

混合跟踪技术在增强现实系统中的应用

苏 宏, 康 波

(电子科技大学自动化工程学院, 成都 610054)

摘 要:跟踪技术是增强现实的一个重要研究方向,它致力于解决虚拟信息与真实环境的精确配准问题,构建稳定、高效的增强现实系统。通过分析增强现实系统的跟踪需求,指出单一跟踪存在的不足,说明采用混合跟踪技术的必要性,论述了基于视觉-惯性的混合跟踪技术及其在增强现实中的应用,实现了一种基于 VisTracker 视觉-惯性混合跟踪器的增强现实实验系统,并给出调试结果。

关键词:增强现实;混合跟踪;VisTracker 视觉-惯性混合跟踪器

Implementation of Hybrid Tracking Technique in Augmented Reality System

SU Hong, KANG Bo

(School of Automation Engineering, University of Electronic Science and Technology, Chengdu 610054)

【Abstract】 Tracking technique is one of the most important research fields in Augmented Reality(AR). It aims at solving accurate registration problems between virtual information and real environment and building a stable and effective AR system for practical use. This paper analyzes the tracking requirements for AR applications, describes the necessity of applying hybrid tracking techniques, and specifies a hybrid approach that integrates inertial (6-DOF) and vision-based tracking techniques in AR and its applications. A hand-held AR experimental system based on VisTracker and a hybrid vision-inertial self tracker are designed. Analysis and experimental results demonstrate the system's effectiveness and its potential application in augmented museum tour system.

【Key words】 Augmented Reality(AR); hybrid tracking; VisTracker hybrid vision-inertial self tracker

1 概述

增强现实(Augmented Reality, AR)是在虚拟现实(Virtual Reality, VR)基础上发展起来的一门崭新的研究领域^[1]。它将计算机所绘制的虚拟信息叠加到用户所处的真实环境中,实时地、交互地增强用户对真实环境的感知能力,在设备维护、娱乐、医疗和军事训练等领域具有广阔的应用前景。

尽管近几年增强现实研究取得了长足进步,可由于显示、跟踪与配准等关键技术缺乏突破,仍然制约了增强现实技术在实际应用中的发展,也使得跟踪技术成为目前 AR 的一个重要研究方向。跟踪是在某一用户视点下,解决虚实场景之间的配准问题,即确定虚拟信息在真实环境下的位置和朝向等信息。常用的跟踪方式有磁传感跟踪、惯性跟踪、视觉跟踪和混合跟踪等几种。

2 增强现实系统对跟踪技术的需求

增强现实系统的目的是为用户提供信息辅助和协作的平台,以增强用户对真实环境的认识。基于实际应用的需要和人眼的敏感性,增强现实系统对配准的准确度和虚拟信息的真实感有着很高的要求。从虚拟信息配准的准确度来说,增强现实系统的跟踪性能应满足如下要求^[2]:

准确性:位置的检测应精确到毫米级,朝向的检测应精确到分度数。

快速性:跟踪系统与图形生成系统的延迟时间应尽可能短。对理想的 AR 系统,其延迟时间最好应低于 1 ms,对一般的 AR 应用来说,延迟时间应在 10 ms 之内。

跟踪范围:增强现实系统作用于真实的三维空间,用户

通过虚拟信息与真实环境进行交互,一般需要在较大范围内进行,以支持移动中的用户。

鲁棒性:指的是在外部环境改变的情况下,跟踪系统维持稳定跟踪性能的能力。

此外,兼顾计算的可移动性,还应考虑传感器的大小、重量、散热等多方面因素。

由于实际应用的复杂性,因此任何一种单一跟踪技术都难以实现上述性能指标,混合跟踪技术逐渐成了增强现实跟踪技术的主流。

3 基于视觉-惯性的混合跟踪技术

针对视觉识别技术稳定性及其在实时跟踪方面的不足,文献[3]将惯性跟踪技术引入到基于视觉的跟踪系统中,采用一个具有惯性朝向信息(3 自由度)的惯性传感器,弥补了视觉跟踪的不足,同时借助视觉传感器,改善了纯惯性跟踪的漂移现象,实现了良好的跟踪效果。

本文采用 InterSense 公司的具有惯性位置信息和朝向信息(6 自由度)的视觉-惯性传感器 VisTracker^[4]作为混合跟踪器。先通过视觉识别得到跟踪器在参考空间坐标系中的初始位置,然后由惯性环节预测得到位置和朝向信息,通过视觉识别进行准备计算,并由视觉信息来校正惯性漂移,通过三维几何坐标变换,最终将虚拟物体绘制在电脑上,实现虚拟

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60674077)

作者简介:苏 宏(1981 -),男,硕士,主研方向:增强现实,图形学;康 波,副教授、博士

收稿日期:2008-06-26 **E-mail:** suhongasr@gmail.com

增强的效果。

3.1 视觉跟踪初始定位

当跟踪器完成初始化后,由视觉传感器识别标志物进行定位。此时,跟踪器与参考坐标系处于相对静止的状态,由视觉传感器采样视野范围内的标志物,进行图像预处理,提取其中处理效果最好的4个或5个标志物进行识别,查找出各个标志物在参考坐标空间中预存的三维 x, y, z 位置信息,最后通过位置恢复算法计算得到混合跟踪器在参考坐标空间中的初始位置和朝向信息。

3.2 惯性跟踪动态定位

在动态跟踪的过程中,通过卡尔曼滤波器,由惯性传感器预测进行定位。当得到跟踪器的初始位置和朝向信息后,分别由加速度计和陀螺仪测量混合跟踪器的位置和朝向偏移,然后由数据融合处理器进行计算,实时预测得到跟踪器在参考坐标空间中的大致位置。

3.3 视觉辅助校正

通过视觉识别获取跟踪器的准确位置并且由计算得到的信息改善惯性偏移。在由惯性跟踪环节预测得到的空间位置区域内,通过视觉传感器识别该区域内的标志物,得到跟踪器具体的位置和朝向信息,作为惯性跟踪下一步预测的初始值,改善惯性偏移。

3.4 坐标系

系统包括4个主要的坐标系,分别是:世界坐标系 $W(x_w, y_w, z_w)$,摄像机坐标系 $C(x_c, y_c, z_c)$,惯性坐标系 $I(x_i, y_i, z_i)$,图像平面坐标系 $U(x_u, y_u)$,如图1所示。

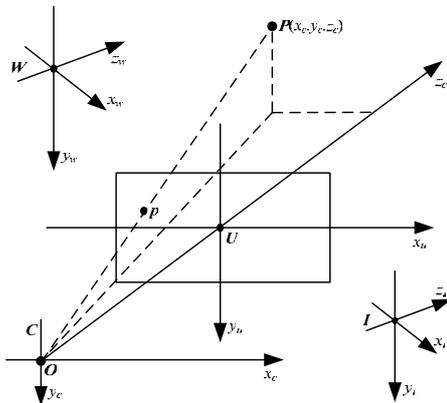


图1 摄像机模型和坐标系

空间任何一点 $P(x_w, y_w, z_w)$ 在图像平面上的成像位置可用针孔模型表示,世界坐标系到2D图像坐标系的变换矩阵为

$$W \rightarrow U : z_c \begin{bmatrix} x_u \\ y_u \\ 1 \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} R_i & T_i \\ & & & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中, R 为 3×3 旋转矩阵,由惯性传感器朝向数据计算得到,反映摄像机相对于真实空间坐标系的旋转分量; T 为 3×1 平移矩阵,由惯性传感器位置数据计算得到,反映了摄像机相对于真实空间坐标系的3个平移基本分量。

K 矩阵为

$$K = \begin{bmatrix} f/\Delta x & 0 & u_0 \\ 0 & f/\Delta y & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中, K 为摄像机内部参数; f 是摄像机的焦距; $\Delta x, \Delta y$ 为每一个像素在 X 轴和 Y 轴方向上的物理尺寸; (u_0, v_0) 是摄像机

光轴与图像平面的交点,即图像平面坐标系的原点。

4 基于 VisTracker 的 AR 实验系统的设计及实现

本实验系统旨在模拟博物馆虚拟漫游系统的设计及实现。以实验室的展示柜为虚拟信息辅助增强对象,通过叠加3D虚拟信息来辅助说明展示柜中的实验设备。当用户在室内漫游时,通过视觉-惯性混合跟踪器来实时跟踪用户的位置及视线方向,当用户的视线方向朝向展示柜时,经过位置和朝向的计算,通过计算机在定点处绘制出虚拟信息实现增强效果。

4.1 系统的开发平台

本系统采用的跟踪器 IS-1200 VisTracker 是 InterSense 公司于2003年推出的一款基于视觉的惯性-自适应跟踪器,能够在较大的空间区域内,在多变光照环境下,实现准确的、实时的跟踪,能够满足在博物馆虚拟漫游等应用领域的跟踪需求。

VisTracker 是6自由度的混合跟踪器,其标准结构由2个部分组成:(1)传感器单元,用于标志物的识别、运动过程中惯性信息的获取等;(2)信息融合处理单元,用于实时计算跟踪器在参考坐标空间的位置信息和朝向信息。

系统采用美国华盛顿大学人机交互技术实验室(HIT Lab)发布的ARToolkit^[5]为软件开发平台,以OpenGL三维图形库作为虚拟信息绘制工具,硬件平台由VisTracker IS-1200、CCD摄像头和工作站等3部分构成。其中,VisTracker和CCD摄像头的几何中心经校准后通过支架固定在一个点上,以保持两者的相对位置关系。

4.2 系统设计

4.2.1 标志物的布置及世界坐标系的设定

VisTracker 的位置和朝向信息是通过计算参考标志物坐标信息得到的。在本系统中,首先在用户所处的空间内定义一个世界坐标系,原点在屋顶平面上, Z 轴垂直于屋顶平面向下,指向用户空间。

在屋顶平面所在的 XY 平面上布置标志物阵列,共定义7个标志物定点,分别为ID100-ID400,并通过比较精确的几何测量,分别确定了7个定点在参考坐标空间中的位置信息,如图2所示。其中,度量单位是cm; Z 轴垂直于纸面向内。

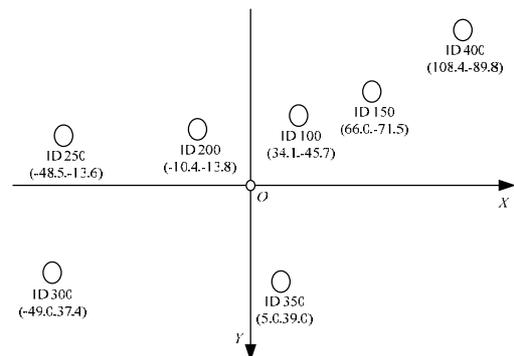


图2 参考空间坐标系(世界坐标系)

4.2.2 空间内物体坐标的标记

通过预先精确的几何测量,得到需辅助增强的实验设备在该世界坐标系下的三维坐标信息,记为 $P(x_w, y_w, z_w)$ 。

4.2.3 位姿信息的获取

通过 VisTracker 混合跟踪器提供的 SDK,在软件开发平台上实时获取 VisTracker 在世界坐标系下的位置和朝向信息,分别设定为 $V(x_p, y_p, z_p)$ 和 $V(x_o, y_o, z_o)$ 。从而间接得到提

像头在世界坐标系下的位置信息 $C(x_p, y_p, z_p)$ 和朝向信息 $C(x_o, y_o, z_o)$ 。

4.2.4 外部参数的计算

由式(1)可以看出,要得到世界坐标系下 P 点在 2D 图像坐标系下的坐标,需计算摄像机的外部参数矩阵 $[R_i T_i]$ 。其中, R 为 3×3 旋转矩阵,由惯性传感器朝向数据计算得到; T 为 3×1 平移矩阵,由惯性传感器位置数据计算得到,式子如下:

旋转矩阵:

$$\begin{bmatrix} \cos(x)\cos(z)+\sin(x)\sin(y)\sin(z) & -\cos(x)\sin(z)+\sin(x)\sin(y)\cos(z) & \sin(x)\cos(y) \\ \cos(y)\sin(z) & \cos(z)\cos(y) & -\sin(y) \\ -\sin(x)\cos(z)+\sin(y)\cos(x)\sin(z) & \sin(z)\sin(x)+\sin(y)\cos(x)\cos(z) & \cos(x)\cos(y) \end{bmatrix} \quad (3)$$

平移矩阵:

$$[T_i] = \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{bmatrix} \quad (4)$$

4.2.5 虚拟信息的绘制

计算得到摄像头的外部参数后,在软件开发平台上,通过 OpenGL 三维图形库在视频流中绘制出虚拟辅助信息。

4.3 系统调试结果及分析

在实际调试过程中,用户将手持该实验设备在布置有参考标志物的用户空间内进行演示,计算设备为工作站,如图 3 所示。系统运行结果如图 4 所示,其中茶壶为计算机生成的虚拟信息,作为展示柜中的实验仪器的辅助信息,其他均为真实物体。当实验仪器出现在摄像机的视野范围内时,通过增强现实算法,计算机就自动绘制出虚拟信息。

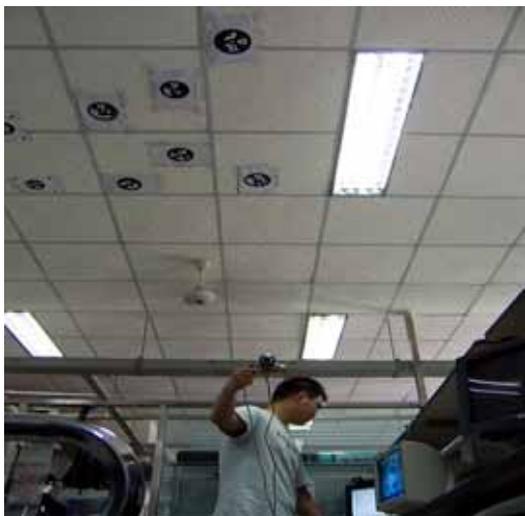


图 3 工作中的用户

调试结果表明,基于视觉的惯性-自适应混合跟踪器 VisTracker 在大范围、变光照的情况下具有良好的跟踪效果;

实时性好,延迟时间较短,较好地克服了运动模糊。跟踪精度较高,位置检测精确到 0.01 cm,朝向检测精确到 0.1° ;但是,混合跟踪器发热量比较大,不能支持长时间频繁使用。



图 4 运行结果

5 结束语

本文实现了一种基于视觉-惯性混合跟踪技术的增强现实实验系统,采用视觉-惯性混合跟踪的方法,以 ARToolkit 为开发平台,以 OpenGL 作为虚拟信息的绘制工具。

实验结果表明该系统实现了增强现实系统的基本功能,实时性较好,较好地抑制了运动模糊,跟踪精度较高,具有良好的跟踪性能。接下来的工作将针对博物馆漫游的系统设计进行展开。

参考文献

- [1] Azuma R, Baillet Y, Behringer R, et al. Recent Advances in Augmented Reality[J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 2001, 21(6): 34-47.
- [2] 康波. 增强现实中的跟踪技术[J]. 计算机测量与控制, 2006, 14(11): 1431-1434.
- [3] You Suya, Neumann U, Azuma R. Hybrid Inertial and Vision Tracking for Augmented Reality Registration[C]//Proc. of IEEE Conf. on Virtual Reality. Houston, TX, USA: [s. n.], 1999: 260-267.
- [4] Foxlin E, Naimark L. VIS-tracker: A Wearable Vision-inertial Self-tracker[C]//Proc. of IEEE Virtual Reality. Los Angeles, CA, USA: [s. n.], 2003: 199-206.
- [5] Kato H, Billinghurst M, Blanding R. ARToolkit PC Version 2.71[EB/OL]. (2005-09-21). <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit>.

(上接第 267 页)

参考文献

- [1] 王泽根. 面向 COP 的空间信息服务研究[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2005.
- [2] 管华. 战术导弹战场环境仿真系统的研究[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2003.
- [3] 姚益平. 高性能分布式交互仿真运行支撑平台关键技术研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2003.
- [4] 刘强, 匡镜明, 王华. 基于 HLA 的分布式军事通信网仿真[J]. 计算机工程, 2006, 32(12): 96-98.