

## 面向移动增强现实的屏幕外对象可视化方法

陈 岭, 季诚夏, 黄伟恺, 陈 日, 陈根才

(浙江大学计算机科学与技术学院 杭州 310027)

(lingchen@zju.edu.cn)

**摘 要:** 现有移动增强现实屏幕外对象可视化方法往往将对象信息集中在屏幕中心进行显示, 由于移动计算设备屏幕尺寸一般较小, 在屏幕外对象数量多时会导致显示过于密集, 进而影响可视化性能。为此提出一种屏幕外对象可视化方法, 利用屏幕边缘相对较大的空间实现大量屏幕外对象的可视化。该方法基于地理信息数据及传感器姿态数据, 将屏幕外对象以标注箭头形式分散于屏幕边缘来描述屏幕外对象的相对位置及相对距离, 并通过可自适应距离的建筑捕捉框来可视化屏幕内对象, 提高系统使用效率。实验结果表明, 文中方法在进行搜寻周边建筑任务时能提供比传统屏幕外对象可视化方法更好的性能, 其中搜寻时间减少 11.02%, 用户满意度提高 14.72%。

**关键词:** 移动增强现实; 屏幕外对象; 可视化

中图法分类号: TP391

## An Off-Screen Object Visualization Approach for Mobile Augment Reality

Chen Ling, Ji Chengxia, Huang Weikai, Chen Ri, and Chen Gencai

(College of Computer Science and Technology, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

**Abstract:** Current mobile augmented reality off-screen visualization methods usually display the digital objects in the center of the screen. However, due to the limited screen size of a handle device, it would be intensive when there are many objects and thus have a low visualizing performance. To address this, we proposed an off-screen visualization method which utilized the edge of the screen to visualize many off-screen objects simultaneously. Based on geographical data and sensors, the method displayed arrows around the screen to indicate the directions and distances of off-screen objects, also a box whose size could be adaptive to the distance between the device and an in-screen building was designed for indicating the building, to increase the system performance. Experiments were conducted to compare the performance of the proposed method and the traditional method which displays the objects in the center of the screen. The results showed that the proposed method had a better performance in terms of locating buildings, with task completion time decreasing 11.02% and user satisfaction increasing 14.72%.

**Key words:** mobile augmented reality; off-screen objects; visualization

增强现实(augmented reality, AR)即在物理真实世界环境中添加声音或图形等虚拟输入,使真实世界与虚拟世界相互融合,能有效地提高人机交互与环境感知效率。近年来,基于移动设备的移动增强

现实(mobile augmented reality, MAR)不断发展,在导航、游戏、搜索<sup>[1-2]</sup>等方面已被广泛应用。AR与MAR在应用中往往需要对某些物体(如建筑、车辆等)进行可视化,而由于设备视角限制无法将所有物

收稿日期:2011-04-13;修回日期:2012-03-22。基金项目:国家“核高基”重大科技专项课题(2010ZX01042-002-003);国家自然科学基金(60703040);浙江省科技计划优先主题项目(2007C13019);浙江省重大科技专项(2011C13042);浙江省自然科学基金(Y107178)。陈 岭(1977—)男,博士,副教授,博士生导师,主要研究方向为普适计算、人机交互等;季诚夏(1986—)男,硕士,主要研究方向为增强现实等;黄伟恺(1987—)男,硕士,主要研究方向为人机交互等;陈 日(1987—)男,硕士,主要研究方向为普适计算等;陈根才(1950—)男,教授,博士生导师,主要研究方向为计算机网络、数据库等。

体进行显示,因此可将物体分为屏幕内已进行可视化的物体即屏幕内对象,以及超出屏幕范围尚未可视化的物体即屏幕外对象。

屏幕外对象包含大量信息,与屏幕内对象存在较高相关性,对屏幕外对象进行可视化为进一步提高 MAR 系统的交互效率提供了新的途径。目前已有 mini 地图与标注式屏幕外对象可视化技术,如 Baudisch 等提出的 Halo 技术<sup>[1]</sup>,该技术着重于对平面地图进行可视化,以不同直径弧线来表示其相对位置远近。Henze 等<sup>[2]</sup>通过在屏幕中心设置对应箭头标示屏幕外对象,该方法适用于在真实场景加入 AR 对象,在屏幕外对象数目较少时使用简便,通过若干箭头即可直观反映周围屏幕外对象位置状况;作为该技术的补充,他们进一步提出将地图与指示箭头结合的方法来提高 mini 地图使用效率。Schinke 等<sup>[3]</sup>通过在屏幕中心加入箭头的方式指示环境对象,该方法在环境对象数目较多时会由于过多箭头挤占屏幕中心空间,导致箭头之间相互遮挡与混淆。除箭头指示外,Avery 等<sup>[4]</sup>针对遮挡等问题设计了透视处理方法,通过对遮挡物进行视觉透明化处理使被遮挡物呈现于当前屏幕;但该方法只能对视角范围内物体进行处理,无法使用户有效地感知到屏幕外对象。

针对上述问题,本文提出在屏幕边缘加入用于指示屏幕外对象箭头的可视化方法。相对于在屏幕中心指示屏幕外对象,在屏幕外侧显示不挤占主显示空间;同时由于指示对象的箭头得到有效分散,较大的箭头间距可防止相互混淆,进而在屏幕外对象数量较大时仍能有效区分箭头,得到对屏幕外对象的有效指示和参照。本文还设计实现了采用屏幕外对象可视化方法的 MAR 原型系统,并在实验部分通过搜寻建筑任务将本文方法与传统屏幕外对象可视化方法进行了对比。

## 1 MAR 原型及可视化方法

### 1.1 MAR 原型设计

本文给出的 MAR 原型为校园漫游系统,其运行在 Symbian 智能手机上,以 GPS 信息、姿态数据、校园建筑 GIS 信息为输入,将建筑信息叠加在智能手机实时拍摄的视频画面上进行显示。若移动电话内置 GPS 与惯性传感器则可直接调用;否则,可通过蓝牙等方式与外置设备进行连接以获得必要数据。

由于 J2ME 具有多平台通用性,并有大量成熟开发包可供采用,因此 MAR 原型系统采用 J2ME

进行开发。该系统通过连续拍摄图片并绘制的方法生成叠加建筑物信息的视频流,由于 J2ME 采集图像效率低下,无法获得流畅的视频画面,因此采用 Symbian 本地代码进行图像采集与绘制;根据经 Kalman 滤波的传感器数据计算自身实际姿态,结合从 GPS 获取的位置信息和校园建筑 GIS 信息计算屏幕对象位置进行绘制。J2ME 程序与 Symbian 本地代码间通过建立 Socket 连接进行数据传递,传递的屏幕对象位置信息包括指示箭头位置、附带说明文字、屏幕内对象位置等,MAR 原型系统的架构如图 1 所示。

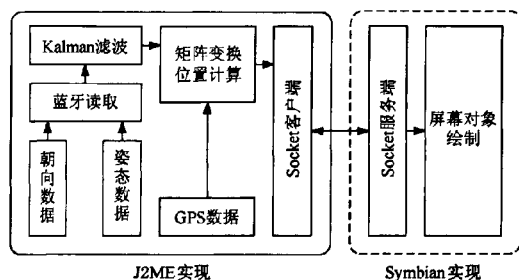


图1 MAR原型系统架构图

传感器反馈姿态数据包括俯仰角、横滚角与朝向,GPS则可返回设备当前位置信息。为了将建筑物等对象进行可视化,首先需根据对象位置以及设备当前位置计算对象在设备坐标系中的位置,具体计算方法为

$$P_R = P_A - P_C.$$

其中, $P_R$ 为对象在设备坐标系中的位置, $P_A$ 为对象位置, $P_C$ 为设备当前位置。根据惯性传感器返回的俯仰角、横滚角与朝向可估计设备当前姿态,文献[5-6]给出了通过矩阵变换计算对象在摄像机视觉坐标系中位置的方法

$$P_V = P_R \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & -\sin \phi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \phi & 0 & \cos \phi \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi & 0 \\ -\sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

其中, $\theta$ 为设备横滚角度, $\phi$ 为设备朝向, $\varphi$ 为设备俯仰角度, $P_V$ 为对象在摄像机视觉坐标系中的位置, $P_R$ 为对象在设备坐标系中的位置。

### 1.2 屏幕外对象可视化方法

针对传统屏幕外对象可视化方法将标注集中于屏幕中心所导致的问题,本文方法将标注箭头分散

于屏幕四周,利用屏幕边缘空余空间进行屏幕外对象可视化.根据对象在摄像机视觉坐标系中的位置判断其是否属于屏幕外对象,若是,则根据其位置在屏幕边缘绘制相应的箭头.对象可视化包括屏幕内对象化、屏幕外对象相对位置及屏幕外对象相对距离可视化 3 个方面.

本文基于 Nilsson 等<sup>[7]</sup>提出的屏幕内对象标注方法实现屏幕内对象可视化.考虑到实际环境的复杂性及建筑物多处于连续结构中,在屏幕内对象可视化时加入距离因素,建筑捕捉框的大小可根据建筑物与用户的距离实时调节,以提高系统的使用效率.建筑物与用户的距离可通过传感器反馈数据计算得到,考虑到数据误差,在绘制建筑捕捉框时需适当缩放大小,以保证其完全落于建筑范围内.

屏幕外对象相对位置可视化主要用于提示建筑物的相对位置.在圆形俯视环境投影中,正前方视角范围较易取得,而在以矩形为基本形状的 MAR 中,无法通过直接拉伸的方法使屏幕外对象对应于矩形屏幕,而应将屏幕上边沿作为固定视角边沿.屏幕外对象相对屏幕位置可根据

$$\Delta = \delta v/2 + (\delta - \delta v/2) \times 2\pi/(2\pi - \delta v)$$

计算,其中, $\Delta$ 为矩形屏幕中屏幕外对象可视化出现角度, $\delta v$ 为屏幕上边缘设定可观察角度, $\delta$ 为真实世界中相对角度.另外,屏幕设定视角与真实视角不存在相等关系,需根据实际情况调整.

屏幕外对象相对距离可视化主要用于提示建筑物与用户实际位置的距离.与用户实际距离相同的建筑在矩形屏幕边缘应具备相同可视化类型,且建筑相对距离可视化应以屏幕垂直中心轴左右对称,基于这些考虑,以线段长度代表建筑与用户的相对距离.屏幕外对象相对距离可视化可根据

$$L = l \times \beta / \sin(\Delta - \Phi)$$

计算,其中, $L$ 为可视化线段长度, $l$ 为正  $90^\circ$  方向时其标准长度, $\beta$ 为缩放系数(真实距离与实际线段长度比例), $\Delta$ 为该对象所在角度, $\Phi$ 为该矩形屏幕顶点所对应的视角.

下面结合一个实例对本文提出的屏幕外对象可视化方法进行说明.假设在用户周围存在若干建筑物,其中只有部分出现在屏幕视野范围内,如图 2 a 所示,没有出现在屏幕视野范围内的建筑均为屏幕外对象,系统对屏幕内对象和屏幕外对象均进行可视化.当采用本文提出的屏幕外对象可视化方法时,如图 2 b 所示,系统根据屏幕外对象在摄像机视觉坐标系中的位置在屏幕边缘绘制相应指示箭头,并添加其名称等信息,屏幕内对象则通过方框进行标注并添加名称信息.当采用传统屏幕外对象可视化方法时,如图 2 c 所示,系统根据屏幕外对象在摄像机视觉坐标系中的位置在屏幕中心绘制集中的对象指示箭头,并添加对象名称等信息,屏幕内对象则通过方框进行标注并添加名称信息.

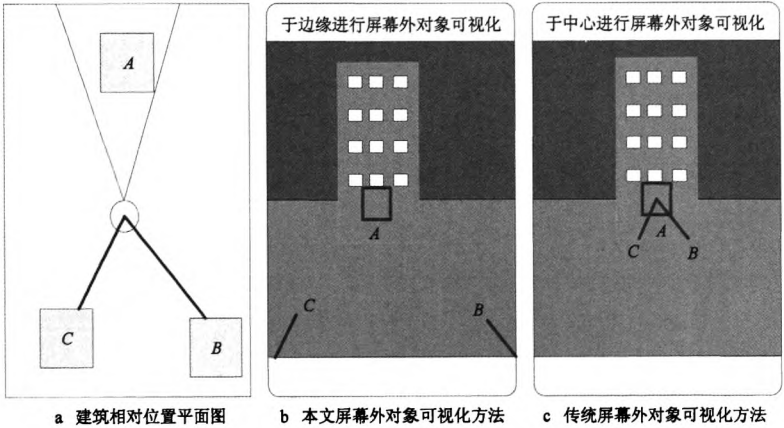


图 2 屏幕外对象可视化方法对比示意

2 实验及结果分析

2.1 实验系统

实验设备. 惯性传感器使用 OceanServer 公司

的 OS5000 模块,该模块采用 RS232 接口,通过水木行 BT576 串口转蓝牙模块与智能手机连接.采用 Nokia N78 智能手机运行原型系统,将惯性传感器模块固定在 N78 背板后部,保持模块中轴线与视觉中轴线一致.OS5000 的测量范围为俯仰  $\pm 90^\circ$ ,横滚

±180°;测量误差为倾角 $\leq 30^\circ$ 时,误差 $\leq 1^\circ$ ;倾角 $\leq 60^\circ$ 时,误差 $\leq 1.5^\circ$ ,磁力计误差 $\leq 0.5^\circ$ 。惯性传感器与串口转蓝牙模块集成后如图3所示,原型系统如图4所示。

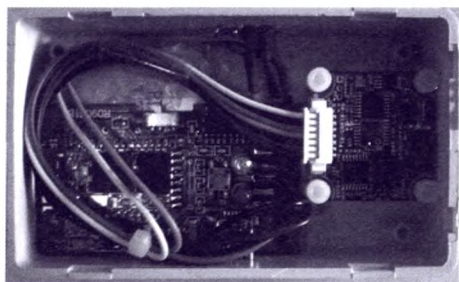


图3 传感器集成示意图



图4 完整原型

实验场地。为减少其他因素对实验造成的影响,实验选择在浙江大学曹光彪楼小广场进行,该广场地势平坦、遮挡物较少、视野开阔,有利于实验者快速识别环境,减少建筑物混淆。选取环绕该广场的建筑群作为需可视化对象,该广场长约100 m,宽约70 m,广场及建筑群的平面图如图5所示,其中绿色框体为需可视化的建筑对象。



图5 实验场地及建筑平面图

## 2.2 实验设计

考虑现有屏幕外对象可视化方法存在的不足,本文实验提出2个假设:

假设1. 添加屏幕外对象标注能有效地提高AR系统交互效率。

假设2. 将标注分散于屏幕边缘能有效地提高交互效率。

实验条件设定。实验者分别就对象密集与非密集2种情况进行相关实验。在实验中,当不超过 $60^\circ$ 的视角内能观察到3个及以上对象时,认为需可视化对象密集。在每种密集情况下,实验者需在无可视化、屏幕中心可视化和屏幕边缘可视化3种条件下进行3组实验,各实验条件在实验中进行平衡处理。

实验任务。在实验中,实验者站在广场中心手持实验设备原地旋转一周,实验任务为用尽可能短的时间建立系统内建筑对象与物理世界中建筑的对应关系。在非密集情况下,系统从11栋建筑物中选取满足要求的5栋建筑对象;在密集情况下,系统则选择满足相应要求的7栋建筑。为防止实验人员的实验场地背景知识对实验结果的影响,在实验中所有建筑对象均被赋予了全新的名称。

实验测量。实验中对实验人员完成任务的时间进行了记录,无可视化、屏幕中心可视化和屏幕边缘可视化3种条件下的任务完成时间分别由 $t_{NoOff}$ ,  $t_{InOff}$ 和 $t_{OutOff}$ 表示。

问卷设计。问卷主要用于反映不同屏幕外对象可视化方式对实验者造成的主观感受差异,包括感知精度以及实验者选择偏好。实验者在完成实验后需填写由2个问题组成的问卷:

问题1. 你倾向于使用该屏幕外对象可视化方法吗?

问题2. 使用该屏幕外对象可视化方法能有助于提高确定周围建筑位置的精度吗?

实验者根据实际使用感受给出1~5分的评价,其中5分为最优,1分为最差。

## 2.3 实验人员与过程

共有18名实验者参与实验,其中包括12名男性与6名女性,年龄处于21~24岁之间,平均年龄22岁。实验者在进行正式实验之前需进行设备使用训练,包括正确握持设备、熟悉实验环境与建筑物识别练习。预实验表明,10 min的练习可有效地帮助实验者进入实验状态。为确保实验者之间不产生干扰,实验者单独进行实验。实验原型系统截屏如图6所示,实验场景如图7所示。





图 6 原型系统截图



## 2.4 实验结果

在对象非密集情况下实验者完成实验用时如图 8 所示,在对象密集情况下完成实验用时如图 9 所示. 问卷结果如图 10,11 所示.

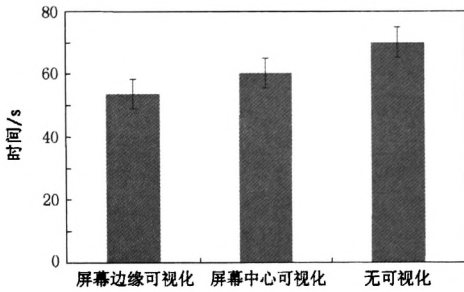


图 8 非密集情况下完成实验时间比较

在屏幕外对象非密集情况下,对  $t_{OutOff}$  ( $M=53.78$ )与  $t_{NoOff}$  ( $M=70.11$ )采用配对 T 检验发现,  $t_{OutOff}$  平均值显著小于  $t_{NoOff}$  平均值,  $t(17)=8.173$ ,  $p<0.001$ (2-tailed),用时减少 37.55%. 在屏幕外对象密集情况下,对  $t_{OutOff}$  ( $M=56.56$ )与  $t_{NoOff}$  ( $M=72.44$ )采用配对 T 检验发现,  $t_{OutOff}$  平均值显著小于  $t_{NoOff}$  平均值,  $t(17)=11.201$ ,  $p<0.001$ (2-tailed),用时减少 21.92%. 实验结果表明假设 1 成立,在有屏幕外对象标注情况下,无论屏幕外对象密集与否,

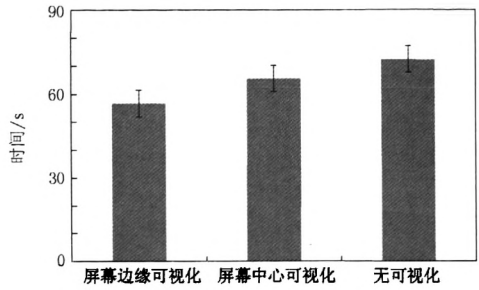


图 9 密集情况下完成实验时间比较

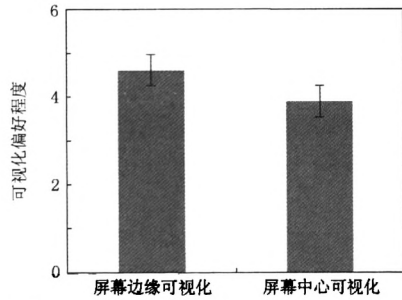


图 10 实验者对 2 种可视化方法偏好程度

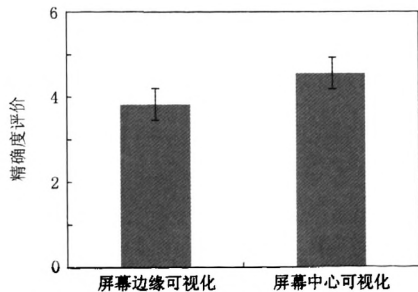


图 11 实验者对 2 种可视化方法精确度评价

实验者均可用更少时间完成搜寻工作.

在屏幕外对象非密集时,对  $t_{OutOff}$  ( $M=53.78$ )和  $t_{InOff}$  ( $M=60.44$ )采用配对 T 检验发现,  $t_{OutOff}$  平均值显著小于  $t_{InOff}$  平均值,  $t(17)=4.646$ ,  $p<0.001$ (2-tailed),用时减少 11.02%. 在屏幕外对象

非密集时,对  $t_{\text{OutM}}$  ( $M=56.56$ ) 和  $t_{\text{InM}}$  ( $M=65.50$ ) 采用配对 T 检验发现,  $t_{\text{OutM}}$  平均值显著小于  $t_{\text{InM}}$  平均值,  $t(17)=8.524$ ,  $p<0.001$  (2-tailed), 用时减少 13.64%。实验结果表明假设 2 成立, 在屏幕边缘进行屏幕外对象可视化能有效地增加用户使用效率。

实验者对 2 种可视化方法偏好选择分析。对屏幕边缘可视化 ( $M=4.61$ ) 与屏幕中心可视化 ( $M=3.89$ ) 进行对比发现, 实验者对屏幕边缘可视化的偏好程度显著大于在屏幕中心进行可视化, 说明用户更倾向于采用屏幕边缘可视化的方法进行屏幕外对象的提示。

实验者对 2 种可视化方法估计精确度结果分析。在屏幕边缘可视化 ( $M=3.83$ ) 与屏幕中心可视化 ( $M=4.56$ ) 进行对比发现, 实验者对在屏幕中心可视化精确度感受优于在屏幕边缘进行可视化, 说明实验者普遍认为在屏幕中心可视化的方法较为精确。

## 2.5 讨 论

在实验中实验者主要有 2 种行为: 一是向下一建筑对象进行旋转; 二是确定系统内建筑对象与物理世界中建筑的对应关系。实验观察表明, 确定系统内建筑对象与物理世界中建筑的对应关系的时间一般不超过 3 s, 旋转搜寻建筑对象使之进入屏幕的过程占据了大部分任务完成时间。

相关研究<sup>[7-10]</sup>表明, 距离和误差是影响建立 MAR 系统内对象与物理世界中对象对应关系的主要因素, 对象与用户间的距离越短, 对应关系越容易建立, 当对象出现遮挡时距离影响尤其显著。由于在本文实验中所有标注的建筑均未发生遮挡, 且建筑与用户间的距离相对较短, 因此实验者可快速建立系统内建筑对象与物理世界中建筑的对应关系。因此, 在本文实验中减少旋转搜寻时间是增加原型系统交互效率的关键。在屏幕边缘进行屏幕外对象可视化的方法有效地增加了屏幕中心区域面积, 在旋转角速度相同情况下屏幕边缘标注能更有效地区分不同对象位置, 进而增加 MAR 系统的交互效率。

实验结果表明, 不管使用何种屏幕外对象可视化, 相比屏幕外对象密集情况, 在屏幕外对象非密集时其能为实验者减少更多的任务完成时间。实验观察显示, 该现象可能是由于密集情况下实验者无法做到大角度转过无对象区域并需要更多停顿来分辨对象引起的。因为 2 种可视化方法的差异主要体现

在旋转搜寻过程中, 当旋转角度一定时其对交互效率的影响程度已基本确定, 与屏幕外对象密集程度无明显关系。

实验中发现实验者普遍倾向于在屏幕边缘进行可视化, 这可能是因为屏幕中心显示较多额外信息容易给用户造成辨别障碍, 而屏幕边缘可视化能利用的显示区域较大, 进而可以很好地区分标识箭头。Sorce 等<sup>[11]</sup>的研究指出实验者主观存在与 AR 交互的倾向, 在相同的物理变化时, 更大的虚拟对象变化更易引起实验者兴趣。使用本文提出的屏幕外对象可视化方法用于标识建筑对象的箭头能在屏幕边缘大幅运动, 因而更易引起用户的关注, 进而提高交互效率。此外在屏幕外对象密集时, 采用屏幕中心可视化会导致标注箭头过于接近不易分辨, 且极易与屏幕内对象标注框体重叠, 进而影响用户阅读其中的说明信息。

问卷结果显示, 虽然实验者更愿意采用屏幕边缘进行屏幕外对象可视化, 但他们普遍表示在屏幕中心进行可视化的方法能够更精确地指出周围对象相对位置。这可能是由于屏幕中心可视化采用类似于坐标系的显示方式, 能给用户带来更为精确的交互感受。Reitmayr 等<sup>[12]</sup>, Schall 等<sup>[13]</sup>以及 Henze 等<sup>[2]</sup>的工作均基于类似于坐标系的可视化方法, 其研究表明, 这样的可视化方法能给用户带来较为直观的交互感受, 而对任务性能的影响较有限。在本文实验中, 实验者仅依赖屏幕外对象提示箭头进行建筑对象方位估计, 因而类似于坐标系的显示方式同样不能提高交互的效率。

## 3 结 语

本文提出一种面向 MAR 的屏幕外对象可视化方法, 该方法结合从 GPS 获得的位置信息与从惯性传感器返回的姿态信息推断 GIS 内的对象在摄像机坐标系中的位置并进行可视化, 通过屏幕边缘进行屏幕外对象显示, 利用屏幕边缘相对较大的空间支持大量的屏幕外对象。同时给出了实现本文方法的校园漫游原型, 基于该原型的交互实验结果显示, 本文方法能帮助用户更快地建立系统内建筑对象与物理世界中建筑的对应关系。针对该方法存在用户主观精度感受低的不足, 我们下一步将研究基于屏幕边缘的屏幕外对象 3D 可视化方法。

## 参考文献 (References):

- [1] Baudisch P, Rosenholtz R. Halo: a technique for visualizing off-screen locations [C] //Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. New York: ACM Press, 2003: 481-488
- [2] Henze N, Boll S. Evaluation of an off-screen visualization for magic lens and dynamic peephole interfaces [C] //Proceedings of the 12th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services. New York: ACM Press, 2010: 191-194
- [3] Schinke T, Henze V, Boll S. Visualization of off-screen objects in mobile augmented reality [C] //Proceedings of the 12th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services. New York: ACM Press, 2010: 313-316
- [4] Avery B, Thomas B H, Piekarski W. User evaluation of see-through vision for mobile outdoor augmented reality [C] //Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 2008: 69-72
- [5] Harada T, Uchino H, Mori T, *et al.* Portable orientation estimation device based on accelerometers, magnetometers and gyroscope sensors for sensor network [C] //Proceedings of IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 2003: 191-196
- [6] Ma Songde, Zhang Zhengyou. Computer vision computing theory and algorithm [M]. Beijing: Science Press, 2003: 52-72 (in Chinese)
- (马颂德, 张正友. 计算机视觉计算理论与算法基础 [M]. 北京: 科学出版社, 2003: 52-72)
- [7] Nilsson S, Johansson B, Jonsson A. Using AR to support cross-organisational collaboration in dynamic tasks [C] // Proceedings of the 8th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 2009: 3-12
- [8] Wither J, Hollerer T. Evaluating techniques for interaction at a distance [C] //Proceedings of the 8th International Symposium on Wearable Computers. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 2004: 124-127
- [9] Wither J, DiVerdi S, Hollerer T. Evaluating display types for AR selection and annotation [C] //Proceedings of the 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 2007: 1-4
- [10] Livingston M A, Ai Z M. The effect of registration error on tracking distant augmented objects [C] //Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 2008: 77-86
- [11] Sorce S, Augello A, Santangelo A, *et al.* Interacting with augmented environments [J]. Pervasive Computing, 2010, 9 (2): 56-58
- [12] Reitmayr G, Drummond T. Going out: robust model-based tracking for outdoor augmented reality [C] //Proceedings of the 5th IEEE International and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 2006: 109-118
- [13] Schall G, Mendez, E, Kruijff E, *et al.* Handheld augmented reality for underground infrastructure visualization [J]. Personal and Ubiquitous Computing, 2009, 13(4): 281-291

# 面向移动增强现实的屏幕外对象可视化方法

作者: [陈岭](#), [季诚夏](#), [黄伟恺](#), [陈日](#), [陈根才](#), [Chen Ling](#), [Ji Chengxia](#), [Huang Weikai](#), [Chen Ri](#), [Chen Gencai](#)

作者单位: [浙江大学计算机科学与技术学院 杭州 310027](#)

刊名: [计算机辅助设计与图形学学报](#) 

英文刊名: [Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics](#)

年, 卷(期): 2012, 24(6)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_jsjfsjytxxb201206018.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_jsjfsjytxxb201206018.aspx)