



# 基于热红外图像的人体目标检测方法

谭勇 严文娟 黄仕建 编著

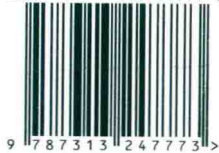


上海交通大学出版社  
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS



## 基于热红外图像的人体目标检测方法

ISBN 978-7-313-24777-3



9 787313 247773 >

定价: 68.00元

# 基于热红外图像的人体目标检测方法

谭 勇 严文娟 黄仕建 编著



上海交通大学出版社  
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

## 内容提要

本书针对热红外人体目标检测技术的应用,分析和探索了基于热红外图像的人体目标检测方法。全书首先从热红外图像的基本特征和人体目标的基本特点出发,阐述了热红外人体目标检测方法的算法架构,然后围绕该架构分别阐述了热红外图像的预处理、人体目标的图像分割、人体目标的统计分类识别以及人体目标的个体行为识别方法。内容涵盖热红外人体目标检测的各个必要环节,理论与实践并重,针对性和系统性较强。

本书可作为高等院校电子科学与技术、信息与通信工程、计算机科学与技术、控制工程与理论及相关专业本科生、研究生的参考书,也可供从事图像处理与模式识别理论研究、技术应用的研究人员和工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

基于热红外图像的人体目标检测方法 / 谭勇, 严文娟, 黄仕建编著. — 上海: 上海交通大学出版社, 2021.11  
ISBN 978 - 7 - 313 - 24777 - 3

I. ①基… II. ①谭… ②严… ③黄… III. ①红外成像系统—应用—人体—目标检测 IV. ①TP391.413

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2021)第 206091 号

## 基于热红外图像的人体目标检测方法

JIYU REHONGWAI TUXIANG DE RENTI MUBIAO JIANCE FANGFA

编 著: 谭 勇 严文娟 黄仕建

出版发行: 上海交通大学出版社

邮政编码: 200030

印 制: 江苏凤凰数码印务有限公司

开 本: 710 mm × 1000 mm 1/16

字 数: 183 千字

版 次: 2021 年 11 月第 1 版

书 号: ISBN 978 - 7 - 313 - 24777 - 3

定 价: 68.00 元

地 址: 上海市番禺路 951 号

电 话: 021 - 64071208

经 销: 全国新华书店

印 张: 11

印 次: 2021 年 11 月第 1 次印刷

版权所有 侵权必究

告读者: 如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话: 025 - 83657309

# 前 言

热红外人体目标检测技术传统上主要应用于军事领域,但随着近年来红外成像器件与设备的技术进步和价格降低,其应用逐步扩展到交通、安全防护、医疗、工业生产、消防救援等诸多民用领域,展现出十分广阔的发展和前景,并已成为人工智能时代建设信息化、智能化社会的一项重要支撑技术。

在图像特征上,红外成像固有的成像机理造成热红外图像具有成像质量差、可用信息少、处理难度大的问题。在检测对象上,人体复杂的外观形态和行为模式使得人体特征缺乏好的可聚性。这两个方面的因素使得从热红外图像中正确检测、识别和分析人体对象相当困难。为此,本书立足图像处理与模式识别算法层面,从热红外图像和人体目标的基本特点出发,对基于热红外图像的人体目标检测方法进行较为系统的分析和探讨,内容涉及热红外图像的预处理、图像分割、人体目标的统计识别以及单人体动作识别。

全书共分为5章。第1章概述了热红外图像成像原理与基本特征、热红外人体目标检测的系统构成、面临的主要应用和挑战等。第2章从图像增强、图像去噪以及图像融合三个方面讨论了热红外图像的预处理方法。第3章针对热红外图像中人体目标的图像分割,重点探讨了活动轮廓模型分割方法。第4章主要从热红外人体目标的特征提取及分类器设计两个层面探讨了人体目标的分类识别方法。第5章针对热红外人体目标检测的应用,重点探索了基于时空模板的热红外个体行为识别方法。

在本书撰写过程中,得到了大量指导和帮助。作者在重庆大学攻读博士学位期间,导师郭永彩教授、高潮教授给予了大量课题资源支持,这些资源为本书奠定了重要基础。同门云廷进博士、聂方彦博士、何卫华博士、周东国博士、胡瑞光硕士提供了课题协助,本书也吸纳了他们的部分研究成果。作者工作单位的贺国权教授提供了大量写作指导,李松柏教授给予了项目和经费支持。合作者严文娟副教授、黄仕建副教授为本书提出了许多有益建议,并直接参与了本书部分章节的写作以及文字校对工作。另外,在本书写作过程中还

参考了国内外相关研究者的成果并引用了其中部分内容。在此向各位表示由衷的感谢。

由于作者学术水平和能力有限,书中难免有不足和错漏之处,作者恳请读者和同行专家提出宝贵的意见和建议。电子邮箱: cquty@126.com。

# 目 录

第 1 章 绪论 .....	1
1.1 红外辐射的基本原理 .....	1
1.2 红外焦平面探测器 .....	3
1.3 红外热像仪 .....	5
1.4 热红外图像的基本特征 .....	6
1.5 热红外人体目标检测技术与应用 .....	7
1.5.1 人体目标检测系统的一般组成 .....	7
1.5.2 热红外人体目标检测工作流程 .....	8
1.5.3 热红外人体目标检测面临的挑战 .....	11
1.5.4 热红外人体目标检测的主要应用 .....	12
第 2 章 热红外图像的预处理 .....	13
2.1 热红外图像增强 .....	13
2.2 热红外图像去噪 .....	20
2.2.1 热红外图像噪声分析 .....	21
2.2.2 热红外图像的典型去噪方法 .....	21
2.2.3 一种基于 NSCT 与 Self-Snake 模型的热红外图像 去噪方法 .....	29
2.3 热红外图像与可见光图像融合 .....	35
2.3.1 图像融合概述 .....	36
2.3.2 热红外与可见光图像融合方法 .....	39
2.3.3 一种基于 NSCT 的热红外与可见光图像多尺度分析 融合方法 .....	44

<b>第3章 红外人体目标图像分割</b>	46
3.1 热红外图像分割方法概述	46
3.2 LSAC模型与图像分割	50
3.2.1 LSAC模型的工作原理	51
3.2.2 LSAC图像分割关键技术	53
3.3 RT-BLSAC图像分割模型	61
3.3.1 背景差分图像的变换与能量泛函的建立	62
3.3.2 基于二值水平集函数与 Gaussian 滤波的快速数值 算法	63
3.3.3 背景更新与初始化	65
3.3.4 测试结果与分析	65
3.4 EA-BLSAC增强模型	72
3.4.1 添加边缘信息的能量泛函	73
3.4.2 基于全变分范数对偶公式的模型求解	73
3.4.3 测试结果与分析	76
3.5 融合运动检测与静态检测的热红外序列图像分割	80
3.5.1 同时实现前景检测与背景更新的 LSAC 模型	80
3.5.2 基于阈值分割的 LSAC 模型	82
3.5.3 运动检测与静态检测的融合	84
3.5.4 测试结果与分析	87
3.6 破碎二值化人体目标的修复	96
3.6.1 综合图像边缘与区域信息的 LSAC 模型	96
3.6.2 算法原理与工作流程	98
3.6.3 测试结果与分析	99
<b>第4章 热红外人体目标的统计分类识别</b>	106
4.1 热红外人体目标识别概述	106
4.2 分类识别性能的评价指标	114
4.3 热红外人体目标识别数据集	116

4.4	基于人体轮廓形状特征的热红外人体目标识别 .....	117
4.5	基于相位一致性特征的热红外人体目标识别 .....	120
4.6	基于单调波方向能量直方图特征的热红外人体目标识别 .....	126
4.6.1	理论基础 .....	126
4.6.2	算法工作流程 .....	129
4.6.3	测试结果与分析 .....	132
<b>第 5 章</b>	<b>热红外人体目标的个体行为识别 .....</b>	<b>137</b>
5.1	热红外人体行为识别面临的挑战 .....	137
5.2	热红外人体行为识别方法概述 .....	138
5.3	热红外图像行为识别数据集 .....	142
5.4	基于 DMHI 时空模板的红外人体行为识别 .....	143
5.4.1	理论基础 .....	144
5.4.2	算法工作流程 .....	145
5.4.3	测试结果与分析 .....	147
5.5	基于 MDI 时空模板的红外人体行为识别 .....	149
5.5.1	MDI 时空模板的定义 .....	149
5.5.2	算法工作流程 .....	150
5.5.3	测试结果与分析 .....	152
<b>参考文献</b>	.....	<b>155</b>
<b>索引</b>	.....	<b>165</b>

# 第1章 绪 论

红外成像具有探测能力强和全天候工作的优势,被誉为人类的“第六感”。利用红外成像检测场景中的人体目标已经成为计算机视觉领域的一个重要研究方向。红外辐射是红外成像的基础,本章首先介绍红外辐射的基本原理、红外探测器件和设备的工作原理以及热红外图像的特征,再进一步介绍热红外人体目标检测技术的主要任务、实现方法、应用领域与面临的挑战等。

## 1.1 红外辐射的基本原理

1800年,英国物理学家 F. W. Herschel 发现太阳发出的辐射中除可见光线外,还有一种人眼看不见的,位于红色可见光外侧的“热线”。这种“热线”称为红外线,又称红外辐射。红外线实质是波长为  $0.76\sim 1\,000\ \mu\text{m}$  的电磁波。按波长不同,红外线又可划分为近红外线、中波红外线、长波红外线、甚长波红外线以及远红外线。波段中的远近是指红外辐射相对可见光波段的距离远近。在自然界中,任何温度高于绝对零度即热力学温度  $0\ \text{K}$  或  $-273^\circ\text{C}$  的物体都不停地向外界辐射红外线,而且物体表面温度越高,辐射的能量就越多,红外辐射强度就越大。

作为一种电磁波,红外辐射与可见光、无线电波等一样,在空气等物质内部或界面传播时会发生吸收、反射、折射、透射、干涉与偏振等现象,其中吸收是影响其传播的最主要因素。空气中的一些分子如  $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  等有着与其分子结构相对应的特征吸收谱线,即对某些波长的红外辐射产生强烈的吸收,而对另外一些波长的红外辐射则几乎不吸收,表现出很高的透射率。此外,除空气中的气态分子外,空气中的固态或液态悬浮物,例如灰尘、云、雾、雨、雪等,也会使红外辐射发生强烈的散射和吸收,导致其严重衰减。图 1.1 描述了红外辐射在大气中传播的透射谱线。其中,大气对红外辐射吸收比较弱的波段称为“大气窗口”,主要包括 3 个:  $1\sim 3\ \mu\text{m}$ 、 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 、 $8\sim 14\ \mu\text{m}$ 。由于红外辐射需

要经过大气的传输才能被红外探测器所探测,“大气窗口”的存在对红外光谱研究、红外技术应用十分重要,一般的红外仪器或系统都基于这些窗口工作。

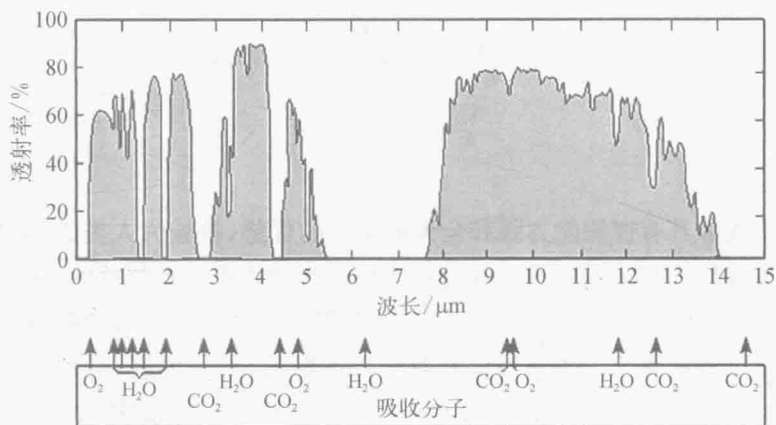


图 1.1 红外线在大气中传播的透射谱<sup>[1]</sup>

红外辐射强度和波长随温度的变化满足普朗克黑体辐射定律、维恩位移定律、斯特藩-玻尔兹曼定律等热辐射基本规律。

### 1) 普朗克黑体辐射定律(Planck's radiation law)

普朗克黑体辐射定律是黑体在给定温度下,发射热辐射的光谱辐射功率密度按波长(或频率)分布的普遍方程。该定律的数学表达式是

$$M_{\lambda}(T) = 2\pi hc^2 \lambda^{-5} [\exp(hc/k\lambda T) - 1]^{-1} \quad (1.1)$$

或简写为

$$M_{\lambda} = c_1 \lambda^{-5} [\exp(c_2/\lambda T) - 1]^{-1} \quad (1.2)$$

其中,  $M_{\lambda}$  为黑体的光谱辐射功率密度;  $c$  为真空中光速;  $k$  为玻尔兹曼常数;  $T$  为绝对温度;  $c_1$ 、 $c_2$  分别为第一、第二辐射常数,其值由波长  $\lambda$  所用的单位而定。

该定律表明黑体的辐射特性只与辐射温度有关;黑体在不同温度下的  $M_{\lambda} \sim \lambda$  辐射谱线随波长连续变化,每条曲线中部存在辐射极大值,并且相应存在一个峰值波长( $\lambda_m$ );光谱辐射温度越高,其辐射功率密度越大,对应峰值波长越短;黑体光谱辐射密度的极大值与其绝对温度的五次方成正比<sup>[2]</sup>。

应用普朗克黑体辐射定律,可以计算黑体在单位时间内从单位面积上向半球空间辐射出的任意波长的能量值。该式是唯一在整个波谱上都精确的辐

射定律。

### 2) 维恩位移定律(Wien displacement law)

维恩位移定律的数学表达式为

$$\lambda_m T = b \quad (1.3)$$

其中,  $T$  为绝对温度,  $\lambda_m$  为  $M_\lambda \sim \lambda$  辐射谱线的峰值波长;  $b = 2.898 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$ 。

定律也可以表达为辐射极大值对应峰值频率与温度的关系

$$\nu_m = C_\nu T \quad (1.4)$$

其中,  $C_\nu = 5.880 \times 10^{10} \text{ Hz/K}$ 。注意两式中  $\lambda_m \nu_m = 0.5684c$ 。

### 3) 斯特藩-玻尔兹曼定律(Stefan - Boltzmann law)

斯特藩-玻尔兹曼定律又称四次方定律,其内容是一个黑体表面的单位面积在单位时间内辐射出的总能量(也称为物体的辐射度或能量通量密度)与黑体本身的绝对温度的四次方成正比<sup>[3]</sup>。定律的数学表达式为

$$M = \sigma T^4 \quad (1.5)$$

其中,  $M$  为黑体的辐射功率密度;  $T$  为绝对温度;  $\sigma$  为斯特藩-玻尔兹曼常数,由实验测得  $\sigma = (5.67032 \pm 0.00071) \times 10^{-12} \text{ W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{K}^4)$ 。在实际应用中往往采用以下形式:

$$M = \epsilon_0 (T/100)^4 \quad (1.6)$$

其中,  $\epsilon_0$  为黑体发射率。

## 1.2 红外焦平面探测器

红外焦平面探测器能够将入射的红外辐射转变为可测量电信号输出,它是红外整机系统的核心部件。红外焦平面探测器可分为制冷型和非制冷型。制冷型探测器集成了一个低温制冷装置,用于降低探测器温度,起到降低热噪声的作用。制冷型探测器具有温度灵敏度高,探测距离较远的优势,主要应用于高端军事装备。非制冷型探测器无制冷装置,工作在室温状态,虽然灵敏度不如制冷型探测器,但具有功耗低、寿命长、性价比高的优点。近年来,非制冷型红外焦平面探测器阵列规模不断增大,像元尺寸不断减小,而且在探测单元结构及其优化设计、读出电路设计、封装形式等方面出现了不少新技

术,性能已可满足部分军事装备及绝大多数民用领域的需要,应用领域得到极大扩展。

非制冷型红外焦平面探测器由许多微机电系统(micro-electro-mechanical system, MEMS)微桥结构的像元在焦平面上二维重复排列构成,每个像元对特定入射角的热辐射进行测量。像元测量红外辐射的原理是利用红外辐射的热效应,由热敏材料将红外辐射能转换成热能,引起敏感元件温度上升,导致敏感元件的某个物理参数随之发生变化,再通过所设计的某种转换机制转换为电信号或可见光信号。热敏材料对于探测灵敏度,即噪声等效温差(noise equivalent temperature difference, NETD)有非常大的影响。按所使用的热敏材料,非制冷型红外探测器主要分为五大类:①由硫酸三甘肟、胆酸锂等构成的热释电型;②由N型和P型多晶硅构成的热电堆型;③由单晶或多晶PN结构成的二极管型;④由氧化钒、非晶硅等构成的热敏电阻型;⑤由双材料薄膜构成的热电容型。不同类型的非制冷型探测器各有优缺点,但总体上具有较为突出的性价比,受到市场欢迎。

非制冷型红外焦平面探测器读出电路的作用是将敏感元件物理参数的变化,如电阻值,以电信号的方式输出。由于照射到焦平面上的红外辐射产生的电信号非常小,很容易受到噪声干扰,因此读出电路的电学噪声要控制得尽量小,以免影响探测器的灵敏度。另外,由于制造工艺上的偏差,像元阵列具有不均匀性,使得探测器输出信号呈现出复杂的变化,造成后续信号处理困难,因此,读出电路在实现行选列选、积分、信号驱动等基础功能外,还要对像元输出信号的不均匀性进行有效补偿。

探测像元接收目标红外辐射后的温度变化很微弱,为维持像元上面的热量,避免空气热交换,需要将其置于真空环境中工作。因此,非制冷型红外焦平面探测器的真空封装技术可分为芯片级、晶圆级、像元级等。比较而言,晶圆级封装更适合大批量和低成本生产,能够为红外热成像的大规模市场(如车载、监控、手持设备等)提供具有足够高性价比的探测器。像元级封装试图将各个像元独立密封起来,目前还处于研究阶段,随着技术逐步成熟,成本将大幅降低。

非制冷红外焦平面探测器的像元尺寸不断减小,面阵规模不断增大。像元尺寸指单个探测元的大小,探测元越小,成像质量越好。像元尺寸一般有 $35\ \mu\text{m}$ 、 $25\ \mu\text{m}$ 、 $17\ \mu\text{m}$ 等几种,目前 $10\ \mu\text{m}$ 也已出现。面阵规模体现为面阵上像元的个数,即分辨率。分辨率越高,成像效果越清晰。目前市场上主流的面阵分辨

率有  $160 \times 120$ 、 $384 \times 288$ 、 $320 \times 240$ 、 $640 \times 480$ 、 $640 \times 512$  等,具有  $1024 \times 768$  及更大面阵规模的探测器已开始研制及生产。另外这类探测器的非均匀性校正和其他数字图像处理上性能也进一步提高,低成本封装应用也快速增长,这些发展可明显提高探测器的成像质量,提高可靠性,减小体积、重量和功耗。

### 1.3 红外热像仪

红外热像仪是通过非接触的方式探测红外辐射能量(热量),将其转换为电信号,进而在显示器上显示热红外图像,并可以对温度值进行计算的一种检测系统。红外热像仪能够精确量化探测到的热量,准确识别并严格分析发热区域。

红外热像仪的基本工作原理是红外辐射经过特殊的光学镜头,由红外探测器吸收并将强弱不等的红外信号转化为电信号,再经过放大和视频处理,形成热图像显示在显示器上。其基本结构如图 1.2 所示,其中红外探测器为核心元器件。目前,新的热成像仪主要采用非制冷焦平面阵列技术,将探测器置于光学系统的焦平面上,无须光机扫描系统便可取得目标全景图像,显著提高了其灵敏度和热分辨率,增强了目标探测距离和识别能力。

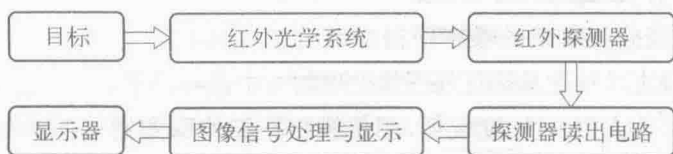


图 1.2 红外热像仪的组成框图

按搭载的红外探测器是否需要制冷装置,红外热像仪可划分为制冷型和非制冷型。制冷型红外热像仪是最敏感的红外热像仪,可探测物体间最细微的温差。工作时,制冷装置先工作,降低探测器温度,使热噪声降至场景成像信号水平之下,这样检测灵敏度更高,误差更小,检测温度范围更广。在这些方面非制冷型红外热成像仪都是力所不及的,特别是焦平面阵列的非均匀性对测量误差的影响大。但是,它们无须低温制冷,制造工序更少,产率更高,成本更低,使用寿命更长。此外,面向研发应用的非制冷型红外热像仪具有较高的分辨率,有利于精确测温。

按照是否具备测温功能,红外热像仪可划分为测温型和非测温型。测温

型可以直接从图像上读出物体表面任意点的温度数值,可以用于无损检测,缺点是有效距离比较短。非测温型只能观察到物体表面热辐射的差异,可以作为观测工具,但是有效距离比较长。

红外热像仪在军事和国民经济等众多领域有非常广泛的应用。在军事领域的应用包括武器热观瞄、车载视觉增强、无人机、无人驾驶地面车辆、观察指挥车、火控和制导等。在温度检测领域,可用于发现电力输电线路、发电设备、机械设备等异常发热,预防和发现设备异常,也可用于检测房屋的隔热效果,发现墙壁外立面、空鼓、渗水和霉变等,此外还可应用于电子制造、医学测温等。在商用视觉增强领域,利用红外成像的烟雾穿透能力强、作用距离远、成像对比度强等优势,可以有效弥补人类视觉的不足,从而应用于消防营救、边防缉私、安防监控、车载和船载的红外视觉增强等。

## 1.4 热红外图像的基本特征

由于成像机制不同,热红外图像与日常最广泛应用的可见光图像具有显著差别,主要体现在如下方面<sup>[4-5]</sup>:

(1) 热红外图像的噪声比较强。自然界中分子的热运动以及红外成像系统的不完善会引入多种噪声,比如热噪声、散粒噪声、 $1/f$  噪声、光子电子涨落噪声等。这些分布复杂的噪声使得热红外图像的信噪比要比普通电视图像低,所以图像去噪往往是热红外图像处理的一个重要环节。

(2) 热红外图像对比度较低,图像模糊。红外探测器可探测的温度范围较广,但实际景物温度变化范围相对较小,因此图像灰度分布较为集中,且与背景的对比较低。由于景物热平衡、波长长、传输距离远、大气衰减等情况,热红外图像的空间相关性强、视觉效果模糊。

(3) 热红外图像缺乏颜色和丰富的纹理细节。热红外图像是灰度图像,没有颜色信息。在纹理细节方面,白天场景的红外图像优于夜晚场景的红外图像,因为白天场景中不同物体对太阳辐射的吸收和反射不同,发射率和温度分布差异性较大。

(4) 热红外成像系统的探测能力和空间分辨率低于可见光电荷耦合器件(charge coupled device, CCD)阵列,使得热红外图像的分辨率低于可见光图像。

(5) 由于红外探测单元响应特性不一致及光机扫描系统存在缺陷等,热红外图像会产生非均匀性,体现为图像的固定图案噪声、串扰、畸变等。

## 1.5 热红外人体目标检测技术与应用

人体目标检测是计算机视觉领域的一个重要研究方向,研究成果广泛应用于汽车辅助驾驶、智能监控、高级人机接口、机器人视觉、战场军事应用等。研究内容包括人体目标分割、识别、跟踪、行为分析等,整体上属于图像分析和理解的范畴,具体涉及图像处理、模式识别、计算机视觉、人工智能等学科。

### 1.5.1 人体目标检测系统的一般组成

人体目标检测系统主要由图像采集设备、图像处理硬件、图像分析软件构成。

#### 1) 图像采集设备

图像采集设备主要有红外热像仪、可见光摄像机、深度摄像机、近红外摄像机等类型<sup>[6]</sup>。其中,红外热像仪依靠被测物体以及它与背景间的温差成像,不受光照、阴影的干扰,穿透性能良好,可在能见度低的环境中有效工作,但是所获取的热红外图像的时空分辨率较低,边缘模糊,无法保留物体的几何和纹理等细节信息,且易受到温度影响。相较而言,可见光摄像机有较高的时空分辨率,所成图像含有丰富的色彩、几何和纹理细节,但对光线强度敏感,容易受遮挡、阴影等因素影响。深度摄像机能够提供场景深度信息,它有多种类型,其中重要的一种是 TOF 摄像机。TOF 摄像机通过光的传播时间来获取目标距离,计算精度对距离变化不敏感,但它也有局限性,如工作时需要主动光源,所得图像分辨率较低,较强的环境光线会影响其性能稳定性等。近红外摄像机在无可见光或者微光环境下,可以主动将红外光投射到物体上,红外光经物体反射后进入镜头实现夜视成像,但夜视效果往往不理想。

#### 2) 图像处理硬件

图像处理硬件包括高性能单片机,即微控制单元(multipoint control unit, MCU)、数字信号处理器(digital signal processor, DSP)、现场可编程逻辑门阵列(field programmable gate array, FPGA)器件、工控机(industrial personal computer, IPC)以及个人计算机(personal computer, PC)等类型。其中,MCU 具有功耗低、外设丰富、通用性强、品类多等特点。DSP 在结构上侧重强化计算性能,例如 TI C5000/C6000 系列非常适合视频图像处理等大计算场景。FPGA 是功能订制和并行快速处理的“利器”,由于采用全硬件处理信号,速度

达到最快,但开发难度相对更高。这三者往往用于构建结构紧凑、低功耗的便携嵌入式系统。IPC 和 PC 相对嵌入式系统,具有性能更强、通用性更好的优点,但体积和功耗不占优势,主要用于构建非便携的台式系统。IPC 通常会进行加固、防尘、防潮、防腐蚀、防辐射等特殊设计,一般使用在对数据安全性要求高、环境比较恶劣的工业环境中。PC 主要是民用,对物理环境要求不高,主要应用于家庭和办公环境。结合不同类型的图像采集设备和图像处理硬件可构建各具特色的人体目标检测系统。

### 3) 图像分析软件

图像分析软件运行在图像处理硬件上,是人体目标检测系统的“灵魂”,作用是基于一定算法实现对图像采集设备所获取图像/视频的分析与理解,最终实现人体目标检测结果输出。

基于可见光图像的人体目标检测系统发展最早、应用最广泛,技术也最为成熟,但由于可见光成像设备不能适应夜晚及雨、雾、雪等恶劣天气环境,应用范围受到极大限制。相较而言,基于热红外图像的人体目标检测系统则具有明显优势,原因是红外成像中人体的亮度比背景的亮度高,且几乎不受肤色、表面纹理和阴影的影响,特别是在长波红外波段( $8\sim 14\ \mu\text{m}$ )采用被动成像模式下,不需要辅助光源的介入,弥补了可见光图像易受环境光照条件限制的不足。此外,地表温度在 300 K 左右,其红外辐射正好位于长波红外波段,是地表目标成像的主要区域。近年来结合红外热成像设备的技术进步和价格降低的有利因素,基于热红外图像的人体目标检测系统方兴未艾,相关理论研究与技术开发发展迅速,应用领域日益扩展。

## 1.5.2 热红外人体目标检测工作流程

基于热红外图像的人体目标检测工作流程如图 1.3 所示。主要包括图像采集、图像预处理、图像分割、感兴趣区域(region of interests, ROI)目标选取,人体目标特征提取与识别、人体目标跟踪、高级应用分析(如动作识别、异常行为识别、群体分析等)。近年来,随着机器学习理论特别是深度学习理论的发展,图 1.3 中方框内的多个独立步骤可能被集成于同一算法。

### 1) 图像采集

利用红外热像仪(或结合 CCD/CMOS 摄像机等成像装置),可以构建单目、双目或者多目视觉系统,实现单/双/多通道的热红外图像/视频采集。采集所得图像/视频为人体目标检测系统提供数据源。