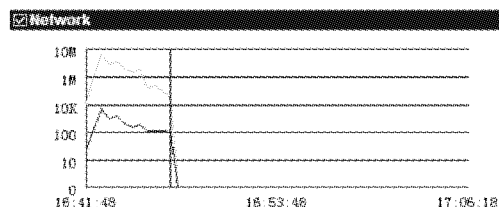


图7 有克隆 Tracker 下载一个文件

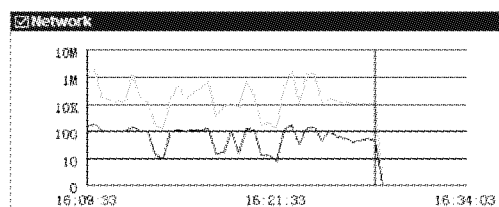


图8 无克隆 Tracker 下载一个文件

从图7~8中可以看出,当克隆 Tracker 功能开启时,BT 客户端的下载时间明显比不使用克隆 Tracker 的下载时间长,同时 P2P 占用进出口带宽始终在 1 Mbps 以下。不使用克隆 Tracker 时,虽然会缩短下载时间,但进出口带宽占用较大。

实验过程中,使用克隆 Tracker 使得局域网情况下的下载时间变长,主要原因是由于网段中的一些内部 Peers 会因为得不到所需的一些片段(BT 下载中将单个文件分成多个片段进行下载)而出现饥饿情况,这时必须等到某个外部节点从外部节点中下载完某些 Peer 后,内部的节点才能够完成后续的下载,从而导致下载时间变长。但是如果所需下载片段在网络中分布均匀的情况下,理想条件下由于处于同一网段的

Peers 的延迟较小、距离较近,会更有利于节点的下载。尽管使用克隆 Tracker 会延长用户的下载时间,但从应用角度来看,与其他封杀 BT 的方法相比,使用该方法可以保证用户正常完成下载,并降低了 BT 对网络上其他应用的影响,因此,在带宽紧张时,仍具有一定的实用价值。

4 结语

本文设计并实现了一种基于克隆 Tracker 的 BT 流量控制方案,克隆 Tracker 代替原 Tracker 向 BT 客户端发送列表。在选择列表时,克隆 Tracker 优先选择和请求者处于同一 ISP、自治域的 Peers,并限定外部 Peers 的数量。在校园网内的实测表明,该方法能有效减少 BT 流量占用进出口带宽,同时也不需要修改现有的 BT 系统结构和协议。虽然目前的实验在校园网下使用单个克隆 Tracker 已经可以有效达到节省带宽的目的,但是如何在外网中部署克隆 Tracker 和分析克隆 Tracker 的性能及实际应用成本将是下一步的任务和目标。

参考文献:

- [1] SHULZE H, MOCHALSKI K. Internet study 2008/2009[EB/OL]. [2010-06-25]. <http://www.ipoque.com/study/ipoque-Internet-Study-08-09.pdf>.
- [2] 赵金生. P2P 业务对我国互联网业务的发展影响[J]. 电信网技术, 2006(2): 71-73.
- [3] PeerApp white paper: Comparing P2P solutions[EB/OL]. [2010-06-25]. <http://www.peerapp.com/>.
- [4] SALEH O, HEFEEDA M. Modeling and caching of peer-to-peer traffic[C]// Proceedings of the 2006 14th IEEE International Conference on Network Protocols. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2006: 249-258.
- [5] YE MINJIANG, WU JIANPING, XU KE. Caching the P2P traffic in ISP network[C]// IEEE International Conference on Communications. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2008: 5876-5880.
- [6] XIE H Y, RICHARD Y, KRISHNAMURTHY A, et al. P4P: Provider portal for applications[C]// Proceedings of the ACM SIGCOMM 2008 Conference on Data Communication. New York: ACM, 2008: 351-362.
- [7] CHOFFNES D R, BUSTAMANTE F E. Taming the torrent: A practical approach to reducing cross-ISP traffic in peer-to-peer systems[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2008, 38(4): 363-374.
- [8] BINDAL R, CAO P, CHAN W, et al. Improving traffic locality in BitTorrent via biased neighbor selection[C]// IEEE International Conference on Distributed Computing Systems. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2006: 1063-6927.
- [9] 楼若岩, 许晓东, 朱士瑞. 面向校园网的 IP 地址逐步优化层次聚类算法[J]. 计算机应用, 2007, 27(8): 1862-1864.
- [10] Sniffer Portable[EB/OL]. [2010-06-25]. http://www.sniffer.net.cn/product/product_line/sniffer-portable-professional/.
- [4] ISHIBASHI B, BOUABDALLAH N, BOUTABA R. QoS performance analysis of cognitive radio-based virtual wireless networks[C]// Proceedings of The 27th Conference on Computer Communications. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2008: 2423-2431.
- [5] HE QING, ZHOU HUAL-BEI. Research on the routing algorithm based on QoS requirement for cognitive radio networks[C]// Proceedings of 2008 International Conference on Computer Science and Software Engineering. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2008, 4: 1114-1117.
- [6] AL-FUQAHA A, KHAN B, RAYES A, et al. Opportunistic channel selection strategy for better QoS in cooperative networks with cognitive radio capabilities[J]. IEEE Journal Selected Areas in Communications, 2008, 26(1): 156-167.
- [7] MA MIAO, TSANG D H K. Joint spectrum sharing and fair routing in cognitive radio networks[C]// Proceedings of the 5th IEEE on Consumer Communications and Networking Conference. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2008: 978-982.
- [8] 徐雷鸣, 庞博, 赵耀. NS 与网络模拟[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.

(上接第 303 页)