

运动生物力学信息的获取与处理

Sports Biomechanical Information Acquisition & Processing

(1 中国科学院合肥智能机械研究所;2 中国科学技术大学;3 青岛理工大学) 雷建和^{1,2,3} 马静华² 宋全军² 孙旺强¹ 葛运建¹
Lei, JianHe Ma, JingHua Song, Quanjun Sun, Wangqiang Ge, Yunjian

摘要:在阐明运动生物力学信息获取的意义和重要性的基础上,首先总结了运动生物力学信息获取的基本手段,重点介绍了一种基于微处理器的运动员投掷力实时获取装置的结构和基本原理,然后,讨论了运动生物力学信息分析与处理的方法,为体育科学的研究定量化、智能化和科学化打下基础。

关键词:运动生物力学;信息获取;微处理器

中图分类号:TP24

文献标识码:A

Abstract: On the basis of explaining the importance of biomechanical information acquisition, first, biomechanical information acquisition methods are summarized. The structure and principle of a device based on micro-computer for obtaining the athlete's throwing force is explained in detail. Then, biomechanical information analyzing and processing methods are discussed. This lays a solid foundation for sports scientific research to be quantitative, intelligent and scientific.

Key words: biomechanics, information acquisition, micro-computer

1 获取运动生物力学信息的意义

生物力学是研究力与生物体运动、生理、病理之间关系的学科。作为生物力学中最活跃分支之一的运动生物力学,其研究成果广泛应用于工业设计、机器人、医疗、交通工具安全性评估、航天以及体育科学中。应用运动生物力学原理诊断运动员的动作技术、优化运动技术作为运动生物力学的主要应用研究课题之一,正在受到越来越多的关注。体育科研人员和教练员迫切需要运用先进传感技术获取运动员生物力学信息,通过研究人体在运动中表现出的运动学、动力学等参数,来揭示人体运动的基本规律,探索运动技术最佳化的途径,对运动员的现实技术动作进行诊断,改进训练过程。因此研究运动生物力学信息获取与处理的手段和方法有着重要意义。

2 运动生物力学信息的获取方法

2.1 研究人体运动的基本参数

运动生物力学的研究对象是人以及人体运动过程中所接触的器械、设备和环境。为此需要了解掌握人在运动中的力学参数、人所接触的器械、设备和周围环境的力学性质。运动生物力学常用的参数有:质量 m 、质心 $m.c$ 、转动惯量 J 、位移 δ 、速度 τ 、加速度 α 、位移 θ 、角速度 ω 、角加速度 β 、力 F 、力矩 M 和扭矩 T 等。

人体是一个非常复杂的生物体,人体所完成的各

种动作的复杂性是任何机械都无法比拟的。获得这些参数要比获得其他物体运动的参数困难得多。目前能够获得参数的方法大体有两种:实验法和理论分析法。本文主要讨论是前一种方法,即通过各种实验检测手段,采集人体运动过程的各种参数,以此作为分析问题的依据。这种研究方法是以具体的人和物为测试对象,将高速摄影、摄像、各种测力、测速系统、CT 及图像处理系统等高科技手段引入,研究信息获取的各种有效途径。

2.2 人体运动基本参数的获取方法

人体运动基本参数主要有运动学参数、动力学参数、人体惯性参数等。

2.2.1 运动学参数的获取

人体运动学测试主要是获取人体在运动过程中各个环节的位置、速度和加速度。目前大多采用录像解析的方法,根据不同项目的特点可以将不同数目的摄像机分布于不同的位置进行拍摄,录像解析系统是基于立体视觉的基本原理,应用普通摄像机对目标点进行拍摄,并结合三维空间重构的方法获取被拍摄物的空间坐标。其结构简单、无机械运动部件、测量空间大、使用方便,是目前体育界应用较广泛的一种非接触式测量系统。立体视觉是计算机视觉的一个重要分支,它利用两台位置相对固定的摄像机,从不同角度同时获取同一景物的两幅图像,通过计算空间点在两幅图像中的像差来获得其三维坐标。三维空间重构就是根据设定的摄像机模型,通过一定的算法,由空间点在两图像中的二维像坐标得到空间点的三维坐标。三维空间重构能从失去深度信息的二维像坐标中恢

复三维立体信息,在立体视觉技术中,它实质上是摄像机标定的逆过程。原始的视频通过采用直接线性变换(DLT)算法,利用两维图像进行三维重构,建立真实坐标与像坐标的关系,从而获得人体各个关节不同时间段的三维坐标值。利用坐标值进一步可以计算出相应的运动学参数(速度,加速度等)。

2.2.2 动力学信息的测试

(1)人与地面作用力的实时检测

人体运动过程中对地的作用力(直立运动的脚力)以及人对器械的作用力是运动分析的重要参数,其中脚力的测试大多采用多维力测力台或是测力鞋垫。多维力测试系统一般由测力平台,信号放大器和计算机数据采集与处理系统三大部分组成。中科院合肥智能所自行研制的一体化六维力测力平台 SAFMAS_T 是国家 863 计划智能机器人主题“机器人六维腕力传感器”基础研究课题成果在体育领域中的应用和推广。它采用十字梁结构,应变式原理,解耦时采用分区域的方法,测力台弹性体由一块材料整体加工而成,整体结构即为一个六维力传感器。该平台系统误差正负 1%,最大量程 1.2T,可以根据需要多台组合使用。与一般组合式的测力台相比,该平台安装调试方便,更适宜比赛训练环境,已经装备国家举重队,其原理和方法在文献中已做详细介绍,不再赘述。

(2)人与运动器械之间作用力的实时检测

利用图像解析只能得到人体的运动学信息,为了全面分析人体运动规律,动力学信息也是非常重要的。研究者进行了大量的研究,并且在一些项目上进行了应用,如 Masato Maeda 等设计出用来检测标枪投掷过程中的偏转和作用力的标枪;Yuji Ohgi 设计的用于测量游泳运动员手腕部分运动加速度的仪器等。

投掷作为人类较早开展的体育项目,其运动员的投掷力是进行运动分析的关键信息,中科院合肥智能机械研究所联合河北师范大学研制了一种用于测量铅球投掷力的数字铅球,这种基于三维加速度计的女子数字铅球能够实时感知铅球运动员在投掷过程中施加于铅球的三维力信息,利用该铅球采集到的运动员投掷力信息,可以分析运动员的投掷动作是否符合力学原理和技术要求。下面简单介绍一下传感器结构和检测原理。

数字铅球能实时获取铅球投掷过程中三个方向上的加速度信息,其传感器核心部分是三组金属应变片,按特定的方向粘贴在 E 形膜片表面上,组成三组自动解耦的惠斯通全桥电路,膜片下面悬挂质量块。当铅球具有加速度时,质量块由于惯性作用引起膜片变形从而导致三个全桥电路输出电压的变化。电压变化量通过放大、模拟滤波以及 A/D 转换后送入单片机,再经过单片机系统处理以一定的格式记录在 Flash 中,最后通过 USB 接口将获得的三维加速度数据送入

计算机。图 1 是加速度传感器部分的效果图,为了减小系统的阻尼,首先我们将弹性膜片和质量块固定到一个空腔中,然后在空腔中注入油,增加系统的阻尼系数,经过密封后将传感器模块整体安装到铅球的下壳。图 2 是将传感器、下壳、电路部分装配的效果图。

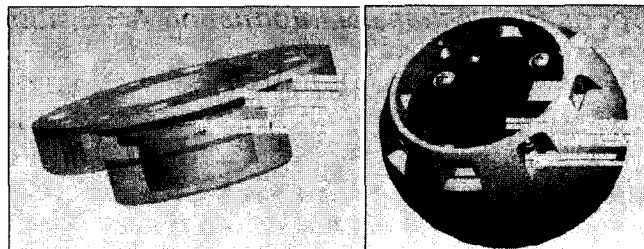


图 1 加速度传感器

图 2 装配图

因为铅球运动的特殊性,设计时必须考虑以下因素:(1)系统必须自身具备大容量数据存储以便将采集到的数据记录下来;(2)数字铅球数据采集系统必须安装在铅球内部,受到女子铅球物理尺寸的严格限制,整个线路板直径须小于 75mm,而可用布线空间直径则小于 60mm;(3)整个系统采用电池供电,必须考虑能耗问题。综合考虑以上因素,采用单片机 C8051F320 外加大容量 Flash 的设计方案。C8051F320 是 Cygnal 公司的一款集成 USB 控制器并兼容 51 指令系统的单片机,具有较高的集成度,确保了整个设计紧凑可靠。利用 Flash 掉电不丢失内容的特性,在不使用的时候将电源关断,在一定程度上降低了系统的能耗,延长了电池的使用寿命。硬件设计框如图 3 所示。铅球进行现场数据采集时,E 形膜片上惠斯通桥路的输出经过放大滤波和 A/D 转换后通过 SPI 接口送入单片机,然后由单片机通过 GPIO 写入 Flash。使用 USB 电缆直接将计算机和数字铅球上的 USB 接口相连,配以相应的驱动程序和应用程序,就可以取出测试数据以进行分析。

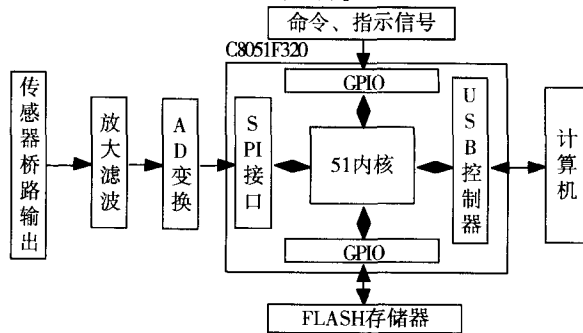


图 3 硬件框图

系统上电后,C8051F320 的 51 内核首先初始化外围设备,如果一切工作正常则开始等待用户触发采集开关或接收计算机发送的数据传输命令。从而执行数据采集或是将保存在 Flash 数据的上传到计算机中。

(3)肌电信息的检测

肌电是神经、肌肉兴奋发放生物电的结果,描绘出的肌肉活动中电信号的变化过程称之为肌电图(简

技术创新

写为EMG)。肌电图在医疗康复、假肢控制、运动员训练等方面都有着广泛的应用前景。肌电测量包括有损伤测量和无损伤测量两大类。运动实践中的肌电测量大多采用无损伤类的表面肌电遥测技术,在体育科学领域,通过肌电图分析可以发现肌肉激活时序和时程,不同肌肉间协调模式等,对评定疲劳、运动技术合理性等均有重要的实用价值。实验表明,表面肌电信号是一种非常微弱的电信号,其幅值在100-5000 μ V,其峰值一般在0-6mv,均方根在0-1.5mV,一般有用的信号频率成分位于0-500Hz范围内,其中主要能量集中在50-150Hz。皮肤和组织对肌电均有衰弱作用,也更易受干扰,因此检测和记录表面肌电信号需考虑的主要问题是尽量消除噪声和干扰的影响,提高信号的保真度。噪声主要有:①人体本身感应的50Hz工频干扰;②因电极和皮肤表面间产生位移或因电极与放大器间的连接线移动而导致的干扰。选用高质量的电子元件,合理设计放大和滤波电路可以减少噪声影响。

一种肌电仪实现的原理框图如图4所示。表面肌电信号经过放大、滤波、转换后,通过无线遥测方式发送给上位计算机,在上位机上完成信号的分析处理,肌电仪的采样频率一般为1000Hz。

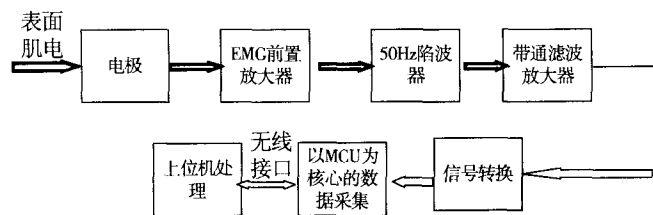


图4 肌电仪原理框图

(4) 人体惯性参数的获取

人体惯性参数也是进行人体运动分析的重要参数。它是与被测量的个体人体形态有关的参数,主要有个体各分体的质量和质心位置,各个分体绕三个轴的转动惯量等。由于人体是一个非常复杂的生物有机体,其惯性参数的获得要比无生命的物体困难的多,目前的测量方法主要有三种,尸体测量法,活体测量法以及数学模型计算。清华大学郑秀媛教授研究了中国正常人的惯性参数的测定和统计,填补了国内在这一领域的空白,其结果采用回归方程给出,它只需要测得人体身高和体重,就可以计算出相应的人体惯性参数。

3 运动生物力学信息的分析与处理

在运动生物力学研究中,大量的第一手研究资料和数据都是在训练、比赛现场和实验中获取的,测量数据在生物力学研究中占有很大的比重。由于人体生物系统的特殊性质(如非线性、拒测性、变异性、极限值不可计测性等)以及测量手段的技术性制约等多方面因素影响,获取的资料和数据中必然包含有变异和误差。误差是一切物理测量中普遍存在的现象,变异则

是活体测量中所特有的现象。在生物力学研究中,它是实验对象正常生理、心理、生物材料特性等的波动或涨落的反映。研究数据的统计处理有两方面目的:其一是消除或减小实验数据中的误差;其二是利用统计学方法从受多种因素、条件影响的实验测量数据中,消除变异成分,提炼出有价值的信息。在运动生物力学研究中,使用统计学方法提炼运动信息,建立因素之间的关系是很有必要的。常用的统计参数包括平均值、标准差、相关系数等;常用的统计方法有回归计算、假设检验以及聚类和主成分分析法等。近年来,随着智能计算技术的迅猛发展,基于支持向量机、小波变换和神经网络等新方法被引入到运动生物力学数据的分析和处理中,并取得了令人满意的效果。

4 结束语

在科学技术日益发展的今天,运动生物力学的应用领域越来越广泛。在体育科学技术研究方面,运动员生物力学信息获取方法和测试手段也在不断深入、完善。本文的创新点在于从信息获取与处理的科学高度全面归纳、分析了目前常用的运动生物力学参数如运动学、动力学、人体惯性参数以及人体肌电信息的获取方法,重点介绍了中科院智能所研制的数字铅球的结构和原理。同时,本文又指出了目前运动生物力学信息处理的发展方向,以各种滤波技术、支持向量机、小波变换和神经网络等为代表的智能计算技术已经取得了可喜的应用成果,这些信息获取与处理方法的引入,为构建智能运动员生物力学信息采集、分析系统奠定了基础。

参考文献:

- [1]郑秀媛 1998 运动生物力学进展[M]北京:国防工业出版社
- [2]唐毅,葛运建. 六维力测力平台的标定与动态特性研究,第四届全球智能与自动化大会 IEEE Proceeding of WCICA'02, Shanghai, 2002.6
- [3]Yuji Ohgi. Microcomputer-based acceleration sensor device for sports biomechanics—stroke evaluation by using swimmer's wrist acceleration[A]. Proceedings of IEEE Sensors Conference 2002 [C]. 2002.699~704
- [4]孙旺强. 基于三维加速度计数字铅球的设计与应用研究. 合肥:中国科学院合肥智能机械研究所硕士论文. 2003
- [5]卢德明等. 运动生物力学测量方法. 北京:体育大学出版社
- [6]马静华,葛运建,孙旺强,雷建和,宋全军. 运动员投掷多维力信息的测量及特征分析,传感技术学报,已接收。
- [7]冯达,基于C8051FSP1接口液晶触摸屏的控制设计[J]微机计算机信息, 2005,7:56-58

作者简介:雷建和,男,河南平顶山人,1961年出生,副教授,中国科学技术大学自动化系博士研究生,研究领域:信息获取与处理、机器人传感技术.email:jh-lei@yeah.net。葛运建,男,山东蓬莱人,1947年出生,中国科学院合肥智能机械研究所,博士,研究员,博导。研究方向:传感技术,机器人控制。

Biography:Lei Jianhe, Male, Born in May 1961, (转 238 页)

```

IO_CANCT0.IDER.word=0xffff; //设置为 CAN
2.0B 协议
//IO_CANCT0.BTR.word=0x05CC7; //位定时
100kbps
IO_CANCT0.BTR.word=0x49C1; //位定时
500kbps
IO_BVALR0.word=0x01; // buffer0 使能
IO_CANID0.IDR[0].lword=0x0024fc27 ;
IO_CANID0.IDR[1].lword=0x0024fc67 ;
IO_CANID0.IDR[2].lword=0x0024fcc7 ;
IO_CANID0.IDR[3].lword=0x6024fc27 ;
IO_CANID0.IDR[4].lword=0x2024fc27 ;
IO_CANID0.IDR[5].lword=0x2024fc67 ;
IO_CANID0.IDR[6].lword=0x4024fc27 ;
IO_CANID0.IDR[7].lword=0x4024fc67 ;
IO_CANID0.IDR[8].lword=0x4024fcc7 ;
IO_CANID0.IDR[9].lword=0x6024fc27 ; //ID 设定
IO_CANCT0.AMSR.lword=0x0000; //设置接受
识别滤波器
IO_CANCT0.AMR0.lword=0x0000; //全 bit 比较
IO_CANCT0.AMR1.lword=0x0000; //全 bit 比较
/* 发送设置 */
//buffer0 作为发送寄存器
IO_CANCT0.RFWTR.word=0x0000; //设置 RTR
(远程发送请求)为 0,即数据帧
IO_CANCT0.TRTRR.word=0x00; //设置 RTR
(远程发送请求)为 0,即数据帧
IO_CANCT0.TIER.word=0x0000; //禁止发送中
断
/* 接收设置 */
IO_RIER0.word=0x00; //禁止接收中断
/* 开启 CAN 总线,使其工作 */
IO_CANCT0.CSR.word=0x00;
/* 发送数据设置 */
IO_CANID0.DTR[0].word0=0x00000000; //数据将
被发送
IO_CANID0.DTR[0].word1=0x00000000; //数据将
被发送
IO_TREQR0.word=0x01; //设置 Buffer0
为发送数据寄存器
IO_CANID0.DLCR[0].word=0x05; //Buffer0 传输
数据字长设为 8byte
}

```

5 结论

利用 MB90F428 单片机设计了汽车仪表的检测和驱动模块,并通过 CAN 总线进行数据传输和信息

共享。MB90F428 内嵌的 CAN 控制器提供的强大而灵活的功能大大简化了硬件的设计和软件编程的工作量。经研究表明,检测到的车速、转速、油量等信号数据传输稳定、可靠,为车辆系统的正常工作提供了安全保障。

本文作者创新点:CAN 总线协议使汽车网络总线化,减少汽车电子之间的线束连接,提高可靠性。

参考文献:

- [1]程珂飞等基于 CANopen 协议的车载平台数据通讯系统[J].微计算机信息,2005,7:45-47
- [2]郭宽明 CAN 总线原理和应用系统设计.北京航空航天大学出版社.1996.11
- [3]葛林等 CAN 通信网络在汽车中的应用研究 汽车技术 NO. 2000 第 11 期
- [4]Brauninger J. Controller Area Network for Truck and Bus Applications. SAE 902211
- [5]FUJITSU SEMICONDUCTOR CONTROLLER MANUAL F2MC-16LX 16-BIT MICROCONTROLLER MB90420G/425G Series HARDWARE MANUAL 2002.4

作者简介:刘浩,男,汉,北京理工大学自动控制系硕士研究生,研究方向检测与自动化,Email:liuhao628@163.com。王向周,男,北京理工大学自动控制系教授,主要研究方向检测与自动化、机械电子工程。

Biography: Liu Hao, male, the Han nationality, postgraduate of Dept. of Automatic Control, Beijing Institute of Technology, research on detection and automation, E-mail: liuhao628@163.com

(100081 北京理工大学信息科学技术学院) 刘浩 王向周

(Beijing Institute of Technology Beijing 100081) Liu,hao Wang,Xiangzhou

(收稿日期:2005.12.22)(修稿日期:2006.1.21)

(接 271 页),Han,Received master degree from Northeast University in 1993.He is now an associate professor, and PhD candidate of Automaton Department of University of Science and Technology of China. Research area: sensor technology, robot control.Ge Yunjian, Male, Born in Jun. 1947, Han, Received his PhD from INSA, France. He is now a professor of University of Science and Technology of China. Research area: sensor technology, robot control

(230031 中国科学院合肥智能机械研究所)雷建和 孙旺强 葛运建

(230027 中国科学技术大学自动化系) 雷建和 马静华 宋全军

(266033 青岛理工大学自动化学院)雷建和

通讯地址:(230031 合肥市 1130 信箱)雷建和

(收稿日期:2005.12.17)(修稿日期:2006.1.17)