



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108646571 B

(45) 授权公告日 2020.10.30

(21) 申请号 201810760479.7

CN 103457536 A, 2013.12.18

(22) 申请日 2018.07.12

CN 103259479 A, 2013.08.21

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 106406162 A, 2017.02.15

申请公布号 CN 108646571 A

CN 103593538 A, 2014.02.19

(43) 申请公布日 2018.10.12

CN 105305896 A, 2016.02.03

(73) 专利权人 北京航空航天大学

CN 107733302 A, 2018.02.23

地址 100191 北京市海淀区学院路37号

吴勇. 无刷直流电机有位置传感器矢量控制系统研究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库》.2017, (第3期), C042-329.

(72) 发明人 韩邦成 史阳阳 李海涛 郑世强

宋鹏 侯林

王祥. 基于BP神经网络提高霍尔电流传感器测量精度的研究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库》.2014, (第9期), I140-107.

(74) 专利代理机构 北京科迪生专利代理有限责

任公司 11251

代理人 杨学明 邓治平

Gokmen, G. Neuro Network Solution to the Design of a Hall Effect Current Transformer.《proceedings of the 12th wseas international conference on circuits: new aspects of circuits》.2008, 184-188.

(51) Int. Cl.

G05B 13/04 (2006.01)

(56) 对比文件

EP 3346600 A1, 2018.07.11

CN 106451928 A, 2017.02.22

审查员 李江平

权利要求书2页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

一种陀螺框架伺服系统高精度位置辨识方法

(57) 摘要

本发明提出了一种陀螺框架伺服系统高精度位置辨识方法,包括四路线性霍尔传感器、霍尔支架、信号处理模块,信号采集模块和控制器。线性霍尔传感器用于检测电机转子端部的永磁体漏磁,转换为电压信号输出;霍尔支架固定在电机轴端盖上,同时端盖上有孔用于传感器接线引出;信号处理模块用于对霍尔传感器检测到的信号进行差分、滤波和偏置处理;信号采集模块为高精度外置AD芯片,将模拟量转为16位数字量用于控制器处理;控制器将接收到的信号进行解算处理,通过神经网络算法,获得高精度位置信号。本发明能够实现电机端转子角位置的高精度解算,有益于整个陀螺框架系统的平稳、高精度运转。



CN 108646571 B

1. 一种陀螺框架伺服系统高精度位置辨识方法,其特征在於:包括线性霍尔传感器(1)、霍尔支架(2)、信号处理模块(3),信号采集模块(4)和控制器(5),其中四路线性霍尔传感器(1)固定于霍尔支架(2)上的卡槽(6)内,霍尔支架(2)通过固定槽(7)固定到电机壳端部,线性霍尔传感器(1)的信号通过屏蔽线连接到信号处理模块(3),霍尔信号和电流传感器检测的信号经过滤波、差分 and 偏置后接入到信号采集模块(4),模拟信号被采集后转换为数字量进入到控制器(5)中,然后经过神经网络算法解算出精确的位置信息,将位置信息结合电机控制算法得到驱动电压,最后将驱动电压送至陀螺电机(8)中,实现电机的精确控制,所采用的神经网络算法结构:输入为电流值和对应的霍尔传感器采集到的信号,采用一层隐藏层,隐藏层设置为10个神经元,输出为实际转子位置信息,各个量间的关系式为:

$$h_j = f_1(i \cdot a_j + \theta_{h1} \cdot b_j + \theta_{h2} \cdot c_j), j=1, 2 \cdots 10$$

$$\theta_r = f_2\left(\sum_{j=1}^{10} h_j \cdot \omega_j\right)$$

式中, f_1 和 f_2 分别为输入单元 i 、 θ_{h1} 和 θ_{h2} 到中间单元 h_j 的线性激活函数及中间单元 h_j 到最后输出单元 θ_r 的线性激活函数, a_j 、 b_j 、 c_j 分别是输入单元 i 、 θ_{h1} 和 θ_{h2} 与中间单元 h_j 所对应的权重系数, ω_j 是中间单元 h_j 与最后输出单元 θ_r 间的权重系数, $j=1, 2, 3 \cdots 10$;

霍尔信号有四路,经过AD620芯片进行差分处理后为两路相位差为 90° 电角度的信号,并且电流值给定后对整个电机端部磁场的影响是一定的,所以神经网络模型的输入为电流值 i 和两路差分后得到的霍尔信号 θ_{h1} 和 θ_{h2} ,数据采集时,电流每变化0.05A采集一组电流数据和霍尔传感器的信号,并根据高分辨率旋转变压器采集到的实际准确信号对该模型进行训练,最终得到所需要的神经网络模型,当给定电流后,该算法会给出此电流值时对输出角度的影响,表达式可写成:

$$\theta_{ei} = f(i) = A_i \sin(\omega_i t + \varphi_i) + B_i$$

式中 θ_{ei} 表示电流对角度位置信息的误差, $f(i)$ 表示电流对角度位置信息的影响函数, A_i 为幅值信息, ω_i 表示角速度, φ_i 表示相位, B_i 表示直流偏差;

单个模型训练完毕后,将所得模型作成一个位置解算模块,实时模式中,当输入电流值和霍尔传感器处理后的信号值后,神经网络模型会自动与相应的值进行匹配,解算出实际的转子位置,通过两对霍尔信号进行差分处理后进入基于神经网络的位置求解算法中,进而得到精确的转子角位置。

2. 根据权利要求1所述的一种陀螺框架伺服系统高精度位置辨识方法,其特征在於:为了增加精度,采用四路线性霍尔传感器(1)对磁场进行检测,四路线性霍尔传感器按照一定的角度排布,每对霍尔传感器相差 90° 或其倍数的电角度,机械角度计算式如下:

$$\theta_m = \frac{360^\circ}{2 \cdot p} \cdot k$$

式中 θ_m 表示机械角度, p 表示极对数, $k=0, 1, 2 \cdots$, 表示第几个霍尔传感器,当极对数为6时,则设置每对霍尔传感器之间的机械角度分别为 150° ,每对霍尔传感器分别测量一个N极和一个S极,将四路信号通过信号处理和采集后利用神经网络算法对转子位置进行结算。

3. 根据权利要求1所述的一种陀螺框架伺服系统高精度位置辨识方法,其特征在於:霍尔支架通过支架固定槽(7)固定到电机外壳上,四路线性霍尔传感器(1)分别固定在霍尔支

架(2)上具有固定角度差的四个卡槽(6)内,凹槽(9)用于电机定子绕组(10)出线走线,装配完毕后,霍尔支架上的霍尔传感器会在贴近转子末端(11)的压盖(12)的凹槽处,尽可能贴近转子上的永磁体以获得更强的永磁体的磁场。

一种陀螺框架伺服系统高精度位置辨识方法

技术领域

[0001] 本发明属于基于线性霍尔传感器、针对陀螺框架电机高精度低速伺服控制领域，具体涉及一种陀螺框架伺服系统高精度位置辨识方法，该方法能够通过神经网络模型将电流对转子位置无法通过常规算法解算出来的影响进行训练得到，进而可以直接对位置进行补偿，得到实际位置。

背景技术

[0002] 控制力矩陀螺框架伺服系统为陀螺提供角速度，结合陀螺输出的角动量进而得到力矩，为了能够输出高精度角速度，需要在框架电机上安装位置高精度的传感器进行转子位置检测，由于谐波减速器的存在导致框架负载端的旋转变压器无法为电机端提供精确的角位置，所以在电机端需要重新安装位置传感器，线性霍尔传感器由于体积小、灵敏度高等优点，常常用作紧凑型设备的位置检测模块，在本专利所涉及的超低速且带有谐波减速器的控制力矩陀螺框架电机伺服系统中，由于谐波减速器有1:100的减速功能，因而负载端的旋转变压器无法为电机端提供高精度的角位置信息，并且根据设计要求，需保证电机体积在一定范围内，所以在电机端无法使用旋转变压器、光电码盘等位置检测传感器，因而在电机端安装线性霍尔传感器进行位置检测，霍尔传感器安装在框架电机转子末端，通过检测转子上永磁体端部漏磁来进行位置解算，然而定子上线圈电流同样会产生漏磁场，磁场的叠加使得最后的位置解算发生偏差，无法满足陀螺框架系统对于精度的要求。中国专利号为201310230629.0的“双磁路多信号模式位置传感器及其检测方法”的专利所使用的线性霍尔并未考虑定子电流的影响，虽然有屏蔽层，但是此屏蔽层无法屏蔽定子电流产生的磁场对霍尔传感器的影响。中国专利号为201110135575.0的“缝头机的机头定位方法”中的线性霍尔传感器使用离线标定在线使用的方法来减小其他干扰，对于本专利设计的控制力矩陀螺，由于其转速很低，最大转速仅为 $15^{\circ}/s$ ，采用离线标定在线使用的方法会使得标定量大大增加才能使达到1‰的精度要求，所以此种方法也不适合超低速情况。

[0003] 综合现有关于线性霍尔在超低速电机中的应用情况，没有将定子电流对检测磁场的影响进行具体分析，而这在超低速情况下电机的运行精度影响比较大，由于转速超低所以无法使用自适应陷波器、正交锁相环等方法进行信号处理，所以本发明提出了一种陀螺框架伺服系统高精度位置辨识方法，利用多组数据结合神经网络算法对解算模型进行训练，利用训练出来的模型进行线上应用，此种方法对比于离线方法的优势在于神经网络学习后能可以根据电流值和当前霍尔检测到的信号值解算出更精确且连续的角位置信息，满足超低速、高精度的要求。

发明内容

[0004] 本发明要解决的技术问题是：克服了定子电流产生的磁场叠加到霍尔传感器检测到的磁场中，进而导致转子位置解算不准确的问题，在对四路原始线性霍尔信号进行处理的基础上给出了一种基于神经网络算法的位置解算方案，所提出的方案能够在训练好的模

型的基础上对连续电流变化产生的影响进行自主补偿,得到精确的转子位置,保证陀螺的性能要求。

[0005] 本发明解决上述技术问题采用的技术方案为:一种陀螺框架伺服系统高精度位置辨识方法,包括线性霍尔传感器、霍尔支架、信号处理模块,信号采集模块和控制器,其中四路线性霍尔传感器固定于霍尔支架上的卡槽内,霍尔支架通过固定槽固定到电机壳端部,线性霍尔传感器的信号通过屏蔽线连接到信号处理模块,霍尔信号和电流传感器检测的电流信号经过滤波、差分和偏置后接入到信号采集模块,模拟信号被采集后转换为数字量进入到控制器中,然后经过神经网络算法解算出精确的位置信息,将位置信息结合电机控制算法得到驱动电压,最后将驱动电压送至陀螺电机中,实现电机的精确控制。

[0006] 其中,为了增加精度,采用四路线性霍尔传感器对磁场进行检测,四路线性霍尔按照一定的角度排布,每对霍尔传感器相差 90° 或其倍数的电角度,机械角度计算式如下:

$$[0007] \quad \theta_m = \frac{360^\circ}{2 \cdot p} \cdot k$$

[0008] 式中 θ_m 表示机械角度, p 表示极对数, $k=0,1,2,\dots$,表示第几个霍尔传感器,当极对数为6时,所设置每对霍尔传感器之间的机械角度分别为 150° ,每对霍尔传感器分别测量一个N极和一个S极,将四路信号通过信号处理和采集后利用神经网络算法对转子位置进行结算。

[0009] 其中,所采用的神经网络算法结构:输入为电流值和对应的霍尔传感器采集到的信号,采用一层隐藏层,隐藏层设置为10个神经元,输出为实际转子位置信息,各个量间的关系式为:

$$[0010] \quad h_j = f_1(i \cdot a_j + \theta_{h1} \cdot b_j + \theta_{h2} \cdot c_j), j=1,2,\dots,10$$

$$[0011] \quad \theta_r = f_2\left(\sum_{j=1}^{10} h_j \cdot \omega_j\right)$$

[0012] 式中, f_1 和 f_2 分别为输入单元 i 、 θ_{h1} 和 θ_{h2} 到中间单元 h_j 的线性激活函数及中间单元 h_j 到最后输出单元 θ_r 的线性激活函数, a_j 、 b_j 、 c_j 分别是输入单元 i 、 θ_{h1} 和 θ_{h2} 与中间单元 h_j 所对应的权重系数, ω_j 是中间单元 h_j 与最后输出单元 θ_r 间的权重系数, $j=1,2,3,\dots,10$ 。

[0013] 霍尔信号有四路,经过AD620芯片进行差分处理后为两路相位差为 90° 电角度的信号,并且电流值给定后对整个电机端部磁场的影响是一定的,所以神经网络模型的输入为电流值 i 和两路差分后得到的霍尔信号 θ_{h1} 和 θ_{h2} ,数据采集时,电流每0.05A采集一组电流数据和霍尔传感器的信号,并根据高分辨率旋转变压器采集到的实际准确信号对该模型进行训练,最终得到,当给定电流后,该算法会给出此电流值时对输出角度的影响,表达式可写成:

$$[0014] \quad \theta_{ei} = f(i) = A_i \sin(\omega_i t + \varphi_i) + B_i$$

[0015] 式中 θ_{ei} 表示电流对角度位置信息的误差, $f(i)$ 表示电流对角度位置信息的影响函数, A_i 为幅值信息, ω_i 表示角速度, φ_i 表示相位, B_i 表示直流偏差。

[0016] 单个模型训练完毕后,将所得模型作成位置解算模块,实时模式中,当输入电流值和霍尔传感器处理后的信号值后,神经网络模型会自动与相应的值进行匹配,解算出实际的转子位置,通过两对霍尔信号进行差分处理后进入基于神经网络的位置接求解算法

中,进而得到精确的转子角位置。

[0017] 其中,霍尔支架通过支架固定槽固定到电机外壳上,四路线性霍尔传感器分别固定在霍尔支架上具有固定角度差的四个卡槽内,凹槽用于电机定子绕组出线走线,装配完毕后,霍尔支架上的霍尔传感器会在贴近转子末端的压盖的凹槽处,尽可能贴近转子上的永磁体以获得更强的永磁体的磁场。

[0018] 本发明与现有技术相比的优点在于:

[0019] 1、现有技术中,线性霍尔在作为电机位置传感器应用方面,分析外界干扰时很少考虑定子电流对霍尔传感器测量到的总磁场的影响,而这种影响在超低速状态时对精度影响较大,并且超低速时无法使用自适应陷波器等方法进行信号处理,故本发明结合具体情况通过软硬件结合将此影响消除,使得输出高精度转子位置。

[0020] 2、本发明结合神经网络学习算法,通过离散数据进行训练,在线应用得到在超低速情况时连续电流、转速情况下的磁场误差进行补偿,得到精确的转子位置。

[0021] 3、通过四路线性霍尔进行两两差分处理,避免因偶然误差对转子位置带来误差,同时硬件电路来消除直流误差带来的干扰,保证转子精确的角位置。

[0022] 4、该位置检测系统结构紧凑,可以广泛应用在紧凑型设备中用于检测位置,只需提供离散的位置和电流信息对其进行离线训练便可于在线应用,有较好的实用性能,并且现在神经网络技术越来越成熟,其稳定性等会逐渐提高并得到推广。

附图说明

[0023] 图1为霍尔信号差分示意图;

[0024] 图2为神经网络结构图;

[0025] 图3为霍尔支架结构图;

[0026] 图4为控制板结构示意图;

[0027] 图5为整个控制过程流程图。

具体实施方式

[0028] 下面结合附图及具体实施例进一步说明本发明。

[0029] 本发明的基本原理是:框架控制力矩陀螺常用作航天器姿态调整器件,所以对其体积有限制,对其性能更是严格要求,然而在控制算法中,转子角位置的精确测量是陀螺框架系统性能好坏的至关重要的因素,目前高精度的位置测量传感器如旋转变压器、光电码盘等因为体积较大,无法胜任该种条件,霍尔传感器由于体积小、精度高便成为了应用在力矩陀螺上测量转子角位置的首选测量器件,由于陀螺转速极低,对于外来干扰的处理显得尤为重要,并且无法使用自适应陷波器、同频提取器等方法获取超低速情况下的有用信号,因而先在电路中通过滤波器去除高频干扰信号,对于低频干扰信号通过基于神经网络的算法进行解算去除,此种方法相比于离散式线下标定、线上应用的方法而言,其连续性更好,模型训练完毕后会根据已知的输入电流和差分后的霍尔信号进行解算并加以补偿,避免离散标定带来的不连续的问题。精准的转子位置使得陀螺的性能达到更高要求成为可能。

[0030] 数据采集与处理的原理为:通过霍尔传感器得到的磁场信息,经过信号处理模块的差分、滤波和隔离后,通过外置16位AD进行采集进入到控制器中,控制器对四路霍尔信号

两两对应分配,经过差分处理后得到的信号在经过神经网络算法得到精确的角位置进入到整个控制算法中,如图1所示,最后对框架电机进行控制,得到相应性能。

[0031] 所采用的神经网络算法结构:输入为电流值和对应的霍尔传感器采集到的信号,采用一层隐藏层,隐藏层设置为10个神经元,输出为实际转子位置信息。结构如图2所示。

[0032] 如图3和图4所示,一种陀螺框架伺服系统高精度位置辨识方法,包括线性霍尔传感器1、霍尔支架2、信号处理模块3,信号采集模块4和控制器5。其中四路线性霍尔传感器1固定于霍尔支架2上的卡槽6内,霍尔支架2通过固定槽7固定到电机壳端部,线性霍尔传感器1的信号通过屏蔽线连接到信号处理模块3,霍尔信号和电流传感器检测的信号经过差分、滤波和偏置后接入到信号采集模块4,模拟信号被采集后转换为数字量进入到控制器5中,然后经过神经网络算法解算出精确的位置信息,结合到控制算法中,最后将驱动电压送至陀螺电机8中,实现电机的精确控制。本方案采用四路线性霍尔传感器对磁场进行检测,四路线性霍尔传感器按照一定的角度排布,霍尔传感器1.1和1.3相对应,霍尔传感器1.2和1.4相对应,每对霍尔传感器相差 90° 或其倍数的电角度。

[0033] 图5为本发明的信号流程图,当系统加电之后,霍尔传感器可以立即检测到磁场强度,电流传感器检测相电流大小,检测到的信号转化为电压信号,经过信号差分、滤波、隔离和偏置等处理后被外置AD采集到控制电路中,利用神经网络算法求解出准确的转子位置,基于准确的转子位置信息,控制算法进行算法处理,将控制信号通过驱动器控制框架电机运行,陀螺电机输出转矩带动陀螺房平稳转动,电机内永磁体随着转子转动,霍尔传感器所处位置的磁场发生变化,叠加后的磁场和相电流再经过上述过程,最终使得框架能够平稳运行。

[0034] 本发明未详细公开的部分属于本领域的公知技术。

[0035] 尽管上面对本发明说明性的具体实施方式进行了描述,以便于本技术领域的技术人员理解本发明,但应该清楚,本发明不限于具体实施方式的范围,对本技术领域的普通技术人员来讲,只要各种变化在所附的权利要求限定和确定的本发明的精神和范围内,这些变化是显而易见的,一切利用本发明构思的发明创造均在保护之列。

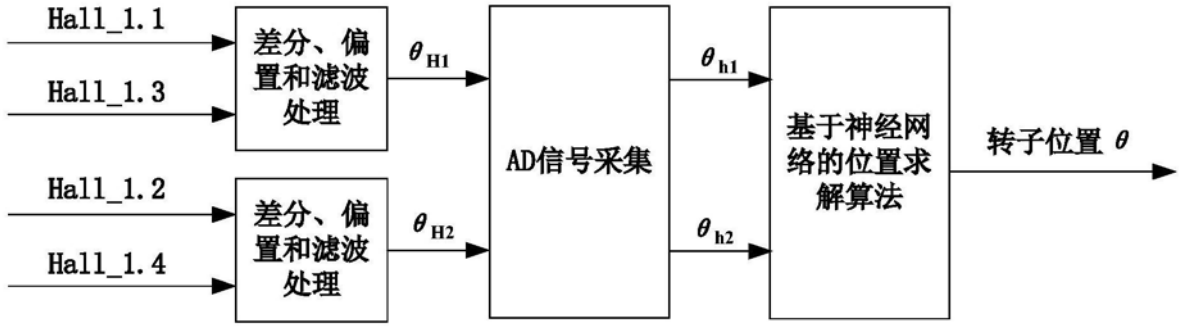


图1

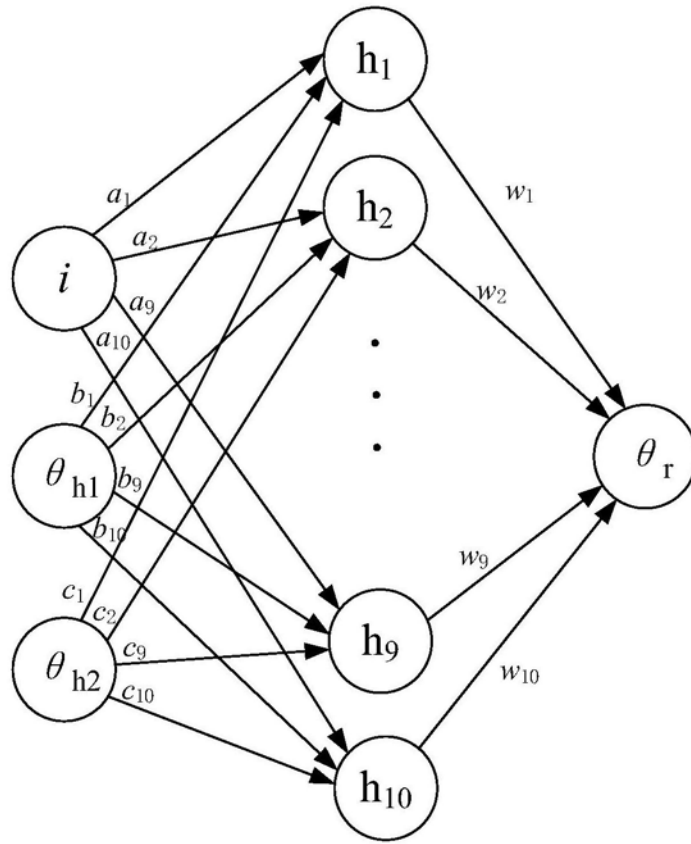


图2

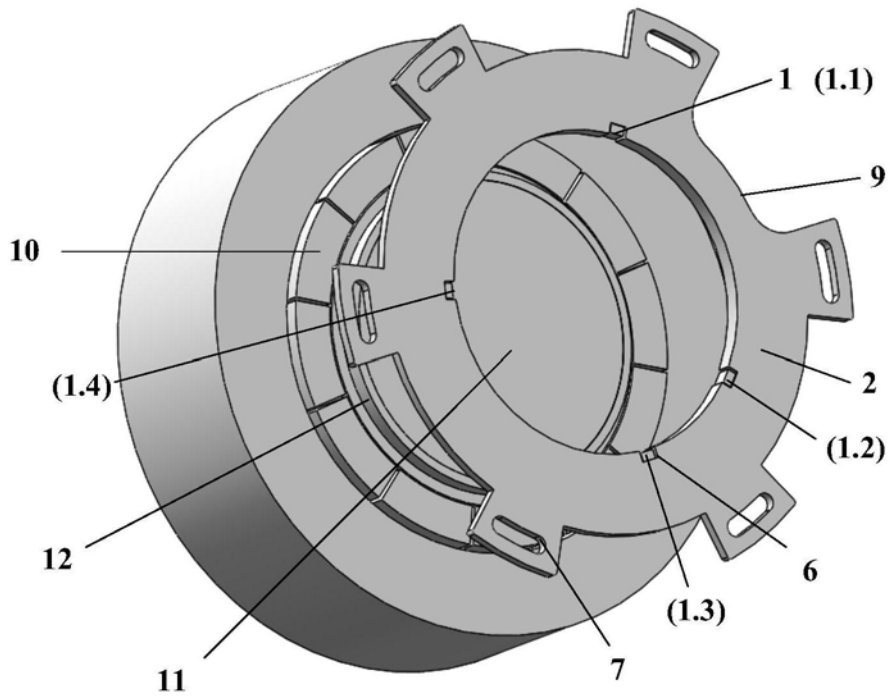


图3

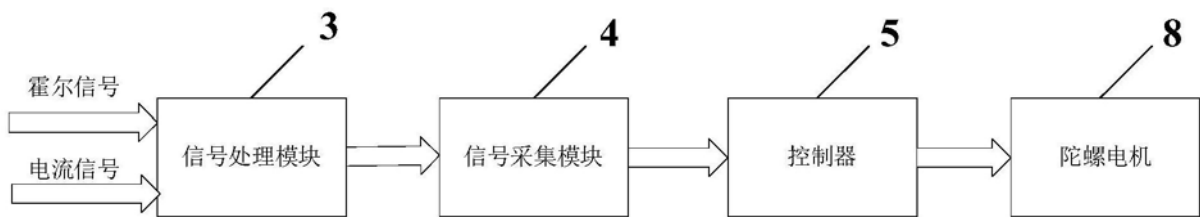


图4

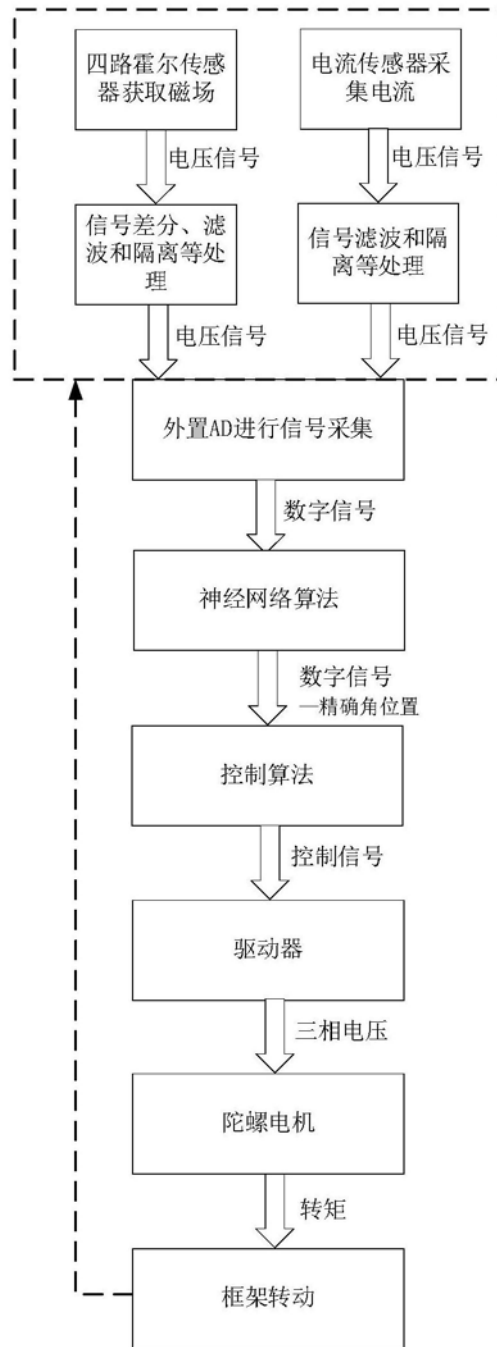


图5