

专论——非接触式生命体征感知技术及装备的研究

编者按：生命体征感知技术依据使用方式可分为接触式和非接触式。其中接触式生命体征感知技术利用电极、传感器以及探头直接接触生命体，探测生命体的生理信号，尽管其探测精度高，但由于受到电极和线缆的约束，应用范围有一定的局限。非接触式生命体征感知技术摆脱了电极和传感器对探测对象的约束，间隔一定距离，可穿透障碍物探测生命体的生理信号。具有非接触、探测距离远、应用范围广及障碍物穿透能力强等优点。本期专论邀请路国华介绍非接触式生命体征感知技术及装备的研究，包括基于生物雷达、高光谱、红外的生命体征感知技术和基于图像处理及生物医学信号检测技术等。

栏目主编：路国华



路国华，现任空军军医大学军事生物医学工程教学实验中心主任、副教授，长期从事无人化伤员搜寻技术及装备研究。作为负责人研制出我军首台伤员搜寻无人机，实现了陆地伪装伤员的无人化快速搜寻；作为主要负责人研制出我国首台能够自动开启、监测失事飞行员生命体征参数（呼吸率）的航空应急救援生定位系统用户主机样机。近五年，获国家技术发明二等奖和陕西科学技术一等奖各1项，先后承担军队重大装备研制项目、国家自然科学基金重大仪器专项、科技支撑计划、军队重点、国家自然科学基金面上以及省部级课题等15项，发表SCI/EI收录论文22篇（单篇最高影响因子6.5）；以第一发明人获授权发明专利4项；先后获评空军高层次科技人才、军队优秀专业技术人才二类岗位津贴、西安青年科技人才奖，荣立个人三等功和集体三等功各1次；现任全军卫生装备专业委员会卫生装备培训分委会副主任委员。

非接触式生命探测技术研究现状与发展

景裕，曹育森，朱明明，雷涛，夏娟娟，李钊，张林媛，王健琪，路国华

空军军医大学 军事生物医学工程系，陕西 西安 710032

[摘要] 生命探测技术是灾后以及战后伤员的搜索救援工作的关键技术之一。本文阐述了非接触式生命探测技术的分类，介绍了基于声学信号、光学信号、气味信号和生物雷达的四种非接触式生命探测技术的原理、特点以及研究现状，展望了非接触式生命探测技术的发展趋势。

[关键词] 非接触式；生命探测；伤员搜寻；声学信号

Research Status and Development of Non-Contact Life Detection Technology

JING Yu, CAO Yusen, ZHU Mingming, LEI Tao, XIA Juanjuan, LI Zhao, ZHANG Linyuan, WANG Jianqi, LU Guohua
School of Military Biomedical Engineering, Air Force Medical University, Xi'an Shaanxi 710032, China

Abstract: Life detection technology is one of the key technologies in the search and rescue of the wounded after the war and the disaster. In this paper, the classification of non-contact life detection technology was described, the principle, features and research status of these four kinds of non-contact life detection technologies based on acoustic, optical, odor and bio-radar were introduced. Finally, the development of this technology was prospected.

Key words: non-contact; life detection; search of the wounded; acoustic signal

[中图分类号] R197.39

[文献标识码] A

doi: 10.3969/j.issn.1674-1633.2021.06.001

[文章编号] 1674-1633(2021)06-0001-04

引言

我军十分重视战后和灾后伤员的搜索救援任务，不仅建立了紧急救援体系，也成立了一支专业化的国家地震灾害紧急救援队来应对重大突发事件，如地震、泥石流等自然灾害以及恐怖活动。为确保我军的救援能力，相应的生

命探测技术和设备的研究也需要进一步深入。灾后 72 h 是救援工作的黄金期，因此快速、准确地对伤员进行探测和定位可大大提高救援工作的效率以及伤员的存活率。生命探测技术在战时及非战时有着广泛的应用。

生命探测技术从使用方式的角度来看，可分为接触式

和非接触式生命探测技术。其中接触式生命探测技术利用电极、传感器以及探头直接接触生命体,探测生命体的生理信号。其探测精度高,但由于受到电极和线缆的约束,应用范围有一定的局限。非接触式生命探测技术摆脱了电极和传感器对探测对象的约束^[1],间隔一定距离,穿透障碍物探测生命体的生理信号。具有非接触、探测距离远、应用范围广及障碍物穿透能力强等优点,相较于接触式生命探测技术更适用于被掩埋伤员的搜救工作。

非接触式生命探测技术按原理可分为:基于光学信号的生命探测技术、基于声学信号的生命探测技术、基于气味信号的生命探测技术以及基于生物雷达的生命探测技术^[2]。雷达生命探测技术近年来被大量研究并得到了快速发展,其应用较为广泛,产品也较为普及。本文将详细介绍各种非接触式生命探测技术的原理、特点和应用,并阐述其研究现状和发展趋势。

1 基于声学信号的非接触式生命探测技术

基于声学信号的非接触式生命探测技术采用微电子处理器和振动传感器,能够识别幸存者通过呼喊、敲击或拍打发出的微小振动,并通过全方位传感器所检测到的回声强弱对幸存者进行定位,能够有效识别人类听觉系统不能识别的声音。音频生命探测技术最早源于法国,其产品现已发展至第四代,已有多个国家使用音频生命探测仪进行灾后或战后的伤员搜救^[3]。如 LEADER(法国)和 DELSAR(美国)音频生命探测仪。

音频生命探测仪操作简便、定位精确、灵敏度高,适用于多种救援现场,但容易受到周围环境噪声的影响,要求救援现场较为安静,且待救者必须发出声音。音频生命探测技术可以与视频生命探测技术结合起来提高其探测能力,在借鉴吸收国外探测技术的基础上,我国自主研发出了 DVL-360 音视频生命探测仪,能够在施救者和待救者之间建立视觉和听觉的联系。

由于声音信号容易受到周围环境中其他声音和噪声的干扰,声音信号的识别和分类是声音探测技术的主要研究方向。随着深度学习的逐步兴起,作为深度学习的一种模式分析方法,神经网络在目标识别和分类中的应用得到了快速发展。近年来,很多国内外学者致力于用神经网络的方法解决声音探测技术中声音识别和分类的问题^[4-8]。其中 Romanov 等^[8]实现了一种基于 VGGish 模型的声音信号检测和分类系统,可以识别十三种声音信号,如咳嗽、婴儿啼哭、犬吠和枪声等,该系统假阳性率极低,可用于自动持续检测。神经网络在声音信号处理领域的应用显示出良好的结果,在声音信号的识别和分类方面也越来越受欢迎。

收稿日期:2021-04-13

基金项目:国家自然科学基金面上项目(61271102);军队后勤科研计划重大子项(AS314Z004-01);陕西省重点产业创新链(2021ZDLGY09-07)。

通信作者:路国华,副教授,主要研究方向为智能医疗设备研发和无人化伤员搜寻技术。

通信作者邮箱:lugh1976@fmmu.edu.cn

2 基于光学信号的非接触式生命探测技术

根据波长可将光学信号分为可见光、红外线和紫外线等,在电磁波谱中,红外线和可见光可用于生命探测。

可见光生命探测技术也可以称为视频生命探测技术,即将视频探头伸入救灾现场的缝隙中,采集视频信号,进行可视性探测。探头可携带有米数标记的电缆,从而简化伤员定位的问题,但必须要求现场有缝隙和孔洞,且探头容易受到泥水的污染,导致图像不清晰。视频生命探测技术可以获得可见光图像信息,通常将其与音频生命探测技术结合使用,从而获取更多有用信息,如蛇眼音视频生命探测仪。

基于红外线的生命探测技术可分为主动式探测和被动式探测。其中主动式红外生命探测技术利用红外探照灯人为产生红外辐射照射探测目标,通过处理相应的反射信号,最后将电信号转换为人眼可以识别的光信号^[9],从而探知生命体的存在,如红外夜视仪,可在夜间进行观察和搜索。主动式红外生命探测技术能准确分辨人和动物并探测距离,但其对成像技术依赖性较高,气候变化(如多雾和风沙)和地面的震动会引起系统的误报,且红外探照灯频繁发射红外光束会被敌方的红外探测装置探测到。

被动式红外生命探测技术本身不发射任何红外辐射,而是被动接收来自探测目标(温度高于0)的红外辐射,随后将其转变为热图像,如热成像仪。被动式红外生命探测技术具有隐蔽性好、成本较低的优点,但不能穿透墙体等障碍物。

随着国内外学者研究的深入,红外探测技术在伤员搜救、环境检测以及疾病诊断等方面的应用也越来越广泛。已有研究^[9]利用基于傅里叶变换的红外光谱实现气体和污染物的高灵敏度检测。近年来,随着各种图像融合理论和算法的出现和不断发展,许多国内外学者将其成功应用于多个领域,引起了研究者的广泛关注,并成为许多研究者的工作重点^[10-13],图像融合技术可以将可见光图像中携带的细节纹理信息和红外图像中携带的热辐射信息结合起来。Sun 等^[13]将可见光成像技术和红外成像技术结合起来,保留可见光图像中的纹理和细节,突出红外图像中感兴趣的目标,远程探测多个生命体征并初步筛查疑似传染病的患者,其筛查能力高于传统的发热筛查方法。

3 基于气味信号的非接触式生命探测技术

生物具有极其敏锐的嗅觉,可以辨别各种气味信号,仿照生物的嗅觉系统,人们提出了“仿生电子鼻”的概念^[14],电子鼻可以检测气味,并对气味进行分类,主要包括传感器阵列和相应的识别算法两个部分,通过气体传感器阵列吸附气体化合物,再将获得的气味信号进行识别分析后实现气味信号的辨别。气体检测技术已经被广泛应用于环境监测、防爆、食品质量检测和疾病诊断等领域^[15-17]。目前,已有研究人员将气体检测技术应用于伤员的搜救工作中,人体呼吸产生的气体中含有多种挥发性有机物(Volatile Organic Compounds, VOCs),当发生地震等自然

灾害时,由于废墟之下的空间狭小且空气不流通,幸存者呼吸所产生的 VOCs 会在该空间内富集,浓度较高,通过检测 VOCs 就能获得幸存者的位置信息,从而达到生命探测的目的。基于气味信号的生命探测技术具有灵敏度高、抗环境干扰能力强以及辨别能力强等特点。

4 基于生物雷达的非接触式生命探测技术

雷达利用无线电的方法对目标进行探测,探测目标反射设备发射的电磁波,由接收器接收回波,并用相应的算法对回波进行处理和分析^[18],从而获得探测目标的位置信息。生物雷达将雷达用于人体的生命体征探测^[19],将雷达和生物医学测量相结合^[20],摆脱了电极和传感器对生命体的约束,在非接触的情况下实现呼吸信号和心率信号的检测。生物雷达根据原理可分为连续波生物雷达和超宽带(Ultra Wideband, UWB)生物雷达^[19]。

连续波生物雷达不断向探测目标发射连续的微波信号,该信号会被探测目标反射,根据多普勒原理,生命体的任何微小移动(如呼吸时胸部区域的移动)都会改变回波的相位^[18],然后使用相同的发送波对回波进行解调,提取生命体信号的参数。

UWB 生物雷达发射带宽大于 0.25 的脉冲微波束,接收由生命体活动而调制的回波脉冲^[21],选择合适的信号处理方法提取生命体的参数(如呼吸和心率信号)。UWB 生物雷达的障碍物穿透能力以及目标识别的能力优于连续波生物雷达。

雷达生命探测技术具有穿透能力强、定位精确、抗干扰性能强等特点,且不容易受到搜索救援现场的噪声和气候变化的影响。也能根据不同的搜索救援现场,选择不同波段的电磁波。广泛应用于灾后搜索救援、穿墙监视以及医疗诊断和检测。

在国内,空军军医大学生物医学工程系较早开始非接触式生命信息检测的研究,研制出了我国首台雷达生命探测仪^[19]和基于超宽谱微波信号的多通道搜救雷达^[22],能穿透障碍物检测到生命体的呼吸信号,并在汶川地震的搜索救援工作中发挥了一定的作用,在探知生命体是否存在的基础上,也可用于对生命体进行体征的持续监测^[23-25],由于人类和动物的生命体征相似,在搜救工作中可能会出现误判,因此目标识别也是雷达生命探测技术的研究热点。Yu 等^[26]提出一种新的方法识别人与动物的呼吸信号。为了提高检测精度,Liang 等^[27]提出了一种利用脉冲 UWB 雷达进行生命体征检测的新算法。

5 非接触式生命探测技术发展展望

声波在穿越障碍物时能量会大大衰减,为了解决探测声音信号质量的问题,声音信号的去噪和增强方法的研究需要进一步深入。随着深度学习的逐步兴起,研究者们可以使用深度学习的模式分析方法(如神经网络)提取声音信号的特征并进行识别和分类,在搜索救援工作中达到区分

人和动物的目的。除此之外,声音信号识别技术与图像识别技术结合,增强对探测目标的识别性能。随着深度学习在声音信号检测和分类方面的成功应用,深度学习将会在这一领域有进一步的突破。

基于光学信号的生命探测技术的研究,可进一步将成像信息扩展至更多波段进行工作,其他成像技术的研究可以为这一方向的实现和发展提供解决方案。在这一研究方向,高光谱成像技术的出现是一个重要的突破,不仅可以在可见光和紫外波段成像,也可以在近红外和中红外波段同时成像^[28],可以为目标识别和区分提供充足的光谱信息。但随着波段数的增加,同时也需要进一步克服数据量呈指数增加和冗余信息相对增多的问题。除此之外,红外成像技术也可以与其他成像技术融合,从而能提取出更多的有用信息。

基于生物雷达的生命探测技术不仅可以获取探测目标的生理信号(如呼吸信号和心率信号),也可将所获得的生命信号综合分析,实现伤员探测和定位的同时,也实现伤员伤情的感知,从而选取恰当的救援措施,提高搜救效率。在伤员众多的情况下,使用多输入多输出的生命探测系统解决多个对象同时检测的问题,盲源分离算法可从检测到的混合信号中分析出原始信号,允许同时探测多个目标。将其与其他生命探测技术和机器学习相结合,可实现探测技术的精准化和智能化。

异常气味(如香水和酒精)会引起传感器的强烈响应^[29],而影响设备探测生命体的目的,这是基于气味信号的生命探测技术亟待解决的问题。除此之外,气体混合物的检测也是一个需要解决的问题。

战后和灾后搜救现场环境错综复杂,单一的传感器很难满足生命探测的需求,可以利用信息融合技术将各种传感器所获取的不同类型的信息进行综合处理与分析,从而准确探测伤员的位置,并对伤员的伤情进行初步的感知,提高非接触式生命探测技术的探测能力和可靠性。无人化设备的普及为无人化伤员搜寻的实现提供解决方案,将多种传感器集成到完全自主的无人机或机器人上,可在具有潜在危害和风险的救援现场取代人工。

6 结语

综上所述,非接触式生命探测技术的研究将会向如何提高其探测能力、智能化和无人化的方向发展,与其他技术的融合,可进一步实现伤员的伤情感知,非接触式生命探测技术的发展将有利于提高我军的伤员搜救能力和伤员的存活率。

[参考文献]

- [1] 王健琪,薛慧君,吕昊,等.非接触生理信号检测技术[J].中国医疗设备,2013,28(11):5-8.
- [2] 张杨,吕昊,梁福来,等.非接触战场伤情探测技术现状与应用展望[J].医疗卫生装备,2019,40(7):99-103.
- [3] 侯培国,李宁,宋涛.生命探测技术研究现状与发展[J].传感器

- 与微系统,2014,33(7):1-3.
- [4] Li Y,Zhang X,Jin H,*et al.*Using multi-stream hierarchical deep neural network to extract deep audio feature for acoustic event detection[J].*Multimed Tools Appl*,2018,77(1):897-916.
- [5] Kim HG,Kim JY.Acoustic event detection in multichannel audio using gated recurrent neural networks with High-resolution spectral features[J].*Etri J*,2017,39(6):832-840.
- [6] Emre C,Giambattista P,Toni H,*et al.*Convolutional recurrent neural networks for polyphonic sound event detection[J].*IEEE-Acmt Audio Spe*,2017,25(6):1291-1303.
- [7] Wan T,Zhou Y,Ma Y,*et al.*Noise robust sound event detection using deep learning and audio enhancement[A].2019 IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology (ISSPIT)[C].IEEE,2019:1-5.
- [8] Romanov SA,Kharkovchuk NA,Sinelnikov MR,*et al.*Development of a non-speech audio event detection system[A].2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering(EIConRus)[C].IEEE,2020:1421-1423.
- [9] Huang E,Kwei W,Haddadi A,*et al.*Active and passive infrared imager based on short-wave and mid-wave type-II superlattice dual-band detectors[J].*Opt Lett*,2013,38(1):22-24.
- [10] Zhang X,Ma Y,Fan F,*et al.*Infrared and visible image fusion via saliency analysis and local edge-preserving multi-scale decomposition[J].*J Opt Soc Amer*,2017,34(8):1400-1410.
- [11] Chen L,Yang X,Lu L,*et al.*An image fusion algorithm of infrared and visible imaging sensors for cyber-physical systems[J].*Int J Intell Syst*,2019,36(5):4277-4291.
- [12] Rong C,Liu G,Ping Z,*et al.*Fusion of infrared and visible images based on infrared object extraction[J].*Chinese J Electron*,2021,30(2):339-348.
- [13] Sun G,Nakayama Y,Dagdanpurev S,*et al.*Remote sensing of multiple vital signs using a CMOS camera-equipped infrared thermography system and its clinical application in rapidly screening patients with suspected infectious diseases[J].*Int J Infect Dis*,2017,55:113-117.
- [14] Persaud D.Analysis of discrimination mechanisms in the mammalian olfactory system using a model nose[J].*Nature*,1982:352-355.
- [15] Eamsa-Ard T,Seesaard T,Kerdcharoen T.Wearable sensor of humanoid robot-based textile chemical sensors for odor detection and tracking[A].2018 International Conference on Engineering,Applied Sciences and Technology(ICEAST)[C].IEEE,2018:1-4.
- [16] Airehrour D,Cherrington M,Rajagopal K.Odour detection system for allergy sufferers[A].2020 11th IEEE Annual Information Technology,Electronics and Mobile Communication Conference(IEMCON)[C].IEEE,2020:193-200.
- [17] Eamsa-Ard T,Seesaard T,Kerdcharoen T.Human odor sensing for health status detection and tracking by using electronic nose[A].2019 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan(ICCE-TW)[C].IEEE,2019:1-2.
- [18] Malafaia D,Oliveira B,Ferreira P,*et al.*Cognitive bio-radar: The natural evolution of bio-signals measurement[J].*J Med Syst*,2016,40(10):219-228.
- [19] 路国华,王健琪,杨国胜,等.生物雷达技术的研究现状[J].国外医学:生物医学工程分册,2004,27(6):368-370.
- [20] Li T,Qiu T,Tang H.Optimum heart sound signal selection based on the cyclostationary property[J].*Comput Biol Med*,2013,43(6):607-612.
- [21] Ye H.Life detection technique in earthquake search and rescue[A].International Conference on Instrumentation,Measurement,Computer,Communication and Control(IMCCC)[C].IEEE,2012:664-666.
- [22] Xue H,Liu M,Zhang Y,*et al.*An algorithm based wavelet entropy for shadowing effect of human detection using ultra-wideband bio-radar[J].*Sensors*,2017,17(10),2255.
- [23] Indu S,Gupta A,Kaw A,*et al.*Life detection system using continuous wave Doppler radar and blind source separation[A].2017 Devices for Integrated Circuit(DevIC)[C].IEEE,2017:711-715.
- [24] Kim JY,Park JH,Jang SY,*et al.*Peak detection algorithm for vital sign detection using Doppler radar sensors[J].*Sensors*,2019,19(7),1575.
- [25] He M,Nian Y,Gong Y,*et al.*Novel signal processing method for vital sign monitoring using FMCW radar[J].*Biomed Signal Proces*,2017,33:335-345.
- [26] Yu X,Jiao T,Lv H,*et al.*A new use of UWB radar to detecting victims and discriminating humans from animals[A].2016 16th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR)[C].Hong Kong:China,2016:1-5.
- [27] Liang X,Zhang H,Ye S,*et al.*Improved denoising method for through-wall vital sign detection using UWB impulse radar[J].*Digit Signal Process*,2017,74:72-93.
- [28] Dong X,Martin J,Wang S,*et al.*A review of hyperspectral imaging for nanoscale materials research[J].*Appl Spectrosc Rev*,2018,54(4):285-305.
- [29] Zhang L,Deng P.Abnormal odor detection in electronic nose via self-expression inspired extreme learning machine[J].*IEEE T Syst Man Cy-S*,2019,49(10):1922-1932.