

基于效用的超宽带系统带宽分配

蒙文武 朱光喜 刘干 张良

(华中科技大学电子与信息工程系 武汉 430074)

摘要 把超宽带系统的带宽优化调度表示为一个效用最大化的问题。对于系统的带宽分配,效用函数是服务质量的有效度量,它反映了用户对所分配的资源满意程度。针对超宽带无线网络带宽分配中链路和用户的集中式算法的复杂性,用分布式方案解决这种问题,以自适应变化的无线网络环境。对系统带宽进行基于效用的分配,满足超宽带系统高速率传输的需要。

关键词 超宽带,效用函数,纳什均衡,带宽分配

中图分类号 TN929.5 **文献标识码** A

Bandwidth Allocation of UWB Systems Based on Utility

MENG Wen-wu ZHU Guang-xi LIU Gan ZHANG Liang

(Department of Electronics and Information Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract In this paper, the optimal bandwidth scheduling problem for UWB networks was formulated as a utility maximization problem. Concerning the system bandwidth allocation, utility function is an effective measure of QoS. Utility reflects the user's satisfaction level to the assigned resource. Due to the complex coordination among users and links of wireless UWB systems, we proposed the problem with a decentralized scheme, which adapted naturally to changing wireless network conditions. We allocated system bandwidth based on utility, which fulfilled high rate transmission of UWB systems.

Keywords Ultra wideband, Utility function, Nash equilibrium, Bandwidth allocation

1 带宽分配中的效用博弈

在超宽带 UWB(Ultra Wideband)无线系统中,其物理层具有独特性,例如低发射功率谱密度和精确的位置信息,使其具有与其它无线网络不同的优势。UWB 物理层的特性为设计有效的资源控制协议提供了机遇。2007 年 3 月,WiMedia 联盟的 MB-OFDM(Multiband-Orthogonal Frequency Division Multiplexing)标准通过认证,正式成为第一个 UWB 国际标准。新标准保证超宽带系统在 10m 范围内以很低的功耗传送高达 100Mbps 的多媒体流^[1-3]。

一个基本的博弈结构包括 3 个基本要素:参与者的说明(Player)、参与者策略相互作用的描述(Strategy)和参与者采取的解决方案(Payoff)。效用函数是通过量化的方法表征每个参与者方案选择。数学家 Nash 于 1950 年提出的纳什均衡(Nash Equilibrium)的概念,已成为现代博弈算法的基础。

假设超宽带无线网络有 N 个用户、 L 个活动链路,由于每个用户 $S_n (n=1, 2, \dots, N)$ 想最大化其所占用的系统传输带宽 R_n , 而资源分配是想保证整个信道的资源利用率,因此二者之间就构成了一个效用博弈策略^[4-7]。信道是竞争接入的,在博弈中,网络由 $L = \{1, 2, \dots, L\}$ 个链路容量为 c_l 的链路组成,其中, $l \in L$ 。用户 n 有 4 个相关参数 $(L(n), u_n, m_n, M_n)$ 。这里 $L(n) \subseteq L$ 为用户 n 使用的链路集; u_n 为用户 n 的效用函

数,一般而言效用函数越大越好; $m_n \geq 0$ 和 $M_n < \infty$ 分别为用户 n 所需的最小和最大传输带宽。每个用户的传输速率应满足下式^[8,9]

$$\begin{aligned} \max_{R_n \in I_n, n=1}^N u_n(R_n) \\ \text{subject to } \sum_{n \in S(l)} R_n \leq c_l \end{aligned} \quad (1)$$

其中, $I_n = [m_n, M_n]$ 代表 R_n 的范围集, $S(l) = \{n \in S | l \in L(n)\}$ 为使用链路 l 的用户集。博弈问题常用函数包括效用函数 $u_n(R_n)$ (Utility Function)、价格函数 $p_n(R_n)$ (Price Function) 和收益函数 $L(R, p)$ (Payoff Function), 三者有如下关系

$$L(R, p) = \sum_{n=1}^N (u_n(R_n) - p_n(R_n)) \quad (2)$$

每个用户选择最大化其收益的传输带宽,即效用减去带宽费用,链路调整带宽的价格,以符合用户的需求。引入价格函数,主要有两方面好处:首先表现为导向作用,服务价格引导用户选择适当的服务,避免过度使用,在一定程度上起到缓解拥塞、调节供需平衡的作用,其次表现为优化资源配置作用:系统可以通过资源价格控制,把资源分配给最需要资源、会产生最大效益的网络用户,从而获得资源的最有效配置,最大化资源使用效率。

由于带宽受到信道容量的限制,直接求解收益函数在实际的网络中是不现实的,因此需要采用分布式方法。在本设计中定义收益函数为

到稿日期:2008-11-11 返修日期:2009-01-22 本文受国家自然科学基金(60496315),国家高技术研究发展计划(2006AA01Z233)资助。

蒙文武(1970-),男,博士,研究方向为宽带无线通信资源管理, E-mail: mengww@mail. hust. edu. cn.

$$L(R, p) = \sum_{n=1}^N P_n(R_n) = \sum_{n=1}^N u_n(R_n) - \sum_{l=1}^L p_l (\sum_{n \in S(l)} R_n - c_l) \\ = \sum_{n=1}^N (u_n(R_n) - R_n \sum_{l \in S(n)} p_l) + \sum_{l=1}^L p_l c_l \quad (3)$$

在网络中,为满足资源的最大利用率,需要收益函数最大化,则

$$\max_{R_n \in I_n} L(R, p) = \max_{R_n \in I_n} \sum_{n=1}^N (u_n(R_n) - R_n p_n) + \sum_{l=1}^L p_l c_l \quad (4)$$

从式(4)可以看出,如果把 p_l 看成链路 l 的单位带宽价格, p_n 则为用户 n 所使用的所有链路的单位带宽价格, $R_n p_n$ 则表示用户 n 以速率 R_n 传输时的带宽价格。 $\max_{R_n \in I_n} \sum_{n=1}^N (u_n(R_n) - R_n p_n)$ 代表在给定价格函数 p_n 的条件下用户 n 能取得的最大收益。

在纳什均衡中,用户共享链路不等于共享相同带宽,而且共享反映了资源通过效用函数表达出来的价值,这提供了对不同业务提供不同带宽分配的基础。

2 系统模型

根据业务类型定义子群,通过迭代的方法寻找效用函数的最大值,把资源优化通过分布式的优化算法实现,采用梯度法进行价格函数调整

$$p_l(t+1) = p_l(t) - s \frac{\partial D}{\partial p_l}(p(t)) \quad (5)$$

其中, s 为步长。

$$\frac{\partial D}{\partial p_l}(p) = c_l - R_l(p) \quad (6)$$

$$p_l(t+1) = p_l(t) + s(R_l p(n) - c_l) \quad (7)$$

链路算法:利用超宽带的定位特性,链路 l 定时获得用户的带宽信息,并用新的带宽信息更新其本地信息。在每一更新时刻,链路 l 计算 $\frac{\partial D}{\partial p_l}(p)$,并通过式(6)调整价格,将价格信息发送给用户。

用户算法:在每一更新时刻,用户获得从链路返回的带宽价格,用户用新的价格信息更新其本地信息。通过式(8)选择一个新的价格,其使用该价格直到下一次更新,并将该价格发送给链路。

$$R_n(t+1) = R_n(p_n(t)) \quad (8)$$

当网络需求过重,超过系统信道容量时,系统可以通过调高价格抑止消费,刺激一些财力状况较差的用户选择较低级别的服务,从而在一定程度上缓解拥塞。同理,当网络负载轻、空闲资源较多时,系统能够适时降低价格,刺激消费,使更多用户选择较高级别的服务,从而提高资源使用率。系统带宽分配模型如图1所示。

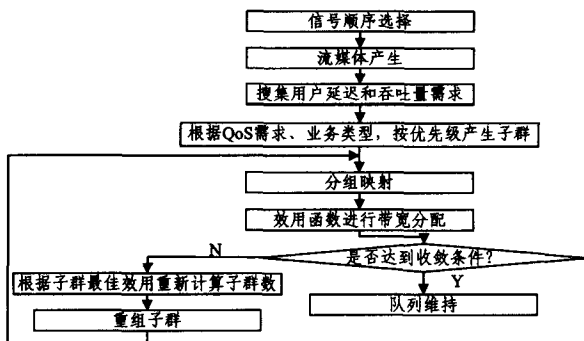


图1 超宽带系统带宽分配模型

3 仿真结果

在仿真中,假设每个分组包含100比特的信息,按业务类型和优先级设定不同的功率级别。

当链路容量低于30%时,认为是轻负载的;当链路容量高于60%时,则认为负载较重。各种流媒体的参数如表1所列。

表1 仿真中流媒体参数设置

流媒体类型	信息速率(Mbps)	延时边界(ms)
数据流	2~1000	可变
视频流	1~30	20
音频流	1	20~50

在重载时,假设:

- 1)数据流到达速率为90Mbps,延时边界为600ms;
- 2)视频流到达速率为24Mbps,延时边界为20ms;
- 3)音频流到达速率为3Mbps,延时边界为20ms。

图2为迭代后的速率曲线。通过该图可以看出,经过有限迭代次数后,系统的吞吐量能收敛到稳定值。

图3为系统在重载时流媒体的吞吐量性能。由该图可见,各种流媒体的吞吐量下降很大,这主要是由于在重载时,各种流媒体相互竞争有限的资源,效用博弈算法为了公平合理地分配吞吐量,对不同服务质量QoS(Quality of Service)需求的链接进行带宽分配,以保证各种流媒体的需求。

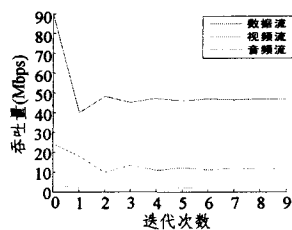


图2 迭代后的速率曲线

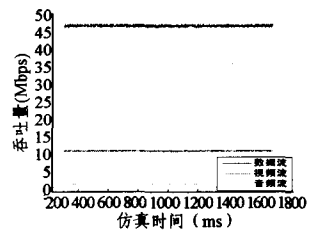


图3 负载较重时流媒体的速率曲线

结束语 在超宽带系统中,允许用户和链路之间通信来更新消息,使算法收敛到全局最优。考虑到超宽带系统的高带宽、低功耗等特点,根据超宽带技术定位精确的特点,在满足用户QoS需求的基础上,对系统带宽进行基于效用的分配,以满足UWB系统高速率传输的需要。

参考文献

- [1] Federal Communication Commission. FCC 02-48 First report and order in the matter of revision of part 15 of the commission's rules regarding ultra-wideband transmission systems [S]. Washington: Federal Register, 2002
- [2] Shen X, Zhuang W, Jiang H, et al. Medium access control in ultra-wideband wireless networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2005, 54(5): 1663-1677
- [3] Liu K H, Ling X, Shen X, et al. Performance analysis of prioritized MAC in UWB WPAN with bursty multimedia traffic[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2008, 57(4): 2462-2473
- [4] Ghosh P, Basu K, Das S K. A game theory-based pricing strategy to support single/multiclass job allocation schemes for bandwidth-constrained distributed computing systems [J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2007, 8(3): 289-306

- [5] Niyato D, Hossain E. Radio resource management games in wireless networks: an approach to bandwidth allocation and admission control for polling service in IEEE 802. 16[J]. IEEE Wireless Communication, 2007, 14(1): 27-35
- [6] Lee J W, Mazumdar R R, Shroff N B. Joint resource allocation and base-station assignment for the downlink in CDMA networks[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2006, 14(1): 1-14
- [7] Bacci G, et al. Energy efficient power control in impulse radio UWB wireless networks[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 2007, 1(3): 508-520
- [8] Low S H, Lapsley D E. Optimization flow control- I ; basic algorithm and convergence[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1999, 7(6): 861-874
- [9] 陶军, 吴清亮, 吴强. 基于非合作竞价博弈的网络资源分配算法的应用研究[J]. 电子学报, 2006, 34(2): 241-246
- [10] 蒙文武, 朱光喜, 谭力, 等. UWB无线通信系统接入控制流程设计[J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2008, 36(9): 55-58
- [11] Liu K-H, Cai L, Shen X. Multiclass utility-based scheduling for UWB networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2008, 57(2): 1176-1187

(上接第 103 页)

选的节点的性能要高。

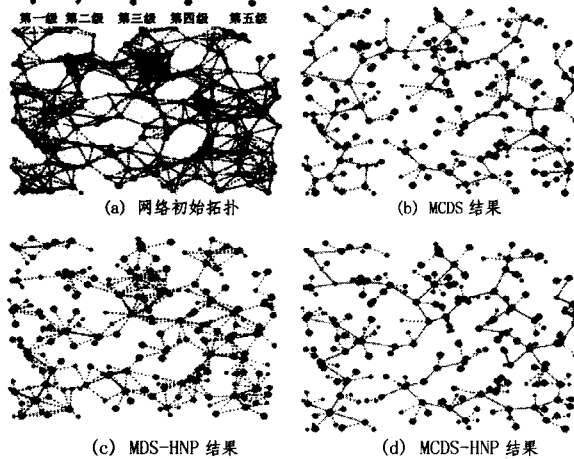


图 1 不同算法构建的无线骨干网络

为了测试采用本文所提算法后的骨干网络的性能, 图 2 给出了一组实验结果。本文定义骨干节点平均性能级别为 $\frac{\sum_{i=1}^k Q_i}{k}$ 。其中 k 为骨干节点的个数, Q_i 为骨干节点 x_i 的性能级别。骨干节点的平均性能级别能最好地体现所构建的骨干网的性能。在图 2(a)中, 设置最大节点性能级别为 5, 节点个数在 200 至 700 之间变化。在图 2(b)中, 设置节点个数为 350, 最大节点性能级别在 2 至 8 之间变化。仿真结果表明, 我们提出的算法 MCDS-HNP 比原有的 MCDS 算法获得了更高的平均性能级别, 并且随着最大节点性能级别的增大, 两种算法的差别也增大。

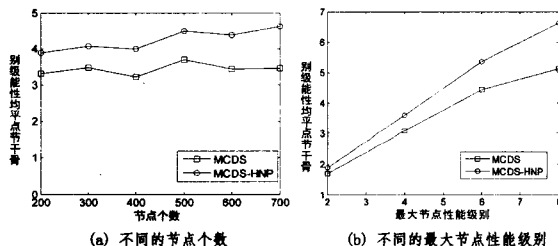


图 2 骨干节点平均性能级别

图 3 为骨干节点个数的仿真结果。可以看到, 虽然 MCDS-HNP 算法在寻找骨干节点时比 MCDS 算法增加了一些限制条件, 但是所选的骨干节点个数并没有增加很多。在不同的节点个数以及不同的最大节点性能级别的情况下, MCDS-HNP 算法所选择的骨干节点个数不超过 MCDS 算法的 10%。

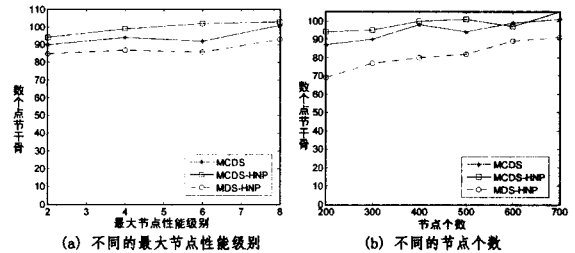


图 3 骨干节点个数

结束语 本文所做的主要工作有以下几点: 1) 讨论了在异构 Ad hoc 网络环境下通过搭建骨干网来进行层次型路由的策略; 2) 对选取高性能节点的最小连通集问题 (MCDS-HNP) 做了形式化定义; 3) 提出了针对异构 Ad hoc 网络中构建骨干网的多项式时间内估计算法; 4) 对算法的逼近度和时间复杂度进行了讨论; 5) 通过仿真对所提出的算法与现有算法进行了比较。结果表明, MCDS-HNP 算法由于考虑了选取节点本身的性能, 因此比 MCDS 算法能够获得更高的骨干网性能, 且没有过大地增加骨干网节点数。

目前, 我们所提出的算法是基于集中式的控制算法。集中式算法相对于分布式算法的优点是可以对整个网络拓扑进行全局优化; 对节点发现、路由维护等操作控制信息所需的开销比较小; 骨干网络的搭建速度快等。但是在某些特殊的应用场合如每个节点并不知道自己当前位置的情况下, 只能使用分布式算法来构建。在今后的工作中, 我们将研究 MCDS-HNP 问题的分布式算法实现。

参考文献

- [1] Saha A K, Johnson D B. Self-organizing hierarchical routing for scalable ad hoc networking [R]. TR04-433. Department of Computer Science, Rice University, 2004
- [2] 田明军, 赵丹, 王靖轩, 等. Ad hoc 网络中基于骨干网的相对定位算法研究[J]. 计算机研究与发展, 2008, 45(5)
- [3] Khuller S G. Approximation algorithms for connected dominating sets [J]. Algorithmic, 1998, 20(4): 374-387
- [4] 彭伟, 卢锡城. 一个新的分布式最小连通支配集近似算法[J]. 计算机学报, 2004, 24(3)
- [5] Daiand F, Wu J. An extended localized algorithm for connected dominating set formation in Ad hoc wireless networks[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed System, 2004, 15: 908-920
- [6] Cheng X, Ding M, Duand H, et al. Virtual backbone construction in multihop ad hoc wireless networks [J]. Wireless Communications and Mobile Computing, 2006, 6: 183-190
- [7] West D B. Introduction to Graph Theory[M]. Prentice Hall, 1996
- [8] Chvatal V. A Greedy Heuristic for the Set Covering problem [J]. Mathematics of Operations Research, 1979, 4: 233-235