

DOI: 10.13382/j.jemi.B2003197

AHRS 的老人跌倒检测算法^{*}

任晶秋 蒋 杨 张光华

(东北石油大学 电气信息工程学院 大庆 163318)

摘 要:独居老人如在室内或室外发生意外摔倒时,没有得到及时医疗救助治疗,将给老年人造成巨大的心理与身体的伤害。将航姿参考系统(attitude and heading reference system,AHRS)应用在跌倒检测中,将跌倒的过程转变成姿态的变化,从而来判断跌倒的程度。AHRS 航姿系统比过去原有实验方案 3 种姿态角度均有所提升,俯仰角(pitch)提升 2.371%,滚转角(roll)提升 9.238%,偏航角(yaw)提升 4.682%,加速度计最大值精确了 0.171g,AHRS 航姿系统融合扩展卡尔曼滤波器在检测老年人跌倒姿态中比过去原有实验方案在检测时间计算上提升了 1 s。综上实验验证 AHRS 航姿融合在检测老年人跌倒上可以数据更精确,计算时间更少,在研究人体真实跌倒姿态中更贴近了一步。

关键词:老年人;跌倒;姿态角;航姿参考系统;检测

中图分类号: TN98;TP249 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.40

The algorithm of elderly fall detection based on AHRS

Ren Jingqiu Jiang Yang Zhang Guanghua

(School of Electrical Engineering and Information, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China)

Abstract:If an elderly person lives alone and accidentally falls indoors or outdoors, she/he will not receive timely medical assistance and treatment, which will cause huge psychological and physical harm. In this paper, the attitude and heading reference system (AHRS) is used in fall detection, and the fall process is transformed into a change in attitude to judge the degree of fall. The AHRS attitude and heading system has been improved from the previous three experimental attitude angles, the pitch angle is increased by 2.371%, the roll angle is increased by 9.238%, the yaw angle is increased by 4.682%, the maximum accelerometer accuracy is 0.171g. The system fusion extended Kalman filter has improved the detection time calculation of the elderly by 1 second compared with the original experimental scheme in the past. In summary, the experiment proves that the AHRS attitude and attitude fusion can detect the fall of the elderly with more accurate data and less calculation time, which is a step closer to study the real fall posture of the human body.

Keywords:senior; fall; attitude angle; AHRS; testing

0 引 言

当前我国发展阶段老龄化十分严重,老年人口随之增多,子女负担加重,又不能时刻陪伴左右,加之现代的生活方式转变称这样的家庭老人叫做“独居老人”。人年纪越来越大,骨骼变得脆弱,独居老人最怕发生意外摔倒状况,如若不能得到有效及时医疗救治,家庭幸福指数将受到影响^[1]。现代国内外研究中老人

跌倒姿态检测研究实验有如下类型:1)利用图片与视频来分析老年人的跌倒姿态。使用者无需佩戴任何检测设备,在室内安置摄像头即可。首先利用图片或者视频中老年人的姿态记录截取下来,然后使用形态中骨骼特征值的要求提取老年人的实际数据值,最后实际数据经过算法处理后建立模型对比分析^[2-4]。这种产品优点在于跌倒后能从视频或图片清晰看到老年人的状态^[5],还可同时多人检测只要在观察范围内都有效。缺点主要有缺少家庭隐私性,在观察范围内隐私

不能完全保障;同时只能在室内使用一旦脱离摄像头的观察范围内毫无作用。2) 利用声学采集老年人跌倒时音频检测跌倒。根据人体跌倒那一刻的声音采集和分析,但是采集音频中容易产生噪声,如周围环境或者旁人发出噪声等都会影响最后的判定效果,从而产生较大的误差^[6]。这想法具有一定的理想性,实际产品不推荐使用。3) 可穿戴式跌倒检测产品^[7-8]。现研究领域多传感检测老年人跌倒使用惯性测量单元居多,多轴传感器中融合扩展卡尔曼滤波(extended Kalman filter, EKF)检测老年人跌倒姿态,该方法在计算检测跌倒时间上不灵敏,姿态角度精确也有待提高。

过去原有的方案中采用多轴传感器融合 EKF,通过经验阈值或机器学习来分级姿态检测,这样的方案在数据处理中存在不够精确和计算时间不够快的缺点。因此本文提出一种基于航姿参考系统(attitude and heading reference system, AHRS)的多轴传感器融合 EKF 的老人跌倒检测算法,实现对跌倒过程的检测研究。AHRS 航姿系统原来应用在飞行器^[9]当中,能够弥补传感器误差,校正误差等起到良好作用。研究中采用的多轴传感器包括加速计、陀螺仪和磁力计等,3 种传感器都佩戴在被检测者的腰部,从佩戴者的跌倒姿态检测到的数据通过一个低频滤波器后组生成为一个原始四元数数组,四元数数组在 EKF 与 AHRS 航姿系统中发生以下变化:加速度去除零点漂移带来的计算影响、陀螺仪修正补偿、磁力计补偿矫正,将改变后的数组转化为一个更新后的四元数数组。原来根据地球坐标系为参考方向变成以多传感器的方向为坐标参考方向的姿态矩阵,姿态矩阵在向姿态角度转变经过 AHRS 航姿系统中参数四元数微分方程求解方程的姿态算法的收敛速度后变为飞行器常见 3 个角度,为俯仰角(pitch)、滚转角(roll)、偏航角(yaw)。通过俯仰角、偏航角和加速度联合阈值法识别老年人摔倒的姿态,3 种状态联合判断增加识别跌倒姿态的真实性。本实验从数据采集、原有多轴传感器融合扩展卡尔曼滤波模型、AHRS 航姿融合适用模型阐述、跌倒姿态阈值检测判断这 4 方面展开讨论,经实验对比融合 AHRS 航姿后跌倒检测时间明显减少,俯仰角、转滚角和偏航角精度均有提升。证明 AHRS 航姿系统在融合原有方案基础上,可以很好的应用在老年人跌倒姿态检测上,实现跌倒检测。

1 跌倒姿态算法原理

多轴传感器融合 EKF 与 AHRS 航姿系统融合 EKF 方案,在设计过程中都需要四元数数组与扩展卡尔曼滤波来将数据转化为姿态角。

1.1 姿态角

1) 四元数

四元数是一种四维超复数,它由一个实数单位与 3 个虚数单位 i, j, k 形成。

$$\hat{q} = q_1 + q_2 i + q_3 j + q_4 k = [q_1 \ q_2 \ q_3 \ q_4] \quad (1)$$

其中,实数部分为四元数中标量部分,虚部部分为四元数矢量部分。

2) 四元数计算

(1) 模值

$$|\hat{q}| = q_1^2 + q_2^2 + q_3^2 + q_4^2 \quad (2)$$

(2) 共模

$$\hat{q}^* = \begin{bmatrix} q_1 \\ -q_2 \\ -q_3 \\ -q_4 \end{bmatrix} \quad (3)$$

(3) 叉乘

两个实数四元矩阵 p_1 和 p_2 , 分别为:

$$p_1 = [a_1 \ b_1 \ c_1 \ d_1]^T \quad (4)$$

$$p_2 = [a_2 \ b_2 \ c_2 \ d_2]^T \quad (5)$$

则经过叉乘计算后有:

$$p_1 \otimes p_2 = \begin{bmatrix} a_1 a_2 - b_1 b_2 - c_1 c_2 - d_1 d_2 \\ a_1 b_2 + b_1 a_2 + c_1 d_2 - d_1 c_2 \\ a_1 c_2 - b_1 d_2 + c_1 a_2 + d_1 b_2 \\ a_1 d_2 + b_1 c_2 - c_1 b_2 + d_1 a_2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

3) 四元数组表示旋转矩阵

归一化的四元数组可以用来在三维空间中坐标系的旋转表示,假定空间中任意向量 \hat{v} 在 A(被固定在地球上的坐标系)的投影为 $[\mathbf{v}_x^A \ \mathbf{v}_y^A \ \mathbf{v}_z^A]^T$, B(表示被固定的传感器的坐标系)的投影为 $[\mathbf{v}_x^B \ \mathbf{v}_y^B \ \mathbf{v}_z^B]^T$, 在坐标系 A 中可以找到转轴 \hat{r}^A 和转角 θ , 使得向量 \hat{v} 绕转轴旋转后向量 \hat{v}' 在坐标系 A 中的投影为 $[\mathbf{v}_x^B \ \mathbf{v}_y^B \ \mathbf{v}_z^B]^T$, 四元数 ${}^A_B \hat{q}$ 旋转可以用旋转矩阵 ${}^A_B \mathbf{R}$ 表示如下:

$$\hat{v}^B = \hat{v}^A \cdot {}^A_B \mathbf{R}^T = \begin{bmatrix} \mathbf{v}_x^A \\ \mathbf{v}_y^A \\ \mathbf{v}_z^A \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 2q_1^2 - 1 + 2q_2^2 & 2(q_2 q_3 + q_1 q_4) & 2(q_2 q_4 - q_1 q_3) \\ 2(q_2 q_3 - q_1 q_4) & 2q_1^2 - 1 + 2q_3^2 & 2(q_1 q_2 + q_3 q_4) \\ 2(q_2 q_4 + q_1 q_3) & 2(q_3 q_4 - q_1 q_2) & 2q_1^2 - 1 + 2q_4^2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

4) 四元数组转为姿态角

$$yaw = \text{atan2}(2q_2 q_3 - 2q_1 q_4, 2q_1^2 + 2q_2^2 - 1) \quad (8)$$

$$pitch = -\sin^{-1}(2q_2 q_4 + 2q_1 q_3) \quad (9)$$

$$roll = \text{atan2}(2q_3 q_4 - 2q_1 q_2, 2q_1^2 + 2q_4^2 - 1) \quad (10)$$

1.2 EKF 滤波

EKF 针对于传感器数据误差产生的加速度零点漂移

有一定的效果,使得零点漂移对于最后角度识别降低影响。在陀螺仪采集数据时产生的白噪声随着积分累积不断增加,EKF 在去除白噪声中显示了优良的性能^[10]。

C_A^B 是地球坐标系 A 转换为传感器的坐标系 B 的一个方向矩阵,ACC 与 MAG 是 B 系统的加速度和磁力计,加速度和磁力计的测量矢量是 acc_k 与 mag_k , 测量噪声是 \mathbf{v}_k , \mathbf{a}_{k+1} 与 \mathbf{m}_{k+1} 分别是加速计和磁力计偏转矢量,则根据 EKF, 可以的测量模型公式如下:

$$\begin{bmatrix} \text{acc}_{k+1} \\ \text{mag}_{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_A^B(Q_{k+1}) & 0 \\ 0 & C_A^B(Q_{k+1}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{acc}_k \\ \text{mag}_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{a}_{k+1} \\ \mathbf{m}_{k+1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{v}_{a,k+1} \\ \mathbf{v}_{m,k+1} \end{bmatrix} \quad (11)$$

式(11)经过运算化简后得到:

$$\mathbf{Z}_{k+1} = h(\mathbf{X}_{k+1}) + \mathbf{v}_{k+1} \quad (12)$$

2 AHRS 航姿系统应用及原理

AHRS 航姿系统是由 Madgwick 在 2011 年 4 月提出。AHRS 航姿系统原本是应用于飞行器姿态检测的技术,随着技术发展日益精准,该算法体系在汽车驾驶导航^[11-13]、轮船航行定位、人体复健康复^[14]中都有着重大作用。在人体跌倒检测领域内,广泛使用多轴传感器融合滤波来检测跌倒姿态,虽然采用扩展卡尔曼滤波去除白噪声,但是在检测跌倒状态计算时间时不够精确。AHRS 航姿系统本质为将传感器数据融合修正,将传感器数据优化融合的结果滤波,得到高精度的数据结果。

2.1 加速度漂移处理

设加速度计三轴数据为 $\text{acc}_x^B, \text{acc}_y^B, \text{acc}_z^B$, \mathbf{w}_a 为加速度误差矢量,归一化后建立加速度矢量方程:

$$\begin{bmatrix} \text{acc}_x^B \\ \text{acc}_y^B \\ \text{acc}_z^B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2q_1q_3 - 2q_0q_2 \\ 2q_2q_3 + 2q_0q_1 \\ q_0^2 - q_1^2 - q_2^2 + q_3^2 \end{bmatrix} + \mathbf{w}_a \quad (13)$$

求解式(13)并取实部,简化运算得到式(14)的矩阵。

$$\frac{\partial h_1(\mathbf{q}_k)}{\partial \mathbf{q}_k} = \begin{bmatrix} \frac{\partial h_1(\mathbf{q}_k)}{\partial \mathbf{q}_k} & \mathbf{0}_{3 \times 3} \end{bmatrix} \quad (14)$$

2.2 AHRS 系统在人体姿态检测适用性

AHRS 航姿系统由于含有地磁计易受到磁场干扰,受到干扰后易产生误差,所以未避免姿态角受到干扰后产生误差,在求取姿态角时将陀螺仪数据与磁力计校正后使用 EKF 解算。

3 算法实验测试

在跌倒实验中,常见大多数传感器人体佩戴部位中

有腰部、手部、脚部、手臂等几个部位,在测得跌倒数据相对比较中,发现传感器佩戴在腰部时测量的数据较为准确,误差较小一些,更为贴近人体运动数据^[15-16],因此本实验采取被检测人把传感器佩戴身体的腰部进行实验。佩戴方式和传感器参考坐标系方向如图 1 所示。

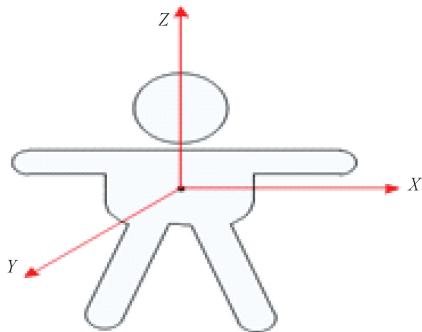


图 1 人体参考坐标示意图

Fig. 1 Schematic diagram of human body reference coordinates

3.1 实验数据采集

本实验中姿态测量系统传感器为三轴加速度计 ADX345, 三轴陀螺仪 L3G4200D, 三轴地磁计 HMC5883 以及单片机 STM32。实验未在实验室进行模拟测量,所以环境受场地,保护措施限制,此次实验多组数据均是采用前倾摔倒姿态。实验数据采集来自一位成年女性,身高 172 cm, 体重 55 kg。由于采用真人实测本实验,多次摔倒检测并不适宜让老年人配合完成。

从图 2 所示的 3 个图中 X, Y, Z 分别代表 3 个方向上的测量值,获取的这些数据可以看出 2~3 s 内是各个传感器达到最大值为摔倒的一个过程,且存在着加速度有零点漂移现象,陀螺仪持水平静止的状态,磁力计受磁场等外界环境影响也存在漂移不稳定现象。由于传感器调节不够精准和传感器原本误差出现加速度计与磁力计漂移现象。在下一步 AHRS 航姿系统与扩展卡尔曼滤波后不再对计算俯仰角、滚转角、偏航角产生较大的影响。

3.2 两种方案姿态角度对比分析

实验采集数据计算成四元数数组,四元数数组比较抽象不能直观比较^[17],将四元数数组经过 AHRS 航姿系统与多轴传感器融合 EKF 的原有方案后生成两组 3 个飞行器常用姿态角,通过观察姿态角的变化可直观看到加入算法后姿态角的差异性。如图 3 所示为原有方案采用最大时间长度和最大扩展卡尔曼滤波俯仰角、最大偏航角的磁力计分量采样后 3 个姿态角随着时间的变化。图 3 中在 3 s 后才有检测到大幅度活动产生角度变化,而在 0~3 s 内并无较大角度变化。原有方案中漂移量,磁场影响与计算速度缓慢导致活动和跌倒姿态识别缓慢。

如图 4 所示 AHRS 航姿系统融合扩展卡尔曼滤波后姿态角根据上述最大步长采样所得,偏移量得到修正后,

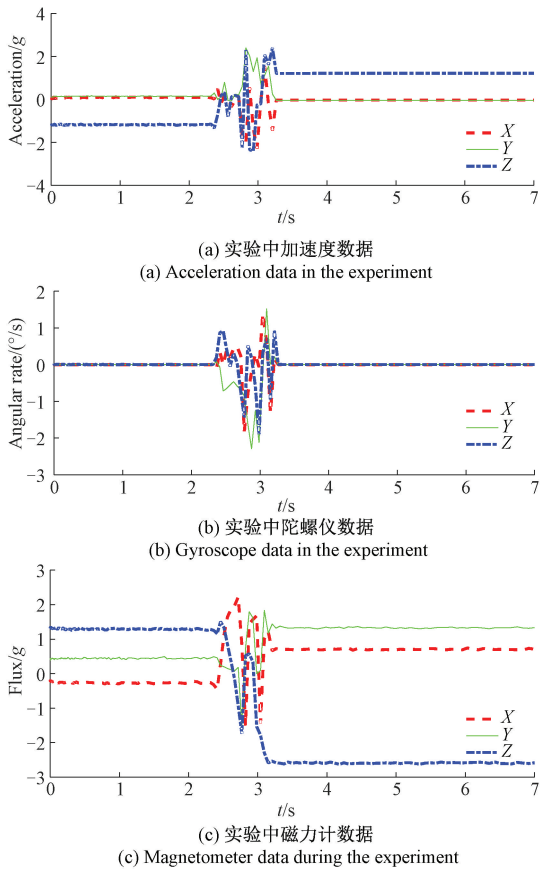


图 2 实验中获取的多轴传感器数据

Fig. 2 Multi-axis sensor data obtained in the experiment

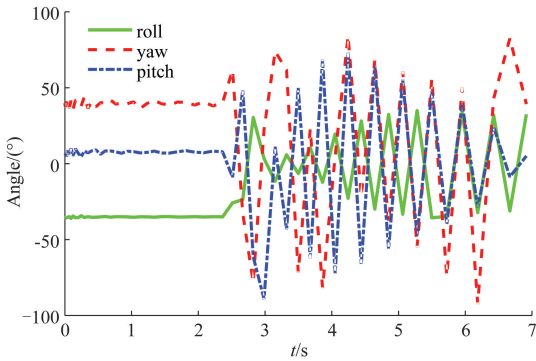


Fig. 3 Multi-axis sensor fusion EKF test results

可以直观得到姿态角在跌倒前后的瞬间角度变化,尤其在 0~3.5 s 内跌倒前后人体姿态改变时 3 个姿态角角度值起伏范围。

通过两个实验所得比较,AHRS 航姿系统各个传感器生成数据计算速度相对统一,在采用阈值判断时不用考虑各个数据依次判断。加速度漂移现象在 AHRS 系统融合扩展卡尔曼滤波后得到修正如图 5 所示,在 0 s 时无漂移产生误差影响,从而取得真实加速度最大值。

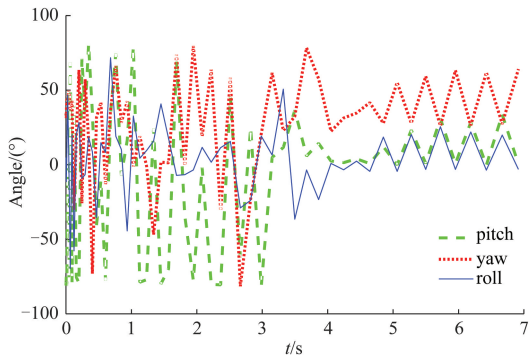


Fig. 4 AHRS attitude and attitude system fusion EKF test results

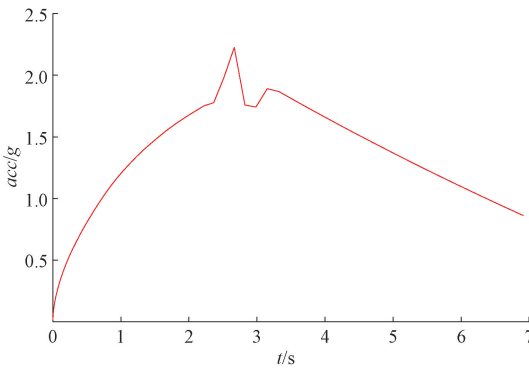


Fig. 5 After acceleration correction

AHRS 航姿系统在人体姿态检测时调整磁力计受干扰对姿态角差生较大误差时处理办法后仿真如图 6 所示。该图给出了修正地磁计偏移量时偏航角的校正过程中曲线,在陀螺仪与地磁计的偏航角分量经过 AHRS 修正处理后得到新的偏航角数据。未经过修正数据时两个偏航角分量在最大值时均比新的偏航角数据延后且零点数据偏大。

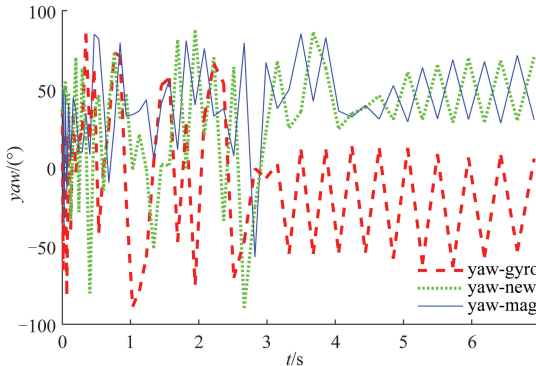


Fig. 6 Comparison of attitude angle after adjustment of AHRS geomagnetometer

综上两个实验对比可得,AHRS 航姿系统融合扩展卡尔曼滤波时检测跌倒姿态时,加速度校正后最大值达到 2.225g,比多轴传感器融合卡尔曼滤波时最大值降低 0.171g。用校准后的传感器数据解得姿态角得数据对比,AHRS 融合扩展卡尔曼滤波偏航角平均值在 59.732°,俯仰角平均值在 45.376°,滚转角平均值在 27.578°。3 个姿态角均值比多轴传感器融合扩展卡尔曼滤波器降低 2.934°、1.102°、2.807°。实验数据因有零点漂移存在,多轴传感器融合扩展卡尔曼滤波器处理零点漂移后还存在一定误差性,而 AHRS 航姿系统融合处理数据后明显降低零点漂移带来得影响。通过姿态角对比可知,在传感器数据存在不理想状态时 AHRS 航姿系统能够降低误差,精准姿态角。所以角度降低是提升了数据精准度。

3.3 阈值法检测跌倒

跌倒识别采用阈值法,通过加速度与俯仰角、偏航角联合判定老年人是否跌倒^[18]。在人体日常活动数据研究中,根据经验值人体在行走中时加速度为 $1g$ ^[19],生活中日常行动姿态角度大约在 $0^\circ \sim 45^\circ$ 之间^[20],只有在剧烈运动等角度大范围起伏后姿态角度会在 60° 以上,如果单一判断姿态角度数值,因磁力计会受佩戴人所在地区磁场受到一定得影响容易引起判定误差。所以联合判定时才能有效避免识别错误。通过本实验所得数据与人体日常数据经验值比较所得,将阈值设置为当加速度超过 $2.2g$,俯仰角在大于 45° ,偏航角在大于 45° 时,识别人体为跌倒状态。

4 结 论

本文开展了 AHRS 应用于跌倒检测的技术研究,提出了一种基于 AHRS 与多轴传感器和 EKF 相融合的跌倒检测算法,用于老人跌倒检测的识别研究。经过实验仿真可知,采用 AHRS 之后对数据处理校正有明显提升,在图 2(a)与图 5 对比可得去除漂移后最大值相差 0.171g。说明 AHRS 航姿系统校正后能够达到理想无漂移状态。利用加速度等数据校正后的姿态角也有精度上的提升,俯仰角提升 2.371%,滚转角提升 9.238%,偏航角提升 4.682%,姿态角度更精确在跌倒姿态判断中较为更早的探测到跌倒危险情况。实验阈值通过加速度、俯仰角、偏航角,联合数值进行判定,在加速度超过 $2.2g$,俯仰角或偏航角在 $45^\circ \sim 100^\circ$ 时,便可判定为跌倒姿态。由此可知,将 AHRS 应用于跌倒检测中,可以很好地提升跌倒检测的性能,从而实现对老人跌倒姿势的识别和判断,为老人的防护提供保障。

参考文献

- [1] 穆光宗,张团.我国人口老龄化的发展趋势及其战略应对[J].华中师范大学学报(人文社会科学版),2011,50(5):29-36.
MU G Z, ZHANG T. Development trend of population aging in my country and its strategic response [J]. Journal of Central China Normal University (Humanities and Social Sciences Edition), 2011,50(5):29-36.
- [2] 陈永彬,何汉武,王国桢,等.基于机器视觉的老年人摔倒检测系统[J].自动化与信息工程,2019,40(5):37-41.
CHEN Y B, HE H B, WANG G ZH, et al. An elderly person falls detection system based on machine vision [J]. Automation and Information Engineering, 2019,40(5):37-41.
- [3] 禹明娟.基于视频的室内老人摔倒检测研究[D].杭州:杭州电子科技大学,2016.
YU M J. Research on video-based indoor elderly fall detection [D]. Hangzhou: Hangzhou Dianzi University, 2016.
- [4] 赵德亮.基于视频的摔倒检测算法设计与实现[D].西安:西安电子科技大学,2018.
ZHAO D L. Design and implementation of video-based fall detection algorithm [D]. Xi'an: Xidian University, 2018.
- [5] 蔡娟,李东新.基于优化k均值建模的运动目标检测算法[J].国外电子测量技术,2016,35(12):20-23.
CAI J, LI D X. Moving target detection algorithm based on optimized k-means modeling [J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2016,35(12):20-23.
- [6] 师昉,李福亮,张思佳,等.中国老年跌倒研究的现状与对策[J].中国康复,2018,33(3):246-248.
SHI F, LI F L, ZHANG S J, et al. The status quo and countermeasures of the study on falls in the elderly in China [J]. China Rehabilitation, 2018, 33(3):246-248.
- [7] WANG H, ZHANG D, WANG Y, et al. RT-Fall: A real-time and contactless fall detection system with commodity WiFi devices [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2017, 16(2):511-526.
- [8] 周堂兴,范红.一种智能可穿戴的跌倒检测系统[J].微型机与应用,2015,34(2):94-96.
ZHOU T X, FAN H. An intelligent wearable fall detection system [J]. Microcomputer and Application, 2015,34(2):94-96.
- [9] 刘洪剑,王耀南,谭建豪,等.基于加速度变噪声EKF的无人机姿态融合算法[J].电子测量与仪器学报,2016,30(3):333-341.
LIU H J, WANG Y N, TAN J H, et al. UAV attitude

- fusion algorithm based on acceleration variable noise EKF [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2016, 30(3): 333-341.
- [10] 张晓明, 陈雷, 张莺莺, 等. 基于EKF的地磁/陀螺信息融合姿态测量算法研究[J]. 中国测试, 2019, 45(5): 10-16.
- ZHANG X M, CHEN L, ZHANG Y Y, et al. Research on Geomagnetic/Gyro information fusion attitude measurement algorithm based on EKF [J]. China Testing, 2019, 45(5): 10-16
- [11] 谭光兴, 符丹丹, 丁颖, 等. 基于扩展卡尔曼滤波的汽车行驶状态估计[J]. 广西科技大学学报, 2020, 31(1): 18-24.
- TAN G X, FU D D, DING Y, et al. Automobile driving state estimation based on extended Kalman filtering [J]. Journal of Guangxi University of Science and Technology, 2020, 31(1): 18-24.
- [12] 幸雪初, 王湘新, 陈绍黔. 基于LandMark 10 AHRS的车载中通天线稳定系统的分析与设计[J]. 数字通信世界, 2015(9): 31-34.
- XING X CH, WANG X X, CHEN SH Q. Analysis and design of vehicle-mounted dynamic antenna stability system based on LandMark 10 AHRS [J]. Digital Communications World, 2015(9): 31-34.
- [13] 李达, 杨光友, 李军, 等. 自动驾驶车辆远程监控系统的设计[J]. 湖北工业大学学报, 2015, 30(2): 34-36, 57.
- LI D, YANG G Y, LI J, et al. Design of a remote monitoring system for autonomous vehicles [J]. Journal of Hubei University of Technology, 2015, 30(2): 34-36, 57.
- [14] 平铎. 基于AHRS的康复运动监测装置的技术研究[D]. 北京; 中国航天科技集团公司第一研究院, 2018.
- PING D. Research on the technology of rehabilitation exercise monitoring device based on AHRS [D]. Beijing: The First Research Institute of China Aerospace Science and Technology Corporation, 2018.
- [15] 杨世军. 佩戴部位、活动类型影响加速度计能耗监测准确性的研究[D]. 成都: 四川师范大学, 2019.
- YANG SH J. Research on the accuracy of accelerometer energy consumption monitoring by wearing parts and types of activities [D]. Chengdu: Sichuan Normal University, 2019.
- [16] BOURKE A K, VEN P V D, GAMBLE M, et al. Evaluation of waist-mounted tri-axial accelerometer based fall-detection algorithms during scripted and continuous unscripted activities [J]. Journal of Biomechanics, 2010, 43(15): 3051-3057.
- [17] 殷梦娇, 俞亚萍, 张之江. 基于四元数模型的密集人群视频特征提取[J]. 电子测量技术, 2016, 39(7): 72-75.
- YIN M J, YU Y P, ZHANG ZH J. Video feature extraction of dense crowd based on quaternion model [J]. Electronic Measurement Technology, 2016, 39(7): 72-75.
- [18] 欧国维, 蒙山. 基于多传感器融合的老人跌倒检测[J]. 微型电脑应用, 2020, 36(1): 149-153.
- OU G W, MENG SH. Elderly fall detection based on multi-sensor fusion [J]. Microcomputer Applications, 2020, 36(1): 149-153.
- [19] LI N, HOU Y, HUANG Z. Implementation of a real-time human activity classifier using a triaxial accelerometer and smartphone [J]. International Journal of Advancements in Computing Technology, 2013, 5(4): 234-242.
- [20] 王恬, 李庆武, 刘艳, 等. 利用姿势估计实现人体异常行为识别[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(10): 2366-2372.
- WANG T, LI Q W, LIU Y, et al. Recognition of human abnormal behavior using pose estimation [J]. Journal of Chinese Instrumentation, 2016, 37(10): 2366-2372.

作者简介



任晶秋, 2002年于东北石油大学获得学士学位, 2009年于东北石油大学获得硕士学位, 现为东北石油大学副教授, 主要研究方向为信息与信号处理、无线通信及移动定位。

E-mail: renjingqiunepu@126.com

Ren Jingqiu received her B. Sc. degree from Northeast Petroleum University in 2002, M. Sc. degree from Northeast Petroleum University in 2009. Now she is an associate professor at Northeast Petroleum University. Her main research interests include signal processing, wireless communication and mobile positioning etc. .



蒋杨, 2015年于沈阳航空航天大学北方科技学院获得学士学位, 现为东北石油大学硕士研究生, 主要研究方向为信号测量与处理。

E-mail: yangyang08@126.com

Jiang Yang received her B. Sc. degree from the Northern Institute of Science and Technology of Shenyang University of Aeronautics and Astronautics in 2015. She is currently a M. Sc. candidate at Northeast Petroleum University. Her main research direction is signal measurement and processing.



张光华(通信作者),2002 年于东北石油大学获得学士学位,2005 年于东北石油大学获得硕士学位,2013 年于哈尔滨工业大学获得博士学位,2019 年于哈尔滨工程大学完成博士后研究工作,现为东北石油大学副教授,主要研究方向为信息与信号处

理、移动定位及卫星导航。

E-mail:dqzgh@nepu.edu.cn

Zhang Guanghua (Corresponding author) received his B.Sc. degree from Northeast Petroleum University in 2002, M.Sc. degree from Northeast Petroleum University in 2005, Ph.D. degree from Harbin Institute of Technology in 2013, completed postdoctoral research in Harbin Engineering University in 2019. Now he is an associate professor at Northeast Petroleum University. His main research interests include signal processing, mobile positioning and satellite navigation etc.