

丛天昊, 吴江. 基于 RISC-V 的跌倒和心率血氧检测系统设计与实现[J]. 智能计算机与应用, 2024, 14(12): 112-117. DOI: 10.20169/j.issn.2095-2163.241215

基于 RISC-V 的跌倒和心率血氧检测系统设计与实现

丛天昊, 吴江

(浙江理工大学信息科学与工程学院, 杭州 310018)

摘要: 从世界范围来看, 老龄化已呈现全球性的发展趋势。在老年人日常生活中, 跌倒成为了危害老年人身体健康的首要因素, 各类跌倒检测系统受到社会各界的广泛关注。本文基于 RISC-V 架构, 设计并实现了一个跌倒监测系统, 并在跌倒监测的基础上增加了心跳和血液氧气含量的监测。本设计选择 MangoPiMQ-ProD1 开发核心板作为系统处理器、三轴加速度传感器 WTVB01-BT50 和 MAX30102 心率血氧传感器作为数据收集传感器的硬件框架, 并确定基于阈值法判断是否跌倒和心率血氧水平是否正常的判断方法。以 Android Studio 为基础, 开发出一款安卓 App, 能够通过接收硬件系统发送的信息, 发送报警短消息, 并显示心跳和血氧水平。

关键词: 跌倒检测; 心率血氧检测; RISC-V; 阈值判断; 功能设计

中图分类号: TN710; TN72; TN74

文献标志码: A

文章编号: 2095-2163(2024)12-0112-06

Design and implementation of fall and heart rate blood oxygen detection system based on RISC-V

CONG Tianhao, WU Jiang

(School of Information Science and Technology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: From the perspective of the world, aging has shown a global development trend. In the daily life of the elderly, falling has become the primary factor endangering the health of the elderly, and various fall detection systems have been widely concerned by the society. This paper designs and implements a fall monitoring system based on RISC-V architecture, and adds heartbeat and blood oxygen content monitoring on the basis of fall monitoring. In this design, MangoPiMQ-ProD1 development core board is selected as the system processor, three-axis acceleration sensor WTVB01-BT50 and MAX30102 heart rate and blood oxygen sensor are selected as the hardware framework of data collection sensor, and the threshold method is determined to judge whether the fall and heart rate and blood oxygen level are normal. Based on Android Studio, an Android App is developed, which can receive information sent by the hardware system, send alarm short messages, and display the heartbeat and blood oxygen level.

Key words: fall detection; heart rate oximetry; RISC-V; threshold judgement; function design

0 引言

有研究表明: 对于老年人的健康, 跌倒是一个重要影响因素。近年来, 国内外众多学者对跌倒检测技术进行了大量的探索性研究, 并取得了一定的科研成果。

当前, 跌倒检测的方法主要有 3 种。第一种方法是以声音为基础, 通过对碰撞引起的震动频率的分析, 来判断跌倒与否。第二种是通过视频和图像来分析跌倒情况, 通过一台或多台摄像机来获取和收集数据, 然后通过对这些图像的处理和分析, 来判

断跌倒发生与否。第三种是使用可穿戴式的传感装置来完成, 其中可穿戴式的传感装置有: 加速度计、陀螺、磁力计、肌电等。与录像机和听筒相比, 可穿戴式的感应器对周围的环境没有任何的限制, 更适合用来探测跌倒。

在国内, 姚旭^[1]在受试者身上的重要部位, 如腰部、腿部、颈部、手部和胸口等, 通过提取人体的运动轨迹特征, 来进行跌倒的识别。李坤等学者^[2]在人体腰部安装了一个陀螺、一个加速度计, 继而构建了一个跌倒行为探测系统, 对该系统进行了中值、均值滤波的预处理, 继而对人体的加速度以及相关的

作者简介: 丛天昊(2001—), 男, 本科生, 主要研究方向: 无线通信技术。

通信作者: 吴江(1978—), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向: 无线通信技术, 工业互联网。Email: wujiang@zstu.edu.cn。

收稿日期: 2023-07-07

动态量、静态量以及身体的姿态角度等进行了分析, 接下来又提出了一种基于门限的跌倒识别方法, 结果表明, 该算法的敏感性和特异度分别达到了 96.00% 和 97.00%。姜珊^[3]以具体情景视角为切入点, 对医院中的老人如卫生间情景、夜间老年病房情景、白天老年病房情景等具体情境进行情景建模。本项目拟采用 Kinect 方法获得场景中的深度图像, 并据此来研究分析基于卷积的极限学习机 (ELM) 等单隐前向神经网络 (SLFN) 在特征提取时容易陷入局部极小的问题, 该模型的预测精度达到了 99.82%。

在国外有关跌倒检测的研究中, Sara 等学者^[4]提出了使用一个监控摄像头, 利用 Mask R-CNN 进行实例分割并提取特征, 再与 LSTM 结合, 以时间序列数据为基础进行分类。Zhou 等学者^[5]利用深度学习和多传感器融合, 提出了一种跌倒检测方法。本项目拟利用 CW 雷达与光学相机联合采集人体运动信息, 利用 STFT 技术提取运动目标的时间序列特征, 利用多层卷积神经网络对运动目标进行训练, 并对跌倒行为进行识别。多传感器信息的融合使得跌倒检测系统的整体性能可以得到明显的改善。Abdo 等学者^[6]提出了以 RetinaNet 和 MobileNet 卷积神经网络为基础的跌倒检测模式。其中, 跌倒检测主要分为 3 个阶段: 人体检测、特征提取和跌倒或不跌倒的动作分类。研究中 RetinaNet 是用来判断一个人在视频中的位置的。第二步是特征抽取, 抽取人体动作、体型 (MHI、高宽比、头探测) 等特征, 生成特征图, 并将其输入到移动网络中。在第三步中, 利用修改后的移动网络对人体进行分类, 即“跌

倒”和“不跌倒”。Lu 等学者^[7]在 3D CNN 中引入了一种在 3D 卷积神经网络中用于跌倒检测的方法, 该方法在 3D CNN 中引入了一种用于视频分析的软注意机制。Xu 等学者^[8]和 Sharma 等学者^[9]研发了一种基于 LSTM 的空间模型, 将 2 种机制融合在一起。该方法可分别应用于图像与行为识别。在每个帧中, 由 Google 网络上的最终卷积层提取一张特征图张量, 再将其输入到最小二乘子模型中, 得到运动类别及运动注意力范围。

1 系统设计

1.1 系统架构

跌倒和心率血氧检测系统装置由硬件系统和软件系统共同组成, 硬件系统为跌倒检测系统的设计构成, 而系统的功能则是由软件系统来设计实现。本文研发的跌倒和心率血氧检测系统的硬件架构如图 1 所示。图 1 中, 各部分硬件功能如下: 数据采集和处理模块, 利用三轴加速度传感器 WTVB01-BT50 采集人体的加速度信息, 并且对加速度信息进行滤波处理, 选择 MAX30102 型心率-血氧传感器收集心率血氧信息。通过 MangoPi MQ-Pro D1 控制整个系统的工作。跌倒检测系统的软件设计包括: 串口通讯、跌倒检测、误判报警等。其中, 跌倒检测主要是通过加速度传感器收集到的人体移动的加速度数据, 对原始数据进行滤波和预处理, 并通过对应的跌倒检测算法来判断身体在移动中有没有跌倒。当跌倒算法判断出人体有跌倒的动作时, 跌倒探测设备就会启动警报机制。

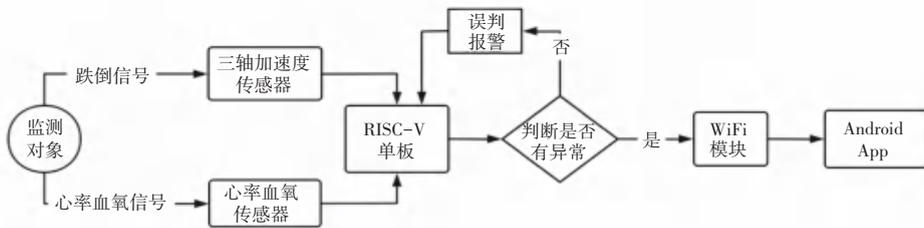


图 1 跌倒检测系统工作流程图

Fig. 1 Flow chart of fall detection system

1.2 RISC-V 架构

RISC-V 的设计目标是成为一个通用的指令集架构 (ISA)。适应包括从最袖珍的嵌入式控制器, 到最快的高性能计算机等各种规模的处理器, 并且兼容各种流行的软件栈和编程语言。

由于 RISC-V 出现的时间比较晚, 所以在设计上有很多优秀的先例可供参考, 因而在设计上占据一定优势。传统的系统结构设计方式是递增式

ISA, 新的处理器不但要进行新的 ISA 扩展, 还要完成已有的各种扩展。RISC-V 的特点是采用了模块化 ISA。在 RISC-V 中, 以一种基本的 ISA 为核心, 称为 RV32I, 具有一套完整的软件堆栈。RV32I 是不变的, 为编译器撰写者、作业系统开发者以及汇编语言程式设计师提供了一个稳定的目标。RISC-V 也提供了一系列其它标准的扩充指令, 并可由硬件来选择使用。RISC-V 编译器在了解了目前的硬件

环境后,就能根据现有的硬件环境,产生出最优的程序。

1.3 心率血氧传感器算法

本项目以 MAX30102 为研究对象,采用红光(660 nm)和红外线(880 nm)两种发光二极管作为检测对象,利用该二极管的发光二极管作为检测光

源,研究其在不同波段的吸收效率,从而实现了对二极管信号的实时采集。血氧饱和度则是据此来得出判断的。目前,对 PPG 信号的心率进行了时域分析,其原理是通过求得动态门限曲线,并通过波形和曲线的求和来判断 PPG 信号的周期。心率算法如图 2 所示。研究给出的计算方法具体如下。

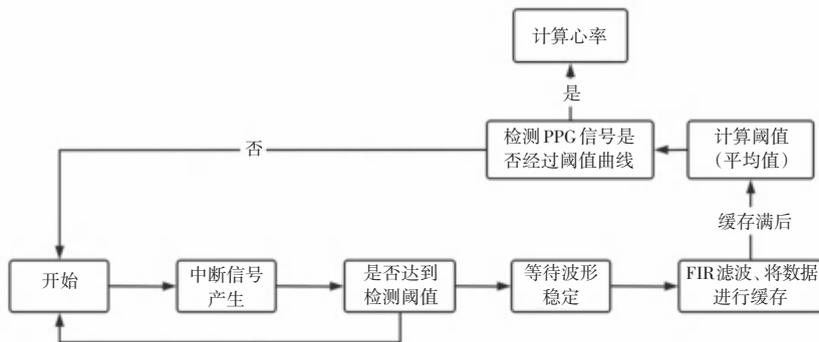


图 2 心率算法图

Fig. 2 Heart rate algorithm diagram

SPO2 测量由下式计算求得:

$$SPO2 = aR^2 + bR + c \quad (1)$$

式(1)中, R 由下式确定:

$$R = \frac{AC_{red}/DC_{red}}{AC_{ired}/DC_{ired}} \quad (2)$$

在实际试验中,给出传感器的讯号,待 1~2 s 后,由串口输出讯号;第 1、2、3 次资料是不稳定的,因其所得是刚接触感应器的资料,故可舍弃,第 3 次资料输出后,资料开始趋于平稳;在停止将信号传输到传感器后,串行端口将不再输出信息。当传感器再一次被接触时,测量将被重新启动。

1.4 系统处理器

本设计采用基于 RISC-V 的 MangoPi MQ-Pro D1 开发核心板作为系统处理器。MangoPi MQ Pro 能够运行基于 OpenWrt 的 Tina Linux 或 Debian,以全志 D1-H 为主控,内置最大 1 G DDR,板载 WiFi/BT/,同时还提供了多种常用的外设接口,完备的功能使得开发板能够更好地运行 Tina/Debian 之类的嵌入式软件系统,从而能够有效满足跌倒和心率血氧检测系统的需要。

与其它主板相比,芒果派最大的优点是其内置的 RISC-V 体系结构的处理器。所用的处理器是同样存在于 MQ1 主板上的 AllwinnerD1C906。简单地说,RISC-V 核心是 1 GHz 的 RISC-V 处理器,2 D 图像处理,VPU 对 4 K 的 H. 265/H. 264 进行 4 K 处理。

1.5 跌倒阈值算法以及心率血氧水平检测

(1) 跌倒检测。本设计使用三轴加速度传感器采集原始数据 a_x 、 a_y 、 a_z , 将其传递至处理器,计算出合加速度 SVM 与阈值 TSVM 之间的对比,当数值超过 TSVM 时,判定为跌倒,并通过 MangoPi 开发版中的 WiFi 模块向手机 App 发送警报。

合加速度 SVM 计算公式为:

$$SVM = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (3)$$

通过实验计算,得出结论:在人体失重之后,在大约 2 s 之内,人会跌落到地面,在落地的时候,会产生不低于 2.5 g 的加速度峰值。在本次研究中,将三轴加速度矢量和超过 2 g 作为人体跌到地面的标志,也就是,当 TSVM 为 2 g 时,系统判定为跌倒。

(2) 心率血氧检测。该系统利用 HR-血氧传感器采集 HR-及 SPO2,并将其传送给微机,以与正常 HR-及 TSPO2 相对照。根据医学研究所的资料显示,老年人的正常心率为 60~100/min,血氧饱和浓度为 90%~100%。如果血氧探测仪的 2 项结果中有一项不在正常范围,系统就会在 App 上报警。

2 Android 报警 App 设计

2.1 App 功能框架

本次设计的 Android 报警 App 主要分为以下 3 个部分:登录界面、注册界面、状态显示界面。功能

框架如图 3 所示。

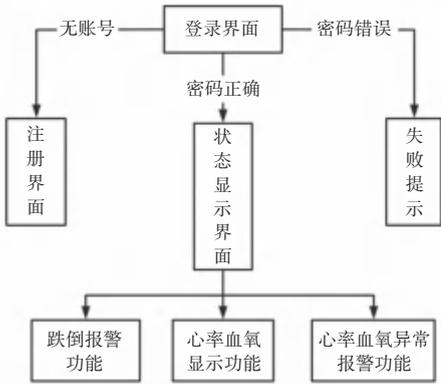


图 3 App 功能框架图

Fig. 3 App functional framework

2.2 功能界面设计

(1) 登录界面。用于执行用户信息的校验和注册, 主要包括 2 个文本框和 2 个按钮。一个是用于输入用户的账户、密码等信息, 另一个是密码文本框, 用“*”对所输入的信息采取保密措施; 在点击登录按钮后, 软件会首先对用户的信息进行校验, 如果仍未填好, 或者填错了, 系统就会弹出一个错误的提示框。在校验后, 如果用户信息是正确的, 软件就会进入下一个页面。按下登记键, 软件就会进入登记界面, 开始运行。登录界面的操作流程如图 4 所示。

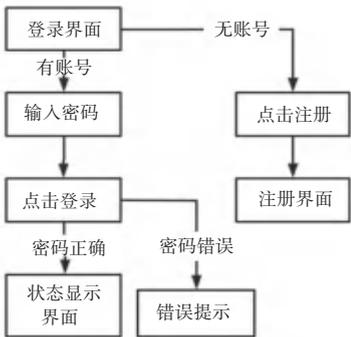


图 4 登录界面流程图

Fig. 4 Flowchart of the login interface

(2) 注册界面。这里, 需要填写 4 个用户信息: 姓名、性别、居住地、联系人手机号码, 因为姓名和联系人手机号码不同, 所以选择了一个文本框来进行填写; 使用单选按钮控制性别; 以下拉式的方式, 让使用者可以选择居住区。注册流程如图 5 所示。

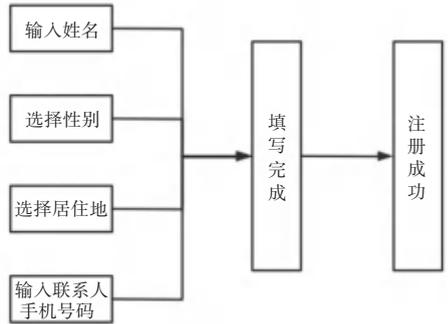


图 5 注册界面流程图

Fig. 5 Flowchart of the registration interface

(3) 状态显示界面。在用户注册并登录成功后, 进入主界面, 主界面的功能主要有: 跌倒报警以及误判取消功能、心率血氧水平显示功能和心率血

氧异常报警功能。当 App 从跌倒、心跳、血氧监测系统中接收到警报时, App 会自动将警报消息发送至联系人的手机号, 与此同时, 跌倒错误判断取消按钮会被点亮, 然后点击将系统错误判断消息发送至联系人的手机号; 在 App 没有从系统接收到警报的时候, 会一直显示被测者的心电图和血氧水平, 跌倒错误判断按钮会保持为灰色, 点击后不会有任何动作。状态显示界面如图 6 所示。

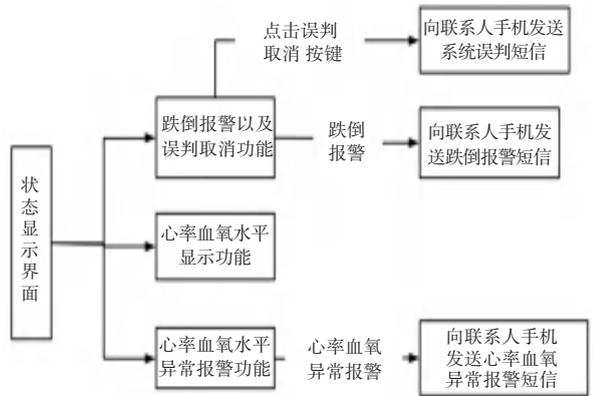


图 6 状态显示界面

Fig. 6 Display interface of the status

3 系统测试

3.1 跌倒判断测试

由于人体构造复杂, 日常生活中的各种动作及活动有很多, 需要寻找能够准确反映人体动作特性的最典型姿势, 才能获得最佳的跌倒探测效果。在当前的跌倒探测研究中, 跌倒探测设备的穿戴部位以胸部、腰部、手腕和腿部为主。首先, 腕部的动作频率很高, 行走时腕部的动作幅度也很大, 跌倒时以及跌倒后, 腕部的动作也会很大。所以, 本文设计的跌倒检测器并不适合戴在手腕上。也不能戴在腿上, 腿上的情况就像是手腕一样, 戴在腿上也很不方便。戴在胸前也会影响人的视觉效果, 再加上一些老人有驼背, 所以

胸部就会往前倾斜,也会影响到身体的倾角。所以,跌落探测设备最好的佩带部位是腰部。

实验对象由 10 名身体健康状况良好、无运动障碍、无重大疾病史的人员组成,小组由 5 名 20~22 岁女性、5 名 20~23 男性组成。为了减少实验偶然性,将女性编号为奇数实验者,男性编号为偶数实验者进行交替对象实验。实验的过程如下:实验者将人体跌倒检测系统正确地穿戴在腰间,并对其进行检测,将其插入到电池中后,等待人体姿势检测传感器在线检测成功,系统进入工作状态;触动人体位姿探测开关,对模组进行标定,触动探测按钮,观察每个位姿变化后,指示灯是否出现闪光;被试按照下列 2 个小组的试验次序进行试验;在实验的过程中,实验者尽量不要做出保护动作,这样可以使模拟跌倒的情况更为真实。在跌倒的过程中,实验者可以将多功能数据处理平台装在裤子口袋里,也可以将其置于衣服口袋中,这样可以确保不会在跌倒的过程中突然掉落,并且可以观察此后的通话质量问题。每一个姿势都要做一次测验,每个姿势都不能连续,并且每个姿势都要持续 10 s。第二套姿势是:倒在前面,倒在后面,倒在左边,倒在右边。从站着不动到人跌倒为一组,每个动作各做 20 次。跌倒判断测试结果见表 1。

表 1 跌倒判断测试结果

Table 1 Results of fall judgement test

编号	动作	次数	误判次数
N1	平躺	20	2
N2	静坐	20	0
N3	静止站立	20	0
N4	匀速步行	20	1
F1	向前跌倒	20	0
F2	向后跌倒	20	0
F3	向左跌倒	20	0
F4	向右跌倒	20	0

跌倒探测的试验结果可以分为 3 个方面:跌倒行为被探测到是正常的,即漏警;正常的动作会被侦测为跌倒,也就是假警报;将坠落行为探测为坠落行为,或将正常的行为探测为正常的行为,也就是说,探测是正确的。从跌倒判断测试结果可以看出,该系统在跌倒的判定过程中没有漏报,平躺动作时出现了 2 次误判,匀速步行时出现 1 次误判。

3.2 App 功能测试

App 的注册与登录界面如图 7 所示,初次进入

App 的用户需要注册,同时设置密码等信息。成功注册的用户进入 App 直接来到登录界面,详见图 7。输入用户名和密码即可进入主界面,密码错误会发出提示。



图 7 App 部分截图

Fig. 7 Screenshot of App

本文设计最重要的一点是报警。如果出现了误报、漏报的现象,那么整个系统就不能发挥出应有的作用,也不能及时地与紧急联系人、监护人取得联系。为保证与守护者的实时通讯,对报警逻辑、人体跌倒后的自动报警进行了稳定性试验。在测试之前,先把手机放到一个稳定的电源环境中,接着将再启动手机 App。如果有一个人跌倒了,那么 App 就会在第一时间与其取得联系。同时,当系统出现虚报时,确保可以主动发送短消息,如图 8 所示。同时还要能够查看心率和血氧的情况。

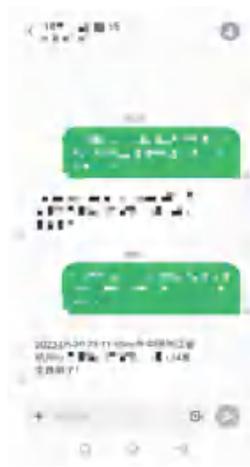


图 8 警报短信截图

Fig. 8 Screenshot of alarm message

当系统判断使用者跌倒且使用者未取消跌倒警报时,App 会自动向注册时所预留的紧急电话发送

求救短信;当使用者心率血氧水平在安全范围以外时,系统也会自动发送报警短信。

4 结束语

本文设计的基于 RISC-V 的跌倒和心率血氧检测系统采用了三轴加速度传感器 WTVB01-BT50 来收集数据,并选择 MAX30102 心率血氧传感器模块来对心率血氧数据进行收集。与此同时,对于更为核心的系统处理器,本文选择了基于 RISC-V 的 MangoPiMQ-ProD1 开发核心板来控制整个硬件系统的运行。该系统使用阈值法来对跌倒和心率血氧进行检测,并通过实验得出了跌倒状态的判定阈值以及心率血氧的正常区间。接着,针对该硬件系统进行了软件开发,实现了跌倒、心跳、血氧测定等预定功能。同时在传统的可穿戴设备的基础上,加入了 Android App 服务端,这就使得整个针对老弱妇孺的系统变得更加高效便捷。App 中还包含自动报警功能,使得独居的老人在发生跌倒等危险的时候,更容易被发现,得到及时的救助,就可以极大地降低老人意外事件的发生几率。心率血氧显示功能也可以让老人实时了解自己的身体状况,而系统误判取消功能则提高了整个系统的容错率,从而避免了因为误判报警而造成的不必要的人力、物力、财力的资源浪费。

参考文献

- [1] 姚旭. 基于姿态识别老人监护系统的设计与实现[D]. 北京:北京工业大学,2013.
- [2] 李坤,姜萍萍,颜国正. 基于多传感数据融合的跌倒检测算法[J]. 北京生物医学工程,2016,35(5):483-488.
- [3] 姜珊. 基于分类学习的住院老年人跌倒行为检测研究[D]. 成都:电子科技大学,2020.
- [4] SARA M, ALAOUI N, BOULMALF M. A framework for elders fall detection using deep learning[C]//2020 6th IEEE Congress on Information Science and Technology (CiSt). Piscataway, NJ: IEEE,2020:69-74.
- [5] ZHOU Xu, QIAN Lichang, YOU Pengjie, et al. Fall Detection using convolutional neural network with multi-sensor fusion[C]//2018 IEEE International Conference on Multimedia & Expo Workshops (ICMEW). Piscataway,NJ:IEEE,2018:1-5.
- [6] ABDO H, AMIN K M, HAMAD A M. Fall detection based on RetinaNet and MobileNet convolutional neural networks [C]//2020 15th International Conference on Computer Engineering and Systems(ICCES). Piscataway, NJ:IEEE,2020:1-7.
- [7] LU Na, WU Yidan, FENG Li, et al. Deep learning for fall detection: Three - dimensional CNN combined with LSTM on video kinematic data[J]. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics,2019,23(1):314-323.
- [8] XU K, BA J L, KIROS R, et al. Show, attend and tell: Neural image caption generation with visual attention[C]//Proceedings of the 32nd International Conference on Machine Learning. Lille, France: ACM,2015:2048-2057.
- [9] SHARMA S, KIROS R, SALAKHUTDINOV R. Action recognition using visual attention[J]. arXiv preprint arXiv,1511.04119,2015.