



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107848005 B

(45)授权公告日 2019.06.18

(21)申请号 201580080148.3

(22)申请日 2015.12.30

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107848005 A

(43)申请公布日 2018.03.27

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2017.11.27

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/CN2015/099949 2015.12.30

(87)PCT国际申请的公布数据
W02017/113219 ZH 2017.07.06

(73)专利权人 深圳配天智能技术研究院有限公司

地址 518104 广东省深圳市宝安区沙井街道蚝乡路沙井工业公司第三工业区A3的102A

(72)发明人 张志明

(74)专利代理机构 深圳市威世博知识产权代理事务所(普通合伙) 44280

代理人 李庆波

(51)Int.Cl.

B21D 5/06(2006.01)

B25J 9/16(2006.01)

G05B 19/00(2006.01)

审查员 廖超

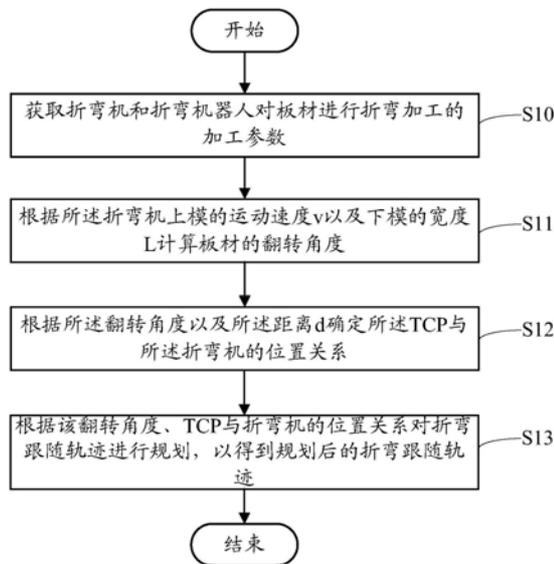
权利要求书3页 说明书11页 附图6页

(54)发明名称

折弯跟随轨迹规划方法、装置及系统

(57)摘要

一种折弯跟随轨迹规划方法、装置(20)及系统,其中,该方法包括:获取折弯机(41)和折弯机器人(34,42)对板材进行折弯加工的加工参数(S10),所述加工参数包括折弯机(41)上模的运动速度 v 、下模的宽度 L 以及在开始加工时折弯机器人(34,42)工具中心点TCP与所述折弯机(41)下模中心点的距离 d ;根据所述折弯机(41)上模的运动速度 v 以及下模的宽度 L 计算板材的翻转角度(S11);根据所述翻转角度以及所述距离 d 确定所述TCP与所述折弯机(41)的位置关系(S12);根据所述翻转角度、所述TCP与所述折弯机(41)的位置关系对折弯跟随轨迹进行规划,以得到规划后的折弯跟随轨迹(S13)。能够保证运动轨迹的精确性,且可以适用于其他的机器人。



1. 一种折弯跟随轨迹规划方法,其特征在于,所述方法包括:

获取折弯机和折弯机器人对板材进行折弯加工的加工参数,所述加工参数包括折弯机上模的运动速度 v 、下模的宽度 L 以及在开始加工时折弯机器人工具中心点TCP与所述折弯机下模中心点的距离 d ;

根据所述折弯机上模的运动速度 v 以及下模的宽度 L 计算板材的翻转角度;

根据所述翻转角度以及所述距离 d 确定所述TCP与所述折弯机的位置关系;

根据所述翻转角度、所述TCP与所述折弯机的位置关系对折弯跟随轨迹进行规划,以得到规划后的折弯跟随轨迹。

2. 根据权利要求1所述的折弯跟随轨迹规划方法,其特征在于,所述根据所述折弯机上模的运动速度 v 以及下模的宽度 L 计算板材的翻转角度的步骤具体为:

根据所述折弯机的上模运动速度 v 以及下模宽度 L ,并利用如下公式计算 t 时刻所述板材的翻转角度:

$$\alpha(t) = \arctan(2vt/L);$$

其中, α 为所述翻转角度。

3. 根据权利要求2所述的折弯跟随轨迹规划方法,其特征在于,所述根据所述翻转角度以及所述距离 d 确定所述TCP与所述折弯机的位置关系的步骤具体为:

根据所述翻转角度以及所述距离 d ,利用如下公式一、二分别确定 t 时刻所述TCP在所述折弯机坐标系中 x 、 z 轴的位置:

$$\text{公式一: } X(t) = d - d \cdot \cos(\alpha(t));$$

$$\text{公式二: } Z(t) = d \cdot \sin(\alpha(t)) - L \cdot \tan(\alpha(t));$$

其中, $X(t)$ 、 $Z(t)$ 分别为 t 时刻所述TCP在 x 、 z 轴的位置。

4. 根据权利要求3所述的折弯跟随轨迹规划方法,其特征在于,所述根据所述翻转角度、所述TCP与所述折弯机的位置关系对折弯跟随轨迹进行规划,以得到规划后的折弯跟随轨迹的步骤具体为:

根据所述翻转角度、所述TCP在 x 、 z 轴的位置,利用如下公式确定 t 时刻的插补点:

$$P(t) = \begin{bmatrix} Xx_0 & Yx_0 & Zx_0 & X_0 \\ Xy_0 & Yy_0 & Zy_0 & Y_0 \\ Xz_0 & Yz_0 & Zz_0 & Z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos(\alpha(t)) & 0 & \sin(\alpha(t)) & X(t) \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\alpha(t)) & 0 & \cos(\alpha(t)) & Z(t) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

其中, $P(t)$ 为 t 时刻的插补点, $\begin{bmatrix} Xx_0 & Yx_0 & Zx_0 & X_0 \\ Xy_0 & Yy_0 & Zy_0 & Y_0 \\ Xz_0 & Yz_0 & Zz_0 & Z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ 为折弯轨迹的初始值,

$\begin{bmatrix} \cos(\alpha(t)) & 0 & \sin(\alpha(t)) & X(t) \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\alpha(t)) & 0 & \cos(\alpha(t)) & Z(t) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ 为折弯轨迹在 t 时刻的轨迹变换量;

根据所述插补点确定对应折弯跟随轨迹,以得到规划后的折弯跟随轨迹。

5. 一种折弯跟随轨迹规划装置,其特征在于,所述装置包括:

参数获取模块,用于获取折弯机和折弯机器人对板材进行折弯加工的加工参数,所述加工参数包括折弯机上模的运动速度 v 、下模的宽度 L 以及在开始加工时折弯机器人工具中心点TCP与所述折弯机下模中心点的距离 d ;

角度计算模块,用于根据所述折弯机上模的运动速度 v 以及下模的宽度 L 计算板材的翻转角度;

位置计算模块,用于根据所述翻转角度以及所述距离 d 确定所述TCP与所述折弯机的位置关系;

规划模块,用于根据所述翻转角度、所述TCP与所述折弯机的位置关系对折弯跟随轨迹进行规划,以得到规划后的折弯跟随轨迹。

6. 根据权利要求5所述的折弯跟随轨迹规划装置,其特征在于,所述角度计算模块用于根据所述折弯机的上模运动速度 v 以及下模宽度 L ,并利用如下公式计算 t 时刻所述板材的翻转角度:

$$\alpha(t) = \arctan(2vt/L);$$

其中, α 为所述翻转角度。

7. 根据权利要求6所述的折弯跟随轨迹规划装置,其特征在于,所述位置计算模块用于根据所述翻转角度以及所述距离 d ,利用如下公式一、二分别确定 t 时刻所述TCP在所述折弯机坐标系中 x 、 z 轴的位置:

$$\text{公式一: } X(t) = d - d \cdot \cos(\alpha(t));$$

$$\text{公式二: } Z(t) = d \cdot \sin(\alpha(t)) - L \cdot \tan(\alpha(t));$$

其中, $X(t)$ 、 $Z(t)$ 分别为 t 时刻所述TCP在 x 、 z 轴的位置。

8. 根据权利要求7所述的折弯跟随轨迹规划装置,其特征在于,所述规划模块用于根据所述翻转角度、所述TCP在 x 、 z 轴的位置,利用如下公式确定 t 时刻的插补点,并根据所述插补点确定对应折弯跟随轨迹,以得到规划后的折弯跟随轨迹:

$$P(t) = \begin{bmatrix} Xx_0 & Yx_0 & Zx_0 & X_0 \\ Xy_0 & Yy_0 & Zy_0 & Y_0 \\ Xz_0 & Yz_0 & Zz_0 & Z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos(\alpha(t)) & 0 & \sin(\alpha(t)) & X(t) \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\alpha(t)) & 0 & \cos(\alpha(t)) & Z(t) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

其中, $P(t)$ 为 t 时刻的插补点, $\begin{bmatrix} Xx_0 & Yx_0 & Zx_0 & X_0 \\ Xy_0 & Yy_0 & Zy_0 & Y_0 \\ Xz_0 & Yz_0 & Zz_0 & Z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ 为折弯轨迹的初始值,

$\begin{bmatrix} \cos(\alpha(t)) & 0 & \sin(\alpha(t)) & X(t) \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\alpha(t)) & 0 & \cos(\alpha(t)) & Z(t) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ 为折弯轨迹在 t 时刻的轨迹变换量。

9. 一种折弯机器人系统,其特征在于,包括折弯机器人及其控制设备,所述控制设备包括存储器和处理器,所述处理器用于执行如下方法:

获取折弯机和折弯机器人对板材进行折弯加工的加工参数,所述加工参数包括折弯机上模的运动速度 v 、下模的宽度 L 以及在开始加工时折弯机器人工具中心点TCP与所述折弯机下模中心点的距离 d ;

根据所述折弯机上模的运动速度 v 以及下模的宽度 L 计算板材的翻转角度;

根据所述翻转角度以及所述距离 d 确定所述TCP与所述折弯机的位置关系;

根据所述翻转角度、所述TCP与所述折弯机的位置关系对折弯跟随轨迹进行规划,以得到规划后的折弯跟随轨迹;

根据所述折弯跟随轨迹生成相应的控制指令,控制折弯机器人对所述板材进行折弯跟随。

10. 根据权利要求9所述的折弯机器人系统,其特征在于,所述折弯机器人为六轴串联机器人。

11. 一种板材折弯加工系统,其特征在于,包括折弯机、折弯机器人及其控制设备,所述折弯机用于对待加工板材进行折弯加工,所述折弯机器人用于实现对所述待加工板材在折弯加工过程中的折弯跟随,所述控制设备用于计算所述折弯跟随轨迹并控制所述折弯机器人对所述待加工板材进行折弯跟随,所述控制设备包括:

参数获取模块,用于获取折弯机和折弯机器人对板材进行折弯加工的加工参数,所述加工参数包括折弯机上模的运动速度 v 、下模的宽度 L 以及在开始加工时折弯机器人工具中心点TCP与所述折弯机下模中心点的距离 d ;

角度计算模块,用于根据所述折弯机上模的运动速度 v 以及下模的宽度 L 计算板材的翻转角度;

位置计算模块,用于根据所述翻转角度以及所述距离 d 确定所述TCP与所述折弯机的位置关系;

规划模块,用于根据所述翻转角度、所述TCP与所述折弯机的位置关系对折弯跟随轨迹进行规划,以得到规划后的折弯跟随轨迹;

控制模块,用于根据所述折弯跟随轨迹生成相应的控制指令,控制折弯机器人对所述板材进行折弯跟随。

折弯跟随轨迹规划方法、装置及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及数控加工技术领域,尤其涉及折弯跟随轨迹规划方法、装置及系统。

背景技术

[0002] 现在的折弯机在工作时可以通过机器人辅助折弯,如图1所示,折弯机的下模形状为向下凹陷的三角形,当板材放置在折弯机下模上时,折弯机的上模向下运动以挤压板材变形,使板材由下模两边中心点向下凹陷弯曲,其折弯角度由上模的下降距离决定。在上模下压板材的过程中,会使板材边缘翘起,机器人则跟随板材边缘翘起的轨迹运动,辅助折弯。将机器人辅助折弯运动分解为x轴、y轴、z轴和AC轴方向的运动,x轴与折弯机对齐,y轴为板材水平方向的位移,z轴为板材竖直方向的位移,AC轴为板材反转方向,从而由机器人实现折弯跟随。

[0003] 现有技术虽然可以通过龙门机器人跟随折弯轨迹,但由于其速度需跟随折弯机工作速度,所以现有的机器人的折弯路径和速度规划难以确认运动轨迹,使得下模下降的速度和板材上扬的速度难以保证其精确度,并且这种跟随折弯轨迹规划只适用于各轴直线且互相没有耦合的机器人,例如,龙门机器人,而无法适用于其他机器人。

发明内容

[0004] 本发明主要解决的技术问题是提供折弯跟随轨迹规划方法、装置及系统,能够保证运动轨迹的精确性,且可以适用于其他的机器人。

[0005] 为解决上述技术问题,本发明采用的第一个技术方案是:提供一种折弯跟随轨迹规划方法,所述方法包括:获取折弯机和折弯机器人对板材进行折弯加工的加工参数,所述加工参数包括折弯机上模的运动速度 v 、下模的宽度 L 以及在开始加工时折弯机器人工具中心点TCP与所述折弯机下模中心点的距离 d ;根据所述折弯机上模的运动速度 v 以及下模的宽度 L 计算板材的翻转角度;根据所述翻转角度以及所述距离 d 确定所述TCP与所述折弯机的位置关系;根据所述翻转角度、所述TCP与所述折弯机的位置关系对折弯跟随轨迹进行规划,以得到规划后的折弯跟随轨迹。

[0006] 其中,所述根据所述折弯机上模的运动速度 v 以及下模的宽度 L 计算板材的翻转角度的步骤具体为:根据所述折弯机的上模运动速度 v 以及下模宽度 L ,并利用如下公式计算 t 时刻所述板材的翻转角度: $\alpha(t) = \arctan(2vt/L)$;其中, α 为所述翻转角度。

[0007] 其中,所述根据所述翻转角度以及所述距离 d 确定所述TCP与所述折弯机的位置关系的步骤具体为:根据所述翻转角度以及所述距离 d ,利用如下公式一、二分别确定 t 时刻所述TCP在所述折弯机坐标系中 x 、 z 轴的位置:公式一: $X(t) = d - d \cdot \cos(\alpha(t))$;公式二: $Z(t) = d \cdot \sin(\alpha(t)) - L \cdot \tan(\alpha(t))$;其中, $X(t)$ 、 $Z(t)$ 分别为 t 时刻所述TCP在 x 、 z 轴的位置。

[0008] 其中,所述根据所述翻转角度、所述TCP与所述折弯机的位置关系对折弯跟随轨迹进行规划,以得到规划后的折弯跟随轨迹的步骤具体为:根据所述翻转角度、所述TCP在 x 、 z 轴的位置,利用如下公式确定 t 时刻的插补点:

$$[0009] \quad P(t) = \begin{bmatrix} Xx_0 & Yx_0 & Zx_0 & X_0 \\ Xy_0 & Yy_0 & Zy_0 & Y_0 \\ Xz_0 & Yz_0 & Zz_0 & Z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos(\alpha(t)) & 0 & \sin(\alpha(t)) & X(t) \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\alpha(t)) & 0 & \cos(\alpha(t)) & Z(t) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad \text{其中, } P(t) \text{ 为 } t \text{ 时}$$

$$\text{刻的插补点, } \begin{bmatrix} Xx_0 & Yx_0 & Zx_0 & X_0 \\ Xy_0 & Yy_0 & Zy_0 & Y_0 \\ Xz_0 & Yz_0 & Zz_0 & Z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ 为折弯轨迹的初始值, } \begin{bmatrix} \cos(\alpha(t)) & 0 & \sin(\alpha(t)) & X(t) \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\alpha(t)) & 0 & \cos(\alpha(t)) & Z(t) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

为折弯轨迹在t时刻的轨迹变换量;根据所述插补点确定对应折弯跟随轨迹,以得到规划后的折弯跟随轨迹。

[0010] 为解决上述技术问题,本发明采用的第二个技术方案是:提供一种折弯跟随轨迹规划装置,所述装置包括:参数获取模块,用于获取折弯机和折弯机器人对板材进行折弯加工的加工参数,所述加工参数包括折弯机上模的运动速度v、下模的宽度L以及在开始加工时折弯机器人工具中心点TCP与所述折弯机下模中心点的距离d;角度计算模块,用于根据所述折弯机上模的运动速度v以及下模的宽度L计算板材的翻转角度;位置计算模块,用于根据所述翻转角度以及所述距离d确定所述TCP与所述折弯机的位置关系;规划模块,用于根据所述翻转角度、所述TCP与所述折弯机的位置关系对折弯跟随轨迹进行规划,以得到规划后的折弯跟随轨迹。

[0011] 其中,所述角度计算模块用于根据所述折弯机的上模运动速度v以及下模宽度L,并利用如下公式计算t时刻所述板材的翻转角度: $\alpha(t) = \arctan(2vt/L)$;其中, α 为所述翻转角度。

[0012] 其中,所述位置计算模块用于根据所述翻转角度以及所述距离d,利用如下公式一、二分别确定t时刻所述TCP在所述折弯机坐标系中x、z轴的位置:公式一: $X(t) = d - d \cdot \cos(\alpha(t))$;公式二: $Z(t) = d \cdot \sin(\alpha(t)) - L \cdot \tan(\alpha(t))$;其中,X(t)、Z(t)分别为t时刻所述TCP在x、z轴的位置。

[0013] 其中,所述规划模块用于根据所述翻转角度、所述TCP在x、z轴的位置,利用如下公式确定t时刻的插补点,并根据所述插补点确定对应折弯跟随轨迹,以得到规划后的折弯跟

$$\text{随轨迹: } P(t) = \begin{bmatrix} Xx_0 & Yx_0 & Zx_0 & X_0 \\ Xy_0 & Yy_0 & Zy_0 & Y_0 \\ Xz_0 & Yz_0 & Zz_0 & Z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos(\alpha(t)) & 0 & \sin(\alpha(t)) & X(t) \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\alpha(t)) & 0 & \cos(\alpha(t)) & Z(t) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad \text{其中, } P(t) \text{ 为 } t \text{ 时}$$

$$\text{刻的插补点, } \begin{bmatrix} Xx_0 & Yx_0 & Zx_0 & X_0 \\ Xy_0 & Yy_0 & Zy_0 & Y_0 \\ Xz_0 & Yz_0 & Zz_0 & Z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ 为折弯轨迹的初始值, } \begin{bmatrix} \cos(\alpha(t)) & 0 & \sin(\alpha(t)) & X(t) \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\alpha(t)) & 0 & \cos(\alpha(t)) & Z(t) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

为折弯轨迹在t时刻的轨迹变换量。

[0014] 为解决上述技术问题,本发明采用的第三个技术方案是:提供一种折弯机器人系

统,包括折弯机器人及其控制设备,所述控制设备包括存储器和处理器,所述处理器用于执行如上所述的折弯跟随轨迹规划方法。

[0015] 其中,所述折弯机器人为六轴串联机器人。

[0016] 为解决上述技术问题,本发明采用的第四个技术方案是:提供一种板材折弯加工系统,包括折弯机、折弯机器人及其控制设备,所述折弯机用于对待加工板材进行折弯加工,所述折弯机器人用于实现对所述待加工板材在折弯加工过程中的折弯跟随,所述控制设备用于计算所述折弯跟随轨迹并控制所述折弯机器人对所述待加工板材进行折弯跟随,所述控制设备包括:参数获取模块,用于获取折弯机和折弯机器人对板材进行折弯加工的加工参数,所述加工参数包括折弯机上模的运动速度 v 、下模的宽度 L 以及在开始加工时折弯机器人工具中心点TCP与所述折弯机下模中心点的距离 d ;角度计算模块,用于根据所述折弯机上模的运动速度 v 以及下模的宽度 L 计算板材的翻转角度;位置计算模块,用于根据所述翻转角度以及所述距离 d 确定所述TCP与所述折弯机的位置关系;规划模块,用于根据所述翻转角度、所述TCP与所述折弯机的位置关系对折弯跟随轨迹进行规划,以得到规划后的折弯跟随轨迹;控制模块,用于根据所述折弯跟随轨迹生成相应的控制指令,控制折弯机器人对所述板材进行折弯跟随。

[0017] 本发明提供折弯跟随轨迹规划方法、装置以及系统,通过根据折弯机的上模运动速度、下模宽度确定板材的翻转角度,并根据该翻转角度、折弯机器人的TCP与折弯机的距离确定TCP与折弯机的位置关系,以及根据翻转角度和TCP与折弯机的位置关系对折弯跟随轨迹进行规划,得到规划后的折弯跟随轨迹的技术方案,实现了折弯跟随轨迹不需要基于直线或圆弧轨迹进行规划,而是同步插补点与折弯运动的时间对折弯跟随轨迹进行规划,以提高运动轨迹的精确性,且可适用于其他机器人(如六轴串联机器人)。

附图说明

[0018] 图1是现有技术中的折弯机器人与折弯机的结构示意图;

[0019] 图2是现有技术中的T型曲线加减速规划时,速度变化曲线的示意图;

[0020] 图3a-3c是现有技术中的S型曲线加减速规划时,加速度、速度和距离变化曲线的示意图;

[0021] 图4是本发明实施方式中机器人六轴位姿状态示意图;

[0022] 图5是折弯机器人跟随板材边缘翘起轨迹运动示意图;

[0023] 图6是本发明实施方式中一种折弯跟随轨迹规划方法的流程示意图;

[0024] 图7是图1所示的折弯机的几何模型示意图;

[0025] 图8是本发明实施方式中根据翻转角度和TCP与折弯机的位置关系对规划折弯跟随轨迹的方法的流程示意图;

[0026] 图9是本发明实施方式中一种折弯跟随轨迹规划装置的结构示意图;

[0027] 图10是本发明实施方式中一种折弯机器人系统的结构示意图;

[0028] 图11是本发明实施方式中一种板材折弯加工系统的结构示意图。

具体实施方式

[0029] 下面将结合本发明实施方式中的附图,对本发明实施方式中的技术方案进行清

楚、完整地描述。

[0030] 在折弯机器人系统中,为保证机器人在启动/停止时不产生冲击、失步、超程或振荡,需要采用专门的加减速控制算法,使得系统可以在各种情况下平滑而又准确地停在指定位置。通常情况下,可以采用T型曲线加减速控制算法或S型曲线加减速控制算法。下面,分别对这两种算法进行介绍。

[0031] T型曲线加减速控制算法,目的是使速度曲线线性且连续变化。如图2所示,T型曲线加减速控制一共分为3个时间段:匀加速,匀速和匀减速阶段。这三个时间段的时间长度分别记作 T_1 、 T_2 、 T_3 ,每个时间段的曲线长度为 l_1 、 l_2 、 l_3 ,每个时间段末点时间记作 t_1 、 t_2 、 t_3 。其中,加速度最大值 a_{\max} 及最大减速度值 d_{\max} 由机器人电机参数决定。另外,用户指定曲线的初速度 f_s 、目标速度 f 、终点速度 f_e 以及曲线长度 L 。这样,根据这些条件,计算 $T_1 \sim T_3$ 的值,即可完成T型曲线加减速规划。于是有:

$$[0032] \quad f - f_s = aT_1$$

$$[0033] \quad f - f_e = dT_3$$

$$[0034] \quad l_1 = \frac{f + f_s}{2} T_1$$

$$[0035] \quad l_2 = fT_2$$

$$[0036] \quad l_3 = \frac{f + f_e}{2} T_3$$

$$[0037] \quad l_1 + l_2 + l_3 = L$$

$$[0038] \quad \text{其中,} \begin{cases} 0 < a \leq a_{\max} \\ 0 < d \leq d_{\max} \end{cases} \text{为保证效率,一般取} \begin{cases} a = a_{\max} \\ d = d_{\max} \end{cases} \text{那么,可以计算得到} T_1 \sim T_3,$$

如下式所示:

$$[0039] \quad T_1 = \frac{f - f_s}{a_{\max}}$$

$$[0040] \quad T_3 = \frac{f - f_e}{d_{\max}}$$

$$[0041] \quad T_2 = \frac{1}{f} \left[L - \frac{f^2 - f_s^2}{2a_{\max}} - \frac{f^2 - f_e^2}{2d_{\max}} \right]$$

[0042] 对速度积分可以得到每段的曲线长度,如下式所示:

$$[0043] \quad l_1 = \frac{f^2 - f_s^2}{2a_{\max}}$$

$$[0044] \quad l_3 = \frac{f^2 - f_e^2}{2d_{\max}}$$

$$[0045] \quad l_2 = L - \frac{f^2 - f_s^2}{2a_{\max}} - \frac{f^2 - f_e^2}{2d_{\max}}$$

[0046] S型曲线加减速控制算法,目的是使被控制的曲线轨迹的加速度呈线性且连续变化,如图3所示,为S型曲线加减速控制下的加速度、速度和距离变化曲线。

[0047] 根据加速度的积分得到速度-时间的方程,由速度的积分得到距离-时间的方程。S型曲线加减速规划一共分为七个时间段:加加速、匀加速、减加速、匀速、加减速、匀减速和减减速。这七个时间段的时间长度分别记做 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 T_5 、 T_6 、 T_7 ,每个时间段末点的时间记做 t_1 、 t_2 、 t_3 、 t_4 、 t_5 、 t_6 、 t_7 。其中,加速度的导数(Jerk)称为加加速度,是由机器人电机自身的参数决定。此外,最大加速度 A 和最大减速度 D 也由机器人电机给出。另外,曲线的初始速度 f_s 、目标速度 f 、终点速度 f_e 、曲线长度 L 。根据这些条件,计算 $T_1 \sim T_7$ 的值,即可完成S型曲线加减速规划。

[0048] 一般情况下,设 T_1 (加加速时间长度) = T_3 (减加速时间长度), T_5 (加减速时间长度) = T_7 (减减速时间长度),因此得到:

$$[0049] \quad T_1 = T_3 = \frac{A}{J_a};$$

$$[0050] \quad T_5 = T_7 = \frac{D}{J_d};$$

$$[0051] \quad T_2 = \frac{f - f_s}{A} - \frac{A}{J_a};$$

$$[0052] \quad T_6 = \frac{f - f_e}{D} - \frac{D}{J_d};$$

$$[0053] \quad T_4 = \frac{1}{f} \left\{ L - \left[\left(\frac{1}{2A} + \frac{1}{2D} \right) f^2 + \left(\frac{J_a}{2A} + \frac{J_d}{2D} \right) f + \left(\frac{A f_s}{2J_a} + \frac{D f_e}{2J_d} - \frac{f_s^2}{2A} - \frac{f_e^2}{2D} \right) \right] \right\};$$

[0054] J_a 、 J_d 为加速度和减速度的加加速度。由以上公式得到距离加速度关于时间 t 的函数,两次积分得到距离关于时间 t 的函数,实现了轨迹的速度规划。

[0055] 在机器人控制系统中,会对工具中心点(英文简称:TCP)的运动进行笛卡尔空间的连续轨迹规划,以插补的形式控制轨迹,机器人的运动轨迹可以看作是点的集合。其中,每个点包含机器人的位置和姿态信息,其表现形式有:

[0056] 三维坐标与欧拉角 (x, y, z, a, b, c)

[0057] 其中, x 、 y 、 z 为TCP在三维坐标系中的位置, a 、 b 、 c 为其姿态的欧拉角信息。

[0058] 具体地,请参阅图4,为本发明实施方式中机器人六轴位姿状态示意图,由X-Y-Z组成的坐标系表示机器人六轴位姿,TCP在基础坐标系(Xbase-Ybase-Zbase)中的位置可表示为 (x, y, z) ,在基础坐标系中的翻转表示其姿态,用欧拉角 (a, b, c) 表示。根据机器人在基础坐标系中翻转的先后顺序及姿态,依次得到如下所示的旋转变换矩阵:

$$[0059] \quad R_{x_1 z_2 x_3}(a, b, c) = \begin{bmatrix} \cos_b & -\cos_c \sin_b & \sin_b \sin_c \\ \cos_a \sin_b & \cos_a \cos_b \cos_c - \sin_a \sin_c & -\cos_c \sin_a - \cos_a \cos_b \sin_c \\ \sin_a \sin_b & \cos_a \sin_c + \cos_b \cos_c \sin_a & \cos_a \cos_c - \cos_b \sin_a \sin_c \end{bmatrix}$$

$$[0060] \quad R_{x_1 z_2 y_3}(a, b, c) = \begin{bmatrix} \cos_b \cos_c & -\sin_b & \cos_b \sin_c \\ \sin_a \sin_c + \cos_a \cos_c \sin_b & \cos_a \cos_b & \cos_b \sin_b \sin_c - \cos_c \sin_a \\ \cos_c \sin_a \sin_b - \cos_a \sin_c & \cos_b \sin_a & \cos_a \cos_c + \sin_a \sin_b \sin_c \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned}
[0061] \quad R_{X_1Y_2X_3}(a,b,c) &= \begin{bmatrix} \cos_b & \sin_b \sin_c & \cos_c \sin_b \\ \sin_a \sin_b & \cos_a \cos_c - \cos_b \sin_a \sin_c & -\cos_a \sin_c - \cos_b \cos_c \sin_a \\ -\cos_a \sin_b & \cos_c \sin_a + \cos_a \cos_b \sin_c & \cos_a \cos_b \cos_c - \sin_a \sin_c \end{bmatrix} \\
[0062] \quad R_{X_1Y_2Z_3}(a,b,c) &= \begin{bmatrix} \cos_b \cos_c & -\cos_b \sin_c & \sin_b \\ \cos_a \sin_c + \cos_c \sin_a \sin_b & \cos_a \cos_c - \sin_a \sin_b \sin_c & -\cos_b \sin_a \\ \sin_a \sin_c - \cos_a \cos_c \sin_b & \cos_c \sin_a + \cos_a \sin_b \sin_c & \cos_a \cos_b \end{bmatrix} \\
[0063] \quad R_{X_1Y_2Y_3}(a,b,c) &= \begin{bmatrix} \cos_a \cos_c - \cos_b \sin_a \sin_c & \sin_a \sin_b & \cos_a \sin_c + \cos_b \cos_c \sin_a \\ \sin_b \sin_c & \cos_b & -\cos_c \sin_b \\ -\cos_c \sin_a - \cos_a \cos_b \sin_c & \cos_a \sin_b & \cos_a \cos_b \cos_c - \sin_a \sin_c \end{bmatrix} \\
[0064] \quad R_{Y_1X_2Z_3}(a,b,c) &= \begin{bmatrix} \cos_a \cos_c + \sin_a \sin_b \sin_c & \cos_c \sin_a \sin_b - \cos_a \sin_c & \cos_b \sin_a \\ \cos_b \sin_c & \cos_b \cos_c & -\sin_b \\ \cos_a \sin_b \sin_c - \cos_c \sin_a & \sin_a \sin_c + \cos_a \cos_c \sin_b & \cos_a \cos_b \end{bmatrix} \\
[0065] \quad R_{Y_1Z_2Y_3}(a,b,c) &= \begin{bmatrix} \cos_a \cos_b \cos_c - \sin_a \sin_c & -\cos_a \sin_b & -\cos_c \sin_a + \cos_a \cos_b \sin_c \\ \cos_c \sin_b & \cos_b & \sin_b \sin_c \\ -\cos_a \sin_c - \cos_b \cos_c \sin_a & \sin_a \sin_b & \cos_a \cos_c - \cos_b \sin_a \sin_c \end{bmatrix} \\
[0066] \quad R_{Y_1Z_2X_3}(a,b,c) &= \begin{bmatrix} \cos_a \cos_b & \sin_a \sin_c - \cos_a \cos_c \sin_c & \cos_c \sin_a + \cos_a \cos_b \sin_c \\ \sin_b & \cos_b \cos_c & -\cos_b \sin_c \\ -\cos_b \sin_a & \cos_a \cos_c + \cos_c \sin_a \sin_b & \cos_a \cos_c - \sin_a \sin_b \sin_c \end{bmatrix} \\
[0067] \quad R_{Z_1Y_2Z_3}(a,b,c) &= \begin{bmatrix} \cos_a \cos_b \cos_c - \sin_a \sin_c & -\cos_c \sin_a - \cos_a \cos_c \sin_c & \cos_a \sin_b \\ \cos_a \sin_c + \cos_b \cos_c \sin_a & \cos_a \cos_c - \cos_b \sin_a \cos_a \sin_c & \sin_a \sin_b \\ -\cos_c \sin_b & \sin_b \sin_c & \cos_b \end{bmatrix} \\
[0068] \quad R_{Z_1Y_2X_3}(a,b,c) &= \begin{bmatrix} \cos_a \cos_b & \cos_a \sin_b \sin_c - \cos_c \sin_a & \sin_a \sin_c + \cos_a \cos_c \sin_b \\ \cos_b \sin_a & \cos_a \cos_c + \sin_a \sin_b \sin_c & \cos_c \sin_a \sin_c - \cos_a \sin_c \\ -\sin_b & \cos_b \sin_c & \cos_b \cos_c \end{bmatrix} \\
[0069] \quad R_{Z_1X_2Z_3}(a,b,c) &= \begin{bmatrix} \cos_a \cos_b - \cos_b \sin_a \sin_c & -\cos_a \sin_c - \cos_b \cos_c \sin_a & \sin_a \sin_b \\ \cos_b \sin_a + \cos_a \cos_b \sin_c & \cos_a \cos_b \cos_c - \sin_a \sin_c & -\cos_a \sin_b \\ -\sin_b \sin_c & \cos_c \sin_b & \cos_b \end{bmatrix} \\
[0070] \quad R_{Z_1X_2Y_3}(a,b,c) &= \begin{bmatrix} \cos_a \cos_c - \sin_a \sin_b \sin_c & -\cos_c \sin_a & \cos_a \sin_c + \cos_c \sin_a \sin_b \\ \cos_c \sin_a + \cos_a \sin_b \sin_c & \cos_a \cos_b & \sin_a \sin_c - \cos_a \cos_c \sin_b \\ -\cos_b \sin_c & \sin_b & \cos_b \cos_c \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

[0071] 其中,X、Y、Z为机器人沿次轴翻转,对应的下角标1、2、3表示翻转的先后顺序。例如, $R_{Z_1X_2Z_3}(a,b,c)$ 表示机器人依次沿Z、X、Y轴翻转角度a、b、c。

[0072] 进一步地,由于串联机器人各轴的运动或带动其他位置的变化,所以需要建立机器人运动学模型,通过各关节的旋转角度及各刚体段的臂长和偏置信息,将如上所述表示坐标系的平移和旋转的公式通过统一的齐次变换矩阵表示出来,具体如下式:

$$[0073] \quad \text{公式 (1): } M = \begin{bmatrix} Xa & Ya & Za & p_x \\ Xb & Yb & Zb & p_y \\ Xc & Yc & Zc & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

[0074] 其中, p_x 、 p_y 、 p_z 为TCP在三维坐标中的位置, Xa 、 Xb 、 Xc 、 Ya 、 Yb 、 Yc 、 Za 、 Zb 、 Zc 表示其姿态,例如, Xb 表示TCP沿X轴旋转角度 b 。

[0075] 请同时参阅图5,当板材放置在折弯机下模上,折弯机上模向下运动,挤压板材变形,并且在上面下压板材的过程中,折弯机器人跟随板材边缘翘起轨迹运动。因此,在机器人系统中,折弯轨迹通常由TCP沿 x 、 z 旋转的角度以及移动距离而形成。进一步地,各轴的齐次变换矩阵可以通过连杆坐标系的得出,其变化关系式为:

$$[0076] \quad \text{公式 (2): } {}^i T = {}^i T_R \cdot {}^R T_Q \cdot {}^Q T_P \cdot {}^P T_i;$$

[0077] 其中, ${}^i T_R$ 为TCP绕 x 轴旋转角度 α_{i-1} 的变换矩阵, ${}^R T_Q$ 为TCP沿 x 轴移动距离 a_{i-1} 的变换矩阵, ${}^Q T_P$ 为TCP绕 z 轴旋转角度 θ_i 的变换矩阵, ${}^P T_i$ 为TCP沿着 z 轴移动距离 d_i 的变换矩阵。 α_{i-1} 为 z_{i-1} 与 z_i 之间的翻转角度, a_{i-1} 为 z_{i-1} 与 z_i 之间的长度, θ_i 为 a_{i-1} 与 a_i 之间的翻转角度, d_i 为 a_{i-1} 与 a_i 之间的距离。

[0078] 进一步地,根据公式(1)以及如上所述的对应的旋转变换矩阵可以分别得到:

$$[0079] \quad \text{公式 (3): } {}^i T_R = R_x(\alpha_{i-1}) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_{i-1} & -\sin \alpha_{i-1} & 0 \\ 0 & \sin \alpha_{i-1} & \cos \alpha_{i-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$[0080] \quad \text{公式 (4): } {}^R T_Q = D_x(a_{i-1}) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_{i-1} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$[0081] \quad \text{公式 (5): } {}^Q T_P = R_z(\theta_i) = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i & 0 & 0 \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$[0082] \quad \text{公式 (6): } {}^P T_i = D_z(d_i) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

[0083] 因此,将公式(3)-(6)代入公式(2),从而得到TCP在基础坐标系中翻转及平移的变换矩阵为:

[0084] 公式(7):

$$[0085] \quad {}^{i-1}T_i = {}^{i-1}T_R \cdot {}^R T_Q \cdot {}^Q T_P \cdot {}^P T_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i & 0 & \alpha_{i-1} \\ \sin \theta_i \cos \alpha_{i-1} & \cos \theta_i \cos \alpha_{i-1} & -\sin \alpha_{i-1} & -\sin \alpha_{i-1} d_i \\ \sin \theta_i \sin \alpha_{i-1} & \cos \theta_i \sin \alpha_{i-1} & \cos \alpha_{i-1} & \cos \alpha_{i-1} d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}。$$

[0086] 请参阅图6,为本发明实施方式中一种折弯跟随轨迹规划方法的流程示意图。该方法包括:

[0087] 步骤S10,获取折弯机和折弯机器人对板材进行折弯加工的加工参数。其中,所述加工参数包括折弯机上模的运动速度 v 、下模的宽度 L 以及在开始加工时折弯机器人工具中心点TCP与所述折弯机下模中心点的距离 d 。

[0088] 步骤S11,根据所述折弯机上模的运动速度 v 以及下模的宽度 L 计算板材的翻转角度。

[0089] 进一步地,请同时参阅图7,为折弯机的几何模型示意图,由折弯机水平方向得到X-Z平面的平面图。在X-Z坐标系中,X轴沿板材下沿水平方向设置,其正方向为远离机器人的方向,Z轴沿下模中心点的垂直方向设置。

[0090] 从上模下降接触到板材开始计时,点A表示 t 时刻机器人的TCP位置,点B表示板材与下模边缘的交点,点C表示板材折弯中心点。当计算板材的翻转角度时,由直角三角形OBC的BO边长、OC边长计算得到角OBC,即,角 α 。具体计算如下:

[0091] 根据折弯机的上模的运动速度以及下模的宽度,并利用公式(8),计算 t 时刻板材的翻转角度:

[0092] 公式(8): $\alpha(t) = \arctan(2vt/L)$;

[0093] 其中, α 为翻转角度, v 为折弯机的上模运动速度, L 为折弯机的下模的宽度。BO边长为 $L/2$,OC边长为 vt 。

[0094] 步骤S12,根据所述翻转角度以及所述距离 d 确定所述TCP与所述折弯机的位置关系。

[0095] 其中,上述的位置关系为折弯机器人的TCP在该折弯机坐标系中 x 、 z 轴的位置。且, $t=0$ 时的TCP为该折弯机坐标系的原点。

[0096] 当计算点A(TCP)在X-Z坐标系中 x 轴的长度时,由直角三角形AA_yC的A_yC边长、角A_yAC(角 α)得到AA_y边长,即,TCP在X-Z坐标系中 x 轴的长度。具体计算如下:

[0097] 当 $t=0$ 时, $X(t)=0$,且,在 $t=0$ 时,TCP在 x 轴的长度为 d 。

[0098] 当 $t \neq 0$ 时,A_yC边长= $d \cdot \sin(\alpha(t))$,OC边长= $L \cdot \tan(\alpha(t))$ 。根据该翻转角度以及折弯机器人的TCP与该折弯机的距离,利用公式(9)、(10)分别计算 t 时刻TCP在该折弯机坐标系中 x 、 z 轴的位置:

[0099] 公式(9): $X(t) = d - d \cdot \cos(\alpha(t))$;

[0100] 公式(10): $Z(t) = d \cdot \sin(\alpha(t)) - L \cdot \tan(\alpha(t))$;

[0101] 其中, $X(t)$ 、 $Z(t)$ 分别为 t 时刻TCP在 x 、 z 轴的位置, d 为在开始加工($t=0$)时TCP到下模中心点的距离。

[0102] 步骤S13,根据该翻转角度、TCP与折弯机的位置关系对折弯跟随轨迹进行规划,以得到规划后的折弯跟随轨迹。

[0103] 请参阅图8,步骤S13,即,根据该翻转角度、TCP与折弯机的位置关系对折弯跟随轨迹进行规划,以得到规划后的折弯跟随轨迹的步骤,具体通过如下步骤实现:

[0104] 步骤S130,根据该翻转角度、TCP在x、z轴的位置,根据公式(7)得到t时刻的插补点。

[0105] 由于,机器人的折弯跟随轨迹只沿y轴方向旋转,其旋转角度为 α 。因此,将欧拉角 $(0, \angle\alpha, 0)$ 转换为旋转矩阵,根据公式(7)得到的齐次矩阵为:

$$[0106] \begin{bmatrix} \cos(\alpha(t)) & 0 & \sin(\alpha(t)) & X(t) \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\alpha(t)) & 0 & \cos(\alpha(t)) & Z(t) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

[0107] 故,t时刻的插补点为:

$$[0108] P(t) = \begin{bmatrix} Xx_0 & Yx_0 & Zx_0 & X_0 \\ Xy_0 & Yy_0 & Zy_0 & Y_0 \\ Xz_0 & Yz_0 & Zz_0 & Z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos(\alpha(t)) & 0 & \sin(\alpha(t)) & X(t) \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\alpha(t)) & 0 & \cos(\alpha(t)) & Z(t) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

[0109] 其中,P(t)为t时刻的插补点, $\begin{bmatrix} Xx_0 & Yx_0 & Zx_0 & X_0 \\ Xy_0 & Yy_0 & Zy_0 & Y_0 \\ Xz_0 & Yz_0 & Zz_0 & Z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ 为折弯轨迹的初始值,

$\begin{bmatrix} \cos(\alpha(t)) & 0 & \sin(\alpha(t)) & X(t) \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\alpha(t)) & 0 & \cos(\alpha(t)) & Z(t) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ 为折弯轨迹在t时刻的轨迹变换量。

[0110] 步骤S131,根据插补点确定对应折弯跟随轨迹,以得到规划后的折弯跟随轨迹。

[0111] 具体地,利用如上所述的齐次矩阵得到t在各时刻的插补点,并将各插补点反解到关节空间控制机器人运动,从而集合不同时刻插补点组成折弯跟随轨迹。

[0112] 如上所述,现有的串联机器人在笛卡尔空间轨迹规划的方法为试教空间直线或圆弧,设定期望速度后对于跟随轨迹做T型或S型速度规划,S型速度规划被划分为7个阶段(加加速、匀加速、减加速、匀速、加减速、匀减速、减减速)。如果以原有轨迹规划跟随折弯机折弯运动,轨迹会比较复杂、而且对于速度的跟随难以实现。本发明实施方式中的折弯跟随轨迹规划方法不用基于直线或圆弧做规划,同时对于折弯过程的跟随也不用再次进行速度规划,只需同步插补点与折弯运动的参数t。

[0113] 请参阅图9,为本发明实施方式中一种折弯跟随轨迹规划装置的结构示意图,该装置20包括参数获取模块24、角度计算模块21、位置计算模块22以及规划模块23。

[0114] 该参数获取模块24用于获取折弯机和折弯机器人对板材进行折弯加工的加工参

数,所述加工参数包括折弯机上模的运动速度 v 、下模的宽度 L 以及在开始加工时折弯机器人工具中心点TCP与所述折弯机下模中心点的距离 d 。

[0115] 该角度计算模块21用于根据所述折弯机上模的运动速度 v 以及下模的宽度 L 计算板材的翻转角度。

[0116] 请再次参阅图7,从上模下降接触到板材开始计时,点A表示 t 时刻机器人的TCP位置,点B表示板材与下模边缘的交点,点C表示板材折弯中心点。当计算板材的翻转角度时,由直角三角形OBC的BO边长、OC边长计算得到角OBC,即,角 α 。具体计算如下:

[0117] 该角度计算模块21根据该折弯机的上模运动速度以及下模宽度,并利用公式1计算 t 时刻板材的翻转角度:

[0118] 公式1: $\alpha(t) = \arctan(2vt/L)$;

[0119] 其中, α 为翻转角度, v 为折弯机的上模运动速度, L 为折弯机的下模的宽度。BO边长为 $L/2$,OC边长为 vt 。

[0120] 该位置计算模块22用于根据所述翻转角度以及所述距离 d 确定所述TCP与所述折弯机的位置关系。

[0121] 其中,上述的位置关系为折弯机器人的TCP在该折弯机坐标系中 x 、 z 轴的位置。且, $t=0$ 时的TCP为该折弯机坐标系的原点。

[0122] 当该位置计算模块22计算点A(TCP)在 $X-Z$ 坐标系中 x 轴的长度时,由直角三角形 AA_yC 的 A_yC 边长、角 A_yAC (角 α)得到 AA_y 边长,即,TCP在 $X-Z$ 坐标系中 x 轴的长度。具体计算如下:

[0123] 当 $t=0$ 时, $X(t)=0$,且,在 $t=0$ 时,TCP在 x 轴的长度为 d 。

[0124] 当 $t \neq 0$ 时, A_yC 边长= $d \cdot \sin(\alpha(t))$, OC 边长= $L \cdot \tan(\alpha(t))$ 。该位置计算模块22根据该翻转角度以及折弯机器人的TCP与该折弯机的距离,利用公式2、3分别计算 t 时刻TCP在该折弯机坐标系中 x 、 z 轴的位置:

[0125] 公式2: $X(t) = d - d \cdot \cos(\alpha(t))$;

[0126] 公式3: $Z(t) = d \cdot \sin(\alpha(t)) - L \cdot \tan(\alpha(t))$;

[0127] 其中, $X(t)$ 、 $Z(t)$ 分别为 t 时刻TCP在 x 、 z 轴的位置, d 为在开始加工($t=0$)时TCP到下模中心点的距离。

[0128] 该规划模块23用于根据该角度计算模块21计算得到的翻转角度以及该位置计算模块22确定的TCP与该折弯机的位置关系,对折弯跟随轨迹进行规划,以得到规划后的折弯跟随轨迹。

[0129] 具体地,该规划模块23根据该翻转角度、该TCP在 x 、 z 轴的位置,利用公式4确定 t 时刻的插补点,并根据该插补点确定对应折弯跟随轨迹,以得到规划后的折弯跟随轨迹:

$$[0130] \quad \text{公式4: } P(t) = \begin{bmatrix} Xx_0 & Yx_0 & Zx_0 & X_0 \\ Xy_0 & Yy_0 & Zy_0 & Y_0 \\ Xz_0 & Yz_0 & Zz_0 & Z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos(\alpha(t)) & 0 & \sin(\alpha(t)) & X(t) \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\alpha(t)) & 0 & \cos(\alpha(t)) & Z(t) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

[0131] 其中, $P(t)$ 为 t 时刻的插补点, $\begin{bmatrix} Xx_0 & Yx_0 & Zx_0 & X_0 \\ Xy_0 & Yy_0 & Zy_0 & Y_0 \\ Xz_0 & Yz_0 & Zz_0 & Z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ 为折弯轨迹的初始值,

$\begin{bmatrix} \cos(\alpha(t)) & 0 & \sin(\alpha(t)) & X(t) \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\alpha(t)) & 0 & \cos(\alpha(t)) & Z(t) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ 为折弯轨迹在 t 时刻的轨迹变换量。

[0132] 可选地, 该控制设备还包括控制模块, 用于根据所述折弯跟随轨迹生成相应的控制指令, 控制折弯机器人对所述板材进行折弯跟随。

[0133] 请参阅图10, 为本发明实施方式中一种折弯机器人系统的结构示意图, 在本实施方式中, 折弯机器人系统包括折弯机器人34及其控制设备30。该折弯机器人34可为六轴串联机器人。该控制设备30包括存储器31、处理器32, 其中, 该存储器31存储有计算机程序。该处理器32运行该计算机程序, 执行折弯跟随轨迹规划而生成折弯跟随轨迹, 并产生相应的控制指令, 控制折弯机器人对所述板材进行折弯跟随。

[0134] 其中, 该处理器32运行计算机程序执行的折弯跟随轨迹规划如图6所示的折弯跟随轨迹规划方法的流程, 其方法步骤请参见图6及对应的文字说明。

[0135] 请参阅图11, 为本发明实施方式中一种板材折弯加工系统的结构示意图。在本实施方式中, 板材折弯加工系统包括折弯机41、折弯机器人42及其控制设备43。其中, 该折弯机41和折弯机器人43间结构可如图1所示。

[0136] 该折弯机41用于对待加工板材进行折弯加工。

[0137] 该折弯机器人42用于实现对所述待加工板材在折弯加工过程中的折弯跟随。

[0138] 该控制设备43用于计算所述折弯跟随轨迹并控制所述折弯机器人对所述待加工板材进行折弯跟随。

[0139] 其中, 该控制设备43包括控制模块和如图9所示的折弯跟随轨迹规划装置的模块, 其模块功能请参见图9及对应的文字说明, 该控制模块用于根据所述折弯跟随轨迹生成相应的控制指令, 控制折弯机器人对所述板材进行折弯跟随。

[0140] 在以上实施例中, 该控制设备也可设置在折弯机器人中。

[0141] 本发明提供折弯跟随轨迹规划方法、装置及系统, 通过根据折弯机的上模运动速度、下模宽度确定板材的翻转角度, 并根据该翻转角度、折弯机器人的TCP与折弯机的距离确定TCP与折弯机的位置关系, 以及根据翻转角度和TCP与折弯机的位置关系对折弯跟随轨迹进行规划, 得到规划后的折弯跟随轨迹的技术方案, 实现了折弯跟随轨迹不需要基于直线或圆弧轨迹进行规划, 而是同步插补点与折弯运动的时间对折弯跟随轨迹进行规划, 以提高运动轨迹的精确性, 且可适用于其他机器人(如六轴串联机器人)。

[0142] 以上所述仅为本发明的实施例, 并非因此限制本发明的专利范围, 凡是利用本发明说明书及附图内容所作的等效结构或等效流程变换, 或直接或间接运用在其他相关的技术领域, 均同理包括在本发明的专利保护范围内。

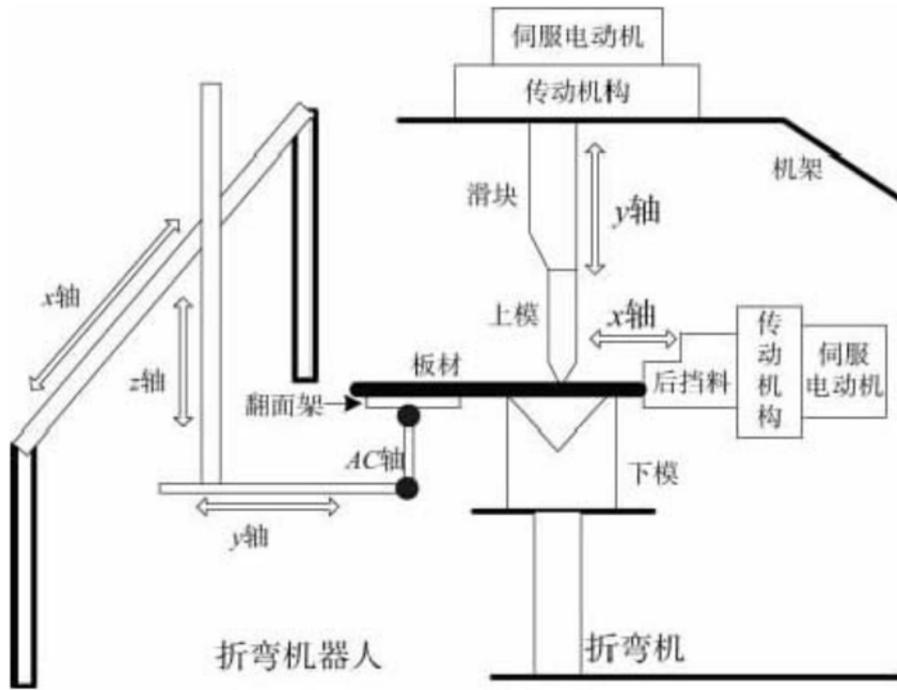


图1

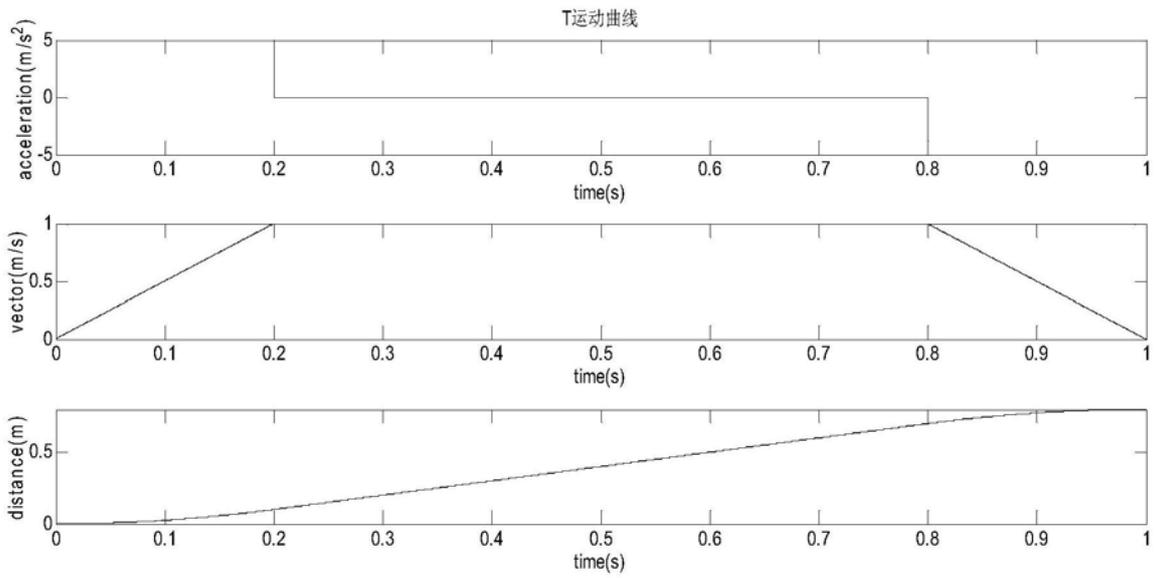
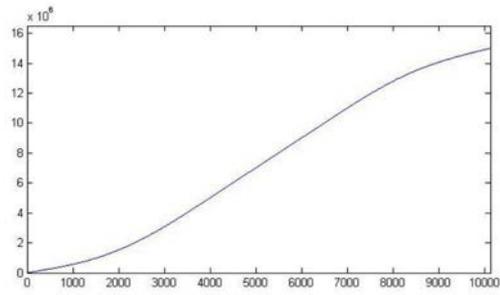
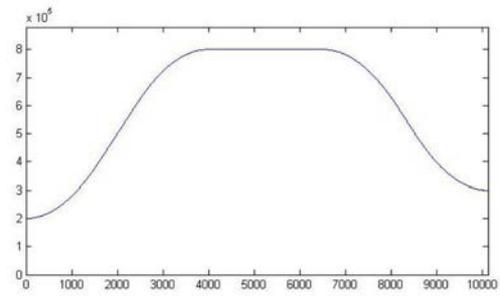


图2



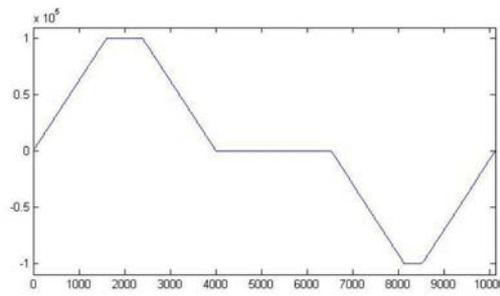
距离变化曲线

图3a



速度变化曲线

图3b



加速度变化曲线

图3c

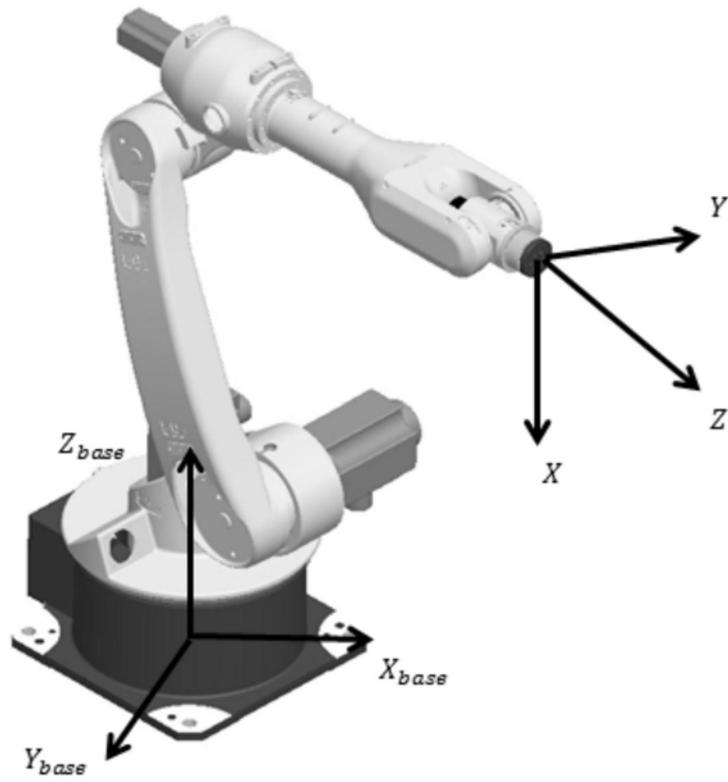


图4

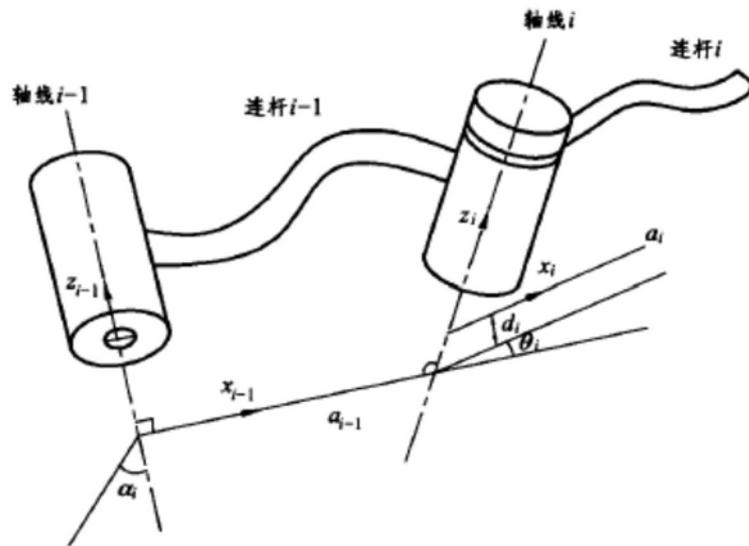


图5

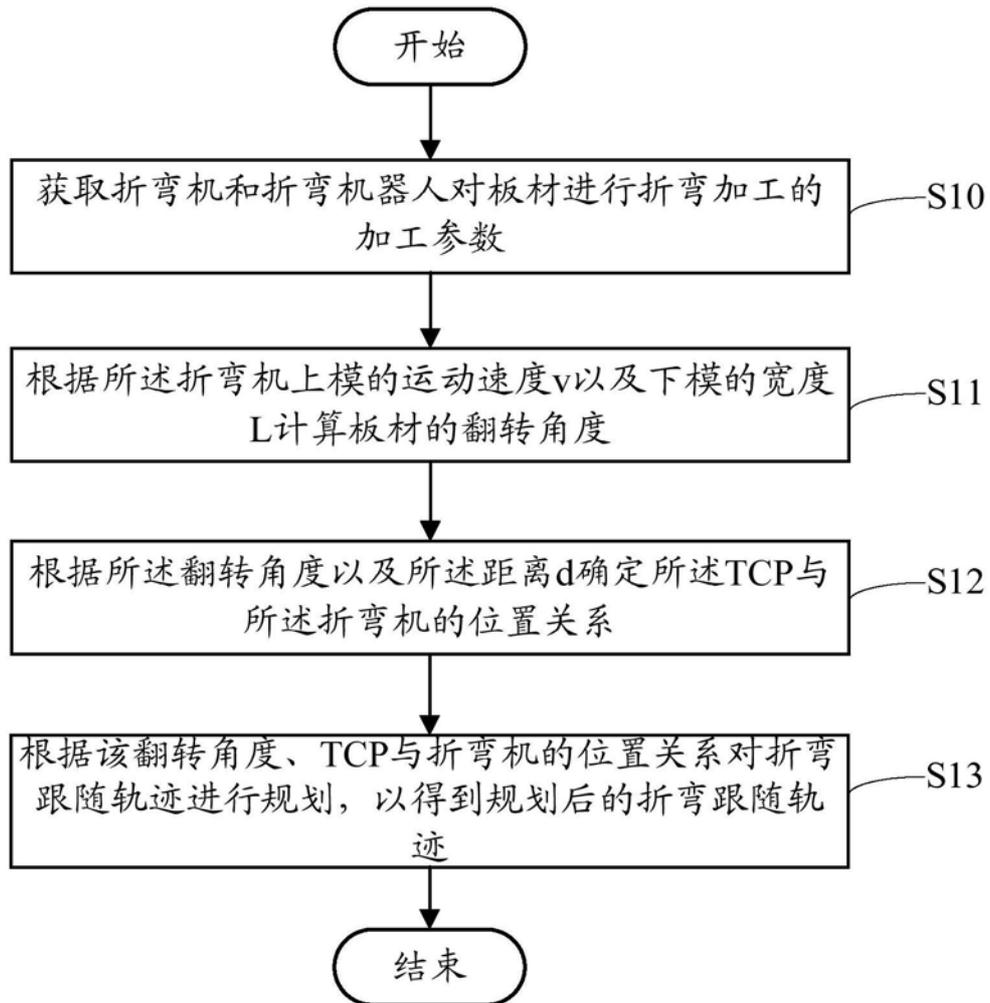


图6

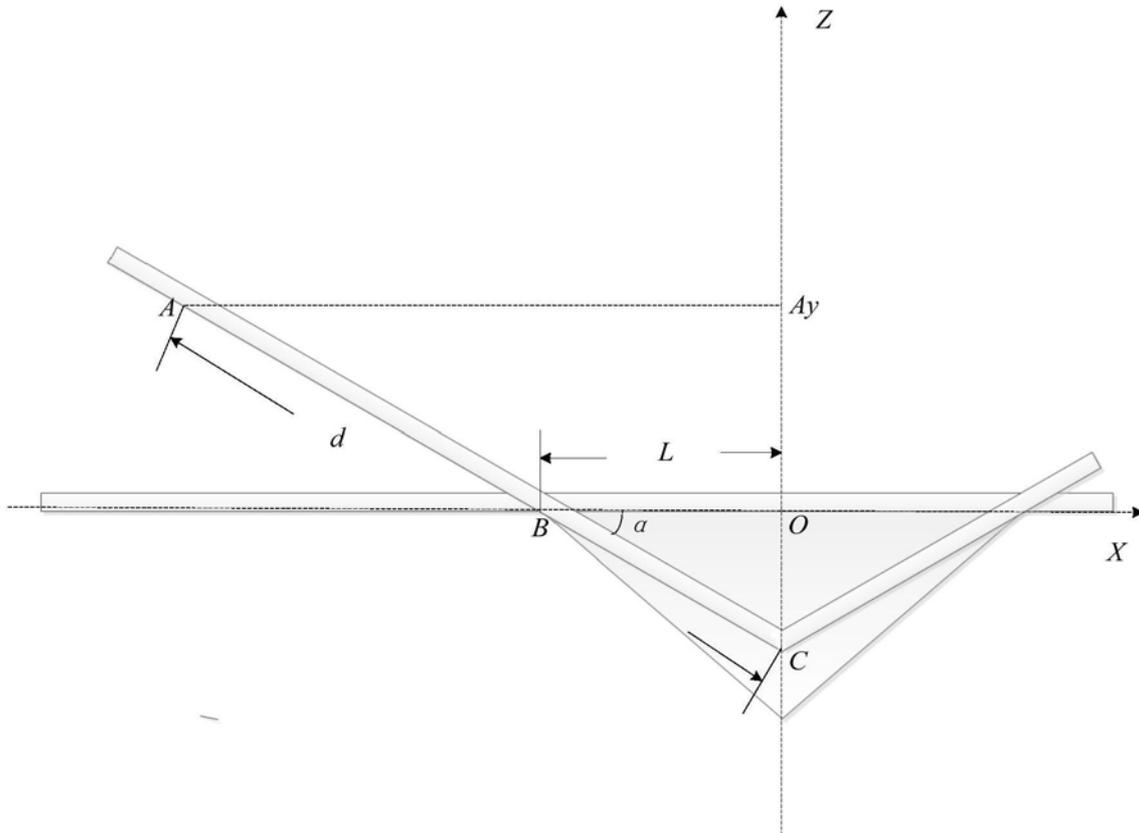


图7

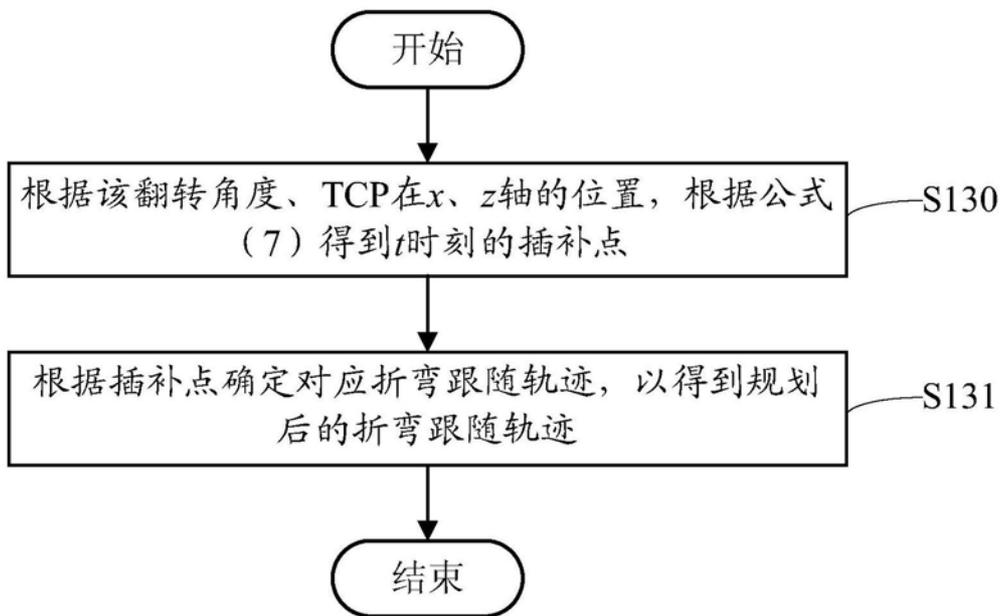


图8

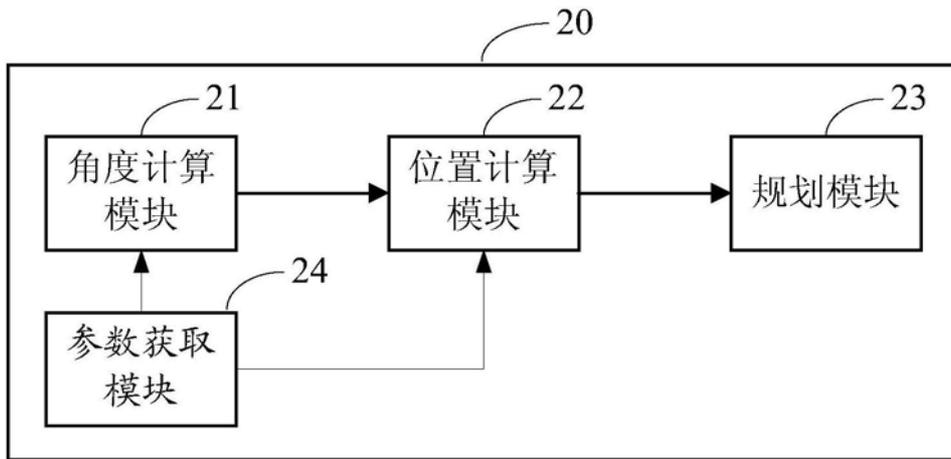


图9

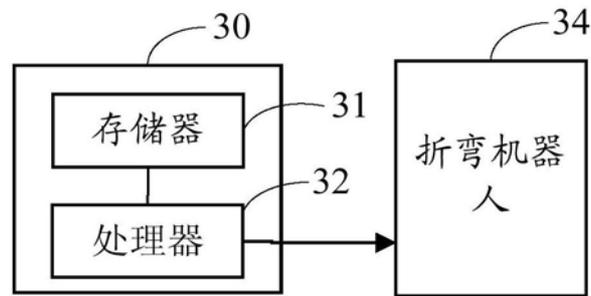


图10



图11