

(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
2018 年 10 月 18 日 (18.10.2018)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2018/188276 A1

(51) 国际专利分类号:

B25J 9/16 (2006.01)

(21) 国际申请号:

PCT/CN2017/103080

(22) 国际申请日:

2017 年 9 月 25 日 (25.09.2017)

(25) 申请语言:

中文

(26) 公布语言:

中文

(30) 优先权:

201710226520.8 2017 年 4 月 9 日 (09.04.2017) CN

(71) 申请人: 北京工业大学(BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国北京市朝阳区平乐园100号, Beijing 100124 (CN)。

(72) 发明人: 刘志峰(LIU, Zhifeng); 中国北京市朝阳区平乐园100号, Beijing 100124 (CN)。许静静(XU, Jingjing); 中国北京市朝阳区平乐园100号, Beijing 100124 (CN)。赵永胜(ZHAO,

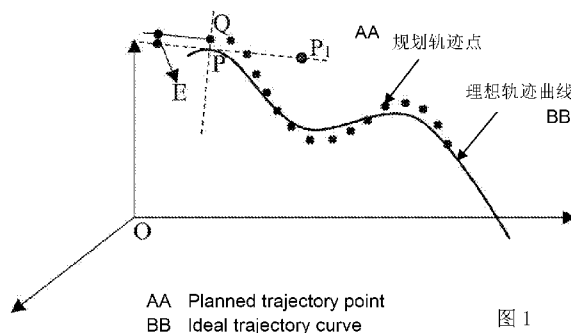
Yongsheng); 中国北京市朝阳区平乐园100号, Beijing 100124 (CN)。蔡力钢(CAI, Ligang); 中国北京市朝阳区平乐园100号, Beijing 100124 (CN)。杨聪彬(YANG, Congbin); 中国北京市朝阳区平乐园100号, Beijing 100124 (CN)。

(74) 代理人: 北京思海天达知识产权代理有限公司(BEIJING SIHAI TIANDA INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY LTD.); 中国北京市朝阳区平乐园100号北京工业大学旧图东配楼302室, Beijing 100124 (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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,

(54) Title: ERROR MODELING METHOD FOR TAIL-END SPACE CURVE TRAJECTORY OF SIX-DEGREE-OF-FREEDOM ROBOT

(54) 发明名称: 一种六自由度机器人末端空间曲线轨迹的误差建模方法



(57) Abstract: An error modeling method for a tail-end space curve trajectory of a six-degree-of-freedom robot. The method comprises the following steps: 1) selecting N path points on a space curve, N being determined by a specific operation task, and obtaining a linear displacement or an angular displacement of each joint on the basis of an inverse kinematic model; 2) choosing an interpolation algorithm for interpolation operation to obtain a function relation between each joint variable and time, taking a point every 20 ms to obtain M joint variables, and letting total movement time obtained by the interpolation algorithm be T(s), then $M=(T/0.02)$; 3) considering a structural error of each joint of a robot, and obtaining M corresponding trajectory points Q of the tail end of the robot by means of positive solution; 4) taking a point P on an ideal trajectory curve, so that Q is a point on a normal pass through the point P, thereby defining a trajectory error E to be the distance between the points P and Q, transforming the problem into a known ideal space trajectory curve equation and coordinates of the point Q, and calculating the error E; when E is approximately infinitesimal, the planned trajectory coinciding with the ideal trajectory; and 5) obtaining a tangent equation of the point P according to the curve equation, and calculating coordinates of the point P in combination with condition $PQ \perp PP_1$ (P_1 is any point on the tangent) so as to obtain the error E. According to the method, both interpolation algorithm operation and the effect of the structural effort of each joint link are considered, and a simple and actual error model is established.

(57) 摘要: 一种六自由度机器人末端空间曲线轨迹的误差建模方法, 该方法包括以下步骤: 1)在空间曲线上选

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))。

取N个路径点, N由具体操作任务确定, 基于逆解模型得到各关节线位移或角位移; 2) 选用一种插值算法进行插值运算得到各关节变量与时间的函数关系式, 每隔20ms取一点, 得到M个关节变量, 设由插值算法得到的总运动时间为T(s), 则 $M=T/0.02$; 3) 考虑机器人各关节结构误差, 正解得到机器人末端M个相应的轨迹点Q; 4) 在理想轨迹曲线上取点P, 使得Q为过P点的法线上一点, 从而定义轨迹误差E为点P与Q间的距离大小, 将问题转化为已知理想空间轨迹曲线方程与Q点坐标, 求取误差E; 当E趋近于无穷小时, 规划轨迹与理想轨迹重合; 5) 根据曲线方程求得P点的切线方程, 结合条件 $PQ \perp PP_1$ (P_1 为该切线上任一点), 计算P点坐标, 从而得到误差E。这种方法同时考虑了插值算法运算和各关节连杆结构误差的影响, 建立了简洁实际的误差模型。

一种六自由度机器人末端空间曲线轨迹的误差建模方法

技术领域

本发明属于工业机器人末端追踪误差分析领域，涉及一种反映规划轨迹与理想轨迹间偏差的末端误差模型，该模型同时考虑了插值算法和关节连杆参数误差的影响，能够为控制机器人末端追踪精度提供一定的理论基础。

背景技术

末端追踪精度作为工业机器人的重要性能指标之一，已经成为重要研究内容。现代末端误差控制主要采用闭环控制方法，虽然采用闭环控制算法能够有效的改善定位及重复定位精度，但却严重依赖于关节传感器和末端传感器的测量精度，也使机器人结构严重复杂化，同时使连续轨迹的追踪精度控制问题变得异常困难。对于末端连续轨迹的规划，包括两种，一种是在操作空间内插值，一种是在关节空间内插值，而为了能够保证各关节的运动柔顺性，研究者们大多将反映理想连续轨迹曲线的特征路径点逆解到关节空间内进行插值运算，导致插值算法参数取值对末端追踪精度产生较大影响，其次在实际的工业机器人系统中，由于加工制造与装配而造成的连杆参数误差对末端追踪精度也存在较大的影响，因此为控制机器人末端追踪精度，考虑这两种影响因素十分必要。为了能够对末端运动轨迹误差进行补偿以改善追踪精度，又避免实时测量实时补偿的复杂性及不确定性，需要在轨迹规划的过程中对追踪误差进行离线预测，因此建立机器人末端追踪误差模型十分重要。在建立误差模型的过程中，由于在规划得到的末端位置中一般是等时间取点的，如何在理想轨迹上取点并作差，才能真实反映规划轨迹和理想轨迹间的偏差，是本专利要解决的关键问题。

发明内容

本发明旨在提供一种六自由度机器人末端空间曲线轨迹的误差建模方法。该方法的主要特点是同时考虑了插值算法运算和结构误差，针对机器人末端连续轨迹追踪问题提供一种简洁实际的误差模型，从而为控制追踪精度提供理论基础。

本发明采用的技术方案为一种六自由度机器人末端空间曲线轨迹的误差建模方法，该方法包括以下步骤：

1) 在空间曲线上选取 N 个路径点， N 由具体操作任务确定，基于逆解模型得到各关节线位移或角位移。

2) 选用一种插值算法进行插值运算得到各关节变量与时间的函数关系式, 每隔 20ms 取一点, 得到 M 个关节变量, 设由插值算法得到的总运动时间为 $T(s)$, 则 $M=T/0.02$ 。

3) 考虑机器人各关节结构误差, 正解得到机器人末端 M 个相应的轨迹点 Q 。

4) 在理想轨迹曲线上取点 P , 使得 Q 为过 P 点的法线上一点, 从而定义轨迹误差 E 为点 P 与 Q 间的距离大小, 将问题转化为已知理想空间轨迹曲线方程与 Q 点坐标, 求取误差 E ; 当 E 趋近于无穷小时, 规划轨迹与理想轨迹重合。

5) 根据曲线方程求得过 P 点的切线方程, 结合条件 $PQ \perp PP_1$ (P_1 为该切线上任一点), 计算 P 点坐标, 从而得到误差 E 。

图 1 为空间曲线轨迹规划误差示意图。

本发明的特点在于同时考虑了插值算法运算和各关节连杆结构误差的影响, 针对六自由度工业机器人末端连续轨迹跟踪任务建立更接近实际的误差模型, 从而为实现轨迹追踪精度控制提供理论基础。

附图说明

图 1 空间曲线轨迹规划误差示意图

具体实施方式

步骤 (1) 求取关节变量

设机器人末端操作空间任务曲线方程如下,

$$\begin{cases} F(x, y, z) = 0 \\ G(x, y, z) = 0 \end{cases}$$

在该曲线上均匀取 N 个路径点, 通过逆解得到机械臂各关节角位移 θ 。

步骤 (2) 针对各关节变量进行插值运算

采用一种插值算法对关节变量进行插值计算, 得到第 i 个关节变量与运动时间的函数关系式如下,

$$\theta_i = f_i(t)$$

在依据上式得到的函数曲线上每隔 20ms 取一个函数值, 从而得到各关节的 M 个位移值 θ_i , 并通过正运动学模型计算得到 M 个相应的轨迹点 Q 。

步骤（3）计算机器人末端轨迹点

由于机器人末端位置与各关节位移量 θ_i 相关，其次也与机器人D-H连杆参数相关，即杆件长度 a_i ，杆件扭角 α_i ，关节距离 d_i 及关节转角 θ_i ，因此将机器人正运动学模型表示如下，

$$\text{Pos} = g_{st}(\theta_i, a_i, \alpha_i, d_i, \theta_i)$$

实际上机器人连杆参数在制造和装配的过程中会产生误差，而这种误差会极大的影响机器人末端的定位精度，已知实际的连杆参数分别为 $a_i + \Delta a_i, \alpha_i + \Delta \alpha_i, d_i + \Delta d_i, \theta_i + \Delta \theta_i$ ，当考虑机器人各关节的结构误差时，机器人末端位置可表示为，

$$\text{Pos}(\text{actual}) = g_{st}(\theta_i, a_i + \Delta a_i, \alpha_i + \Delta \alpha_i, d_i + \Delta d_i, \theta_i + \Delta \theta_i)$$

其中 θ_i 是由插值运算得到的，因此机器人末端实际位置也受到了插值算法的影响。通过将各关节的M个转角 θ_i 代入上式，可得到M个相应的末端位置点Q(X,Y,Z)。

步骤（4）计算误差E

设点P为理想空间曲线轨迹上一点，且Q点在过P点的法线上，P₁点在过P点的切线上，则PQ ⊥ PP₁，设各点空间坐标为P(x₀, y₀, z₀)和P₁(x₁, y₁, z₁)，为真实的反映末端实际轨迹与理想轨迹间的偏差，本专利定义轨迹误差E为点P与Q间的距离大小(当E趋近于无穷小时，规划轨迹与理想轨迹重合)。

由空间曲线函数可得曲线上过P点的切线方程如下，

$$\begin{cases} \left. \frac{\partial F}{\partial x} \right|_{(x_0, y_0, z_0)} (x - x_0) + \left. \frac{\partial F}{\partial y} \right|_{(x_0, y_0, z_0)} (y - y_0) + \left. \frac{\partial F}{\partial z} \right|_{(x_0, y_0, z_0)} (z - z_0) = 0 \\ \left. \frac{\partial G}{\partial x} \right|_{(x_0, y_0, z_0)} (x - x_0) + \left. \frac{\partial G}{\partial y} \right|_{(x_0, y_0, z_0)} (y - y_0) + \left. \frac{\partial G}{\partial z} \right|_{(x_0, y_0, z_0)} (z - z_0) = 0 \end{cases}$$

取 $x - x_0 = \Delta x$ ，可由上式求得 $y - y_0$ 和 $z - z_0$ ，满足以下条件，

$$\begin{cases} F(x_0, y_0, z_0) = 0 \\ G(x_0, y_0, z_0) = 0 \\ (x - x_0)(X - x_0) + (y - y_0)(Y - y_0) + (z - z_0)(Z - z_0) = 0 \end{cases}$$

最终由以上方程组可求得P点位置(x₀, y₀, z₀)，则误差E定义如下，

$$E = \left| \overrightarrow{PQ} \right| = \sqrt{(X - x_0)^2 + (Y - y_0)^2 + (Z - z_0)^2} \quad \circ$$

1、一种六自由度机器人末端空间曲线轨迹的误差建模方法，其特征在于：
该方法包括以下步骤：

1) 在空间曲线上选取 N 个路径点， N 由具体操作任务确定，基于逆解模型得到各关节线位移或角位移；

2) 选用一种插值算法进行插值运算得到各关节变量与时间的函数关系式，每隔 20ms 取一点，得到 M 个关节变量，设由插值算法得到的总运动时间为 $T(s)$ ，则 $M=T/0.02$ ；

3) 考虑机器人各关节结构误差，正解得到机器人末端 M 个相应的轨迹点 Q ；

4) 在理想轨迹曲线上取点 P ，使得 Q 为过 P 点的法线上一点，从而定义轨迹误差 E 为点 P 与 Q 间的距离大小，将问题转化为已知理想空间轨迹曲线方程与 Q 点坐标，求取误差 E ；当 E 趋近于无穷小时，规划轨迹与理想轨迹重合；

5) 根据曲线方程求得过 P 点的切线方程，结合条件 $PQ \perp PP_1$ (P_1 为该切线上任一点)，计算 P 点坐标，从而得到误差 E 。

2、根据权利要求 1 所述的一种六自由度机器人末端空间曲线轨迹的误差建模方法，其特征在于：

步骤 (1) 求取关节变量

设机器人末端操作空间任务曲线方程如下，

$$\begin{cases} F(x, y, z) = 0 \\ G(x, y, z) = 0 \end{cases}$$

在该曲线上均匀取 N 个路径点，通过逆解得到机械臂各关节角位移 θ ；

步骤 (2) 针对各关节变量进行插值运算

采用一种插值算法对关节变量进行插值计算，得到第 i 个关节变量与运动时间的函数关系式如下，

$$\theta_i = f_i(t)$$

在依据上式得到的函数曲线上每隔 20ms 取一个函数值，从而得到各关节的 M 个位移值 θ_i ，并通过正运动学模型计算得到 M 个相应的轨迹点 Q ；

步骤 (3) 计算机器人末端轨迹点

由于机器人末端位置与各关节位移量 θ_i 相关，其次也与机器人 D-H 连杆参

数相关，即杆件长度 a_i ，杆件扭角 α_i ，关节距离 d_i 及关节转角 θ_i ，因此将机器人正运动学模型表示如下，

$$\text{Pos} = g_{st}(\theta_i, a_i, \alpha_i, d_i, \theta_i)$$

实际上机器人连杆参数在制造和装配的过程中会产生误差，而这种误差会极大的影响机器人末端的定位精度，已知实际的连杆参数分别为 $a_i + \Delta a_i, \alpha_i + \Delta \alpha_i, d_i + \Delta d_i, \theta_i + \Delta \theta_i$ ，当考虑机器人各关节的结构误差时，机器人末端位置可表示为，

$$\text{Pos}(\text{actual}) = g_{st}(\theta_i, a_i + \Delta a_i, \alpha_i + \Delta \alpha_i, d_i + \Delta d_i, \theta_i + \Delta \theta_i)$$

其中 θ_i 是由插值运算得到的，因此机器人末端实际位置也受到了插值算法的影响；通过将各关节的 M 个转角 θ_i 代入上式，可得到 M 个相应的末端位置点 $Q(X, Y, Z)$ ；

步骤（4）计算误差 E

设点 P 为理想空间曲线轨迹上一点，且 Q 点在过 P 点的法线上， P_1 点在过 P 点的切线上，则 $PQ \perp PP_1$ ，设各点空间坐标为 $P(x_0, y_0, z_0)$ 和 $P_1(x_1, y_1, z_1)$ ，为真实的反映末端实际轨迹与理想轨迹间的偏差，定义轨迹误差 E 为点 P 与 Q 间的距离大小，当 E 趋近于无穷小时，规划轨迹与理想轨迹重合；

由空间曲线函数可得曲线上过 P 点的切线方程如下，

$$\begin{cases} \left. \frac{\partial F}{\partial x} \right|_{(x_0, y_0, z_0)} (x - x_0) + \left. \frac{\partial F}{\partial y} \right|_{(x_0, y_0, z_0)} (y - y_0) + \left. \frac{\partial F}{\partial z} \right|_{(x_0, y_0, z_0)} (z - z_0) = 0 \\ \left. \frac{\partial G}{\partial x} \right|_{(x_0, y_0, z_0)} (x - x_0) + \left. \frac{\partial G}{\partial y} \right|_{(x_0, y_0, z_0)} (y - y_0) + \left. \frac{\partial G}{\partial z} \right|_{(x_0, y_0, z_0)} (z - z_0) = 0 \end{cases}$$

取 $x - x_0 = \Delta x$ ，可由上式求得 $y - y_0$ 和 $z - z_0$ ，满足以下条件，

$$\begin{cases} F(x_0, y_0, z_0) = 0 \\ G(x_0, y_0, z_0) = 0 \\ (x - x_0)(X - x_0) + (y - y_0)(Y - y_0) + (z - z_0)(Z - z_0) = 0 \end{cases}$$

最终由以上方程组可求得 P 点位置 (x_0, y_0, z_0) ，则误差 E 定义如下，

$$E = |\overrightarrow{PQ}| = \sqrt{(X - x_0)^2 + (Y - y_0)^2 + (Z - z_0)^2}。$$

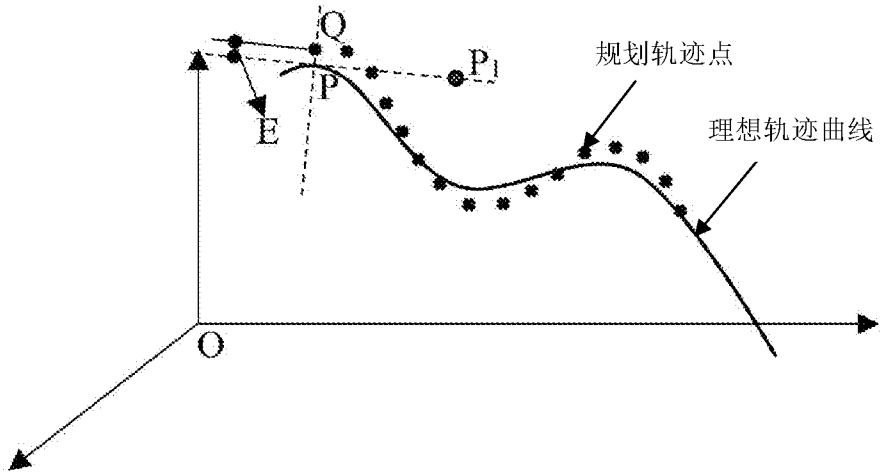


图 1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/103080

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B25J 9/16 (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)

B25J 9

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)

CNABS, DWPI, VEN: 机器人, 空间, 曲线, 轨迹, 误差, 建模, 插值 robot, error, modelling, trajectory, space, curve

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 107053176 A (BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY), 18 August 2017 (18.08.2017), claims 1-2	1-2
A	CN 102962549 A (TSINGHUA UNIVERSITY), 13 March 2013 (13.03.2013), entire document	1-2
A	CN 105182906 A (HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY), 23 December 2015 (23.12.2015), entire document	1-2
A	CN 105773620 A (NANJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY), 20 July 2016 (20.07.2016), entire document	1-2
A	CN 106425181 A (NANJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY), 22 February 2017 (22.02.2017), entire document	1-2
A	US 2003120391 A1 (NAT INST ADVANCED IND SCI & TECHNOLOGY et al.), 26 June 2003 (26.06.2003), entire document	1-2

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“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
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“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
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“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
“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)	“&” document member of the same patent family
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 21 November 2017	Date of mailing of the international search report 15 January 2018
Name and mailing address of the ISA 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 SONG, Yiqun Telephone No. (86-10) 62085415

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2017/103080

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 107053176 A	18 August 2017	None	
CN 102962549 A	13 March 2013	CN 102962549 B	02 April 2014
CN 105182906 A	23 December 2015	CN 105182906 B	01 September 2017
CN 105773620 A	20 July 2016	CN 105773620 B	12 September 2017
CN 106425181 A	22 February 2017	None	
US 2003120391 A1	26 June 2003	US 6587752 B1	01 July 2003
		JP 2003256025 A	10 September 2003

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2017/103080

A. 主题的分类 B25J 9/16 (2006.01) i 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																							
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) B25J9 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 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)) CNABS, DWPI, VEN 机器人, 空间, 曲线, 轨迹, 误差, 建模, 插值 robot, error, modeling, trajectory, space, curve																							
C. 相关文件 <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>PX</td> <td>CN 107053176 A (北京工业大学) 2017年 8月 18日 (2017 - 08 - 18) 权利要求1-2</td> <td>1-2</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 102962549 A (清华大学) 2013年 3月 13日 (2013 - 03 - 13) 全文</td> <td>1-2</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 105182906 A (哈尔滨工业大学) 2015年 12月 23日 (2015 - 12 - 23) 全文</td> <td>1-2</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 105773620 A (南京工程学院) 2016年 7月 20日 (2016 - 07 - 20) 全文</td> <td>1-2</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 106425181 A (南京工业大学) 2017年 2月 22日 (2017 - 02 - 22) 全文</td> <td>1-2</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2003120391 A1 (NAT INST ADVANCED IND SCI & TECHNOLOGY 等) 2003年 6月 26日 (2003 - 06 - 26) 全文</td> <td>1-2</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	PX	CN 107053176 A (北京工业大学) 2017年 8月 18日 (2017 - 08 - 18) 权利要求1-2	1-2	A	CN 102962549 A (清华大学) 2013年 3月 13日 (2013 - 03 - 13) 全文	1-2	A	CN 105182906 A (哈尔滨工业大学) 2015年 12月 23日 (2015 - 12 - 23) 全文	1-2	A	CN 105773620 A (南京工程学院) 2016年 7月 20日 (2016 - 07 - 20) 全文	1-2	A	CN 106425181 A (南京工业大学) 2017年 2月 22日 (2017 - 02 - 22) 全文	1-2	A	US 2003120391 A1 (NAT INST ADVANCED IND SCI & TECHNOLOGY 等) 2003年 6月 26日 (2003 - 06 - 26) 全文	1-2
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																					
PX	CN 107053176 A (北京工业大学) 2017年 8月 18日 (2017 - 08 - 18) 权利要求1-2	1-2																					
A	CN 102962549 A (清华大学) 2013年 3月 13日 (2013 - 03 - 13) 全文	1-2																					
A	CN 105182906 A (哈尔滨工业大学) 2015年 12月 23日 (2015 - 12 - 23) 全文	1-2																					
A	CN 105773620 A (南京工程学院) 2016年 7月 20日 (2016 - 07 - 20) 全文	1-2																					
A	CN 106425181 A (南京工业大学) 2017年 2月 22日 (2017 - 02 - 22) 全文	1-2																					
A	US 2003120391 A1 (NAT INST ADVANCED IND SCI & TECHNOLOGY 等) 2003年 6月 26日 (2003 - 06 - 26) 全文	1-2																					
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																							
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “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) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “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 “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 “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 “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 “&” 同族专利的文件																							
国际检索实际完成的日期 2017年 11月 21日		国际检索报告邮寄日期 2018年 1月 15日																					
ISA/CN的名称和邮寄地址 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 传真号 (86-10)62019451		受权官员 宋轶群 电话号码 (86-10)62085415																					

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/103080

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)
CN	107053176	A	2017年 8月 18日	无	
CN	102962549	A	2013年 3月 13日	CN 102962549	B 2014年 4月 2日
CN	105182906	A	2015年 12月 23日	CN 105182906	B 2017年 9月 1日
CN	105773620	A	2016年 7月 20日	CN 105773620	B 2017年 9月 12日
CN	106425181	A	2017年 2月 22日	无	
US	2003120391	A1	2003年 6月 26日	US 6587752	B1 2003年 7月 1日
				JP 2003256025	A 2003年 9月 10日