

改变拍摄夹角对三维运动图像解析 系统框架精度的影响研究^①

宋 鹏, 秦志辉, 黄承佳, 杨筱竹

西南大学 体育学院, 重庆 400715

摘要: 通过改变 2 台摄像机的拍摄夹角对三维视讯运动图像进行拍摄, 获得三维坐标标定精度误差, 并运用数理统计法对所得误差进行统计学分析, 结果表明: 各拍摄角度具有不同的适用范围, 故在实际操作中需根据不同技术动作选择适当的三维拍摄角度, 从而确保最小的误差范围.

关键词: 三维框架; 拍摄夹角; 图像解析; 精度

中图分类号: G804

文献标志码: A

人体运动是在一定的时间和空间维度上进行的, 人体运动的运动学是对人体运动的定量描述. 利用摄像采集运动学参数的主要测量方法有平面定点定机摄像法、平面定点跟踪摄像法、平面定轨跟踪摄像法、立体定点定机摄像法、立体定点跟踪摄像法等. 随着运动生物力学的发展, 以三维定点摄像获取运动学参数已广泛应用于体育教学与体育科研^[1-4]. 然而, 要获得相对精确的三维运动学参数, 影像解析三维坐标的标定精度是关键. 众所周知, 影响三维框架精度的因素较多, 本研究在非竞技状态下, 通过改变 2 台摄像机的拍摄夹角对三维框架内运动图像进行拍摄, 然后由同一解析员对框架进行打点标定, 以获得各标志点的误差值, 进而揭示不同拍摄夹角对三维框架影响, 拟为探索最佳的拍摄区域提供参考.

1 研究方法

1.1 实验过程

2 台日本索尼 HDR-HC9E 摄像机以三维标定模型为中心设定进行拍摄, 拍摄半径 12 m, 机座高 1.2 m. 一台摄像机定于 0°角固定, 另一台按量角器角度逆时针进行移动, 移动区间 20°至 160°, 共 13 个角. 拍摄频率为 50 帧/s, 拍摄环境秩序良好(图 1).

1.2 影响因素控制

严格控制摄像机的高度、水平面及拍摄距离等, 为了将人工打点的误差降到最低(认为是随机误差), 本研究由同一专职的解析员对 13 种拍摄角度下的三维框架进行打点, 进而对不同角度下的标定模型进行精度计算, 以获得各角度下 24 个标志点的误差参数.

1.3 精度控制标准

每一种拍摄情况下 2 台摄像机所获得的三维框架经解析员合成后获得的每个标志点的精度要求

① 收稿日期: 2010-03-21

作者简介: 宋 鹏(1988-), 男, 河南洛阳人, 硕士研究生, 主要从事运动技术诊断的研究.

达到 0.005 m, 否则需重新打点以确保最低的人为误差。

1.4 数理统计法

利用 Spss13.0 数理统计软件对解析后的数据进行整理, 并对数据进行分析, 显著性水平设置为 $p < 0.05$ 。

1.5 文献资料法

查阅相关文献, 根据实验数据结果, 对该类系统实际操作中存在的问题进行分析。

2 结果与分析

采集三维框架标定精度是进行图像解析获得较高精度的运动学参数的前提。不同角度进行三维拍摄其框架标定点精度必然存在不同误差值, 通常情况下, 误差值存在较大的波动趋势, 就意味着所采集的 2 个二维平面图像通过合成后存有较大分化, 合成水平较低, 反之则优。

2.1 框架标志点误差聚类分析

为便于指导实际拍摄, 本文利用分层聚类法对各杆位在不同拍摄角度下的精度误差分布特征进行聚类分析, 聚类结果显示, 8 个标杆中的 24 个标志点共聚集为 4 个区, 即 A、B、C、D 4 区(图 2)。通过对各杆位标志点的归属区域特征进行总结, 找到与其拍摄特征相适应的身体活动形式, 以便针对不同的动作技术形式选择相应类型的拍摄角度, 以确保拍摄误差最小化。

为比较标点聚类后的区域特征, 运用方差分析对聚类后各类间误差均值进行显著性检验(表 1)。结果表明, 各区域间误差均值均控制在 0.007 m 范围内, 其中 A 区与 B 区间误差均值最小, 为 0.002 9 m, 与 C 区的类间均值误差均值最大, 为 0.006 4, 达到非常显著水平; B 区与 C 区误差均值为 0.003 6 m, 未达到显著性水平; D 区均值误差为 0.025 6 m, 独立样本 T 检验与其余三区误差均值进行单独比较, 均达到显著水平。说明在实际拍摄过程中, 以 A 区为主要技术特征区域的, 拍摄角度对解析精度的影响相对最小, 其次为 B 区、C 区, D 区影响最大。

表 1 标志点聚类后各类间的误差均值显著水平统计表

检 验	(I)标位类别	(J)杆位类别	误差均值	标准误差	显著水平
	A 区	B 区	0.002 919 0	0.002 125 8	0.383
		C 区	0.006 489 1*	0.001 086 1	0.000
	B 区	A 区	0.002 919 0	0.002 125 8	0.383
		C 区	0.003 570 1	0.001 873 6	0.196
	C 位	A 区	0.006 489 1*	0.001 086 1	0.000
		B 区	0.003 570 1	0.001 873 6	0.196

注: * 为 $p < 0.05$ 。

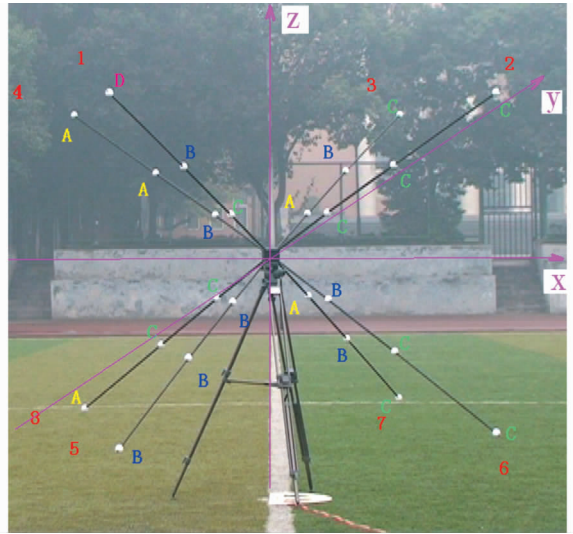


图 1 三维框架精度研究实验图示

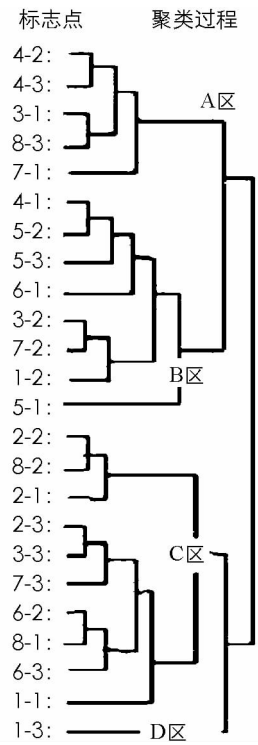


图 2 标志点聚类龙骨图

2.2 不同拍摄角度下框架误差的变异分析

图 3 是关于不同拍摄角度下均值及标准差曲线, 从中可见总体误差在 $45^\circ \sim 150^\circ$ 是理想的区域, 该区域中, 90° , 100° 又是最佳角度, 20° 角的总体误差相对最高, 为 0.0266 m , 明显高于 90° 角的 0.0121 m . 可以认为 20° 角的总体拍摄效果最差.

表 2 为各拍摄角下的总体误差均值. 其中 $20^\circ, 30^\circ$ 和 160° 角的误差高于 0.0150 m , 其余角度误差均在该值以下, 且差异较小, 角度的误差分布特征基本呈正态, 即越靠近 90° 角, 误差越小, 说明 2 台摄像机所摄二维平面图像在进行三维图像合成时, 拍摄视角以直角交叉对整体框架的解析精度影响相对最小, 故 90° 角为最佳拍摄角.

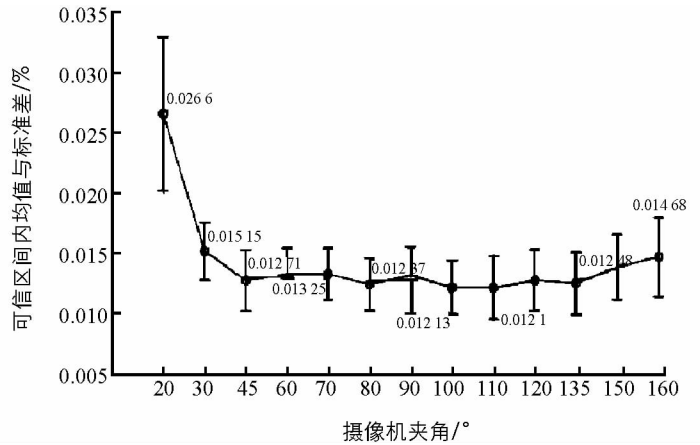


图 3 不同拍摄夹角下误差均值与标准差图

表 2 不同拍摄角下的总体误差均值及聚类分析表

角度/°	20°	30°	45°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	135°	150°	160°
类别	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
均值	0.0266	0.0152	0.0127	0.0133	0.0123	0.0124	0.0121	0.0121	0.0121	0.0124	0.0125	0.0146	0.0147

为了进一步分析不同夹角对三维框架精度的影响, 将 13 个拍摄角下的误差值进行聚类分析(表 2), 从中可看出, 13 个拍摄角度所摄精度误差特征存在内在相关性, 因而在实际拍摄工作中, 当预计角度无法进行拍摄时, 可根据其相关程度结合类别特点, 选择最佳替代角度进行拍摄工作, 在保障拍摄工作可以顺利进行的同时, 使目标动作的局部框架误差降至最低, 最大化地降低因意外所致的拍摄精度影响. 其中 2 类间有多个替换角度, 可根据均值在可能的情况下选择总体误差较低的替换角度进行操作.

运用独立样本 T 检验对不同类型角度在各区域的拍摄精度进行显著性分析(表 3), 结果表明, 当目标技术动作主要以 A 区为技术特征活动区时, 选择 3 类角的拍摄效果显著好于 1, 2 类角; 动作主要活动区域在 B 区时, 1, 2 类角显著高于 3 类角, 根据均值, 在条件允许的情况下, 最好选择 1 类拍摄角; 当动作主要活动区域在 C 区时, 2 类角的拍摄误差显著低于 1, 3 类角, 故选择 2 类角进行拍摄最优; 当动作主要活动区域在 D 区时, 三类角度误差水平不具有统计学差异意义, 根据均值, 此选择 3 类角度效果略优.

表 3 各类角度对不同区域拍摄精度 T 检验一览表

角度	A 区			B 区			C 区			D 区		
	均值	T	p	均值	T	p	均值	T	p	均值	T	p
1	0.280	0.666		0.0098	-11.306	**	0.025	0.309		0.0244	-0.180	
2	0.0114	-51.723	*	0.0103	-11.719	**	0.017	-19.920	**	0.0264	1.403	
3	0.0103	-6.159	**	0.0183	-1.584		0.027	0.875		0.0197		-

注: * 为 $p < 0.05$ 达到显著水平; ** 为 $p < 0.01$ 达到非常显著水平.

3 分析与讨论

综合上述分析可知, 不同的拍摄角度对各杆区有不同程度的影响, 其中对 D 区影响最大, 这是因为在三维空间内, 标杆各点间通过杆位系数进行相互联系, 从而扩大辐射范围. 本实验聚类过程中, 1—3 点以

单位区被独立聚出,表示该点具备独立代表性.解析结果是通过框架系数对各标志点解析结果之间的群体参照后进行空间计算得出,由此说明1—3点与其他杆位间参照关系相对较低,在系数合成时不利于空间定位,故当拍摄角度发生改变时,对该点产生的影响十分明显.

在统计过程中还发现,不同的定点拍摄角度有其自身的精度适应性.如若只从误差均值来看,在角度为 20° 时拍摄的精度误差值最大,那么一般理解为拍摄效果最差,实际并不然,单看 20° 角的拍摄误差发现,1—2、7—2点的拍摄精度最高,分别为 0.0106 m 、 0.0092 m ,均低于 90° 角的误差均值 0.0121 m ,也就是说在这2个点的空间范围内进行的技术动作,采用 20° 角进行拍摄最为理想.所以在实际操作中,三维运动图像拍摄角度的选择往往需要根据不同的专项技术特征、不同的技术侧重点以及动作解析目的为参照,选择最为适宜的拍摄角度进行拍摄.不同的拍摄角度针对不同的框架标志点(区),存在各自有利的适用性,在不要求重心解析的三维定点多点解析中意义明显.

在三维图像解析中可根据不同的运动项目、特别是关键动作技术发生区域来选择相对应的标志点精度最高区确定拍摄角度.由图1可知,A类区域标志点聚集趋势在标志框架额状面分割后沿且集中于后沿中心区及右侧外展区,其区域主要对应上体相对稳定、以右侧躯干为主要活动环节的上、下肢的屈伸、旋转等为特征的身体技术动作,如自由体操中单腿侧踢成搬腿侧平衡、跨栏摆动腿过栏等;B类区域标志点密集区主要围绕框架垂直轴进行分布,且外展性相对适中,与该区域相对的是以人体垂直轴为主要转动轴及以右侧下肢前摆为主要特征的技术动作,如背越式跳高起跳、足球右脚传射等;C类区域框架标志点以较强的左侧外展性为特点,与该区域相对应的是以左侧躯干活动为主的且活动幅度大的身体技术活动,如惯用技术在左侧的网球、乒乓球的抽击、双杠的前摆左腿坐杠;D类则以1—3号标志点单独为一类,对应以右侧前臂前上举为特征的单一环节活动,如标枪、铅球、铁饼等投掷项目最后用力的出手技术^[5-6].

需注意的是,本实验是以 0° 摄像机直径为分割,选取右侧逆时针旋转 180° 区间进行拍摄,故在实际操作中需根据拍摄需要、选手惯用侧技术特点等因素进行两侧半圆选择,以便适应相应动作拍摄需要,区域对应同理.

4 结 论

1) 在以动作总体为拍摄目标时,根据具体拍摄条件,在 90° 、 100° 夹角进行拍摄,角度误差总体最小.拍摄角度大于 160° 或小于 20° ,所摄框架精度误差骤增,高于控制水平.

2) 当改变拍摄夹角时,对框架D区造成的影响显著高于其余3区,说明D区对拍摄角适应性较差.在实际操作中若针对的是以D区为关键技术活动区的技术动作时,在角度选择上要重点考虑D区的拍摄精度需要.

3) 据24个框架标志点聚类结果及误差特征,得出各区域对应的最佳拍摄角度类别,即:A区—3类角、B区—1类角、C区—2类角、D区—3类角.

4) 特定拍摄角度间存在可替换关系,当定点拍摄受视角范围局限,无法在最理想角度进行工作时,可选择同类角,降低影响程度.

参考文献:

- [1] 杨跃飞,宋跃先,彭支玉.运动图像解析系统在体育领域的应用现状及发展趋势[J].山东体育学院学报,2005,21(4):110—112.
- [2] 郑义,曲峰,周兴龙.三维摄像方法中超出标定范围进行标定的精度分析[J].首都体育学院学报,2008,20(6):95—97.

- [3] 杜艳艳,侯曼,蔡宇辉. 辐射式框架进行三维重构的精度分析 [J]. 体育科研, 2006, 27(2): 83-86.
- [4] 李玉刚,严发本,肖红征,等. 我国优秀武术运动员旋风脚 720°三维图像特征分析 [J]. 武汉体育学院学报, 2006, 40(2): 39-42.
- [5] 胡声宇. 运动解剖学 [M]. 北京:人民体育出版社, 2000: 5-6.
- [6] 《运动生物力学》编写组. 运动生物力学 [M]. 2版. 北京:高等教育出版社, 2000: 154-203.

The Accuracy Study About Three-Dimensional Motion Analysis System Framework in Changing the Shooting Angle of Vidicon

SONG Peng, QIN Zhi-hui, HUANG Cheng-jia, YANG Xiao-zhu

School of Physical Education, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: Three-dimensional framework of shi-xun motion image analysis system has been shot by changing the angles between two cameras in order to obtain precision error. Mathematical statistics methods has been used for analyz the income error which showed that different shooting angles accord to different scope of applicability. So, in practical operation, it is very important to select proper three-dimensional shooting angle for different technical action so as to insure the smallest error range.

Key words: three-dimensional framework; shooting angle; image analysis; precision

责任编辑 胡 杨