

基于光纤网络的空中靶标中靶检测系统设计

陈涛, 冷述振

(中国人民解放军 91851 部队, 辽宁 葫芦岛 125001)

摘要: 防空反导武器系统对空中靶标进行拦截时, 中靶测量精度是评价防空反导武器性能的一个重要参数; 针对防空武器的性能考核, 为了提高中靶测量精度, 获取空中靶标中靶信息, 设计开发了基于光纤网络的空中靶标中靶检测系统; 该系统通过探测布设在靶标表面上的传感光纤中光信号的状态来判断光纤的断裂状态, 并根据光纤的断裂数量及位置来判断防空武器的毁伤区域; 设计方案的软件仿真结果表明: 系统性能稳定、可靠; 研究成果对提高空中靶标的保障能力具有重要意义。

关键词: 光纤网络; 中靶检测; 设计方案; 空中靶标

Hitting Target Detecting System Design for Air Targets Based on Optical Grid

Chen Tao, Leng Shuzhen

(Unit 91851, Huludao 125001, China)

Abstract: When intercepting target bombs, the accuracy of target measurements is an important parameter to evaluate the performance of anti-aircraft anti-ballistic missile systems. In order to improve the accuracy of target measurements and acquire the information of aerial targets, a target detection system based on optical grid was designed and developed, which is very useful for the performance evaluations of air defense weapons. By detecting the state of the optical signal in the sensing optical fiber laid on the surface of the targets, the system judges the broken state of the optical fiber and analyzes the damage areas of the anti-aircraft weapons according to the number and position of the optical fiber breaks. The software simulation results showed that the system performance was stable and reliable. This research results have important significance for improving the protection capabilities of air targets.

Keywords: optical fiber network; hitting target detection; design scheme; air targets

0 引言

空中靶标在导弹或火炮攻击下的信息获取是评判防空武器性能的关键环节, 对于评定硬杀伤武器的解算瞄准精度^[1], 改进设计解算模型, 具有重要意义。传统的空中靶标检测方案主要有光学交会和震动分析法等^[2], 其中, 光学交会法通过高速摄像机拍摄空中靶标跟炮弹或导弹交会情况进行中靶判别^[2], 由于距离远, 光学分辨率不高, 许多情况下目标成像不清晰, 无法进行有效辨别; 震动分析法通过在弹体上加装振动传感器, 利用空中靶标被命中后的冲击频谱变化情况进行中靶分析, 该方法由于飞行过程中弹体本身震动等原因, 难以对靶命中后的震动谱进行有效分析识别。本文提出一种光纤网络的空中靶标中靶检测系统, 能较好获取空中靶标的中靶信息。

1 基本原理

基于光纤网络的空中靶标中靶检测系统, 采用在靶标表面沿经纬方向交错布设传感光纤, 通过探测传感光纤中光信号有无状态来判断光纤的断裂状态, 根据传感光纤的断裂数量及位置来判断防空武器的毁伤区域。其系统原理图如图 1 所示。

当靶标受到外部撞击后, 由最早撞击接触点开始扩散形成损伤区域, 位于该区域的光纤网络传感器将会损坏, 信息采集处理电路通过探测每一路传感光纤的光信号从有到无的变化, 确定对应传感光纤的通断状态^[3]。上位机利用经纬光纤交错区

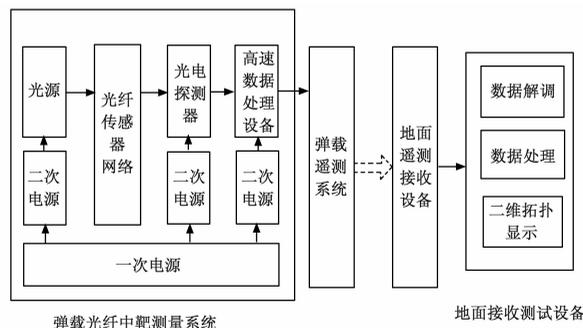


图 1 系统原理框图

域唯一的特性, 结合光纤网络传感器与靶目标的对应关系解析获得撞击后形成的弹孔区域坐标^[4], 并根据稳态下弹孔数量给出最终毁伤区域。

2 系统硬件设计

中靶检测系统硬件设计主要包括光纤传感网络设计、信息采集处理设备设计。

2.1 光纤传感网络设计

光纤传感网络的设计直接关系到中靶检测系统的检测精度, 其主要包括光纤的网络设计及光纤的布局设计^[5]。本方案综合考虑靶标尺寸及探测精度的需求, 在不影响检测精度的前提下, 采用了光纤串接方案, 对光纤网进行了设计。

2.1.1 光纤网络设计方案

1) 网络缠绕方案: 光纤网采用了一种“回字形”的光纤网络设计方案。将光纤网络传感系统中的三条直线传感光纤串

收稿日期: 2018-03-20; 修回日期: 2018-04-16。

作者简介: 陈涛(1980-), 男, 辽宁葫芦岛人, 硕士, 工程师, 主要从事武器系统设计与研究。

连合并为一组进行探测,采用这种方案网络复杂度较单根光纤大幅降低。

2) 网格密度:假设攻击靶标的破坏或炮弹尺寸为 Φ ,在光纤布设过程中需要保证炮弹可以击中光纤,考虑到炮弹或弹片击中靶标后的碎片云效应,实际弹孔孔径约为炮弹或弹片尺寸的 1.2 倍。因此综合考虑测量精度与系统复杂度的要求,设定光纤网格间距为 $d=1.2\Phi$ 。

2.1.2 光纤布设方案

光纤布设方式如图 2 所示,将光纤沿经纬方向嵌入到靶标内壁隔热层中,考虑到靶标内部结构较为复杂的情况,实行分区布纤的方式,不同区域之间的各路传感光纤通过光纤连接器实现连通。

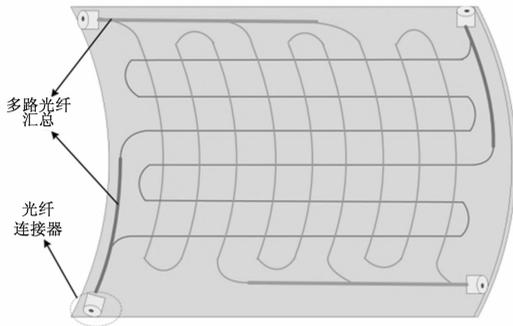


图 2 光纤布设示意图

各个舱段的传感光纤实行单独布设的原则。不同舱段间的传感光纤通过多芯光纤连接器进行续接。多芯光纤连接器可以实现多路光纤的集成连接,有利于系统小型化的需求。

2.1.3 检测误差分析

对于光纤网格传感系统而言,撞击光纤网格的位置主要分为两种:1) 撞击部位在经纬方向两根光纤的交叉范围内,如图 3 (a) 所示;2) 撞击部位在经度(纬度)方向相邻两根光纤之间,如图 3 (b) 所示。下面对这两种情况下的检测精度分别进行分析。

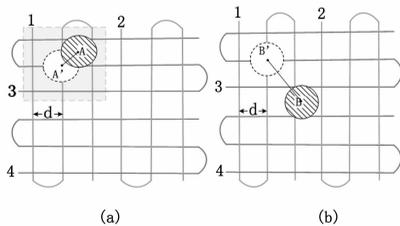


图 3 撞击部位示意图

1) 撞击部位在相交两根光纤之间:这种情况下,撞击部位位于单根经线和单根纬线的交叉范围之内(图 3 (a) 方形虚线内)。假设撞击部位在 A 点(图 3 (a) 阴影范围所示),经测量计算,认定撞击部位在 A' 点(图 3 (a) 圆形虚线范围所示),则此种情况下,对应的最大测量误差为网格对角线间距的一半,即 $\sqrt{2}d$ 。

2) 撞击部位在相邻两根光纤之间:这种情况如图 3 (b) 所示,假设撞击部位位于 B 点(图 3 (b) 阴影范围所示),经测量计算,认定撞击部位在 B' 点(图 3 (b) 圆形虚线范围所示),则此种情况下,对应的最大测量误差为 $\frac{3d}{\sqrt{2}}$ 。

从上述两种情况的分析可以看出,对于“回字形”的光纤网格传感方案,系统对炮击中靶的弹孔位置信息的检测精度与光纤网格间距有关,对应的系统最大检测误差为光纤网格对角线间距的 1.5 倍,即 $\frac{3d}{\sqrt{2}}$ 。

2.2 信息采集处理系统设计

信息采集处理系统示意图如图 4 所示,主要包含光源、二次电源、 $1\times N$ 光分路器、光电探测器、信息采集处理电路。二次电源作用是系统内部各设备提供相应的供电,光分路器作用是将光源发出的连续光分成 N 路,分别与各路传感光纤相连接。光电探测器通过探测光纤中光信号并将其转换为相应的电信号,信息采集处理电路可将光电探测器发送的电信号进行判决与处理。其中,光源、二次电源和光电探测器均可采用市场成品部件^[7]。

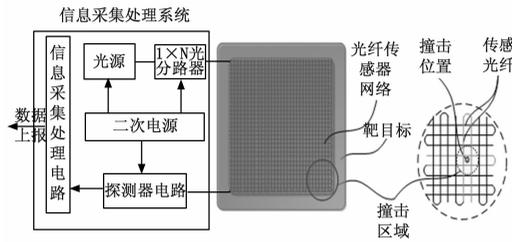


图 4 信息采集处理设备示意图

2.2.1 $1\times N$ 光分路器

选用二氧化硅波导作为 MMI 功分器的材料,可有效降低光功率损耗,且该类光功分器生产技术成熟。通过设定合适的参数,可确定 MMI 功分器折射率模型中的有效折射率 nc 为 1.44854,波导中心间距为 $19\mu\text{m}$,MMI 区的宽度为 $19\times 16=304\mu\text{m}$,干涉区长度 L 为 $5397.9\mu\text{m}$,上述参数确定后,在 BPM 仿真软件中进行计算,优化参数得到最佳的输出结果^[8]。图 5 是在 optiwaveBPM 软件中输入的器件模型。

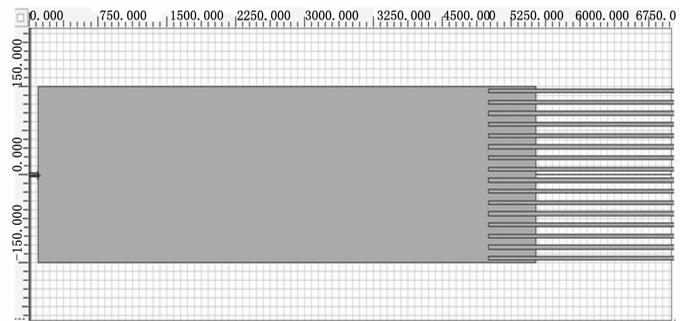


图 5 MMI 功分器器件模型

2.2.2 光电探测器电路设计

光电探测器电路用于对光电转换器件输出的微弱电压或电流信号进行放大、处理和整形输出。为应对数据采集的高速与准确需求,提出将 APD 与前置放大器电路配合使用的方法。利用光电转换信噪比数学模型,确定选择与 APD 匹配的电路器件,给出了前置放大器采用低噪声的分体器件与集成运算放大器相组合的设计方法。其电路图设计如图 6 所示。

2.2.3 信息采集处理电路设计

靶标中靶是一个瞬态过程,由光电探测器阵列采集的光信

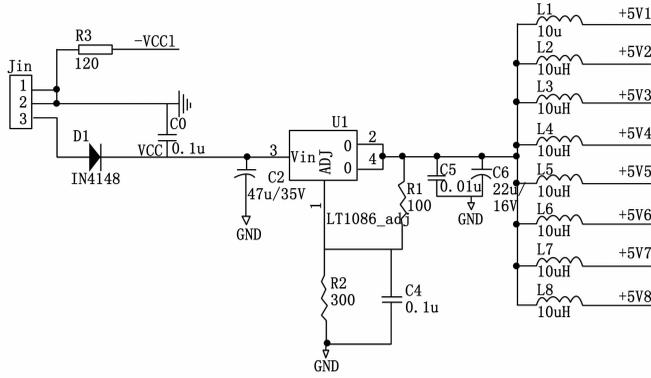


图 6 光电探测器设计电路图

号转换成电信号后, 传输至高速数据处理分系统进行高速判决、编码、组帧、封帧、发送等工作^[9]。该分系统划分为高速判决电路和信息处理电路。

1) 高速判决电路: 高速判决电路用于对光路通断进行判定, 高速判决电路采用一个高速比较器实现, 响应时间在 ns 量级。靶标中靶后, 相应撞击点的经纬度光纤会断裂。光纤原来是通光状态(为“1”), 断裂瞬间变为不通光(为“0”)。在不通光的这个瞬间需要光电探测器对其通断状态进行检测, 经后端放大电路处理后由高速比较器进行判决。判决依据取决于后端判决电路的门限, 而门限的值将根据无光状态和通光状态下对应的电压值来设定。

2) 信息采集处理电路: 信息采集处理电路是以单片机为核心的信号采集单元, 通过单片机模块, 负责光电探测器输出电信号的判断处理, 电信号经过电压比较器 LM339N 的比较, 将高低电平处理成“0”“1”信号, 传入单片机芯片 89C52 进行处理。该电路板主要功能是实现信息采集处理设备工作状态的采集和光纤传感网格中光纤通断信息的采集、编码、组帧、封帧及发送等工作。

3 软件设计及仿真

3.1 软件开发平台

根据系统仿真要求, 利用 VC++ 软件平台的 MFC 功能, 建立基于 VC++ 平台的仿真软件可视化系统, 可以更为直观的反映仿真实验结果。创建软件界面如图 7 所示。

3.2 仿真系统软件使用步骤

3.2.1 串口数据显示界面及功能语句

1) 串口数据经过 USB 转串口传入后台, 供后台程序处理。

2) 显示界面包括串口设置、通讯状态、故障情况定位界面。其中, 在故障定位界面, 设置了 8 行 8 列显示串口, 行列交叉节点显示该通路的情况。故障情况用三个符号表示, 行和列正常工作时, 所有节点全部显示“√”; 某一路有故障时, 该路经过的所有节点显示“×”; 行和列同时故障时在交叉节点显示“▲”;

3.2.2 使用步骤及界面显示效果

选择相应串口、波特率、数据位、校验位和停止位, 点击“打开串口”程序即可运行。其步骤。

- 1) 选择相应串口(这里选择的是 COM5)。
- 2) 选择波特率(本设计默认 9600)。
- 3) 数据位、校验位和停止位都为默认, 不需选择。



图 7 仿真软件界面

4) 点击“打开串口”程序即可运行。

3.3 仿真结果分析

根据所设计搭建的 16 光纤网信息高速采集系统, 进行了实验仿真, 通过激光器, 16 路分光器, 光纤探测网, 光电探测器, 数据采集和处理模块的集中连接, 实验仿真结果如图 8—11 所示。在信息处理仿真平台中, 选择相应串口, 9600 波特率后, 点击“打开串口”, 数据效果会在下图的界面显示。串口数据包括两部分, 行数据和列数据, 对行列数据进行逻辑处理, 实现三种效果显示。当行数据和列数据都为 1, 即两光纤通路是正常的, 我们在交叉节点用“√”显示; 当行数据和列数据都为 0, 即两光纤通路全断, 在交叉节点用“▲”显示; 当行数据和列数据有且只有一个为 0, 另一个为 1, 即有一路光纤是断路的, 把这路所有交叉点用“×”显示。

为仿真光纤传感网络受冲击后的损伤情况, 通过断开某几路经纬布置的光纤来进行模拟。将软件显示的光纤网格受损位置与实际结果相对比, 可发现由采集数据推演的中靶点位置与实际位置一致, 因此可通过该系统分析出弹丸对空中靶标的撞击位置坐标。

根据实际情况的状态分析, 我们模拟实验性的仿真了以下四种情况, 分别为: 所探测的区域状态完好, 这时 16 路光路信号显示正常, 如图 8 所示, 此时串口显示图均为正确符号√; 第二种情况为所探测的区域完全损毁, 相应的 16 路光信号全部中断, 如图 9 所示, 此时, 串口数据显示图均为符号▲; 第三种情况为所探测的区域由于某种原因, 只有一路光纤信号发生了损坏, 此时, 相应的 16 路光信号中剩余的 15 路信号正

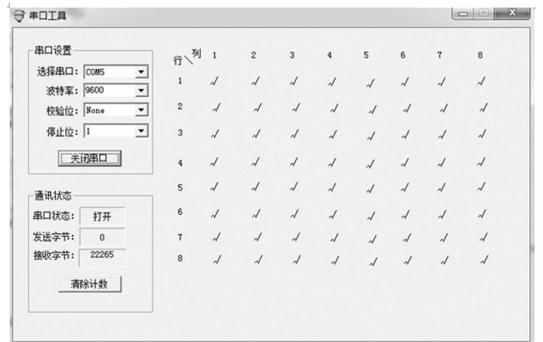


图 8 监测区域正常

常,此时,如图 10 所示,只有某一行信号显示为×,其余的信号显示均为√;第四种情况即为本检测系统所主要检测的状态,即当某一小特定范围内发生损坏,损坏点对应的某一行和相应的某一列的光路信号发生中断,16 路信号中其余 14 路信号正常,此时,应为如图 11 所示,实验仿真第四行和第三列对应的区域损毁,此时第四行和第三列除交叉点之外,其他的状态符号为×,交叉点状态为▲,我们根据如图所示的状态,从而可以反向判断第四行和第三列对应的区域发生损毁。

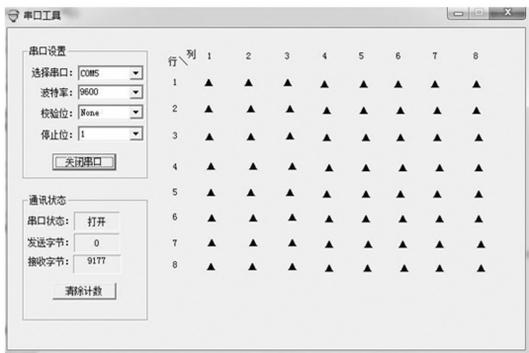


图 9 监测区域全部损毁

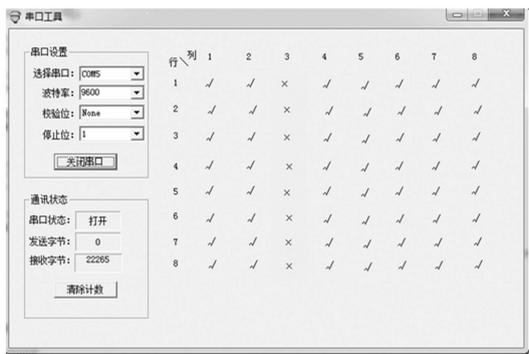


图 10 监测网某一路损毁

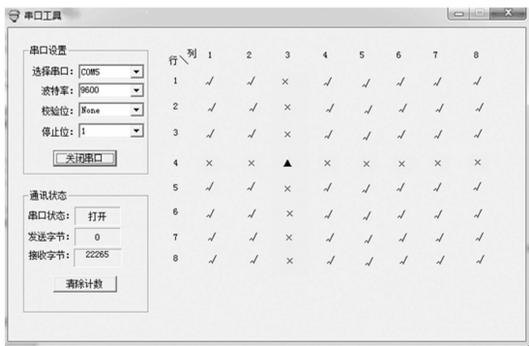


图 11 监测网特定区域损毁

根据以上 16 路光纤网信息高速采集系统仿真实验,我们模拟了 16 路情况下的特定区域的检测系统,实验表明,仿真系统可以及时,精确地完成预定的检测任务,同时将结果反馈给监控端,从而完成了系统的检测,此外,根据我们此前设计的各个分系统架构,此仿真检测系统可以轻易的从 16 路检测系统扩展到 200 路检测系统,乃至更多,从而完成我们所需要的检测计划和任务。

综上所述,通过对光纤网格损伤信息的及时准确判定,可识别高速弹丸破坏光纤网格的次序,即可探测传感光纤断裂的时间先后,可用于确定首次撞击部位以及损伤过程,且撞击精度较高,由传感光纤网格密度决定,目前可达厘米级。

4 结束语

本文通过空中靶标中靶检测的应用需求,提出了利用“光纤传感网格”的检测方案,以获取炮弹或导弹弹片击中靶标后对靶目标造成的穿孔、形变、中靶位置等信息。给出了光纤中靶检测系统的设计方法,并根据方案设计了实物模型。通过对实物模型的实验,验证了光纤中靶检测系统能够快速有效的判别靶标的中靶情况。本系统不仅能够满足防空武器试验鉴定的需要,丰富靶试信息获取途径,提高命中判别的可信度,为后续空中靶标供靶任务提供重要的试验参数,而且对防空武器性能考核结论具有重要参考作用。

参考文献:

[1] 关富玲. 一种可展开空靶的初步设计与研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2013.

[2] 刘奎永, 夏小华. 舰炮拦截靶弹试验的安全性分析 [J]. 指挥控制与仿真, 2012, 10 (5): 124-127.

[3] 卓宁. 靶场高精度脱靶量测量方案与仿真实现 [J]. 兵工自动化, 2014, 33 (3): 83-85.

[4] 胡宽, 郭风华, 常新龙. 光纤传感器在固体火箭发动机中应用的关键问题 [J]. 导弹与航天运载技术, 2011, 1 (311): 40-44.

[5] 石岩, 严东. 舰炮对空脱靶量测量声传感器阵设计 [J]. 国外电子测量技术, 2012, 31 (12): 32-35.

[6] 张扬, 张丽, 姚铸亮. 某型飞机显控设备通电老炼检测系统的设计与实现 [J]. 电子测量技术, 2016, 4 (39): 173-177.

[7] 许应康, 彭国金, 刘威. 飞行试验数据自检检测系统软件设计 [J]. 现代电子技术, 2015, 6 (38): 31-35.

[8] 安玉娇, 刘朝君, 井立. 基于某模型自由飞试验的测控与信息传输系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (2): 111-114.

[9] 安玉娇, 江辉军, 郑浩. 带动力模型自由飞试验测试系统设计与实现 [J]. 测控技术, 2015, 34 (6): 132-133.

[10] 杜江, 李森, 王天辉. 基于测试诊断一体化技术的雷达导引头技术支援系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (3): 775-777.

[11] 煤矿机械, 2011, 32 (5): 215-217.

(上接第 37 页)

[5] 李长有, 王文华. 基于 DHT11 温湿度测控系统设计 [J]. 机床与液压, 2013, 41 (13): 107-108.

[6] 孙宝元, 杨宝清. 传感器原理及其应用手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.

[7] 高翔. 基于无线通信的电力参数采集与处理系统 [D]. 广西: 广西大学, 2006.

[8] 张立勋, 李雪伟, 唐小景. STM32 与 LabVIEW 串行通信的设计

[9] 王显军. LabVIEW 对串口采样测量数据的处理 [J]. 电子测量技术, 2014 (3): 107-111.

[10] 李红刚, 张素萍. 基于单片机和 LabVIEW 的多路数据采集系统设计 [J]. 国外电子测量技术, 2014, 35 (6): 60-63.

[11] 岂兴明, 田京京, 朱洪岐. LabVIEW 入门与实战开发 100 例 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2014.

[12] 胡乾苗. LabVIEW 虚拟仪器设计与应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2016.