

光纤延迟线长度编码优化设计

杨韞华¹,曾钦勇^{2,3},吕炳朝¹,万勇^{2,3},陈蔚³,黄涌³

(1.电子科技大学自动化工程学院,四川成都 610054;2.电子科技大学光电信息学院,
四川成都 610054;3.西南技术物理研究所,四川成都 610041)

摘要:在光纤延迟测向激光告警系统中,光纤延迟线是用来连接光学接收系统和光电转换系统的,起到传输光、延迟光、对光信号进行编码的作用。由于光纤延迟线的长度不同,光学窗口接收到的激光脉冲产生不同的时间延迟,从而实现激光方位信息到时间信息的转变。光纤延迟线的长度对激光告警器的体积、光学损耗、虚警率等因素有着直接的影响,在此利用激光脉冲的相关特性,通过最优化理论对光纤延迟线进行排列组合,提出了光纤延迟线长度编码的优化设计方法,通过对相关理论的分析与计算,得到了一个全向矩阵的排列方式,从而得出了相应的排列原则。按照该原则对光纤延迟线进行排列组合,从理论上得到了最优的光纤延迟线总长度值,为激光测向告警器的优化设计提供了重要的理论依据。

关键词:光纤延迟线; 矩阵; 光学窗口; 激光告警; 最优化设计

中图分类号:TN762 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-2276(2005)04-0438-04

Optimization design of the length encoder of optical fiber delay lines

YANG Yun-hua¹, ZENG Qin-yong^{2,3}, LV Bing-chao¹, WAN Yong^{2,3}, CHEN Wei³, HUANG Yong³

(1.School of Automation Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China;
2.School of Optoelectronic Information, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China;
3.Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu 610041, China)

Abstract:In the optical fiber delay directional detection laser warning system, the optical fiber delay lines are used to connect optical incept system with photoelectric conversion system, which plays roles of transmitting the laser, delaying the optical signals and encoding the optical signals simultaneously. Because the length of optical fiber delay lines is different, the laser pulse received by the optical windows will produce different time delay. Thus the transition of the laser azimuth information to the time information is realized. Because the length of optical fiber delay lines has direct effects on the volume of laser warning system, the optical loss, the false alarm ratio and the optical fiber delay lines are permuted and combined based on the property of the laser pulse and the optimization theory. The optimal design ways of the length of optical fiber delay lines coding are brought forward, and the correlation theory is used for

收稿日期:2004-09-27; 修订日期:2004-10-10

作者简介:杨韞华(1975-),男,云南昆明人,硕士生,研究方向是模式识别与智能系统。

analysis and calculation. Arranging mode of full direction matrix is attained, and accordingly the relevant arranging principle is deduced. According to the principal the permutation and combination are put up to the optical fiber delay lines. Accordingly the optimization of the total length of the optical fiber delay lines is obtained in theory, which provides the important theoretical argument for the optimization design of laser directional detection warning system.

Key words: Optical fiber delay lines; Matrix; Optical window; Laser warning; Optimization design

0 引 言

激光告警技术是一种用于截获、测量、识别敌方激光威胁信号并实时告警的光电侦察技术,它是现代电子战的重要组成部分。激光测向告警设备通常由激光接收系统、光纤延迟线、光电传感器、信号处理器、显示与告警装置等部分组成,用于测量敌方激光辐射源的方向、波长、脉冲重复频率等技术参数^[1-7]。

在利用光纤延迟线进行测向的激光告警系统中,如何能够最大限度地减少光纤延迟线总长度,降低光学损耗,减小告警设备体积,是系统实际研究中必须解决的问题。本文通过利用激光脉冲的特性^[8],并采用数学最优化理论来解决光纤延迟线的长度编码优化问题,对光纤延迟线编码的排列组合研究提供了重要的参考。

1 单层光纤延迟线排列原则

在此先讨论激光告警器单层上(也就是在一个圆周上)光学窗口的情况。首先假设有三个重叠的光学窗口能够同时接收到激光信号,包括中心传感器在内,将同时在示波器上显示四个脉冲波形^[9,10],在本文假设的告警系统中,有且只有两个或三个光学窗口可以同时接收到激光信号,那么这些相隔距离大于两个的光学窗口,如第四个和第一个,与它们相连接的光纤延迟线长度仅仅相差一个信号处理电路所能分辨出的最小距离即可,因为它们是不可能同时接收到激光信号的。设这个最小距离为 a ,那么光纤延迟线总长度就可以表示为:

$$\sum_{i=1}^n l_i = l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n \quad (1)$$

式中 l_i 为与第 i 个光学窗口相连接的光纤延迟线长

度; n 为光学窗口个数。

1.1 行矩阵的计算

为了得到光纤延迟线总长度的最小值,应先考虑其上单层所有光学窗口的排列组合问题,可以假设与一号光学窗口相连接的光纤延迟线 l_1 的长度为:

$$l_1 = \Delta l_{\min} = d \quad (2)$$

式中 Δl_{\min} 为相邻两光纤延迟线长度之差的最小值。与第二、三、四号光学窗口相连接的光纤延迟线的长度至少应为 $2d, 3d, 4d$; 通过计算及排列组合得到一个行矩阵 A , 如公式(3)所示。

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 2 & 2 \\ 0 & 2 & 2 & 3 \\ 0 & 3 & 3 & 3 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \\ 2 & 2 & 4 & 4 \\ 1 & 3 & 4 & 5 \\ 0 & 4 & 4 & 6 \\ 2 & 3 & 5 & 5 \\ 1 & 4 & 5 & 6 \\ 0 & 5 & 6 & 6 \\ 1 & 5 & 5 & 7 \\ 3 & 3 & 6 & 7 \\ 2 & 4 & 7 & 7 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{pmatrix} \quad (3)$$

公式(3)为 a 的系数矩阵, a 是信号处理电路所能分辨出的最小距离。第一列代表延迟线长度为 $d+na$,第二列代表 $2d+na$,第三列代表 $3d+na$,第四列代表 $4d+na$,“ n ”为系数矩阵 A 代表的值;元素的个数为光学窗口的数目。

1.2 行矩阵排列原则

该行矩阵是以最优化的思想进行数值排列的,其具体排列原则为:

(1) 矩阵中所有元素按从左至右、从上至下的顺序编号(即 1,2,……,n);因为所有元素排列在圆周之上,所以最后一个元素应与第一个元素相邻;

(2) 在任意相邻的两列中,任意一行中同两列的两个数的组合不能重复出现,且要保证同一行中后一列的数值大于等于前一列的数值;

(3) 要尽可能多地利用 d 作为连接光学窗口的光纤延迟线的长度;

(4) 每个元素都要在满足上述条件下尽可能地选取最小的值,以保证所有元素值的总和达到最小。

2 两种情况的行矩阵排列

为了得到最优的结果,将此问题分为两种情况分析:(1) 光学窗口的数量为 4 的整数倍;(2) 光学窗口的数量为 2 的整数倍且不是 4 的整数倍。

2.1 第一种情况的排列

根据上述行矩阵排列原则及公式(3)可得第一种情况下各延迟线的长度为:

$$\begin{array}{cccc} d, & 2d, & 3d, & 4d, \\ d, & 2d+a, & 3d+a, & 4d+a, \\ d+a, & 2d+a, & 3d+2a, & 4d+2a, \\ d, & 2d+2a, & 3d+2a, & 4d+3a, \\ d, & 2d+3a, & 3d+3a, & 4d+3a, \\ \dots & & & \end{array} \quad (4)$$

由上述排列方式可以得到其和的通项式为:

$$\sum_{i=1}^n l_i = \frac{5n}{2}d + \left(\sum_{i=1}^{n/4} \sum_{j=1}^4 A_{i,j} \right) a \quad (5)$$

式中 n 为光学窗口数目,为 4 的整数倍。

2.2 第二种情况的排列

同理,在第二种情况下其排列方式如公式(6)所示:

$$\begin{array}{cccc} d, & 2d, & 3d, & 4d, \\ d, & 2d+a, & 3d+a, & 4d+a, \\ d+a, & 2d+a, & 3d+2a, & 4d+2a, \\ d, & 2d+2a, & 3d+2a, & 4d+3a, \end{array}$$

$$\begin{array}{cccc} 2d, & 3d+a, & d, & 2d, \\ \dots & & & \end{array} \quad (6)$$

上述排列公式(6)假设为 18 个光学窗口, $18 \div 4 = 4 \dots 2$, 所以前四行与排列公式(4)相同,也就是最优的组合,而第五行只有前两个元素是所有光学窗口中剩下的最后两个光学窗口,此时假设光学窗口均匀排列在圆周上,则后两个元素将重复第一行的元素,如此循环排列。考虑到已知条件及最优化的思想,可以将其排列为如公式(6)所示;同理,其最后两个元素的选取也适用于任意光学窗口数目为 2 的整数倍,且不是 4 的整数倍的情况(其中光学窗口数目必须大于等于 10),即第二种情况;则其和的通项式为:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n l_i &= \frac{5(n-2)}{2}d + \left(\sum_{i=1}^{(n-2)/4} \sum_{j=1}^4 A_{i,j} \right) a + 5d + a = \\ & \frac{5n}{2}d + \left(\sum_{i=1}^{(n-2)/4} \sum_{j=1}^4 A_{i,j} + 1 \right) a \end{aligned} \quad (7)$$

式中 n 为光学窗口数目,为 2 的整数倍(不是 4 的整数倍)。

以上得出的公式(5)及公式(7)适用于光学窗口个数较多的情况,如果不用此方案,随着光学窗口数目的增加,光纤延迟线的长度会成倍增加,这将带来巨大的损耗,同时也将影响到测量的准确度。而采用此方案后,光纤延迟线的长度将只能以最小的方式增加,可以大大提高测量的精确度,降低成本。

2.3 行矩阵排列的问题分析

可能会发现这样两个问题:

(1) 把 A 矩阵排列为四列的行矩阵,而不是其他的列数。因为本文所讨论的激光测向告警系统,在侦察激光入射方位信息时,有且只有两个或三个光学窗口可以同时接收到激光信号,那么就首先要考虑最多光学窗口(即三个光学窗口)同时接收到激光信号的情况,此时行矩阵至少要排三列,则第四个元素 A_{21} (也就是第二行的第一个元素)所代表的延迟线长度就应为 d 或 $d+na$;同理第五个元素 A_{22} 所代表的延迟线长度就应为 $2d$ 或 $2d+na$;由于光学窗口是依次排列在圆周上,那么 A_{13} 和 A_{21} 以及 A_{22} 就可以组成三个能同时接收到激光信号的光学窗口,此时发现它们在满足设计要求的前提下,必然会和前三个元素的组合

重复,就不能满足上述所需要的排列条件,无法达到区分光学窗口的目的。但是如果排成四列矩阵时,如上所述,则能够满足设计要求,符合最优排列。

(2) 不用公式(5)代替公式(7),因为如果光学窗口数目是4的整数倍,肯定也是2的整数倍;但是由于单层光学窗口是按圆周均匀分布排列的,所以该矩阵如果表示的是光学窗口数目为4的整数倍时,可以按照上述四列矩阵排列,但是如果表示的是光学窗口数目为2的整数倍时,上述矩阵的最后一行的后两个元素就将排列为该矩阵的第一行的前两个元素,这时就不会满足上述矩阵的排列原则,就不可能是最优的情况,如公式(4)及公式(6)所示;所以将其分成两种情况来讨论是符合最优设计思想的。

3 光纤延迟线全向矩阵计算排列原则

上面所求的是只侦察激光入射方位角的信息时,所要使用的光纤延迟线的总长度最小值;为了便于排列与计算,将其排列为一个行矩阵的形式,实际上它代表的是一行(单层)上的所有元素;而激光测向告警系统还要侦察相关的俯仰角信息,这就要求同时还要考虑列矩阵(就是告警系统上光学窗口的层数)的排列方式,设此列矩阵为 B ,则列矩阵 B 的排列原则应与行矩阵 A 的排列原则相同。

这样激光告警探测头部的光学窗口就应排列成一个 $N \times M$ 阶矩阵 C ,其中 N 代表光学窗口的行数,也就是层数(列矩阵 B); M 代表列数,即一行中光学窗口的个数(行矩阵 A)。此时在矩阵 C 中能同时接收到入射激光信号的光学窗口数目就应至少为三个,最多为五个。矩阵 C 的排列要考虑到行矩阵 A 和列矩阵 B 的组合方式,其原则在行矩阵和列矩阵的排列原则基础上增加了以下两条:

(1) 当有三个元素(光学窗口)能同时接收到激光信号时,如图1(a)所示。任意固定一个元素后,与这个元素相邻的列向量的组合不能和与这个元素相邻的行向量的组合相同;且两两之间至少要相差一个最小的 d 值;

(2) 当有五个元素(光学窗口)能同时接收到激光信号时,如图1(b)所示。任意固定一个元素后,与这个元素相邻的四个元素的组合不能相同,且两两之

间至少要相差一个最小的 d 值。

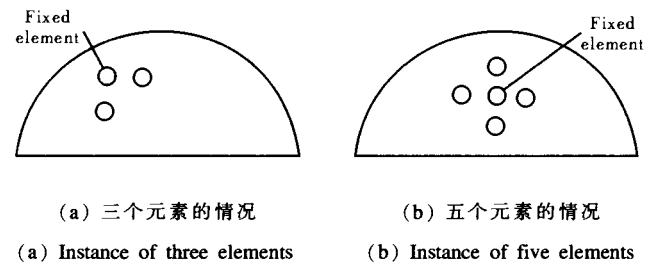


图1 光学窗口接收激光信号的两种情况

Fig.1 Two instances which optical windows receive the laser signals

由上述条件可知,应给矩阵 C 中的第二行每一个元素加上一个 d 值,第三行每一个元素加 $2d$;第四行每一个元素加 $3d$;第五行重复第一行的排列,后面行依次类推,即可满足上述条件。

这样在激光告警系统中,由矩阵 C 中所有元素相加求出的和即可得到一个最优的光纤延迟线总长度的值。此时告警系统既能计算出入射方位角,也可以相应地解算出激光的入射俯仰角,真正达到一个全向的激光告警装置。

4 结论

通过上述理论分析与计算,得到了一个全向矩阵的排列方式,并得出了相关的排列原则,按照该原则对光纤延迟线进行排列组合,能够计算得到一个最优的光纤延迟线总长度值,对光纤延迟测向告警器的进一步发展起到了积极的促进作用。

参考文献:

- [1] GE Qiang-sheng, GONG Chi-kun. Research of vehicular laser passive reconnaissance warning system[J]. Infrared and Laser Engineering(葛强胜,龚赤坤.车载激光侦察告警系统的研究.红外与激光工程), 2003,32(3): 248-250.
- [2] ZHANG Jie. Component and working principle of laser warning device[J]. Aerospace Electronic Warfare(张洁.激光告警设备的组成和工作原理.航天电子对抗), 2002,(2): 42-46.
- [3] YANG Zai-fu, QIAN Huan-wen, GAO Guang-huang. Development of laser warning technology[J]. Laser Technology(杨在富,钱焕文,

(下转第449页)

(3) In measuring the depths of defects, if defect diameter is larger than 6 mm, measurement error is usually small. Otherwise, measurement error is big and even the defect can not be detected.

References:

- [1] Chris H, Damian K J, Jim M. Quantitative measurement of thermal parameters over large areas using pulse video thermography [A]. SPIE[C]. 1991, 1467: 263-277.
- [2] Lau S K, Almond D P, Tang S K. Quantitative analysis of pulse video thermography [J]. NDT and E International, 1991, 24: 195-202.
- [3] Walle G. Impuls-video-thermographie [J]. Material Prüfung, 1998, 36(3): 86-88.
- [4] Avdelidis N P, Almond D P. Through skin sensing assessment of aircraft structures using pulsed thermography [J]. NDT and E International, 2004, 37: 353-359.
- [5] ZONG Ming-cheng, DING Tie-ying, XUE Shu-wen. Quantitative detection of subsurface defects by pulse-heating infrared thermography [A]. Proceedings of SPIE[C]. 1998, 3558: 402-406.
- [6] Jean-Claude Krapez, Spagnolo Leonardo, Friess Martin, et al. Measurement of in-plane diffusivity in non-homogeneous slabs by applying flash thermography [J]. International Journal of Thermal Sciences, 2004, 43: 967-977.
- [7] Sakagami Takahide, Kubo Shiro. Applications of pulse heating thermography and lock-in thermography to quantitative nondestructive evaluations [J]. Infrared Physics and Technology, 2002, 43: 211-218.
- [8] XUE Shu-wen, ZONG Ming-cheng. Infrared detection of defect in nylon materials [J]. Infrared Technology (薛书文, 宗明成. 尼龙材料内部缺陷的红外热成像无损检测. 红外技术), 1997, 19(5): 41-44.
- [9] 高光煌. 激光告警技术发展现状. 激光技术, 2004, 28(1): 98-102.
- [4] WANG Xi-yan, ZHANG Jie. Development and status of laser warning device [J]. Information Command Control System & Simulation Technology (王喜焱, 张洁. 激光告警设备的发展过程及现状. 情报指挥控制系统与仿真技术), 2002, 24(6): 22-30.
- [5] LI Zhen-guo, ZHAO Xun-jie. Review of laser countermeasure technology and equipment [J]. Optical-Electronic Countermeasure and Passive Disturbance (李振国, 赵勋杰. 激光对抗技术与装备概述. 光电对抗与无源干扰), 1999, 4: 11-13.
- [6] FU Wei. Several advanced technologies of laser warning [J]. Electronic-optics System (付伟. 激光告警中的几种先进技术. 电光系统), 2000, 1: 5-10.
- [7] FU Wei. Laser warning system using optical fiber front end technology [J]. Infrared & Laser Technology (付伟. 光纤前端的激光告警系统. 红外与激光技术), 1995, 24(2): 17-23.
- [8] WANG Shi-fan, ZHU Zi-qiang. Modern Optical Principle [M]. Chengdu: Press of University of Electronic Science Technology of China (王仕璠, 朱自强. 现代光学原理. 成都: 电子科技大学出版社), 1998.
- [9] Halldorsson T, Thorsteinn M, Manhart S, et al. Laser Detection Device. United States Patent: 4674874, 1987-06-23.
- [10] FU Wei. Technical analysis of the laser alarming system made in German MBB Co. [J]. Infrared and Laser Engineering (付伟. 对德国 MBB 公司激光告警系统的技术分析. 红外与激光工程), 1996, 25(1): 2-7.

(上接第 441 页)

《红外与光电系统手册》简介

《红外与光电系统手册》(内部资料)共八卷。主要内容:第一卷《红外辐射》、第二卷《辐射的大气传输》、第三卷《光电元器件》、第四卷《光电系统设计、分析和测试》、第五卷《被动光电系统》、第六卷《主动光电系统》、第七卷《光电对抗系统》、第八卷《新系统和技术》。有需求者请与本编辑部联系,电话:(022)23666400。