

农业机械虚拟试验交互控制系统*

苑严伟^{1,2} 张小超² 吴才聪¹ 李 颀² 张 帅² 柏流芳²

(1. 北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871;

2. 中国农业机械化科学研究院土壤植物机器系统技术国家重点实验室, 北京 100083)

【摘要】 设计了农业机械虚拟试验系统,建立了田间工况模拟与虚拟交互控制试验平台。根据耕作区域的数字地图及农田作物图像信息,设计农业机械虚拟试验场,实现人和农业机械在虚拟环境内的漫游。建立四自由度模拟试验台,实现对拖拉机在田间行走时姿态的模拟仿真。从虚拟场景中提取作物行的位置信息,根据这些信息给出控制信号,进行拖拉机行驶速度、方向和平衡控制,使拖拉机沿作物行行驶。试验表明,横滚角最大偏差为0.34°,偏航角最大偏差为0.51°,高程最大偏差为2.5 mm,行走速度最大偏差为0.12 km/h。实体样机和虚拟样机有较好的一致性。

关键词: 农业机械 虚拟样机 虚拟场景 交互控制

中图分类号: TP391.9; S22 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)08-0149-05

Interaction Control System of Agricultural Machinery Virtual Test

Yuan Yanwei^{1,2} Zhang Xiaochao² Wu Caicong¹ Li Jie² Zhang Shuai² Bai Liufang²

(1. School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China 2. State Key Laboratory of Soil-Plant-Machine System Technology, Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China)

Abstract

Virtual test interactive control methods was studied, agricultural machinery virtual test system was designed, experimental platform for field operating mode simulation and interactive control was built, and the drive of human and agricultural machinery in virtual environment was realized. To simulate the gestures of tractor driving, four degrees freedom simulation testing platform was built. Crop rows from virtual scenes were identified and control signals to control the tractor's speed and direction were gave. Results showed that the maximum deviation of roll angle was 0.34°, the maximum deviation of drift angle was 0.51°, elevation was 2.5 mm, and speed was 0.12 km/h. Physical prototyping and virtual prototyping were in good agreement.

Key words Agricultural machinery, Virtual machine, Virtual scenes, Interaction control

引言

传统的农业机械设计过程是:设计(CAD建模)一样机制造一样机测试—反馈修正—再测试—正式生产。这种反复设计、制造和测试,浪费大量的人力和财力,导致产品生产周期长,成本高^[1]。加上农业机械的试验季节性强,传统的设计制造模式无法适应现代农业装备的发展。

虚拟现实(virtual reality, 简称VR)技术^[2~6]能

通过计算机对农业机械的外观、功能、行为进行建模,生成逼真的三维虚拟环境,在虚拟环境中实时观察虚拟农机的农业生产活动,实现农机的性能试验和特性评估,以及人与机械之间的实时交互^[7~10]。虚拟现实技术传入我国以来,在军事、航空航天、建筑、医学、教育等方面取得了很大的发展。在农机研制上,主要利用ADAMS软件进行设计和仿真,表现为:利用Solid Works实现农机建模和分析^[1];利用ANSYS建立有限元分析模型^[11~12];基于I-DEAS软

收稿日期: 2010-09-17 修回日期: 2010-12-07

* “十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD20B01)、中国博士后科学基金资助项目(20100480136)和北京市科委国家现代农业城项目(D101105046310002)

作者简介: 苑严伟,博士后,中国农业机械化科学研究院工程师,主要从事精准农业和虚拟现实研究,E-mail: yyw215@163.com

通讯作者: 吴才聪,副教授,博士,主要从事农业信息化技术研究,E-mail: wuce@pku.edu.cn

件的虚拟样机仿真设计^[11~15]。上述方法对缩短研发周期、降低成本起到一定作用。但不能通过自然的行为来感受虚拟环境对人们的行为作出实时的反应,因而不能实现真正意义上的人机交互。

本文研究农业机械虚拟试验交互控制方法,设计基于人机交互的虚拟试验系统,实现农业机械三维仿真模型的驱动,完成农机实体、模型及虚拟场景的协同仿真。

1 虚拟试验人机交互系统总体设计

人机交互技术(human-computer interaction techniques)是通过计算机输入、输出设备,以有效的方式实现人与计算机对话的技术^[16]。本系统的总体集成是在视景开发软件包 Vega prime 的基础上,结合 C++、OpenGL 等软件进行自主开发。

1.1 大屏幕显示系统设计

显示系统包括投影仪、投影仪吊架、柱状金属幕、工控机以及融合机等。选用6台投影仪实现三通道立体显示,120°环形金属投影硬幕。融合机具有边缘融合和非线性几何校正功能,实现三通道投影系统的无缝拼接。系统整体的硬件设备连接如图1所示。

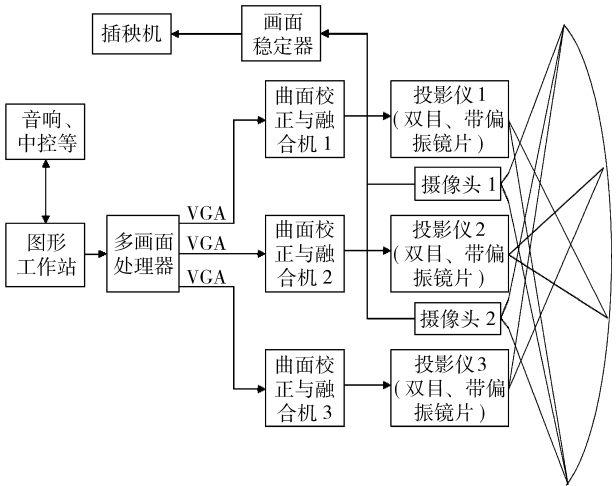


图1 农机虚拟试验平台显示系统示意图
Fig.1 Display system of agricultural machinery virtual test

1.2 四自由度仿真平台的设计

四自由度仿真试验台由托架、回转架、移动平台、隔震器、液压缸以及回转马达等组成,实现对拖拉机在田间行走时振动、转向、横滚和俯仰等4个姿态的模拟仿真,如图2所示。

平台由伺服液压系统驱动,液压系统由液压源、分流器、蓄能器、液压回转接头、电液伺服阀、伺服油缸、液压马达、风冷器等元件组成。液压系统提供10 MPa 稳定压力油。分流器将液压源提供的压力油经高压过滤器分成3路,经3个电液伺服阀分别

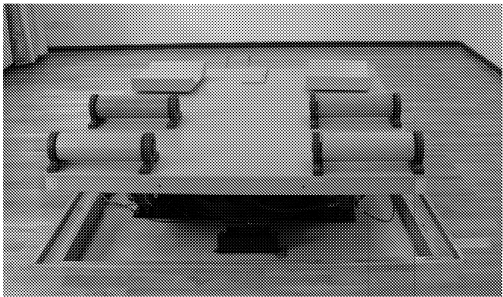


图2 试验台架实物图
Fig.2 Test platform

进出油缸使油缸作升降运动。当油缸作加速升降运动时由蓄能器补入压力油。回油系统由空气冷却器、网状过滤器组成。

1.3 农业机械三维模型和虚拟试验场

1.3.1 虚拟样机设计

对农机实体进行拆卸,对各零部件结构尺寸进行测绘,用三维制图软件 Pro/E 对部件进行三维建模;将得到的三维零部件模型转换成后缀为 obj 的模型文件;将 obj 格式的三维模型导入三维建模软件 Multigen Creator,导出格式为 flt 的三维零部件模型;利用 Multigen Creator 软件对零部件模型进行装配,形成后缀为 flt 格式农机整机三维仿真模型。图3是拖拉机三维模型。

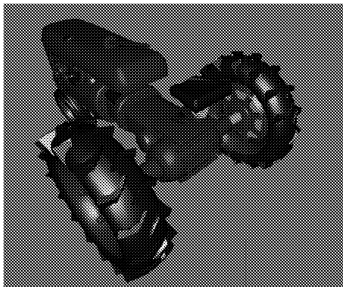


图3 拖拉机三维模型
Fig.3 3-D model of tractor

试验台架上安装有前轮托架和后轮拖毂,如图4所示。样机前轮有伺服电动机驱动,实现转向控制,前轮托架起支撑前轮的作用,跟随前轮自由转动,实现装载于其上的样机的转向运动模拟。后轮托毂支撑样机的两个后轮,当后轮在电动机驱动下转动时,后轮托毂反方向自由转动,实现样机的行走运动模拟。

1.3.2 水田虚拟试验场设计

水田的土壤力学模型复杂,为简化研究,本文以均一的水田土壤特性为前提进行研究。

根据耕作区域的数字地图、农田地势分布信息、农田内作物生长情况和地表映像纹理特征,产生三维虚拟环境,实现3-D环境的实时生成和展示。模型的建立主要分三维地形的建模和其他三维实体,

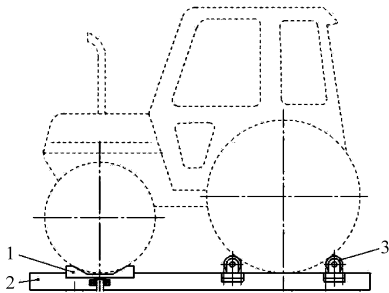


图 4 试验台架与拖拉机

Fig. 4 Test platform and tractor

1. 试验台架 2. 前轮托架 3. 后轮拖毂

如农机具、田块、水井、沟渠、各种作物、田间道路等的建模工作,如图 5 所示。

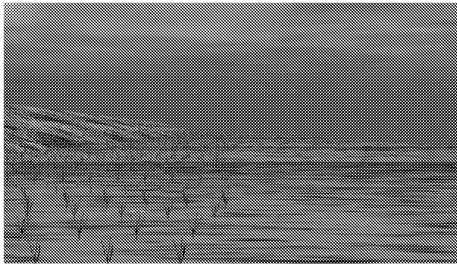


图 5 水田虚拟试验场

Fig. 5 Virtual test scene of rice paddy field

2 虚拟现实人机交互系统设计实现

虚拟环境中随机生成大田的场景,从虚拟场景中提取作物行的位置信息,计算机根据这些信息给出控制信号,进行拖拉机的行驶速度、方向和平衡控制,使拖拉机沿随机生成的作物行行驶。

2.1 虚拟样机和虚拟环境的协同仿真

农机虚拟现实系统主要由田间工况台架模拟系统、虚拟场景自动生产系统、自动导航控制系统、自动平衡控制系统 4 部分组成,工作原理如图 6 所示。

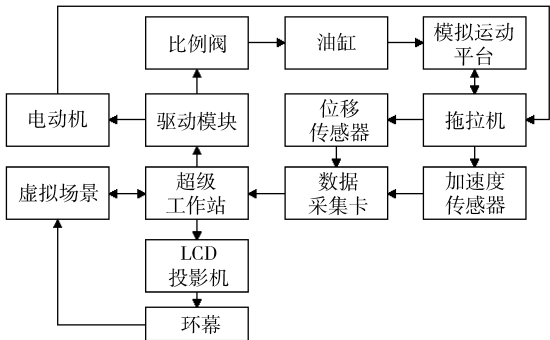


图 6 农业机械虚拟现实模拟试验台的原理图

Fig. 6 Principle of virtual test simulation platform

通过计算机生成虚拟环境,通过输入设备,根据场景中地形特征和参数设置情况,实现人机交互。试验台主要由四轮的转毂、插秧机、虚拟场景、计算机、运动控制台、连接装置以及传感检测

设备等组成,插秧机通过转毂在并联机器底座上自动行驶。

计算机提取虚拟场景内地势的变化、作物行的走向以及可能的障碍物等信息,并发出控制信号给插秧机的方向盘。插秧机由直流调频电动机提供动力,车轮通过接在运动平台上的轮毂与田间工况模拟台连接。当插秧机依据计算机给出的控制信号行驶时,轮毂与车轮之间反向滚动,实现插秧机的原地驾驶。在转向时,从动轮对应的轮毂由独立的控制系统控制,实现真实的转弯效果。

2.2 四自由度与坐标变换

由于样机的受力、速度、位置等都是在三维坐标下的参数,需将这些参数用矢量来表示。样机的位置是指其在绝对坐标系中的位置,姿态是指其角色对象坐标系的 3 个坐标轴相对于绝对坐标系的转角。计算样机的位置及姿态需要在全局坐标系中进行,而计算受力要在其角色对象坐标系中,这就要求进行坐标变换,将描述位置和姿态的全局坐标系转换到物体受力所在的角色对象坐标系中。

描述模型的六自由度姿态变化通常用欧拉角 $(x, y, z, \theta, \psi, \varphi)$,其中 θ, ψ 和 φ 分别表示绕 x, y 和 z 轴旋转的俯仰角、偏航角和横滚角,由于欧拉方程的平衡环锁定性质,在转角达到 90° 时,变换矩阵中出现无穷大元素,使得仿真终止。泊松运动学方程能避免欧拉方程的奇异性,但随着仿真的进行,又引起了正交误差的不断积累。标定算法或者求解旋转矩阵的各元素常使用其他形式的旋转角表达式,这里引入四元数以进行坐标变换。

令三维空间中的向量 $\mathbf{v} = (x, y, z)$ 与四元数 $\mathbf{V} = 0 + xi + yj + zk$ 对应,设 L 是一过原点的旋转轴,其方向向量 $\mathbf{n} = (n_1, n_2, n_3)$,则绕 L 轴旋转 θ 角的旋转变换可用实四元数 $\mathbf{R}$ 来表示,即

$$\mathbf{R} = \cos \frac{\theta}{2} + \mathbf{n} \sin \frac{\theta}{2} \tag{1}$$

则 $\mathbf{V}$ 绕 L 旋转 θ 角后的实四元数为

$$\mathbf{V}_1 = \mathbf{R} \mathbf{V} \mathbf{R}^{-1} \tag{2}$$

若旋转轴 L 不经过坐标原点,设 P 为旋转轴上一个已知点,则通过坐标平移,可推出其旋转变换公式为

$$\mathbf{V}_1 = \mathbf{R} (\mathbf{V} - \mathbf{P}) \mathbf{R}^{-1} + \mathbf{P} \tag{3}$$

2.3 基于 MFC 的应用程序开发

控制台应用程序不能满足良好的人机交互性要求,而直接利用 Windows 的 API 编程非常繁琐,效率低下。这里用 MFC 结构框架搭建程序平台,结合 Multigen Vega 提供的 API,编写应用程序来实现。编写虚拟场景下的农机机电多系统协同仿真程序,

调用三维虚拟农田场景,同时加载农机三维模型。

为实现良好的运动控制和碰撞反应,使用了Vega提供的Input Devices类和自定义运动模式。在Lynx下设定Input Device,建立鼠标和键盘的输入设备,由于这种控制不能满足虚拟试验中对样机的控制的要求,且不能进行碰撞检测,添加运动模式CALLBACK回调函数,使用vgMotRegister函数进行注册,使用vgMotionCallbackStruct结构体作回调函数的参数。自定义运动模式的关键是在运动模式更新的触发事件中填写自己需要的控制代码,这里在Input Device Tool中获得输入设备属性资料。

图7是样机模型在虚拟现实环境中行走控制界面。

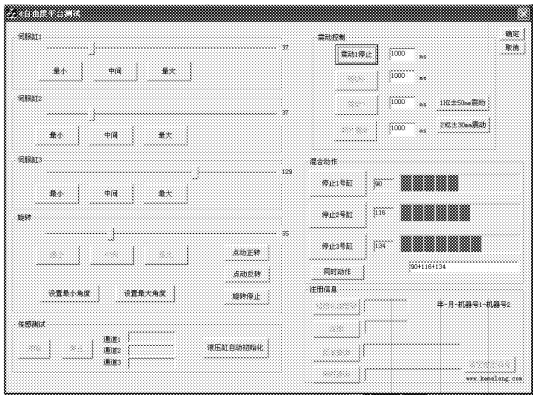


图7 样机在虚拟环境中的姿态控制界面
Fig.7 Control interface of models running in virtual environment

3 人机交互仿真试验

运行农田虚拟试验场景软件,生成地形数据,调

入农业机械三维仿真模型。启动液压控制系统,驱动四自由度仿真平台运转。启动农业机械实体样机模型。

在虚拟试验场景软件上,给农业机械三维模型初速度,让其在虚拟场景中沿作物行前行。计算虚拟样机所受牵引力以及地形数据,结合虚拟样机行走速度及六自由度数据,通过嵌入式控制器驱动液压缸以及液压马达,实现对实体样机的控制,如图8所示。

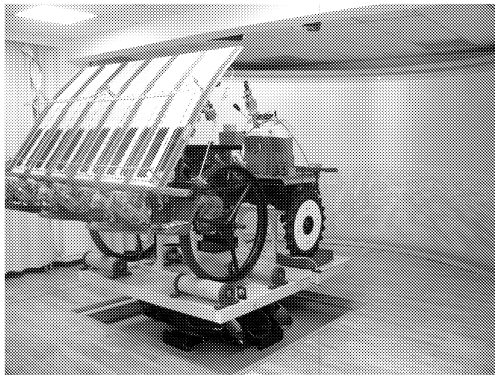


图8 虚拟仿真图
Fig.8 Virtual simulation

在四自由度仿真平台上安装激光测距传感器、陀螺仪以及UG,采集仿真平台姿态数据,在样机车轮上安装霍尔传感器,检测车轮转速。系统实时记录虚拟场景地形特征数据及虚拟样机姿态信息,最后得到试验数据如表1所示。

从表1可以看出,横滚角最大偏差为0.34°,俯仰角最大偏差为0.21°,偏航角最大偏差为0.51°,高程的最大偏差为2.5 mm,行走速度的最大偏差为

表1 虚拟样机与实体样机控制参数对照表
Tab.1 Parameter list of virtual machine and entity machine

时间 /s	虚拟样机所在位置地势				虚拟场景	四自由度仿真平台姿态				实际行走
	横滚 角/(°)	俯仰 角/(°)	偏航 角/(°)	高程 /mm	内速度 /km·h ⁻¹	横滚 角/(°)	俯仰 角/(°)	偏航 角/(°)	高程 /mm	速度 /km·h ⁻¹
1	3.21	0.87	-4.85	21.8	6.25	3.23	0.79	-4.50	22.4	6.33
2	3.12	0.91	-4.11	24.5	6.34	3.15	0.82	-4.36	24.2	6.42
3	3.04	0.99	-3.25	28.6	6.78	3.04	0.90	-3.86	26.7	6.74
4	2.65	1.02	-2.53	32.3	6.55	2.72	0.97	-2.63	30.6	6.43
5	1.95	1.38	-1.62	37.6	6.63	2.08	1.24	-1.94	36.3	6.62
6	1.00	1.74	-0.81	42.8	6.76	1.21	1.59	-0.95	41.6	6.80
7	0.90	2.02	-0.11	45.8	6.83	0.95	1.84	-0.15	43.9	6.85
8	0.81	2.25	0.67	45.6	7.01	0.75	2.04	0.53	44.7	6.92
9	0.37	2.51	1.26	47.0	7.05	0.39	2.42	1.05	46.4	7.02
10	-0.08	2.40	2.02	48.4	7.11	0.26	2.41	1.91	46.3	7.02
11	-0.22	2.27	2.65	48.5	6.98	-0.03	2.31	2.60	47.5	6.94
12	-0.97	2.15	3.25	44.5	6.74	-0.72	2.18	3.02	45.5	6.86
13	-1.06	2.11	3.84	41.2	6.62	-0.93	2.15	3.52	43.7	6.74
14	-1.65	2.02	4.17	38.5	6.50	-1.56	2.10	3.96	40.8	6.65
15	-2.05	1.97	4.25	36.0	6.65	-1.94	2.03	4.12	37.3	6.65
16	-2.09	1.91	4.32	29.3	6.58	-2.05	1.95	4.33	30.3	6.56
17	-2.08	1.86	4.41	25.8	6.81	-2.11	1.89	4.37	26.8	6.68

0.12 km/h。运动平台姿态和实体样机行走速度与虚拟场景及虚拟样机姿态有较好的一致性。

平台四自由度控制参数进行调试。研究了实体场景和虚拟环境下的坐标变换,开发了基于 MFC 的应用程序,实现了农业机械实体样机、农业机械三维仿真模型以及虚拟实验场的协同控制。仿真分析和实体试验表明了该仿真控制系统的可行性。

4 结束语

建立虚拟现实仿真人机交互平台,开发平台试验所需虚拟实验场,开发人机交互系统控制软件,对

参 考 文 献

1 李勇,曾志新,叶茂,等. 虚拟样机技术在小型农用装载机设计中的应用[J]. 农业工程学报, 2004,20(5):134~137.
Li Yong, Zeng Zhixin, Ye Mao, et al. Application of virtual prototyping technology to development of small-sized agricultural loader [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2004,20(5):134~137. (in Chinese)

2 苑严伟,张小超,毛文华,等. 超低空无人飞行器虚拟现实技术实现与仿真[J]. 农业机械学报, 2009,40(6):164~169.
Yuan Yanwei, Zhang Xiaochao, Mao Wenhua, et al. Virtual reality technology of ultra-low altitude UAV [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(6):147~151. (in Chinese)

3 汪成为,高文,王行仁,等. 灵境虚拟现实技术的理论实现及应用[M]. 北京:清华大学出版社,1996.

4 Jayaram S, Connacher H, Lyons K. Virtual assembly using virtual reality techniques [J]. Computer Aided Design, 1997, 29(8):575~584.

5 张茂军. 虚拟现实系统[M]. 北京:科学出版社,2001.

6 臧宇,朱忠祥,宋正河,等. 农业装备虚拟试验系统平台的建立[J]. 农业机械学报,2010,41(9):70~74,127.
Zang Yu, Zhu Zhongxiang, Song Zhenghe, et al. Establishment of virtual experiment system platform for agriculture equipment[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(9):70~74,127. (in Chinese)

7 David Z, Steven D. A virtual environment system for mission planning [C] // Proceedings of the IMAGE VI Conference, Scottsdale AZ, 1992,(7):14~17.

8 Charles E H, James H S Jr, Mark J Shuart. An assessment of the state-of-the-art in the design and manufacturing of large composite structures for aerospace vehicles[M]. National Aeronautics and Space Administration. Virginia, UAS, 2001.

9 Kensaku M, Akihiro U, Junichi H, et al. Virtualized endoscope system——an application of virtual reality technology to diagnostic aid [J]. IEEE Transactions on Information and Systems, 1996,(6):809~819.

10 Nonaka S, Inoue K, Arai T. Evaluation of human sense of security for coexisting robots using virtual reality 1st report: evaluation of pick and place motion of humanoid robots [C] // Proceedings 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2004,3:2 770~2 775.

11 王志华,陈翠英. 基于 ADAMS 的联合收割机振动筛虚拟设计[J]. 农业机械学报, 2003,34(4):53~56,62.
Wang Zhihua, Chen Cuiying. Virtual design of vibrating sieve of combine harvester based on ADAMS [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2003,34(4):53~56,62. (in Chinese)

12 蒲明辉,徐锡晨,刘先杰. 虚拟样机技术的实现及其在小型甘蔗收割机输送模块设计和仿真中的应用[J]. 广西大学学报:自然科学版,2005,30(4):297~301.
Pu Minghui, Xu Xihen, Liu Xianjie. Realization of the technology of the virtual prototyping and application to design and simulate in the small-scale sugar cane harvester transportation module[J]. Journal of Guangxi University: Natural Science Edition, 2005,30(4):297~301. (in Chinese)

13 周成,王静学,马增奇. 虚拟样机技术及其在农机产品开发中的应用[J]. 现代化农业,2004(11):30~31.
Zhou Cheng, Wang Jingxue, Ma Zengqi. Virtual prototyping technology and its application to products development of farm machinery[J]. Modernizing Agriculture, 2004(11):30~31. (in Chinese)

14 冯江,李建民,王德慧. 仿真技术在农机设计中的应用[J]. 农机化研究,2000(4):96~98.

15 朱林,尹成龙,孔晓玲,等. 虚拟样机技术在 1LB-240 型水平摆式犁设计中的应用研究[J]. 安徽农业大学学报, 2005,32(1):105~109.
Zhu Lin, Yin Chenglong, Kong Xiaoling, et al. Application of virtual prototype technology to 1LB-240 integral reversible plow [J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2005,32(1):105~109. (in Chinese)

16 Robert J K. The use of eye movements in human-computer interaction techniques: what you look at is what you get [J]. ACM Transactions on Information Systems, 1991(9):152~169.