

基于 UWB 的无线触发系统的设计与实现

赵 宽^{1,2}, 马游春^{1,2}, 刘鹏媛^{1,2}, 赵 阳^{1,2}

(1. 中北大学 微米纳米技术研究中心, 太原 030051;

2. 中北大学 仪器科学与动态测试教育部重点实验室, 太原 030051)

摘要: 为了获取炮弹落地前后的动作信息, 同时为了克服手动预触发高速摄像机的不稳定性及存在的延时和记录完整性问题, 以及内触发丢失信息的缺点, 设计了基于 UWB 模块的无线触发系统; 该系统以 FPGA 作为 UWB 模块的核心控制器, 射频芯片 DW1000 为 UWB 模块核心, 在炮弹与地面站分别放置 UWB 模块作为标签, 通过 TOA 测距算法精确计算出两点距离, 当小于给定距离时给出触发信号, 实现高速摄像机的提前触发; 对测距系统进行静态误差测量与靶场试验, 静态误差在 20~40 cm, 靶场试验时给定距离 300 m, 测试结果分别为 291.34 m, 288.48 m, 293.27 m; 实验结果表明, 该触发系统可以完成预触发, 满足炮弹记录实验的预触发需求。

关键词: 高速摄像采集; UWB; 测距算法; 无线触发; DW1000; FPGA

Design and Implementation of Wireless Trigger System Based on UWB

Zhao Kuan^{1,2}, Ma Youchun^{1,2}, Liu Pengyuan^{1,2}, Zhao Yang^{1,2}

(1. Micron and Nanotechnology Research Center, North University of China, Taiyuan 030051 China;

2. Ministerial Key Laboratory of Instrument Science & Dynamic Measurement, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: In order to obtain the action information before and after the shell lands, and to overcome the instability, delay and record integrity problems of the manual pre-trigger high-speed camera, as well as the shortcomings of internal trigger loss information, a wireless trigger system based on UWB module was designed. This system takes FPGA as the core controller of UWB module, and Radio frequency chip DW1000 as the core of UWB module. UWB modules are respectively placed as labels in artillery shells and ground stations. The Distance between two points is accurately calculated through TOA ranging algorithm, and the trigger signal is given when the distance is less than a given distance, so as to realize the early trigger of high-speed cameras. Static error measurement and range test were carried out for the ranging system. The static error was between 20~40 cm. The range test was given a distance of 300 m, and the test results were 291.34 m, 288.48 m and 293.27 m, respectively. The experimental results show that the trigger system can complete the pre-trigger and meet the pre-trigger requirement of the shell recording experiment.

Keywords: high speed camera acquisition; UWB; ranging algorithm; trigger; DW1000; FPGA

0 引言

对炮弹爆炸进行高速摄像采集是研究炮弹爆炸过程和毁伤威力的重要手段, 在军工领域有着重要的作用。高速摄像机采集存储的数据量十分巨大, 而内存空间有限, 因此需要定点触发高速摄像采集系统, 以保证完整记录炮弹落地的过程。对于一个实验采集系统来说, 系统的触发电路是否稳定可靠, 决定了采集系统能否顺利实现功能。若系统没有顺利完成触发, 误触发或者延迟触发, 都会令采集系统采集到的数据出现缺失或错误, 得不到正确的实验数据, 甚至造成采集实验的失败, 轻则带来巨大的经济损失, 重则延误武器研发的进程。因此, 一定要提高采集触发系统的稳定与可靠, 选择正确合理的触发方式。

目前, 常用的触发方式主要有内触发、光学触发、断线触发和电磁触发, 这些触发方式都是通过炮弹撞击地面, 才给出的触发条件, 这样高速摄像机就无法记录下炮弹快落地时爆炸前的画面。为防止记录范围不够全面, 需要在炮弹落地前提前触发该系统。目前采用的就是无线触发来人为的提前预触发。无线触发电路的主要功能是在收到相应的无线信号后产生触发脉冲。而人为预触发因为是人通过计算时间来给出的触发信号, 难免会有不稳定性, 为了能定量的进行预触发, 提高触发系统的稳定性和可靠性, 引入了 UWB 无线测距系统, UWB (ultra wide band) 技术具有功耗低^[1], 对信道衰落不敏感, 抗干扰能力强等优点^[2], 该系统对炮弹与地面站的距离实时监测, 一旦到达预定距离时, 给出触发信号, 即可精准地完成提前触发,

收稿日期: 2020-06-28; 修回日期: 2020-07-18。

基金项目: 国家重点实验室基金(6142001180412)。

作者简介: 赵 宽(1995-), 男, 黑龙江伊春人, 硕士研究生, 主要从事无线通信和电子测试仪器与系统方向的研究。

马游春(1977-), 男, 江苏盐城人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事高速数据采集与存储系统方向的研究。

引用格式: 赵 宽, 马游春, 刘鹏媛, 等. 基于 UWB 的无线触发系统的设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(2): 180-186.

保证每一次实验都稳定可靠。

1 系统结构及原理

1.1 触发系统结构

该触发系统主要有炮弹标签与地面基站两部分组成。炮弹标签为 UWB 移动标签, 地面基站为 UWB 定位基站。在炮弹发射之前, 将炮弹标签安装在炮弹上, 定位基站放置在高速摄像机处, 并将定位基站的触发信号线接在高速摄像机的触发接口上, 炮弹发射后, 定位基站检测到与炮弹的距离小于指定距离时, 触发系统会自动触发, 高速摄像机启动, 完成实验。无线触发系统如图 1 所示。

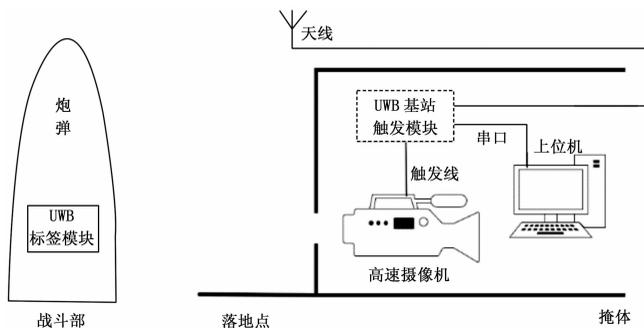


图 1 无线触发示意图

1.2 系统触发原理

无线触发系统的触发原理为: 在地面站 UWB 系统内预设一个距离值, 然后标签与地面基站进行数据传输, 地面基站会实时测量基站与标签的数据到达时间并采用测距算法对两者距离进行实时计算监测, 一旦检测到距离值小于预设距离, 基站会输出一段 3.3 V 的高电平脉冲, 高速摄像机接收到脉冲信号即开始启动, 采集炮弹落地到爆炸的过程, 即完成提前触发的任务。距离信息也可以由串口实时显示在上位机上^[3-4]。

2 系统硬件设计

UWB 系统的硬件构成主要由主控模块、射频收发模块、天线收发模块、存储模块、电源模块、时钟模块、发射与接收双路放大模块组成, 如图 2 所示。FPGA 作为主控制器, 对 DW1000 模块进行电平信号的发送和数据的接收, 并通过串口接收来自上位机的指令和将距离信息上传至上位机。DW1000 作为测距模块, 对基站与标签进行实时测距。发送接收放大电路用于延长发射距离和提高信号性能。

2.1 主控制器核心

与单片机相比, FPGA 得益于其内部并行处理数据流的架构, 拥有更快的处理数据的能力, 同时成本相对较低, 开发速度更快, 因此选择 FPGA 作为主控芯片。选择 Xilinx 公司推出的 Spartan3 系列 XC3S400 芯片, 封装为 PQG208。该芯片内部有 74 880 个逻辑单元, 不仅性能出色, 功耗也十分低^[5]。编程用 VHDL 硬件描述语言, 拥有更强的行为描述能力, 丰富的仿真语句和库函数。内部集

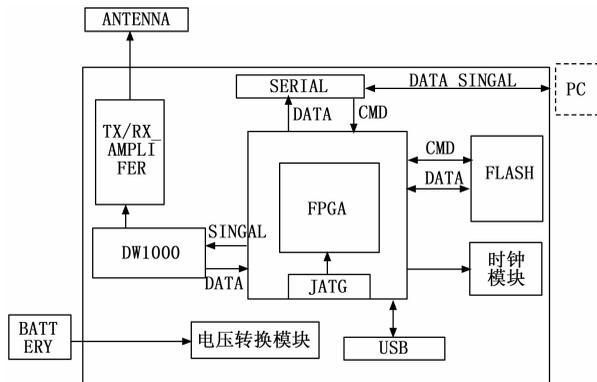


图 2 基站硬件框图

成 Chipscope 在线逻辑分析仪, 可直接调用, 提高调试系统的效率。控制器模块是硬件平台的核心, 是定位基站与定位标签的控制器, 为 DW1000 电路提供相应时序、控制以及数据交互功能, 且能够衔接通过无线通信模块或串口通信模块与 PC 机中上位机进行数据交互, 并完成对整个硬件系统的复位功能。

2.2 电源模块设计

在整个测距系统中, DW1000、FPGA、Flash 等模块需要 1.8 V 与 3.3 V 电压, 功率放大器的启动电压为 5 V, DW1000 的控制信号为 3.3 V, 因此在用于控制射频模块和功率放大器之前, 必须将其电平转换为 5 V, FPGA 的内核电压为 1.5 V, 因此还需要 1.5 V 的电压输出, 以上所需要的电压分别由 4 个电源模块提供, 电源模块的原理如图 3 所示。

2.3 UWB 射频收发模块

目前市场上使用最为广泛的 UWB 射频收发模块为 DecaWave 公司研制的 DW1000^[6], 它是第一块 UWB 无线收发器, 具有功耗低、成本低、抗干扰能力强的特点, 可实现高精度定位, 定位精度可达 ± 10 cm, 其遵循 IEEE802.15.4-2011 UWB 标准^[7]。支持 TOA (到达时间)、TDOA (到达时间差)、TWR (双向测距) 等多种算法, 所支持的射频波段宽, 可支持 3.5~6.5 GHz 超宽频定位, 数据传输速率最高可达 6.8 Mbps, 有效通信距离为 300 m 左右^[8-9]。数据交互接口采用 SPI 接口。其定位原理类似卫星定位, 需要有基站、标签及中心控制器, 通过基站发送的 UWB 脉冲信号进行基站与标签之间的距离测试, 达到指定距离时进行后续操作^[10]。该芯片有较强的抗多径能力和射频功率可编程的功能, 可在恶劣环境下保持通信的稳定。其外围电路设计如图 4 所示。

查阅芯片资料可知, 该模块需要搭载一个 38.4 MHz 的外部晶振。时钟管理部分主要包括三部分: 晶体振荡器、时钟锁相环和射频 PLL。时钟锁相环以外部晶振为参考时钟输入, 用来产生 SPI 通信使用时钟和数字后端使用时钟, RF 锁相环用于提供接收链下发射链上变频的本地振荡器的时钟, 也以该外部晶振作为参考。

该模块内部带有一次性可编程存储器, 用于存储校准

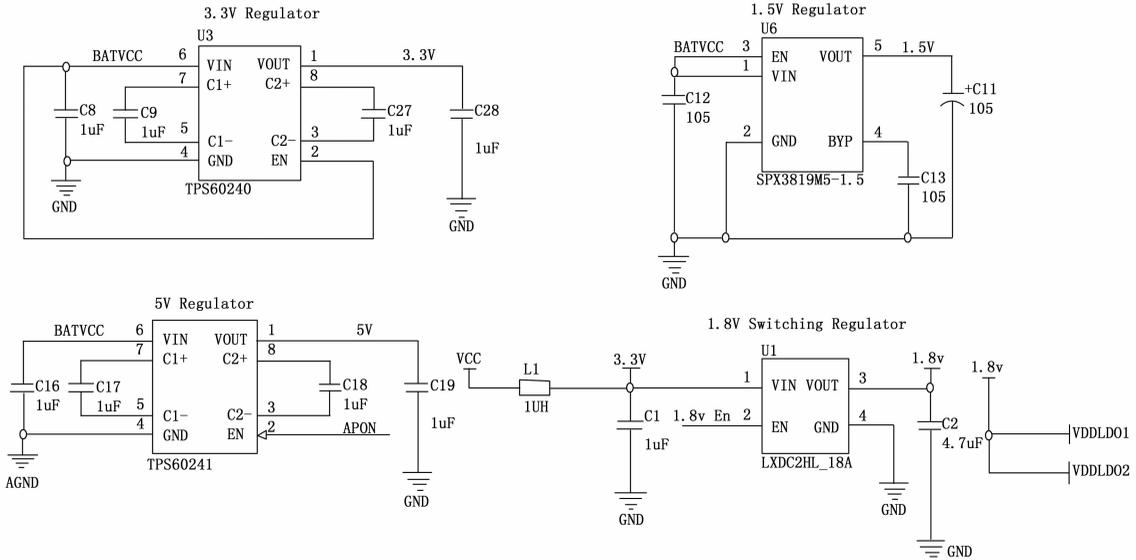


图 3 电源模块原理图

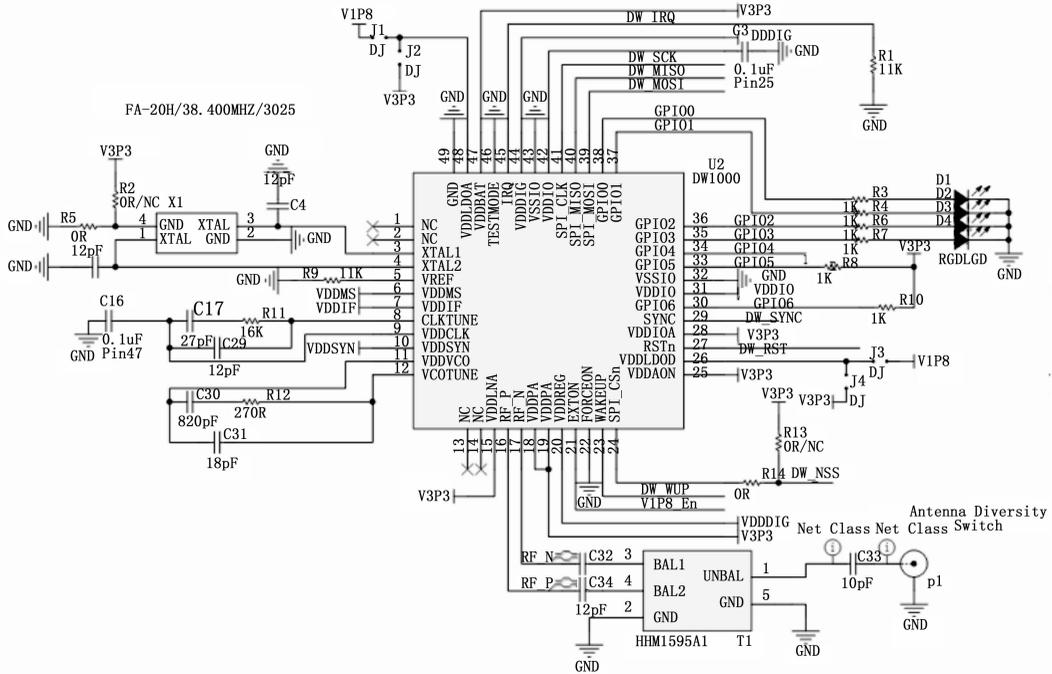


图 4 DW1000 外围设计电路图

数据，如 TX 功率电平、天线延迟值、晶体初始频率误差调整、测距范围精度调整等，当使用时需要对这些参数进行调整时，可自行检索调整^[11]。当片上电压调节器被禁用时，存储器可以在最低功耗状态下保持 DW1000 的配置数据。

2.4 发射与接收双路放大模块

在无线通信系统中，影响通信的因素都有：发射功率级、发射机天线增益、传播过程中的损耗、接收机天线增益、接收机灵敏度。为了增强信号的收发性能，同时延长与标签之间的通信距离，在 DW1000 后增加了增益电路。将外部功率放大器连接 DW1000 来增加发射功率，将低噪

声放大器与 DW1000 连接来提高接收机灵敏度，从而提高通信最远距离^[12-13]。

2.4.1 发射路径放大电路设计

在发送路径上外加一个放大器，当处于发送模式时，通过配置 GPIO4 引脚，将其更改为使用 EXTPA（外部放大器），来启用外部功率放大器，开启射频通道，外部 PA 使能；当处于接收模式时，外部 PA 被禁用，GPIO 设置直接使 DW1000 开启射频通道。图 5 为发射路径外部功率放大电路图，74HC1G04 为逆变器，可以避免 TXRX 两条路径同时启用的情况，cmd_tx 为发射信号，从射频开关 U8 的公共射

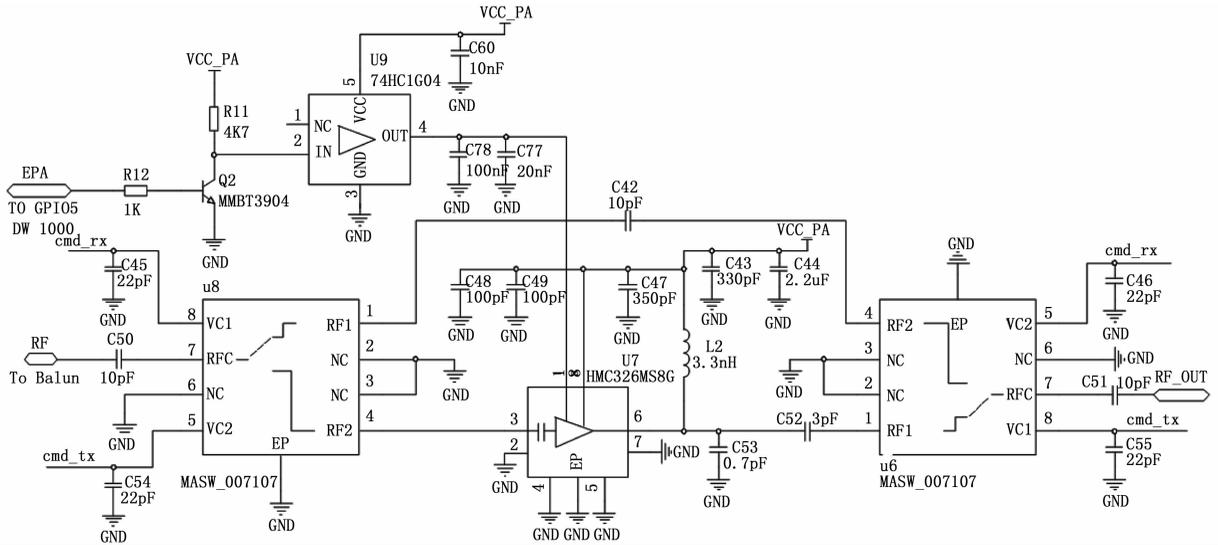


图 5 功率放大电路原理图

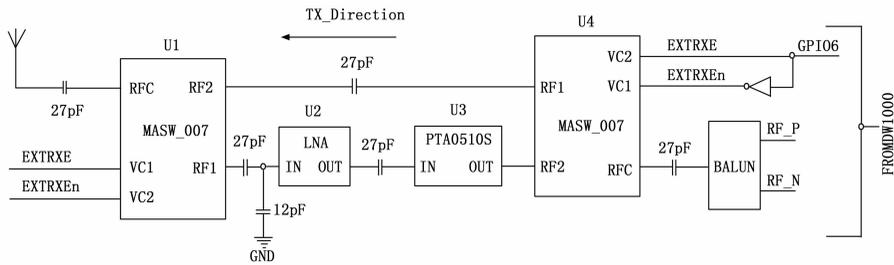


图 6 低噪声放大电路原理图

频端口 VC2，通过 RF2 端口到功率放大器 U7 的 3 引脚，再通过功率放大器的 6 引脚输出放大信号至射频开关 U6 的 RF1 端口，最后从公共射频端口 7 到天线。原理图中最右端 cmd_tx 为接收信号，由天线经过 U6 的公共射频端口 VC2 返回至 RF2 端口，再从 RF2 端口到 U8 的 RF1 端口，最后通过 RFC 端口到达巴伦。

2.4.2 接收路径放大电路设计

接收路径放大电路原理如图 6 所示。当处于接收模式状态时，将射频路径切换成包括 LNA 的路径，在发送模式下，LNA 从电路中移除。图中较低的射频路径即为接收路径，由天线到 U1 上的公共射频端口，再通过 LNA 与衰减器到达 RF2 端口，最后到达巴伦。图中较高的射频路径为发送路径，从公共射频端口进入，从 RF1 端口到达 RF2 端口，通过公共射频端口最后到达天线。

3 算法与软件设计

3.1 UWB 测距算法

测距算法一般为通过测量标签和地面基站之间的到达时间、角度、强度等物理量，然后通过相应的测距算法计算出标签与基站的具体距离。常用的测距技术有 AOA（基于信号到达角度）、RSSI（基于信号接收强度）、TOA（基于信号到达时间）等，考虑到测距成本、传输距离、环境条件，选择 TOA 测距算法作为本文的测距方法。

TOA 算法可分为单边单向测距和双向测距，由于单向测距对于时钟的同步要求较高，因此选择双向测距算法，其测距原理如图 7 所示。

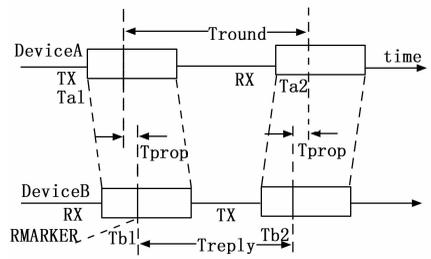


图 7 单边双向测距

在 T_{a1} 时刻，设备 A 首先向设备 B 发出一个数据包，设备 B 在 T_{b1} 时刻收到数据包，等待 T_{reply} 时刻后，设备 B 给 A 发送确认消息，此时的发送时间可计算为 $T_{b2} = T_{b1} + T_{reply}$ ，在设备 A 收到数据包后记录此时的时刻值 T_{a2} 。由式 (1) ~ (2) 可得到电磁波在空中的飞行时间 T_{prop} ，两个设备间的距离即为飞行时间乘电磁波的飞行速度。

$$T_{rybd} = T_{a2} - T_{a1} \quad (1)$$

$$T_{rybd} = T_{b2} - T_{b1} \quad (2)$$

$$\hat{T}_{prop} = \frac{1}{2}(T_{round} - T_{reply}) \quad (3)$$

由于设备 A 和设备 B 使用自己的时钟，时钟会存在一定的漂移，以 e_A 、 e_B 分别表示设备 A 和 B 的时钟漂移（以 ppm 为单位），则测量的 T_{prop} 为：

$$T_{prop} = \frac{1}{2}(T_{round}(1 + e_A) - T_{reply}(1 + e_B)) \quad (4)$$

然后，测得的飞行时间与实际飞行时间之间的误差为：

$$T_{prop} - \hat{T}_{prop} = \hat{T}_{prop} * e_A + \frac{1}{2}T_{reply}(e_A - e_B) \quad (5)$$

因为 T_{reply} 远远大于 T_{prop} ，则上述公式可以化简为：

$$Error = \frac{1}{2}T_{reply}(e_A - e_B) \quad (6)$$

由此可见当 B 很长时间之后回复 A 时，测距的误差也会增大，如当 T_{reply} 为 2 ms，时钟漂移为 80 ppm 时，测得的时间误差为 80 ns，乘以光速，计算出的距离误差可达到 24 m，为了减少时钟漂移的影响，提出了一种优化算法^[14]，该算法增加了设备 A 和设备 B 之间的信息传输。其基本原理如图 8 所示。

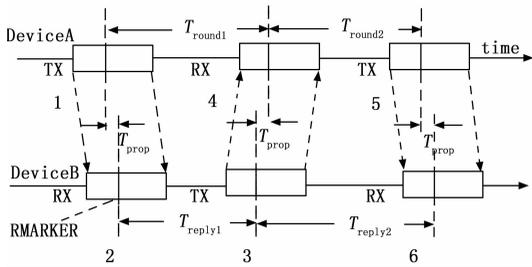


图 8 双边双向测距

这种测距算法称为双边双向测距。首先设备 A 在 T_1 时刻将数据包发给设备 B，设备 B 在 T_2 时刻收到该数据包，在收到该数据包后，B 等待 T_{reply1} 的时间发送确认信息，此时该时刻记为 T_3 ，设备 A 收到确认信息的时间为 T_4 ，A 收到确认信息后等待 T_{reply2} 时刻，再次向设备 B 发送数据包，该时间即 $T_4 + T_{reply2}$ 记为 T_5 ，设备 B 在 T_6 时刻接收该数据包^[15]。

由于：

$$T_{ROUND1} = T_{reply1} + 2T_{PROP} \quad (7)$$

$$T_{ROUND2} = T_{reply2} + 2T_{PROP} \quad (8)$$

$$T_{ROUND1} \times T_{ROUND2} - T_{reply1} \times T_{reply2} = 4T_{PROP} + 2T_{PROP} \times T_{reply1} + 2T_{PROP} \times T_{reply2} \quad (9)$$

$$T_{ROUND1} + T_{ROUND2} + T_{reply1} + T_{reply2} = 4T_{PROP} + 2T_{reply1} + 2T_{reply2} \quad (10)$$

电磁波在空中的飞行时间为：

$$T_{PROP} = \frac{T_{ROUND1} \times T_{ROUND2} - T_{reply1} \times T_{reply2}}{T_{ROUND1} + T_{ROUND2} + T_{reply1} + T_{reply2}} \quad (11)$$

由于每个独立设备有自己的时钟，考虑到时钟漂移 e_A 和 e_B 的影响， T_{prop} 的测量值为：

$$T_{PROP} = \frac{(1 + e_A)(1 + e_B)T_{PROP}(4T_{PROP} + 2T_{reply1} + 2T_{reply2})}{2T_{reply1}(1 + e_A) + 2T_{reply2}(1 + e_B) + 4T_{PROP} + 2e_A T_{PROP} + 2e_B T_{PROP}} \quad (12)$$

则可以得到真实值和实际测量值的误差为：

$$T_{prop} - \hat{T}_{prop} = (1 + e_A)(1 + e_B)\hat{T}_{prop}(2T_{reply1} + 4\hat{T}_{prop} + 2T_{reply2}) / (2T_{reply1}(1 + e_A) + 2T_{reply2}(1 + e_B) + 4\hat{T}_{prop} + 2e_A \hat{T}_{prop} + 2e_B \hat{T}_{prop}) \quad (13)$$

化简可得：

$$T_{prop} - \hat{T}_{prop} = \hat{T}_{prop}(T_{reply1}(e_A e_B + e_A) + T_{reply2}(e_A e_B + e_B) + \hat{T}_{prop}(e_A + e_B) + 2\hat{T}_{prop}e_A e_B / T_{reply1}(1 + e_A) + T_{reply2}(1 + e_B) + 2\hat{T}_{prop} + e_A \hat{T}_{prop} + e_B \hat{T}_{prop}) \quad (14)$$

因为 T_{prop} 太小可省略，于是化简得：

$$T_{prop} - \hat{T}_{prop} = \frac{\hat{T}_{prop}(T_{reply1}(e_A e_B + e_A) + T_{reply2}(e_A e_B + e_B))}{T_{reply1}(1 + e_A) + T_{reply2}(1 + e_B)} \quad (15)$$

即：

$$T_{prop} - \hat{T}_{prop} = \hat{T}_{prop}(e_A - e_B) + \hat{T}_{prop} \cdot O(e_A, e_B, T_{reply1}, T_{reply2}) \quad (16)$$

从上式可以看出 T_{reply1} 和 T_{reply2} 对误差的影响很小，因此这种算法可以优化时钟漂移带来的影响^[16]。

3.2 UWB 收发软件设计

UWB 通信基于 SPI 通信协议进行数据收发，其工作模式可通过 GPIO.5 和 GPIO.6 来决定，选择模式 0，在时钟的第一个上升沿启动发送。表 1 显示了 UWB 帧的一般结构，它由包括前导码（Preamble）和帧定界符的开始（SFD）的同步首部开始，之后 PHY 首标（PHR）定义该帧的数据有效载荷部分的长度和数据速率。

表 1 UWB 通信帧结构

Preamble	SFD	PHR	DATA
----------	-----	-----	------

3.2.1 标签 DW1000 数据收发

标签 DW1000 进行数据发送前要进行一系列配置。首先要对硬件 DW1000 进行复位，并将 SPI 通信速率设置为 2 MHz 左右，设置完成后对 DW1000 进行初始化，此时将 SPI 速率设置为高速模式，并将预定义好的 config 结构体写入 DW1000 完成对其的配置。对于发送过程，需对寄存器 TX_BUFFER（传输数据缓冲器）、TX_FCTRL（传输帧控制）进行设置，并设置前导码监测超时时间。将发送数据写入数据寄存器，并配置发送端参数，启动发送后数据开始传输，等待数据传输完成，读取 DW1000 发送寄存器状态，发送完成将该位置 1，然后接收对方返回的确认包，成功接收后，帧计数加一，将状态寄存器的 RXFCG 标志位和错误位清除，并对接收到的数据的长度和内容进行校验，对数据包发送时间和确认包接收时间进行记录。准备发送二次确认数据包，首先设置二次确认数据包的发送时间 T_5 ，将所有的时间戳（ T_1 、 T_4 、 T_5 ）写入二次确认数据包中，不断查询芯片状态直到发送完成。

3.2.2 基站 DW1000 数据收发

基站部分在数据接收前也需要与标签端一样进行前期初始化及芯片配置，当开始接收数据时，将 DW1000 的接收使能打开，检查 SYS_STATUS 寄存器的 RXFCG 和

ERR 位, 来判断芯片状态, 直到成功接收或者发生错误, 读取 DW1000 接收寄存器状态, 保证数据接收完成, 在 SYS_STATUS 寄存器中清除标志位 RXFCG, 分别读取寄存器 RX_FINFO 和 RX_BUFFER 来获得接收到的数据长度和接收数据, 判断所接收到的数据是否是初始发送数据, 如果数据正确则获得初始发送数据的接收时间 T_2 , 并将数据写入 BUFFER 中, 将接收状态寄存器的值置 1 清除该位, 准备发送确认数据包, 首先设置确认数据包的发送时间 T_3 , 其次设置发送完成后对方开启接收的延迟时间、设置接收超时时间, 之后发送确认数据包, 重复上述操作, 等待二次接收, 判断接收到的数据是否为二次确认数据包, 获得接收数据包时的时间 T_6 , 从接收的二次确认数据包中可以读取到 T_1 、 T_4 、 T_5 , 至此计算电磁波在空中飞行时间所需的 6 个时间节点实现全部接收。程序设计流程如图 9 所示。

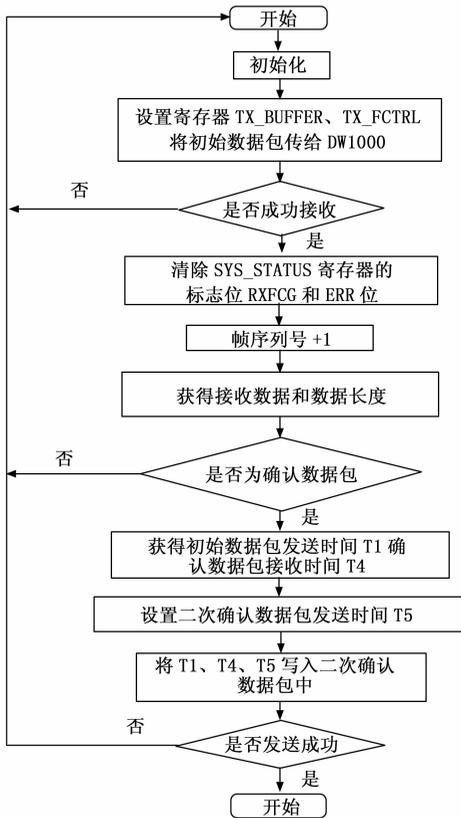


图 9 DW1000 收发程序设计流程图

4 实验测试

4.1 静态误差分析

对测距系统进行误差测量, 在静态环境下, 测量 4 个基站分别到 25 个标签的距离, 在东南西北个放置一个基站, 为 A1, A2, A3, A4, 4 个基站围成一个正方形区域, 在区域内布满 25 个测试点为 T1 至 T25, 将标签上电, 并将基站通过串口连接至上位机, 上位机即可实时显示基站与测试点的距离。4 个基站与 25 个标签的初始位置如图 10

所示。

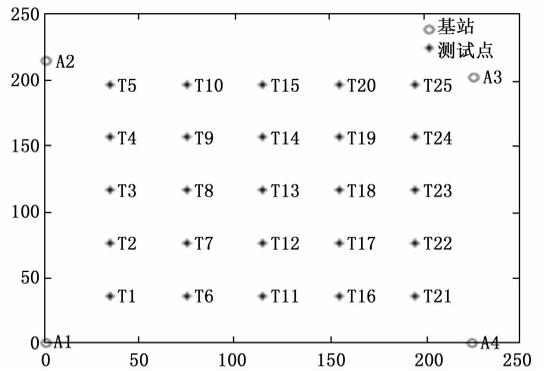


图 10 4 个基站和 5 个标签的初始距离

为了能直观地观测到测距误差, 将测试得到的 100 个距离信息文件导入 Matlab 软件, 通过编写程序, 仿真得出测距误差的热度, 如图 11 所示。

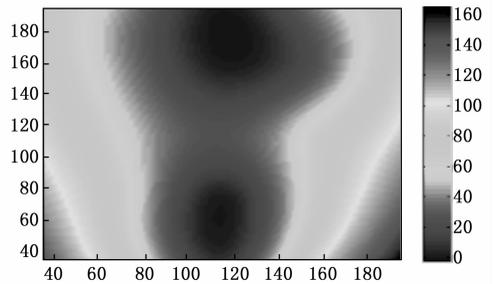


图 11 测距误差热度图

由误差热度图分析可以得到, T11, T12, T14, T15 处对应的误差值为 0~20 cm, 说明这些位置误差相对较小。面积最大的区域对应的误差为 20~40 cm, 说明测距误差大部分分布在 20~40 cm。

4.2 靶场测试分析

在与某单位进行的炮弹落地测试实验时, 将该系统作为采集记录装置的触发系统, 进行了 3 次实验, 均完成了对高速摄像机的提前触发, 记录下完整的炮弹落地爆炸的过程, 成功地完成了实验。实验设置距离参数为 300 m 以内触发, 实验结束后, 将测试后的距离信息文件进行分析, 得到触发时基站与炮弹的距离如表 2 所示。

表 2 触发时基站与炮弹的距离表

实验次数	设定值/m	触发时距离/m
1	300	291.34
2	300	288.48
3	300	293.27

实验结果测得触发时距离误差在 10 m 左右, 满足对高速摄像机提前触发的需求。在实际应用中, 为了防止环境和人为因素影响精度, 应将基站天线安装与地面垂直, 远离墙壁、玻璃、树木等遮挡物, 炮弹上标签的天线也应当露出^[17]。

5 结束语

本文设计了一种基于 UWB 模块的无线触发系统, 利用 UWB 的测距算法精确实现了对记录装置的提前触发, 可有效解决记录系统的记录数据的完整性问题, 硬件上直接采用 UWB 模块, 极大地降低了设计难度, 同时对传统 TOA 算法进行改进, 消除了 UWB 的时延问题。进行程序编写, 通过进行实验测距来验证整体系统的可行性。通过使用 Matlab 软件进行误差分析, 得到误差热度图, 可以得到系统的测距误差为 20~40 cm, 在实际的靶场测试环境中得到的触发时距离数据, 误差在 10 m 左右, 进一步验证了系统的有效性及其可靠性。测试结果表明, 该系统误差小, 稳定性高, 满足工程需求, 具有很强的现实使用价值。

参考文献:

- [1] 石潇杰, 李恒通, 石峰, 等. 基于 UWB 与激光测距的地下铲运机井下定位系统 [J]. 有色金属 (矿山部分), 2020, 72 (2): 81-83.
- [2] 周爱国, 杨思静, 沈勇, 等. 融合 UWB 测距信息的室外高精度定位算法 [J]. 导航定位学报, 2020, 8 (1): 26-31.
- [3] 王艳艳, 朱铁龙, 陈亚奇, 等. 多源触发装置设计 [J]. 计算机测量与控制, 2019, 27 (12): 273-276.
- [4] 陈峰, 王航, 眭明. 基于时钟相位补偿的同步触发信号产生技术 [J]. 计算机测量与控制, 2019, 27 (5): 224-228.
- [5] 马子光. 脉冲功率电源超大电流测试技术研究 [D]. 太原: 中北大学, 2019.

(上接第 179 页)

加速比趋于平稳, 说明此时集群资源的利用率最高; 然后随着节点数目的不断增加, 加速比略有下降, 说明此时处理数据的时间要小于节点间的通信时间, 集群资源得到浪费。对于 500 M、1 G、2 G 这些数据规模较大数据集来说, 随着节点数目的增加, 算法的加速比呈现上升状态, 并且由数据规模为 500 M 的加速比变化曲线可以看出, 随着节点数目的不断增加, 加速比增长的幅度在逐渐变小。由此可以看出改进后的 Canopy-K-means 算法在并行化执行时能够有效提升聚类效率, 并且数据量越大时算法的效率越高。

4 结束语

本文通过引入“最大最小原则”来优化 Canopy 中心点的选取, 进而定义深度指标计算公式, 计算得到最佳的 Canopy 个数及区域半径, 避免了传统 Canopy 算法初始阈值人为指定的问题; 接着借助三角不等式定理对 K-means 算法进行优化, 减少冗余的距离计算, 加快收敛速度; 最后结合 MapReduce 分布式框架将改进后的算法并行化实现, 在构建的微博文本数据集上进行实验, 结果表明改进算法的准确率和扩展性都得到提升。但是, 由于 Canopy 中心点的计算花费时间较长, 如何在保证聚类准确度的同时, 提高 Canopy 中心点的生成效率还有待研究。

- [6] 莫浩杰, 张靖宇, 马溢泽, 等. DW1000 在无人机集群中的应用及系统设计 [J]. 电子世界, 2019 (12): 135-137.
- [7] 张恒. 基于 UWB 的室内高精度定位方法研究与应用 [D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2015.
- [8] 阳熊. 基于超宽带的定位技术研究与应用 [D]. 成都: 电子科技大学, 2015.
- [9] 朱文刚, 常海涛, 薄云览, 等. 基于超宽带技术的轨道交通定位算法研究 [J]. 计算机测量与控制, 2019, 27 (7): 218-222.
- [10] 李伟杰, 戴亚文, 唐雨, 等. 基于 UWB 的地铁隧道定位系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2019, 27 (8): 198-201.
- [11] 车志平. 基于 TOF 测距的无线传感器网络定位技术研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2016.
- [12] Aiello G R, Rogerson G D. Ultra-wideband wireless systems [J]. IEEE Microwave Magazine, 2003, 4 (2): 36-47.
- [13] 李凡. 基于超宽带 (UWB) 技术的测距方法研究 [D]. 武汉: 华中师范大学, 2007.
- [14] 陶德. 基于 UWB 的室内 SDS-TWR 测距算法优化和定位算法融合的研究 [D]. 武汉: 华中师范大学, 2016.
- [15] 陈伟森, 裴海龙, 夏睿灿. 基于超宽带技术的室内定位系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2017, 25 (11): 179-182.
- [16] Yang L, Giannakis G B. Low-complexity training for rapid timing acquisition in ultra wideband communications [A]. IEEE Global Telecommunications Conference [C]. IEEE, 2003.
- [17] 李伟杰, 戴亚文, 唐雨, 等. 基于 UWB 的地铁隧道定位系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2019, 27 (8): 198-201.

参考文献:

- [1] 杨俊阁, 赵超. K-means 聚类算法研究综述 [J]. 计算机工程与应用, 2019, 55 (23): 7-14.
- [2] 邓海, 覃华, 孙欣. 一种优化初始中心的 K-means 聚类算法 [J]. 计算机技术与发展, 2013 (11): 48-51.
- [3] 赵庆. 基于 Hadoop 平台下的 Canopy-K-means 高效算法 [J]. 电子科技, 2014, 27 (2): 29-31.
- [4] 刘纪伟, 赵杨, 李绍晖. 一种基于改进 K-means 算法的网络流量分类方法 [J]. 电子技术应用, 2017, 43 (11): 86-89, 94.
- [5] 李晓瑜, 俞丽颖, 雷航, 等. 一种 K-means 改进算法的并行化实现与应用 [J]. 电子科技大学学报, 2017, 46 (1): 61-68.
- [6] 孙玉强, 李媛媛, 陆勇. 基于 MapReduce 的 K-means 聚类算法的优化 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (7): 272-275.
- [7] 吴德超, 刘晓红, 曲志坚. 基于 Hadoop 的分布式聚类算法研究 [J]. 山东理工大学学报 (自然科学版), 2018, 32 (4): 25-29.
- [8] 张选平, 祝兴昌, 马琮. 一种基于边界识别的聚类算法 [J]. 西安交通大学学报, 2007 (12): 1387-1390.
- [9] 李淋淋, 倪建成, 曹博. 基于 Spark 框架的并行聚类算法 [J]. 计算机技术与发展, 2017, 27 (5): 97-101.
- [10] Yang Y. An evaluation of statistical approaches to text categorization [J]. Information Retrieval, 1999, 1 (1/2): 69-90.