

UWB 雷达生命探测仪系统设计与试验

张 锋¹, 梁步阁¹, 容睿智¹, 张岩松¹, 张亚东²

(1. 中南大学 航空航天大学, 湖南 长沙 410083; 2. 兰州理工大学 计算机与通信学院, 甘肃 兰州 430050)

摘 要:利用超宽带雷达所具有的潜在特性,对超宽带冲击雷达在救援行动中对生命特征信号的非触式监测进行理论分析和实验研究。设计超宽带雷达系统;介绍超宽带非接触式生命特征信号监测的基本原理和信号处理方法。室内直射测试和穿墙遮挡测试结果表明,设计的试验样机在各个测试环境下基本上能够检测到人体模型,性能指标基本达到要求。

关键词:UWB 雷达; 生命探测仪; 应急救援

中图分类号:X924.4, TN957.5, TP274 文献标志码:A

文章编号:1009-0029(2016)07-0967-03

近年来,地震、泥石流、火灾等灾害频发。在救援过程中,由于救援环境未知、被救人员位置未知而使救援工作难度加大,救援人员也同样会陷入未知的危险中。为便于救援人员了解现场环境或提前探测生命目标所在位置,笔者设计开发了超宽带雷达生命探测仪。利用超宽带雷达距离分辨率高、近距离盲区小、穿透性强、目标识别率高、抗干扰能力强等潜在特性,经过大量理论分析和试验证明超宽带雷达可以进行生命特征信号的探测,无需在目标身上加各种传感器,可以隔着衣物、空气、墙壁等物体,实现对目标脉搏、呼吸等生命活动的监控探测。

1 超宽带雷达的系统设计

采用超宽带雷达技术进行设计,其系统的基本结构

如图 1 所示。整个系统分为发射机分系统、接收机分系统和控制与处理分系统。其中,发射机分系统主要包括纳秒级脉冲发射机和发射天线;接收机分系统主要包括接收天线阵列单元、射频放大、高速取样积分检测单元、中频放大、多通道数据采集单元;控制与处理分系统主要包括人机交互界面、主控系统、同步定时系统、波门选通组件、DSP 数据处理。

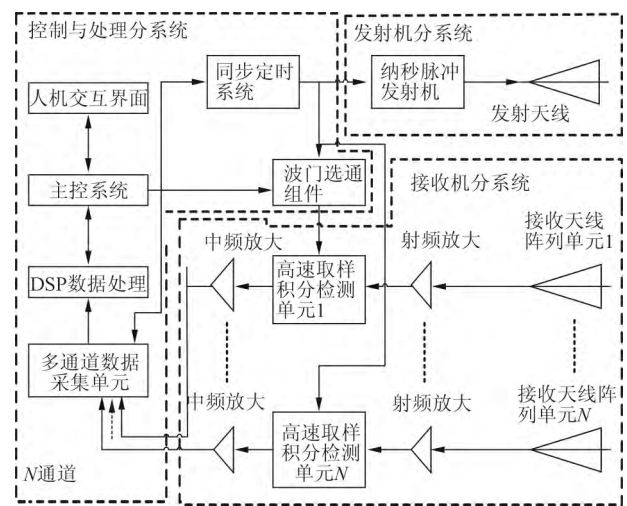


图 1 超宽带雷达生命探测仪系统原理框图

不同于传统雷达,超宽带雷达发射机要有很多特殊

The design of guiding and indicating system for subway evacuation based on smoke spreading

WANG Jun-hua¹, SUN Hua-sheng¹,
LIU Sheng-peng²

(1. Shanghai University, Shanghai 200444, China; 2. Shanghai Fire Research Institute of MPS, Shanghai 200438, China)

Abstract: In order to provide better evacuation guidance for subway passengers in case of fire, a guiding and indicating system for subway evacuation based on smoke spreading was designed. The system established the wireless sensor network on the basis of smoke spreading; through reasonably placing the smoke and heat detectors and the indicative signs, the system coped with

the signals from each sensor in a comprehensive manner and in case of fire, it dynamically designs the escape routes. The overall structure, hardware and software design of sensor gathering modular and evacuation guiding modular, and software design of data processing modular were introduced. The system function test showed that, the whole system is characterized by high reliability, little misinformation, networking and intelligence.

Key words: metro; fire; smoke spreading; safety evacuation

作者简介:王军华(1973—),男,上海人,上海大学副教授,博士,硕士生导师,主要从事通信与信号处理等方面的研究,上海市宝山区上大路 99 号,200444。

通信作者:刘盛鹏,公安部上海消防研究所,上海市,200438。

收稿日期:2016-03-11

基金项目:湖南省自然科学基金资助项目(14JJ3024)

性,如脉冲宽度更窄、脉内无窄波。发射机设计时要考虑到重复频率、脉冲峰值功率、波形稳定度、脉冲波形、脉冲拖尾、时基稳定度等重要参数。发射机设计核心是纳秒级脉冲源的设计、通论理论分析和数据对比。笔者选用雪崩三极管全固态微波电路进行高稳定脉冲源的设计。

超宽带雷达接收机同样具有特殊性,如接收带宽很宽,波形保真、灵敏度与动态范围等指标很难兼顾。接收机设计时必须重点考虑以下重要参数:瞬时带宽、灵敏度动态范围、误警概率等。接收机设计的核心是如何在强背景发射、多径干扰条件下实现对真实的微弱目标回波信号进行高灵敏度接收与检测。

超宽带天线的分析设计属于典型的瞬态电磁场范畴,不同于稳态场中频域宽带微波天线的设计思想。雷达天线有很多形式,如按结构形式主要有反射面天线和阵列天线两大类;按天线波束的扫描方式可分为机械扫描天线、电扫描天线和机电扫描结合的天线。结合前期的研究分析,收发天线采用平面印刷蝴蝶振子天线形式。

2 超宽带雷达对人体生命特征信号测量算法

2.1 超宽带雷达测量原理

超宽带雷达基本任务是目标参数的测量,包括距离、速度、角度等。超宽带雷达测距与普通雷达测距原理完全相同,根据雷达首发脉冲延时求解目标距离,见式(1)。

$$R = \frac{1}{2}ct_0 \quad (1)$$

式中: R 为目标的距离; t_0 为收发延时; c 为电磁波在空气中的传播速度(即光速)。

在超宽带雷达测距中,由于脉冲宽度极窄,一般仅在纳秒左右;其上升沿非常陡峭,可达数百皮秒,所以利用回波脉冲或者脉冲前沿实现目标测距就可能获得很高的测量精度。

2.2 生命特征检测原理

图2为人体模型监测示意图。在非触式生命特征信号探测中,雷达对呼吸、心跳等微动信号的监测属于典型的近距离、低速度、小尺寸目标信号监测,与传统的雷达信号处理对象不同,非常具有技术难度。超宽带冲击雷达对人体心肺运动等生命特征信号进行监测时,生命特征重点考虑人体呼吸所产生的胸腔扩张起伏变化。假设发射天线与接收天线距离为 d_0 ,发射天线辐射出去的超宽带冲击信号穿过空气、墙壁、衣物等遮挡物,遇到人体后部分能量被发射回来,接收天线接收该部分能量。

设人体呼吸造成的胸腔微动 $g(t)$ 以频率 f_b 呈正弦规律变化,最大幅度为 Δd ,见式(2)。

$$g(t) = \Delta d \sin 2\pi f_b t \quad (2)$$

胸腔与天线的距离 d_i 表达式见式(3)所示。

$$d_i(t) = d_0 + g(t) = d_0 + \Delta d \sin 2\pi f_b t \quad (3)$$

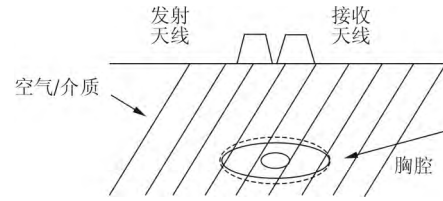


图2 人体监测示意图

假设空间通道传输函数为 $h(t, \tau)$,背景信号视为静态函数,则胸腔周期性起伏必将在信号传输上表现为一个周期性函数,见式(4)。

$$h(t, \tau) = \sum_i a_i \delta(\tau - \tau_i) + a_i \delta(\tau - \tau_b(t)) \quad (4)$$

胸腔起伏对于电磁脉冲信号的反射回波时延变化 $\tau_b(t)$,见式(5)。

$$\begin{aligned} \tau_b(t) &= \frac{2d_i(t)}{c} = \frac{2(d_0 + \Delta d \sin 2\pi f_b t)}{c} \\ &= \tau_0 + \tau_a \sin 2\pi f_b t \end{aligned} \quad (5)$$

式中: c 为电磁波在空气中的传播速度。

由以上公式可以看出,胸腔起伏微动对反射回波时延起到了调制作用,引起周期性变化,变化频率与呼吸频率相同。图3为存在周期微动的探测回波示意图。

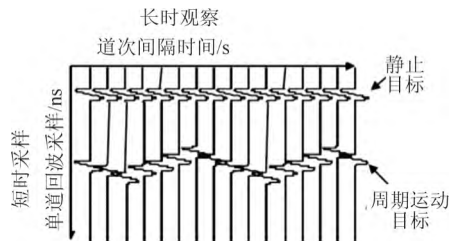


图3 回波示意图

通过以上的分析可知,超宽带雷达进行生命特征信号监测时,可以根据回波数据中是否存在周期性变化,进而判断生命特征信号并进行参数检测提取,来判断检测目标所处的位置,探测到目标。

3 UWB生命探测仪系统试验分析

基于以上原理,笔者开发了系统样机,并对其进行试验测试。由于不同于一般的雷达系统,所以试验时采用从简单到复杂、由近及远的顺序进行仿真测试。

3.1 室内直射测试

在室内环境进行室内直射测试,对放置在 $1 \sim 20$ m区域内的多点进行测试,每个位置点测试时长 2 min左右,测试场景和结果如图4所示。

3.2 穿墙遮挡测试

在室内进行穿墙测试,生命体(人体模型)置于墙壁后面,置于墙壁另一侧,测试雷达穿透不同厚度墙壁后生命特征信号的监测效果,测试场景及结果如图5所示。

3.3 试验结果分析

经过初步的试验验证,试验样机的各个测试环境下无遮挡(室内直射测试)、有遮挡(室内穿墙测试)能够基

本上监测到人体(人体模型),性能指标基本达到要求。为超宽带冲击雷达设计理论产生积极的反馈作用。试验结果初步实现了单个人体的胸腔起伏呼吸生命特征信号的成功提取和检测,后续还需要对多个人体目标周期性运动信号的提取进一步提升系统性能、增加试验的复杂度,逐步应用于更多场合。

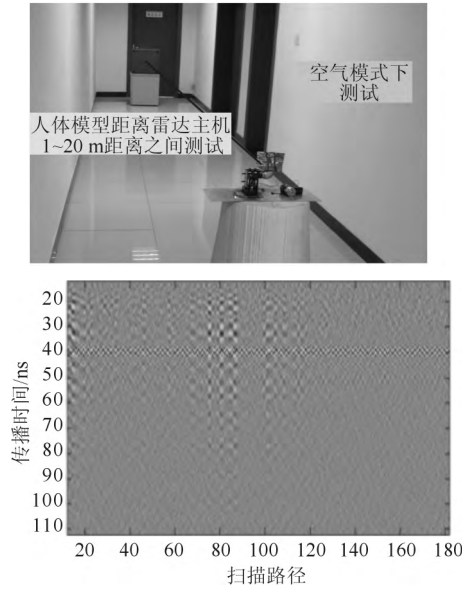


图4 室内直射测试及结果

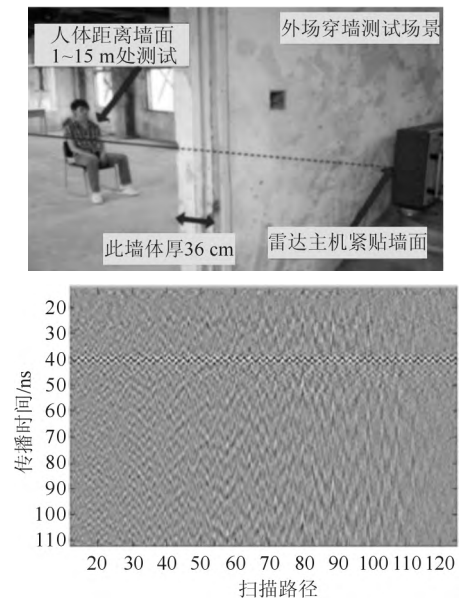


图5 穿墙遮挡测试

4 结束语

超宽带雷达由于自身的特性,成为当今电子领域中研究热点。超宽带雷达生命救援探测设备就是利用超宽带雷达的特性设计而成,理论样机能够成功地监测到近距离、无遮挡、墙体遮挡等生命特征信号,在各种救援场合下可以先一步监测出目标生命特征,为安全救援提供指导,给救援行动提供很大便捷、安全保障,在安防、消防甚至是救援等领域发挥很大的作用。

参考文献:

- [1] 梁步阁,朱畅,袁乃昌.超宽带冲击脉冲正交解调接收机系统反射校正算法及其实现[J].信号处理,2007,23(1):83-87.
- [2] 梁步阁,张光甫,袁乃昌,等.全固态高稳定度纳秒脉冲源的相干合成技术研究[J].强激光与粒子束,2006,18(6):1041-1045.
- [3] 中航雷达与电子设备研究院.雷达系统[M].北京:国防工业出版社,2005.
- [4] Reizenzahn A, Buchegger T, Kaineder G. A ground penetrating UWB radar system[C]//IEEE MTT-S, Ultra-wideband and Ultra-short Impulse Signals, 2006.
- [5] Malek G M, Hussain, Ultra-Wideband Impulse Radar—An Overview of the Principles[C]//IEEE AES Systems Magazine, 1998.
- [6] 夏登友,商靠定,程晓红,等.灭火救援战斗力综合评估指标体系的研究[J].消防科学与技术,2008,27(4):273-276.
- [7] 袁宏永,刘炳海,陈晓军,等.图像型火灾智能自动探测与空间定位技术[J].消防科学与技术,1998,17(2):2-4.
- [8] 胡君健,谢启源,袁宏永,等.复合与智能火灾探测技术展望[J].消防科学与技术,2005,24(2):199-201.

UWB radar life detector system design and test

ZHANG Feng¹, LIANG Bu-ge¹, RONG Rui-zhi¹,
ZHANG Yan-song¹, ZHANG Ya-dong²

(1. School of Aeronautics and Astronautics, Central South University, Hunan Changsha 410083, China; 2. Institute of computer and communication, Lanzhou University of Technology, Gansu Lanzhou 730050, China)

Abstract: Using the potential characteristics of ultra-wideband (UWB) radar, the theoretical analysis and experimental research of UWB radar non-contact monitoring of life characteristic in rescue operation were conducted. A UWB radar system was designed. The basic principle and signal processing method of non-contact monitoring of life characteristic were introduced. Indoor direct test and wall block test showed that, the sample machine designed can detect the human model in each test environment, and the performance indicators achieved the basic requirement.

Key words: UWB impulse radar; life characteristic detector; emergency rescue

作者简介:张 锋(1991—),男,安徽人,中南大学航空航天大学硕士研究生,主要从事超宽带雷达的研究,湖南省长沙市岳麓区麓山南路 932 号,410083。

收稿日期:2016-03-21