

doi: 10.13241/j.cnki.pmb.2019.23.041

便携式运动能力检测系统的研制 *

张 磊 丁柯雅 李传江 孙 瑜 缪 佳

(东南大学 儿童发展与学习科学教育部重点实验室 江苏 南京 210096)

摘要 目的:检测儿童的平衡能力和下肢力量,研究评估儿童运动能力的相关指标。**方法:**设计了一套便携式运动能力检测系统,检测儿童的平衡能力和下肢力量。本系统由运动能力检测设备和上位机数据分析存储展示部分组成。**结果:**研制的便携式运动能力检测系统具有可穿戴、功耗低等优点,能够准确地记录儿童的运动数据。**结论:**便携式运动能力检测系统能够检测使用者在运动过程中的平衡数据和下肢力量数据,及时发现运动能力的缺陷,为儿童的日常生活和锻炼提供参考。

关键词:运动监测;运动能力;便携式;低功耗

中图分类号:Q-337;R339.31;G804.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-6273(2019)23-4578-04

The Design of Portable Detection System for Athletic Ability*

ZHANG Lei, DING Ke-ya, LI Chuan-jiang, SUN Yu, MIAO Jia

(China Key Laboratory of Ministry of Education, Child Development Learning Science, Southeast University;

Nanjing, Jiangsu, 210096, China)

ABSTRACT Objective: Testing children's balance ability and lower limb strength, and researching relevant indicators of athletic ability. **Methods:** A portable detection system for athletic ability is designed to detect children's balance ability and lower limb strength. The system consists of athletic ability testing equipment and Android machine for analyzing data, storing data and displaying data. **Results:** The developed portable athletic ability detection system has the advantages of wearable and low power consumption, and can accurately record the movement data. **Conclusions:** The portable athletic ability detection system can detect the balance data and lower limb strength data during exercise, and can help the user find the insufficiency of athletic ability in time, and provide a reference for children's daily life and exercise.

Key words: Motion detect; Athletic ability; Portable; Low power consumption

Chinese Library Classification(CLC): Q-337; R339.31; G804.2 **Document code:** A

Article ID: 1673-6273(2019)23-4578-04

前言

儿童是国家的未来,运动能力是儿童全面发展教育的重要组成部分。然而近些年,儿童的耐力、平衡能力、力量等运动能力均呈下降趋势,其运动能力发展不容乐观^[1-4]。反映儿童运动能力的因素包括柔韧、力量、灵敏、平衡、速度和协调^[5]。研究表明,儿童运动能力的提高对其认知、情绪、社会行为方面的发展具有重要影响^[6],可以促进儿童的语言、智力、情感等能力的发展^[7]。

国内外现有对儿童运动能力的检测手段主要依赖专业设备^[8],需要专业人员进行操作和记录,巨大的人力资源成本并不符合中国的现有状况。基于此,本文研制的具有一定的应用价值的运动能力检测系统,优点是操作方便和数据精确。该系统由运动能力检测设备和上位机数据分析存储显示部分组成。姿态传感器实时记录运动中各种数据,通过运动数据指标客观的

反应儿童的运动能力,此系统可以作为检测儿童运动能力的有效工具。此外,检测结果保存在数据库中,方便数据存储和在线查询。

1 系统结构

本文设计的便携式运动能力检测系统,整体结构包括运动感知单元、信息处理单元、数据传输单元、数据分析单元、数据存储单元和实时显示单元。总体上可以分为运动能力检测设备和上位机数据分析存储显示两部分。运动能力检测设备负责在运动中获取实时运动数据、进行数据预处理及数据的无线传输。上位机数据分析存储显示部分包括数据的接收、分析、存储和运动数据的实时可视化展示。系统设计框图如图1所示,使用者可通过运动能力检测设备得到运动数据,数据在上位机中得到处理和展示。

* 基金项目:国家自然科学基金项目(61673113)

作者简介:张磊(1994-),硕士研究生,研究方向:人机交互,电话:18362972235,E-mail:smarkzl1994@163.com

(收稿日期:2019-03-06 接受日期:2019-03-31)

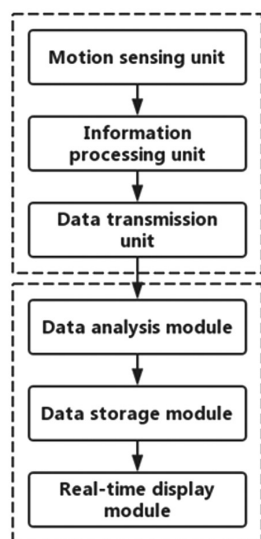


图1 系统设计框图

Fig.1 System frame diagram

2 系统各模块设计实现

2.1 运动感知单元

运动感知单元主要由 MPU6050 工作电路组成^[9,10]。MPU6050 姿态传感器集成了三轴加速度计和三轴陀螺仪,广泛用于姿态检测设备的安装。当肢体运动时,运动感知单元采集到的原始模拟信号经过内置的 16 位的 ADC 转换器,转化为可输出的数字量。转换后的信号信息通过 I2C 传输到 STM32 单片机中^[11-13]。

2.2 信息处理单元

单独角速度或加速度信号进行计算很难获得准确的角度信息,除了传感器自身的数据误差、计算误差之外,外界电场、磁场对传感器的干扰也很大,MPU6050 工作电路采集运动中的角速度和加速度信号^[14]。STM32 单片机运行卡尔曼滤波算法^[15],输入陀螺仪和加速度计的相关数据,通过系统中的线性系统状态方程,输出观测数据,获得最优估计的角度信息^[16,17]。

2.3 数据传输单元

数据传输单元核心是 CC2540 单片机电路。CC2540 是常用的单模式低功耗蓝牙解决方案,采用蓝牙 4.0 协议,可以实现 80 m 超远距离通信,最大发射功率为 4 dBm,具有低功耗、超长有效距离和超小辐射等优点,是两个设备间进行无线通信的最简单、便捷的方法^[18,19]。

2.4 数据分析单元

运动能力是一种综合能力,是多个要素的集合^[20],包括柔韧、力量、灵敏、平衡、速度和协调^[4]。蹦床运动属于技能主导类运动,一套高质量的动作,需要具备良好的核心稳定能力、下肢力量、平衡稳定能力^[21]。使用者佩戴运动能力检测设备进行蹦床运动,采集运动过程中的数据,数据分析单元进行算法处理,分析平衡能力状况和下肢力量状况,从而使得系统具有衡量运动能力的功能。

2.4.1 平衡能力分析算法 平衡是指身体所处的一种姿态以及在运动或受到外力作用时能自动调整并维持姿势的一种能力^[22]。平衡能力可以分为静态平衡能力和动态平衡能力。该系

统主要测量动态平衡能力。动态平衡能力是指在运动的状态下,对人体重心和姿势的调整和控制的能力^[23-25]。

运动过程中要求双手自然舒展,通过统计双手在运动中相邻两个采样值间波动的角度差值来反映平衡能力状态。当差值超过设定阈值时,计数一次,测试时间内差值超过阈值的次数称为摆动次数。摆动次数越多,则平衡能力越弱。角度差值的均值 B 也是反映平衡能力的重要标准,其计算公式为:

$$B = \frac{1}{2n} \sum_{t=1}^n |LAng_t - LAng_{t-1}| + \frac{1}{2n} \sum_{t=1}^n |RAng_t - RAng_{t-1}| \quad \dots\dots(1)$$

其中, $LAng_t$ 和 $RAng_t$ 分别为左右手在 t 时刻角度采样值, n 为总的采样次数。

如图 2 所示,某使用者的左手波动角度值折线图,其中横轴表示采样时间,纵轴表示角度的波动值。根据折线图,可以看出该使用者的平衡情况,通过计算可以得出该使用者平均的波动角度值。

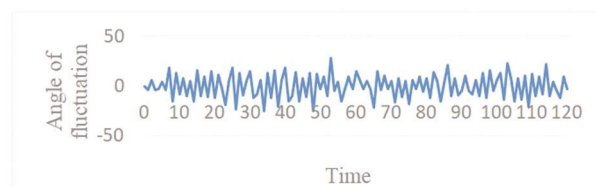


图2 左手波动角度值

Fig.2 Fluctuating angle of left hand

2.4.2 下肢力量分析算法 力量素质,作为影响人体运动能力的基本要素,是体质监测与评价的重要指标之一^[26-28]。研究表明,下肢力量与蹦床运动中网上跳跃高度之间存在着正相关^[29],跳跃高度和运动中的加速度又满足正相关关系。

结合前人的研究,以运动中的加速度作为儿童下肢力量衡量的数据来源,设置了三个衡量指标。统计运动中的加速度的均值 S 作为反映力量大小的指标,其计算公式如下, m 为总采样次数, Acc_t 为 t 时刻加速度的采样值。

$$S = \frac{1}{m} \sum_{t=1}^m |Acc_t| \quad \dots\dots(2)$$

利用加速度的标准差反映力量的稳定性,可用于反映耐力情况,其计算公式如下:

$$K = \sqrt{\frac{1}{m} \times \sum_{t=1}^m (Acc_t - S)^2} \quad \dots\dots(3)$$

通过过零检测方法,统计加速度值大于参考值的次数作为有效发力的标准,与爆发力有关。

图 3 是某使用者的瞬时加速度直方图,表示使用者的加速度的分布情况,其中横轴表示加速度的值,纵轴表示对应加速度值出现的次数,直观反映使用者腿部力量达标的频次,也可以通过计算得到使用者的平均力量强度及耐力情况。

2.5 数据存储单元

数据存储单元将运动感知模块上传的数据保存至设备端,并将数据分析单元分析处理的数据上传至服务器中,供后续研究和出报告用。

2.6 实时显示单元

图 4 为实时显示单元的可视化界面,四个区域实时显示四肢的运动情况,给使用者提供及时的可视化反馈,能够更好的

获得认同。

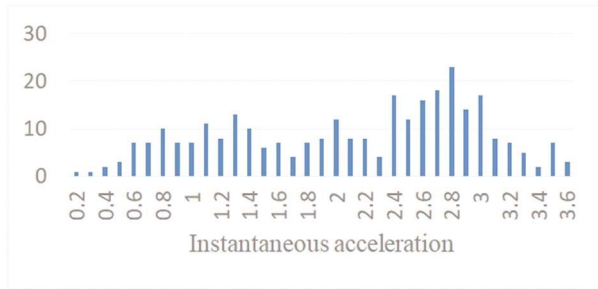


图3 瞬时加速度直方图

Fig.3 Instantaneous acceleration histogram

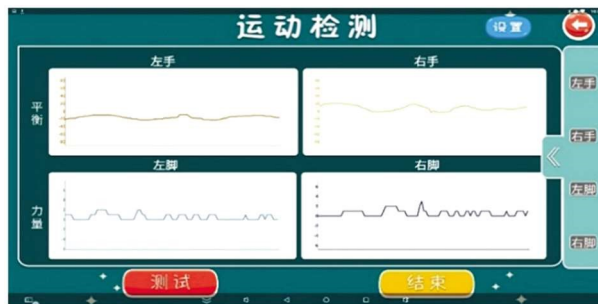


图4 运动数据实时显示图

Fig.4 Real-time display diagram

3 系统测试

3.1 测试流程

使用者四肢分别佩戴设备,使设备蓝牙与上位机连接。双手舒展,立于蹦床上。开始测试时,先保持五秒钟静止状态,用于基线校准,校准结束后进行一分钟的蹦床运动,总时长为 65秒。

3.2 测试结果及讨论

基于上述检测系统,两名被试者根据系统要求完成蹦床运动测试,系统分别记录下两位被试的运动数据。

测试结果如表 1 所示,被试 A 在运动中双手摆动过限定阈值的次数多于被试 B,且摆动角度均值也大于 B,可知 A 保持动态平衡的能力弱于 B。日常的锻炼中,需增加平衡力相关的锻炼,如平衡木或单脚站立运动。力量数据显示,A 的腿部力量是优于 B 的,能够保持长时间的持续发力运动。B 在日常锻炼中,需增加腿部肌肉锻炼,如深蹲等,用于增加其腿部力量和耐力。测试结果与实际情况保持一致。

为使测试结果更有意义,需对大量相同年龄段的健康被试者做测试,筛选测试结果并统计分析,获得相同年龄段内的体质数据 " 常模 "。这个常模就反映了我国现阶段儿童的平衡能力与下肢力量的测试数据值。常模作为对照,与被试者的测试结果对比,考察被试者的体质水平^[30]。为儿童的日常生活和锻炼提供指导意见。

表 1 测试结果

Table 1 Test Results

Subject name	A	B
Left-handed swing	13	6
Right hand swing	8	8
Mean number of swings	10.5	7
Mean swing Angle	13.04	10.53
Stability	0.18	0.35
Lower limb strength	3.19	3.02
Effective number of movements	50	44

4 结语

本文介绍了便携式运动能力检测系统的设计过程以及测试结果。该设备具有体积小、功耗低、通信距离长、便携等优点,有利于推广使用。该系统获得儿童的运动数据,通过合理的算法分析,得到儿童的运动能力发展水平,弥补现有水平在儿童运动能力水平检测中的缺陷,为儿童的健康成长保驾护航。初步研究证实本系统具有实用性和可靠性,具有广泛的应用前景。

参考文献(References)

[1] 芮琛,张玉芬. 昆明市市区 767 名学龄前儿童体质状况调查分析[J]. 中国儿童保健杂志, 2013, 21(5): 477-479
[2] 李蓓蕾,林磊,董奇,等. 儿童精细动作能力的发展及其与学业成绩的关系[J]. 心理学报, 2002, 34(5): 52-57
[3] 叶金星. 关于小学生体质健康教育的调查报告[J]. 小学时代(教育研究), 2012(2): 22-22

[4] 徐伟,杨雪峰,岳圆梦,等. 郑州市区 3~6 岁幼儿体质健康现状[J]. 中国学校卫生, 2018
[5] 曾秀英,杨强. 有氧健美操与提高儿童运动能力的相关分析[J]. 内江师范学院学报, 2005, 20(6): 119-121
[6] 任国春,赵琳琳,王芳,等. 不同大肌肉动作发展水平儿童体质、行为及认知功能特点[J]. 北京体育大学学报, 2013(3): 79-84
[7] 刘大维. 儿童动作协调能力的内涵、影响因素及其培养策略[J]. 学前教育研究, 2011(6): 45-47
[8] 格雷戈里·韦尔克,查尔斯·科尔宾,戴伦·戴尔,等. 儿童体育运动的评估方法(上)[J]. 中国体育教练员, 2002(1): 43-46
[9] 左静,胡春玲,张远洪,等. 基于 MPU6050 的人体姿态信号采集装置的设计[J]. 工业控制计算机, 2018
[10] 徐鹏杰,张凤生,刘延杰,等. 基于 MPU6050 的人体倾角姿态数据检测系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2018
[11] 文安,禹东川,宋媛,等. 基于蓝牙 4.0 的便携式睡眠监测仪的研制[J]. 现代生物医学进展, 2015, 15(19)

- [12] Aldahan Z T, Bachache N K, Bachache L N. Design and Implementation of Fall Detection System Using MPU6050 Arduino [C]. International Conference on Smart Homes & Health Telematics, 2016
- [14] Zhang C, Tieying L I, Wang Y. Design of Quad-Rotor Aircraft Flight Control System Based on MPU6050 and Adaptive Complementary Filter[J]. Chinese Journal of Sensors & Actuators, 2016
- [15] 朱豪坤. 基于姿态传感器 MPU6050 的卡尔曼滤波应用[J]. 中国科技纵横, 2016, (19)
- [16] 韩萍, 桑威林, 石庆研. 一种新型非线性卡尔曼滤波方法[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(3): 632-638
- [17] 高嵩, 潘泉, 肖秦琨. 多传感器自适应滤波融合算法[J]. 电子与信息学报, 2008, 30(8): 1901-1904
- [18] 霍元正. MEMS 陀螺仪随机漂移误差补偿技术的研究[D]. 2015
- [19] Perez-Diaz-De-Cerio D, Hernández-Solana Á, Valdovinos A, et al. A Low-Cost Tracking System for Running Race Applications Based on Bluetooth Low Energy Technology [J]. Sensors, 2018, 18 (3): 1700195
- [20] Nasrollahpour M, Sreekumar R, Hajilou F, et al. Low-Power Bluetooth Receiver Front End Design with Oscillator Leakage Reduction Technique [J]. Journal of Low Power Electronics, 2018, 14 (1): 179-184
- [21] 韩文娟. 特殊儿童运动能力评估量表论析[J]. 现代特殊教育, 2017 (4): 20-25
- [22] 杨健, 矫玮, 张喆安, 等. 蹦床运动员的体能训练[J]. 当代体育科技, 2017, 7(7): 25
- [23] 代勇, 王磊. 学龄前儿童平衡能力培养方法的研究 [J]. 武术研究, 2014, 11(10): 110-112
- [24] 刘阳. 人体平衡能力测试方法及平衡能力训练的研究进展 [J]. 沈阳体育学院学报, 2007, 26(4)
- [25] Suzuki Y, Yato S, Suzuki H, et al. Age-dependent changes in dynamic standing-balance ability evaluated quantitatively using a stabilometer[J]. Journal of Physical Therapy Science, 2018, 30(1): 86-91
- [26] Bowen M E, Crenshaw J, Stanhope S J. Balance Ability and Cognitive Impairment Influence Sustained Walking in an Assisted Living Facility[J]. Archives of Gerontology & Geriatrics, 2018, 77: 133-141
- [27] 钱韶君. 少年儿童力量素质的发展特点及训练方法 [J]. 当代体育科技, 2013, 3(12): 34-34
- [28] Despina T, George D, George T, et al. Short-term effect of whole-body vibration training on balance, flexibility and lower limb explosive strength in elite rhythmic gymnasts. [J]. Human Movement Science, 2014, 33(2): 149-158
- [29] Lee D K, Kim G M, Ha S M, et al. Correlation of the Y-Balance Test with Lower-limb Strength of Adult Women [J]. Journal of Physical Therapy Science, 2014, 26(5): 641-643
- [30] 王延丽, 赵艳成, 姜宝华, 等. 蹦床运动员下肢肌肉力量与网上跳跃高度之间的关系研究 [J]. 北京体育大学学报, 2005, 28(2): 197-199
- [31] 盛亮, 禹东川, 陈鸿雁, 等. 便携式上肢运动协调性检测系统设计与实现[J]. 现代生物医学进展, 2015, 15(16): 132-3135, 3157

(上接第 4588 页)

- [21] Schortgen F. Fever in sepsis [J]. Minerva Anestesiologica, 2012, 78(11): 1254-1264
- [22] Chen R, Mias GI, Lipookthan J, et al. Personal omics profiling reveals dynamic molecular and medical phenotypes [J]. Cell, 2012, 148 (6): 1293-1307
- [23] Franco LM, Bucacas KL, Wells JM, et al. Correction: Integrative genomic analysis of the human immune response to influenza vaccination[J]. Elife, 2016, 5
- [24] Fahy JV. Type 2 inflammation in asthma--present in most, absent in many[J]. Nat Rev Immunol, 2015, 15(1): 57-65
- [25] Holgate ST. Innate and adaptive immune responses in asthma[J]. Nat Med, 2012, 18(5): 673-683
- [26] Croisant S. Epidemiology of asthma: prevalence and burden of disease[J]. Adv Exp Med Biol, 2014, 795: 17-29
- [27] Chanez P, Humbert M. Asthma: still a promising future? [J]. Eur Respir Rev, 2014, 23(134): 405-407
- [28] Chapman AM, Malkin DJ, Camacho J, et al. IL-13 overexpression in mouse lungs triggers systemic genotoxicity in peripheral blood [J]. Mutat Res, 2014, 769: 100-107
- [29] Oh CK, Geba GP, Molfino N. Investigational therapeutics targeting the IL-4/IL-13/STAT-6 pathway for the treatment of asthma [J]. Eur Respir Rev, 2010, 19(115): 46-54
- [30] 周涛, 张洪信, 朱后保, 等. Sumf2 与 Sumf1 可能存在代偿性的相互作用以维持硫酸酯酶的活性不变 [J]. 实验动物与比较医学, 2014, 34(5): 353-359
- [31] Haritunians T, Jones MR, McGovern DPB, et al. Variants in ZNF365 isoform D are associated with Crohn's disease [J]. Gut, 2011, 60(8): 1060