



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103027657 A

(43) 申请公布日 2013. 04. 10

(21) 申请号 201210543208. 9

(22) 申请日 2012. 12. 13

(71) 申请人 天津大学

地址 300072 天津市南开区卫津路 92 号

(72) 发明人 陈晓冬 王森 欧阳孜孜 汪毅
郁道银

(74) 专利代理机构 天津佳盟知识产权代理有限公司 12002

代理人 李益书

(51) Int. Cl.

A61B 1/00 (2006. 01)

A61B 5/06 (2006. 01)

A61B 5/05 (2006. 01)

G06T 17/00 (2006. 01)

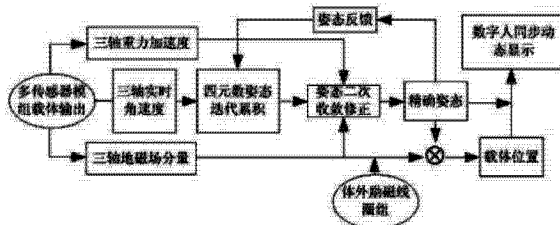
权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 4 页

(54) 发明名称

基于多传感器的内窥镜跟踪定位与数字人动态同步显示方法

(57) 摘要

基于多传感器的内窥镜跟踪定位与数字人动态同步显示方法。本发明以三轴陀螺仪,三轴加速度计和三轴磁场传感器组成的多传感器系统为核心,通过陀螺仪的四元数跟踪得到初始姿态,并通过加速度计和磁场传感器的逐步收敛,将陀螺仪的全空间发散误差进行周期修正,从而达到旋转姿态的精确跟踪。将该系统与人体附近数个励磁线圈相结合,利用励磁线圈的中心对称性,实现了对传感载体的实时位置确定。在医学上为了便于医生进行观察对比,本发明结合数字人技术将姿态和位置信息导入,实现了对内镜在人体内姿态和方位的模型跟踪和透视观察。



1. 基于多传感器的内窥镜跟踪定位与数字人动态同步显示方法,其特征在于该方法的步骤是:

第 1、多传感器系统位于内窥镜载体上,多传感器系统包括三轴加速度传感器,三轴磁场传感器以及三轴陀螺仪,这三个传感器各自的 X, Y, Z 轴均与所在载体的 X, Y, Z 轴平行;首先将内窥镜载体水平放置,此时的坐标系定义为初始坐标系 N,记录下三轴加速度传感器和三轴磁场传感器分别于坐标系 N 下的测量值 $S_0=[0, 0, -1]$, $H_0=[x_0, y_0, z_0]$,作为姿态定位的初始信息;

第 2、通过三轴陀螺仪测量载体在运动过程中的 X, Y, Z 轴的实时角速度,记载体在实际运动过程中,实时坐标系为 B,结合四元数姿态的运动方程,通过积分得到坐标系 N 到坐标系 B 的转换矩阵 C,通过转换矩阵 C 计算出 B 相对 N 的三轴旋转角 α 、 β 、 γ ,同真实的三轴旋转角相比,误差分别为 $\Delta\alpha$ 、 $\Delta\beta$ 、 $\Delta\gamma$;

第 3、不断重复第 2 步的过程,由于三轴陀螺仪的随机漂移效应,第 2 步的姿态旋转角误差会随着时间逐渐增大,待其总误差绝对值 $\sqrt{(\Delta\alpha)^2 + (\Delta\beta)^2 + (\Delta\gamma)^2}$ 达到 3° 时进入第 4 步的收敛,此时载体的坐标系定义为 B1,通过第 2 步得到的旋转矩阵为 C1;

第 4、利用三轴加速度传感器和三轴磁场传感器对 C1 的发散误差进行全局收敛,阻止误差的进一步发散,该收敛过程分为两步,具体如下:

第 4.1、采用三轴加速度传感器,通过该传感器得到坐标系 B1 下的重力加速度测量值 $S_1=[g_x, g_y, g_z]$,将该测量值与第 1 步的初始测量值 S_0 比较,建立误差观测函数 $F_g=|S_1-C_1*S_0|$,进行一阶梯度微分迭代,将带有误差的转换矩阵 C1 进行收敛,得到转换矩阵 Cg,此方法的效果是将发散误差限制到围绕重力加速度的旋转角这一自由度上;

第 4.2、采用三轴磁场传感器,通过该传感器得到坐标系 B1 下地磁场测量值 $H_1=[x_1, y_1, z_1]$,将该测量值与第 1 步的初始测量值 H_0 比较,在第 4.1 步收敛的基础上建立地磁场误差观测函数 $F_m=|H_1-C_g*H_0|$,将第 4.1 步收敛后的姿态绕重力轴旋转,旋转过程中,搜索观测函数 F_m 的最小值,得到全自由度收敛结果 C2,并以 C2 作为下个定位周期第 2 步的积分初值;

第 1 步仅在初始化运行一次即可,由第 2 步至第 4 步得到一个周期下全空间姿态的收敛定位结果,

第 5、载体坐标位置定位

在人体体腔下侧空间分布有一组至少 3 个不同位置和朝向的励磁线圈,每一个励磁线圈均为多匝的圆柱形铜线密绕电感线圈,在不同时刻对这些励磁线圈循环供电,每一个励磁线圈在产生磁场时,由于励磁线圈磁场分布的几何对称性,使得励磁线圈在载体处的磁场强度矢量 M_2 始终位于励磁线圈中心与载体连线所在的一个平面 A 上,该平面 A 垂直于励磁线圈平面 Q,且将 Q 平分;每一个中心对称的励磁线圈结合该线圈在磁场传感器上的分布就能够确定载体所在的一个法平面 A;

具体过程如下,首先依据三轴磁场传感器获得励磁线圈在载体上的磁场分布 $M_2=[x_2, y_2, z_2]$,然后结合第 2 步至 4 步得到的姿态结果 C2,将磁场矢量 M_2 投影到励磁线圈所在的平面 Q 上, M_2 在平面 Q 的 X 轴、Y 轴上分解为 M_{QX} , M_{QY} ,从而得到法平面 A 相对平面 Q 的圆柱坐标系下的旋转角 $a=\arctan(M_{QY}/M_{QX})$,通过空间建模,得到载体所在的法平面

A 的方程表达,由至少三个法平面相交得到空间坐标位置;

第 6、数字人同步显示

在 PC 中,对多传感器系统的信息进行第 2 步至第 5 步的处理后,得到载体的角度和位置结果,利用多线程技术,在另一个线程中,结合数字人技术,根据人体的身高和体重的不同比例,缩放数字人的各个器官和外形轮廓;同步显示前首先要输入被测人体的高度和体重,然后在该线程中将数字人各器官,按照 3D 模型显示出来,同时从传感计算的线程中传输姿态角度和位置信息,并反映在 3D 人体模型下的内窥镜的位置比例和朝向上,通过不断刷新,实现对内窥镜的同步模型跟踪,在软件操作下,对 3D 模型进行旋转,放大,和高亮显示,方便医生进行可视化诊断。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于第 4 步采用的姿态收敛方法,考虑到三轴磁场传感器的测量过程容易受干扰,且传感器精度不高,利用逐次收敛方式,将三轴加速度传感器和三轴磁场传感器所收敛的误差区域分开来,先利用加速度传感器来对姿态的大部分误差进行收敛,而最后的微小自转角则通过磁场传感器来收敛,目的是为了提提高收敛的精度。

3. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于第 5 步采用的位置定位方法,需要循环通电一组至少三个励磁线圈,在同一时刻,空间中仅有一个线圈产生磁场,同时,在计算磁场分布 M_2 时,需要将当前测量值减去通电前的地磁场的分量,从而得到仅通过励磁线圈产生的空间磁场,进而通过旋转角来计算法平面。

4. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于第 6 步采用的数字人动态模型构建主要分为以下几个步骤:

- 1) 通过人体的断层图,重建人体及内部器官的三维轮廓模型;
- 2) 将三维轮廓模型制作为 OBJ 类型的显示列表,方便 VC 下的调用;
- 3) 以 3D 的轮廓图作为背景,制作微小的内窥镜动态模型,在内窥镜模型中导入姿态和位置定位信息,模拟内窥镜在人体内的朝向和位置显示;
- 4) 利用 OPENGL 在 MFC 下的显示,刷新功能,来对该动态模型进行更新。

基于多传感器的内窥镜跟踪定位与数字人动态同步显示方法

技术领域

[0001] 本发明属于多传感器跟踪定位领域,尤其适合内窥镜探头等微小区域的方位探测。

背景技术

[0002] 在医疗上,医生一般通过内窥镜采集到的图像,依靠经验来对病变位置进行判断,具有较大误差。而在一些特殊场合下,医生需要结合内窥镜得到的病变位置信息,配合手术等措施进行综合治疗,因此对病变位置的方位精度要求较高。在日本、美国一些发达国家,胶囊内窥镜应用逐渐普遍,对其定位和控制也是目前的研究热点。

[0003] 目前国内外采用的内窥镜定位技术,多为采用以磁场分布为核心的测算方法,分为体内置磁场传感器,体外多点磁场源,或者体内磁场发射源,体外数十个探测器阵列两种。第一种方式上,现有的一些专利技术提出了利用加速度传感器结合地磁传感器进行姿态解算,将内窥镜姿态和位置定位分别处理的方法,但由于欧拉旋转矩阵算法的“奇异性”以及地磁场的晃动问题,姿态解算的精度有限,连续性和鲁棒性不好。而且在内窥镜的位置定位上,采用三线圈平放,以线圈轴线的磁场分布代替全空间分布,缺乏科学性,定位范围狭小。采用第二种方式,通过数量优势来弥补磁场空间的分布复杂性和不稳定性,成本较高而且精度一般,算法复杂,实时性较差。

[0004] 而目前的多传感器的姿态定位算法,其核心思想是利用陀螺仪的姿态累积保证姿态跟踪的连续性,以辅助传感器结合卡尔曼滤波方法,来修正陀螺仪的累积误差,从而保证姿态跟踪的精确性,这种方法适合于姿态变化缓慢的大型载体的定位,并不适用于内窥镜这种姿态转动幅度较大,实时性需求较高的场合。

[0005] 同时,在内窥镜的绝对位置定位上,现有技术有利用机械特性进行定位,精度较低且结构复杂,还有对磁场源进行全空间建模太过于复杂,不易实现,而且全空间建模一般磁场源要求为点源,在远场下对磁场传感器的探测精度要求过高。

[0006] 数字人技术,目前主要应用在医学图像还原,人体结构分析等领域,大多数是应用在静态的病理分析上,在同步跟踪方面的应用较少。

发明内容

[0007] 本发明的目的是解决磁场定位系统体积大,成本高,算法复杂,实时性差等问题,将多传感技术引入内窥镜定位中,提供一种基于多传感器的内窥镜跟踪定位与数字人动态同步显示方法,以提高内窥镜镜头姿态的定位连续性和鲁棒性,增加内窥镜位置定位的科学性和定位范围,通过与数字人技术结合,实现了定位信息的动态显示,使内窥镜的定位跟踪结果更加直观。

[0008] 本发明方法将多传感器模组微缩到内窥镜探头前端,探头作为载体在发生姿态旋转时,通过传感信息的解算,可以得到大地坐标系到载体坐标系的转换矩阵的具体表达,以

大地坐标系为基准,转换矩阵就对应了当前载体的姿态。在完成姿态解算的同时,间歇通电人体附近的多个励磁线圈,利用线圈磁场的特殊分布,并结合当前具体姿态,综合得到载体所在的空间位置。之后,由 OPEN GL 的建模技术,将接受观测的人体的体重和身高输入,在 MFC 界面仿真得到一个包括器官模型在内的透视的数字人模型,并将姿态和位置信息传输给 PC,在数字人内,以合适比例建立动态的内窥镜模型,从而完成姿态和位置的定位,实现内窥镜在人体内移动过程的同步再现。

[0009] 本发明提供的基于多传感器的内窥镜跟踪定位与数字人动态同步显示方法主要包含姿态定位,位置定位,以及数字人同步显示三个主要部分,在一个定位周期内完成。首先以陀螺仪为核心,配合加速度计和磁场传感器收敛辅助,完成姿态定位与收敛,然后结合人体附近至少三个励磁线圈产生外部磁场完成位置定位,在得到姿态和位置定位结果后,对定位结果显示与更新。本发明所采用的方法,主要包含以下步骤:

[0010] 第 1、多传感器系统位于内窥镜载体上,多传感器系统包括三轴加速度传感器,三轴磁场传感器以及三轴陀螺仪,这三个传感器各自的 X, Y, Z 轴均与所在载体的 X, Y, Z 轴平行;首先将内窥镜载体水平放置,此时的坐标系定义为初始坐标系 N,记录下三轴加速度传感器和三轴磁场传感器分别于坐标系 N 下的测量值 $S_0=[0, 0, -1]$, $H_0=[x_0, y_0, z_0]$, 作为姿态定位的初始信息;

[0011] 第 2、通过三轴陀螺仪测量载体在运动过程中的 X, Y, Z 轴的实时角速度,记载体在实际运动过程中,实时坐标系为 B, 结合四元数姿态的运动方程,通过积分得到坐标系 N 到坐标系 B 的转换矩阵 C,通过转换矩阵 C 计算出 B 相对 N 的三轴旋转角 α 、 β 、 γ ,同真实的三轴旋转角相比,误差分别为 $\Delta \alpha$ 、 $\Delta \beta$ 、 $\Delta \gamma$;

[0012] 第 3、不断重复第 2 步的过程,由于三轴陀螺仪的随机漂移效应,第 2 步的姿态旋转角误差会随着时间逐渐增大,待其总误差绝对值 $\sqrt{(\Delta \alpha)^2 + (\Delta \beta)^2 + (\Delta \gamma)^2}$ 达到 3° 时进入第 4 步的收敛,此时载体的坐标系定义为 B1,通过步骤 2 得到的旋转矩阵为 C1;

[0013] 第 4、利用三轴加速度传感器和三轴磁场传感器对 C1 的发散误差进行全局收敛,阻止误差的进一步发散,该收敛过程分为两步,具体如下:

[0014] 第 4.1、采用三轴加速度传感器,通过该传感器得到坐标系 B1 下的重力加速度测量值 $S_1=[g_x, g_y, g_z]$,将该测量值与第 1 步的初始测量值 S_0 比较,建立误差观测函数 $F_g=|S_1-C_1*S_0|$,进行一阶梯度微分迭代,将带有误差的转换矩阵 C1 进行收敛,得到转换矩阵 Cg,此方法的效果是将发散误差限制到围绕重力加速度的旋转角这一自由度上;

[0015] 第 4.2、采用三轴磁场传感器,通过该传感器得到坐标系 B1 下地磁场测量值 $H_1=[x_1, y_1, z_1]$,将该测量值与第 1 步的初始测量值 H_0 比较,在第 4.1 步收敛的基础上建立地磁场误差观测函数 $F_m=|H_1-C_g*H_0|$,将第 4.1 步收敛后的姿态绕重力轴旋转,旋转过程中,搜索观测函数 F_m 的最小值,得到全自由度收敛结果 C2,并以 C2 作为下个定位周期第 2 步的积分初值。

[0016] 步骤 1 仅在初始化运行一次即可,由第 2 步至第 4 步得到一个周期下全空间姿态的收敛定位结果,

[0017] 第 5、载体坐标位置定位

[0018] 在人体体腔下侧空间分布有一组至少 3 个不同位置和朝向的励磁线圈,每一个励磁线圈均为多匝的圆柱形铜线密绕电感线圈,在不同时刻对这些励磁线圈循环供电,每一

个励磁线圈在产生磁场时,由于励磁线圈磁场分布的几何对称性,使得励磁线圈在载体处的磁场强度矢量 M_2 始终位于励磁线圈中心与载体连线所在的一个平面 A 上,该平面 A 垂直于励磁线圈平面 Q ,且将 Q 平分;每一个中心对称的励磁线圈结合该线圈在磁场传感器上的分布就能够确定载体所在的一个法平面 A ;

[0019] 具体过程如下,首先依据三轴磁场传感器获得励磁线圈在载体上的磁场分布 $M_2=[x_2, y_2, z_2]$,然后结合第 2 步至 4 步得到的姿态结果 C_2 ,将磁场矢量 M_2 投影到励磁线圈所在的平面 Q 上, M_2 在平面 Q 的 X 轴、 Y 轴上分解为 MQX, MQY ,从而得到法平面 A 相对平面 Q 的圆柱坐标系下的旋转角 $a=\arctan(MQY/MQX)$,通过空间建模,得到载体所在的法平面 A 的方程表达,由至少三个法平面相交得到空间坐标位置;

[0020] 第 6、数字人同步显示

[0021] 在 PC 中,对多传感器系统的信息进行第 2 步至第 5 步的处理后,得到载体的角度和位置结果,利用多线程技术,在另一个线程中,结合数字人技术,根据人体的身高和体重的不同比例,缩放数字人的各个器官和外形轮廓;同步显示前首先要输入被测人体的高度和体重,然后在该线程中将数字人各器官,按照 3D 模型显示出来,同时从传感计算的线程中传输姿态角度和位置信息,并反映在 3D 人体模型下的内窥镜的位置比例和朝向上,通过不断刷新,实现对内窥镜的同步模型跟踪,在软件操作下,对 3D 模型进行旋转,放大,和高亮显示,方便医生进行可视化诊断。

[0022] 其中,所述第 4 步采用的姿态收敛方法,考虑到三轴磁场传感器的测量过程容易受干扰,且传感器精度不高,利用逐次收敛方式,将三轴加速度传感器和三轴磁场传感器所收敛的误差区域分开来,先利用加速度传感器来对姿态的大部分误差进行收敛,而最后的微小自转角则通过磁场传感器来收敛,目的是为了提提高收敛的精度。

[0023] 第 5 步采用的位置定位方法,需要循环通电一组至少三个励磁线圈,在同一时刻,空间中仅有一个线圈产生磁场,同时,在计算磁场分布 M_2 时,需要将当前测量值减去通电前的地磁场的分量,从而得到仅通过励磁线圈产生的空间磁场,进而通过旋转角来计算法平面。

[0024] 第 6 步采用的数字人动态模型构建主要分为以下几个步骤,如图 6 所示:

[0025] 1) 通过人体的断层图,重建人体及内部器官的三维轮廓模型;

[0026] 2) 将三维轮廓模型制作为 OBJ 类型的显示列表,方便 VC 下的调用;

[0027] 3) 以 3D 的轮廓图作为背景,制作微小的内窥镜动态模型,在内窥镜模型中导入姿态和位置定位信息,模拟内窥镜在人体内的朝向和位置显示。

[0028] 4) 利用 OPENGL 在 MFC 下的显示,刷新功能,来对该动态模型进行更新。

附图说明

[0029] 图 1 是本发明方法的整体流程图;

[0030] 图 2 是结合励磁线圈进行位置定位的流程图;

[0031] 图 3 是姿态的二次收敛修正过程示意图;

[0032] 图 4 是圆形载流线圈的磁场中心对称性和载体位置的特征示意图;

[0033] 图 5 是一种可实现位置定位的体外磁场源三线圈的空间放置方式,其中, A 为俯视图, B 为侧视图;

[0034] 图 6 是利用 OPEN GL 进行数字人同步建模方法的流程图；

[0035] 图 7 是数字人跟踪定位同步显示效果图。

具体实施方式

[0036] 本发明基于多传感器的内窥镜跟踪定位与数字人同步显示方法,实施方式如图 1,包含以下步骤:

[0037] 步骤 1. 系统的初始传感信息记录

[0038] 在定位周期的最开始阶段,首先将多传感器系统所在的载体水平放置,将此时的坐标系定义为初始基准坐标系 N,三轴加速度传感器,三轴磁场传感器在坐标系 N 下的实际测量值分别为 $S_0=[0.03-0.02-0.99]$, $H_0=[0.160.45-0.87]$,均为归一化后的矢量分布,载体的水平调节可以通过观察加速度传感器的测量值变化实现。

[0039] 步骤 2. 利用陀螺仪进行姿态四元数的更新

[0040] 利用多传感器系统中的三轴陀螺仪实时测量载体坐标系下三轴的角速度,构建角速度矩阵 (1),通过四元数运动微分方程 (3),得到载体坐标系在微分时间段 Δt 前后的旋转四元数的更新迭代关系,其中 $q'_{\omega,t}$ 表示 t 时刻的四元数微分, $\hat{q}_{est,t-1}$ 表示 t-1 时刻的四元数的归一化估计值,姿态四元数 (2) 是一种空间姿态的特殊表达方式,与空间中的姿态是一一对应的关系,之后讨论的姿态定位和收敛,均以姿态四元数为基础。为了方便理解上述的数据分析,这里给出姿态四元数与坐标系之间欧拉角的转换,这里欧拉角旋转角采用绕 Z-Y-X 的顺序进行坐标系之间的旋转变换 (γ, β, α) (4),结合四元数转换矩阵 (6),即可得到姿态四元数与欧拉角之间的转换关系 (5)。

[0041] 实际定位中,首先需要进行初始化,将载体坐标系 B 与大地坐标系 N 重合,即将载体水平放置,此时的姿态四元数为 $q_{est,0}=[1 \ 0 \ 0 \ 0]^T$,然后结合三轴陀螺仪实时测量的角速度 (1) 和迭代方程 (2),不断更新当前姿态四元数 $q_{\omega,t}$,其中 \otimes 表示四元数乘法, Δt 表示三轴陀螺仪角速度的采样时间。

$$[0042] \quad \omega^b=[0 \ \omega_x \ \omega_y \ \omega_z] \quad (1)$$

$$[0043] \quad \mathbf{q}=\mathbf{q}_0+\mathbf{q}_1\mathbf{i}+\mathbf{q}_2\mathbf{j}+\mathbf{q}_3\mathbf{k}=\begin{bmatrix} q_0 \\ q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$[0044] \quad \begin{cases} \mathbf{q}'_{\omega,t}=\frac{1}{2}\hat{\mathbf{q}}_{est,t-1}\otimes\omega^b \\ \mathbf{q}_{\omega,t}=\hat{\mathbf{q}}_{est,t-1}+\mathbf{q}'_{\omega,t}\Delta t \end{cases} \quad (3)$$

[0045]

$$C_n^b(\alpha,\beta,\gamma)=\begin{bmatrix} \cos\beta\cos\gamma & \cos\beta\sin\gamma & -\sin\beta \\ \sin\alpha\sin\beta\cos\gamma-\cos\alpha\sin\gamma & \sin\alpha\sin\beta\sin\gamma+\cos\alpha\cos\gamma & \sin\alpha\cos\beta \\ \cos\alpha\sin\beta\cos\gamma+\sin\alpha\sin\gamma & \cos\alpha\sin\beta\sin\gamma-\sin\alpha\cos\gamma & \cos\alpha\cos\beta \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$[0046] \quad r_8=2(q_1q_3-q_0q_2) \quad r_9=2(q_0q_1+q_2q_3)$$

$$[0047] \quad r_4=2(q_0q_3+q_1q_2) \quad r_{10}=q_0^2-q_1^2-q_2^2+q_3^2$$

$$[0048] \quad r_0 = q_0^2 + q_1^2 - q_2^2 - q_3^2$$

$$[0049] \quad -90^\circ \leq \beta \leq 90^\circ \quad 0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ \quad 0^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$$

$$[0050] \quad \beta = -\text{asin}(r_8) * 180 / \text{pi};$$

$$[0051] \quad \alpha = \begin{cases} \text{atan}(r_9 / r_{10}) * 180 / \text{pi}; & \text{if } r_9 * \text{atan}(r_9 / r_{10}) \geq 0 \\ \text{atan}(r_9 / r_{10}) * 180 / \text{pi} + 180; & \text{if } \text{atan}(r_9 / r_{10}) < 0 \text{ } r_9 > 0 \\ \text{atan}(r_9 / r_{10}) * 180 / \text{pi} - 180; & \text{if } \text{atan}(r_9 / r_{10}) > 0 \text{ } r_9 < 0 \end{cases}$$

$$[0052] \quad \gamma = \begin{cases} \text{atan}(r_4 / r_0) * 180 / \text{pi}; & \text{if } r_4 * \text{atan}(r_4 / r_0) \geq 0 \\ \text{atan}(r_4 / r_0) * 180 / \text{pi} + 180; & \text{if } \text{atan}(r_4 / r_0) < 0 \text{ } r_4 > 0 \\ \text{atan}(r_4 / r_0) * 180 / \text{pi} - 180; & \text{if } \text{atan}(r_4 / r_0) > 0 \text{ } r_4 < 0 \end{cases} \quad (5)$$

[0053] 具体实验当中, $\Delta t = 13.9\text{ms}$, 以一组实验数据作为说明, 经过一系列的姿态变换, 循环步骤 1 持续 4 秒后, 得到四元数为 $q' = [0.9535 \ 0.2103 \ 0.2158 \ 0.0054]$, 将该四元数换算为实时的姿态角为 $\alpha = \text{roll} = 29.9^\circ$, $\beta = \text{pitch} = 16.9^\circ$, $\gamma = \text{yaw} = 7.63^\circ$, 分别为载体坐标系 B 相对大地坐标系 N 的滚动角, 俯仰角和偏航角, 利用转台测量的当前的真实姿态为 $\text{roll} = 28.1^\circ$, $\text{pitch} = 15.2^\circ$, $\text{yaw} = 6.3^\circ$, 绝对角误差达到了 $\sqrt{(\Delta\alpha)^2 + (\Delta\beta)^2 + (\Delta\gamma)^2} = 2.93^\circ$

[0054] 步骤 3. 利用加速度传感器和地磁传感器对姿态四元数进行收敛

[0055] 由于长时间下三轴陀螺仪的随机漂移会导致姿态四元数的误差逐渐累积增加, 因此引入三轴加速度传感器和三轴磁场传感器, 对姿态四元数进行收敛, 收敛误差是以空间中的重力加速度 G 和地磁场 M 在两坐标系下的关系 (6), (7) 为基础的, 其中 $C_n^b(q)$ 表示坐标系转换矩阵, $[x_b \ y_b \ z_b]^T$ 和 $[x_n \ y_n \ z_n]^T$ 分别表示空间中一个恒矢量分别在载体坐标系下和大地坐标系下的测量值, 陀螺仪的误差会导致 (7) 前后不相等, 以此作为误差观测函数。

$$[0056] \quad C_n^b(q) = \begin{bmatrix} q_0^2 + q_1^2 - q_2^2 - q_3^2 & 2(q_0q_3 + q_1q_2) & 2(q_1q_3 - q_0q_2) \\ 2(q_1q_2 - q_3q_0) & q_0^2 - q_1^2 + q_2^2 - q_3^2 & 2(q_0q_1 + q_3q_3) \\ 2(q_0q_2 + q_1q_3) & 2(q_2q_3 - q_0q_1) & q_0^2 - q_1^2 - q_2^2 + q_3^2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$[0057] \quad \begin{bmatrix} x_b \\ y_b \\ z_b \end{bmatrix} = C_n^b(q) \begin{bmatrix} x_n \\ y_n \\ z_n \end{bmatrix} \quad (7)$$

[0058] 首先, 利用重力加速度 \vec{S} 建立误差观测模型 (8), 载体实时测量值为 $\vec{bS} = [0.29 \ -0.48 \ 0.83]$ 。利用一阶微分 Jacobian 矩阵构造下降方向 (9), 实现四元数迭代收敛 (10), 经过数次迭代, 从而得到初步收敛结果 q'_k , 如图 3 所示的坐标系 $o-x' \ y' \ z'$, 该收敛为不完全收敛, 将姿态四元数误差限定在围绕重力加速度方向的自转这一自由度上。

$$[0059] \quad f(q, \vec{bS}, \vec{nS}) = C_n^b(q) \cdot \vec{nS} - \vec{bS} \quad (8)$$

$$[0060] \quad \Delta f(q, \vec{bS}, \vec{nS}) = J(q, \vec{nS})^T \cdot f(q, \vec{bS}, \vec{nS}) \quad (9)$$

$$[0061] \quad \mathbf{q}_{n+1} = \left\langle \mathbf{q}_n - \beta \cdot \frac{\Delta f(\mathbf{q}, \overline{\mathbf{S}}, \overline{\mathbf{S}})}{\|\Delta f(\mathbf{q}, \overline{\mathbf{S}}, \overline{\mathbf{S}})\|} \right\rangle (n=0,1,2,3\dots) \quad (10)$$

[0062] 该收敛结束后的结果为： $\alpha=28.3^\circ$ ， $\beta=15.1^\circ$ ， $\gamma=7.4^\circ$ ，可见该收敛可以使得步骤1下的误差，在 α ， β 角上的误差减小到 0.3° 以内，但是由于其收敛机理，使得它无法收敛自转角误差，所以其 γ 角误差距离真实值仍然在 1° 以上。

[0063] 进而利用地磁场的实时归一化测量值 $\overline{\mathbf{H}}=[0.44 \ -0.05 \ -0.90]$ ，对比步骤1中的初始值，将上述收敛完成后的四元数 $\mathbf{q}'_k=[0.9560 \ 0.2450 \ 0.1600 \ 0.0256]$ ，作为第二步迭代开始建立误差观测函数(11)，将该四元数绕 $\overline{\mathbf{S}}$ 进行旋转(13)，并以 $\overline{\mathbf{H}}$ 的误差观测函数作为收敛条件，对自转角(12)进行旋转收敛。

$$[0064] \quad f(\mathbf{q}'_k, \overline{\mathbf{H}}, \overline{\mathbf{H}}) = \mathbf{C}_n^b(\mathbf{q}'_k) \cdot \overline{\mathbf{H}} - \overline{\mathbf{H}} \quad (11)$$

$$[0065] \quad \theta_{k+1} = \theta_k \pm 0.1\pi/180 \quad (12)$$

$$[0066] \quad \mathbf{Q}_k = \begin{bmatrix} \cos \frac{\theta_k}{2} & a_x \sin \frac{\theta_k}{2} & a_y \sin \frac{\theta_k}{2} & a_z \sin \frac{\theta_k}{2} \end{bmatrix}^T \quad (13)$$

[0067] 经过第二步收敛，完成了对姿态的最后一步调整，自转角修正为 $\theta=-1.6^\circ$ ，最终的自转角修正为 $\gamma=7.4^\circ-1.6^\circ=5.8^\circ$ ，相比真实姿态，经过两步收敛之后，绝对误差为 $\sqrt{(\Delta\alpha)^2+(\Delta\beta)^2+(\Delta\gamma)^2}=\sqrt{(0.1)^2+(0.2)^2+(0.5)^2}=0.55^\circ$ ，可见该收敛方法可以将全局空间角收敛到 1° 以下，全空间收敛后的四元数为 $\mathbf{q}_b=[0.9560 \ 0.2440 \ 0.1590 \ 0.0256]$ 。

[0068] 步骤4. 利用线圈磁场对称性，对载体进行位置的定位。

[0069] 如图4，多匝圆柱载流线圈，可以等效为载流圆形线圈，其对称性分布，会使得在A点的磁场强度矢量 $\overline{\mathbf{B}}_A$ ，始终位于AO所在的法平面上，而该法平面的旋转角可由 $\overline{\mathbf{B}}_A$ 在线圈平面上的磁场投影分量 $\frac{B_{Ax}}{B_{Ay}}$ 决定，有 $\varphi = \arctan \frac{B_{Ax}}{B_{Ay}}$ ，过原点，且由唯一确定。

[0070] 利用这一特性，即可按照图2所示的定位流程，在空间不同位置设置励磁线圈，通过数字开关，高速通断这些线圈，得到针对每一个线圈得到载体所在的不同平面，进而相交得到坐标，具体实施方式，可以利用三个线圈在空间中的一种摆放方式来得到，如图5所示。

[0071] 首先，通过(14)分别将三个励磁线圈在载体的磁场强度 $M_1M_2M_3$ 转化到大地坐标系下，进而由大地坐标系再通过矢量合成(15)，分别转化到三线圈平面上，并通过(16)得到三个法平面的旋转角表达。

$$[0072] \quad \begin{bmatrix} M_{bx} \\ M_{by} \\ M_{bz} \end{bmatrix} = \mathbf{C}_n^b(\mathbf{q}) \begin{bmatrix} M_{nx} \\ M_{ny} \\ M_{nz} \end{bmatrix} \quad \mathbf{C}_n^b(\mathbf{q})^{-1} = \mathbf{C}_n^b(\mathbf{q})^T \quad (14)$$

$$[0073] \quad \begin{bmatrix} M_{x_n} \\ M_{y_n} \\ M_{z_n} \end{bmatrix} = \mathbf{C}_n^* \begin{bmatrix} M_{nx} \\ M_{ny} \\ M_{nz} \end{bmatrix} \quad (n=1,2,3) \quad (15)$$

[0074]

$$\varphi_n = \arctan\left(\frac{M_{z_n}}{M_{y_n}}\right), n=1,2,3 \quad (16)$$

[0075] 然后,将三线圈和载体在同一个坐标系内进行数学建模,以图 5 中的线圈与大地坐标系的相对位置为例,不难得到,经过三线圈中心 $(x_A, 0, 0)$, (x_B, y_B, h_2) , (x_C, y_C, h_3) 的三法平面的方程 (17),通过矩阵运算,即可求得最终的面相交坐标点。

[0076]

$$\begin{cases} -\sin\varphi_1 y + \cos\varphi_1 z = 0 \\ -\sin\varphi_2 \cos\alpha(x-x_B) - \sin\varphi_2 \cos\alpha(y-y_B) + \cos\varphi_2(z-h_2) = 0 \\ -\sin\varphi_3 \cos\alpha(x-x_C) + \sin\varphi_3 \cos\alpha(y-y_C) + \cos\varphi_3(z-h_3) = 0 \end{cases} \quad (17)$$

[0077] 表 1 说明了利用上述算法,分别在空间坐标系下 XYZ 上 $-12.5\text{cm}-12.5\text{cm}$ 范围内的位置定位的算法测量值与真实值的对比:

[0078] 表 1. 三轴上部分采样点测量值 /cm

[0079]

真实值	-12.5	-10	-5	0	5	10	12.5
X 测量值	-11.73	-10.43	-5.24	-0.86	4.93	10.59	12.21
Y 测量值	-13.12	-10.32	-5.16	0.43	5.42	10.43	11.93
Z 测量值	-11.53	-9.52	-4.28	0.45	5.26	10.22	12.37

[0080] 从该结果中可以看出,其空间位置的定位精度在 1cm 以内,符合理论预期,与内窥镜的镜面尺寸相当,本方法的定位适用范围为 $40\text{cm}*40\text{cm}*40\text{cm}$,比较适用于小范围的人体腔内定位。

[0081] 实际当中,三线圈确定的方程,容易遇到一些特殊位置,导致所得有些法平面近似平行,从而导致无法求解方程,或者求解误差过大,针对这个问题,可以采用插值的方法,将特殊点越过,或者采用上一个坐标点,或者,将线圈数目增多,实际定位时,选取几何相交特性最好的三个平面进行最优化求解,如图 2 所示。

[0082] 步骤 5. 结合数字人技术,进行 3D 建模和动态同步显示。

[0083] 如图 6 所示,在 VC 下,建立 MFC 图形显示窗口,并利用 OPENGL 建立和导入数字人以及各个器官的 OBJ 模型列表,利用串口方式,高速接收传感信息,并利用前两步的定位方法,得到动态的姿态和位置信息,由于计算机内部对于坐标系的转换也是通过旋转矩阵实现,因此其姿态可以利用公式 (6) 的结果直接带入,整个过程都无需三角运算。将动态的姿态和位置信息转换为 OPENGL 下的坐标比例和旋转方式,连同内窥镜微小模型一起,作为动态的 OBJ 模型,同静态的数字人器官模型,一起导入显示列表中,高速刷新,实现“动态”的跟踪,如图 7 所示。

[0084] 为了更好的表示内窥镜的位置和镜头所观测到的器官平面,可以对模型进行颜色和透视渲染,并从内窥镜的镜头发射出锥形光面,照射周围的器官,其模型照亮区域,即对应实际拍摄下,医生从内窥镜镜头采集到的图像所在的人体的真实器官位置。医生可以利用 PC 下灵活的图形处理技术,对图像进行旋转放大,获得病患位置全方位的参考信息。

[0085] 其中为了保证视图的显示平滑,迟滞性较轻,可以采用多线程的技术,将图形显示做双缓冲,一部分保持上一次的定位跟踪,另一部分等待算法对姿态角度和位置的信息的导入。

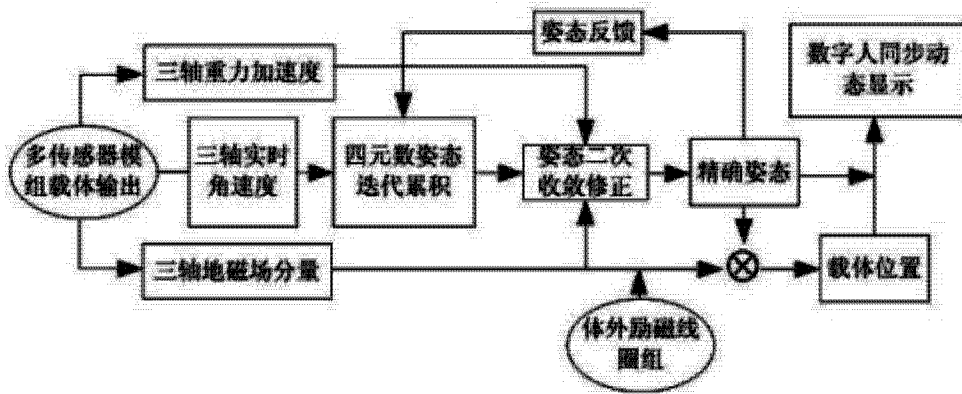


图 1

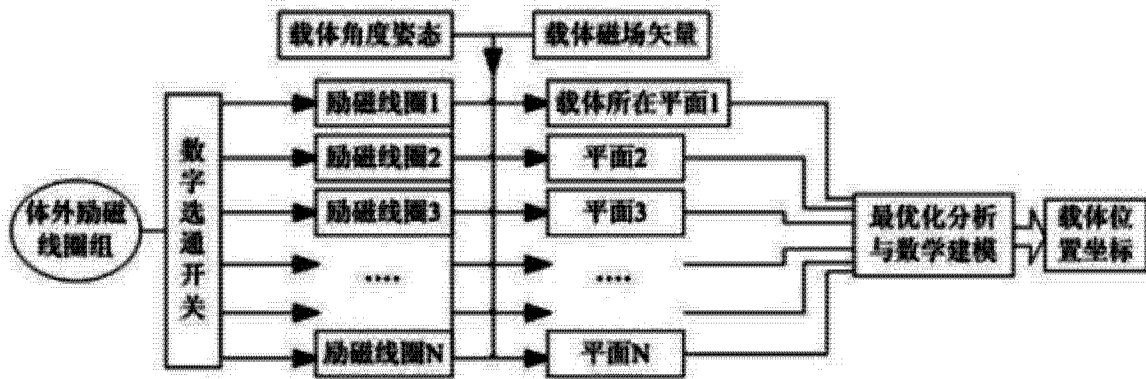


图 2

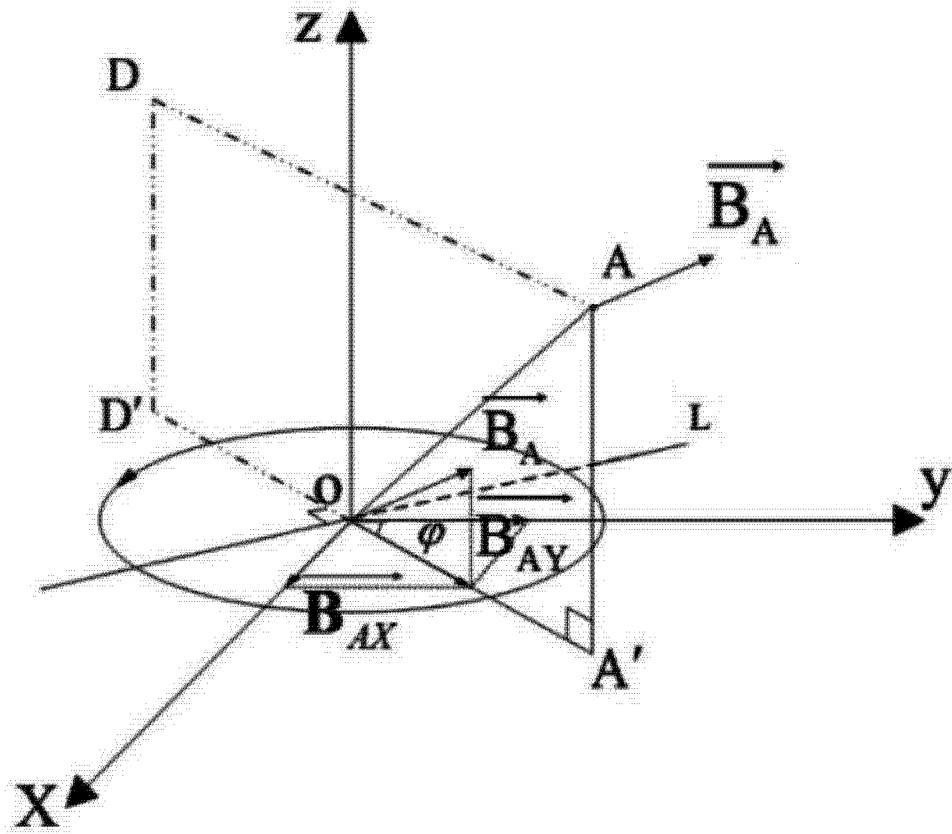


图 4

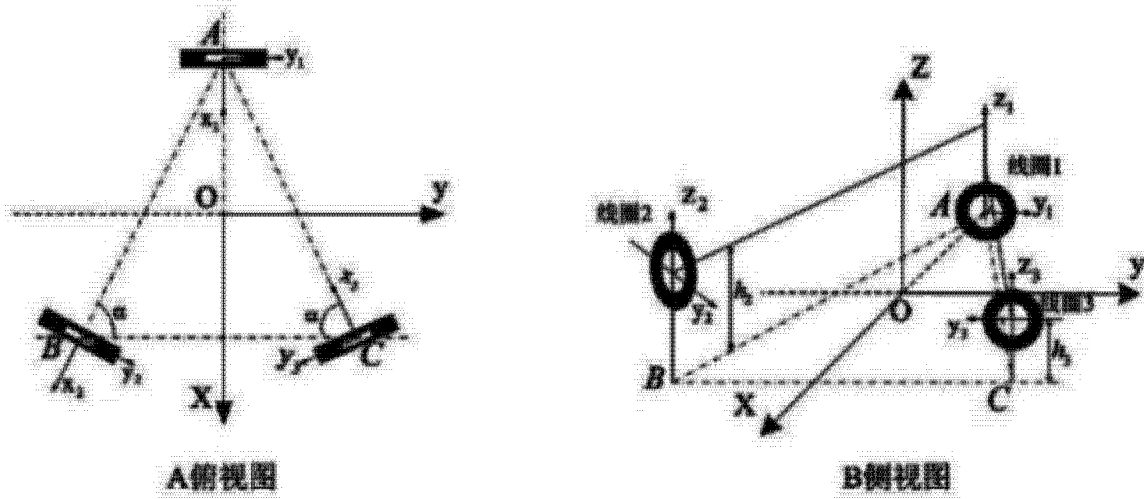


图 5

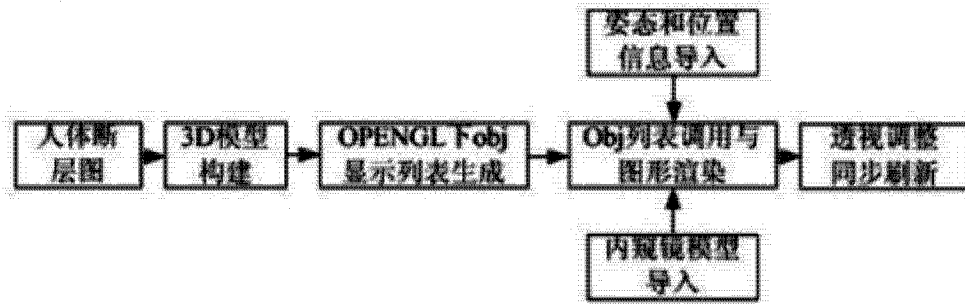


图 6

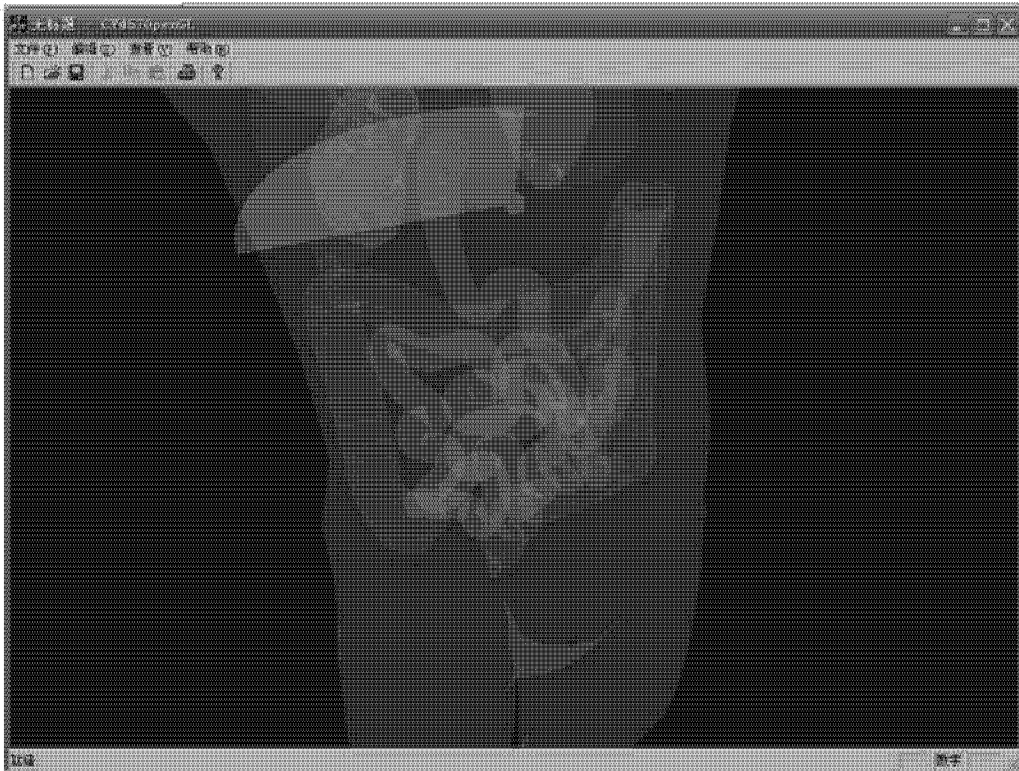


图 7

专利名称(译)	基于多传感器的内窥镜跟踪定位与数字人动态同步显示方法		
公开(公告)号	CN103027657A	公开(公告)日	2013-04-10
申请号	CN201210543208.9	申请日	2012-12-13
[标]申请(专利权)人(译)	天津大学		
申请(专利权)人(译)	天津大学		
当前申请(专利权)人(译)	天津大学		
[标]发明人	陈晓冬 王森 欧阳孜孜 汪毅 郁道银		
发明人	陈晓冬 王森 欧阳孜孜 汪毅 郁道银		
IPC分类号	A61B1/00 A61B5/06 A61B5/05 G06T17/00		
代理人(译)	李益书		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

基于多传感器的内窥镜跟踪定位与数字人动态同步显示方法。本发明以三轴陀螺仪，三轴加速度计和三轴磁场传感器组成的多传感器系统为核心，通过陀螺仪的四元数跟踪得到初始姿态，并通过加速度计和磁场传感器的逐步收敛，将陀螺仪的全空间发散误差进行周期修正，从而达到旋转姿态的精确跟踪。将该系统与人体附近数个励磁线圈相结合，利用励磁线圈的中心对称性，实现了对传感载体的实时位置确定。在医学上为了便于医生进行观察对比，本发明结合数字人技术将姿态和位置信息导入，实现了对内镜在人体内姿态和方位的模型跟踪和透视观察。

