

doi: 10.7690/bgzdh.2021.11.014

公共安全智能监控平台关键技术

钟乐海^{1,3}, 李 礁¹, 包晓安², 邢伟寅¹, 韩正勇¹, 罗金生¹

(1. 绵阳职业技术学院电子与信息学院, 四川 绵阳 621000; 2. 浙江理工大学信息学院, 杭州 310018;
3. 西华师范大学计算机学院, 四川 南充 637002)

摘要: 为构建安全可靠的公共安全智能监控平台, 从认证、跟踪、识别 3 个方面对其进行研究。应用人脸活体检测、指静脉识别、长期行人跟踪、人体行为分析、遗留物检测等方法, 并采用分布式系统架构构建公共安全智能监控平台。应用结果表明: 该应用能提升公共场所背景下身份认证, 智能视频监控目标跟踪与行为分析, 遗留物检测的鲁棒性、准确性和实时性。

关键词: 公共安全; 智能监控; 身份认证; 目标跟踪; 行为分析; 遗留物检测

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A

Key Technologies of Public Security Intelligent Monitoring Platform

Zhong Lehai^{1,3}, Li Jiao¹, Bao Xiaohan², Xing Weiyin¹, Han Zhengyong¹, Luo Jinsheng¹

(1. School of Electronics & Information, Mianyang Polytechnic, Mianyang 621000, China;
2. School of Information & Technology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China;
3. School of Computer Science, China West Normal University, Nanchong 637002, China)

Abstract: In order to build a safe and reliable public security intelligent monitoring platform, it is studied from 3 aspects: authentication, tracking and identification. The intelligent monitoring platform for public safety is constructed by using the methods of face bio-assay, finger vein recognition, long-term pedestrian tracking, human behavior analysis and legacy detection, and using the distributed system architecture. The application results show that the application improves the robustness, accuracy and real-time of identity authentication, intelligent video surveillance target tracking and behavior analysis, and legacy detection in public places.

Keywords: public safety; intelligent monitoring; identity authentication; target tracking; behavioral analysis; abandoned detection

0 引言

公共安全是国家安全和社会稳定的基础。影响公共安全的自然灾害、事故灾难、公共卫生和社会安全事件等具有突发性, 使得公共安全管理非常棘手。作为安防领域的第一道屏障, 身份认证技术一直是计算机视觉研究的热点。由于移动互联网、物联网的全面普及, 传统的身份认证技术逐步被生物识别技术所取代, 被广泛应用于交通安检、小区门禁、公共场所疫情防控等领域。然而简单的指纹、人脸、虹膜、语音、步态特征抗仿冒攻击能力不强, 仍然存在被复制、被模仿的风险^[1-3]。视频监控系统是安防领域的核心组成部分, 视频、图像是对客观事物形象、生动的描述, 是直观而具体的信息表达形式, 是人类最重要的信息载体。随着数字化网络化发展步伐的加快, 视频监控系统已上升到参与全行业管理的高度。随着摄像机、云台等监控设备成本的日益降低, 视频监控系统可以广泛应用于银行、

邮电、电力、水电、教育、交通、公安、监狱法庭、大型公共设施、大型仓库及军事基地等场所, 在公共安全领域起着日益重要的作用。目前, 监控系统的功能大多停留在监控人员对视频信号的人工监视和事后录像分析上, 并没有充分利用目前计算机技术高速发展所提供的巨大计算能力。事实上, 多数监控系统还是模拟式的, 少数数字式的系统也仅是提供多画面显示及硬盘录像类的简单功能。

智能监控安全平台系统的主要功能是确保进入安防重点区域行人身份的高度可靠性, 并在整个过程中对目标进行识别和跟踪, 对其行为进行理解和描述, 适时启动预警和报警。笔者在参考国内外已有研究成果的同时把握智能监控的发展趋势, 研究公共安全智能监控平台建设涉及的关键技术, 并结合实际情况进行定制和示范。从认证、跟踪、识别 3 方面进行创新, 改进生物特征识别方法, 解决传统认证技术存在虚假欺骗漏洞、安全性和可靠性得

收稿日期: 2021-09-06; 修回日期: 2021-10-10

基金项目: 四川省科技计划重点研发项目(2019YFG0112); 浙江省科技计划重大科技专项重点工业项目(2014C01047); 四川省科技攻关项目(05GG009-18)

作者简介: 钟乐海(1963—), 男, 四川人, 博士, 教授, 从事计算机网络、机器学习研究。E-mail: lzhong@mypt.edu.cn.

不到保证的问题；对多摄像机交接、跨视域多目标跟踪的视频监控装置及其方法进行研究，解决行人的实时检测、跨镜跟踪和行为分析识别问题；对遗留物检测方法进行研究，解决传统方法运算量大、遗留目标误判、遗留物误检率高等问题，以此来提升系统在公共安全监控智能化领域的应用价值。

1 智能视频监控平台系统技术分析

1.1 改进的生物特征认证方法

为防止恶意者伪造和窃取他人的生物特征用于身份认证，突破公共安全防护的第一道屏障，提出 2 种抗仿冒攻击能力强、响应速度快，可实现高可靠性身份认证的生物特征识别方法。

1.1.1 局部彩色纹理人脸活体检测方法

基于局部彩色纹理特征的人脸活体检测方法，其核心在于选取一种高效的分类检测特征，以解决检测算法在数据库交叉验证中的精度下降问题。算法流程如图 1 所示。

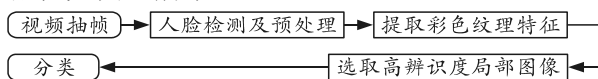


图 1 算法流程

对人脸图像进行预处理后，将其划分为等大小且不重叠的若干个局部图像块，对所有图像块进行色彩空间的转换，得到 HSV 色彩空间图像和 YCbCr 色彩空间图像，并对图像进行通道分离，从单通道图像上分别提取多尺度的 CoALBP 特征和多尺度的 LDP 特征。针对某一图像块，将所有单通道纹理特征按照设定拼接顺序依次串联为一个特征向量，从每幅图像中选取平均特征距离最大的若干个图像块作为高辨识度局部图像块特征向量，最后统计分类结果，输出分类类别。

色彩纹理特征提取过程示例如图 2 所示。

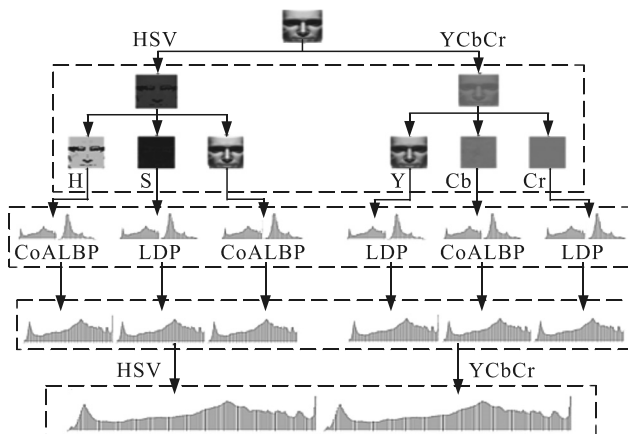


图 2 色彩纹理特征提取过程示例

该方法采用 CoALBP 特征和 LDP 特征作为分类特征，替代传统的 LBP 特征，最终提取具有更加稳定且高效的分类结果。采用融合色彩纹理特征，可明显提升检测算法的分类精度。采用高辨识性的局部图像替代全局图像，提升了分类器的鲁棒性，使其在面对不同检测环境时具有更高的稳定性。

1.1.2 基于图像超分辨率的指静脉识别方法

以卷积神经网络为基础的图像超分辨率指静脉识别模型，其算法流程如图 3 所示。

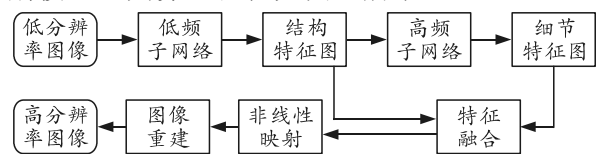


图 3 算法流程

提取 CCD 摄像头采集的指静脉图像低频结构特征和高频结构特征，融合指静脉结构特征和细节特征，将融合后的完整图像映射为 $r \times r$ 个 (r 为图像清晰度放大倍数) 候选图像，利用线性组合的方式将候选图像映射为高分辨率指静脉图像。最后进行图像预处理，提取指静脉纹路特征，将指静脉特征保存或与预留特征对比。算法核心在于低频子网络和高频子网络设计，网络结构如图 4 所示。

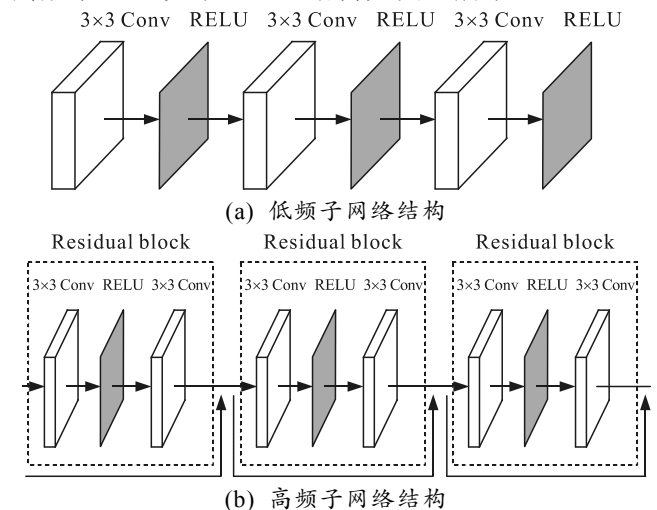


图 4 网络结构

该方法有效地解决了红外线 CCD 摄像头采集到的图像模糊对指静脉特征提取产生的不利影响，避免图像预处理部分对指静脉图像进行复杂的算法处理，提高了指静脉识别的准确度和处理速度，加快了清晰图像重建速度，避免了引入图像超分辨率算法对指静脉识别实时性的影响。

传统指静脉识别方法与该方法对比结果如表 1 所示。

表 1 传统指静脉识别方法与本方法对比结果

评价指标	传统指静脉识别	基于图像超分辨率的指静脉识别
PNSR/dB	30.860	37.780
识别时间/s	0.208	0.182
识别准确率	0.889	0.960

1.2 改进的目标跟踪和人体行为分析方法

传统安防系统在监控设备较多和监控时间连续的情况下，人工监控不能实时发现问题。很多案件都是事后回溯查找涉案人。部分智能监控系统中，受环境遮挡、光照变化等因素影响，摄像机在多目标跨视域跟踪时容易跟丢目标，不能及时主动发现检测目标行人异常行为。针对这些问题，提出了 2 种改进的目标跟踪方法和 1 种人体行为分析方法。

1.2.1 特征匹配跟踪的视频监控装置及方法

改进了基于 GPU 下的 HOG 算法，提高了行人检测速度。采用快速鲁棒特征 (speed-up robust features, SURF) 算法^[4]结合改进的随机抽样一致性 (progressive sample consensus, PROSAC) 算法^[5]作为多摄像机交接算法，减少了匹配运算，提高了匹配速度。采用基于核化相关滤波器 (kernelized correlation filters, KCF) 算法^[6]结合颜色直方图和 Kalman 滤波算法^[7]提升匹配正确率，并有效解决了光照、部分遮挡、光线变化等多数复杂情况跟踪丢失问题。

1.2.2 基于相关滤波器的长期行人跟踪方法

基于相关滤波器的长期行人跟踪方法算法流程如图 5 所示。

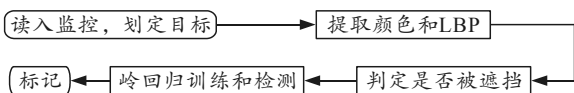


图 5 算法流程

在监控视频第一帧图像中划定目标行人区域，提取该区域颜色特征和 LBP 特征。为了提高表

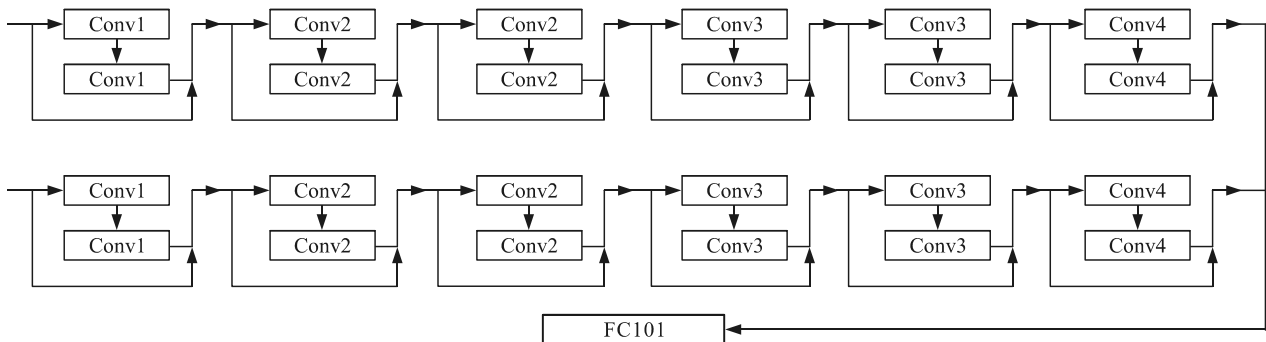


图 6 网络结构

利用残差网络计算时间复杂度低的特点，降低

性，将目标区域水平方向平均分成 5 部分。先从 RGB、HSV 和 YCbCr 3 种颜色空间中提取颜色特征，对目标区域水平方向的每个部分都提取每种颜色空间、每个颜色通道的 16 维颜色特征直方图特征，然后将每个直方图特征串联成一个目标行人的颜色特征。为了对行人的表示更准确，对目标区域水平方向以 2 种采样点数和半径提取目标区域的 2 种等价模式局部 LBP 特征，将所有的 LBP 特征串联成行人的局部特征。由于特征维数较大，使用 PCA 方法降维。接下来进行行人目标样本的训练和检测，首先对划定的行人目标区域扩大到原来的 2.5 倍，然后向四周方向进行行像素或者列像素的循环移位，由此获得大量的训练样本；此时循环移位得到的样本为副样本，原区域的样本为正样本，在当前帧中对于上述样本采用岭回归训练。下一帧中对相同区域的样本，使用前一帧计算的岭回归器计算其响应，响应最大值对应的位置即行人目标的位置。

基于相关滤波器的长期行人跟踪方法采用行人多特征提取方法，有效避免了行人在发生遮挡时目标的丢失，提高了行人跟踪的灵活性和准确性。采用快速傅立叶变换和循环移位实现训练及检测，算法的计算速度得到了很大提升，满足跟踪实时性。

1.2.3 人体行为分析方法 TS-ResNet

视频中包含有空间和时间 2 部分信息。空间信息部分，以独立帧的形式，包含视频中描述的场景和目标信息；时间信息部分，以在整个视频帧中运动的形式描述了相机和目标的移动。提出双流残差网络 (Twostream-ResNet, TS-ResNet) 算法^[8]实现人体行为分析，将视频识别模块分成时间和空间 2 部分，网络结构如图 6 所示。每一部分都应用了一个残差网络，通过融合策略将网络融合起来，最后送入全连接层通过分类器进行分类。

了 TS-ResNet 模型的复杂度。由于提取了空间特征

和时间特征，分类的准确度进一步提升。实验结果证明，由于使用了更深的网络以及更好利用了时间因素，TS-ResNet 获得了所有模型中最高的准确度和性能。TS-Resnet 与常用网络在 UCF101 数据集上的性能表现如表 2 所示。

表 2 10 个模型在 UCF101 上的表现

算法	层数	参数/M	训练时间/s	准确度/%
ResNet14	14	4.80	174 694	78.20
TS-ResNet14	27	9.10	341 823	81.40
ResNet20	20	15.60	231 966	81.00
TS-ResNet20	39	29.60	464 186	84.00
ResNet32	32	26.00	321 964	82.10
TS-ResNet32	63	49.40	612 268	86.25
Alexnet	8	50.00	280 441	72.40
Twostream	13	97.31	637 051	82.60
VGG19	19	144.00	242 982	78.87
TS-VGG19	35	200.00	709 455	83.20

1.3 改进的遗留物检测方法

遗留物检测是安防预警领域中智能视频监控的一个重要分支，在机场、地铁、体育场、候车室和展览馆等公共场合的可疑遗留物检测是智能视频监控系统不可缺少的内容。已有的遗留物检测方法主要存在如下问题：一是直接采用混合高斯模型对 2 个背景同时建模，需要运行的计算量非常庞大，很难满足实时性要求；二是遗留物的长时间停留很容易被更新到背景里面，从而导致无法检测到遗留物；三是遗留物检测中没有对干扰物进行严格剔除，存在背景模型不够干净、对遗留目标误判、遗留物误检率极高等一些问题。为规避以上问题，提出了复杂背景干扰下遗留物检测的 2 种方法。

1.3.1 双背景模型的双掩膜背景更新检测方法

背景感知的显著性目标检测算法流程如图 7 所示。

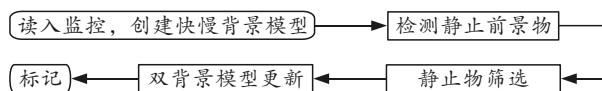


图 7 算法流程

利用摄像头获得的监控视频，取第 1 帧图像作为快慢背景模型的背景图像。用快更新背景模型与慢更新背景模型进行差分，标识静止物与非静止物。然后对静止物体进行筛选，筛选出过大或过小的静止物体、长宽比合理的行人、室外树叶、柳絮飘动等风吹物体、静止自行车和电瓶车等。最后，利用读入的每帧数据与当前背景进行比较每个像素点上的灰度值大小来更新快更新背景模型，构造 2 个掩膜，利用全局或局部背景上的混合高斯背景建模来更新慢更新背景模型。

基于双背景模型的双掩膜背景更新的遗留物检测方法采用像素比较法对快更新背景模型进行背景更新，取代混合高斯背景建模的背景更新方法，降低了全高清视频图像分析处理的计算量，提高了检测算法的实时性；采用先筛选后用 HOG+SVM^[9-10] 人体检测方法来过滤静止行人的方法，很大程度上减少了 HOG+SVM 人体检测方法的计算量，提高检测算法的实时性；采用双掩膜对慢更新背景模型进行局部更新，很灵活地在没有遗留物出现时的背景全局更新与有遗留物出现时的背景局部更新之间自由切换，从而避免遗留物的遗留时间过长而融入慢更新背景模型中的现象；采用严格的筛选方法，消除干扰目标（噪声、静止行人、风吹物体的摆动、静止自行车）对遗留物的影响，提高算法的准确度，尽量减少漏检和误检率。

1.3.2 基于 YOLO 目标检测的遗留物检测方法

基于 YOLO^[11] 目标检测的遗留物检测方法算法流程如图 8 所示。

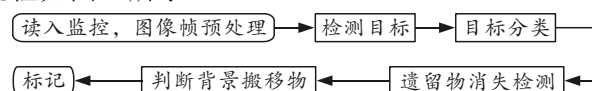


图 8 算法流程

读入监控视频，并对图像帧数据进行预处理。然后输入 YOLO 的网络层进行卷积和均值池化交替处理，输出 13×13 的卷积特征图，得到其特征值数据。通过预测层使用 anchor boxes 预测目标类别和坐标，得到目标类别概率和目标框位置。过滤掉置信度得分低的目标框，对保留的目标框进行极大抑制处理，去掉重复框，选取目标类别出现概率最高的目标框，并输出其具体坐标。对检测到的目标根据目标类别过滤行人和动物等非物体目标，将每个目标的状态划分为背景、可疑和遗留物 3 种状态。对状态为可疑的目标进行跟踪计时，如果该可疑目标的静止时间超过设定的阈值，将其状态标记为遗留物，存入遗留物队列；对后续图像帧检测遗留物目标，若未检测到，则对该遗留物进行消失计时，当目标消失的时间超过设定的阈值，可疑和遗留物队列中清除该目标。将该背景目标的特征点与遗留物目标的特征点计算匹配率，当某一匹配率大于等于阈值，则判断该遗留物目标是背景搬移物，存入背景队列，状态标记为背景。

基于 YOLO 目标检测的遗留物检测方法取代了传统的基于混合高斯模型和双背景模型的遗留物检测，避免了使用复杂度数学概率的模型，并且 YOLO

的实时性和准确度能满足视频监控系统实时处理的要求；能快速检测到背景中的物体，获取一个干扰噪声很小的背景，并且能稳定的防止静止物体在长期停留过程中被更新到背景中去；采用 YOLO 检测取代了采用 HOG 人体检测来区别物体和非物体，通过 YOLO 检测的目标类别能准确的过滤行人和动物等非物体目标，在很大程度上解决了传统遗留物检测中区分物体和非物体不准确的难题，大大减少了非物体目标的干扰；在物体被部分遮挡的情况下，能排除遮挡的部分静止物体和行人的肢体移动等造成的遗留物误检，提高遗留物算法的准确度。

2 智能监控平台系统设计

面向公共安全的智能监控平台核心是采用分布式系统架构对场景进行实时监控，在几乎不需要人为干预的情况下，通过对摄像机拍摄的图像序列进行自动分析来对动态场景中的目标进行跟踪，并在此基础上分析用户行为。为了理解人的行为拟结合情感计算技术进行情感语义建模，并根据情感模型识别该目标的行为是否合法，对特别需要注意的事件给出警告或者保存记录，供后期浏览和检索使用，同时对已发生的事件，可通过对已存储的海量视频进行检索定位并自动分析原因。如图 9 所示，整个平台系统结构由高可靠身份认证技术、多摄像机目标检测与跟踪、行为识别和理解、遗留物检测、视频检索和辅助警戒等 6 部分组成。

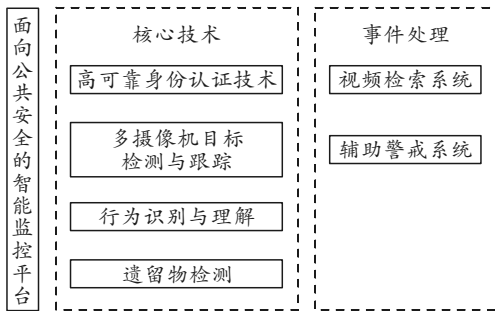


图 9 公共安全的智能监控平台系统框架图

如图 10 所示，平台系统采用分布式系统逻辑结构。智能监控平台系统需要处理海量视频，不仅能够分布于多台计算设备上并实时为用户提供服务，而且还需将系统运行过程中产生的上下文信息保存下来，供后期浏览和检索使用。如图 11 所示，不同的软件模块在分布式环境下相互配合共同完成单机情况下难以完成的计算任务。服务器集群中，各服务器节点根据关注目标不同，又分为视频捕获服务节点、身份认证服务节点、跟踪服务节点、事件处

理服务和存档服务节点。身份认证服务节点主要处理身份认证反馈，跟踪服务节点中提供人体跟踪、行为特征提取和遗留物检测功能，事件处理服务节点主要提供报警和辅助警戒功能，存档服务节点提供离线海量视频检索服务。

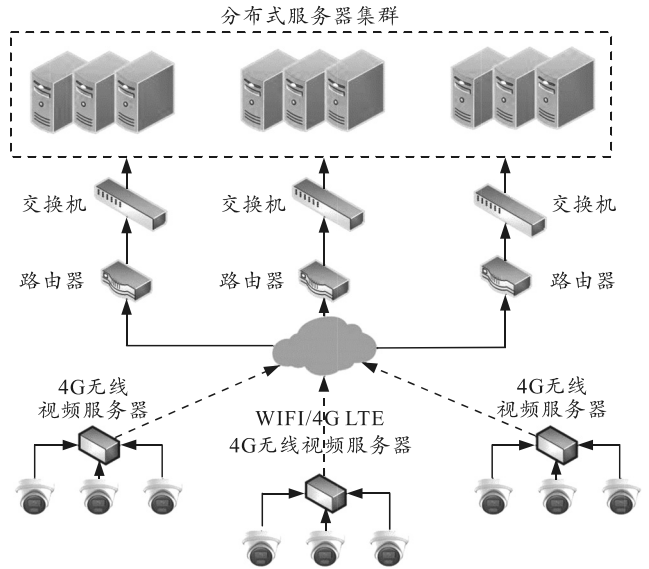


图 10 分布式系统逻辑结构

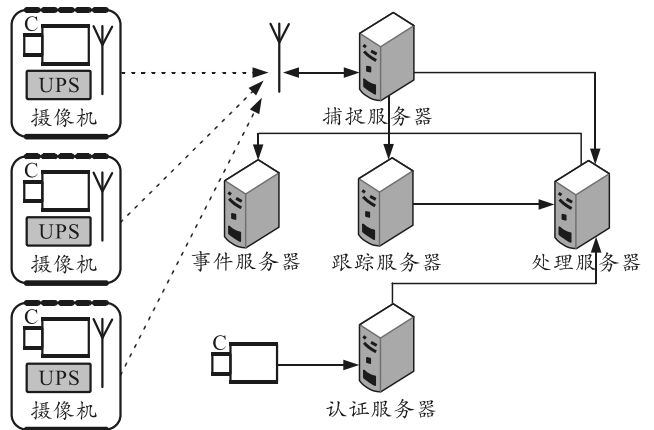


图 11 面向公共安全的智能监控平台系统物理结构

3 实践与应用

为建设安全可靠的智能监控平台，团队在实践应用中采用了基于局部彩色纹理特征的人脸活体检测方法、基于图像超分辨率的指静脉识别方法、基于相关滤波器的长期行人跟踪方法、基于深度学习的人体行为分析算法 TS-ResNet、基于双背景模型的双掩膜背景更新、基于 YOLO 目标检测的遗留物检测方法等成果。

3.1 高可靠身份认证

基于局部彩色纹理特征的人脸活体检测和基于图像超分辨率的指静脉检测方法均采用非接触式检

测方式,特别适用于疫情背景下公共场所身份认证,且 2 种方法抗仿冒攻击能力强,难以伪造,可实现高可靠性身份认证。具体选用哪一种可根据实际场景,在高安全要求的精确识别、可信身份认证上,指静脉识别技术更占优势。在大规模、并发性、远程的动态安防识别上,人脸识别技术更占优势。

3.2 复杂环境下跨镜跟踪和行为分析识别

在公共安全智能监控平台建设中,采用基于特征匹配跟踪的视频监控装置及方法或基于相关滤波器的长期行人跟踪方法实现高复杂环境下行人的实时检测和跨镜跟踪,基于深度学习的人体行为分析算法 TS-ResNet 实现行为分析识别。算法的综合运用有效提升了识别和跟踪的效率以及准确率,提升公共安全智能安全系统的实用性、准确性和时效性,可有效避免不良事件的发生。

3.3 复杂环境下的遗留物检测

在公共安全智能监控平台具体实施中,采用基于双背景模型的双掩膜背景更新的遗留物检测方法和基于 YOLO 目标检测的遗留物检测方法对复杂环境下视频监测系统中的遗留物进行检测。2 种方法均可进一步提升在干扰下遗留物检测的准确性、实时性,且在物体被部分遮挡的情况下减少漏检和误检率。

3.4 应用实践

面向公共安全的智能监控平台系统已成功应用于某大型国际峰会安保工作,为峰会安保提供了强有力的安全保障,得到了一致好评,对大型活动安保工作提供了良好示范。该平台系统关键技术还成功应用于政府部门、小区、学校、仓库以及其他需要防范安全的公共场合的安防系统中,实现了无人值守、低成本、有效信息传输、高效全天候工作,防止人为的盗窃、破坏,不法分子的入侵,从而确保财产及生命的安全。

该系统的成功实施和应用,为安防在高铁建设、高速公路建设、地铁城轨、城市智能交通、大型活动、环保管理、校园监控、社区家庭等行业的应用提供了典范,必将应用于“平安城市”“平安社区”和“平安社会”等工程中,产生巨大的社会效益。

系统的硬件和软件都经过了第三方权威检测,依据 GB4943.1—2011 以及产品技术要求,从摄像头探测角度、续航能力、检测识别效果、连续跟踪

效果、报警功能和介电强度等指标进行评价,搭建的公共安全智能监控平台硬件系统检验合格。依据《ZDJY/ZY-CR02-1.0 软件产品鉴定测试规范》要求,从文档、功能性、可靠性、易用性、信息安全性、性能效率等 6 方面进行评价,软件系统所有指标均测试通过。

4 结束语

基于生物特征身份认证、人体目标识别和跟踪、遗留物检测等技术,研发面向公共安全的智能监控平台。该平台具有身份认证、对进入警戒区域内的行人跟踪及行为识别和遗留物识别报警的功能,系统性、创新性、实用性和辐射性强。该系统核心是采用分布式系统架构对场景进行实时监控,在几乎不需要人为干预的情况下,通过对摄像机拍摄的图像序列对动态场景中的目标进行跟踪,并在此基础上分析用户行为,进一步识别该目标的行为是否合法,对特别需要注意的事件给出警告或者保存记录,供后期浏览和检索使用;同时,对已发生的事件,通过对已存储的海量视频进行检索定位并自动分析原因。笔者采用多摄像机进行跟踪的结果表明:该系统有效解决了现有身份认证和监控系统的缺陷,能胜任无人值守情况下的智能监控,创新性、实用性强,应用前景广阔。

参考文献:

- [1] 张亚,许敏敏,张智.指静脉识别技术研究[J].中国人民公安大学学报(自然科学版),2021,27(1):18-27.
- [2] ORTENG G J, GONZALEZ R J, SIMON Z D, et al. From biometrics technology to applications regarding face, voice, signature and fingerprint recognition systems[C]//Biometric Solutions for Authentication in an E-World, 2002: 289-337.
- [3] KINDET E J. Privacy and data protection issues of biometric applications[M]. Dordrecht: Springer, 2013: 15-85.
- [4] BAY H, TUYTELAARS T, GOOL L. SURF:speeded up robust features[C]//Computer Vision-ECCV 2006. Berlin: [s. n.], 2006: 404. DOI:10.1007/11744023_32.
- [5] CHUM O, MATAS J. Matching with PROSAC-progressive sample consensus[C]//2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05), San Diego, CA, USA, 2005: 220-226.
- [6] HENRIQUES J F, CASEIRO R, MARTINS P, et al. High-Speed tracking with kernelized correlation filters[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2015, 37(3): 583-596.