

文章编号: 1672-8785(2014)07-0029-04

主动毫米波成像技术在公共安全领域中的应用分析

李志豪 温亚珍

(公安部第三研究所, 上海 200031)

摘 要: 主动毫米波可以透过衣物、塑料等对金属、毒品、爆炸物以及陶瓷刀等多数危险物品进行全息三维成像。与 X 射线检查仪相比, 主动毫米波几乎没有任何辐射, 不会对生物组织造成危害。目前, 欧美的机场及主要场所已大量部署了主动毫米波成像设备, 以代替原有的金属探测门及 X 射线成像仪。随着我国国家影响力的日益提高, 主动毫米波技术在国内公共安全领域必将拥有更大的应用前景。

关键词: 主动毫米波; 全息成像; 公共安全

中图分类号: TN99 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2014.07.007

Application of Active Millimeter-wave Imaging in the Field of Public Safety

LI Zhi-hao, WEN Ya-zhen

(The Third Institute of the Ministry of Public Security, Shanghai 200031, China)

Abstract: Because active millimeter-wave can penetrate through cloth and plastic materials, three-dimensional holographic images of hidden dangerous goods such as metals, drugs, explosive and knives can be acquired. Compared with a X-ray inspection system, the active millimeter-wave has almost no radiation and does not do harm to biological tissue. At present, more and more metal detectors and X-ray imagers have been replaced by millimeter-wave imaging equipment in Europe and U.S.. With the rising of China's national influence, the active millimeter-wave imaging technology will have a broad application prospect in the field of public safety.

Key words: active millimeter-wave; holographic imaging; public safety

0 引言

毫米波泛指频率位于红外和微波之间、在 26.5~300 GHz 波段内的电磁波, 它处于宏观电子学向微观光子学的过渡阶段。与微波相比, 毫米波拥有更高的带宽特性和分辨能力; 与光波相比, 毫米波拥有更高的能量转换效率, 可以透过

一定物质的表面成像。与 X 射线相比, 其电子能量较低, 不会对人体组织造成伤害。

早期受限于毫米波的波长特性, 成像的分辨率较低。频率处在 0.3~3 THz 范围的太赫兹波, 由于其波长在 0.1~1 mm 范围和分辨率远远高于毫米波, 因而备受关注。目前, 为了实现高分辨率成像, 太赫兹波需要使用高频半导体发

收稿日期: 2014-04-15

基金项目: 上海市科委项目“基于亚毫米波的人体成像安检系统研究”(13231203100)

作者简介: 李志豪(1985-), 男, 上海人, 硕士, 助理研究员, 主要从事光电技术研究。

E-mail: lizhihao559@hotmail.com

射器件及高灵敏度探测器。但由于技术成熟度等原因,这些器件的价位始终较高。随着近年来超分辨率技术的发展,主动毫米波透视成像的分辨率已经突破了毫米波本身的成像极限,其系统性能不仅可以与太赫兹系统相比,而且成本与技术深受用户与开发者的青睐。因此,毫米波成像技术拥有了更大的实用价值。

实际中,美国运输安全管理局已经宣布,在3年内采购近千台毫米波安检仪,以取代覆盖全美所有的机场安检通道的X光机。欧洲也在逐步开展全面禁用X射线扫描人体的计划,大量部署毫米波安检仪。此外,早在2008年,英国内政部就曾小范围试用了“透视摄像机”-T5000系统,它发出的毫米波可在24 m内轻松穿透被视者的衣物。如今这个装置已经部署在伦敦东部金融区的敏感地区。

1 成像原理及实现方式

主动毫米波成像按使用的器件和技术可细分为宽带毫米波成像和窄带毫米波成像。两者都是利用毫米波发射器件对被检人员及携带的物品进行照射,然后用接收天线收集反射或散射的回波信号,并由信号处理系统进行成像。与窄带毫米波成像技术相比,宽带毫米波成像技术的应用因拥有以下几点优势而显得更重要:

- (1) 发射功率相对较小,不会对周围其他射频系统产生干扰;
- (2) 纵深分辨率相对较高,可以精确定位;
- (3) 允许使用更少的天线组成稀疏探测阵列进行信号采集,降低数据采集时间及数据分析的复杂度,减少设备的重量与体积;
- (4) 可以实现实时成像,不会对安检过程中的人流造成影响。

1.1 系统构成

以美国西北太平洋国家实验室研发的主动毫米波成像设备系统为例,其构成如图1所示。由128个收发器单元组成的收发天线阵列被安置在垂直高速扫描器上,收发器在产生宽带毫米波辐射目标的同时也对来自目标散射回波信号

中的相位及幅值信息进行测量。控制面板确保扫描设备与计算机同步,并对收发阵列测量到的相位及幅值信息进行AD转换,交由计算机处理,通过重构算法后将数据还原为三维图像。

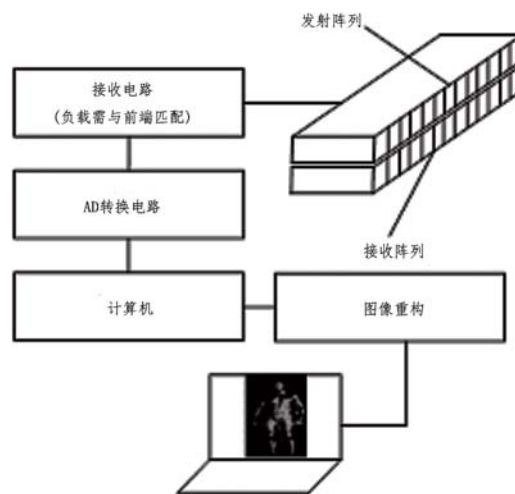


图1 系统构成



图2 L3毫米波人体成像设备及其成像效果

收发阵列由上下两组顺序切换的含有64个收发器单元的天线阵列组成。一组专用于产生并传输毫米波辐射,另一组专用于接收回波信号。两者通过9个单刀八掷开关进行切换,对0.75 m的水平孔径进行采样。收发器单元分别由两组压控振荡器组成,彼此通过中频进行偏移,分别提供毫米波辐射以及本地震荡信号。本地震荡信号器将接收到的回波信号下变频到中频,再下变频到基带以产生包含回波信号中的相位与幅值信息的同相信号,等待计算机进行后续处理。图2为以美国西北太平洋国家实验室研

发的主动毫米波成像设备系统为原型的 L3 人体成像设备及其成像效果图。目前, 该设备已被广泛应用于美国各大机场及欧洲部分国家的主要场所, 是目前市场上最成熟的毫米波成像设备之一^[1]。

1.2 成像分辨率

主动毫米波技术的成像重构算法与光学全息重建算法类似。若采用窄带毫米波成像, 虽然通过电子调焦可以获得特定的景深, 但其它深度的图像信息会产生离焦现象。而采用宽带毫米波成像技术则不会出现此类问题。其 3D 重构算法几乎完全基于快速傅里叶变换实现。由于宽带毫米波的辐射波频率具有一定的带宽, 利用 2D 傅立叶变换可以将其带宽内来自不同频率的散射回波波前解压缩为平面波分量, 最终这些平面波分量将被反演为显示的图像信息。整个过程类似于卫星遥感图像反演地表信息^[2]。重构算法没做任何菲涅尔或夫琅禾费近似, 因此可近似认为达到衍射极限, 其横向分辨率和纵深分辨率可分别表示为^[3]

$$\delta_l = \lambda R / 2L \quad (1)$$

$$\delta_r = c / 2B \quad (2)$$

式中, λ 为中心频率波长, R 为探测器与目标的间距, L 为探测系统的孔径, c 为光速, B 为带宽。根据上面的公式, 如果使用 35 GHz 中心频率、10 GHz 带宽在 1 m 内成像, 可获得 0.57 cm 的横向分辨率 (方位分辨率) 和 1.5 cm 的纵深分辨率 (深度分辨率)。

2 趋势及应用前景分析

由于看好毫米波的应用前景, 美国国家基金会、国家宇航局、美国能源部以及多所世界各地的知名大学如英国剑桥大学、Rutherford 国家实验室、美国罗彻斯特大学光学研究所、中国的上海理工大学、北京首都师范大学、武汉华中科技大学和中科院微系统所等都相继成立了毫米波科研实验室, 并逐步推出研究成果。

目前, 公共安检口岸如机场、码头、地铁站、火车站以及许多重要场馆入口采用的针对人体的主要安检设备有 X 射线人体检查仪和金属探测门等。前者透视能力强但辐射剂量大, 会对人体造成极大的危害; 而后者主要探测入检人员身上携带的金属物件, 对其他危险物品没有响应。使用主动毫米波成像检查仪可以透过衣物对人体直接检查, 即使贴身藏的物品也无处遁形。检测的内容不仅包括金属, 还包括任何会吸收毫米波的物件如毒品、爆炸物以及陶瓷刀等危险物品。另外, 与 X 射线检查仪相比, 毫米波检查仪几乎没有任何辐射, 不会对人体造成危害, 这点对于操作人员和被检人员来说都是非常重要的。

几年前美国就在太空设备检查领域中利用了毫米波技术。近年来, 为了防止 911 的悲剧重演, 美国在机场引进了大批毫米波检查设备。根据美国广播公司报道, 美国 2012 年分别在洛杉矶国际机场、肯尼迪国际机场、波士顿洛根国际机场、夏洛特道格拉斯国际机场和奥兰多国际机场等数十个机场引进了共计 250 余台毫米波人体检查仪, 耗资 4500 多万美元。2013 年 1 月到 3 月的三个月内, 美国各大型机场的毫米波人体检查仪的购买数量达到了 147 台, 总价值达到 2250 多万美元, 并且供不应求, 美国全国 49 个小型机场也纷纷提出了引进要求。而我国目前依然没有一套完整成熟的毫米波检查设备投入使用, 各安检场所对毫米波的使用几乎空白。毫米波成像检查仪逐步取代背散检查仪是安检领域发展的必然趋势。从美国的毫米波应用可看出其在我国的巨大应用潜力。将来的主要应用途径有:

(1) 全国各安检口岸如机场、地铁站、火车站和轮渡码头。毫米波人体检查仪的快速扫描成像可以轻松应对流动较大的人群, 避免因人工检查所带来的纰漏及对客流的影响, 还能弥补传统金属探测门因对除金属外的有机物或无机物不响应而造成的漏检问题, 大大提高安检的可靠性与准确性。另外, X 射线人体透视检查仪的辐射问题也可得到解决。

(2) 重要场馆入口的安检。中国正处于蓬勃的发展阶段, 承担了越来越多的国际活动及国际会议, 毫米波人体检查作为一种高新技术, 其快速、准确、安全的检测特性完全可以担负起这些重要活动的安检重任。

据统计, 我国共有 180 个民用航空机场和 5576 个铁路车站。其中, 特等站 50 个, 一等站 226 个, 二等站 342 个, 三等站 886 个。重要场馆数量随着我国在国际社会上的影响的扩大而不断增加, 这些重要场馆也是潜在的毫米波成像检查仪用户。可以预见, 在不久的将来我国必将迎来使用毫米波安检设备的高潮。

3 结束语

随着毫米波硬件系统和三维成像超分辨技术的逐渐成熟, 由于具有不会对生物组织造成

破坏的特点, 主动毫米波成像安检设备必将逐步取代现有的 X 射线检查设备, 成为机场、火车站、地铁站以及其它重要场所安全检查的一种主流技术。

参考文献

- [1] Roberta C, Roberta P, Enrico A, et al. Airport Detection and Tracking Of Dangerous Materials by Passive and Active Sensors Arrays, Project No: 234014 [R]. [S.l.]: SESM, 2010.
- [2] Soumekh M. Bistatic Synthetic Aperture Radar Inversion with Application in Dynamic Object Imaging [J]. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 1991, **39**(9): 2044–2055.
- [3] Douglas L, McMakin, et al. Imaging System and Methods for Obtaining and Using Biometric Information: United States, US 2007/0263907 [P]. 2007.
- [4] 张利江, 李鹏. 用修正液-涂层透析法对涂抹掩盖字迹的检验 [J]. *刑事技术*, 2002(4):42–43.
- [5] 连园园, 李伟, 王桂强, 等. 光谱成像检验同种同色涂抹掩盖字迹研究 [J]. *刑事技术*, 2011(1):23–28.
- [6] 李伟, 王桂强, 梁鲁宁, 等. 文检仪显现同种同色掩盖字迹条件的初探 [J]. *中国司法鉴定*, 2009(4):27–31.
- [7] 陈薇, 赵小林. 氩离子激光分光色照相技术拍照被涂改、掩盖的字迹 [J]. *广东公安科技*, 1994(2):23–29.
- [8] 王天顺. 红外照相显示掩盖字迹侦破一起交通肇事逃逸案 [J]. *刑事技术*, 1995(4):38–39.
- [9] 孙维龙, 卞新伟. 热压法转印被墨汁和碳素墨水掩盖的书写字迹 [J]. *刑事技术*, 1994(2):4.
- [10] 陈春涛. 碳素墨水或墨汁掩盖下有色字迹的一种无损显现方法 [J]. *江苏警官学院学报*, 2009(3):180–183.
- [11] 徐兆海. 用多波段光源配合 CCD 摄像机拍摄被碳素墨水掩盖的文字 [J]. *江苏公安专科学校学报*, 2001(6):142–144.
- [12] 刘晓东. 品牌签字笔中碳素成分的测定 [J]. *警察技术*, 2003(3):26–27.
- [13] 史晓凡, 许英健, 王彦吉, 等. 高效液相色谱法分析黑色签字笔墨迹的种类和形成时间 [J]. *分析实验室*, 2008(1):46–49.
- [14] 王润生, 杨苏明, 阎柏琨. 成像光谱矿物识别方法与识别模型评述 [J]. *国土资源遥感*, 2007(1):1–9.
- [15] 吴龙国, 何建国, 贺晓光, 等. 高光谱图像技术在水果无损检测中的研究进展 [J]. *激光与红外*, 2013, **43**(9): 990–996.
- [16] 谭倩, 赵永超, 童庆禧, 等. 植被光谱维特征提取模型 [J]. *遥感信息*, 2001(1):14–18.

参考文献

- [1] 谢朋, 刘辉, 纪伟, 等. 利用透析法显现被涂抹掩盖的水溶性色料字迹 [J]. *中国人民公安大学学报 (自然科学版)*, 2010(1):1–4.
- [2] 谢朋, 纪伟, 王英英, 等. 利用透析技术显现涂抹掩盖字迹 [J]. *警察技术*, 2010(2):32–34.
- [3] 庄琳, 张凯. 不同透析液显现涂抹掩盖字迹的研究 [J]. *湖北警官学院学报*, 2010(6):89–93.
- [4] 李彪, 谢朋, 张宁, 等. 透析法显现涂抹掩盖字迹的实验 [J]. *中国司法鉴定*, 2008(1):42–46.