



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102866430 A

(43) 申请公布日 2013. 01. 09

(21) 申请号 201210243865. 1

(22) 申请日 2012. 07. 16

(71) 申请人 上海大学

地址 200444 上海市宝山区上大路 99 号

(72) 发明人 郑学理 吴艳 付敬奇

(74) 专利代理机构 上海上大专利事务所(普通合伙) 31205

代理人 何文欣

(51) Int. Cl.

G01V 3/40(2006. 01)

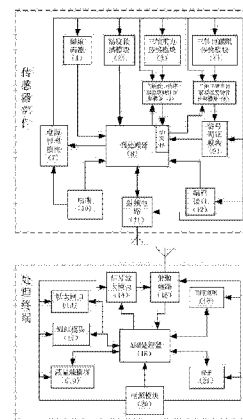
权利要求书 3 页 说明书 7 页 附图 3 页

(54) 发明名称

一种基于无线通信技术的地磁测量系统及其温度补偿方法

(57) 摘要

本发明公开一种基于无线通信技术的地磁测量系统及其温度补偿方法。本系统包括完成三轴地磁信息、三轴重力信息、温度信息及磁编码盘速度信息采集的传感器部件和完成多传感器信息融合、系统温度补偿、地磁方位角解算、存储和显示功能的处理终端构成。其特征在于传感器部件和处理终端之间采用无线通信方式进行数据交换。本系统采用上述装置,由处理终端利用基于遗传算法的 Marr 小波基 Elman 神经网络进行温度补偿及多传感器数据融合处理,提高系统测量的精度及智能化程度。本发明基于无线通信技术将传感器部件和处理终端进行分离,可以大大减小传感器部件的体积、扩展传感器部件的应用范围。另外本发明集成度高、开发成本低、处理能力强。



1. 一种基于无线通信技术的地磁测量系统,由传感器部件和处理终端两部分组成;其特征在于:所述传感器部件是:磁编码器(1)、温度传感模块(2)和三轴重力传感模块(3)通过三轴重力传感器温度硬件补偿模块(5)连接微处理器(8),三轴巨磁阻传感模块(4)通过三轴巨磁阻传感器温度硬件补偿模块(6)和信号调理模块(9)连接微处理器(8),微处理器(8)还连接射频电路(11)和编程接口(12),电池(10)经电源管理模块(7)为各器件提供工作电源;所述处理终端是一个 ARM 处理器(18)连接以太网口(13)、信号放大模块(14)、射频电路(15)、EEPROM (16)、WIFI 模块(17)、液晶触摸屏(19)和 DSP (21),电源模块(20)为各器件提供工作电源。

2. 根据权利要求 1 所述的基于无线通信技术的地磁测量系统,其特征在于:所述电池(10)为微处理器(8)和电源管理模块(7)提供稳定电源;所述电源管理模块(7)在微处理器(8)的控制下周期性的为磁编码器(1)、温度传感模块(2)、三轴重力传感模块(3)、三轴巨磁阻传感模块(4)、三轴重力传感器温度硬件补偿模块(5)、三轴巨磁阻传感器温度硬件补偿模块(6)、信号调理模块(9)、射频电路(11)和编程接口(12)提供稳定电源;所述磁编码器(1)采集传感器部件的运行速度,温度传感模块(2)采集温度信息,三轴重力传感模块(3)采集重力信息并经三轴重力传感器温度硬件补偿模块(5)补偿,三轴巨磁阻传感模块(4)采集磁场信息并经三轴巨磁阻传感器温度硬件补偿模块(6)补偿及信号调理模块(9)处理后与速度信息、温度信息和重力信息一起传送给微处理器(8),微处理器(8)进行信息整合后通过射频电路(11)将数据无线发送给处理终端。

3. 权利要求 1 所述的基于无线通信技术的地磁测量系统,其特征在于:所述电池模块(20)为以太网口(13)、信号放大模块(14)、射频电路(15)、EEPROM (16)、WIFI 模块(17)、ARM 处理器(18)、液晶触摸屏(19)和 DSP (21)供电;在数据发送过程中,ARM 处理器(18)将需要发送的数据通过信号放大模块(14)进行处理后由射频电路(15)发送;在数据接收过程中,ARM 处理器(18)从射频电路(15)接收数据,并根据需要将数据送入 EEPROM (16)和 DSP (21)进行数据存储和数据处理;所述液晶触摸屏(19)用于信息显示和命令输入;所述以太网口(13)通过 Internet 实现处理终端与 PC 机之间的通信;所述 WIFI 模块(17)通过无线模式实现处理终端与 Internet 之间的信息交换。

4. 权利要求 1 所述的基于无线通信技术的地磁测量系统,其特征在于:一个处理终端可以同时和多个传感器部件进行通信,可以根据实际使用需求选择传感器部件的数量。

5. 一种基于无线通信技术的地磁测量系统的基于遗传算法的 Marr 小波基 Elman 神经网络温度补偿方法,采用权利要求 1 所述基于无线通信技术的地磁测量系统进行温度补偿,其特征在于运行的步骤如下:

1) 系统上电后初始化:传感器部件中微处理器(8)、处理终端中 ARM 处理器(18)、EEPROM (16)及 DSP (21)初始化;

2) 建立无线连接:处理终端与传感器部件之间建立无线通信连接;

3) 信号采集:处理终端向传感器部件发出采集命令后,微处理器(8)控制电源管理模块(7)周期性的为磁编码器(1)、温度传感模块(2)、三轴重力传感模块(3)、三轴巨磁阻传感模块(4)、信号调理模块(9)、射频电路(11)供电,同时微处理器(8)将采集到的信息周期发送给处理终端,ARM 处理器(18)将接收到的磁场、温度、重力、速度数据输入到 DSP (21)中;

4) DSP (21) 根据基于遗传算法的 Marr 小波基 Elman 神经网络训练好的模型对接收到的磁场和温度信息进行处理, 减小三轴巨磁阻传感模块(4)的零点温漂和灵敏度温漂, 提高磁场测量的精度; 然后, DSP (21) 将经过温度补偿的磁场数据结合重力信息和速度信息计算出地磁坐标系下的地磁场测量值;

5) ARM 处理器(18) 将 DSP (21) 处理后的数据存入 EEPROM (16) 中并经液晶触摸屏(19) 显示出来, 同时 PC 机可以通过以太网接口(11) 查看测量结果; 返回步骤 4)。

6. 根据权利要求 5 所述的基于无线通信技术的地磁测量系统的基于遗传算法的 Marr 小波基 Elman 神经网络温度补偿方法, 其特征在于所述步骤 4) 中基于遗传算法的 Marr 小波基 Elman 神经网络模型训练的具体步骤如下:

① 归一化数据样本值, 公式如下:

$$\bar{T}_i = \frac{T_i - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}}, \bar{B}_i = \frac{B_i - B_{\min}}{B_{\max} - B_{\min}}, \bar{u}_i = \frac{u_i - u_{\min}}{u_{\max} - u_{\min}}$$

式中:

\bar{T}_i 为第 i 组样本归一化后的温度值, T_i 为第 i 组样本的温度值, T_{\max} 为样本中的最大温度值, T_{\min} 为样本中的最小温度值;

\bar{B}_i 为第 i 组样本归一化后的磁场值, B_i 为第 i 组样本的磁场值, B_{\max} 为样本中的最大磁场值, B_{\min} 为样本中的最小磁场值;

\bar{u}_i 为第 i 组样本归一化后的巨磁阻传感器输出电压, u_i 为第 i 组样本巨磁阻传感器的输出电压, u_{\max} 为巨磁阻传感器的最大输出电压, u_{\min} 为巨磁阻传感器的最小输出电压;

② 利用非线性小波基函数 Marr 小波取代非线性 Sigmoid 函数, 则 Marr 小波基 Elman 神经网络的函数为:

$$f(x_i) = K \left(\sum_{j=1}^q B_j \Phi \left(\sum_{i=1}^p (x_i(t) A_{ij}(t) + \alpha W_{ij} f(x_{i-1}) - \theta_j) \right) \right)$$

其中 $X(t) = \{x_1(t), x_2(t)\}$ 为神经网络的输入层函数矢量分别代表温度值和磁场值, A_{ij} 为隐层神经元与输入层节之间的连接权函数, B_j 为隐层与输出单元之间的连接权值, W_{ij} 为关联层神经元与隐层神经元之间的连接权值, α 为反馈增益, θ_j 为神经元的输出阈值, K 为输出层激励函数, $\Phi(x)$ 为 Marr 小波基函数 $\Phi(x) = (1 - x^2)e^{-x^2/2}$;

③ 利用遗传算法求解出模型的全局性进化解作为模型的初始解, 优化网络结构和参数;

A) 初始化种群, 确定个体编码规则、适应度函数及预定退出条件, 对 A_{ij} 、 B_j 、 W_{ij} 、小波伸缩因子和平移因子等进行初始化编码;

B) 训练学习样本, 进行个体的适应度计算;

③判断是否满足预设退出条件,满足则输出初始解并进入步骤④,不满足则进入步骤④;

④通过新群体最高适应值与父群体最高适应值做比较,进行最优保存,进行交叉变异操作,产生新的种群,返回步骤③;

⑤以步骤③中初始解为 Marr 小波基 Elman 神经网络初始权值,利用 Marr 小波基 Elman 神经网络进行训练,输出结果 $f(X)$;

⑥计算网络输出值 $f(X)$ 与期望输出值 $F(X)$ 之间的误差

$$e(f, F) = \frac{1}{2} \sum [f(x_i) - F(x_i)]^2 ;$$

⑦判读误差是否小于预设误差值,大于则转入步骤⑤进行新的训练,直到误差满足要求为止,小于则停止,并输出训练参数确定网络结构。

一种基于无线通信技术的地磁测量系统及其温度补偿方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于无线通信技术的地磁测量系统及其温度补偿方法,属无线通信、数字信号处理及智能传感器技术等领域。

背景技术

[0002] 随着人类的发展,导航定向技术已变得必不可少,无论是航空、航天、地质勘测,还是军事、航海、海洋勘测等都需要定向技术。定向技术在科学研究、工程运用方面有着非常重要的意义。现阶段的导航定位手段,主要有卫星导航、天文导航、地形匹配导航等几个类别。这些导航系统虽然应用较为广泛,但是各自都存在一些缺陷。卫星导航,以 GPS 为例,虽然导航精度很高,但是卫星信号容易受到干扰,容易造成遮挡效应,导致难以实现全地域导航。天文导航,容易受天气变化的影响。地形匹配导航,不仅受气候影响,在缺乏地貌特征的地区,将无法进行导航。

[0003] 地磁场是矢量场,理论上近地空间任何一点都有唯一的磁场矢量以之对应,这为地磁导航的实现提供了基础。地磁导航,不受位置和环境的影响,而且是一种无源导航方法,在测量中没有电磁泄漏,在军事上有很重要的应用价值。而且地磁导航不会随时间累计测量误差,是一种很有发展前景的导航系统。

[0004] 但是现阶段在地磁导航中,存在如下问题:

1) 现阶段地磁导航系统中的地磁测量模块,普遍使用磁通门技术或者普通磁阻材料,导致地磁场测量敏感度不够高,不能满足高精度地磁测量系统的需求。

[0005] 2) 由于价格因素,在普通地磁导航系统中,由于缺少运动测量单元,导航系统只能进行静态工作。在导航系统动态运行的过程中,将受系统运动加速度的影响,增大导航系统的姿态测量误差,从而大大降低导航系统的导航精度。

[0006] 3) 地磁敏感单元和后续处理单元通常是一体化设计,为了便于使用,这导致整个地磁导航系统将只能被安装于运载体的控制室附近。这将大大限制了导航系统安装位置的选择,同时控制室附近经常会有人员和物品的移动,而且有很多电子设备,很可能人为造成导航系统周围磁场的变化,从而导致地磁导航系统测量精度下降。

[0007] 4) 地磁导航系统通常随运载体工作于户外,工作环境温度变化很大,温度对传感器的影响,常常导致地磁测量系统导航精度的下降。

发明内容

[0008] 本发明的目的是针对已有技术的不足,提出一种基于无线通信技术的地磁测量系统及其温度补偿方法。在利用巨磁阻传感器作为地磁测量模块,大大提高地磁测量精度的基础上,结合三轴加速度传感器和磁编码器实现动态导航,同时应用无线传输技术将传感器模块和处理终端进行分体设计,大大扩展了导航系统的应用范围,最后结合基于遗传算法的 Marr 小波基 Elman 神经网络温度补偿算法实现了导航系统的高精度的温度补偿。

[0009] 根据上述目的,本发明采用下述技术方法:

一种基于无线通信技术的地磁测量系统,由传感器部件和处理终端两部分组成。其特征在于:所述传感器部件是:磁编码器、温度传感模块和三轴重力传感模块通过三轴重力传感器温度硬件补偿模块连接微处理器,三轴巨磁阻传感模块通过三轴巨磁阻传感器温度硬件补偿模块和信号调理模块连接微处理器,微处理器还连接射频电路和编程接口,电池经电源管理模块为各器件提供工作电源;所述处理终端是一个 ARM 处理器连接以太网口、信号放大模块、射频电路、EEPROM、WIFI 模块、液晶触摸屏和 DSP,电源模块为各器件提供工作电源。

[0010] 对于传感器部件,电池为微处理器和电源管理模块提供稳定电源,同时电源管理模块在微处理器的控制下周期性的为磁编码器、温度传感模块、三轴重力传感模块、三轴巨磁阻传感模块、三轴重力传感器温度硬件补偿模块、三轴巨磁阻传感器温度硬件补偿模块、信号调理模块、射频电路和编程接口提供稳定电源。磁编码器采集传感器部件的运行速度,温度传感模块采集温度信息,三轴重力传感模块采集重力信息并经三轴重力传感器温度硬件补偿模块补偿,三轴巨磁阻传感模块采集磁场信息并经三轴巨磁阻传感器温度硬件补偿模块补偿及信号调理模块处理后与速度信息、温度信息和重力信息一起传送给微处理器,微处理器进行信息整合后通过射频电路将数据无线发送给处理终端。

[0011] 对于处理终端,电池模块为以太网口、信号放大模块、射频电路、EEPROM、WIFI 模块、ARM 处理器、液晶触摸屏和 DSP 供电。在数据发送过程中,ARM 处理器将需要发送的数据通过信号放大模块进行处理后由射频电路发送;在数据接收过程中,ARM 处理器从射频电路接收数据,并根据需要将数据送入 EEPROM 和 DSP 进行数据存储和数据处理。液晶触摸屏用于信息显示和命令输入,以太网口通过 Internet 实现处理终端与 PC 机之间的通信。所述 WIFI 模块通过无线模式实现处理终端与 Internet 之间的信息交换。

[0012] 对于传感器部件和处理终端,一个处理终端可以同时和多个传感器部件进行通信,可以根据实际使用需求选择传感器部件的数量。

[0013] 一种地磁测量系统的基于遗传算法的 Marr 小波基 Elman 神经网络温度补偿方法,采用上述基于无线通信技术的地磁测量系统进行温度补偿,其特征在于运行的步骤如下:

1) 系统上电后初始化:传感器部件中微处理器、处理终端中 ARM 处理器、EEPROM 及 DSP 初始化;

2) 建立无线连接:处理终端与传感器部件之间建立无线通信连接;

3) 信号采集:处理终端向传感器部件发出采集命令后,微处理器控制电源管理模块周期性的为磁编码器、温度传感模块、三轴重力传感模块、三轴巨磁阻传感模块、信号调理模块、射频电路供电,同时微处理器将采集到的信息周期发送给处理终端,ARM 处理器将接收到的磁场、温度、重力、速度数据输入到 DSP 中;

4) DSP 根据基于遗传算法的 Marr 小波基 Elman 神经网络训练好的模型对接收到的磁场和温度信息进行处理,减小三轴巨磁阻传感模块的零点温漂和灵敏度温漂,提高磁场测量的精度;然后,DSP 将经过温度补偿的磁场数据结合重力信息和速度信息计算出地磁坐标系下的地磁场测量值;

5) ARM 处理器将 DSP 处理后的数据存入 EEPROM 中并经液晶触摸屏显示出来,同时 PC 机可以通过以太网接口查看测量结果;返回步骤 4)。

[0014] 在上述温度补偿方法中,步骤 4) 中基于遗传算法的 Marr 小波基 Elman 神经网络

模型训练的具体步骤如下：

① 归一化数据样本值，公式如下：

$$\bar{T}_i = \frac{T_i - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}}, \bar{B}_i = \frac{B_i - B_{\min}}{B_{\max} - B_{\min}}, \bar{u}_i = \frac{u_i - u_{\min}}{u_{\max} - u_{\min}}$$

式中：

\bar{T}_i 为第 i 组样本归一化后的温度值， T_i 为第 i 组样本的温度值， T_{\max} 为样本中的最大温度值， T_{\min} 为样本中的最小温度值；

\bar{B}_i 为第 i 组样本归一化后的磁场值， B_i 为第 i 组样本的磁场值， B_{\max} 为样本中的最大磁场值， B_{\min} 为样本中的最小磁场值；

\bar{u}_i 为第 i 组样本归一化后的巨磁阻传感器输出电压， u_i 为第 i 组样本巨磁阻传感器的输出电压， u_{\max} 为巨磁阻传感器的最大输出电压， u_{\min} 为巨磁阻传感器的最小输出电压；

② 利用非线性小波基函数 Marr 小波取代非线性 Sigmoid 函数，则 Marr 小波基 Elman 神经网络的函数为：

$$f(x_i) = K \left(\sum_{j=1}^q B_j \Phi \left(\sum_{i=1}^p (x_i(t) A_{ij}(t) + \alpha W_{ij} f(x_{i-1})) - \theta_j \right) \right)$$

其中 $X(t) = (x_1(t), x_2(t))$ 为神经网络的输入层函数矢量分别代表温度值和磁场值， A_{ij} 为隐层神经元与输入层节之间的连接权函数， B_j 为隐层与输出单元之间的连接权值， W_{ij} 为关联层神经元与隐层神经元之间的连接权值， α 为反馈增益， θ_j 为神经元的输出阈值， K 为输出层激励函数， $\Phi(x)$ 为 Marr 小波基函数 $\Phi(x) = (1 - x^2)e^{-x^2/2}$ ；

③ 利用遗传算法求解出模型的全局性进化解作为模型的初始解，优化网络结构和参数；

Ⓐ 初始化种群，确定个体编码规则、适应度函数及预定退出条件，对 A_{ij} 、 B_j 、 W_{ij} 、小波伸缩因子和平移因子等进行初始化编码；

Ⓑ 训练学习样本，进行个体的适应度计算；

Ⓒ 判断是否满足预设退出条件，满足则输出初始解并进入步骤④，不满足则进入步骤①；

① 通过新群体最高适应值与父群体最高适应值做比较，进行最优保存，进行交叉变异操作，产生新的种群，返回步骤Ⓑ；

④ 以步骤③中初始解为 Marr 小波基 Elman 神经网络初始权值，利用 Marr 小波基 Elman 神经网络进行训练，输出结果 $f(X)$ ；

⑤ 计算网络输出值 $f(X)$ 与期望输出值 $F(X)$ 之间的误差

$$e(f, F) = \frac{1}{2} \sum [f(x_i) - F(x_i)]^2 ;$$

⑥判读误差是否小于预设误差值,大于则转入步骤④进行新的训练,直到误差满足要求为止,小于则停止,并输出训练参数确定网络结构。

[0015] 本发明与现有技术相比,具有如下突出实质性特点和显著优点:

1)本发明中应用巨磁阻传感器为地磁敏感元件,提高了测量精度。在外磁场作用下一般的磁材料能观测到的磁电阻效应只有 2% 到 3%,而巨磁阻材料的磁电阻变化率达到 50%,远远超过一般铁磁材料,无疑应用巨磁阻传感器为地磁敏感元件将大大提高导航系统的测量精度。

[0016] 2)本发明中应用磁编码器作为运动测量单元,使导航系统不仅能进行静态工作也能进行单一方向的动态测量。避免了系统运动加速度的影响,提高了导航系统的姿态测量精度,从而提高了导航系统的导航精度。

[0017] 3)本发明中传感器部件和处理终端采用分体式设计,二者通过无线网络进行数据收发,消除了对传感部件安装的位置限制,不必将其和处理终端安装在控制室。传感器部件可以安装在运动载体上磁场环境相对纯净、稳定的位置,从而可以大大提高导航精度。

[0018] 4)本发明中传感器部件和处理终端采用分体式设计,二者通过无线网络进行数据收发,一个处理终端可以对应多个传感器部件,在需要进行冗余测量的运动载体上,可以灵活的增加或者减少传感器测量部件的数目,及灵活的选择安装位置,而控制室内只需一个的处理终端,大大提高了工作效率,节约了成本。

[0019] 4)本发明针对温度补偿问题,采用基于遗传算法的 Marr 小波基 Elman 神经网络构建温度补偿模型,具有较强的全局搜索能力、和简单快速的逼近能力,避免了温度对传感器的影响,大大提高了地磁测量系统的导航精度。

[0020] 5)本发明有可灵活安装、集成度高、处理能力强、体积小、价格便宜等优点。

附图说明

[0021] 图 1 是基于无线通信技术的地磁测量系统结构框图。

[0022] 图 2 是基于无线通信技术的地磁测量系统的温度补偿流程图。

[0023] 图 3 是基于遗传算法的 Marr 小波基 Elman 神经网络模型训练流程图。

具体实施方式

[0024] 本发明的优选实施例结合附图说明如下:

实施例一:

参见图 1,本基于无线通信技术的地磁测量系统,由传感器部件和处理终端两部分组成。其特征在于:所述传感器部件是:磁编码器(1)、温度传感模块(2)和三轴重力传感模块(3)通过三轴重力传感器温度硬件补偿模块(5)连接微处理器(8),三轴巨磁阻传感模块(4)通过三轴巨磁阻传感器温度硬件补偿模块(6)和信号调理模块(9)连接微处理器(8),微处理器(8)还连接射频电路(11)和编程接口(12),电池(10)经电源管理模块(7)为各器件提供工作电源;所述处理终端是一个 ARM 处理器(18)连接以太网口(13)、信号放大模块(14)、射频电路(15)、EEPROM(16)、WIFI 模块(17)、液晶触摸屏(19)和 DSP(21),电源模

块(20)为各器件提供工作电源。

[0025] 传感器部件中电池(10)为微处理器(8)和电源管理模块(7)提供稳定电源;所述电源管理模块(7)在微处理器(8)的控制下周期性的为磁编码器(1)、温度传感模块(2)、三轴重力传感模块(3)、三轴巨磁阻传感模块(4)、三轴重力传感器温度硬件补偿模块(5)、三轴巨磁阻传感器温度硬件补偿模块(6)、信号调理模块(9)、射频电路(11)和编程接口(12)提供稳定电源。磁编码器(1)采集传感器部件的运行速度,温度传感模块(2)采集温度信息,三轴重力传感模块(3)采集重力信息并经三轴重力传感器温度硬件补偿模块(5)补偿,三轴巨磁阻传感模块(4)采集磁场信息并经三轴巨磁阻传感器温度硬件补偿模块(6)补偿及信号调理模块(9)处理后与速度信息、温度信息和重力信息一起传送给微处理器(8),微处理器(8)进行信息整合后通过射频电路(11)将数据无线发送给处理终端。

[0026] 处理终端中电池模块(20)为以太网口(13)、信号放大模块(14)、射频电路(15)、EEPROM(16)、WIFI模块(17)、ARM处理器(18)、液晶触摸屏(19)和DSP(21)供电。在数据发送过程中,ARM处理器(18)将需要发送的数据通过信号放大模块(14)进行处理后由射频电路(15)发送;在数据接收过程中,ARM处理器(18)从射频电路(15)接收数据,并根据需要将数据送入EEPROM(16)和DSP(21)进行数据存储和数据处理;所述液晶触摸屏(19)用于信息显示和命令输入;所述以太网口(13)通过Internet实现处理终端与PC机之间的通信;所述WIFI模块(17)通过无线模式实现处理终端与Internet之间的信息交换。

[0027] 对于传感器部件和处理终端,一个处理终端可以同时和多个传感器部件进行通信,可以根据实际使用需求选择传感器部件的数量。

[0028] 实施例二:

参见图2,一种地磁测量系统的基于遗传算法的Marr小波基Elman神经网络温度补偿方法,采用上述基于无线通信技术的地磁测量系统进行温度补偿,其特征在于运行的步骤如下:

(1)如图2流程1系统上电后初始化:传感器部件中微处理器、处理终端中ARM处理器、EEPROM及DSP初始化;

(2)如图2流程2建立无线连接:处理终端与传感器部件之间建立无线通信连接。

[0029] (3)如图2流程3信号采集:处理终端向传感器部件发出采集命令后,微处理器控制电源管理模块周期性的为磁编码器、温度传感模块、三轴重力传感模块、三轴巨磁阻传感模块、信号调理模块、射频电路供电,同时微处理器将采集到的信息周期发送给处理终端,ARM处理器将接收到的磁场、温度、重力、速度数据输入到DSP中;

(4)如图2流程4 DSP根据基于遗传算法的Marr小波基Elman神经网络训练好的模型对接收到的磁场和温度信息进行处理,减小三轴巨磁阻传感模块的零点温漂和灵敏度温漂,提高磁场测量的精度;然后,DSP将经过温度补偿的磁场数据结合重力信息和速度信息计算出地磁坐标系下的地磁场测量值;

(5)如图2流程5 ARM处理器将DSP处理后的数据存入EEPROM中并经液晶触摸屏显示出来,同时PC机可以通过以太网接口查看测量结果;返回步骤(4)。

[0030] 参见图3,上述温度补偿方法中,步骤(4)中基于遗传算法的Marr小波基Elman神经网络模型训练的具体步骤如下:

(1)如图3流程1归一化数据样本值,公式如下:

$$\bar{T}_i = \frac{T_i - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}}, \bar{B}_i = \frac{B_i - B_{\min}}{B_{\max} - B_{\min}}, \bar{u}_i = \frac{u_i - u_{\min}}{u_{\max} - u_{\min}}$$

式中：

\bar{T}_i 为第 i 组样本归一化后的温度值, T_i 为第 i 组样本的温度值, T_{\max} 为样本中的最大温度值, T_{\min} 为样本中的最小温度值；

\bar{B}_i 为第 i 组样本归一化后的磁场值, B_i 为第 i 组样本的磁场值, B_{\max} 为样本中的最大磁场值, B_{\min} 为样本中的最小磁场值；

\bar{u}_i 为第 i 组样本归一化后的巨磁阻传感器输出电压, u_i 为第 i 组样本巨磁阻传感器的输出电压, u_{\max} 为巨磁阻传感器的最大输出电压, u_{\min} 为巨磁阻传感器的最小输出电压；

(2)如图 3 流程 2 利用非线性小波基函数 Marr 小波取代非线性 Sigmoid 函数,则 Marr 小波基 Elman 神经网络的函数为：

$$f(x_i) = K \left(\sum_{j=1}^q B_j \Phi \left(\sum_{i=1}^p (x_i(t) A_{ij}(t) + \alpha W_{ij} f(x_{i-1})) - \theta_j \right) \right)$$

其中 $X(t) = \{x_1(t), x_2(t)\}$ 为神经网络的输入层函数矢量分别代表温度值和磁场值, A_{ij} 为隐层神经元与输入层节之间的连接权函数, B_j 为隐层与输出单元之间的连接权值, W_{ij} 为关联层神经元与隐层神经元之间的连接权值, α 为反馈增益, θ_j 为神经元的输出阈值, K 为输出层激励函数, $\Phi(x)$ 为 Marr 小波基函数 $\Phi(x) = (1 - x^2)e^{-x^2/2}$ ；

(3)如图 3 流程 3 利用遗传算法求解出模型的全局性进化解作为模型的初始解,优化网络结构和参数；

Ⓐ如图 3 流程 4 初始化种群,确定个体编码规则、适应度函数及预定退出条件,对 A_{ij} 、 B_j 、 W_{ij} 、小波伸缩因子和平移因子等进行初始化编码；

Ⓑ如图 3 流程 5 训练学习样本,进行个体的适应度计算；

Ⓒ如图 3 流程 6 判断是否满足预设退出条件,满足则输出初始解并进入步骤Ⓓ,不满足则进入步骤Ⓓ；

Ⓓ如图 3 流程 7 通过新群体最高适应值与父群体最高适应值做比较,进行最优保存,交叉变异操作,产生新的种群,返回步骤Ⓑ；

(4)如图 3 流程 8 以步骤(3)中初始解为 Marr 小波基 Elman 神经网络初始权值,利用 Marr 小波基 Elman 神经网络进行训练,输出结果 $f(X)$ ；

(5)如图 3 流程 9 计算网络输出值 $f(X)$ 与期望输出值 $F(X)$ 之间的误差 $e(f, F) = \frac{1}{2} \sum [f(x_i) - F(x_i)]^2$ ；

(6)如图 3 流程 10 判读误差是否小于预设误差值,大于则转入步骤(4)进行新的训练,

直到误差满足要求为止,小于则停止,并输出训练参数确定网络结构。

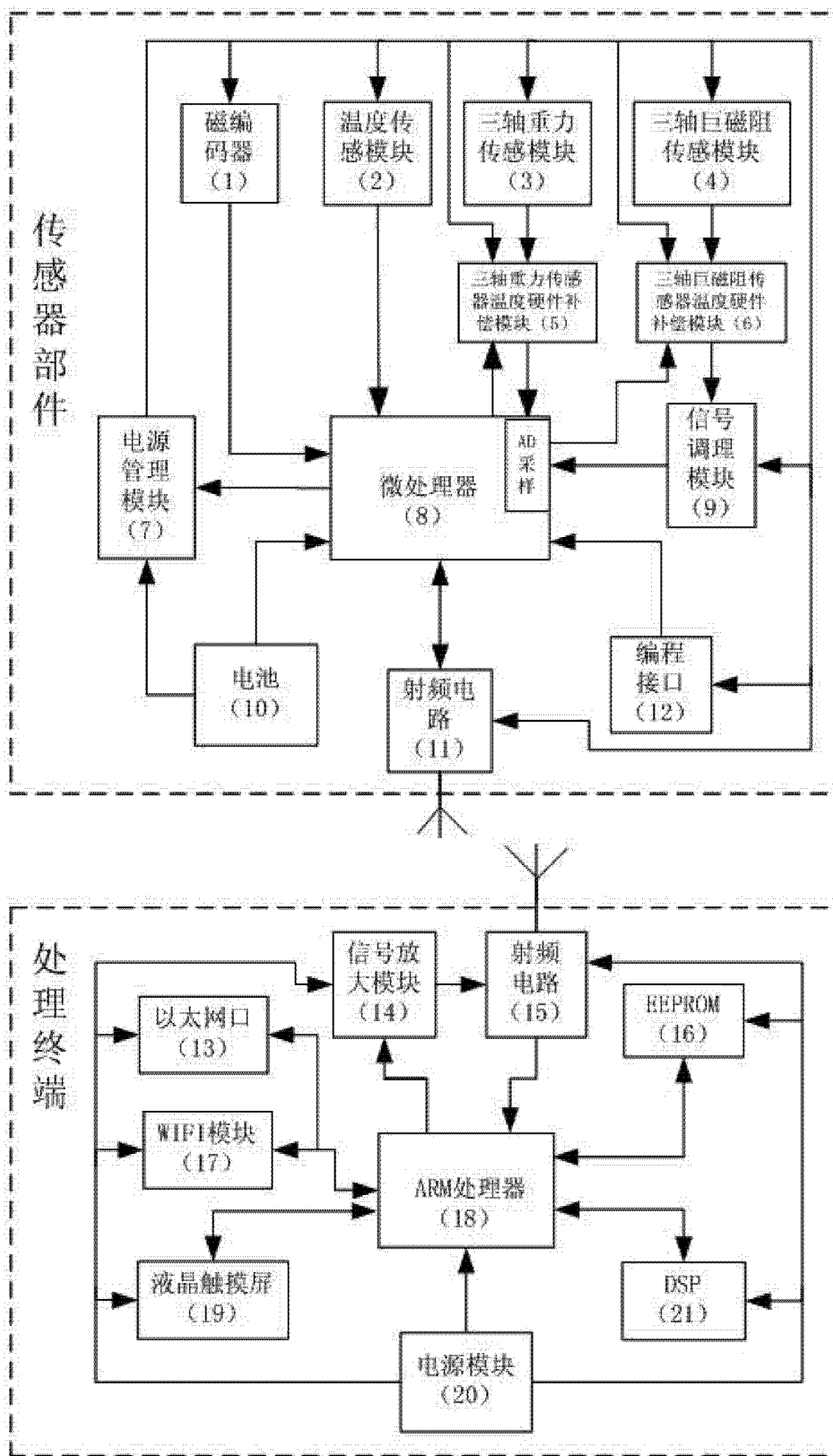


图 1

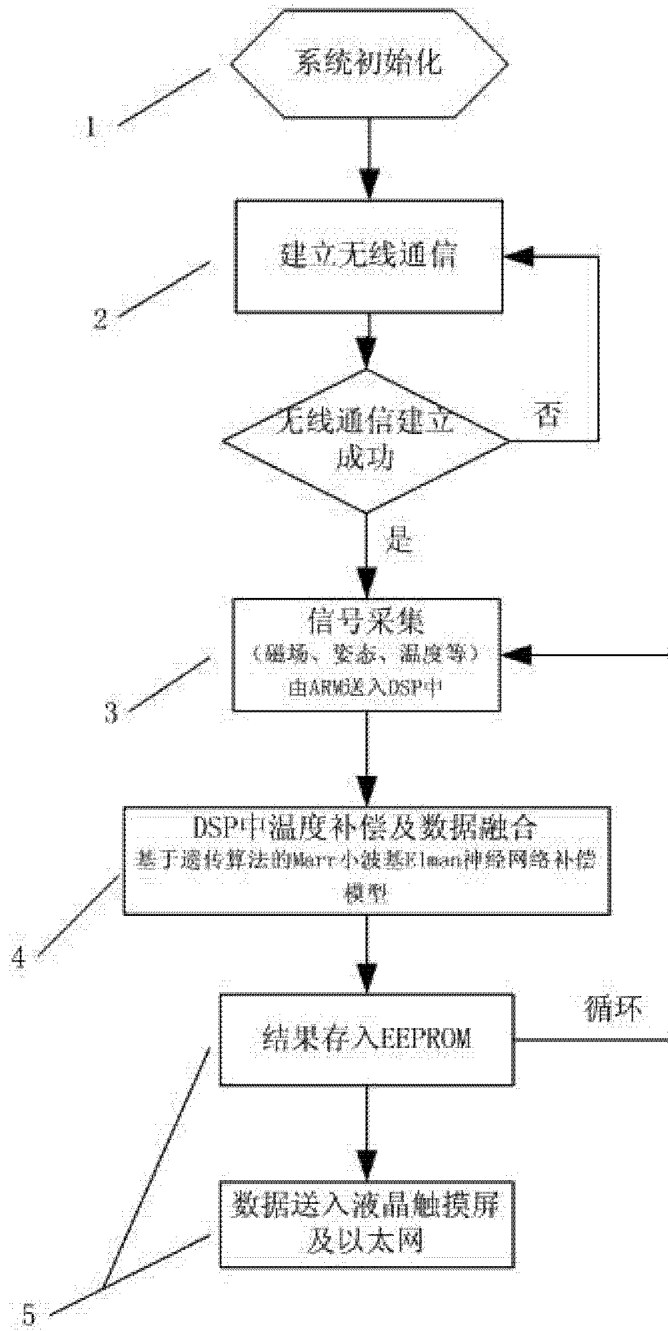


图 2

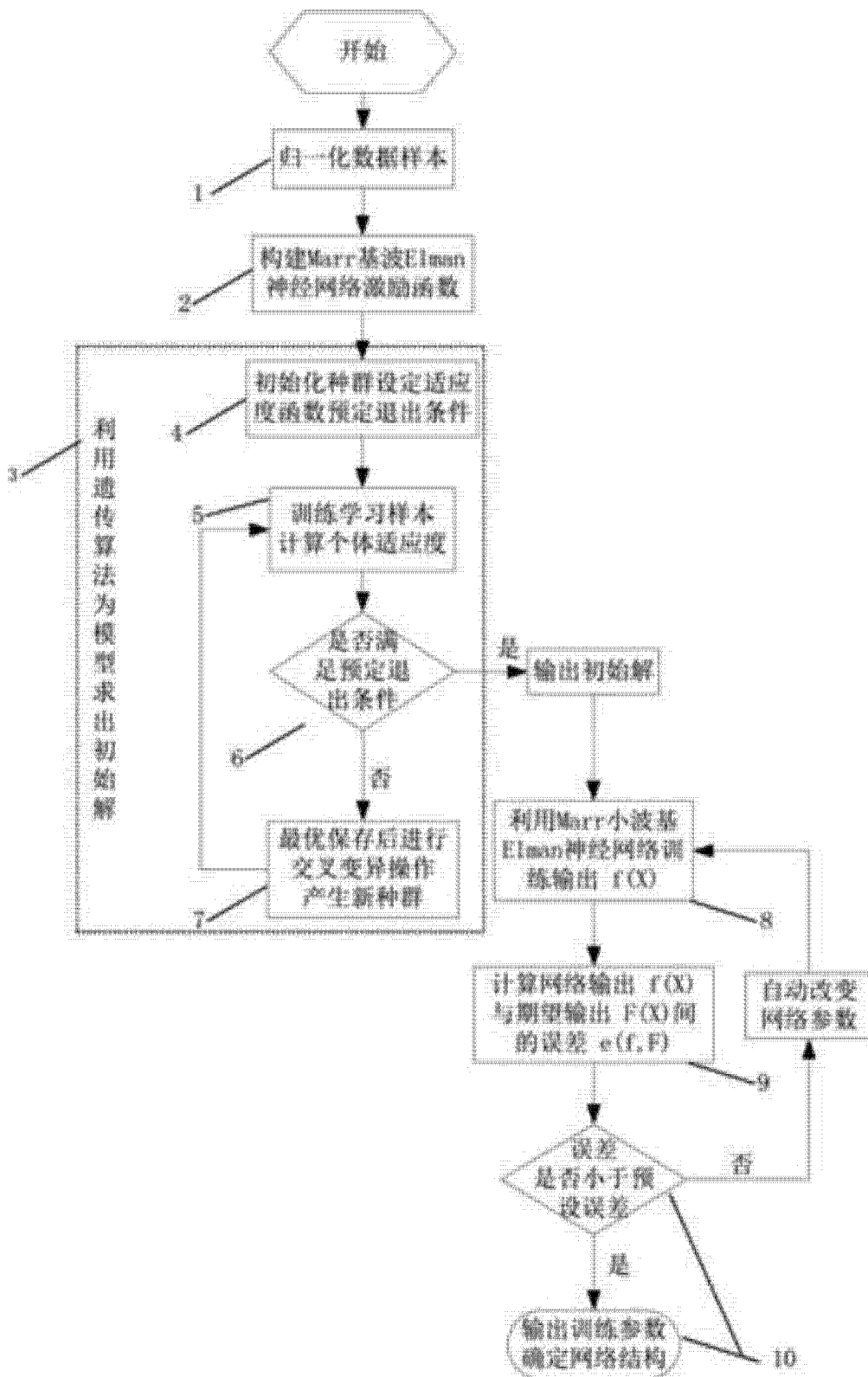


图 3