

机载激光猝发通信技术研究

张景阳^{1,2}, 王海晏¹, 王 领¹, 陈 鑫¹, 王 芳¹

(1. 空军工程大学工程学院, 陕西 西安 710038; 2. 中国人民解放军 94857 部队, 安徽 芜湖 241007)

摘要:采用 ATP 技术建立机载激光数据链路, 同时通过激光猝发通信方法实现战斗机之间信息传输。主要进行了激光猝发通信技术系统分析、ATP 技术具体研究以及采用 Optisystem 软件进行通信仿真验证。为了能在高速率数据猝发传输保证数据的正确与完整, 系统采用了专门设计的数据帧结构和编码方式。仿真结果表明: 猝发通信方式能够满足通信要求, 系统最小误码率为 10^{-10} 。

关键词:激光猝发通信; ATP 技术; 激光数据链路; Optisystem 仿真

中图分类号: TN911 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2012.03.004

Research on laser burst communication between aircrafts

ZHANG Jing-yang^{1,2}, WANG Hai-yan¹, WANG Ling¹, CHEN Xin¹, WANG Fang¹

(1. Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China; 2. No. 94857 Unit of PLA, Wuhu 241007, China)

Abstract: Using ATP technology to build airborne laser data link, it can realize laser burst communication between aircrafts. The paper mainly analyzes the laser burst communication system, ATP technology and makes simulation with Optisystem software. To ensure data correctness and completeness in high-speed burst data transmission, the system adopts special frame structure and data encoding method. Simulation results show that the burst communication system can meet the need of the communication requirement and the minimum error rate is 10^{-10} .

Key words: laser burst communication; ATP technology; laser data link; Optisystem simulation

1 引言

当前,空战的作战环境是复杂电磁环境^[1],传统的电磁设备将会受到很大的影响。采用射频或数据链进行准确通信将变得非常困难。众所周知,空战中的通信是必不可少的,这使得我们必须去寻找方法解决复杂电磁环境下的通信问题。

机载激光通信^[2]是将激光通信应用到机载平台上,它利用了激光通信的大通信容量、高传输速率、高隐蔽性、高抗电磁干扰能力等优点,是解决上述问题的最佳答案。通常,进行激光通信时必须保持通信双方激光光路对准,只有在对准的前提下才能完成信息传输。但是由于战斗机的飞行波动较大,同时还需要进行必要的机动,这使得两机间很难建立持久的光链路,通信将会受到很大的影响。如果采用激光猝发通信技术则能解决这样的问题。激

光猝发通信,它采用尽可能高的速率在短时间内完成通信任务,要求通信双机只要能够保持光链路建立一定的时间就可以完成一次信息传输。如果在一次通信时信息没有传输完,则在下一次光路建立后按照断点续传原则^[3]继续进行信息传输。这种方式相对于长时间保持双机之间光路对准通信变得更加容易。本文主要是介绍如何实现战斗机激光猝发通信,以及光路对准 ATP(捕获、跟踪与瞄准)技术。激光猝发通信技术具有很高的理论和现实应用价值,可以为在战斗机上实现激光通信提供重要的理论参考。

基金项目:2110 实验室建设项目资助。

作者简介:张景阳(1987-),男,硕士生,研究方向为光电探测与对抗。E-mail:xf09woshiwo@yahoo.cn

收稿日期:2011-07-06

2 机载激光猝发通信原理

机载激光猝发通信原理(战斗机1向战斗机2发送信息)是:战斗机1任务计算机对所需要发送的信息进行编码并存储,同时控制ATP组件对目标机进行搜索并建立光链路,当光路建立后,在收到战斗机2发来的光脉冲响应信号后,计算机中要发送的信息加载调制器和激光器后,信息被转换成光脉冲通过光学天线在瞬间完成发送,完成信息一次传输。两机之间猝发通信系统框图如图1所示。

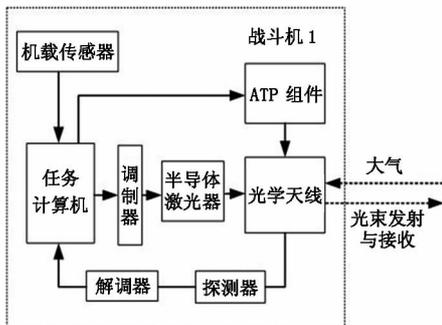


图1 激光猝发通信系统框图

图1中各部件的作用:机载传感器,探测战斗空域敌情信息并接收友机通信信息;任务计算机,将传感器获得的信息进行编码、压缩、存储与发送,控制ATP组件搜索目标机,对目标机反馈回的信息进行译码和响应,控制信息按照协议传输;调制器,将编码后的信号转换成电流信号,它加载到激光驱动器上驱动激光器随着电流信号的变化进行相应的发光;光学ATP组件,控制光学天线旋转;光学天线,对激光光束进行准直、发射与接收;探测器,接收从光学天线收到的信号;解调器,将光信号转换成电流信号。

3 ATP技术

在机载激光猝发通信中通信光路的建立是一个重点和难点问题,只有发送方和接收方光路对准才能进行通信。本节主要介绍通信光路如何建立,以及相关的技术方法,即ATP(捕获、跟踪与瞄准)技术。为了能够合理可靠地建立起战斗机之间通信光路,本文采用三级对准方法,即光路初始对准、光束的粗对准和光束精对准。ATP系统框图如图2所示。ATP系统中采用收发合一的光学天线,同时采用信标光和信号光两种光束,信标光相对于信号光发散角大、光束宽主要用于光路的对准,信号光主要用于通信。

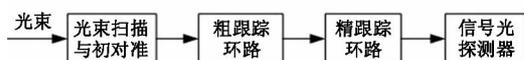


图2 ATP系统框图

3.1 光路初始对准

战斗机之间的通信属于点对点通信,通信开始前需要将激光天线视轴旋转到一个特点的区域,以便完成收发两机通信视轴初始对准,这个特定的区域称为捕获不确定区域。两个通信视轴能否旋转到这个不确定区域是能否实现通信的前提条件,不确定区域的大小是扫描时间的长短关键所在,也决定了一次通信所需时间。

3.1.1 激光通信天线视轴旋转角确定^[4]

两机在通信前通过某种手段获得对方的一些参数信息,诸如位置、速度、时间参数等,双方在严格时统条件下,经过各自的坐标转换矩阵求解出指向对方的方位角和俯仰角,通过控制各自的二维旋转台旋转相应的角度将通信视轴旋转到不确定区域,完成视轴的初始对准。旋转角度解算框图如图3所示。

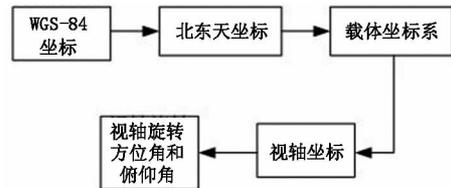


图3 旋转角度计算框图

假定经过坐标转换后即可得出飞机1机体坐标系下的对方坐标值 x, y, z ,利用3个坐标值可解算出方位角 α 、俯仰角 β ,公式如下:

$$\alpha = \arctan(x/y) \tag{1}$$

$$\beta = \arctan(z/\sqrt{x^2 + y^2}) \tag{2}$$

旋转方向符号规定:水平角:顺时针为正,逆时针为负;俯仰角:向上为正,向下为负。采用同样的方法可以确定飞机2视轴旋转的方位和俯仰角。

3.1.2 光束扫描不确定区域

在两通信方将光学天线旋转到不确定区域后,通信双方开始进行光束的捕获跟踪。采用信标光和信号光共轴方法,主要因素是信标光比信号光发散角大,利用捕获跟踪。两战斗机的光束捕获跟踪示意图如图4所示。

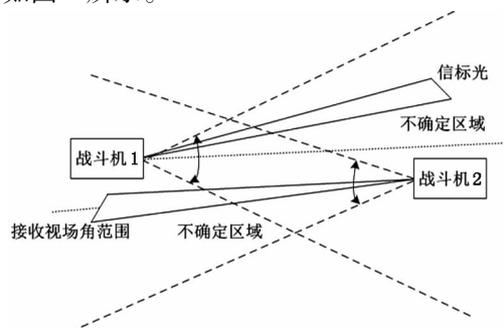


图4 扫描跟踪示意图

初始捕获时,首先由战斗机 1 发射信标光扫描其不确定区域,同时打开接收光路时刻准备接收战斗机 2 返回的信标光。这个过程中战斗机 1 的接收视场覆盖其信标光发散角,且信标光的主轴同接收视场主轴同轴。与此同时战斗机 2 也在其初始捕获视场范围内通过控制伺服机构进行搜索扫描,以接收战斗机 1 发射的信标光。

战斗机 1 在捕获阶段采用开环扫描方式进行信标光光束扫描,通过控制光偏转伺服系统实现全方位光束扫描,扫描采用矩形螺旋扫描方式^[5],同时要求战斗机 2 在每一个搜索方向停留的时间应大于战斗机 1 扫描整个不确定区域一次的时间。

3.2 光路粗对准

在经过光束初始对准后,CCD 探测器^[6]开始探测到光束,由于 CCD 精度的限制,这个过程属于粗对准,具体的粗跟踪环路如图 5 所示。

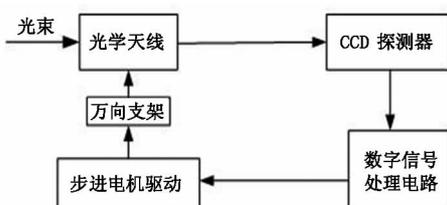


图 5 粗跟踪环路

原理为:当激光通信双方完成光束扫描以后,光学天线对信标光和信号光的合束光进行接收,经过分光镜后,一部分光照射到 CCD 探测器上形成光斑。CCD 探测器上的成像经由数字信号处理电路以特定的算法计算出光斑质心位置偏离探测器中心位置的大小,发出相应的纠正信号给步进电机驱动电路,由驱动电路控制万向支架传动装置上的步进电机,由此对光学天线的接收视场进行调整,引导天线视轴与接收光束到达方向一致。

3.3 光路精对准

经过 CCD 粗跟踪系统调整光路后,光束照射到更高探测精度的四象限探测器(QD)进行探测跟踪。经过 QD 探测器控制调整光路对准后,即可认为光路完全对准,通信双方可以进行信号光传输进行通信。精跟踪控制框图如图 6 所示。

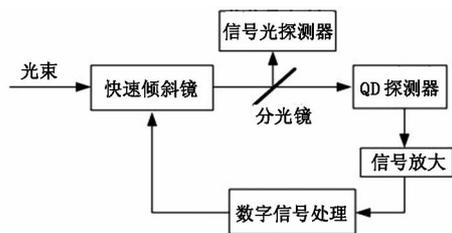


图 6 精跟踪环路

原理为:信标光在粗跟踪环路调整后,进入精跟踪回路,光束打在 QD 探测器上,而后由数字电路提供光斑中心与探测器中心的偏差信息^[7]以此控制快速倾斜镜,从而实现光束偏转,将光斑稳定在 QD 探测器中心,完成光束的精跟踪。

本节采用三级对准方式,光束的对准精度逐步递增,在完成 QD 探测器调整光路后,通信双方的激光光路完成了对准,为下一步的通信奠定了坚实基础。激光猝发通信的一次通信时间是由光束在 QD 探测中的持续时间来确定的。如果通信中断,继续采用这种方式进行光束对准,直至完成通信。

4 激光猝发通信仿真协议设计

4.1 系统工作机制设计

双机激光猝发通信采取半双工方式来避免信号之间的相互干扰。利用任务计算机中的软件程序来确保发送时不接受,接收时不发送。对于双机之间的激光猝发通信,为了使数据能在光束对准时间内将数据尽可能多的发送,采用接收机发送信号触发的方式,发射端在接收到触发信号时立刻往接收机高速发送存储压缩的数据。

由于采用猝发方式进行数据传输,传感器探测到的信息存放在任务计算机中,当战斗机 1 和战斗机 2 互相搜索后并建立良好光路的基础上将数据传输给接收机。当一次通信未能将有关信息发送完毕,采用断点续传方法在下次通信时根据接收机响应的信号确定上次断点位置,继续发送断点后的信息。

4.2 光信道编码设计

光通信系统通常为强度调制/直接检测(IM/DD)系统,应用于该系统的调制方式有很多种,其中最一般的形式是 OOK(On Off Key)和曼彻斯特编码^[8]。在 OOK 编码中,每一比特时间内光脉冲处于开或关的状态,如图 7(a)所示,每个“1”比特编码为一个光脉冲,而每个“0”比特则以一个关闭比特进行编码,它是属于非归零码(NRZ)。而在曼彻斯特编码中,如图 7(b)所示,“1”比特是在前半比特间隔内发送脉冲,而“0”比特则是在后半间隔内发送脉冲,它是属于归零码(RZ)。

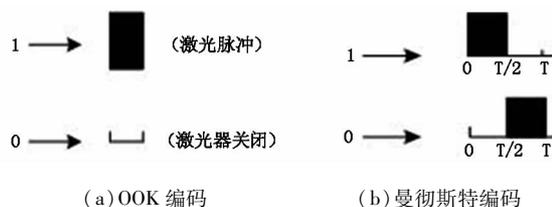


图 7 编码格式

从这两种编码方式的比较可得出 OOK 编码比曼彻斯特编码需求的带宽更宽,在功率的利用方面曼彻斯特编码大于 OOK 编码。在激光猝发通信中,我们采用曼彻斯特方法对信息进行编码。

4.3 激光猝发通信数据帧结构

对于猝发通信,信息是以帧作为基本单元进行传输,每帧数据的有效传输时间非常短,这就要求传输的数据结构应高效、完整地传输信息,并有相应的干扰应对机制。每次猝发传输的数据帧包括前导码、数据帧和结束码,结构如图 8 所示。在通信过程中,战斗机 1 将需要传输的信息按照图 8 的帧结构形式进行编码瞬间发送,战斗机 2 按照协议从帧信号中提取数据。

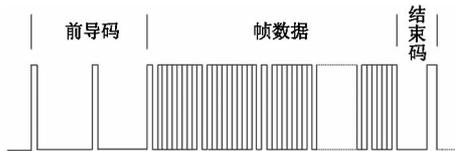


图 8 帧结构示意图

5 猝发通信 OptiSystem 软件仿真

OptiSystem 是 OPTIWAVE 公司开发的一款光通信仿真软件,功能强大,提供了相当丰富的光通信器件模块,具有强大的功能和高度的灵活性。全面的图形用户界面控制光子器件的设计、器件模型和演示,用户可以根据自己的需要改变器件的参数,完成仿真要求。为了对激光猝发通信进行模拟,本文采用 OptiSystem 提供的器件搭建了系统仿真框图,如图 9 所示。

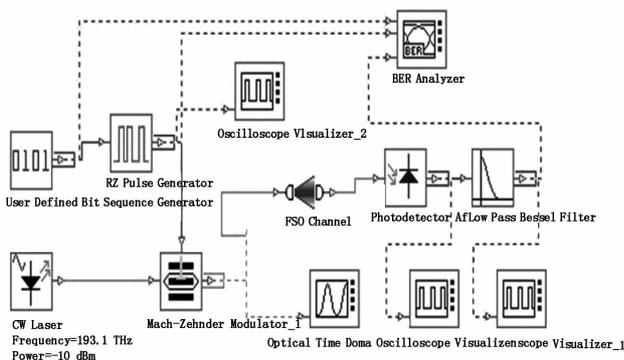


图 9 激光猝发通信系统仿真图

系统由以下几个模块组成:基带信号发生模块,归零码电脉冲发生器,连续光激光器,马赫曾德尔调制器,自由空间光通信信道模块,APD 型光电探测器,低通贝塞尔滤波器,示波器,光时域观察仪,误码率分析仪。

由于猝发通信中信号以帧为单位进行传输,通信设计每帧为 64 bit,每 8 bit 为一基本信息单元,即

前 24 bit 为前导码、中间 32 bit 为帧数据、后 8 bit 为结束码。仿真系统的工作过程如下:图 9 中基带信号发生模块为用户自定义二进制序列发生器,它将数据流发送到归零码电脉冲发生器,再连接到马赫曾德尔调制器,对连续激光器进行调制,这个过程相当于对信号进行 RZ 编码调制发送。调制后的信号再经大气信道模块传输,在接收端,经过 APD 探测器后,再经过信号处理之后即可恢复原始基带信号,完成一帧猝发通信模拟仿真。

图 10 ~ 图 13 为各测量仪器显示的结果,它们分别是归零调制后的发送信号、APD 探测器探测到的信号,经过低通贝塞尔滤波器后的信号和误码率图。

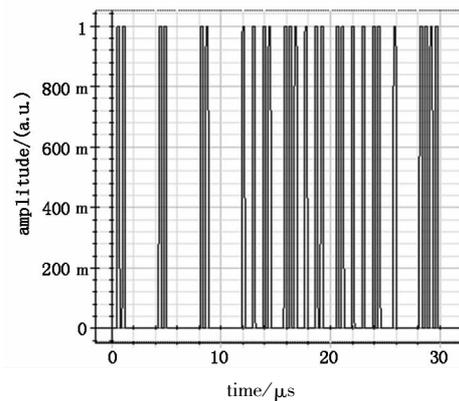


图 10 调制后的发射端光信号波形

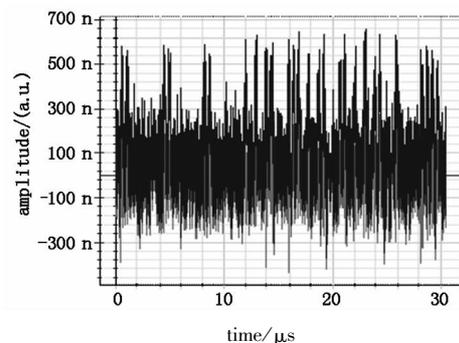


图 11 APD 探测器探测波形图

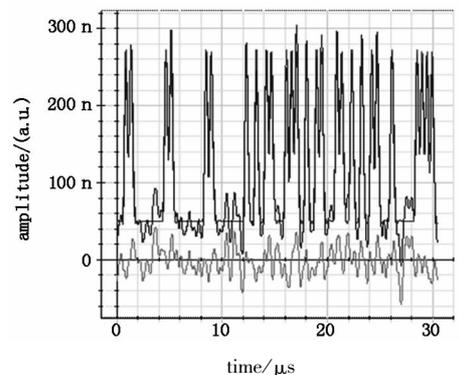


图 12 滤波后的波形

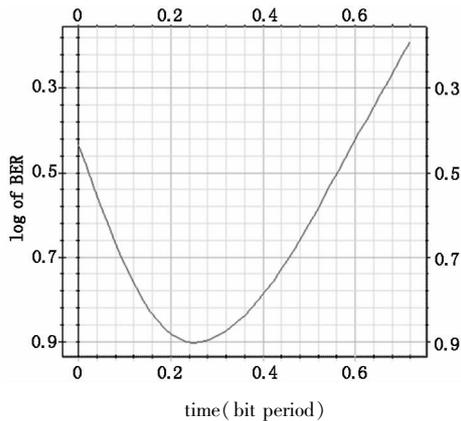


图13 最小误码率波形图

此次仿真速率设定 2 Mb/s, 通信距离为 2 km, 每公里衰减 5 dBm。从图 10 可知一帧信号的传输时间为 $30.5 \mu\text{s}$, 探测器接收到的信号噪声较大, 必须对它进行信号处理, 采用低通贝塞尔滤波器进行滤波处理, 输出信号与基带信号的最小误码率为 9.6×10^{-10} , 它能够满足通信要求。所以采用激光猝发方式可以进行正常通信。

6 结束语

本文通过对机载特点的分析, 探寻了一种新的机载通信方式, 为了验证这种方法的可行性, 用 Opti System 软件对它进行仿真, 仿真结果显示, 猝发通信方式可以很好地满足通信要求。采用通过这种方式, 能够实现双机之间的激光通信, 使激光通信的优势能在战场上充分地发挥。这个方法可以作为一种理论参考, 如果要进行工程化的实际应用很需要做大量的工作才能完成。

参考文献:

- [1] Liu Peiguo, Mao Junjie. The basis of the electromagnetic environment [M]. Xi'an: Xidian University Press, 2010: 1-23. (in Chinese)
刘陪国, 毛钧杰. 电磁环境基础 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2010: 1-23.
- [2] Jiang Huilin, Liu Zhigang, Tong Shoufeng, et al. Analysis for the environmental adaptation and key technologies of airborne laser communication system [J]. Infrared and Laser Engineering, 2007, 36 (Supplement): 299-302. (in Chinese)
姜会林, 刘志刚, 佟首峰, 等. 机载激光通信环境适应性及其关键技术分析 [J]. 红外与激光工程, 2007, 36 (增刊): 299-302.
- [3] Li Shunxin, Ding Sheng, Chen Jianxun. Design of multi-thread transfer and broken-point continuingly-transferring in data backup system [J]. Microcomputer Development, 2004, 14 (10): 110-113. (in Chinese)
李顺新, 丁胜, 陈建勋. 数据备份系统中多线程传输和断点续传的设计 [J]. 微机发展, 2004, 14 (10): 110-113.
- [4] Zhao Xin, Wang Shifeng, Tong Shoufeng, et al. Initial alignment of antenna for laser communication system between aircraft and ground station [J]. Optics and Precision Engineering, 2008, 16 (7): 1190-1195. (in Chinese)
赵鑫, 王世峰, 佟首峰, 等. 飞机-地面间激光通信天线的初始对准 [J]. 光学精密工程, 2008, 16 (7): 1190-1195.
- [5] Qi Qiuju. Tracking precision detection research on airborne laser transceiver [D]. Changchun: Changchun University of Science and Technology, 2009. (in Chinese)
齐秋菊. 机载光端机跟踪精度检测方法研究 [D]. 长春: 长春理工大学, 2009.
- [6] Hu Linting, Lu Xiankui, Jin Junkun, et al. Laser facula measurement with CCD [J]. Laser Technology, 2001, 25 (2): 154-157. (in Chinese)
胡林亭, 卢显葵, 金俊坤, 等. CCD 测量激光光斑方法研究 [J]. 激光技术, 2001, 25 (2): 154-157.
- [7] Chen Yong, Zhu Tianrui, Li Huangong. Analysis and improvement in angle-measurement algorithm of the four-quadrant detector [J]. Laser & Infrared, 2009, 39 (6): 669-672. (in Chinese)
陈勇, 祝天瑞, 李焕功. 四象限探测器测角算法分析与改进 [J]. 激光与红外, 2009, 39 (6): 669-672.
- [8] Pan Jimin. The research of signal processing technology about wireless optical communication [D]. Yanshan: Yanshan University, 2004. (in Chinese)
潘继敏. 无线光通信中信号处理技术研究 [D]. 燕山: 燕山大学, 2004.