

Study and Design of a Integrated Platform About Athletics Based on Biomechanical Information Acquisition and Processing

TANG Yi^{1,2} GE Yunjian¹ ZHANG Jianjun¹ YUAN Hongyi

(1. Institute of Intelligent Machines, CAS, Hefei 230031, P. R. China;
2. Department of Automation University of Science & Technology of China, Hefei 230026, P. R. China)

Abstract: The force/moment transfers of human motion are analyzed, then a platform based on biomechanical information acquisition is proposed, by which the difficulties of acquiring biomechanical parameters of multi targets are overcome, this platform has a good expansibility, and also provides united logical controller and data format, which can reduce the labors after measurement and paved the way for the future work.

Key words: biomechanics; information acquisition; human movement; biomechanical information

基于力信息获取处理对运动员综合测试平台的开发和研究

唐毅^{1,2} 葛运建¹ 张建军¹ 袁红艳¹

(1. 中科院合肥智能机械研究所, 合肥 230031; 2. 中国科学技术大学自动化系, 合肥 230026)

摘要:在分析了人体运动的力学传递关系的基础上,提出了一种基于力信息的运动员运动综合测试平台,解决了运动员运动的生物力学多目标多参数综合获取的难题,该平台具有很好的扩展性并提供了统一的控制与数据规范,大大减少了综合测试的工作量,并为后续研究奠定了良好的基础。

关键词:生物力学;信息获取;人体运动;生物力学信息

中图分类号:TP24 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-1699(2003)03-0272-05

随着科学和技术的进步,竞技体育作为一项体育运动对一个国家来说,其意义已经不是比赛的输赢本身,而在于竞技运动将反映一个国家的科技实力,在某种程度上讲竞技体育就是科技实力的竞争,所以各国都在不断加大体育中科技的投入力度。运动生物力学是研究人体运动规律的新型学科,在体育科研领域中占有极其重要的地位。

运动生物力学的研究方法主要包括理论研究方法和实验研究方法,前者侧重于研究运动员人体的物理模型,通过建立人体的物理模型来研究动作的合理性创立新动作。而后者侧重于获取运动员临场的实际的测量数据(运动学,动力学,肌肉电等),由

测量的数据进行分析,做技术诊断。对于理论研究方法来说由于建立的模型具有通用性,可以避免重复的工作量,但是从目前的研究成果来看离实际应用尚具有较大的差距,其原因在于人体是一个柔性多体系统,而目前大多数的力学模型将人体简化为多刚体系统,模型的本身将产生较大的误差,如果用弹簧等来模拟人体肌肉的变形又会导致求解高阶的微分方程,从而带来庞大的运算量;另外在检验模型时需要取初始条件,而如何界定初始条件的边界也是一个需要进一步深入探讨的问题。对于实验方法来说还只是进行简单的力学分析处在比较低级的阶段,具有代表性的实验方法就是黑箱方法,黑箱方法

收稿日期:2003-03-13

基金项目:中科院研究生社会实践(2002 创新研究类);安徽省自然科学基金 03042304 支持。

作者简介:唐毅(1975-05),男,中国科学技术大学自动化系博士生,研究方向:传感技术与信息融合, tangyi_2002@163.com;
葛运建(1947-07),男,中科院合肥智能所研究员,博士生导师,研究方向:机器人控制,传感技术。

是目前研究复杂系统的非常有效的研究方法,与物理模型相比黑箱方法不需要考虑系统的内部机理,不存在物理方法的模型选择不当带来的误差,而且更适合利用系统的观念来考察人体运动的动态控制过程,但是该方法却很少被利用于人体的建模中,我们认为可能有以下原因:黑箱研究方法(基于统计的 AR, ARMA 模型或基于训练和学习的神经网络)的基础是利用输入输出的传递关系来研究其系统的动静态性能,而人体的力学行为的输入输出是什么?他们的表现形式是什么?都没有统一的定义和规范,所以其中还有很多基本的概念值得做深层次的探讨。此外从技术层面上讲,首先要解决的是人体运动信息的获取与处理方法,也就是说如何得到人体的激励(输入)和响应(输出)。基于以上原因本文提出一种基于力信息的运动员运动综合感知平台,其目的是提供一种测试与观测运动员运动的综合信息的手段和方法。本文首先概括人体运动的力学特征,然后在其基础上提出基于力信息的运动员综合测试平台,介绍其结构和组成,数据的处理,最后讨论了数据的后续处理。

1 人体力学行为的力信息特性

人体的力学行为(运动)是一个主动行为,人体要做一个作业首先是大脑和神经控制肌肉的收缩,然后导致人体内力的不平衡,在由力学的传递关系导致外力的不平衡,从而获得整体和环节的速度和加速度,假定在无负荷的情况下人体直立时所受到的唯一的外力就为脚力,如图 1 所示人体的运动是

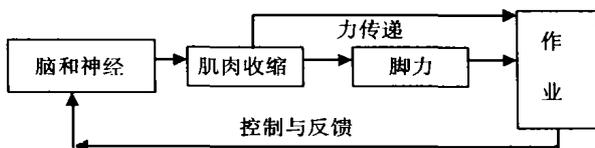


图 1 人体力学行为特征

一个动态的控制过程,控制中心是人脑和神经,人在运动时需要进行高度的控制和协调。拿运动员的动作来说,一个动作的成功与否,首先必须要具有运动储备也就是足够肌肉的收缩能力,才能获得较理想的脚力,更重要的是脑和神经还需要具有很好的反馈控制能力,这些是可以科学训练来提高的。

如图 2 人体力学行为的开环传递关系,定义一个映射 T :

$$T: \{(F_m, F_l, M)\} \rightarrow \{(\theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta})\} \quad (1)$$

其中 F_m, F_l, M 分别表示肌肉力,脚力,和人体的惯性矩阵, $\theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta}$ 分别表示肢体的位置,速度和加速度 T 表示力信息到关节运动空间的映射关系,由于人体的肌肉数量很多,所以该映射呈现高度的非线性,在解决实际问题时要进行简化,在此不再赘述。从图 2 中可以看出要全面掌握人体力信息的传递关系进而研究其动态控制规律,须要观测多个目标多个参数的力学量,其中的输入量为肌肉力,脚力,和人体的惯性参数,输出量为肢体的位置,速度和加速度。

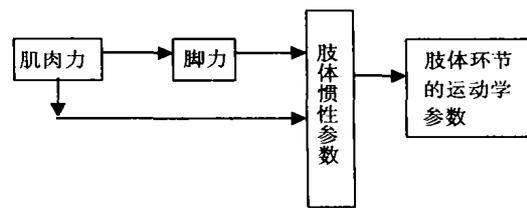


图 2 人体的力传输特性

由上分析可知,要充分掌握人体运动的力学规律,无论是进行力学分析还是建立模型,多目标同步测量都是至关重要的。而目前在运动生物力学的研究中尤其在运动员运动测试中,大多采用的是比较单一的研究手段,获得一个或两个实验参数,其主要原因在于:① 运动员的运动随运动项目的不同,测试环境和要求有很大的不同,采用单独的测试仪器进行测量时逻辑和同步控制要求无法满足。② 运动员的动作要求干扰最小,很多设备的设计本身不适合运动员。③ 由于不同的设备配置的软件不具备通用接口,使得后续的数据处理异常困难。所以笔者提出一种基于力信息的运动员综合测试平台,利用此平台可以根据不同的运动项目进行逻辑和同步控制,另外使得测试数据也具有统一的规范,一方面大大降低了数据处理的工作量,另一方面对进一步进行多参数信息的融合与处理带来了极大的便利。

2 运动员运动信息测试平台

如图 3 所示,平台的总体结构图,其核心是一台工业控制计算机,通过 CAN 驱动卡与相应的采集模块进行通讯,下位机为 16 bit 的单片机,实现集散控制,由于 CAN BUS 具有双向多通道通讯能力,可以利用上位机进行集中控制,同时又可以读取测试数据, CAN 的通信速率可达 1 Mbps,可以保障很好的实时性,此外 CAN 的总线协议保障每个模块具有单独

的 ID,其可以提供很好的开放性和扩充性。由于肌电的测量,要求电极贴付肌肉表面,为了不影响运动

员的运动,采用无线遥测,故主机通过无线射频卡与肌电模块相连。下面对每个测试模块逐一介绍。

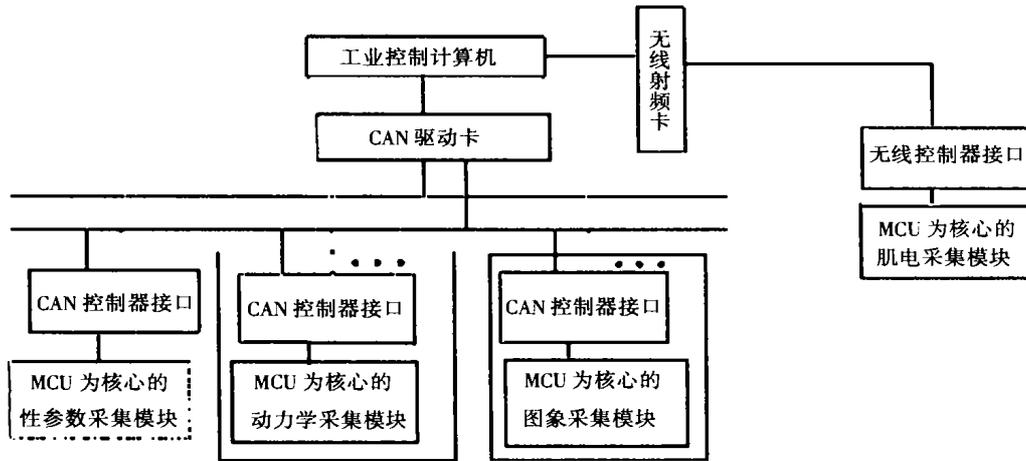


图3 运动员人体运动测试台

2.1 人体惯量测试方法

人体惯量包括人体形态学指标和人体惯性参数,人体形态学包括长度指标,体重和围度等指标,其指标获得方法较为简单,只需尺子和磅称即可。人体惯性参数是与被测量的个体人体形态有关的参数,主要有人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,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。我国学者郑秀媛等采用活体测量的 CT 法,完成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^[1],其结果采用回归方程给出,只要测得人体身高和体重,就可以计算相应的人体惯性参数,所以我们在综合测试平台中采用测量身高和体重的装置如图4所示,整个系统由一个一维测力台和两个竖立的标杆组成,标杆上在150 cm至200 cm每隔1 cm放置一对红外线对管,测试时人站在台子上可以得到体重,根据挡住对管的个数就可以测得身高。

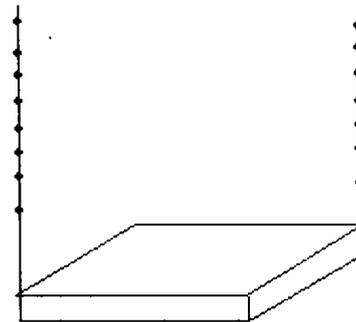


图4 人体惯性测试装置图

2.2 人体运动学测试方法

人体运动的运动学测试主要测试人体在运动过程中各个环节的位置,速度和加速度,且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分布于不同的位置进行拍摄,如图5所示我们采用的视频捕捉系统结构图,每个独立的单元由一个 CCD 和图象采集模块组成,每个单元作

为 CAN BUS 的一个节点,由于 CAN 的扩充能力可以选用多个 CCD 进行图象捕捉,捕捉的图象格式为 8 bit,640 × 480,采集模块提供 64 Mbit 的存储空间,如采用 60 Hz 的 CCD 可测试时间大约 3 s,对于竞技运动来说是足够的,原始的视频通过采用直接线性变换(DLT)算法,利用两维图象进行三维重建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段三维坐标值,假定某点的像坐标为(u, v),实际坐标为(x, y, z),那么他们的关系可由式(2)表示。

$$\begin{aligned} u &= \frac{L_1 x + L_2 y + L_3 z + L_4}{L_9 x + L_{10} y + L_{11} z + 1} \\ v &= \frac{L_5 x + L_6 y + L_7 z + L_8}{L_9 x + L_{10} y + L_{11} z + 1} \end{aligned} \quad (2)$$

其中 $L_i (i = 1, 2, \dots, 9)$ 为实际坐标与像坐标转换系数,通过标定可以计算得到,利用两个以上 CCD 同一点的像坐标,采用最小二乘原理就可以计算出该

点的实际坐标,这称之为重构。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)^[3,4]。值得提出的是目前采用影像解析的方法只能进行离线测量的方法,而且对坐标点的识别也必

须人工参与,也有人在人体关节处贴标记采用图象处理的方法进行自动识别,但是这种方法只局限于实验室的研究中,所以如何对人体各个关节点进行自动识别至今尚为一个难点。

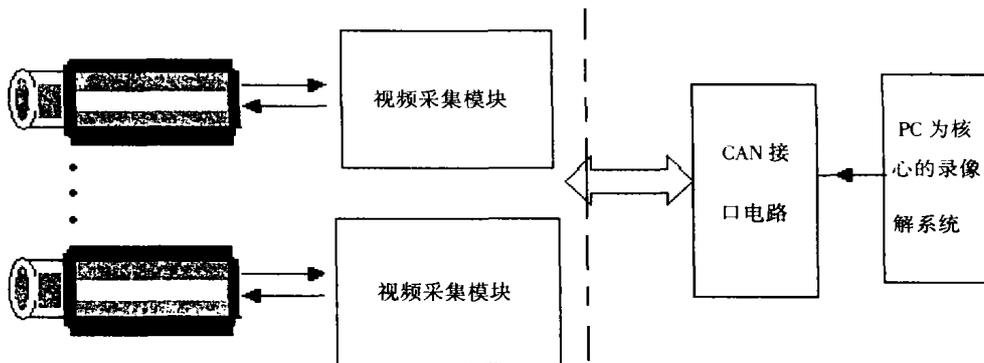


图 5 人体运动视频捕捉模块

2.3 人体脚力测试

多维测力台是测试人体脚力的有效方法,测力台从原理上可分为压电式和应变式,从结构上分又可分为组合式(多个多维力传感器组合而成)和一体化式。我们采用自行研制的基于一一体化的测力平台 SAFMAS_T,其整体结构采用十字梁结构,应变式原理,解耦时采用分区域的方法,由于整个测力台采用一个六维力传感器且弹性体一块材料进行整体加工,所以将之称为一体化测力台,其整体误差正负 1%,最大量程 1.2 T,可以根据需要进行多台合成使用。与组合式的测力台相比较没有初始耦合作用力,所以安装调试方便,更适宜比赛训练环境,其原理和方法在文献[2]中已做详细介绍。

2.4 肌肉电测量测试方法

人体并不是一个刚体,他的运动主要靠分布于全身的肌肉的收缩产生,所以研究人体在运动中的肌肉的运动情况是非常重要的,目前尚没有直接测量肌肉力矩的有效手段,在运动实践中研究肌肉的运动多采用无损伤类的表面肌电遥测技术,即将表面电极固定在被测定肌肉的皮肤上,当肌肉收缩时根据容积导体原理,动作电位可从肌纤维经组织液的导电作用,反映到皮肤表面,根据电位的变化从而掌握整块肌肉的变化。由于肌电信号相当微弱需要精密的生物电放大器进行放大,然后进行采样。为了满足实际测试的需要通常采用遥测,由下位机采

样存储然后与上位机进行无线通讯,在我们的系统中采用 PTR2000 无线收发数传 MODEM,工作频率为 433 Hz,FSK 调制,具有两个频道适合肌电测量的多信道传输的需要,传输速率 20 kbit/s。肌电信号通常混杂着一些噪声,一般小于 10 Hz,所以设计了截止频率为 10 Hz 的高通滤波器,根据得到的数据可以绘制肌电图(electromyogram),见图 6。利用肌电图可以说明某块肌肉或一块肌肉的哪些部分参与活动,各块肌肉的活动时间,收缩时间的长短和收缩强度,另外可以根据肌电指标研究其与肌肉或肌力矩的关系^[5]。

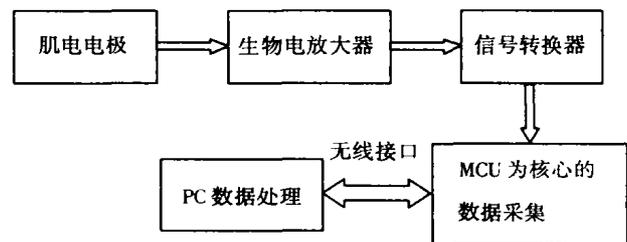


图 6 肌电测试模块结构图

3 信息的加工与处理

由于每个目标的测试参数各异,其表达方式各异,而由单个测试仪器搭建的环境没有集中的控制和处理模块,所以测试后将会带来很大的工作量,另

外由于测试数据没有统一的规范和格式,在进行后续的深入研究也是非常不便的,我们提出的综合测试平台提供综合控制处理单元,可以很好解决这个问题。如图7所示,综合控制与处理单元功能模块结构,测试同步与逻辑控制主要根据运动的时序特点,对多目标测试模块进行同步与逻辑控制,经过通讯接口读取暂时存储于测试模块的实时测试数据,

并将其存入数据库中,接着对数据进一步处理,包括运动图象的解析,肌电信号的滤波等,然后根据力学原理进行力信息特征提取,包括非测量力学量和运动学参数的计算和规范化,最后结合专家知识库对力学数据进行融合与相关性分析,或根据计算得到人体惯性参数建立运动模型。

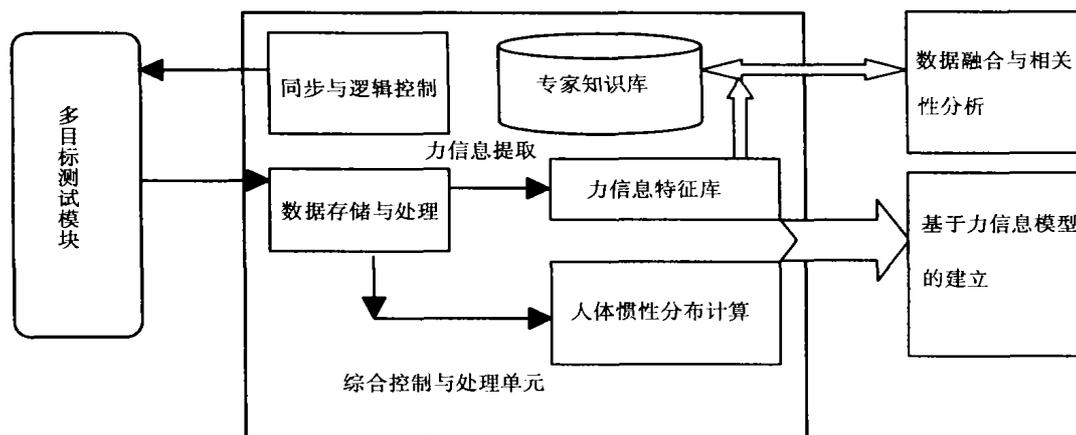


图7 综合测试平台

4 结束语

本文总结了在人体运动的力传输特性的基础上,提出了一种运动员力信息综合测试平台,并且介绍了其结构原理以及数据的处理和后加工等问题,采用了集散控制策略解决了不同测试项目的同步测量与逻辑控制问题,利用统一的数据处理平台,统一了数据的规范,大大减小了数据处理的工作量,并为后续的研究奠定了很好的基础,最后值得提出的是对于每个测试方法,传感器本身精度的提高仍然是需要进一步探讨的问题。

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 第四界全球智能与自动化大会, WCIC'20023.
- [3] Abdel-Aziz, Y. I., & Karara, H. M. (1971). Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry [C]. In: Proceedings of the symposium on Close-Range Photogrammetry (pp. 1-18). Falls Church, VA: American Society of Photogrammetry.
- [4] Chen, L. (1985). A selection scheme for non-metric close-range photogrammetric systems [M]. Unpublished Doctoral Dissertation, University of Illinois, Urbana-Champaign.
- [5] Clarys JP: Electromyography and in sports and occupational settings: a update of its limits and possibilities[J]. Ergonomics 2000 Oct, 43(10):1750-62.