

文章编号: 0258-7025(2003)Supplement-0091-03

用于虚拟现实系统的手形手位跟踪设备研究

刘越¹, 王涌天¹, 孙朝晖², 阎达远¹

(¹北京理工大学光电工程系, 北京 100081; ²长春第一热电有限责任公司, 吉林 长春 130052)

摘要 研制了一种操作者可以通过不同的手势来进行虚拟现实系统人机交互的跟踪设备,通过采用光纤传感器来测量手指的弯曲角度及交流式电磁跟踪系统来测量手掌的空间位置,推导了根据加速度计和磁阻传感器的输出计算手掌空间位置和姿态的方法并研究了光纤传感器的输出与手指弯曲角度的关系,试验结果证明了系统的有效性。

关键词 计算机图形学; 虚拟现实; 手形手位跟踪; 人机交互; 光纤传感器; 电磁跟踪器

中图分类号 TM93

文献标识码 A

Study on Devices to Track Hand Motions and Flexures for VR System

LIU Yue¹, WANG Yong-tian¹, SUN Zhao-hui², YAN Da-yuan

(¹Department of Opto-Electronic Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

²Changchun No.1 Electric Power Plant, Changchun, Jilin 130052, China

Abstract An interaction device that enables an operator to interact with different gestures in a VR (Virtual Reality) system is presented. The joint angles of the individual fingers are measured with fiber optic sensors and the relative position and orientation of the palm are tracked with alternating current pulsed magnetic tracker. The algorithm to calculate the spherical coordinates from the output of the accelerometers and magnetoresistive sensors is deducted. The relationship between the output of the fiber optic sensor and the actual flexure angle is studied. Experiment result shows the effectiveness of the proposed device.

Key words computer figure; VR; tracking of hand motions and gestures; human computer interaction; fiber optic sensor; magnetic sensor

1 引言

近年来计算机图形学的发展及高性能计算机的出现促使了一项新技术——虚拟现实(VR-virtual reality)技术的诞生^[1]。由于手是人类与外界进行接触以及意识表达的主要媒介,采用手形手位跟踪技术进行人机交互,使用直观且符合人类与外部世界交互的习惯,因此在虚拟现实系统中广泛采用手形手位跟踪设备来进行人机交互的。手形手位跟踪技术作为人机交互的手段,是虚拟现实应用中最重要关键技术之一^[2-5]。

手形手位跟踪系统的目的是能够实时地检测出人机交互系统中人手的位置和姿态以及每个手指的位置与角度等数据,以便将这些数据反馈给显示和控制系统来进行人机交互。作为虚拟现实系统人机交互的关键技术,国外许多大学和研究机构都在研制手形手位跟踪设备并且已经开发了一些这

方面的商用产品,但是大多十分笨重且价格昂贵。本文介绍了一种手形手位跟踪设备,该套设备具有重量轻、使用方便、价格便宜的优点,可跟踪各种复杂的手部姿态,大大地提高了人机交互的灵活性,图1为所研制的手形手位跟踪器原理图。

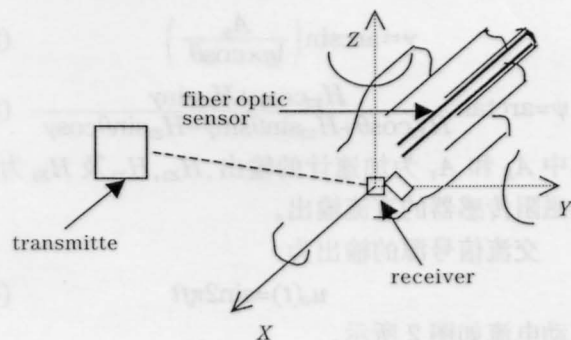


图1 手形手位跟踪设备器示意图

Fig.1 Sketch map of the proposed data glove

基金项目: 国家自然科学基金(60104007)及国家杰出青年基金(60025513)资助课题。

作者简介: 刘越(1968.9-),男,吉林长春人,副教授,博士,主要从事微弱信号检测理论与技术,虚拟现实系统人机交互技术及高精度数字罗盘技术研究。E-mail:liuyue@bit.edu.cn

根据刚体动力学,非对称三维物体共需要六个独立变量或称为自由度(DOF)来描述其在空间的位置^[4],本文介绍了用于测定运动物体6自由度参数的交流式电磁跟踪系统的组成及算法。由于人手不是一个刚体,除了空间6自由度外还需要额外的自由度来描述手指位置及关节的角度,还讨论了用于测量手指弯曲角度的光纤传感器的原理系统构成。

2 交流式电磁跟踪系统

在文献[2]中作者分析了直流式电磁跟踪系统的不足,由于接收磁场的强度与接收器和发射器之间的距离的立方成反比,因此磁场强度随距离衰减很快。通过计算可知当直流驱动电流为2 A时,在1 m处的最大接收磁场强度为 0.1593×10^{-4} T,而地磁场的强度为 0.5×10^{-4} T。由于每个测量轴的地磁场值与被跟踪的物体的姿态有关且随时间变化,因此很难实时去除地磁场的影响并获得被测信号的足够放大。为了弥补直流式跟踪系统的不足,我们提出了采用交流信号做激励源的交流式电磁跟踪系统,其中磁阻传感器的输出通过电容交流耦合至放大器。由于直流信号已经被滤除,接收的信号可以通过带通放大器获得所需要的放大倍数。同时为了测量地磁场和重力场以确定旋转角,磁阻传感器接收信号的直流分量和加速度计的输出也通过A/D转换器送入微控制器中。

非对称三维物体的任意姿态均可通过航向角(heading) ψ ,俯仰角(pitch) θ 及倾斜角(roll) γ 描述。通过(1)~(3)式可根据加速度计和磁阻传感器的直流分量输出计算三个旋转角:

$$\theta = \arcsin\left(\frac{A_x}{lg}\right) \quad (1)$$

$$\gamma = \arcsin\left(\frac{A_y}{lg \times \cos\theta}\right) \quad (2)$$

$$\psi = \arctan \frac{H_{y3} \cos\gamma + H_{z3} \sin\gamma}{H_{x3} \cos\theta + H_{y3} \sin\theta \sin\gamma - H_{z3} \sin\theta \cos\gamma} \quad (3)$$

其中 A_x 和 A_y 为加速计的输出, H_{x3} , H_{y3} 及 H_{z3} 为3轴磁阻传感器的直流输出。

交流信号源的输出为

$$u_0(t) = \sin 2\pi ft \quad (4)$$

驱动电流如图2所示。

三轴磁阻传感器测得的信号经放大,滤波,A/D转换后送入单片机,单片机同时采样交流振荡源的正弦信号用于实现数字互相关运算。通过如(5)式及(6)式所示的递推相敏检波器算法来提取接收到的

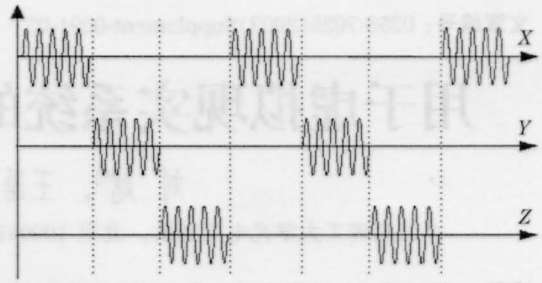


图2 三轴驱动电流

Fig.2 3-axis drive current

微弱交流信号的幅值

$$H_{Q_1}(i) = \frac{H_Q(i/f_s)r_1(i/f_s) + (i-1)H_{Q_1}(i-1)}{i} \quad (5)$$

$$H_{Q_2}(i) = \frac{H_Q(i/f_s)r_2(i/f_s) + (i-1)H_{Q_2}(i-1)}{i} \quad (6)$$

(5)式及(6)式中 $H_{Q_1}(i)$, $H_{Q_2}(i)$ 代表第*i*次采样后互相关算法的计算值, $H(i/f_s)$, $r_1(i/f_s)$, $r_2(i/f_s)$ 分别为三轴传感器接收到的磁场强度和参考信号的采样值。

传感器与发射器之间的相对位置采用极坐标(ρ , α , β)来表示。其中 ρ 为发射器和接收器之间的距离,可以通过3轴传感器的总接收磁场的强度来确定, α 和 β 可以通过3轴磁阻传感器的输出和旋转角的计算结果来计算。

根据发射器和传感器之间的位置对应关系,可以得到

$$f_z = \frac{NAI}{4\pi\phi^3} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1/2 & 0 \\ 0 & 0 & -1/2 \end{bmatrix} f_1 = \frac{NAI}{4\pi\phi^3} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1/2 & 0 \\ 0 & 0 & -1/2 \end{bmatrix} T_\beta T_\alpha f_0 \quad (7)$$

其中 f_0 为实际的发射器驱动矩阵

$$f_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

T_α 和 T_β 为转换矩阵。

$$T_\alpha = \begin{bmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha & 0 \\ -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, T_\beta = \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & -\sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix} \quad (9)$$

为了计算 α 和 β ,用 f_4 来表示3轴磁阻传感器的输出, f_4 与 f_0 的关系为:

$$f_4 = T_\psi T_\theta T_\gamma T_\alpha T_\beta^{-1} \frac{NAI}{4\pi\phi^3} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1/2 & 0 \\ 0 & 0 & -1/2 \end{bmatrix} T_\beta T_\alpha f_0 \quad (10)$$

其中 T_ψ , T_θ 和 T_α 分别为俯仰角、航向角和横滚角的方向余弦矩阵。(10)式可写为

$$M = T_{\psi}^{-1} T_{\theta}^{-1} T_{\gamma}^{-1} f_4 = \frac{NAI}{4\pi\phi^3} \begin{bmatrix} \frac{3}{2} \cos^2\alpha \cos^2\beta - \frac{1}{2} & \frac{3}{2} \cos\alpha \sin\alpha \cos^2\beta & -\frac{3}{2} \cos\alpha \cos\beta \sin\beta \\ \frac{3}{2} \cos\alpha \sin\alpha \cos^2\beta & \frac{3}{2} \sin^2\alpha \cos^2\beta - \frac{1}{2} & -\frac{3}{2} \sin\alpha \sin\beta \cos\beta \\ -\frac{3}{2} \cos\alpha \sin\beta \cos\beta & -\frac{3}{2} \sin\alpha \sin\beta \cos\beta & 1 - \frac{3}{2} \cos^2\beta \end{bmatrix} \quad (10)$$

由于 M 是一个已知的矩阵, 可以通过 3 个旋转角度和 3 轴磁阻传感器的输出计算得到, 因此 α 和 β 可以通过(11)和(12)式计算得到:

$$1 - \frac{3}{2} \cos^2\beta = M_{33}, \text{ 即 } \beta = \cos^{-1} \sqrt{\frac{2}{3}(1 - M_{33})} \quad (11)$$

$$\tan\alpha = \frac{M_{23}}{M_{32}}, \text{ 即 } \alpha = \arctan \frac{M_{23}}{M_{32}} \quad (12)$$

由于发射器是安装在固定的位置的, β 的范围为 $[0, 90^\circ]$, α 的范围可由 M_{13} 和 M_{23} 的符号决定。

3 基于光纤的手指弯曲测量系统

为了测量手指弯曲的角度, 在跟踪设备中采用光导纤维固定在手套的每个手指上来测量手指的弯曲角度, 当光线穿过一段直纤维棒后, 它会以与入射角的角度穿入纤维。当光纤弯曲时, 输出角度按下述关系改变

$$\Delta \cos\alpha_{out} = \frac{2dR \cos\alpha_{in}}{R^2 - (d/2)^2} \quad (13)$$

(13)式中 d 表示光纤直径, R 表示曲率半径。由此可以看到, 当光纤弯曲时, R 变小, 输出角度 α_{out} 将变大。即光纤弯曲将导致光能在传输过程中的损失和出射光束的发散角变大, 从而导致光能损失, 光强度的变化由如图 3 所示的光敏三极管转化为电信号的变化, 然后通过 A/D 转换器将电信号转换为数字信号用来计算对应的手指的实际弯曲角度。

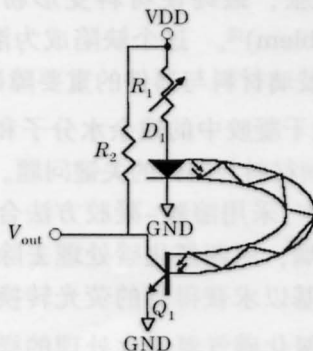


图 3 光纤传感器原理

Fig.3 Principle of fiber optics sensor

为了求出光纤传感器的输出与手指弯曲角度的关系, 在实际使用中采用下述校正方法, 用户戴上数据手套后, 分别握紧三个半径分别为 R_1, R_2, R_3 的球, 加上当手握紧拳头、完全伸展时(手指弯曲角

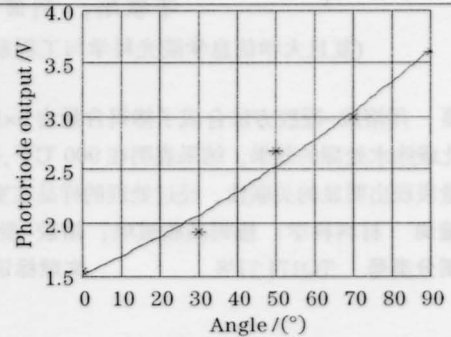


图 4 最小二乘法拟合结果

Fig.4 Result of polynomial fit

度为零和直角时)传感器的两个输出值, 共得到五组数据, 采用数据拟合的最小二乘法来求出手指弯曲实际角度与传感器输出值的近似函数关系。图 4 为最小二乘法拟合结果。

4 实验结果

在本文研究成果的基础上我们开发了手形手位跟踪装置, 能够辨识不同的手势。表 1 为在不同弯曲角度下光敏三极管的输出。

表 1 光敏三极管输出与手指弯曲角度的关系

Table 1 Finger bending angle and phototriode output

Actual angle / (°)	0	30	50	70	90
Output of phototriode for index finger / V	1.55	1.92	2.68	3.0	3.6
Output of phototriode for midle finger / V	1.75	2.16	2.89	3.4	3.9

参考文献

- 1 G. Burdea, P. Coiffet. Virtual Reality Technology [M]. New York, NY: John Wiley and Sons, 1994
- 2 Liu Yue, Wang Yongtian, Hu Xiaoming. Study on tracking device with pulsed AC magnetic field for Virtual Reality system[C]. Proc. VRAI'2002, 2002, 238-240
- 3 Ahmad, Subutai. Usable real-time 3D hand tracker, Conference Record of the Asilomar Conference on Signals[C]. Systems & Computers, 1994. 1257-1261
- 4 C. Youngblut, R. E. Johnson, S. H. Nash et al. Review of Virtual Environment Interface Technology [R]. Technical Report IDA Paper P-3186, Log: H96-001239. Institute for Defense Analysis, 1996
- 5 J. P. Rolland, L. D. Davis, Y. Baillot. A Survey of Tracking Technologies for Virtual Environments [C]. Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality, 2001. 67-112
- 6 贾书惠. 刚体动力学[M]. 北京:高等教育出版社, 1987