

用于塑料光纤接入网的三优先级控制协议设计*

刘荣华^{1,2}, 张宁^{1,†}

(1 北京石油化工学院 信息工程学院, 北京 102617)

(2 北京化工大学 信息科学与技术学院, 北京 100029)

摘 要:为了解决用有限的码字来实现多于码字数目的多媒体工作站间的信息通信,提出一种基于光码分多址(Optical Code Division Multiple Access, OCDMA)技术的塑料光纤接入网的多优先级控制协议. 该协议通过使用预约方案和仲裁算法可以有效地解决信道冲突和目的地址的冲突问题,可以支持多媒体信息传输中各类信息不同的时间延迟要求. 通过建立一个离散马尔科夫链模型对塑料光纤接入网的网络吞吐量和平均延时时间进行了数值分析和仿真实验,结果证明,这种多优先级控制协议能够适应多媒体网络中各类业务对信号时延要求的不同进行信道的优先级分配.

关键词:光码分多址; 优先级控制; 马尔科夫链模型; 吞吐量; 时延

中图分类号: TN929.18

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2008)07-1356-5

0 引言

塑料光纤由于具有带宽大、重量轻、价格低廉等其它传输介质不可比拟的优点,成为目前乃至将来一段时间非常理想的网络传输媒质. 采用 OCDMA 技术是一种充分开发网络资源且适合塑料光纤局域网络的有效方法^[1]. OCDMA 技术是一种扩频技术,每个工作站采用各自的码字发送和接收信息,在码字足够多(相对工作站数目)时,OCDMA 网络具有随机接入、没有接入延时的巨大优点,非常适合多媒体信息传输的要求,特别适合具有实时通信要求的多媒体用户. 但在实际接入网络中,工作站数量的不断增加以及各类多媒体信息对网络传输质量的高要求,急需设计出一种适合于工作站数量大于(或远大于)OCDMA 系统所能提供的理想码字数目的控

制协议^[2]. 文献[3]对工作站没有优先级的情况进行了讨论,为了符合多媒体网络中各类业务对信号传输量以及时延要求的不同,要考虑按业务的优先级进行信道的分配.

本文提出一种基于 ALOHA 时隙(S-ALOHA)的多优先级的控制协议,建立了离散马尔科夫链模型来分析协议的性能并给出仿真结果.

1 协议的基本思想

考虑到系统的网络结构是基于无源星型拓扑结构,并将信道划分为控制信道和数据信道. 对于每个工作站来说,都有两套光编码器和光解码器^[4]. 其中一套用于数据信道的可调光编/解码器;另一套可用于控制信道的固定光编/解码器,如图 1.

假设系统的带宽被划分为 $(N+1)$ 个信道,且每

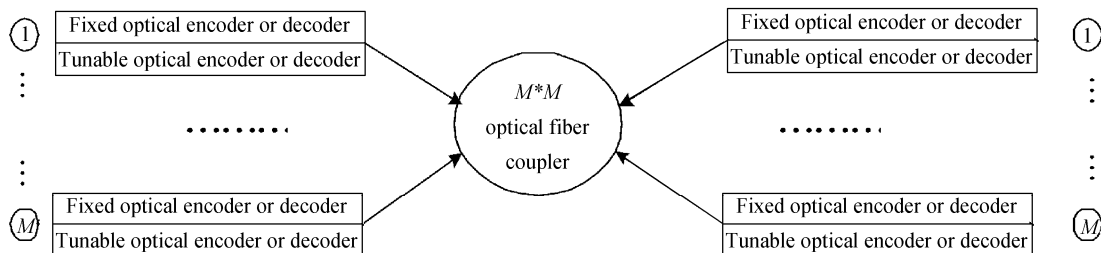


图 1 系统的网络拓扑结构 ($M = \sum_{i=1}^p M_i$)

Fig. 1 Network architecture with a passive star topology

一信道所占带宽相同,分别为 $C_i (i=0, 1, \dots, N)$; 其中一个 C_0 作为控制信道,其余 N 个信道作为数据信道. 网络中有优先级为 i 的工作站数分别为 $M_i (i=1, 2, \dots, p)$ 个,其中优先级 j 的优先于优先级 $j+1$, 优先级 1 的优先级最高. 系统中所有的信道均以时

隙划分,且在时隙边界上同步. 规定数据分组的长度固定,而时隙的长度固定为发送数据分组所需要的时间,记为 T_d . 控制信道的每一个时隙又进一步划分为 x 个子时隙(一般的 $x \geq N$),每个子时隙的长度等于控制报文的发送时间,记为 T_c ,子时隙亦在其边缘同步. 控制报文结构包括目的工作站的地址信息和发送工作站的优先级状况(如图 2).

* 北京市优秀人才培养基金(20051D0500408)资助

† Tel: 13522111392 Email: zhangning@bipt.edu.cn

收稿日期: 2007-01-08

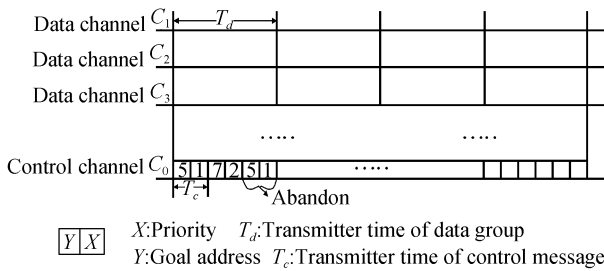


图2 协议的时隙结构
 Fig.2 The diagram of dynamic scheduling protocol

用预约协议来避免信道冲突^[5]. 工作站有 3 种状态:空闲、存储和发送,其中空闲状态是指该工作站没有信息可发送;存储状态是指工作站正试图发送数据,即正“预约”一个数据信道来发送它的数据;发送状态是指工作站前一个时隙“预约”成功,目前正在处于发送数据状态. 于是,系统各个优先级的状态便可用各个优先级工作站处于发送状态的工作站数和处于存储状态的工作站数来表征.

当一个时隙开始时,若有一个信息到达某个处于空闲状态的工作站时,该工作站便转变为存储状态,立即进入“预约”过程(即发出预约信号). 它将在 x 个控制子时隙中随机选取一个子时隙,并将控制报文发送到该子时隙上. 若是有两个以上工作站选择了同一个控制子时隙,由于控制报文中包含了优先级别的信息,系统根据优先级别的高低来进行判断,若优先级相同则产生冲突,若优先级不同,丢弃优先级低的控制报文. 在未产生冲突的控制报文中,系统按照分组优先级的高低顺序地选择一个控制报文. 在优先级相同的控制报文中,首先选择左边的子时隙,然后才是右边子时隙. 如果控制报文与之前选择的控制报文所含的目的地址相同,则将其之丢弃,从而防止了目的地址冲突. 所有的工作站都在不断的监视控制信道,它们在时隙的末端就会知道竞争的结果. 在下一时隙开始时,各个工作站就按照被选择的顺序传输数据. 没有预约成功的工作站将在下个时隙开始新的预约过程,直至完成数据传输.

2 马尔科夫链模型的建立

在离散时间马尔科夫链模型系统中,设:1)空闲工作站获得一个新信息的概率为 σ_i ($i = 1, 2, \dots, p$),每个信息均以概率 $(1/\mu)$ 按几何分布平均它的数据分组;2)预约信号从 M 个目的地址中获得目的地址的概率相同,若预约信号的“预约”失败,它的下一次的地址预约仍在 M 个目的地址中具有相同的概率分布;3)不考虑可调光编/解码器的调节时间,即假设调节时间为零;4)为了分析方便,考虑到

塑料光纤的误码率极低,再加上冗余码的使用,可假设传输中误码率为零.

设 p 个优先级的用户数分别为 M_i ($i = 1, 2, \dots, p$),在一个时隙的开始端,系统的状态可用 $\{(k_{11}, k_{12}), (k_{21}, k_{22}), \dots, (k_{p1}, k_{p2})\}$ 表示,其中 k_{i1} 表示第 i 个优先级发送状态的工作站数(即为前一时隙中预约成功的控制报文数), k_{i2} 表示第 i 个优先级中处于存储状态的工作站数. 则 k_{i1} 中有 k_{i3} 个工作站继续发送消息的概率为

$$P_{c_i}(k_{i3}/(k_{i1}, k_{i2})) = C_{k_{i1}}^{k_{i3}} (1-\mu)^{k_{i3}} \mu^{k_{i1}-k_{i3}} \quad (1)$$

式中

$$C_{k_{i1}}^{k_{i3}} = \frac{k_{i1}!}{k_{i3}!(k_{i1}-k_{i3})!} \quad (k_{i1} \geq k_{i3} \geq 0) \quad (2)$$

空闲工作站中有 k_{i5} 个获得信息的概率为

$$P_{a_i}(k_{i5}/(k_{i1}, k_{i2})) = C_{M_i-k_{i1}-k_{i2}}^{k_{i5}} \sigma_i^{k_{i5}} (1-\sigma_i)^{M_i-k_{i1}-k_{i2}-k_{i5}} \quad (3)$$

在 k_{i2} 个存储状态的工作站中有 l 个工作站通过控制信道发出预约信号的概率为

$$P_{dri}(l/(k_{i1}, k_{i2})) = C_{k_{i2}}^l \left(\frac{M_i-k_{i1}}{M_i}\right)^l \left(\frac{k_{i1}}{M_i}\right)^{k_{i2}-l} \quad (4)$$

由于已经存在 $\sum_{j=1}^i k_{j1}$ 个工作站在发送消息,故只有 $x - \sum_{j=1}^i k_{j1}$ 个子时隙可以用作传输控制信息,假设有 s 个工作站发出的预约信号既不与其它工作站冲突也不与以前的控制报文的地址冲突,根据文献[3],其概率可按式(5)计算

$$U_i(s/l) = \begin{cases} \sum_{m=s}^l \Pr_i(M_i-k_{i1}, s, m) \cdot Q(x - \sum_{j=1}^i k_{j1}, m, l) & (s < N - k_{i3}) \\ 1.0 - \sum_{y=0}^{N - \sum_{j=1}^i k_{j1} - 1} U(\frac{y}{l}) & (s = N - k_{i3}) \\ 0 & (\text{其他}) \end{cases} \quad (5)$$

式中, $Q(x - \sum_{j=1}^i k_{j1}, m, l)$ 表示当有 $x - \sum_{j=1}^i k_{j1}$ 个子时隙可传输控制报文时,有 l 个发送预约信号的工作站中,有 m 个不与其他工作站发出的信号相冲突的概率. $\Pr_i(M_i - k_{i1}, s, m)$ 用来表示当有 $(M_i - k_{i1})$ 个可接收信息的目的地址,在 m 个不与其他工作站的预约信号相冲突的工作站中,有 s 个选择不同地址的概率. $Q(x - \sum_{j=1}^i k_{j1}, m, l)$ 和 $\Pr_i(M_i - k_{i1}, s, m)$ 可由式(6)、(7)求得

$$Q(m, i, j) = [C_m^i C_j^i]! \sum_{v=0}^{\min(m-i, j-i)} (-1)^v \cdot C_{j-i}^v C_{m-i-v}^{j-i-v} / m^j \quad (6)$$

$$\Pr_i(m, i, j) = [C_m^{m-i} \sum_{y=0}^i (-1)^y C_i^y (i-y)^j] / m^i \quad (7)$$

这样,在 k_{i2} 个存储状态的工作站中有 k_{i4} 个工作站可以发送信息的概率可以按式(8)计算

$$P_{S_i}(k_{i4}/(k_{i1}, k_{i2})) = \sum_{l=k_{i4}}^{k_{i2}} U_i(k_{i4}/l) \cdot P_{dri}(l/(k_{i1}, k_{i2})) \quad (8)$$

由马尔科夫链的数学理论可知,系统可以达到一个稳定状态,用概率 $\pi_{(k_{11}, k_{12}), (k_{21}, k_{22}), \dots, (k_{p1}, k_{p2})}$ 来表示其稳定状态.它可通过解下面的线性方程组求得^[6].

$$\begin{cases} \Pi = \Pi \cdot P \\ \sum_{k_{11}=0}^{\min(N, M_1)} \sum_{k_{12}=0}^{M_1 - k_{11}} \sum_{k_{21}=0}^{\min(N - k_{11}, M_2)} \sum_{k_{22}=0}^{M_2 - k_{21}} \dots \sum_{k_{p1}=0}^{\min(N - \sum_{i=1}^{p-1} k_{i1}, M_p)} \cdot \\ \sum_{k_{p2}=0}^{M_p - k_{p1}} \pi_{(k_{11}, k_{12}), (k_{21}, k_{22}), \dots, (k_{p1}, k_{p2})} = 1 \end{cases} \quad (9)$$

式中 k_{i1}, k_{i2} 分别表示在时隙开始时刻的发送状态数和存储状态数, Π 表示所有 $\pi_{(k_{11}, k_{12}), (k_{21}, k_{22}), \dots, (k_{p1}, k_{p2})}$ 的集合, P 则表示从状态 $\pi_{(k_{11}, k_{12}), (k_{21}, k_{22}), \dots, (k_{p1}, k_{p2})}$ 转变到状态 $\pi_{(u_{11}, u_{12}), (u_{21}, u_{22}), \dots, (u_{p1}, u_{p2})}$ 的转移概率矩阵(简记为 $P_{k,u}$, 表从状态 k 到状态 u 的转移概率. 由于每个优先级之间的状态转换之间是相互独立的, 于是 $P_{k,u}$ 可由式(10)计算得出

$$P_{k,u} = \prod_{i=1}^p \sum_{k_{i3}=0}^{k_{i1}} P_{C_i}(k_{i3}/(k_{i1}, k_{i2})) P_{S_i}(u_{i1} - k_{i3}/(k_{i1}, k_{i2})) P_{A_i}(u_{i2} - k_{i2} + u_{i1} - k_{i3}/(k_{i1}, k_{i2})) \quad (10)$$

这样则可以求出描述系统性能的两个关键性变量——吞吐量和延时时间. 第 i 个优先级的信息吞吐量为

$$S_{pi} = \sum_{k_{11}=0}^{\min(N, M_1)} \sum_{k_{12}=0}^{M_1 - k_{11}} \sum_{k_{21}=0}^{\min(N - k_{11}, M_2)} \sum_{k_{22}=0}^{M_2 - k_{21}} \dots \sum_{k_{p1}=0}^{\min(N - \sum_{i=1}^{p-1} k_{i1}, M_p)} \sum_{k_{p2}=0}^{M_p - k_{p1}} k_{i1} \pi_{(k_{11}, k_{12}), (k_{21}, k_{22}), \dots, (k_{p1}, k_{p2})} \quad (11)$$

系统的总吞吐量为

$$S_P = \sum_{i=1}^p S_{pi} \quad (12)$$

第 i 个优先级的网络时延为

$$D_{pi} = \frac{M_i}{\mu S_{pi}} - \frac{1}{\sigma_i} + 1 \quad (13)$$

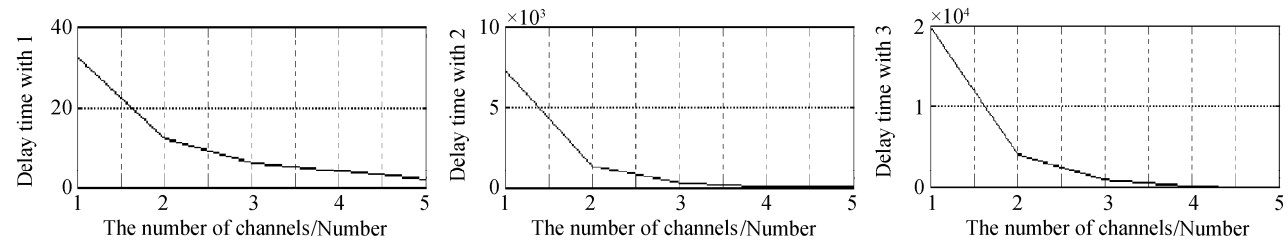


图4 系统时延与信道数 N 的关系曲线
Fig. 4 The system delay versus the number of channels

图5(各参量同图3)表明信道数一定时,网络吞吐量不一定随着网络负载的增加而增加,它们大多数情况下还是趋于稳定.这是由于当负载增加时,各

3 数值结果

在不同的系统参量下,运用控制协议对网络的性能指标进行大量的仿真实验^[7-9].考虑到实际情况和运算速度,三个优先级的用户数分别取 $M_1=4, M_2=3, M_3=2$, (1 为高优先级, 2 为中优先级, 3 为低优先级), 子时隙数 $x=5$, 信道数 $N=2$, 概率 $\sigma_1=\sigma_2=\sigma_3=0.1, \mu=0.1$, 给出了网络吞吐量和系统时延随参量变化的计算结果, 见图3. (以下出现的网络吞吐量、负载均为相对值, 无量纲).

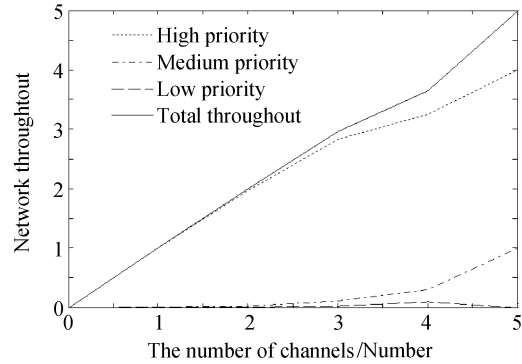


图3 网络吞吐量与信道数 N 的关系曲线
Fig. 3 The network throughput versus the number of channels

图3表明随着信道数的增加,三个优先级的吞吐量都有所增加,当信道数小于4时,优先级1的增加速率非常快,而优先级2、3的增长速度较慢;当信道数等于5时,信道已完全由优先级1和优先级2的用户占用,优先级3的吞吐量为0.这是由于当信道数较少时,信道大多被优先级1用户所占用,而当信道数接近4时,优先级1的吞吐量趋于“饱和”,优先级2的用户可以竞争更多信道,当信道数等于5时,信道完全满足了优先级1的所有用户的传输,剩下的一条信道就自然留给了优先级2,从而发生上述情况.从图4(各参量同图3)中可以看出,优先级1、2、3的系统时延都随着信道数的增加而降低,当信道数大于3时,系统时延趋于稳定,这是由于这时竞争情况缓和所致.

个工作站发出的预约信号冲突成为不可忽略的因素,从而导致上述情况的发生.图6(各参量同图3)表明当随着优先级1的网络负载加重时,网络各个

工作站为争取信道而竞争进一步激烈,从而导致优先级 1 的系统时延增加,使得信道可能分配给较低优先级的用户,所以优先级 2、3 的网络延迟则减小. 这为根据实际网络中各类业务对网络质量的不同要求而进行优先级的分配提供了依据.

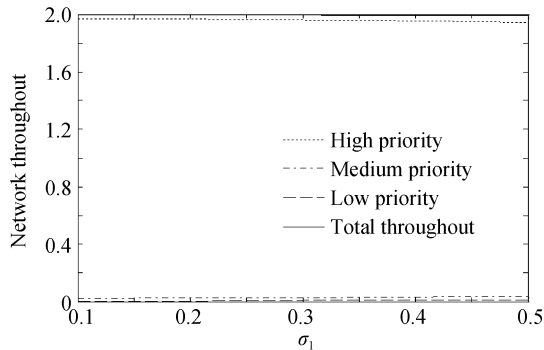


图 5 网络吞吐量与高优先级获得新信息的概率 σ_1 的关系曲线

Fig. 5 The network throughput versus the probability in getting new message with high priority

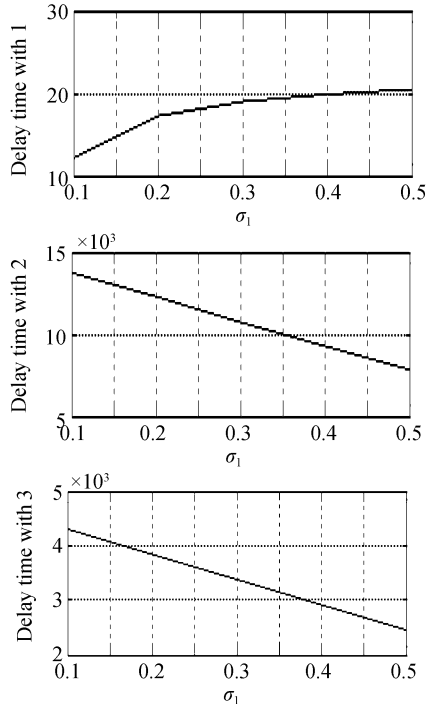


图 6 系统时延与高优先级获得新信息的概率 σ_1 的关系曲线

Fig. 6 The system delay versus the probability in getting new message with high priority

4 结论

提出了一种适合于多媒体网络的网络传输控制协议. 当一个用户要发送数据时,它要向控制信道发送一个预约信号,即将在 x 个子时隙中随机的选择一个子时隙,并将含目的地址和优先级信息的控制报文发送到该子时隙上,系统将根据协议的基本

思想中所述的裁决算法和用户的优先级状况来判断用户是否预约成功. 用户在时隙末端得知是否预约成功. 若预约成功,则在下一个时隙开始时发送数据. 通过建立一个离散马尔科夫链模型对协议进行的仿真计算结果表明,该协议方案具有一定的合理性和可行性,能够适应多媒体网络中各类业务对信号时延要求的不同进行信道的优先级分配.

参考文献

- [1] ZHANG Ning, YU Rong-jin. Study of plastic optic fiber access network based on OCDMA[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2001, **30**(7):827-831.
张宁,于荣金. 基于光码分多址技术的塑料光纤接入网探讨[J]. *光子学报*, 2001, **30**(7):827-831.
- [2] ZHANG Ning, HUANG Li-fang, YU Rong-jin. Design and simulation of dynamic control protocols for plastic optic fiber LAN based on OCDMA[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2002, **31**(1):39-43.
张宁,黄丽芳,于荣金. 基于光码分多址技术的塑料光纤局域网动态控制协议设计与仿真[J]. *光子学报*, 2002, **31**(1):39-43.
- [3] ZHANG Ning. Study of plastic optic fiber access network based on OCDMA [D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2002:40-49.
张宁. 码分多址(OCDMA)塑料光纤接入网的研究[D]. 秦皇岛:燕山大学, 2002:40-49.
- [4] KIM H S, SHIN B C. Performance evaluation of multi-priority reservation protocols for single-hop WDM networks [J]. *IEICE Trans Commun*, 1997, **E80-B**(3):456-465.
- [5] ZHANG Ning, YU Rong-jin. Analysis and simulation of multipriority reservation protocol for plastic optical fiber access network[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(10):1192-1195.
张宁,于荣金. 一种用于塑料光纤接入网的多优先级控制协议设计[J]. *光子学报*, 2003, **32**(10):1192-1195.
- [6] GUAN Zhi, LU Jin-pu. Basis of numerical analysis [M]. Beijing: Higher Education Press, 1998:236-239.
关治,陆金甫. 数值分析基础[M]. 北京:高等教育出版社, 1998:236-239.
- [7] WANG Li-ning, YUE Guang-xin, ZHAN Fei. MATLAB and simulation of communication[M]. Beijing: People's Posts and Telecommunications Press, 2000:23-62.
王立宁,乐光新,詹菲. MATLAB与通信仿真[M]. 北京:人民邮电出版社, 2000:23-62.
- [8] TAN Hao-qiang. C programming [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1996:157-212.
谭浩强. C程序设计[M]. 北京:清华大学出版社, 1996:157-212.
- [9] HAO Yun. Exploitation and examples of visual C++ 6.0 [M]. Beijing: Electrical Industry Press, 1999:71-79.
郝蕴. Visual C++ 6.0 开发与实例[M]. 北京:电子工业出版社, 1999:71-79.

Design of Three Priority Control Protocol Applied to Plastic Optic Fiber Access Network

LIU Rong-hua^{1,2}, ZHANG Ning^{1,†}

(1 *Department of Information Engineering, Beijing Institute of Petro-Chemical Technology, Beijing 102617, China*)

(2 *College of Informational Science and Technology Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China*)

Received date: 2007-01-08

Abstract: A novel multi-priority reservation protocol for plastic optical fiber access network based on OCDMA technology was proposed. Using reservation scheme and distributed arbitration algorithm, channel collision and destination conflict can be avoided. The network throughput and average delay were investigated by numerical analysis and simulation experiments through discrete time Markov model. Transmit channels are distributed according to the different delay demands of all kinds of services by using priority control protocol. The network throughput and system delay are calculated and simulated. The delay-time decreased as the number of the channel increases. The throughput stabilized while the delay-time increased with the increasing of load. It is shown that the multi-priority reservation protocol in POF access network based on OCDMA technology can efficiently support the transmission of multimedia messages that require the different time-delay.

Key words: OCDMA; Priority control; Markov model; Throughput; Delay



LIU Rong-hua was born in 1979. She received her B. S. degree from Dalian Traffic University in 2001. Now she is working at Beijing Institute of Petro-Chemical Technology, and studying for her M. S. degree at Beijing University of Chemical Technology. Her research interests focus on optical fiber communication.