(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110141240 A
(43)申请公布日 2019.08.20

(21)申请号 201910485335.X

(22)申请日 2019.06.05

(71)申请人 河南理工大学
地址 454003 河南省焦作市河南理工大学导航与制导实验室

(72)发明人 杨金显 王亚平 张颖 钱伟 王蒙蒙

(51)Int.Cl.
A61B 5/11(2006.01)
A61B 5/00(2006.01)
A61B 5/107(2006.01)

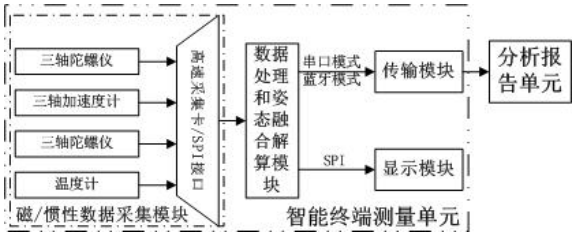
权利要求书3页 说明书9页 附图1页

(54)发明名称

一种基于磁/惯性器件的脊柱测量仪

(57)摘要

本发明公开一种基于磁/惯性数据的脊柱测量仪，其特征在于，该脊柱测量仪包括智能终端测量单元和分析报告单元；智能终端测量单元包括磁/惯性数据采集模块、数据处理和姿态融合解算模块、显示模块、传输模块和供电模块，该智能终端测量单元实现数据采集、处理、姿态融合解算和显示功能，可单独使用；分析报告单元硬件采用便携式笔记本电脑，采用USB串口接收和蓝牙无线接收数据，显示界面采用Processing IDE程序编程，其功能包括接收和保存磁场强度、加速度、角速度、温度和智能终端融合解算脊柱姿态数据；实时显示每个脊柱的三维姿态图。该脊柱测量仪结构简单，小巧便携，操作简单，使用方便，可广泛应用于各种姿态测量场合，具有较长的使用寿命。



CN 110141240 A

1.一种基于磁/惯性器件的脊柱测量仪，其特征在于，该脊柱测量仪包括智能终端测量单元和分析报告单元；智能终端测量单元包括磁/惯性数据采集模块、数据处理和姿态融合解算模块、显示模块、传输模块和供电模块，该智能终端测量单元实现数据采集、处理、姿态融合解算和显示功能，可单独使用；分析报告单元硬件采用便携式笔记本电脑，采用USB串口接收和蓝牙无线接收数据，采用Processing IDE程序界面编程，接收和保存数据，实时显示脊柱三维姿态，并可远程获取数据。

2.权利要求1所述的一种基于磁/惯性器件的脊柱测量仪，其特征在于磁/惯性数据采集模块包括三轴磁强计、三轴加速度计、三轴陀螺仪和温度计，采集的三轴磁场强度、三轴加速度、三轴角速度和温度数据，通过高速采集卡或SPI接口把数据传输到数据处理和姿态解算模块。

3.权利要求1所述的一种基于磁/惯性器件的脊柱测量仪，其特征在于采集的数据先经过低通滤波器去除高频噪声，然后进行温度漂移和零偏静态误差补偿，采用统计卡尔曼滤波进行动态误差处理，最后根据处理后的磁场强度、加速度和角速度数据融合解算出脊柱姿态，并把原始磁场强度、加速度、角速度、温度和脊柱融合解算姿态数据记录到SD卡中。

4.权利要求1所述的一种基于磁/惯性器件的脊柱测量仪，其特征在于显示模块采用为SPI接口的4线TFT真彩屏，显示脊椎的三个角度——冠状面角(后凸角)、矢状面角(侧弯角)、横切面角(侧凸角)。

5.权利要求1所述的一种基于磁/惯性器件的脊柱测量仪，其特征在于传输模块采用USB串口和蓝牙双模式传输，实现有线和无线传输，蓝牙无线传输采用一对于加密模式，把原始磁场强度、加速度、角速度、温度和脊柱融合解算姿态数据传输到分析报告单元。

6.权利要求1所述的一种基于磁/惯性器件的脊柱测量仪，其特征在于脊柱姿态解算步骤：

(1)参照医疗行业人定义体姿态坐标系，脊柱三个角度——冠状面角(后凸角θ)、矢状面角(侧弯角γ)、横切面角(侧凸角ψ)，脊柱测量仪坐标系和地理坐标系的关系，即姿态矩阵$C_n^b(\psi,\theta,\gamma)$，姿态矩阵也可用四元数表示：$C_n^b(q_0,q_1,q_2,q_3)$；

(2)四元数微分方程：

$$\dot{Q}=\frac{1}{2}Q\omega=\begin{bmatrix}\dot{q}_0\\ \dot{q}_1\\ \dot{q}_2\\ \dot{q}_3\end{bmatrix}=\frac{1}{2}\begin{bmatrix}q_0 & -q_1 & -q_2 & -q_3\\ q_1 & q_0 & -q_3 & q_2\\ q_2 & q_3 & q_0 & -q_1\\ q_3 & -q_2 & q_1 & q_0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}0\\ \omega_x\\ \omega_y\\ \omega_z\end{bmatrix}=\frac{1}{2}\begin{bmatrix}0 & -\omega_x & -\omega_y & -\omega_z\\ \omega_x & 0 & \omega_z & \omega_y\\ \omega_y & -g_z & 0 & \omega_x\\ \omega_z & \omega_y & -\omega_x & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}q_0\\ q_1\\ q_2\\ q_3\end{bmatrix}$$

，可采用一阶龙格库塔法进行求解得：

$$\begin{bmatrix}q_0\\ q_1\\ q_2\\ q_3\end{bmatrix}_{t+T}=\begin{bmatrix}q_0\\ q_1\\ q_2\\ q_3\end{bmatrix}_t+\frac{T}{2}\begin{bmatrix}-\omega_x\cdot q_1-\omega_y\cdot q_2-\omega_z\cdot q_3\\ \omega_x\cdot q_0-\omega_y\cdot q_3+\omega_z\cdot q_2\\ \omega_x\cdot q_3+\omega_y\cdot q_0-\omega_z\cdot q_1\\ -\omega_x\cdot q_2+\omega_y\cdot q_1+\omega_z\cdot q_0\end{bmatrix}$$

，其中T为采样周期。

(3)由于脊柱姿态测量应以大地水平坐标系为参考，而侧弯基准参考没有要求，因为实际中脊柱侧弯角的测量，测量侧弯的增量即可，脊柱相对大地水平角度即后凸角和侧凸角，要想获得后凸角和侧凸角需要知道脊柱坐标系三轴上的重力加速度分量，可通过姿态矩阵

乘以重力矢量获得$\begin{bmatrix} g_{xc} \\ g_{yc} \\ g_{zc} \end{bmatrix} = C_n^b \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{bmatrix}$，其中g为重力加速度，$g_{xc}$，$g_{yc}$，$g_{zc}$为计算的脊柱坐标系三个轴向上的重力加速度分量；

(4)计算脊柱坐标系三个轴向上重力加速度分量$\begin{cases} g_{xc} = g\sin\theta \\ g_{yc} = -g\cos\theta\sin\gamma \\ g_{zc} = -g\cos\theta\cos\gamma \end{cases}$，由于姿态矩阵$C_n^b$存在误差，$g_{xc}$，$g_{yc}$，$g_{zc}$就存在误差，所以直接采用了测量仪中的加速度计数据来计算后凸θ_a和侧凸角γ_a为$\begin{cases} \theta_a = \tan^{-1}\dfrac{-a_x}{(a_y^2+a_z^2)^{1/2}} \\ \gamma_a = \tan^{-1}\dfrac{a_y}{a_z} \end{cases}$；

(5)对一个姿态测量系统来说，可以高速采样但做不到高速解算，因此利用每[0 T]的采样间隔内大量采集加速度计、陀螺仪和磁强计的三轴加速度、三轴角速度和三轴磁场数据，根据$\sigma^2 = \sum_{i=1}^{n-1}(d-\bar{d})^2/n-1$，其中d为周期内的采集数据，$\bar{d}$为采集数据均值，n为采集数据数，分别计算采集数据$\begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix}$，$\begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix}$，$\begin{bmatrix} m_x \\ m_y \\ m_z \end{bmatrix}$的方差为$\begin{bmatrix} \sigma_{a_x}^2 \\ \sigma_{a_y}^2 \\ \sigma_{a_z}^2 \end{bmatrix}$，$\begin{bmatrix} \sigma_{\omega_x}^2 \\ \sigma_{\omega_y}^2 \\ \sigma_{\omega_z}^2 \end{bmatrix}$和$\begin{bmatrix} \sigma_{m_x}^2 \\ \sigma_{m_y}^2 \\ \sigma_{m_z}^2 \end{bmatrix}$，一个周期内由陀螺仪数据计算的姿态增量$\begin{bmatrix} \Delta\theta \\ \Delta\phi \\ \Delta\psi \end{bmatrix} = \int_0^T \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} dt$的方差没有改变，方差还是$\begin{bmatrix} \sigma_{\omega_x}^2 \\ \sigma_{\omega_y}^2 \\ \sigma_{\omega_z}^2 \end{bmatrix}$；

(6)融合解算初始值确定：如果磁数据正常，则初始值为$\begin{cases} \theta = \theta_a \\ \gamma = \lambda_a \\ \psi = \psi_m \end{cases}$，$\psi_m$通过磁数据计算获得；如果磁数据异常或无磁数据，侧弯初始值无法确定，可假定ψ为0，即初始值为$\begin{cases} \theta = \theta_a \\ \gamma = \lambda_a \\ \psi = 0 \end{cases}$；

(7)更新由陀螺仪数据计算的角度：$\begin{bmatrix} \theta_g \\ \gamma_g \\ \psi_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \theta_{gl} + \omega_x dt \\ \gamma_{gl} + \omega_y dt \\ \psi_{gl} + \omega_z dt \end{bmatrix}$，其中$\theta_g$，$\gamma_g$，$\psi_g$为由角速度数据解算的角度，$\theta_{gl}$，$\gamma_{gl}$，$\psi_{gl}$为上一次由角速度数据解算的角度，也可采用四元数姿态更新解算；

(8)更新融合解算的角度：$\begin{cases} \theta = k_{\sigma_{\omega_x}}\theta_g + (1-k_{\sigma_{\omega_x}})\theta_a \\ \gamma = k_{\sigma_{\omega_y}}\gamma_g + (1-k_{\sigma_{\omega_y}})\gamma_a \\ \psi = k_{\sigma_{\omega_z}}\psi_g + (1-k_{\sigma_{\omega_z}})\psi_m \end{cases}$，其中$k_{\sigma_{\omega_x}}$，$k_{\sigma_{\omega_y}}$，$k_{\sigma_{\omega_z}}$融合系数；

(9)磁强计数据正常时更新融合系数：$\begin{cases} k_{\sigma_{\omega_x}} = \dfrac{\sigma_{\theta_a}^2}{\sigma_{\theta_a}^2 + \sigma_{\omega_x}^2} \\ k_{\sigma_{\omega_y}} = \dfrac{\sigma_{\gamma_a}^2}{\sigma_{\gamma_a}^2 + \sigma_{\omega_y}^2} \\ k_{\sigma_{\omega_z}} = \dfrac{\sigma_{\psi_a}^2}{\sigma_{\psi_m}^2 + \sigma_{\omega_z}^2} \end{cases}$，其中$\begin{cases} \sigma_{\theta_a} = \dfrac{\sigma_{a_x}}{\sqrt{\sigma_{a_y}^2 + \sigma_{a_z}^2}} \\ \sigma_{\gamma_a} = \dfrac{\sigma_{a_y}}{\sigma_{a_z}} \\ \sigma_{\psi_m} = \dfrac{\sigma_{m_y}}{\sigma_{m_x}} \end{cases}$；

(10)如果磁数据异常或无磁数据时，侧弯角融合解算的角度ψ采用x和y轴的加速度进行校正补偿；如果姿态矩阵C_n^b准确，则计算的三轴重力加速度矢量$\begin{bmatrix} g_{xc} \\ g_{yc} \\ g_{zc} \end{bmatrix}$和加速度计三个轴向上输出的加速度矢量$\begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix}$方向完全是一致的，但姿态矩阵存在误差，设侧弯角误差为Δψ，该误差正比于矢量$\begin{bmatrix} g_{xc} \\ g_{yc} \\ g_{zc} \end{bmatrix}$和矢量$\begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix}$的叉乘中的$a_x*g_{yc}-a_y*g_{xc}$项，设为$e_z$，设比例系数为$p = \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \end{bmatrix}$，则$\Delta\psi = p_1 e_z + p_2 \int_0^T e_z dt$，$p_1$为慢变(静态)误差系数，$p_2$为快变(动态)误差系数；

(11) $p = \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \end{bmatrix}$值的确定：从开机工作到再放置30s，系统自动记录这段每个解算周期内的姿态变化值Δψ、误差e_z和误差积分值$\int_0^T e_z dt$，即$\begin{cases} \Delta\psi_1, \Delta\psi_2, \cdots, \Delta\psi_n \\ e_{z_1}, e_{z_2}, \cdots e_{z_n} \\ \int_0^T e_{z_1} dt, \int_0^T e_{z_2} dt, \cdots, \int_0^T e_{z_n} dt \end{cases}$，采用递推最小二乘法拟合出$p = \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \end{bmatrix}$，则z轴角速度为$\omega_z = \bar{\omega}_z + p_1 e_z + p_2 e_z dT$，其中dT即采样周期T；

(12)侧弯角为$\psi = \psi_{gl} + \omega_z dT$，则磁数据异常或无磁数据时$\begin{cases} \theta = k_{\sigma_{\omega_x}} \theta_g + (1 - k_{\sigma_{\omega_x}}) \theta_a \\ \gamma = k_{\sigma_{\omega_y}} \gamma_g + (1 - k_{\sigma_{\omega_y}}) \gamma_a \\ \psi = \psi_{gl} + \omega_z dT \end{cases}$；

(13)如果姿态数据存在一个方向变化，说明去除零偏不完全，可进行常值系数补偿，也可进行转台标定来补偿。

一种基于磁/惯性器件的脊柱测量仪

技术领域

[0001] 本发明属于医疗器械领域，具体涉及一种基于磁/惯性器件的脊柱电子测量仪。

背景技术

[0002] 脊椎对人体是至关重要的，一旦脊柱出现变形会引发诸多症状，最为常见的有头部、颈部、前胸等关键位置出现疼痛现象，甚至还会出现大小便失禁，头晕、心慌等，最为严重的会出现瘫痪。

[0003] 脊柱变形是脊柱疾病的致病根源，早期测量早期矫正是至关重要的，目前采用的三种测量方法：Cobb角、Jackson生理应力曲线、Harrison后切线法，都是基于脊柱成像的基础上测量的，如X射线、CT扫描技术，这些测量方法患者必须得去相关的医疗机构，并且有一定的辐射性，测量成本较高，并且由于工作与日常生活的因素，不方便去测量。

[0004] 随着姿态测量技术的发展，出现了电子脊柱测量仪，如瑞士的Idiag SpinalMouse和以色列的SpineScanTM，其测量原理是一样的，基于相对于大地水平的角度测量，也即是三维重力感应技术；由于测量角度是根据三个轴向上的重力分量计算的，必定会受重力提取精度的影响；由于一次只能测量脊柱一个角度，要想其它角度测量时，就必需得更改为其它测量模式，导致测量操作繁琐；还有一种脊柱电子测量仪采用电阻式应变计或应变片，而应变是用来测量应力变化的，一般测量微小变化，而脊柱可能大角度的变化，所以在测量原理上可能存在一些问题；另外，由于这些电子脊柱测量仪由主机、工控机、打印机组成，还不能很好的做到便携。

发明内容

[0005] 近年来，随着MEMS技术的发展，MEMS器件以其成本低、体积小、寿命长、集成化、抗冲击能力强和可靠性高等优势，成为脊柱姿态测量的首选器件。

[0006] 本发明的目的在于通过由MEMS磁强计和MEMS惯性器件构建磁/惯性测量系统，通过由测量系统构成的智能测量终端脊在脊柱上滑动时的三轴加速度、三轴角速度和三轴磁场数据，通过融合解算测量数据，高精度的解算出每个脊椎的三个角度(冠状面角、矢状面角、横切面角)，进而就能获得整个脊柱的姿态和姿态变化。

[0007] 脊柱测量仪包括两个单元：智能终端测量单元和分析报告单元。

[0008] 智能终端测量单元包括：MEMS磁/惯性数据采集模块、数据处理和姿态融合解算模块、显示模块、传输模块和供电模块，该智能终端测量单元实现数据采集、处理、姿态融合解算和显示功能，可单独使用。

[0009] MEMS磁/惯性数据采集模块包括三轴磁强计、三轴加速度计、三轴陀螺仪和温度计，采集的三轴磁场强度、三轴加速度、三轴角速度和温度数据，通过高速采集卡或SPI接口把数据传输到数据处理和姿态解算模块。

[0010] 数据处理和姿态融合解算模块也即是脊柱姿态测量的核心模块，硬件上由高速的嵌入式处理器、静/动态存储器、micro SD卡、外围辅助电子元件构成，采集数据先经过低通

滤波器去除高频噪声，然后进行温度漂移和零偏静态误差补偿，采用统计卡尔曼滤波进行动态误差处理，最后根据处理后的磁场强度、加速度和角速度数据进行融合解算出姿态，并把原始磁场强度、加速度、角速度、温度和脊柱融合解算姿态数据记录到SD卡中。

[0011] 显示模块采用为SPI接口的4线TFT真彩屏，显示脊椎的三个角度——冠状面角(后凸角)、矢状面角(侧弯角)、横切面角(侧凸角)。

[0012] 传输模块采用USB串口和蓝牙双模式传输，实现有线和无线传输，蓝牙无线传输采用一对于加密模式，把原始磁场强度、加速度、角速度、温度和脊柱融合解算姿态数据传输到分析报告单元。

[0013] 供电模块采用锂电池。

[0014] 分析报告单元硬件采用便携式笔记本电脑，采用USB串口接收和蓝牙无线接收数据，显示界面采用Processing IDE程序编程，其功能包括：

(1)接收和保存磁场强度、加速度、角速度、温度和智能终端融合解算脊柱姿态数据；

(2)实时显示每个脊椎的三维姿态，并保存记录到专用数据库；

(3)实时显示脊柱的三维姿态图，并与正常脊柱姿态图作对比；

(4)相关医护人员或研究人员可远程获取，进行脊柱姿态诊断分析研究。

[0015] 脊柱测量仪的姿态解算步骤如下。

[0016] 参照医疗行业人定义体姿态坐标系，来表示脊柱三个角度——冠状面角(后凸角)、矢状面角(侧弯角)、横切面角(侧凸角)。

[0017] 定义脊柱测量仪坐标系和脊柱坐标系一致，设一向量P依次绕脊柱z、y、x旋转，旋转后的向量P'与之前的向量P的关系为$P'=R_xR_yR_zP$，其中

$$R_z=\begin{bmatrix}\cos\psi & \sin\psi & 0\\ -\sin\psi & \cos\psi & 0\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix},R_y=\begin{bmatrix}\cos\theta & 0 & -\sin\theta\\ 0 & 1 & 0\\ \sin\theta & 0 & \cos\theta\end{bmatrix},R_x=\begin{bmatrix}1 & 0 & 0\\ 0 & \cos\gamma & \sin\gamma\\ 0 & -\sin\gamma & \cos\gamma\end{bmatrix}$$

，$R_xR_yR_z$就是地理坐标系与脊柱(测量)坐标之间的旋转关系，即姿态矩阵：

$$C_n^b(\psi,\theta,\gamma)=\begin{bmatrix}\cos\theta\cos\psi & \cos\theta\sin\psi & -\sin\theta\\ \cos\psi\sin\theta\sin\gamma-\sin\psi\sin\gamma & \sin\psi\sin\theta\sin\gamma+\cos\psi\cos\gamma & \cos\theta\sin\gamma\\ \cos\psi\sin\theta\cos\gamma+\sin\psi\sin\gamma & \sin\psi\sin\theta\cos\gamma-\cos\psi\sin\gamma & \cos\theta\cos\gamma\end{bmatrix}$$

，姿态矩阵也可用四元数表示：$C_n^b(q_0,q_1,q_2,q_3)=\begin{bmatrix}q_0^2+q_1^2-q_2^2-q_3^2 & 2(q_1q_2-q_0q_3) & 2(q_1q_3+q_0q_2)\\ 2(q_1q_2+q_0q_3) & q_0^2-q_1^2+q_2^2-q_3^2 & 2(q_2q_3-q_0q_1)\\ 2(q_1q_3-q_0q_2) & 2(q_2q_3+q_0q_1) & q_0^2-q_1^2-q_2^2+q_3^2\end{bmatrix}$。

[0018] 四元数微分方程：

$$\dot{Q}=\frac{1}{2}Q\omega=\begin{bmatrix}\dot{q}_0\\ \dot{q}_1\\ \dot{q}_2\\ \dot{q}_3\end{bmatrix}=\frac{1}{2}\begin{bmatrix}q_0 & -q_1 & -q_2 & -q_3\\ q_1 & q_0 & -q_3 & q_2\\ q_2 & q_3 & q_0 & -q_1\\ q_3 & -q_2 & q_1 & q_0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}0\\ \omega_x\\ \omega_y\\ \omega_z\end{bmatrix}=\frac{1}{2}\begin{bmatrix}0 & -\omega_x & -\omega_y & -\omega_z\\ \omega_x & 0 & \omega_z & \omega_y\\ \omega_y & -g_z & 0 & \omega_x\\ \omega_z & \omega_y & -\omega_x & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}q_0\\ q_1\\ q_2\\ q_3\end{bmatrix}$$

，可采用一阶龙格库塔法进行求解得：$\begin{bmatrix}q_0\\ q_1\\ q_2\\ q_3\end{bmatrix}_{t+T}=\begin{bmatrix}q_0\\ q_1\\ q_2\\ q_3\end{bmatrix}_t+\frac{T}{2}\begin{bmatrix}-\omega_x\cdot q_1-\omega_y\cdot q_2-\omega_z\cdot q_3\\ \omega_x\cdot q_0-\omega_y\cdot q_3+\omega_z\cdot q_2\\ \omega_x\cdot q_3+\omega_y\cdot q_0-\omega_z\cdot q_1\\ -\omega_x\cdot q_2+\omega_y\cdot q_1+\omega_z\cdot q_0\end{bmatrix}$，其中T为采样周期。

[0019] 姿态角与四元数的关系为$\begin{cases} q_0=\cos(\gamma/2)\cos(\theta/2)\cos(\psi/2)+\sin(\gamma/2)\sin(\theta/2)\sin(\psi/2) \\ q_1=\sin(\gamma/2)\cos(\theta/2)\cos(\psi/2)-\cos(\gamma/2)\sin(\theta/2)\sin(\psi/2) \\ q_2=\cos(\gamma/2)\sin(\theta/2)\cos(\psi/2)+\sin(\gamma/2)\cos(\theta/2)\sin(\psi/2) \\ q_3=\cos(\gamma/2)\cos(\theta/2)\sin(\psi/2)-\sin(\gamma/2)\sin(\theta/2)\cos(\psi/2) \end{cases}$。

[0020] 由于脊柱姿态测量应以大地水平坐标系为参考，而侧弯基准参考没有要求，因为实际中脊柱侧弯角的测量，测量侧弯的增量即可。

[0021] 脊柱相对大地水平角度即后凸角和侧凸角，要想获得后凸角和侧凸角需要知道脊柱坐标系三轴上的重力加速度分量，可通过姿态矩阵乘以重力矢量获得$\begin{bmatrix} g_{xc} \\ g_{yc} \\ g_{zc} \end{bmatrix}=C_n^b\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{bmatrix}$，其中g为重力加速度，$g_{xc}$，$g_{yc}$，$g_{zc}$为计算的脊柱坐标系三个轴向上的重力加速度分量。

[0022] 计算脊柱坐标系三个轴向上重力加速度分量$\begin{cases} g_{xc}=g\sin\theta \\ g_{yc}=-g\cos\theta\sin\gamma \\ g_{zc}=-g\cos\theta\cos\gamma \end{cases}$，由于姿态矩阵$C_n^b$存在误差，$g_{xc}$，$g_{yc}$，$g_{zc}$就存在误差，所以直接采用了测量仪中的加速度计数据来计算后凸θ_a和侧凸角γ_a为$\begin{cases} \theta_a=\tan^{-1}\dfrac{-a_x}{(a_y^2+a_z^2)^{1/2}} \\ \gamma_a=\tan^{-1}\dfrac{a_y}{a_z} \end{cases}$，当然也是存在误差的，需要融合处理。

[0023] 对一个姿态测量系统来说，可以高速采样但做不到高速解算，因此利用每[0 T]的采样间隔内，进行大量采集加速度计、陀螺仪和磁强计的三轴加速度、三轴角速度和三轴磁场数据，根据$\sigma^2=\sum_{i=1}^{n-1}(d-\bar{d})^2/n-1$，其中d为周期内的采集数据，$\bar{d}$为采集数据均值，n为采集数据数，分别计算采集数据$\begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix}$，$\begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix}$，$\begin{bmatrix} m_x \\ m_y \\ m_z \end{bmatrix}$的方差为$\begin{bmatrix} \sigma_{a_x}^2 \\ \sigma_{a_y}^2 \\ \sigma_{a_z}^2 \end{bmatrix}$，$\begin{bmatrix} \sigma_{\omega_x}^2 \\ \sigma_{\omega_y}^2 \\ \sigma_{\omega_z}^2 \end{bmatrix}$和$\begin{bmatrix} \sigma_{m_x}^2 \\ \sigma_{m_y}^2 \\ \sigma_{m_z}^2 \end{bmatrix}$。

[0024] 一个周期内由陀螺仪数据计算的姿态增量$\begin{bmatrix} \Delta\theta \\ \Delta\phi \\ \Delta\psi \end{bmatrix}=\int_0^T\begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix}dt$的方差没有改变，方差还是$\begin{bmatrix} \sigma_{\omega_x}^2 \\ \sigma_{\omega_y}^2 \\ \sigma_{\omega_z}^2 \end{bmatrix}$。

[0025] 融合解算初始值确定：如果磁数据正常，则初始值为$\begin{cases} \theta=\theta_a \\ \gamma=\lambda_a \\ \psi=\psi_m \end{cases}$，$\psi_m$通过磁数据计算获

得;如果磁数据异常或无磁数据,侧弯初始值无法确定,先假定ψ为0,即初始值为$\begin{cases}\theta=\theta_a\\ \gamma=\lambda_a\\ \psi=0\end{cases}$。

[0026] 更新由陀螺仪数据计算的角度:$\begin{bmatrix}\theta_g\\ \gamma_g\\ \psi_g\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\theta_{gl}+\omega_x dt\\ \gamma_{gl}+\omega_y dt\\ \psi_{gl}+\omega_z dt\end{bmatrix}$,其中$\theta_g$,$\gamma_g$,$\psi_g$为由角速度数据解算的角度,$\theta_{gl}$,$\gamma_{gl}$,$\psi_{gl}$为上一次由角速度数据解算的角度,也可采用四元数姿态角度更新解算。

[0027] 更新融合解算的角度:$\begin{cases}\theta=k_{\sigma_{\omega_x}}\theta_g+(1-k_{\sigma_{\omega_x}})\theta_a\\ \gamma=k_{\sigma_{\omega_y}}\gamma_g+(1-k_{\sigma_{\omega_y}})\gamma_a\\ \psi=k_{\sigma_{\omega_z}}\psi_g+(1-k_{\sigma_{\omega_z}})\psi_m\end{cases}$,其中$k_{\sigma_{\omega_x}},k_{\sigma_{\omega_y}},k_{\sigma_{\omega_z}}$融合系数。

[0028] 磁强计数据正常时更新融合系数:$\begin{cases}k_{\sigma_{\omega_x}}=\dfrac{\sigma_{\theta_a}^2}{\sigma_{\theta_a}^2+\sigma_{\omega_x}^2}\\ k_{\sigma_{\omega_y}}=\dfrac{\sigma_{\gamma_a}^2}{\sigma_{\gamma_a}^2+\sigma_{\omega_y}^2}\\ k_{\sigma_{\omega_z}}=\dfrac{\sigma_{\psi_a}^2}{\sigma_{\psi_m}^2+\sigma_{\omega_z}^2}\end{cases}$,其中$\begin{cases}\sigma_{\theta_a}=\dfrac{\sigma_{a_x}}{\sqrt{\sigma_{a_y}^2+\sigma_{a_z}^2}}\\ \sigma_{\gamma_a}=\dfrac{\sigma_{a_y}}{\sigma_{a_z}}\\ \sigma_{\psi_m}=\dfrac{\sigma_{m_y}}{\sigma_{m_x}}\end{cases}$。

[0029] 如果磁数据异常或无磁数据时,侧弯角融合解算的角度ψ采用x和y轴的加速度进行校正补偿。

[0030] 如果姿态矩阵C_n^b准确,则计算的三轴重力加速度矢量$\begin{bmatrix}g_{xc}\\ g_{yc}\\ g_{zc}\end{bmatrix}$和加速度计三个轴向上输出的加速度矢量$\begin{bmatrix}a_x\\ a_y\\ a_z\end{bmatrix}$方向完全是一致的,但姿态矩阵存在误差,设侧弯角误差为Δψ,该误差正比于矢量$\begin{bmatrix}g_{xc}\\ g_{yc}\\ g_{zc}\end{bmatrix}$和矢量$\begin{bmatrix}a_x\\ a_y\\ a_z\end{bmatrix}$的叉乘中的$a_x*g_{yc}-a_y*g_{xc}$项,设为$e_z$,设比例系数为$p=\begin{bmatrix}p_1\\ p_2\end{bmatrix}$,则$\Delta\psi=p_1e_z+p_2\int_0^T e_z dt$,$p_1$为慢变(静态)误差系数,$p_2$为快变(动态)误差系数。

[0031] $p=\begin{bmatrix}p_1\\ p_2\end{bmatrix}$值的确定:开机工作到再放置30s,记录这段每个解算周期内的姿态变化

值Δψ、误差e_z和误差积分值$\int_0^T e_z dt$，即$\begin{cases}\Delta\psi_1,\Delta\psi_2,\cdots,\Delta\psi_n\\ e_{z_1},e_{z_2},\cdots e_{z_n}\\ \int_0^T e_{z_1}dt,\int_0^T e_{z_2}dt,\cdots,\int_0^T e_{z_n}dt\end{cases}$，采用递推最小二乘法拟合出$p=\begin{bmatrix}p_1\\p_2\end{bmatrix}$，则z轴角速度为$\omega_z=\bar{\omega}_z+p_1e_z+p_2e_zdT$。

[0032] 侧弯角为ψ＝$\psi_{gl}+\omega_z dT$，其中$\omega_z=\bar{\omega}_z+k_pe_z+k_ie_zdT$，则磁数据异常或无磁数据时

$$\begin{cases}\theta=k_{\sigma_{\omega_x}}\theta_g+(1-k_{\sigma_{\omega_x}})\theta_a\\ \gamma=k_{\sigma_{\omega_y}}\gamma_g+(1-k_{\sigma_{\omega_y}})\gamma_a\\ \psi=\psi_{gl}+\omega_zdT\end{cases}。$$

[0033] 如果姿态数据存在一个方向变化，说明去除零偏不完全，可进行常值系数补偿，也可进行转台标定来补偿。

[0034] 该脊柱测量仪结构简单，小巧便携，操作简单，使用方便，可广泛应用于各种姿态测量场合，具有较长的使用寿命。

附图说明

[0035] 图1是脊柱坐标系定义。

[0036] 图2是本发明测量仪的系统结构组成。

[0037] 图3是本发明的姿态融合解算流程。

具体实施方式

[0038] 一种基于磁/惯性数据的脊柱测量仪，通过由MEMS磁强计和MEMS惯性器件构建磁/惯性测量系统，通过由测量系统构成的智能测量终端脊在脊柱上滑动时的三轴加速度、三轴角速度和三轴磁场数据，通过融合解算测量数据，高精度的解算出每个脊椎的三个角度(冠状面角、矢状面角、横切面角)，进而就能获得整个脊柱的姿态及其变化，以下结合附图说明本发明的具体实施。

[0039] 脊柱测量仪包括两个单元：智能终端测量单元和分析报告单元，如图1所示。

[0040] MEMS器件以其成本低、体积小、寿命长、集成化、抗冲击能力强和可靠性高等优势，成为脊柱智能终端测量单元的首选器件。

[0041] 如图1，智能终端测量单元包括：MEMS磁/惯性数据采集模块、数据处理和姿态融合解算模块、显示模块、传输模块和供电模块，该智能终端测量单元实现数据采集、处理、姿态融合解算和显示功能，可单独使用。

[0042] MEMS磁/惯性数据采集模块包括三轴磁强计、三轴加速度计、三轴陀螺仪和温度计，采集的三轴磁场强度、三轴加速度、三轴角速度和温度数据，通过高速采集卡或SPI接口把数据传输到数据处理和姿态解算模块。

[0043] MEMS磁/惯性数据采集模块可采用分立器件构成，即三轴加速度计、三轴陀螺仪、

三轴磁强计和温度计，分立器件性能会好一些，但会存在不正交误差，考虑此因素采用集成化的MEMS ADIS16405BMLZ器件，内部包括三轴陀螺仪、三轴加速度计和三轴磁力仪，尺寸为23mm×23mm×23mm，分辨率为14位，带宽为350Hz，三轴陀螺仪测量范围为±75°/s—±300°/s，RMS噪声为0.03°/sec/√Hz，三轴加速计测量范围±18g，工作温度范围为-40℃至+105℃，SPI通讯接口。

[0044] 数据处理和姿态融合解算模块也即是脊柱姿态测量的核心模块，硬件上由350M～500MHz时钟频率的ARM1176JZ嵌入式处理器，ROM/RAM存储器、SD卡、外围辅助电子元件构成，采集数据先经过低通滤波器去除高频噪声，然后进行温度漂移和零偏静态误差补偿，采用统计卡尔曼滤波进行动态误差处理，最后根据处理后的磁场强度、加速度和角速度数据融合解算出脊柱姿态，并把原始磁场强度、加速度、角速度、温度和脊柱融合解算姿态数据记录到SD卡中。

[0045] 显示模块采用为SPI接口的4线TFT真彩屏，显示脊椎的三个角度——冠状面角(后凸角)、矢状面角(侧弯角)、横切面角(侧凸角)。

[0046] 传输模块采用USB串口和蓝牙双模式传输，实现有线和无线传输，蓝牙无线传输采用一对于加密模式，把原始磁场强度、加速度、角速度、温度和脊柱融合解算姿态数据传输到分析报告单元。

[0047] 供电模块采用锂电池。

[0048] 分析报告单元硬件采用便携式笔记本电脑，采用USB串口接收和蓝牙无线接收数据，显示界面采用Processing IDE程序编程，其功能包括：

(1)接收和保存磁场强度、加速度、角速度、温度和智能终端融合解算脊柱姿态数据；

(2)实时显示每个脊椎的三维姿态，并保存记录到专用数据库；

(3)实时显示脊柱的三维姿态图，并与正常脊柱姿态图作对比；

(4)相关医护人员或研究人员可远程获取，进行脊柱姿态诊断分析研究。

[0049] 脊柱测量仪的姿态解算流程如图3所示。

[0050] 参照医疗行业人定义体姿态坐标系，如图2所示，脊柱三个角度——冠状面角(后凸角)、矢状面角(侧弯角)、横切面角(侧凸角)。

[0051] 定义脊柱测量仪坐标系和脊柱坐标系一致，设一向量P依次绕脊柱z、y、x旋转，旋转后的向量P'与之前的向量P的关系为P'＝$R_xR_yR_zP$，其中

$$R_Z=\begin{bmatrix}\cos\psi & \sin\psi & 0\\ -\sin\psi & \cos\psi & 0\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix},\quad R_Y=\begin{bmatrix}\cos\theta & 0 & -\sin\theta\\ 0 & 1 & 0\\ \sin\theta & 0 & \cos\theta\end{bmatrix},\quad R_X=\begin{bmatrix}1 & 0 & 0\\ 0 & \cos\gamma & \sin\gamma\\ 0 & -\sin\gamma & \cos\gamma\end{bmatrix}$$

，$R_xR_yR_z$就是地理坐标系与脊柱(测量)坐标之间的旋转关系，即姿态矩阵：

$$C_n^b(\psi,\theta,\gamma)=\begin{bmatrix}\cos\theta\cos\psi & \cos\theta\sin\psi & -\sin\theta\\ \cos\psi\sin\theta\sin\gamma-\sin\psi\sin\gamma & \sin\psi\sin\theta\sin\gamma+\cos\psi\cos\gamma & \cos\theta\sin\gamma\\ \cos\psi\sin\theta\cos\gamma+\sin\psi\sin\gamma & \sin\psi\sin\theta\cos\gamma-\cos\psi\sin\gamma & \cos\theta\cos\gamma\end{bmatrix}$$

，姿态矩阵也可用四元数表示：$C_n^b(q_0,q_1,q_2,q_3)=\begin{bmatrix}q_0^2+q_1^2-q_2^2-q_3^2 & 2(q_1q_2-q_0q_3) & 2(q_1q_3+q_0q_2)\\ 2(q_1q_2+q_0q_3) & q_0^2-q_1^2+q_2^2-q_3^2 & 2(q_2q_3-q_0q_1)\\ 2(q_1q_3-q_0q_2) & 2(q_2q_3+q_0q_1) & q_0^2-q_1^2-q_2^2+q_3^2\end{bmatrix}$。

[0052] 四元数微分方程：

$$\dot{Q}=\frac{1}{2}Q\omega=\begin{bmatrix}\dot{q}_0\\ \dot{q}_1\\ \dot{q}_2\\ \dot{q}_3\end{bmatrix}=\frac{1}{2}\begin{bmatrix}q_0 & -q_1 & -q_2 & -q_3\\ q_1 & q_0 & -q_3 & q_2\\ q_2 & q_3 & q_0 & -q_1\\ q_3 & -q_2 & q_1 & q_0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}0\\ \omega_x\\ \omega_y\\ \omega_z\end{bmatrix}=\frac{1}{2}\begin{bmatrix}0 & -\omega_x & -\omega_y & -\omega_z\\ \omega_x & 0 & \omega_z & \omega_y\\ \omega_y & -g_z & 0 & \omega_x\\ \omega_z & \omega_y & -\omega_x & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}q_0\\ q_1\\ q_2\\ q_3\end{bmatrix}$$，可采用一阶龙格库塔法进行求解得：$$\begin{bmatrix}q_0\\ q_1\\ q_2\\ q_3\end{bmatrix}_{t+T}=\begin{bmatrix}q_0\\ q_1\\ q_2\\ q_3\end{bmatrix}_t+\frac{T}{2}\begin{bmatrix}-\omega_x\cdot q_1-\omega_y\cdot q_2-\omega_z\cdot q_3\\ \omega_x\cdot q_0-\omega_y\cdot q_3+\omega_z\cdot q_2\\ \omega_x\cdot q_3+\omega_y\cdot q_0-\omega_z\cdot q_1\\ -\omega_x\cdot q_2+\omega_y\cdot q_1+\omega_z\cdot q_0\end{bmatrix}$$，其中T为采样周期。

[0053] 由于脊柱姿态测量应以大地水平坐标系为参考，而侧弯基准参考没有要求，因为实际中脊柱侧弯角的测量，测量侧弯的增量即可。

[0054] 脊柱相对大地水平角度即后凸角和侧凸角，要想获得后凸角和侧凸角需要知道脊柱坐标系三轴上的重力加速度分量，可通过姿态矩阵乘以重力矢量获得$$\begin{bmatrix}g_{xc}\\ g_{yc}\\ g_{zc}\end{bmatrix}=C_n^b\begin{bmatrix}0\\ 0\\ -g\end{bmatrix}$$，其中g为重力加速度，g_{xc}，g_{yc}，g_{zc}为计算的脊柱坐标系三个轴向上的重力加速度分量。

[0055] 计算脊柱坐标系三个轴向上重力加速度分量$$\begin{cases}g_{xc}=g\sin\theta\\ g_{yc}=-g\cos\theta\sin\gamma\\ g_{zc}=-g\cos\theta\cos\gamma\end{cases}$$，由于姿态矩阵C_n^b存在误差，g_{xc}，g_{yc}，g_{zc}就存在误差，所以直接采用了测量仪中的加速度计数据来计算后凸θ_a和侧凸角γ_a为$$\begin{cases}\theta_a=\tan^{-1}\dfrac{-a_x}{(a_y^2+a_z^2)^{1/2}}\\ \gamma_a=\tan^{-1}\dfrac{a_y}{a_z}\end{cases}$$，当然也是存在误差的，需要融合处理。

[0056] 对一个姿态测量系统来说，可以高速采样但做不到高速解算，因此利用每[0 T]的采样间隔内大量采集加速度计、陀螺仪和磁强计的三轴加速度、三轴角速度和三轴磁场数据，根据$\sigma^2=\sum_{i=1}^{n-1}(d-\bar{d})^2/n-1$，其中d为周期内的采集数据，$\bar{d}$为采集数据均值，n为采集数据数，分别计算采集数据$\begin{bmatrix}a_x\\ a_y\\ a_z\end{bmatrix}$，$\begin{bmatrix}\omega_x\\ \omega_y\\ \omega_z\end{bmatrix}$，$\begin{bmatrix}m_x\\ m_y\\ m_z\end{bmatrix}$的方差为$\begin{bmatrix}\sigma^2_{a_x}\\ \sigma^2_{a_y}\\ \sigma^2_{a_z}\end{bmatrix}$，$\begin{bmatrix}\sigma^2_{\omega_x}\\ \sigma^2_{\omega_y}\\ \sigma^2_{\omega_z}\end{bmatrix}$和$\begin{bmatrix}\sigma^2_{m_x}\\ \sigma^2_{m_y}\\ \sigma^2_{m_z}\end{bmatrix}$。

[0057] 一个周期内由陀螺仪数据计算的姿态增量$\begin{bmatrix}\Delta\theta\\ \Delta\phi\\ \Delta\psi\end{bmatrix}=\int_0^T\begin{bmatrix}\omega_x\\ \omega_y\\ \omega_z\end{bmatrix}dt$的方差没有改变，方差还是$\begin{bmatrix}\sigma^2_{\omega_x}\\ \sigma^2_{\omega_y}\\ \sigma^2_{\omega_z}\end{bmatrix}$。

[0058] 融合解算初始值确定：如果磁数据正常，则初始值为$\begin{cases}\theta=\theta_a\\ \gamma=\lambda_a\\ \psi=\psi_m\end{cases}$，ψm通过磁数据计算获得；如果磁数据异常或无磁数据，侧弯初始值无法确定，先假定ψ为0，即初始值为$\begin{cases}\theta=\theta_a\\ \gamma=\lambda_a\\ \psi=0\end{cases}$。

[0059] 更新由陀螺仪数据计算的角度：$\begin{bmatrix}\theta_g\\ \gamma_g\\ \psi_g\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\theta_{gl}+\omega_x dt\\ \gamma_{gl}+\omega_y dt\\ \psi_{gl}+\omega_z dt\end{bmatrix}$，其中θg，γg，ψg为由角速度数据解算的角度，θgl，γgl，ψgl为上一次由角速度数据解算的角度，也可采用四元数姿态更新解算。

[0060] 更新融合解算的角度：$\begin{cases}\theta=k_{\sigma_{\omega_x}}\theta_g+(1-k_{\sigma_{\omega_x}})\theta_a\\ \gamma=k_{\sigma_{\omega_y}}\gamma_g+(1-k_{\sigma_{\omega_y}})\gamma_a\\ \psi=k_{\sigma_{\omega_z}}\psi_g+(1-k_{\sigma_{\omega_z}})\psi_m\end{cases}$，其中$k_{\sigma_{\omega_x}},k_{\sigma_{\omega_y}},k_{\sigma_{\omega_z}}$融合系数。

[0061] 磁强计数据正常时更新融合系数：$\begin{cases}k_{\sigma_{\omega_x}}=\dfrac{\sigma_{\theta_a}^2}{\sigma_{\theta_a}^2+\sigma_{\omega_x}^2}\\ k_{\sigma_{\omega_y}}=\dfrac{\sigma_{\gamma_a}^2}{\sigma_{\gamma_a}^2+\sigma_{\omega_y}^2}\\ k_{\sigma_{\omega_z}}=\dfrac{\sigma_{\psi_a}^2}{\sigma_{\psi_m}^2+\sigma_{\omega_z}^2}\end{cases}$，其中$\begin{cases}\sigma_{\theta_a}=\dfrac{\sigma_{a_x}}{\sqrt{\sigma_{a_y}^2+\sigma_{a_z}^2}}\\ \sigma_{\gamma_a}=\dfrac{\sigma_{a_y}}{\sigma_{a_z}}\\ \sigma_{\psi_m}=\dfrac{\sigma_{m_y}}{\sigma_{m_x}}\end{cases}$。

[0062] 如果磁数据异常或无磁数据时，侧弯角融合解算的角度ψ采用x和y轴的加速度进行校正补偿。

[0063] 如果姿态矩阵C_n^b准确，则计算的三轴重力加速度矢量$\begin{bmatrix}g_{xc}\\ g_{yc}\\ g_{zc}\end{bmatrix}$和加速度计三个轴向上输出的加速度矢量$\begin{bmatrix}a_x\\ a_y\\ a_z\end{bmatrix}$方向完全是一致的，但姿态矩阵存在误差，设侧弯角误差为Δψ，该误差正比于矢量$\begin{bmatrix}g_{xc}\\ g_{yc}\\ g_{zc}\end{bmatrix}$和矢量$\begin{bmatrix}a_x\\ a_y\\ a_z\end{bmatrix}$的叉乘中的$a_x*g_{yc}-a_y*g_{xc}$项，设为$e_z$，设比例系数为$p=\begin{bmatrix}p_1\\ p_2\end{bmatrix}$，则$\Delta\psi=p_1e_z+p_2\int_0^T e_z dt$，p1为慢变(静态)误差系数，p2为快变(动态)误差系数。

[0064] $p=\begin{bmatrix}p_1\\ p_2\end{bmatrix}$值的确定：从开机工作到再放置30s，系统自动记录这段每个解算周期内

的姿态变化值Δψ、误差e_z和误差积分值$\int_0^T e_z dt$，即$\begin{cases}\Delta\psi_1,\Delta\psi_2,\cdots,\Delta\psi_n\\ e_{z_1},e_{z_2},\cdots e_{z_n}\\ \int_0^T e_{z_1}dt,\int_0^T e_{z_2}dt,\cdots,\int_0^T e_{z_n}dt\end{cases}$，采用递推最小二乘法拟合出$p=\begin{bmatrix}p_1\\ p_2\end{bmatrix}$，则z轴角速度为$\omega_z=\bar{\omega}_z+p_1e_z+p_2e_zdT$，其中dT即采样周期T。

[0065] 侧弯角为ψ＝$\psi_{gl}+\omega_z dT$，其中$\omega_z=\bar{\omega}_z+k_pe_z+k_ie_zdT$，则磁数据异常或无磁数据时

$$\begin{cases}\theta=k_{\sigma_{\omega_x}}\theta_g+(1-k_{\sigma_{\omega_x}})\theta_a\\ \gamma=k_{\sigma_{\omega_y}}\gamma_g+(1-k_{\sigma_{\omega_y}})\gamma_a\\ \psi=\psi_{gl}+\omega_z dT\end{cases}。$$

[0066] 如果姿态数据存在一个方向变化，说明去除零偏不完全，可进行常值系数补偿，也可进行转台标定来补偿。

[0067] 最后说明的是以上实施案例仅用于说明本发明的技术方案而非限制，可以对本发明进行修改或更换，而不脱离本技术方案的范围，其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

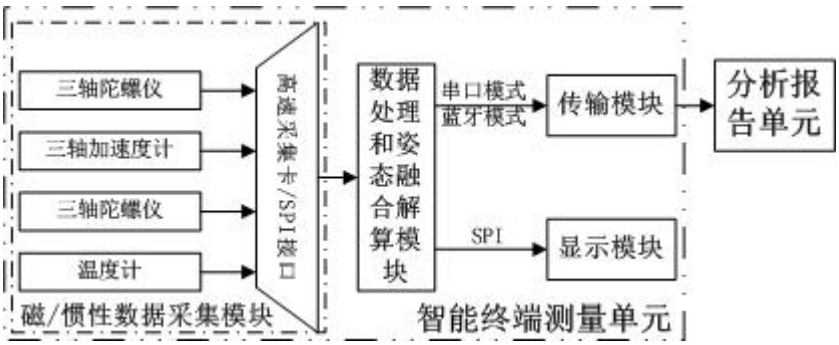

三轴陀螺仪
三轴加速度计
三轴陀螺仪
温度计
融合采集卡/SPI接口
磁/惯性数据采集模块
数据处理和姿态融合解算模块
串口模式
蓝牙模式
传输模块
SPI
显示模块
分析报告单元
智能终端测量单元

图 1

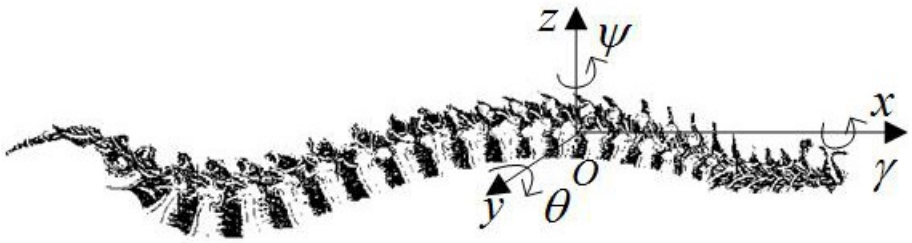

z
ψ
x
O
γ
y
θ

图 2

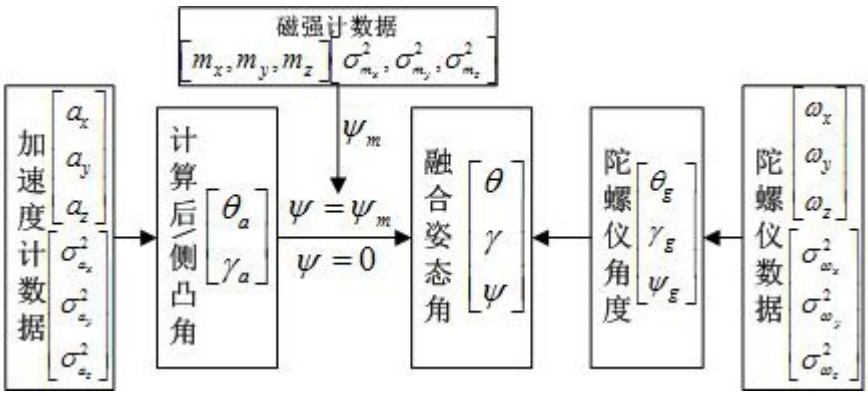
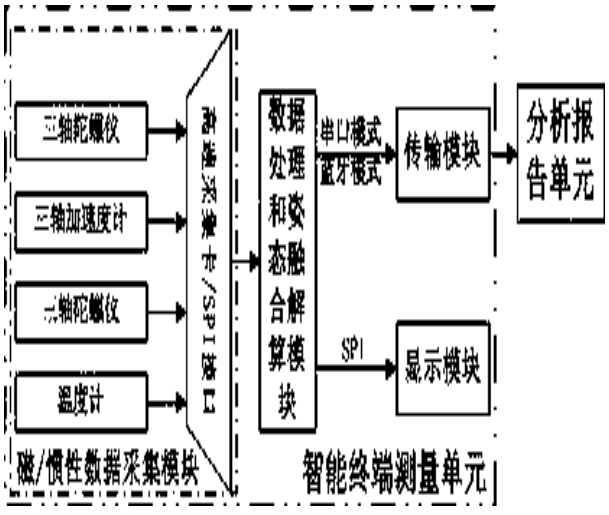

磁强计数据
m_x, m_y, m_z
$\sigma^2_{m_x}, \sigma^2_{m_y}, \sigma^2_{m_z}$
加速度计数据
a_x a_y a_z
$\sigma^2_{a_x}$ $\sigma^2_{a_y}$ $\sigma^2_{a_z}$
计算后/侧凸角
θ_a γ_a
ψ_m
$\psi = \psi_m$
$\psi = 0$
融合姿态角
θ γ ψ
陀螺仪角度
θ_g γ_g ψ_g
陀螺仪数据
ω_x ω_y ω_z
$\sigma^2_{\omega_x}$ $\sigma^2_{\omega_y}$ $\sigma^2_{\omega_z}$

图 3

专利名称(译)	一种基于磁/惯性器件的脊柱测量仪		
公开(公告)号	CN110141240A	公开(公告)日	2019-08-20
申请号	CN201910485335.X	申请日	2019-06-05
[标]申请(专利权)人(译)	河南理工大学		
申请(专利权)人(译)	河南理工大学		
当前申请(专利权)人(译)	河南理工大学		
[标]发明人	杨金显 王亚平 张颖 钱伟 王蒙蒙		
发明人	杨金显 王亚平 张颖 钱伟 王蒙蒙		
IPC分类号	A61B5/11 A61B5/00 A61B5/107		
CPC分类号	A61B5/0004 A61B5/1071 A61B5/1114 A61B5/4566 A61B5/72		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明公开一种基于磁/惯性数据的脊柱测量仪，其特征在于，该脊柱测量仪包括智能终端测量单元和分析报告单元；智能终端测量单元包括磁/惯性数据采集模块、数据处理和姿态融合解算模块、显示模块、传输模块和供电模块，该智能终端测量单元实现数据采集、处理、姿态融合解算和显示功能，可单独使用；分析报告单元硬件采用便携式笔记本电脑，采用USB串口接收和蓝牙无线接收数据，显示界面采用Processing IDE程序编程，其功能包括接收和保存磁场强度、加速度、角速度、温度和智能终端融合解算脊柱姿态数据；实时显示每个脊柱的三维姿态图。该脊柱测量仪结构简单，小巧便携，操作简单，使用方便，可广泛应用于各种姿态测量场合，具有较长的使用寿命。