

认知可用带宽下的传输控制机制

赵鹏博¹, 吕娜¹, 陈柯帆¹, 卓琨²

(1.空军工程大学信息与导航学院,西安,710077;2.93995部队,陕西户县,710306)

摘要 在航空通信中,传输控制技术直接影响网络的通信性能。基于优先级的传输控制机制能够保证高优先级业务的通信性能,但存在低优先级业务传输性能不佳以及带宽资源利用不足的问题。为了解决这一问题,结合绿色通信理论思想和可用带宽估计技术,提出“认知可用带宽”概念,设计基于认知可用带宽的传输控制机制,并采用多进制自适应调制技术提升网络带宽利用率。仿真结果表明,基于认知可用带宽的传输控制机制能够在保证高优先级业务时延的条件下改善低优先级业务的传输性能,并保证业务最大时延抖动小于0.02 ms;同时,自适应调制技术的应用使得网络吞吐率提升3.26%。

关键词 认知可用带宽;绿色通信;自适应调制;传输控制

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2016.06.014

中图分类号 TP393 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2016)06-0076-06

Transmission Control Mechanism Based on Cognitive Available Bandwidth

ZHAO Pengbo¹, LÜ Na¹, CHEN Kefan¹, ZHUO Kun²

(1. School of Information and Navigation, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China;

2. 93995 of PLA, Huxian Shaanxi 710306, China)

Abstract: Transmission control technique influence communication performance in aviation network. The transmission control mechanism based on priority guarantee performance of high priority business, but arise poor transmission performance of low priority business and bandwidth utilization problem. For alleviate this problem, put forward the innovative "cognitive available bandwidth" concept and design the transition and control mechanism of cognitive available bandwidth through combined with the theory of green communication and the available bandwidth estimation techniques; and self-adaptive modulation is applied to improve bandwidth utilization rate. The simulation results prove that the low priority service performance is relieved based on guarantee performance of high priority service and achieve the delay shake is less than 0.02 ms through the use of transition and control mechanism of cognitive available bandwidth. The throughput rate is improved 3.26% by using self-adaptive modulation technique.

Key words: cognitive available bandwidth; green communications; self-adaptive modulation; transmission control

收稿日期:2016-05-04

基金项目:国家自然科学基金(61302153);航天科技创新基金(CASC020302)

作者简介:赵鹏博(1992-),男,陕西岐山人,硕士生,主要从事军事航空通信研究.E-mail:1476402540@qq.com

引用格式:赵鹏博,吕娜,陈柯帆,等. 认知可用带宽下的传输控制机制[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2016,17(6):76-81. ZHAO Pengbo, LÜ Na, CHEN Kefan, et al. Transmission Control Mechanism Based on Cognitive Available Bandwidth[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2016, 17(6): 76-81.

传输控制技术是控制通信网络节点的各类业务按需、高效接入信道并可靠传输的关键技术。在航空通信网络中,需要传输雷达探测、目标态势、指挥控制、飞行状态、威胁告警及网络管理等多类型业务,通常采用划分业务优先等级、按级传输的方式,按照优先级由高到低逐级传输各类业务,保证高优先级业务良好的传输性能,并尽可能使低优先级业务的服务需求得到满足,为航空通信网络提供多业务 QoS 保证^[1-3]。基于优先级的传输控制过程如图 1 所示。不同优先级的业务暂存于相应发送缓冲队列,等待传输时机。每个节点按照业务优先级从高到低的次序传输,在传输中节点将全部带宽分配给当前队列中优先级最高的业务。

航空通信网络中的 DTDMA^[2]、CF-DAS^[4]、S-TDMA^[5]、E-ASAP^[6] 等 TDMA 类^[4-9] 以及 SPAM^[10]、PBL/HL^[11] 等传输控制协议都具有这种优先级控制特点。TDMA 类协议根据业务类型、业务 QoS 要求确定业务等级,动态分配不同等级业务的发送时隙,使高 QoS 要求的业务优先发送。SPMA(Statistical Priority-based Multiple Access, SPMA)根据多信道业务的传输统计,对多个信道的不同优先级业务分别设置相应的发送阈值,当网络负载超过阈值时,从低优先级业务开始实时截流停发,保证高优先级业务以最低时延、最高可靠性传输。PBL/HL 针对 SPMA 低优先级业务公平性欠佳的问题,提出公平性优先级阈值和冲突回退算法,一定程度上改善了低优先级业务的时延性能。

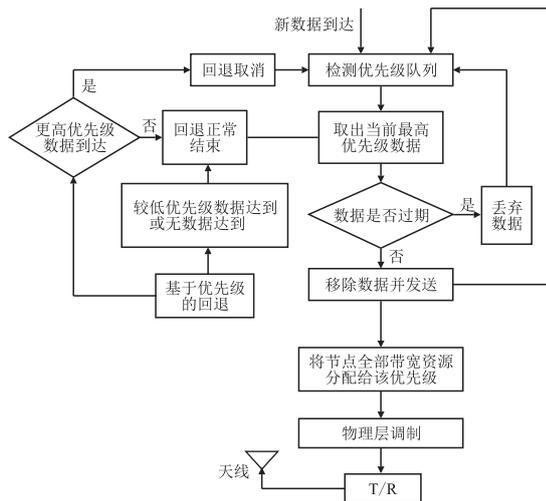


图 1 基于优先级的传输控制流程图

Fig.1 Flow chart of based on priority transmission control

基于优先级的传输控制保证了高优先级业务的性能最佳,但存在以下问题:①在节点带宽资源大于节点高优先级业务传输需求时,节点在发送过程中将所有的带宽分配给最高优先级业务保证了其性能

指标,但剩余的带宽资源没有得到充分利用;②由于各优先级业务都有一定的更新率要求,当高优先级业务增加导致长时间占据信道时,就会使得其他优先级业务无法正常发送,从而降低其他优先级业务的更新率,严重时甚至使低优先级业务失效。可见,基于优先级的传输控制,仅从应用业务层面考虑了业务自身的特性,并没有考虑信道带宽的实际使用状况,带来低优先级业务传输性能不佳以及带宽资源利用不足等固有问题。

本文的传输控制机制与业务优先级密切相关。由于业务与任务阶段的关联性密切,即不同任务阶段的通信需求不同,文中根据任务阶段通信指标的需求设定各类业务传输的优先级。航空通信的传输业务有探测、态势、指挥引导等多种类型,通信指标有通信时延、传输速率、可靠性、更新率等。如信息分发任务阶段,主要传输态势和指挥控制信息,低优先级的目标态势传输速率要求不高,一般为 kbps 级,通信时延要求一般为秒级;而协同探测、复合跟踪以及协同定位等任务阶段,主要传输协同控制、跟踪/定位目标等信息,低优先级的跟踪/定位目标信息传输速率要求较高,一般为 Mbps,通信时延一般为亚秒级。

为了最大化利用通信带宽资源,研究者提出了绿色通信理论^[12-13],以充分利用有限带宽满足更多用户通信需求。绿色通信理论根据不同业务的传输需求,为多业务动态分配可用带宽资源,避免在传输中将全部信道带宽分配给单一业务而带来的资源浪费,从而大大提升带宽资源利用率。

本文将绿色通信理论思想应用到基于优先级的传输控制中,创新性地提出“认知可用带宽”概念,设计基于认知可用带宽的传输控制机制(Transition and Control Mechanism of Cognitive Available Bandwidth, CAB-TCM),克服低优先级业务传输性能不佳和带宽资源利用不足的问题。并为了充分利用网络中的带宽资源,在传输调制中采用多进制自适应调制技术,即根据信道通信质量动态选取最优波形调制待发送业务,优化网络传输性能,提高网络吞吐量。

1 CAB-TCM 设计

可用带宽指在不影响网络中正在传输的数据流的前提下,2 个节点之间所能额外提供的最大吞吐量^[14-15]。“认知可用带宽”指节点在正确估计可用带宽的基础上,根据不同业务对传输性能的需求,分配不同业务占用带宽的比例。CAB-TCM 是基于认知

可用带宽概念的传输控制机制,该机制是在节点中根据不同优先级对性能的需求动态地调整占用节点带宽的大小,通过带宽的充分利用,达到保证高优先级业务传输性能、提升低优先级业务传输性能的目的。CAB-TCM 包括可用带宽估计和可用带宽分配 2 个关键环节。

1.1 CAB-TCM 的认知可用带宽原则

1.1.1 可用带宽估计

认知可用带宽机制的基础是可用带宽估计。为了获取信道可用带宽的有效值,研究者提出了许多可用带宽估计方法。文献[16]提出了使用信道占用率估计可用带宽的方法;文献[17]针对可用带宽估计值通常高于实际带宽的现象,将退避冲突、发送冲突等因素加入节点带宽估计中,提出了带碰撞感知的可用带宽估计方法,改进了带宽估计的准确性;文献[18]结合网络实际拓扑情况,将单位范围内节点数量加入带宽估计因素,提出 ABE 估计方法,将可用带宽估计方法很好地推广到航空通信应用中。本文借鉴参考文献[18]所提出的 ABE 算法估计可用带宽 A :

$$A_{ABE} = (1 - k) (1 - P_c) \frac{T_i}{T} \frac{T_j}{T} C_{\max} \quad (1)$$

式中: k 表示退避和帧间隔消耗的部分带宽比例; P_c 表示数据包碰撞的概率; T_i 和 T_j 表示节点 i 与相邻的通信节点 j 在检测时间 T 内侦听到信道空闲的时间; C_{\max} 表示信道的最大容量。

1.1.2 可用带宽分配

设节点利用式(1)获得的可用带宽的估计结果为 A kbps,业务优先级数为 k 级。根据各优先级业务对传输时延的要求,节点动态分配带宽资源,使其满足:

$$A = \alpha_1 A + \alpha_2 A + \dots + \alpha_k A = \sum_{i=1}^k \alpha_i \times A$$

其中: α_i 代表优先级为 i 的业务发送所占的带宽比例,根据带宽资源和用户对不同优先级业务的要求共同决定。

设数据帧的平均排队时延为 T_w ,处理时延为 T_p ,则一个数据帧的发送时延为:

$$T = T_w + T_p \quad (2)$$

设优先级为 i 的业务的业务量 B_i 、用户时延门限为 β_i 。则时延门限 β_i 的计算公式为:

$$\beta_i \geq T + \frac{B_i}{\alpha_i A} \quad (3)$$

式中: α_i 通过下式确定:

$$\alpha_i \geq \frac{B_i}{(\beta_i - T)A} \quad (4)$$

1.2 CAB-TCM 的实现

依据 1.1 节的认知可用带宽原则,CAB-TCM 的实现步骤如下:

```

Begin
1:for  j =1: m
2:  get A(j)
3:  Av[j] =get A(j)
4:end for
5:  A = min(A[j])
6:for  i =1:k
7:  statistics TH(i)
8:end for
9:  β(i) =read demand(i)
10:if  Av <statistics TH(1)
11:  for  i =1:k
12:    αi =  $\frac{B_i}{(\beta_i - T)A}$ 
13:    TH(i) =αiBi
14:  end for
15:else
16:  RA =A -statistics TH(1)
17:end if
18:for  i =2:k
19:  αi =  $\frac{B_i}{(\beta_i - T)RA}$ 
20:  TH(i) =αiBi
21:  TH(1) =statistics TH(1)
22:end for
End

```

在算法中,函数 $get A(j)$ 的功能是实现可用带宽估计。设网络中节点数为 m ,函数 $get A(j)$ 功能是估计 j 节点的可用带宽,函数 $min(A[j])$ 获取所有节点估计可用带宽的最小值;函数 $statistics TH(i)$ 功能是统计 i 优先级的业务量;函数 $read demand(i)$ 功能是获取 i 优先级业务对时延的门限。 A 为网络确定的可用带宽;每个用户发送 k 种优先级的业务; $TH(i)$ 为 i 优先级传输的业务量。

代码中第 1~5 行的功能是较为精确地计算网络中可用带宽;第 6~9 行是统计各个优先级的业务量和获取不同优先级业务的需求门限;第 10~14 行完成最高优先级业务大于可用带宽时的感知分配;第 15~21 行完成最高优先级业务小于可用带宽时的感知分配。

2 基于信噪比预测的自适应调制

CAB-TCM 传输控制机制通过链路层的设计,

克服了低优先级业务传输性能不佳和带宽资源利用不足的问题。在此基础上,本节继续在物理层对传输业务的调制方式进行优化,采用多进制自适应调制技术,即根据信道质量动态选取最优波形调制待发送业务,优化网络传输性能,提高网络吞吐量。

为了保证调制方式的实时性,使用 BP 神经网络对信噪比进行预测,并根据预测结果动态调整调制方式。在信噪比好的时候使用高阶的调制方式,在信噪比差的时候使用低阶的调制方式,从而提升网络的吞吐率,实现充分带宽利用率的目的。

使用 BP 神经网络对信噪比进行预测并完成自适应调制的主要步骤如下:①获取信道状态样本参数;②根据各个因素的变化趋势预测下一时刻的值,并根据反馈值修订预测模型;③根据各因素预测值计算决策结果选择调制波形。其流程见图 2。

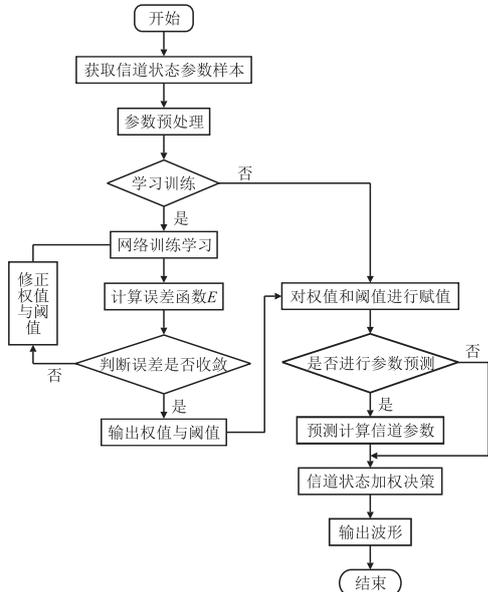


图 2 基于信噪比预测的自适应调制流程图

Fig.2 Flow chart of self-adaptive modulation based on SNR forecast

$x(k)$ 表示第 k 次的信道状态预测值,信道状态根据下式迭代更新:

$$x(k+1) = x(k) - ag(k) \quad (5)$$

式中: a 为学习速率,仿真中设定为 0.02。

第 k 次迭代的预测输出误差对各个权值的向量梯度 $g(k)$ 为:

$$g(k) = \frac{\partial E(k)}{\partial x(k)} \quad (6)$$

若计算为负值表示梯度的反方向,即梯度的最速下降方向。 $E(k)$ 为第 k 次迭代预测输出的总误差性能函数,采用均方误差 (Mean Square Error, MSE) 计算:

$$E(k) = E[e^2(k)] \quad (7)$$

$e(k)$ 为信道状态第 k 次预测值与实际反馈值

的误差:

$$e(k) = \frac{x(k) - f(k)}{x(k)} \quad (8)$$

式中: $f(k)$ 表示第 k 次信道状态实际反馈值。

对信道状态中信噪比预测完成后,根据信噪比的划分区间,用向量 $\mathbf{P} = [p_1, p_2, \dots, p_n]$ 表示信噪比的范围取值;用向量 $\mathbf{W} = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$ 表示不同信噪比对应的调制方式;用 D 表示决策结果,计算公式如下:

$$D = \sum_{i=1}^n p_i w_i = \mathbf{PW} \quad (9)$$

正交调幅 (QAM) 调制技术中具有代表性的技术。8QAM 调制波形是实验常用的波形,Link22 中使用 16QAM 和 32QAM 两种调制波形。故文中预设 8QAM, 16QAM 和 32QAM 3 种波形,并根据判决结果 D 选择最佳调制波形。

3 仿真分析

利用 Matlab 仿真软件对可用带宽感知机制进行仿真。在仿真中设节点业务分为 3 个优先级,该节点总的流量从 0~10 Mbps 不断增加,估计可用带宽为 15 Mbps,统计 3 种优先级业务的时延和时延抖动,并与基于优先级的传输控制机制比较。在仿真图中 Pr1 CAB-TCM, Pr2 CAB-TCM, Pr3 CAB-TCM 表示 3 种优先级业务 CAB-TCM 机制下的时延;Pr1, Pr2, Pr3 表示 3 种优先级业务在基于优先级的传输控制机制下的时延,见图 3。

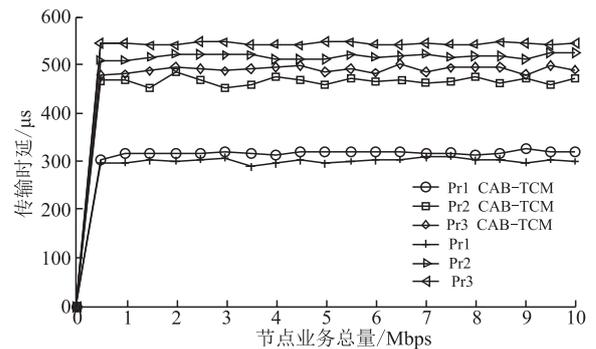


图 3 3 种优先级业务时延性能

Fig.3 The delay performance of three priority business

图 3 中,通过 3 种优先级业务使用 2 种不同发送机制比较可以看出,使用 CAB-TCM 机制后,高优先级业务 Pr1 时延有所增加,但时延仍能保证高优先级业务的传输需求。相比于原来发送机制,使用 CAB-TCM 机制后,中优先级 Pr2 和低优先级 Pr3 业务时延性能有了较为明显提升。仿真结果分析表明,可用带宽感知机制在保证用户对高优先级

业务需求的同时,有效改善了低优先级业务的时延性能。

图4是在CAB-TCM机制下3种不同优先级业务的时延抖动仿真,从对3个优先级的仿真结果可以看出,高优先级业务的时延抖动最小,其时延抖动小于0.01ms;次高优先级业务时延抖动小于0.013ms;低优先级业务时延抖动小于0.02ms,是3种优先级中最大的。在通信中时延抖动小于0.02ms是一个比较理想的值,通常可以忽略不计。通过仿真结果可以看出,该机制在保证各个优先级满足用户需求的同时具有较低的时延抖动,保证了数据的传输质量。

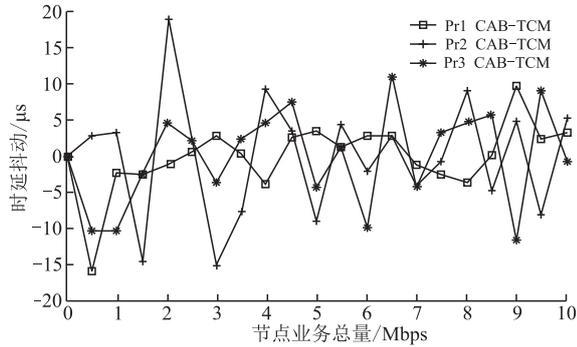


图4 CAB-TCM下时延抖动比较

Fig.4 Delay shake compare base on CAB-TCM

图5反映了2种不同调制方式下节点归一化吞吐率变化趋势。从图中可以看出,在节点业务量从0~10Mbps变化中,采用基于信噪比的自适应调制相比于不采用自适应调制相归一化吞吐率得到了提升。对两种不同调制方式下的归一化吞吐率的平均值求差值,采用基于信噪比预测的自适应调制后网络的归一化吞吐率平均提升大约3.26%。这是因为利用基于信噪比的自适应调制能够在物理层信噪比较高时,使用高阶调制波形提升了业务传输速率,从而达到提升了网络吞吐率的效果。

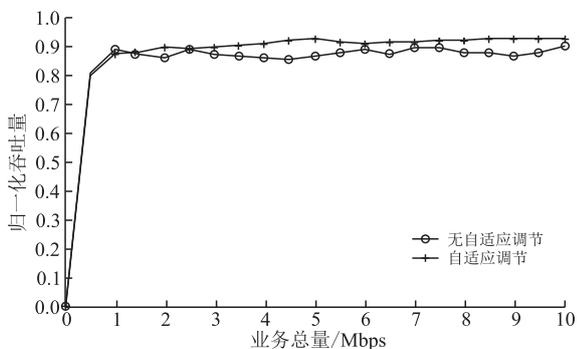


图5 归一化吞吐率

Fig.5 Performance curve of throughput rate

4 结语

本文为了在多业务共存的航空通信网络中保证的高优先级业务既能满足传输需求,并尽可能使低优先级业务的服务需求得到满足,创新性地提出了“认知可用带宽”概念,设计了基于认知可用带宽的传输控制机制,在保证高优先级业务时延及时延抖动需求的条件下,改善了低优先级业务的传输性能;并采用多进制自适应调制技术实现了带宽利用率的优化,从而提升了网络吞吐率。文中研究对提升航空通信性能,缓解通信资源紧张的局面有一定参考价值。

参考文献(References):

[1] JURDAK R, LOPES C V, BALDI P. A Survey Classification and Comparative Analysis of Medium Access Control Protocols for Ad Hoc Network[J]. IEEE Communication Surveys & Tutorials, 2004, 6(1): 2-16.

[2] 吕娜, 杜思深. 数据链理论与系统[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
LÜ Na, DU Sishen. Theory and System of Data Link [M]. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 2011.(in Chinese)

[3] 李楠, 蔡越民, 程乃平. Ad Hoc 网络中一种具有优先控制的自适应协同 MAC 协议[J]. 信号处理, 2011, 27(3): 450-455.
LI Nan, CAI Yuemin, CHENG Naiping. An Adaptive Cooperative MAC with Priority for Ad Hoc Networks [J]. Signal Processing, 2011, 27(3): 450-455. (in Chinese)

[4] 陈柯帆, 王锦江, 吕娜, 等. 态势信息感知下的航空网络动态中继协议[J]. 空军工程大学学报: 自然科学版, 2015, 16(3): 66-70.
CHEN Kefan, WANG Jinjiang, LÜ Na, et al. A Dynamic Relaying Protocol Based on Status Information for Aeronautical Network [J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2015, 16(3): 66-70. (in Chinese)

[5] 张军, 李忠孝. 自组织时分多址甚高频数据链的延时分 [J]. 北京航空航天大学学报, 2004, 30(3): 222-226.
ZHANG Jun, LI Zhongxiao. Delay Analysis of Self-organized TDMA VHF Datalink [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics Astronautics, 2004, 30(3): 222-226. (in Chinese)

- [6] KANZAKI A, HARA T, NISHIO S. An Adaptive TDMA Slot Assignment Protocol in Ad Hoc Network[C]//ACM Symposium on Applied Computing, 2005:1160-1165.
- [7] 陈振, 韩江洪, 杨勇. VANET 中利用 TDMA 时隙协助发送数据的方法[J]. 通信学报, 2015, 35(7): 92-101.
CHEN Zhen, HAN Jianghong, YANG Yong. Using Idle TDMA Slots for Retransmitting Packets Cooperatively in VANET[J]. Journal on Communication, 2015, 35(7): 92-101. (in Chinese)
- [8] 王锦江, 任宝祥, 续志明. 多自适应波束天线节点的最优组网拓扑控制[J]. 空军工程大学学报: 自然科学版, 2015, 16(1): 62-66.
WANG Jinjiang, REN Baoxiang, XU Zhiming. Optimum Topology Control for Nodes with Multiple Steered Beam Antennas[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2015, 16(1): 62-66. (in Chinese)
- [9] 陈曦, 张世祥, 田万勇. 战术数据链时隙分配协议综述[J]. 电子科技, 2013, 26(4): 165-168.
CHEN Xi, ZHANG Shixiang, TIAN Wanyong. A Survey of Slot Assignment Protocols for Tactical Data Links [J]. Electronic Science and Technology, 2013, 26(4): 165-168. (in Chinese)
- [10] CLARK S M, HOBACK K A, ZOGG S J F. Statistical Priority - based Multiple Access System and Method[P]. United States, No.768077B1, 2010.
- [11] 张伟龙, 吕娜, 杜思深. 应用于航空 Ad Hoc 网络的高负载优先级均衡 MAC 协议[J]. 电讯技术, 2014, 53(5): 661-666.
ZHANG Weilong, LÜ Na, DU Sishen. A Balancing Priority MAC Protocol under High Load for Aviation Ad Hoc Network[J]. Telecommunication Engineering, 2014, 53(5): 661-666. (in Chinese)
- [12] 王磊. 绿色无线通信技术概述[J]. 无线通信技术, 2013, 22(3): 34-38.
WANG Lei. A Survey of Green Wireless Communication Technologies[J]. Wireless Communication Technology, 2013, 22(3): 34-38. (in Chinese)
- [13] FOUKALAS F, KARETSOS G T. On the Performance of Adaptive Modulation in Cognitive Radio Networks[J]. Computers and Electrical Engineering, 2013, 39(4): 1260-1275.
- [14] SARR C, CHAUDET C, CHELIUS G. Bandwidth Estimation for IEEE 802.11 Based Ad Hoc Networks [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2008, 7(10): 1228-1241.
- [15] CHIU C Y, KUO Y L, CHEN G H. Bandwidth Constrained Routing Problem in Wireless Ad Hoc Networks[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2008, 19(1): 4-14.
- [16] ZHAI Hongqiang, CHEN Xiang. A Call Admission and Rate Control for Multimedia Support over IEEE 802.11 Wireless LANs[J]. Wireless Network, 2006 (12): 451-463.
- [17] 吴大鹏, 武穆清. 带有碰撞感知的 MANET 可用带宽估计方法[J]. 电子科技大学学报, 2009, 38(6): 1031-1033.
WU Dapeng, WU Muqing. Collision Aware Bandwidth Estimation Mechanism in MANET[J]. Journal of Electronic Science and Technology of China, 2009, 38(6): 1031-1033. (in Chinese)
- [18] SARR C, CHAUDET C, CHELIUS G, et al. Bandwidth Estimation for IEEE 802.11 -Based Ad Hoc Networks[J]. IEEE Transaction on Mobile Computing, 2008, 7(10): 1228-1241.
- [19] 刘俊, 张大方. 可信高效的可用带宽测量方法研究[J]. 电子学报, 2009, 37(10): 2239-2242.
LIU Jun, ZHANG Dafang. New Exploration of Dependable Available Bandwidth Measurement[J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 37(10): 2239-2242. (in Chinese)
- [20] 周开利, 康耀红. 神经网络模型及其 MATLAB 仿真程序设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2011.
ZHOU Kaili, KANG Yaohong. Model of Neural Net and MATLAB Simulation[M]. Beijing: Publishing House of Tsinghua University, 2011. (in Chinese)

(编辑:徐楠楠)