

# 一种混合 WDMA-OCDMA 系统归一化 吞吐量性能研究\*

吉建华 徐 铭 杨淑雯 马君显  
(深圳大学信息工程学院新技术研究中心, 深圳 518060)

**摘 要** 理论分析了一种混合 WDMA-OCDMA 系统的归一化吞吐量性能. 研究了光差拍噪声对系统归一化吞吐量性能的影响. 提出了 BCH 信道编码的方案来改善系统性能. 结果表明, 当系统负载较轻时, 归一化吞吐量略微下降; 但当系统负载中等或较重时, 归一化吞吐量明显提高. 同时, BCH 信道编码提高了 WDMA-OCDMA 系统的归一化吞吐量峰值.

**关键词** 光码分多址; 波分多址; 误比特率; 光差拍噪声; BCH 码

**中图分类号** TN929.11 **文献标识码** A

## 0 引言

光纤码分多址 (OCDMA)<sup>[1,2]</sup> 具有无延迟随机异步接入、网络控制简单、业务透明性好且安全可靠等特点, 因此非常适合于业务高度突发、保密性要求高的用户. OCDMA 系统的可接入用户数远远大于波长数 (二维 OCDMA 系统), 但由于不同用户的地址码之间不能完全正交, 因此 OCDMA 系统中存在多用户干扰 (MAI), 将导致一定的误码率. 另一方面, 波分多址 (WDMA)<sup>[3]</sup> 系统中的每个用户占有一个不同的波长, 因此该系统中不存在 MAI. 但由于波长数的限制, WDMA 系统的用户数较少. WDMA 适合于业务量稳定、长距离的用户或局域网之间的链接. 鉴于两者各自的优缺点, 有学者提出了同时采用 OCDMA 和 WDMA 的混合系统<sup>[4,5]</sup>, 但是, 对于混合系统的吞吐量性能还未进行过理论分析. 本文首先分析一种混合 WDMA-OCDMA 系统的归一化吞吐量性能, 接着研究光差拍噪声对系统归一化吞吐量性能的影响, 最后提出 BCH 信道编码的方案来改善系统性能.

## 1 系统模型

WDMA-OCDMA 混合系统有两种模型<sup>[3,4]</sup>, 如图 1. 第一种方案是将可用带宽划分成两部分, 一部分用于 OCDMA 用户, 另一部分用于 WDMA 用户, 这种情况下 OCDMA 用户和 WDMA 用户的信号互不干扰. 第二种方案是 WDMA 用户占用所有的带宽 (使用所有有效波长信道), 而 OCDMA 用户可充分利用波长信道之间的保护带宽, 显然, 这种情况下 OCDMA 用户和 WDMA 用户的信号将相互干扰.

此时, 对于 OCDMA 用户而言, 必须使用多个滤波器以滤掉所有 WDMA 用户的信号, 然后再进行光的解码和光电转换; 对于 WDMA 用户而言, OCDMA 用户信号将影响 WDMA 用户信号的信噪比, 从而恶化 WDMA 用户的误码率性能. 本文主要对第一种方案的系统性能进行分析.

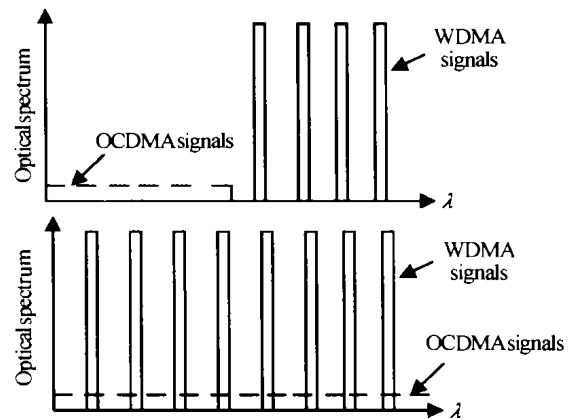


图 1 混合 WDMA-OCDMA 系统模型  
Fig. 1 Hybrid WDMA-OCDMA system models

## 2 性能分析

### 2.1 考虑 MAI

OCDMA 系统采用对称的素数跳频<sup>[5]</sup>. 设  $p$  为一个素数 (等于波长数), 则可以构成  $p \times (p-1)$  个素数跳频码, 码长为  $p^2$  (扩频系数), 互相关均值为

$$\mu = \frac{1}{2p} \quad (1)$$

假定 OCDMA 系统中有  $m$  个同时使用的用户, 考虑每个用户发送数据比特“0”和“1”的概率相同, 则误码率为

$$P_{b1}(m) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \binom{m-1}{i} 2^{-(m-1)} \sum_{j=p}^i \binom{i}{j} \left(\frac{1}{p}\right)^j \left(1 - \frac{1}{p}\right)^{i-j} \quad (2)$$

式中  $m$  是 OCDMA 系统的同时用户数. 我们考虑一个随机接入的分组网络, 并假设用户在时隙间

\*国家自然科学基金重点及面上项目资助 (60132040; 60372088)

Tel: 0755-26536153 Email: jjh@szu.edu.cn

收稿日期: 2004-03-10

隔  $T$  发送的数据包的长度等于  $L$  比特. 如果这  $L$  比特在接收端都能正确判决, 那么该数据包就能正确接收; 如果有一个比特发生错误判决, 那么该数据包就被丢弃, 发送端将随机地重新发送. 因此, 对于 OCDMA 系统, 在接收端正确接收数据包的概率为

$$P_{c1}(m) = \begin{cases} [1 - P_{b1}(m)]^L & 1 \leq m \leq p(p-1) \\ 0 & m > p(p-1) \end{cases} \quad (3)$$

对于采用  $w$  个波长信道的 WDMA 系统, 如果忽略噪声的影响, 在接收端正确接收数据包的概率为

$$P_c(m) = \begin{cases} 1 & w \leq w \\ 0 & m > w \end{cases} \quad (4)$$

根据文献[6], 随机接入的分组网络的吞吐量  $\beta$  表示为

$$\beta = e^{-\lambda T} \sum_{m=1}^{\infty} m p_c(m) \frac{(\lambda T)^m}{m!} \quad (5)$$

式中  $\lambda$  表示数据包到达的速率,  $\lambda T$  表示系统负载, 是每个时隙试图发送的数据包数目, 服从 Poisson 分布. 考虑到 OCDMA 系统的扩频系数为  $p^2$ , 因此, 混合 WDMA-OCDMA 系统的归一化吞吐量为

$$\beta_1^0 = \left( e^{-\lambda T} \sum_{m=1}^w m \frac{(\lambda T)^m}{m!} + e^{-\lambda T} \sum_{m=w+1}^{\infty} [w + \frac{(m-w)p_{c1}(m-w)}{p^2}] \frac{(\lambda T)^m}{m!} \right) / (w+p) \quad (6)$$

图 2 是混合 WDMA-OCDMA 系统的归一化吞吐量和系统负载的关系图, 这里系统的总波长数 ( $p+w$ ) 等于 16. 当 OCDMA 系统占用的波长数  $p$  减少时 (WDMA 系统占用的波长数  $w$  相应增加), 在系统负载较轻时归一化吞吐量将增加, 在系统负载较重时归一化吞吐量将迅速降低. 同时, 当 OCDMA 系统占用的波长数减少时, 混合系统的归一化吞吐量峰值将增加. 需要指出的是, 当 OCDMA 系统占用的波长数减少时, 整个系统的用户数将减少.

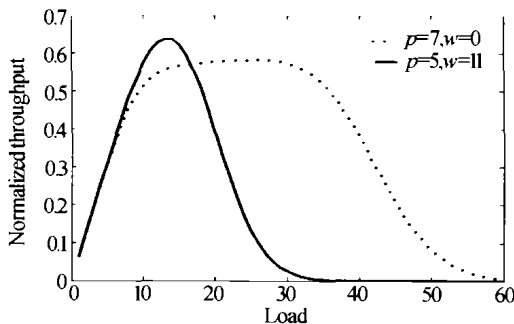


图 2 混合 WDMA-OCDMA 系统的归一化吞吐量  
Fig. 2 Normalized throughput of a hybrid WDMA-OCDMA system (total number of wavelengths is 16)

### 2.2 考虑差拍噪声

文献[7]分析了差拍噪声对 OCDMA 系统误码率的影响, 使用的地址码是非对称素数跳频码 (Prime-hop sequence). 类似地, 使用对称素数跳频码的系统误码率可表示为

$$p_{b2}(m) = \sum_{i=1}^{m-1} C_{m-1}^i 2^{-(m-1)} \sum_{j=1}^i C_i^j \left(\frac{1}{p}\right)^j \left(1 - \frac{1}{p}\right)^{i-j} \cdot \frac{1}{2} \left\{ Q\left[\frac{Dp-j}{2C_j^2/p}\right] + Q\left[\frac{p+j-Dp}{2j+2C_j^2/p}\right] \right\} \quad (7)$$

这里  $D$  为判决阈值系数 (一般取  $1/2$ ), 函数  $Q$  定义为

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} \exp(-y^2/2) dy \quad (8)$$

根据式(3)和式(7), 可得到考虑差拍噪声后 OCDMA 系统正确接收数据包的概率  $p_{c2}(m)$ , 即可得到考虑差拍噪声后 WDMA-OCDMA 系统的归一化吞吐量如图 3. 当 OCDMA 系统占用的波长数增加时, 差拍噪声的影响更严重, 这与实际情况是相符合的.

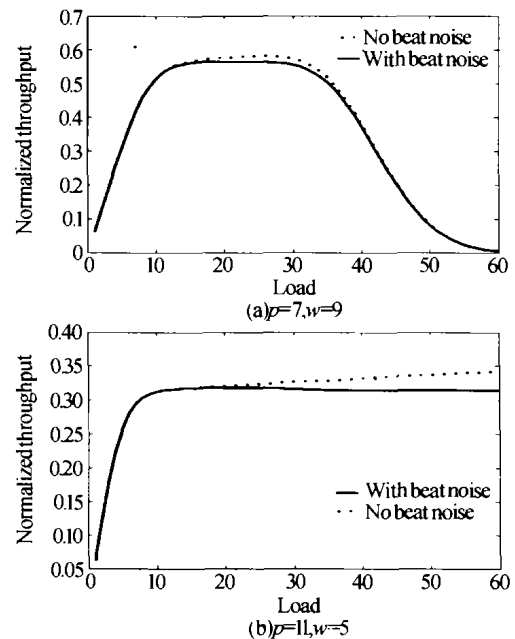


图 3 差拍噪声对混合 WDMA-OCDMA 系统性能的影响  
Fig. 3 Effect of beat noise on the performance of WDMA-OCDMA system

### 3 性能改进

为了改善混合 WDMA-OCDMA 系统的性能, 我们选择了对 OCDMA 用户进行 BCH 信道编码的方案. 在发送端, 数据比特先经过 BCH 信道编码, 转换成含有冗余信息的二进制码流, 然后根据相应的地址码序列, 再将每个二进制码流比特扩频为一帧光信号. 在接收端, 解扩后的二进制码流再经 BCH 信道解码, 恢复数据比特. 如果使用  $(n, k)$  的 BCH 码, 能纠  $t$  个比特错, 则所对应误码率为<sup>[8]</sup>

$$p_{b3}(m) \leq \sum_{i=t+1}^n \frac{i+t}{n} C_n^i p_{b2}(m)^i (1 - p_{b2}(m))^{n-1} \quad (9)$$

根据式(3)、(7)和式(9), 可得到采用 BCH 信道编码后 OCDMA 系统正确接收数据包的概率  $p_{c3}(m)$ , 因此, BCH 信道编码的混合 WDMA-OCDMA 系统的归一化吞吐量可表示为

$$\beta_c^0 = \left( e^{-\lambda T} \sum_{m=1}^w m \frac{(\lambda T)^m}{m!} + e^{-\lambda T} \sum_{m=w+1}^{\infty} [w + \right.$$

$$\frac{(m-w)p_{\text{cs}}(m-w)}{p^2} \times \frac{k}{n} \left] \frac{(\lambda T)^m}{m!} \right) / (w+p) \quad (10)$$

图 4 为 BCH 信道编码的混合 WDMA-OCDMA 系统的归一化吞吐量,选择 (7,4) BCH 码,最多能纠一个比特错误. 由图 4 可见,虽然在系统负载较轻时归一化吞吐量略微下降,但在系统负载中等或较重时归一化吞吐量明显提高. 同时,归一化吞吐量的峰值也提高了.

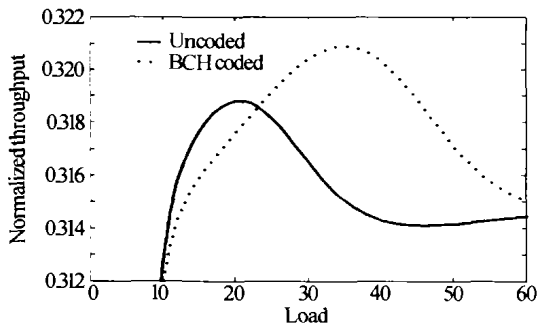


图 4 基于 BCH 信道编码的混合 WDMA-OCDMA 系统的归一化吞吐量

Fig. 4 Normalized throughput of a BCH-coded hybrid WDMA-OCDMA system ( $p = 11, w = 5$ )

## 4 结论

本文分析了一种混合 WDMA-OCDMA 系统的归一化吞吐量性能. 当 OCDMA 系统占用的波长数减少时 (WDMA 系统占用的波长数相应增加), 在系统负载较轻时归一化吞吐量将增加, 在系统负载较重时归一化吞吐量将迅速降低. 同时, 当 OCDMA 系统占用的波长数减少时, 混合系统的归一化吞吐量峰值将增加. 当 OCDMA 系统占用的波长数增加

时, 差拍噪声对系统归一化吞吐量性能的影响更严重. 最后提出了 BCH 信道编码的方案来改善系统性能. 结果表明, 当系统负载较轻时, 归一化吞吐量性能略微下降; 但当系统负载中等或较重时, 归一化吞吐量性能明显提高. 另一方面, BCH 信道编码提高了 WDMA-OCDMA 系统的归一化吞吐量峰值.

## 参考文献

- 1 Tancevski L, Andonovic I. Wavelength hopping/Time spreading code division multiple access systems. *Electronic Letters*, 1994, **30**(17):1398 ~ 1400
- 2 Ji Jianhua, Yang Shuwen, Ma Junxian, et al. Performance improvement of optical fast frequency-hopping CDMA system employing turbo code. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(10): 1204 ~ 1206
- 3 Tyan H Y, Hou J C, Wang B, et al. On supporting temporal quality of service in WDMA-Based star-coupled optical networks. *IEEE Transaction on Computer*, 2001, **50**(3):197 ~ 214
- 4 Shen S, Weiner A M. Suppression of WDM interference for error-free detection of ultrast-pulse CDMA signals in spectrally overlaid hybrid WDM-CDMA operation. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2001, **13**(1):82 ~ 84
- 5 Chang P H, Lin W C. Capacity improvement of a hybrid CDMA/WDMA system by various bandwidth allocations. *ICCS 2002*, 1232 ~ 1236
- 6 Stok A, Sargen E H. Comparison of diverse optical CDMA codes using a normalized throughput metric. *IEEE Communication Letters*, 2003, **7**(5):242 ~ 245
- 7 Tancevski L, Rusch L A. Impact of the beat noise on the performance of 2-D optical CDMA systems. *Communications Letters*, 2000, **4**(8):264 ~ 266
- 8 Zhang J G. Improvement in bandwidth efficiency of asynchronous prime-code CDMA networks by error correction coding. *Electronic Letters*, 1994, **30**(6):514 ~ 515

## Performance Analysis of Normalized Throughput in a Hybrid WDMA-OCDMA System

Ji Jianhua, Xu Ming, Yang Shuwen, Ma Junxian

Advanced Technology Research Center of Shenzhen University, Shenzhen 518060

Received date:2004-03-10

**Abstract** The performance of normalized throughput in a hybrid WDMA-OCDMA system is studied. The effect of optical beat noise on the normalized throughput is analyzed. The scheme of BCH channel coding is proposed to improve the performance of a hybrid WDMA-OCDMA system. The analysis result shows that the normalized throughput is a little decreased when traffic load is light, but can improved greatly when traffic load is medium and heavy. Furthermore, the maximum normalized throughput will increase for the BCH-coded hybrid WDMA-OCDMA system.

**Keywords** Optical code-division multiple-access(OCDMA); Wavelength division multiple-access(WDMA); Bit error rate(BER); Optical beat noise; BCH code



**Ji Jianhua** received the B. S. Degree in Southeast University in 1991, received the M. S. degree in University of Shanghai for Science and Technology in 2000, and received the Ph. D. degree in Shanghai Jiaotong University. Now he works in the Advanced Technology Research Centre of Shenzhen University. His research interests include OCDMA and WDM networks.