

采用图像匹配和三维跟踪器的人体经络可视化方法**

陈 新

A method for the human meridian visualization using image matching and three-dimensional tracker

Chen Xin

Abstract

BACKGROUND: The human meridian is usually invisible, but it can be displayed on the computer screen using the meridian information visualization technique based on the method of the graphics, images and computer vision. So the abstract meridian information can be displayed, and can be used to help us to locate the meridian and to do clinical treatment.

OBJECTIVE: To provide a more effective and convenient method for visualizing the meridian line, and to develop a meridian detection and display system based on the magnetic tracker and the camera calibration technology.

METHODS: Electrical impedance on skin with multi-channel impedance detector was measured, the three-dimensional coordinate of all electrode probes on skin was acquired by using the magnetic tracker, and the electrical impedance of each channel was matched with the three-dimensional coordinate of all probes respectively. Then, according to the lower impedance characteristic of meridian, the accurate meridian place could be selected from the candidate channels using cost function. The three-dimensional coordinate of meridian could be projected onto the two-dimensional image that was taken from skin by using the "Zhang Zhengyou" method, optimized projection transformation and the image fusion. With the moving of the electrode probe, the meridian line could be displayed on the two-dimensional image of skin.

RESULTS AND CONCLUSION: The results of experiment showed that the system impedance detection error was less than 0.2%, and the meridian line could be displayed accurately and effectively on the image of the body surface in real time. The method achieves the human meridian visualization, and can be used for medical diagnosis, the treatment or Chinese medical teaching.

Chen X. A method for the human meridian visualization using image matching and three-dimensional tracker. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2012;16(17): 3143-3147. [http://www.crter.cn http://en.zglckf.com]

摘要

背景: 经络信息可视化技术采用图形图像与视觉的表现形式, 将现实中不可见的人体经络显示于计算机屏幕上, 使抽象的经络信息展现在人们面前, 用以辅助经络定位和临床诊治。

目的: 为更方便有效地提供人体经络可视化方法, 基于磁场跟踪器和摄像机标定技术, 开发一种基于电阻抗的人体经络检测和可视化系统。

方法: 将多通道经络检测中各个通道的电阻抗与由磁场跟踪器所确定的相应通道电极探针触点的三维坐标进行配对, 利用经络低电阻抗特性和代价函数从候选通道中选择准确的经络点并确定三维经络线; 然后用“张正友”法和图形变换法进行优化, 将经络线的三维坐标映射到人体皮肤表面的二维图像上; 随着电极探头移动, 整条经络线就可显示在皮肤表面的二维图像上。

结果与结论: 研究和实验结果表明, 系统的阻抗检测误差小于 0.2%, 并可实时地在现场人体体表图像上准确有效地显示人体经络。该方法实现了人体经络的可视化, 可用于医生临床诊断治疗或中医教学。

关键词: 经络; 阻抗检测; 摄像机标定; 图像融合; 二维图像

doi:10.3969/j.issn.1673-8225.2012.17.024

陈新. 采用图像匹配和三维跟踪器的人体经络可视化方法[J]. 中国组织工程研究, 2012, 16(17):3143-3147.

[http://www.crter.org http://cn.zglckf.com]

0 引言

经络穴位是人体脏腑经络气血输注于体表的部位^[1]。大量临床应用证明, 经络是人体体表各部分与内脏器官之间相互联系、相互影响的作用网络^[2-3]。经络定位的精确度是非常重要的, 但经络穴位的选择和定位主要取决于医生的主观经验, 这往往缺乏科学的依据。

上世纪50年代日本的中谷义雄博士发现人体皮肤的“良导点”和“良导络”现象以来,

许多专家学者对经络的电阻抗特性进行研究。大量的实验证明, 经络的电阻抗低于人体其他部位的电阻抗^[4-5]。信息的可视化技术采用计算机图形和视觉的表现形式, 能够实现抽象数据的可视化, 并可用于寻找信息中的规律。尽管在现代医学中人体经络的物理结构不存在, 但在计算机屏幕上将其可视化却是可行的^[3-5]。因此, 在实现经络可视化的基础上, 可以对经络穴位做准确的定位, 进行诊断治疗或教学。

首先, 通过研究基于经络低电阻抗特性的多

College of Physics and Information Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350108, Fujian Province, China

Chen Xin, Professor, College of Physics and Information Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350108, Fujian Province, China
chen-xin@fzu.edu.cn
fzcx5644@yahoo.com.cn

Corresponding author: Chen Xin, Professor, College of Physics and Information Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350108, Fujian Province, China
chen-xin@fzu.edu.cn

Supported by: Scientific Research Foundation of the Ministry of Health, No. WKJ 2005-2-004*; Natural Science Foundation of Fujian Province, No. 2009J01287*

Received: 2011-12-28
Accepted: 2012-01-12

福州大学物理与信息工程学院, 福建省福州市 350108

陈新, 男, 1956年生, 福建省福州市人, 汉族, 1982年福州大学毕业, 教授, 主要从事生物医学工程、图像处理与识别等研究。
chen-xin@fzu.edu.cn
fzcx5644@yahoo.com.cn

通讯作者: 陈新, 教授, 福州大学物理与信息工程学院, 福建省福州市 350108
chen-xin@fzu.edu.cn

中图分类号: R318
文献标识码: B
文章编号: 1673-8225(2012)17-03143-05

收稿日期: 2011-12-28
修回日期: 2012-01-12
(20111228003/D·G)

通道经络阻抗检测仪, 可以检测经络穴位在人体体表的位置, 从磁跟踪器获得各通道电极探头的三维坐标, 利用代价函数选择并匹配所检测到的经络穴位与相应的三维坐标, 建立经络穴位的三维分布图像; 其次, 通过摄像机的标定可减少成像光学系统中的非线性畸变误差, 通过投影变换求解出摄像机的投影矩阵, 将检测获得的三维经络线图像投影形成二维图像形式的2D经络线; 最后, 将2D经络线与安装在诊室现场的经过标定的摄像机所拍摄的体表图像进行匹配和融合, 显示在屏幕上, 实现经络的可视化。其结果看起来就像直接在人体皮肤上描绘着经络线一样, 医生就可以根据计算机屏幕上的影像, 非常方便地做针灸治疗或进行教学。

1 处理方法概述

本文采用一种称之为“WINTRACKER”的磁跟踪器进行定位。这是一个6自由度(即三维坐标(x, y, z)和旋转角度(α, β, γ))、3接收传感器的磁定位系统。为实现定位的实时测量和经络可视化, 系统采用“主-从”工作模式: 下位机负责采集附着于多通道经络检测仪检测电极探头上磁接收传感器的三维坐标数据, 通过计算, 间接获得电极阵列上各电极与皮肤接触点的三维坐标, 数据通过同步机制由串口发送到上位机; 上位机由4个模块组成: 数据采集模块, 经络线检测模块, 摄像机标定模块和图像显示模块等构成。整个经络可视化系统的构成框图如图1所示。

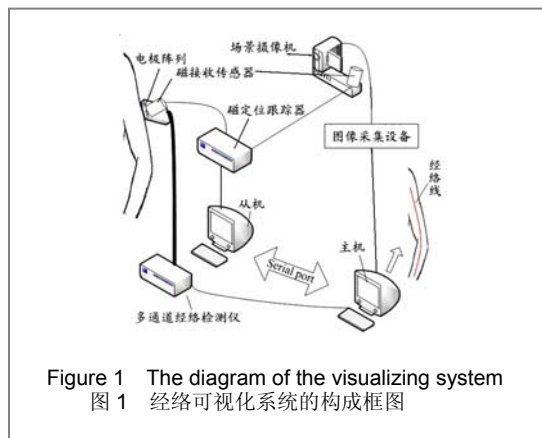


Figure 1 The diagram of the visualizing system
图1 经络可视化系统的构成框图

1.1 数据采集模块 数据采集模块包括多通道经络阻抗检测仪和磁跟踪器。图2为多通道经络阻抗检测仪的硬件框图, 其中包含6个模块: ①电极阵列。②可调电源。③隔离刺激器。④

分压网络。⑤放大器和隔离电路。⑥模拟数字(A/D)转换器与数据采集电路。

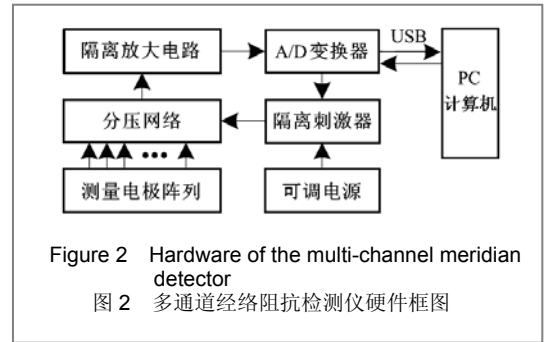


Figure 2 Hardware of the multi-channel meridian detector
图2 多通道经络阻抗检测仪硬件框图

每个通道的电极包括一个测量电极和参照电极, 测量电极将系统硬件与人体皮肤连接起来; 电导率改变和电极的极化都将明显地影响阻抗测量的准确性, 因此需要对电极材料、结构、激励信号参数进行优化选择。可调式电源为隔离刺激器提供一个稳定可调的高压电源, 用于产生满足阻抗测量使用的刺激脉冲电压。根据人体皮肤电阻抗的电路模型设计电位分压网络, 用于皮肤阻抗测量时的响应信号提取。使用隔离电路可减少不同通道之间的相互干扰, 测量电极所获得的微弱响应信号经隔离放大后, 经MP425数据采集卡将电压转换成数字数据, 通过USB接口传送到上位机进行处理。

1.2 经络线检测 为进行经络检测和定位, 可视化系统采用带有16×1电极阵列的多通道经络检测仪实时采集16个通道皮肤电阻抗数据^[6], 利用分时复用的控制机制, 实时地分别测量各电极所接触处的人体皮肤阻抗。大量实验表明, 如果某些通道检测点的人体皮肤阻抗小于100 K, 这些点可以被看作是经络线的候选点。然而, 由于噪声和电极极化作用的影响, 多通道检测仪可能检测到多个通道的阻抗值小于100 K。此时, 使用代价函数来确定哪些通道将是最准确的经络点。代价函数由公式(1)所定义:

$$f(n) = a\bar{D}(n) + b\bar{R}(n) \quad (1)$$

其中 $\bar{D}(n)$ 是 $D(n)$ 的归一化值, 而 $D(n) = \|d_{n-1}(x, y, z) - d_n(x, y, z)\|$ 是当前采集数据帧中候选经络通道电极接触点位置的三维坐标与前帧采集所确定的准确经络通道位置三维坐标之间的距离; $\bar{R}(n)$ 是 $R(n)$ 的归一化值, $R(n)$ 则是在当前采集数据帧中的候选经络通道的电阻抗。参数 a 和 b 分别表示经络检测过程中三维坐标距离和电阻抗的影响因子。根据大量的实验, 在这个可视化系统中作者设置参数 $a=1$ 和 $b=2.1$ 。通过计算每个候选通道上的 $f(n)$ 值, 可

以确定最小 $f(n)$ 的通道就是当前数据帧中准确的经络通道。随着电极阵列探头的移动,就可将各采集数据帧中所有选中的准确经络通道位置连接起来,构成经络线的三维图像。

1.3 摄像机标定 摄像机的标定处理是三维计算机视觉系统中进行三维信息可视化的一个必要步骤^[7]。为了更好地描述这个模块,作以下定义:

①世界坐标系 O_w-xyz ,这是一个基本坐标系统,本文选择WINTRACKER的坐标系统为 O_w-xyz 系统。

②摄像机坐标系 O_c-xyz ,它的原点是摄像机镜头的焦点。

③定位坐标系 O_l-xyz ,为磁接收传感器的坐标系。 $O_{l1}-xyz$ 为第一传感器, $O_{l2}-xyz$ 第二传感器。

④模板坐标系 O_m-xyz ,以定标模板上的左上方第一个角点(模板平面图案中黑白相交的点,见图3)作为原点,其 $x-o-y$ 平面与模板平面平行。

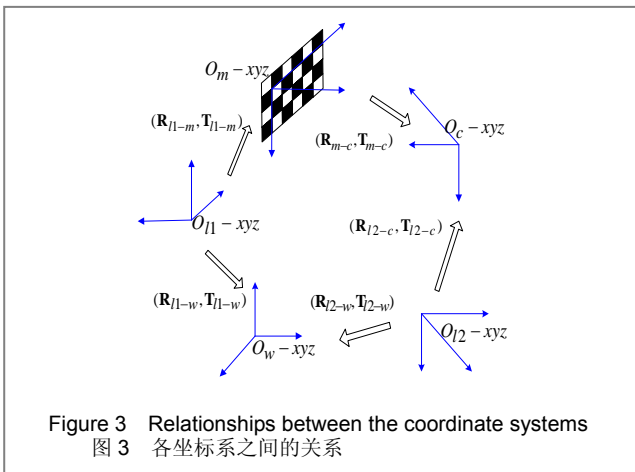
要获得在世界坐标系和摄像机坐标系之间进行转换时所需的摄像机投影矩阵 H ,这里结合“张正友”标定法与图形投影变换的方法^[8],提出一种新的摄像机标定改进方法。

首先,使用“张正友”的标定方法得到模板坐标系和摄像机坐标系之间的关系,并得到相机内部参数矩阵 A ,如公式(2)所示:

$$A = \begin{bmatrix} \alpha & 0 & u_0 \\ 0 & \beta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

这里 (u_0, v_0) 是在图像中心的关注点坐标, α, β 是图像上 u 轴和 v 轴的比例因子。

然后,WINTRACKER的第一接收传感器是用来关联模板坐标系与世界坐标系的,第二接收传感器是用于获取世界坐标系和摄像机坐标系之间的相互关系。上述这些坐标系的相对位置如图3所示。



矩阵 $[R_{ij}, T_{ij}]$ 由 (3×3) 的旋转矩阵和 (3×1) 的平移向量构成,可以表示坐标系 i 与坐标系 j 之间的关系。利用公式(3),可以由旋转向量 (α, β, γ) 和平移向量 (x, y, z) 计算 R_{ij} 和 T_{ij} :

$$R_{i-j} = \begin{bmatrix} \cos\beta\cos\gamma & \cos\beta\sin\gamma & -\sin\beta \\ \sin\alpha\sin\beta\cos\gamma - \cos\alpha\sin\gamma & \sin\alpha\sin\beta\sin\gamma + \cos\alpha\cos\gamma & \sin\alpha\cos\beta \\ \cos\alpha\sin\beta\cos\gamma + \sin\alpha\sin\gamma & \cos\alpha\sin\beta\sin\gamma - \sin\alpha\cos\gamma & \cos\alpha\cos\beta \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$T_{i-j} = [x, y, z]^T$$

$[R_{l1-w}, T_{l1-w}]$ 和 $[R_{l2-w}, T_{l2-w}]$ 可由WINTRACKER所配置的2个接收传感器采集到的位置信息(三维坐标 (x, y, z) 和旋转向量 (α, β, γ))分别计算得出。 $[R_{l1-m}, T_{l1-m}]$ 是根据第一接收传感器与标定模板之间的实际方位关系计算获得。 $[R_{m-c}, T_{m-c}]$ 则是“张正友”法标定的结果。根据图形映射变换原理, $[R_{l2-c}, T_{l2-c}]$ 可以由公式(4)计算:

$$R_{l2-c} = R_{m-c} \cdot R_{l1-m} \cdot R_{l1-w}^{-1} \cdot R_{l2-w}$$

$$T_{l2-c} = R_{m-c} \cdot \{R_{l1-m} \cdot R_{l1-w}^{-1} \cdot (T_{l2-w} - T_{l1-w}) + T_{l1-m}\} + T_{m-c} \quad (4)$$

第2接收传感器附着于场景摄像机上,相对于摄像机来说,第2接收传感器的位置是固定的,即 $[R_{l2-c}, T_{l2-c}]$ 是固定的,可选择 O_{l2-xyz} 坐标系作为临时的世界坐标系,然后选择 $[R_{l2-c}, T_{l2-c}]$ 作为标定的结果。

1.4 图像融合与显示 在形成经络线之前,应根据安装在场景摄像机上的第2接收传感器的位置信息,获取实时参数 $[R'_{l2-w}, T'_{l2-w}]$,然后根据这些信息,使用公式(5)将 $[R_{l2-c}, T_{l2-c}]$ 转换到世界坐标系下,以确定摄像机坐标系和世界坐标系之间的关系。

$$R_{w-c} = R_{l2-c} \cdot R'_{l2-w}^{-1}$$

$$T_{w-c} = T_{l2-c} - R_{w-c} \cdot T'_{l2-w} \quad (5)$$

其中, $[R_{w-c}, T_{w-c}]$ 矩阵是由旋转矩阵和平移向量构成,它确定了世界坐标系和摄像机坐标系的关系,称之为摄像机的外部参数。这样,某个三维点 $\tilde{m}=(x, y, z, 1)$ 与其在二维图像上的投影点 $\tilde{m}=(u, v, 1)$ 之间的关系就可由公式(6)所确定:

$$H = A[R_{w-c} \ T_{w-c}]$$

$$\tilde{m} = H\tilde{M} \quad (6)$$

据此,可以使用GDI,根据公式(6)将各经络点的三维坐标映射到2D图像上并绘制出经络线,将其与场景摄像机所拍摄的人体体表图像融合显示,其结果就好像是直接对人体体表绘上经络线一样。

2 实验和分析

实验由两个部分组成:①采用纯电阻对多通道经络

检测仪进行实验和调整。②进行人体实验。纯电阻实验用于对多通道经络检测仪中分压网络上的电位器进行精确调整,接着就可以利用多通道经络检测仪进行人体实验。

2.1 纯电阻实验 为了统一16个通道各分压网络的系统参数,利用电位器精确调整分压网络中各电阻的阻值,如图4所示。首先,对16个通道中各通道上的电极,使用参考电阻 R 作为检测对象接入,进行电阻测量实验,然后分别调整每个分压网络上相应的电位器,使各通道计算所获得的电阻值尽可能接近参考电阻 R ,这样就可以认为所有16个通道具有基本相同的系统参数。

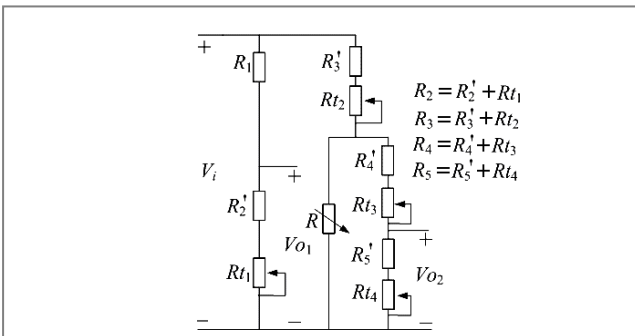


Figure 4 The model of the single-channel potential-divider network
图4 单通道分压网络模型

经推导,单通道分压网络模型中人体皮肤电阻 R 可以由公式(7)计算:

$$R = \frac{V_{O2} R_2 R_3 (R_4 + R_5)}{V_{O1} R_5 (R_1 + R_2) - V_{O2} R_2 (R_3 + R_4 + R_5)} \quad (7)$$

在图4中,调整电位器 $Rt1$, $Rt2$, $Rt3$ 和 $Rt4$ 的值分别可以改变电阻 $R2$, $R3$, $R4$ 和 $R5$ 的大小,因此在实验中可以通过调整这些电位器,使计算结果接近于参考电阻 R ,实验中设定脉冲的幅值为28 V,脉冲宽度为400 μs 。由于人体经络皮肤阻抗一般在20~100 k Ω ,使用20.16 k Ω 和99.7 k Ω 两个电阻作为参考电阻进行实验和校正。然后,通过反复调整的4个电位器,确保各通道阻抗计算值的最大检测误差小于0.1%,最后,利用50.4 k Ω 电阻对16个通道进行测试,实验结果,见表1。

根据实验结果可知,所测量的计算电阻值都非常接近于参考电阻 R 。当被测电阻为50.4 k Ω 时,系统的最大测量误差是0.198%,这对于仅利用阻抗相对值进行的定位检测来说,几乎可以忽略不计,因此可以确认这16个通道具有基本相同的系统参数。

2.2 人体实验 摄像机经标定处理后,使用从多通道经络检测仪在人体手厥阴心包经上做实验,获得的多通道采样数据,按公式(6)计算获得经络线图,并将其与人体体表图像匹配和融合,显示于计算机屏幕上。

表1 纯电阻实验结果:(脉冲幅度 28 V, 脉冲宽度 400 μs)
Table 1 The results of the resistance experiments (Pulse amplitude 28 V, pulse width 400 μs)

Channel	Resistance values (k Ω)		
	20.16	99.7	50.4
	Measurement result	Measurement result	Measurement result
1	20.162	99.72	50.32
2	20.168	99.68	50.42
3	20.170	99.73	50.43
4	20.162	99.71	50.38
5	20.163	99.65	50.39
6	20.171	99.72	50.38
7	20.168	99.77	50.46
8	20.158	99.79	50.50
9	20.168	99.72	50.43
10	20.178	99.68	50.37
11	20.163	99.71	50.46
12	20.163	99.72	50.41
13	20.173	99.62	50.48
14	20.155	99.80	50.34
15	20.172	99.62	50.37
16	20.178	99.72	50.39

经络线图像:对于图5中出现的多个候选通道,利用前面描述的代价函数选择准确的经络通道与位置。在每个时间间隔中观测候选的通道可知,除15, 16, 17和18的时间点,其电阻值都接近于最低值,但每个所选通道与最低阻抗通道之间的阻抗偏差在4个时间单位间隔内都小于5 k Ω 。这样,在代价函数中,连续帧之间三维空间距离的重要性将超过经络阻抗的重要性,这就可以避免单一阻抗约束条件所造成的测量误差。实验结果验证了代价函数的有效性。

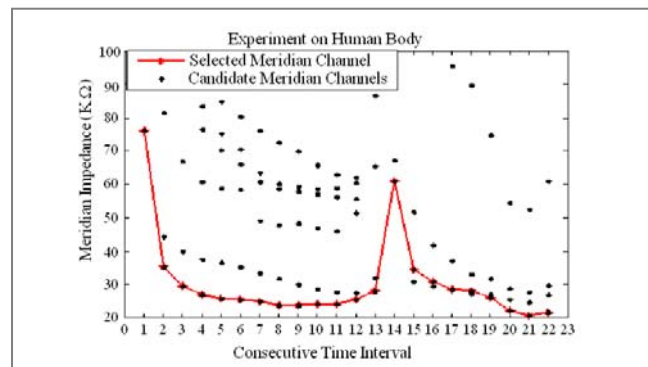
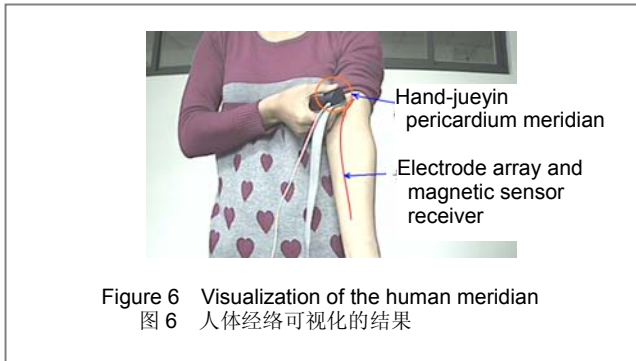


Figure 5 Channel selection with the cost function
图5 代价函数选择通道的结果

人体经络的显示:在人体手厥阴心包经上进一步实验:首先,采用公式(5)在世界坐标系下采集第2接收传感器的定位数据并获取摄像机的外部参数。然后将附有第1接收传感器的电极阵列探头放在人体手臂手厥阴心包经可能的位置上,慢慢地沿着手臂滑动,可获得经络线的三维图像。当场景摄像机采集人体手臂图像时,同时用公式(6)将经络线的三维位置信息投影到二维坐标系上,经配准和融合处理,在人体手臂的场景图像上画出一条经络线,见图6。



3 讨论

根据经络的低阻抗特性并使用磁跟踪器和多通道经络阻抗检测仪来检测和定位经络线,实现经络的可视化。实验结果表明,各检测通道电阻测量的最大误差为0.198%。在经络线可视化部分,结合“张正友”法与图形映射变换的改进方法,获取世界坐标系和摄像机坐标系之间的关系,即获得场景摄像机的投影矩阵 H ,将经络的三维信息投影到二维坐标系,在摄像机拍摄的人体体表图像上绘制一条2D的经络线。实验结果显示,它能高效地在实际人体体表图像上准确地显示人体经络,并为临床针灸治疗提供工具。

致谢: 感谢福建省中医药研究院及项目组同仁对课题研究的支持与付出,感谢所有参加课题的研究生们的辛勤努力。

4 参考文献

- [1] Dong BQ, Li XM, Dong G. Zhonghua Zhongyi Yao Zazhi. 2008; 23(2):94-97.
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(2):94-97.
- [2] Tsuei, Julia J. A Modern Interpretation of Acupuncture and the Meridian System. Proceedings of the 2nd International Conference on Bioelectromagnetism. Melbourne, Australia. 1998;(2):177-182.

- [3] Chen L, Jin L, Chen HQ. Shengwu Yixue Gongchengxue Zazhi. 2008;25(6):1470-1478.
陈麓,金蕾,陈槐卿.经络研究的进展与动向[J].生物医学工程学杂志,2008,25(6):1470-1478.
- [4] Liu F, Huang GY. Zhenci Yanjiu. 2007;32(4):281-284.
刘芳,黄光英.经络的生物物理学、化学特性的研究进展[J].针刺研究,2007,32(4):281-284.
- [5] Deng XH, Zhang SK. Zhongguo Zhenjiu. 2009;29(8):633-636.
邓晓辉,张守康.经络腧穴电磁特性研究概况[J].中国针灸,2009,29(8):633-636.
- [6] Zhang BX, Chen X. Jisuanji Jishu yu Fazhan. 2011;21(5):198-201.
张碧仙,陈新.经络可视化研究中多通道经络检测系统的设计[J].计算机技术与发展,2011,21(5):198-201.
- [7] Tsai, Roger Y. A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3-D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses. IEEE Trans. Robot. Autom. 1987; RA-3(4): 323-344.
- [8] Zhang Z. A flexible new technique for camera calibration. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2000;22(11): 1330-1334.

来自本文课题的更多信息--

基金声明: 卫生部科学研究基金资助项目(WKJ 2005-2-004);福建省自然科学基金资助项目(2009J01287),项目名称:中医经络与穴位的三维定位检测与显示新技术研究。

作者贡献: 作者对研究方法和系统进行规划、设计和研制,完成方法评估与论文撰写;在福建省中医药研究院的协助下进行必要的人体实验;部分研究生协助系统电路的初期研制。

利益冲突: 课题未涉及任何厂家及相关雇主或其他经济组织直接或间接的经济或利益的赞助。

伦理要求: 没有与相关伦理道德冲突的内容。

本文创新性: 本文首次提出一种直观的人体经络检测和显示方法,实时地在人体体表上直接测量和绘出经络的准确位置。可以为中医教学或诊断治疗提供一种很好的实验方法和验证工具。根据万方、维普、CNKI、EI及PubMed等数据库的检索(检索词:经络、可视化等),未见如此直观和准确的经络可视化方法。由于方法中采用磁场定位,因此对环境要求较高,今后将以光学定位为基础,降低对环境的要求并进一步提高准确性。