

激光通信系统中的光源调制技术研究

王弟男

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要: 在信息技术、网络技术、激光器及探测器技术的高速发展和推动下, 激光通信作为一种频带宽、速度快、不受电磁干扰和高保密性的通信技术方兴未艾, 在军事和民用领域都具有巨大应用潜力。光源和探测器是激光通信系统中影响通信速率、通信距离和误码率的关键因素。本文论述了激光通信系统中光源的选择及针对选用的光源所采用的几种常用调制方式, 并对各种调制方式在平均功率消耗、平均带宽需求及包误码率方面进行了对比。

关键词: 激光通信; 激光器; 调制

中图分类号: TN929.1

文献标识码: A

DOI: 10.3788/OMEI20112809.0059

Laser Modulation Techniques in FSO System

WANG Di-nan

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,
Changchun 130033, China)

Abstract: With the high speed development and driving of information technology, internet technology, laser and detector technology, FSO system has shown its great potential in both military and commercial field as a communication method with high speed, high bandwidth, immunity to EMI and better security property. Light source and detectors are the key factors in improving data rate, communication distance and bit error rate performance in FSO system. The choice of the light source and modulation methods used for the choice source were discussed in this paper. Comparison among the modulation methods in the aspect of average power consumption, average bandwidth requirement and packet error rate performance was also presented.

Keywords: free space optical communication(FSOC); laser; modulation

1 概述

激光通信是指利用激光束作为载波在空间(陆地或外太空)直接进行语音、数据、图像信息双向传送的一种技术,又称为“自由空间激光通信”(Free space optical communication)。它不仅包括卫星之间的激光通信、地面站之间的激光通信,还包括卫星与地面站之间的激光通信^[1]。激光通信中使用的激光光束极窄,不像微波通信那样有很高的电磁泄漏;方向性极高,链路隐蔽性好,难于截取,因此具有很高的安全保密性。另外,激光不受无线电干扰,只要天气状况良好,很难进行通信干扰,在军事上具有很高的应用价值,因此,各军事大国都对无线激光通信的研究极为重视。

光源系统的设计是自由空间光通信系统的关键问题之一。目前,光源主要采用 800~860 nm 波段的光源和 1 550 nm 波段光源,发射功率一般为 mW 级,而且要求工作频率高,光束质量好。为了简化系统设计,激光调制一般采用强度调制的方式。

2 光源选择

地基激光通信中,一般会选取大气窗口中的波长范围作为信号的载波,这样,信号载波在大气中传输时,大气的吸收很少,可以有效地降低光束在大气中的吸收损耗。根据现有的激光器、光电检测器和光放大器件技术,大气光通信所采用的光源波长通常在 850 nm 附近、1.06 μm 附近、1 550 nm 附近和 10.06 μm 附近^[2],其中最常用的是 850 nm 附近和 1 550 nm 附近。而半导体激光器具有体积小、重量轻、效率高、调制容易、使用寿命长的特点,因此,半导体激光器成为激光通信中首选的激光器。

2.1 半导体激光器的主要性能参数

波长:激光通信系统中使用的主要波长为 850 nm 和 1 550 nm;阈值电流 I_{th} :半导体激光器开始产生激光震荡的电流,其值约为几十毫安;工作电流 I_{op} :半导体激光器达到稳定输出功率时的驱动电流;

斜率效率 S :半导体激光器输出光功率与输入调制电流的比值。半导体激光器的光输出功率-输入电流关系如图 1 所示。

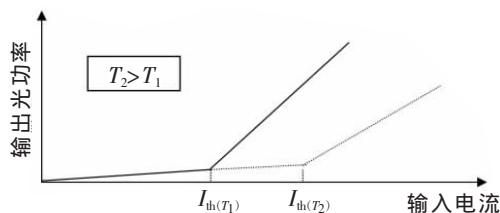


图 1 半导体激光器的光输出功率-输入电流关系

半导体激光器的输出光功率与输入电流之间多为线性关系,因此,可以直接以电流调制输出光的强弱。

应用于激光通信的半导体激光器多为分布反馈式激光器(DFB-FB),其 I_{th} 约为几十毫安, I_{op} 一般为几十至几百毫安。随着激光器的老化,半导体激光器的电-光转换效率会降低,导致输出光功率下降,环境温度的变化也会改变激光器的电-光转换效率,使激光器的输出功率改变。因此,用于激光通信的激光器一般会带有一个检测光输出功率的光电二极管(PD),用于控制输出光功率的稳定。

3 激光通信中常用的调制技术

理论上,在无线电领域内的调制方式都可以用在激光通信系统中,如调幅(AM)、调频(FM)、调相(PM)等,但考虑到应用在激光通信系统中的半导体激光器的特点,一些在微波通信领域很少使用的调制方式却常常应用于激光通信领域,如强度调制,即用待传输的信息去调制光载波的强度。

半导体激光器采用直接强度调制十分方便,通过控制激光二极管的输入电流即可实现。直接强度调制有数字脉冲调制和模拟强度调制两种方式。数字脉冲调制具有实现直接、对激光器调制线性要求低等优点^[3],因此,现有的激光通信系统绝大多数使用这种调制方式。常用的数字脉冲调制有关键控制(OOK)、脉冲位置调制(PPM)、脉冲间隔调制(PIM)以及差分脉冲位置调制(DPPM)、双头脉冲间

隔调制 (DH-PIM) 等。

3.1 开关键控调制 (OOK)

开关键控 OOK 调制方式可分为非归零码 NRZ (Not return zero) 与归零码 RZ (Return zero) 两种编码格式。NRZ 码是在“1”比特时隙内发送光脉冲, 在“0”比特时隙内不发送光脉冲; RZ 码则是在“1”比特的前半时隙内发送光脉冲, 在“0”比特时隙内不发送光脉冲。因此, NRZ 码与 RZ 码的比特率相同, 但 RZ 码的激光器调制速率高, 较 NRZ

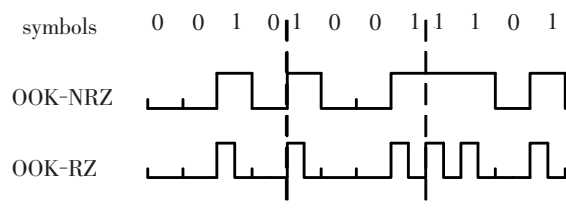


图2 OOK 调制示意图

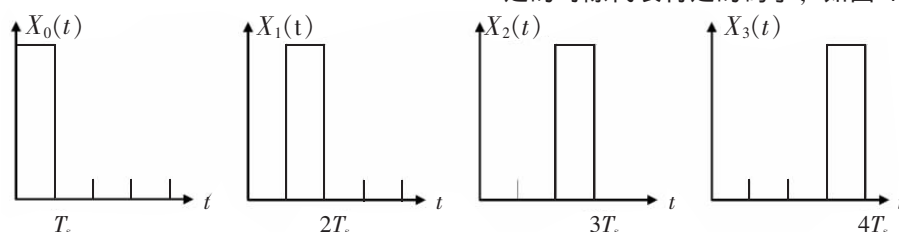


图3 2比特PPM调制示意图

表1 2比特PPM调制信息比特与PPM码的对应关系

信息比特	PPM码
00	1000
01	0100
10	0010
11	0001

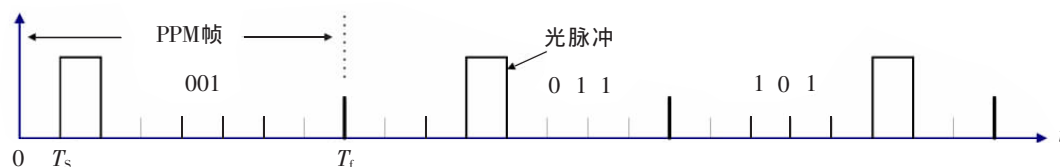


图3 3比特PPM调制光脉冲序列示意图

3.3 DPPM 调制

DPPM 调制方式是 PPM 的一种简单改进, 只要把 PPM 信号中的“1”时隙后面的“0”时隙去掉就

码节省一半的功率。OOK 调制示意图如图 2 所示。开关键控调制 OOK 方式最为简单, 技术最为成熟, 使用最多, 现有大多数系统都使用这种调制方式。

3.2 PPM 调制

脉冲位置调制 (PPM) 是一种正交调制方式, 信息由光脉冲所在的位置来表示。每 M 位的二进制信息被编码为一个符号中某个特定位置的单个光脉冲。该光脉冲位于 2^M 个时隙之一上, 一个时隙长度为 T_s , 2^M 个时隙构成一个 PPM 符号。发射端在特定的时隙中将信号以光脉冲的形式发射出去, 接收端探测到光脉冲后判断其所属时隙, 然后恢复出信号。图 3 为用矩形脉冲表示的 $M=2$ 的 PPM 波形, T_s 表示一个时隙间隔。信息比特与 PPM 码的对应关系如表 1 所示。从以上的分析可以看到, PPM 调制的码字是用极窄的光脉冲所在的时隙位置来表示的, 特定的时隙代表特定的码字, 如图 4 所示。

可以得到相应的 DPPM 信号。DPPM 信号与 PPM 相比, 对符号级的同步没有那么严格的要求, 更重要的是它可以提供更好的功率利用率和频带利用率。

如果对于固定的符号长度 L , 由于 L-DPPM 比相应的 L-PPM 的占空比高, 因而它的平均功率利用率会比 PPM 低, 但如果对于固定的平均比特率和固定的带宽, 可以在 DPPM 中选用更高的 L , 从而得到更高的平均功率利用率。

由于 DPPM 符号没有固定的时间约束, 一个时隙的错误不仅影响了该时隙的信息比特, 而且会传递到后续的信息比特中, 所以 DPPM 的误码率要高于 PPM。

3.4 PIM 调制

PIM 调制方式与 PPM 调制方式唯一不同的是: PPM 调制方式中的信息由光脉冲所在的位置来表示, 而 PIM 调制方式中的信息由两个光脉冲之间的间隔时隙数来表示。PIM 的一帧仍然分为 M 个时隙, 每 $\log_2 M$ 位的二进制信息被编码为两个相邻的光脉冲之间的时隙数。

3.5 DH-PIM 调制

DH-PIM 改进了 PIM 调制方式, 是近年来研究较多的一种大气激光通信调制技术, 也是最为复杂的一种调制技术。每一个 DH-PIM 符号都以一个长度为 $T_n = (\alpha+1) T_s$ 的头 h_n 序列开始, 再加上长度为 d_n 的空时隙序列。为使每个 DH-PIM 符号内部都具有跳变沿, 一般取 $\alpha=2$ 。当对应的 OOK 符号的第一个时隙为“0”时隙时, 头序列取 $h_0 = [1\ 0\ 0]$; 当对应的 OOK 符号的第一个时隙为“1”时, 头序列取 $h_1 = [1\ 1\ 0]$ 。 d_n 序列的长度取值范围为 $\{0, 1, \dots, 2^{M-1}-1\}$ 。当头序列取 h_0 时, d_n 等于对应的 OOK 符号的十进制数值; 当头序列取 h_1 时, d_n 等于对应的 OOK 符号的反码的值, 如表 2 所示。

表 2 OOK 符号与 DH-PIM 符号的对应关系

	OOK符号	对应的DH-PIM符号
$M=4$	$[0\ 1\ 1\ 0]$ $h=h_0, d_n=\{6\}$	$[1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]$
	$[1\ 0\ 1\ 0]$ $h=h_1, d_n=\{5\}$	$[1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]$
$M=5$	$[0\ 0\ 1\ 1\ 1]$ $h=h_0, d_n=\{7\}$	$[1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]$
	$[1\ 1\ 1\ 1\ 1]$ $h=h_1, d_n=\{0\}$	$[1\ 1\ 0]$

从以上的分析中可以看出, DH-PIM 调制的优点和缺点都非常明显, 优点是与 DPPM 调制方式相比进一步消除了符号中的冗余信息, 平均符号长度

更小, 因此提高了传输的有效数据量, 有较大的信道容量, 且它含有一个符号内部的同步, 因而不需要外加帧同步信号。但是, 由于它的符号长度仍然是不确定的, 也容易造成误码积累。

4 几种调制方式的比较

平均功率消耗方面, 对于固定的 M , 由于 DPPM 比相应的 PPM 的占空比高, 因而它的平均功率利用率会比 PPM 低, 但如果对于固定的平均比特传输速率和固定的带宽, DPPM 可用更高的 M , 从而得到比 PPM 更高的平均功率利用率, 而 DH-PIM 则是具有最高的功率利用率的调制方式。

平均带宽需求方面, 由于 DPPM、DH-PIM 的平均符号长度缩小了, 其带宽需求明显小于 PPM, 而且随着 M 的增加, 这种带宽的优势将更加突出。因此, 在相同的带宽范围内, DPPM、DH-PIM 就具有更高的数据传输效率。

包误码率方面, 当信噪比相同时, PPM 调制方法具有最低的误码率特性, 其次是 DPPM 和 DH-PIM 方式, OOK 在误码率特性方面表现较差^[6]。在相同的信噪比下, OOK 方式的包误码率与 M 的变化没有关系, 因为其时隙错误概率与其比特误码率相等; 其他 3 种调制方式的包误码率随着 M 的增大而减小。在相同的信噪比下, 所有调制方式的包误码率都会随着包长的增加而增加, 因为包长的增加等效于时隙的增加。

5 结 论

地基激光通信系统中, 为了有效降低大气对光载波的吸收损耗, 一般选取位于大气窗口中的 850 nm 激光和 1 550 nm 激光作为光源。半导体激光器具有体积小、重量轻、调制速率高、调制线性度好等优点, 是激光通信系统中的首选光源。在激光通信领域, 常用的调制技术主要有开关键控调制、脉冲位置调制、脉冲间隔调制、差分脉冲位置调制、双头脉冲间隔调制等直接强度调制方法。开关键控调制是最容易实现、应用最多的调制方法, 脉冲位

置调制和脉冲间隔调制在平均功率消耗、平均带宽需求和包误码率方面各有优点,是近年来研究较多的调制方法,有的已经应用于水下和深空通信,但

其符号长度不固定以及时序约束要求高等问题对解码系统的检错和纠错性能提出了更高的要求。

参考文献

- [1] 柯熙政. 无线激光通信概论[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2004: 20-60.
- [2] 邓代竹. 大气随机信道对无线激光通信的影响[D]. 成都: 西南交通大学硕士学位论文, 2002.
- [3] 马慧萍. 移动大气激光通信中的光调制解调技术研究[D]. 长沙: 国防科技大学硕士学位论文, 2003.
- [4] Amouzad G. Comparison of selected digital modulation schemes (OOK, PPM and DPIM) for wireless optical communications[C]. *Proceedings of SCORed, Shah Alam, Selangor, Malaysia*, 2006: 5-10.
- [5] 王红星. 自由空间光通信调制方式研究[J]. 无线电通信技术, 2006(32): 13-15.
- [6] Aldibbiat N M. Error performance of dual header pulse interval modulation (DH-PIM) in optical wireless communications[J]. *IEEE Proceedings. Part J, Optoelectronics*, 2001, 148(2): 91-96.

作者简介: 王弟男(1955-), 男, 汉族, 吉林长春人, 副研究员, 主要从事光电对抗技术与设备研制等方面的研究。

E-mail: wangdinan926@sina.com

《液晶与显示》(双月刊)

《液晶与显示》由中国科学院长春光学精密机械与物理研究所和中国光学光电子行业协会液晶专业分会主办, 科学出版社出版。

●中国最早创办的液晶学科专业中文核心期刊

●中国唯一的液晶学科和显示技术领域综合性学术期刊

●中国光学光电子行业协会液晶分会会刊, 中国物理学会液晶分会会刊

●英国《科学文摘》(SA)、美国《化学文摘》(CA)、俄罗斯《文摘杂志》(PЖ)、美国《剑桥科学文摘》(CSA)、“中国科技论文统计源期刊”等20余种国内外著名检索刊物和文献数据库来源期刊

《液晶与显示》征集有关液晶和各类显示材料及制备方法、液晶显示、等离子体显示、阴极射线管显示、发光二极管显示、有机电致发光显示、场发射显示、真空荧光显示、电致变色显示及其他显示、各类显示器件物理和制作技术、各类显示新型模式和驱动技术、显示技术应用、显示材料和器件的测试方法与技术等研究论文。《液晶与显示》热忱欢迎广大作者、读者广为利用, 踊跃投稿。同时, 竭诚欢迎社会各界洽谈广告业务、合作组织技术交流与信息发布活动。

《液晶与显示》以研究报告、研究快报、综合评述和产品信息等栏目集中报道国内外液晶学科和显示技术领域最新理论研究、科研成果和创新技术, 及时反映国内外本学科领域及产业信息动态, 是宣传、展示我国该学科领域和产业科技创新实力与硕果, 进行国际交流的平台。其内容丰富, 涵盖面广, 信息量大, 可读性强, 是我国专业期刊发行量最大的刊物之一。

网址: <http://www.yjyxs.com> 欢迎访问!