

# 双目视觉测量在乒乓球运动速度分析中的应用<sup>\*</sup>

李新华<sup>1</sup> 宋承祥<sup>2</sup> 刘弘<sup>1</sup>

(山东师范大学信息科学与工程学院 济南 250014)<sup>1</sup> (山东省教育厅 济南 250014)<sup>2</sup>

**摘要** 本文以乒乓球运动为例,提出了一种使用 AVI 函数从视频序列中分解帧,然后逐帧进行预处理和区域生长分割,从而实现目标提取的方法。通过放置在乒乓球台上方两侧的双目视觉测量系统对乒乓球的运动速度等参数进行了测量,进行了数字图像处理技术在球类运动分析中的探索。

**关键词** 双目视觉,区域生长,图像分割

## Binocular Vision Measurement Applied in Analysis of Speed of Table-tennis

LI Xin-Hua<sup>1</sup> SONG Cheng-Xiang<sup>2</sup> LIU Hong<sup>1</sup>

(School of Information Science and Engineering, Shandong Normal University, Shandong 250014)<sup>1</sup>

(The Education Department of Shandong Province, Shandong 250011)<sup>2</sup>

**Abstract** A method for distilling object is presented, take the movement of table-tennis as example. Using AVI function to discompose frames, applying region-growing algorithm to calculate object's movement track after pre-processing in segmentation of image. In this paper, a binocular vision system is presented, which is set up over the table to detect the projectiles from the image sequences. Some of features of the table-tennis are analyzed, such as the speed. It attempt to employ video-image treatment techniques in the analysis of the movement of ball.

**Keywords** Binocular vision, Region-growing, Image segmentation

视频序列中含有丰富的运动信息,从中检测出运动目标,并对其进行识别和跟踪,是目前研究的热点之一。视频跟踪在球类运动中应用还为数不多,实现对运动球的实时跟踪可以及时获取肉眼无法得到的详细数据,提高训练水平。基于双目的乒乓球跟踪是通过固定在球台上方两侧的两个 CCD 摄像机获取球运动的数字图像序列,然后对其处理和分析,实现对运动目标即乒乓球的跟踪。要完成任务有:(1)视频流的帧分解;(2)在单帧图像中分割与识别运动目标;(3)确定目标中心点;(4)匹配双目中心点,求取世界坐标和速度。

本文首先利用数字图像处理技术,将视频序列解帧,然后对每一帧先进行预处理,然后利用区域生长法提取目标区域,由重心法得到球心坐标,最后得到球心的世界坐标,从而计算出速度。

### 1 基于双目视觉测量系统的数学模型

双目视觉是指由两幅二维图像恢复物体三维信息的方法。处于不同位置的两台摄像机获取同一运动物体的图像,提取运动物体上的几个特征标识点,在此基础上得到标识点的空间位置信息,然后通过两幅图像中的 3D 匹配点对,计算出物体的运动参数(位置、姿态和速度等信息)。本文通过固定在乒乓球台上方成一定角度的两个 CCD 摄像机 C1 和 C2 对运动的乒乓球同时拍摄,提取球的中心作为特征标识点,来计算乒乓球运动的速度。双目视觉测量系统的工作原理<sup>[1,2]</sup>见图 1。

假设已知空间某点  $P(x, y, z)$  在摄像机 C1 和 C2 上的图像坐标系上的坐标分别为  $p_1(u_1, v_1)$  和  $p_2(u_2, v_2)$ 。则 P 点的空间位置可由  $O_1p_1$  与  $O_2p_2$  ( $O_1$  与  $O_2$  分别为摄像机 C1 与 C2 的光心)两直线的交点唯一确定,如图 1 所示。设摄像机

C1 和 C2 的投影矩阵 M 和 N 已求得,则

$$Z_c \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ 1 \end{bmatrix} = M_x = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$Z_c \begin{bmatrix} u_2 \\ v_2 \\ 1 \end{bmatrix} = N_x = \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} & n_{13} & n_{14} \\ n_{21} & n_{22} & n_{23} & n_{24} \\ n_{31} & n_{32} & n_{33} & n_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

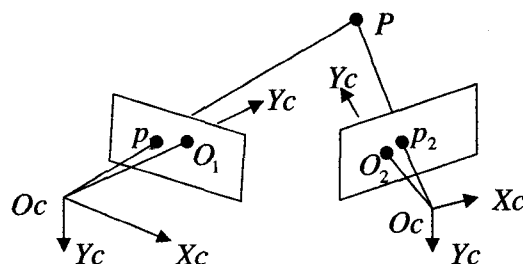


图 1 双目视觉模型

联立上面两式即可求出 P 点在世界坐标系中的三维坐标  $P(x, y, z)$ 。

### 2 视频文件的解帧

通过 CCD 获得的视频序列以 AVI 视频格式保存,首先将视频序列中的帧逐个提取出来,以方便后续的处理。AVI 格式文件是一种特殊的 RIFF 文件,该格式是一种未经压缩的文件格式,允许程序以灵活的可扩展的方式存储数据。AVI 文件信息可用 AVIMAINHEADER 数据结构进行读取,AVIMAINHEADER 结构中定义了帧间隔、总帧数、文件流

<sup>\*</sup> 基金项目:国家自然科学基金资助项目(69975010;60374054);山东省自然科学基金资助项目(Y2003G01;Z2006G09)。李新华 硕士生,讲师,主要研究方向:数字图像处理、软件设计与理论;宋承祥 兼职教授,主要研究方向:计算机应用;刘弘 博导,主要研究方向:数据挖掘、计算机支持的协同设计、多 Agent 系统。

数、视频图像的宽和高等信息。本文通过调用 AVI 操作函数,实现对视频流的逐帧分解。对分解得到的每一帧图像,转换成 BMP 格式,然后立即进行处理,从中提取出运动目标——乒乓球。

### 3 运动区域与背景的分离

乒乓球比赛图像中除了运动目标之外,往往存在大量的背景图案和干扰对象产生的干扰信息,这在一定程度上影响着目标的获取,从而影响跟踪的准确性。因此在使用区域生长算法进行目标提取前首先进行预处理,实现前景和背景分离。

基于阈值的图像分割是图像分割的基本方法,因其实现简单、计算量小、性能较稳定而成为图像分割中应用最广泛的分割技术<sup>[3]</sup>。确定阈值是有效分割的关键,本文采用改进的大津法<sup>[3]</sup>。对图像  $I$ ,记  $T$  为前景与背景的分割阈值,前景点数占图像比例为  $w_0$ ,平均灰度为  $u_0$ ;背景点数占图像比例为  $w_1$ ,平均灰度为  $u_1$ 。图像的总平均灰度为  $u = w_0 * u_0 + w_1 * u_1$ 。从最小灰度值到最大灰度值遍历  $T$ ,当  $T$  使得类间方差值  $g = w_0 * (u_0 - u)^2 + w_1 * (u_1 - u)^2$  最大时, $T$  即为分割的最佳阈值。因计算量较大,本文在实现时进行了改进,采用等价的公式  $g = w_0 * w_1 * (u_0 - u_1)^2$ 。

当阈值  $T$  选定以后,分割算法就可以表示为:

$$B(x, y) = \begin{cases} f(x, y), f(x, y) \geq T \\ 0, f(x, y) < T \end{cases}$$

其中  $f(x, y)$  为原图像, $B(x, y)$  为经过阈值分割处理后得到的图像。

实验证明,改进的大津法选取出来的阈值非常理想,对各种情况的表现都较为良好。虽然它在很多情况下都不是最佳的分割,但分割质量通常都有一定的保障,可以说是最稳定的分割。本文在分割完成后,没有进行二值化处理,而是对运动区域部分进行了保持,更有利于区域生长准则的确定,提高区域增长的准确性。

### 4 区域生长提取运动目标

彩色图像中提取目标方法主要包括形状匹配(Shape Matching)、边缘检测(Edge-Based)、区域生长(Region-Growing)等。乒乓球在图像中所占比例较小,且图像中除球体以外还存在边界线、球拍等对象。采用形状匹配法需要进行大量的计算工作,边缘检测需要对复杂的边缘进行归类识别,都不利于对乒乓球的处理。区域增长算法适合分割灰度图像,它比较稳定、快速,可以方便地改变参数。该算法是由 Rolf Adams 和 Leanne Bischof 首先提出的<sup>[1]</sup>。其基本思想是将具有相似性质的像素集合起来构成区域。区域增长算法从某一或若干种子点或种子区域出发,以属性一致性原则为基础,按照一定的生长准则,对邻域像素点进行判别并连接,直到不能再找到满足条件的像素为止。这种方法的关键在于种子点的位置、生长准则和生长顺序等。其中种子点可以采用人机交互或自动方法设定。

#### 4.1 种子点的选取

种子点的选取对区域增长分割的结果至关重要。对于乒乓球运动图像,要提取的目标在整副图像中所占比例较小,在第一帧完全采用自动方法设定种子点比较困难且浪费时间,因此人工交互选取种子点是可行的方法。当第一帧确定重心后,后面帧的种子点就可以由前面帧的重心位置通过一定的策略搜索得到。因此本文采用第一帧人工选取种子点和其他帧自动搜索种子点相结合的方法。

第  $k(k \neq 0)$  帧种子点的搜索策略:

- (1)  $r=1$ ;
- (2) 对于距离第  $k-1$  帧重心为  $r$  的半径圆上的各点  $(x, y)$ ;

(3) 如果同时满足以下四个条件:

$$\begin{cases} |f(x, y) - f(\text{seed}_x, \text{seed}_y)| < \text{Thd} \\ |R(x, y) - R(\text{seed}_x, \text{seed}_y)| < \text{Thd} \\ |G(x, y) - G(\text{seed}_x, \text{seed}_y)| < \text{Thd} \\ |B(x, y) - B(\text{seed}_x, \text{seed}_y)| < \text{Thd} \end{cases}$$

则停止搜索,此时的  $(x, y)$  即为第  $k$  帧的种子点;

(4) 否则  $r++$ , 然后转到(2),直到  $r > \text{Rad}$ 。

这里,  $\text{Rad}$  为搜索半径,  $\text{Thd}$  为种子点特征相似阈值,  $(\text{seed}_x, \text{seed}_y)$  为第一帧中用户选取的种子点。

#### 4.2 改进的四连通区域增长

区域增长是通过重复的求具有相似灰度或纹理的相邻子区域的并集,最终获得区域的技术。乒乓球体区域较小,且灰度变化不大。本文采用四连通区域增长法。

**定义** 对于点  $A(x, y)$  的任一邻域点  $B(x', y')$ , 它与点  $A$  的差异度  $\delta$  为

$$\delta(x', y') = \max(|R(x, y) - R(x', y')|, |G(x, y) - G(x', y')|,$$

$$|B(x, y) - B(x', y')|, |f(x, y) - f(x', y')|)$$

由 3.1 中选取的单个种子点开始向外四邻域填充。如果上下左右的四邻域点的  $\delta$  小于一个比较小的值  $\Delta$ , 则认为这个点也是运动区域中的点,并以这个新得到的点作为新的种子继续向四周填充,直到种子周围的四邻域点都被遍历过为止;对于不是运动区域(即  $\delta \geq \Delta$ ) 的点,则认为这种子已扩展到边界。

### 5 物体运动速度计算

区域生长完成后,构成物体的像素被标记出来。利用重心算法<sup>[4]</sup>求出物体中心点的坐标  $(x, y)$ ,  $x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ ,  $y = \frac{1}{n}$

$\sum_{i=1}^n y_i$  (其中  $x_i, y_i$  为组成物体的各像素点在一帧图像中的坐标,  $n$  为组成物体的像素点的总数)。然后利用本文第 1 部分所述方法求出在每一帧中乒乓球中心点的世界坐标  $(x, y, z)$ 。从而根据 CCD 的曝光参数可以计算出乒乓球的运算速度。

**结论** 本文以乒乓球运动为例,采用了人工和自动搜索相结合选取种子点的区域增长算法,对双目视觉测量系统在球类运动中的应用进行了初步研究,提出了一种基于视频序列跟踪球体的方法。实验结果表明,该方法能有效地对乒乓球进行跟踪,但还有一些问题需要进一步探索和解决,包括如何将提取精度提高到亚像素级,如何适应复杂的场景,如何进一步地提高实时性等。

### 参考文献

- 1 Bhanu B, Symosek P. S Snyder Synergism of Binocular and Motion Stereo for Passive Ranging[J]. IEEE Transaction on Aerospace and Electronic System, 1994, 30(3): 523~532
- 2 Jutzi B, Gabler R, Jaeger K. Stereo vision for small targets in IR images sequences [J]. Signal and Data Processing of Small Targets, 2001, 4473: 361~370
- 3 耿茜茜, 蔡安妮, 孙景鳌. 自动图像阈值分割算法[J]. 计算机工程与应用, 2002, 38(17): 119~122
- 4 温学恒, 温景阳. 二值目标图像质心的计算[J]. 光学精密机械学院学报, 1997, 20(3): 24~28