



# 视频图像多重处理技术在体育科研领域中的应用和发展

## Application and Development of Video Image Multiple Processing Technology in Sports Scientific Research

苑廷刚<sup>1\*</sup>, 王国杰<sup>2</sup>, 何卫<sup>1</sup>, 姜自立<sup>3</sup>, 程泓人<sup>1</sup>, 刘平<sup>1</sup>,  
韩鹏鹏<sup>1</sup>, 郑富强<sup>4</sup>

YUAN Tinggang<sup>1\*</sup>, WANG Guojie<sup>2</sup>, HE Wei<sup>1</sup>, JIANG Zili<sup>3</sup>,  
CHENG Hongren<sup>1</sup>, LIU Ping<sup>1</sup>, HAN Pengpeng<sup>1</sup>, ZHENG Fuqiang<sup>4</sup>

**摘要:**通过文献资料调研、专家访谈、调查和实验测试等方法,并结合多年应用视频图像处理技术帮助运动员提高竞技能力的研究成果,论述视频图像多重处理技术在体育科研领域中的应用现状和未来发展趋势。研究表明,视频图像多重处理技术在帮助运动员提高技战术能力、比赛公平判罚、大数据获取和冠军模型构建等方面提供了强有力的科学保障。研究认为,视频图像处理技术已经在体育科研领域中得到了广泛的应用和普及,促进了运动员技战术能力的提高和体育科学技术的发展;视频全景分析技术是运动技术研究的“金钥匙”;视频标注和多维数字化解析是运动技术大数据的重要来源;三维场景合成、手机端视频解析、质心自动合成、人工智能和电子裁判是未来视频图像处理技术在体育科研领域内的重要发展趋势。建议加大视频图像处理技术在体育科研领域中的开发和研究,全面推广和普及视频图像处理技术的应用。

**关键词:** 视频图像; 视频全景分析技术; 数字化解析; 视频标注; 电子裁判

**Abstract:** Through literature, expert interview, investigation and experiment, and combined with the research results in many years of applying video processing technology to help athletes improve their competitive ability, this study comprehensively discusses the application status and future development trend of video image multiple processing technology in the field of sports scientific research. The results show that video image multiple processing technology provides a strong scientific guarantee for athletes to improve their technical and tactical ability, fair judgment, big data acquisition and champion model construction. Conclusions: Video processing technology has been widely used and popularized in sports scientific research, which has promoted the improvement of athletes' technical and tactical ability and the development of sports science and technology; video panoramic technology is the "golden key" of motion technology research; video annotation and multi-dimensional digital analysis are important sources of big data for motion technology; three-dimensional scene synthesis, mobile video analysis, automatic centroid synthesis, artificial intelligence and electronic referee will be important trends in the field of sports research in the future. The suggestion is to increase the development and research of video image processing technology in the field of sports science research, and comprehensively promote and popularize the application of video processing technology in sports practice.

**Keywords:** video image; video panorama technology; digital analysis; video tagging; electronic referee

**中图分类号:** G80-05 **文献标识码:** A

### 基金项目:

国家体育总局体育科学研究所基本科研业务费资助项目(基本21-23)

### \*通信作者简介:

苑廷刚(1969-),男,研究员,博士,主要研究方向为运动视频图像多重处理技术、运动技术分析和评价、运动训练科学化监控和评价, E-mail: yuantinggang@ciss.cn。

### 作者单位:

1. 国家体育总局体育科学研究所, 北京 100061;
  2. 南京体育学院, 江苏南京 210014;
  3. 中国田径协会, 北京 100763;
  4. 山东师范大学, 山东济南 250014
1. China Institute of Sports Science, Beijing 100061, China;  
2. Nanjing Sport Institute, Nanjing 210014, China;  
3. Chinese Athletics Association, Beijing 100763, China;  
4. Shandong Normal University, Jinan 250014, China.

体育科研领域中,运动技战术研究与视频图像处理技术密不可分并协同发展。有

研究表明,人类从外界获得的所有信息中视觉信息约占80%以上,可见视频图像信息对人类认识世界的重要性和主导性(朱秀昌等,2016)。同样,视频图像信息对运动员学习和掌握运动技术具有重要促进作用(方兴,1995)。在某种意义上,运动视频图像是运动员学习、掌握和提高运动技战术的有效途径和工具(李爱东等,2005;苑廷刚,2005)。随着智能手机视频技术的发展,使得视频图像分析技术在体育科研领域中的应用更加普及。因此,本研究结合应用视频图像处理技术帮助运动员提高竞技能力的研究成果,对体育科研领域中视频图像多重处理技术进行了系统性综述和展望。

## 1 研究方法

### 1.1 文献资料调研

本研究文献主要来源于国家图书馆、北京体育大学图书馆、中国知网、万方数据库、EBSCO数据库、超星期刊及Google学术等搜索引擎。在文献查阅中使用的中文检索词包括:视频图像处理、视频解析、视频全景、视频标注、技战术统计、视频裁判助理、鹰眼技术、虚拟现实和仿真技术、体育视频大数据、冠军模型和电子裁判等;英文检索词包括:video processing in sport、video analysis technique、computer vision in sport、sport cameras tagging、team video analysis、video referee、video deep learning in sport等。文献资料调研发现,目前鲜见关于视频图像多重处理技术在体育科研领域中的应用研究。

### 1.2 专家访谈

访谈对象主要为国家队教练员和运动员、单项体育协会主要负责人、国家体育总局训练局主要负责人、国家体育总局体育科学研究所科研人员和外籍教练员等(表1)。专家访谈总人数为84人,均为硕/博士学历,具有较强的运动视频图像处理实践经验。专家一致性意见和建议均为加大视频图像处理技术在体育科学研究和技战术评价中的应用。

表1 专家访谈信息

职务/职称	学历	人数/名	研究方向
运动项目中心主任	博士	4	运动训练学/运动生理学
运动项目中心副主任	博士	5	运动训练学/体育管理学/ 运动生理学
国家队总教练	博士	4	运动训练学
国家队副总教练	硕士	6	运动训练学
研究员(副)/教授(副)	博士	15	运动训练学/运动生物力学/运动生理学/运动解剖学/信息学/工程学/计算机技术学/视频图像工程学
	硕士	21	运动训练学/运动生物力学
国家级教练员	博士	13	运动训练学
	硕士	16	运动训练学

### 1.3 调查

根据国家田径队、游泳队、跳水队、花样游泳队、体操队、足球队、篮球队、排球队、网球队、羽毛球队、乒乓球队、举重队、曲棍球队、棒球队、冰球队、赛艇队和皮划艇队等的调查发现,使用视频图像处理技术进行运动技战术分析和研究的比例为100%,可见视频图像多重处理技术在体育科学训练和研究中应用广泛,应用前景广阔。

### 1.4 实验测试

使用多种视频图像处理技术软硬件工具,对优秀运动员的运动技战术能力进行了专门性的测试和实验研究。比如,对短跑运动员的跑动技术、撑竿跳高运动员的持竿助跑技术、CBA运动员的跑动能力和技战术特征、足球运动员比赛跑动距离特征、跳跃远度项目成绩的视频测量、8机位的视频形体识别和质心CM合成、运动视频全景分析技术的开发和应用、手机版(Android、iOS系统)视频图像多重处理技术Coach Eye系列软件等的实验研发和应用。

## 2 视频图像处理技术在体育科研领域中的应用概况

### 2.1 目的和意义

视频图像是运动员学习运动技能和研究运动技术直接的信息源。运动员对运动技战术的学习是建立在对视频图像的观察和感知的基础上,然后在大脑中建立正确的动作模式,经过对视频图像不断模仿和学习从而逐渐掌握(兰彤,2017)。有研究表明,运动员和教练员采用视频图像观察和分析自身和对手的技战术能力(邵峰,2008)及团队技战术表现等关键信息(陶焜等,2005),并快速对其产生积极的应对和反馈。

视觉处理在某些运动项目中起着关键的主导作用。有研究证明,某些运动项目视觉处理起到了主导作用,视觉是以视频图像信息处理为主要来源。视频图像分析和观察是运动员提高运动技术水平有效手段之一,也是运动员和教练员日常训练和比赛中最常用的监控技术手段之一(潘雪峰等,2006)。例如,球类项目的组织后卫或控球运动员都是视觉处理能力的主导者。

视频图像处理技术是在对运动员技战术监控中无干扰状态下进行的。实践表明,视频图像处理技术能够在对运动员无干扰、无需穿戴设备的情况下再现运动员真实的运动表现,尤其是多机位的视频采集和反馈,能够全方位展现运动员的真实运动技术表现(苑廷刚等,2019),是体育科研人员、运动员和教练员常用的运动技战术分析工具(周晓东等,2008),同时在视频图像解析的基础上进行运动技术的量化解析,再现运动技战术的真实表现,是教练员和运动员较容易接受和经常使用的工具,在体育科研领域中具有较强的实用价值(孙义良,2003)。

视频图像是体育科研领域中对技战术研究较为直接和常用的工具。对不同的运动项目、运动形式和运动员

的技战术特点进行针对性的视频图像采集,并利用专业视频图像处理软、硬件进行技战术分析研究,在训练中和比赛现场提供有价值的技战术表现分析,以达到优化运动员个人技战术表现和团队技战术水平的目的。目前,视频图像多重处理技术在体育科研领域内得到了广泛应用,对提高运动员技战术能力和水平起到了重要的支撑和保障作用。随着计算机视频图像技术的发展和进步,视频图像画质增强至 4K/8K、由常速向高速、由简单向智能、由昂贵向普及进步,未来的运动视频图像将会以超高清、全方位、多维度和沉浸式的视角展现,使视频图像多重处理技术成为体育科研领域中较为直观、基础和科学、有效的实用工具。

## 2.2 常用视频图像处理软件

视频图像多重处理技术已经广泛应用体育科研领域中,成为全世界运动员和教练员进行技战术学习、分析和研究的常用工具(表 2)。比如, SportCode 视频技战术编辑系统、Dartfish 视频处理系统和 Simi 三维解析系统、英国的网球 Hawk-eye 鹰眼系统(Hawk-eye company, 2010; Stensland et al., 2014)、法国的 Amisco 技战术和跑动距离追踪系统(Castellano et al., 2014)、美国 NBA 的 Sports VU 技战术分析系统、德国的 Simi Shape 3D 人体轮廓识别和自动解析系统、足球的视频裁判助理(video assistant referee, VAR)系统等,都在不同的体育竞技领域得到了广泛的应用(Amisco company, 2013; Bartoli et al., 2002)。

表 2 视频图像处理软件及其应用情况

Table 2 The Application of Video Image Processing Systems in the Field of Sports Skills, Tactics Analysis and Research

软件所属单位名称	国家	软件名称	网址	应用情况
Dartfish	瑞士	Darttrainer	<a href="http://www.dartfish.com">http://www.dartfish.com</a>	技战术研究
Hawk-eye	英国	Hawk-Eye's vision-processing	<a href="http://www.hawkeyeinnovations.co.uk">http://www.hawkeyeinnovations.co.uk</a>	技战术研究
SportVU	美国	SportVU-STATS	<a href="http://www.stats.com/sportvu-basketball-media">http://www.stats.com/sportvu-basketball-media</a>	技战术研究
Amisco	法国	Amisco tracking	<a href="http://www.sportuniversal.com">http://www.sportuniversal.com</a>	技战术研究
Simi	德国	Simi shape 3D softwares	<a href="http://www.simi.com">http://www.simi.com</a>	技术研究
VAR	荷兰	Video Assistant Referee	<a href="https://football-technology.fifa.com/en">https://football-technology.fifa.com/en</a>	技战术研究
中国科学院计算技术研究所	中国	DV Coach	<a href="http://www.ict.ac.cn">http://www.ict.ac.cn</a>	技术研究
Transana Lead	美国	Transana	<a href="http://www.transana.org">http://www.transana.org</a>	技战术研究
Motionpro	美国	MotionPro	<a href="http://www.motionprosoftware.com">http://www.motionprosoftware.com</a>	技战术研究
DigitalTec	澳大利亚	Digital Video Tec	<a href="http://www.dtsvideo.com">http://www.dtsvideo.com</a>	技战术研究
Kinovea	美国	Kinovea	<a href="http://www.kinovea.org">http://www.kinovea.org</a>	技术研究
Matchanalysis	美国	Mambestudio	<a href="http://matchanalysis.com">http://matchanalysis.com</a>	技战术研究
Prozone	英国	Prozone 3	<a href="http://www.prozonesports.com">http://www.prozonesports.com</a>	技战术研究
Pinnacle	美国	Pinnacle Studio	<a href="http://www.pinnacleteamsports.com">http://www.pinnacleteamsports.com</a>	技战术研究
PosicomAS	挪威	Posicom	<a href="http://www.posicom.no">http://www.posicom.no</a>	技战术研究
Qualisys	瑞典	QualisysVideo Analysis	<a href="http://www.qualisys.com">http://www.qualisys.com</a>	技术研究
ASTAR	美国	ASTAR IV_pro	<a href="http://www.astarls.com">http://www.astarls.com</a>	技术研究
Quintic	英国	QuinticVideo Analysis	<a href="http://www.quintic.com">http://www.quintic.com</a>	技术研究
SportsCAD	德国	SportsCAD Platinum	<a href="http://www.sportscad.com">http://www.sportscad.com</a>	技战术研究
MotionSuite	美国	MotionSuite Complete	<a href="http://www.allsportsystems.com">http://www.allsportsystems.com</a>	技术研究
Data Project	意大利	Data Video	<a href="http://www.dataproject.com">http://www.dataproject.com</a>	技战术研究
MasterCoach Institute	德国	Mastercoach	<a href="http://mastercoach.de">http://mastercoach.de</a>	技战术研究
Elitesports	英国	Focus X2	<a href="http://www.elitesportsanalysis.com">http://www.elitesportsanalysis.com</a>	技术研究
Sportperformance	美国	Sportperformance	<a href="https://www.sportperformancetracking.com">https://www.sportperformancetracking.com</a>	技战术研究
REM informatique	法国	StadeXpert	<a href="http://www.afd.com">http://www.afd.com</a>	技战术研究
Second Spectrum	美国	Second Spectrum	<a href="http://thesecondspectrum.com">http://thesecondspectrum.com</a>	技战术研究
SportCode	澳大利亚	SportCode elite	<a href="http://sportscode.com">http://sportscode.com</a>	技战术研究
VULCAM	美国	Multi-angle synchronized video with iPads	<a href="https://www.vulcam.tv">https://www.vulcam.tv</a>	技术研究

## 3 视频图像多重处理技术在体育科研领域中的主要应用

视频图像处理技术在体育科研领域中应用主要包括:多种形式的视频采集和播放、同步叠加比较、同步分屏比较、多机位拼接和三维场景合成、全景图合成、二维和三维解析、标志点 Mark 自动追踪、视频测量、计算机仿真和虚拟现实、鹰眼技术、视频裁判助理、视频标注、球类项目技战术统计和跑动距离测量等。

### 3.1 运动视频采集技术

运动视频采集是进行多重技术处理、技战术分析和评价的基础。根据拍摄速度可分为常速采集和高速采集(因为视频制式的不同决定了 Pal 制常速为 25 fps,奇数场在前; Ntsc 制常速为 29.97 fps,偶数场在前),单帧画面都包含了奇数场和偶数场 2 场,因此常速采集频率为 50 Hz 或 60 Hz。超过常速的均为高速采集,高速采集根据研究

目的不同而选择不同采集频率,通常除子弹击发和终点摄像(如短跑项目)需要 10 000 Hz 的拍摄速度外,其他运动项目采用 200 Hz 的拍摄速度即可满足研究需要。常用视频采集形式可分为定点定焦、定点变焦、定点定焦扫描、定点变焦扫描、移动定焦、滑轨跟踪、无人机跟踪和智能摄像头跟踪等;根据机位数量不同可分为单机位、双机位和多机位;根据同步性可分为独立采集和同步采集。

### 3.2 运动视频播放控制功能

运动视频图像可根据研究需要按时间序列进行播放控制、加速回放和快进、任意慢速度控制、逐帧或逐场播放、逐帧或逐场暂停和画面定格、双屏播放或多屏同步播放;分屏、画中画和叠加等多种形式的播放控制。可以对视频图像的关键点进行标注和直接定位,直接获取所需的时间点和关键画面。例如,用 100 m 比赛终点冲刺瞬间的名次判定需要使用视频图像标注(终点线和胸前缘)和关键画面点定格计时来判决运动员的名次(图 1)。

### 3.3 高速视频电子计时功能

目前,世界田径联合会(World Athletics)在径赛项目上统一采用高速视频电子计时系统计算比赛成绩。经过多年实践表明,高速视频电子计时系统是较为精确的科学计时工具,由发令枪传感器启动视频计时系统开始进行时间记录,使用精度为 0.000 1 s 的高速视频记录运动员通过的终点时间,快速显示比赛成绩(图 2)。



图 1 100 m 比赛终点视频图像冲刺画面定格和名次判决  
Figure 1. The Freeze Frame of the Sprint and Ranking Judgment in the Video Image of 100 m Competition

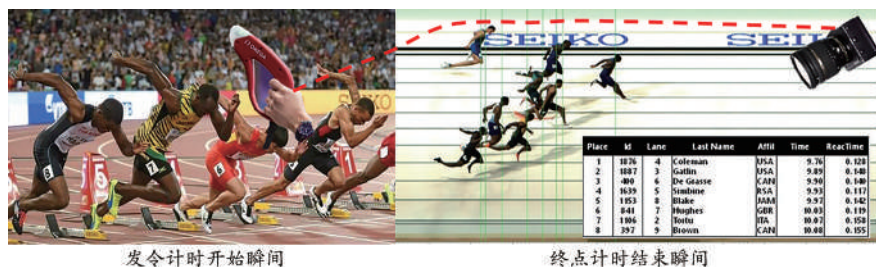


图 2 短跑比赛视频计时系统示意图

Figure 2. Schematic Diagram of Video Timing System for Sprint Competition

### 3.4 视频测量技术

视频测量技术通过对场地的二维或三维空间进行空间标定测量运动员或者器械的落地距离,给出成绩。跳远比赛前使用高清高速摄像机在沙坑的两侧进行每隔 1 m

长度的场地标定,比赛中可直接标注出运动员的落地点坐标,通过视频测量程序给出成绩数据。该技术可以节省裁判的人力需求,提高效率 and 判罚公平性,并能够与电视转播信号进行同步,方便观众观赛和了解比赛排名(图 3)。

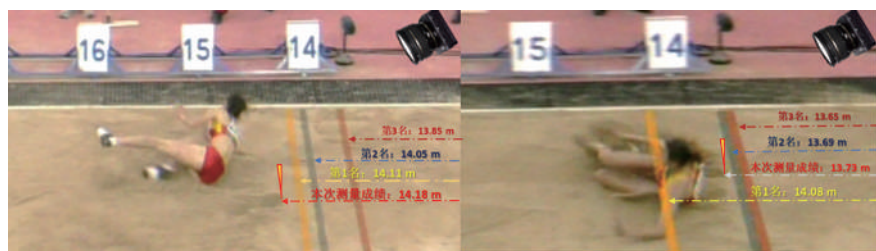


图 3 跳跃远度项目视频测量和前 3 名成绩排名

Figure 3. Video Measurement of Distance Jumping Event and Ranking Status of the Top 3

### 3.5 视频同步叠加比较技术

视频同步叠加比较技术可以比对运动员技战术的优缺点。视频同步叠加技术包括:同场地定点背景下的直接叠加、同场地扫描背景消除后叠加、不同场地定点背景

的叠加、不同场地定点(或扫描)背景消除后叠加、扫描图像的直接叠加、扫描图像的背景消除后叠加等。视频同步叠加比较技术是在体育科学训练和研究中的常用手段。例如,在 110 m 跨栏项目中对刘翔和史冬鹏下栏后左

脚着地角度的测量结果发现,刘翔的着地角度为  $25.0^{\circ} \pm 2.5^{\circ}$ ,史冬鹏的着地角度为  $5.0^{\circ} \pm 2.2^{\circ}$ ,存在显著性差异 ( $n=10, P < 0.001$ ; 图 4)。

### 3.6 视频同步分屏比较技术

视频同步分屏比较技术主要包括双屏、三屏、四屏和多屏的视频同步分屏比较,同一运动员的多机位和多角度视频同步分屏比较等。视频同步分屏比较需要首先确立同一运动的关键画面(如田径跳跃类的起跳离地瞬间),然后通过播放控制键进行关键画面的逐帧、逐场播放,查询和定位好全部视频的同步点,即完成视频的同步分屏比较。通过视频同步分屏对比,可以较为直观地观察和分析运动员的技战术差异,对比技战术的优缺点。

### 3.7 视频全景分析技术

视频全景分析技术是由瑞士 Dartfish 公司于 2000 年开发的视频图像冻结功能(Cassirame et al., 2019),主要原理是从复杂背景中直接提取运动前景,并按照时间序列进行连续的运动前景排列和背景融合。该技术使运动技

术分析更加连贯和接续,有助于全面、综合地把握运动技术的优缺点。视频全景分析技术是运动技术特征研究的优质技术和工具,是运动技战术分析评价的“金钥匙”。

视频全景图包含运动技术动作结构的全局性和完整性特征信息(图 5)。

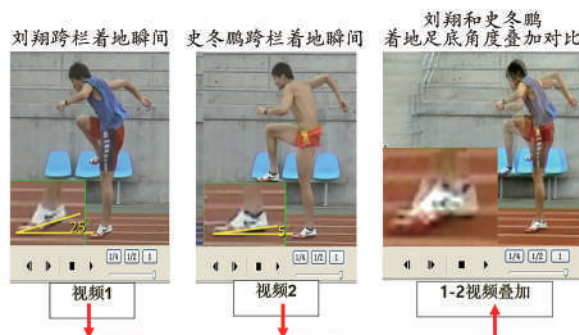


图 4 刘翔和史冬鹏跨栏落地角测量和视频同步叠加  
Figure 4. Liu Xiang and Shi Dongpeng's Landing Angles Measurement and Video Overlay in Hurdles

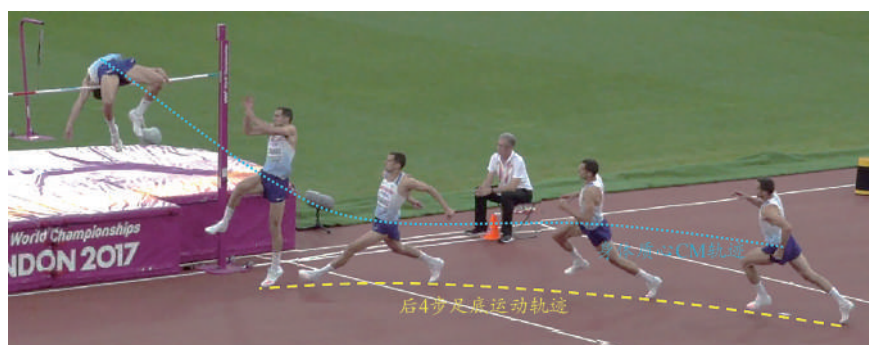


图 5 跳高项目最后助跑和起跳阶段视频全景图及身体质心 CM 轨迹

Figure 5. The Video Panorama of the Final Approach and Take-off Stages of the High Jump Event and the CM Trajectory of the Body's Center of Mass

1)全面反映运动员的连续动作技术结构特征。视频全景图包含运动技术的连续动作时序和完整结构信息,是连续技术动作时间序列图像的有机展示,是运动关键技术画面或时相的科学集合。根据需要对运动员或运动前景进行完整的形体识别和提取,同时对运动背景进行连续的融合固定,将运动前景图按照时间序列和空间位置进行线性拼接和直接合成。视频全景合成可以进行连续固定时间间隔生成和不固定时间间隔生成,制作视频全景图包括特征点提取、特征画面匹配、图像拼接和背景融合,全景图像合成和输出等技术手段(Varzakas, 2011)。将一个动作视频转化为静态的动作全景图像从而达到技术动作冻结效果,并可以静态分析技术动作的连续变化过程与轨迹,研判动作的完整性和全局性。

2)直接测量和反馈关键技术参数。通过对视频全景图中单个时相的时间为位置节点,按照场地实际距离进行测量和标定,可以在视频全景图上测量运动员的跑动

时间、跑动距离、角度、步长、质心 CM 平均速度和步平均速度等参数(图 6),实现运动技术分析和演示功能。对运动技术的分析和改善达到“所见即所得”的效果。

3)更加清晰地反映运动员全局性运动技术的差异。对不同运动员的全景图进行同画面的同步对比,有助于全局性直观比较不同运动员之间技术动作的差异,以及技术结构差异点的画面,更有利于运动员发现技术问题,从而更有针对性地改进技术动作的薄弱环节。例如,对中外男子跳远运动员的关键时相画面进行的全景图同步对比(图 7),能够更加清晰地观察到 2 名运动员的助跑阶段、踏跳阶段、腾空阶段和落地阶段的技术差异,帮助运动员更好地对比分析技术动作。

4)有效提高视频二维解析的数据精度。视频解析中常见因有阻挡不能精准定位解析点,这是视频解析技术中的一个不足。通过对解析点的视频全景合成,利用相邻画面在同一个视频里进行解析点的判定,按照关键点

的运动轨迹更加清晰地进行图像解析和自动追踪,使得二维解析更加科学。将关键运动学参数集中标注在视频全景图内,有助于运动员和教练员更加清晰地掌握运动技术整体特征。例如,对撑竿跳高项目全程助跑距离、助跑时间、步数、步长和步速度等(图8)、跨栏(起跨距离、落

地距离、质心高度、腾空时间和躯干角度等)(图9)、花样滑冰起跳速度、飞行距离和腾起高度(图10)的视频全景图数据解析和标注,获取带有参数结果的技术全景图像,可以帮助运动员全面和准确解析运动技术特征。

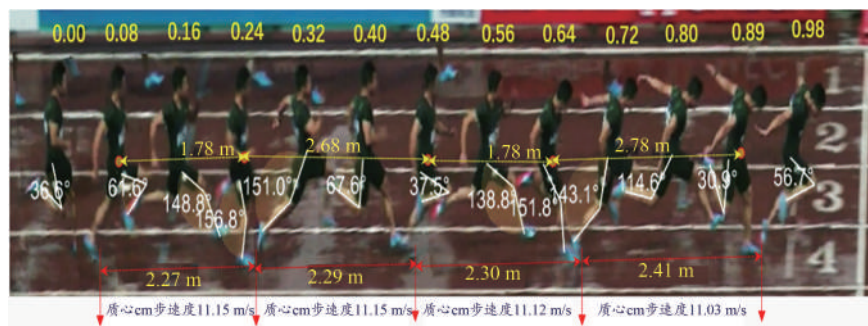


图6 短跑项目时间、距离、角度、步长和质心CM参数的视频全景图解析

Figure 6. Video Panoramic Analysis of Time, Distance, Angle, Step Length and Centroid CM Parameters of the Sprint Events

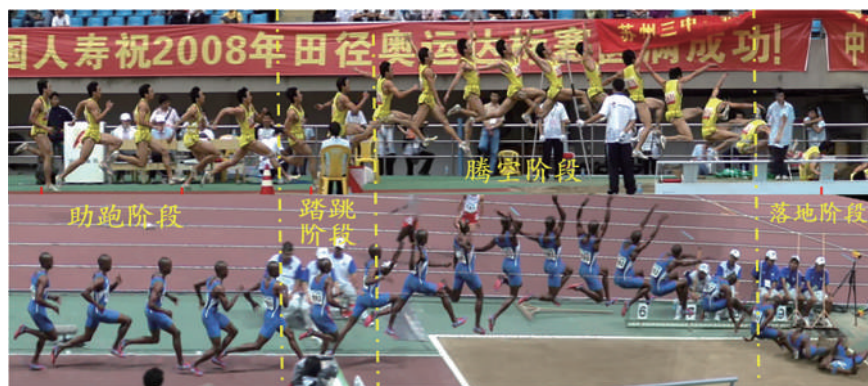


图7 跳远项目中外优秀运动员跳跃技术过程全景图同步对比

Figure 7. Synchronous Comparison of Panorama of Jumping Technology Process of Chinese and Foreign Elite Athletes in Long Jump Events

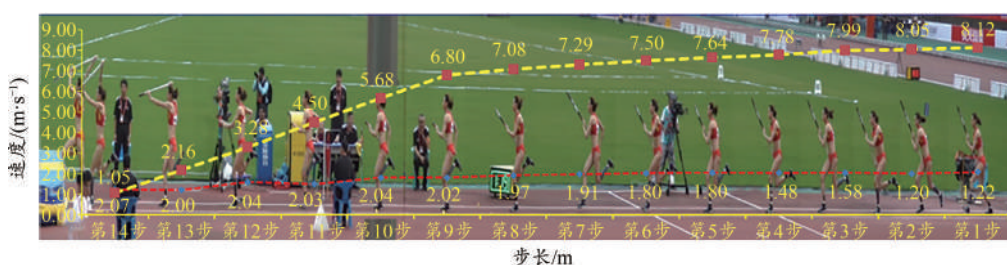


图8 撑竿跳高助跑全程步长、步速度和时间的变化视频全景图解析

Figure 8. Video Panoramic Analysis of the Changes of Step Length, Step Speed and Time in the Whole Run-up of Pole Vault

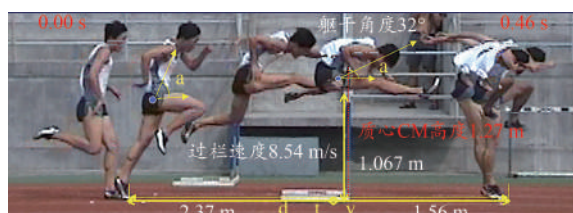


图9 跨栏关键技术参数的视频全景图解析

Figure 9. Video Panoramic Analysis of Key Technical Parameters of Hurdle

5)更清晰地展现旋转技术动作的连续动作特征。旋转运动视频全景背景变换和前景平拉开体育运动中存在大量旋转技术动作,比如田径中的铅球投掷动作和棒球的投球动作等,均既有平动又有转动,对其进行视频全景图合成时会出现连续运动前景图像的相互遮挡现象,不利于对运动技术的连续性观察。为了更好地观察和分析旋转技术动作的运动技术视频全景图,可以通过视频全景序列图像的前景提取平拉开技术使遮挡的视频全景图

像按照特定的时间和空间顺序有序排列和清晰展示(图 11、图 12)。视频全景平拉开技术也可以根据研究需要进行特定排列,方便对整个运动技术动作进行观察。

### 3.8 视频图像运动关键点 Marks 的识别和轨迹追踪技术

视频图像处理软件如 Peak motus、Simi motion 和 Dart-fish 等提供了视频图像的自动追踪识别功能(Castellano et al., 2014; Wang et al., 2000)。进行视频图像解析时需要关键点进行识别,图像识别的原理是像素点集合形成

的轮廓清晰度、色彩饱和度、色温和色差等基本构成要素。对图像 Mark 点识别后可以轨迹追踪,以轨迹的形式显示关键点 Mark 的变化特征,反映运动技术情况。目前,视频图像识别技术主要有手动识别和自动识别两种,手动识别能够较为精确地在图像上做出标记,自动识别技术精度还需进一步改善和提高。对运动员的髌、膝、踝等关键关节进行视频图像的识别和追踪,可以很好的分析运动员身体主要环节运动技术关键点和运动轨迹特征等(图 13)。



图 10 花样滑冰运动员飞行距离、起始速度、落地速度和飞行高度参数的视频全景解析示意图

Figure 10. Video Panorama Analysis Diagram of Figure Skaters' Flight Distance, Initial Speed, Landing Speed and Flight Altitude Parameters

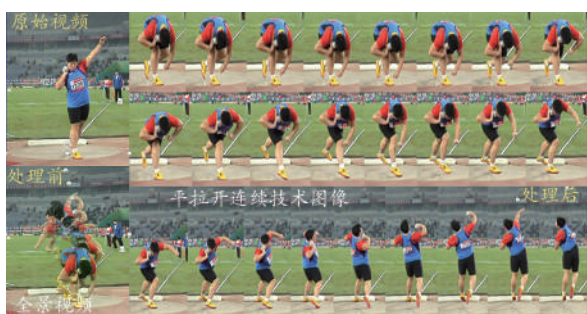


图 11 铅球项目运动技术视频全景图折叠和平拉开图像处理技术示意图

Figure 11. Shot Put Sports Technology Video Panorama Folding and Translating to Image Processing Technology Diagram



图 12 棒球投球过程运动技术视频全景图折叠和平拉开排列图像处理技术示意图

Figure 12. Panorama of Baseball Throwing Process Motion Technology Folding and Spreading Image Processing Technology

由于该技术需要运用特定的人体参数模型建立和求解人体的质心运动数据,还要进行身体各环节标志点的手动解析,耗时较长,反馈速度较慢,因此计算机深度学习的智能化解析技术必将成为未来视频图像处理技术在体育科研领域中的重点发展趋势之一。

### 3.10 三维视频定点变焦大范围扫描解析技术

Simi Motion 等软件实现了三维大范围扫描解析功能,可以使传统三维定点解析范围从 7 m 扩大到约 30 m。其

### 3.9 运动技术的二维和三维视频解析技术

二维和三维视频解析技术是运动技术分析和研究中常用和经典的研究方法,是需要按照特定的视频拍摄要求和测试规范进行的视频图像处理技术。二维视频解析是对 1 台摄像机拍摄的平面运动进行的运动学参数提取;三维视频解析技术是对至少 2 台摄像机拍摄的视频进行的运动学参数解析。二维和三维视频解析技术需要在赛前或训练前进行空间标定,然后使用直接线性变换法线性转换为空间数据坐标,通过手动或自动解析人体关键环节节点的空间坐标,合成人体关键环节节点坐标参数,最后进行数据平滑,获得二维或三维运动学参数。

工作原理是对摄像机的 Pan/Tilt/Zoom 扫描拍摄视频进行坐标量化,实现三维大范围的运动学数据采集。三维大范围扫描解析技术可以在理论上实现多台摄像机任意扫描视场范围内的三维空间数据解析,如对三级跳远全程范围的大范围解析。

在进行三维大范围扫描解析过程中需要对每个控制点进三维坐标测定和三维直接线性转换,同时需保证摄像机拍摄的每幅画面至少出现 2 个控制点(图 14)。

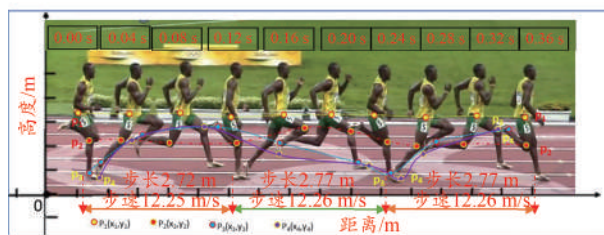


图13 短跑项目运动员下肢关键环节点的识别和轨迹追踪技术

Figure 13. The Trajectory of the Key Links of the Sprinter

注:P1. 髋关节点; P2. 膝关节点; P3. 踝关节点; P4. 足尖点。

### 3.11 运动虚拟现实技术和运动仿真技术

运动虚拟现实(virtual reality, VR)技术可以在帮助运动员优化运动技术、模拟身临比赛场景、再现比赛环境、

重塑比赛行为和优化比赛策略等方面具有重要的作用,同时也可以帮助运动员实现心灵感应和放松,促进疲劳恢复和睡眠。利用先进科学技术促进运动员技术优化、身心机能调整、竞技能力再现和辅助改善运动表现等功能。

运动仿真(motion simulation, MS)技术是使用仿真技术模拟真实情景下人体或物体运动技术动作形式,达到再现和优化运动技术动作的目的。运动仿真可以揭示神经肌肉系统的运动内在规律、神经肌肉控制原理、探讨运动损伤的发生机制,以及进行难新动作的运动技术模拟和训练,帮助运动员打破极限等都具有较强的科技助力作用。运动仿真涉及到人体或物体建模,需要达到与人体或物体结构、密度、粘弹性、活性、功能和自由度等对应的仿真体才能进行客观和科学的仿真和优化。

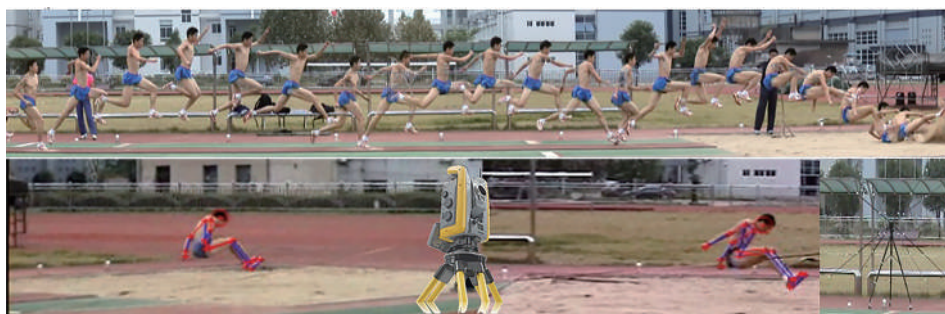


图14 三级跳远全程三维大范围录像扫描示意图

Figure 14. Schematic Diagram of Three-Dimensional Large-Scale Video Scanning Throughout the Triple Jump

注:红色点为身体主要关节中心点;红色线为身体主要关节中心点连线,表示身体主要环节中心线。

### 3.12 视频多机位立体沉浸式无缝拼接和场景合成技术

单一摄像机采集的视频信息不能完整地展现运动员个体或群体的运动技战术过程,需要使用多个摄像机或摄像机矩阵对运动技术的全程进行采集,因此需要将多个摄像机或摄像机矩阵的视频图像进行无缝的完整拼接,或使用摄像机矩阵对三维场景进行实物合成。如实现对100 m短跑、跳远和三级跳远的多机位视频图像的无缝拼接,球类比赛场地的三维场景的真实合成,以便整体性和全局性观察和分析运动员的全程技战术特征。

### 3.13 关键运动技术动作视频标注技术

视频标注技术主要是对运动技术关键时相点进行语义的定义和分类,方便后期进行视频图像的统计、归类、剪辑和合成等。如对三级跳远项目的踏板瞬间、第1跳起跳瞬间、第2跳起跳瞬间、第3跳起跳瞬间和落地瞬间等进行关键画面的定义,为后期研究分析三级跳远的3次起跳关键技术进行画面点的直接查询和定位,方便进行运动技术的分析和评价。视频标注技术在球类项目中的应用较为广泛,主要为后期进行的技战术统计报告做好准备。比如,对篮球比赛中的2分球、3分球、罚球等得分情况进行标注,方便后期统计得失分情况;对抢断、篮板、挡拆、助攻、失误、犯规和有效进攻等进行视频标注,方便

后期技战术报告的快速生成和技战术统计以及为临场指挥作出科学决策提供依据。

### 3.14 球类项目运动员跑动能力特征参数视频解析

在对球类项目的研究中,使用Simi Scout等视频解析软件按照特定拍摄规范要求可以精确解析跑动速度和跑动距离等关键运动学参数。使用2台摄像机分别拍摄2个半场(图15),利用已知的场地长度和宽度等数据对其进行二维标定,每台摄像机中的4个已知坐标点可根据所拍摄的篮球场的半场长度和宽度的交叉点坐标确定。以左边摄像机拍摄球场图像的近端边线和底线的交点定义X-Y坐标系的原点(0,0),则左边摄像机二维标定的4个已知点的坐标分别为(0,0)、(14,0)、(14,15)和(0,15),右边摄像机二维标定的4个已知坐标点分别为(14,0)、(28,0)、(28,15)和(14,15),对整个场地完成标定程序即可进行数据解析。足球运动员的跑动距离视频解析原理相同。

### 3.15 网球Hawk-eye鹰眼技术

鹰眼技术即为“即时回放系统”,是由8~10个高速摄像头、4台电脑和大屏幕组成。首先借助电脑的计算把比赛场地内的立体空间分隔成以mm计算的测量单位;然后利用高速摄像头从不同角度同时捕捉网球飞行轨迹的基本数据;再通过软件计算生成三维图像;最后利用即时成



像技术,由大屏幕呈现出网球的运动路线及落点。从数据采集到结果演示全过程时间不超过 8 s。鹰眼技术可以快速判决界内/界外(in/out)、球速、运行轨迹,对发球落点、Ace 球、回球落点、球点频谱统计等关键技术环节进行实时反馈,并且在网球赛事中广泛应用。

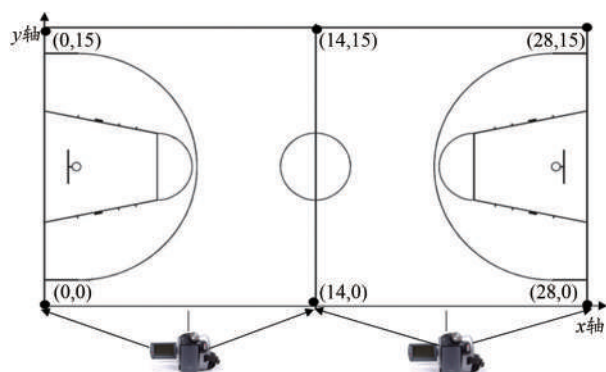


图 15 使用 2 台摄像机采集和测量篮球运动员跑动距离参数特征示意图

Figure 15. Using Two Cameras to Collect and Measure the Characteristics of Basketball Players' Running Distance Parameters

### 3.16 足球 VAR 技术

国际足球联合会(Fédération Internationale de Football Association, FIFA)在 2018 年俄罗斯世界杯上首次采用了足球的 VAR 系统。VAR 技术对于比赛的公平性判罚,减少错判、漏判、过判和少判等产生了积极的作用,给足球比赛的公平性带来重大的技术变革,也证明了视频图像处理技术对于运动项目发展的重要影响和价值。

### 3.17 视频技战术数据监控技术

美国 NBA 的 SportVU 和澳大利亚的 SportCode 是视频技战术统计系统的重要应用,集视频剪辑、编码和技战术统计功能于一体。通过使用 6 台高速摄像机不仅可以实时捕捉球员的技战术表现和团队表现,还可以与心率表等仪器进行体能变化同步监控,计算运动员在球场上的跑动距离、跑动速度和跑动位置,得失分点频谱分布和得失球比例等。

### 3.18 深度摄像机的开发和应用

深度摄像机除能够获取平面图像以外,还可以获得拍摄对象的深度信息,即三维的位置坐标数据。深度摄像机可分为 3 类技术:结构光、双目视觉和 TOF 飞行时间法。深度摄像机的主要优点是可以很准确地采集低速(3 m/s)的直线平动轨迹、角度和距离等参数,达到快速采集、分析和评价物体或者人体运动信息的目的。但深度摄像机的采样频率为 30 Hz,因此只能获得低速直线运动的有关深度、距离和时间参数,在二维平面 3 点的角度参数和旋转类运动物体数据较难准确采集。

艾康伟等(2015)应用深度摄像机 Kinect-2 结合视频图像 mark 点自动追踪技术在举重项目的杠铃杆端点动力学

参数追踪和计算,研制出基于深度摄像机应用的举重运动技术实时诊断系统。在对人体运动功能性筛查(FMS)的自动评价和打分应用方面取得了较好的应用效果。

## 4 视频图像多重处理技术在体育科研领域中的应用发展趋势

视频图像多重处理技术在客观上促进了竞技体育的发展和进步,同时竞技体育科学技术的发展和进步也反过来促进了现代视频图像多重处理技术的发展和进步。二者相互促进和共同发展,不断帮助人类打破竞技体育的运动极限。

视频图像多重处理技术在体育科研领域中的应用发展趋势主要包括:视频拼接和三维场景合成、移动端视频图像处理软件的开发和应用、个性化人体质心 CM 的自动合成、计算机深度学习和人工智能、技战术全局性统计和评价、电子裁判、运动大数据和冠军模型构建等。

### 4.1 多机位视频无缝拼接和三维场景合成

使用多机位摄像机矩阵将不同角度获得的视频图像拼接,按照有序的排列方式合成到同一场景中,进行多机位的无缝拼接和三维场景合成,可以实现对运动员全部运动过程的技战术表现的监控和分析,评价运动员全部的技战术的完整表现,避免单一摄像机和单一场景的局限性。例如,实现对 100 m 短跑、跳远和三级跳远项目的多机位视频图像的无缝拼接,以便教练员全局性观察和分析运动全程的技术表现;对球类项目使用摄像机矩阵进行场地的三维合成,可以全局性监控和评价自己和对手的技战术表现,做到更加科学监控和评价运动技战术全局性特征。

### 4.2 移动端视频图像处理技术的实现

随着智能手机等移动端视频拍摄功能的迅猛发展,画质提升至 4K/8K,高速拍摄速度达到 500 fps。未来,在体育科研领域中智能手机可能会逐渐取代高清照相机、高清摄像机和高速摄像机,成为运动员和教练员分析运动技战术的主要工具。

基于智能手机(Android、iOS 系统)开发的移动端“教练眼(Coach Eyes)”视频技术分析系统(图 16),分别对应定点拍摄和扫描拍摄 2 种主要形式,主要功能包括:多视频图像分屏同步比较、双视频叠加同步比较、全景图生成、定点全景、角度测量、距离测量、速度测量、文字标注和轨迹跟踪等。

### 4.3 人体形态自动识别和质心 CM 的自动合成技术

德国 Simi 公司研发了 Motion 3D-shape 形状智能捕捉技术(图 17),使用 6~8 台高速(100 Hz)摄像机同步采集在受试者周围合理布局,视频图像为全高清(1 080 dpi 以上)画质,进行人体或器械的形体自动识别和多维解析,实现了三维动作捕捉质心 CM 自动合成。Simi Shape 3D 在实验室和比赛现场均可使用,动作捕捉的对象不需要

佩戴任何 Marks 标记点,动作捕捉可以快速完成并输出数据,可以同屏显示 Marks 点的数据图、数据表、动态同步曲线、同步运动轨迹、人体模拟棍图、模拟骨架图和捕捉现场的视频,快速输出数据分析报告和技术反馈报告。



图 16 手机版“教练眼”软件全景视频播放、全景图分析界面  
Figure 16. Mobile Version of the “Coach Eye” Software Panoramic Video Playback, Panoramic Image Analysis Interface

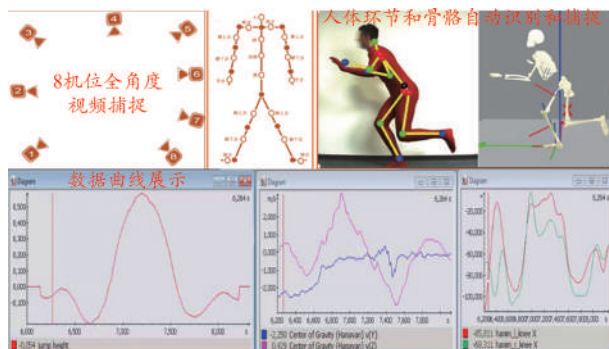


图 17 Simi Shape 3D 人体形体识别和质心 CM 的自动合成示意图  
Figure 17. Schematic Diagram of Automatic Synthesis of Simi Shape 3D Body Shape Recognition and Centroid CM

#### 4.4 体育人工智能技术的创新应用

人工智能(artificial intelligence, AI)是研究用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术及应用系统的新技术。人工智能技术在体育科技领域中的应用包括各种帮助运动员提高竞技能力的智能设备和计算机深度学习后的各种技术应用。人工智能同样能够辅助运动员提高竞技运动表现,提高比赛成绩和探索运动的本质规律。

#### 4.5 视频矩阵和球类技战术全局性监测

与网球的鹰眼技术和足球的 VAR 类似,在排球、羽毛球和冰球等集体项目比赛中可使用多台高速高清摄像机对比赛的全局性技战术进行实时监控和反馈。例如,在冰球比赛中使用 10 台高速高清摄像机对冰球场地进行全

局性合成(图 18),并对场上所有运动员的技战术情况进行全局性监控和反馈。其中,4 台顶部摄像机合成冰球比赛实时场地和监控运动员运动技战术能力,6 台侧面摄像机监控运动员的号码和监控运动员的技战术能力。10 台摄像机的视频流实时传输到智能计算机视觉控制终端,可以对冰球运动员的跑动速度、跑动距离、跑动时间、位置、角度、传球、拦截、转换等技战术配合进行实时统计和反馈。在赛后实时发布比赛关键技术数据,达到全局性监控和评价比赛的目的。

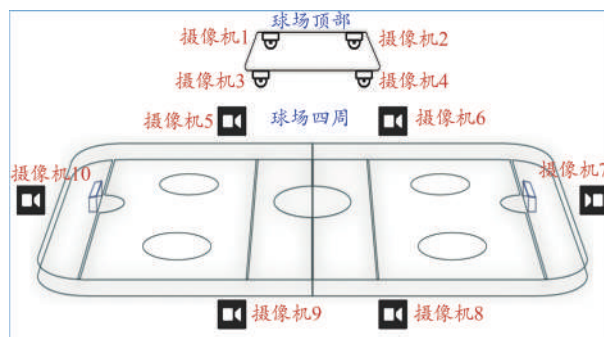


图 18 冰球比赛全局性技战术研究的计算机视觉监控示意图  
Figure 18. Schematic Diagram of Computer Vision Monitoring for the Overall Technical and Tactical Analysis of Ice Hockey Matches

#### 4.6 电子裁判

随着人类对体育比赛公平性判罚的追求和目标的实现,很多项目尤其是打分项目的裁判被电子裁判所取代,电子裁判是保障竞赛公平裁决的重要工具。电子裁判是使用全方位和多视角下的高清摄像机抓取运动员的技术表现和难度表现等关键技术参数,并进行客观的评判。同时,电子裁判是运动技术大数据采集、统计分析和动作技术标准化的过程,建立在高质量的运动技术动作、严格专家评审和客观真实数据优化基础上的成果。在某种意义上,鹰眼技术、VAR 技术和视频回放技术均为电子裁判辅助功能的重要应用。

#### 4.7 结合运动大数据技术构建冠军模型

视频图像多重处理技术可以获得大量运动技术参数数据,满足建立优秀运动员的大数据库的需要。同时,视频图像也是冠军模型的主要展现形式。例如,通过运动大数据的收集、整理、分类、统计和深挖发现优秀运动员的冠军成长模型。比如,我国男子 110 m 栏运动员刘翔的成长历史具备了可以深挖的大数据规律和内容,如刘翔的形态学视频模型、身体结构解剖学特征、神经类型、神经-肌肉传导速率、冲动的兴奋-抑制模型、肌肉力量素质、爆发力素质、加速能力素质、栏间节奏速率等个人大数据,以及训练内容、方法、手段、安排和计划等,同时加上其教练员的科学化指导和训练,在刘翔个体成长和培养的海量信息中客观上存在的冠军成长模型和规律。

## 5 结论与展望

### 5.1 结论

1) 视频图像处理提供了运动技战术最真实的信息和资料,是体育科研领域中较为常用、直观、有效、实用和科学的运动技战术分析工具,得到了广泛的应用和发展。

2) 视频图像多重处理技术是竞技体育视频图像数字化、精细化和个性化精准监测和科学反馈的得力助手,能够帮助运动员提高和优化运动技战术能力,促进体育科学技术的发展和进步。

3) 视频全景分析技术是运动技战术研究的“金钥匙”,能够展现运动技术的全局性结构特征,帮助运动员全面掌握运动技战术的整体动作过程,提高运动技战术能力。

4) 视频图像标注和多维度数字化解析是运动大数据的重要来源和构建冠军模型的载体。

5) 智能手机等移动端视频图像处理技术是未来体育科研应用的趋势,基于手机端的运动技术视频分析工具,将会更好地保障国家队教练员和运动员的奥运备战和科技助力。

6) 电子裁判将会给竞赛带来更加公平裁决,也是竞技比赛技战术监控的重要工具。

### 5.2 展望

伴随着手机等移动端高清、高速视频采集技术和多项新兴视频图像处理技术的出现,以及与体育科学研究技术的更好融合,建议加大视频全景分析技术、视频标注技术、视频多维解析技术、手机端视频图像处理技术和电子裁判等功能的开发和应用,为体育大数据、运动技术规律、冠军模型构建、全局性技战术监控和竞赛公平判罚等提供更加有力的科学工具。从某种意义上来说,视频图像处理提供的科技助力、科技支撑和科技保障是当今世界体育进步的重要决定因素之一,对体育科学具有重要和深远的影响,并推动了体育运动的健康发展和进步,建议大力推广和普及应用视频图像处理技术。

### 参考文献:

艾康伟,韩旭,毕志远,2015. 举重训练实时诊断反馈系统的研发与应用[C]//2015年第十届全国体育科学大会论文摘要汇编(一). 浙江:2015年全国体育科学大会:454-455.  
方兴,1995. 运动生物力学中的录像分析系统[J]. 体育科学,15(4):46-48.  
兰彤,2017. 鹰眼技术在世界高水平羽毛球赛事中的应用瓶颈及对

策研究[J]. 湖北体育科技,10(8):899-902.  
李爱东,苑廷刚,李汀,等,2005. 视频图像技术的发展及在田径项目训练中的应用[J]. 体育科学,6(25):42-46.  
潘雪峰,吴思,李锦涛,等,2006. 动态背景体育运动视频合成对比[J]. 计算机应用研究,5(6):255-260.  
孙义良,2003. 篮球运动员的视觉能力及其训练的探讨[J]. 成都体育学院学报,29(2):49-50.  
邵峰,2008. 对网球比赛中“鹰眼”技术运用的探讨[J]. 吉林体育学院学报,1(5):55-56.  
陶焜,吴思,林守勋,等,2005. 体育视频全景图合成技术[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,11(17):2552-2557.  
苑廷刚,2005. 视频图像技术的发展及其在田径项目备战2004年雅典奥运会中的应用[J]. 体育科技文献通报,(5):8-9.  
苑廷刚,王国杰,姜自立,等,2019. 2018年上海钻石联赛苏炳添最后10 m冲刺视频全景技术分析及其进步的启示[J]. 北京体育大学学报,42(1):147-156.  
周晓东,程燕,林洪,2008. 游泳比赛技术监测系统的研究[J]. 中国体育科技,7(4):84-86.  
朱秀昌,刘峰,胡栋,2016. 数字图像处理与图像信息[M]. 北京:北京邮电大学出版社:26-31.  
AMISCO COMPANY, 2013. Premier league votes to introduce goal-line technology[J]. Engineer (Online Edition), 4(11): 7-8.  
BARTOLI A, DALAL N, BOSE B, et al., 2002. From video sequences to motion panoramas[C]//Workshop on Motion and Video Computing. Orlando, USA: IEEE:201-207.  
CASSIRAME J, SANCHEZ H, EXELL T A, et al., 2019. Differences in approach run kinematics: Successful vs unsuccessful jumps in the pole vault[J]. Int J Perform Anal Sport, 19(5):794-808.  
CASTELLANO J, ALVAREZ-PASTOR D, BRADLEY P S, 2014. Evaluation of research using computerised tracking systems (Amisco® and Prozone®) to analyse physical performance in elite soccer: A systematic review[J]. Sports Med,44(5):701-712.  
HAWK-EYE COMPANY, 2010. Hawk-Eye's Accuracy Tennis ESPN Technology Instruction Manual[M]. England: Hawk-Eye Company:2-5.  
STENSLAND H K, VAMSIDHAR S, GADDAM R, et al., 2014. Processing panorama video in real-time[J]. Int J Semant Comput, 8(2): 209-227.  
VARZAKAS T H, 2011. Application of ISO22000, failure mode, and effect analysis (FMEA) cause and effect diagrams and pareto in conjunction with HACCP and risk assessment for processing of pastry products[J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 51(8):762-782.  
WANG Y, LIU Z, HUANG J, 2000. Multimedia content analysis using audio and visual information [J]. IEEE Signal Proc Mag, 17(3):12-36.  
(收稿日期:2020-12-15; 修订日期:2022-11-08; 编辑:尹航)