



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105030331 A

(43) 申请公布日 2015. 11. 11

(21) 申请号 201510199087. 4

(22) 申请日 2015. 04. 24

(71) 申请人 长春理工大学

地址 130022 吉林省长春市卫星路 7186 号
科技大厦 B 座 1603 室

(72) 发明人 师为礼 何巍 苗语 蒋振刚
李岩芳 何飞 闫飞 杨华民

(74) 专利代理机构 吉林长春新纪元专利代理有
限责任公司 22100

代理人 王薇

(51) Int. Cl.

A61B 19/00(2006. 01)

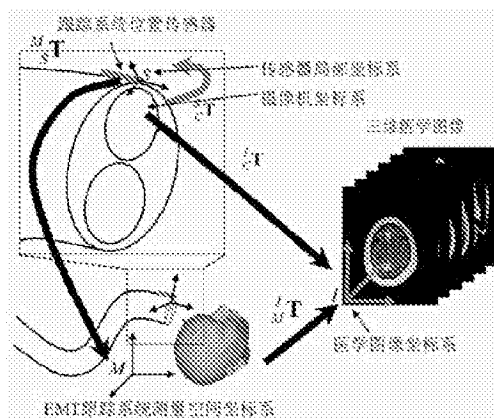
权利要求书1页 说明书6页 附图7页

(54) 发明名称

位置传感器与三维腹腔镜摄像机标定装置及
方法

(57) 摘要

本发明涉及一种位置传感器与三维腹腔镜摄像机标定装置及方法,首先利用高精度光学定位系统补偿电磁位置传感器输出误差,然后利用标定参考立方体计算三维腹腔镜摄像机位置和姿态,最后使用对偶四元数分析电磁位置传感器与三维腹腔镜摄像机的坐标关系;其克服了现有电磁位置传感器由于磁场形变产生的输出偏差缺陷,标定精确、实时性高;本发明操作简便,仅利用内窥镜摄像机前端固定的电磁位置传感器和标定网格,即可推定电磁位置传感器和内窥镜摄像机的位置关系。



1. 位置传感器与三维腹腔镜摄像机标定装置及方法, 首先利用高精度光学定位系统补偿电磁位置传感器输出误差, 然后利用标定参考立方体计算三维腹腔镜摄像机位置和姿态, 最后使用对偶四元数分析电磁位置传感器与三维腹腔镜摄像机的坐标关系; 其特征在于具体步骤如下:

1) 电磁位置传感器误差补偿

(1) 建立光学位置跟踪系统坐标系 O 、光学位置传感器坐标系 S_s 、电磁位置跟踪系统坐标系 M 、电磁位置传感器坐标系 S_m ;

(2) 计算电磁位置传感器在 M 中的位置和姿态矩阵, 记为: T ;

(3) 根据从 S_m 到 S_s 、 S_s 到 O 、 O 到 M 的位置关系转换, 将电磁传感器的位置和姿态在光学位置跟踪系统坐标系中的坐标转换到电磁位置跟踪系统坐标系下, 其位置和姿态矩阵记为: $\hat{T}$;

(4) 比较 T 和 $\hat{T}$ 获得电磁位置传感器输出误差, 建立误差补偿模型;

2) 摄像机位置和姿态计算

(1) 制作标定参考立方体

(2) 获取欧氏坐标系下的坐标 X

(3) 获取图像坐标系下坐标 m

(4) 建立 X 、 m 之间坐标的对应关系 ${}^X_m T$

(5) 根据 ${}^X_m T$ 建立摄像机矩阵约束方程组

(6) 求解 (5) 中约束方程组最小二乘解得摄像机矩阵 P

3) 位置传感器与内窥镜坐标关系分析

(1) 对 N 个空间中的位置取电磁位置传感器和摄像机的位置和姿态

(2) 计算表达传感器与摄像机之间变换关系的对偶四元数

(3) 利用由奇异值分解 (SVD) 法求的对偶四元数所包含的变换, 即位置传感器与内窥镜摄像机位置转换矩阵;

在三维腹腔镜导航系统中, 将内窥镜摄像机、EMT 传感器、磁场发生器以及 MR 图像的坐标系分别定义为 C 、 S 、 M 和 I ;

摄像机坐标系 C 下点 P_C 和图像上点 P_I 的对应关系可以表示为:

$$P_I = {}^I_C T P_C = {}^I_M T {}^M_S T {}^S_C T P_C \quad (1)$$

其中, ${}^I_S T$ 、 ${}^M_S T$ 、 ${}^I_M T$ 和 ${}^I_C T$, 分别表示从 C 到 S 、 S 到 M 、 M 到 I 、 C 到 I 的转换矩阵, ${}^M_S T$ 表示电磁位置传感器的输出; 旨在标定电磁位置传感器和内窥镜摄像机的位置关系, 即 C 到 S 的转换矩阵 ${}^S_C T$ 。

位置传感器与三维腹腔镜摄像机标定装置及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种位置传感器与三维腹腔镜摄像机标定装置及方法,特别是用于手术导航的位置传感器与内窥镜摄像机标定的装置与方法,属于计算机手术导航技术领域。

背景技术

[0002] 位置传感器与三维腹腔镜摄像机的标定是三维腹腔镜手术导航的首要问题,标定的精度是影响导航系统精度的关键因素。

[0003] 光学传感器的跟踪精度非常高,但由于存在光学标记遮挡的问题,不能保证跟踪定位的连续性;另外,由于用来计算跟踪物体位置和姿态的光学标记必须和跟踪物体刚性接触,所以使光学跟踪系统的应用范围受到了一定的限制。

[0004] 电磁位置传感器利用电磁波的穿透性,可以深入人体内,不用考虑标记遮挡的问题。但对于电磁位置传感器来说,同样存在一个自身无法克服的问题,就是磁场的形变问题。众所周知,如果在磁场周围存在铁磁物体或电磁物体,磁场就极易受到干扰而产生形变。这对于依靠磁场感应来获得位置信息的电磁位置传感器来说,直接导致的后果就是输出精度产生偏差。

[0005] 文献“Nakada K, Nakamoto M, Sato Y, et al. A Rapid Method for Magnetic Tracker Calibration Using a Magneto-optic Hybrid Trackers [C]. New York: Springer (MICCAI 2003), 2003: 285-293.”采用一个光学位置跟踪系统(OT: Optical tracking system)作为参照标准,并借助一个固定了电磁位置传感器和光学位置跟踪系统的磁-光数据采集工具。操作者在测量空间中移动这个数据采集工具并同时记录两种跟踪系统的输出,然后通过比较这两种输出的误差来构建一个电磁位置跟踪系统输出误差的多项式模型,从而推测出电磁位置跟踪系统的输出误差。但是,由于电磁位置跟踪系统和光学位置跟踪系统有着各自的测量频率和系统时钟,所以如何获得与电磁位置跟踪系统输出准确对应的光学位置跟踪系统输出是一个难题。文献“Gregory S Fischer and Russell H Taylor. Electromagnetic Tracker Measurement Error Simulation and Tool Design [C]. New York: Springer (MICCAI 2005), 2005: 73-80.”通过利用采集数据时固定采集工具的方法来获得准确的电磁位置跟踪系统和光学位置跟踪系统的对应输出,但是由于需要大量的时间来采集补偿模型所需要的样本数据,使之很难应用于实践。

发明内容

[0006] 本发明的目的在于提供一种位置传感器与三维腹腔镜摄像机标定装置及方法,其克服了现有电磁位置传感器由于磁场形变产生的输出偏差缺陷,标定精确、实时性高;本发明操作简便,仅利用内窥镜摄像机前端固定的电磁位置传感器和标定网格,即可推定电磁位置传感器和内窥镜摄像机的位置关系。

[0007] 本发明技术方案是这样实现的:位置传感器与三维腹腔镜摄像机标定装置及方法,首先利用高精度光学定位系统补偿电磁位置传感器输出误差,然后利用标定参考立方

体计算三维腹腔镜摄像机位置和姿态,最后使用对偶四元数分析电磁位置传感器与三维腹腔镜摄像机的坐标关系;其特征具体步骤如下:

1. 电磁位置传感器误差补偿

(1) 建立光学位置跟踪系统坐标系 O 、光学位置传感器坐标系 S_o 、电磁位置跟踪系统坐标系 M 、电磁位置传感器坐标系 S_m ;

(2) 计算电磁位置传感器在 M 中的位置和姿态矩阵,记为: T ;

(3) 根据从 S_m 到 S_o 、 S_o 到 O 、 O 到 M 的位置关系转换,将电磁传感器的位置和姿态在光学位置跟踪系统坐标系中的坐标转换到电磁位置跟踪系统坐标系下,其位置和姿态矩阵记为: $\hat{T}$;

(4) 比较 T 和 $\hat{T}$ 获得电磁位置传感器输出误差,建立误差补偿模型;

2. 摄像机位置和姿态计算

(1) 制作标定参考立方体

(2) 获取欧氏坐标系下的坐标 X

(3) 获取图像坐标系下坐标 m

(4) 建立 X 、 m 之间坐标的对应关系 X_T

(5) 根据 X_T 建立摄像机矩阵约束方程组

(6) 求解 (5) 中约束方程组最小二乘解得摄像机矩阵 P

3. 位置传感器与内窥镜坐标关系分析

(1) 对 N 个空间中的位置取电磁位置传感器和摄像机的位置和姿态

(2) 计算表达传感器与摄像机之间变换关系的对偶四元数

(3) 利用由奇异值分解 (SVD) 法求的对偶四元数所包含的变换,即位置传感器与内窥镜摄像机位置转换矩阵;

在三维腹腔镜导航系统中,将内窥镜摄像机、EMT 传感器、磁场发生器以及 MR 图像的坐标系分别定义为 C 、 S 、 M 和 I 。摄像机坐标系 C 下点 P_c 和图像上点 P_i 的对应关系可以表示为:

$$P_i = {}^I_C T P_c = {}^I_M T {}^M_S T {}^S_C T P_c \quad (1)$$

其中, ${}^S_C T$ 、 ${}^M_S T$ 、 ${}^I_M T$ 和 ${}^I_C T$, 分别表示从 C 到 S 、 S 到 M 、 M 到 I 、 C 到 I 的转换矩阵, ${}^M_S T$ 表示电磁位置传感器的输出;

本发明旨在标定电磁位置传感器和内窥镜摄像机的位置关系,即 C 到 S 的转换矩阵 ${}^S_C T$ 。

[0008] 本发明的积极效果是针对电磁位置传感器受环境干扰产生磁场形变而引起的输出偏差缺陷,提出一种固定有光学位置传感器和电磁位置传感器的磁-光数据采集装置,通过建立电磁位置传感器输出误差的补偿模型,利用光学传感器高精度特性,补偿电磁传感器输出误差,提高了电磁定位精度;利用标定立方体计算摄像机的位置和姿态,并用最小

二乘解作为最终计算结果 ;用对偶四元数计算传感器和摄像机的位置和姿态矩阵,节省了计算时间。

附图说明

- [0009] 图 1 三维腹腔镜导航系统中各个坐标空间的对应关系。
- [0010] 图 2 磁 - 光数据采集工具。
- [0011] 图 3 光学位置传感器和电磁位置传感器的位置关系。
- [0012] 图 4 用于求解摄像机矩阵的立方体。
- [0013] 图 5 传感器和摄像机的坐标关系。
- [0014] 图 6 棋盘格标定模型。
- [0015] 图 7 获取不同姿态下标定模型的图像,并抽取特征点。
- [0016] 图 8 通过标定模型的图像来估计摄像机的位置和姿态。
- [0017] 图 9 传感器对于摄像机坐标系的位移及旋转角的计算结果 1。
- [0018] 图 10 传感器对于摄像机坐标系的位移及旋转角的计算结果 2。

具体实施方式

[0019] 下面结合附图和实施例对本发明做进一步的描述 :如图 1 所示,位置传感器与三维腹腔镜摄像机标定装置,其特征在于 :在三维腹腔镜导航系统中,将内窥镜摄像机、EMT 传感器、磁场发生器以及 MR 图像的坐标系分别定义为 C, S, M 和 I。摄像机坐标系 C 下点 $\mathbf{P}_C$ 和图像上点 $\mathbf{p}_I$ 的对应关系可以表示为 :

$$\mathbf{p}_I = {}^I_C \mathbf{T} \mathbf{P}_C = {}^I_M \mathbf{T} {}^M_S \mathbf{T} {}^S_C \mathbf{T} \mathbf{P}_C \quad (1)$$

其中, ${}^S_C \mathbf{T}$ 、 ${}^M_S \mathbf{T}$ 、 ${}^I_M \mathbf{T}$ 和 ${}^I_C \mathbf{T}$, 分别表示从 C 到 S、S 到 M、M 到 I、C 到 I 的转换矩阵。 ${}^N_S \mathbf{T}$ 表示电磁位置传感器的输出。

[0020] 本发明旨在标定电磁位置传感器和内窥镜摄像机的位置关系,即 C 到 S 的转换矩阵 ${}^S_C \mathbf{T}$ 。

[0021] 位置传感器与三维腹腔镜摄像机标定方法,首先利用高精度光学定位系统补偿电磁位置传感器输出误差,然后利用标定参考立方体计算三维腹腔镜摄像机位置和姿态,最后使用对偶四元数分析电磁位置传感器与三维腹腔镜摄像机的坐标关系 ;其特征在于具体步骤如下 :

1. 电磁位置传感器误差补偿

如图 2 所示,本发明设计一个固定有光学位置传感器和电磁位置传感器的磁 - 光数据采集装置来采集两种传感器的输出。目标是通过光学位置传感器的输出来校正电磁位置传感器的输出误差。因此首先需要保证两个传感器的测量点以及测量空间的坐标是一致的。从图 1 中给定的测量工具和图 2 所描述的坐标关系来看,光学位置传感器和电磁位置传感器有着各自不同的测量点和坐标系。所以在考察电磁位置传感器的误差之前,首先需要去统一这两个位置传感器的测量点和坐标系。

[0022] 在图 3 中, S_m 为电磁位置传感器的坐标系, ${}^M_M \mathbf{T}$ 为磁场发生器坐标系 M 下电磁位置

传感器的位置和姿态, ${}^S_0\mathbf{T}$ 为光学位置传感器坐标系 0 下光学标记的位置和姿态。令 ${}^S_{So}\mathbf{T}$ 为光学位置传感器坐标系 So 下电磁位置传感器的位置和姿态, 则有:

$${}^S_{So}\mathbf{T} = {}^S_0\mathbf{T} {}^0_{So}\mathbf{T} \quad (2)$$

也就是说, 如果 ${}^S_{So}\mathbf{T}$ 是已知的, 就可以获得了电磁传感器位置在光学位置跟踪系统坐标系中的坐标。这样就可以统一两个传感器的测量点。光学位置传感器坐标系 So 下电磁位置传感器的位置和姿态 ${}^S_{So}\mathbf{T}$ 采用的是 Hand-Eye 标定方法获得。

[0023] 如图 2 所示, 如果得出光学位置跟踪系统坐标在电磁位置跟踪系统坐标系中的位置和姿态信息 ${}^M_0\mathbf{T}$, 就可以将电磁传感器位置在光学位置跟踪系统坐标系中的坐标进一步转换到电磁位置跟踪系统坐标系下:

$${}^M_{So}\mathbf{T} = {}^M_0\mathbf{T} {}^0_{So}\mathbf{T} {}^S_{So}\mathbf{T} \quad (3)$$

这样, 就可以通过比较 ${}^M_{So}\mathbf{T}$ 和 ${}^M_0\mathbf{T}$ 来获得电磁位置传感器输出误差, 建立电磁位置传感器输出误差的补偿模型, 补偿电磁位置传感器输出误差。

[0024] 2. 摄像机位置和姿态估计

为了得到一些空间点的欧氏坐标, 本发明制作一个标定参考物, 在标定参考物上经过精确测定的特征点作为估计摄像机矩阵时所需要的空间点, 如图 4 所示。

[0025] 记摄像机矩阵为 $P = \begin{pmatrix} \mathbf{p}^{1r} \\ \mathbf{p}^{2r} \\ \mathbf{p}^{3r} \end{pmatrix}$, 其中 $\mathbf{p}^{jr}$ 为矩阵 P 的第 j 行向量。令

$\mathbf{X}_j = (x_j, y_j, z_j, 1)^T$ 是特征点在世界坐标系下的坐标, 对应的图像点坐标为 $\mathbf{m}_j = (u_j, v_j, 1)^T$, 于是根据摄像机的投影关系, 得到

$$s_j \mathbf{m}_j = P \mathbf{X}_j = \begin{pmatrix} \mathbf{p}^{1r} \mathbf{X}_j \\ \mathbf{p}^{2r} \mathbf{X}_j \\ \mathbf{p}^{3r} \mathbf{X}_j \end{pmatrix} \quad (4)$$

因此, 消去上式中的常数因子后, 可得到下述方程:

$$\begin{cases} \mathbf{p}^{2r} \mathbf{X}_j - v_j \mathbf{p}^{3r} \mathbf{X}_j = 0 \\ \mathbf{p}^{1r} \mathbf{X}_j - u_j \mathbf{p}^{3r} \mathbf{X}_j = 0 \\ v_j \mathbf{p}^{1r} \mathbf{X}_j - u_j \mathbf{p}^{2r} \mathbf{X}_j = 0 \end{cases} \quad (5)$$

在这个方程组中, 第三个方程可由前两个方程线性表示, 因此给定 $N \geq 6$ 个以上的特征点与其图像点的对应, 就可以线性求解摄像机矩阵 P 。

[0026] 当图像数据存在测量误差时, 方程组 (5) 一般不存在非零解。此时, 通常以它的最小二乘解作为摄像机矩阵的估计。对每一个点对应, 记作

$$A_j = \begin{pmatrix} 0 & X_j^T & -v_j X_j^T \\ X_j^T & 0 & -u_j X_j^T \\ v_j X_j^T & -u_j X_j^T & 0 \end{pmatrix} \quad (6)$$

它是一个 3×12 的矩阵 A_j 。给定 n 个点, 得到 n 个形如这样的矩阵, 再将这 n 个矩阵组合起来得到一个 $3n \times 12$ 的矩阵 $A = (A_1^T, \dots, A_n^T)^T$, 对 A 作奇异值分解 (SVD), $A = UDV^T$, 则 V 的最后一个列向量 $p = v_{12}$ 是方程 $Ap = 0$ 的最小二乘解, 再将 p 写成矩阵的形式就得到摄像机矩阵 P 。

[0027] 由于摄像机矩阵是齐次的, 所以只能在相差一个非零常数因子的意义下求解, 即所得到的摄像机矩阵 P 与它的标准形式 $K(R, t)$ 相差一个非零常数因子。

[0028] 2. 位置传感器与内窥镜坐标关系分析

如图 5 所示, 利用空间中两个位置 i 和 j 来讨论电磁位置传感器和摄像机坐标系之间的关系。位置 i 和 j 在 M 坐标系下的电磁位置传感器输出分别记为 ${}^M_s T^i$ 和 ${}^M_s T^j$, 标记网格坐标系 w 下摄像机的位置和姿态分别记为 ${}^w_c T^i$ 和 ${}^w_c T^j$ 。因此就可以得到式 (7) 和式 (8):

$${}^i_j A = ({}^M_s T^i)^{-1} {}^M_s T^j \quad (7)$$

$${}^i_j B = ({}^w_c T^i)^{-1} {}^w_c T^j \quad (8)$$

这里, ${}^i_j A$ 表示位置 j 的位置传感器在位置 i 的位置传感器坐标系下的的位置和姿态; ${}^i_j B$ 表示位置 j 的摄像机在位置 i 的摄像机坐标下的位置和姿态。在这四个坐标系下, 很容易看出:

$${}^i_j A {}^j_c T = {}^i_c T {}^i_j B \quad (9)$$

对 N 个空间中的位置取电磁位置传感器和摄像机的位置和姿态, 将得到 $N(N-1)/2$ 个 (A, B) 对。

[0029] $A^k {}^s_c T = {}^s_c T B^k, \quad 1 \leq k \leq N(N-1)/2 \quad (10)$

用对偶四元数 $\tilde{a}$ 来表示位置传感器的螺旋推进, $\tilde{b}$ 来表示摄像机的螺旋推进。用 $\tilde{q}$ 来表示位置传感器和摄像机之间的坐标变换。根据对偶四元数表达旋进运动公式可得:

$$\tilde{a} = \tilde{q} \tilde{b} \tilde{q}^{-1} \quad (11)$$

用 $Sc(\tilde{a})$ 表示对偶四元数的标量部分, 则有

$$\begin{aligned} Sc(\tilde{a}) &= \frac{1}{2}(\tilde{a} + \tilde{a}) = \frac{1}{2}(\tilde{q} \tilde{b} \tilde{q}^{-1} + \tilde{q} \tilde{b} \tilde{q}^{-1}) = \frac{1}{2} \tilde{q} (\tilde{b} + \tilde{b}) \tilde{q}^{-1} \\ &= \tilde{q} Sc(\tilde{b}) \tilde{q}^{-1} = Sc(\tilde{b}) \tilde{q} \tilde{q}^{-1} = Sc(\tilde{b}) \end{aligned} \quad (12)$$

因为传感器和摄像机在移动过程中的螺旋角以及推进距离是相同的, 对于式 (11) 来说, 其标量部分是相同的, 所以对于 $\tilde{q}$ 的计算可以化简到用向量的部分来计算:

$$\sin \frac{\tilde{\theta}_s}{2} (0, \tilde{\mathbf{a}}) = \tilde{\mathbf{q}} (0, \sin \frac{\tilde{\theta}_s}{2} \tilde{\mathbf{b}}) \tilde{\mathbf{q}} = \sin \frac{\tilde{\theta}_s}{2} \tilde{\mathbf{q}} (0, \tilde{\mathbf{b}}) \tilde{\mathbf{q}} \quad (13)$$

如果 θ_s, θ_b 不为 0 度或 360 度, 即传感器和摄像机的移动不仅仅是平移, 其中包含有旋转, 则上式即可被写为:

$$(0, \tilde{\mathbf{a}}) = \tilde{\mathbf{q}} (0, \tilde{\mathbf{b}}) \tilde{\mathbf{q}} \quad (14)$$

令 $\tilde{\mathbf{a}} = \mathbf{a} + \mathbf{a}'\mathbf{e} = (0, \tilde{\mathbf{a}})$, $\tilde{\mathbf{b}} = \mathbf{b} + \mathbf{b}'\mathbf{e} = (0, \tilde{\mathbf{b}})$, 并应用单位对偶四元数 $\tilde{\mathbf{q}} = \mathbf{q} + \mathbf{q}'\mathbf{e}$ 的性质 $\tilde{\mathbf{q}}\mathbf{q}' + \mathbf{q}\tilde{\mathbf{q}} = 0$, 式 (14) 可得:

$$\begin{aligned} \mathbf{a}\mathbf{q} - \mathbf{q}\mathbf{b} &= 0, \\ (\mathbf{a}'\mathbf{q} - \mathbf{q}\mathbf{b}') + (\mathbf{a}\mathbf{q}' - \mathbf{q}'\mathbf{b}) &= 0. \end{aligned} \quad (15)$$

同时, 可以用矩阵形式表达为:

$$\begin{pmatrix} \tilde{\mathbf{a}} - \tilde{\mathbf{b}} & [\tilde{\mathbf{a}} + \tilde{\mathbf{b}}] & \mathbf{0}_{2 \times 1} & \mathbf{0}_{2 \times 3} \\ \tilde{\mathbf{a}}' - \tilde{\mathbf{b}}' & [\tilde{\mathbf{a}}' + \tilde{\mathbf{b}}'] & \tilde{\mathbf{a}} - \tilde{\mathbf{b}} & [\tilde{\mathbf{a}} + \tilde{\mathbf{b}}] \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{q} \\ \mathbf{q}' \end{pmatrix} = 0 \quad (16)$$

将式 (9) 中的传感器和摄像机的姿态矩阵 A, B 分别转换成对偶四元数后代入式 (16) 中, 即可获得关于 $\tilde{\mathbf{q}} = \mathbf{q} + \mathbf{q}'\mathbf{e}$ 的连立方程组。这样, 表达传感器与摄像机之间变换关系的对偶四元数 $\tilde{\mathbf{q}}$ 即可被求解。利用由奇异值分解 (SVD) 求解这个方程组的方法, 求解得到的 $\tilde{\mathbf{q}}$ 所包含的变换, 即为所需要的变换矩阵 ${}^s_c\mathbf{T}$ 。

[0030] 在标定实践中, 为了估算从摄像机坐标系到电磁位置传感器坐标系的变换矩阵 ${}^s_c\mathbf{T}$, 本发明采用了一个预先设计制作好的棋盘格标定模型 (如图 6 所示)。首先, 在空间中以多种位置和姿态测量 N 个电磁位置传感器和摄像机的位置和姿态 ${}^s_s\mathbf{T}^i$ 和 ${}^c_c\mathbf{T}^i$ (图 7)。使用空间中的两点, 利用式 (7) 和式 (8) 来计算 $(\mathbf{A}^i, \mathbf{B}^i)$ 。N 个点中任意两点组成一个 (A, B) 对, 这样可以得到 $(N(N-1)/2)$ 个 (A, B) 对。使用摄像机位置姿态获取方法计算 ${}^s_c\mathbf{T}$ (图 8)。

[0031] 为验证 ${}^s_c\mathbf{T}$ 的稳定性, 使用了 3 到 39 个测量点 ($N=3, 4, \dots, 39$)。对每个 N, 进行了 10 次验证 (结果如图 9-10 所示)。图中的竖线表示 10 次实验的最小、平均和最大值。根据结果, 当测量点数超过 20 时趋于稳定, 使用 27 个测量点时平均误差最小。

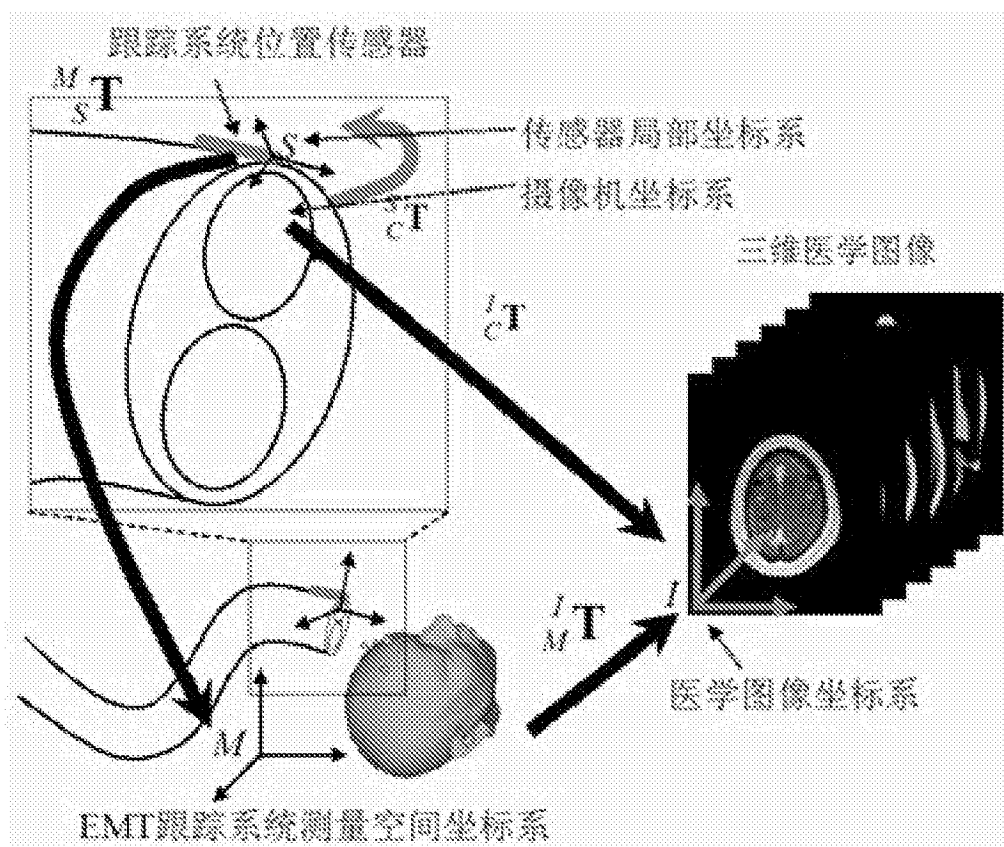


图 1

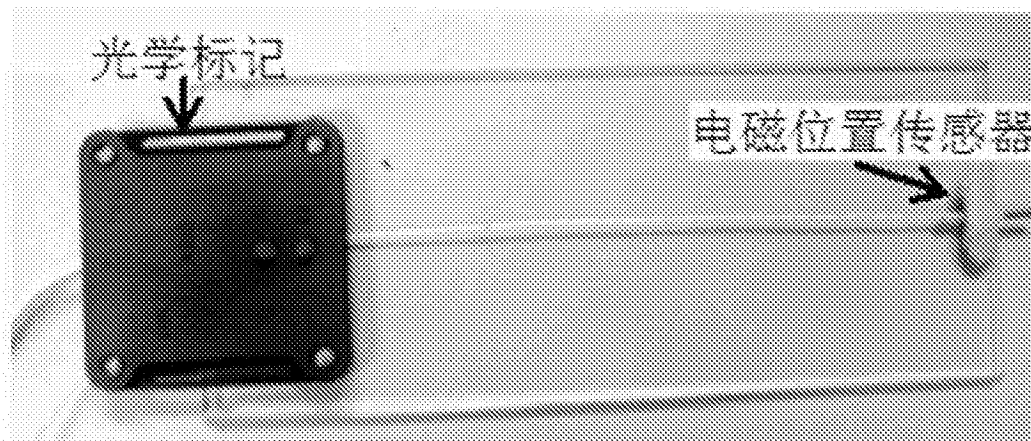


图 2

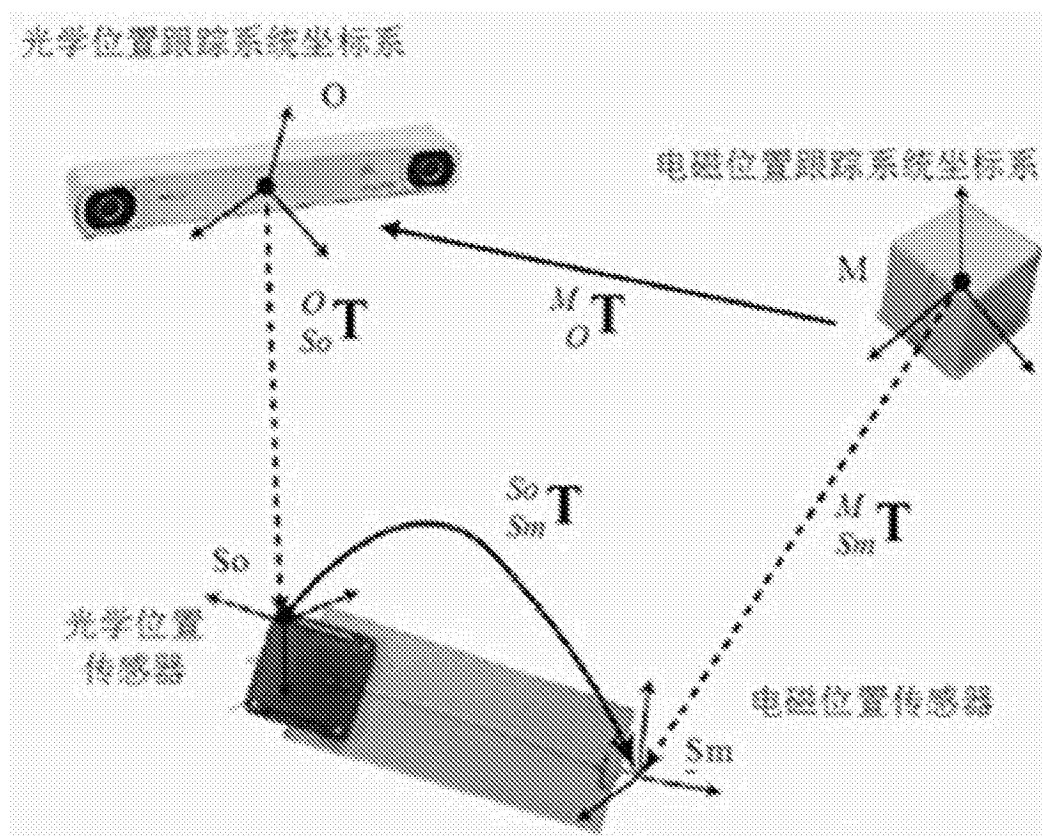


图 3

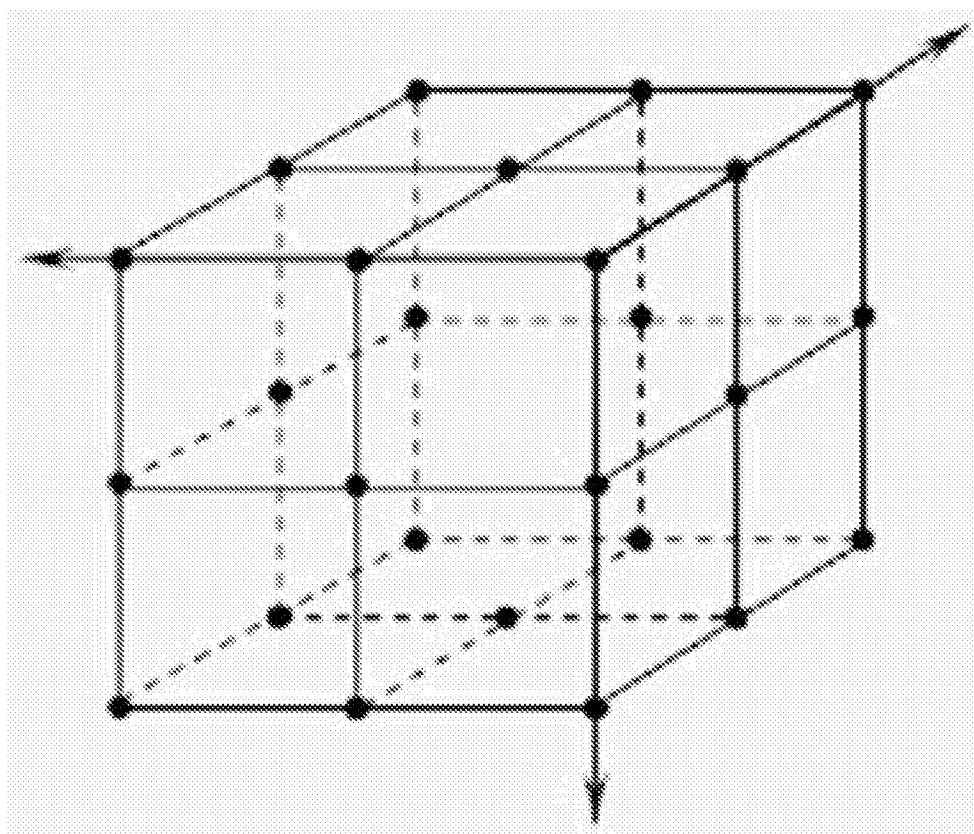


图 4

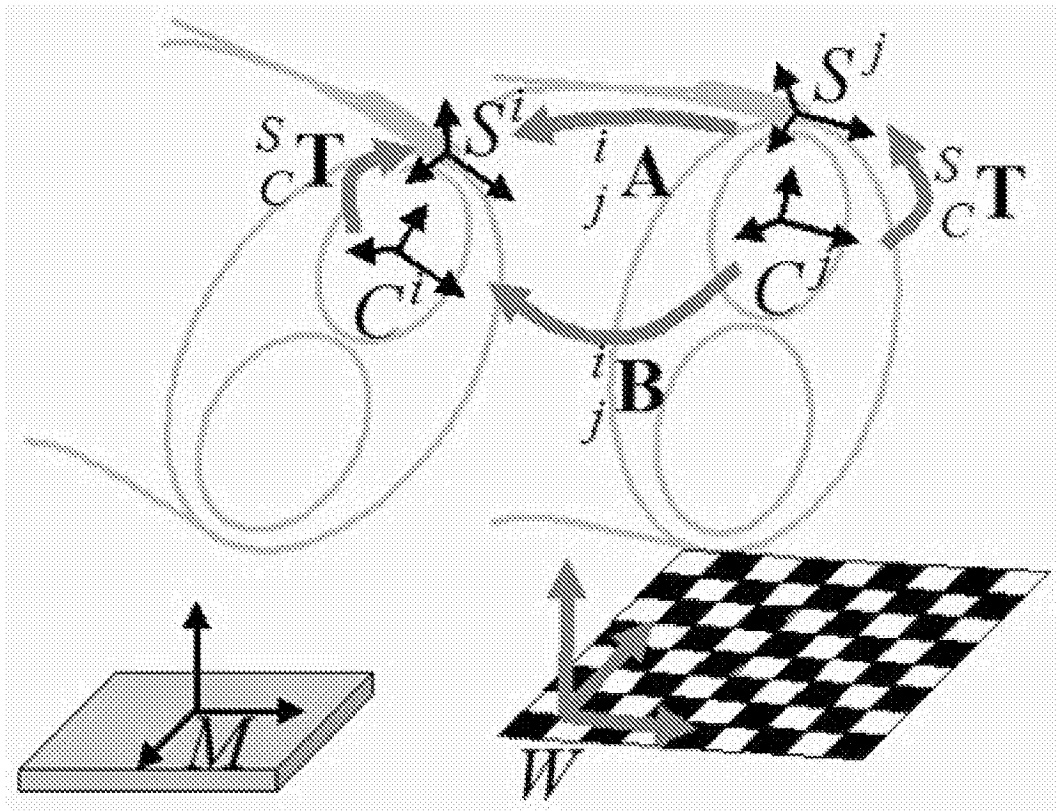


图 5

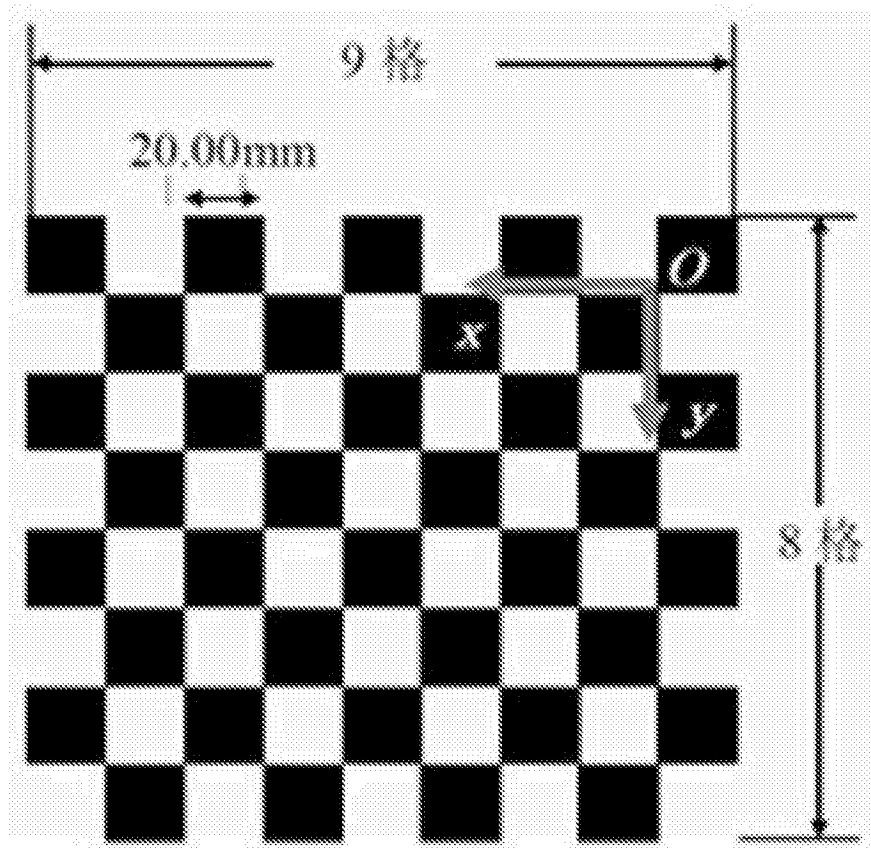


图 6

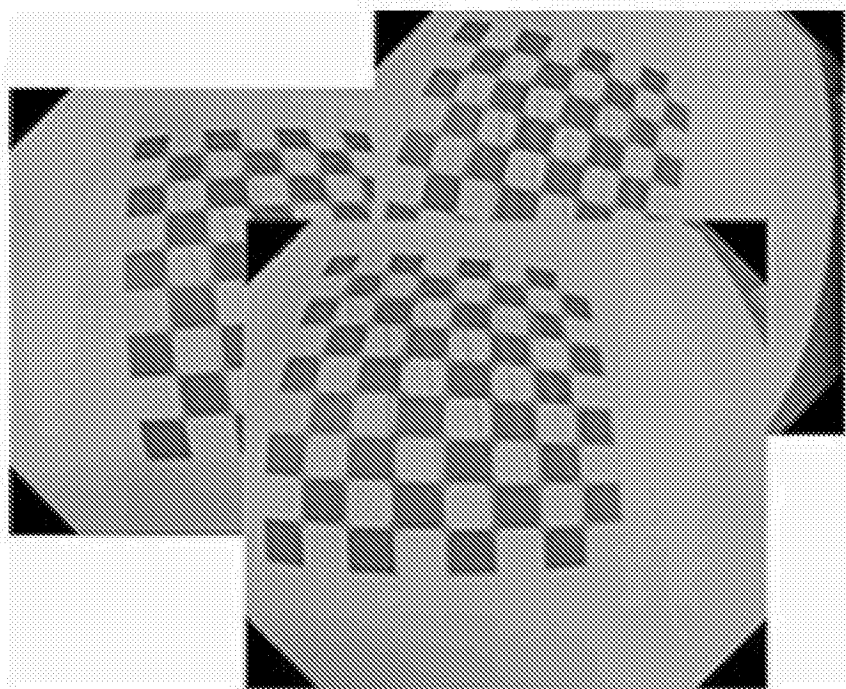


图 7

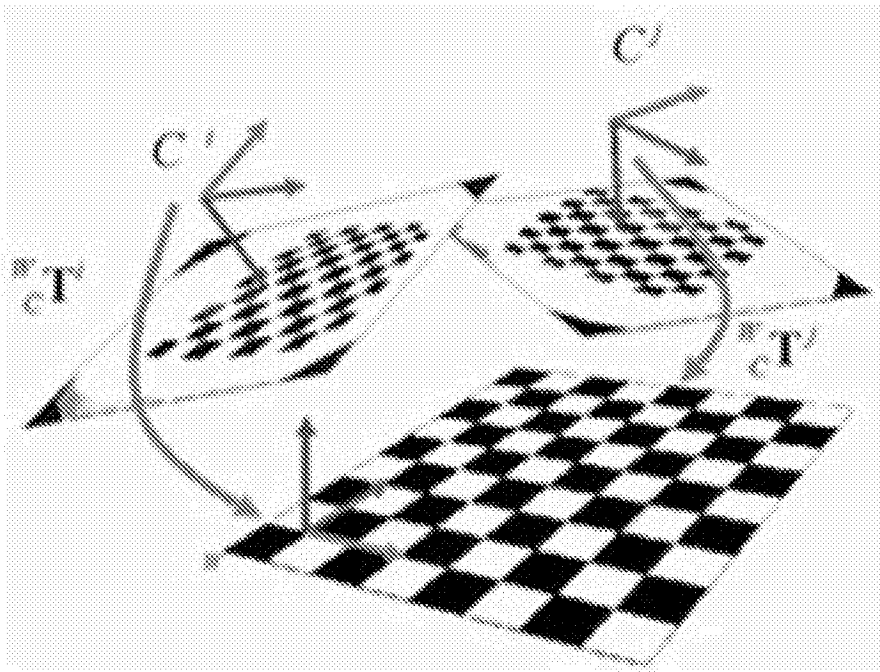


图 8

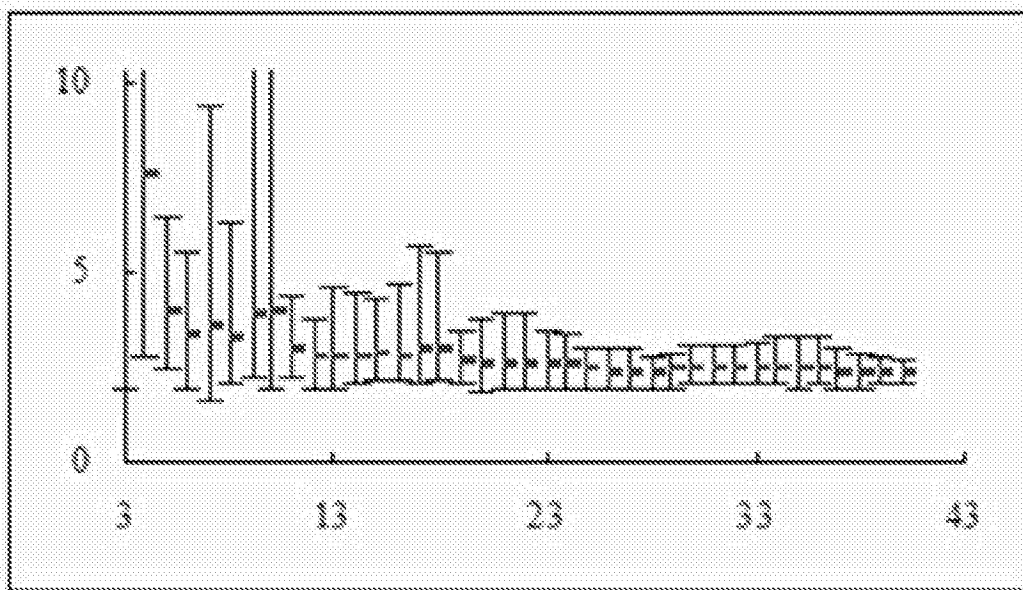


图 9

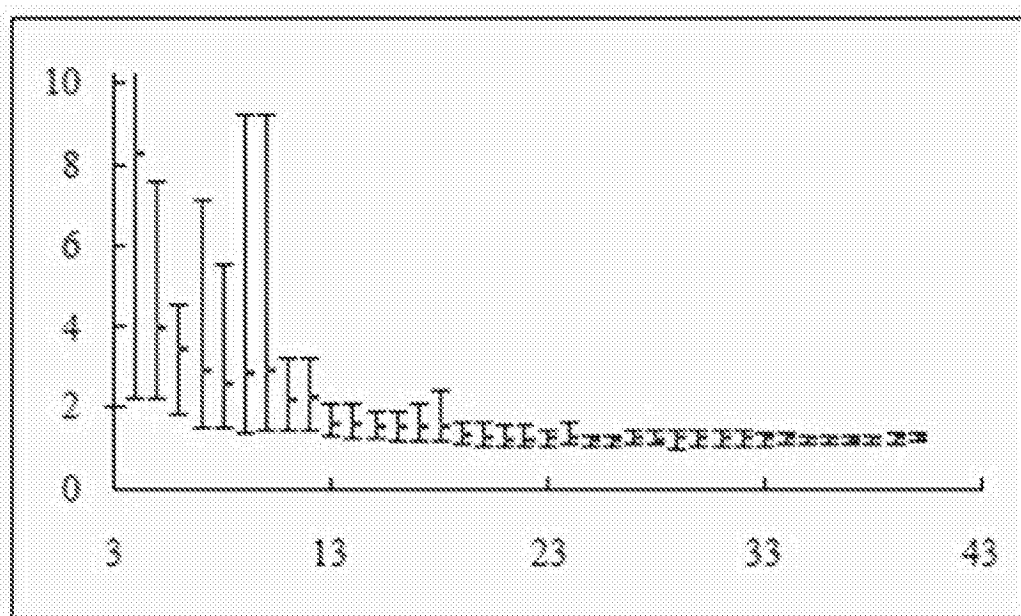


图 10

专利名称(译)	位置传感器与三维腹腔镜摄像机标定装置及方法		
公开(公告)号	CN105030331A	公开(公告)日	2015-11-11
申请号	CN201510199087.4	申请日	2015-04-24
[标]申请(专利权)人(译)	长春理工大学		
申请(专利权)人(译)	长春理工大学		
当前申请(专利权)人(译)	长春理工大学		
[标]发明人	师为礼 何巍 苗语 蒋振刚 李岩芳 何飞 闫飞 杨华民		
发明人	师为礼 何巍 苗语 蒋振刚 李岩芳 何飞 闫飞 杨华民		
IPC分类号	A61B19/00		
代理人(译)	王薇		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明涉及一种位置传感器与三维腹腔镜摄像机标定装置及方法，首先利用高精度光学定位系统补偿电磁位置传感器输出误差，然后利用标定参考立方体计算三维腹腔镜摄像机位置和姿态，最后使用对偶四元数分析电磁位置传感器与三维腹腔镜摄像机的坐标关系；其克服了现有电磁位置传感器由于磁场形变产生的输出偏差缺陷，标定精确、实时性高；本发明操作简便，仅利用内窥镜摄像机前端固定的电磁位置传感器和标定网格，即可推定电磁位置传感器和内窥镜摄像机的位置关系。

