

文章编号:1001-9081(2011)11-3035-03

doi:10.3724/SP.J.1087.2011.03035

基于图形变换的人体彩络可视化

李鹏峰,陈新

(福州大学 物理与信息工程学院,福州 350002)

(leebugua@gmail.com)

摘要:提出了一种可以检测并直观表示人体经络分布的实时定位和显示方法。首先,利用多通道经络阻抗检测仪和磁定位跟踪仪确定人体体表经络点的位置,获取经络点的三维信息;其次,对场景摄像机进行标定,并将其结果和经络点的三维信息通过图形变换技术变换到统一的世界坐标系下,获取摄像机的投影矩阵 H ;最后,根据该投影矩阵 H ,将经络点三维信息投影到二维图像上,形成二维经络线,并将其融合于场景摄像机拍摄的人体体表实时图像上,实现人体经络的可视化。测试结果表明,该方法能够准确有效地定位和显示人体经络。

关键词:人体经络;图形变换;摄像机标定;投影矩阵;可视化

中图分类号: TP391.413 **文献标志码:**A

Visualization of human meridian based on graphic transformation

LI Peng-feng, CHEN Xin

(College of Physics and Information Engineering, Fuzhou University, Fuzhou Fujian 350002, China)

Abstract: This paper proposed a method for locating and displaying the human meridian directly in real-time. Firstly, a multi-channel meridian impedance detector and a magnetic orientation tracker were introduced in this paper to locate the position of meridian to gain the 3-Dimensional (3D) information of meridian. Secondly, camera calibration was done for the scene camera, and then its result and the meridian points' 3D information were transformed to the same world coordinate system according to their space relative position, so that the projection matrix of camera H was obtained. Finally, using this matrix H , the 3D data of meridian points was projected onto image to form the 2-Dimensional (2D) meridian line which was matched and fused with human body image captured by the camera to visualize the human meridian. The result shows that the method can locate and display the human meridian precisely and efficiently on the actual human body image in real-time.

Key words: human meridian; graphic transformation; camera calibration; projection matrix; visualization

经络^[1]是人体脏腑气血运行、沟通内外和联络体表以及全身各部的通道。经络的准确定位是人体针灸和按摩的基础。传统的经络定位主要根据医生的主观经验,缺乏科学的定位理论支持。信息可视化是利用计算机视觉表现将抽象的数据信息以直观的方式呈现出来,并挖掘抽象数据中的规律^[2]。虽然经络没有实体组织结构支持,但是可以将经络的低阻抗特性^[3-5]进行可视化。本文结合经络的低阻抗特性和计算机图形学原理,将经络实时显示于人体体表上,给医生以直观的感觉,对中医教学和临床治疗进行引导。

1 可视化系统总体结构与理论基础

1.1 总体结构

处理过程包括经络点阻抗值的采集和处理、经络点三维坐标的获取、场景摄像机标定以及经络二维图形的形成、配准与融合等环节。由于系统对实时性、准确性要求高,且数据处理量大,对硬件要求高,故系统采用上下位机的工作模式,以提高处理效率。其中上位机连接多通道经络阻抗检测仪(以下简称经络仪)和图像采集设备,负责采集经络阻抗值和场景图,处理经络点的三维信息并与场景图像进行配准融合;下位机连接磁定位跟踪仪,负责采集经络点的三维信息和定位场景摄像机;上下位机通过串口进行数据传输,二者以丢弃部分数据来换取时间上的同步。可视化系统总体结构如图1所示。

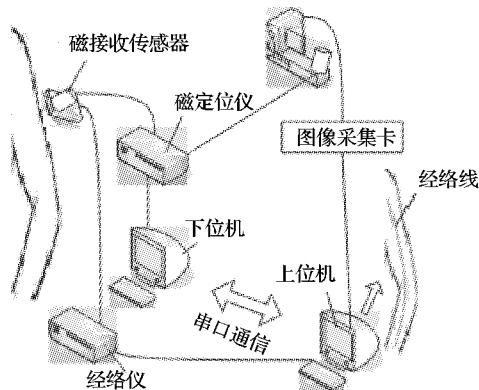


图1 系统总体结构

1.2 磁定位跟踪仪

磁定位跟踪仪 Wintracker 是一种 3 传感器、6 自由度的磁定位跟踪系统,每个接收传感器作为一个通道可以获取一组三维坐标 (x, y, z) 和旋转向量 (α, β, γ)。使用时应该避免将接收传感器附着于金属表面或是靠近金属而影响测量数据的准确性。

1.3 图形变换与场景摄像机标定

首先做如下定义。

世界坐标系 O_w -xyz:物体所在的坐标系,是在环境中选择的一个基准坐标系,在本文中是指 Wintracker 发射器所在的

收稿日期:2011-05-16;修回日期:2011-06-25。 基金项目:福建省自然科学基金资助项目(2009J01287)。

作者简介:李鹏峰(1988-),男,福建惠安人,硕士研究生,主要研究方向:图像处理与通信; 陈新(1956-),男,福建福州人,教授,主要研究方向:生物医学、图像处理、网络通信。

坐标系。

定位坐标系 $O_i\text{-}xyz$: Wintracker 接收传感器所在的坐标系。 $O_{i_i}\text{-}xyz$ 表示第 i 个接收传感器所在的坐标系。

场景摄像机坐标系 $O_c\text{-}xyz$: 以针孔摄像机模型的聚焦中心为原点, 以摄像机光轴为 Z 轴建立的三维直角坐标系。

模板坐标系 $O_m\text{-}xyz$: 以定标模板上左上方第一个角点作为原点, 以模板向外的法向量作为 Z 轴建立的三维直角坐标系, 其中角点是指摄像机标定中给定的特征点。

1.3.1 图形变换

1) 平移变换。将图形从一个坐标系平移到另一个坐标

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \cos \beta \cos \gamma & \cos \beta \sin \gamma & -\sin \beta \\ \sin \alpha \sin \beta \cos \gamma - \cos \alpha \sin \gamma & \sin \alpha \sin \beta \sin \gamma + \cos \alpha \cos \gamma & \sin \alpha \cos \beta \\ \cos \alpha \sin \beta \cos \gamma + \sin \alpha \sin \gamma & \cos \alpha \sin \beta \sin \gamma - \sin \alpha \cos \gamma & \cos \alpha \cos \beta \end{bmatrix}$$

绕任意轴 $\mathbf{r} = (r_x, r_y, r_z)$ 旋转 θ 角, 变换矩阵如式(3):

$$\mathbf{R} = \mathbf{rr}^T + \cos \theta (\mathbf{I} - \mathbf{rr}^T) + \sin \theta \begin{bmatrix} 0 & -r_z & r_y \\ r_z & 0 & -r_x \\ r_y & r_x & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中 \mathbf{I} 为 3×3 的单位矩阵。

在三维空间中, 可对已定义的几何图形连续进行多次几何变换, 以得到新的所需要的图形。这时只需将相应的多个变换矩阵连乘后, 形成组合变换矩阵, 再作用于几何图形即可^[6-7]。

1.3.2 场景摄像机标定

为保证测量精度, 摄像机标定是信息从三维投影到二维图像的必经步骤^[8-9]。本文的场景摄像机标定模块采用“张正友方法”的标定原理^[10]。“张正友标定方法”是一种适合应用的简单有效的方法, 是在自标定与传统标定之间的一个妥协。该方法采用针孔摄像机模型, 空间中一个三维点 $M = (x, y, z, 1)^T$ 以及该点在图像映射点 $m = (u, v, 1)^T$ 的关系如式(4)所示:

$$sm = A[\mathbf{R} \ t]M \quad (4)$$

其中: s 表示比例因子; $[\mathbf{R} \ t]$ 是场景摄像机的外部参数(以下简称外参), 即场景摄像机坐标系与世界坐标系之间的旋转信息和平移信息; A 是场景摄像机的内部参数矩阵(以下简称内参矩阵)。场景摄像机标定的目的就是求解摄像机外参和摄像机内参矩阵, 为信息从三维到二维图像提供投影矩阵 H :

$$H = A[\mathbf{R} \ t] \quad (5)$$

“张正友标定方法”需要一张黑白棋盘模板, 该方法所描述的世界坐标系是本文的模板坐标系。根据模板角度的不同, 标定得到的场景摄像机外参会发生相应的改变, 而且本文获取的经络穴位三维坐标所在的世界坐标系与该坐标系并不是同一个, 所以不能将该 H 直接作为经络穴位三维信息的投影矩阵。为获取正确的投影矩阵, 在场景摄像机标定阶段, 本文结合磁定位跟踪仪所获取的测量数据以及图形变换原理, 将一个接收传感器附着在棋盘模板上(记为 1st 接收传感器), 另一个附着在场景摄像机旁边(记为 2nd 接收传感器), 再通过它们之间的空间位置关系, 将张正友方法的摄像机标定结果转化成与经络穴位三维信息统一的坐标系下。

该方法所涉及到的坐标系之间关系如图 2 所示。其中: $(\mathbf{R}_{i-j}, \mathbf{T}_{i-j})$ 分别表示 $O_j\text{-}xyz$ 坐标系相对于 $O_i\text{-}xyz$ 坐标系的旋转矩阵和平移向量; $(\mathbf{R}_{m-c}, \mathbf{T}_{m-c})$ 是场景摄像机模板标定的外参; $(\mathbf{R}_{l1-mj}, \mathbf{T}_{l1-mj})$ 由固定在模板上方的接收传感器的相对位置、方向决定; $(\mathbf{R}_{w-l1}, \mathbf{T}_{w-l1})$ 和 $(\mathbf{R}_{w-l2}, \mathbf{T}_{w-l2})$ 分别由 Wintracker 的两个接收传感器 6 个自由度数据计算代入式

系, 原坐标系的三维坐标与平移变换矩阵相乘即可得到新坐标系的三维坐标, 若平移量为 $t = (x, y, z)$, 则平移变换矩阵如式(1)所示:

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

2) 旋转变换。若坐标系先绕 x 轴逆时针旋转 α 角, 再绕 y 轴逆时针旋转 β 角, 最后绕 z 轴逆时针旋转 γ 角, 则变换矩阵如式(2)所示:

$$\begin{bmatrix} \cos \beta \cos \gamma & \cos \beta \sin \gamma & -\sin \beta \\ \sin \alpha \sin \beta \cos \gamma - \cos \alpha \sin \gamma & \sin \alpha \sin \beta \sin \gamma + \cos \alpha \cos \gamma & \sin \alpha \cos \beta \\ \cos \alpha \sin \beta \cos \gamma + \sin \alpha \sin \gamma & \cos \alpha \sin \beta \sin \gamma - \sin \alpha \cos \gamma & \cos \alpha \cos \beta \end{bmatrix}^T \quad (2)$$

(1)、式(2)获得 2nd 接收传感器与场景摄像机的相对位置是固定的, 所以 $(\mathbf{R}_{l2-c}, \mathbf{T}_{l2-c})$ 的值是不变的, 在经络显示阶段可以将该信息转化为世界坐标系下, 即保证经络三维信息可转化为与场景摄像机外参统一的世界坐标系下。因此, 本文把模板标定的结果 $(\mathbf{R}_{m-c}, \mathbf{T}_{m-c})$ 通过图 2 这些坐标系之间的空间位置关系转化为 $O_{l2}\text{-}xyz$ 坐标系下的信息, 即:

$$\begin{cases} \mathbf{R}_{l2-c} = \mathbf{R}_{m-c} \cdot \mathbf{R}_{l1-m} \cdot \mathbf{R}_{w-l1} \cdot \mathbf{R}_{w-l2}^{-1} \\ \mathbf{T}_{l2-c} = \mathbf{R}_{w-l2}^{-1} [(\mathbf{R}_{w-l1} \mathbf{T}_{w-l1}) ([\mathbf{R}_{l1-m} \mathbf{T}_{l1-m}] \mathbf{T}_{m-c}) - \mathbf{T}_{w-l1}] \end{cases} \quad (6)$$

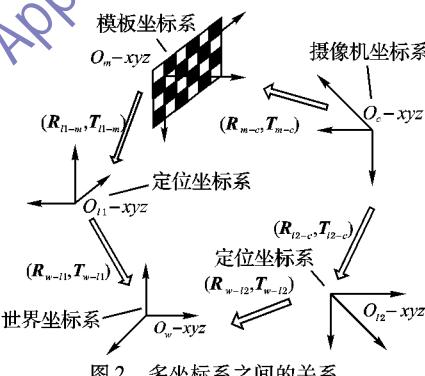
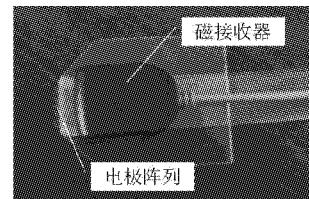


图 2 多坐标系之间的关系

2 经络的定位与显示

2.1 经络的检测与定位



经络的检测与定位由经络仪、Wintracker 和上下位机共同完成。Wintracker 的一个接收传感器固定在经络仪的电极阵列探头上面, 如图 3 所示。由上位机获取电极各接触点的阻抗信息, 并选取阻抗值最小的通道作为经络点所在通道; 同时上位机通知下位机获取接收传感器 6 个自由度的数据并传送给上位机; 上位机根据 6 个自由度的数据和经络点所在的电极探头通道, 计算出经络点关于磁发射器坐标的三维坐标信息。

2.2 经络实时显示

在进行经络二维经络线的形成前, 需保证场景摄像机外参与经络三维信息在统一的世界坐标下。场景摄像机标定阶段的结果 $(\mathbf{R}_{l2-c}, \mathbf{T}_{l2-c})$ 是关于定位坐标系的, 因此必须对该信息进行转换。通过获取 2nd 接收传感器 6 个自由度数据得到 $O_{l2}\text{-}xy$ 关于 $O_w\text{-}xy$ 的旋转平移信息 $(\mathbf{R}_{w-l2}', \mathbf{T}_{w-l2}')$, 通过式(7)

得到场景摄像机坐标系关于世界坐标系的旋转平移信息, 即场景摄像机的外参:

$$\begin{cases} \mathbf{R}_{w-c} = \mathbf{R}_{l2-c} \cdot \mathbf{R}_{w-l2}' \\ \mathbf{T}_{w-c} = \mathbf{T}_{l2-c} - \mathbf{R}_{w-c} \cdot \mathbf{T}_{w-l2}' \end{cases} \quad (7)$$

至此, 场景摄像机坐标系与世界坐标系之间的几何模型关系得到确定, 即:

$$\mathbf{sm} = \mathbf{A}[\mathbf{R}_{w-c} \quad \mathbf{T}_{w-c}] \mathbf{M} \quad (8)$$

投影矩阵由式(5)改为:

$$\mathbf{H} = \mathbf{A}[\mathbf{R}_{w-c} \quad \mathbf{T}_{w-c}] \quad (9)$$

通过式(8)可以将实时获取的经络穴位三维信息投影映射生成二维坐标信息, 并通过图形设备接口绘制生成二维的经络线, 实现经络的可视化。最后通过图像配准融合处理将经络实时显示于人体体表上, 给医生以直观的感觉, 对中医教学和临床治疗进行引导。经络实时显示的操作流程如图 4 所示。

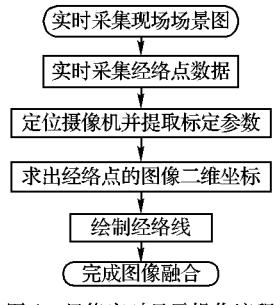


图 4 经络实时显示操作流程

3 实验结果与分析

3.1 场景摄像机标定

场景摄像机标定阶段中模板标定的棋盘模板由高精度打印机打印并贴在玻璃板上, 棋盘角点个数为 7×8 。OpenCV 中的摄像机标定方法是基于“张正友标定方法”, 并且考虑了摄像机的径向畸变参数(k_1, k_2)和切向畸变参数(p_1, p_2), 具有较好的鲁棒性^[11]。因此, 模板标定模块使用 OpenCV 对 5 张不同角度的标定模板进行标定, 每移动一次模板相应获取两个接收传感器的数据并计算其所在坐标系相对于世界坐标系的旋转平移信息, 将这 5 张模板对应的外参通过式(6)得到场景摄像机坐标系相对于 O_{l2-xyz} 坐标系的旋转平移信息($\mathbf{R}_{l2-c}, \mathbf{T}_{l2-c}$), 以平均值作为临时的场景摄像机外参, 实验结果如表 1、表 2 所示, 结果中的旋转向量代入式(3)即可得到旋转矩阵。由 2nd 接收传感器与场景摄像机的实际相对位置和方位可知, 该方法正确。由实验数据可知, 每次得到的摄像机外参会有微小的偏差, 这是 Wintracker 仪器本身附加的误差以及实验场所对仪器叠加的磁场干扰造成的。

表 1 场景摄像机标定结果

模板	平移向量/cm	旋转向量/cm
1	(-58.3504, 4.7301, -4.0411)	(-1.1770, 1.2210, 1.1517)
2	(-57.8875, 5.2864, -4.3670)	(-1.1711, 1.2127, 1.1435)
3	(-56.6214, 5.7846, -5.1858)	(-1.1675, 1.2036, 1.1205)
4	(-56.1731, 6.4420, -5.4044)	(-1.1620, 1.1938, 1.1172)
5	(-55.6555, 7.1901, -5.6200)	(-1.1544, 1.1851, 1.1117)
平均值	(-56.9376, 5.8866, -4.9237)	(-1.1664, 1.2032, 1.1289)

3.2 经络穴位实时显示

本文对人体的手厥阴心包经进行实时检测与显示。首先对场景摄像机进行定位, 根据上阶段标定的外参结果, 获取场景摄像机坐标系与世界坐标系之间的旋转平移信息, 即场景

摄像机的外参。将场景摄像机内参矩阵和外参矩阵通过式(9)连乘起来, 并考虑镜头畸变参数, 生成投影矩阵 \mathbf{H} 。投影矩阵 \mathbf{H} 的构成参数如下:

$$\text{内参数矩阵 } \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 944.4611 & 0.0000 & 398.7890 \\ 0.0000 & 939.6207 & 274.2527 \\ 0.0000 & 0.0000 & 1.0000 \end{bmatrix}$$

形变参数: $k_1 = -0.4337, k_2 = 0.1632, p_1 = 0.0004, p_2 = 0.0004$

平移向量(单位:cm): (-35.3888, 0.4355, 36.8913)

旋转向量(单位:cm): (-1.2166, 1.1835, 1.0595)

将经络仪的电极探头放在手臂上, 并沿着手臂缓慢滑动, 处理并获取经络点的三维坐标, 将该坐标信息通过 \mathbf{H} 实时投影映射到场景摄像机摄取的人体体表图像上面, 并绘制出来, 结果如图 5 所示。实验结果表明, 该系统能够正确实时地显示人体手厥阴心包经。



图 5 手厥阴心包经的实时显示

4 结语

本文利用人体经络的低阻抗特性, 将图形学原理应用于经络的可视化中。在摄像机标定阶段, 利用磁定位跟踪

仪, 结合张正友摄像机标定方法, 获取不变的摄像机投影矩阵, 该矩阵描述的是经络穴位三维信息所在坐标系与摄像机坐标系之间的空间关系。最后根据该矩阵进行经络三维信息到二维图像的投影, 并与场景图像融合, 其结果就像直接在人体体表上显示经络的位置一样, 给医务人员以直观的感觉, 从而提高针灸取穴的准确性。根据实验结果分析可知, 方法是可行的。但是方法中使用到的磁定位跟踪仪存在自然场结构的干扰, 而且经络二维图像与场景图像的融合只是简单地叠加融合, 没有经过严格的图像配准, 这是该方法需要改进的地方。

参考文献:

- [1] 董宝强, 李曦明, 董刚. 论十二经脉气血多少与经筋的关系[J]. 中华中医药杂志, 2008, 23(02): 94–97.
- [2] KEIM D A. Information visualization and visual data mining [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2002, 8(1): 1–8.
- [3] 梁柳, 邓柏颖, 苏莉, 等. 经络和腧穴电学特性研究概况[J]. 国医论坛, 2006, 21(6): 51–52.
- [4] 汪玉忠, 陈新, 胡翔龙. 基于 windows 平台的皮肤阻抗检测系统设计[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(3): 192–195.
- [5] 陈正亮. 人体经络电阻抗检测技术及初步实验研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- [6] 李建平. 计算机图形学原理教程[M]. 成都: 电子科技大学出版社, 1998: 15–57.
- [7] 陈国华. 三维连续图形变换的一类算法与实现[J]. 中国图象图形学报, 2001, 6(12): 1240–1243.
- [8] 马德领, 张正友. 计算机视觉[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 52–70.
- [9] TSAI R. A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3-D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses [J]. IEEE Journal of Robotics and Automation, 1987, 3(4): 323–344.
- [10] ZHANG Z. A flexible new technique for camera calibration [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(11): 1330–1334.
- [11] 黄承韬. OpenCV 中标定函数的源码详解和改进[J]. 微计算机应用, 2009, 30(4): 24–29.