

# 基于 MEMS 传感器的虚拟现实参观系统

徐迅, 刘玉生

(四川大学电气信息学院 成都 610065)

**摘要:** 提出了一种基于 MEMS 传感器、LM3S1138 嵌入式处理器和 Vega 仿真平台的虚拟现实参观系统, 介绍了系统主机端和手柄模块的系统结构。通过坐标变换的方法将传感器测量值转换成手柄在球坐标系中的状态并计算出动作指令发送给主机端以改变虚拟场景中的视角。最后在 Vega 虚拟场景中对比了理论指令边界和实测指令边界, 说明该系统可以达到预期设计目标

**关键词:** MEMS 虚拟现实 加速度传感器 磁场传感器

中图分类号: TP212.9

文献标识码: A

## MEMS sensor based virtual reality touring system

XU Xun, LIU Yusheng

(School of Electrical Engineering Sichuan University, Chengdu, 610065, China)

**Abstract:** A virtual reality touring system (VRTS) based on MEMS sensors, LM3S1138 embedded MCU and Vega simulation platform is proposed. The structures of host and joystick are introduced. The measurements of sensors are transformed into the state of joystick in spherical coordinates which is used to generate action command changing the viewpoint in the virtual scene. At last, in Vega virtual scene theoretical command edge and measured command edge are compared illustrating that the requirements are satisfied.

**Keywords:** MEMS; Virtual Reality; Accelerometer; Magnetic Sensor

## 0 引言

虚拟现实(Virtual Reality - VR), 是一种模拟人在自然环境中视、听、动等行为的先进人机交互技术, 能够为用户模拟出与现实相同的三维图像世界。目前, 虚拟现实技术的研究主要集中在虚拟场景建模开发和交互控制方法上, 常用虚拟场景建模工具主要包括 Vega, VRML 等; 而常用交互控制方法包括传统鼠标键盘或者数据手套与头部跟踪器, 其中前者价格低廉但使用不便, 后者价格过高, 普通应用场合难以承受<sup>[1-2]</sup>。本文提出了一种基于 MEMS 传感器、LM3S1138 微控制器和 Vega 虚拟仿真平台的虚拟现实参观系统, 用户通过操纵手柄实现在虚拟场景中的自由参观。该系统结构简单、成本低廉、使用方便, 只需更改虚拟场景内容即可将该系统移植到其他应用领域。

## 1 系统结构

该文提出的虚拟现实参观系统如图 1 所示, 由手持模块和主机端两部分组成

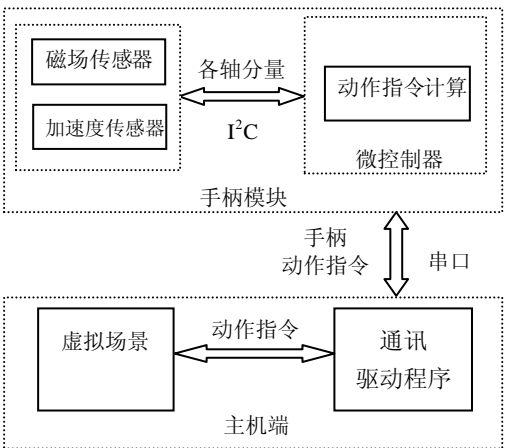


图 1 虚拟现实参观系统结构图

Fig1 scheme of virtual reality touring system

手柄端微控制器根据地磁场和重力加速度在传感器各测量轴方向上的分量计算出当前手柄相对于重力加速度轴和地磁场轴的俯仰角和方位角, 将这两个角度作为手柄的状态变量并根据手柄初始状态计算出动作指令。然后动作指令通过串口发送到主机端, 通讯驱动程序根据接收的动作指令改变虚拟场景视角。

## 2 手柄模块设计

操纵手柄是楼宇参观系统的核心组成部分, 用户通

过对手柄水平垂直旋转和前后按键的操作,实现在主机端虚拟场景视角水平 360°、垂直 180°的全方位变化和虚拟场景中视角位置的前后平移,从而实现在虚拟场景中参观的功能,手柄外观示意如图 2 所示。

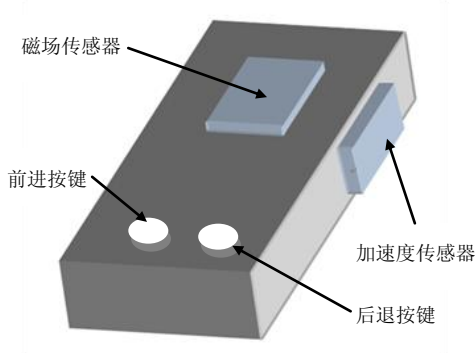


图 2 手柄外观示意图

Fig2 The schematic diagram of joystick appearance

## 2.1 手柄硬件结构

虚拟楼宇参观手柄由 MMC212 磁场传感器、MXC6202 加速度传感器和 LM3S1138 微控制器 (MCU) 组成。两款传感器均有 X, Y 两测量轴, 在每个轴分量上可分别测量  $\pm 2\text{gausses}$  的磁感应强度和  $\pm 2\text{g}$  的加速度, 并分别以 512counts/gauss 和 512counts/g 的精度通过 I<sup>2</sup>C 总线输出。

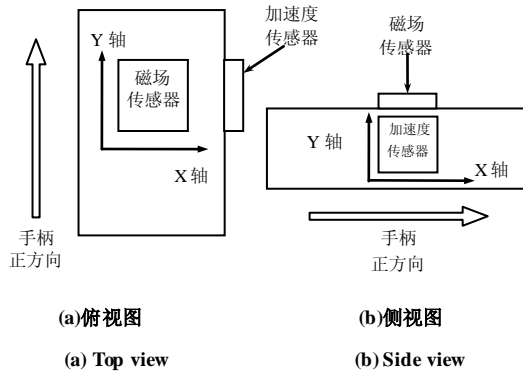


图 3 传感器与手柄位置关系

Fig3 Placement of sensors on joystick

传感器与手柄位置关系如图3所示, 磁场传感器与手柄上平面平行, 加速度传感器与手柄侧面平行, 初始状态下, 手柄与地面平行, 磁场传感器 X, Y 测量轴组成平面垂直于重力加速度, 加速度传感器 Y 测量轴与重力加速度平行。

在靠近地表处, 重力加速度垂直于地面, 地磁场近

似平行于地面, 当以重力加速度相反方向为 Z 轴, 地磁场方向为 X 轴, 可得到如图4所示的三维空间, 其中 XOY 平面与地面平行。图4中所示三维空间采用惯性坐标系, PD 表示手柄在空间中正方向, 方位角  $\alpha$  为 PD 在 XOY 平面投影与 X 轴夹角 ( $0^\circ \sim 360^\circ$ ), 俯仰角  $\beta$  为 PD 与 XOY 平面夹角 ( $-90^\circ \sim 90^\circ$ )。PD 在空间中的方向可由图4中的方位角  $\alpha$  和俯仰角  $\beta$  唯一决定, 因此选取  $\alpha, \beta$  作为手柄的状态变量。磁场传感器的 X, Y 两测量轴对应图中向量 MX, MY; 加速度传感器 X, Y 两测量轴对应图中向量 AX, AY。由传感器特性可知, AX, MY 和 PD 平行, AX, AY 与 Z 轴在同一平面且  $\beta = \beta'$ ,  $\beta'$  可由 AX, AY 求出; 同理 MY<sub>xoy</sub>, MX 在 XOY 平面内且  $\alpha = \alpha'$ ,  $\alpha'$  可由 MX, MY<sub>xoy</sub> 求出, 其中

$$|MY_{xoy}| = |MY| / \cos \beta$$

因此, 手柄在空间中状态完全可以由磁场传感器和加速度传感器的测量值计算得到<sup>[3]</sup>。

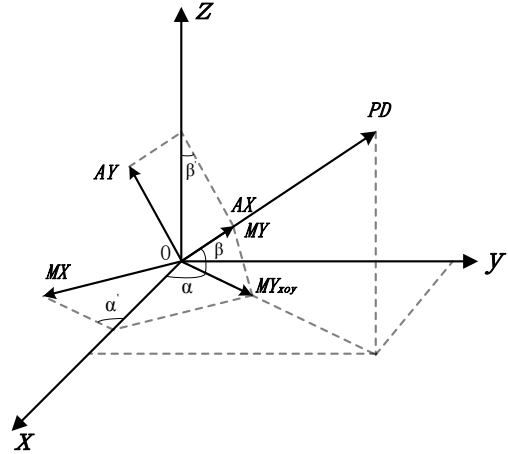


图 4 手柄在三维空间中状态

Fig4 State of joystick in 3-D space

## 2.2 状态变量计算

MEMS 传感器输出数字量, 将待测量物理量  $\pm 2\text{g}$  和  $\pm 2\text{gausses}$  分别线性映射至 0x000~0x7FF 的数字输出, 当待测物理量分别为 0g 和 0gausses, 输出量为 0x400, 因此测量输出数字量 OD 与实际测量物理量 G 的关系可由式(1)表示, 当  $G > 0$  时, 待测量物理量在测量轴方向分量为正,  $G < 0$  时, 待测量物理量在测量轴方向分量为负。

$$G = (OD - 0x400) \quad (1)$$

通过分析待测向量在测量坐标系中所在象限, 计算

得到手柄状态变量[4]。图 5 所示为手柄正方向在  $YOZ$  坐标系中分别位于第一和第四象限，其中加速度传感器  $AX$ ， $AY$  测量轴输出实际测量加速度值  $G_x$  和  $G_y$ ，根据式(2)计算得到俯仰角  $\beta$ 。

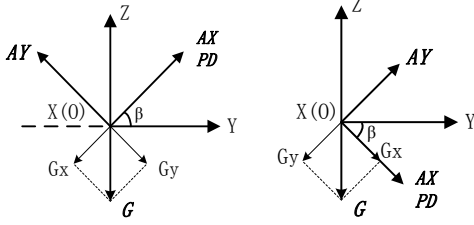


图 5 手柄俯仰角计算示意图

Fig5 Schematic diagram of pitch angle calculation

$$\beta = \begin{cases} \arcsin G_x / |G| & G_x > 0 \text{ \& } G_x < G_y \\ \arccos G_y / |G| & G_x > 0 \text{ \& } G_x > G_y \\ \arccos G_x / |G| & G_x < 0 \text{ \& } G_x < G_y \\ \arcsin G_y / |G| & G_x < 0 \text{ \& } G_x > G_y \end{cases} \quad (2)$$

其中  $|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$

磁场传感器  $MX$ ， $MY$  测量轴输出实际测量磁感应强度  $B_x$ ， $B_y$ ，将  $B_y$  分解到  $AX$  和  $MY_{xoy}$  两轴， $MY_{xoy}$  方向分量  $BY_{xoy} = B_y / \cos \beta$ ，地磁场在  $XOY$  平面

上分量  $B_{xoy} = \sqrt{B_x^2 + BY_{xoy}^2}$ 。

当  $B_x > 0$  且  $BY_{xoy} > 0$  时  $\alpha \in [0, \pi/2]$ ，可由式(3)得到

$$\alpha = \begin{cases} \arccos(|BY_{xoy}| / B_{xoy}) & |BY_{xoy}| > |B_x| \\ \arcsin(|B_x| / B_{xoy}) & |BY_{xoy}| < |B_x| \end{cases} \quad (3)$$

当  $B_x > 0$  且  $BY_{xoy} < 0$  时  $\alpha \in [\pi/2, \pi]$ ，可由式(4)得到

$$\alpha = \begin{cases} \pi - \arcsin(|BY_{xoy}| / B_{xoy}) & |BY_{xoy}| > |B_x| \\ \pi - \arccos(|B_x| / B_{xoy}) & |BY_{xoy}| < |B_x| \end{cases} \quad (4)$$

当  $B_x < 0$  且  $BY_{xoy} < 0$  时  $\alpha \in [\pi, 3\pi/2]$ ，可由式(5)得到

$$\alpha = \begin{cases} \pi + \arccos(|BY_{xoy}| / B_{xoy}) & |BY_{xoy}| > |B_x| \\ \pi + \arcsin(|B_x| / B_{xoy}) & |BY_{xoy}| < |B_x| \end{cases} \quad (5)$$

当  $B_x > 0$  且  $BY_{xoy} < 0$  时  $\alpha \in [3\pi/2, 2\pi]$ ，可由式(6)得到

$$\alpha = \begin{cases} 2\pi - \arcsin(|BY_{xoy}| / B_{xoy}) & |BY_{xoy}| > |B_x| \\ 2\pi - \arccos(|B_x| / B_{xoy}) & |BY_{xoy}| < |B_x| \end{cases} \quad (6)$$

手柄状态变量由  $\mathbf{x} = [\alpha \quad \beta]^T$  表示

楼宇参观系统对手柄状态的精确度要求不高， $\alpha$  和  $\beta$  均精确到个位，且  $\alpha \in [0, 360]$ ， $\beta \in [-90, 90]$ ，因此选择  $\alpha$  以 9 位编码； $\beta$  以 8 位编码。

### 2.3 动作指令

为减小传输数据量，手柄模块微处理器根据手柄状态和按键判断生成动作指令，传输到主机端。

虚拟场景中视角变换动作包括视角上仰、视角下俯、视角左转、视角右转、视角前进和视角后退，其中是否发生前四种动作由判断手柄状态决定，后两种动作由从手柄按键获取。图 6 所示为以一个字节编码动作指令的方法。

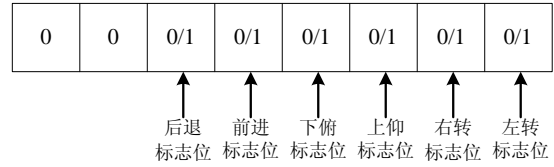


图 6 动作指令编码规则

Fig6 Action command encoding rule

图 6 中每一标志位为 1 表示执行该动作，否则不执行该动作。

手柄模块初始化后，系统自动记录手柄初始状态下的状态变量  $\mathbf{x}_0 = [\alpha_0 \quad \beta_0]^T$ ，然后进入循环状态，每次循环首先读取按键状态，然后获取手柄状态

变量  $\mathbf{x}_i = [\alpha_i \quad \beta_i]^T$ ，得到状态变化量

$$\Delta \mathbf{x}_i = [\Delta \alpha_i \quad \Delta \beta_i]^T$$

其中  $\Delta \alpha_i = \alpha_i - \alpha_0$ ， $\Delta \beta_i = \beta_i - \beta_0$

动作指令码按照表 1 所示规则生成

表 1 动作指令生成规则

Tab1 Generation rules of action command		
判断内容	动作指令	编码 (16进制)
$\Delta \alpha > +8^\circ$	视角左转	0x01
$\Delta \alpha < -8^\circ$	视角右转	0x02
$\Delta \beta > +7^\circ$	视角上仰	0x04
$\Delta \beta < -7^\circ$	视角下俯	0x08
前进按键	视角前进	0x10
后退按键	视角后退	0x20

多个动作可以同步触发，例如视角同时左转、上仰

和前进,此时动作指令码为 00010101b,但左转与右转、上仰与下俯、前进与后退不能分别同时发生。

### 3 主机端设计

主机端由通讯驱动程序和虚拟场景应用程序两部分组成。通讯驱动程序由 C++ 编写,根据接收手柄模块发送的动作指令码,向虚拟场景发出视角动作。虚拟场景应用程序通常需要具备以下功能

- 1) 可编辑功能,即用户可以根据需求设计自己需要的三维虚拟场景模型
- 2) 接口功能,即虚拟场景中视角变换操作与可以由操作系统或其它应用程序调用

本文选择 Vega 的 Lynx 图形用户界面作为虚拟场景应用程序,选择 Walk 漫游方式,通过模拟按下键盘鼠标协同控制方式定义中对应键来实现视角变换功能;通讯驱动程序根据接收动作指令,调用 WinIO.dll 动态链接库函数通过读写 8042 键盘\鼠标控制器的 0x60 和 0x64 寄存器,模拟按下 Vega 程序中设定的对应键盘按键操作。例如,当动作指令为 00010101b(视角同时左转、上仰和前进),此时通讯驱动程序模拟同时按下 Vega 程序中设定的视角左转、上仰和前进按键<sup>[5]</sup>。

#### 3.1 系统工作流程

手柄模块程序与主机端程序异步执行,手柄模块循环向主机端发送动作指令,每次发送后开计时器,等待主机回应;主机端以中断方式接收,收到指令后模拟键盘操作同时向手柄模块发送成功接收信息(ACK),若手柄模块等待回应超时则重新发送动作指令,手柄模块程序流程如图 7 所示,图 8(a) 所示为手柄模块定时器超时中断子程序流程图,图 8(b) 所示为手柄模块串口接收中断子程序流程图,图 8(c) 所示为主机端串口接收中断子程序流程图,图 8(d)所示为主机端通讯驱动程序流程图

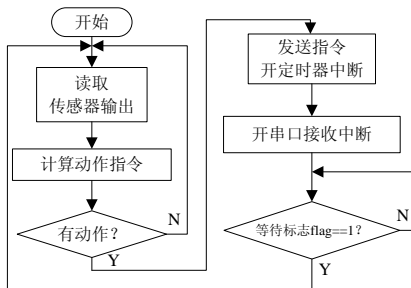


图 7 手柄模块程序流程

Fig7 Program flowchart of joystick

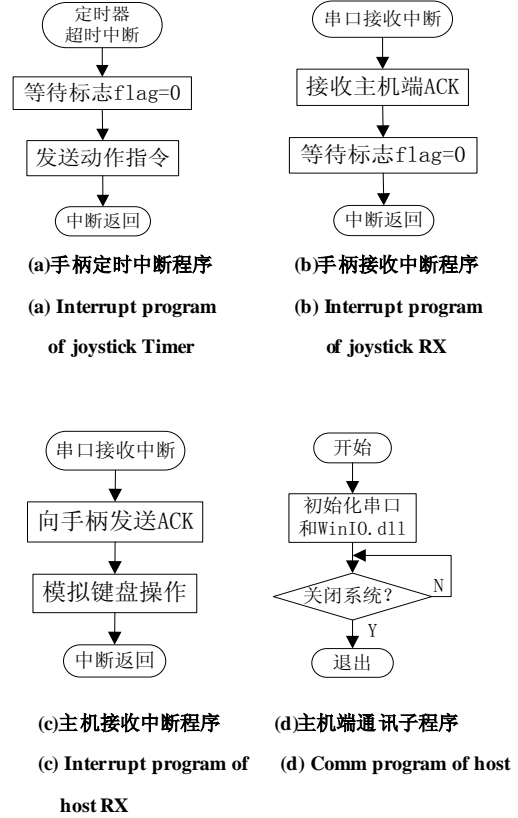


图 7 系统程序流程图

Fig7 System program flow chart

### 4 测试结果

为测试系统能否准确感应状态变化并发出正确动作指令,设计如下试验,假设图 4 中  $|PD|=1$ ,

首先单独在水平和垂直方向转动手柄,直到手柄发出视角变化指令,然后在空间中任意方向转动手柄,记录指令发出和变化边缘状态变量序列

$\{x_i | i=1, 2 \dots N\}$ , 其中  $x_i = [\alpha_i \ \beta_i]^T$ , 由此得到球坐标序列  $\{P_i | P_i = [|PD| \ x_i^T]^T\}$ , 该坐标序列表示的空间曲线在 Y-Z 平面内投影如图 8 所示。

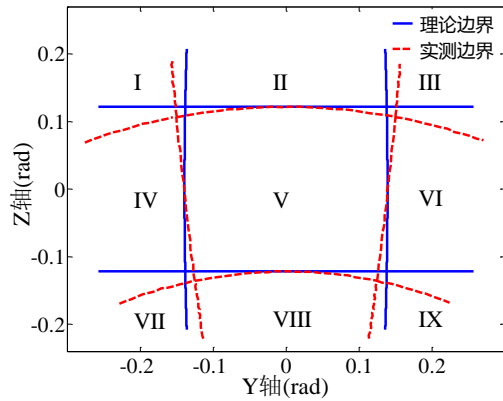


图 8 动作指令 Y-Z 平面内投影边界

Fig8 The command edge projected on plain Y-Z

图 8 中理论指令边界和实测指令边界分别将 Y-Z 平面分割成 9 个子区域, 当 PD 端点在 Y-Z 平面内投影分别在子区域 I 至 IX 时, 对应发出指令如表 2 所示。

表 2 区域指令对照表

Tab2 Relationships between sections and command

子区域	对应指令	编码 (16 进制)
I	视角左转、上仰	0x05
II	视角上仰	0x04
III	视角右转、上仰	0x06
IV	视角左转	0x01
V	视角静止	0x00
VI	视角右转	0x02
VII	视角左转、下仰	0x09
VIII	视角下仰	0x08
IX	视角右转、下仰	0x0a

此外, 从图 8 可以看出, 系统在实际使用中动作指令边界与理论边界在手柄状态变化量  $\Delta\alpha$ ,  $\Delta\beta$  在超出判断阈值不大时基本吻合, 但偏转角度过大时两组边界存在一定偏差, 该偏差主要是由于在使用中, 人手转动导致手柄绕 PD 轴旋转一定角度, 系统存在未测量的横滚角。

#### 4 结论

该系统根据加速度和磁场传感器测量结果, 计算得出手柄状态变量, 动作指令通过串口传送到主机端, 在 Vega 虚拟场景中完成相应虚拟场景动作, 实测结果表明在使用当中手柄能够根据用户操作发出正确的动作指令, 且在偏转角度不大时实测动作指令边缘与理论边缘相差不大, 能够得到满意的

性能。

徐迅 (1988—), 男, 四川绵阳人, 工学硕士在读, 控制理论与控制工程。

#### 参考文献:

- [1] 吴迪, 黄文. 虚拟现实技术的发展过程及研究现状 [J]. 海洋测绘, Nov. 2002, Vol. 22 No. 6: 15-17
- [2] 花蕾. 具有较高真实感的网上虚拟校园构建技术研究 [D]. 西安理工大学硕士学位论文, 2010
- [3] 戎海龙, 戴先中, 刘信羽. 厨师手握锅具运动信息获取方法 [J]. 仪器仪表学报, Nov, 2009, Vol. 30 No. 11: 2291-2297
- [4] 蒋海涛, 郭战营. 基于 MEM 加速度传感器的飞行器倾角测量系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (1): 107-109
- [5] Sourin Alexei. Nanyang technological university virtual campus [J]. IEEE Computer Graphics and Applications 2004, 24 (6): 6-8.