

关于我国红外成像技术发展的若干思考

倪国强 秦庆旺 肖蔓君 高 昆

(北京理工大学 光电工程系, 北京, 100081)

摘要: 红外成像技术由于诸多特点在军用和民用领域都取得了广泛的应用, 红外图像处理技术在红外成像系统中起着至关重要的作用。本文简述国内外红外成像技术部分最新的研究成果和动态, 针对我国具体状况, 提出关于我国红外成像技术发展的若干思考, 讨论红外成像及其图像处理、应用中的一些新技术、发展重点和难点, 对以后一段时期内的红外成像新技术发展及其市场前景进行展望。

关键词: 红外成像, 焦平面, 图像处理, 图像融合, 市场前景

1. 引言

红外成像具有作用距离远、抗干扰性好、穿透烟尘雾霾能力强、可全天候、全天时工作等优点, 在军用和民用领域都得到了极为广泛的应用。在军事上, 包括对军事目标的搜索、观瞄、侦察、探测、识别与跟踪; 对远、中、近程军事目标的监视、告警、预警与跟踪; 红外成像的精确制导; 武器平台的驾驶、导航; 探测隐身武器系统, 进行光电对抗等。在民用领域, 在工业、遥感、医学、消费电子、测试计量和科学研究等许多方面也得到广泛应用。

目前国外红外成像器件已发展到了智能灵巧型的第四代, 在光电材料、生产工艺、成像质量及系统应用等方面都取得了丰硕的成果, 但是国内红外相关技术与生产起步较晚, 并且受工业基础制约, 发展远滞后于国外, 而市场需求却持续强劲, 无论在军用还是民用领域都有巨大的发展空间。

本文简述国内外红外成像技术部分最新的研究成果和动态, 针对我国具体状况, 提出关于我国红外成像技术发展的若干思考, 讨论红外成像及其图像处理、应用中的一些新技术、发展重点和难点, 对以后一段时期内的红外成像新技术发展及其市场前景进行展望。

2. 红外探测器发展现状

从第一代红外探测器至今已有 40 余年历史, 按照其特点可分为四代: 第一代(1970s-80s)主要是以单元、多元器件进行光机串/并扫描成像; 第二代(1990s-2000s)是以 4×288 为代表的扫描型焦平面; 第三代是凝视型焦平面; 目前正在发展的可称为第四代, 以大面阵、高分辨力、多波段、智能灵巧型系统级芯片为主要特点, 具有高性能数字信号处理功能, 甚至具备单片多波段融合探测与识别能力。

在红外探测器发展过程中, 新材料、新工艺、新器件、新方法不断涌现, 按工作环境可分为致冷型和非致冷型两大类。

2.1 高性能致冷型红外探测器

此类器件需要在低温下(77K)工作, 相比非致冷器件成像质量优异、探测灵敏度高, 通常又可分为传统型和量子阱焦平面探测器。其中前者主要采用碲镉汞(HgCdTe)、铟化铟(InSb)两种材料, 又以碲镉汞占主导地位, 应用最为广泛。国际上知名研究机构有法国 Sofradir、英国 SELEX、德国 AIM、美国 DRS、Raytheon 等。已研制、生产的高水平商用焦平面探测器有: 长波 640×480 、中波 1024×1024 、短波 4096×4096 、双色/双波段 1280×720 。

量子阱焦平面探测器由于材料和器件工艺成熟、产量高、成本低，经过近 15 年的快速发展，已成为长波致冷型焦平面器件的两大主要分支之一。目前在美国和英、法、德、瑞典等欧洲发达国家已研制出全电视制式的 640×512（包含 640×480）长波焦平面器件和中等规模的 320×240（包含 256×256，384×288 格式）双色器件产品。以美国 NASA/ARL 联合研制的大面阵 1024×1024 长波焦平面和 NASA/JPL 研制的 640×512 四色焦平面，代表了当前 GaAs/AlGaAs 量子阱红外探测器的最高研究水平。

2.2 非致冷型红外探测器

室温工作的红外成像系统不仅可以降低昂贵的致冷费用，而且还可以简化器件制作工艺，便于集成轻量化与携带使用。经过多年的努力，红外探测器已经从工作温度不到 100K 的传统光子型半导体红外探测器发展到 200K 左右的半导体超晶格量子点探测器，进而又发展到了工作温度较高的半导体热探测器和超巨磁电阻热探测器等，探测器材料在此起到了至关重要的作用。

美国 Raytheon、Lockheed-Martin、Boeing Indigo，英国 BAE、QinetiQ，法国 ULIS，日本 NEC 等公司长期从事非致冷红外探测器研究，所采用的材料主要有 3 种：热释电材料、氧化钽和非晶硅。最早用于红外瞄准具的是基于钛酸锶钡（BST）热释电材料的 320×240 非致冷焦平面探测器。目前基于钛酸锶钡、钽铌酸铅（PST）热释电材料和基于氧化钽、非晶硅热敏电阻材料探测器技术也已成熟，美国、英国 VOx 产品规模已达到 640×480，法国 α -Si 产品和英国热释电产品规模均为 384×288。

2.3 国内红外探测器发展现状

国内从上世纪 80 年代后期陆续开始了红外焦平面探测器的研制。尽管国内的第二代、第三代红外焦平面技术在材料、器件工艺、读出电路、杜瓦和致冷等方面取得一些进展，完成了少数器件的研制，但还有许多关键技术还没有完全突破，可靠性、工程化、通用化与标准化水平有待进一步提高；第四代产品还刚开始进行技术突破，到目前为止，只有为数很少的工程化产品提供军方使用。目前实现批量生产的焦平面探测器组件相当于西方国家较早一段时期的水平。红外探测器技术总体水平与西方发达国家相比仍有较大差距。

2.4 红外探测器发展趋势及红外成像新技术

未来红外焦平面探测器的主要发展趋势包括：更大规格、更高性能、多色/多波段探测、信息处理高速智能化、非致冷（含提高工作温度）、光机电集成一体化等，器件制作将主要依托分子束外延（MBE）多层材料精密生长技术、微电子行业中的超大规模集成电路技术和微纳结构精细加工技术。

与此同时，一些新概念红外成像理论和技术不断提出，极大地促进了新概念红外成像系统的产生，并对今后红外成像技术的发展趋势产生明显的影响，例如多色红外成像、红外偏振成像、主/被动红外三维（3D）成像、亚像元/超分辨力红外成像、近自然感伪彩色红外成像等技术。

3. 红外成像与图像处理技术

无疑，红外成像技术的最核心部分当属红外探测器技术，包括红外材料、器件等重大制造工艺技术，涉及红外探测器基础理论、总体设计、薄膜材料生长技术、材料性能表征与评价技术；新型红外探测器技术，包括多色、量子阱、量子点、超晶格、超导、非晶态、有机等新型探测器；红外探测器表面处理与钝化、互连等技术；红外探测器制造工艺过程控制、测试与评价等技术。

同时,成像设备如何满足系统应用的总体要求,成像设备如何产生尽可能接近视觉系统感知或易于利用的图像,一直是系统工程学、人机环境学以及图像处理与机器视觉研究的主要内容之一。由于红外成像系统必须服从应用系统技术指标,而红外图像观测者或终极使用者(包括无人环路)是信息处理链上的最后一环,因此很自然会对红外图像的质量优劣提出高要求。最终成像系统的应用价值取决于图像信息的充分提取与利用。

而从红外成像系统的信息链路上看,其传输环节包括目标与环境的红外辐射,大气传输,红外光学系统聚焦成像,探测器敏感接收与光电转换,图像信号的耦合读出,图像信号的处理/增强/信息提取/显示与判读或信息利用(例如目标自动提取、锁定与制导等)等一系列环节,因此同样应高度重视所有信息传输链路上各个关键技术的研究。

如上所述,红外成像技术应用与数字图像处理技术是分不开的,特别是第四代超高分辨力、智能灵巧型红外成像器件,对图像处理算法和硬件系统要求更为苛刻,可以说图像处理为红外成像性能的提高和系统级应用发挥了重要作用,也是红外成像系统创造新的附加值的增长点。

下面结合国内外的发展现状与动态,分别加以论述。

3.1 红外成像总体技术

红外成像系统总体技术与总体设计方法,对新概念系统、系统结构、成像体制与模式的确定,对成像装置能否满足应用系统的总体要求,对成像装置是否符合人/机/环要求,而能最长时效地发挥使用人员的最大使用效能,有着极其重要的作用。

总体技术将为红外成像系统走向更为通用型、组件模块化、积木组合型、集成化、多功能化(多色、多光谱、偏振)、宽波段共孔径、多传感器集成与融合等高性能系统的技术提供宏观的保障基础。

3.2 红外成像系统的模拟技术

红外成像系统模拟技术对于系统的设计与优化设计,缩短研制周期,降低研制成本,特别是对于高投入的红外成像技术,如何在系统技术指标要求下优化系统配置,判断新技术对系统的改进效果等,具有十分重要的意义。国外已在红外成像系统的论证、设计、评价、研制与应用中充分发展了相应的模拟技术,并取得极其明显的效果,而我国在这方面的研究虽有进展,但差距还很明显,有待于进一步的研究和开发。

红外成像系统的性能模型大体可分为两大类:静态性能模型和动态性能模型。

(1) 静态性能模型,通常指系统的实验室可测试参量,如调制传递函数 MTF、噪声等效温差 NETD、最小可分辨温差 MRTD 和最小可探测温差 MDTT 等,进一步可扩展为系统的作用距离(视距)。国外从上世纪 70 年代开始就提出了一系列完整的性能模型,近年来主要侧重于面向基于人眼的红外成像系统的现场性能预测模型。红外成像系统的视距模型,目前公认的对扩展源目标的视距估算法,是利用表征系统综合静态性能的参量 MRTD 来计算。

(2) 动态性能模型,通常是以系统综合性能参量信号干扰比(SIR)为基础,把目标信号、杂波背景、系统 MTF、系统传感器总噪声和图像处理算法对杂波噪声的抑制作用联系起来,综合考虑了各因素对系统探测性能的影响。目前国际上已开发了一系列动态性能模型,并在现场测试中得到了很好的验证,如探测距离、锁定距离等。

随着红外成像系统性能水平的提高,性能模型也需要不断地改进,以适应新一代的红外成像系统的性能预测要求。建立详尽的目标与背景统计模型,模拟各种图像处理算法和搜索跟踪算法,干扰效应的模拟,成像系统的载体和目标的机动性建模,完善动态性能模型对红外应用系统的闭环预测等,将是未来红外成像系统性能模型发展的重点。计算机性能水平的提高为动态性能模型更准确更快地预测现场性能提供了可能。

3.3 红外成像系统的实物/半实物仿真技术

在应用平台中对红外成像系统的实际效能进行验证,对系统改进乃至研制新型系统,具有十分重要的作用。但依靠实际现场试验,无疑是高代价的。建立红外仿真系统(IRSS)、开展系统的实物/半实物仿真技术研究具有极其重要的意义。

红外成像系统半实物仿真系统是将成像系统的硬件设备引入测试回路,并构成一个接近真实的目标特性、相对运动、干扰等的环境,并能检测和考核成像系统接收目标信息、分辨目标、跟踪目标和抗干扰能力。

当今世界各国争先研究和掌握红外成像的半实物仿真技术,用于红外成像应用系统的研制与试验,已取得长足的进展。在研制开发的过程中获得了一条关键经验:仿真器必须保持在仿真器技术发展水平的前沿,而且能够通过研究开发和更新,推动仿真器技术的发展水平。目前已研制了许多目标仿真器和专用测试设备,从很复杂的过程目标与伺服控制的仿真器,到很简单的模拟点目标或线目标的平行光管,都有产品问世。

除了高级场景仿真技术,目标仿真器是一个包含大量非标准部件的计算机控制的复杂的光、机、电系统,采用了多种学科的先进技术,难度大、成本高,而且它在很大程度上决定红外仿真系统的逼真度,有黑体薄膜式动态红外图像调制器,红外液晶光阀(IRL CLV),细网状晶体动态图像仿真器等。其关键技术有:目标、背景与对抗特性的生成技术;动态建模与数据库的建立;硬件设备及软件开发;激光红外投影仪技术(例如发展较快且具有潜力的技术是发射型红外投影仪中的悬浮薄膜阵列红外投影仪和激光型红外投影仪)等。

开展动态红外图像仿真技术必须从实时、高分辨力、高帧频、温度动态范围大的红外场景实现着眼,同时为了适应新的发展要求,建立紫外/多色红外成像系统的仿真技术也是十分必要的。

3.4 目标与环境的光学特性分析与研究,以及大气传输特性的研究

红外目标与环境是复杂信息系统所针对的主要对象,包括红外成像系统在内的各种信息装备所面临的共同挑战是,它们时时刻刻地处于恶劣的红外环境中,或受到强对抗(干扰、隐身、隐蔽、伴随诱饵、地杂波等)与低信噪比条件下的信息提取与对抗。对红外目标与环境特性的研究分析、模拟仿真、监视测试是复杂信息系统的重要组成部分,涉及目标与环境信息的获取、传输、处理,对于红外目标探测、识别、跟踪系统的设计与优化设计,相应器件的生产、系统集成以及整机性能评价,先进技术采用,缩短研制周期,降低研制成本。特别是对于高投入的复杂信息系统技术,如何在系统技术指标要求下优化系统配置,判断新技术对系统的改进效果等,具有极其重要的意义。国际技术发达国家已在高技术探测识别系统的论证、设计、评价、研制与应用中,发展了相应的目标与环境模拟仿真与监测试验技术,并取得十分明显的效果。而目前我国在这方面的研究还远远不够。

研究目标与环境红外特性及其模拟与监测,涉及光电工程、自动控制、计算机、动态系统工程、特种材料等宽广的技术领域范围。

3.5 红外成像器件与系统的测试计量技术

器件的生产、系统集成以及整机性能评价中测试和检测技术占有重要的地位,是目前影响我国红外成像技术研究发展水平和产品生产能力(批量与成品率等)的重要因素。研制各种生产过程的监测仪器、系统集成检测以及系统性能评价(包括实验室及各种实际应用场合)仪器是目前红外成像系统研制和应用的迫切需要。

3.6 新型红外光学系统技术

当前红外成像光学系统的发展,采用了当今各种先进的设计方法和新型技术,包括采用新

型光学材料、无热技术、多色宽波段消热差/消色差技术、全局优化设计方法与新型结构,如非球面光学系统、二元衍射光学系统、混合折叠系统等,直至近年来发展到新的自由曲面(free form)成像系统,对红外光学系统能很好地适应恶劣现实环境,满足多色宽波段共孔径、小体积、集成化、高像质等要求,有着极其重要的意义。

3.7 红外成像系统的实时图像工程

当前数字化和图像处理技术的发展和应用的非常迅速的,优良的“热”图像包含了目标的形状、大小、姿态和“灰度”分布特征,信息量比“点”源丰富得多。红外成像系统中具有一定“智能化”功能的实时图像处理技术已成为人们所关心的关键技术。国内外红外成像技术的发展表明,图像高性能的处理对于提高红外成像系统性能具有十分明显的作用。另外,随着传感器技术和通信技术的发展,图像融合、信息融合以及图像信息压缩、传输、存储、资源共享、显示技术成为当今的红外成像装备发展的重要方向。

然而,现有红外成像系统装备在许多方面,特别是信息处理能力方面还存在着很大的不足,制约了系统探测能力的提高与性能的充分发挥。因此,实时图像处理工程需从系统信息处理的各个环节展开,任何一个环节的研究成果都将推动红外成像系统的发展与成熟。

应进一步对红外成像探测器开展具有A/D转换功能的高速读出电路芯片技术的研究,解决高速率数据流传输带来的噪声带宽限制瓶颈。

应进一步开发新的均匀性校正(基于定标与场景的联合校正、自适应校正等)、死像元去除、图像增强等高性能的图像预处理算法。

红外图像中包含着众多的微弱信号,并伴随着大量的各种噪声,信噪比低,微弱信号的提取技术具有相当高的难度;同时由于目标与环境的变化、目标特性的千差万别、人们感兴趣区(ROI)又可能截然不同,所以还没有公认的、泛化的目标微弱信号提取算法。低信噪比下红外目标的识别技术,还涉及红外目标的特征提取与优化分类技术,基于特征库模板的红外目标快速自动匹配技术等。

受衍射极限及离散化像元器件离散化欠采样的限制,红外探测器的像元尺寸不能无限制的小,像元又有占空比因素,加上在成像过程中光学系统的像差、大气扰动、系统或目标的运动、系统噪声等因素都会导致图像质量的下降即退化,这直接制约着系统分辨力的提高。有必要进行图像“超分辨”(亚像元技术、微扫描技术、复原技术)处理,对退化的图像进行几何校正,以及对由于设备原因造成的扫描线漏失、错位等的改正等,将降质图像重建成接近于无退化的原始理想图像。特别是通过超分辨复原处理技术,能在不改动红外成像系统的情况下,一定程度地提高系统分辨力,从而大大降低追求系统高性能成像性能时在大口径红外光学系统设计/加工/装调、大规模/高性能/小像元探测器研制的高成本投入。

当前世界发达国家的各种新型装备都在日趋隐身化、高速化等,加上在红外成像系统平台在动态过程中的复杂运动,将给目标检测算法及系统控制误差带来极为不利的影响。应进行实时的稳像处理,才能使系统信息处理机正常工作。

人眼对灰度图像的分辨能力是非常有限的,通常只有几十、上百个灰阶,而对颜色的分辨力很强,可以分辨数万种颜色。当前红外成像系统多还是以灰度图像的形式显示,信噪比较低,且图像相当于单目观察而缺乏体视感,这给目视分辨所感兴趣目标的细节带来了困难,特别在目标与干扰物的图像重叠时,不能根据图像灰度去辨认出目标和干扰物。而目前基于灰度值给图像赋以伪彩色的方法,又容易引入不恰当的彩色显示,与实际有较大差别,造成观察者的识别疲劳和烦恼,减弱了目视效果。如能借鉴生物视觉模型的方法来指导焦平面探测器的信号处理单元设计,给输出的图像赋上符合视觉效果“似真彩色”(“自然彩色”),将使红外图像更加符合人眼的观察与识别习惯,可以充分利用人眼彩色视觉的高分辨力和高灵敏度的特性来提高目视系统探测和目标识别能力。

由于红外成像系统在不同时间、气候、地区、季节等场合作战，所面临的场景是完全不同的，采用基于视觉模型与数据库技术的红外图像彩色“学习”或“渲染”的智能处理，也将大大提高目视系统探测和目标识别能力。

综合来看，目前红外图像“智能化”处理技术的研究，还远没有深入、全面地开展。

3.8 红外图像片上处理系统技术

目前常用的红外图像实时处理技术通常都采用数字信号处理器（DSP）和大规模现场可编程门阵列（FPGA）完成，其中由于FPGA具有高度的并行性和灵活的系统架构，在实时处理系统中更有优势，成为国内外目前的板级/次板级架构系统的通常手段。

应进一步支持信号处理算法可扩展、可重构及在线配置的红外焦平面实时图像处理的片上系统（System-on-Chip, SoC）或可编程片上系统（System-on-Programmable-Chip, SoPC）的研究开发，以发展具有下一代焦平面器件要求的信号读出特性和智能信息处理能力。

新一代的红外装备除了期望红外焦平面阵列具有更高密度、更快响应速度、更高分辨率外，还希望焦平面探测器具有更强的信号处理能力。在目前红外应用系统中，探测器输出信号的A/D转换、非均匀性校正、过热像元与瞎像元（统称“无效像元”）去除、图像增强等信号处理的任务都由探测器的下一级信号变换电路和图像处理计算机完成，这一方面影响了信号处理功能与处理速度的提高，另一方面在红外成像系统中不得不引入更多的功能单元与传输单元，体积、功耗、系统可靠性都会受到影响，还不利于减少焦平面器件的引线数，不利于焦平面器件接口设计的简化，不利于致冷器的设计与装配，给系统工作的可靠性等带来了很大的负面影响。

国际上正在研制的下一代焦平面阵列将包含许多对实时图像的预处理和滤波有帮助的先进“智能”功能。目前红外焦平面器件的读出电路一般采用标准的CMOS工艺，这是一种成熟、廉价、低功耗、适于大规模集成的集成电路设计工艺，因此完全可以将探测器的信号读取与处理电路、驱动与控制电路、A/D转换器、数字信号电路及全数字接口电路等集成在一起，实现所谓的“智能型”红外焦平面探测器。这种智能焦平面阵列更侧重于对焦平面后端信息处理功能的加强，因此它不是简单意义上的探测器，而是一个集信号探测、读出、处理与控制等多功能于一身的SoC或SoPC。

SoC/SoPC采用可重构的配置结构，通过向SoC/SoPC加载不同的算法，就可以利用同一类焦平面产品实现不同功能的探测系统，从而大大简化后级处理系统的设计，便于系统的微型化、低功耗化，也简化了焦平面接口的设计。由于焦平面自带了一定的图像预处理功能，因此还在一定程度上降低了对探测器单元的生产工艺要求，便于焦平面器件的大批量生产、测试和装备，降低成本，并为未来的集成电路（IC）化提供技术基础。

SoC/SoPC的开发，一般通过前期以DSP或FPGA为核心器件的开发系统进行。

3.9 红外图像处理的系统级封装技术

由于下一代红外成像器件将向智能型、灵巧型发展，红外图像处理将逐渐靠近焦平面器件，国际上已有人论证了图像处理器靠近焦平面所带来的系统性能提升效率与突出优势，甚至有望实现将图像处理架构和红外焦平面相结合，实现系统级封装（SiP）或者片上系统（SoC）。

但对于小批量红外成像系统，如今SoC的发展也遇到了一定的挑战：IP的种类和复杂度越来越大，通用接口的缺乏，均使得IP的集成变得越来越困难；当今的高集成度SoC设计要求采用更先进的90nm以下工艺技术，而它将使得功率收敛和时序收敛的问题变得更加突出，这将不可避免地导致更长的设计验证时间；很难在SoC上实现模拟、数字等混合信号电路的集成；先进SoC开发的NRE（NonRecurring Engineering，一次性工程费用）成本高昂，而且

开发周期很长。

很多IC设计公司和系统公司开始采用“系统级封装（System in a Package, SiP）”设计，以从某些方面弥补SoC的不足。SiP可以将微处理器、存储器、FPGA、电阻器、电容和电感器合并在一个容纳多达4或5个芯片的封装中。SiP的优势不仅在于尺寸方面，它能够在更小的占用空间里提供更多的功能，并降低开发成本和缩短设计周期。

从设计和制造角度讲，SiP为设计和制造系统组件提供了最好的技术；可以减少测试仪成本；允许性能的高密集性，综合了键合工艺、倒装芯片工艺、堆叠芯片工艺、嵌入元件工艺、MEMS和堆叠封装工艺的组合。这使得设计师可以使用SiP实现子系统，以及采用SoC技术无法实现的、或以前在PCB上执行的系统。此外，SiP技术可以在互连级别上降低功耗和噪音，在混合和配对IC技术上更有弹性，并且可以通过采用无源元件减小电路板尺寸。相对于目前基于SoC的解决方案，SiP模块功能可以通过FPGA和相关板级电路进行必要的前期验证工作，开发更省时。

3.10 红外成像技术应用工程

开展对红外成像的新一代智能处理研究，为其新应用起到极大的推动作用。研制基于新一代焦平面器件的凝视红外成像系统，与图像处理、模式识别、目标检测与分类、目标变化检测相结合技术以及三维红外传感器的使用，会使红外成像应用技术发生突破性的变革；新一代红外成像系统与激光测距、雷达、计算机技术相结合，可以实现多功能集成和自适应跟踪；新一代的红外探测器与数字图像处理技术相结合用于目标识别与导引系统，可具有自主寻的识别能力与抗干扰能力；发展新一代红外探测器与其它传感器的信息融合技术，可以大大提高探测概率、降低虚警率。

采用红外高光谱遥感技术，在农业、矿藏与油/气/煤（烃类微渗漏检测）勘探、减灾防灾、伪装目标揭露等应用方面，通过光谱特征信息探测、提取、分类、数据库比对等技术手段，已经取得了许多引人瞩目的成果，展现了巨大的发展潜力。

因此应大力开展红外成像应用技术研究，通过应用效能评估将对红外成像技术的发展起到强烈的反馈推动作用。

3.11 多色红外焦平面及其成像融合技术研究

随着科学技术的发展，传感器的种类迅猛增加，性能快速提高，面向各种应用背景的多传感器系统大量涌现。高技术红外成像系统的出现，包括高性能的多色红外焦平面系统芯片的出现，使其探测范围扩大到纵深、立体、多维空间。而未来目标的可探测性可能随着科学技术的发展不断减弱，这对目标探测系统提出了更高的技术要求。必须发展先进的目标探测、识别系统。多频谱多传感器一体化技术正是适应这样的需要而发展起来的。

多传感器红外系统图像与信息融合是红外成像技术领域的重要研究方向，它无疑将大大提高系统的可靠性和实用性，同时可降低系统相对成本。

在图像目标表征意义上的图像数据层（像元级）、特征层、决策层算法及其实时处理技术的实现，必将使红外成像及多传感器融合系统具有更高的性能。

3.12 红外成像技术的跨学科、超常规发展方向研究例举

值得注意的是，国际上在开展红外成像技术的同时，也在大力开展其跨学科、超常规的应用技术研究。例如：

到目前为止，在红外 30 μm 波段（频率 10THz）与雷达 3mm 波（频率 0.1THz）之间的波段还存在一个探测盲区。从充分发掘探测波段、实现全波段“无缝”探测的目标出发，国际上正在大力开发“THz”技术（也有称为“超长波红外技术”）。THz 波段具有许多人们刚开始认

识到的突出优势，还有许多未被人们认识的特性，正在引起高度重视。美国、日本等正在投入大量人财物力进行开发研究，日本将该技术列为未来将产生巨大经济效益的头号产业。

超声红外热像技术将超声与红外成像技术相结合，发挥它们各自优点，利用超声在传播路径上由于缺陷等不均匀结构引起超声的附加衰减，使缺陷局部温度升高，同时利用红外照相机以较大的视场显示被检测物体的表面温度分布，而不必考虑超声源与缺陷之间的相对方位和距离。因此，利用超声红外热像技术来探测显示设备的缺陷或其他不均匀结构，具有可靠性强、灵敏度高、检测速度快和使用方便等优点。

有必要对红外成像技术的交叉、融合应用领域加以关注。

4. 红外成像系统市场需求和前景

图 1 是荷兰国家应用科学研究院（TNO）预测未来 10 年红外成像系统研发中软硬件投入增长趋势。可以看出，今后对硬件投入增长渐缓，转而对系统软件的投入将大幅增加。显然，在红外器件和应用市场上，靠改进器件固然可以提高红外系统性能，但是技术难度大，开发周期长，并且受器件材料特性、工艺手段的限制。而运用图像处理技术可以有效提高红外系统性能，并且可以大范围扩展红外成像系统应用领域。可以预见在未来 10~20 年内，红外成像系统中图像处理及应用所带来产值的比重会逐渐增长，并逐步占有较高比重产值。

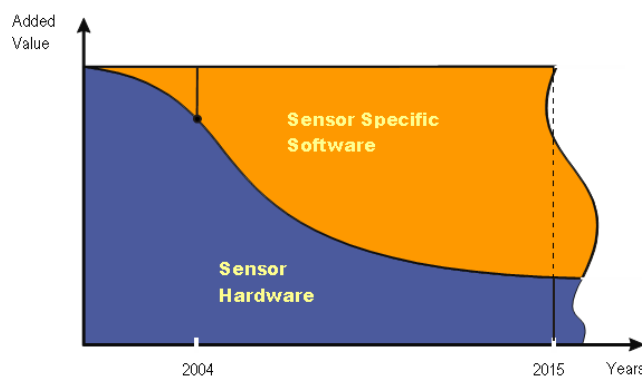


图 1 TNO 预测未来 10 年红外成像系统研发中软硬件投入增长趋势图

在发达国家的军用领域，红外热像仪已得到及其广泛的配置，例如海湾战争中平均每个美国士兵配备 1.7 具红外热像仪。与发达国家相比，目前我国军队中红外热像仪的应用相对较少，其市场远景需求量相当巨大。随着高性能多色红外焦平面以及智能灵巧型片上图像处理技术的发展，预计这一比例还将继续走高。

在民用领域，红外成像系统广泛应用于消防、电力、建筑、安防等领域，我国红外热像仪在这些行业的应用还处于起步阶段，发展空间巨大。2006 年，全球民用红外热像仪的销售额为 16.3 亿美元，同比增长 17.35%，呈现出较快的增长态势。其快速增长主要来源于新应用领域的不断扩大。据美国著名高科技行业咨询公司 Maxtech International 的预测，未来 5 年全球民用红外热像仪市场需求年均增长率将达到 15%，到 2012 年，全球民用红外热像仪的市场需求将达到 38.12 亿美元。由于国内经济高速发展，中国红外热像仪市场的年均增长率可以达到 20%，预计 2011 年中国民用红外热像仪市场的需求量可以达到 9.95 亿元，如图 2 所示。若考虑到新的应用领域的开发，其实际的市场需求总量将可能超过这一预测。

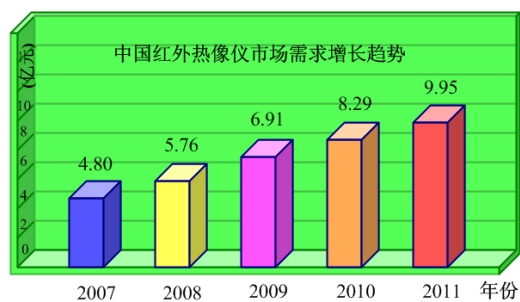


图2 中国红外市场热像仪市场需求增长趋势

目前，我国民用红外热像仪的供应商不多，具有较强的独立研发实力（包括系统电路与图像处理算法并能实时实现等）与自主知识产权的国内民用生产企业有若干家，需要继续发展企业的研发实力，提高品牌影响力。

5. 结束语

目前，我国红外成像系统及图像处理技术正处于蓬勃发展的黄金阶段。虽然我们与国外先进技术存在着差距，这是挑战，也无疑是孕育创新研究成果的强大动力。广阔的市场需求将进一步推动新概念探测器的研制、高性能图像处理功能与实时系统的设计；跨学科方向的交叉发展也将开拓崭新的应用领域，创造巨大的经济价值。把握我国红外成像及其图像处理技术的发展方向与脉络，制定研究与发展策略，对今后的工作具有重要的指导意义。