

文章编号: 1002-0446(2001)05-0400-05

用于移动机器人的视觉全局定位系统研究*

魏芳¹ 董再励² 孙茂相¹ 王晓蕾²

(1. 沈阳工业大学信息科学与工程学院, 2. 中国科学院沈阳自动化研究所机器人学开放研究实验室 110015)

摘要: 本文叙述了用于移动机器人自主导航定位的一种视觉全局定位系统技术. 该视觉定位系统由 LED 主动路标、全景视觉传感器和数据处理系统组成. 本文主要介绍了为提高全景视觉图像处理速度和环境信标识别可靠性、准确性的应用方法, 并给出了实验结果. 实验表明, 视觉定位是具有明显研究价值和前景的全局导航定位技术.

关键词: 移动机器人; 视觉全局定位; 合作路标

中图分类号: TP24 **文献标识码:** B

A VISION GLOBAL LOCATION SYSTEM TECHNIQUE FOR MOBILE ROBOTS

WEI Fang DONG Zai-li SUN Mao-xiang WANG Xiao-lei

(1. School of Information Science and Eng. Shenyang University of Technology;

2. Shenyang Institute of Automation, Robotics Laboratory, The Chinese Academy of Sciences 110015)

Abstract: This paper describes a vision global location system for mobile robot systems. It uses a global observation sensor to observe some artificial landmarks mounted in a work place. And then a data processing is used to obtain the sensor position and orientation in the environment. This paper mainly describes some improved methods of reliability and image processing speed for image target recognition, the optimal method for location calculation is mentioned as well. At last, the experiments are given to testify that such methods used for the vision sensor system are effective to guide a mobile robot system by global environments.

Keywords: mobile robot, vision global location, active landmark

1 引言(Introduction)

移动机器人要自主地完成路径规划、避碰和预定的作业任务, 就需要实时知道自身相对于外部世界的位置和姿态. 因此, 自主定位是移动机器人的一项重要重要的基本功能.

现有的移动机器人自主定位系统主要有两类: 相对定位系统和绝对定位系统. 相对定位系统如里程计和惯导系统, 是通过测量机器人相对于初始位置的距离和方向来确定机器人的当前位置, 其特点是长时间累计定位误差大, 不适于精确定位. 绝对定位系统则通过测量移动机器人的绝对位置来实现定位, 定位精度较高, 可以用来修正相对定位系统的误差. 最典型的绝对定位方法是信标定位方法: 即在机

器人的工作空间中设置一定的已知位置的信标, 通过特定的车载传感器测出传感器与信标间的位置关系来实现机器人定位. 根据测量参数的不同可分为三边测量法和三角测量法. 前者通过测量已知信标与传感器间的距离来实现定位, 如超声定位系统和 GPS 定位系统. 后者通过测量已知信标与传感器间的夹角来实现定位, 如激光扫描定位系统和视觉定位系统.

视觉定位方法是近年来发展起来的一种先进的定位方法. 利用摄像机摄取包含信标的图像信息, 经图像处理提取并识别信标, 再根据信标的先验知识, 计算出传感器在环境中的位姿. 当传感器与载体的位置关系已知时, 则载体在这个环境中的位置和方

向就可以同时计算出来. 如果这种位姿数据可以实时在线计算, 就满足了移动状态下的自主定位.

本文介绍了一种基于视觉信息的全局定位方法和系统实现技术. 首先概述了采用视觉定位导航的监控移动机器人系统的结构及其工作原理和特点. 然后讨论了视觉定位的实现方法, 包括如何运用图像处理技术快速准确地实现环境信标特征的提取与识别, 以及如何运用残差法完成位置解的计算. 最后给出在监控移动机器人系统上得到的实验结果. 实验证明, 该视觉定位传感器具有较高的定位精度和采样速率, 可以实时为移动机器人提供局域环境中的绝对位置和方向, 实现了移动机器人在确定环境中的位置闭环控制, 达到了较好的定位导航效果.

2 系统结构(System configuration)

具有全局定位传感器的监控式移动机器人系统结构如图 1 所示. 监控系统通过人机界面获得任务和初始数据, 下发给机器人规划控制系统. 同时不断接收各移动机器人(速度、方向、位置和传感器状态)的当前状态, 并在图形界面上显示, 以实现移动机器人的实时监控和协调. 监控系统与机器人之间通过无线网络通信. 任务下达后, 车载运动规划控制系统根据机器人的当前位置、周围环境情况和指令内容, 规划出运动参数, 下传至伺服控制系统驱动机器人运动. 定位传感器由摄像机、半球全景反射镜和支撑机构组成. 采集的图像传送至数据处理计算进行图像处理和定位计算. 此外载体还装有超声传感器, 可检测出机器人前进方向和周围的障碍, 并构造出进行方向上的障碍分布. 位姿和障碍分布数据融合后传送至运动规划控制系统, 以实现自主运动.

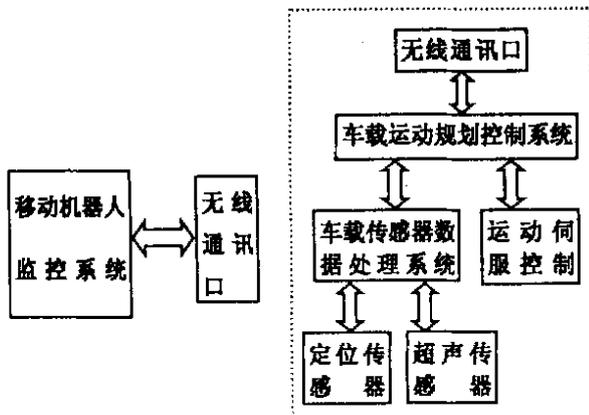


图 1 具有多传感器的监控移动机器人系统

Fig. 1 A supervision mobile robot system with multisensors

3 视觉定位系统与方法(Vision location system and positioning methods)

视觉定位系统结构图如图 2 所示. 该系统是由主动路标、全景视觉传感器和具有图像采集功能的数据处理计算机系统组成. 根据感知信息形式, 其定位计算模式采用三角定位原理(Triangulation). 该定位原理要求感知至少三个或三个以上的环境信标才能完成定位计算. 理论分析和实践证明, 在提供冗余信标时定位计算具有满意的精度和鲁棒性. 所以希望尽可能观察到足够多的路标再进行优化选择, 以保证采集到的路标信息满足位置计算精度的要求及定位计算的连续性和稳定性. 本系统采用的半球反射镜和 CCD 摄像机构成全景传感器, 其视场可以达到 360°. 数据处理主要分成两部分: 一是图像采集与处理, 完成图像读入和区域处理, 信路标的识别、匹配、组合优化. 然后进行定位计算, 计算出传感器系统在环境坐标系中的位置和方向. 如果该传感器系统安装在移动机器人上, 通过坐标变换, 将机器人定位在这个环境坐标系中. 下面简要介绍该系统采用的视觉定位方法和基本理论.

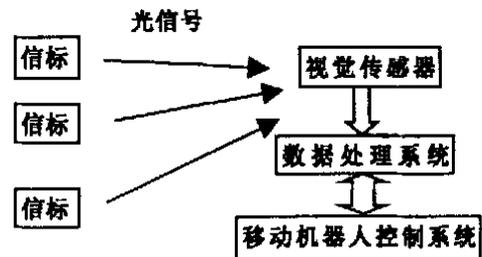


图 2 视觉定位传感系统结构图

Fig. 2 Configuration of vision location system

3.1 视觉图像处理

采用视觉定位方法分为二个阶段. 首先是图像处理, 其难点在于如何保证定位系统设计功能实现的前提下具有实时性和鲁棒性. 根据三角定位原理, 视觉信息定位导航要求视觉图像处理能够正确快速的提取和识别图像中的信标, 再根据先验知识完成图像信标与实际信标的正确匹配. 在正确匹配的基础上, 才能根据信标优化策略选取合适的信标组合进行定位计算. 因此, 视觉图像处理方法的优劣是能否实现快速准确视觉定位计算的关键.

3.1.1 信标的搜索和识别

视觉图像处理首先完成图像信标的识别. 这个过程在定位计算的数据处理中占有相当大的比重.

其结果对系统的定位效果具有决定性影响. 本系统采用了一种快速信标搜索方法, 该方法改变了在全幅图像上扫描搜索信标的方式. 根据预先估计的传感器位置, 预测出信标在图像中可能出现的位置, 以此位置为基准确定适当的搜索窗口进行图像处理, 完成滤波、自适应阈值选取, 二值化分割与信标几何特征的提取.

搜索区域的确定: 由于采用球面形反射镜成像, 观测环境场景图像主要分布在以光心为圆心的圆环上, 而且投影方位角与直接观测角一致, 因此初始信标搜索可在一个圆环内进行. 在这个圆环内选取阈值并分割, 再用区域生长法来提取特征区域, 进行几何特征抽取. 运用特征比较和位置估计来确定图像信标. 当这个识别具有正确的匹配结果(定位计算结果与估计值相吻合)时, 就可以作为先验知识用于后续图像的信标识别. 当两次图像采样期间运动距离很小时, 同一信标在两幅图像上的位移也很小, 就可以把前次确定的信标位置作为这次该信标的搜索窗口中心. 搜索窗口大小可以是动态的, 可根据图像信标大小变化趋势来确定. **分割阈值的选取:** 主动信标方式下视觉定位系统所获取的图像中, 信标由于观测距离的远近、角度的变化, 成象灰度、大小和形状也在变化. 因此, 识别信标前需根据每个信标的不同位置情况来决定它们的分割阈值. 本系统采用的是信标所在的跟踪窗口内平均灰度与前一幅图像中该信标灰度的函数作为该窗口的阈值. 初始处理时, 因为没有先验知识无法预测图像信标的位置, 没有跟踪窗口, 所以无法应用上述方法. 此时可根据各信标与机器人间的连线相对于参考系正方向间夹角和环形搜索区域的大、小半径确定搜索区域, 再根据经验和自适应方法计算分割阈值.

当搜索区域完成分割后, 提取区域的几何特征, 与预先规定的信标特征(面积、长短轴比)进行比较, 选取最具可能性的分割区域作为图像信标. 当图像信标确定后, 计算出质心, 作为其图像位置, 就可以进行信标匹配了.

3.1.2 信标匹配

路标匹配就是把识别的图像信标与实际环境中的路标建立一一对应关系的过程. 由于图像路标相对于传感器的方位角与实际一致, 所以我们采用角度匹配的方法来进行路标的匹配. 匹配其中一个路标的步骤如下:

(1) 计算实际信标和图像信标与传感器正方向的夹角.

(2) 计算所有图像信标与实际信标 $k(k=1, 2, \dots, n)$ 的角度差 α_k .

(3) 取 $\min(\alpha_i(i=1, 2, \dots, m)) < T$ (设 $T=5^\circ$) 与实际信标 K 相匹配.

(4) 如果 $\min(\alpha_i) > T$, 则该实际信标无匹配对象.

(5) 该路标匹配结束, 转向下一个路标的匹配.

3.1.3 信标优化选择

由于视觉定位采用观测角定位, 属于不精确定位. 其定位精度不仅取决于信标位置和测角精度, 更大程度上取决于使用信标的分布和数量. 如果使用信标分布不当, 很小的测量误差就会导致很大的位姿(包括位置和方向)计算误差. 所以, 为提高定位精度, 必须对测得的路标做优化选择.

在定位算法中, 位姿解与测量参数之间不存在直接解析式表示, 很难用优化理论直接计算. 通过仿真和实验, 以及参考有关文献, 存在可参考的优化条件:

(1) 根据观测角定位原理, 信标数目应具有一定的冗余, 即 > 3 .

(2) 使用信标最好等间距分布, 设选择 n 个路标, 其相邻路标间的夹角分别为:

$\gamma_i(1 \leq i \leq n)$, 则: $\epsilon = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\gamma_i - 360/n)^2 / n}$, ϵ 越小越好.

(3) 所使用的信标相对传感器的距离尽量保持一致.

当定位传感器在随载体运动时, 各信标的观测角在不断变化. 如果存在冗余, 则参加定位计算的路标组合也在不断的变化. 信标组合切换时, 受绝对误差影响, 定位结果可能是不连续的. 在冗余情况下, 通过优化组合, 可以减小使用信标变化时定位计算产生的过大跳变. 本系统采用的信标选择原则是, 当识别信标冗余时, 使用 4 个信标按上述优化原则组合, 参加定位计算. 当识别信标 ≤ 4 时, 按存在的 4 个或 3 个信标直接进行定位计算.

3.2 定位算法

本系统采用的是基于残差最小二乘的迭代搜索多路标定位算法. 如图 3 所示. 已知点 A, B, C, D 的坐标 $(x_i, y_i), (x_j, y_j), (x_m, y_m), (x_n, y_n)$ 及它们与点 P 之间连线的夹角 l_{ij}, l_{jm}, l_{mn} (测量角) 和角度误差 v_{ij}, v_{jm}, v_{mn} . 定义参考方向(参考系 X 轴正向), 各点与 X 轴之间的夹角为 A_i, A_j, A_m, A_n . 则求解 P 点坐标 (x_p, y_p) . 步骤如下:

- (1) 给出 P 点的估计位置 $P(x_p^0, y_p^0)$.
- (2) 列出相邻两个路标之间夹角的条件方程

$$v_{ij} + l_{ij} = \arctan \frac{y_j - y_p}{x_j - x_p} - \arctan \frac{y_i - y_p}{x_i - x_p}$$

(点 A 与点 B 之间的夹角条件方程), 并对该式在点 (x_0, y_0) 处进行泰勒级数展开, 忽略高阶无穷小项, 整理写成矩阵形式.

- (3) 用最小二乘法求解.

(4) 对 $P(x_p^0, y_p^0)$ 进行修正, 代入(3)中再求解, 进行迭代. 当所得到的解达到要求的精度时, 就可停止迭代. 最后得到的修正值就是机器人的位置.

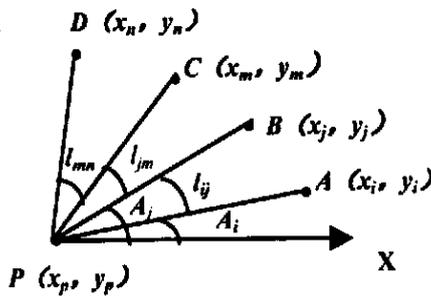


图 3 定位计算示意图

Fig. 3 Sketch of location method

4 系统实验及结果 (Experiments and results)

该视觉定位系统按第 2、3 节所述构成, 并安装在移动机器人系统上. 环境 $(7\text{m} \times 14\text{m})$ 中安放了 11 个由 LED 组成的信标. 采用上述定位方法, 静态测试表明该视觉定位传感器系统重复定位精度 $\leq 10\text{mm}$, 绝对定位精度 $\leq 2\text{cm}$, 采样速率 12 次/s. 由于该视觉定位机制与运动无关, 所以动态与静态效果相同. 图 4 是安装该定位系统后, 定位系统测得移动机器人的绝对运动轨迹 (相对环境坐标系). 该机器人以 100mm/s 的速度从点 $(-3000, 900)$ 开始运动, 走 $6000\text{mm} \times 1800\text{mm}$ 的一个矩形, 共走三圈的运动

轨迹. 图 4 是在里程计引导下(无定位位置反馈)的机器人运动轨迹. 图 5 是在视觉全局定位传感器引导下的机器人运动轨迹. 由实验可以看出, 单纯靠里程计进行移动机器人的定位存在累积误差, 而安装视觉定位系统后, 运动路径只与定位系统的精度和控制调节方式有关, 所以运动路径的重复性很好, 达到了位置闭环控制的效果. 而且其定位精度和速度都可以满足实际应用.

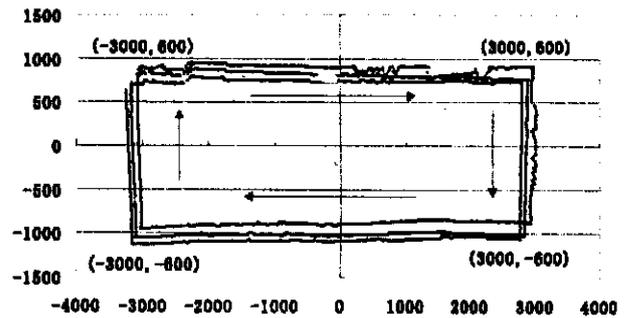


图 4 里程计引导下的机器人运动轨迹

Fig. 4 Robot track guided by meters

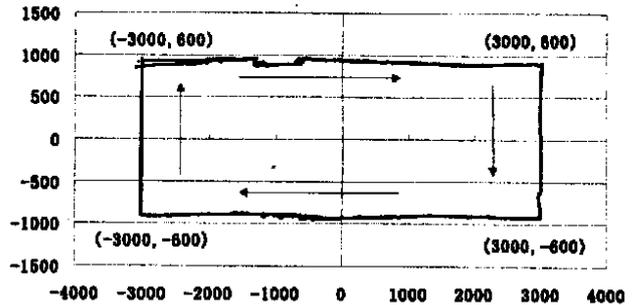


图 5 视觉定位传感器引导下的机器人运动轨迹

Fig. 5 Robot track guided by vision location sensor

表 1 给出了在上述实验环境中, 本文所述快速算法与传统算法(全面搜索识别与匹配)的耗时比较. 从表 1 中可以看出本系统采用的快速算法比传统算法减少了 50%.

表 1 计算时间比较 (Table 1 Comparison of calculation time)

实验次数	计算 100 次所用的时间(单位秒)					计算 500 次所用的时间(单位秒)				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
传统算法	16	16	16	16	16	80	80	80	82	80
快速识别算法	9	8	8	8	8	40	40	41	41	40