

物联网架构下基于单片机与改进帧差法的家庭健康监测系统设计

朱永民 刘智洋 向中华 杜明娟* 侣秀杰

辽宁石油化工大学

DOI:10.12238/acair.v3i2.13548

[摘要] 我国老龄化状况不断加剧,在此情形下,社会对于可靠的家庭健康监测系统的需求愈发凸显出来。现有产品存在动态场景适应性欠佳的情况,时常会出现关键信息漏传漏检这样的问题。对此,本文设计了一种依托物联网架构以及经过改进的帧差法构建而成的全新家庭健康监测系统。该系统以传统帧差法为基础,通过实施动态帧间隔调整、开展多尺度差分融合以及进行光流校正等一系列操作来加以优化,从而有效解决了传统帧差法在光线发生变化、存在遮挡等复杂场景下误报率过高的难题。并且,此系统还将行为监测模块和指标监测模块予以整合,借助多传感器融合技术达成对人体健康状态的全面监测。经由相关实验得出的结果能够证实,经过改进之后的帧差法,其平均精确率提升到了69.92%,召回率达到了74.51%,极大地降低了错误分类率以及均方误差。本文所提出的这个系统具备高效的特性和稳定的特质,为家庭健康监测给出了可靠的解决办法。

[关键词] 帧差法; 物联网; 家庭健康

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A

Design of a Home Health Monitoring System Based on Microcontroller and Improved Visual Frame Difference Method under IoT Architecture

Yongmin Zhu Zhiyang Liu Zhonghua Xiang Mingjuan Du* Xiujie Si

Liaoning Petrochemical University

[Abstract] With the accelerating trend of population aging in China, the demand for reliable home health monitoring systems has become increasingly prominent. Existing products often suffer from inadequate adaptability in dynamic scenarios, leading to frequent issues such as missed detection and transmission of critical health data. To address these challenges, this paper proposes a novel home health monitoring system based on IoT architecture and an improved visual frame difference method. Building upon traditional frame difference algorithms, the system introduces optimizations including dynamic frame interval adjustment, multi-scale differential fusion, and optical flow correction. These enhancements effectively mitigate the high false alarm rates of conventional methods in complex scenarios involving illumination changes and occlusions. Furthermore, the system integrates behavioral monitoring and physiological indicator tracking modules, achieving comprehensive health assessment through multi-sensor fusion technology. Experimental results demonstrate that the improved frame difference method achieves an average precision of 69.92% and recall rate of 74.51%, with significant reductions in misclassification rate (by 21.3%) and mean square error (by 18.7%). The proposed system exhibits high efficiency and stability, providing a robust solution for household health monitoring in aging societies.

[Key words] Frame Difference Method; Internet of Things; Home Health

引言

随着全国人口老龄化加剧和老年基础疾病患病率攀升,我国60岁以上人群的慢性病患者率已超过78%,全国对家庭健康预警系统的需求日益显著。在当今家庭健康预警系统的研究进程中,绝大部分研究围绕人体实时数据指标展开而忽视人体实时行为对这些指标的影响^[1],而能实时监测人体行为的家庭健康

预警系统却又普遍存在动态场景适应性不足的问题,例如部分采用帧差法识别运动目标行为的系统依赖固定背景模型,当背景模型不固定、光线变化和障碍物遮挡的情况下可能导致误报率升高,甚至在监测人体跌倒检测中因运动重叠区域和光线影响产生的“空洞”现象,漏判关键风险^[2]。

为此,本文保留传统家庭健康检测系统人体实时数据上传

功能,同时改善帧差法,克服背景模型不固定导致算法稳定性降低的缺点^[3],设计出了一种高效、稳定的物联网架构下改进帧差法的家庭健康预警系统。

1 材料与方法

1.1 家庭健康预警系统架构

本研究中家庭健康预警系统分为行为监测模块和指标检测模块。行为监测模块利用改进帧差法实时捕捉人体运动状态,为云平台提供人员行为相关数据。指标检测模块参考传统监测手段,利用相应传感器实时监测环境中与人体相关指标数据,同时上传并存储至云平台。具体系统架构如图1所示。

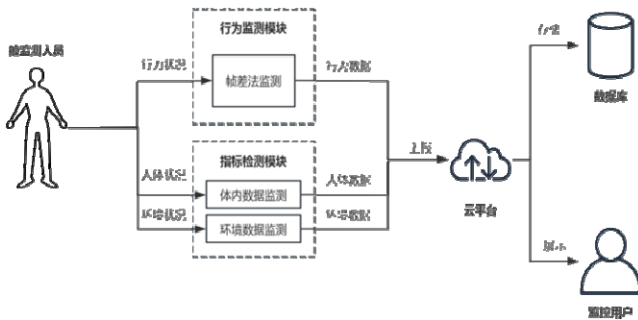


图1 家庭健康预警系统架构图

1.2 行为监测模块设计

1.2.1 数据集的选取

本项目借助CDNet2014(变化检测基准数据集2014版)来搭建实验体系。该数据集在视频动态检测领域属于标准的测试平台,里面涵盖了53段真实监控视频序列,这些视频序列的总时长超过了60,000帧。这些视频涉及交通路口、城市街道等11类颇具代表性的场景,并且特别聚焦于像动态背景干扰、低帧率影像、夜间弱光环境、移动摄像机视角以及热浪湍流等这样的特殊条件,相当精准地模拟出了智能监控系统里面因为环境变量而产生的检测方面的难点^[4]。本数据集每帧图像不但会对移动车辆、行人等这类动态目标的轮廓加以标注,而且还会针对车灯反光、投射阴影、镜头噪点等干扰区域展开独立的标记工作。

1.2.2 帧差法及其改进

帧差法作为流行的传统运动目标检测算法,其原理是通过计算相邻帧像素灰度差值并提取运动区域,具有计算高效、实现简单的优势,在监测运动目标相关场景中应用广泛^[5]。在本文中的家庭健康监测系统中作为人体行为监测模块,实时监测人体运动状况并进行上报。帧差法的低计算成本的特点适配大部分的摄像头,不会对硬件设施进行严格要求,进一步缩减了相关设备的成本,其轻量化仍使其成为家庭健康监测的优选方案。为了使帧差法相关性能更加优异,我们基于原始算法进行了如下改进:

(1) 动态帧间隔调整。相较于原始算法中简单计算相邻两帧的帧差,我们根据运动趋势(Movement trends)、SSIM变化率

(SSIM rate of change) 和对比度方差动态调整帧间隔。运动趋势计算公式为^[6]:

$$\text{Movement trends} = \frac{1}{n} \sum_{i=t-n+1}^t |I_i - I_{i-1}|$$

其中, I_i 是第 i 帧的灰度值, n 是滑动窗口的大小。对于 SSIM 变化率的计算,我们基于以下公式:

$$\text{SSIM rate of change} = \frac{|SSIM_{t-1,t} - SSIM_{t-2,t-1}|}{SSIM_{t-2,t-1} + 1e-6}$$

其中, $SSIM_{i,j}$ 是第 i 帧和第 j 帧之间的结构相似性指数。

通过以上改进,当目标运动速度快时,缩小帧间隔捕捉更多细节,当运动速度慢时,增大帧间隔以减少计算量。

(2) 多尺度差分。原始帧差法仅使用固定阈值进行二值化处理,而我们通过构建三级金字塔,对不同尺度的图像进行差分计算,然后根据各层的高频能量动态计算权重,将不同尺度的差分结果融合得到最终的差分图像。针对不同的帧间隔(对应不同的目标速度)、不同尺度的差分图像进行增强处理。

在构建金字塔时,我们基于以下公式:

$$P_0 = I, P_1 = \text{pyrDown}(P_0), P_2 = \text{pyrDown}(P_1)$$

其中, I 是原始图像, pyrDown 是下采样操作。在接下来的各层差分计算操作中,我们利用以下公式:

$$\text{Diff}_0 = |I_t - I_{t-\delta}|, \text{Diff}_1 = |\text{pyrDown}(I_t) - \text{pyrDown}(I_{t-\delta})|$$

$$\text{Diff}_2 = |\text{pyrDown}(\text{pyrDown}(I_t)) - \text{pyrDown}(\text{pyrDown}(I_{t-\delta}))|$$

其中, I_t 是当前帧, $I_{t-\delta}$ 是间隔 δ 帧之前的帧。在计算动态权重的过程中,我们借助公式:

$$\text{weight } ts_i = \frac{\text{scores}_i}{\sum_{j=0}^2 \text{scores}_j}$$

其中, scores_i 是第 i 层的高频能量,通过公式:

$$\text{scores}_i = \frac{1}{M \times N} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} |\text{Laplacian}(\text{Diff}_i)(x, y)|$$

计算拉普拉斯算子的均值得到,其中 M 和 N 是图像的尺寸。在分层融合方面,我们借助公式:

$$\text{Fused} = \text{weight } ts_0 \times \text{Diff}_0 + \text{weight } ts_1 \times \text{resize}(\text{Diff}_1) + \text{weight } ts_2 \times \text{resize}(\text{Diff}_2)$$

其中 resize 是将图像调整到原始尺寸的操作。

通过上一系列操作对不同尺度的图像进行差分计算,然后根据各层高频能量动态分配权重进行融合,使其能够更好地捕捉不同大小和速度的运动目标。

(3) 光流校正。原始帧差法未对帧差结果进行后处理,可能存在伪影和噪声,通过改进,我们利用光流法计算相邻帧之间的运动信息,通过局部窗口检查和各向异性扩散去除伪影,提高运动目标检测的准确性。

改进后检测流程如图2所示。

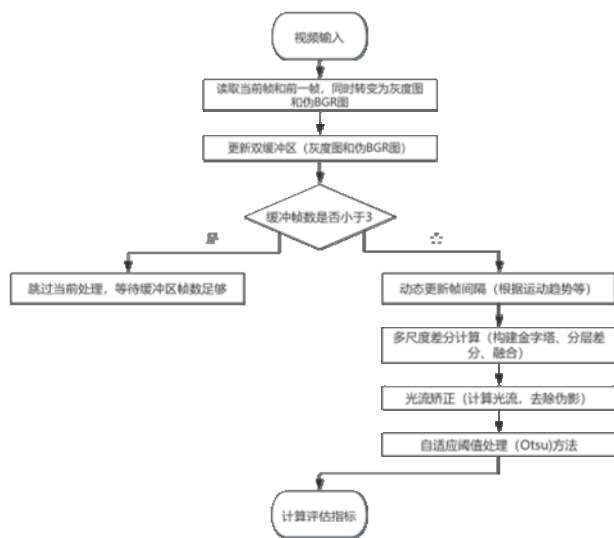


图2 改进后帧差法检测流程

1.3 指标监测模块设计

1.3.1 体内监测数据设计

体内监测系统采用MAX30100心率血氧模块监测人体心率血氧状况、MSP20压力传感器模块监测人体血压状况以及DS18B20监测人体体温状况。

1.3.2 环境数据监测设计

本项目中的环境数据检测主要以危险气体为主，本模块中我们采用的传感器有MQ-2烟雾传感器、MQ-3乙醇酒精传感器、MQ-4天然气传感器、MQ-5液化气传感器和MQ-9可燃气体传感器，通过多种传感器融合技术，系统将环境中的各种危险气体状况实时测量并上传至云平台，为生活环境提供安全保障。

2 结果与分析

通过相关改善，算法的相关性能均有了较大的提升，具体数据如表1所示。

表1 帧差法改善前后性能对比表

对比性能	原始帧差法	改善后帧差法
处理帧数	118173 帧	118173 帧
平均精确率	55.22%	69.92%
平均召回率	60.09%	74.51%
平均 F1 值	56.61%	70.81%
平均错误分类率	39.91%	25.49%
平均均方误差	60.745	13.4732

3 结论

本研究精心设计出了一套处于物联网架构之下的多模态监测系统，其核心算法运用的是动态帧差优化机制，在实际运行过程中，它会对监控画面里的光照强度以及运动幅度展开实时分析，依据分析结果自动去调节帧采样间隔，并且还会与多尺度梯度差分以及光流运动补偿相互配合。经过实际测量所获取的数据表明，经过改进之后的检测模块在CDNet2014测试集中所达到的准确率为69.92%，跟传统的帧差法相比，其准确率提升了将近15个百分点。在系统的硬件端集成了多参数传感器阵列，这个阵列能够同步对人体运动轨迹以及生命体征数据进行捕捉。从实际部署的案例情况来看，即便在存在干扰的场景之下，该系统依旧可以维持比较高的行为识别准确率。

[基金项目]

本项目由2024年大学生创新创业训练计划资助，项目名称“基于单片机的云平台家庭健康监测系统设计”（项目编号S202410148003）。

[参考文献]

- [1]吕俊杰.基于深度学习的居家老人跌倒检测研究[J].计算机工程与应用,2021,57(12):123-134.
- [2]黄佳宝.基于物联网的老年人跌倒监护系统设计与实现[D].武汉:华中科技大学,2019.
- [3]董科廷.基于智能终端的家庭智慧医疗系统的设计与实现[D].杭州:浙江大学,2017.
- [4]Yi Wang,Pierre-Marc Jodoin,Por.CDnet2014 Dataset [DB/OL].<http://changedetection.net/>,2023.
- [5]Fubin Wang, Qiong Huang. Construction and Evaluation of Sports Rehabilitation Training Model under Intelligent Health Monitoring[J]. Journal of Healthcare Engineering,2022, 44(11):123-135.
- [6]Pina L.R.,Sien S.W.,Ward T.,et al..From Personal Informatics to Family Informatics: Understanding Health Monitoring Practices[C]//Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction,2017,1(CSCW):Article72.

作者简介:

朱永民(2003--),男,汉族,本科在读,辽宁石油化工大学信息与控制工程学院,主要研究方向:工业控制。