

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2017年7月6日 (06.07.2017)



(10) 国际公布号
WO 2017/113195 A1

- (51) 国际专利分类号:
G05B 19/19 (2006.01) G05B 19/41 (2006.01)
 - (21) 国际申请号: PCT/CN2015/099881
 - (22) 国际申请日: 2015年12月30日 (30.12.2015)
 - (25) 申请语言: 中文
 - (26) 公布语言: 中文
 - (71) 申请人: 深圳配天智能技术研究院有限公司 (SHENZHEN A&E SMART INSTITUTE CO., LTD.) [CN/CN]; 中国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, Guangdong 518000 (CN)。
 - (72) 发明人: 何敏聪 (HE, Mincong); 中国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, Guangdong 518000 (CN)。
 - (74) 代理人: 北京集佳知识产权代理有限公司 (UNITALEN ATTORNEYS AT LAW); 中国北京市朝阳区建国门外大街 22 号赛特广场 7 层, Beijing 100004 (CN)。
 - (81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。
 - (84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。
- 本国际公布:
— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

(54) Title: PROCESSING PATH PLANNING METHOD, PROCESSING PATH PLANNING APPARATUS AND NUMERICALLY CONTROLLED MACHINE TOOL

(54) 发明名称: 一种加工路径规划方法、加工路径规划装置及数控机床

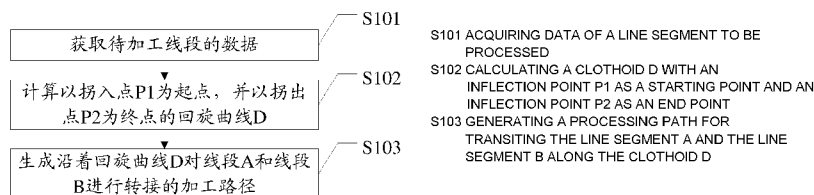
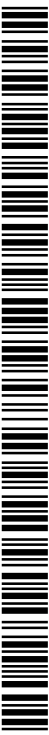


图 5

(57) Abstract: A processing path planning method, a processing path planning apparatus and a numerically controlled machine tool. The method comprises: acquiring data of a line segment to be processed (S101), wherein the line segment to be processed comprises a line segment A and a line segment B which intersect at an intersection point O, the line segment A comprising an inflection point P1, and the line segment B comprising an inflection point P2; calculating a clothoid D with the inflection point P1 as a starting point and the inflection point P2 as an end point (S102), wherein the clothoid D satisfies the following conditions: the curvature is continuous, and the curvature is continuous when the clothoid crosses over the inflection point P1 and/or the inflection point P2; and generating a processing path for transiting the line segment A and the line segment B along the clothoid D (S103). By inserting a clothoid with continuous curvature for transition when adjacent line segments are transited, jumps in acceleration and jerk values of a numerically controlled machine tool are reduced during processing, thereby reducing impact to the numerically controlled machine tool, and thus guaranteeing the processing precision and smoothness of a workpiece.

(57) 摘要: 一种加工路径规划方法、加工路径规划装置及数控机床, 该方法包括: 获取待加工线段的数据 (S101), 所述待加工线段包括相交于交点 O 的线段 A 和线段 B, 所述线段 A 上包括拐入点 P1, 所述线段 B 上包括拐出点 P2; 计算以所述拐入点 P1 为起点, 并以所述拐出点 P2 为终点的回旋曲线 D (S102), 所述回旋曲线 D 满足如下条件: 曲率连续, 且在跨越所述拐入点 P1 和/或所述拐出点 P2 时曲率连续; 生成沿着所述回旋曲线 D 对所述线段 A 和所述线段 B 进行转接的加工路径 (S103)。通过在相邻线段转接时插入曲率连续的回旋曲线过渡, 以降低数控机床加工时加速度和加加速度值的跳变, 从而减小对数控机床的冲击, 以此来保证工件的加工精度和光滑度。



WO 2017/113195 A1

一种加工路径规划方法、加工路径规划装置及数控机床

技术领域

5 本发明涉及数控技术领域，尤其涉及一种加工路径规划方法、加工路径规划装置及数控机床。

背景技术

数控机床在加工复杂的工件时，尤其是针对相邻短线段高速加工，为了抑制机床的震动，从而保证工件的加工精度和光滑度，通常在相邻短线段转接时，插入过渡曲线。

10 如图 1 所示，图 1 为现有技术中加工路径规划方法的轨迹图，原加工程序中，数控机床在线段 A 的末尾开始减速，并在线段 A 与线段 B 的交点处减速为零，再沿线段 B 开始加速。之后，为了提高数控机床的加工效率，在线段 A 与线段 B 之间插入一段圆弧曲线 C 过渡，该圆弧曲线 C 与线段 A 相切于拐入点 P1，并与线段 B 相切于拐出点 P2。该加工程序中，数控机床在到达线段 A
15 上的拐入点 P1 时，将沿着圆弧曲线 C 加工，直到线段 B 上的拐出点 P2。这种加工方式，使得数控机床在线段 A 与线段 B 衔接时，在线段 A 末尾不需减速为 0，在线段 B 起始不需从 0 开始加速。该圆弧曲线 C 与线段 A 相切于拐入点 P1，并与线段 B 相切于拐出点 P2。

20 上述曲线过渡加工方法虽然能够实现短相邻线段间的高速过渡功能，但仍存在以下问题：

在拐入点 P1 和拐出点 P2 处，圆弧曲线 C 的曲率不连续，曲率瞬间从 0 变成 $1/R$ ，导致数控机床的加速度和加加速度值产生较大的跳变，对数控机床有较大的冲击。

25 结合图 1 至图 5 所示，图 2 为现有技术中加工路径规划方法的速度轨迹图，图 3 为现有技术中加工路径规划方法的加速度轨迹图，图 4 为现有技术中加工路径规划方法的加加速度轨迹图，相邻线段间的夹角为 90 度，目标速度为 2500mm/min，系统设置最大加速度为 3m/s^2 ，最大加加速度为 800m/s^3 。数控机床在减速进入拐入点 P1，加速离开拐出点 P2 时，数控机床的合成加速度超

过 4m/s^2 ，超过设定值。而且合成加加速度产生跳变，峰值达到 10000m/s^3 ，是设定值的 12.5 倍，而且跳变十分尖锐，使数控机床有较大的震动，从而无法保证工件的加工精度和光滑度。

发明内容

5 为解决上述技术问题，本发明提供了一种加工路径规划方法、加工路径规划装置及数控机床，在相邻线段转接时插入曲率连续的回旋曲线过渡，以降低数控机床加工时加速度和加加速度值的跳变，从而减小对数控机床的冲击，以此来保证工件的加工精度和光滑度。

本发明第一方面提供一种加工路径规划方法，包括：

10 获取待加工线段的数据，所述待加工线段包括相交于交点 O 的线段 A 和线段 B，所述线段 A 上包括拐入点 P1，所述线段 B 上包括拐出点 P2；

计算以所述拐入点 P1 为起点，并以所述拐出点 P2 为终点的回旋曲线 D，所述回旋曲线 D 满足如下条件：曲率连续，且在跨越所述拐入点 P1 和/或所述拐出点 P2 时曲率连续；

15 生成沿着所述回旋曲线 D 对所述线段 A 和所述线段 B 进行转接的加工路径。

可选地，所述拐入点 P1 到所述交点 O 的长度等于所述拐出点 P2 到所述交点 O 的长度。

20 可选地，所述计算以所述拐入点 P1 为起点，并以所述拐出点 P2 为终点的回旋曲线 D 包括：

获取所述线段 A 与所述线段 B 之间夹角 $\angle AOB$ 的角平分线 E 的数据，所述角平分线 E 将所述回旋曲线 D 分割为以垂点 P3 为对称点的曲线 P1P3 和曲线 P2P3，并在垂点 P3 处垂直于所述曲线 P1P3 和所述曲线 P2P3；

根据几何原理，确定所述曲线 P1P3 的参数方程 (1)：

$$25 \quad \begin{cases} x = x_0 + \int_0^l \cos(\frac{1}{2}ct^2)dt \\ y = y_0 + \int_0^l \sin(\frac{1}{2}ct^2)dt \end{cases} \quad (1),$$

其中, (x_0, y_0) 为拐入点 P1 的坐标, (x, y) 为曲线 P1P3 上任意点的坐标, l 为曲线 P1P3 上任意点沿曲线 P1P3 距离拐入点 P1 的长度, $(0 \leq l \leq s)$, s 为曲线 P1P3 的长度, c 为曲线 P1P3 的曲率变化率;

计算 c 的值, 并将 c 的值代入所述参数方程 (1) 内计算所述参数方程 (1);

5 根据所述参数方程 (1) 得到所述曲线 P1P3;

根据所述曲线 P1P3 与所述曲线 P2P3 的对称关系, 得到所述曲线 P2P3。

可选地, 所述计算 c 的值包括:

根据所述曲线 P1P3 与角平分线 E 相交, 且在垂点 P3 处垂直的关系, 确定所述曲线 P1P3 的积分方程组 (2):

$$10 \quad \begin{cases} y_0 + \int_0^s \sin\left(\frac{1}{2}ct^2\right)dt = m \times \left(x_0 + \int_0^s \cos\left(\frac{1}{2}ct^2\right)dt \right) + b \\ \tan\left(\frac{1}{2}cs^2\right) \times m = -1 \end{cases} \quad (2)$$

其中, $y = mx + b$ 为角平分线 E 的直线方程, m 为角平分线 E 的斜率, b 为角平分线 E 的截距;

计算所述积分方程组 (2) 得出 c 和 s 的值。

可选地, 所述计算所述积分方程组 (2) 得出 c 和 s 的值包括:

15 获取所述线段 A 与角平分线 E 之间辅助线 F 的数据, 所述辅助线 F 是以拐入点 P1 为起点, 以垂点 P3 为终点的连线;

根据几何原理, 确定所述辅助线 F 的参数方程 (3):

$$\begin{cases} x = x_0 + s \times kx \\ y = y_0 + s \times ky \end{cases} \quad (3)$$

其中, kx 和 ky 为常量, $kx = \int_0^1 \cos\left(\frac{1}{2} \arctan\left(-\frac{1}{m}\right)t^2\right)dt$,

$$20 \quad ky = \int_0^1 \sin\left(\frac{1}{2} \arctan\left(-\frac{1}{m}\right)t^2\right)dt;$$

根据所述角平分线 E 与所述辅助线 F 相交的关系, 计算得出:

-4-

$$s = \frac{y_0 - m \times x_0 - b}{m \times kx - ky};$$

将 s 的值代入积分方程组 (2)，计算得出：

$$c = \frac{2 \times \arctan\left(-\frac{1}{m}\right)}{s^2}。$$

本发明第二方面提供一种加工路径规划装置，包括：

- 5 获取模块，用于获取待加工线段的数据，所述待加工线段包括相交于交点 O 的线段 A 和线段 B，所述线段 A 上包括拐入点 P1，所述线段 B 上包括拐出点 P2；

- 计算模块，用于计算以所述拐入点 P1 为起点，并以所述拐出点 P2 为终点的回旋曲线 D，所述回旋曲线 D 满足如下条件：曲率连续，且在跨越所述拐入点 P1 和/或所述拐出点 P2 时曲率连续；

生成模块，用于生成沿着所述回旋曲线 D 对所述线段 A 和所述线段 B 进行转接的加工路径。

可选地，所述拐入点 P1 到所述交点 O 的长度等于所述拐出点 P2 到所述交点 O 的长度。

- 15 可选地，所述计算模块包括：

获取子模块，获取所述线段 A 与所述线段 B 之间夹角 $\angle AOB$ 的角平分线 E 的数据，所述角平分线 E 将所述回旋曲线 D 分割为以垂点 P3 为对称点的曲线 P1P3 和曲线 P2P3，并在垂点 P3 处垂直于所述曲线 P1P3 和所述曲线 P2P3；

确定子模块，用于根据几何原理，确定所述曲线 P1P3 的参数方程 (1)：

$$20 \quad \begin{cases} x = x_0 + \int_0^l \cos\left(\frac{1}{2}ct^2\right)dt \\ y = y_0 + \int_0^l \sin\left(\frac{1}{2}ct^2\right)dt \end{cases} \quad (1),$$

其中， (x_0, y_0) 为拐入点 P1 的坐标， (x, y) 为曲线 P1P3 上任意点的坐标， l 为曲线 P1P3 上任意点沿曲线 P1P3 距离拐入点 P1 的长度， $(0 \leq l \leq s)$ ， s 为曲线 P1P3 的长度， c 为曲线 P1P3 的曲率变化率；

-5-

计算子模块, 用于计算 c 的值, 并将 c 的值代入所述参数方程 (1) 内计算所述参数方程 (1);

得到子模块, 用于根据所述参数方程 (1) 得到所述曲线 P1P3, 还用于根据所述曲线 P1P3 与所述曲线 P2P3 的对称关系, 得到所述曲线 P2P3。

5 可选地, 所述计算子模块包括:

确定单元, 用于根据所述曲线 P1P3 与角平分线 E 相交, 且在垂点 P3 处垂直的关系, 确定所述曲线 P1P3 的积分方程组 (2):

$$\begin{cases} y_0 + \int_0^s \sin\left(\frac{1}{2}ct^2\right)dt = m \times \left(x_0 + \int_0^s \cos\left(\frac{1}{2}ct^2\right)dt \right) + b \\ \tan\left(\frac{1}{2}cs^2\right) \times m = -1 \end{cases} \quad (2)$$

10 其中, $y = mx + b$ 为角平分线 E 的直线方程, m 为角平分线 E 的斜率, b 为角平分线 E 的截距;

计算单元, 用于计算所述积分方程组 (2) 得出 c 和 s 的值。

可选地, 所述计算单元包括:

获取子单元, 用于获取所述线段 A 与角平分线 E 之间辅助线 F 的数据, 所述辅助线 F 是以拐入点 P1 为起点, 以垂点 P3 为终点的连线;

15 计算子单元, 用于根据几何原理, 确定所述辅助线 F 的参数方程 (3):

$$\begin{cases} x = x_0 + s \times kx \\ y = y_0 + s \times ky \end{cases} \quad (3)$$

其中, kx 和 ky 为常量, $kx = \int_0^1 \cos\left(\frac{1}{2}\arctan\left(-\frac{1}{m}\right)t^2\right)dt$,

$$ky = \int_0^1 \sin\left(\frac{1}{2}\arctan\left(-\frac{1}{m}\right)t^2\right)dt;$$

根据所述角平分线 E 与所述辅助线 F 相交的关系, 计算得出:

$$20 \quad s = \frac{y_0 - m \times x_0 - b}{m \times kx - ky};$$

还用于将 s 的值代入积分方程组 (2), 计算得出:

$$c = \frac{2 \times \arctan\left(-\frac{1}{m}\right)}{s^2}。$$

本发明第三方面提供一种数控机床，包括：机床本体和安装于所述机床本体上的数控设备，所述数控设备用于对待加工工件的加工路径进行规划，并控制所述机床本体沿着规划得到的加工路径对所述待加工工件进行加工，其中，
5 所述数控设备包括：

获取模块，用于获取待加工线段的数据，所述待加工线段包括相交于交点 O 的线段 A 和线段 B，所述线段 A 上包括拐入点 P1，所述线段 B 上包括拐出点 P2；

10 计算模块，用于计算以所述拐入点 P1 为起点，并以所述拐出点 P2 为终点的回旋曲线 D，所述回旋曲线 D 满足如下条件：曲率连续，且在跨越所述拐入点 P1 和/或所述拐出点 P2 时曲率连续；

生成模块，用于生成沿着所述回旋曲线 D 对所述线段 A 和所述线段 B 进行转接的加工路径。

15 本发明第四方面提供一种加工路径规划装置，包括处理器和存储器，所述处理器用于执行如下功能：

获取待加工线段的数据，所述待加工线段包括相交于交点 O 的线段 A 和线段 B，所述线段 A 上包括拐入点 P1，所述线段 B 上包括拐出点 P2；

20 计算以所述拐入点 P1 为起点，并以所述拐出点 P2 为终点的回旋曲线 D，所述回旋曲线 D 满足如下条件：曲率连续，且在跨越所述拐入点 P1 和/或所述拐出点 P2 时曲率连续；

生成沿着所述回旋曲线 D 对所述线段 A 和所述线段 B 进行转接的加工路径。

25 本发明所提供的一种加工路径规划方法、加工路径规划装置及数控机床，在数控机床中，针对相邻短线段转接时，以回旋曲线替代圆弧曲线过渡加工，使加工曲线轨迹的曲率连续，从而降低数控机床加工时加速度和加加速度值的跳变，因此相对于现有技术，本发明通过在相邻线段转接时插入曲率连续的回

旋曲线过渡，以降低数控机床加工时加速度和加加速度值的跳变，从而减小对数控机床的冲击，以此来保证工件的加工精度和光滑度。

附图说明

- 图 1 为现有技术中加工路径规划方法的轨迹图；
- 5 图 2 为现有技术中加工路径规划方法的速度轨迹图；
- 图 3 为现有技术中加工路径规划方法的加速度轨迹图；
- 图 4 为现有技术中加工路径规划方法的加加速度轨迹图；
- 图 5 为本发明实施例中加工路径规划方法的步骤流程图；
- 图 6 为本发明实施例中加工路径规划方法的轨迹图；
- 10 图 7 为本发明实施例中加工路径规划方法的辅助线 F 与角平分线 E 的关系图；
- 图 8 为本发明实施例中加工路径规划方法的轨迹与回旋曲线过渡加工方法的轨迹的对比图；
- 图 9 为本发明另一实施例中加工路径规划方法的轨迹与回旋曲线过渡加工方法的轨迹的对比图；
- 15 图 10 为本发明实施例中加工路径规划方法的速度轨迹图；
- 图 11 为本发明实施例中加工路径规划方法的加速度轨迹图；
- 图 12 为本发明实施例中加工路径规划方法的加加速度轨迹图；
- 图 13 为本发明实施例中加工路径规划装置的模块框图；
- 20 图 14 为本发明实施例中数控机床的数控设备的模块框图；
- 图 15 为本发明实施例中加工路径规划装置的硬件框图。

具体实施方式

下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而不是

25 全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

请参见图 5，图 5 为本发明实施例中加工路径规划方法的步骤流程图，该方法包括：

S101、获取待加工线段的数据。

本发明实施例中，待加工线段包括相交于交点 O 的线段 A 和线段 B，线段 A 上包括拐入点 P1，线段 B 上包括拐出点 P2。需要说明的是，本发明实施例是基于原加工及圆弧曲线过渡加工方法作出的更进一步地改进，为此，本发明实施例中也会利用到之前加工方法中相应的参数信息，如：原加工方法中相交于交点 O 的线段 A 和线段 B，以及圆弧曲线过渡加工方法中的拐入点 P1 和拐出点 P2。

S102、计算以拐入点 P1 为起点，并以拐出点 P2 为终点的回旋曲线 D。

本发明实施例中，回旋曲线 D 满足如下条件：曲率连续，且在跨越拐入点 P1 和/或拐出点 P2 时曲率连续。将回旋曲线 D 应用于数控系统中相邻线段间转换时过渡加工，根据回旋曲线 D 的参数方程和几何特性，可知回旋曲线 D 比圆弧曲线 C 过渡更靠近原加工路径，具有更好的加工精度。另外，回旋曲线 D 的斜率、曲率从初始值开始随长度连续变化，依靠这一特性，保证了过渡的过程中，数控机床加速度和加加速度的连续变化，有效降低了数控机床的震动，从而保证了工件的加工光滑度。

本发明实施例中，拐入点 P1 到交点 O 的长度等于拐出点 P2 到交点 O 的长度，即： $OP_1=OP_2$ 。只有在这种情况下，才能保证回旋曲线 D 的曲率连续。

如图 6 所示，图 6 为本发明实施例中加工路径规划方法的轨迹图，本发明实施例中，上述步骤 S102 具体包括：

20 获取所述线段 A 与所述线段 B 之间夹角 $\angle AOB$ 的角平分线 E 的数据。

本发明实施例中，所述角平分线 E 将所述回旋曲线 D 分割为以垂点 P3 为对称点的曲线 P1P3 和曲线 P2P3，并在垂点 P3 处垂直于所述曲线 P1P3 和所述曲线 P2P3。由于回旋曲线 D 曲率连续，所以曲线 P1P3 和曲线 P2P3 在垂点 P3 处必定垂直于角平分线 E。通过角平分线 E 将回旋曲线 D 对称的分割为曲线 P1P3 和曲线 P2P3 两个部分，那么，只要得到其中一个部分曲线，再根据
25 两个部分曲线关于角平分线 E 的对称关系，即可得到另一部分曲线。

进一步地，数控机床根据几何原理，确定曲线 P1P3 的参数方程 (1)：

-9-

$$\begin{cases} x = x_0 + \int_0^l \cos(\frac{1}{2}ct^2)dt \\ y = y_0 + \int_0^l \sin(\frac{1}{2}ct^2)dt \end{cases} \quad (1),$$

其中, (x_0, y_0) 为拐入点 P1 的坐标, (x, y) 为曲线 P1P3 上任意点的坐标, l 为曲线 P1P3 上任意点沿曲线 P1P3 距离拐入点 P1 的长度, $(0 \leq l \leq s)$, s 为曲线 P1P3 的长度, c 为曲线 P1P3 的曲率变化率。

5 本发明实施例中, 已知拐入点 P1 的坐标, l 为自变量, x 和 y 为因变量, c 为未知数。

更进一步地, 计算 c 的值, 并将 c 的值代入参数方程 (1) 内计算所述参数方程 (1)。

10 本发明实施例中, 只要求得 c 的值, 即可得到曲线 P1P3 的参数方程 (1), 最终通过曲线 P1P3 的参数方程 (1) 画出曲线 P1P3。

本发明实施例中, 针对计算 c 的值, 可以采用如下方法:

根据曲线 P1P3 与角平分线 E 相交, 且在垂点 P3 处垂直的关系, 确定曲线 P1P3 的积分方程组 (2):

$$\begin{cases} y_0 + \int_0^s \sin(\frac{1}{2}ct^2)dt = m \times \left(x_0 + \int_0^s \cos(\frac{1}{2}ct^2)dt \right) + b \\ \tan(\frac{1}{2}cs^2) \times m = -1 \end{cases} \quad (2)$$

15 其中, $y = mx + b$ 为角平分线 E 的直线方程, m 为角平分线 E 的斜率, b 为角平分线 E 的截距。

本发明实施例中, 基于曲线 P1P3 与角平分线 E 相交的关系, 将曲线 P1P3 的参数方程 (1) 代入角平分线 E 的直线方程内, 可得到:

$$y_0 + \int_0^s \sin(\frac{1}{2}ct^2)dt = m \times \left(x_0 + \int_0^s \cos(\frac{1}{2}ct^2)dt \right) + b;$$

20 基于曲线 P1P3 在垂点 P3 处垂直于角平分线 E 的关系, 可知曲线 P1P3 在垂点 P3 处的斜率与角平分线 E 的斜率垂直, 可得到:

$$\tan\left(\frac{1}{2}cs^2\right) \times m = -1.$$

进一步地，计算积分方程组（2）得出 c 和 s 的值。

本发明实施例中，通过求积分方程组（2）得到 c 的值，再将 c 的值代入参数方程（1）内，以求参数方程（1），最终根据参数方程（1）画出曲线P1P3。

5 现有技术中，采用牛顿迭代法求积分方程组（2），需要耗费大量的计算机资源，而本发明实施例中，则采用一种简易的方法求 s 的值，在求得 s 的值之后，再将 s 的值的代入积分方程组（2）内，得到 c 的值。

本发明实施例中，针对计算积分方程组（2）得出 c 和 s 的值，可以采用如下方法：

10 如图7所示，图7为本发明实施例中加工路径规划方法的辅助线F与角平分线E的关系图。

获取线段A与角平分线E之间辅助线F的数据。

本发明实施例中，辅助线F是以拐入点P1为起点，以垂点P3为终点的连线，通过借助拐入点P1与垂点P3之间的辅助线F，求 s 的值。

15 进一步地，根据几何原理，确定辅助线F的参数方程（3）：

$$\begin{cases} x = x_0 + s \times kx \\ y = y_0 + s \times ky \end{cases} \quad (3)$$

其中， kx 和 ky 为常量， $kx = \int_0^1 \cos\left(\frac{1}{2} \arctan\left(-\frac{1}{m}\right) t^2\right) dt$ ，

$$ky = \int_0^1 \sin\left(\frac{1}{2} \arctan\left(-\frac{1}{m}\right) t^2\right) dt。$$

20 需要说明的是，本发明实施例中，画出以拐入点P1为起点，并在终点与角平分线E垂直，且曲率不同的多段回旋曲线，通过将该些回旋曲线的终点连接在一起，也可以得到辅助线F。

更进一步地，根据角平分线E与辅助线F相交的关系，计算得出：

$$s = \frac{y_0 - m \times x_0 - b}{m \times kx - ky}。$$

本发明实施例中，将辅助线F的参数方程（3）代入角平分线E的直线方程内，即可得到s的值。此方法将求积分方程组的问题，转换为只求两根直线相交的问题，大大降低计算机的运算量，符合工程应用的需求。

更进一步地，将s的值代入积分方程组（2），计算得出：

$$c = \frac{2 \times \arctan\left(-\frac{1}{m}\right)}{s^2}。$$

本发明实施例中，在通过借助辅助线F与角平分线E相交的关系，求得s的值，再将s的值代入积分方程组（2）内，即可得到c的值。

更进一步地，根据参数方程（1）得到曲线P1P3。

本发明实施例中，得到参数方程（1）之后，即可通过该参数方程（1）画出曲线P1P3。

更进一步地，根据曲线P1P3与曲线P2P3的对称关系，得到曲线P2P3。

本发明实施例中，曲线P1P3与曲线P2P3是关于角平分线E的对称曲线，在画出曲线P1P3之后，可根据二者的对称关系画出曲线P2P3。

S103、生成沿着回旋曲线D对线段A和线段B进行转接的加工路径。

如图8所示，图8为本发明实施例中加工路径规划方法的轨迹与回旋曲线过渡加工方法的轨迹的对比图，在相同的拐入、拐出位置的情况下，相对于圆弧曲线C，回旋曲线D更贴近原加工路径中的线段A和线段B，具有更好的加工精度。

如图9所示，图9为本发明另一实施例中加工路径规划方法的轨迹与回旋曲线过渡加工方法的轨迹的对比图，特别在加工尖锐的拐角等细节时，圆弧曲线C过渡与回旋曲线D过渡在加工精度上的差别更明显。

下面通过理论推导，对本发明实施例做进一步的阐释：

已知加速度a、加加速度J与曲率σ之间的关系分别为：

-12-

$$\begin{cases} a = \sigma \times v^2 \\ J = \sigma^2 \times v^3 + U \times v^3 \end{cases} \quad (4)$$

其中， v 为速率， U 为常数。

针对圆弧曲线C过渡，数控机床在通过拐入点P1时，由于原轨迹的曲率为0，而圆弧曲线C的曲率为 $1/R$ (R 为圆弧曲线C的半径)，则曲率瞬间从0变成 $1/R$ 。

5 数控机床在通过拐出点P2时，曲率瞬间从 $1/R$ 变成0，根据式(4)，由于曲率瞬间跳变，将导致数控机床的加速度 a 和加加速度 J 有较大的跳变。

针对回旋曲线D过渡，根据参数方程(1)，可得到回旋曲线D的斜率 λ 的变化公式：

$$\lambda = \frac{dy}{dx} = \frac{dy/dl}{dx/dl} = \frac{\sin(\frac{1}{2}cl^2)}{\cos(\frac{1}{2}cl^2)} = \tan(\frac{1}{2}cl^2),$$

10 以及曲率 σ 的变化公式：

$$\sigma = \frac{x'' \cdot y' - x' \cdot y''}{((x')^2 + (y')^2)^{3/2}} = \frac{cl \cdot \sin(\frac{1}{2}cl^2) \cdot \sin(\frac{1}{2}cl^2) + \cos(\frac{1}{2}cl^2) \cdot cl \cdot \cos(\frac{1}{2}cl^2)}{((\cos(\frac{1}{2}cl^2))^2 + (\sin(\frac{1}{2}cl^2))^2)^{3/2}} = c \times l,$$

15 本发明实施例中，回旋曲线D从拐入点P1处开始， l 从0开始连续变化，因此曲率 σ 是连续变化的，并且对于连续的速度 v ，根据式(4)，加速度 a 、加加速度 J 也是连续的，过渡过程中加速度 a 和加加速度 J 不会产生较大的跳变。

20 结合图10至图12所示，图10为本发明实施例中加工路径规划方法的速度轨迹图，图11为本发明实施例中加工路径规划方法的加速度轨迹图，图12为本发明实施例中加工路径规划方法的加加速度轨迹图，本发明实施中，数控机床减速进入拐入点P1，加速离开拐出点P2时加速度 a 和加加速度 J 较平滑，而且在设定值以下。虽然在回旋曲线D过渡的中点时加速度 a 有轻微跳变，但仍保持在设置值之下，而由此引起的加加速度 J 跳变峰值为 1500 m/s^3 ，只是

设定值的 1.875 倍,较圆弧曲线 C 过渡更好的抑制了实际加工时加加速度 J 的跳变,而且变化较缓慢,对数控机床的冲击较小。

上面对本发明实施例中的加工路径规划方法进行了描述,下面对本发明实施例中的加工路径规划装置进行描述,请参阅图 13,图 13 为本发明实施例中加工路径规划装置的模块框图,该装置包括:

获取模块 201,用于获取待加工线段的数据,所述待加工线段包括相交于交点 O 的线段 A 和线段 B,所述线段 A 上包括拐入点 P1,所述线段 B 上包括拐出点 P2;

计算模块 202,用于计算以所述拐入点 P1 为起点,并以所述拐出点 P2 为终点的回旋曲线 D,所述回旋曲线 D 满足如下条件:曲率连续,且在跨越所述拐入点 P1 和/或所述拐出点 P2 时曲率连续;

生成模块 203,用于生成沿着所述回旋曲线 D 对所述线段 A 和所述线段 B 进行转接的加工路径。

可选地,本发明实施例中,所述拐入点 P1 到所述交点 O 的长度等于所述拐出点 P2 到所述交点 O 的长度。

可选地,本发明实施例中,所述计算模块 202 还可以包括:

获取子模块,获取所述线段 A 与所述线段 B 之间夹角 $\angle AOB$ 的角平分线 E 的数据,所述角平分线 E 将所述回旋曲线 D 分割为以垂点 P3 为对称点的曲线 P1P3 和曲线 P2P3,并在垂点 P3 处垂直于所述曲线 P1P3 和所述曲线 P2P3;

确定子模块,用于根据几何原理,确定所述曲线 P1P3 的参数方程 (1):

$$\begin{cases} x = x_0 + \int_0^l \cos(\frac{1}{2}ct^2)dt \\ y = y_0 + \int_0^l \sin(\frac{1}{2}ct^2)dt \end{cases} \quad (1),$$

其中, (x_0, y_0) 为拐入点 P1 的坐标, (x, y) 为曲线 P1P3 上任意点的坐标, l 为曲线 P1P3 上任意点沿曲线 P1P3 距离拐入点 P1 的长度, $(0 \leq l \leq s)$, s 为曲线 P1P3 的长度, c 为曲线 P1P3 的曲率变化率;

计算子模块,用于计算 c 的值,并将 c 的值代入所述参数方程 (1) 内计算

所述参数方程 (1);

得到子模块, 用于根据所述参数方程 (1) 得到所述曲线 P1P3, 还用于根据所述曲线 P1P3 与所述曲线 P2P3 的对称关系, 得到所述曲线 P2P3。

可选地, 本发明实施例中, 所述计算子模块还可以包括:

- 5 确定单元, 用于根据所述曲线 P1P3 与角平分线 E 相交, 且在垂点 P3 处垂直的关系, 确定所述曲线 P1P3 的积分方程组 (2):

$$\begin{cases} y_0 + \int_0^s \sin\left(\frac{1}{2}ct^2\right)dt = m \times \left(x_0 + \int_0^s \cos\left(\frac{1}{2}ct^2\right)dt \right) + b \\ \tan\left(\frac{1}{2}cs^2\right) \times m = -1 \end{cases} \quad (2)$$

其中, $y = mx + b$ 为角平分线 E 的直线方程, m 为角平分线 E 的斜率, b 为角平分线 E 的截距;

- 10 计算单元, 用于计算所述积分方程组 (2) 得出 c 和 s 的值。

可选地, 本发明实施例中, 所述计算单元还可以包括:

获取子单元, 用于获取所述线段 A 与角平分线 E 之间辅助线 F 的数据, 所述辅助线 F 是以拐入点 P1 为起点, 以垂点 P3 为终点的连线;

计算子单元, 用于根据几何原理, 确定所述辅助线 F 的参数方程 (3):

$$15 \quad \begin{cases} x = x_0 + s \times kx \\ y = y_0 + s \times ky \end{cases} \quad (3)$$

其中, kx 和 ky 为常量, $kx = \int_0^1 \cos\left(\frac{1}{2}\arctan\left(-\frac{1}{m}\right)t^2\right)dt$,

$$ky = \int_0^1 \sin\left(\frac{1}{2}\arctan\left(-\frac{1}{m}\right)t^2\right)dt;$$

根据所述角平分线 E 与所述辅助线 F 相交的关系, 计算得出:

$$s = \frac{y_0 - m \times x_0 - b}{m \times kx - ky};$$

- 20 还用于将 s 的值代入积分方程组 (2), 计算得出:

$$c = \frac{2 \times \arctan\left(-\frac{1}{m}\right)}{s^2}。$$

上面对本发明实施例中的加工路径规划装置进行了描述，下面对本发明实施例中的数控机床进行描述，请参阅图 14，图 14 为本发明实施例中数控机床的数控设备的模块框图，该数控机床包括：机床本体和安装于所述机床本体上的数控设备 301，所述数控设备 301 用于对待加工工件的加工路径进行规划，并控制所述机床本体沿着规划得到的加工路径对所述待加工工件进行加工，其中，所述数控设备 301 包括：

获取模块 3011，用于获取待加工线段的数据，所述待加工线段包括相交于交点 O 的线段 A 和线段 B，所述线段 A 上包括拐入点 P1，所述线段 B 上包括拐出点 P2；

计算模块 3012，用于计算以所述拐入点 P1 为起点，并以所述拐出点 P2 为终点的回旋曲线 D，所述回旋曲线 D 满足如下条件：曲率连续，且在跨越所述拐入点 P1 和/或所述拐出点 P2 时曲率连续；

生成模块 3013，用于生成沿着所述回旋曲线 D 对所述线段 A 和所述线段 B 进行转接的加工路径。

上面对本发明实施例中的数控机床进行了描述，下面对本发明实施例中的加工路径规划装置进行描述，请参阅图 15，图 15 为本发明实施例中加工路径规划装置的硬件框图，该加工路径规划装置包括：处理器 401 和存储器 402，所述处理器 401 用于执行如下功能：

获取待加工线段的数据，所述待加工线段包括相交于交点 O 的线段 A 和线段 B，所述线段 A 上包括拐入点 P1，所述线段 B 上包括拐出点 P2；

计算以所述拐入点 P1 为起点，并以所述拐出点 P2 为终点的回旋曲线 D，所述回旋曲线 D 满足如下条件：曲率连续，且在跨越所述拐入点 P1 和/或所述拐出点 P2 时曲率连续；

生成沿着所述回旋曲线 D 对所述线段 A 和所述线段 B 进行转接的加工路径。

以上所述实施例仅用以说明本发明的技术方案，而非对其限制；尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明，本领域的普通技术人员应当理解：其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改，或者对其中部分技术特征进行等同替换；而这些修改或者替换，并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围。

5

权 利 要 求

1、一种加工路径规划方法，其特征在于，包括：

获取待加工线段的数据，所述待加工线段包括相交于交点 O 的线段 A 和线段 B，所述线段 A 上包括拐入点 P1，所述线段 B 上包括拐出点 P2；

5 计算以所述拐入点 P1 为起点，并以所述拐出点 P2 为终点的回旋曲线 D，所述回旋曲线 D 满足如下条件：曲率连续，且在跨越所述拐入点 P1 和/或所述拐出点 P2 时曲率连续；

生成沿着所述回旋曲线 D 对所述线段 A 和所述线段 B 进行转接的加工路径。

10 2、根据权利要求 1 所述的加工路径规划方法，其特征在于，所述拐入点 P1 到所述交点 O 的长度等于所述拐出点 P2 到所述交点 O 的长度。

3、根据权利要求 2 所述的加工路径规划方法，其特征在于，所述计算以所述拐入点 P1 为起点，并以所述拐出点 P2 为终点的回旋曲线 D 包括：

15 获取所述线段 A 与所述线段 B 之间夹角 $\angle AOB$ 的角平分线 E 的数据，所述角平分线 E 将所述回旋曲线 D 分割为以垂点 P3 为对称点的曲线 P1P3 和曲线 P2P3，并在垂点 P3 处垂直于所述曲线 P1P3 和所述曲线 P2P3；

根据几何原理，确定所述曲线 P1P3 的参数方程 (1)：

$$\begin{cases} x = x_0 + \int_0^l \cos(\frac{1}{2}ct^2)dt \\ y = y_0 + \int_0^l \sin(\frac{1}{2}ct^2)dt \end{cases} \quad (1),$$

20 其中， (x_0, y_0) 为拐入点 P1 的坐标， (x, y) 为曲线 P1P3 上任意点的坐标， l 为曲线 P1P3 上任意点沿曲线 P1P3 距离拐入点 P1 的长度， $(0 \leq l \leq s)$ ， s 为曲线 P1P3 的长度， c 为曲线 P1P3 的曲率变化率；

计算 c 的值，并将 c 的值代入所述参数方程 (1) 内计算所述参数方程 (1)；

根据所述参数方程 (1) 得到所述曲线 P1P3；

根据所述曲线 P1P3 与所述曲线 P2P3 的对称关系，得到所述曲线 P2P3。

4、根据权利要求3所述的加工路径规划方法，其特征在于，所述计算 c 的值包括：

根据所述曲线P1P3与角平分线E相交，且在垂点P3处垂直的关系，确定所述曲线P1P3的积分方程组（2）：

$$5 \quad \begin{cases} y_0 + \int_0^s \sin\left(\frac{1}{2}ct^2\right)dt = m \times \left(x_0 + \int_0^s \cos\left(\frac{1}{2}ct^2\right)dt \right) + b \\ \tan\left(\frac{1}{2}cs^2\right) \times m = -1 \end{cases} \quad (2)$$

其中， $y = mx + b$ 为角平分线E的直线方程， m 为角平分线E的斜率， b 为角平分线E的截距；

计算所述积分方程组（2）得出 c 和 s 的值。

10 5、根据权利要求4所述的加工路径规划方法，其特征在于，所述计算所述积分方程组（2）得出 c 和 s 的值包括：

获取所述线段A与角平分线E之间辅助线F的数据，所述辅助线F是以拐入点P1为起点，以垂点P3为终点的连线；

根据几何原理，确定所述辅助线F的参数方程（3）：

$$\begin{cases} x = x_0 + s \times kx \\ y = y_0 + s \times ky \end{cases} \quad (3)$$

15 其中， kx 和 ky 为常量， $kx = \int_0^1 \cos\left(\frac{1}{2}\arctan\left(-\frac{1}{m}\right)t^2\right)dt$ ，

$$ky = \int_0^1 \sin\left(\frac{1}{2}\arctan\left(-\frac{1}{m}\right)t^2\right)dt；$$

根据所述角平分线E与所述辅助线F相交的关系，计算得出：

$$s = \frac{y_0 - m \times x_0 - b}{m \times kx - ky}；$$

将 s 的值代入积分方程组（2），计算得出：

$$c = \frac{2 \times \arctan\left(-\frac{1}{m}\right)}{s^2}。$$

6、一种加工路径规划装置，其特征在于，包括：

获取模块，用于获取待加工线段的数据，所述待加工线段包括相交于交点 O 的线段 A 和线段 B，所述线段 A 上包括拐入点 P1，所述线段 B 上包括拐出点 P2；

计算模块，用于计算以所述拐入点 P1 为起点，并以所述拐出点 P2 为终点的回旋曲线 D，所述回旋曲线 D 满足如下条件：曲率连续，且在跨越所述拐入点 P1 和/或所述拐出点 P2 时曲率连续；

生成模块，用于生成沿着所述回旋曲线 D 对所述线段 A 和所述线段 B 进行转接的加工路径。

7、根据权利要求 6 所述的加工路径规划装置，其特征在于，所述拐入点 P1 到所述交点 O 的长度等于所述拐出点 P2 到所述交点 O 的长度。

8、根据权利要求 7 所述的加工路径规划装置，其特征在于，所述计算模块包括：

获取子模块，获取所述线段 A 与所述线段 B 之间夹角 $\angle AOB$ 的角平分线 E 的数据，所述角平分线 E 将所述回旋曲线 D 分割为以垂点 P3 为对称点的曲线 P1P3 和曲线 P2P3，并在垂点 P3 处垂直于所述曲线 P1P3 和所述曲线 P2P3；

确定子模块，用于根据几何原理，确定所述曲线 P1P3 的参数方程 (1)：

$$\begin{cases} x = x_0 + \int_0^l \cos\left(\frac{1}{2}ct^2\right)dt \\ y = y_0 + \int_0^l \sin\left(\frac{1}{2}ct^2\right)dt \end{cases} \quad (1),$$

其中， (x_0, y_0) 为拐入点 P1 的坐标， (x, y) 为曲线 P1P3 上任意点的坐标， l 为曲线 P1P3 上任意点沿曲线 P1P3 距离拐入点 P1 的长度， $(0 \leq l \leq s)$ ， s 为曲线 P1P3 的长度， c 为曲线 P1P3 的曲率变化率；

计算子模块，用于计算 c 的值，并将 c 的值代入所述参数方程 (1) 内计算所述参数方程 (1)；

得到子模块，用于根据所述参数方程 (1) 得到所述曲线 P1P3，还用于根据所述曲线 P1P3 与所述曲线 P2P3 的对称关系，得到所述曲线 P2P3。

9、根据权利要求 8 所述的加工路径规划装置，其特征在于，所述计算子模块包括：

- 5 确定单元，用于根据所述曲线 P1P3 与角平分线 E 相交，且在垂点 P3 处垂直的关系，确定所述曲线 P1P3 的积分方程组 (2)：

$$\begin{cases} y_0 + \int_0^s \sin(\frac{1}{2}ct^2)dt = m \times \left(x_0 + \int_0^s \cos(\frac{1}{2}ct^2)dt \right) + b \\ \tan(\frac{1}{2}cs^2) \times m = -1 \end{cases} \quad (2)$$

其中， $y = mx + b$ 为角平分线 E 的直线方程， m 为角平分线 E 的斜率， b 为角平分线 E 的截距；

- 10 计算单元，用于计算所述积分方程组 (2) 得出 c 和 s 的值。

10、根据权利要求 9 所述的加工路径规划装置，其特征在于，所述计算单元包括：

获取子单元，用于获取所述线段 A 与角平分线 E 之间辅助线 F 的数据，所述辅助线 F 是以拐入点 P1 为起点，以垂点 P3 为终点的连线；

- 15 计算子单元，用于根据几何原理，确定所述辅助线 F 的参数方程 (3)：

$$\begin{cases} x = x_0 + s \times kx \\ y = y_0 + s \times ky \end{cases} \quad (3)$$

其中， kx 和 ky 为常量， $kx = \int_0^1 \cos(\frac{1}{2} \arctan\left(-\frac{1}{m}\right)t^2)dt$ ，

$$ky = \int_0^1 \sin(\frac{1}{2} \arctan\left(-\frac{1}{m}\right)t^2)dt；$$

根据所述角平分线 E 与所述辅助线 F 相交的关系，计算得出：

$$20 \quad s = \frac{y_0 - m \times x_0 - b}{m \times kx - ky}；$$

还用于将 s 的值代入积分方程组 (2)，计算得出：

$$c = \frac{2 \times \arctan\left(-\frac{1}{m}\right)}{s^2}。$$

11、一种数控机床，其特征在于，包括：机床本体和安装于所述机床本体上的数控设备，所述数控设备用于对待加工工件的加工路径进行规划，并控制所述机床本体沿着规划得到的加工路径对所述待加工工件进行加工，其中，所述数控设备包括：

获取模块，用于获取待加工线段的数据，所述待加工线段包括相交于交点 O 的线段 A 和线段 B，所述线段 A 上包括拐入点 P1，所述线段 B 上包括拐出点 P2；

计算模块，用于计算以所述拐入点 P1 为起点，并以所述拐出点 P2 为终点的回旋曲线 D，所述回旋曲线 D 满足如下条件：曲率连续，且在跨越所述拐入点 P1 和/或所述拐出点 P2 时曲率连续；

生成模块，用于生成沿着所述回旋曲线 D 对所述线段 A 和所述线段 B 进行转接的加工路径。

12、一种加工路径规划装置，其特征在于，包括处理器和存储器，所述处理器用于执行如下功能：

获取待加工线段的数据，所述待加工线段包括相交于交点 O 的线段 A 和线段 B，所述线段 A 上包括拐入点 P1，所述线段 B 上包括拐出点 P2；

计算以所述拐入点 P1 为起点，并以所述拐出点 P2 为终点的回旋曲线 D，所述回旋曲线 D 满足如下条件：曲率连续，且在跨越所述拐入点 P1 和/或所述拐出点 P2 时曲率连续；

生成沿着所述回旋曲线 D 对所述线段 A 和所述线段 B 进行转接的加工路径。

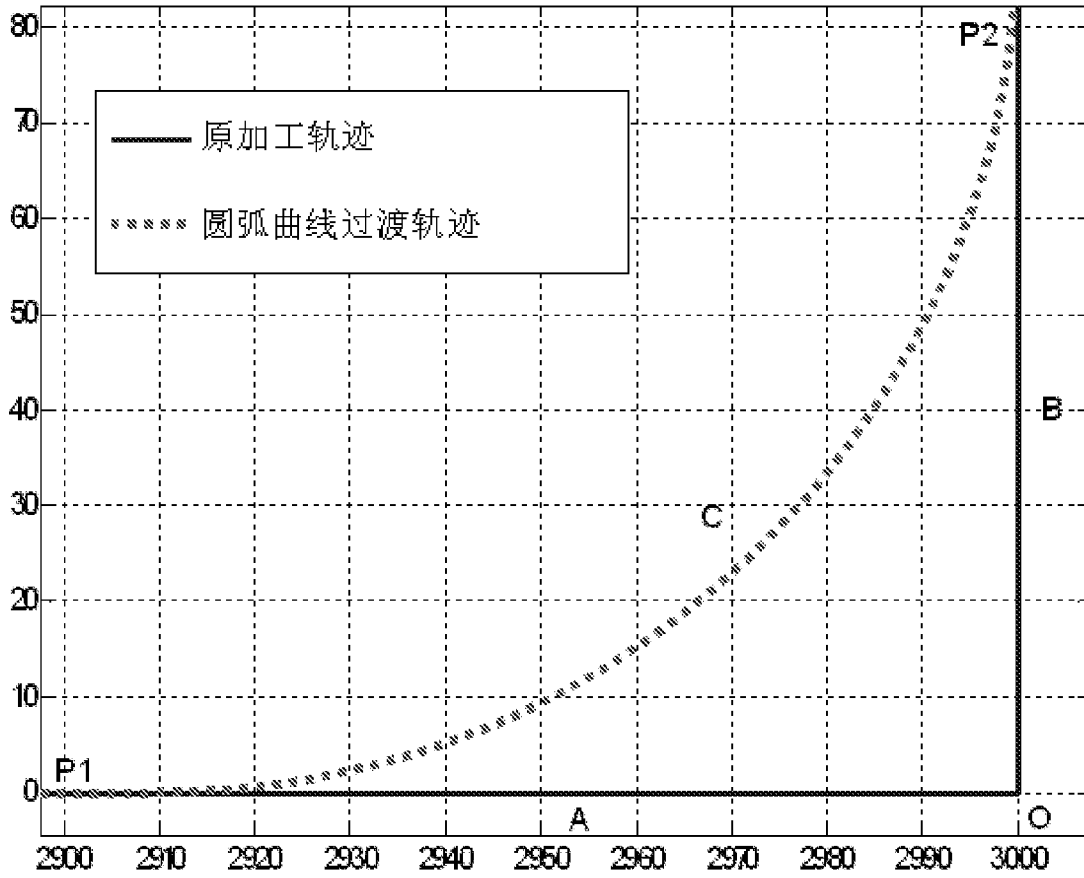


图 1

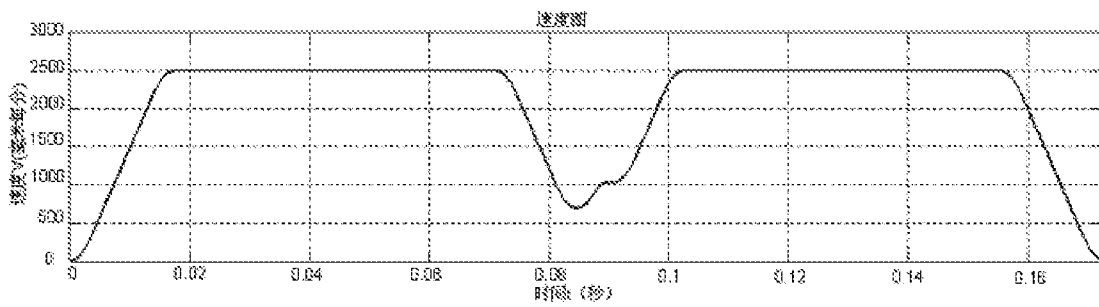


图 2

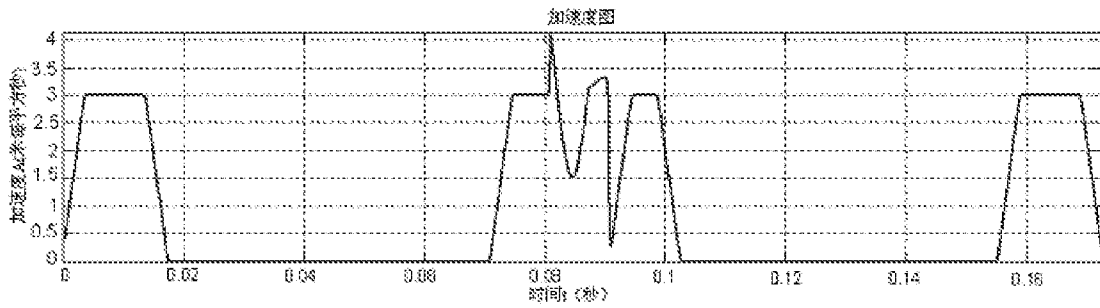


图 3

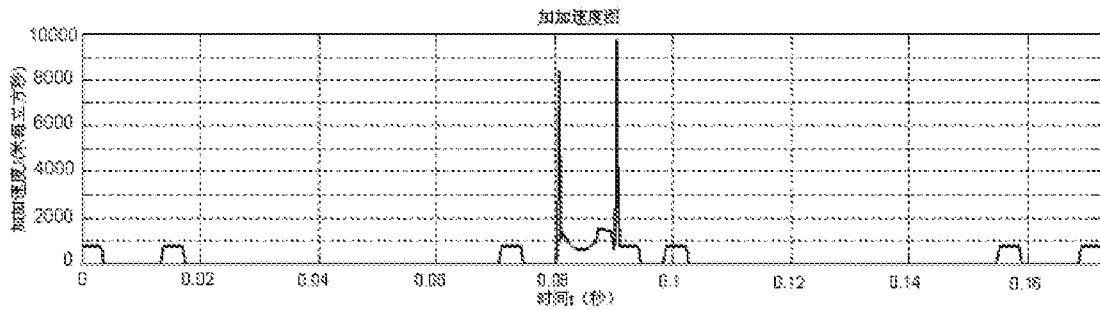


图 4

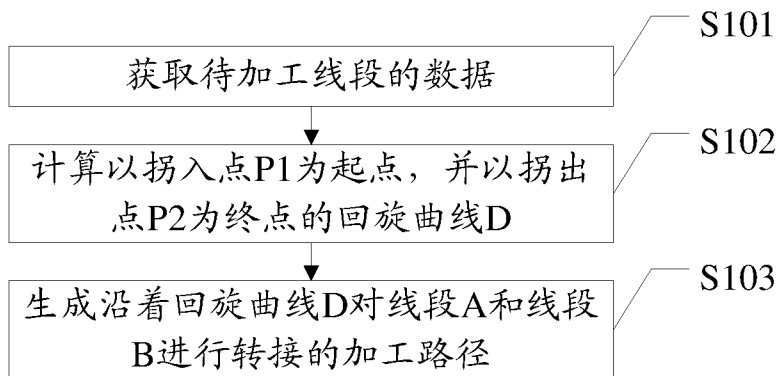


图 5

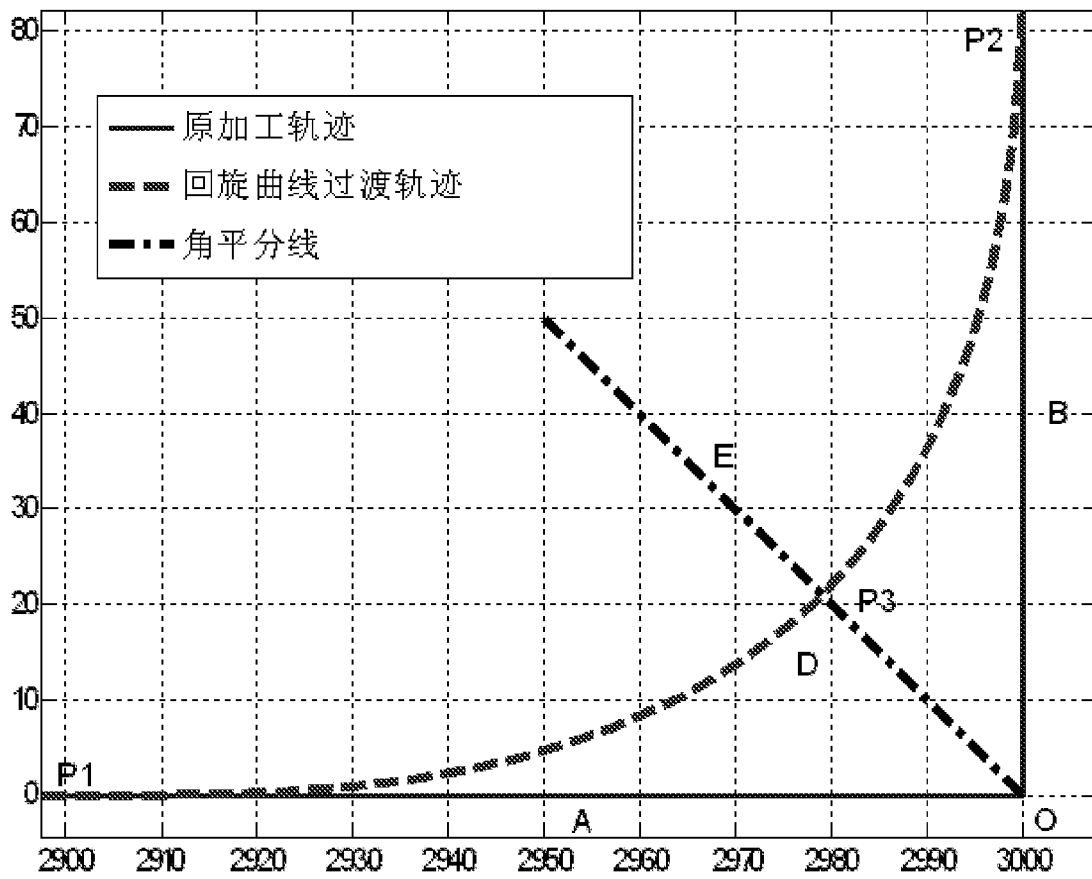


图 6

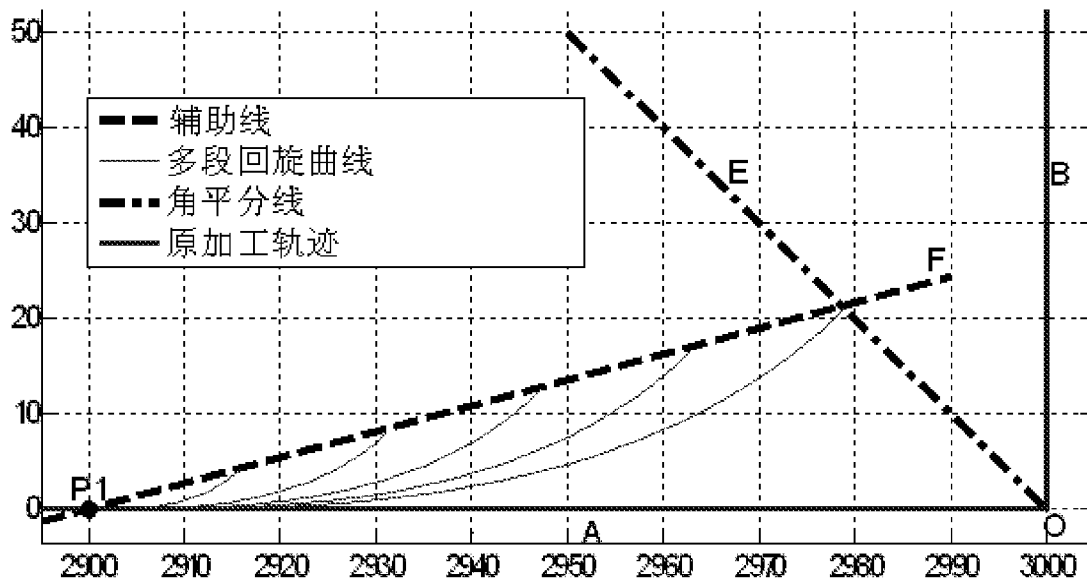


图 7

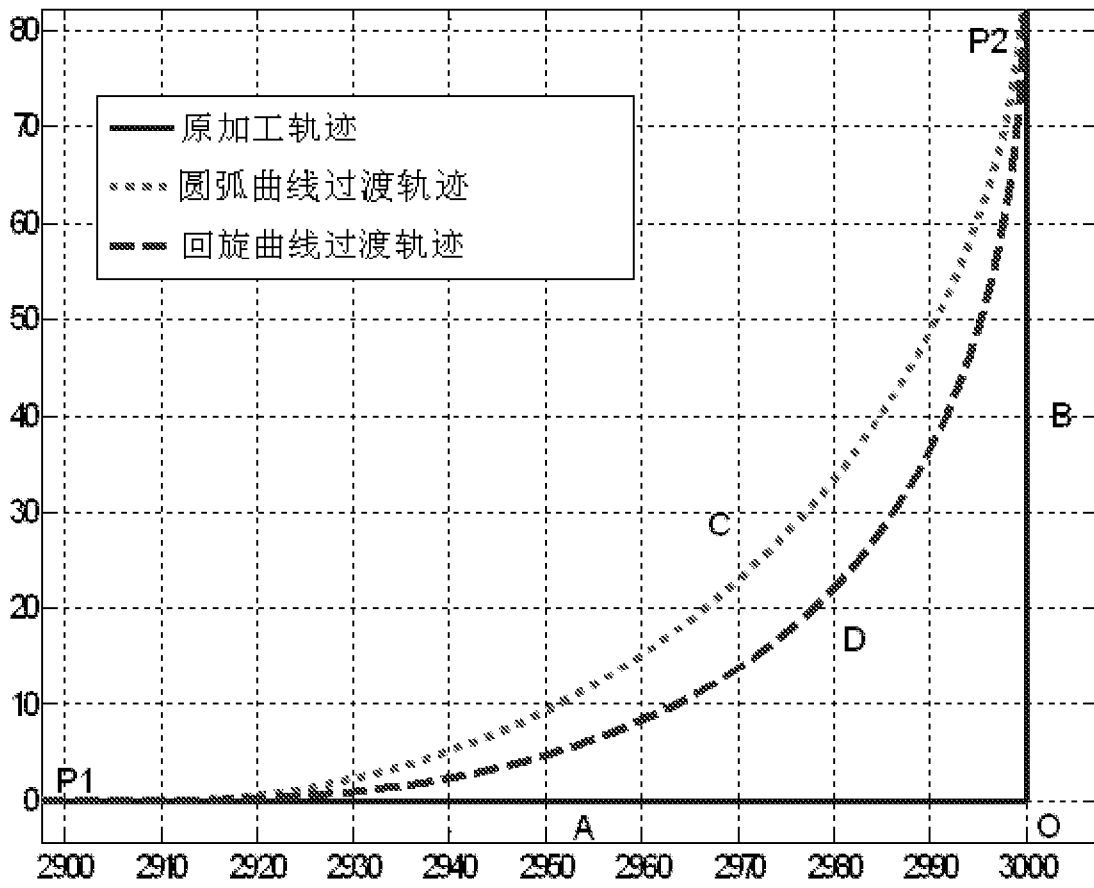


图 8

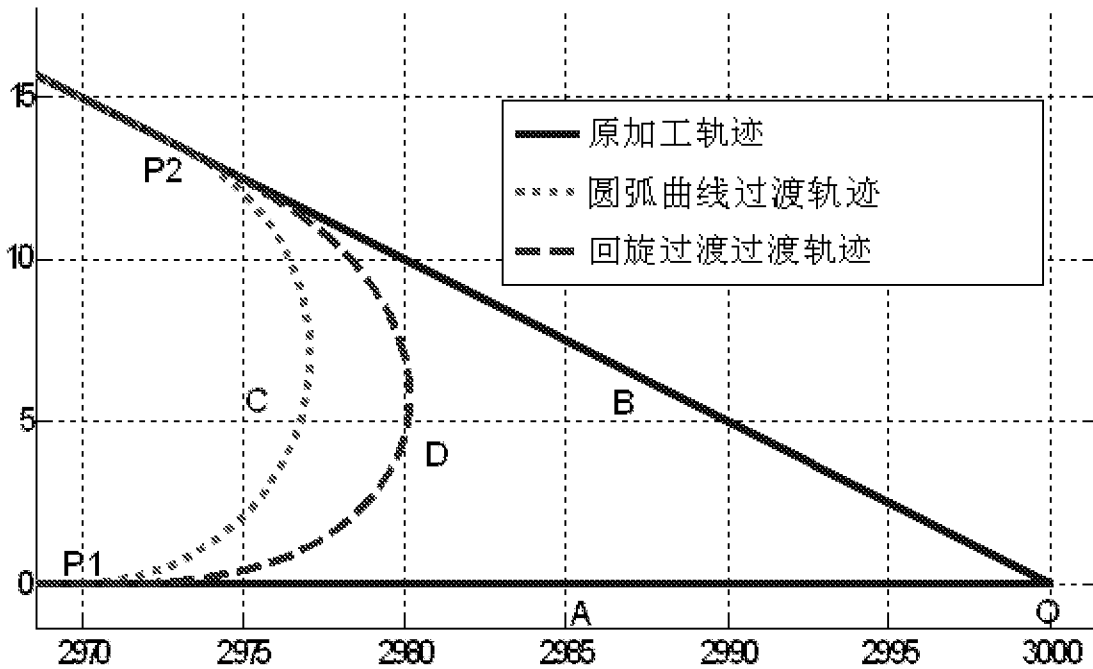


图 9

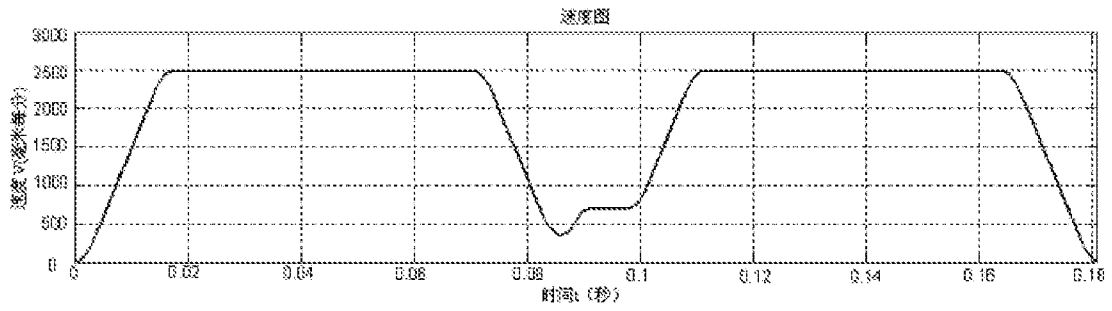


图 10

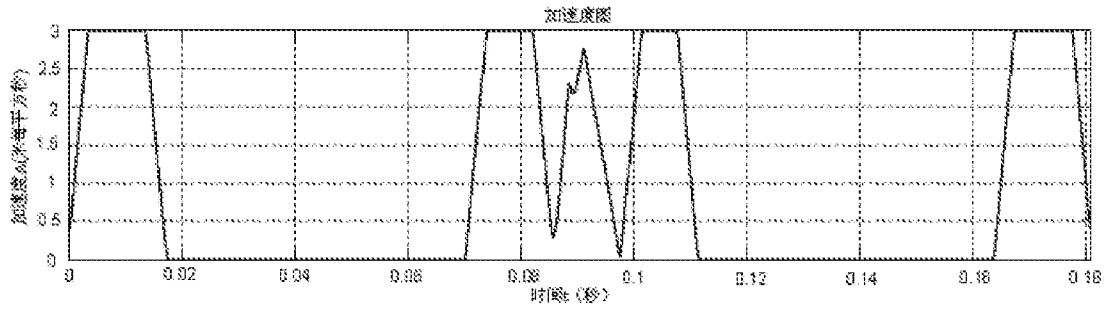


图 11

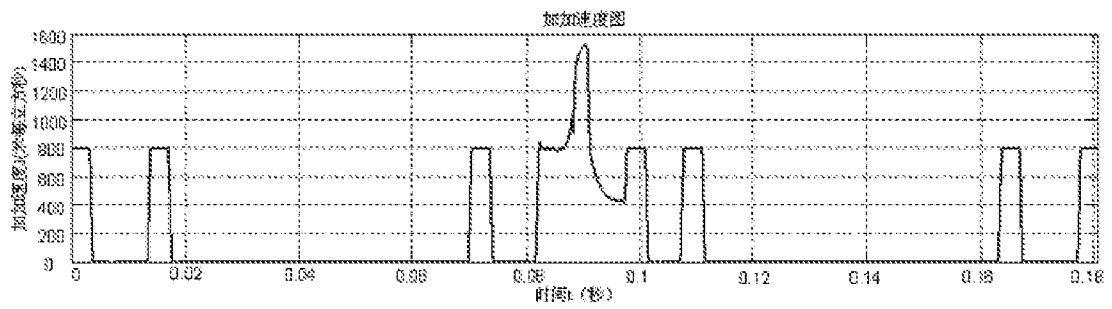


图 12

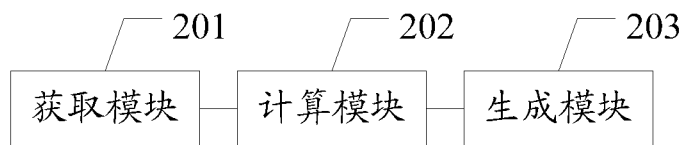


图 13

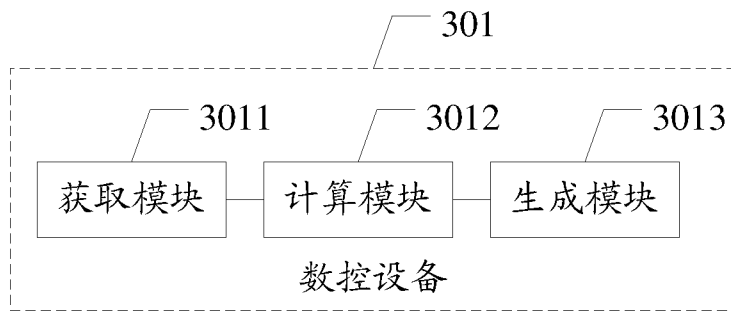


图 14

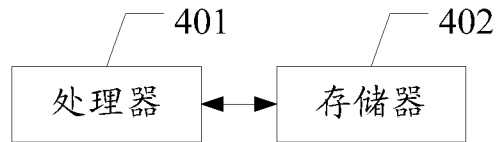


图 15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2015/099881

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G05B 19/19 (2006.01) i; G05B 19/41 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G05B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: numerical control, route, plan, design, adjoin, convolution, switch over, same, symmetry, angle, bisect, coordinate, geometry, auxiliary, straight line, length, iteration, machin+, arc, curve, transit+, curvature, Bezier, process+, path, accelerat+, smooth+, error, join, continu+, equation, integral, A&E; HE, Mincong; Min Cong HE, HE Min C

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
E	WO 2016067392 A1 (MAKINO MILLING MACHINE CO., LTD.), 06 May 2016 (06.05.2016), description, paragraphs [0009]-[0016], [0032]-[0079], [0081], [0083] and [0097]-[0102] and figures 1, 3-12, 16, 18 and 19	1, 6, 11, 12
X	CN 102147600 A (SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY et al.), 10 August 2011 (10.08.2011), description, paragraphs [0001]-[0003], [0005]-[0017], [0031]-[0042] and [0054]-[0059], and figures 1-12	1, 2, 6, 7, 11, 12
X	US 5955856 A (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA), 21 September 1999 (21.09.1999), description, column 1, line 11 to column 2, line 57, column 5, line 6 to column 10, line 8 and column 11, line 10 to column 14, line 54, and figures 1-30	1, 2, 6, 7, 11, 12
X	EP 1102139 B1 (SIEMENS ENERGY & AUTOMATION, INC.), 04 February 2004 (04.02.2004), description, paragraphs [0002]-[0013], [0014]-[0047], [0049]-[0087], [0090]-[0119] and [0122]-[0134], and figures 1-11	1, 2, 6, 7, 11, 12
A	CN 103699056 A (JIAXING UNIVERSITY), 02 April 2014 (02.04.2014), the whole document	1-12

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>
---	---

Date of the actual completion of the international search
04 August 2016 (04.08.2016)

Date of mailing of the international search report
09 September 2016 (09.09.2016)

Name and mailing address of the ISA/CN:
State Intellectual Property Office of the P. R. China
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao
Haidian District, Beijing 100088, China
Facsimile No.: (86-10) 62019451

Authorized officer
MU, Feipeng
Telephone No.: (86-10) **61648427**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2015/099881

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 103631198 A (SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY), 12 March 2014 (12.03.2014), the whole document	1-12
A	CN 104678894 A (BEIJING A&E TECHNOLOGY CO., LTD.), 03 June 2015 (03.06.2015), the whole document	1-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2015/099881

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
WO 2016067392 A1	06 May 2016	None	
CN 102147600 A	10 August 2011	CN 102147600 B	19 September 2012
US 5955856 A	21 September 1999	DE 19822520 A1	21 January 1999
		JP H10320026 A	04 December 1998
EP 1102139 B1	04 February 2004	US 6922606 B1	26 July 2005
		DE 60038578 T2	21 August 2008
		DE 60038577 T2	30 April 2009
		EP 1102139 A2	23 May 2001
		DE 60008068 T2	23 September 2004
		EP 1398682 A2	17 March 2004
		EP 1398682 B1	09 April 2008
		EP 1398681 A2	17 March 2004
		EP 1398680 A2	17 March 2004
		EP 1398680 B1	09 April 2008
CN 103699056 A	02 April 2014	CN 103699056 B	01 June 2016
CN 103631198 A	12 March 2014	CN 103631198 B	13 January 2016
CN 104678894 A	03 June 2015	None	

<p>A. 主题的分类</p> <p>G05B 19/19(2006.01)i; G05B 19/41(2006.01)i</p> <p>按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类</p>																				
<p>B. 检索领域</p> <p>检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)</p> <p>G05B</p> <p>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献</p> <p>在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))</p> <p>CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 数控, 加工, 路径, 路线, 轨迹, 规划, 设计, 误差, 贴近, 圆弧, 弧线, 曲线, 回旋, 过渡, 衔接, 转接, 曲率, 连续, 相同, 对称, 夹角, 角度, 平分, 方程, 坐标, 积分, 几何, 辅助, 直线, 长度, 迭代, 加速度, 平滑, 配天, 何敏聪, machin+, arc, curve, transit+, curvature, Bezier, process+, path, accelerat+, smooth+, error, join, continu+, equation, integral, A&E, HE Min Cong, Min Cong HE, HE Min C</p>																				
<p>C. 相关文件</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>类型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E</td> <td>WO 2016067392 A1 (MAKINO MILLING MACHINE CO., LTD.) 2016年 5月 6日 (2016 - 05 - 06) 说明书第9-16段、第32-79段、第81段、第83段、第97-102段和附图1、3-12、16、18、19</td> <td>1、6、11、12</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>CN 102147600 A (上海交通大学 等) 2011年 8月 10日 (2011 - 08 - 10) 说明书第1-3段、第5-17段、第31-42段、第54-59段和附图1-12</td> <td>1, 2, 6, 7, 11, 12</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>US 5955856 A (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA) 1999年 9月 21日 (1999 - 09 - 21) 说明书第1栏第11行到第2栏第57行、第5栏第6行到第10栏第8行、第11栏第10行到第14栏第54行和附图1-30</td> <td>1, 2, 6, 7, 11, 12</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>EP 1102139 B1 (SIEMENS ENERGY & AUTOMATION, INC.) 2004年 2月 4日 (2004 - 02 - 04) 说明书第2-13段、第14-47段、第49-87段、第90-119段、第122-134段和附图1-11</td> <td>1, 2, 6, 7, 11, 12</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103699056 A (嘉兴学院) 2014年 4月 2日 (2014 - 04 - 02) 全文</td> <td>1-12</td> </tr> </tbody> </table>			类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	E	WO 2016067392 A1 (MAKINO MILLING MACHINE CO., LTD.) 2016年 5月 6日 (2016 - 05 - 06) 说明书第9-16段、第32-79段、第81段、第83段、第97-102段和附图1、3-12、16、18、19	1、6、11、12	X	CN 102147600 A (上海交通大学 等) 2011年 8月 10日 (2011 - 08 - 10) 说明书第1-3段、第5-17段、第31-42段、第54-59段和附图1-12	1, 2, 6, 7, 11, 12	X	US 5955856 A (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA) 1999年 9月 21日 (1999 - 09 - 21) 说明书第1栏第11行到第2栏第57行、第5栏第6行到第10栏第8行、第11栏第10行到第14栏第54行和附图1-30	1, 2, 6, 7, 11, 12	X	EP 1102139 B1 (SIEMENS ENERGY & AUTOMATION, INC.) 2004年 2月 4日 (2004 - 02 - 04) 说明书第2-13段、第14-47段、第49-87段、第90-119段、第122-134段和附图1-11	1, 2, 6, 7, 11, 12	A	CN 103699056 A (嘉兴学院) 2014年 4月 2日 (2014 - 04 - 02) 全文	1-12
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																		
E	WO 2016067392 A1 (MAKINO MILLING MACHINE CO., LTD.) 2016年 5月 6日 (2016 - 05 - 06) 说明书第9-16段、第32-79段、第81段、第83段、第97-102段和附图1、3-12、16、18、19	1、6、11、12																		
X	CN 102147600 A (上海交通大学 等) 2011年 8月 10日 (2011 - 08 - 10) 说明书第1-3段、第5-17段、第31-42段、第54-59段和附图1-12	1, 2, 6, 7, 11, 12																		
X	US 5955856 A (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA) 1999年 9月 21日 (1999 - 09 - 21) 说明书第1栏第11行到第2栏第57行、第5栏第6行到第10栏第8行、第11栏第10行到第14栏第54行和附图1-30	1, 2, 6, 7, 11, 12																		
X	EP 1102139 B1 (SIEMENS ENERGY & AUTOMATION, INC.) 2004年 2月 4日 (2004 - 02 - 04) 说明书第2-13段、第14-47段、第49-87段、第90-119段、第122-134段和附图1-11	1, 2, 6, 7, 11, 12																		
A	CN 103699056 A (嘉兴学院) 2014年 4月 2日 (2014 - 04 - 02) 全文	1-12																		
<p><input checked="" type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。 <input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。</p>																				
<p>* 引用文件的具体类型:</p> <table border="0"> <tr> <td>“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件</td> <td>“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件</td> </tr> <tr> <td>“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利</td> <td>“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性</td> </tr> <tr> <td>“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)</td> <td>“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性</td> </tr> <tr> <td>“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件</td> <td>“&” 同族专利的文件</td> </tr> <tr> <td>“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件</td> <td></td> </tr> </table>			“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件	“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件	“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利	“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性	“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)	“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性	“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件	“&” 同族专利的文件	“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件									
“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件	“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件																			
“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利	“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性																			
“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)	“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性																			
“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件	“&” 同族专利的文件																			
“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件																				
国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期																			
2016年 8月 4日	2016年 9月 9日																			
ISA/CN的名称和邮寄地址	授权官员																			
中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088	穆飞鹏																			
传真号 (86-10)62019451	电话号码 (86-10)61648427																			

C. 相关文件		
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 103631198 A (上海交通大学) 2014年 3月 12日 (2014 - 03 - 12) 全文	1-12
A	CN 104678894 A (北京配天技术有限公司) 2015年 6月 3日 (2015 - 06 - 03) 全文	1-12

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2015/099881

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
WO	2016067392	A1	2016年 5月 6日	无			
CN	102147600	A	2011年 8月 10日	CN	102147600	B	2012年 9月 19日
US	5955856	A	1999年 9月 21日	DE	19822520	A1	1999年 1月 21日
				JP	H10320026	A	1998年 12月 4日
EP	1102139	B1	2004年 2月 4日	US	6922606	B1	2005年 7月 26日
				DE	60038578	T2	2008年 8月 21日
				DE	60038577	T2	2009年 4月 30日
				EP	1102139	A2	2001年 5月 23日
				DE	60008068	T2	2004年 9月 23日
				EP	1398682	A2	2004年 3月 17日
				EP	1398682	B1	2008年 4月 9日
				EP	1398681	A2	2004年 3月 17日
				EP	1398680	A2	2004年 3月 17日
				EP	1398680	B1	2008年 4月 9日
CN	103699056	A	2014年 4月 2日	CN	103699056	B	2016年 6月 1日
CN	103631198	A	2014年 3月 12日	CN	103631198	B	2016年 1月 13日
CN	104678894	A	2015年 6月 3日	无			

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)