

一种多波长 OCDMA 解码器方案及其性能分析*

吉建华 徐 铭 杨淑雯

(深圳大学信息工程学院新技术研究中心, 深圳 518060)

摘 要 提出了一种多波长 OCDMA(MW OCDMA)系统的光解码器方案,通过多个光硬限幅器来抑制多用户干扰. 分析了使用该解码器的 MW OCDMA 误码率性能、频谱效率和归一化吞吐量性能. 分析结果表明,该方案能有效改善 MW OCDMA 系统的误码率性能,在要求的误码率条件下增加同时用户数,从而能有效改善 MW OCDMA 系统的频谱效率. 同时,采用光硬限幅器的 MW OCDMA 系统的归一化吞吐量性能明显提高,特别是归一化吞吐量峰值提高了约一倍.

关键词 多波长光码分多址;光硬限幅器;误码率;频谱效率;归一化吞吐量

中图分类号 TN929.11 **文献标识码** A

0 引言

光码分多址(OCDMA)^[1~4]结合了光纤的海量带宽和电 CDMA 的优点,具有高速的光信号处理,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,是未来宽带接入和高速局域网的最佳可选方案之一. 多波长 OCDMA(MW OCDMA)系统的光脉冲信号不仅在时域上扩展,而且同时在波长上扩展,因此 MW OCDMA 系统的多用户干扰(MAI)比直接扩频 DS-OCDMA 明显降低. 然而,由于目前 MW OCDMA 系统采用强度调制和直接检测,MAI 依然是影响 MW OCDMA 系统性能的最主要因素之一. 本文提出了一种 MW OCDMA 光解码器方案,采用多个光硬限幅器^[5]来有效抑制 MAI,从而改善 MW OCDMA 系统性能.

1 解码器结构

图 1 为采用光硬限幅器(OHL)的 MW OCDMA 解码器结构,由波分复用/解复用器、光纤延迟线、光硬限幅器和 APD 构成. 根据码字的相关原理,波分复用/解复用器和光纤延迟线对特定用户的光扩频信号进行解码,然后通过 APD 变换成电信号,最后进行判决并输出用户的比特信息.

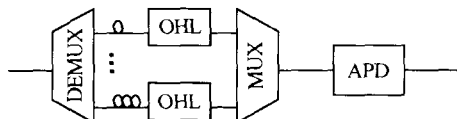


图 1 MW OCDMA 解码器框图
Fig. 1 Frame structure of MW OCDMA encoder

光硬限幅器是一个阈值器件,如果输入光强 x 大于等于阈值 D ,则输出 D ,否则光硬限幅器输出

0,即

$$y(x) = \begin{cases} D & \text{if } x \geq D \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (1)$$

在每个波长的光纤延迟线上串接一个光硬限幅器,当该波长上同一个切普位置有多个干扰光脉冲时,光硬限幅器能有效降低其他用户的 MAI.

2 性能分析

2.1 误码率性能

在 MW OCDMA 系统中,根据素数跳频码的构造方法^[1],可以构造 $q(q-1)$ 个码长为 q^2 的码字(q 是每个码字采用的波长数),它的互相关均值为

$$\mu_1 = \frac{1}{2q} \quad (2)$$

不妨假设系统发送比特“0”和“1”的概率相同,并且不考虑噪声的影响. 对于不采用硬限幅器的 MW OCDMA 系统,当用户发送比特“0”时,如果该用户的 q 个波长上的干扰光脉冲之和大于等于 q ,则接收端发生误判. 当用户发送比特“1”时,接收端总能正确判决. 因此,对于不采用硬限幅器的 MW OCDMA 系统,误码率可表示为

$$p_{e1}(m) = \frac{1}{2} \times \sum_{i=q}^{m-1} C_{m-1}^i \left(\frac{1}{2q}\right)^i \left(1 - \frac{1}{2q}\right)^{m-1-i} \quad (3)$$

对于采用硬限幅器的 MW OCDMA 系统,当用户发送比特“1”时,接收端总能正确判决. 当用户发送比特“0”时,如果该用户的 q 个波长上的干扰光脉冲之和大于等于 q ,并且每个波长上至少有一个干扰光脉冲,则接收端发生误判.

假设有 $i(i \geq q)$ 个发生碰撞的干扰用户,由于每个发生碰撞的干扰用户只有一个干扰光脉冲,则干扰光脉冲总共有 i 个. 这 i 个干扰光脉冲的波长可以是 q 个波长中的任意一个,而且概率相同. 此时,每个波长上至少有一个干扰光脉冲的概率为

* 国家自然科学基金重点资助项目(60132040)
Tel: 0755-26536153 Email: jjh@szu.edu.cn
收稿日期: 2004-06-14

$$p(i) = \left[\sum_{i_1=1}^{i-q+1} C_{i_1}^{i-i_1-q+2} \sum_{i_2=1}^{i-i_1-q+2} C_{i_2}^{i-i_1-i_2} \dots \sum_{i_{q-1}=1}^{i-i_1-\dots-i_{q-2}-1} C_{i_{q-1}}^{i-i_1-\dots-i_{q-2}-i_{q-1}} \right] / q^i \quad (4)$$

因此,对于采用硬限幅器的 MW OCDMA 系统,误码率可表示为

$$p_{e2}(m) = \frac{1}{2} \times \sum_{i=q}^{m-1} \left\{ C_{m-1}^{i-1} \left(\frac{1}{2q} \right)^i \cdot \left(1 - \frac{1}{2q} \right)^{m-1-i} \times p(i) \right\} \quad (5)$$

图 2 为采用硬限幅器和不采用硬限幅器的 MW OCDMA 系统误码率性能($q=7$)。正如理论分析的结果,采用硬限幅器的 MW OCDMA 系统误码率性能明显改善,大约提高两个数量级。由图 2 可见,当 $BER \leq 10^{-9}$ 时,不采用硬限幅器的 MW OCDMA 系统的同时用户数为 7,而采用硬限幅器的 MW OCDMA 系统的同时用户数为 11。

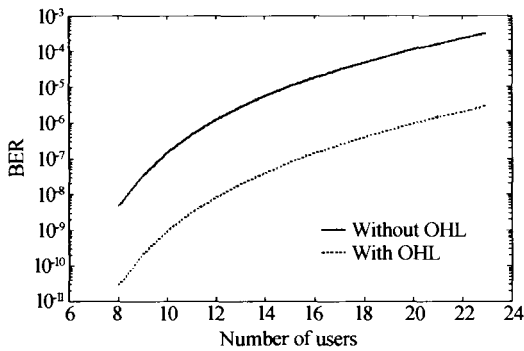


图 2 MW OCDMA 系统误码率性能($q=7$)
Fig. 2 BER performance of MW OCDMA system($q=7$)

2.2 频谱效率

MW OCDMA 系统的频谱效率 η 可表示为

$$\eta = \frac{\text{总的信息速率}}{\text{总的系统带宽}} = \frac{M_c \times R_c}{q \times \Delta f} \quad (6)$$

式中 R_c 是 MW OCDMA 系统的比特速率, M_c 是给定的误码率条件下的最大同时用户数, Δf 是每个波长信道的带宽。对于实际的光脉冲信号,考虑到 MW OCDMA 系统的码长为 q^2 , 因此信息速率 R_c 近似等于 $R_c \approx \frac{\Delta f}{q^2}$, 所以 MW OCDMA 系统的频谱效率近似等于

$$\eta_c \approx \frac{M_c}{q^3} \quad (7)$$

在 $q=7$, $BER \leq 10^{-9}$ 时,不采用光硬限幅器的 MW OCDMA 系统的频谱效率 $\eta=0.02$,而采用光硬限幅器的 MW OCDMA 系统的的频谱效率 $\eta=0.032$ 。因此,采用光硬限幅器后, MW OCDMA 系统的的频谱效率明显提高。

2.3 吞吐量性能

考虑一个随即接入的分组网络,所有用户在时

隙 T 同步地发送数据包,并且每个用户使用的地址码都不相同。假设用户在时隙 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。因此,在接收端正确接收数据包的概率为

$$p_c(m) = \begin{cases} 0 & (m > q(q-1)) \\ [1 - p_e(m)]^L & (1 \leq m \leq q(q-1)) \end{cases} \quad (8)$$

根据文献[6、7],随即接入的分组网络的吞吐量可表示为

$$\beta = e^{-\lambda T} \sum_{m=1}^{\infty} m p_c(m) \frac{(\lambda T)^m}{m!} \quad (9)$$

式中 λ 表示数据包到达的速率, λT 表示系统负载,服从 Poisson 分布。

考虑到 MW OCDMA 系统采用的波长数为 q , 码长为 q^2 , 因此归一化吞吐量为

$$\beta^* = \frac{\beta}{q \times q^2} \quad (10)$$

图 3 是 MW OCDMA 系统的归一化吞吐量性能,横坐标为系统负载量,纵坐标为归一化吞吐量。这里 $L=1024$ bit, 波长数 $q=7$, 总的码字数为 42, 码长为 49。由图 3 可见,采用光硬限幅器的 MW OCDMA 系统的归一化吞吐量性能明显提高,特别是归一化吞吐量峰值提高了一倍。

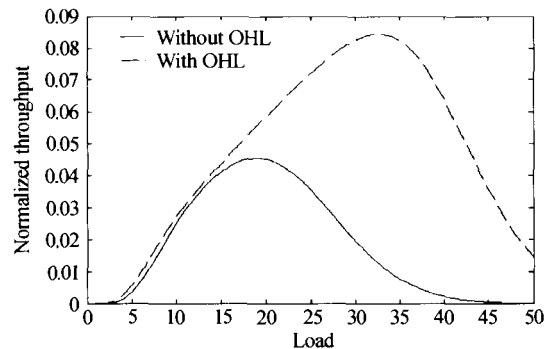


图 3 MW OCDMA 系统的归一化吞吐量性能($q=7$)
Fig. 3 Performance of normalized throughput of MW OCDMA system($q=7$)

3 结论

本文提出了一种多波长 OCDMA 系统的光解码器方案,通过使用多个光硬限幅器来抑制多用户干扰。结果表明,该方案能有效改善 MW OCDMA 系统的误码率性能,在要求的误码率条件下增加同时用户数。从而能有效改善 MW OCDMA 系统的频谱效率。另外,采用光硬限幅器的 MW OCDMA 系统的归一化吞吐量性能明显提高,特别是归一化吞吐量峰值提高了一倍。

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 Yang G, Kwong W C. Performance comparison of multiwavelength CDMA and WDMA+CDMA for fiber-optic networks. *IEEE Trans Commun*, 1997, **45**(11):1426~1433
- 3 Fathallah H, Leslie A R, Sophie L. Passive optical fast frequency-hop CDMA communications system. *Journal of Lightwave Technology*, 1999, **17**(3):397~405
- 4 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. *光子学报*, 2002, **31**(1):39~43
- 5 Zhang N, Huang L F, Yu R J. *Acta Photonica Sinica*, 2002, **31**(1):39~43
- 6 Wakafuji K, Ohtsuki T. Direct-detection optical CDMA receiver with interference estimation and double optical hard-limiters. *Journal of Lightwave Technology*, 2003, **21**(10):2182~2188
- 7 Stok A, Sargen E H. System performance comparison of optical CDMA and WDMA in a broadcast local area network. *IEEE Communication Letters*, 2002, **6**(9):409~411
- 8 Stok A, Sargen E H. Comparison of diverse optical CDMA codes using a normalized throughput metric. *IEEE Communication Letters*, 2003, **7**(5):242~245

A Scheme of Multi-wavelength OCDMA Decoder and Its Performance Analysis

Ji Jianhua, Xu Ming, Yang Shuwen

Advanced Technology Research Center of Shenzhen University, Shenzhen 518060

Received date: 2004-06-14

Abstract A scheme of multi-wavelength OCDMA (MW OCDMA) decoder is proposed, which employs several optical hard-limiters to reduce multi-access interference (MAI). The performances of bit error rate (BER), spectral efficiency and normalized throughput are studied. The results show that BER of MW OCDMA system is improved by the scheme. Increasing the number of simultaneous users under a desired BER, spectral efficiency will also be improved. At the same time, optical hard-limiter can enhance the normalized throughput of MW OCDMA system. Especially the peak of normalized throughput is doubled.

Keywords Multi-wavelength optical code-division multiple-access (MW OCDMA); Optical hard-limiter; Bit error rate; Spectral efficiency; Normalized throughput



Ji Jianhua received the B. S. degree in Southeast University in 1991, and received the Ph. D. degree in Shanghai Jiaotong University in 2003. Now, he works in the Advanced Technology Research Centre of Shenzhen University. His research interests include OCDMA and WDM networks.