

耕作机器人双三点定位及其目标图拟合控制^{*}

阎勤劳¹ 高 迟² 查光兴¹ 程正伟¹ 薛少平¹

(1. 西北农林科技大学机械与电子工程学院, 陕西杨凌 712100; 2. 莱芜职业技术学院机电系, 莱芜 271100)

【摘要】 为了提高耕作机器人控制位姿精度, 提出双三点定位和目标图拟合控制方法, 以双三点定位算法与耕作目标图的拟合实现机器人在自主移动过程中的位置定位和姿态定位, 利用激光测距传感器和超声波接收器构建了测试系统并进行了实验。结果表明, 该定位方法提高了运算速度和控制精度, 随着耕作机器人行进速度的提高, 其绝对误差有所增大, 而相对误差明显下降, 耕作机器人对凸出地面的障碍物比较敏感, 增加机器人的质量会增强其稳定性。

关键词: 耕作机器人 双三点 拟合 位姿

中图分类号: TP242.3; TP273+.4

文献标识码: A

Double Three-point Fix and Objective Diagram Fitting Controlling of Farming Robot

Yan Qinlao¹ Gao Chi² Zha Guangxing¹ Cheng Zhengwei¹ Xue Shaoping¹

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

2. Mechanical and Electronic Department, Lailu Vocational and Technical College, Lailu 271100, China)

Abstract

In order to raise position and posture precision of farming robot, double three-point fix disposition principle and method of farming autonomous mobile robot were proposed which were used to implement position and posture precision of the robot when it was moving independently, and the laser survey sensor and ultra audible sound receiving sensor were employed to build up the measure and test system and realized examination. The experiments show that operation speed and controlling precision are increased by using the methods, its absolute error is aggrandized, whereas its relative error is reduced obviously, and it is sensitive for barrier on the ground, and its stability can enhance by raising its weight.

Key words Farming robot, Double three-point, Fitting, Position and posture

引言

耕作机器人在复杂环境中应具有自规划、自组织、自适应的能力。要使机器人能迅速、无碰撞地到达目标位置, 就必须准确定位。GPS 定位技术目前已被广泛应用^[1], 但是不能满足农用机器人在生产和工程中的具体移动定位问题^[2], 或者说高精度高速度的移动要求。在机器人自主移动中, 定位精度

通常受到信号状况和工作环境的影响, 同时还受到系统惯性、误差、噪声等诸多因素的影响, 很难实现精确定位。

相对定位^[2]由于误差积累, 不适合精确定位, 通常采用卡尔曼滤波的方法加以改进^[3-4]。在绝对定位^[5]中, 机器人传感系统通过对路标的感知, 可以根据一些测量参数进行定位。三点定位和双三点定位法可实现自主机器人移动过程中的实时定

收稿日期: 2008-10-06 修回日期: 2009-01-19

^{*} 国家星火计划资助项目(2005EA850034)

作者简介: 阎勤劳, 教授, 博士生导师, 主要从事机电一体化与机器人技术研究, E-mail: yanqinlao@yahoo.com.cn

通讯作者: 薛少平, 研究员, 主要从事现代农业装备研究, E-mail: shaoping@nwsuaf.edu.cn

位,通过预置工作目标地图的拟合,将绝对定位和相对定位相结合,提高机器人定位的运算速度和精度。本文利用自主移动机器人在2-D平面上扫描获得外部环境的轮廓特征及其定位信息,实现相对两固定点的绝对定位,从而避免误差积累,提高适合区域工作目标的定位精度。

1 耕作机器人的双三点定位

1.1 三点定位装置及其工作原理

耕作机器人三点定位装置如图1所示,2个激光雷达测距传感器分别安装在能够监测机器人工作目标区且利于坐标定位和计算的适当位置A和B处。2个超声波接收器分别安装在机器人前、后部的C和D处,实时接收A和B处激光雷达测距传感器发出的超声波信号,实现测距,并可计算出机器人的相应距离和角度,通过和预置工作目标区地图的比较拟合,最终完成移动机器人的完全自主定位。

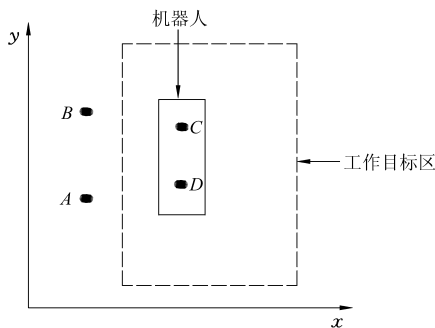


图1 激光雷达测距传感器的安装位置示意图

Fig.1 Installation site of laser radar range-finder

1.2 三点定位算法

三点定位原理如图2所示,设测距传感器发射点A和B的坐标为 (X_A, Y_A) 、 (X_B, Y_B) ,并使AB平行于Y轴,垂直于X轴作为定位参考,A、B均设置在目标工作区左边,且固定A、B距离为 l_0 。机器人行走路径S上点的坐标为 (X, Y, θ) , θ 是机器人当前所处位置对坐标轴方向的方位角,定位的机器人当前的位置为 $S_i(X_i, Y_i, \theta_i)$, $i=1,2,\dots,n$ 。任取路径S上一点 $C(X_{ci}, Y_{ci}, \theta_{ci})$,C和图1中的D

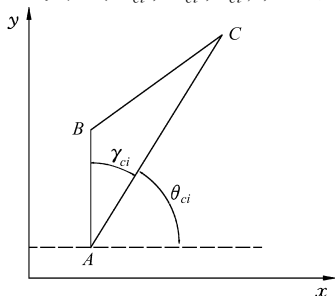


图2 耕作机器人三点定位原理示意图

Fig.2 Three point robot localization sketch

$(X_{di}, Y_{di}, \theta_{di})$ 设置在机器人车身中心的对称位置,前后放置。对于点 $C(X_{ci}, Y_{ci}, \theta_{ci})$,AC、BC距离可由测距仪测定,分别设为 l_{aci} 和 l_{bci} ,则AB和AC的夹角为

$$\gamma_{ci} = \arccos\left(\frac{l_0^2 + l_{aci}^2 - l_{bci}^2}{2l_0l_{aci}}\right) \quad (0 \leq \gamma_{ci} \leq 90^\circ) \quad (1)$$

得点 $C(X_{ci}, Y_{ci}, \theta_{ci})$ 坐标为

$$\begin{cases} \theta_{ci} = 90^\circ - \gamma_{ci} \\ X_{ci} = X_A + l_{aci} \cos \theta_{ci} \\ Y_{ci} = Y_A + l_{aci} \sin \theta_{ci} \end{cases} \quad (2)$$

1.3 双三点定位算法

利用三点定位只能定位路径S的坐标为 (X, Y, θ) ,不能确定机器人的姿态。采用双三点定位,即同时测算点 $C(X_{ci}, Y_{ci}, \theta_{ci})$ 和点 $D(X_{di}, Y_{di}, \theta_{di})$ 坐标,可确定机器人姿态,并完成定位。图3中点C $(X_{ci}, Y_{ci}, \theta_{ci})$ 坐标已求出,同理设AD、BD距离可由测距仪测定,分别设为 l_{adi} 和 l_{bdi} ,则AB和AD的夹角为

$$\gamma_{di} = \arccos\left(\frac{l_0^2 + l_{adi}^2 - l_{bdi}^2}{2l_0l_{adi}}\right) \quad (0 \leq \gamma_{di} \leq 90^\circ) \quad (3)$$

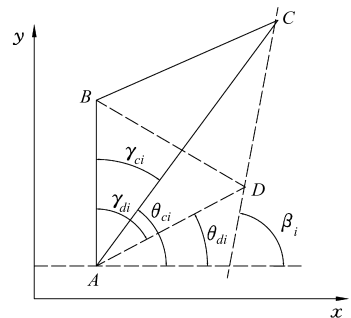


图3 机器人双三点定位示意图

Fig.3 Double three robot localization sketch

得点D坐标为

$$\begin{cases} \theta_{di} = 90^\circ - \gamma_{di} \\ X_{di} = X_A + l_{adi} \cos \theta_{di} \\ Y_{di} = Y_A + l_{adi} \sin \theta_{di} \end{cases} \quad (4)$$

得CD的斜率

$$K = \frac{Y_{di} - Y_{ci}}{X_{di} - X_{ci}} \quad (5)$$

则

$$\beta_i = \arctan K \quad (6)$$

此即机器人行走路径S上i点的机器人位姿角,即为机器人的方向角。实际应用中可取CD中点为此时刻的机器人位置

$$\begin{cases} X_i = \frac{X_{ci} + X_{di}}{2} \\ Y_i = \frac{Y_{ci} + Y_{di}}{2} \end{cases} \quad (7)$$

然后再由 X_i 和 Y_i 求出 θ_i ,这样就确定机器人

在 i 点的位置 (X_i, Y_i, θ_i) , $i = 1, 2, \dots, n$, 位姿角为 β_i 。

2 工作目标区地图的预置拟合

2.1 地图预置

在工作前将工作环境图提前存储在机器人控制器中,地图的存储模型必须和测距传感器的数据相适应,以避免不必要的计算。同时地图也必须包含环境中所有可能用于定位的特征信息,主要由位姿跟踪、地图获取组成。位姿跟踪是机器人在行走中对其位置和姿态的估计过程,在二维环境中,移动机器人的位置通常使用三元组 (X, Y, θ) 表示,其中, (X, Y) 表示移动机器人相对坐标位置(平移分量), θ 表示其方位(旋转分量)。在位姿跟踪问题中,移动机器人的初始位姿是已知的,由操作者初始设定。

地图获取是移动机器人位姿已知的情况下与环境地图的拟合过程,移动耕作机器人基于地图进行定位和导航。地图主要表达形式有:①栅格地图,是将工作空间分为若干栅格,每一单元代表环境的一部分,并包含一个表示该单元格被占据可能性的概率值,它对特定感知系统的假设参数不敏感,具有较强的鲁棒性。②特征地图,通过对环境特征的提取和参量化描述来表征环境,具有直观、精度高的特点,运用参量法描述几何特征尤其适合于不同坐标系之间的转换以及对不同传感器信息的融合。③拓扑地图,由拓扑节点和连接节点的边组成,抽象度高,适合于大环境的结构化描述。

移动机器人的位姿估计基于对外部环境的感知和理解,需要拟合环境地图,而环境地图的创建拟合又需要精确的定位。因此,移动机器人的定位和地图拟合是相互依赖的过程,在进行地图拟合的同时做位姿估计,即时定位与地图拟合方法与地图表达形式密切相关。基于环境特征的移动机器人即时定位与地图拟合的过程将分为以下3个步骤:①基于外部感知的环境特征提取。②递推形式的预测和更新算法。③相应的数据相关技术。

2.2 拟合实验

实验采用自制的4轮机器人,测距传感器选用激光雷达测距仪(型号为NM-500),接收采用超声波传感器(型号为UNAM18),通过PC机完成数据的处理,配置直流脉宽伺服控制系统,采用直流伺服电动机驱动,电动机功率 $0.6 \times 2 \text{ kW}$ 。采用环境特征地图拟合的提取和参量化描述来实现三点与双三点定位和目标图的拟合算法。

机器人实验在以下3种情况下进行,其实验误差均通过在主路径两边平行等距划线来确定。

(1) 车质量 100 kg,地面平坦,无障碍物,分别对不同速度进行实验,实验结果如表1所示。

表1 变速度条件下绝对误差

Tab.1 Experimental results in variable speed conditions

实验序号	速度/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$				
	1	2	5	7	10
1	5	3	5	10	15
2	3	5	8	8	12
3	5	4	5	5	10
4	2	3	5	8	15

(2) 车质量 100 kg,车速 2 m/s,加不同障碍物进行实验,障碍物(石头、小沟、小坑)设置前提是机器人能通过,实验结果如表2所示。

表2 不同障碍物条件下绝对误差

Tab.2 Experimental results conditions of different obstacles

实验序号	障碍物				
	沙土	小石子 ($\phi \leq 3 \text{ cm}$)	石头 ($\phi \geq 5 \text{ cm}$)	小沟 ($b \leq 8 \text{ cm}$)	小坑 ($\phi \geq 10 \text{ cm}$)
1	4	8	10	5	5
2	5	5	20	4	8
3	5	5	10	5	8
4	4	5	8	5	5

(3) 车速 2 m/s,地面平坦,无障碍物,增加车质量进行实验,数据如表3所示。

表3 变车质量条件下绝对误差

Tab.3 Experimental results in conditions of variable weight

实验序号	车质量/kg				
	100	200	300	400	500
1	4	4	3	4	4
2	5	4	4	2	3
3	4	3	4	3	3
4	4	4	3	3	2

从表1实验结果可以看出,采用环境特征地图拟合的提取和参量化描述来实现三点与双三点和目标图的拟合算法后,机器人的行进速度在 2 m/s 以内时(即 7.2 km/h,该速度接近耕作机器的行进速度),其绝对误差小于等于 5 cm,则其相对误差小于等于 2.5%,可见其控制精度很高;当行进速度在 7 m/s以内时,其绝对误差小于等于 8 cm,其相对误差小于等于 1.1%;但是,当机器人的前进速度大于

10 m/s后,其绝对误差显著增大,达到 15 m/s,而其相对误差小于等于 1.5%。随着机器人行进速度的增大,其绝对误差也增大,这可能是由于数据采集系统的芯片处理速度较低或无轨行走及其滑差所致,从观察结果看,滑差应该是主要原因。从一般经验来说,数据采集芯片(TMS320LF2407)和直流伺服系统的响应速度足以满足机器人在地面的控制要求。实际上,耕作机械的作业速度不会超出 5 m/s,所以应该认为,其控制精度足已满足耕作要求。

从表 2 的实验结果可知,一般的沙土地以及小石子、小坑、小沟对机器人的控制精度影响不大。但耕作机器人对凸出地面的障碍物比较敏感,在耕作环境里,田埂将是影响耕作机器人控制精度的重要因素。当然,采用地图拟合可以不断地校正控制误差,同时实际的耕作机器人的轮子直径(大于等于 $\phi 1000$ mm)要比实验样机的直径($\phi 240$ mm)大得多,这样会极大地改善其阻力角,减少控制误差,这个问题还应进一步研究。

从表 3 的实验结果可见,机器人质量增加会使误差有减小的趋势,增加耕作机器人的质量,有利于提高对机器人控制的稳定性。

各实验中误差值的增大与机器人行走的时间长短无关,证明了这种定位方法不产生累积误差。

3 结论

(1)采用三点及双三点定位方法,能同时解决机器人的位置定位和姿态定位。通过实验说明该定位

方法适用于农田、室内、温室等机器人工作区域相对确定范围或有限的场合实现机器人自主移动定位应用,在大范围的定位上,也是卫星定位的补充和完善。

(2)采用三点及双三点定位方法时,与特征地图拟合提取环境特征与参量来表征环境,适合于不同坐标系之间的转换以及对不同传感器信息的融合。与拓扑地图的拟合其抽象度较高,适合于大环境的结构化描述。与栅格地图的拟合因其对特定感知系统的假设参数不敏感,具有较强的鲁棒性,故对检测系统的要求不高。

(3)机器人定位首先利用三点定位法计算完成机器人车身点定位,再利用双三点定位法计算完成姿态的定位,然后算出机器人位置。机器人在接近耕作机器的行进速度(2 m/s 或 7.2 km/h)时,其绝对误差小于等于 5 cm,相对误差小于等于 2.5%,控制精度很高;机器人质量增加会使误差有减小的趋势,增加耕作机器人的质量,有利于提高对机器人的控制的稳定性;误差值的变化与机器人行走的时间长短无关,说明利用双三点定位法不会产生累积误差。

(4)在实验条件下采用三点及双三点定位与特征地图拟的方法是可行的,并具有一定的优势。但是,实验样机和耕作机器的输出转矩、结构参数有较大的差别,所以,下一步的目标应解决大转矩耕作机器的响应滞后、测控系统的反馈校正能力和系统算法的鲁棒性问题。

参 考 文 献

- 1 Mouaddib E M, Marhic B. Geometrical matching for mobile robot localization[J]. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 2000, 16(5): 542~552.
- 2 Borenstein J, Everett H R, Feng L, et al. Mobile robot positioning: sensors and techniques[J]. Journal of Robotic Systems, 1997, 14(4): 231~249.
- 3 Olson C F. Probabilistic self-localization for mobile robots[J]. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 2000, 16(1): 55~66.
- 4 Zalama E, Gaudio P, Coronado J L. A real-time, unsupervised neural network for the low-level control of a mobile robot in a nonstationary environment[J]. Neural Network, 1995, 8(1): 103~123.
- 5 张祥德, 牛纪祥, 董再励. 基于测角的自主移动机器人定位算法[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2002, 23(12): 1143~1146.
Zhang Xiangde, Niu Jixiang, Dong Zaili. Localization algorithm of autonomous mobile robot on measuring[J]. Journal of Northeastern University: Natural Science, 2002, 23(12): 1143~1146. (in Chinese)
- 6 阎勤劳, 邢作常, 冯涛, 等. 温室移动机器人避障功能的研究[J]. 农业机械学报, 2006, 37(5): 110~112.
Yan Qinlao, Xing Zuochang, Feng Tao, et al. Study on obstacle avoidance to mobile robot in greenhouse[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(5): 110~112. (in Chinese)