

文章编号: 1001-3806(2010)02-0164-04

激光通信系统中多脉冲位置调制帧同步的实现

易 森^{1,2}, 李天松¹, 陈名松^{1*}, 徐向丽³

(1. 桂林电子科技大学 信息与通信学院, 桂林 541004; 2. 宜春学院 理工学院, 宜春 336000; 3. 桂林电子科技大学 机械与交通工程学院, 桂林 541004)

摘要: 为了解决激光通信中符号同步传输效率低问题, 采用了超帧同步取代符号同步方法。在分析多脉冲位置调制码型和帧长的特点基础上, 详细分析了不同的组合巴克码做多脉冲位置调制超帧同步码的方法, 计算了不同长度帧的同步码长度。仿真结果表明, 这种方法能实现二进制数据的正确解调。该研究结果对提高激光通信同步性能具有一定的理论参考价值。

关键词: 光通信; 多脉冲位置调制; 帧同步; 巴克码**中图分类号:** TN914.31 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-3806.2010.02.006

Frame synchronization for multi-pulse position modulation in optical communication

YI Miao^{1,2}, LI Tian-song¹, CHEN Ming-song¹, XU Xiang-li³

(1. School Information & Communication Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China; 2. Technical Institute, Yichun University, Yichun 336000, China; 3. School of Mechanical & Electrical Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: In order to solve the low efficiency problem of symbol synchronization in laser communication, a super-frame synchronization was proposed instead of symbol synchronization. On the basis of analyzing multi-pulse position modulation (MPPM) code pattern and length, the different methods of combination Barker sequence applied in the super-frame synchronization of MPPM were analyzed, and the length of synchronization code of the different frame was calculated. The simulation results show that this method can decode the input binary bits accurately. The obtained results have theoretic reference value for the improving the performance of laser communication.

Key words: optical communication; multi-pulse position modulation; frame synchronization; barker sequence

引言

无线光通信具有光纤通信和移动通信的优势及良好的应用前景, 近年来受到了广泛的关注^[1-3]。多脉冲位置调制(multi-pulse position modulation, MPPM)是无线光通信的一项主要技术, 在相同的传输效率和信息帧长度的前提下, 与脉冲位置调制(pulse position modulation, PPM)相比, 有带宽利用率高的优点^[4]。而要实现 MPPM 的正确解调, 关键是在时隙同步的基础

上恢复符号同步, 为此一些文献中对符号同步技术进行了研究与探讨。作者提出了一种利用超帧同步来实现 MPPM 符号同步的方法, 给出了 MPPM 帧结构的组成方式及帧同步码组的选择原则, 并在此基础上, 对同步性能进行了研究评估。

1 MPPM 帧结构

1.1 MPPM 帧结构

数字信号序列常常以字或帧的方式传输, 为做到帧同步, 要求在每个帧的开始插入帧同步码, 以使接收端能识别判断帧的开始位置是否与发送端相对应。为了方便分析, 先定义 1 个 MPPM 帧的概念, 1 个 MPPM 帧由 1 个帧同步码和 M 个 MPPM 符号组成, 如图 1 所示, 其中帧同步码采用集中插入的方式, 这样就构成了 1 个超帧的结构。

基金项目: 广西研究生科研创新基金资助项目 (2008105950810M414)

作者简介: 易 森 (1979-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为光通信中的调制技术。

* 通讯联系人。E-mail: cms@guet.edu.cn

收稿日期: 2008-12-23; 收到修改稿日期: 2009-03-05

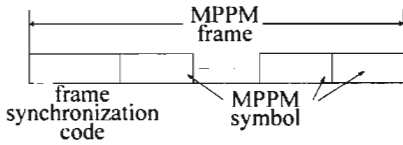


Fig.1 Frame structure of MPPM

由图1可知,每一帧内各MPPM符号的位置是固定的,而且每个MPPM符号的时隙个数也是固定的,如果能把每帧的首尾识别出来,就可以正确区分每个MPPM符号,即通过帧同步而实现符号同步。所以MPPM符号同步的问题就转为了MPPM帧同步的问题,发送这种数据格式对调制器并无特殊要求。

超帧结构使得M个MPPM符号使用1个帧同步码,与每一个MPPM符号加1个帧同步码相比,提高了传输效率,同时也带来超帧帧同步码的选择困难问题,下面提出了这一问题的解决方法。

1.2 带保护时隙的MPPM符号

由于MPPM符号是1个符号有两个脉冲,由于激光器的需要保护时间,所以1个2脉冲MPPM符号需要有两段保护时隙,而1个3脉冲的MPPM符号需要有3段保护时隙,带有保护时隙的MPPM符号如图2和图3所示。

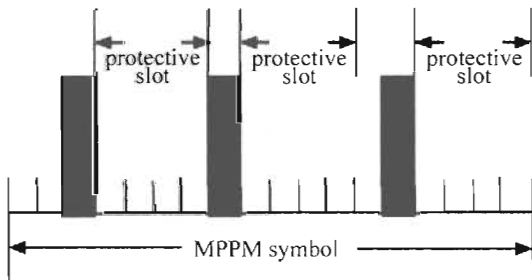


Fig.2 Symbol structure of (m,3)MPPM with protective slot

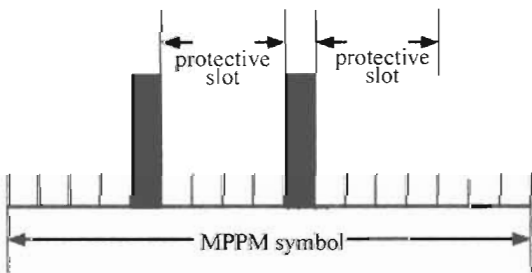


Fig.3 Symbol structure of (m,2)MPPM with protective slot

对于2脉冲MPPM,假设保护时隙是m个时隙,不带保护时隙的符号长度是n个时隙,那么两个脉冲之间距离S的取值范围是 $m < S < 2n - 4 + m$ (假定一个符号内脉冲不发生漂移)。接收端在实现帧同步前并不知道每帧的起始位置,但接收端可以检测出相邻两个接收光脉冲间的时隙数,根据两脉冲之间的时隙数来确定帧同步码的位置。综合上述考虑,得到2脉冲MPPM帧同步码的选取规则:

$$m < S < 2n - 3 + m \quad (1)$$

对于3脉冲MPPM,假设保护时隙是 m_1 个时隙,不带保护时隙的符号长度是 n_1 个时隙。同理可以得到3脉冲MPPM的帧同步码的选取规则:

$$m_1 < S < 2n_1 - 5 + m_1 \quad (2)$$

2 帧同步码的选择

2.1 码长的选择

由于随着帧同步字长度n的增加,虚警概率下降,但漏报概率和捕捉时间增大。因此存在一个最佳长度 n_0 ,在帧长度 $L = 2000\text{bit}$ 、误比特率 $P_e = 10^{-3}$ 的情况下,按公式计算得^[5]:

$$n_0 = \frac{\ln(L \ln 2 / P_e)}{\ln 2} = 20.4 \quad (3)$$

式中,L为每段的码长。由(1)式可知,适当减小帧同步码的长度可减少同步码的漏报概率,有利于在传输误码情况下搜索同步。同时考虑到数据帧结构和信道利用率,设计中实际所采用近似数值,例如同步码长为20位。

在解调时,码长需要按照(1)式或者(2)式计算出来的 S_{\max} 或者 S_{\max}' 进行分段,则:

$$L = \log_2(S_{\max}) \quad (4)$$

2.2 码型的选择

以(m,2)MPPM为例,根据(1)式的选取规则,如果保护时隙m的值较大时,那么并不是每种码型都能够用于MPPM的帧同步码,而必须每截段长度为L的码都满足(1)式。目前找到的巴克码只有字长2,3,4,5,7,11,13共9种(其中2,4字长的有2种),超巴克码字长3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13有21种(其中6,10,12,13字长的有2种,7,8,9字长的有3种)。可以看出,这些巴克码截为每段长度为L后,每段长度为L的巴克码基本能满足(1)式的要求,但是码长太短,会使它的应用受到限制。

例如,假定 $m = 4, n = 7$,那么根据(1)式,则 $4 \leq S \leq 14$,即 $0100 \leq S \leq 1101$ 。如果误比特率满足 $P_e = 10^{-3}$,则码长符合(3)式计算为20位,这样必须选择更长的巴克码来做帧同步码。

那么可以选择组合巴克码来做帧同步码,用 $C_{05} = [+ + + - +]$ 和 $C_{04} = [+ + - +]$ 做调制组合。得到20位组合巴克码 $C_{0504} = [+ + + - + + + - + - - - + - + + - +]$,定义为x序列,此x序列具有良好的互相关特性^[6-7]。再令另一个序列y为:

$$y = [\text{sign}(\text{randn}(1,1000)) \times \text{sign}(\text{randn}(1,1000))] \quad (5)$$

即 y 序列包含一段组合巴克码,且组合巴克码之前、之后的 1000 个点为随机数。 R 表相关:

$$R = \text{xcorr}(x, y) \quad (6)$$

图 4 是巴克码与 y 序列作滑动互相关运算后的 MAT-

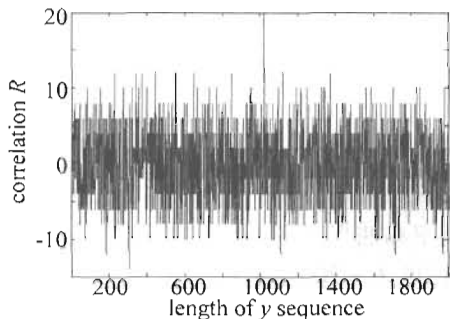


Fig. 4 Result for combined Barker sequence of cross-correlation

LAB 仿真结果。从图 4 中可知, x 序列与 y 序列做互相关运算时,仅当 x 序列与 y 序列中包含的码对齐时,输出滑动相关的最大值 20,而在其它时候,互相关性很小。

假定帧长度是 2000bit,则由(3)式计算可得到帧同步码长度约为 20 位。再假设保护时隙 m 的取值为 4,则 S 的取值范围是 $S \geq 4$,下面给出不同的较优的可用于 MPPM 帧同步的组合巴克码,如表 1 所示。

从表 1 可以看出,要得到符合要求的组合巴克码,可以在 7 种巴克码中的选择所需要的 2 种来进行调制组合,从而得到符合长度要求的组合巴克码。并且这种组合巴克码按照 $\log_2(S_{\max})$ 截断后每段码字对应的十进制的值都较大,所以这几种组合巴克码应用于 MPPM 帧是较优的。

Table 1 Relation for frame synchronization code and pulse period

S	$\log_2(S_{\max})$	combining barker sequence	code length	combining types
4 ~ 16	4	[+ + + - + + + - + + + + - + + + - +]	20	C_{0504}
4 ~ 32	5	[+ + + - + + + - + + + + - + + + - +]	20	C_{0504}
4 ~ 64	6	[+ - + + - - + - + + - - - + - - + -]	18	C_{0603}
4 ~ 128	7	[+ + + - - + - + + + - - + - + + + - - + -]	21	C_{0703}

2.3 同步性能

对于一个位数为 n_0 的帧同步码,正确识别每一位信息的概率为:

$$P_s = (1 - P_{01})^{l_1} (1 - P_{10})^{l_0} \quad (7)$$

式中, P_{01} 为发送“1”检测为“0”的概率, P_{10} 为发送“0”检测为“1”的概率, l_1 为帧同步码中“1”的个数, l_0 为帧同步码中“0”的个数,且 $l = l_0 + l_1$ 。若 $P_{10} = P_{01} = P_e$,则(7)式可简化为:

$$P_s = (1 - P_e)^l \quad (8)$$

不同长度的帧同步码,同步概率 P_s 随误比特率的变化规律如图 5 所示。可以看出,同步概率随误比特率的

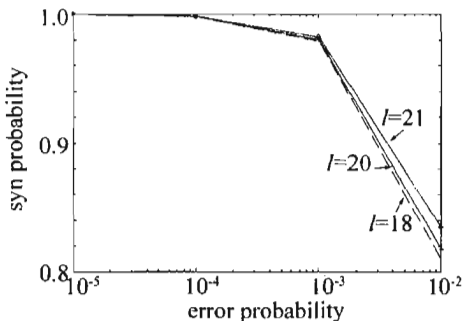


Fig. 5 Change curve of synchronisation probability and error probability

上升而下降。同时,随着帧同步码长度的增加,同步概率变差。但并不是帧同步码长度越短越好,当帧同步码组长度较短时,则会增加伪同步概率,反而影响同步概率性能。所以,在不影响互相关特性的条件下,要尽可能地选取短的同步码。

3 MPPM 编译码系统的实现

目前用于 $(m, 3)$ MPPM 的编译码方法只有两种:一种是列表法,另一种是星座图法^[8]。由于星座图法只能实现译码,编码还有待进一步研究,所以,作者采用列表法。假设保护时隙为 4,那么可以得到输入信息、 $(6, 3)$ MPPM 符号与所在时隙之间的关系如表 2 所示,且 $m_1 = 4, n_1 = 6$ 。根据(2)式, $4 \leq S' \leq 11, 0100 \leq$

Table 2 Relation for binary source, $(6, 3)$ MPPM and position of pulse

4bit	$(6, 3)$ MPPM	(l_1, l_2, l_3)
0000	10000001000010000	(1, 5, 6)
0001	10000001000010000	(1, 4, 5)
0010	10000001000010000	(1, 4, 6)
0011	10000001000010000	(1, 3, 4)
0100	10000001000010000	(1, 3, 5)
0101	100000010000010000	(1, 3, 6)
0110	100001000010000000	(1, 2, 3)
0111	100001000001000000	(1, 2, 4)
1000	100001000000100000	(1, 2, 5)
1001	100001000000010000	(1, 2, 6)
1010	010000001000010000	(2, 5, 6)
1011	010000010000100000	(2, 4, 5)
1100	010000010000010000	(2, 4, 6)
1101	010000100001000000	(2, 3, 4)
1110	010000001000010000	(2, 5, 6)
1111	010000100000100000	(2, 3, 5)

$S' \leq 1011$ 。一个帧同步码后面加上 100 个 MPPM 字符,则计算可得采用 20 位的帧同步码,即 $C_{0504} = [+ + + - + + + - + - - - + - + + + -$

+],把此帧同步码的-1用0表示,且截成5行,每行4个数。即为:

$$x = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

再令一行代表一个4bit的二进制数,则 $x = [14 \ 15 \ 4 \ 5 \ 13]$,此帧同步码用 $20/4 + 1 = 6$ 个脉冲表示出来,把定位帧定位在 18 个 $(m,3)$ MPPM 符号时隙的第 1 个时隙,这样可以保证帧同步码的前面一帧和后续一帧的位置在任何特殊情况下都满足(1)式的要求(见图6)。从而可以计算出插入的第 6 个脉冲就在 $(m,3)$

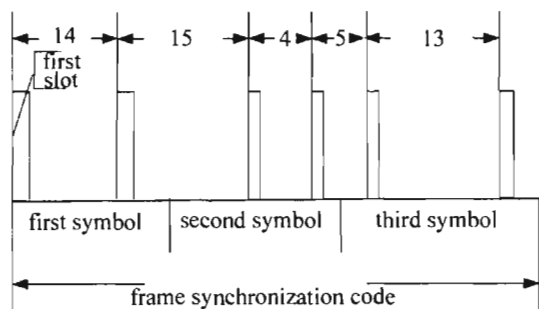


Fig. 6 Pulse position of frame synchronization code

MPPM 符号的第 15 个时隙,由此,解调时用滑动相关找到帧同步码后,就可以计算出第 1 个 MPPM 符号脉冲所在的时隙,从而计算出所有的符号脉冲所在的时隙。用 QUARTUS II 可以得到编码器和译码器仿真结果,如图 7 和图 8 所示。

从图 7、图 8 可以看出,使用设计好的组合巴克码做帧同步码能够实现此系统的正确解调。

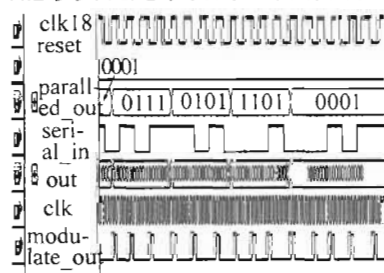


Fig. 7 Simulation result of $(m,3)$ MPPM coding

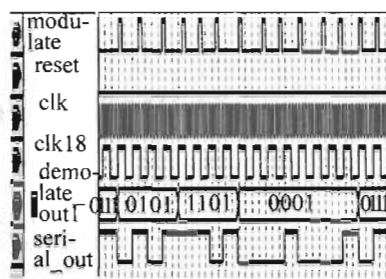


Fig. 8 Simulation result of $(m,3)$ MPPM decoding

4 结 论

分析了不同的组合巴克码用做 MPPM 超帧同步码的设计方法,计算了不同的数据长度帧同步码长度选择,并且分析了其同步性能。实现了用仿真组合巴克码做帧同步码的 $(m,3)$ MPPM 的编译码系统,仿真结果表明,这种方法能保证信息的正确解调。

参 考 文 献

- [1] ZHANG T Y, WANG H X, XIE Ch J. Symbol synchronization for pulse position modulation in optical wireless communications [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2006(6): 38-41 (in Chinese).
- [2] JING L, UYSAL M. Optical wireless communications; system model, capacity and coding [J]. IEEE Vehicular Technology Conference, 2003, 1(6/9): 168-172.
- [3] WANG H X, ZHU Y B, ZHANG T Y, et al. Performance study of optical wireless DH-PIM and DPIM [J]. Laser Technology, 2007, 31(1): 92-94 (in Chinese).
- [4] SUGIYMA H, NOSU K. MPPM: a method for improving the band-utilization efficiency in optical PPM [J]. IEEE Journal of Lightwave Technology, 1987, LT-7(3): 465-472.
- [5] YIN L, ZHONG Sh N, CHEN Y Y, et al. An implementation of signal synchronization in underwater acoustic communication system [J]. Signal Processing, 2005, 21(s1): 448-451 (in Chinese).
- [6] LI H B, ZHANG L. Research of combinational Barker sequence performance [J]. Journal of Institute of Command and Technology, 1999, 4(10): 16-20 (in Chinese).
- [7] LUO R Z, CHENG X T, DING L J. A novel design method for training sequence with low-lobe values [J]. Acta Electronica Sinica, 2005, 10(33): 1741-1744 (in Chinese).
- [8] QIN L. Design of MPPM in atmospheric laser communication [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2006: 36-37 (in Chinese).