



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102494599 A

(43) 申请公布日 2012.06.13

(21) 申请号 201110340696.9

(22) 申请日 2011.11.01

(71) 申请人 中国科学院国家天文台南京天文光学技术研究所

地址 210042 江苏省南京市板仓街 188 号

(72) 发明人 张振超 宋晓莉 汪达兴 韩中毅

(74) 专利代理机构 江苏致邦律师事务所 32230  
代理人 栗仲平

(51) Int. Cl.

G01B 7/00(2006.01)

G01B 7/30(2006.01)

G05D 3/12(2006.01)

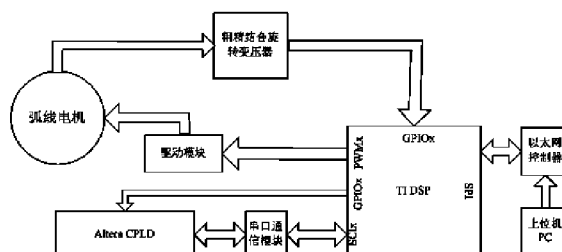
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 3 页

### (54) 发明名称

大口径毫米波 / 亚毫米波望远镜控制系统位置检测方法

### (57) 摘要

大口径毫米波 / 亚毫米波望远镜控制系统位置检测方法:(1). 上位机对 DSP 模块发出指令;(2). 双通道多极旋转变压器的粗、精通道通过数字转换器输出信号并经电平转换后,传到 DSP 模块;(3). DSP 模块算出弧线电机绝对机械位置信号,实现其位置闭环;(4). DSP 模块换算成电角度,实现矢量控制的弧线电机电流闭环;(5). DSP 模块内部用软件将(2)得到的信号变成编码器形式的 A、B、Z 信号;(6). A、B、Z 信号从 DSP 的 IO 口输出并在 CPLD 模块计数和方向判断后串口送给 DSP 模块;(7). DSP 模块按(6)所得计数值计算出电机转速及转向,实现电机速度闭环。本发明实现角速度低速  $1^{\circ}/s$ , 高速  $12^{\circ}/s$ , 无低速爬行现象。



1. 一种大口径毫米波 / 亚毫米波望远镜控制系统位置检测方法,其特征在于,步骤如下:

(1). 大口径毫米波 / 亚毫米波望远镜的上位控制计算机 PC 通过以太网,对大口径毫米波 / 亚毫米波望远镜弧线电机控制系统的 DSP 模块发出指令:弧线电机控制系统的位置给定信号通过该网络接口给定;

(2). 安装在大口径毫米波 / 亚毫米波望远镜弧线电机上的双通道多极旋转变压器的粗通道和精通道经数字转换器输出代表位置的数字信号,并经过电平转换后,传到 DSP 模块的并口,在 DSP 内部计算出弧线电机绝对机械位置信号,用作弧线电机位置闭环的位置反馈信号;

(3). DSP 模块将所述步骤(2)的绝对位置信号按照多极弧线电机的相应位置,进一步换算成电角度,用作弧线电机矢量控制构成电流闭环所需的电角度;

(4). DSP 模块内部用软件将数字转换器输出并经过电平转换后的数字信号换算成增量编码器形式的 A、B、Z 信号;

(5). A、B、Z 信号从 DSP 的 IO 口输出到 CPLD 模块计数和方向判断后利用串口通信送到 DSP 模块的 IO 口;

(6). DSP 模块按(5)所得计数值计算出电机转速,用作弧线电机速度闭环所需的速度信号。

2. 根据权利要求 1 所述的大口径毫米波 / 亚毫米波望远镜控制系统位置检测方法,其特征在于,在步骤(5)中,所述的 CPLD 模块内部加有数字滤波模块,用于对编码器形式的 A、B、Z 信号进行预处理,提高系统精度及系统鲁棒性。

3. 根据权利要求 1 所述的大口径毫米波 / 亚毫米波望远镜控制系统位置检测方法,其特征在于,步骤(2)所述的双通道多极旋转变压器的粗通道和精通道的速比是 1:64,用粗通道的前 6 位和精通道的 16 位实现 22 位的数字转换。

4. 根据权利要求 1 所述的大口径毫米波 / 亚毫米波望远镜控制系统位置检测方法,其特征在于,步骤(1)所述的上位控制计算机 PC 通过以太网对大口径毫米波 / 亚毫米波望远镜弧线电机控制系统的 DSP 模块发出指令,通过 DSP 的 SPI 接口进行通信,以实时监测望远镜跟踪目标的位置。

5. 根据权利要求 1~4 之一所述的大口径毫米波 / 亚毫米波望远镜控制系统位置检测方法,其特征在于,步骤(5)所述的 CPLD 模块采用 Altera 公司的 EPM7256S,输入信号是 DSP 模块处理后 TTL 电平的 A、B、Z 信号,在其内部分析 A、B 信号的相位关系并对其进行计数,并输出计数的方向,通过串口通信将计数结果及方向信号传送给 DSP。

6. 根据权利要求 5 所述的大口径毫米波 / 亚毫米波望远镜控制系统位置检测方法,其特征在于,所述的旋转变压器数字转换器采用 22ZSZ3413,粗、精结合构成 22 位的代表绝对位置信号的数字信号,采用电平转换芯片后直接接到 DSP 的 IO 口,由 DSP 完成其机械绝对位置的计算,并通过软件处理得出电电流闭环所需的电角度。

7. 根据权利要求 5 所述的大口径毫米波 / 亚毫米波望远镜控制系统位置检测方法,其特征在于,所述的以太网控制器采用带 SPI 接口的 ENC28J60,通过网络接口与 PC 机通信,完成望远镜控制系统位置信号的给定。

## 大口径毫米波 / 亚毫米波望远镜控制系统位置检测方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种望远镜跟踪控制系统的精确位置检测方法,具体涉及一种用于大口径毫米波 / 亚毫米波望远镜弧线电机控制系统的位置检测方法。本发明为国家重点基金项目,批准号为 10833004。

### 背景技术

[0002] 由于冷而密的星际气体和尘埃的准热辐射谱的峰值及其辐射能量,往往集中在毫米波和亚毫米波段,在这些波段上的观测将对研究恒星起源及演化、星际物质等提供十分重要的信息,因此毫米波 / 亚毫米波望远镜已成为天文学研究的重要手段。近年来,由于接收器方面的飞速发展更是大大推进了毫米波亚毫米望远镜的发展,相继有一部分大口径和高精度的毫米波望远镜建成并投入使用。毫米波和亚毫米波天文学作为射电天文学的一个分支,并不在于它的研究对象和课题与其他分支有什么不同,主要在于所用仪器和观测方法各具特点。毫米波 / 亚毫米波段望远镜所要求的指向精度仅仅是 1 角秒,这对暴露在大气中的射电望远镜来说是一个很高的指向要求。由于在毫米波 / 亚毫米波范围内不太可能利用星光进行导向,因此指向精度要求比光学望远镜还高,而且毫米波 / 亚毫米波望远镜天线的电性能和跟踪指向精度随天线指向而异,对毫米波 / 亚毫米波望远镜的运动方式及望远镜的跟踪精度提出了极高的要求。在望远镜的各种运动方式中,跟踪运动是要求最高也是最重要的运动,因为指向和跟踪精度的高低直接影响到望远镜观测图像的质量和跟踪天体的精确度,因此望远镜的方位轴和高度轴的位置反馈检测系统在望远镜跟踪运动中起着至关重要的作用。

[0003] 目前世界上在建或拟建的大口径毫米波 / 亚毫米波望远镜有美国、欧洲、日本共建的 66x12 (或 7) 米毫米波望远镜射电干涉阵 ALMA,美国、墨西哥共建的 50 米毫米波望远镜 LMT,日本的 6x10 米亚毫米波 Nobeyama,英国、荷兰、加拿大共建的 15 米亚毫米波 JCMT,美国的 25 米亚毫米波望远镜 CCAT 以及英国的 30 米亚毫米波望远镜 LST 等望远镜。这些射电望远镜驱动技术大都是轮轨式或拼接齿轮式传动,而轮轨式传动和齿轮传动技术的高精度要求对编码器本身精度和安装精度都提出了严格的要求,特别是编码器安装所产生的误差将成为系统的主要误差,只有 ALMA 射电干涉阵采用了直接驱动技术,该技术借鉴 VLT 的直接驱动方法。直接驱动不像蜗轮蜗杆传动、拼接齿轮传动和轮轨式传动那样在啮合点有很高的局部压力和局部变形,因而提高了系统的刚度。对于 VLT、ALMA 等直接驱动的组合单元直线电机而言,予以电机的电磁力矩的冗余,当有个别单元电机需要维修时,其余组合的单元电机可以正常工作而不影响望远镜的正常运行。VLT 和 ALMA 所用的电机都是意大利菲仕公司生产并配套驱动设备,因此对控制系统来说简化很多,但是位置信号采用的是海德汉配套的控制卡完成,成本相对较高。

[0004] 对于大型天文望远镜而言,目前直接驱动的最大缺点是需要专门定制,研制费用高,研制的周期也就相应加长。低速运行的天文望远镜的力矩波动和由齿槽效应引起的非线性问题会影响直接驱动的精度,这些都有待于进一步提高并修正。而采用机电一体化弧

线电机以后,望远镜的结构和运动方式都发生了根本性的改变,其驱动控制系统也需要采用一种全新的控制技术和控制装置,这些技术指标对控制系统的要求也是非常高的。我们国家在这方面还很薄弱。本课题所使用的驱动设备是自主研发的,因此对多对极的组合交流永磁同步弧线电机也需要根据有配套的位置检测方法,而且对于亚毫米望远镜来说,由于其要求的安装地点的环境条件非常恶劣,旋转变压器出色的性能而成为本项目的首选。

## 发明内容

[0005] 本发明将提供一种大口径毫米波 / 亚毫米波望远镜控制系统位置检测方法,本发明的位置检测方法能实现大口径毫米波 / 亚毫米波望远镜低速运行时角速度达到  $1''/s$ , 高速达  $12^\circ/s$ , 无低速爬行现象。

[0006] 实现本发明的技术方案是:一种大口径毫米波 / 亚毫米波望远镜控制系统位置检测方法,其特征在于,步骤如下:

(1). 大口径毫米波 / 亚毫米波望远镜的上位控制计算机 PC 通过以太网,对大口径毫米波 / 亚毫米波望远镜弧线电机控制系统的 DSP 模块发出指令:弧线电机控制系统的位置给定信号通过该网络接口给定;

(2). 安装在大口径毫米波 / 亚毫米波望远镜弧线电机上的双通道多极旋转变压器的粗通道和精通道经数字转换器输出代表位置的数字信号,并经过电平转换后,传到 DSP 模块的并口,在 DSP 内部计算出弧线电机绝对机械位置信号,用作弧线电机位置闭环的位置反馈信号;

(3). DSP 模块将所述步骤(2)的绝对位置信号按照多极弧线电机的相应位置,进一步换算成电角度,用作弧线电机矢量控制构成电流闭环所需的电角度;

(4). DSP 模块内部用软件将数字转换器输出并经过电平转换后的数字信号换算成增量编码器形式的 A、B、Z 信号;

(5). A、B、Z 信号从 DSP 的 IO 口输出到 CPLD 模块计数和方向判断后利用串口通信送到 DSP 模块的 IO 口;

(6). DSP 模块按(5)所得计数值计算出电机转速,用作弧线电机速度闭环所需的速度信号。

[0007] 本发明的工作原理是:粗、精结合的双通道多极旋转变压器经数字转换器转换成代表绝对机械位置信号的数字信号,并经过电平转换后输出到 DSP 模块并口计算出机械绝对位置,用作弧线电机位置闭环的位置反馈信号;根据多极弧线电机的相应位置换算成电角度,用做于检测弧线电机矢量控制构成电流闭环所需电角度;

所述的以太网控制器用来实现 DSP 模块和上位机 PC 之间通信,弧线电机控制系统的位置给定信号通过该网络接口给定;

所述执行电机为弧线电机,该弧线电机是大转矩、60 对极的单元组合交流永磁同步伺服电机;其特征在于,在下位计算机系统中:设有 DSP 芯片(模块)、CPLD 芯片(模块)及其串口通信模块,并有带 SPI 的以太网控制器;

所述的 CPLD 输入信号是 DSP 模块处理后 TTL 电平的增量式编码器形式的 A、B、Z 输出信号,在其内部分析 A、B 信号的相位关系确定电机的转向并对 A、B 信号 4 分频后的信号进行计数,计数结果及计数方向信号通过串口传送给 DSP,用于检测电机转向并处理成弧线电

机速度闭环的反馈信号；

换言之，本发明控制系统的位置检测方法是 DSP 和 CPLD 结合，由粗、精结合的旋转变压器及其数字转换器，带有 SPI 的独立以太网控制器组成；

望远镜跟踪系统中所用的弧线电机是大转矩、现采用的是 60 对极的单元组合交流永磁同步伺服电机，电机的采用减小转矩波动的设计方法，若驱动更大口径的毫米波望远镜可以在此实验基础上增加电机的极对数并可组成更多小电机以提高输出转矩跟踪精度，并在此实验的基础上增加旋转变压器的粗精比进一步提高位置跟踪精度。图 1 是本发明的控制系统位置检测方法的硬件实现框图。

[0008] 望远镜控制系统位置跟踪检测结构及主要功能。

#### [0009] 1. 位置环检测

所述的粗、精结合的旋转变压器的速比是 1:64，即由粗机确定轴角的粗略位置，由精机来得到轴角的精确位置；粗通道的旋转变压器旋转一周，精通道的旋转变压器旋转 64 周 ( $5.625^\circ$ )；该旋转变压的粗通道用 10 位数字转换器进行转换，精通道用 16 位转换器进行转换，数字转换器是 22ZSZ3413，由于旋转变压器的速比是 1:64，粗通道后 4 位所表示的数据的精度远远低于精通道表示的精度，因此用粗通道的前 6 位和精通道的 16 位可实现 22 位的数字转换，分辨率可达近  $0.31''$ ，用作弧线电机位置闭环的位置反馈信号，图 2 是数字转换器与 DSP 连接的电路实现框图；

对弧线电机控制时，旋转变压器数字转换器直接得出绝对位置信号 *MechTheta1*，结合极对数求出每  $24^\circ$ （一个单元电机，其中的 1 对极对应的机械角度为  $6^\circ$ ）对应的电流电角度 *ElecTheta*，于是有：

$$ElecTheta = 60 * MechTheta1 - 360^\circ * [MechTheta1 / 6^\circ]_{\text{整数部分}}$$

粗、精结合的转换器的纠错采用软件处理，简化了系统电路，并且转换器的输出通过电平转换后与 DSP 并行连接，通过数学计算可以直接计算出转子的机械角度，并根据条件判断是否需要纠错，如果需要纠错直接加或减一个精通道对应的机械角度即可。该角度用作弧线电机矢量控制构成电流闭环所需电角度，实际处理的时候为提高系统的精度，全部采用标幺值处理。图 3 是根据检测机械绝对位置计算电流环所需电角度的软件实现框图。

[0010] 与传统的光电编码器相比，本发明位置环电路简单，抗干扰能力强，可实施性强，并且精度很高，对高精度毫米波 / 亚毫米波望远镜跟踪运动来说是可行的。

#### [0011] 2. 方向和速度检测

所述的 CPLD 模块是 Altera 公司的 EPM7256s，其输入信号是 DSP 模块处理后 TTL 电平的 A、B、Z 信号，在其内部分析 A、B 信号的相位关系确定电机的转向并对 A、B4 分频后的信号进行计数，计数结果及计数方向信号通过串口传送给 DSP，用于检测电机转向并处理成弧线电机速度闭环的速度反馈信号；

#### 3. 通信模块

所述的 DSP 与上位机的通信系统是 ENC28J60，通过上位机将望远镜跟踪目标位置通过以太网控制器方便的送入 DSP 完成位置闭环。

[0012] 本发明还有以下优化方案：

1、旋转变压器数字转换器的数据处理不使用专用的双速处理机处理，直接经过电平转换输出到 DSP 的并口处理机械绝对位置角度，大大节约了系统成本。

[0013] 2、在步骤(5)中,所述的 CPLD 模块内部加有数字滤波模块,用于处理编码器形式的 A、B、Z 信号,提高系统精度及系统鲁棒性。

[0014] 3、步骤(1)所述的上位控制计算机 PC 通过以太网对大口径毫米波 / 亚毫米波望远镜弧线电机控制系统的 DSP 模块发出指令,是通过数据转换器及电平转换后直接与 DSP 进行并行通信,可以实时监测绝对位置信号。

[0015] 本发明的位置检测方法能实现大口径毫米波 / 亚毫米望远镜低速运行时角速度达到  $1''/s$ , 高速达  $12^\circ/s$ , 无低速爬行现象。

[0016] 附图说明

图 1 是控制系统位置检测方法实现框图;

图 2 是数字转换器与 DSP 连接的电路实现框图;

图 3 是旋转变压器绝对位置和电角度计算软件流程图;

图 4 是 CPLD 内部实现计数电路框图。

### 具体实施方式

[0017] 实施例 1, 大口径毫米波 / 亚毫米波望远镜弧线电机控制系统位置跟踪检测方法及其, 本发明的位置检测方法能实现大口径毫米波 / 亚毫米望远镜低速运行时角速度达到  $1''/s$ , 高速达  $12^\circ/s$ , 指向精度可实现毫米波亚毫米波所要求的  $\leq 1''/s$ 。

[0018] 实现本发明的技术方案是粗、精结合的双通道多极旋转变压器经数字转换器转换成代表绝对机械位置信号的数字信号, 并经过电平转换后输出到 DSP 模块并口计算出机械绝对位置, 用作弧线电机位置闭环的位置反馈信号; 根据弧线电机的特点换算成电角度, 用于检测弧线电机矢量控制构成电流闭环所需电角度;

所述的以太网控制器用来实现 DSP 模块和上位机 PC 之间通信, 弧线电机控制系统的位置给定信号通过该网络接口给定;

所述执行电机为弧线电机, 该弧线电机是大转矩、60 对极的单元组合交流永磁同步伺服电机; 其特征在于, 在下位计算机系统中: 设有 DSP 芯片(模块)、CPLD 芯片(模块)及其串口通信模块, 并有带 SPI 的以太网控制器;

所述的 CPLD 输入信号是 DSP 模块处理后 TTL 电平的 A、B、Z 信号, 在其内部分析 A、B 信号的相位关系确定电机的转向并对 A、B 4 分频后的信号进行计数, 计数结果及计数方向信号通过串口传送给 DSP, 用于检测电机转向并处理成弧线电机速度闭环的反馈信号;

换言之, 本发明控制系统的位置检测方法是 DSP 和 CPLD 结合, 由粗、精结合的旋转变压器及其数字转换器, 带有 SPI 的独立以太网控制器组成;

望远镜跟踪系统中所用的弧线电机是大转矩、现采用的是 60 对极的单元组合交流永磁同步伺服电机, 电机的采用减小转矩波动的设计方法, 若驱动更大口径的毫米波望远镜可以在此实验基础上增加电机的极对数并可组成更多小电机以提高输出转矩跟踪精度, 并在此实验的基础上增加旋转变压器的粗精比进一步提高位置跟踪精度。图 1 是本发明的控制系统位置检测方法的硬件实现框图。

[0019] 望远镜控制系统位置跟踪检测结构及主要功能。

[0020] 1. 位置环检测

所述的粗、精结合的旋转变压器的速比是 1:64, 即由粗机确定轴角的粗略位置, 由精

机来得到轴角的精确位置；粗通道的旋转变压器旋转一周，精通道的旋转变压器旋转 64 周 ( $5.625^\circ$ )；该旋转变压的粗通道用 10 位数字转换器进行转换，精通道用 16 位转换器进行转换，数字转换器是 22ZSZ3413，由于旋转变压器的速比是 1:64，粗通道后 4 位所表示的数据的精度远远低于精通道表示的精度，因此用粗通道的前 6 位和精通道的 16 位可实现 22 位的数字转换，分辨率可达近  $0.31''$ ，用作弧线电机位置闭环的位置反馈信号，图 2 是数字转换器与 DSP 连接的电路实现框图；

对弧线电机控制时，旋转变压器数字转换器直接得出绝对位置信号 *MechTheta1*，结合极对数求出每  $24^\circ$ （一个单元电机，其中的 1 对极对应的机械角度为  $6^\circ$ ）对应的电流电角度 *ElecTheta*，于是有：

$$ElecTheta = 60 * MechTheta1 - 360^\circ * [MechTheta1 / 6^\circ]_{\text{整数部分}}$$

粗、精结合的转换器的纠错采用软件处理，简化了系统电路，并且转换器的输出通过电平转换后与 DSP 并行连接，通过数学计算可以直接计算出转子的机械角度，并根据条件判断是否需要纠错，如果需要纠错直接加或减一个精通道对应的机械角度即可。该角度用作弧线电机矢量控制构成电流闭环所需电角度，实际处理的时候为提高系统的精度，全部采用标么值处理。图 3 是根据检测机械绝对位置计算电流环所需电角度的软件实现框图。

[0021] 与传统的光电编码器相比，本发明位置环电路简单，抗干扰能力强，可实施性强，并且精度很高，对高精度毫米波 / 亚毫米波望远镜跟踪运动来说是可行的。

## [0022] 2. 方向和速度检测

所述的 CPLD 模块是 Altera 公司的 EPM7256s，其输入信号是 DSP 模块处理后 TTL 电平的 A、B、Z 信号，在其内部分析 A、B 信号的相位关系确定电机的转向并对 A、B4 分频后的信号进行计数，计数结果及计数方向信号通过串口传送给 DSP，用于检测电机转向并处理成弧线电机速度闭环的速度反馈信号；

## 3. 通信模块

所述的 DSP 与上位机的通信系统是 ENC28J60，通过上位机将望远镜跟踪目标位置通过以太网控制器方便的送入 DSP 完成位置闭环。

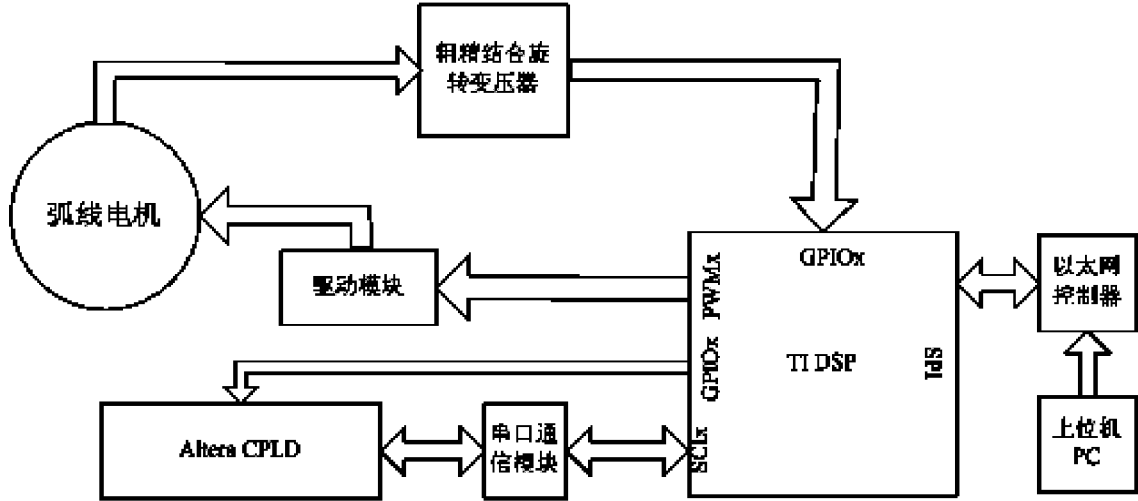


图 1

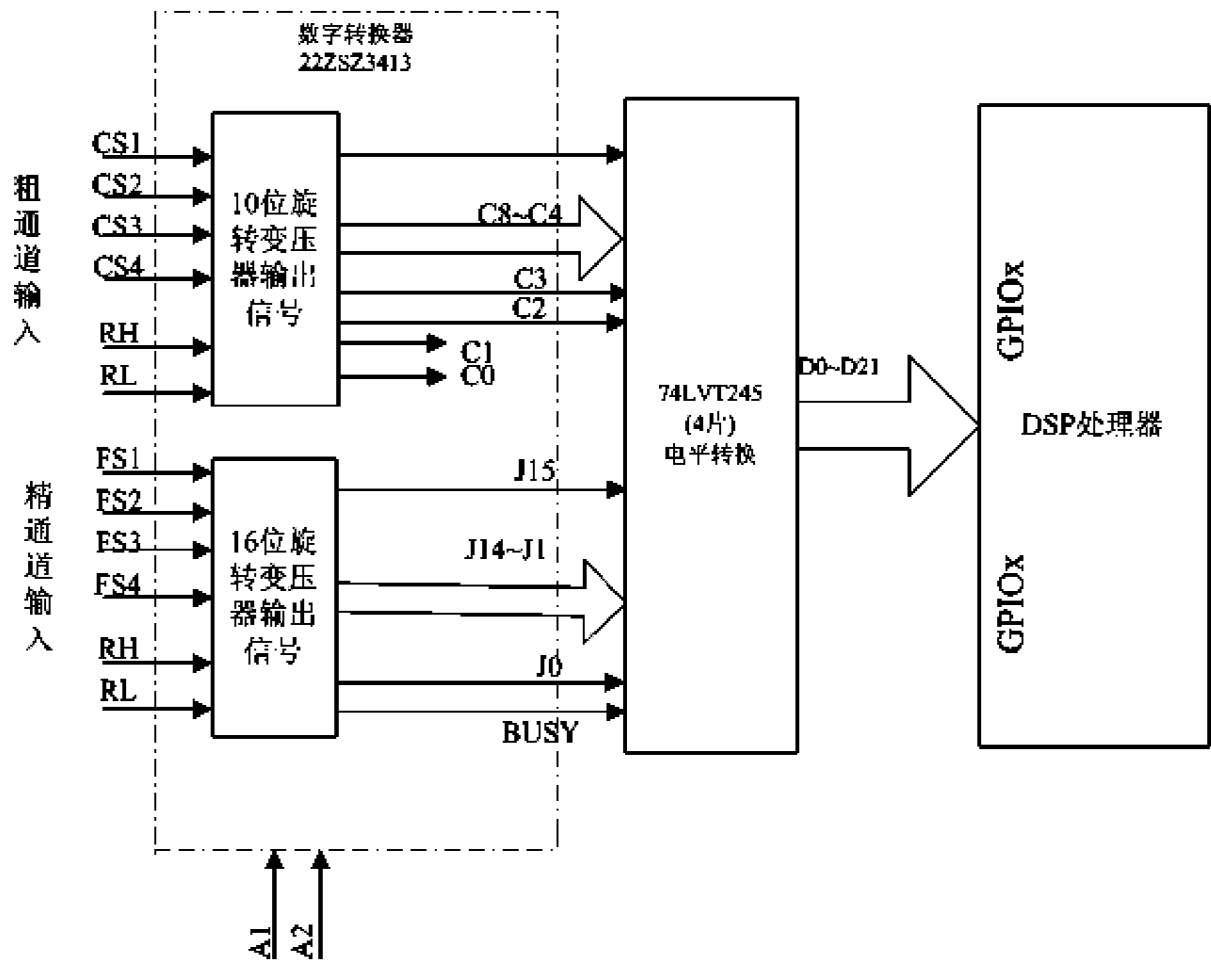


图 2



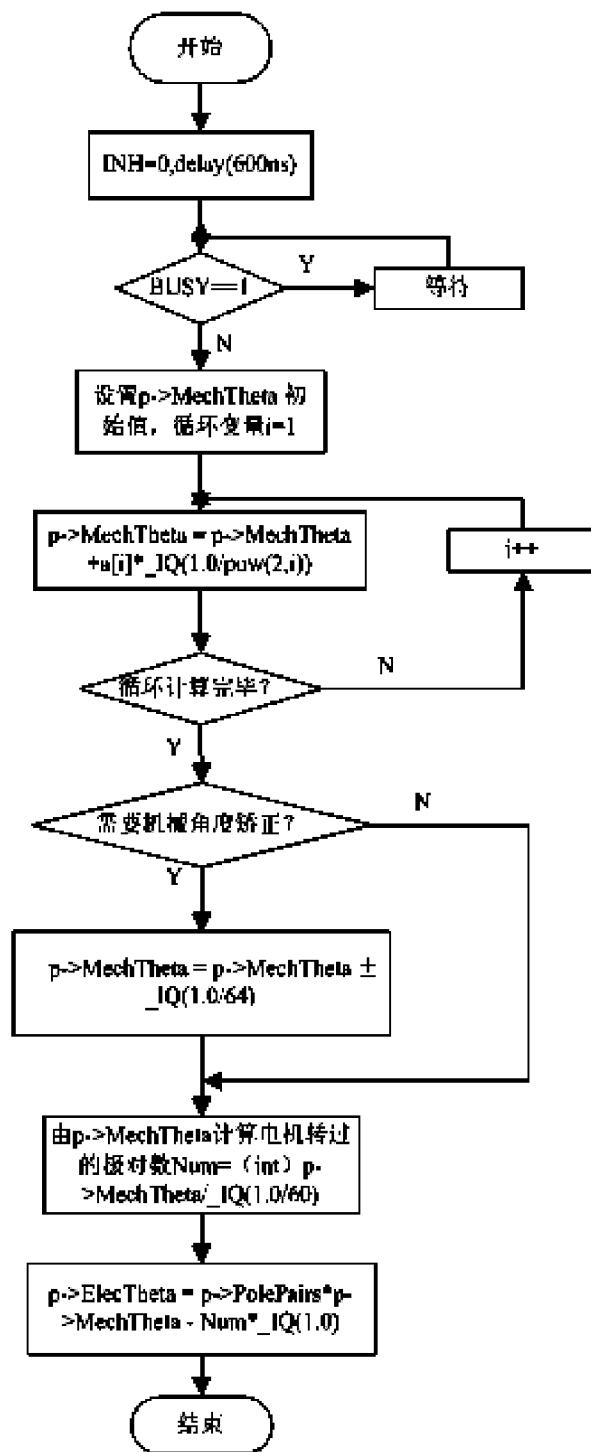


图 3

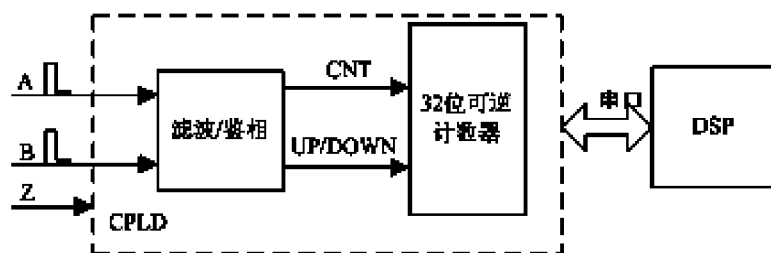


图 4