



乒乓球运动员训练数据实时采集系统研制与应用

肖毅¹, 李亦林², 任晓玲³

摘要:通过在乒乓球球拍的拍把上加装加速度传感器,并开发相应的击球力量训练数据实时采集系统,实时采集乒乓球运动员训练时挥拍的加速度数据,通过运动学和动力学分析,得出乒乓球运动员挥拍的速度、位移和力量等实时动态参数,并以曲线的形式实时、直观地显示给教练员和运动员,为教练员了解乒乓球运动员挥拍的力量等数据提供科学手段,为制订有针对性的技战术和体能训练计划提供科学依据。此外,采集的训练数据实时存储在后台数据库中,便于对运动员的击球力量等数据进行长期、科学的跟踪,以提高运动训练监控的针对性和科学化水平,提高乒乓球运动员的运动水平和比赛成绩。

关键词:乒乓球;击球力量;数据采集;训练监控;加速度传感器

中图分类号:G818.3 文献标志码:A 文章编号:1006-1207(2018)04-0054-07

DOI:10.12064/ssr.20180409

Development and Application of a Real-time Data Collection System for Table Tennis Players

XIAO Yi¹, LI Yilin², REN Xiaoling³

(1.China Table Tennis College, Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China; 2.Shanghai Municipal Education Committee Science & Technology Development Center, Shanghai 200071, China; 3.School of Economic and Management of SUS, Shanghai University of Sport, Shanghai 200438)

Abstract: For the purpose of collecting the swing acceleration data of table tennis players, a real-time acquisition system was designed and developed by adding an acceleration sensor on the handle of table tennis racket. The dynamic real-time parameters of swing speed, displacement and power are calculated and showed intuitively to the coaches and athletes in the form of curved diagrams through kinematic and dynamic analysis. It provides a scientific method for the coaches to obtain table tennis player's swing power data and a scientific basis for working out a targeted technical and tactical training program or physical fitness training plan. In addition, the training data collected are stored real time in a back-end database in order to facilitate a long-term and scientific tracking of player's swing power and other data, improve the pertinence and scientific level of training monitoring and promote the performance of table tennis players.

Key Words: table tennis; power; data collection; training monitoring; acceleration sensor

竞技体育的飞速发展以及竞争的空前激烈,使得教练员和运动员的日常训练和比赛受到越来越严峻的挑战。同时,伴随信息技术的快速发展及信息技术在竞技体育中的广泛运用,现代竞技体育的竞争越来越表现为各国高科技水平的竞争^[1]。

击球力量是乒乓球技术五大要素之一,也是击球的基础。运动员打法的威胁性、杀伤力都需要通过力量来体现^[2]。男女乒乓球运动员之间打法的主要区别之一就是力量,女子打法男子化也是强调力量

对制胜的重要性。因此,如何实时地获取乒乓球运动员日常训练时挥拍的力量数据,为教练员制订有针对性的技术和体能训练计划提供科学依据,从而提高乒乓球运动员的击球效果和比赛成绩,已成为当前乒乓球教练员和运动员关注的热点话题。

然而,现有的乒乓球训练监控手段关注的重点主要还是技战术统计分析,还不能实时并有效地采集、存储、处理和显示运动员训练过程中挥拍的力量等数据^[3]。

收稿日期:2018-05-26

基金项目:上海体育局课题(No.18Z011);上海科委项目(No.18080503100);上海市浦江人才计划资助项目(17PJC085)。

作者简介:肖毅,男,副教授,博士,主要研究方向:体育管理、训练监控。Email:cutexxx@163.com。

作者单位:1.上海体育学院,中国乒乓球学院,上海 200438;2.上海市教育委员会科技发展中心,上海 200071;

3.上海体育学院,经济管理学院,上海 200438。



鉴于近年来传感器技术和无线蓝牙通讯技术的快速发展和广泛应用,为实时监测乒乓球运动员训练过程中挥拍的加速度、位移和力量等参数,实现运动员挥拍力量长期、科学的动态监控,本文通过在乒乓球球拍的拍把上加装加速度传感器,并开发相应的乒乓球运动员击球力量训练数据实时采集与诊断分析系统,实时采集乒乓球运动员训练时挥拍的加速度,同时应用运动学和动力学等理论计算出挥拍过程的速度、位移、力和功等其他派生数据,从而实现训练数据的自动采集、处理、存储和可视化显示等功能,为测试和评价运动员击球动作的力量提供依据^[4-6]。

1 系统功能设计

1.1 系统设计原则

根据乒乓球运动项目的特点及技术动作训练监控的实际需求,在训练数据采集系统设计时应遵循以下几个原则。

1.1.1 数据采集的实时性和完整性原则

根据乒乓球运动员击球动作的连续性,且两次击球动作相隔时间较短的特征,系统功能设计时应以每次击球动作为单位,实现实时、连续捕捉运动员每次挥拍过程的运动参数,包括挥拍过程产生的线加速度和球拍姿态角度变化的角加速度,通过计算得出的球拍挥动的速度、角速度、位移以及挥拍过程的能耗等衍生数据,以确保系统数据采集的实时性和完整性。

1.1.2 数据采集的科学性和可靠性原则

训练过程采集到的原始数据及各种派生数据将实时显示给教练员和运动员,用于现场诊断分析与训练指导实践,同时这些数据将永久存储在后台数据库中,为后续的大数据分析及科学化长期训练监控提供可靠的数据支撑平台。因此,系统的设备选型和数据处理过程应确保数据采集的精度和采样频率能达到相应的标准,以保证数据采集的科学性和可靠性。

1.1.3 数据显示的直观性原则

系统采集的训练数据除了为后续的综合训练监控指导提供数据支撑以外,更重要的是要服务于临场教练员的训练指导,因此,要求系统可以将采集到的数据及诊断分析的结果实时、直观地显示给教练员和运动员。由于乒乓球运动员击球动作快,挥拍过程的各种数据变化迅速,系统在设计时采取将这些数据以实时曲线图的形式进行显示是比较好的选择。

1.2 数据采集流程设计

系统数据采集的总体流程分为 3 个阶段:硬件设备连接,数据采集、传输、解码与存储,数据处理与实时曲线显示(图 1)。



图 1 数据采集流程图

Figure 1 Process of Data Collection

1.2.1 通讯(硬件)设备连接

开启固定在乒乓球球拍的加速度传感器,选择并设置串口通讯的波特率(默认设置为 9600 b/s),通过蓝牙适配器与计算机进行配对连接。

1.2.2 数据采集、传输、解码与存储

运动员挥拍时,固定在拍把上的加速度传感器自动进行训练数据采集,然后数据传输模块负责将采集到的数据通过无线蓝牙通讯模块传输到计算机,计算机按照通信协议对接收到的数据进行解码,获取运动员挥拍时的加速度等姿态数据信息。最后,将接收到的原始数据按照时间先后顺序存储至计算机后台数据库中,以备后续数据处理和显示之用。

1.2.3 数据处理与实时曲线绘制

数据采集与诊断分析系统对接收到的挥拍原始数据,按设定的算法进行数据加工处理,得出各种派生数据,并将这些数据以曲线图的形式实时、直观地显示出来。

1.3 系统功能模块设计

系统功能模块设计如图 2 所示。

系统功能模块主要包括:系统管理模块、训练数据实时采集模块、训练数据分析与显示模块。

1.3.1 系统管理模块

系统管理模块包括:系统设置模块、运动员基本信息管理模块和数据查询与导出模块。其中,系统设置模块主要包括通讯串口设置、串口波特率设置、测试动作类型设置等;运动员基本信息管理模块主要负责参与击球力量测试的乒乓球运动员基本信息的增加、修改、删除和查询管理,包括运动员的编号、姓名、性别、身高、体重、运动员等级、训练年限、执拍类型和打法类型等信息;数据查询与导出模块用于对运动员采集的历史数据进行查询,并将查询结果导出等。

1.3.2 训练数据实时采集模块

训练数据采集模块主要实现训练数据的采集、处理和实时显示等功能。首先,采集运动员训练过程

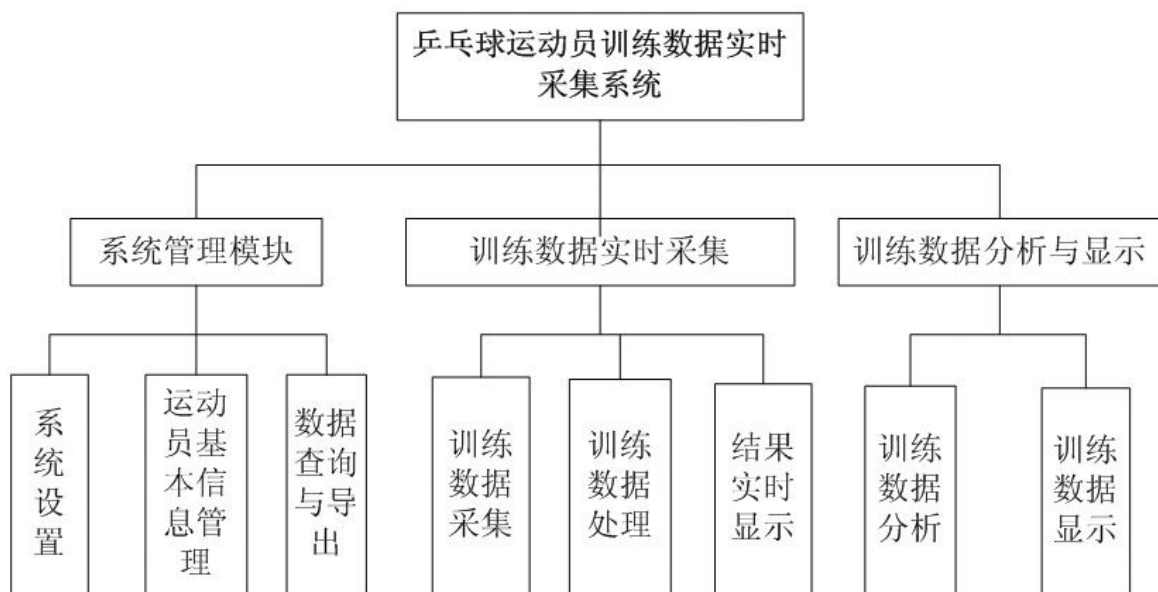


图 2 系统功能模块图

Figure 2 System Function Module

中挥拍产生的原始数据(包括挥拍的加速度、乒乓球拍的空间角度变化等);然后,根据这些原始数据,运用运动学和动力学等知识,进行积分等计算,得到速度、力量和做功等派生数据;最后,将训练过程中这些动态变化的数据以曲线形式实时、直观地显示出来,同时将这些数据保存至后台数据库中^[7]。

1.3.3 训练数据分析与显示模块

训练数据分析与显示模块根据存储在后台数据库中的原始数据和派生数据,对运动员训练过程中的挥拍情况进行综合的统计分析,并将计算的结果以图表和曲线的形式显示给教练员,为教练员科学评价运动员的训练效果提供可靠依据^[8]。

1.4 系统开发环境

操作系统为 Windows7, 开发工具为 Visual Studio 2012, 程序设计语言为 ASP.Net(C#), 数据库平台为 MySQL。

2 系统硬件设计

2.1 系统硬件安装示意图

本系统的硬件设备主要包括:9轴加速度传感器,无线蓝牙适配器和乒乓球拍。加速度传感器安装于乒乓球拍柄上(如图3),运动员挥拍时可实时感知运动数据,通过无线蓝牙传输至计算机软件系统,并保存至后台数据库中。



图 3 设备硬件安装示意图

Figure 3 Installation of Device Hardware

2.2 系统硬件基本原理图

训练数据采集的硬件系统分为:数据采集模块、通信传输模块以及人机交互模块。通信管理模块负责数据采集模块相关参数的设置。数据采集模块以9轴加速度传感器为核心,它集成了高精度的陀螺仪和以 MPU-9250 芯片为核心的加速度计,采用高性能的微处理器和先进的动力学姿态解算器与卡尔曼动态滤波算法,能够快速求解出模块当前的实时运动加速度、角速度、角度、运动姿态等数据。传感器感受到运动产生的加速度后,以最高 200 Hz 数据输出速率,通过通信传输模块中的无线蓝牙将数据传输至计算机中。人机交互模块是安装在计算机中的数据采集软件系统,实现数据的接收、处理、分析、显示与存储^[9]。系统设计中,考虑到乒乓球运动的特点,将通信传输模块设计为通过无线蓝牙进行串口通信,实现数据的无线、实时传输。数据采集的硬件基本原理如图4所示。

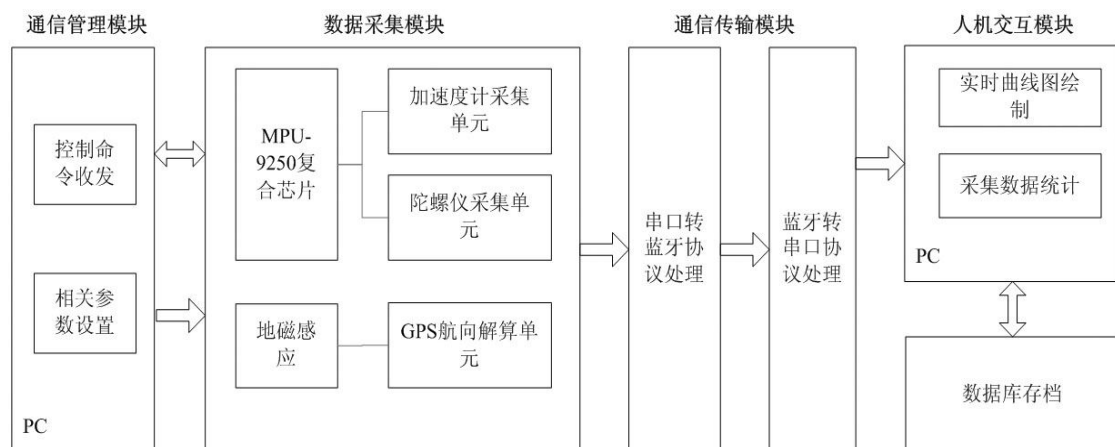


图 4 数据采集硬件基本原理图

Figure 4 Basic Principle of Data Collection Hardware

2.3 硬件设备的选型及参数

2.3.1 设备选型

本数据采集系统的核心硬件设备是 9 轴加速度传感器。根据乒乓球运动员挥拍动作的空间特征,其数据采集不仅包括挥拍动作的加速度、速度和位移等参数,还包括挥拍过程球拍的空间姿态角度变化等其他信息,因此不能选用单轴加速度传感器。结合实际训练监控的需要,本文选用的是 JY901 型 9 轴加速度传感器内置的芯片为深圳维特智能科技有限公司的 MPU-9250 芯片,它是一个封装的复合芯片,包含三轴加速度计、三轴陀螺仪及三轴磁力计。相比普通的三轴加速度计,本系统采用的 9 轴模块精度较高,且可以同时采集运动方向的变化,采集的数据更加全面、可靠。

(2) 技术参数

基本技术参数:工作电压为 3~6 V,电流 < 40 mA。测量维度:3 维加速度、角速度和角度。量程:加速度为 $\pm 16\text{ g}$,角速度为 $\pm 2000\text{ }^\circ/\text{s}$,角度为 180 ° 。稳定性:加速度为 0.01 g ,角速度 $0.05\text{ }^\circ/\text{s}$ 。

2.4 无线蓝牙串口通信

蓝牙是一种支持设备短距离通信(一般为 10~100 m)的无线电技术,且有成本低、功耗小、传输速率较高、抗干扰能力强等特点。串口是计算机上一种常用设备的通信协议。无线蓝牙串口适配器正是两者结合的产物,它保留了蓝牙通信与串口通信的优点,用蓝牙代替传输线缆,将复杂的蓝牙协议转换为简单易用的串口通信协议^[10]。无线蓝牙模块接收到串口数据后,将其打包进蓝牙数据包中,然后发给 PC 电脑,传输流程如图 5 所示。本文选用的 JY901 型 9 轴加速度传感器内置了无线蓝牙传输模块。

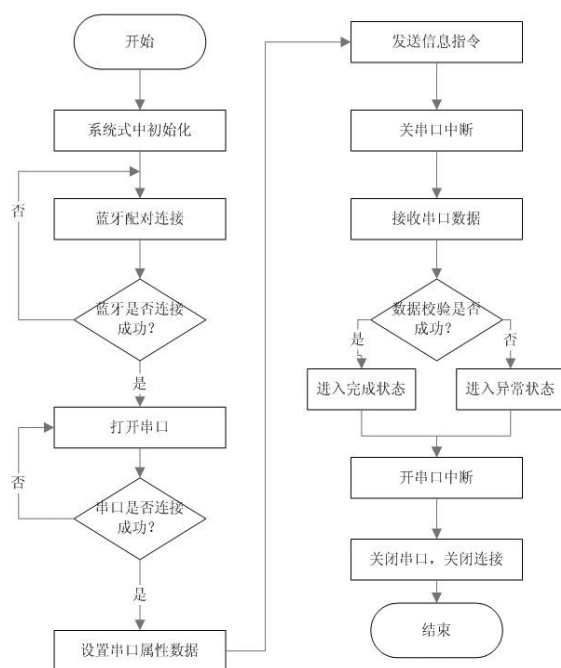


图 5 数据传输流程图

Figure 5 Data Transmitting Process

3 数据处理算法

利用加速度传感器采集到的原始数据是球拍挥动的加速度,经过多次积分运算,可以分别得出球拍挥动的速度、位移,进而可以求出挥动球拍的力量及其所做的功。根据击球过程所做功的大小可以找出运动员击球过程能耗的高低。

本采集系统选用的加速度传感器输出频率为 10 Hz,由于其中每输出两个加速度之间的间隔时间较短,可视为手势动作做匀速运动。设初始速度 $V_0=0$,在时间间隔 $[T_n, T_{n+1}]$ 内速度为 V_n ,则时间间隔 $[T_{n+1}, T_{n+2}]$ 内的速度为:

$$V_{n+1}=a_n \times T + V_n$$

式中 a_n 为传感器水平方向加速度输出值。本文选用的加速度传感器每经过 0.1 s 输出一个加速度值,即当 $T=0.1$ s 时, T 内位移为 $S_n=V_n \times T$,则根据下式可计算一个完整的挥拍动作所产生的位移^[11]:

$$S = \sum_{i=0}^n S_i = \sum_{i=0}^n V_i \times T$$

式中 V_i 为 T 间隔内水平方向速度, S_i 为 T 间隔内水平方向位移, S 为时间间隔 $[T_n, T_{n+1}]$ 内水平方向位移。根据加速度传感器三维方向的输出值,同理可得其他两个方向的挥拍动作位移,构成空间三维轨迹。

依据牛顿第二定律: $F=m \times a$ 可以得知,根据球拍的质量(包括固定在球拍上的加速度传感器)和球拍挥动的加速度,可以计算出运动员击球过程中施加在球拍上的作用力。该作用力 F 跟球拍的质量和球拍挥动的加速度成正比;作用力的方向跟加速度的方向相同。在较短的 T 时间间隔内,可以视加速度值不变,球拍和加速度传感器的质量 m 也是一定的,因此可以计算出击球过程中的力量 F :

$$F = \sum_{i=0}^n F_i = \sum_{i=0}^n a_i \times m$$

式中 a_i 为水平方向加速度输出值, m 为球拍和加速度传感器的总质量, n 为时间间隔 T 的个数(由采样频率决定)同理可计算出其他两个方向的击球力量。

同理,根据运动学和动力学相关知识,可以计算出运动员在击球过程中作用于球拍的力量所做的功 $W=F \times S$,以水平方向做功为例,其计算公式如下^[12]:

$$W = \sum_{i=0}^n W_i = \sum_{i=0}^n F_i \times S_i$$

式中 F_i 为水平方向的作用力, S_i 为 T 间隔内水平方向位移, n 为时间间隔 T 的个数。同理可计算出其他两个方向的挥拍力量所做的功。

4 系统应用

该数据采集系统开发完成后已应用于中国乒乓球学院少年班运动员的日常训练监控,实现了乒乓球运动员击球力量数据的实时采集、处理、存储和诊断分析,得到了教练员和运动员的一致认可。

本文选取同年龄的一男一女两名青少年乒乓球运动员,运用该数据采集系统实时采集并显示他们正手拉球和反手搓球两种技术动作的挥拍参数,进而进行对比分析。

在实际使用过程中,运动员每次击球动作的数

据都实时保存到后台数据库中,因此,随着击球力量数据的不断积累,系统可以从后台数据库中对不同运动员各种击球动作的力量等参数进行对比。

4.1 正手拉球加速度与速度曲线图

两名青少年乒乓球运动员(男女各 1 名)3 次连续正手拉球产生的加速度与速度曲线如图 6 和图 7 所示。系统也可以显示击球过程中的力量和功等参数的变化曲线。

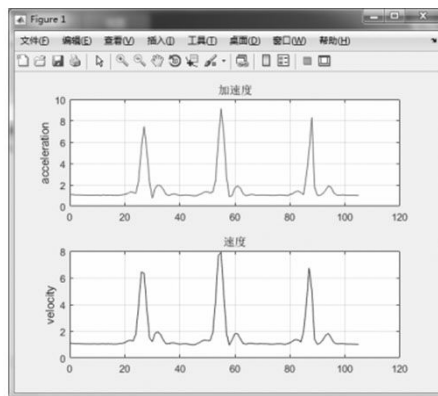


图 6 男运动员正手拉球加速度和速度曲线图

Figure 6 Male Player's Forehand Pull-ball Acceleration and Speed Curve

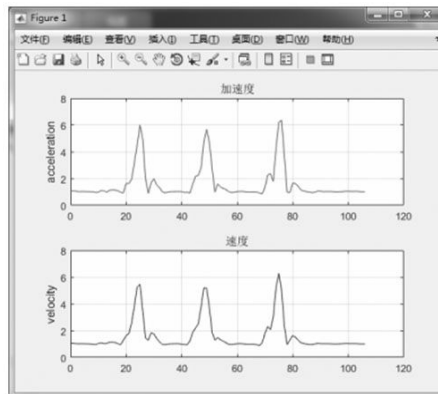


图 7 女运动员正手拉球加速度和速度曲线图

Figure 7 Female Player's Forehand Pull-ball Acceleration and Speed Curve

图 6、图 7 每一个波谷到波峰再到波谷都是一次完整的挥拍击球动作。通过对比发现,男女乒乓球运动员单个挥拍击球动作过程中,女子运动员正手拉球的加速度 a 和速度 v 的实时数值(包括最大值)都低于男子运动员。根据牛顿第二运动定律,物体加速度的大小与作用力成正比,与物体的质量成反比,当球拍质量一定时(实验过程中男女运动员使用同一块球拍击球),球拍的加速度值越大说明运动员手臂带动球拍挥拍的作用力越大,更有利于球拍触碰到球时产生摩擦力或碰撞力。在挥拍位移相同的情况下,加速度值越大则说明运动员可以在相同挥拍

距离中产生更大的作用力。由于女子运动员的绝对力量不如男子运动员,导致在使用同样重量的球拍击球时,挥拍进行正手拉球的力量有明显差异,男子运动员的击球加速度 a 和力量均要大于女运动员。

4.2 反手搓球

两名青少年乒乓球运动员(男女各1名)3次连续反手搓球产生的加速度与速度曲线如图8和图9所示。

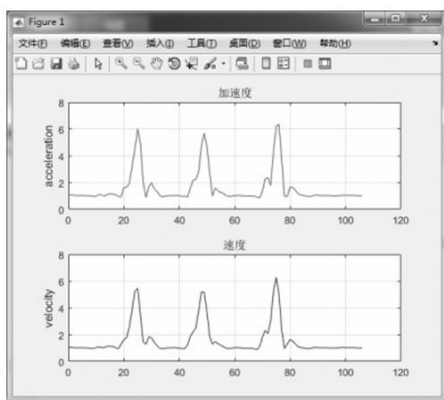


图8 男运动员反手搓球加速度和速度曲线图
Figure 8 Male Player's Backhand Chop Acceleration and Speed Curve

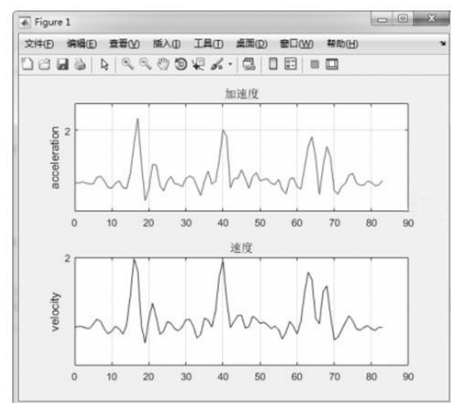


图9 女运动员反手搓球加速度和速度曲线图
Figure 9 Female Player's Backhand Chop Acceleration and Speed Curve

图8、图9每一个波谷到波峰再到波谷都是一次完整的挥拍击球动作。通过对比发现,男女乒乓球运动员单个挥拍击球动作过程中,女子运动员反手搓球的加速度 a 与速度 v 的实时数值和最大值都高于男子运动员,但在拍与拍之间的衔接速率上男子运动员要高于女子运动员。此外,对比发现男运动员的波形较女运动员的波形更加密集,说明男运动员可以在较短时间内完成更多动作,挥拍节奏比女运动员快。

由于女子运动员多以有质量的搓长为主,其实

时速度更快,足以对对手下一板的进攻造成威胁;由于男子运动员反手搓球,多以控制摆短为主,其实时速度较为缓慢,但拍与拍之间的衔接速率更快,更容易达到控制对手抢攻上手的技战术效果,为自己的主动进攻制造机会,且由于需要达到控制的效果,所以动作幅度小,动作中无谓的晃动也更少。

4.3 派生数据统计

该数据采集系统除了可以实时采集并处理训练过程中运动员击球的原始加速度数据外,还可以根据加速度原始数据,运用运动学和动力学等知识,进行积分等计算得到速度、位移和做功等派生数据,并以报表的形式直观地呈现出来,以更全面地评估乒乓球运动员击球训练的效果与能力。

以某一乒乓球运动员3次连续正手拉球动作的数据采集为例,其 x, y, z 3个方向的原始加速度和派生出的力量、速度、位移和功的计算结果如图10所示。



图10 运动员训练数据采集与统计结果
Figure 10 Collection and Statistics Results of Player's Training Data

5 结论

为弥补乒乓球运动训练及监控过程中运动员击球力量数据实时采集与诊断分析方面的不足,本文基于无线蓝牙串口通信接口,采用高精度加速度传感器模块实时采集乒乓球运动员训练过程中击球力



量等数据,运用运动学和动力学等相关知识计算出相关派生数据,并以曲线形式实时显示出来,从而实现乒乓球运动员训练过程中击球力量等参数的实时采集、处理、存储与显示。

本文设计的击球力量实时数据采集与诊断分析系统,适用于快节奏、爆发力强的乒乓球项目。选用9轴加速度传感器采集模块在尺寸、重量、性能和成本上都比其他类型传感器占有优势,使数据采集过程更加便捷、可靠和高效。除此之外,实时数据曲线可以直观地为教练员和运动员提供挥拍过程的相关数据变化情况,以便对运动训练过程进行及时的监控与指导。经过测试与使用,系统数据采集过程及时、稳定、可靠,能较好地满足乒乓球运动训练过程中击球力量相关指标数据的实时采集、处理与显示等需求,对指导训练实践具有一定的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 黄刘松,储岳中,张学锋.基于加速度传感器的乒乓球击球动作识别[J].传感器与微系统,2016,35(1):56-61.
- [2] 董树英,吕阳.乒乓球高低抛发球挥拍加速度的测定与生物力学分析——定量分析高低抛发球差异[J].西安体育学院学报,1988(1):10-21.
- [3] 肖毅,刘宇.基于位移传感器的超等长重量训练系统研究[J].体育科学,2009,29(4):84-88.
- [4] 于岱峰,张建平,官文强.人体背力、握力肌肉力量数据

分析系统的设计与实现[J].体育科学,2006,26(9):40-13.

- [5] 刘蓉,刘家祺,刘红.基于加速度轨迹图像的手势特征提取与识别[J].计算机应用研究,2017,34(3):924-927.
- [6] Huang J., Zhou S. Y., Guan B. L., et al. Design of On-line Pipeline Ultrasonic Data-Acquisition and Storage System Based on ARM[C]. Xi'an: The 8th International Conference on Electronic Measurement and Instruments, 2007.
- [7] 于岱峰,钟亚平,于亚光.基于数据挖掘技术在人体肌肉力量数据分析中的应用——以人体握力肌肉力量测试数据研究为例[J].体育科学,2010,30(2):70-74+82.
- [8] 管文强,卢雷,于岱峰.人体肌肉力量数据采集与分析系统的设计与实现[J].计算机应用,2005(S1):401-403.
- [9] 刘宇,鞠文斌,刘羽熙.加速度传感器的检测应用研究进展[J].计量与测试技术,2010,37(10):24-25.
- [10] 李柏,周建达,刘云波.基于蓝牙串口适配器的GPS接收机与AutoCAD的实时无线通信[J].地矿测绘,2015,31(3):28-30.
- [11] 杨清,陈岭,陈根才.基于单加速度传感器的行走距离估计[J].浙江大学学报(工学版),2010,44(9):1681-1686.
- [12] 贺志强.基于加速度传感器的人体能耗检测系统的设计与实现[D].哈尔滨工业大学,2016:19-42.

(责任编辑:刘畅)

(上接第45页)

- [6] 俞丽萍.我国体育公共服务均等化问题的研究[J].武汉体育学院学报,2011,45(7):31-35.
- [7] 张利,田雨普.我国体育公共服务均等化现状及发展对策研究[J].西安体育学院学报,2010,27(2):137-141.
- [8] 秦勇,张秋.我国城乡体育公共服务均等化的相关环境影响因素研究[J].体育与科学,2012,33(3):86-89.
- [9] 周良君.广东省体育公共服务均等化现状与路径选择[J].上海体育学院学报,2011,35(3):33-37.
- [10] 曹可强.上海市城乡公共体育服务均等化的制度安排[J].体育科研,2012,33(6):43-46.
- [11] 于永慧.健康中国:全民健身工作的评价指标体系研究[J].体育与科学,2016(4):71-76.
- [12] 刘亮,刘元元,王鹤,等.我国体育公共服务均等化的评价模型及指标体系构建研究[J].武汉体育学院学报,

2015,49(5):13-18.

- [13] 范宏伟.公共体育服务均等化评价指标体系的标准化研究[J].西北师范大学学报(社会科学版),2017,54(3):31-36.
- [14] 郑家鲲,黄聚云.基本公共体育服务评价指标体系的构建[J].上海体育学院学报,2013,37(1):9-13.
- [15] 宋娜梅,罗彦平,郑丽.体育公共服务绩效评价:指标体系构建与评分计算方法[J].体育与科学,2012,33(5):30-34.
- [16] 曹继晨,施梅,李英.基于关联性分析的门诊患者满意度评价指标体系优化设计[J].中国卫生经济,2008,27(11):72-74.

(责任编辑:晏慧)