

# 一种新型光码分多址通信技术

刘红宇, 张永智

(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

**摘要:**提出一种新型光码分多址通信技术,该技术以前文献提出的技术相比,可较大地增大系统容量,提高系统速率,处理增益高,而不需超短脉冲激光发射机,将光纤的巨大带宽与码分多址高的频谱利用率相结合,并可与 DWDM 技术结合,极大提高系统容量,而且价格便宜,在 CATV 网络,高速局域网中有巨大的应用潜力。

**关键词:**码分多址; m 序列; Kasami 系列; Walsh 码; 正交 Mary 调制

**中图分类号:** TN914.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2000)05-0036-04

光码分多址通信是将 CDMA 技术应用于光通信中的一种新的通信技术,它综合了光纤宽带宽和 CDMA 频谱利用率高及抗干扰的优点,它用简单的非同步激光脉冲调制信号,每一用户被分配一个码字作为其地址,可使多个用户同时占用信道实现通信,而且无须交换,避免了 SDH 网络中由于电子交换所带来的速率上的“电子瓶颈”效应,设备简单,价格便宜。

光码分多址通信分为异步和同步光码分多址技术,前者无须全网同步,用户可随时接入网络,可实现灵活组网,成本低,但要求地址码具有好的循环自相关和互相关特性,从而使地址码容量(即用户数)受到限制。同步则需网络同步,但对地址码相关性要求不严,码容量比异步有较大增加,同步很困难,故一般采用异步网络,如何提高系统容量成为光码分多址的关键技术。

## 1 光码分多址技术

光纤具有极宽的带宽,运用 DWDM 技术每波长间隔间还有 250 GHz 以上带宽<sup>[1]</sup>,用 TDM 同步很困难,成本高,而 CDMA 频谱利用率高,在带宽一定时能容纳更多用户。

实现光码分多址通信的关键是对光信号进行光编码和解码,传统方法如图 1 所示<sup>[1]</sup>:

它是用并行不同长度的光纤延迟线对光比特进行编码(解码),光学相关器将  $W$  个脉冲合并形成峰值为  $WPr$  的相关脉冲( $Pr$  为接收信号功率),经光电检测后解码,该方案因光脉冲经多个光延迟线有很大损耗,码字不可能过长,从而限制了用户数。

新型 OCDMA 技术,如图 2、图 3 所示。

信源信息( $R_s$  bit/s)经  $m=64$  的正交 Mary 调制与速率为  $R_c$  bit/s 的用户地址码模二加,去调制激光射机,采用 OOK 编码的方式,产生  $\lambda_1$  波长的光脉冲,经光纤传输。每隔(1 000 km 加 EDFAS,中途可加 OCX 上下话路)在接收端经过一可调光滤波器,接收  $\lambda_1$  波长的光,进行光电转换,与用户地址码模二加,再经过正交 Mary 解调产生相关峰与阈值比较解码。

## 2 性能分析

该技术采用开关键控,通过判定每 chip 时间内光场出现与否实现解码,OOK 解码是基于所接收到的光

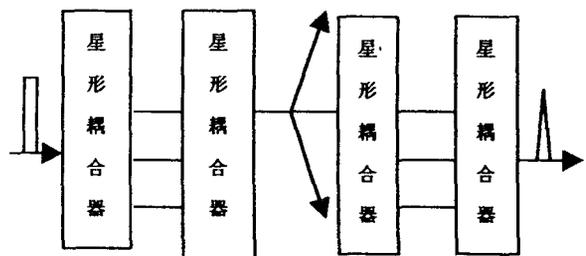


图 1 传统方法框图

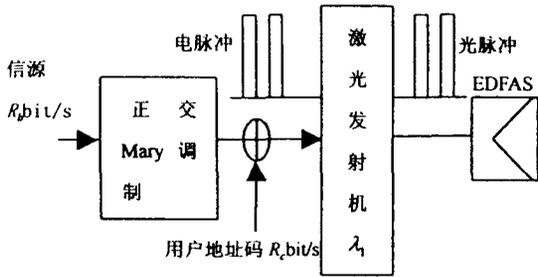


图 2 新型 OCOMA 发射机

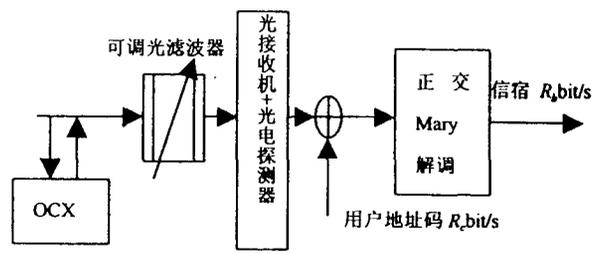


图 3 新型 OCDMA 接收机

场能量是否足够高而进行的，直接光电检测后，接收光场电流 chip 时间积分器的输出为一随机变量： $V = eK_2(0, T_c) + V_n$

$e$  为电子电荷， $K_2(0, T_c)$  为  $(0, T_c)$  上所收集的输出计数， $V_n$  为积分热噪声高斯变量，均值为 0，方差为  $N_{oc}T_c$ 。（忽略暗电流噪声）。

讨论光电探测器为 APD 的情形 [1]。

由于 APD 计数和高斯热噪声的混合，积分探测器具有如下的连续概率密度

$$P(V|\bar{K}) = \sum_{K_2=0}^{\infty} P(K_2|\bar{K})G(V, eK_2, \delta n^2) \tag{1}$$

$$G(V, a, \delta n^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\delta n^2}} e^{-\frac{(V-a)^2}{2\delta n^2}} \tag{2}$$

$$\delta n^2 = N_{oc}T_c$$

$P(K_2|\bar{K})$  为初始平均计数为  $\bar{K}$  时离散 APD 计数概率，阈值为  $Vt$

误码率  $PE_1 = \frac{1}{2} \int_0^{Vt} P(V|K_s + K_b) dv = \frac{1}{2} \int_{Vt}^{\infty} P(V|K_b) dv \tag{3}$

阈值  $Vt$  满足  $P(Vt|K_s + K_b) = P(Vt|K_b) \tag{4}$

将式(1)代入式(3)得

$$PE_1 = \frac{1}{2} \int_0^{Vt} \sum_{K_2=0}^{\infty} P(K_2|K_s + K_b) G(V, eK_2, \delta n^2) dv + \frac{1}{2} \int_{Vt}^{\infty} \sum_{K_2=0}^{\infty} P(K_2|K_b) G(V, eK_2, \delta n^2) dv = \frac{1}{2} \sum_{K_2=0}^{\infty} \left\{ P(K_2|K_s + K_b) \left[ 1 - Q\left(\frac{Vt - eK_2}{\delta n}\right) \right] + P(K_2|K_b) Q\left(\frac{Vt - eK_2}{\delta n}\right) \right\} \tag{5}$$

式中，  $Q(x) = \int_x^{\infty} G(V, 0, 1) dv$

继续化简  $PE_1 = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sum_{K_2=0}^{\infty} [P(K_2|K_b) - P(K_2|K_s + K_b)] Q\left(\frac{Vt - eK_2}{\delta n}\right) \tag{6}$

由式(6)可从 APD 计数概率计算出  $PE_1$ ，系统性能取决于 APD 平均增益  $\bar{g}$ 。

当平均计数  $K_s$  和  $K_b$  充分大时，离散 APD 计数概率可用连续高斯概率密度近似， $V$  是一个以“1”和“0”为条件的高斯变量，其均值和方差对于阈值  $Vt$  为

$$m_1 = \bar{g}e(K_s + K_b), \quad m_0 = \bar{g}eK_b, \quad \delta^2 = \bar{g}^2 Fe^2(K_s + K_b) + \delta n^2, \quad \delta_0^2 = (\bar{g}e)^2 FK_b + \delta n^2$$

$$PE_1 = \frac{1}{2} Q\left(\frac{m_1 - Vt}{\delta_1}\right) + \frac{1}{2} Q\left(\frac{Vt - m_0}{\delta_0}\right) \tag{7}$$

阈值  $Vt$  由式(4)解得  $Vt = \frac{m_1 \delta_0 + m_0 \delta_1}{\delta_0 + \delta_1} \tag{8}$

将式(8)代入式(7)得  $PE_1 = Q\left(\frac{m_1 - m_0}{\delta_1 + \delta_0}\right) \tag{9}$

光脉冲经光电转变，进行电信号处理。

Mary 正交码调制 [2]。每 6 个信息比特作为一组，传送 64 个 Walsh 函数码(调制码元)之一，扩频增益增大 64/6 倍，将 64 个 Walsh 序列(64 位长)编码号码 0, 1, ..., 63。按以下公式计算码元符号，以选用不同的

Walsh 码调制码元号码  $i = C_0 + 2C_1 + 4C_2 + 8C_3 + 16C_4 + 32C_5$ ,  $C_0, C_1, C_2, C_3, C_4, C_5$  为一组输入码元,  $C_0$  为最早码元,  $C_5$  为最新码元。

先取合适的地址码是关键,其相关性要好,码字又要多。在此用户地址码采用小集合 Kasami 序列<sup>[2]</sup>,对长为  $2^n-1$  的  $m$  序列  $a$ ,每隔  $2^{\frac{n}{2}+1}$  进行循环抽取,可得序列  $a'$ ,可证明  $a'$  仍为  $m$  序列,序列长  $2^{\frac{n}{2}-1}$ 。取序列  $a$  和  $a'$  的  $2^n-1$  bit,将它们逐位模二加,并将序列  $a$  与  $a'$  逐次右移  $2^{\frac{n}{2}-2}$  次所形成的各序列进行模二加,形成新的序列集合,共有  $2^{\frac{n}{2}}$  个二进制序列(包括  $a$  在内),每序列长度为  $2^n-1$ 。(  $n$  为偶数)

$$\text{Kasami: } (a, a') = \{a, a \oplus a', a \oplus Ta', a \oplus T^2a', \dots, a \oplus T^{\frac{n}{2}-1}a'\}$$

$T^K$  表示  $a'$  循环向右移  $K$  位,自相关与互相关值集合为  $\{-1, -(2^{\frac{n}{2}+1}), 2^{\frac{n}{2}-1}\}$  可证明 Kasami 序列满足 Welch 下界要求,是很理想的地址码。

$$\text{第 } K \text{ 个用户发送信号为 } S_k(t) = \sqrt{2P}w'(t)PN^k(t)$$

$W^j(t)$  为发送信号的第  $j$  个调制序列,  $T_w$  调制码元周期。

对 CDMA 系统来说,多址干扰是最大的性能劣化因素,本文分析无噪声信道下系统抗多址干扰性能。设有  $M$  个用户,接收信号为

$$r(t) = \sum_{K=1}^M \sqrt{2P}a_K W^j(T - t_K) PN^K(t - t_K)$$

$a_K, t_K$  分别为第  $k$  个用户的幅度衰减因子和时延。

经非相干解调后第  $m$  个相关器输出为

$$Z^K(m) = \frac{1}{\sqrt{T_w}} \int_0^{T_w} r(t) W^m(t) dt = \begin{cases} \sqrt{\frac{PT_w}{2}} + I^K & m = j \\ I^K & m \neq j \end{cases} \quad (m = 1, 2, 3, \dots, 64)$$

$I^K$  为多址干扰

$$I^K = \sum_{K=1}^M \sqrt{\frac{P}{2T_w}} \int_0^{T_w} W^j(t - t_K) W^m(t) dt$$

当扩频码足够长,用户数  $M$  足够大时,由中心极限定理,多址干扰可等效为高斯分布的随机过程,方差为

$$\text{Var}[I^K] = \frac{PT_w(M-1)}{3N_c}, \quad N_c = T_w/T_c, \quad PE_2 = \frac{32}{63} \left\{ 1 - \sum_{K=0}^{63} \frac{(-1)^K}{K+1} \binom{63}{K} e^{-\frac{E_w K}{2\delta^2(K+1)}} \right\}$$

式中  $E_w = PT_w, \delta^2 = \frac{E_w(M-1)}{3N_c}$ , 系统的总误码率为  $PE = PE_1(1 - PE_2) + PE_2(1 - PE_1)$ 。

### 3 结束语

本文提出一种新型光码分多址通信技术,给出了发射机和接收机的结构框图,分析了其性能,运用光码分多址技术可提高系统容量,不需要复杂的 PCM 设备,设备便宜,在改造 CATV 网为综合业务数字网中具有广阔的应用前景。

#### 参考文献:

- [1] Robert M, Gagliardi, Sherman Karp. Optical Telecommunications[M]. John Wiley & Sons Inc. 1995.
- [2] 祁玉生, 邵世祥. 现代移动通信系统[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1999.
- [3] Kwong W C, Prucna P R. Ultrafast all-optical code division multiple access (CDMA) fiberoptical networks[J]. Computer Network and ISDN system, 1994, 26(6): 1063 - 1086.
- [4] Elder Charlse A. CATV return path characterization for reliable communications[J]. IEEE communications Magazine, 1995, 15(8): 62 - 69.
- [5] 毛幼菊, 党明瑞. 光波分复用通信技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1996.
- [4] 孙立新, 刑宁霞. CDMA(码分多址)移动通信技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1997.

## New Optical CDMA Communication Technology

LIU Hong-yu, ZHANG Rong-zhi

(Telecommunication Engineering Institute, AFEU., Xi'an 710077, China)

**Abstract**·In this paper, a new optical communication technology based on CDMA is introduced. Compared with the technology put forward by the previous literature, it can increase the system capacity, improve the system speed and get the high process gain, and does not need the ultrashort pulse laser transmitter. It combines the great bandwidth of optical fiber with high spectrum utility factor of CDMA. The technology can increase the system capacity greatly if combined with DWDM and the price is very low. OCDMA has huge potential in the CATV network and high speed LAN.

**Key words**:CDMA; m sequence; Kasami sequence; Walsh code; orthogonal Mary modulation

+++++

### 加入万方数据资源系统(ChinaInfo)数字化期刊群的声明

本刊已加入“万方数据资源系统(ChinaInfo)数字化期刊群”,全文内容按照统一格式制作编入万方数据资源系统,读者可上因特网进入万方数据资源系统免费(一年后开始酌情收费)查询浏览本刊内容。凡向本刊投稿并录用的稿件,将一律由编辑部统一纳入万方数据资源系统,进入因特网提供信息服务。作者如有异议,请另投它刊。本刊所付稿酬包含刊物内容上网服务报酬。

万方数据资源系统数字化期刊群网址:

<http://www.chinainfo.gov.cn/>

<http://www.wanfangdata.com.cn/>

空军工程大学学报编辑部

2000年10月20日