

Research on Modeling and Compensation of Pose Error of Assembly Robot

Jizhuang Hui, Jingyuan Lei, Jinlong Zhang, Gongwei Zhao

Chang'an University, Xi'an Shaanxi
Email: huijz6363@chd.edu.cn

Received: Dec. 9th, 2016; accepted: Dec. 24th, 2016; published: Dec. 29th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

An error compensation method is proposed for the problem of low positioning accuracy that the assembly robot has due to the sudden change of velocity and acceleration and the bad phenomena such as shock and vibration. Firstly, DH is used to construct the coordinate transformation matrices of each joint, and the mathematical model of the robot is deduced. Secondly, the transfer matrix method is used to construct the robot error model and expression based on DH parameters. Finally, the error model is calculated by perturbation compensation method. The experimental results show that the proposed error compensation method can effectively improve the positioning accuracy of the end of the assembly robot, and it is a good tool for the assembly of the robot. The error compensation method is used to calculate the position error of the robot. Further study provides a reference.

Keywords

Assembly Robot, Kinematics Analysis, Error Modeling, Error Compensation

装配机器人位姿误差建模与补偿研究

惠记庄, 雷景媛, 张金龙, 赵功伟

长安大学, 陕西 西安
Email: huijz6363@chd.edu.cn

收稿日期: 2016年12月9日; 录用日期: 2016年12月24日; 发布日期: 2016年12月29日

摘要

针对装配机器人在运行过程中因发生速度、加速度的突变以及冲击、振动等不良现象而致使其定位精度低的问题,提出了一种误差补偿方法。首先,运用D-H法构建各关节的坐标变换矩阵,推导机器人的数学模型;其次,采用传递矩阵法构建基于D-H参数的机器人误差模型及表达式;最后,采用摄动补偿法对误差模型进行补偿,建立误差测量平台进行实测,用最小二乘算法计算辨识出机器人结构参数误差,并在此基础上进行误差补偿实验,实验表明所提出的误差补偿方法能够有效地提高装配机器人末端的定位精度,对装配机器人的进一步研究提供参考。

关键词

装配机器人,运动学分析,误差建模,误差补偿

1. 引言

位姿精度是研究机器人的关键性能指标。国内外学者一直关注[1][2]并不断研究发现多种多样的误差补偿方法[3]如硬件补偿法、摄动补偿算法和直接修正算法[4]对机器人的位姿误差进行补偿。陈明哲与张启先[5]采用雅可比矩阵构建了结构参数与位姿误差间的传递函数表达式,来分析位姿误差受结构参数误差的影响程度。黄真教授和 K. Sugimoto [6][7]建立机器人末端误差的表达式。徐卫良[8]构建机器人末端误差函数计算式,并完成了机器人在工作空间内的误差概率分析。焦国太教授[9][10]研究了静态因素及连杆和关节柔性对机械手误差的影响。安永辰与王兴海[11]使用有限元分析的方法[12][13]得到了动应力及弹性变形导致的位姿误差。

因为有诸多因素的影响而导致机器人末端产生误差,其位姿误差不能完全由机器人本身的控制系统来消除机器人存在的种种误差影响。于是,针对补偿算法的具体研究及误差模型的构建[14][15],并考虑其成本以及实用性,运用摄动补偿算法来补偿装配机器人的误差,即通过末端的附加运动减少或消除实际运动误差。

2. 装配机器人运动学分析

装配机器人由一系列关节连接起来的连杆构成,故而建立各相邻关节之间的位姿误差关系。用四个参数来表述机器人的杆件,其中两个参数表示机器人各相邻杆件间的连接关系。设连杆两端关节 A_i 和 A_{i+1} 的公法线长度即连杆结构参数变量用 a_i 来表示,在垂直于连杆 a_i 的平面内由关节 A_i 和 A_{i+1} 的中心线组成的夹角称为连杆扭转角,用 α_i 来表示,相邻连杆的物理偏移量用 d_i 来表示,相邻连杆间的相对角位移用 θ_i 来表示,当杆件 i 转动时,参数变量 θ_i 会跟着连杆的转动而引起改变,而 a_i 、 d_i 、 α_i 不变化;各杆件间的参数关系,如图1所示。

对各连杆设立局部坐标系,通过齐次坐标变换矩阵表示连杆坐标系之间的相互关系,根据D-H法建立连杆坐标系。相邻的两连杆 $i-1$ 与 i 间的相对关系也就可以由两个移动和两个转动变量来确立,通过矩阵变换建立的 4×4 齐次变换矩阵 T_i 为:

$$T_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i \cos \alpha_i & \sin \theta_i \sin \alpha_i & a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i \cos \alpha_i & -\cos \theta_i \sin \alpha_i & a_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

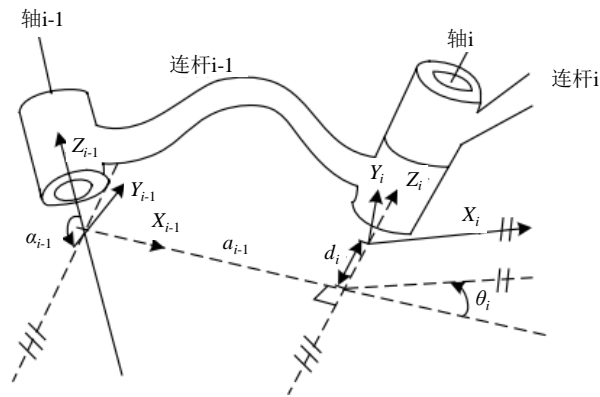


Figure 1. Linkage parameter relationship
图 1. 连杆参数关系

由式(1)可以推导出机器人末端连杆坐标系相对于基坐标系的齐次变换矩阵为:

$$T_n = T_1 T_2 \cdots T_n \quad (2)$$

因此装配机器人位姿误差可以归算为各组成连杆变量和连杆参数误差。

在空间坐标系中, 装配机器人末端在基坐标系中的位姿由位置和方向确定, 因此装配机器人末端的位置可在基坐标系中用 x , y , z 的坐标分量表示为:

$${}^A P = [P_{x_A} \ P_{y_A} \ P_{z_A}]^T \quad (3)$$

为了完整的表示机器人的运动状态, 除了要表示在基坐标系 $\{A\}$ 中的位置外, 还要表示物体在空间坐标系内的方向。装配机器人末端的方向可表示为:

$${}^A R = [{}^A n \quad {}^A o \quad {}^A a] \quad (4)$$

${}^A R$ 为旋转矩阵, 其中 ${}^A n$ 、 ${}^A o$ 、 ${}^A a$ 的分量用来描述在末端坐标系内的单位向量投影到基坐标系的方向余弦。

由式(3)和式(4)可以推导出机器人末端在基坐标系中的位姿, 即相对应的变换矩阵 ${}^A T$ 为:

$${}^A T = \begin{pmatrix} {}^A R & {}^A P_{B_0} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

式中, 矩阵 ${}^A T$ 为基坐标系 $\{A\}$ 与末端坐标系 $\{B\}$ 间的平移变换与旋转变换。

若机器人的几何结构已定, 机器人连杆的长度 a_i 、转角 α_i 及距离 d_i 便是已定的, 连杆的转角 θ_i 为变量。运动学方程能用其各个关节角的函数关系描述为:

$${}^0 T(\theta) = {}^0 A(\theta_1) {}^1 A(\theta_2) \cdots {}^{n-1} A(\theta_n) \quad (6)$$

式(6)即表示装配机器人末端的位姿与各个关节变量的运动关系。

3. 装配机器人的误差

机器人的位姿误差的影响因素是其各连杆的制造误差、磨损误差等, 致使各连杆的参数变量 $\Delta d_i, \Delta \theta_i, \Delta a_i, \Delta \alpha_i$ 产生误差, 从而引起机器人的末端位姿产生误差。通过研究误差的传递状况, 机器人的末端位置和姿态误差与各杆件的运动变量误差间有着必然的数学关系。

机器人的末端位置误差可表示为:

$$\Delta r \approx \sum_{i=1}^4 \left(\frac{\partial r}{\partial \theta_i} \Delta \theta_i + \frac{\partial r}{\partial d_i} \Delta d_i + \frac{\partial r}{\partial a_i} \Delta a_i + \frac{\partial r}{\partial \alpha_i} \Delta \alpha_i \right) \quad (7)$$

而机器人的末端姿态误差可表示为:

$$\Delta \varphi \approx \sum_{i=1}^4 \left(\frac{\partial \varphi}{\partial \theta_i} \Delta \theta_i + \frac{\partial \varphi}{\partial d_i} \Delta d_i + \frac{\partial \varphi}{\partial a_i} \Delta a_i + \frac{\partial \varphi}{\partial \alpha_i} \Delta \alpha_i \right) \quad (8)$$

装配机器人末端位置的广义坐标对连杆的对各连杆参数 θ_i , d_i , a_i , α_i 的偏导数为:

$$\frac{\partial r}{\partial V_{ij}} = \left[\frac{\partial r_x}{\partial V_{ij}}, \frac{\partial r_y}{\partial V_{ij}}, \frac{\partial r_z}{\partial V_{ij}} \right]^T = [p'_x, p'_y, p'_z]^T \quad (9)$$

装配机器人的广义坐标为:

$$\begin{cases} \alpha_1 = \arctan \left(\frac{-a_x}{a_y} \right), \alpha_2 = \alpha_1 + 180^\circ \\ \beta = \arctan \left[(a_x \sin \alpha - o_y \cos \alpha) / a_z \right] \\ \gamma = \arctan \left[(-o_x \sin \alpha - o_y \sin \alpha) / (n_x \cos \alpha + n_y \sin \alpha) \right] \end{cases} \quad (10)$$

由式(9)和式(10)可以得到装配机器人末端位置和姿态广义坐标对于各连杆的运动变量和结构参量的偏导数, 将其代入式(7)和式(8)即可得到机器人末端执行器的位置和姿态误差。

4. 装配机器人的位姿误差补偿算法

4.1. 误差补偿原理

装配机器人不能由本身的控制系统减小或消除其机械误差及控制误差引起的影响, 故用控制软件修正补偿其末端位姿, 最终得以补偿由各种因素引起的位姿误差。

摄动补偿算法来补偿机器人末端误差的工作原理如图2所示[16], 对机器人末端的期望位姿 $T_n(p)$ 进行矩阵逆变换, 计算出装配机器人末端在期望位置的运动参数变量。装配机器人各连杆参数误差会导致其末端产生位姿误差 Δp 。因此, 当装配机器人的各杆件运动改变 p 时, 其末端的实际位姿就会变为 $T_n(p + \Delta p)$ 。为使装配机器人的末端位姿得以修正, 要事先附加一个微小位姿输入量 $-\Delta p$, 这时机器人的末端位姿就会变成 $T_n(p - \Delta p)$ 。再通过机器人运动学的矩阵逆变换, 机器人的各关节的运动结构参数改变为 $p - \Delta p$ 。这时, 事先预加的微小的位姿输入量 $-\Delta p$, 就会减小或消除机器人末端位姿产生的误差 Δp , 让机器人的末端执行器的位姿无限接近期望的末端位姿 $T_n(p)$ 。

4.2. 误差补偿步骤

本文研究的装配机器人包含3个旋转关节与1个直线关节, 在某一时刻机器人的末端执行器实际输出位姿是 ${}^0_4T'$, 其理论输出位姿是 0_4T 。此时所对应的各关节的输入变量为 $\{\theta_1, \theta_2, d_3, \theta_4\}$ 。在各种因素的综合影响下, 机器人的末端产生的误差为 $\Delta {}^0_4T$ (包括位置误差 Δp 与姿态误差 $\Delta \varphi$)。为了能够抵消摄动的位姿误差 $\Delta {}^0_4T$, 在机器人的各关节上事先要预置一个微小的附加输入变量 $\{\Delta \theta'_1, \Delta \theta'_2, \Delta d'_3, \Delta \theta'_4\}$, 该微小输入变量会致使机器人的末端产生一个对应的附加位姿 $\Delta {}^0_4T^*$ 。若机器人末端执行器的摄动位姿 $\Delta {}^0_4T^*$ 与其末端产生的误差 $\Delta {}^0_4T$ 可以相互抵消, 就能对机器人末端产生的位姿误差进行补偿。依据构建的机器人误差的数学模型, 可知其产生的位姿误差 $\Delta {}^0_4T$ 表示为:

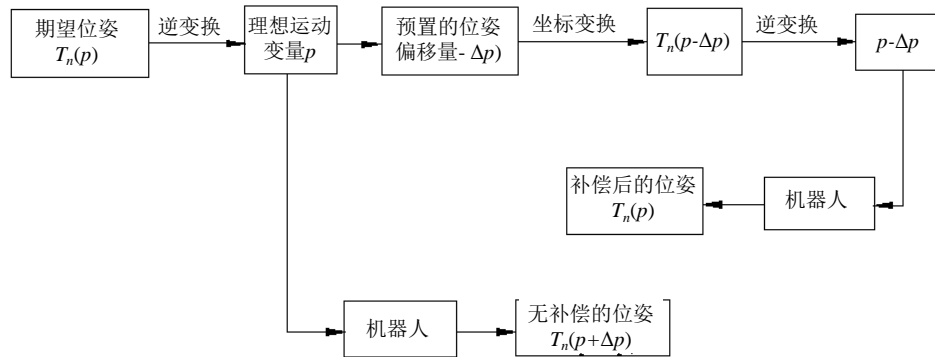


Figure 2. Robot error compensation schematic
图 2. 机器人误差补偿原理图

$$\Delta_4^0 T = \begin{bmatrix} \Delta n_x & \Delta o_x & \Delta a_x & \Delta p_x \\ \Delta n_y & \Delta o_y & \Delta a_y & \Delta p_y \\ \Delta n_z & \Delta o_z & \Delta a_z & \Delta p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

对机器人的各个关节的运动参数变量上事先附加一个预置的微小输入变量 $\{\Delta\theta'_1, \Delta\theta'_2, \Delta d'_3, \Delta\theta'_4\}$ 后, 其末端就会产生与之相对应的运动位姿 $\Delta_4^0 T^*$, 即:

$$\Delta_4^0 T^* = \begin{bmatrix} \Delta n_x^* & \Delta o_x^* & \Delta a_x^* & \Delta p_x^* \\ \Delta n_y^* & \Delta o_y^* & \Delta a_y^* & \Delta p_y^* \\ \Delta n_z^* & \Delta o_z^* & \Delta a_z^* & \Delta p_z^* \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

令 $\Delta_4^0 T^* = -\Delta_4^0 T$, 即 $\Delta p^* = -\Delta p$, $\Delta\phi^* = -\Delta\phi$, 可得:

$$\begin{bmatrix} \Delta n_x^* & \Delta o_x^* & \Delta a_x^* & \Delta p_x^* \\ \Delta n_y^* & \Delta o_y^* & \Delta a_y^* & \Delta p_y^* \\ \Delta n_z^* & \Delta o_z^* & \Delta a_z^* & \Delta p_z^* \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \Delta n_x & \Delta o_x & \Delta a_x & \Delta p_x \\ \Delta n_y & \Delta o_y & \Delta a_y & \Delta p_y \\ \Delta n_z & \Delta o_z & \Delta a_z & \Delta p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

由式(13)即可计算出输入的各关节运动变量上附加的预置微小输入变量 $\{\Delta\theta'_1, \Delta\theta'_2, \Delta d'_3, \Delta\theta'_4\}$ 。

5. 实验与仿真

5.1. 实验平台

实验平台由整个装配机器人系统和东芝 TELI 工业摄像机及其相关的配件组合而成。装配机器人系统的人机编程界面控制各运动关节的控制指令, 东芝 TELI 工业摄像机及其相关的配件测量末端实际位置的三维坐标, 用最小二乘算法辨识出各项误差的参数值, 对其进行相应的实验补偿。通过最小二乘算法能辨识出其各项误差的参数值, 来对其进行相应的实验补偿。装配机器人的误差测量实验平台, 如图 3 所示。

5.2. 实验原理

该装配机器人能通过其人机操作界面给定各个关节的运动输入变量, 然后对输入的变量进行变换, 使其以脉冲量的方式来控制机器人各电机的运动, 使其末端能运动到预定的理想位置。该实验根据人机

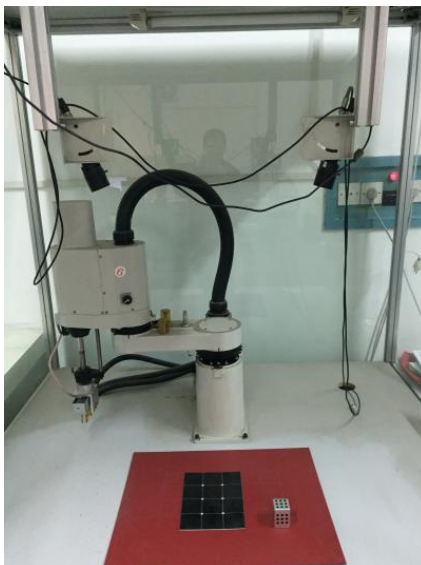


Figure 3. Error measurement experiment device

图 3. 误差测量实验装置

操作界面控制装配机器人各关节的输入运动变量,并使用东芝 TELI 工业摄像机及其相关的配件测量计算出在不同关节输入变量时其末端的坐标值,再根据运算数据求解出已给的指令坐标与实验测得坐标间的误差值,最后再使用运算出的误差值与各输入变量来对其参数误差进行辨识运算,得到结构参数的误差数值,再对机器人末端引起的误差进行实验补偿分析。

5.3. 实验结果与仿真分析

5.3.1. 参数辨识

机器人参数辨识是指根据实验测得或者运用某算法计算求出其实际运动参数的过程。装配机器人的参数误差与其末端的位置误差间的关系为:

$$[M_{\theta} \quad M_{\alpha} \quad M_d \quad M_a] \begin{bmatrix} \Delta\theta \\ \Delta\alpha \\ \Delta d \\ \Delta a \end{bmatrix} = p' - p \quad (14)$$

其中: $j = [M_{\theta} \quad M_{\alpha} \quad M_d \quad M_a]$ 为机器人的误差传递矩阵;

$\Delta x = [\Delta\theta \quad \Delta\alpha \quad \Delta d \quad \Delta a]^T$ 为机器人的参数误差矩阵;

$e = p' - p$ 为机器人末端的实测值与理论值间的误差。

由实验测量出机器人的末端三维坐标,运算得到实际坐标值与理论坐标值间的误差 e ,再根据式(14)即能辨识计算得到机器人的误差参数值。利用最小二乘算法优化误差参数使 e 的范数平方和最小,得出机器人的实际参数误差。

在标定测量完成的基础上,选取在测量范围内 x, y, z 轴综合运动的 12 个采集点的测量信息进行实验验证,测量得到的采集点的坐标信息如表 1 所示,表中计算坐标值为各点按照标定测量的结果计算得出的世界坐标系的坐标,测量值为各点的实际坐标值。

通过获得的 12 个采集点的理论计算值与实验测量值以及其他有效的参数测量值,通过机器人的逆解运算来求解得到相对应的关节变量值,进而可以求出各个点的理论 x 、 y 、 z 坐标值,运算求解各测量

点的绝对误差值,如表 2 所示。其中, X 坐标的绝对误差最大为 0.1470 (mm), Y 坐标的绝对误差最大为 0.5849 (mm), Z 坐标的绝对误差最大为 0.6775 (mm)。

由表 2 中计算出的各测量点的误差值与关节变量值,并把上述的误差值代到所建立的模型中,利用最小二乘算法以辨识求解机器人的结构参数误差值,最后通过运算获得辨识各结构参数的误差值,如表 3 所示。

5.3.2. 误差补偿

由辨识运算得到各项参数的误差值后,根据摄动补偿方法重新运算求解运动到 12 个测量点的指令位置的三维坐标;再由人机操作界面控制其按照重新求出的指令位置坐标运动作业,并测量其实际的三维坐标。通过运算就可求得其误差在补偿前后的各测量点的绝对定位误差变化曲线,如图 4 所示。

Table 1. Acquisition point of measurement information

表 1. 采集点的测量信息

序号	计算坐标值			测量坐标值		
	x/mm	y/mm	z/mm	x/mm	y/mm	z/mm
1	56.7200	279.6980	-25	56.7111	279.6944	-24.5767
2	56.7010	329.3701	-25	56.6877	329.3685	-24.9866
3	56.7131	378.9552	-25	56.8299	378.9563	-24.8755
4	6.8680	279.0831	-25	6.8573	279.0776	-24.8871
5	6.5301	328.7783	-25	6.5184	328.7748	-25.6775
6	6.3972	378.6301	-25	6.3816	378.6290	-25.1681
7	-109.6933	320.9131	10	-109.8101	320.9220	10.1522
8	-109.6871	332.8752	10	-109.8033	333.3028	10.5645
9	-109.6435	339.9662	10	-109.7905	339.5847	9.4175
10	-129.3855	320.2761	10	-129.4905	320.2683	10.2557
11	-128.9766	332.7872	10	-129.0126	333.3721	10.4751
12	-129.1351	339.8751	10	-129.1468	339.4783	10.1022

Table 2. Absolute value of the acquisition point

表 2. 采集点的绝对误差值

序号	$\Delta x/mm$	$\Delta y/mm$	$\Delta z/mm$
1	0.0089	0.0036	-0.4233
2	0.0133	0.0016	-0.0134
3	-0.1168	-0.0011	-0.1245
4	0.0107	0.0055	0.1129
5	0.0117	0.0035	0.6775
6	0.0156	0.0011	0.1681
7	0.1168	-0.0089	-0.1522
8	0.1162	-0.4276	-0.5645
9	0.1470	0.3815	0.5825
10	0.1050	0.0078	0.2557
11	0.0360	-0.5849	0.4751
12	0.0117	0.3968	0.1022

Table 3. Error by identifying the resulting assembly robot structure parameters

表 3. 辨识得到的装配机器人结构参数的误差

i	$\Delta\theta_i/\text{rad}$	$\Delta a_i/\text{mm}$	$\Delta d_i/\text{mm}$	$\Delta\alpha_i/\text{rad}$
1	0.00031	-0.06721	-0.04310	0.00061
2	-0.00056	-0.05016	-0.05531	0.000023
3	-0.00102	0.08236	-0.05121	-0.00010
4	0.00011	0.02018	-0.06281	0.00012

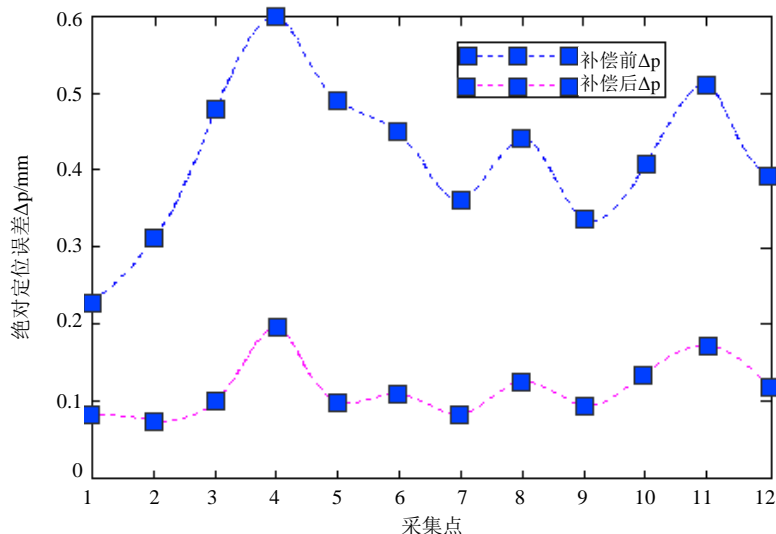


Figure 4. Absolute positioning error of the acquisition point before and after compensation

图 4. 补偿前后采集点绝对定位误差

通过对图 4 的分析可知，装配机器人经过摄动位姿补偿算法的补偿后，采集点的绝对定位误差明显减小，最大综合绝对定位误差由补偿前的约 0.6 mm 减少到 0.2 mm，补偿后的误差基本都在 0.2 mm 以下，符合机器人设计时所给定的定位误差值，并使机器人的定位精度有了极大地提升，且从实验的方面表明了所研究的补偿算法是可行实用的。

6. 结论

1) 本文在 D-H 法的基础上，利用传递矩阵法推导出了机器人末端位姿误差和运动学参数误差间的函数关系式，构建了机器人的位姿误差数学模型。

2) 运用摄动法对构建的误差模型进行补偿研究。建立该装配机器人的误差测量平台，测量其多个位置的三维坐标；采用最小二乘算法辨识运算机器人的结构误差，并用对所求的参数误差进行实验补偿。分析补偿前后的实验数据，可知通过误差补偿，其精度有了很大提高，并从实验方面验证了补偿算法的实际可行性。

3) 本文在误差补偿方面，虽然通过摄动误差补偿算法对其末端产生的误差进行了补偿，但没有考虑外力等其他因素的影响，还需要对其进一步的研究。

参考文献 (References)

[1] Raksiri, C. and Parnichkun, M. (2004) Geometric and Force Error Compensation CNC Milling Machine. *Internation-*

- al Journal of Machine Tools & Manufacture*, **44**, 1288-1291. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2004.04.016>
- [2] Choi, H.S. and Lee, S. (2002) Machining Error Compensation of External Cylindrical Grinding Using Thermally Actuated Rest. *Mechtronics*, **12**, 650-656.
- [3] 朱威, 李成刚, 徐兴明. 工业机器人误差补偿技术的理论与实验研究[J]. 机械与电子, 2011(2): 77-80.
- [4] 曹三燕. 机械手静态误差分析及动态误差初探[D]: [硕士学位论文]. 天津: 河北工业大学, 2013.
- [5] 陈明哲, 张启先. 工业机器人误差分析[J]. 北京航空学院学报, 1984(2): 11-22.
- [6] 黄真. 机器人手臂误差分析及误差传递函数[J]. 光学机械, 1987(2): 77-85.
- [7] Sugimoto, K. and Okada, T. (1984) Compensation of Positioning Errors Caused by Geometric Deviations in Robot System. *Proc of 2nd Int Symp Robotics Research*, **6**, 233-236.
- [8] 徐卫良. 机器人机构误差建模的摄动法[J]. 机器人, 1989, 3(6): 39-44.
- [9] 焦国太, 余跃庆, 梁浩. 机器人位姿误差的结构矩阵分析方法[J]. 应用基础与工程科学学报, 2001, 9(2-3): 260-264.
- [10] 焦国太. 机器人位姿误差的分析与综合[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京工业大学, 2002.
- [11] 王兴海, 安永辰. 机器人运动误差和动力误差模型[J]. 机器人, 1987, 9(1): 26-31.
- [12] Meggiolaro, M.A., Dubowsky, S. and Mavroidis, C. (2005) Geometric and Elastic Error Calibration of a High Accuracy Patient Positioning System. *Mechanism and Machine Theory*, **40**, 415-427. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2004.07.013>
- [13] Cheng, X.P. and Patel, R.V. (2003) Neural Network Based Tracking Control of a Flexible Macromicro Manipulator System. *Neural Networks*, **16**, 271-286. [https://doi.org/10.1016/S0893-6080\(02\)00229-0](https://doi.org/10.1016/S0893-6080(02)00229-0)
- [14] Mavroidis, C., Dubow, S. and Drouet, P. (1997) A Systematic Error Analysis of Robotic Manipulators Application to a High Performance Medical Robot. *Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Robotics and Automation Piscataway*, **2**, 982-985. <https://doi.org/10.1109/robot.1997.614262>
- [15] Yang, T., Zhang, J., Wang, S., Tan, H. and Luo, W. (2006) Motion Planning and Error Analysis in Robot Assistant Micro-Surgery System. *6th World Congress on Intelligent Control and Automation*, Dalian, 21-23 June 2006, 8819-8823. <https://doi.org/10.1109/WCICA.2006.1713704>
- [16] 祝建礼. 多自由度检测机器人控制系统开发与位姿误差补偿[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2007.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: met@hanspub.org