

激光传感下机器人路径规划研究

贾厚林

(无锡机电高等职业技术学校 ,江苏 无锡 214028)



摘 要: 机器人路径规划中受到环境小扰动因素的干扰容易产生问题误差 ,为了提高机器人的路径规划能力 ,提出基于激光传感器的机器人路径规划方法。采用激光传感器进行机器人行为三维空间的环境数据和姿态数据采集 ,对采集的机器人激光传感数据进行信息融合 ,提取机器人路径的三维惯性姿态参量信息 ,采用 Kalman 滤波方法进行机器人位姿参量动态跟踪识别 ,根据 Lyapunov 动态跟踪原理 ,将机器人的路径规划参数反馈到机器人的末端执行器中 ,实现机器人路径规划优化设计。仿真结果表明 ,采用该方法进行机器人路径规划 ,各个姿态运动参量的跟踪性能较好 ,机器人运动学惯性参数的自适应修正能力较强 ,提高了机器人的运动路径轨迹的规划能力和总体控制能力。

关键词: 激光传感; 机器人; 路径规划; 控制; 跟踪识别

中图分类号: TN248 **文献标识码:** A **DOI 编码:** 10. 14016/j.cnki.jgzz. 2018. 10. 175

Research on path planning of robot based on laser sensing

JIA Houlin

(Wuxi Machinery and Electron Higher Professional and Technical School , Wuxi Jiangsu 214028 , China)

Abstract: The robot path planning is prone to the problem error caused by the disturbance of small disturbance factors in the environment. In order to improve the ability of robot path planning , a robot path planning method based on laser sensor is proposed. The environment data and posture data of robot behavior are collected by laser sensor , and the 3D inertial posture parameter information of robot path is extracted by the fusion of collected laser sensor data. According to the principle of Lyapunov dynamic tracking , the robot path planning parameters are fed back to the end effector of the robot to realize the optimal design of the robot path planning. The simulation results show that the tracking performance of each posture motion parameter is good , and the adaptive correction ability of robot kinematics inertia parameter is strong. The abilities of trajectory planning and overall control of robot are improved.

Key words: laser sensing; robot; path planning; control; tracking identification

1 引言

随着人工智能控制技术的发展 ,对机器人的智能控制品质越来越高 ,在机器人的控制器设计中 ,需要进行机器人的三维空间路径规划设计 ,提升机器人对目标位置的准确跟踪能力和避障能力。研究机器人的路径规划方法 ,实现机器人的智能行走和路径优化控制 ,减少机器人不必要的行动轨迹 ,提高机器人对环境的适应能力方面具有重要意义。相关的路径规划算法研究在机器人控制领域中受到广泛重视^[1]。对

机器人的三维路径规划设计是建立在对机器人的运动环境和运动姿态的数据特征采样基础上 ,通过传感器进行机器人行为空间的特征信息采集 ,结合环境信息融合和姿态参量数据的滤波处理 ,提高机器人的环境适应能力和自主控制能力。

传统方法中 ,对机器人的路径规划方法主要采用遗传进化方法、仿生控制方法和粒子群寻优控制方法等^[2-4]。上述方法通过模拟仿生群体的行为特征 ,结合自适应寻优和惯性姿态参量调节方法 ,进行机器人的路径规划 ,取得了一定的路径规划和偏离修正控制性能。其中 ,文献[5]中提出一种基于人工神经网络的机器人路径曲线偏离修正控制方法 ,采用人工势场法进行机器人的运动行为特征分析 ,分析机器人的运

收稿日期: 2018-02-12

基金项目: 河南省重点科技攻关资助项目(No.152102210042)

作者简介: 贾厚林(1969-) ,男(汉族) ,江苏南通人 ,工学硕士 ,副教授 ,研究方向: 电子技术、信号与信息处理。

[http : //www.laserjournal.cn](http://www.laserjournal.cn)

动惯性势能和动能,结合机器人的运动力学分析方法进行路径规划和路径偏离修正控制,提高了机器人路径规划的控制性能,但该方法进行路径规划中容易受到机器人的末端位姿的小扰动影响,导致在机器人的运动终端容易出现轨迹偏离。文献[6]中提出一种基于末端轨迹跟踪的机器人路径规划和避障修正方法,在超冗余度空间内构建机器人的路径轨迹分布跟踪网格模型,通过惯性力反馈修正期望的路径轨迹,采用一种线性插值优化方法进行机器人的双目视觉标定和路径规划设计,该方法在计算复杂度具有劣势,路径规划控制的实时性不好。文献[7]中提出一种基于反馈融合跟踪控制的机器人路径规划方法,采用磁力传感器进行机器人的路径周边环境信息采集和机器人的位姿信息采集,结合7个自由度的运动空间轨迹分布进行路径规划,提高路径规划的多维性,但该方法容易受到机器人的自身传感介质的干扰和磁场环境干扰,导致机器人的路径规划容易出现偏离。

针对上述问题,本文提出基于激光传感器的机器人路径规划方法。首先进行激光传感器的分布式阵列设计,采用激光传感器进行机器人的环境数据采集,对采集的环境数据进行信息融合和机器人的三维控制,结合姿态传感动态跟踪技术进行路径规划设计。然后将规划信息输入到机器人的末端执行器中,提高机器人的三维测量和跟踪性能。最后进行仿真实验,展示了本文方法在提高机器人路径规划能力方面的优越性。

2 激光传感下的机器人数据采集和信息处理

2.1 激光传感信息采集

为了实现激光传感下的机器人路径规划设计,首先采用激光传感器进行机器人行为三维空间的环境数据和姿态数据采集,激光传感器采用光学 CCD 进行机器人的环境信息测量和动态运动特征测量,传感器的阵列分布形式采用均匀分布的线列阵,激光传感器的单点测量精度为 0.021,动态跟踪的测量频率为 25kHz,用 Δai , Δdi , Δci , $\Delta \theta i$ 分别表示激光传感器阵列的分布间隔、测量范围、三维坐标几何参数和机器人的测距误差等^[8],得到激光传感下的机器人运动规划参量信息采集模型如图 1 所示。

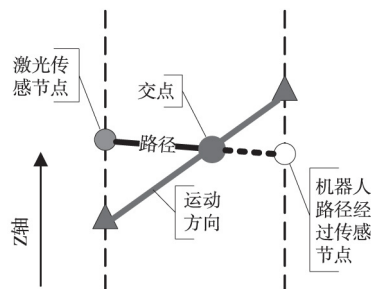


图1 激光传感下的机器人运动规划参量信息采集模型

根据图1所示的传感器分布模型,进行环境信息采集,本文设计的机器人研究对象为仿生机器人,机器人共有210个关节,7根连杆,8个骨骼旋转节点,为了研究方便,在进行执行器控制设计和运动规划设计中,忽略因为加工精度及机器人装配导致的误差,根据上述模型构建,结合D-H参数模型进行机器人的路径参数分析^[9]。

2.2 机器人激光传感信息融合和测距

在采用激光传感器进行机器人行为三维空间的环境数据和姿态数据采集的基础上,对采集的机器人激光传感数据进行信息融合,根据融合结果进行机器人的目标路径测距,提取机器人路径的三维惯性姿态参量信息,机器人的路径规划测距采用左、右激光相机联合测量方法,建立机器人的双目视觉定位模型如图2所示。

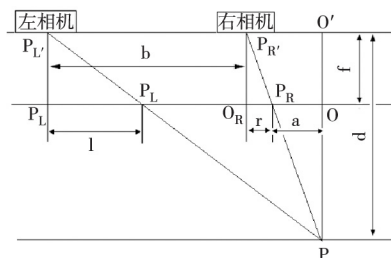


图2 机器人路径规划的测距定位模型

在图2所示的机器人路径规划的测距定位模型中,机器人对目标跟踪的视觉测量数据分布模型 $m_j(j=1,2,\dots,m)$ $\forall m_j \in M$,以 $\hat{x}^{0j}(k-1/k-1)$ 和 $P^{0j}(k-1/k-1)$ 为输入姿态数据集,在机器人行为空间的三维世界坐标系中进行信息融合^[10],得到信息融合的状态方程为:

$$Z_c \begin{bmatrix} U \\ V \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{f}{d_x} & 0 & U_0 & 0 \\ 0 & \frac{f}{d_y} & V_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ T \\ O^T \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中 Z_c 表示机器人在纵向运动区域内与激光传

传感器的基阵的垂直距离, (x_w, y_w, z_w) 表示知机器人运动行为空间内第 m 个信息融合特征点分布的世界坐标系坐标 (U, V) 表示机器人路径跟踪的中心像素点 (U, V) 表示机器人路径偏移转移坐标。 d_x 和 d_y 分别在水平和垂直方向机器人与激光传感节点的距离^[11]。

在对目标的位置 θ_{goal} 未知的情况下, 路径曲线的偏离流形阵列通过第一帧的观测值进行修正, 在 C -空间得到机器人路径规划的信息融合映射为: $\tau: [0, 1] \rightarrow C_{free}$ 在激光传感下, 路径偏离的相位为 $\tau[0] = \theta_{start}$ $\tau[1] = \theta_{goal}$ $(p_{obj}, g_c) \rightarrow f(\theta_{goal})$ 。根据上述分析在 7 个自由度的运动空间内, 得到路径规划的轨迹分布模型如图 3 所示。

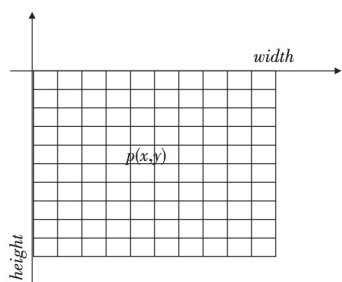


图 3 机器人路径规划轨迹分布模型

3 路径规划优化实现

3.1 机器人位姿参量动态跟踪识别

在采用激光传感器进行机器人行为三维空间的环境数据和姿态数据采集, 对采集的机器人激光传感数据进行信息融合处理的基础上, 进行机器人路径规划算法优化设计, 本文提出基于激光传感器的机器人路径规划方法。提取机器人路径的三维惯性姿态参量信息^[12], 得到参量信息分布矩阵为:

$${}^{i-1}T_i = \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i & 0 & a_{i-1} \\ s\theta_i c\alpha_{i-1} & c\theta_i c\alpha_{i-1} & -s\alpha_{i-1} & -d_i s\alpha_{i-1} \\ s\theta_i s\alpha_{i-1} & c\theta_i s\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1} & d_i c\alpha_{i-1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: s 表示机器人三点支撑的驱动选择角度 θ 的正弦, c 表示取角度 θ 的余弦。将各连杆变换相乘, 得到机器人的对目标的位置的空间变换矩阵 ${}^0T = {}^0T_1 {}^1T_2 {}^2T_3 {}^3T_4 {}^4T_5 {}^5T_6$ 。在激光传感下, 机器人相对运动的位置的向量分布齐次矩阵 ${}^{i-1}T_i(q_i)$ 可表示为:

$${}^{i-1}T_i(q_i) = \begin{bmatrix} c_i & -c_{\alpha_i} s_i & s_{\alpha_i} s_i & a_i c_i \\ s_i & c_{\alpha_i} c_i & s_{\alpha_i} c_i & a_i s_i \\ 0 & s_{\alpha_i} & c_{\alpha_i} & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

在机器人的世界坐标系 Σ_i 中, 机器人的路径规划模型可用 4×4 的齐次坐标矩阵 ${}^i T_0(\alpha_0, \beta_0, \gamma_0)$ 表示 ($\equiv {}^i T_0(\theta_1, \theta_2, \theta_3)$)。对激光传感器采集的机器人行为姿态数据 $p_i = [x_i, y_i, z_i]^T$ 进行信息融合, 得到机器人的行走偏离角 α_0 , 俯仰角 β_0 和旋转角 γ_0 , 机器人的轨迹偏离角 α_0 是绕 z 轴线性相关的。将机器人路径规划的角度偏离信息进行反馈修正^[13-14], 在执行器中机器人路径规划的位姿参量动态跟踪矩阵描述为:

$${}^4 T_7 = \Pi_{i=5}^{7i-1} T_i(q_i) = \Pi_{i=4}^{1i-1} T_i^{-1}(q_i) \cdot {}^0 T_4 = \begin{bmatrix} n_e & o_e & a_e & p_e \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

利用奇异值分解进行特征分解, 得到机器人的初始轨迹偏离向量 ${}^0 T_1^{-1}$, 根据迭代寻优, 实现对机器人的路径偏离的实时反馈控制^[15]。

3.2 路径规划的实现流程

在提取机器人路径的三维惯性姿态参量信息, 采用 Kalman 滤波方法进行机器人位姿参量动态跟踪识别的基础上, 得到机器人路径轨迹分布的旋转组合 $R(\theta_1, \theta_2, \theta_3) = R_z(\theta_1) R_y(\theta_2) R_x(\theta_3)$, 路径规划规划的最优参量估计值 $\dot{\theta} = \dot{\theta}_{min} + k \nabla H(\theta)$, 最小范数解 $\dot{\theta}_{min} = \dot{\theta}_p - \left[\frac{\dot{\theta}_p^T \dot{\theta}_h}{\dot{\theta}_h^T \dot{\theta}_h} \right] \dot{\theta}_h$, $\dot{\theta}_p = \begin{bmatrix} 0 \\ J_M^{-1}(\dot{p}_e - kJ \nabla H) \end{bmatrix}$ (为 $\dot{\theta}$ 的一个特解)。综上分析, 根据 Lyapunov 动态跟踪原理, 将机器人的路径规划参数反馈到机器人的末端执行器中^[16], 实现路径规划优化设计, 算法的实现流程图描述如图 4 所示。

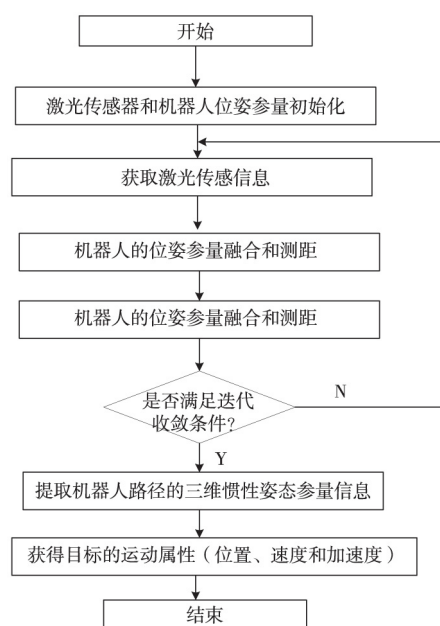


图 4 机器人路径规划实现流程图

4 仿真实验与性能分析

为了测试本文方法在实现机器人路径规划中的应用性能,进行仿真实验,实验采用 Matlab 设计,研究的机器人为德国 SMRT 公司生产的 Constant Velocity II 型仿生机器人,机器人路径规划的环境参数信息分

布特征向量为 $Q_1(k) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ 、 $R_1(k) = 0.2 \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$;

机器人的初始位姿参数分布特征向量为: $Q_2(k) = 5$

$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ 、 $R_2(k) = 0.2 \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$;在常转弯模型下,机器

人的转弯角速度设定为: $\omega_1 = 0.0349(\text{rad/s})$,空间路

径曲线偏离裤子为 $Q_3(k) = 10 \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$,特征参量分布

模型为 $R_3(k) = 0.1 \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ 。在爬坡路径规划环境下的

俯仰角度为 $\omega_2 = -0.0349(\text{rad/s})$,爬坡路径的惯

性力矩为 $Q_4(k) = 10 \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$,势能函数分布矩阵为 R_4

$(k) = 0.1 \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ 机器人的激光传感信息采样时间 $T = 0.04\text{s}$,在各个模型中进行路径规划切换的模型转移概率为:

$$P = \begin{bmatrix} 0.97 & 0.01 & 0.01 & 0.01 \\ 0.01 & 0.97 & 0.01 & 0.01 \\ 0.01 & 0.01 & 0.97 & 0.01 \\ 0.01 & 0.01 & 0.01 & 0.97 \end{bmatrix}$$

根据上述仿真环境和参数设定,进行机器人路径规划仿真实验,设计障碍物数量为 5,障碍物之间的间隔距离满足均值为 1,方差为 0.23 的正态分布,得到初始位置分布图如图 5 所示。路径规划输出如图 6 所示。

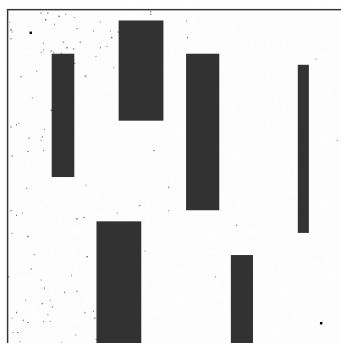


图 5 初始位置分布图

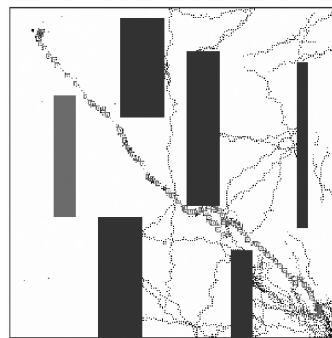


图 6 路径规划结果

分析图 6 得知,采用本文方法进行机器人路径规划的避障效能较好,测试采用不同方法进行路径规划的路径轨迹跟踪精度,得到结果如图 7 所示。

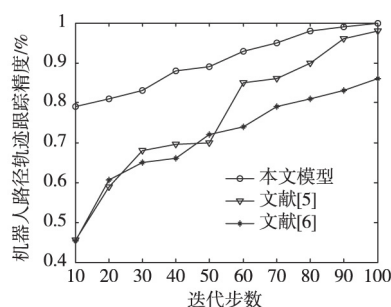


图 7 机器人路径规划的轨迹跟踪精度对比

分析图 7 得知,采用本文方法进行路径规划的精度较高,比文献[5]方法提高 12.7%,比文献[6]方法提高 18.6%,各个姿态运动参量的跟踪性能较好,机器人运动学惯性参数的自适应修正能力较强。测试不同方法的计算时间开销,见表 1,分析表 1 得知,本文方法进行机器人路径规划的计算时间开销较短,说明机器人的路径规划和实时控制能力较强。

表 1 时间开销对比(单位:s)

路径长度/m	本文方法	文献[5]	文献[6]
20	2.45	5.43	4.32
50	3.12	6.57	4.76
100	3.87	8.09	7.34

5 结语

研究机器人的路径规划方法,实现机器人的智能行走和路径优化控制,减少机器人不必要的行动轨迹,提高机器人对环境的适应能力,本文提出基于激光传感器的机器人路径规划方法。进行激光传感器的分布式阵列设计,采用激光传感器进行机器人的环境数据采集,对采集的环境数据进行信息融合和机器人的三维控制,结合姿态传感动态跟踪技术进行路径规划设计,将机器人的路径规划参数反馈到机器人的

末端执行器中,实现机器人路径规划优化。分析得知,本文方法提高了机器人路径规划的精度,降低了时间开销,具有很好的应用价值。

参考文献

- [1] 司媛媛,何斌.基于 CPG 和小脑模型的双足机器人行走控制[J].系统仿真技术,2017,13(1):6-10.
- [2] ZHANG X L, GONG J Q, YAO Y A. Effects of head and tail as swinging appendages on the dynamic walking performance of a quadruped robot[J]. Robotica, 2016, 34(12): 2878-2891.
- [3] SHI R D, ZHANG X L, TIAN Y B, et al. A CPG-based control method for the rolling locomotion of a desert spider[C]//IEEE Workshop on Advanced Robotics and Its Social Impacts. Piscataway, USA: IEEE, 2016: 243-248.
- [4] TUNC L T, SHAW J. Experimental study on investigation of dynamics of hexapod robot for mobile machining[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2016, 84(5-8): 817-830.
- [5] WANG Z L, GAO Q, ZHAO H Y. CPG-inspired locomotion control for a snake robot basing on nonlinear oscillators[J]. Journal of Intelligent and Robotic Systems, 2017, 85(2): 209-227.
- [6] TANG L, WANG J, ZHENG Y, et al. Design of a cable-driven hyper-redundant robot with experimental validation[J]. The International Journal of Advanced Robotic Systems, 2017, 14(5): 1-12.
- [7] 高琴,王哲龙,胡卫建,等.基于振荡器模型的蛇形机器人的步态仿真[J].系统仿真学报,2015,27(6):1374-1380.
- [8] 汪明,喻俊志,谭民,等.机器海豚多模态游动 CPG 控制[J].自动化学报,2014,40(9):1933-1941.
- [9] 王俊刚,汤磊,谷国迎,朱向阳.超冗余度机械臂跟随末端轨迹运动算法及其性能分析[J].机械工程学报,2018,54(3):18-25.
- [10] 张丹凤,李斌,王立岩.基于连续体模型的蛇形机器人质心速度跟踪控制方法[J].机器人,2017,39(6):829-837.
- [11] 贾松敏,白聪轩,王丽佳,等.多特征分块匹配的移动机器人目标跟踪[J].电子设计工程,2016,24(01):23-25.
- [12] 曹玉丽,史仪凯,袁小庆,等.自平衡机器人变论域模糊 PID 控制研究[J].计算机仿真,2013,30(2):347-350.
- [13] 段宇,侯宇.轮式管外攀爬机器人结构设计与动力特性分析[J].机械设计与制造工程,2016,45(12):17-20.
- [14] 史瑞东,张秀丽,姚燕安.基于 CPG 的沙漠蜘蛛机器人多模式运动控制方法[J].机器人,2018,40(2):146-157.
- [15] 王悦,贾英宏,徐世杰.冗余空间机械臂粗捕获段无碰撞轨迹规划算法[J].中国空间科学技术,2012(3):49-56.
- [16] LIU S, ZHANG Q, ZHOU D. Obstacle avoidance path planning of space manipulator based on improved artificial potential field method[J]. Journal of the Institution of Engineers (India): Series C (Mechanical, Production, Aerospace and Marine Engineering), 2014, 95(1):31-39.