

基于计算机视觉和激光检测的虚拟足球比赛系统的实现

Realization of Computer Vision and Laser Detecting Based Virtual Football Game System

司秉玉¹ 吕东涛¹ 赵姝颖² 徐心和¹

(东北大学信息科学与工程学院 沈阳 110004)¹ (中国科学院自动化所模式识别国家重点实验室)²

Abstract How to constitute the data integration system by computer vision and laser detecting and realize the football game in the environment of virtual reality are focused in this paper. Our system can compute and display the location of the goal in real-time due to applying the hierarchical detecting structure, present the locus in the virtual environment by the computation of locus according to the detecting of the dynamic goal. Practice shows that our system has the advantage of other similar system at present in interactive real time, stability, third dimension and price.

Keywords Virtual reality, Multi-sensor data integration, Computer vision

1 引言

虚拟现实(Virtual Reality)是一种可以创建和体验虚拟世界(Virtual World)的计算机系统^[1],是二十世纪末才兴起的一门崭新的综合性信息技术。虚拟现实是一门直接来自于应用的涉及众多学科的新的实用技术,是集先进的计算机技术、传感与测量技术、仿真技术、微电子技术等为一体的综合集成技术。在计算机技术中,虚拟现实技术的发展又特别依赖于人工智能、图形学、网络、面向对象、Client/Server、人机交互和高性能计算机技术。虚拟现实技术具有“3I”特点,即强烈的“身临其境”沉浸感、友好亲切的人机交互性、沉浸中的想象力;近年来,随着计算机技术、网络技术、多传感器数据融合技术的发展,虚拟现实技术得到了极大的提高,并且也已经应用到了科研、教学、娱乐等各个领域。权威人士断言^[1],虚拟现实技术将是 21 世纪信息技术的代表。

本文给出的足球比赛虚拟现实系统应用于娱乐和体育训练以及科学普及领域。目前,我国在该系统的研究主要是应用于科学普及领域。传统的系统一般由显示组件、虚拟场景生成组件、运动目标位置检测组件构成。参与者通过足球与系统进行交互,通过运动目标位置检测组件给出的位置消息,虚拟场景生成组件将调用不同的虚拟动作事件来对该消息进行响应,对足球的运行方向进行虚拟描述,并且由 3D 构成的虚拟足球守门员将根据该消息产生相应的动作。由于传统光电检测技术的约束使得大多数目前使用的系统的实时性难以保证,系统对参与者的踢球速度要求比较严格,一方面如果足球运动太快,系统将不能正确响应;另一方面,踢球时刻和虚拟场景中球的响应存在较大的延迟。另外,由于缺乏诸如计算机视觉技术多传感器数据融合技术等

支撑,其系统的沉浸感较差。

本文研究实现的系统,针对传统虚拟足球系统存在的弊端,通过先进的多传感器数据融合技术实现实时交互性能并且虚拟现实的 3I 特点在该系统中得到了充分的体现。全文共分五个部分。第 2 节主要介绍由激光检测子系统、计算机视觉子系统和虚拟环境生成子系统构成的分层控制检测结构;第 3 节主要阐述实现本系统的三个关键技术;第 4 节给出系统在沈阳科学宫中的实际应用;最后对该领域进行进一步的展望。

2 系统原理与结构说明

本文给出的系统有别于目前国内外的虚拟足球系统,本系统通过采用虚实场景融合,将传统系统中单人参与转变为两个参与者通过虚拟场景进行对抗,即一方守门,而另一方则进行罚球,从而增强了系统的沉浸感。

虚拟足球比赛系统由显示组件、虚拟场景生成组件、运动目标位置(以及轨迹)检测组件以及虚实融合组件构成。其系统硬件结构如图 1 所示。

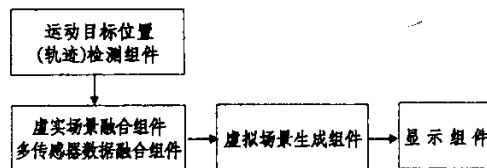


图 1 虚拟足球比赛硬件结构示意图

上图给出的结构中,运动目标位置(轨迹)检测组件由空间激光检测矩阵、CCD 摄像机组成;虚实场景融合组件和多传感器数据融合组件由具有多通道数据输入的主机构成;虚拟场景生成组件由专业图形工作站构成;显示组件则采用通用方法,即投

影。

由于本系统需要进行虚实场景融合,并且对参与者及其状态进行检测,所以采用多传感器数据融合方法^[2],融合的目的是处理传感器数据以及相关的校准数据,以得到比单传感器更准确的参考信息。本系统主要的检测设备是两个 CCD 摄像机和一个激光检测矩阵。利用多传感器系统可观察一个目标的多个特性,然后在此基础上进行数据融合以确定目标的特征属性。由于使用了多传感器,就扩大了对目标的观察维度,因而提高了目标识别的可靠性。图 2 给出了本系统的系统组织结构示意。

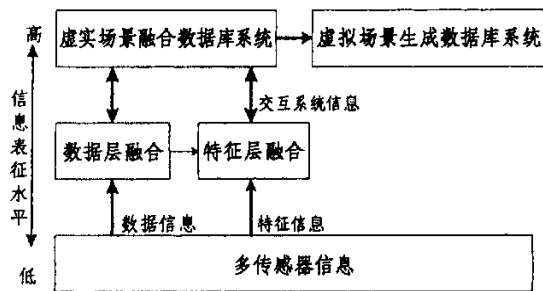


图 2 基于多传感器数据融合的系统组织示意图

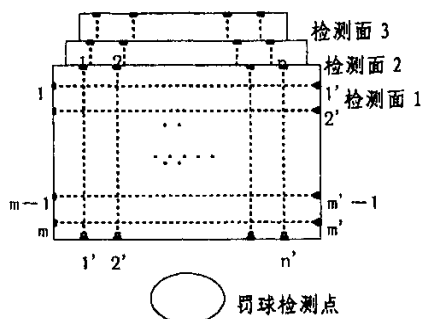


图 3 空间轨迹检测矩阵

图2中,由视觉和激光检测单元构成的多传感器单元将感知信息以数据和特征信息传递到上层,这里数据信息表征当前时刻足球目标运动的位姿而特征信息则表征了参与者的当前位置状态以及足球的当前的运动状态;数据层融合将根据传递的数据信息对足球运动进行辨识,主要完成求取足球运动轨迹;特征层融合主要根据数据融合信息和特征信息来进一步约束足球运动表征,其特征信息为视觉系统根据颜色形状提供的目标特征;根据数据层融合和特征层融合给出的目标辨识信息,虚实场景融合将根据数据库中的信息来决定场景融合中的三个问题:确定虚拟足球与参与者之间的位置关系;确定虚拟足球的运动轨迹;确定碰撞模型参数。最后场景生成系统根据虚实融合系统给出的信息调用自身定义的数据库在投影屏幕上显示动态虚拟景象。本系统在实现过程中要解决的关键问题为如何进行虚实

场景融合;如何进行目标运动实时检测以及如何根据多传感器数据融合来进行碰撞计算,下一节将对这三点问题进行讨论。

3 系统三个关键技术的实现

3.1 虚实场景融合

对于虚拟足球比赛系统其场景分为虚拟部分和真实部分。虚拟部分是通过图形工作站由专业 3D 软件开发完成的,它包括 3D 球场、球门以及观众席,另外还具有表征实际足球运动的虚拟足球部分;真实部分包括一个防守背景,即球网背景以及一个罚球点。

这里的虚实场景融合包括两部分:虚拟足球与真实足球的融合以及真实场景与虚拟场景的融合。对于前者我们通过激光检测矩阵计算足球在真实 3D 空间的运动轨迹,从而得到虚拟足球的运动表述(见 3.2),另外通过其中一个 CCD 摄像机对罚球点的检测来进一步约束该虚拟足球的运动表述,从而使得虚拟足球的运动和真实足球的运动相同步最终在显示设备上给出与真实足球相同的虚拟足球的运动。对于后者,主要通过两个 CCD 摄像机来获得真实场景,并将其与具有不同虚拟背景的 3D 虚拟场景中,其融合采用计算机领域中多线程分时调用的方法,能够随时间变化进行场景刷新,进而提高系统的真实感。

3.2 目标运动实时检测与碰撞模型建立

为了增强参与者的沉浸感和实时交互性,我们将真实场景的两种目标运动特征进行提取。

(1) 足球目标轨迹检测与碰撞模型建立

为了能够得到真实的四点空间位置,我们采用由激光检测阵组成的空间检测矩阵。其示意图 3 所示。

在每个空间检测面上,每一检测行(或者列)均由一对激光对管组成,发射部分由二氧化碳 680nm 的红激光构成而接收部分则采用光敏二极管。经过模拟调制,使其接收仅仅对激光光束产生响应,而对人造室内光线没有任何响应。该方案不仅可以提高系统的响应速度(光敏二极管的响应速度一般在几十 ns)而且由于激光光束的汇聚特性使得目标位置定位精确。采用该方法,每个检测面在二维空间中构成一个网格面,网格节点代表平面上的确切位置,当目标穿过某一个检测面时,将会经过网格面上的一个或者多个定位点。将所有检测面综合考虑,将在 3D 空间形成一个激光检测矩阵,该矩阵将会对足球运动轨迹进行检测。本系统我们采用了三个检测面和一个罚球检测点的结构从而能够进行空间四点检测。

为了简化模型,我们假定足球与守门员接触的曲面为一平面,在此过程中发生的为弹性碰撞。其

中,碰撞平面 Π 的方程为 $A(x-x_g)+B(y-y_g)+C(z-z_g)=0$, 它的单位法向量 $\mathbf{n}^\circ$ 为 $\{A, B, C\}$; 足球以速度 v 射到平面 Π 上, 打到平面 Π 的点 $G(x_g, y_g, z_g)$, 其中速度 $v=(v_x, v_y, v_z)$, 单位向量 (m, n, p) , 下面我们来求球出射的速度 u , 它的单位向量为 (q, r, s) 。

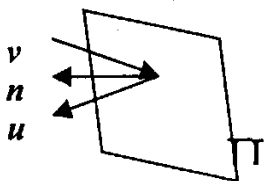
如图所示, u 向量与 v 向量关于过平面上点 G 的法向量 n 对称, 这样我们得到方程

$$Bp - Cn = Bs - Cr$$

$$Cm - Ap = Cq - As$$

$$An - Bm = Ar - Bq$$

$$\frac{(Am+Bn+Cp)^2}{m^2+n^2+p^2} = \frac{(Aq+Br+Cs)^2}{q^2+r^2+s^2}$$



解得

$$q = \frac{-Am^2 + Bm^2 + Cm^2 - 2ABn - 2ACp}{A^2 + B^2 + C^2}$$

$$r = \frac{An^2 - Bn^2 + Cn^2 - 2ABm - 2BCp}{A^2 + B^2 + C^2}$$

$$s = \frac{Ap^2 + Bp^2 - Cp^2 - 2ACm - 2BCn}{A^2 + B^2 + C^2}$$

(x, y, z) 为 u 向量的单位向量, 它的模为 v , 球的出射方程为 $\frac{x-x_g}{q} = \frac{y-y_g}{r} = \frac{z-z_g}{s}$ 。

足球摆放在 $(3, 0, 0)$, 激光矩阵门检测到的坐标分别为 $(4, 2, 3), (5, 3, 4), (6, 4, 5)$ 。我们现将这四点拟合为空间的一条曲线。这四点在 X-Y 平面上的坐

标为 $(3, 0), (4, 2), (5, 3), (6, 4)$, 在 X-Y 平面拟合出的曲线为 $y = -0.25x^2 + 3.55x - 8.35 (x \in [0, 6], y \in [0, 4])$, 也是在 XYZ 空间平行 Z 轴的柱面; 这四点在 X-Z 平面坐标分别为 $(3, 0), (4, 3), (5, 4), (6, 5)$, 在 X-Z 平面上拟合出的曲线为 $z = 0.3333x^3 - 5x^2 + 25.6667x - 41 (x \in [0, 6], x \in [0, 5])$, 也是在 XYZ 空间平行 y 轴的柱面, 这两个柱面的交线即为我们要求的空间曲线, 这样足球在三维空间飞行轨迹为

$$y = -0.25x^2 + 3.55x - 8.35$$

$$z = 0.3333x^3 - 5x^2 + 25.6667x - 41$$

$$x \in [0, 6], y \in [0, 4], z \in [0, 5]$$

(2) 人体目标位置检测

由于我们在系统内采用定背景(球网)方法, 所以对人体目标进行位置提取可靠而简单, 其处理方法见图 4 所示。

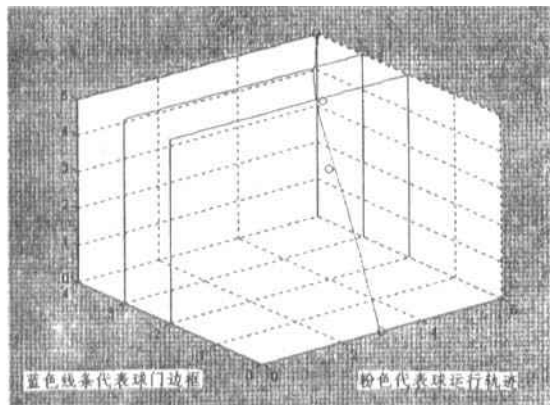


图 4 球运动轨迹实例图

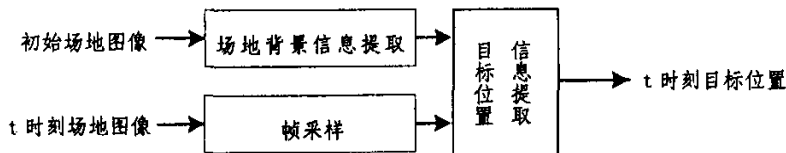


图 5 人体目标位置信息检测

在系统正常启动后, 视觉系统对场地进行采样得到初始化图像信息, 然后视觉将在一定采样时间间隔对场地进行采样, 并对比两幅图像信息, 从而确定目标当前的位置。

4 应用

本文给出的系统是位于沈阳科学宫的虚拟足球比赛系统, 该系统作为科学宫虚拟展品对于普及科技知识起到了重要作用, 并且系统性能相对于目前国内其它相似系统, 实时性和可靠性以及所表征的 VR 特性均处于领先地位。

结论 本文给出的系统由于采用多传感器数据融合的方法, 根据实际情况将实时要求和非实时要

求通过不同的传感器和处理器进行相应数据处理, 并将两者进行数据融合, 从而提高系统的沉浸感、交互的实时性以及参与者的想象力。由于受到摄像机分辨率的制约, 导致系统的虚实融合还存在一定的视觉差异。目前正在致力于基于多摄像机数据融合的方法来进行进一步对该系统性能进行提高。

参考文献

- 1 汪成为, 高文, 王行仁. 灵境(虚拟现实)技术的理论、实现及应用. 清华大学出版社, 广西科学技术出版社, 1996
- 2 王军, 苏剑波, 席裕庚. 多传感器集成与融合概述. 机器人, 2001, 3
- 3 方志刚. 三维空间控制器及其在三维空间交互技术中的应用. 计算机辅助设计与图形学学报, 1998, 10(2): 105~111
- 4 何希才. 传感器及其应用电路. 电子工业出版社, 2001