



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112310645 B

(45) 授权公告日 2022.06.21

(21) 申请号 202011229555.5

(51) Int.Cl.

(22) 申请日 2020.11.06

H01Q 3/02 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

审查员 马玉芳

申请公布号 CN 112310645 A

(43) 申请公布日 2021.02.02

(73) 专利权人 中国电子科技集团公司第五十四研究所

地址 050081 河北省石家庄市中山西路589号中国电子科技集团公司第五十四研究所天线伺服专业部

(72) 发明人 许海深 孙孟林 谢少明 窦玉超 段艳宾 付强 秦超

(74) 专利代理机构 河北东尚律师事务所 13124 专利代理师 王文庆

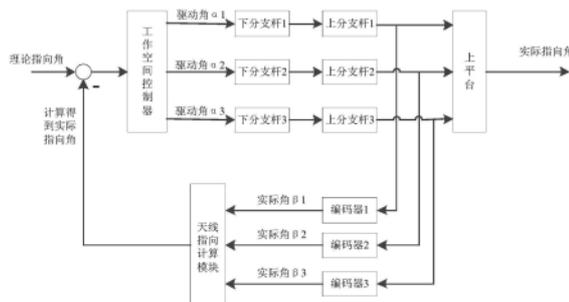
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种3RSR并联机构天线的工作空间闭环控制方法

(57) 摘要

本发明公开了一种3RSR并联机构天线的工作空间闭环控制方法,属于卫星通信以及测控技术领域。其包括以下步骤:安装3个绝对式编码器用于采集相应上转动副的角度,标定编码器的初始角度,实时采集编码器上报的角度,计算当前3RSR天线的实际指向角,对天线进行工作空间的闭环控制。本发明采用绝对式编码器直接测量上分支杆与上平台之间的角度,通过算法计算得到天线在工作空间中的实际指向,与天线指令角形成工作空间内的闭环控制,能够有效避免3RSR并联机构加工精度、安装偏差对天线指向精度带来的不利影响,同时提高天线伺服系统的带宽,加快天线的响应速度。



1. 一种3RSR并联机构天线的工作空间闭环控制方法,其特征在于,用于控制3RSR并联机构天线的指向,所述3RSR并联机构天线的三个上分支杆与上平台间均具有上转动副,三个下分支杆与下平台间均具有下转动副,上分支杆与对应下分支杆之间具有中转动副;包括如下步骤:

(1) 在每个上转动副上分别安装一个绝对式编码器,编码器的轴线与其所在上转动副的轴线相重合;

(2) 建立上、下平台坐标系,并在天线方位角为 0° 、俯仰角为 90° 的状态下标定各编码器的初始角度;

其中,下平台坐标系 $O-xyz$ 的原点定于下平台铰点中心, x 轴指向第一下转动副的中点, z 轴垂直于下平台并指向上, y 轴由右手定则确定;上平台坐标系 $C-XYZ$ 的原点定于上平台铰点中心, X 轴指向位于第一上转动副的中点,第一上转动副与第一下转动副位置对应, Z 轴垂直于上平台并指向上, Y 轴由右手定则确定;

(3) 实时采集三个编码器的角度;

(4) 计算天线在工作空间的实际指向角:

$$Az = \begin{cases} \arctan\left(\frac{p}{m}\right) \\ \arctan\left(\frac{p}{m}\right) + \pi \\ \arctan\left(\frac{p}{m}\right) + 2\pi \end{cases}$$

$$El = 2 \arctan\left(\frac{\sqrt{m^2 + p^2}}{q}\right)$$

其中, m 、 p 、 q 的值通过下式计算:

$$m\vec{i} + p\vec{j} + q\vec{k} = \begin{pmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \frac{1}{2}L \cos \beta_2 + L \cos \beta_1 - \frac{\sqrt{3}}{2}R & -\frac{\sqrt{3}}{2}L \cos \beta_2 + \frac{1}{2}R & L \sin \beta_2 - L \sin \beta_1 \\ \frac{1}{2}L \cos \beta_3 + L \cos \beta_1 - \frac{\sqrt{3}}{2}R & \frac{\sqrt{3}}{2}L \cos \beta_3 - \frac{1}{2}R & L \sin \beta_3 - L \sin \beta_1 \end{pmatrix};$$

上述各式中, β_1 、 β_2 、 β_3 分别为第一、第二、第三上转动副处编码器的角度测量值, L 为上转动副中点与对应中转动副中点之间的距离, R 为上平台铰点中心与上转动副中点之间的距离, $m\vec{i} + p\vec{j} + q\vec{k}$ 为过第一中转动副中点且与三个中转动副中点所成平面相垂直的单位向量,第一中转动副与第一下转动副位置对应, \vec{i} 、 \vec{j} 、 \vec{k} 为下平台坐标系的基向量, Az 为天线实际指向的方位角, El 为为天线实际指向的俯仰角;

(5) 将步骤(4)得到的天线实际指向角反馈到天线工作空间的控制回路中,与天线理论指向角进行比较,将误差作为天线运动控制器的输入值,通过调节控制器参数,输出各个输出轴的期望角度,实现对天线指向的反馈控制。

一种3RSR并联机构天线的工作空间闭环控制方法

技术领域

[0001] 本发明属于卫星通信以及测控技术领域,特别是指一种3RSR并联机构天线的工作空间闭环控制方法。

背景技术

[0002] 传统的天线座架大多采用方位-俯仰(AE)座架形式,这种座架因结构简单,技术成熟而广泛使用,但是,此种天线座架存在无法“过顶”连续跟踪卫星信号的“盲区”。为了解决天线过顶问题,人们研发了多种天线座架形式,例如XY座架、AET座架、并联机构座架等。其中,3RSR并联机构天线就是专门解决“过顶”问题而研发的一种并联机构座架天线。

[0003] 3RSR并联机构天线具有易过顶、结构简单、无需滑环等优点。由于3RSR天线没有实际物理的方位与俯仰旋转轴,无法安装编码器直接测量天线的指向角作为反馈,因此只能通过给定方位俯仰指向角,通过3RSR机构反解算法得到驱动轴角度,认为驱动轴转动到相应角度,则天线到达指令角度。

[0004] 目前,3RSR并联机构天线控制方式存在以下缺点:

[0005] (1) 由于加工精度、安装误差等因素的存在,导致驱动轴转动到相应角度后,当前实际指向角与指令角存在一定误差;

[0006] (2) 由于现有控制方式为关节空间闭环,系统带宽较低,难以跟踪快速移动目标。

发明内容

[0007] 本发明针对现有3RSR天线控制方式的不足,提供了一种3RSR并联机构天线的工作空间闭环控制方法,该方法能够消除机械加工精度与安装误差带来的不利影响,大幅提高天线的指向精度,提高系统伺服控制带宽,满足3RSR天线跟踪卫星的指向精度要求。

[0008] 为了实现上述目的,本发明采用的技术方案为:

[0009] 一种3RSR并联机构天线的工作空间闭环控制方法,用于控制3RSR并联机构天线的指向,所述3RSR并联机构天线的三个上分支杆与上平台间均具有上转动副,三个下分支杆与下平台间均具有下转动副,上分支杆与对应下分支杆之间具有中转动副;包括如下步骤:

[0010] (1) 在每个上转动副上分别安装一个绝对式编码器,编码器的轴线与其所在上转动副的轴线相重合;

[0011] (2) 建立上、下平台坐标系,并在天线方位角为 0° 、俯仰角为 90° 的状态下标定各编码器的初始角度;

[0012] 其中,下平台坐标系 $O-xyz$ 的原点定于下平台铰点中心, x 轴指向第一下转动副的中点, z 轴垂直于下平台并指向上, y 轴由右手定则确定;上平台坐标系 $C-XYZ$ 的原点定于上平台铰点中心, X 轴指向位于第一上转动副的中点,第一上转动副与第一下转动副位置对应, Z 轴垂直于上平台并指向上, Y 轴由右手定则确定;

[0013] (3) 实时采集三个编码器的角度;

[0014] (4) 计算天线在工作空间的实际指向角;

$$[0015] \quad Az = \begin{cases} \arctan\left(\frac{p}{m}\right) \\ \arctan\left(\frac{p}{m}\right) + \pi \\ \arctan\left(\frac{p}{m}\right) + 2\pi \end{cases}$$

$$[0016] \quad El = 2 \arctan\left(\frac{\sqrt{m^2 + p^2}}{q}\right)$$

[0017] 其中, m 、 p 、 q 的值通过下式计算:

$$[0018] \quad m\vec{i} + p\vec{j} + q\vec{k} = \begin{pmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \frac{1}{2}L \cos \beta_2 + L \cos \beta_1 - \frac{\sqrt{3}}{2}R & -\frac{\sqrt{3}}{2}L \cos \beta_2 + \frac{1}{2}R & L \sin \beta_2 - L \sin \beta_1 \\ \frac{1}{2}L \cos \beta_3 + L \cos \beta_1 - \frac{\sqrt{3}}{2}R & \frac{\sqrt{3}}{2}L \cos \beta_3 - \frac{1}{2}R & L \sin \beta_3 - L \sin \beta_1 \end{pmatrix};$$

[0019] 上述各式中, β_1 、 β_2 、 β_3 分别为第一、第二、第三上转动副处编码器的角度测量值, L 为上转动副中点与对应中转动副中点之间的距离, R 为上平台铰点中心与上转动副中点之间的距离, $m\vec{i} + p\vec{j} + q\vec{k}$ 为过第一中转动副中点且与三个中转动副中点所成平面相垂直的单位向量, 第一中转动副与第一下转动副位置对应, \vec{i} 、 \vec{j} 、 \vec{k} 为下平台坐标系的基向量, Az 为天线实际指向的方位角, El 为为天线实际指向的俯仰角;

[0020] (5) 将步骤(4)得到的天线实际指向角反馈到天线工作空间的控制回路中, 与天线理论指向角进行比较, 将误差作为天线运动控制器的输入值, 通过调节控制器参数, 输出各个输出轴的期望角度, 实现对天线指向的反馈控制。

[0021] 与现有关节空间闭环控制方法相比, 本发明的有益效果在于:

[0022] 1、本发明采用绝对式编码器直接测量上分支杆与上平台之间的角度, 通过算法计算得到天线在工作空间中的实际指向, 与天线指令角形成工作空间内的闭环控制, 能够有效避免3RSR并联机构加工精度、安装偏差对天线指向精度带来的不利影响, 同时提高天线伺服系统的带宽, 加快天线的响应速度。

[0023] 2、本发明所采用的工作空间闭环方法具有安装标定简单、计算量较小、精度高的优点, 成本低廉, 经济实用。

附图说明

[0024] 图1为本发明实施例中3RSR并联机构天线的结构示意图。

[0025] 图2为本发明实施例中上下平台坐标系的示意图。

[0026] 图3为本发明实施例中工作空间闭环控制方法的原理框图。

具体实施方式

[0027] 下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步的详细说明。

[0028] 一种3RSR并联机构天线的工作空间闭环控制方法,应用于如图1所示的3RSR并联机构天线。该天线包括天线面1、上平台2、下平台5、三根上分支杆3以及三根下分支杆4,上分支杆与上平台之间具有上转动副,下分支杆与下平台之间具有下转动副,对应的上分支杆与下分支杆之间具有中转动副,上平台铰点中心到各上转动副中点(即图3中的 Q_1 、 Q_2 、 Q_3)的距离相等,下平台铰点中心到各下转动副中点(即图3中的 P_1 、 P_2 、 P_3)的距离相等,各上转动副中点与对应中转动副中点(即图3中的 G_1 、 G_2 、 G_3)的距离以及各下转动副中点与对应中转动副中点的距离均相等。

[0029] 本方法将三个绝对式编码器6分别安装在3个上转动副处,编号为1、2、3号。绝对式编码器能够实时测量转动副相对于某一基准位置的转动角度,即,测出各上分支杆与上平台之间的夹角,分别记为 β_1 、 β_2 、 β_3 。分支杆中心铰点在上平台下方记为正角度。下分支杆与下平台间旋转角度由驱动电机后端的编码器上报所得,分别记为 α_1 、 α_2 、 α_3 。分支杆中心铰点在下平台上记为正角度。

[0030] 该3RSR并联机构天线座架上下平台铰点按正三角形排布,拟合圆周半径记为 R ;六根连杆的长度均相等,长度记为 L 。运动过程中,上下平台圆心间距一定,记为 H 。此时理论上3RSR并联机构的上下平台关于中间铰点所形成的平面对称,上分支杆与上平台间角度与下分支杆与下平台角度对应相等。即 $\alpha_1 = \beta_1$, $\alpha_2 = \beta_2$, $\alpha_3 = \beta_3$ 。

[0031] 现有的关节空间闭环方法是将天线的方位俯仰指令角通过3RSR机构反解算法计算,得到相应下分支杆各自旋转指令角度 α_1 、 α_2 、 α_3 ,驱动电机带动下分支杆运动到响应角度。即,认为天线转动到指定的方位俯仰角。但是,由于加工精度与安装偏差的存在,导致上下分支杆旋转角度不尽相同,即 $\alpha_1 \neq \beta_1$, $\alpha_2 \neq \beta_2$, $\alpha_3 \neq \beta_3$,此时天线的实际指向角度与理论角度存在一定的误差,导致天线指向精度降低,影响卫星通信信号质量。本方法利用绝对式编码器测量上分支杆与上平台之间转动角度,通过算法计算得到3RSR并联机构天线的实际方位俯仰指向角,利用天线工作空间中的理论指向角与实际指向角,进行工作空间闭环控制,从而提高天线的指向精度,提高系统的伺服带宽。

[0032] 本方法的控制原理如图3所示,其具体步骤为:

[0033] ①编码器的安装位置。

[0034] 如图1所示,本方法需要将三个绝对式编码器分别安装在三个上转动副处,安装时编码器的轴线应与转动副的轴线相重合,以保证测量角度的准确性。

[0035] ②标定编码器的初始角度。

[0036] 建立对称规则3RSR并联机构的上下平台坐标系,如图2所示。下平台坐标系 $O-xyz$,原点定于下平台铰点中心, x 轴指向 P_1 点, z 轴垂直于下平台向上, y 轴由右手定则确定。上平台坐标系 $C-XYZ$,原点定于上平台铰点中心, X 轴指向 Q_1 点, Z 轴垂直于上平台向上, Y 轴由右手定则确定。规定天线初始位置为坐标系 $O-xyz$ 与 $C-XYZ$ 平行,且 $\|OC\|_2 = H_0$ 。此时天线方位角为 0° ,俯仰角为 90° 。通过3RSR并联机构反解算法得出,此时 $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \phi$,由于上平台与下平台相对于中间铰点构成的平面对称,所以此时 $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \phi$ 。通过控制程序,将此状态下各上分支杆与上平台角度分别标定为 ϕ 。

[0037] ③实时采集编码器角度。

[0038] 天线伺服控制系统闭环时间为 10ms ,所以编码器数据上报周期也应为 10ms 。本方法采用编码器通过CAN总线的方式,将各个编码器采集到的角度通过不同的ID区分,以一定

的格式上报给控制器,控制器对CAN总线上有效的数据进行解析,得到准确的角度值并赋值给相应变量。

[0039] ④计算天线工作空间实际指向角

[0040] 通过上述步骤③得到当前各分支杆与上平台之间的实际角度记为 β_1 、 β_2 、 β_3 ,则可以求得中转动副中点 G_1 、 G_2 、 G_3 在上平台坐标系中的坐标值,进而可以求得矢量 G_1G_2 与矢量 G_1G_3 ,进而构建中间平面在上平台坐标系下的表示 $G_1G_2G_3$ 。

[0041] 其中,通过点 G_1 且垂直于中间平面 $G_1G_2G_3$ 的法线矢量为:

$$[0042] \begin{pmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \frac{1}{2}L\cos\beta_2 + L\cos\beta_1 - \frac{\sqrt{3}}{2}R & -\frac{\sqrt{3}}{2}L\cos\beta_2 + \frac{1}{2}R & L\sin\beta_2 - L\sin\beta_1 \\ \frac{1}{2}L\cos\beta_3 + L\cos\beta_1 - \frac{\sqrt{3}}{2}R & \frac{\sqrt{3}}{2}L\cos\beta_3 - \frac{1}{2}R & L\sin\beta_3 - L\sin\beta_1 \end{pmatrix} = m\vec{i} + p\vec{j} + q\vec{k}$$

[0043] 式中, m 、 p 、 q 为 β_1 、 β_2 、 β_3 的相关函数关系式。

[0044] 由于矢量 OC 及上述过点 G_1 且垂直于中间平面 $G_1G_2G_3$ 的法线矢量均垂直于中间平面 $G_1G_2G_3$ 。设其坐标系三个方向上对应分量的比例系数为 K ,可得:

$$[0045] \begin{cases} m = K \cdot H \sin\left(\frac{El}{2}\right) \cos(Az) \\ p = K \cdot H \sin\left(\frac{El}{2}\right) \sin(Az) \\ q = K \cdot H \cos(Az) \end{cases}$$

[0046] 进而可以得到3RSR并联机构天线实际的指向角为:

$$[0047] Az = \begin{cases} \arctan\left(\frac{p}{m}\right) & (m \geq 0, p \geq 0) \\ \arctan\left(\frac{p}{m}\right) + \pi & (m < 0) \\ \arctan\left(\frac{p}{m}\right) + 2\pi & (m \geq 0, p < 0) \end{cases}$$

$$[0048] El = 2 \arctan\left(\frac{\sqrt{m^2 + p^2}}{q}\right)$$

[0049] ⑤对天线指向进行反馈控制

[0050] 将步骤④得到的天线实际方位俯仰指向角反馈到天线工作空间控制回路中,与天线理论指向角进行比较做差,将误差 e 作为天线运动控制器的输入值,通过调节控制器参数,输出各个输出轴的期望角度 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 。此种工作空间闭环方法能够将外界干扰对天线位姿的扰动、结构变形误差、安装误差都包含在反馈通道内,可以对天线位姿实时纠正。所以本发明较之前关节空间闭环方法天线的指向精度更高,通过调节反馈控制器参数,能够提高系统伺服带宽,提高天线的响应速度。

[0051] 总之,本发明方法可应用于3RSR并联机构座架形式的天线,其通过三个编码器测量三个分支杆与上平台的角度,实时计算得到天线实际指向角,从而形成了一种基于目标理论指向角与当前实际指向角信息的工作空间闭环控制方法。本发明圆满地解决了由于加工精度与安装误差带来的指向偏差,大幅提高了3RSR并联机构天线的指向精度,提高了系统伺服带宽。

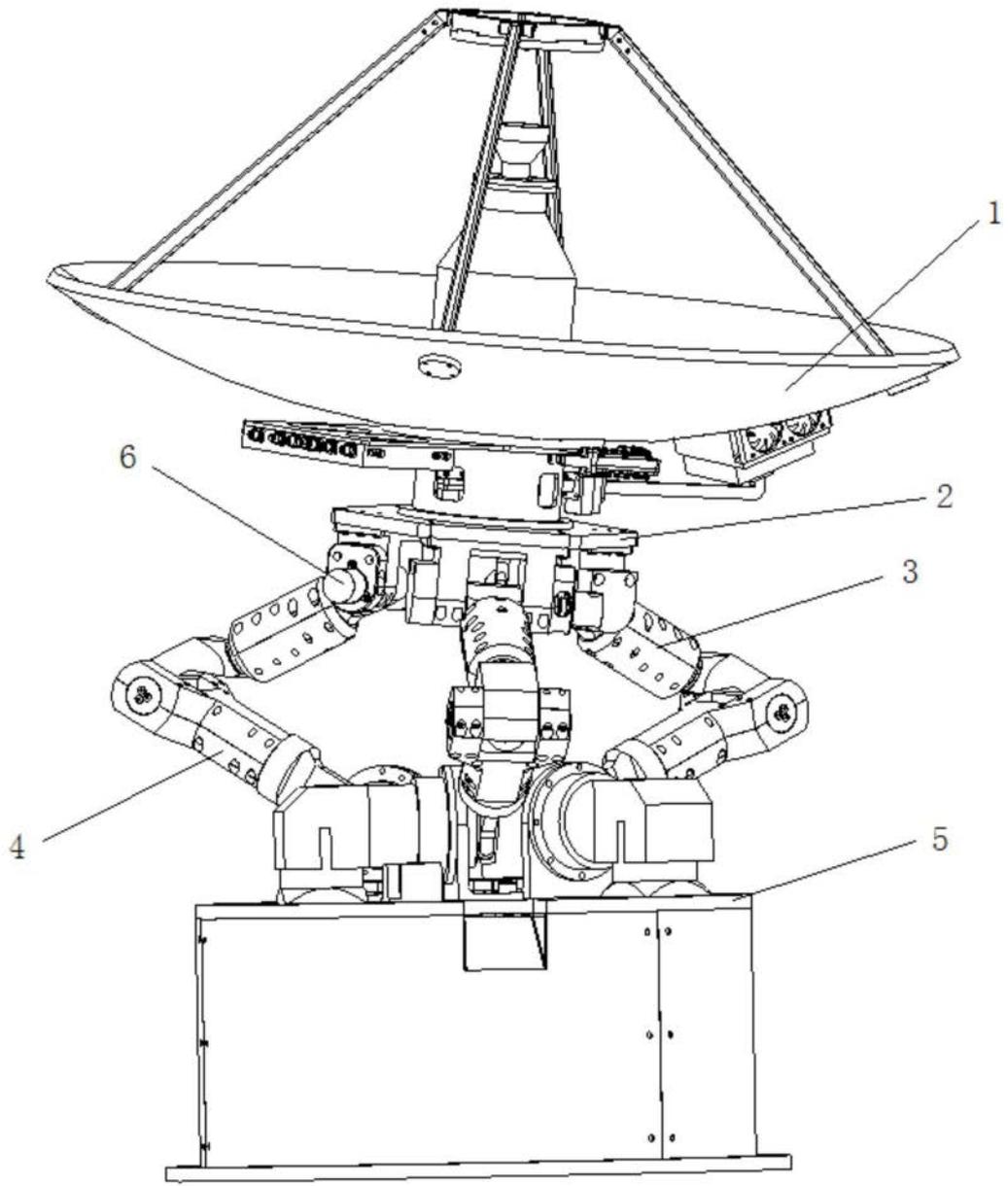


图1

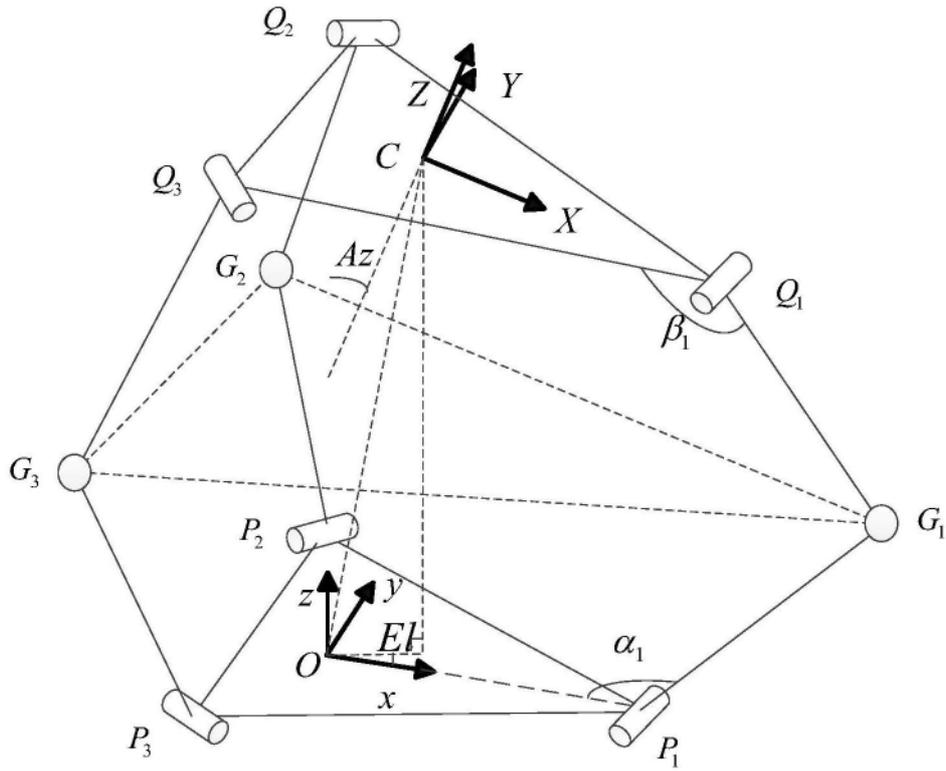


图2

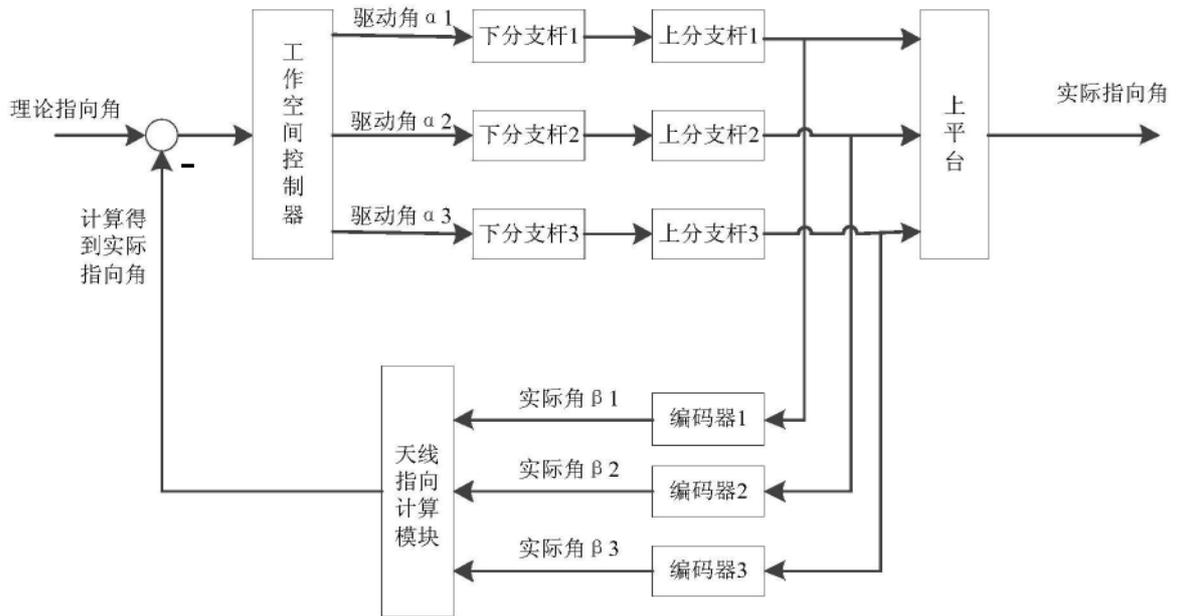


图3