

基于增强现实的人群行为控制仿真系统

郑峰, 李红松, 丁刚毅, 黄张涛, 张长路, 张龙飞
(北京理工大学软件学院, 北京 100081)



摘要: 介绍了一个基于增强现实技术, 用人工标识来编辑人群行为的交互式控制仿真系统。提出了一个具有较普遍意义的人群行为基础模型, 包含人群行为的刺激因素、心理因素和动作反应三个层次。增强现实技术通过对这三个层次进行控制实现了对人群行为的控制。标识卡可以控制虚拟人群的路径、环境因素和决策准则。增强现实技术的应用使用户能够更自然的与系统交互, 提高人机界面的效率。实例展示了增强现实技术对人群的不同控制方式, 证明了系统的可用性。

关键词: 增强现实; 人群仿真; 人群编辑; 人机交互

中图分类号: TP311.56 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-731X (2009) S1-

A Crowd Control and Simulation System based on Augmented Reality

ZHENG Feng, LI Hong-song, DING Gang-yi, HUANG Zhang-tao, ZHANG Chang-lu, ZHANG Long-fei
(School of Software, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: An interactive simulation and control system for crowd behavior, which is based on augmented reality (AR) technology, is presented. A basic crowd behavior model with good generality is proposed, including three levels of crowd behavior: the stimulus, the psychological processes, and the reactions. *The AR technology controls the crowd behavior by controlling the three levels of crowd behavior. Markers are used to adjust the paths, the environment factors, and the decision-making processes of virtual crowds.* The applications of AR provide more intuitive means of control for the users, promoting the efficiency of human-machine interface. Several examples are provided to illustrate the various crowd control methods and the usability of the system is proved.

Key words: augmented reality; crowd simulation; crowd authoring; human-machine interaction

引言

伴随着公共安全、城市规划、军用仿真等应用方向需求的增加, 人群仿真成为目前的一个重要仿真研究方向。目前, 人群仿真的研究主要集中在人群行为建模和人群渲染等方面, 而在对虚拟人群高效、直观地编辑方面进展较少。

目前的人群仿真系统, 主要利用传统的人机交互方式, 用户通过鼠标和键盘在一个二维界面上对虚拟人群进行编辑与控制。这种方式存在着一些不足之处, 其中, 最为显著的问题是操作效率低和不够直观, 而这些问题随着需要模拟的人群行为复杂性的增加而愈为突出。对于没有虚拟现实系统使用经验的用户来说, 难以在短时间掌握复杂的人机界面的操作。

针对以上问题, 本文提出了一个基于增强现实的人群行为控制仿真系统。该系统利用人工标识 (Marker) 来控制人群仿真系统中人群的空间属性、行为特征以及周围的环境因素等, 从而使用户摆脱了复杂的人机界面, 能以一种直观、交互性强、高效的方式对大规模人群场景进行编辑与控制, 并带来了更直观的虚实互动体验。

1 相关工作

1.1 人群编辑算法

对人群行为的研究和建模一直是人群仿真领域的热点。最新的技术手段能够仿真非常真实的大规模人群运动, 并成功的应用于电影特效和游戏制作中。随着人群行为模型的日益完善, 人群场景的制作和编辑问题变得突出, 缺乏高效的手段来设计实现人群场景限制了这些模型的推广和应用。

Kwon 等提出了一个基于图结构的针对组的人群行为编辑方法, 用户可以从整体上编辑整个组的行为, 又尽量维持了虚拟人之间的相互位置关系和行进轨迹^[1]。Anderson 等通过调整人群行为的约束来控制人群行为。这种方法可以使群体沿曲线运动、在一定范围内运动或保持一定的队形运动^[2]。但是这种方法不适用于人群数量较大的情况。Ulicny 等提出一个更符合创作习惯的人群刷 (CrowdBrush) 工具, 在图形交互界面上用一个刷子状的鼠标指针来添加人群和改变人群的属性, 并实时地展示编辑的结果^[3]。人群刷工具模仿交互式图形编辑软件中的画笔工具, 较符合用户的习惯; 但是该方法仅适用于调整虚拟人群的与空间位置相关的属性, 对仿真过程中的时间和事件控制有局限。Sung 等提出通过控制情景 (Situation-Based) 的方法对人群的行为进行控制。他们设计了一个图形界面用于用户直接在虚拟环境中绘制情景的位置和范围, 从而实现对人群局部行为的控制^[4]。

收稿日期: 2009-06-26

修回日期: 2009-08-12

作者简介: 郑峰 (1988-), 男, 浙江省温州市人, 本科生, 研究方向为增强现实、人群仿真; 李红松 (1972-), 男, 北京市人, 博士, 讲师, 研究方向为真实感图像合成、虚拟现实和光学测量。

1.2 增强现实相关工作

增强现实 (Augmented Reality, 简称 AR), 是对现实世界的补充, 使得虚拟物体从感官上成为周围真实环境的组成部分。Azuma^[5]指出, 增强现实具有三个特点: 虚实结合、实时交互和三维注册。

国外对增强现实的研究较早。加拿大多伦多大学的 Milgram 是早期从事增强现实研究的学者之一, 他提出了一个虚拟环境与真实环境的关系图谱^[6]。美国哥伦比亚大学的计算机图形学与用户界面实验室开发了一系列基于增强现实的应用系统, 包括用于植物种类识别的移动增强现实用户界面^[7-9]、用于考古挖掘的协作可视化系统^[10-12]等。维也纳理工大学研究开发的增强现实系统, 主要应用于数学教学系统和面向娱乐的增强型虚拟创作环境^[13]。西班牙瓦伦西亚大学将增强现实用于治疗蟑螂恐惧症^[14]。新加坡理工大学研究人员利用增强现实技术实现了虚拟乐器演奏、魔幻时空等研究成果^[15]。

我国对增强现实技术的研究同样取得了许多成果。北京航空航天大学虚拟现实技术与系统国家重点实验室针对共享增强现实场景与协同工作环境方面的基础问题和关键问题, 研究了协同式增强现实中一致三维注册、一致空间遮挡关系、一致场景深度感知和多通道人机交互等方面的问题^[16]。北京理工大学信息工程学院光电工程系在增强现实方面发表了基于光流、基于投影等多篇有关注册技术的论文^[17-19]。华中科技大学的明德烈等在视觉注册技术上提出了自己的仿射坐标变换法, 能够简单而快速地实现注册中的坐标变换^[20-22]。

目前, 还没有相关工作将增强现实技术应用于人群仿真中, 尤其是人群行为的控制和编辑。

2 基于增强现实的人群行为控制

通过对人群仿真中的编辑、控制需求的分析, 本文提出了一个利用人工标识 (Marker) 来控制、编辑人群行为的人群仿真系统, 通过直接操作 Marker 来提高仿真系统的交互性与可用性。

2.1 人群行为控制基础模型

人群行为模型的建立是人群仿真中的重要一环。目前已有的行为模型可以模拟多种人群的行为。尽管这些模型各有特点, 也存在着不少共同点。通常人群行为模型需要模拟人群中的个体或整体对外界环境的感知, 然后根据这些信息进行判断, 决定将要采取的行为。例如, Helbing 提出的驱动行人运动的社会力模型, 描述了人与人、人与环境的社会心理和物理作用^[23]。

本工作提出了一个基础的人群行为模型, 如图 1。此模型包括三个层次: 刺激因素层、社会心理层以及运动反应层。

刺激因素层, 主要是指人群的动机和人群在环境中所受到的影响。其中, 人群的动机是驱使人群众体行动的基本动力;

环境因素则包括障碍物、危险源等。

社会心理层对应着行人根据动机分析环境因素产生决策并驱动行为产生或变化的过程。其中, 信息处理依据效用最大化的原则, 从不同的行为类型中选择满足该原则的最佳行为, 从而产生决策。接着, 行人就会产生驱动力 (drive force), 体现了行人以渴望的速度移动到目的地的动机。其中, 行为类型包括按照规定的路线行进、向目标点移动、远离危险源、避开障碍物 (碰撞避免) 等。

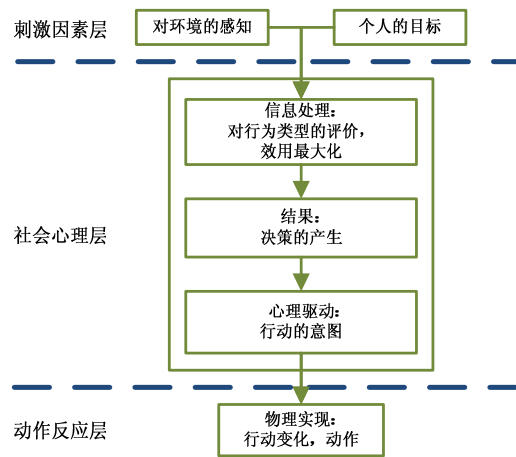


图 1 人群行为控制基础模型

动作反应层处于三层模型的最底层, 是行人运动的最基本元素, 或称为化身 (embodiment), 也是所有行为的组成部分, 规定了行人能够在某个行为中的所有动作。它把社会心理层的行动意图 (信号) 转化为行人的身体动作。

这个模型与已有的人群模型相比虽然相对简单, 但是包含了大多数人群行为模型的基本元素。下面给出 AR 技术对这个模型的不同层次实现控制的方法。

2.2 基于 AR 的刺激因素控制

与 Sung 等提出通过控制情景 (Situation-Based) 控制人群行为类似, 用户可以在真实环境中通过直接移动和摆放 Marker 来控制环境因素 (包括障碍物和危险源等可以用空间位置定义的因素), 进而控制人群行为。与传统交互方式不同的是 AR 技术控制的直观和实时性, 用户可以实时的改变障碍物、危险源等位置、大小、范围、方向等。

同样, Marker 可以用于确定人群运动的起始点、出生点, 人群行进路径上的关键点等, 从而驱动人群众体的行为。

2.3 基于 AR 的社会心理控制

人群对于外部刺激因素的反应可以通过控制几个心理因素来控制, 包括人群对外界的感知、决策策略和情绪因素等。以上的心理因素同样可以通过 AR 技术来实现控制。特定的心理因素可以与特定的 Marker 绑定, 直接添加到场景中, 用于控制人群的行为。

对于包含多个不同行为的群组的人群场景, 通过 AR 技术对不同群组的虚拟人群进行控制则需要更复杂的控制逻辑。

辑。一个简单的解决方法是将控制行为属性的 Marker 与标识人群位置的 Marker 放置在相邻的位置, 以将特定的行为属性指定给特定的虚拟人群。这样, 包含多个群组的虚拟人群可以同时实现不同的行为。

2.4 基于 AR 的动作反应控制

通过 Marker 可以直接控制人群的动作反应。不同的 Marker 可以绑定不同的虚拟人动作序列。Marker 可控制人群的起停、步伐切换、沿指定路线运动等行为类型, 例如可以让行人从行走状态切换到奔跑状态。

3 原型系统的设计与实现

3.1 系统架构

本系统的设计目的是使用户能够以一种直观的交互方式来编辑人群的行为, 并能马上看到实时动态仿真结果。这种人与虚拟环境的自然交互, 彻底颠覆了传统仿真编辑的交互方式和操作流程。

系统主要包含三个部分, 其中控制层实现交互界面, 接受输入事件, 显示虚实结合场景, 具体包括增强现实用户界面(针对 Marker 对人群行为的编辑操作)和 WIMP 用户界面(针对资源管理操作)两部分; 逻辑层实现 Marker 控制逻辑(包含刺激因素控制逻辑、社会心理控制逻辑、动作反应控制逻辑三部分)、人群行为控制逻辑和资源管理, 并实现编辑结果的数据持久化, 将结果保存为 XML 格式数据文件; 引擎层包括 Virtools 三维引擎和增强现实引擎, 分别实现底层的场景管理、骨骼动画和场景渲染, 以及 Marker 的识别与三维注册。系统架构如图 2 所示。

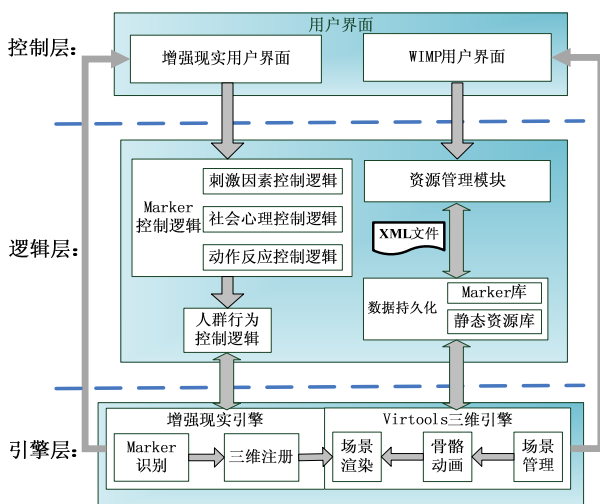


图 2 系统架构

对于控制层, 包含两种类型的交互界面, 接受不同类型的输入事件。AR 系统本身就是一种用户界面, 其不同于传统 WIMP 界面, 是一种典型的 Non-WIMP 界面。所谓的 WIMP 界面是指基于窗口(Window)、图标(Icon)、菜单(Menu)和指点装置(Pointing Device)的用户界面, 这种界面的特点是

串行和离散的。而 AR 系统中的人机交互包含了并行和连续交互, 因此 AR 系统的人机交互不能基于 WIMP 界面的离散事件处理模型。Non-WIMP 界面对话的核心是一系列暂时的连续关系。对于增强现实用户界面, 接受的输入为对人群行为的编辑操作, 需要在通过 Marker 连续地指定与人群行为决策相关的信息, 比如人群的出生点、目标、障碍物等。

3.2 人群行为的编辑流程

下面, 以人群疏散场景的编辑为例, 从系统三层架构的角度介绍人群行为编辑的一般流程。

(1) 通过摆放或移动相应的 Marker, 可以控制环境因素或人群行为类型。这里, 分别摆上代表人群的出生点和目标的 Marker, 同时摆上障碍物对应的 Marker。

(2) 通过增强现实引擎, 实现 Marker 识别和顶点提取, 并进行三维注册。标志识别和顶点提取的目的是获得标志顶点的二维图像坐标。三维注册则是根据二维图像坐标重建顶点的三维空间坐标。

(3) 根据 Marker 所对应的功能, 通过人群行为控制逻辑, 确定人群所采取的行为类型。这里, 在获取出生点、目标和障碍物的位置方向信息后, 规划出虚拟人群的路径, 并避免虚拟人与障碍物、虚拟人之间的碰撞。

(4) 通过 Virtools 三维引擎, 渲染人群运动的场景, 渲染的结果在输出窗口显示。

以上四个步骤代表了人群行为编辑的一个循环。每个循环的第一步, 即通过 Marker 与系统进行自然交互, 可以实时、高效地对人群行为进行编辑和控制。

4 仿真实例

本节从利用 AR 控制人群行为模型三个层次的角度, 给出了三个用本系统实现的虚拟人群场景。

4.1 实例 1: 通过 AR 控制环境刺激因素实现人群疏散过程的控制和仿真

大型公共设施中人群聚集通常是事故发生的隐患。因此, 对人群疏散进行仿真, 具有极大的现实意义和实用价值。最常用的人群疏散模型为 Helbing 社会力模型:

$$m_i \frac{dv_i}{dt} = m_i \frac{v_i^0(t)e_i^0(t) - v_i(t)}{t_i} + \sum_{j \neq i} f_{ij} + \sum f_{iw} \quad (1)$$

其中, 粒子 i , 质量为 m , 预定速度 v_i^0 (期望值), 方向 e_i^0 , 在 t_i 时间区域内, 即时速度为 \bar{v}_i , f_{ij} 为与其它粒子之间的力; f_{iw} 与墙壁之间的力。

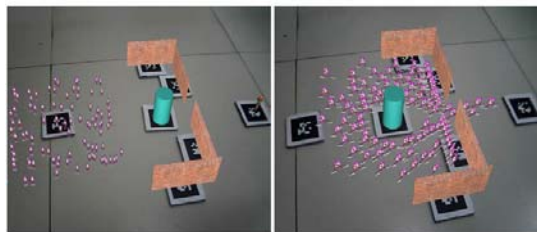
通过 Marker 可以控制人群行为模型的刺激因素层, 包括人群的生成点、目标, 以及边界和障碍物等, 从而能够对人群疏散场景进行控制和仿真。通过摆放 Marker 模拟出口突然变窄的情况, 人群运动到此处, 就会发生拥挤, 从而产生所谓的瓶颈效应。虚拟的场景中人群包括 100 个虚拟人, 在室内随机分布, 使其通过一个宽为 4 米的门, 如图 3(a)。

仿真结果显示当行人接近出口时，行人密度的增加，其流动速度就会减小，人群开始发生拥堵，流量开始下降，如图 3(b)。为了减轻人群在瓶颈处的拥挤状况，Helbing 提出缓解措施：在出口之前竖立一根石柱，以此减少附近人群的拥挤程度，起到类似防波堤一样的作用，如图 3(c)、3(d)。



(a) 起始时刻三维场景 (b) 发生拥挤时三维场景

A. 瓶颈处人群拥挤行为的仿真



(c) 添加石柱 (d) 发生拥挤时三维场景

B. 缓解瓶颈处人群拥挤行为的仿真

图 3 通过 AR 控制环境刺激因素实现人群疏散控制

4.2 实例 2：通过 AR 控制社会心理因素实现人群紧急状况的控制和仿真

火灾是一种典型的紧急情况。避免或减少火灾事故所造成的人员伤亡一个重要方面就是一旦发生火灾事故采取恰当的应急策略，安全地进行人员疏散，正确地采取避难行动。

下面，从 AR 控制人群行为模型的社会心理层的角度对发生火灾的紧急状况进行人群仿真。首先用 Marker 来生成大规模的人群，然后将一个代表起火点的 Marker 置于场景中，最后放入一个 Marker 改变人群的社会心理属性，从而对人群疏散进行了编辑与控制。

开始时，用一个 Marker 代表人群出生点，200 个虚拟人在出生点周围随机分布。仿真结果如图 4(a)。

接着，在人群场景中央中放入一个代表起火点的 Marker，人群开始四散逃跑。仿真结果如图 4(b)、4(c)。

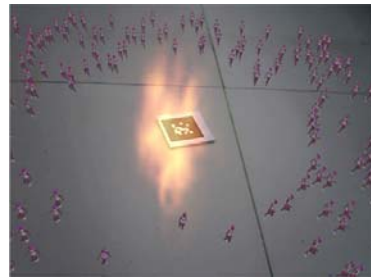
最后，在场景中放入一个能够改变人群社会心理属性的



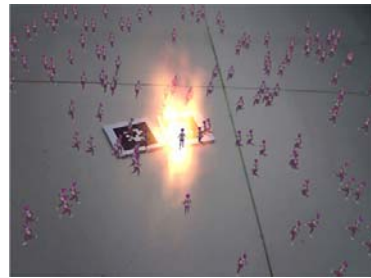
(a) 起始时刻三维场景



(b) 放入起火点人群开始逃离（放入起火点后 3s）



(c) 放入起火点后 15s



(d) 加入 Marker 改变部分人群的社会心理属性

图 4 通过 AR 控制社会心理因素实现人群紧急状况处理

Marker，部分虚拟人(50 个)开始向火灾源跑去，模拟消防人员救火的场景。仿真结果如图 4(d)。

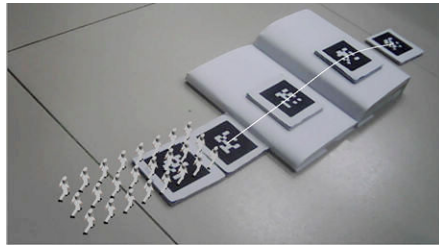
4.3 实例 3：通过 AR 控制行为反应实现指定路线和动作的人群运动

使人群按照规定的路线运动是一个经典的微观的人群编辑与控制问题。在实景中放置的 Marker 可以被用作确定虚拟人群移动路径的定标点。已知多个 Marker 的位置和方向信息，可以利用三次样条插值算法，计算出唯一光滑的曲线，来控制人群的行进路线。三次样条 Hermite 插值函数的如下：

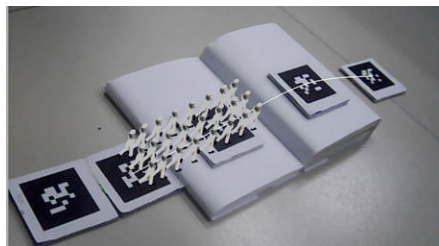
$$S(x) = \left(\frac{x - x_{j+1}}{x_j - x_{j+1}} \right)^2 \left(1 + 2 \frac{x - x_j}{x_{j+1} - x_j} \right) f_j + \left(\frac{x - x_j}{x_{j+1} - x_j} \right)^2 \left(1 + 2 \frac{x - x_{j+1}}{x_j - x_{j+1}} \right) f_{j+1} + \left(\frac{x - x_{j+1}}{x_j - x_{j+1}} \right)^2 (x - x_j) m_j + \left(\frac{x - x_j}{x_{j+1} - x_j} \right)^2 (x - x_{j+1}) m_{j+1} \quad (2)$$

用一张 Marker 代表人群的出生点，可以看到一个 3×8 的队列实时生成，如图 5(a)。同时，在场景中放入代表路径的四个 Marker，在人群感知到路径信息后，开始按路线运动，如图 5(b)。在人群运动过程中，路线可以通过移动 Marker

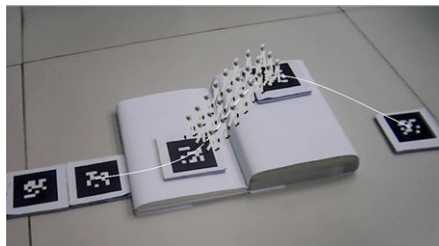
的位置进行实时调整,人群在感知到路线变化后,就会改变行进方向,如图5(c)。也可以通过 Marker 控制人群的动作反应。这里通过 Marker 使队列行进时由齐步走切换为正步走,如图5(d)。



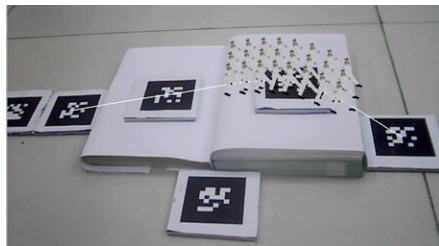
(a) 起始状态



(b) 按指定的路线运动



(c) 交互式路线调整



(d) 动作反应控制

图5 通过AR控制行为反应实现指定路线和动作的人群运动

5 结论

本文介绍了一个基于增强现实技术的、用于编辑、控制自制人群活动场景的交互式人群编辑系统。该系统实现了基于 Marker 的环境控制和人群行为类型控制。与现有的人群行为编辑系统相比,该系统的优势在于能够利用真实的环境中的物体—Marker 与系统进行自然的实时交互,无需使用者具有相关虚拟现实系统的使用经验。同时,该系统具有很好的扩展性,可适用于具有不同人群行为模型的人群仿真系统。另外,也可以扩展应用到许多其他领域中。

近年来,在文艺表演领域,人与表演环境的虚拟并自然的交互技术和集成系统的应用,在很大程度上帮助解决真实

排练中的许多实际问题,如费用过高、受环境限制等,已经开始受到多方面的重视。

因此,本系统经过进一步的完善,可以应用于表演编排、公共安全、城市规划、电影特效等多个领域。

参考文献:

- [1] Taesoo Kwon, Kang Hoon Lee, Jehee Lee, *et al.* Group Motion Editing [C]// ACM Transactions on Graphics, 2008, 27(3).
- [2] Anderson M, McDaniel E, Cheney S. Constrained Animation of Flocks [C]// ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation (SCA'03) ACM SIGGRAPH. New York: ACM Press, 2003: 286-297.
- [3] Ulicny B, Ciechowski P, Thalmann D. Crowdbush: Interactive Authoring of Real-time Crowd Scenes [C]// Eurographics/ACM SIGGRAPH Symposium on Computer Animation, ACM SIGGRAPH. New York: ACM Press, 2004: 243-252.
- [4] Sung M, Gleicher M, Cheney S. Scalable behaviors for crowd simulation [J]. Computer Graphics Forum, 2004, 23(3): 519-528.
- [5] R T Azuma, B R Hoff, I Howard, *et al.* Making augmented reality work outdoors requires hybrid tracking [C]// IWAR '98, 1998: 219-224.
- [6] Milgram P, Kishino F. A taxonomy of mixed reality visual displays [J]. IEICE Transaction on Information Systems, 1994.
- [7] White S, Feiner S, Kopylec J. Virtual Vouchers: Prototyping a mobile augmented reality user interface for botanical species identification [C]// 3DUI 2006 (IEEE Symp. on 3D User Interfaces), Alexandria, VA, 2006: 25-26.
- [8] White S, Marino D, Feiner S. Designing a Mobile User Interface for Automated Species Identification [C]// Proceedings of ACM CHI 2007, San Jose, CA, 2007: 291-294.
- [9] White S, Feiner S. Augmented Reality User Interfaces to an Electronic Field Guide [C]// IEEE and ACM ISMAR 2006 CD ROM, Santa Barbara, CA, 2006: 22-25.
- [10] Benko H, Ishak E W, Feiner S. Cross-Dimensional Gestural Interaction Techniques for Hybrid Immersive Environments [C]// IEEE Virtual Reality (VR 2005). Bonn, Germany. March 10-12, 2005: 209-116.
- [11] Benko H, Ishak E W, Feiner S. Collaborative Mixed Reality Visualization of an Archaeological Excavation [C]// The International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2004), 2004.
- [12] Benko H, Ishak E W, Feiner S. VITA: Visual Interaction Tool for Archaeology (Demo) [C]// The International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2004), November 2004.
- [13] Hanes Kaufmann, Dieter Schmalstieg. Mathematics and geometry education with collaborative augmented reality [C]// Computers & Graphics 27, 2003: 339-345.
- [14] Juan M C, Botell C, Alcaniz M, *et al.* An augmented reality system for treating psychological disorders: application to phobia to cockroaches [C]// Third IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2004: 256-257.
- [15] TFarbiz F, Cheok A D, Liu Wei, *et al.* Live Three-Dimensional Content for Augmented Reality [J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2005: 514-523.
- [16] 陈小武. 协同式增强现实的一致三维空间模型概述[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2005, 33: 317-321.

- [17] 陈靖, 王涌天, 闫达远. 增强现实系统及其应用[J]. 计算机工程与应用, 2001, 23(15): 72-77.
- [18] 陈靖, 施琦, 王涌天. 基于视觉增强现实系统的设计与实现[J]. 计算机工程与应用, 2001, 19(21): 55-60.
- [19] 陈靖, 王涌天, 施琦. 基于视觉的增强现实运动跟踪算法[J]. 计算机应用研究, 2001, 4(2): 15-20.
- [20] 明德烈, 柳健, 田金文. 仿射变换在增强现实中的应用[J]. 系统仿真学报, 2001, 83(2): 286-290.
- [21] 明德烈, 柳健, 田金文. 二维平面内的增强现实虚实配准问题研究[J]. 红外与激光工程, 2001, 30(6): 410-415.
- [22] 明德烈, 柳健, 田金文. 非定标的虚实注册方法[J]. 红外与激光工程, 2002, 31(6): 170-174.
- [23] Helbing D, Molnar P. Social Force Model for Pedestrian Dynamics [J]. Physical Review E (S1063-651X), 1995, 51(4): 4282-4286.
- [24] Zhou F, Duh H B L, Billinghurst M. Trends in Augmented Reality Tracking [C]// Interaction and Display: A Review of Ten Years of ISMAR. Cambridge, UK: 7th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2008), 2008.
- [25] R T Azuma, Y Bailiot, R Behringer, *et al.* Recent advances in augmented reality [J]. IEEE Computer Graphics & Applications (S0272-1716/01), 2001, 21(6): 34-47.