



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106020125 B

(45)授权公告日 2018.10.02

(21)申请号 201610460099.2

CN 104655043 A, 2015.05.27,

(22)申请日 2016.06.23

CN 104483967 A, 2015.04.01,

(65)同一申请的已公布的文献号

CN 104035083 A, 2014.09.10,

申请公布号 CN 106020125 A

CN 103909522 A, 2014.07.09,

US 9008363 B1, 2015.04.14,

(43)申请公布日 2016.10.12

审查员 马波

(73)专利权人 埃夫特智能装备股份有限公司

地址 241000 安徽省芜湖市鸠江经济开发
区万春东路96号

(72)发明人 柳贺 许礼进 曾辉 游玮

肖永强 平国祥 万君 贾时成
陈青

(51) Int. Cl.

G05B 19/414(2006.01)

(56)对比文件

CN 105082134 A, 2015.11.25,

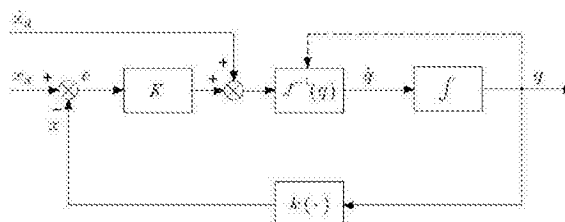
权利要求书1页 说明书3页 附图1页

(54)发明名称

一种基于速度连续的工业机器人运动学算法

(57)摘要

本发明涉及一种基于速度连续的工业机器人运动学算法,包括以下两个部分:(1)对工业机器人轴进行速度和位置的规划;(2)误差控制。本发明以6自由度工业机器人为例,依据D-H参数,计算机器人的雅克比矩阵,在笛卡尔空间进行TCP速度 V_e 的规划,反雅克比运算,再反雅克比矩阵中增加反奇异位的变量 α ,求出插补时间的关节速度 \dot{q} ,然后对各轴速度进行积分出各轴的位置量 q ,运算过程严密,保证了运算结果的准确度。



1. 一种基于速度连续的工业机器人运动学算法,其特征在于:包括以下两个部分:

(1) 对工业机器人轴进行速度和位置的规划,具体算法为:

① 依据工业机器人D-H矩阵参数求出工业机器人的雅克比矩阵 $J(q)$,引入反奇异位变量 α ,得出反雅克比矩阵 J^* 与反奇异位变量 α 的关系,见公式(1):

$$J^* = J^T (JJ^T + \alpha^2 I)^{-1} \quad (1)$$

式中: I 为单位阵; J^T 为 J 的旋转矩阵;

② 按照公式(2)和公式(3)计算出工业机器人的关节速度 \dot{q} ;

$$V_e = J(q)\dot{q} \quad (2)$$

式中: V_e 为机器人笛卡尔坐标系下的速度量;

$$\dot{q} = J^{-1}(q)V_e \quad (3)$$

③ 按照公式(4)计算出关节位置 q :

$$q(T_{k+1}) = q(T_k) + \dot{q}(T_k)\Delta t \quad (4)$$

式中: T_{k+1} 和 T_k 为时间周期;

(2) 误差控制:反奇异位变量 α 的引入,会同时引入位姿的误差,即控制位姿与实际位姿的差值 (e_p, e_o) ,其中:误差 (e_p, e_o) 由公式(5)(6)(7)定义,为了减小误差,需要对误差进行抑制;

$$e_p = p_d - p_e(q) \quad (5)$$

式中: e_p 为位置误差; p_d 为命令位置, p_e 为实际位置;

$$e_o = \gamma \sin \theta \quad (6)$$

式中: e_o 为姿态误差, γ 为旋转轴, θ 为旋转角度;

$$R(\theta, \gamma) = R_d R_e^T(q) \quad (7)$$

式中: R 为姿态矩阵, R_e 为实际姿态矩阵, R_d 为命令姿态矩阵;

具体抑制方法为:建立一个控制位姿与实际位姿的差值 (e_p, e_o) 、增益 K 、反雅克比矩阵 J^* 之间的闭环控制模型,通过调整参数变量 α 与增益 K 的值,满足机器人奇异位的速度连续,同时保证轨迹精度。

一种基于速度连续的工业机器人运动学算法

技术领域

[0001] 本发明涉及工业机器人控制方法技术领域,具体的说是一种基于速度连续的工业机器人运动学算法。

背景技术

[0002] 随着工业自动化的发展,工业机器人的使用领域越来越大,现场工艺对机器人运动要求越来越严格,工业机器人不仅仅是关节运动,针对工业机器人的结构不同,笛卡尔坐标系下运动存在奇异位置,有些工艺要求必须速度连续地通过奇异位,因此人们需要一种速度连续的工业机器人运动学算法,帮助工业机器人迅速通过笛卡尔坐标系下的奇异位置。

发明内容

[0003] 针对上述技术的缺陷,本发明提出一种基于速度连续的工业机器人运动学算法。

[0004] 一种基于速度连续的工业机器人运动学算法,包括以下两个部分:

[0005] (1) 对工业机器人轴进行速度和位置的规划,具体算法为:

[0006] ①依据工业机器人D-H矩阵参数求出工业机器人的雅克比矩阵 $J(q)$,引入反奇异位变量 α ,得出反雅克比矩阵 J^* 与反奇异位变量 α 的关系,见公式(1):

$$[0007] \quad J^* = J^T (JJ^T + \alpha^2 I)^{-1} \quad (1)$$

[0008] 式中: I 为单位阵; J^T 为 J 的旋转矩阵。

[0009] ②按照公式(2)和公式(3)计算出工业机器人的关节速度 \dot{q} :

[0010]

$$[0010] \quad Ve = J(q)\dot{q} \quad (2)$$

[0011]

$$[0011] \quad \dot{q} = J^{-1}(q)Ve \quad (3)$$

[0012] 式中: Ve 为机器人笛卡尔坐标系下的速度量。

[0013] ③按照公式(4)计算出关节位置 q :

[0014]

$$[0014] \quad q(T_{k+1}) = q(T_k) + \dot{q}(T_k)\Delta t \quad (4)$$

[0015] 式中: T_{k+1} 和 T_k 为时间周期。

[0016] (2) 误差控制:反奇异位变量 α 的引入,会同时引入位姿的误差,即控制位姿与实际位姿的差值(e_p, e_o),其中:误差(e_p, e_o)由公式(5)(6)(7)定义,为了减小误差,需要对误差进行抑制;

$$[0017] \quad e_p = p_d - p_e(q) \quad (5)$$

[0018] 式中: e_p 为位置误差; p_d 为命令位置, p_e 为实际位置。

$$[0019] \quad e_o = \gamma \sin\theta \quad (6)$$

[0020] 式中： e_o 为姿态误差， γ 为旋转轴， θ 为旋转角度。

$$[0021] \quad R(\theta, \gamma) = R_d R_e^T(q) \quad (7)$$

[0022] 式中： R 为姿态矩阵， R_e 为实际姿态矩阵， R_d 为命令姿态矩阵。

[0023] 具体抑制方法为：建立一个控制位姿与实际位姿的差值(e_p, e_o)、增益 K 、反雅克比矩阵 J^* 之间的闭环控制模型，通过调整参数变量 α 与增益 K 的值，满足机器人奇异位的速度连续，同时保证轨迹精度。

[0024] 本发明的有益效果是：

[0025] 本发明以6自由度工业机器人为例，依据D-H参数，计算机器人的雅克比矩阵，在笛卡尔空间进行TCP速度 V_e 的规划，反雅克比运算，再反雅克比矩阵中增加反奇异位的变量 α ，求出插补时间的关节速度 \dot{q} ，然后对各轴速度进行积分出各轴的位置量 q ，运算过程严密，通过调整增益，可以控制路径的轨迹误差精度在0.005mm以内。

附图说明

[0026] 下面结合附图和实施例对本发明进一步说明。

[0027] 图1是本发明的差值(e_p, e_o)、增益以及反雅克比矩阵 J^* 之间的闭环控制模型图。

具体实施方式

[0028] 为了使本发明实现的技术手段、创作特征、达成目的与功效易于明白了解，下面对本发明进一步阐述。

[0029] 如图1所示，一种基于速度连续的工业机器人运动学算法，一种基于速度连续的工业机器人运动学算法，包括以下两个部分：

[0030] (3)对工业机器人轴进行速度和位置的规划，具体算法为：

[0031] ①依据工业机器人D-H矩阵参数求出工业机器人的雅克比矩阵 $J(q)$ ，引入反奇异位变量 α ，得出反雅克比矩阵 J^* 与反奇异位变量 α 的关系，见公式(1)：

$$[0032] \quad J^* = J^T (JJ^T + \alpha^2 I)^{-1} \quad (1)$$

[0033] ②结合公式(1)，按照公式(2)和公式(3)计算出工业机器人的关节速度 \dot{q} ：

[0034]

$$V_e = J(q)\dot{q} \quad (2)$$

[0035]

$$\dot{q} = J^{-1}(q)V_e \quad (3)$$

[0036] ③结合公式(3)，按照公式(4)计算出关节位置 q ：

[0037]

$$q(T_{k+1}) = q(T_k) + \dot{q}(T_k)\Delta t \quad (4)$$

[0038] (4)误差控制：令控制位姿与实际位姿的差值为(e_p, e_o)，其中：误差(e_p, e_o)由公式(5)(6)(7)定义：

$$[0039] \quad e_p = p_d - p_e(q) \quad (5)$$

$$[0040] \quad e_o = \gamma \sin\theta \quad (6)$$

$$[0041] \quad R(\theta, \gamma) = R_d R_e^T(q) \quad (7)$$

[0042] 对误差进行抑制的具体方法为:建立一个控制位姿与实际位姿的差值 (e_p, e_o)、增益 K 、增益的比例系数 $K(\cdot)$ 、反雅克比矩阵 J^* 之间的闭环控制模型,如图1,通过调整参数变量 α 与增益 K 的值,满足机器人奇异位的速度连续,同时保证轨迹精度。

[0043] 以上显示和描述了本发明的基本原理、主要特征和本发明的优点。本行业的技术人员应该了解,本发明不受上述实施例的限制,上述实施例和说明书中描述的只是本发明的原理,在不脱离本发明精神和范围的前提下,本发明还会有各种变化和改进,这些变化和改进都落入要求保护的本发明内。本发明要求保护范围由所附的权利要求书及其等效物界定。

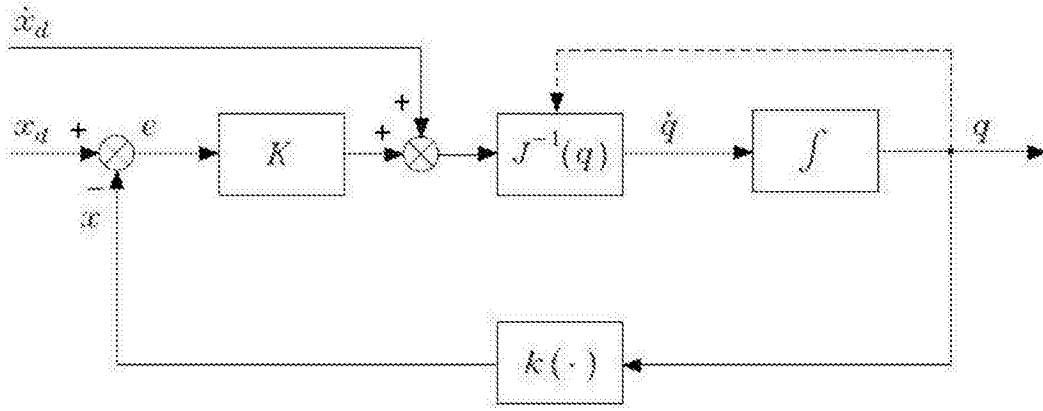


图1