

# 枪弹激波实时监测系统的设计与应用

董高庆, 柳吉龄, 田新月, 宋学会

(中国人民解放军 63936 部队, 北京 102202)

**摘要:** 分析了高速飞行的枪弹产生的激波特性, 研究了测量枪弹激波的传感器性能要求, 设计了激波传感器驱动及后级信号调理电路, 建立了枪弹激波实时监测系统, 经实弹射击试验实现了枪弹激波的实时监测; 在此基础上进一步开展了基于枪弹激波测量的弹丸定位应用研究, 设计了四传感器的平面方阵结构阵列, 以及基于 CPLD 技术的多通道时差测试电路, 建立了弹丸定位数学模型, 利用 LabWindows/CVI 软件编程工具设计了上位机应用软件, 测得了高速飞行弹丸的空间位置坐标, 经和模拟靶标对比, 水平方向最大测试误差为 1.2 mm, 组平均误差为 0.27 mm; 高低方向最大误差为 1.9 mm, 组平均误差为 0.39 mm; 满足武器设计工程使用要求。

**关键词:** 枪弹; 激波; 传感器阵列; 被动式定位

## Design and Application of Bullet's Shock Wave Real-time Monitoring System

Dong Gaoqing, Liu Jiling, Tian Xinyue, Song Xuehui

(People's Liberation Army 63936 Troops, Beijing 102202, China)

**Abstract:** This paper analyzes the shock wave's characteristics of the high-speed flying bullets, researches the transducer's specification for testing the shock wave, and designs the signal conditioning circuit, and the bullet's shock wave real-time monitoring system is realized. On this basis, makes further application study on bullet's passive localization based on shock wave's measuring, designs the four-sensor array of plain square structure, and the pulse-time interval measurement circuit based on CPLD chip, builds and calculates the mathematical model of bullet's localization, designs the application software of the upper computer by LabWindows/CVI. and get the bullet's position coordinates. Comparing with the simulated target, the maximum measurement error in horizontal direction is 1.2 mm, the group mean error is 0.27 mm; the maximum measurement error in vertical direction is 1.9 mm, the group mean error is 0.39 mm. The measurement accuracy meets the weapon's design requirements.

**Keywords:** bullets; shock wave; sensor array; passive localization

## 0 引言

近年来, 在阿富汗、叙利亚等全球的敏感地域, 各种特种作战样式的战事频发, 以西方国家为主导的世界军事强国不断采用先进技术的武器装备, 在全球战场上越来越起主导作用, 其中侦察与反侦察尤为特出, 在轻武器领域如基于激光技术狙击手主动探测技术以及基于声探测技术的狙击手被动探测技术等。其中狙击手声探测系统就是利用声阵列传感器实时探测弹丸在空气中高速飞行时产生的激波, 通过数学建模与解算, 得到狙击手的隐匿位置, 进而给予有力还击<sup>[1]</sup>。在国外, 与其他原理的狙击手探测系统相比, 狙击手声探测系统是价格最低廉、测定最精确、使用广泛的狙击手探测系统。

另一方面, 在武器装备研制、使用阶段, 也还需要测试弹丸的空间射击位置, 以确定枪械的射击精度是否满足

设计和战术要求, 而利用弹丸激波实时探测技术就是一种实用的途径, 结合数字信号无线传输技术、虚拟仪器技术等, 能够实现高速飞行弹丸的全弹道射击精度、飞行速度等参数的自动测试<sup>[2]</sup>, 使系统结构紧凑, 仪器布设方便、迅速, 降低了使用要求, 克服了人为布设仪器带来的随机误差, 尤其解决了基于光电技术设计的各种天幕靶、精度靶等测试设备远距离难于防护的问题。更突出的优点还在于增加激波传感器的数量, 系统测试精度可以达到校验级, 可以用于对天幕精度靶、光幕精度靶等传统光学精度靶的校验。通过试验可知, 系统测试精度高, 性能稳定, 没有误报、漏报现象, 具有极大的推广应用价值。

## 1 枪弹激波实时测量

### 1.1 枪弹激波特性

根据空气动力学理论, 当弹丸以超音速速度在大气中飞行时, 便在弹丸的头尾部形成一激波<sup>[3]</sup>。其波阵面可近似为锥面飞行速度越大, 其弹丸尖部激波的角度(锥角)越小, 向弹道垂直方向扩散的速度越慢, 且扩散的速度受环境温度的影响, 温度越高, 扩散速度越快。实际拍摄的弹丸在空气中飞行时产生激波的图片如图 1 所示。

收稿日期: 2019-09-27; 修回日期: 2019-11-07。

基金项目: 军队自然科学基金项目(装陆[2012]500号)。

作者简介: 董高庆(1965-), 男, 江苏扬州人, 高级工程师, 主要从事常规武器试验与测试技术方向的研究。

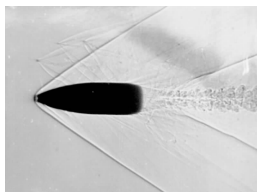


图 1 弹丸激波实拍图

在弹道线附近设置激波测量传感器，当弹丸激波扫过传感器时，传感器周围的空气压力会迅速由静态压力变成超压状态，然后又迅速变成负压、由负压回归静态压力状态。由于由传感器探测到的激波波形类似 N 形状，俗称“N 波形”，示意图如图 2 所示。

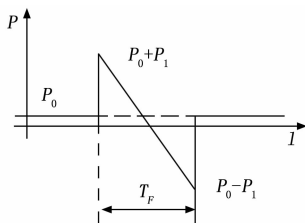


图 2 N 波信号示意图

如果传感器附近有障碍物干扰会造成激波多次反射，这种压力变化可能会间隔重复持续几次。

## 1.2 激波传感器选型

传感器选型时，除了考虑传感器的尺寸、形状、安装方式、输出类型外，主要考虑传感器的灵敏度、固有频率、量程、过载能力、指向性等，这些性能指标将直接决定是否准确、及时地测量激波信号。

激波在空气中的能量随传输距离呈指数规律衰减，且激波的频率越高，能量衰减越快，激波的传播距离也就越短。由于不同的武器种类，其弹丸产生的激波频谱特性差别很大，且当测点距离不同的时候，频谱也会产生变异。根据目前国内外外武器试验需求，弹丸激波的压力峰值一般为 MPa 量级，综合考虑信号的后级处理能力，传感器的灵敏度大于 0.1 mV/Pa 即可。

对于传感器固有频率，当测试弹速大于 450 m/s 的弹丸时，其 N 波正负峰宽度（持续时间）约为 120  $\mu$ s，为保证获取的 N 波前沿的陡峭，因此传感器的最佳固有频率不小于 500 kHz。当后续信号调理电路一致性很好，做到每个传感器输出信号一致性很好时，传感器的固有频率可以低至 100 kHz。

对于传感器量程，考虑到近距离测试弹丸激波的可能性，以及大口径枪弹激波的压力峰值，取传感器量程为 10 MPa，且其动态过载能力不小于 10 MPa。

对于传感器指向性，在实际测试中，弹丸是来自不同的方向的。为了满足测试要求，传感器应具有全向性，尽可能使不同方向的弹丸激波信号幅度处于同一个量级。

根据以上传感器的灵敏度、固有频率、量程、过载能

力、指向性等性能指标需求，M132 系列微型压力传感器比较适合用于激波信号的测试。

## 1.3 激波传感器输出信号调理

传感器信号调理必须实现其输出幅度满足后续处理要求，同时其带宽、信噪比也必须满足要求；多通道测试时，还必须保证通道一致性。由于激波测试传感器输出信号微弱，其输出需要经过多级放大才能满足后级信号处理要求，其输出信号调理主要包括电荷放大器、一级放大、二级放大、带通滤波等。为了适应不同灵敏度的传感器以及用于不同距离的测量，二级放大器的输出还反馈控制一级放大的增益，使得最终信号调理的输出电平总是在 5 V 左右，以便于后级信号的处理，其原理如图 3 所示。



图 3 传感器输出信号调理原理框图

### 1.3.1 电荷放大器设计

由于选用的激波传感器为电荷输出，为便于后级信号放大调理，首先须将电荷输出转变为电压输出，即电荷电压转换（俗称电荷放大器）。综合考虑全系统采用正电源供电，因此选用运放 AD743 以及设计电压偏置电路，其电路原理如图 4 所示。

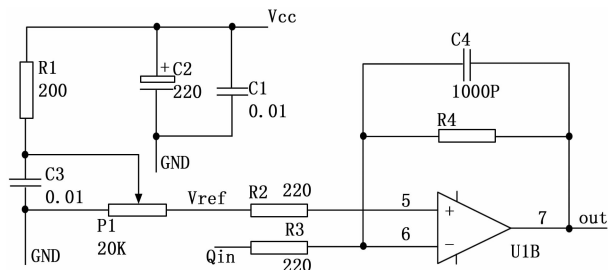


图 4 电荷放大器电路原理图

图 4 中，运放为 AD743，是 AD 公司的一种超低噪声、精密、场效应管输入（FET）的单片运算放大器，它具有超低的噪声电压和场效应管输入器件的非常低的输入电流，其在 10 kHz 时最大输入电压噪声为 4.0 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ 。运放 U1、R2、R3、C4 将电荷转变成电压，R4 为 C4 提供放电回路；C1、C2 滤除电源杂波；R1、P1、C3 构成分压电路，为运放提供参考电压。

为避免高低温对运放器件造成温漂影响，实际电路设计时，利用同型号运放另设计一路放大电路，不同环境温度时其输出结果和常温时相比较，用其差值控制电荷放大器的增益，从而消除环境温度的影响。

### 1.3.2 信号放大

信号放大包括一级放大和二级放大。核心器件采用精密仪器用运算放大器 INA114，INA114 价格低廉、精度高，使用简单，只需一个外部电阻就可以设置 1~10 000 之间的

任意增益值。

经过一级放大后, 激波信号的幅值依然相对较小, 需要对信号进行二级放大。为保证多通道测试时, 由于传感器的灵敏度不一致而造成信号调理输出幅度差异很大, 在二级放大中增加了信号负反馈, 实现放大器增益归一化控制。

### 1.3.3 带通滤波器设计

测试时, 除了高速飞行弹丸产生的激波, 还有射击时火药的爆炸声和周围环境的杂散的声音, 这些声信号也会作用于激波传感器, 随同激波信号同比例被放大, 从而大大降低输出信号的信噪比。考虑到弹丸激波信号的主频分布在 5~50 kHz 区间, 因此在二级放大输出电路中加入带通滤波器<sup>[4]</sup>, 可以有效降低噪声的干扰。

进行带通滤波器设计时, 采取二阶低通和二阶高通滤波电路串联的方式, 两者既可以设计成跟随器, 也可设计成具有放大的功能滤波器, 不过放大倍数不宜过大, 以免影响滤波器的带宽。

带通滤波器的核心器件运放采用高精度单片运算放大器 OP37。OP37 是一种高精度、超低噪声和高速相结合的仪表级单片运算放大器, 具备工业标准直流特性, 具有很低的输入失调电压和漂移, 其输入失调电压典型值为 10  $\mu\text{V}$ 。OP37 的优良特性使它特别适合作为滤波器, 而不用考虑调零和频率问题就能满足要求。

### 1.3.4 枪弹激波波形实时测量

枪弹激波波形实时测量电路设计调试完成后, 进行了实弹射击测试。试验时, 在空旷区域, 使用 7.62 mm 口径的某型武器, 测点距离枪口 10 m, 距地面高 1.5 m, 距弹道线 1 m, 弹速约 700 m/s 时, 其实测波形如图 5 所示。

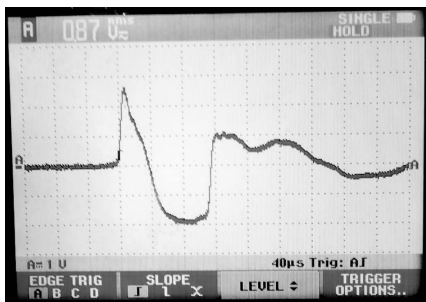


图 5 枪弹激波实时测量波形图

由图 5 可见, 信号调理输出 N 波信号正、负峰脉冲持续时间约 120  $\mu\text{s}$ , 与理论分析计算结果相符; 输出信号信噪比较高, 信号幅度达 2.5 V, 可以进行后续的时间间隔测量分析; 但由于滤波器带宽以及截止频率参数设计等因素, N 波的正、负峰并不对称, 以及出现明显的拖尾现象, 考虑到后续处理只在时域分析 N 波的正峰的上升特性以及到达峰值的时刻, 因此满足设计要求。

当取消带通滤波器时, 二级放大输出的实测波形更接近图 2 所示的 N 波形。因此, 可以根据后续信号处理的要

求进一步优化设计确定带通滤波器的具体参数。

## 2 枪弹激波实时监测技术应用

### 2.1 枪弹激波实时监测系统原理

枪弹激波最广泛的应用, 一是在战场上探测狙击手位置, 二是在试验靶场探测弹着点坐标, 归根结底都是声源定位<sup>[5]</sup>。目前现有的声源目标定位技术基本上可以分为 3 类<sup>[6]</sup>: 基于最大输出功率的可控波束形成技术、高分辨率谱估计技术和基于声达时间差的定位技术。鉴于枪弹激波持续时间短, 所以选用基于声达时间差的定位技术<sup>[7]</sup>。

传感器阵列形式有均匀直线式、平面阵、立体阵等, 不同的阵列模型适用于不同的测试范围: 三维空间定位一般需要采用立体阵, 而二维平面定位一般采用平面阵, 具体哪个效果更佳, 还需要看定位靶面的大小。为简化设计以及测试结果可验证, 设计采用四角平面方阵结构<sup>[7]</sup>, 4 个传感器分别位于正方形的 4 个顶角, 如图 6 所示。

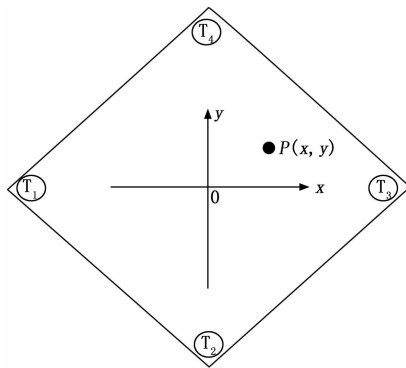


图 6 激波传感器阵列示意图

如图 6 所示, 以正方形中心为原点、对角线分别为  $x$  轴和  $y$  轴建立直角坐标系,  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$  分别为 4 个传感器, 距坐标原点均为  $L$ , 则  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$  坐标分别为  $(-L, 0)$ 、 $(0, -L)$ 、 $(L, 0)$ 、 $(0, L)$ ,  $P$  为命中靶面的弹着点, 坐标为  $(x, y)$ , 并设  $P$  至  $T_1$  距离为  $R_1$ ,  $P$  至  $T_2$  距离与  $P$  至  $T_1$  距离的差为  $r_2$ ,  $P$  至  $T_3$  距离与  $P$  至  $T_1$  距离的差为  $r_3$ ,  $P$  至  $T_4$  距离与  $P$  至  $T_1$  距离的差为  $r_4$ , 则有<sup>[8]</sup>:

$$(x+L)^2 + y^2 = R_1^2 \quad (1)$$

$$x^2 + (y+L)^2 = (R_1 + r_2)^2 \quad (2)$$

$$(x-L)^2 + y^2 = (R_1 + r_3)^2 \quad (3)$$

$$x^2 + (y-L)^2 = (R_1 + r_4)^2 \quad (4)$$

解式 (1) ~ (4), 得:

$$x = -\frac{2r_2R_1 + r_2^2}{4L} \quad (5)$$

$$y = \frac{2r_3R_1 - 2r_4R_1 + r_3^2 - r_4^2}{4L} \quad (6)$$

$$R_1 = \frac{r_4^2 + r_3^2 - r_2^2}{2(r_2 - r_3 - r_4)} \quad (7)$$

设激波传播速度为  $C$ ,  $t_i$  为激波从  $P$  至  $T_i$  时间与从  $P$  传至  $T_1$  时间的差, 则  $r_i$  为  $C$  与  $t_i$  的积,  $t_i$  可通过基于

CPLD 芯片的脉冲时间间隔电路<sup>[9-10]</sup>测得, 由此可求得  $x$ ,  $y$  的值。

实际情况下, 安装激波传感器阵列时, 人们习惯将正方形的一条边和地面平行。为此, 可将由图 6 所述的传感器阵列逆时针旋转  $45^\circ$ , 而坐标系不变,  $x$ 、 $y$  坐标表达式 (5)、(6) 还需进行新的坐标系变换。

图 6 中, 正方形对角线上传感器间距的大小以及精度都会影响弹着点坐标的测试精度, 必须合理设计和安装传感器。当需要更高的测试精度时, 可以增加传感器的数量, 建立多组传感器阵列, 求取多组阵列计算结果的平均值即可。

## 2.2 枪弹激波实时监测系统设计

枪弹激波实时监测系统结构包括激波传感器阵列和信号分析处理两部分。传感器阵列除了传感器以及信号调理部分外, 还集成有脉冲间隔时间测量电路、数字信号无线传输电路。信号分析处理是一台安装有上位机应用软件的手持单板计算机或笔记本计算机。两者通过 WIFI 进行无线信号传输。当传输距离较远时, 也可以运用无线数传技术实现信号无线传输, 其原理结构如图 7 所示。

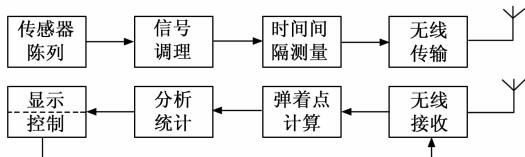


图 7 枪弹激波实时监测系统原理结构图

激波传感器阵列如图 6 所示, 4 个激波传感器位于垂直平面内, 且每个传感器分别置于正方形的 4 个顶角; 激波传感器间距为 500 mm; 传感器敏感端面均朝向弹道线; 在传感器靠近枪口侧距传感器 50 mm 处垂直设置对比纸靶, 信号调理电路及信号无线传输电路置于传感器阵列的下沿。

为准确测得激波信号达到每个传感器的时刻, 在传感器阵列前方 (枪口侧) 设置一个传感器, 当激波信号略过该传感器时输出一个脉冲信号作为传感器阵列的 4 个传感器时间间隔测量的启动信号, 阵列传感器的输出信号作为时间间隔测量的停止信号。

根据启动传感器与激波传感器阵列的距离, 以及该系统适应的枪弹速度范围, 设计确定时间间隔测量的长度。当距离为 1 m、弹速区间为 500~1 200 m/s 时, 激波传播时间最大约为 2 ms。实际设计时, 时钟频率为 10 MHz, 二进制计数器长度为 16 位。

时间间隔测量模块核心芯片为 EPM1270, 同时集成 8 通道, 便于传感器阵列扩展; 除了 8 通道 16 位二进制计数器外, 还设计有输入信号整形模块、有抗干扰模块、逻辑控制模块、总线输出模块等。

系统控制电路核心芯片采用 STC15W4K60S4 单片机, 该系列单片机运行速度快, 程序存储空间及运行内存大,

有硬件看门狗功能, 外围器件少, 编程调试方便, 成本低。一个串口用于下载程序, 一个串口用于与上位机通信。为了计算激波扩散速度, 单片机还通过温度测量模块测试环境的温度。单片机软件由 Keil C 编程实现。

数据传输采用无线传输方式。近距离通信时, 由 WIFI 模块实现, 以便于组网测试; 远距离通信时, 由基于 RS232 接口的无线数传模块实现, 最远距离不小于 1 000 m, 满足轻武器试验的需求。

上位机应用软件由 LabWindows/CVI 软件编程工具编程实现, 功能主要有: 数据无线通信控制、弹着点坐标计算、结果分析统计、输出及输入控制等。数据无线传输还具有误码检查、重传, 以及信道通信质量检测功能。弹着点坐标计算通过调用动态链接库的方式实现, 便于今后扩展升级。

## 2.3 实验结果与分析

系统建立后, 使用 5.8 mm 口径自动步枪, 进行了实弹射击试验, 射距 100 m, 每组射击 10 发, 测试结果如表 1 所示。表 1 中,  $x$  (纸)、 $y$  (纸) 分别表示实际量得的纸靶的弹着点水平和高低方向的坐标,  $x$  (电)、 $y$  (电) 分别表示由枪弹激波实时监测系统测得的弹着点水平和高低方向的坐标。

表 1 定位精度对比表

| mm |         |         |         |         |
|----|---------|---------|---------|---------|
| 弹序 | $x$ (纸) | $y$ (纸) | $x$ (电) | $y$ (电) |
| 1  | 26      | 74      | 26.8    | 73.0    |
| 2  | 56      | 70      | 56.9    | 71.4    |
| 3  | 56      | 81      | 54.8    | 82.9    |
| 4  | 36      | 27      | 35.6    | 26.5    |
| 5  | 67      | 26      | 68.1    | 25.1    |
| 6  | 80      | 41      | 80.9    | 41.7    |
| 7  | 59      | 55      | 59.6    | 55.9    |
| 8  | 17      | 46      | 17.1    | 45.5    |
| 9  | 21      | 34      | 21.3    | 34.8    |
| 10 | 33      | 56      | 32.6    | 57.1    |
| 平均 | 45.1    | 51.0    | 45.37   | 51.39   |

由表 1 可见, 水平方向 ( $x$  轴) 仪器测试与纸靶对比最小误差为 0.1 mm, 最大误差为 1.2 mm, 组平均误差为 0.27 mm; 高低方向 ( $y$  轴) 仪器测试与纸靶对比最小误差为 0.5 mm, 最大误差为 1.9 mm, 组平均误差为 0.39 mm。按照传感器的阵列模型以及数学模型分析可知, 高低方向坐标的测试精度应该和水平方向的测试精度相同, 而实际测试结果表明, 高低方向的测试误差大于水平方向的测试误差, 经过查找分析原因, 系在传感器阵列布设时, 水平方向利用水平仪调校确保了水平方向的精度, 但是垂直方向没有采用专业仪器或手段确保靶面与地平面垂直, 即弹道线没有与传感器阵列面的法线平行, 由此引入了测试误差。

综上所述,采用激波测试方法所得结果与实际位置接近,定位精度满足使用要求<sup>[11]</sup>。但是由于传感器的探测角度限制,远离坐标原点的误差较大,且越接近传感器探测角度边界,误差越大。当需要定位精度更高时,可以考虑增加传感器的数量来提高测试精度。

### 3 结束语

本文介绍的枪弹激波实时监测技术已经成功应用于多套基于声测试技术的常规武器性能测试仪器的设计,增加了试验手段,明显提高了参数测试精度和试验效率。但是,由于在多路时差估计时采用了基于时域的脉冲时间间隔测试方法,限制了激波测试的路数。今后,可以进一步优化滤波器性能设计,准确测量“N波形”,扩展激波测试的路数,利用频域时差估计技术准确获取时差,进一步拓展激波实时测量的应用领域。

#### 参考文献:

[1] 袁易全,雷家煌,姚治国.近代声学基阵原理与应用[M].南京:南京大学出版社,1994.

(上接第98页)

### 4 结束语

本文在传统系统设计的基础上提出了一种基于区块链技术的高速移动视点视频监控跟踪系统设计,实验表明,该系统设计的设计效果明显优于传统系统设计的设计效果。

本文系统设计分为系统硬件设计与系统软件设计两个部分进行操作,在系统硬件设计中,将硬件元件处理划分为3个模块进行。在系统视频监控模块中,利用BDL9830QD监视器对数据进行监视,调整数据存在的状态,进而优化系统内部操作,为后续实验操作提供坚实的理论操作基础,在数据定位模块中,选取微型定位器对数据进行集中定位,及时检验数据流通状况以及存储方向,结合主导系统实现整体性新号定位操作,在视频监控跟踪模块中,选择HX-YT01自动视频追踪器精准追踪数据位置,设置相应追踪函数,调整数据流通通道,实现对系统的硬件设计。在系统软件设计中,分步骤进行实验研究操作,扩大数据系统操作范围,提升可操作空间,由此完成对系统的整体设计。

相较于传统系统设计,本文系统设计具备较强的操作优势,在一定程度上强化系统内部性能,及时更新系统所需数据,数据收集准确度较高,效果较好,具有较为广阔的发展空间。

#### 参考文献:

[1] 张友鹏,王淳,刘艳丽.移动视点下在线视频的动态阴影检测与跟踪[J].系统仿真学报,2019,31(7):99-105.

[2] 刘艳丽,李志明,赵晓莹,等.移动视点视频的平面检测与跟踪[J].计算机辅助设计与图形学学报,2019(12):2074-2081.

[3] 魏后胜,黄雯嘉,董琦,等.面向增强现实的移动视点下室外

[2] 董高庆.基于声测试技术的枪弹测速系统[J].测试技术学报,2014,28(6):498-500.

[3] 仲书,刘压飞.弹丸空气动力学[M].北京:国防工业出版社,1984.

[4] 世健系统集团.AD公司放大器手册[Z].香港:世健系统集团,1992.

[5] Kleeman L, Kue R. An optimal sonar array for target localization and classification [Z]. 1050. 4729/94 1994 IEEE.

[6] 吕玉涛.基于时间差的狙击手声探测定位系统的设计[J].科技信息,2010,28:151,152.

[7] 朱代柱,惠俊英,蔡平.近程目标距离的实时估计研究[J].应用声学,1999,18(4):33-35,32.

[8] 马驰州,腾鹏晓,杨亦春,等.分布式实时被动声定位系统研究[J].探测与控制学报,2007,29(1):18-22.

[9] 周立功,夏宇闻.单片机与CPLD综合应用技术[M].北京:北京航空航天大学出版社,2003.

[10] 廖裕评,陆瑞强.CPLD数字电路设计[M].北京:清华大学出版社,2003.

[11] 张飞猛,马春茂.对空射击声学靶脱靶量测试系统的精度分析[J].兵工学报,2000,21(1):24-25.

视频的阴影检测[J].计算机辅助设计与图形学学报,2019,31(6):997-1006.

[4] 王春东,杨宏,宫良一.基于Android平台的视频监控智能车设计[J].消防科学与技术,2017,36(1):72-75.

[5] 梁光胜,曾华荣.基于ARM的智能视频监控人脸检测系统的设计[J].计算机应用,2017,37(s2):301-305.

[6] 张华英,郑日忠.基于ZigBee的井下视频监控系统设计[J].煤炭技术,2017,36(7):236-238.

[7] 赵维龙,刘海文,赵振宇,等.基于装饰天线的新型多功能视频监控系统设计[J].电波科学学报,2019(3):272-277.

[8] 杜辉,张燕宁.船舶视频监控系统的软件设计与实现[J].舰船科学技术,2017(16):127-129.

[9] 胡正平,张敏姣,李淑芳,等.智能视频监控系统中行人再识别技术研究综述[J].燕山大学学报,2019,43(4):377-393.

[10] 杜玥萱,曾立民,陈仕意,等.北京市春季交通主干道移动源非甲烷总烃的在线跟踪观测与特征分析[J].环境科学学报,2019,39(11):3618-3629.

[11] 程学庆,邢颖,黄唯,等.高速铁路客运枢纽视频监控采集点分级布设方案研究[J].铁道运输与经济,2019,41(8):13-17.

[12] 刘雪琴,袁帅,史文奇,等.基于光学视频的冰区核电海面浮冰监测与分析系统设计[J].海洋环境科学,2017,36(5):791-795.

[13] 郭延海,陈守文,王宽心.蒸汽管网风险识别模型及监控系统的设计与实现[J].科技通报,2018,34(4):104-108.

[14] 强云霄.矿井下ZigBee的Mesh网络安全监控系统设计[J].西安科技大学学报,2017,37(3):334-338.

[15] 张晓培,梁文海.基于移动端的温室环境监测监控系统设计[J].农机化研究,2018,40(6):215-219.