

无线光通信脉冲位置调制的符号同步技术

王红星, 孙晓明, 周旻

(海军航空工程学院电子工程系 山东 烟台 264001)

【摘要】讨论了PPM序列的符号同步原理;在分析随机PPM序列的精确符号同步概率上限的基础上,给出了一种在PPM序列中插入同步信号来实现PPM精确符号同步的方案及其数字逻辑电路实现。该方案通过改变PPM调制序列结构,按照一定的间隔在PPM序列中插入脉冲时隙肩并肩的2个相邻符号作为同步符号,通过对同步符号的检测来提取同步信号。理论及仿真实验表明,该方案能实现PPM精确符号同步。

关键词 无线光通信; PPM序列; 脉冲位置调制; 符号同步
中图分类号 TN929.12 **文献标识码** A

Symbol Synchronization of Pulse Position Modulation for Optical Wireless Communications

WANG Hong-xing, SUN Xiao-ming, and ZHOU Min

(Department of Electronic Engineering, Naval Aeronautical Engineering Institute Yantai Shandong 264001)

Abstract One of the most important issues of pulse position modulation (PPM) for optical wireless communications is the receiver symbol synchronization subsystem, in this paper, the basic principle of symbol synchronization for PPM sequence is discussed, and the upper limit of exact synchronization probability for random PPM sequence is analyzed. To solve this problem a new scheme of inserting synchronous back-to-back PPM symbols to the PPM sequence at intervals of certain symbols is presented, the synchronization signal is obtained by searching for the synchronous symbols, and the corresponding digital logic circuit is presented too. Theory and experiment results show that the exact PPM symbol synchronization can be obtained by this scheme with more credibility compared to the scheme proposed by Ref.[8].

Key words optical wireless communications; PPM sequence; pulse position modulation; symbol synchronization

无线光通信系统由于能够满足当前大数据量数据传输的要求,传输速率高、带宽宽、保密性好,具有良好的应用前景而备受关注^[1-3]。目前,适用于无线光通信系统的调制方式有开关键控调制(on-off keying, OOK)、脉冲位置调制(pulse position modulation, PPM)、数字脉冲间隔调制(digital pulse interval modulation, DPIM)等方式。由于PPM具有高功率利用率且符号长度固定,利于解调而受到广泛重视^[4-5]。实现脉冲位置调制的关键在于实现时隙同步和符号同步以进行正确的解调,时隙同步是实现符号同步的前提,文献[6-7]阐述了有关实现时隙同步的技术。文献[8]以4-PPM为例,提出了一种在获得时隙同步时钟的前提下,采用数字逻辑电路提取符号同步时钟的方案。虽然该方案最终能实现符号

同步,但在实现精确符号同步之前可能会产生误同步时钟,而且得到精确同步时钟的时间也是不确定的,因为连续的4个时隙内只有1个是高电平“1”,其余3个时隙处于低电平“0”,并不能说明这4个时隙就是所发送的PPM符号。基于这种情况,采用文献[8]的方案输出一个同步时钟是不确切的。文献[9]提出可在随机PPM序列中周期插入“特殊”符号,通过改变原有PPM序列的随机性,以实现精确的符号同步,但并没有给出具体的设计方案。在获得时隙同步的前提下,本文介绍了PPM序列符号同步的基本原理,分析了随机PPM序列的符号同步概率上限,并得出随机PPM序列的精确符号同步概率为小于1的值,不能满足系统精确符号同步要求的结论。给出了一种在PPM序列中插入脉冲时隙肩并肩的2

收稿日期:2007-01-12;修回日期:2007-05-07

作者简介:王红星(1962-),男,博士,教授,博士生导师,主要从事光通信技术、现代通信技术方面的研究;孙晓明(1982-),男,博士生,主要从事大气无线光通信的调制与编码方面的研究。

个相邻符号(一种“特殊”符号)作为同步符号的设计方案及其数字逻辑电路实现。该方案能够实现PPM精确符号同步,与文献[8]提出的方案相比,可靠性更高。

1 PPM序列的符号同步

1个 Q -ary PPM符号包括 Q 个时隙,定义 T_{obs} 为长度是 NQ 个时隙的滑动观测窗。从起始位置开始,1次向右移动1个时隙,总共移动 $(Q-1)$ 个时隙^[10]。由 T_{obs} 所观测到的任意 NQ 个连续的时隙构成的序列称为1个子序列,1个子序列由 N 个长度为 Q 的序列构成,记为 N 个 Q 序列。如果1个子序列中所有的 N 个 Q 序列都是PPM符号,则将该子序列称为有效子序列,其余的为无效子序列。

通过寻找PPM符号的起始位置,以完成对PPM符号的同步。观测窗从序列中任意一点(其位置记为零)开始向右移动,每移动1次都会得到1个子序列,共 $(Q-1)$ 个,加上移动之前由观测窗所观测到的序列一共 Q 个子序列。如果 Q 个子序列中只有1个子序列(计为滑动观测窗第 $i(i \in [0, Q-1])$ 次移动所得子序列)为有效子序列,而其余序列均为无效子序列,则可判定 i 为1个PPM符号的起始位置,从而获得PPM的符号同步。因此,要获得精确的PPM符号同步,要求只有1个序列为有效子序列,其余 $(Q-1)$ 个子序列必须为无效子序列。而这不能得到保证,所以即使信道中不存在噪声,PPM符号同步的性能也是有限的^[9]。下面推导随机PPM序列的精确符号同步概率上限。

2 随机PPM序列的精确符号同步概率上限

不失一般性,可以认为 $i=0$ 时观测窗内PPM子序列的第一个时隙即为1个PPM符号的起始时隙,该子序列即为有效子序列,记为 $T_{\text{obs}}(0)$ 。则要获得精确的PPM符号同步,由观测窗 T_{obs} 依次移动 $(Q-1)$ 次得到的所有 $(Q-1)$ 个子序列必须为无效子序列。可以先考虑在何种情况下所得子序列为有效子序列,记 T_{obs} 第 m 次移动所得子序列为 $T_{\text{obs}}(m)$ $(m \in [1, Q-1])$ 。由PPM的符号特征可知,1个PPM符号内只有1个时隙发送脉冲; $T_{\text{obs}}(m)$ 为有效子序列,要求所包含的 N 个 Q 序列都是PPM符号,即每个 Q 序列里只能有1个脉冲时隙。显然,只有在以下两种情况下满足上述要求:(1) $T_{\text{obs}}(0)$ 所包含的每个 Q 序列的脉冲时隙位于前 m 个时隙。(2) $T_{\text{obs}}(0)$ 所包含

的每个 Q 序列的脉冲时隙位于后 $Q-m$ 个时隙,则有:

$$P_{\text{mvalid}} = \left(\frac{m}{Q}\right)^{N+1} + \left(\frac{Q-m}{Q}\right)^{N+1} \quad (1)$$

$$P_s = \prod_{m=1}^{Q-1} (1 - P_{\text{mvalid}}) = \prod_{m=1}^{Q-1} \left(1 - \left(\frac{m}{Q}\right)^{N+1} - \left(\frac{Q-m}{Q}\right)^{N+1}\right) \quad (2)$$

式中 P_{mvalid} 为 $T_{\text{obs}}(m)$ 是有效子序列的概率; P_s 为精确符号同步概率,即 $(Q-1)$ 个子序列都为无效子序列的概率; Q 为1个PPM符号的时隙长度; NQ 为滑动观测窗的时隙长度。下面通过计算机仿真,分析不同的 Q 和 N 值对 P_s 的影响。

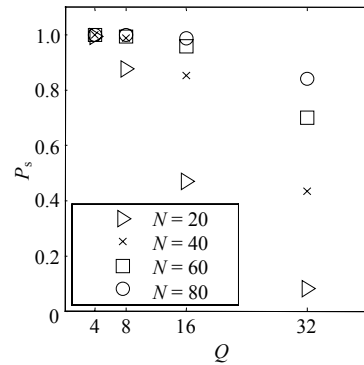


图1 Q 和 N 取不同值时的PPM精确符号同步概率

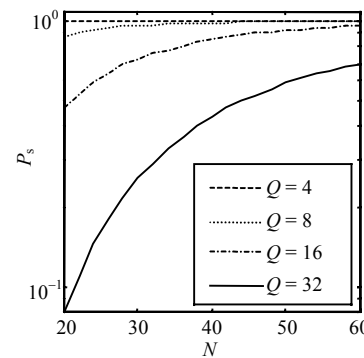


图2 Q 和 N 取不同值时的PPM精确符号同步概率

Q 和 N 取不同值时,PPM精确符号同步概率分别如图1和图2所示。由图可知,当 N 值一定时, Q 越大,精确同步概率越低;当 Q 值一定时, N 越大,精确同步概率越高;而且,由式(2)可得:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} P_s = 1 \quad (3)$$

对于给定的PPM调制系统和滑动观测窗, Q 和 N 都为定值,因此,随机PPM序列的精确符号同步概率 P_s 为小于1的定值,不能满足系统精确符号同步的要求。下面给出一种在PPM序列中插入同步符号的方法以得到精确的符号同步。

3 实现PPM精确符号同步的方案

3.1 基本原理

$T_{obs}(m)$ 为有效子序列的情况如下: (1) $T_{obs}(0)$ 所包含的每个 Q 序列的脉冲时隙位于前 m 个时隙。(2) $T_{obs}(0)$ 所包含的每个 Q 序列的脉冲时隙位于后 $Q-m$ 个时隙。如果 $T_{obs}(0)$ 中存在这样两个相邻的符号: 前1个符号的最后1个时隙为脉冲时隙, 后1个符号的第1个时隙为脉冲时隙。则对于所有的 $m \in [1, Q-1]$, $T_{obs}(m)$ 中至少有1个 Q 序列包含2个脉冲时隙, 则 $T_{obs}(m)$ 不可能为有效序列。所以只需要在PPM序列中以一定的符号间隔(间隔大小用 K 表示)插入脉冲时隙肩并肩的2个相邻信号, 利用长度为 NQ 个时隙的滑动观测窗, 可以实现精确的PPM符号同步。这样要求在调制端, 每个PPM符号的首尾两个时隙所发送的脉冲不传输信息, 用作同步信号。其中, 要求滑动观测窗处于任意位置时, 都能观测到一对肩并肩信号, 因此, $K \leq N-2$ 。

3.2 电路实现

PPM符号同步时钟提取框图如图3所示。光信号首先通过光电探测器转换成电信号, 再经过均衡整形获得较为理想的波形, 然后采用文献[6]或文献[7]提供的方法提取出时隙同步时钟。在此基础上, 采用以下的方案可以提取出符号同步时钟。

经过均衡整形的信号进入移位寄存器后, 在时隙同步时钟的作用下依次移位并出。并出的信号分成 N 个 Q 路信号, 分别通过 N 个相同的逻辑电路进行判断。逻辑电路的功能为: 每当有1个时隙时钟到来时, Q 路信号中若只有1个为高电平“1”, 逻辑电路输出高电平“1”, 其他任何情况输出低电平“0”。若 N 个逻辑电路均输出高电平“1”, 则输出一个符号同步时钟, 实现符号同步。

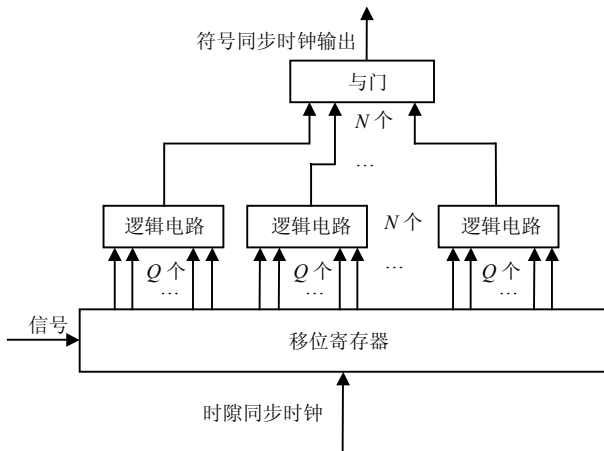


图3 PPM符号同步时钟提取框图

本文对6-PPM序列进行符号同步的仿真实验, 每隔4个符号插入脉冲时隙肩并肩的2个PPM符号作为同步信号, 取 $N=6$ 。实验结果表明, 本文的方案能够实现PPM符号同步, 不会产生误同步时钟信号。采用文献[8]所提出的方案在一段时间之后可以实现符号同步, 但在这之前会产生误同步时钟信号。

4 结束语

随机PPM序列的精确符号同步概率上限小于1, 采用本文的方法, 通过按照一定的间隔在PPM序列中插入脉冲时隙肩并肩的2个相邻信号作为同步信号, 并结合本文给出的同步电路, 可以实现PPM精确符号同步。与文献[8]所提出的方案相比, 可靠性更高。

参 考 文 献

- [1] GARRIDO-BALSELLS J M, GARCÍA-ZAMBRANA A, PUERTA-NOTARIO A. Rate-adaptive transmission schemes in the context of runlength-limited codes for optical wireless communications[J]. IEEE Communications Letters, 2005, 9(9): 787-789.
- [2] O'BRIEN D C, FAULKNER G E, ZYAMBO E B, et al. Integrated transceivers for optical wireless communications[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 2005, 11(1): 173-183.
- [3] 胡宗敏, 汤俊雄. 大气无线光通信系统中数字脉冲间隔调制研究[J]. 通信学报, 2005, 26(3): 75-79.
- [4] WANG Hong-xing, SUN Xiao-ming, et al. Performance of current digital pulse modulation schemes for optical wireless communications[C]//IET International Conference on Wireless Mobile & Multimedia Networks Proceedings, London: Institution of Engineering and Technology, 2006: 656-659.
- [5] KIASALEH K. Performance of APD-based, PPM free-space optical communication systems in atmospheric turbulence[J]. IEEE Transactions on Communications, 2005, 53(9): 1455-1461.
- [6] LING G, GAGLIARDI R M. Slot synchronization in optical PPM communications[J]. IEEE Trans Commun, 1986, 34(12): 1202-1207.
- [7] SRINIVASAN M, VILNROTTER V, LEE C. Decision-directed slot synchronization for pulse-position-modulated optical signals[R]. IPN Progress Report 42-161, 2005: 1-12.
- [8] 张 淼, 邱 昆, 邱 琪, 等. 脉冲位置调制的字同步技术[J]. 电子科技大学学报, 2000, 29(4): 381-383.
- [9] GEORGHIADES C N. On the synchronizability and detectability of random PPM sequences[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1989, 35(1): 146-156.
- [10] VELIDI R, GEORGHIADES C N. On symbol synchronization of MPPM sequences[J]. IEEE Transactions on Communications, 1998, 46(5): 587-589.