

(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 7 月 19 日 (19.07.2018)



(10) 国际公布号
WO 2018/129705 A1

(51) 国际专利分类号:

G05B 13/02 (2006.01)

(21) 国际申请号:

PCT/CN2017/071083

(22) 国际申请日:

2017 年 1 月 13 日 (13.01.2017)

(25) 申请语言:

中文

(26) 公布语言:

中文

(71) 申请人: 中国科学院深圳先进技术研究院 (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。

(72) 发明人: 任岭雪 (REN, Lingxue); 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。王磊 (WANG, Lei); 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。熊璟 (XIONG,

Jing); 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。

(74) 代理人: 北京品源专利代理有限公司 (BEYOND ATTORNEYS AT LAW); 中国北京市海淀区莲花池东路 39 号西金大厦 6 层, Beijing 100036 (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, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, 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,

(54) Title: METHOD AND APPARATUS FOR USE IN DETERMINING INVERSE SOLUTION FOR ROBOTS IN SERIES CONNECTION

(54) 发明名称: 确定串联机器人反解结果的方法及装置

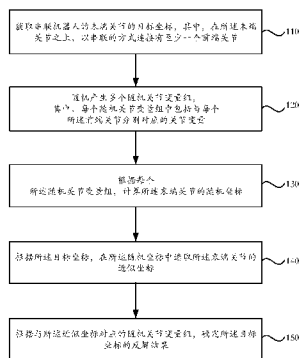


图 1

- 110 ACQUIRE A TARGET COORDINATE OF A TERMINAL JOINT OF A ROBOT IN SERIES CONNECTION, WHEREIN AT LEAST ONE FRONT END JOINT IS CONNECTED IN SERIES ABOVE THE TERMINAL JOINT
- 120 RANDOMLY GENERATE A PLURALITY OF RANDOM JOINT VARIABLE SETS, WHEREIN EACH RANDOM JOINT VARIABLE SET COMPRISES THEREIN A JOINT VARIABLE WHICH CORRESPONDS TO EACH FRONT END JOINT RESPECTIVELY
- 130 CALCULATE RANDOM COORDINATES OF THE TERMINAL JOINT ACCORDING TO EACH RANDOM JOINT VARIABLE SET
- 140 SELECT AN APPROXIMATE COORDINATE OF THE TERMINAL JOINT FROM THE RANDOM COORDINATES ACCORDING TO THE TARGET COORDINATE
- 150 DETERMINE AN INVERSE SOLUTION OF THE TARGET COORDINATE ACCORDING TO A RANDOM JOINT VARIABLE SET WHICH CORRESPONDS TO THE APPROXIMATE COORDINATE

(57) Abstract: A method and an apparatus for use in determining an inverse solution for robots in series connection. The method comprises: acquiring a target coordinate of a terminal joint of a robot in series connection, wherein at least one front end joint is connected in series above the terminal joint (110); randomly generating a plurality of random joint variable sets, wherein each random joint variable set comprises therein a joint variable which corresponds to each front end joint (120) respectively; calculating random coordinates of the terminal joint according to each random joint variable set (130); selecting an approximate coordinate of the terminal joint from the random coordinates according to the target coordinate (140); and determining an inverse solution of the target coordinate according to a random joint variable set which corresponds to the approximate coordinate (150); the approximate coordinate is a random coordinate wherein an error of the random coordinate and the target coordinate is within an error threshold.

(57) 摘要: 一种确定串联机器人反解结果的方法及装置。该方法包括: 获取串联机器人的末端关节的目标坐标, 其中, 在末端关节之上, 以串联的方式连接至少一个前端关节 (110); 随机产生多个随机关节变量组, 其中, 每个随机关节变量组中包含与每个前端关节分别对应的关节变量 (120); 根据每个随机关节变量组, 计算末端关节的随机坐标 (130); 根据目标坐标, 在随机坐标中选取末端关节的近似坐标 (140); 以及根据与近似坐标对应的随机关节变量组, 确定目标坐标的反解结果 (150); 其中, 所述近似坐标为所述随机坐标和所述目标坐标的误差在误差阈值范围内的随机坐标。

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))。

确定串联机器人反解结果的方法及装置

技术领域

本公开实施例涉及机器人控制技术，例如涉及一种确定串联机器人反解结果的方法及装置。

背景技术

仿生机器人已应用到很多领域，仿生机器人可以代替或部分代替人去完成危险环境中的作业，如地震灾害或者医疗行业，医疗行业中可以将机器人尺寸做到足够小进入人手无法达到的空间，如人体自然腔道(如食道)完成手术或定点给药。但是，有些环境不能让机器人完全自主运行，如医疗手术环境或者非常复杂的地震灾区环境等，需要有经验的人来操控这些机器人完成相应的任务，可以使用主从控制系统来操控机器人。

在主从控制系统中，一般需要有主操作手、从操作手和控制系统。主操作手一般由人来操作，从操作手一般为串联机器人，在主从机器人的控制系统中，对主、从机器人之间的实时性要求高。对于高实时性，主从机器人的控制系统中电机、控制器的响应时间、主从机器人间的通信时间很短，比较容易满足实时性要求，难点在于串联机器人的反解结果的计算时间较长。

在相关技术中，对于串联机器人，可以采用主从异构的方式来进行主从操作，主从异构机器人大多采用雅克比算法进行控制，拾取主机器人在三维空间内速度变化，对从机器人进行运动学建模，计算从机器人的雅克比矩阵，对雅克比矩阵求逆。雅克比矩阵控制算法适用于从机器人自由度（串联机器人的关节个数）可以简化为 3 或者 6 的情况，但位移累积误差大，在奇异位置时，雅克比矩阵会失效，因而对于高度冗余的串联机器人（12 自由度或者更多），这种方法不适用。此外，数值法中的循环坐标下降法、牛顿法、拟牛顿法、或者这三者中的两两结合、神经网络等虽然可以被使用，但这些算法求反解的速度慢，有局限性、计算和存储上开销大，因而对于串联机器人不实用。

发明内容

本公开实施例提供一种确定串联机器人反解结果的方法及装置，可以快速

而准确地求出串联机器人的反解结果。

第一方面，本公开实施例提供了一种确定串联机器人反解结果的方法，包括：

获取串联机器人的末端关节的目标坐标，其中，在所述末端关节之上，以串联的方式连接有至少一个前端关节；

随机产生多个随机关节变量组，其中，每个随机关节变量组中包括与每个所述前端关节分别对应的关节变量；

根据每个所述随机关节变量组，计算所述末端关节的随机坐标；

根据所述目标坐标，在所述随机坐标中选取所述末端关节的近似坐标；以及

根据与所述近似坐标对应的随机关节变量组，确定所述目标坐标的反解结果；

其中，所述近似坐标为所述随机坐标和所述目标坐标的误差在误差阈值范围内的随机坐标。

第二方面，本公开实施例还提供了一种确定串联机器人反解结果的装置，包括：

目标坐标获取模块，设置为获取串联机器人的末端关节的目标坐标，其中，在所述末端关节之上，以串联的方式连接有至少一个前端关节；

随机关节变量组产生模块，与所述目标坐标获取模块相连，设置为随机产生多个随机关节变量组，其中，每个随机关节变量组中包括与每个所述前端关节分别对应的关节变量；

随机坐标计算模块，与所述随机关节变量组产生模块相连，设置为根据每个所述随机关节变量组，计算所述末端关节的随机坐标；

近似坐标选取模块，与所述随机坐标计算模块相连，设置为根据所述目标坐标，在所述随机坐标中选取所述末端关节的近似坐标；以及

反解结果确定模块，与所述近似坐标选取模块相连，设置为根据与所述近似坐标对应的随机关节变量组，确定所述目标坐标的反解结果；

其中，所述近似坐标为所述随机坐标和所述目标坐标的误差在误差阈值范

围内的随机坐标。

本公开还提供了一种非暂态计算机可读存储介质，存储有计算机可执行指令，所述计算机可执行指令设置为执行上述的方法。

本公开还提供了一种串联机器人，包括：

至少一个处理器；以及

与所述至少一个处理器通信连接的存储器；其中，

所述存储器存储有可被所述至少一个处理器执行的指令，所述指令被所述至少一个处理器执行，以使所述至少一个处理器执行上述方法。

本公开实施例通过随机产生多个随机关节变量组，计算末端关节的随机坐标，在随机坐标中选取末端关节的近似坐标，来确定目标坐标的反解结果。本公开实施例中的方法可适用于任意自由度的串联机器人，求反解结果速度快，反解结果的精度高，计算和存储上开销小，累积误差小。

附图说明

图1是本公开实施例一提供的一种确定串联机器人反解结果的方法流程图；

图2是本公开实施例二提供的一种确定串联机器人反解结果的方法流程图；

图3是本公开实施例三提供的一种确定串联机器人反解结果的方法流程图；

图4是本公开实施例四提供的一种确定串联机器人反解结果的方法流程图；

图5是本公开实施例五提供的一种确定串联机器人反解结果的装置结构示意图；

图6是本公开实施例六提供的用于实施确定串联机器人反解结果的方法的主从机器人的闭环控制系统示意图；

图7是本公开实施例六提供的一种确定串联机器人反解结果的方法中的关节坐标系示意图；以及

图8是本公开实施例八提供的电子设备的结构示意图。

具体实施方式

下面结合附图和实施例对本公开进行详细说明。可以理解的是，此处所描述的具体实施例仅仅用于解释本公开，而非对本公开的限定。另外还需要说明的是，为了便于描述，附图中仅示出了与本公开相关的部分而非全部结构。在不冲突的情况下，以下实施例以及实施例中的特征可以相互任意组合。

实施例一

图1是本公开实施例一提供的一种确定串联机器人反解结果的方法流程图，本实施例可适用于已知串联机器人末端坐标求解每个关节变量的情况，该方法可以由确定串联机器人反解结果的装置来执行，该装置可以由软件、硬件，或软件和硬件的方式实现，该装置可以集成在提供存储和运算功能的设备中，例如典型的是工业个人计算机（Personal Computer，PC）等。

在步骤110中，获取串联机器人的末端关节的目标坐标，其中，在所述末端关节之上，以串联的方式连接有至少一个前端关节。串联机器人以串联的方式连接有多个关节，最末端的关节为末端关节，位于该末端关节之上的关节相对于该关节都可以被称为前端关节。

在对机器人进行控制时，控制结果可以通过串联机器人的末端关节的位置以及姿态来体现的，但是为了使末端关节能够达到一个预设的位置以及姿态，各前端关节需要共同配合运动。

在本实施例中，所述末端关节的目标坐标，可以采用与期望末端关节能够达到的位置的坐标以及姿态的坐标表示。在获取串联机器人的末端关节的目标坐标后，通过下面的步骤计算每个前端关节的关节变量（关节变量可以是位置以及姿态），能够将所述末端关节调整至该目标坐标之上。

在步骤120中，随机产生多个随机关节变量组，其中，每个随机关节变量组中包括与每个所述前端关节分别对应的关节变量。

每个关节都有对应的关节变量，关节变量可以表示该关节的运动情况，整个串联机器人的所有关节的运动情况可以用关节变量组表示，关节变量组中包括每个前端关节的关节变量。当随机产生多个随机关节变量组时，与之对应的末端的位置和姿态也是随机的，得到的末端的位置和姿态有可能是理想的，也有可能是不理想的，经过筛选后可以得到理想的位置和姿态。随机关节变量组可由随机函数产生，随机关节变量可根据关节的运动范围限制在一定范围。例如当关节变量为关节角时，可通过公式 $\theta_n = \theta_{Min-n} + \theta_{Max-n} \times Random()$ 产生多个随机关

节角, $Random()$ 为一种随机函数, 用于产生一个随机数。 θ_n 为第 n 个关节的关节角, θ_{Min-n} 为第 n 个关节的最小关节角, θ_{Max-n} 为第 n 个关节的最大关节角, 并组成随机关节角组 $(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_N)$, $n \in [1, N]$, N 为随机关节变量中包括的关节角总数, N 与前端关节的总数一致。

产生的随机关节变量组的组数可根据求解的精确度设置, 增大随机关节变量组的组数, 能提高结果的精确度。

当串联机器人的关节数增加一个时, 只是在产生的随机关节变量组里增加一个关节变量, 计算的复杂度是线性增加, 所以本实施例适用于任意关节数(自由度)的串联机器人。

在步骤 130 中, 根据每个所述随机关节变量组, 计算所述末端关节的随机坐标。

当每个前端关节的关节变量确定时, 末端关节的位置和姿态就确定了, 也即确定了末端关节的坐标。例如可建立基坐标系和关节坐标系, 由关节之间的连接关系确定每两个坐标系之间的变换矩阵及末端关节到基坐标系的坐标变换矩阵, 通过把每个随机关节变量组代入到坐标变换矩阵, 得到对应的多个末端关节的随机坐标。

在步骤 140 中, 根据所述目标坐标, 在所述随机坐标中选取所述末端关节的近似坐标。

因为随机关节变量组有多组, 所以对应的末端关节的随机坐标有多个。随机坐标和目标坐标的差异有大有小, 随机关节变量组是随机产生的, 随机坐标与目标坐标相同的概率很小。可设置误差阈值, 将误差阈值范围内的随机坐标作为末端关节的近似坐标, 便于筛选。

因为误差阈值可人为设置, 所以可以控制结果的误差。本实施例中的结果是通过随机的实验试出来的, 而不是由计算得出, 所以没有累积误差。

其中, 选取的近似坐标的数量可以为 1 个也可以为多个。其中, 可以将与目标坐标之间的误差值最小的一个随机坐标作为所述近似坐标; 也可以将与目标坐标之间的误差值满足预设误差条件的多个随机坐标作为所述近似坐标。

在步骤 150 中, 根据与所述近似坐标对应的随机关节变量组, 确定所述目标坐标的反解结果。

其中，所述近似坐标为所述随机坐标和所述目标坐标的误差在误差阈值范围内的随机坐标。末端关节的近似坐标有对应的随机关节变量组，当每个关节按该随机关节变量组中的关节变量进行运动时，可使末端关节处于与目标坐标相接近的近似坐标对应的位置上。所以可将近似坐标对应的随机关节变量组作为目标坐标的反解结果。可以采用遗传算法，兼顾“多动小关节，少动大关节”和“每个串联机器人的关节较上次移动角度最小”的原则，确定所述目标坐标的反解结果。其中，大关节为所述前端关节，小关节为所述末端关节。

本实施例通过随机产生多个随机关节变量组，计算末端关节的随机坐标，在随机坐标中选取末端关节的近似坐标，来确定目标坐标的反解结果。本实施例中的方法适用于任意自由度的串联机器人，求反解结果速度快，反解结果的精度高，计算和存储上开销小，没有累积误差。

实施例二

图2是本公开实施例二提供一种确定串联机器人反解结果的方法流程图，实施例二以上述实施例为基础。

本实施例提供的确定串联机器人反解结果的方法包括步骤210至步骤280。其中，步骤210、220、270以及280分别与实施例一中的步骤110、120、140和150相同。

在步骤210中，获取串联机器人的末端关节的目标坐标，其中，在所述末端关节之上，以串联的方式连接有至少一个前端关节。

在步骤220中，随机产生多个随机关节变量组，其中，每个随机关节变量组中包括与每个所述前端关节分别对应的关节变量。

在步骤230中，建立串联机器人的基坐标系以及每一个关节的关节坐标系。

例如可根据空间机器人的连杆参数，应用D-H建模方法，建立串联机器人的基坐标系 $O_0(x_0, y_0, z_0)$ 、每一个关节的关节坐标系 $O_i(x_i, y_i, z_i)$ ，其中， $i \in [1, n]$ ， n 为所述串联机器人包括的关节总数。每个关节坐标系中的关节变量表示了该关节的运动情况。关节坐标系中的关节变量可统一转换至基坐标系中，用基坐标系中的坐标表示。

在步骤240中，根据所述基坐标系以及所述关节坐标系，确定相邻两坐标系之间的变换矩阵。

关节之间的连接关系确定相邻两个坐标系之间的变换矩阵 ${}^{i-1}_iT$ ，关节坐标系的变量可用相邻关节坐标系表示，关节坐标系经几次变换后都可转换成用基坐标系表示。

在步骤 250 中，计算所述末端关节在所述基坐标系中的变换矩阵，作为所述预设的坐标变换矩阵。

每组随机关节变量组对应着末端关节的随机坐标，这个对应关系可以是末端关节在所述基坐标系中的变换矩阵，串联机器人确定后，每个关节之间的连接关系也就确定了，预设的坐标变换矩阵就确定了。末端关节所在的坐标系到基坐标系 $O_0(x_0, y_0, z_0)$ 的坐标变换矩阵 0_nT 可由相邻两个坐标系之间的变换矩阵 ${}^{i-1}_iT$ 逐项右乘得到，

$${}^0_nT = {}^0_1T \times {}^1_2T \dots {}^{i-1}_iT \dots {}^{n-1}_nT = \begin{pmatrix} d_{1x} & d_{2x} & d_{3x} & p_x \\ d_{1y} & d_{2y} & d_{3y} & p_y \\ d_{1z} & d_{2z} & d_{3z} & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

其中， d_{1x} 、 d_{1y} 、 d_{1z} 、 d_{2x} 、 d_{2y} 、 d_{2z} 、 d_{3x} 、 d_{3y} 及 d_{3z} 用于表示末端关节的姿态， p_x 、 p_y 及 p_z 用于表示末端关节的位置。

在步骤 260 中，把每个随机关节变量组代入到预设的坐标变换矩阵中，得到与所述末端关节对应的多个随机坐标。

因为预设的坐标变换矩阵 0_nT 可由相邻两个坐标系之间的变换矩阵 ${}^{i-1}_iT$ 逐项右乘得到，所以预设的坐标变换矩阵中的 d_{1x} 、 d_{1y} 、 d_{1z} 、 d_{2x} 、 d_{2y} 、 d_{2z} 、 d_{3x} 、 d_{3y} 、 d_{3z} 、 p_x 、 p_y 及 p_z 的取值是每个关节变量的函数，把每个随机关节变量组代入到预设的坐标变换矩阵中，得到与所述末端关节对应的多个随机坐标。随机关节变量组表示每个关节的运动情况，预设的坐标变换矩阵表示关节之间的连接关系，二者结合可得到对应的随机坐标。

在步骤 270 中，根据所述目标坐标，在所述随机坐标中选取所述末端关节的近似坐标。

在步骤 280 中，根据与所述近似坐标对应的随机关节变量组，确定所述目标坐标的反解结果。

本实施例通过把每个随机关节变量组代入到预设的坐标变换矩阵中，得到与所述末端关节对应的多个随机坐标，通过检验随机坐标与目标坐标的差异确

定对应的随机关节变量组是否可作为反解，简化了串联机器人求反解的过程。

实施例三

图3是本公开实施例三提供的一种确定串联机器人反解结果的方法流程图，实施例三以上述实施例为基础。

本实施例提供的确定串联机器人反解结果的方法包括步骤310至步骤360。其中，步骤310-330和步骤360分别与实施例一中的步骤110-130和150相同。

在步骤310中，获取串联机器人的末端关节的目标坐标，其中，在所述末端关节之上，以串联的方式连接有至少一个前端关节。

在步骤320中，随机产生多个随机关节变量组，其中，每个随机关节变量组中包括与每个所述前端关节分别对应的关节变量。

在步骤330中，根据每个所述随机关节变量组，计算所述末端关节的随机坐标。

在步骤340中，计算所述末端关节的目标坐标与所述末端关节的随机坐标之间的误差值。

末端关节的随机坐标有多个，它们与末端关节的目标坐标之间的差异可用误差值表示。末端关节的坐标包含末端关节的位置坐标和姿态坐标，所以误差值包括位置误差和姿态误差。因为末端关节的坐标是关节变量的函数，且末端关节的目标坐标是已知量，所以误差值是随机关节变量的函数。

可选地，计算所述末端关节的目标坐标与所述末端关节的随机坐标之间的误差值，包括：

根据公式 $\Delta E = \Delta P + \Delta R$ 以及

$$\begin{cases} \Delta P = \omega_p \|P_s - P_r\| = \omega_p \sqrt{\sum (p_{sj} - p_{rj})^2} & (j=x, y, z) \\ \Delta R = \sqrt{\sum \omega_\gamma (d_{sj}^T d_{rj} - 1)^2} & (j=1, 2, 3) \end{cases}, \text{计算所述末端关节的目标}$$

坐标与所述末端关节的随机坐标之间的误差值 ΔE 。

其中， ΔP 表示位置差异， ΔR 表示姿态差异， ω_p 和 ω_γ 为所述位置差异 ΔP 和所述姿态差异 ΔR 的权重， P_s 为末端关节的目标位置， p_{sj} 为末端关节的目标位置分量， d_{sj} 为末端关节的目标姿态， P_s 、 p_{sj} 及 d_{sj} 可从所述末端关节的目标坐标

获得, P_r 为末端关节的随机位置, p_{rj} 为末端关节的随机位置分量, d_{rj} 为末端关节的随机姿态, P_r 、 p_{rj} 及 d_{rj} 可从所述末端关节的随机坐标中获得, $\|P_s - P_r\|$ 为计算末端关节的目标位置和末端关节的随机位置之间的距离。

其中, 可以选择合适的 ω_r 使姿态误差与位置误差同步收敛, 例如, ω_r 可以大于 10^4 。如果机器人的运动状态对末端位置的精度要求更高一些, 则 ω_r 的取值可以为 0; 若是对位置和姿态都需要满足一定的精度, 则 ω_r 的取值可以为 10^6 。

在步骤 350 中, 获取所述误差值小于误差阈值的末端关节的随机坐标, 作为所述末端关节的近似坐标。

末端关节的随机坐标与目标坐标的误差值小于误差阈值, 说明末端关节的随机坐标与目标坐标很近似, 可将该末端关节的随机坐标作为末端关节的近似坐标。

在步骤 360 中, 根据与所述近似坐标对应的随机关节变量组, 确定所述目标坐标的反解结果。

本实施例通过计算末端关节的目标坐标与末端关节的随机坐标之间的误差值, 可知与末端关节的随机坐标对应的随机关节变量组能否作为反解, 能快速筛选出反解结果。

实施例四

图 4 是本公开实施例四提供的一种确定串联机器人反解结果的方法流程图, 实施例四以上述实施例为基础。

本实施例提供的确定串联机器人反解结果的方法包括步骤 410 至步骤 4110。其中, 步骤 410-440 分别与实施例一中的步骤 110-140 相同。

在步骤 410 中, 获取串联机器人的末端关节的目标坐标, 其中, 在末端关节之上, 以串联的方式连接有至少一个前端关节。

在步骤 420 中, 随机产生多个随机关节变量组, 其中, 每个随机关节变量组中包括与每个所述前端关节分别对应的关节变量。

在步骤 430 中, 根据每个所述随机关节变量组, 计算所述末端关节的随机坐标。

在步骤 440 中, 根据所述目标坐标, 在所述随机坐标中选取所述末端关节

的近似坐标。

在步骤 450 中，获取与至少两个所述近似坐标分别对应随机关节变量组，作为待选随机关节变量组。

满足误差阈值的末端关节的近似坐标有多个，与之对应的随机关节变量组也有多个，这些随机关节变量组可以作为目标坐标的反解结果，但它们未必是最优的反解结果。可以从待选随机关节变量组中选出最优的反解结果。

步骤 460 至步骤 4120 为从待选随机关节变量组中选出最优反解结果的过程。关节移动量越小时所消耗的能量越少，所以要以关节移动量小的待选随机关节变量组作为最优反解结果。串联机器人有很多个关节，在关节移动量相同的情况下，远离末端关节的关节消耗的能量比靠近末端关节的关节消耗的能量多，所以在寻找最优反解结果时可以优先保证远离末端关节的关节移动量小。综上，可从离末端关节最远的关节开始，朝着靠近末端关节的方向，逐个关节地找最小的关节移动量。

在步骤 460 中，选取距离所述末端关节最远的一个前端关节，作为当前比对关节。

一种从待选随机关节变量组中选出最优反解结果的方法是，选关节移动量最小的待选随机关节变量组作为最优反解结果。因为串联机器人有多个关节，可以逐个关节地找关节移动量的最小值。当关节移动量相同时，远离末端的关节消耗的能量比靠近末端的关节消耗得多，可以优先保证远离末端关节的关节移动量小。所以开始时可以选取距离末端关节最远的前端关节作为当前比对关节。

在步骤 470 中，分别在每个所述待选随机关节变量组中，获取与所述当前比对关节对应的关节变量。

待选随机关节变量组中包括每个关节的关节变量。每个待选随机关节变量组对应着一组关节变量。因为是逐个关节进行比较的，所以每次比较的时候可以获取当前比对关节的关节变量。

在步骤 480 中，根据所述关节变量，确定与每个所述待选随机关节变量组分别对应的当前比对关节的关节移动量。

关节移动量越小消耗的能量越少，根据关节变量确定当前比对关节的关节

移动量。

在步骤 490 中，比较至少两个所述当前比对关节的关节移动量，将最小的所述当前比对关节的关节移动量对应的待选随机关节变量组作为优选随机关节变量组。

根据当前比对关节的关节移动量对待选随机关节变量组进行一次筛选，找出最小的当前比对关节的关节移动量，将与最小的当前比对关节的关节移动量对应的待选随机关节变量组作为优选随机关节变量组。当优选随机关节变量组为一组时，该优选随机关节变量组即为当前最优的反解结果。当优选随机关节变量组不止一组时，可以继续优化。

在步骤 4100 中，判断优选随机关节变量组的数量是否大于 1，如果优选随机关节变量组的数量大于 1，则执行步骤 4110，如果优选随机关节变量组的数量为 1 则执行步骤 4120。

在步骤 4110 中，朝着靠近末端关节的方向，选取与当前比对关节相邻的前端关节作为当前比对关节，返回执行步骤 470。

如果优选随机关节变量组的数量大于 1，说明没有找到最优反解结果，则朝着靠近末端关节的方向，选取与当前比对关节相邻前端关节作为当前比对关节，选取最小的当前比对关节的关节移动量对应的待选随机关节变量组作为优选随机关节变量组。当串联机器人的关节数量较多时，新的当前比对关节还可以选择靠近末端关节的与当前比对关节相邻的第 2 个或者第 3 个前端关节。

在步骤 4120 中，将所述优选随机关节变量组，作为所述目标坐标的反解结果。

优选随机关节变量组对应的末端关节的随机坐标与目标坐标之间的误差在误差阈值范围内，优选随机关节变量组的关节移动的能量消耗是最小的，可作为目标坐标的反解结果。

本实施例从距离末端关节最远的前端关节开始，朝着靠近末端关节的方向，与最小的关节移动量对应的待选随机关节变量组，即为使串联机器人移动关节时消耗最少能量的反解结果。

实施例五

图 5 是本公开实施例五提供的一种确定串联机器人反解结果的装置结构示

意图, 该装置可以执行上述实施例中的确定串联机器人反解结果的方法。该装置包括: 目标坐标获取模块 501、随机关节变量组产生模块 502、随机坐标计算模块 503、近似坐标选取模块 504 和反解结果确定模块 505。

目标坐标获取模块 501 设置为获取串联机器人的末端关节的目标坐标, 其中, 在所述末端关节之上, 以串联的方式连接有至少一个前端关节。

随机关节变量组产生模块 502, 与所述目标坐标获取模块 501 相连, 设置为随机产生多个随机关节变量组, 其中, 每个随机关节变量组中包括与每个所述前端关节分别对应的关节变量。

随机坐标计算模块 503, 与所述随机关节变量组产生模块 502 相连, 设置为根据每个所述随机关节变量组, 计算所述末端关节的随机坐标。

近似坐标选取模块 504, 与所述随机坐标计算模块 503 相连, 设置为根据所述目标坐标, 在所述随机坐标中选取所述末端关节的近似坐标。

反解结果确定模块 505, 与所述近似坐标选取模块 504 相连, 设置为根据与所述所述近似坐标对应的随机关节变量组, 确定所述目标坐标的反解结果。

本实施例通过随机产生多个随机关节变量组, 计算末端关节的随机坐标, 在随机坐标中选取末端关节的近似坐标, 来确定目标坐标的反解结果。本实施例中的方法适用于任意自由度的串联机器人, 求反解结果速度快, 反解结果的精度高, 计算和存储上开销小, 没有累积误差。

可选地, 所述随机坐标计算模块包括坐标变换矩阵单元, 设置为把每个随机关节变量组代入到预设的坐标变换矩阵中, 得到与所述末端关节对应的多个随机坐标。

可选地, 所述随机坐标计算模块还包括坐标系建立单元、变换矩阵确定单元及坐标变换矩阵计算单元。

坐标系建立单元设置为建立所述串联机器人的基坐标系 $O_0(x_0, y_0, z_0)$ 、每一个关节的关节坐标系 $O_i(x_i, y_i, z_i)$, 其中, $i \in [1, n]$, n 为所述串联机器人包括的关节总数。

变换矩阵确定单元, 与所述坐标系建立单元相连, 设置为根据所述基坐标系以及所述关节坐标系, 确定相邻两个坐标系之间的变换矩阵 ${}^{i-1}_iT$ 。

坐标变换矩阵计算单元, 分别与所述变换矩阵确定单元及所述坐标变换矩

阵单元相连, 设置为根据公式 ${}^0T_n = {}^0T_1 \times {}^1T_2 \dots {}^{i-1}T_i \dots {}^{n-1}T_n = \begin{pmatrix} d_{1x} & d_{2x} & d_{3x} & p_x \\ d_{1y} & d_{2y} & d_{3y} & p_y \\ d_{1z} & d_{2z} & d_{3z} & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$ 计算所述

末端关节在所述基坐标系 $O_0(x_0, y_0, z_0)$ 中的变换矩阵 0T_n , 将所述 0T_n 作为所述预设的坐标变换矩阵。

其中, d_{1x} 、 d_{1y} 、 d_{1z} 、 d_{2x} 、 d_{2y} 、 d_{2z} 、 d_{3x} 、 d_{3y} 及 d_{3z} 用于表示末端关节的姿态, p_x 、 p_y 及 p_z 用于表示末端关节的位置, 所述 d_{1x} 、 d_{1y} 、 d_{1z} 、 d_{2x} 、 d_{2y} 、 d_{2z} 、 d_{3x} 、 d_{3y} 、 d_{3z} 、 p_x 、 p_y 及 p_z 的取值, 由与每个所述前端关节分别对应的关节变量确定。

本实施例通过把每个随机关节变量组代入到预设的坐标变换矩阵中, 得到与所述末端关节对应的多个随机坐标, 通过检验随机坐标与目标坐标的差异即可确定对应的随机关节变量组是否可作为反解, 简化了串联机器人求反解的过程。

可选地, 所述近似坐标选取模块包括误差值计算单元及误差值判断单元。

误差值计算单元设置为计算所述末端关节的目标坐标与所述末端关节的随机坐标之间的误差值。

误差值判断单元, 与所述误差值计算单元相连, 设置为获取所述误差值小于误差阈值的末端关节的随机坐标, 作为所述末端关节的近似坐标。

本实施例通过计算末端关节的目标坐标与末端关节的随机坐标之间的误差值, 可知与末端关节的随机坐标对应的随机关节变量组能否作为反解, 能快速地筛选出反解结果。

可选地, 反解结果确定模块包括待选随机关节变量组获取单元、当前比关节选取单元、关节变量获取单元、移动量确定单元、筛选随机关节变量组单元、缩减随机关节变量组数量值单元及反解结果获取单元。

待选随机关节变量组获取单元设置为获取与至少两个所述近似坐标分别对应的随机关节变量组, 作为待选随机关节变量组。

当前比关节选取单元, 与所述待选随机关节变量组获取单元相连, 设置为选取距离所述末端关节最远的一个前端关节, 作为当前比关节。

关节变量获取单元，与所述当前比对关节选取单元相连，设置为分别在每个所述待选随机关节变量组中，获取与所述当前比对关节对应的关节变量。

移动量确定单元，与所述关节变量获取单元相连，设置为根据所述关节变量，确定与每个所述待选随机关节变量组分别对应的当前比对关节的关节移动量。

筛选随机关节变量组单元，与所述移动量确定单元相连，将最小的所述当前比对关节的关节移动量对应的待选随机关节变量组作为优选随机关节变量组。

缩减随机关节变量组数量单元，与所述筛选随机关节变量组单元相连，设置为如果优选随机关节变量组的数量大于 1，则朝着靠近所述末端关节的方向，选取与所述当前比对关节相邻的前端关节作为当前比对关节，并返回执行分别在每个所述待选随机关节变量组中，获取与所述当前比对关节对应的关节变量的操作。

保留随机关节变量组单元，与所述缩减随机关节变量组数量值单元相连，设置为如果优选随机关节变量组的数量为 1，将所述优选随机关节变量组，作为所述目标坐标的反解结果。

本实施例从距离末端关节最远的前端关节开始，朝着靠近末端关节的方向，将与最小的关节移动量对应的待选随机关节变量组作为，使串联机器人移动关节时消耗最少能量的反解结果。

可选地，误差值计算单元设置为根据公式 $\Delta E = \Delta P + \Delta R$ 以及

$$\begin{cases} \Delta P = \omega_p \|P_s - P_r\| = \omega_p \sqrt{\sum (p_{sj} - p_{rj})^2} & (j = x, y, z) \\ \Delta R = \sqrt{\sum \omega_\gamma (d_{sj}^T d_{rj} - 1)^2} & (j = 1, 2, 3) \end{cases}$$

计算所述末端关节的目标坐标

与所述末端关节的随机坐标之间的误差值 ΔE 。

其中， ΔP 表示位置差异， ΔR 表示姿态差异， ω_p 和 ω_γ 为所述位置差异 ΔP 和所述姿态差异 ΔR 的权重， P_s 为末端关节的目标位置， p_{sj} 为末端关节的目标位置分量， d_{sj} 为末端关节的目标姿态， P_r 、 p_{rj} 及 d_{rj} 可从所述末端关节的目标坐标获得， P_r 为末端关节的随机位置， p_{rj} 为末端关节的随机位置分量， d_{rj} 为末端关节的随机姿态， P_r 、 p_{rj} 及 d_{rj} 可从所述末端关节的随机坐标中获得， $\|P_s - P_r\|$ 为计算末端关节的目标位置和末端关节的随机位置之间的距离。

本公开实施例所提供的确定串联机器人反解结果的装置可用于执行本公开任意实施例所提供的确定串联机器人反解结果的方法，具备执行该方法相应的功能和有益效果。

实施例六

图 6 是本公开实施例六提供的实施确定串联机器人反解结果的方法的主从机器人的闭环控制系统示意图，图 7 是本公开实施例六提供的一种确定串联机器人反解结果的方法中的关节坐标系示意图。

一种确定串联机器人反解结果的方法所在的系统包括：操作者 601、主机器人 602、PC 603、控制器 604、从机器人 605 及光学跟踪仪 606，如图 6 所示。其中，主机器人 602 与 PC 603 之间通过传输控制协议/因特网互联协议（Transmission Control Protocol/Internet Protocol, TCP/IP）协议来通信，控制器 604 与 PC 603 之间通过以太网来通信。

图 7 示出了从机器人的三个关节，包括第一关节 701、第二关节 702 和末端关节 703，并在第一关节上建立了基坐标系，在第二关节 702 上建立了中间坐标系，在末端关节 703 上建立了末端坐标系。本领域技术人员可以理解的是，从机器人的关节的个数可以是其他的任意值。

操作者 601 操作主机器人 602，把主机器人 602 的运动指令通过 PC 603 和控制器 604 传递给从机器人 605，光学跟踪仪 606 给操作者 601 反馈从机器人 605 的当前运动状态和位置状态。

PC 603 从主机器人 602 接收到的运动指令是从机器人 605 的末端关节 703 的目标坐标，PC 603 应用本公开上述实施例提供的确定串联机器人反解结果的方法，来获得从机器人 605 的第一关节 701 和第二关节 702 的关节变量，控制器 604 根据该关节变量控制从机器人 605 每个关节的运动，使末端关节处于目标坐标。

本实施例给出了一种应用确定串联机器人反解结果的方法的主从机器人系统和从机器人的关节结构，使得 PC 能够根据主机器人给出的从机器人的末端关节的目标坐标，快速而准确地求出从机器人每个关节的关节变量，控制器根据该关节变量控制从机器人实时跟随主机器人的运动。

实施例七

本公开还提供了一种非暂态计算机可读存储介质，存储有计算机可执行指令，所述计算机可执行指令设置为执行上述任一实施例中的方法。

实施例八

本公开还提供了一种电子设备的硬件结构示意图。参见图 8，该电子设备包括：

至少一个处理器(Processor)80，图 8 中以一个处理器 80 为例；和存储器(Memory)81，还可以包括通信接口(Communications Interface)82 和总线 83。其中，处理器 80、通信接口 82、存储器 81 可以通过总线 83 完成相互间的通信。通信接口 82 可以传输信息。处理器 80 可以调用存储器 81 中的逻辑指令，以执行确定串联机器人反解结果的方法。

此外，上述的存储器 81 中的逻辑指令可以通过软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用，可以存储在一个计算机可读取存储介质中。

存储器 81 作为一种计算机可读存储介质，可存储软件程序、计算机可执行程序，如本公开实施例中的方法对应的程序指令或模块。处理器 80 通过运行存储在存储器 81 中的软件程序、指令或模块，从而执行功能应用以及数据处理，即实现确定串联机器人反解结果的方法。

存储器 81 可包括存储程序区和存储数据区，其中，存储程序区可存储操作系统、至少一个功能所需的应用程序；存储数据区可存储根据终端设备的使用所创建的数据等。此外，存储器 81 可以包括高速随机存取存储器，还可以包括非易失性存储器。

本公开的技术方案可以以软件产品的形式体现出来，该计算机软件产品存储在一个存储介质中，包括一个或多个指令用以使得一台计算机设备（可以是个人计算机，服务器，或者网络设备）执行本公开实施例所述方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质可以是非暂态存储介质，包括：U 盘、移动硬盘、只读存储器（Read-Only Memory, ROM）、随机存取存储器（Random Access Memory, RAM）、磁碟或者光盘等多种可以存储程序代码的介质，也可以是暂态存储介质。

工业实用性

本公开实施例提供的确定串联机器人反解结果的方法及装置，能够快速准

确地计算反解结果。

权利要求书

1、一种确定串联机器人反解结果的方法，包括：

获取串联机器人的末端关节的目标坐标，其中，在所述末端关节之上，以串联的方式连接有至少一个前端关节；

随机产生多个随机关节变量组，其中，每个随机关节变量组中包括与每个所述前端关节分别对应的关节变量；

根据每个所述随机关节变量组，计算所述末端关节的随机坐标；

根据所述目标坐标，在所述随机坐标中选取所述末端关节的近似坐标；以及

根据与所述近似坐标对应的随机关节变量组，确定所述目标坐标的反解结果；

其中，所述近似坐标为所述随机坐标和所述目标坐标的误差在误差阈值范围内的随机坐标。

2、根据权利要求1所述的方法，其中，根据每个所述随机关节变量组，计算所述末端关节的随机坐标包括：

把每个随机关节变量组代入到预设的坐标变换矩阵中，得到与所述末端关节对应的多个随机坐标。

3、根据权利要求2所述的方法，在把每个随机关节变量组代入到预设的坐标变换矩阵中，得到与所述末端关节对应的多个随机坐标之前，所述方法还包括：

建立所述串联机器人的基坐标系 $O_0(x_0, y_0, z_0)$ 以及每一个关节的关节坐标系 $O_i(x_i, y_i, z_i)$ ，其中， $i \in [1, n]$ ， n 为所述串联机器人包括的关节总数；

根据所述基坐标系以及所述关节坐标系，确定相邻两个坐标系之间的变换矩阵 ${}^{i-1}_iT$ ；以及

根据公式 ${}^0T_n = {}^0T_1 \times {}^1T_2 \dots {}^{i-1}T_i \dots {}^{n-1}T_n = \begin{pmatrix} d_{1x} & d_{2x} & d_{3x} & p_x \\ d_{1y} & d_{2y} & d_{3y} & p_y \\ d_{1z} & d_{2z} & d_{3z} & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$ 计算所述末端关节在所

述坐标系 $O_0(x_0, y_0, z_0)$ 中的变换矩阵 0T_n ，将所述 0T_n 作为所述预设的坐标变换矩阵；

其中， d_{1x} 、 d_{1y} 、 d_{1z} 、 d_{2x} 、 d_{2y} 、 d_{2z} 、 d_{3x} 、 d_{3y} 及 d_{3z} 用于表示末端关节的姿态， p_x 、 p_y 及 p_z 用于表示末端关节的位置；

所述 d_{1x} 、 d_{1y} 、 d_{1z} 、 d_{2x} 、 d_{2y} 、 d_{2z} 、 d_{3x} 、 d_{3y} 、 d_{3z} 、 p_x 、 p_y 及 p_z 的取值，由与每个所述前端关节分别对应的关节变量确定。

4、根据权利要求 3 所述的方法，其中，根据所述目标坐标，在所述随机坐标中选取所述末端关节的近似坐标，包括：

计算所述末端关节的目标坐标与所述末端关节的随机坐标之间的误差值；

以及

获取所述误差值小于误差阈值的末端关节的随机坐标，作为所述末端关节的近似坐标。

5、根据权利要求 4 所述的方法，其中，根据与所述近似坐标对应的随机关节变量组，确定所述目标坐标的反解结果，包括：

获取与至少两个所述近似坐标分别对应的随机关节变量组，作为待选随机关节变量组；

选取距离所述末端关节最远的一个前端关节，作为当前比对关节；

分别在每个所述待选随机关节变量组中，获取与所述当前比对关节对应的关节变量；

根据所述关节变量，确定与每个所述待选随机关节变量组分别对应的当前比对关节的关节移动量；

将最小的所述当前比对关节的关节移动量对应的待选随机关节变量组作为优选随机关节变量组；如果优选随机关节变量组的数量大于 1，则朝着靠近所述末端关节的方向，选取与所述当前比对关节相邻的前端关节作为当前比对关节，并返回执行分别在每个所述待选随机关节变量组中，获取与所述当前比对关节对应的关节变量的操作；以及

如果优选随机关节变量组的数量为 1，将所述优选随机关节变量组，作为所述目标坐标的反解结果。

6、根据权利要求 4 所述的方法，其中，计算所述末端关节的目标坐标与所述末端关节的随机坐标之间的误差值，包括：

根据公式 $\Delta E = \Delta P + \Delta R$ 以及

$$\begin{cases} \Delta P = \omega_p \|P_s - P_r\| = \omega_p \sqrt{\sum (p_{sj} - p_{rj})^2} & (j = x, y, z) \\ \Delta R = \sqrt{\sum \omega_\gamma (d_{sj}^T d_{rj} - 1)^2} & (j = 1, 2, 3) \end{cases}, \text{计算所述末端关节的目标}$$

坐标与所述末端关节的随机坐标之间的误差值 ΔE ；

其中， ΔP 表示位置差异， ΔR 表示姿态差异， ω_p 和 ω_γ 为所述位置差异 ΔP 和所述姿态差异 ΔR 的权重， P_s 为末端关节的目标位置， p_{sj} 为末端关节的目标位置分量， d_{sj} 为末端关节的目标姿态， P_r 、 p_{rj} 及 d_{rj} 可从所述末端关节的目标坐标获得， P_r 为末端关节的随机位置， p_{rj} 为末端关节的随机位置分量， d_{rj} 为末端关节的随机姿态， P_r 、 p_{rj} 及 d_{rj} 可从所述末端关节的随机坐标中获得， $\|P_s - P_r\|$ 为计算末端关节的目标位置和末端关节的随机位置之间的距离。

7、一种确定串联机器人反解结果的装置，包括：

目标坐标获取模块，设置为获取串联机器人的末端关节的目标坐标，其中，在所述末端关节之上，以串联的方式连接有至少一个前端关节；

随机关节变量组产生模块，与所述目标坐标获取模块相连，设置为随机产

生多个随机关节变量组，其中，每个随机关节变量组中包括与每个所述前端关节分别对应的关节变量；

随机坐标计算模块，与所述随机关节变量组产生模块相连，设置为根据每个所述随机关节变量组，计算所述末端关节的随机坐标；

近似坐标选取模块，与所述随机坐标计算模块相连，设置为根据所述目标坐标，在所述随机坐标中选取所述末端关节的近似坐标；以及

反解结果确定模块，与所述近似坐标选取模块相连，设置为根据与所述近似坐标对应的随机关节变量组，确定所述目标坐标的反解结果；

其中，所述近似坐标为所述随机坐标和所述目标坐标的误差在误差阈值范围内的随机坐标。

8、根据权利要求7所述的装置，其中，所述随机坐标计算模块包括：

坐标变换矩阵单元，设置为把每个随机关节变量组代入到预设的坐标变换矩阵中，得到与所述末端关节对应的多个随机坐标。

9、根据权利要求8所述的装置，其中，所述随机坐标计算模块还包括：

坐标系建立单元，设置为建立所述串联机器人的基坐标系 $O_0(x_0, y_0, z_0)$ 以及每一个关节的关节坐标系 $O_i(x_i, y_i, z_i)$ ，其中， $i \in [1, n]$ ， n 为所述串联机器人包括的关节总数；

变换矩阵确定单元，与所述坐标系建立单元相连，设置为根据所述基坐标系以及所述关节坐标系，确定相邻两个坐标系之间的变换矩阵 ${}^{i-1}_iT$ ；以及

坐标变换矩阵计算单元，分别与所述变换矩阵确定单元及所述坐标变换矩

阵单元相连，设置为根据公式 ${}^0_nT = {}^0_1T \times {}^1_2T \dots {}^{i-1}_iT \dots {}^{n-1}_nT = \begin{pmatrix} d_{1x} & d_{2x} & d_{3x} & p_x \\ d_{1y} & d_{2y} & d_{3y} & p_y \\ d_{1z} & d_{2z} & d_{3z} & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$ 计算所述

末端关节在所述基坐标系 $O_0(x_0, y_0, z_0)$ 中的变换矩阵 0_nT ，将所述 0_nT 作为所述预设

的坐标变换矩阵;

其中, d_{1x} 、 d_{1y} 、 d_{1z} 、 d_{2x} 、 d_{2y} 、 d_{2z} 、 d_{3x} 、 d_{3y} 及 d_{3z} 用于表示末端关节的姿态, p_x 、 p_y 及 p_z 用于表示末端关节的位置;

所述 d_{1x} 、 d_{1y} 、 d_{1z} 、 d_{2x} 、 d_{2y} 、 d_{2z} 、 d_{3x} 、 d_{3y} 、 d_{3z} 、 p_x 、 p_y 及 p_z 的取值, 由与每个所述前端关节分别对应的关节变量确定。

10、根据权利要求9所述的装置, 其中, 所述近似坐标选取模块包括:

误差值计算单元, 设置为计算所述末端关节的目标坐标与所述末端关节的随机坐标之间的误差值; 以及

误差值判断单元, 与所述误差值计算单元相连, 设置为获取所述误差值小于误差阈值的末端关节的随机坐标, 作为所述末端关节的近似坐标。

11、根据权利要求10所述的装置, 其中, 反解结果确定模块包括:

待选随机关节变量组获取单元, 设置为获取与至少两个所述近似坐标分别对应的随机关节变量组, 作为待选随机关节变量组;

当前比对关节选取单元, 与所述待选随机关节变量组获取单元相连, 设置为选取距离所述末端关节最远的一个前端关节, 作为当前比对关节;

关节变量获取单元, 与所述当前比对关节选取单元相连, 设置为分别在每个所述待选随机关节变量组中, 获取与所述当前比对关节对应的关节变量;

移动量确定单元, 与所述关节变量获取单元相连, 设置为根据所述关节变量, 确定与每个所述待选随机关节变量组分别对应的当前比对关节的关节移动量;

筛选随机关节变量组单元, 与所述移动量确定单元相连, 设置为将最小的所述当前比对关节的关节移动量对应的待选随机关节变量组作为优选随机关节变量组;

缩减随机关节变量组数量单元，与所述筛选随机关节变量组单元相连，设置为如果优选随机关节变量组的数量大于 1，则朝着靠近所述末端关节的方向，选取与所述当前比对关节相邻的前端关节作为当前比对关节，并返回执行分别在每个所述待选随机关节变量组中，获取与所述当前比对关节对应的关节变量的操作；以及

反解结果获取单元，与所述缩减随机关节变量组数量单元相连，设置为如果优选随机关节变量组的数量为 1，将所述优选随机关节变量组，作为所述目标坐标的反解结果。

12、根据权利要求 10 所述的装置，其中，误差值计算单元设置为：

根据公式 $\Delta E = \Delta P + \Delta R$ 以及

$$\begin{cases} \Delta P = \omega_p \|P_s - P_r\| = \omega_p \sqrt{\sum (p_{sj} - p_{rj})^2} & (j = x, y, z) \\ \Delta R = \sqrt{\sum \omega_\gamma (d_{sj}^T d_{rj} - 1)^2} & (j = 1, 2, 3) \end{cases}, \text{计算所述末端关节的目标}$$

坐标与所述末端关节的随机坐标之间的误差值 ΔE ；

其中， ΔP 表示位置差异， ΔR 表示姿态差异， ω_p 和 ω_γ 为所述位置差异 ΔP 和所述姿态差异 ΔR 的权重， P_s 为末端关节的目标位置， p_{sj} 为末端关节的目标位置分量， d_{sj} 为末端关节的目标姿态， P_r 、 p_{rj} 及 d_{rj} 可从所述末端关节的目标坐标获得， P_r 为末端关节的随机位置， p_{rj} 为末端关节的随机位置分量， d_{rj} 为末端关节的随机姿态， P_r 、 p_{rj} 及 d_{rj} 可从所述末端关节的随机坐标中获得， $\|P_s - P_r\|$ 为计算末端关节的目标位置和末端关节的随机位置之间的距离。

13、一种非暂态计算机可读存储介质，存储有计算机可执行指令，所述计算机可执行指令设置为执行权利要求 1-6 中任一项的方法。

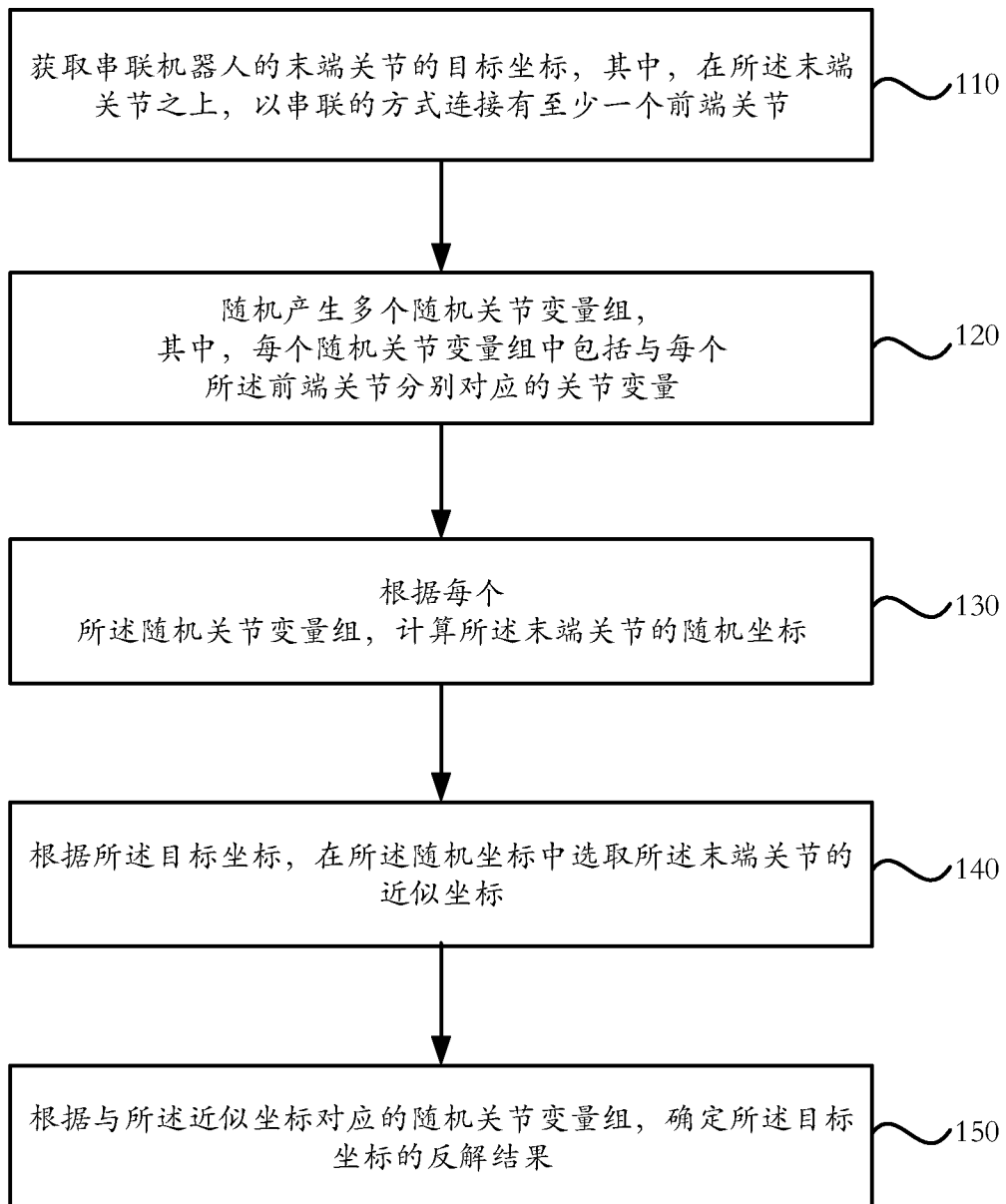


图 1

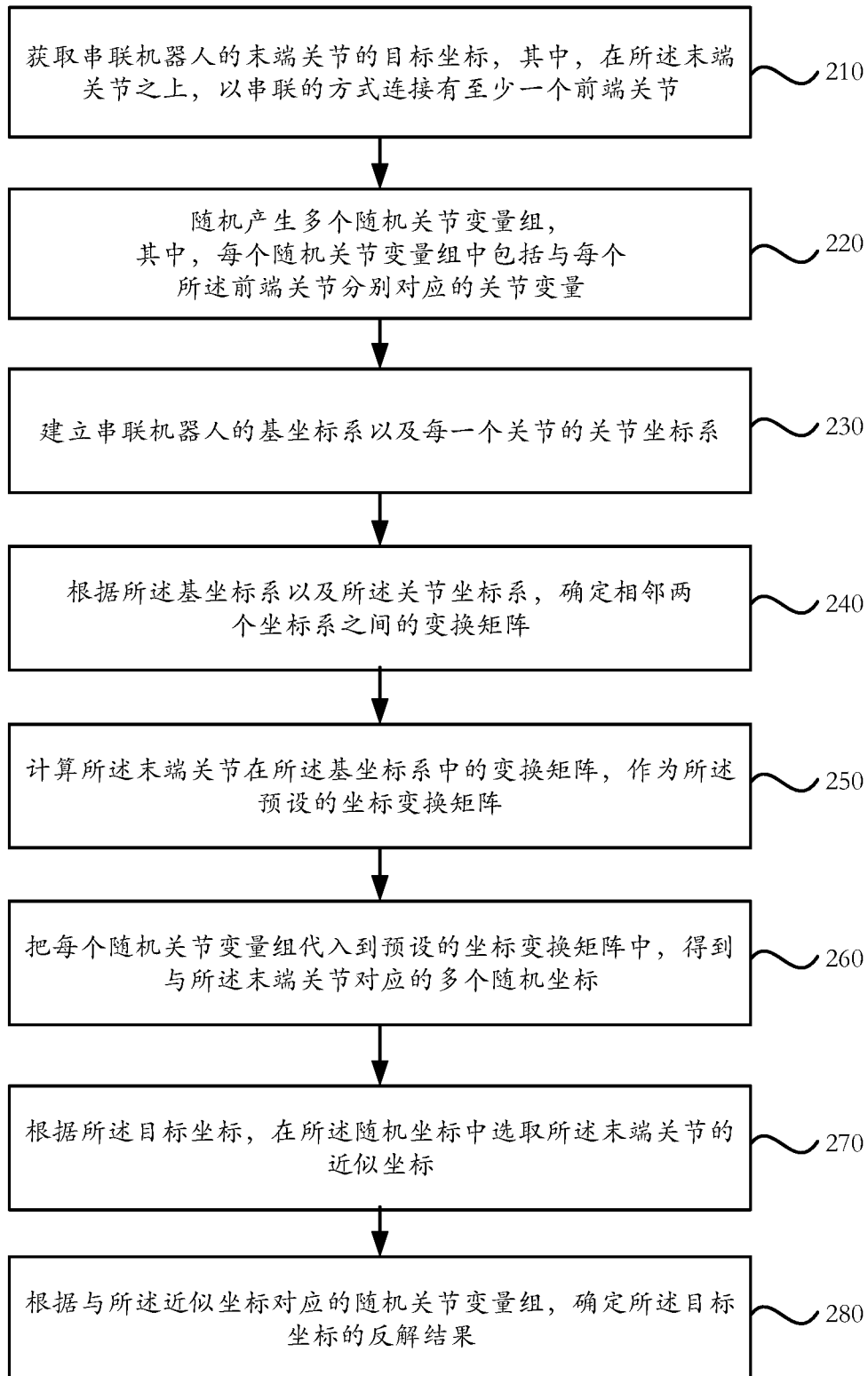


图 2

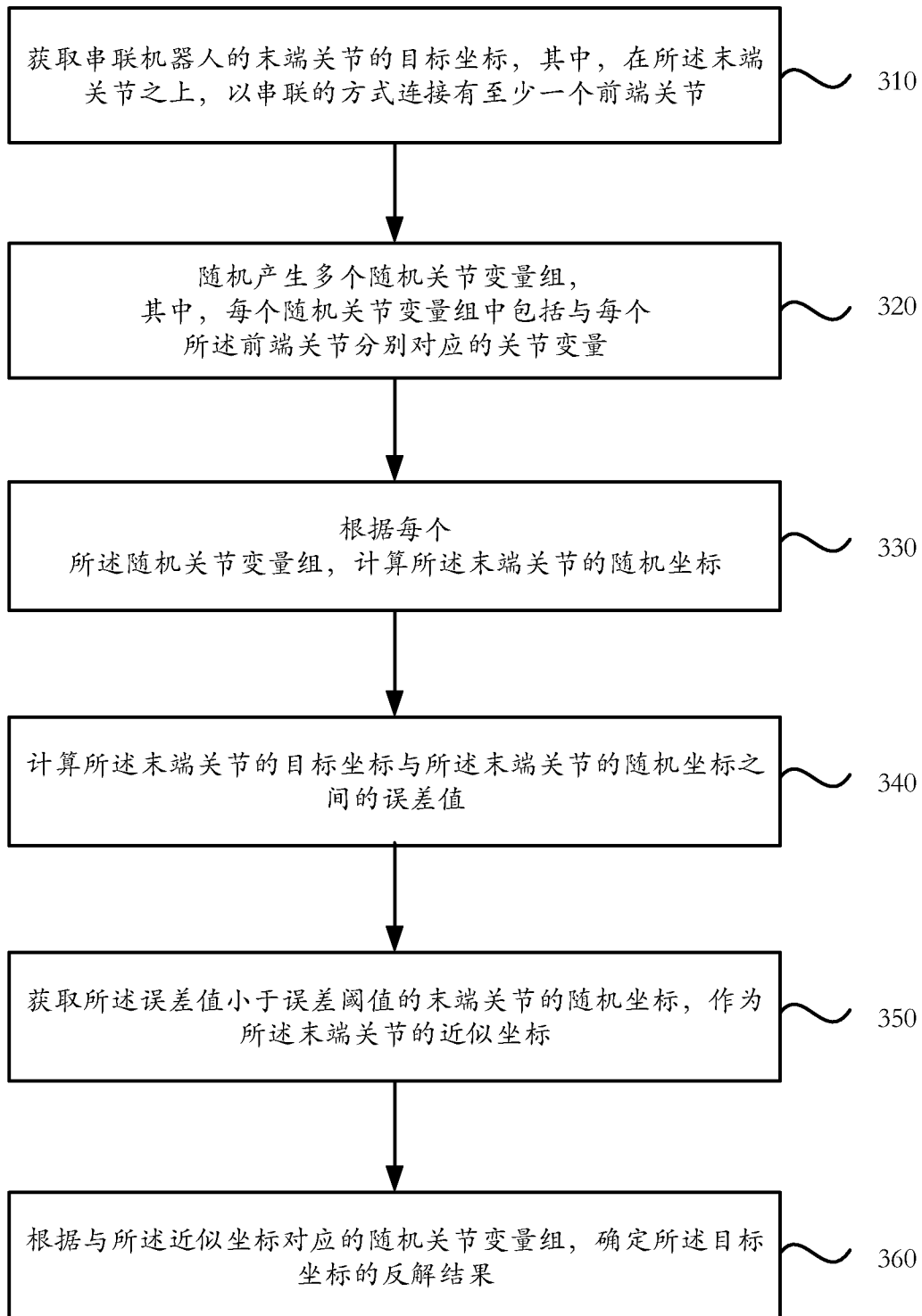


图 3

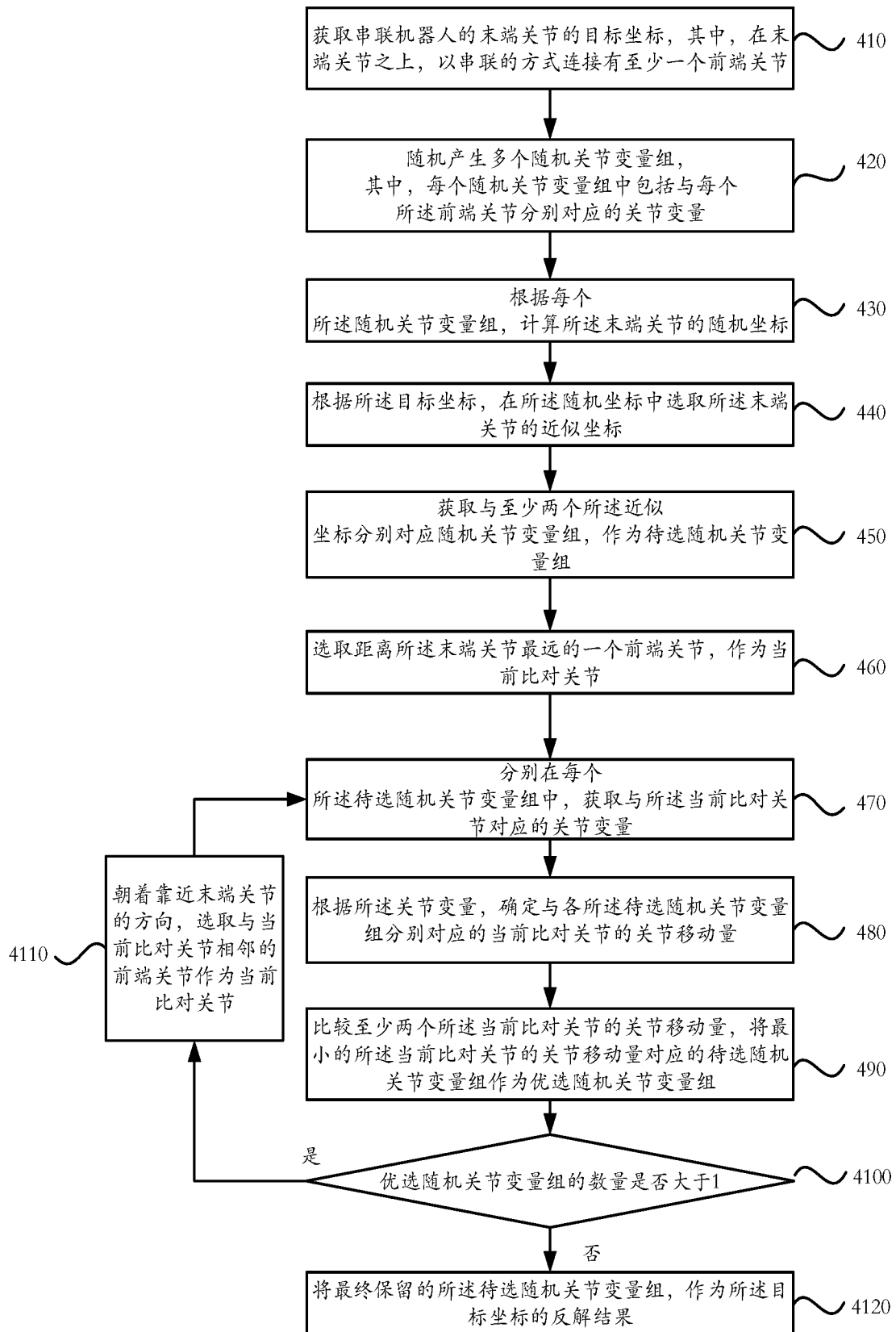


图 4

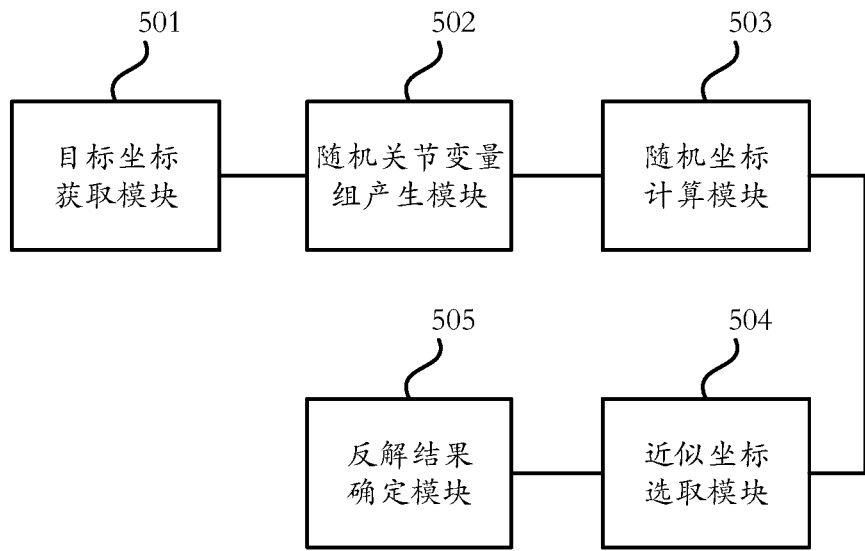


图 5

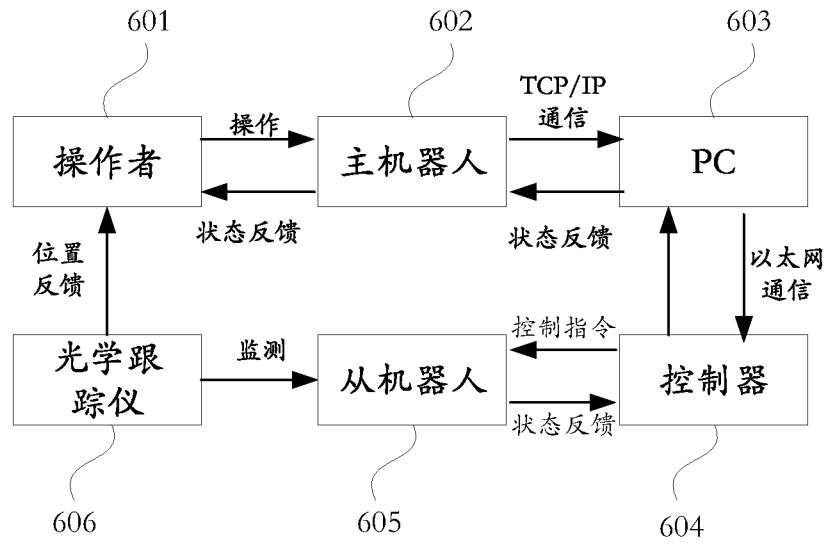


图 6

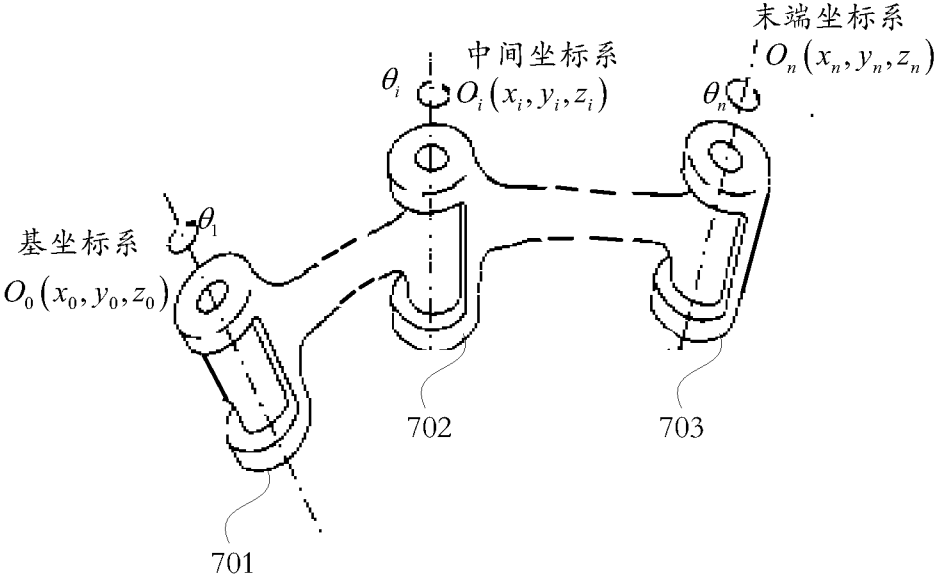


图 7

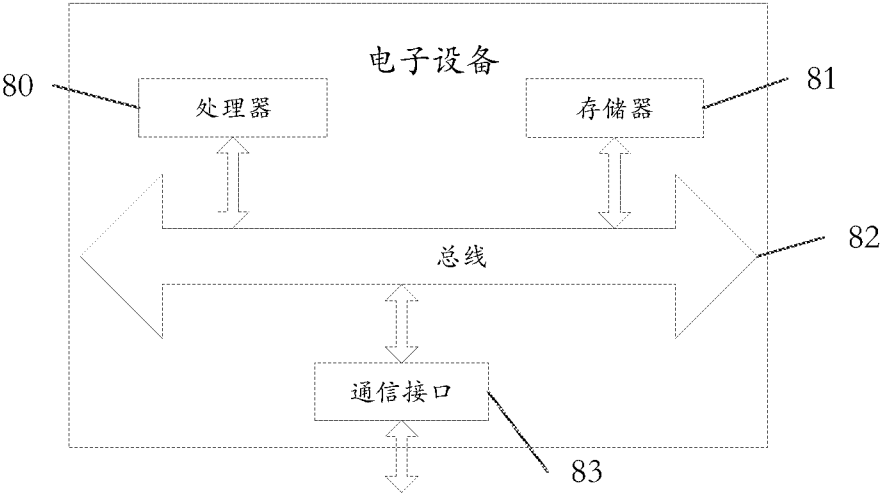


图 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/071083

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G05B 13/02 (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; B25J

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)

CNKI, CNPAT, WPI, EPODOC, IEEE: 串联, 机器人, 反解, 末端, 目标, 位置, 坐标, 随机, 近似, 关节, 前端, 变量, robot, inverse, kinematic?, solution, distal end, tip, target, position, coordinate, random, variable, difference, error, joint

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 105904462 A (HUNAN CREATE SCIENCE AND TECHNOLOGY CO., LTD.) 31 August 2016 (31.08.2016), description, paragraphs [0034]-[0043]	1-13
A	CN 105404174 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY) 16 March 2016 (16.03.2016), entire document	1-13
A	EP 1250986 A2 (FANUC LTD.) 23 October 2002 (23.10.2002), entire document	1-13
A	US 2011224958 A1 (KYUNGPOOK NATIONAL UNIVERSITY INDUSTRYACADEMIC COOPERATION FOUNDATION) 15 September 2011 (15.09.2011), entire document	1-13

☐ 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 14 September 2017	Date of mailing of the international search report 28 September 2017
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 LI, Duo Telephone No. (86-10) 62413598

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2017/071083

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 105904462 A	31 August 2016	None	
CN 105404174 A	16 March 2016	None	
EP 1250986 A2	23 October 2002	JP 2002307344 A	23 October 2002
		US 2002173878 A1	21 November 2002
US 2011224958 A1	15 September 2011	KR 20110103221 A	20 September 2011

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2017/071083

A. 主题的分类

G05B 13/02 (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)

G05B; B25J

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))

CNKI, CNPAT, WPI, EPODOC, IEEE: 串联, 机器人, 反解, 末端, 目标, 位置, 坐标, 随机, 近似, 关节, 前端, 变量, robot, inverse, kinematic?, solution, distal end, tip, target, position, coordinate, random, variable, difference, error, joint

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 105904462 A (湖南科瑞特科技股份有限公司) 2016年 8月 31日 (2016 - 08 - 31) 说明书第[0034]-[0043]段	1-13
A	CN 105404174 A (华中科技大学) 2016年 3月 16日 (2016 - 03 - 16) 全文	1-13
A	EP 1250986 A2 (FANUC LTD.) 2002年 10月 23日 (2002 - 10 - 23) 全文	1-13
A	US 2011224958 A1 (KYUNGPOOK NATIONAL UNIVERSITY INDUSTRYACADEMIC COOPERATION FOUNDATION) 2011年 9月 15日 (2011 - 09 - 15) 全文	1-13

☐ 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 9月 14日

国际检索报告邮寄日期

2017年 9月 28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

李铎

电话号码 (86-10) 62413598

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/071083

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	105904462	A	2016年 8月 31日	无			
CN	105404174	A	2016年 3月 16日	无			
EP	1250986	A2	2002年 10月 23日	JP	2002307344	A	2002年 10月 23日
				US	2002173878	A1	2002年 11月 21日
US	2011224958	A1	2011年 9月 15日	KR	20110103221	A	2011年 9月 20日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)