

文章编号: 2095-2163(2021)07-0120-04

中图分类号: TP391.4

文献标志码: A

一种全天候智能运动辅助系统的研究

黄 炎, 曾培峰

(东华大学 计算机科学与技术学院, 上海 201620)

摘 要: 本文设计了一种基于传感器和无线传输的运动辅助系统, 人员佩戴的单元模块通过 LoRa 与上位机通信。接收上位机发出的心跳信号、采集运动和定位信息。肢体传感器通过 2.4 G 无线通信与相应的单元模块通信以及采集肢体运动数据。LoRa 使得上位机可远程获取人员数据。单元模块和肢体传感器间采用 2.4 G 近距离通信, 避免了各人员间数据干扰。

关键词: 运动状态; 传输协议; 传感器; 数据采集

Study on all-day intelligent motion assistant system

HUANG Yan, ZENG Peifeng

(School of Computer Science and Technology, Donghua University, Shanghai 201620, China)

[Abstract] A motion assistant system is designed based on sensors and wireless transmission. The unit module worn by personnel communicates with the host computer through LoRa, which receives the heartbeat signals from the host computer and collects the movement and positioning information. The limb sensor communicates with the corresponding unit module through 2.4 G wireless communication and collects the limb movement data. The host computer can obtain personnel data remotely through LoRa. A 2.4 G short-range communication is used between the unit module and its limb sensors, which avoids data interference among people.

[Key words] motion state; transmission protocol; sensor; data acquisition

0 引 言

体育锻炼是青少年获得德智体全面发展的重要环节。对于锻炼运动量, 常常依据生理方法进行检查以及初步估算相应运动量^[1]。但是, 诸如球类比赛的剧烈运动项目具有时间长、对抗性强以及不能随意中断的特点。只能通过对运动员的跑动、跳跃、站立的活动时间以及次数进行统计^[2]。随着科学锻炼方法的提高^[3], 对运动改善心肺机能、有氧锻炼强度控制进行研究。通过健康青年在运动跑台上进行递增负荷走跑进行摄氧量检测。近年来, 计算机在运动检测和仿真方面起到了越来越大的作用^[4]。针对不同的运动方式下计算机仿真结果进行了误差分析。对比了不同的仿真模型的特点。

运动是人们维持身体健康的有效方式, 通常进行适量的有氧运动和无氧运动, 高强度间歇运动效果更佳, 可以有效地降低体内血脂的含量, 改善人体血脂环境^[5], 保持人体身体健康。形成长期良好的运动习惯, 会对皮下脂肪进行干预, 提高人体新陈代谢, 起到改善内脏脂肪含量的作用^[6], 保持良好的

身材。通过游泳、自行车等运动能够锻炼到人体身体机能, 尤其是篮球、足球等运动更能锻炼心肺功能^[7]。

2010 年微软推出的 Kinect 为人体运动检测提供了设备, 广泛运用于目前的运动检测以及监控、医疗等领域。针对 Kinect 深度图像^[8], 研发出改进的 ViBe 算法提高了人体轮廓提取的准确率。文献^[9]提出自适应的 EWMA 算法, 提高了检测的实时性和稳定性。文献^[10]提出 Kinect 深度图像与信息熵结合的方法, 通过计算运动熵值得出人体运动状态。文献^[11]提出了使用 WiFi 传递状态信息(CSI), 在室内短距离实现了基于无线射频的人体运动检测。文献^[12]提出一种压力阵列传感器, 可以检测出细微运动状态, 但不具备无线传输模块, 无法满足实际应用的需求。

上述方法主要通过图像处理进行数据拾取并要求参与训练人员在指定区域内进行活动, 不能用于一般体能训练中的行军拉练, 以及全天候野外训练。本文提出一种基于加速度传感器、高度传感器和北斗定位的可扩展的无线训练辅助系统。通过传感器

作者简介: 黄 炎(1997-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 嵌入式; 曾培峰(1964-), 男, 博士, 教授, 主要研究方向: 图像处理、嵌入式、纤维的图像识别等。

通讯作者: 黄 炎 Email: 416289692@qq.com

收稿日期: 2021-04-20

信息,对运动量进行计算统计。系统不依靠图像处理,在各种气象条件下均可正常工作。此外,结合高度传感器,可以区分不同地形对训练的结果进行修正。采用 LoRa 无线通信协议,使得功耗与通信距离得到较好的协调。出现异常情况时,通过 LoRa 进行定位呼救。

1 系统设计

本文系统采用无线通信进行数据传输。目前广为使用的无线方案有工作在 2.4 GHz 频率段的蓝牙、ZigBee 和 WiFi。研究可知,各方案的工作频率高,信号传输速度快,但是传输距离近,适合于室内或小范围场合。针对室外或野外拉练的使用场合,本文采用工作频率为 433 MHz 的 LoRa 通信协议。由于 LoRa 通过扩频通信,提高了频带的使用率,因此通信距离得到很大提高,其通信范围在数公里。

每个参加训练的人员均佩戴一个单元模块。笔记本电脑作为本系统的上位机,通过 LoRa 和各个单元模块进行通信。上位机向各个单元模块发出广播信息,实现工作指令的下达以及系统时间的统一。佩戴于每个人身上的单元模块采集人员的运动数据,并对数据进行简单处理及存储。在与上位机联网时将数据上传至上位机。系统结构如图 1 所示。

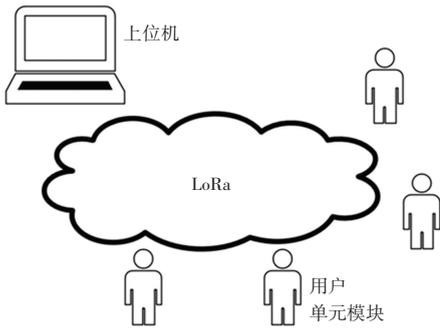


图 1 全天候智能运动辅助系统

Fig. 1 All-day intelligent motion assistant system

考虑实际使用场合,单元模块由锂电池供电。客观上希望电池续航时间长。所以,本文选用低功耗 ARM 芯片。考虑到 LoRa 协议栈代码量较大,需要 ARM 带有较大的程序存储区。因此本文采用 STM32L031G6U6,该芯片带有的 32 K 的 Flash 空间,满足了 LoRa 协议栈的要求。单元模块的结构如图 2 所示。

图 2 中,ARM 通过 SPI 接口和 LoRa 模块相连,接收上位机指令。高度传感器和加速度传感器通过 I²C 接口与 ARM 通信。北斗定位则通过 UART 进

行通信。单元模块和肢体传感器通信是 nRF24L01 提供的 2.4 GHz 模块,nRF24L01 与 ARM 间通过 SPI 接口通信。

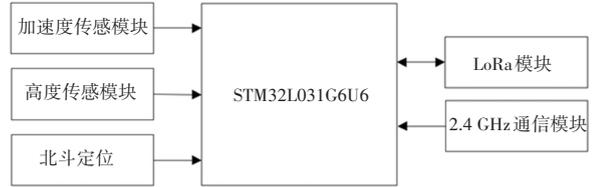


图 2 单元模块结构图

Fig. 2 Structure of unit module

在警察和部队训练中常常包含卧姿、匍匐以及下蹲等动作,为了进一步提高数据采集的精度,系统中可以增加肢体传感器。单元模块一般佩戴在腰间,每个单元模块可扩展最多 2 个肢体传感器,并分别佩戴在肩部以及脚踝。肢体传感器包含一个低功耗 ARM 芯片 STM32L011F4U6、一个高度传感器和一个加速度传感器。肢体传感器与单元模块间通过 2.4 GHz 通信。肢体传感器的结构如图 3 所示。和单元模块相同,加速度传感器和高度传感器通过 I²C、nRF24L01(2.4 GHz 通信)通过 SPI 和 ARM 相连。



图 3 肢体传感器结构图

Fig. 3 Structure of limb sensor

2 工作原理

整个系统由上位机控制工作。上位机在固定时间间隔通过 LoRa 向各个单元模块广播心跳信号。单元模块只需单向接受心跳信号的广播信息,并不对此信息进行回答。该心跳信号格式如图 4 所示。

DestAddr	SrcAddr	CurTime	WKStatus	CRC16
----------	---------	---------	----------	-------

图 4 系统心跳信息格式

Fig. 4 System heartbeat information format

LoRa 通信是广播信号,各个设备拥有唯一的地址。其中,上位机专用地址 0x0000,单元模块地址范围是 0x0001~0xffffe。此外,0xffff 是广播地址。所有设备都必须接收和处理发往广播地址的数据。本文中,上位机发送心跳广播信号时间间隔为 10 s。上述心跳信号中:

(1)DestAddr 为 2 字节,表示数据接收者地址。由于心跳信号为广播信号,故 DestAddr 固定为 0xffff。

(2) SrcAddr 为 2 字节,表示数据发送者地址。上位机地址为 0x0000。

(3) CurTime 为 4 字节,表示系统统一时标。通过上位机的 TimeTick 取得,单位为 ms。各个单元模块接收到心跳信号中的时标信号,完成自身的机器时间与该时标信号时间同步。

(4) WKStatus 为一字节,表示工作模式。全部的单元模块工作模式通过心跳信号统一。有 2 种工作模式:运动(Working)和休息(Idle)。其中在 Idle 模式下,上位机忽略单元模块发送的各种传感器数据,所以,在此模式下,单元模块可以关闭北斗定位以及相关传感器以延长电池续航时间。

(5) CRC16 为 2 字节无符号数,是 DestAddr 开始到 WKStatus 为止 9 字节的校验值。本文中,无线通信均通过 CRC16 进行数据整合校验,使用的多项式为 $x^{15} + x^{13} + 1$ 。

肢体传感器和单元模块配对使用。通过 nRF24L01 的 2.4 GHz 进行通信。设置 nRF24L01 协议层(Enhanced Shockburst)中发送方和接收方地址以避免不同单元模块间信号串扰。只有在发送方和接收方地址一致时,单元模块才能接收到肢体传感器发送的信息。

本文中,肢体传感器每 0.5 s 启动一次高度传感器工作并取得当前高度数据。设置加速度传感器的数据转换速率为 10 Hz,即每 0.5 s 内可以取得 4~5 个三轴加速度数据、计算对应的加速度模值并记录该时间段内加速度模值的最大值。加速度数据和高度数据以图 5 的数据格式发送到单元模块。

Addr	Acc	AirPressure	CRC16
------	-----	-------------	-------

图 5 肢体传感器信息格式

Fig. 5 Limb sensor information format

上述协议中:

(1) Addr 为一字节地址。每个单元模块包含 2 个肢体传感器,相对应的地址分别是 0x01 和 0x02。

(2) Acc 为 2 字节无符号整数。对应为该 0.5s 时间段内加速度模值的最大值。

(3) AirPressure 为 2 字节无符号整数。对应为当前大气压值。

(4) CRC16 为 2 字节整数。是 Addr 开始到 AirPressure 为止 5 字节的校验值。

单元模块包括 ARM 芯片、加速度传感器、大气压传感器、北斗定位模块、LoRa 以及 2.4 GHz 无线模块。合理分配各个模块的工作,能够在实现所需功能的前提下,节约电能、延长电池的续航时间。单

元模块有上电状态、休闲状态和工作状态等 3 种工作状态。对此可做阐释分述如下。

(1) 上电状态。关闭所有模块以省电,只打开 LoRa 模块用以接收上位机的心跳信号。若 1 s 内接受心跳信号失败,则关闭 LoRa 模块一定时间,然后重新开启 LoRa 接收上位机心跳信号。当接收到心跳信号后,实现时间同步,并根据心跳信号的指令,跳转到工作或休闲状态。

(2) 休闲状态。除 LoRa 模块以外的所有模块关闭。每 10 s 开启 LoRa 模块接收上位机心跳信号进行时间同步。当上位机命令开始工作,则打开加速度传感器,跳转至工作模式。

(3) 工作模式。单元模块定时采集加速度数据。根据加速度的变化规律,进行运动状态的估算,判断当前工作在静止或是运动工作模式。此外,每一秒钟打开一次高度传感器,采集高度数据并进行高度变量的计算。根据加速度变化率以及高度变化量,进一步确定当前是属于平地运动或是上、下坡训练。

在工作模式中,根据加速度的变化规律以及高度变化状况,确定安全状态,包括 3 种情况:

(1) 正常状态:根据平地步行、跑步或攀登运动模式,计算运动量。

(2) 跌落状态:加速度数据出现异常变小后瞬间变大,表明出现跌落。跌落过程的自由落体使得加速度值异常变小;落地的冲击使得加速度瞬时变大。同时,根据高度传感器数据计算跌落高度。这种情况下,自主开启北斗定位,取得当前位置信息。立即开启 LoRa,通过 LoRa 持续发送急救信号,直至接收到上位机应答。

(3) 滚落状态:根据加速度数据,计算当前加速度的方向,若出现加速度方向与传感器间的夹角单向持续变化,同时,高度数据表明其高度值不断下降,这表明人员出现滚落的可能性大。这种情况下,自主开启北斗定位,取得当前位置信息,立即开启 LoRa,通过 LoRa 持续发送急救信号,直至接收到上位机应答。

在上位机发送心跳信号的间隔时间内,任取一个时间点,单元模块将当前的运动数据上传到上位机。同时该数据保存到 ARM 的 Flash 区域内,以备离线运动量统计。

工作模式接收到心跳信号的指令中 WKStatus 为休闲状态,则跳转至休闲状态。

单元模块向上位机上传数据,格式如图 6 所示。

DestAddr	SrcAddr	CType	Acc	AirPressure	GPS	SubData	CRC16
----------	---------	-------	-----	-------------	-----	---------	-------

图6 单元模块上传信息格式

Fig. 6 Uploaded information format of unit module

在上述数据格式中:

(1) DestAddr 为 2 字节的上位机地址。固定为 0x0000。

(2) SrcAddr 为 2 字节。每个单元模块拥有唯一的非零地址。

(3) CType 为一字节。值为 0 表示正常数据上传。值为 1 表示模块发出紧急呼救。

(4) Acc 为 2 字节。当前时间段中加速度模值最大值。

(5) AirPressure 为 2 字节,为当前时间段中大气压值。当上位机取得该大气压数据后,计算其当前海拔高度。

(6) GPS 为 8 字节。为当前的北斗定位值。

(7) SubData 为 2 字节。是根据肢体传感器的数据计算得到的人体姿态数据。表示当前是否直立、下蹲、弯腰、下趴等人体姿态。

(8) CRC16 为 2 字节。是 DestAddr 开始、SubData 为止的 19 字节数据的校验值。

3 结束语

本文着重分析基于图像处理进行运动识别的局限性,研发了一种运动辅助系统,针对运动范围广、光线环境差的场景,提供了有效的运动识别系统。通过 LoRa 实现单元模块与上位机通信,通过 2.4 G 无线通信完成单元模块和肢体传感系统的信息传

输。在识别运动状态的基础上,针对危险状态做出识别并发出警报信息。具有功耗低、功能性强、数据传输稳定、实时性好等特点,可满足大范围、长时间的户外运动训练的要求。

参考文献

- [1] 李妙琴,刘润波. 关于体育课运动量计算方法的探讨[J]. 体育科学,1983(1):20-25.
- [2] 常庆,陈体强. 篮,排,足球运动量计算机测试方法的研究[J]. 电脑学习,1989(1):17-21.
- [3] 谭思洁,俞中涛,贾晓凯. 运动改善心肺机能有氧锻炼强度控制方法研究—走跑速度推算摄氧量回归方程的建立[J]. 天津体育学院学报,2020,35(3):310-315.
- [4] 穆雪莲,李翰君,周兴龙,等. 不同减小运动学和动力学数据误差的方法对下蹲跳运动仿真结果的影响[J]. 科学技术与工程,2018,18(30):35-43.
- [5] 林鹏杰,蓝道忠,翁锡全,等. 短期有氧运动与高强度间歇运动对男性青年血脂代谢指标的影响[J]. 体育学刊,2018,25(4):140-144.
- [6] 张勇,王典,叶卫兵. 高强度间歇运动与最大脂肪氧化强度持续运动对普通女大学生身体成分的影响[J]. 中国运动医学杂志,2018,37(5):384-390.
- [7] 杨三军. 间歇性练习对 TRIMP 计算与运动负荷评价的影响[J]. 首都体育学院学报,2016,28(2):152-155.
- [8] 孟明,杨方波,余青山,等. 基于 Kinect 深度图像信息的人体运动检测[J]. 仪器仪表学报,2015,36(2):386-393.
- [9] 吕金泽,张元,韩燮. 改进的人体运动检测方法[J]. 计算机工程与设计,2019,40(9):2460-2465.
- [10] 刘剑,龚志恒,高恩阳,等. 一种基于深度和信息熵的人体运动检测方法[J]. 小型微型计算机系统,2014,35(2):388-392.
- [11] 史白,庄杰,庞宏. 基于信道状态信息的非合作式室内人体运动检测[J]. 计算机应用,2017,37(7):1843-1848.
- [12] 廖璐璐,高鲲鹏,杨汉嘉,等. 面向人体运动检测的纸基柔性压力阵列传感器[J]. 传感器与微系统,2019,38(10):57-60.
- [13] 孙小华. 基于 Softmax 回归分类分析的人体运动检测研究[J]. 价值工程,2019,38(26):239-240.

(上接第 119 页)

参考文献

- [1] 吴忠强,刘重阳. 基于 IHHO 算法的光伏电池工程模型的参数辨识[J]. 计量学报,2021,42(2):221-227.
- [2] SARAVANAN G, IBRAHIM A, KUMAR D, et al. Iot based speed control of bldc motor with Harris hawks optimization controller [J]. International Journal of Grid and Distributed Computing, 2020, 13(1):1902-1915.
- [3] TAYAB U B, ZIA A, YANG F, et al. Short-term load forecasting for microgrid energy management system using hybrid HHO-FNN model with best-basis stationary wavelet packet transform[J]. Energy, 2020, 203: 117857.
- [4] JIA Heming, LANG Chunbo, OLIVA D, et al. Dynamic Harris Hawks Optimization with mutation mechanism for satellite image segmentation[J]. Remote Sensing, 2019, 11(12): 1421.
- [5] 汤安迪,韩统,徐登武,等. 混沌精英哈里斯鹰优化算法[J/OL]. 计算机应用:1-10[2021-01-15]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1307.TP.20210114.0947.032.html>.
- [6] ZHANG Yang, ZHOU Xizhao, SHIH P C. Modified Harris Hawks optimization algorithm for Global Optimization Problems [J]. Arabian Journal for Science and Engineering. 2020, 45 (12): 10949-10974.
- [7] ELGAMAL Z M, YASIN N B M, TUBISHAT M, et al. An improved Harris Hawks optimization algorithm with simulated annealing for feature selection in the medical field [J]. IEEE Access, 2020, 8: 186638-186652.
- [8] HEIDARI A A, FARIS H, ALJARAHI I, et al. Harris hawks optimization: Algorithm and applications [J]. Future Generation Computer Systems, 2019, 97: 849-872.
- [9] TANYILDIZI E, DEMIR G. Golden sine algorithm: A novel math-inspired algorithm [J]. Advances in Electrical and Computer Engineering. 2017, 17(2): 71-78.
- [10] KENNEDY J, EBERHART R C. Particle swarm optimization [C]// Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks. Perth: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1995: 1942-1948.
- [11] 李牧东,赵辉,翁兴伟,等. 基于最优高斯随机游走和个体筛选策略的差分进化算法[J]. 控制与决策,2016,31(8):1379-1386.