

# 基于多传感器的移动机器人路径规划

刘先恩<sup>1</sup>, 赵学敏<sup>1</sup>, 李 岩<sup>1</sup>, 郝 伟<sup>1</sup>, 闫连柱<sup>1</sup>, 赵瑞超<sup>2</sup>

(1. 南开大学自动化系, 天津 300071; 2. 南开大学电子信息科学与技术系, 天津 300071)

**摘 要:** 提出一种基于多传感器的移动机器人路径规划策略。利用声纳传感器和 CCD 摄像机对环境进行探测, 得到关于障碍物的信息, 通过一种简单、快速的数据融合算法计算出障碍物相对于机器人的位置坐标。采用切线法进行路径规划, 实现了移动机器人在不确定环境下的路径规划, 使机器人可以很好地避开障碍物, 并以局部最优或次最优路径到达指定位置。实验结果验证了该路径规划算法的良好性能。  
**关键词:** 移动机器人避障; 多传感器; 路径规划

## Path Planning for Mobile Robot Based on Multi-sensors

LIU Xian-en<sup>1</sup>, ZHAO Xue-min<sup>1</sup>, LI Yan<sup>1</sup>, HAO Wei<sup>1</sup>, YAN Lian-zhu<sup>1</sup>, ZHAO Rui-chao<sup>2</sup>

(1. Department of Automation, Nankai University, Tianjin 300071;

2. Department of Electronic Information Science and Technology, Nankai University, Tianjin 300071)

**【Abstract】** This paper proposes a novel method for mobile robot path planning. The data gotten from eight sonar transmitters mounted in the robot front is fused with that gotten from a CCD camera mounted on the robot back deck to obtain the location of obstacles. The algorithm needs much less calculation than that just uses vision, and more accurate than that uses sonar only. According to the fused obstacles information, a local best path for the robot is planned using the tangent method. Experimental results show that the method has an effective performance.

**【Key words】** obstacles avoidance for mobile robot; multi-sensors; path planning

### 1 概述

机器人是现代自动化与计算机等技术高度发展的产物, 随着各种支撑技术的不断发展, 它在反恐防暴、国防及日常民用等场合得到越来越多的应用。而移动机器人又以其工作空间大、适应性强等优点, 在近几年得到了快速的发展。对于移动的机器人, 首先要解决的就是避障与路径规划问题, 而这些问题依赖于机器人对外部环境信息的获取和对障碍物位置的探测。

获取障碍物信息的方法有:

(1) 文献[1-2]研究基于声纳的移动机器人, 但只采用声纳, 探测范围十分有限;

(2) 文献[3-4]研究基于机器视觉的移动机器人, 通过摄像头所覆盖视觉区域的信息来导航, 涉及多对共轭点的插值计算, 因此, 计算量复杂、实时性差。

可见, 每一种传感器都存在不足, 仅仅依靠单一的传感器是无法满足要求的。实际上, 在一些环境中, 同时使用视觉与声纳, 可以更快捷、高效地获得周围环境的信息, 因此, 利用多传感器信息融合技术来进行机器人导航。现在已经有许多利用单目视觉、图像序列、距离传感器等来实现机器人导航的研究。

文献[5]通过一种避免色度和亮度干扰的超声波和红外检测障碍物算法, 实现了机器人的避障和导航。本文将单个摄像机信息与一组声纳信息进行融合, 以获取周围环境信息, 并用切线法实现了局部最优路径规划。事实上, 路径规划的方法有很多种: 对于环境信息完全已知的全局路径规划问题, 已经提出了许多有效方法<sup>[6-8]</sup>。

对于不确定环境下的路径规划, 由于缺少全局地图信息, 因此只能采用局部路径规划。比较有代表性的局部路径规划

方法有: (1) 神经网络法<sup>[9]</sup>, 该方法避障速度快, 但是神经网络中的权值设定困难; (2) 模糊推理法<sup>[10]</sup>, 该方法最大的优点是实时性非常好, 但是模糊隶属函数的设计、模糊控制规则的制定主要靠人的经验, 如何得到最优的隶属函数以及控制规则是该方法最大的问题。笔者采用切线法, 该方法不仅计算量少, 而且实时性高, 具有良好的应用前景。

### 2 系统介绍

如图 1 所示, 整个移动机器人系统由 Pioneer3DX 移动机器人、一个固定在机器人上的 CCD 摄像机以及一台用于数据处理与机器人控制的服务器(笔记本电脑), 在移动机器人的前端分布 8 个声纳。



图 1 移动机器人系统

**基金项目:** 南开大学百项创新基金资助项目(06118); 工业控制技术国家重点实验室开放课题基金资助项目(0708001)

**作者简介:** 刘先恩(1984 - ), 男, 学士, 主研方向: 移动机器人路径规划, 机器视觉; 赵学敏、李 岩、郝 伟、闫连柱、赵瑞超, 学士

**收稿日期:** 2007-06-30 **E-mail:** liuxianen@mail.nankai.edu.cn

笔者分别通过 CCD 摄像机和声纳组对机器人的工作环境进行探测,然后在服务器上对获得的数据处理,并通过一种快捷、高效的数据融合算法将这些信息进行融合,从而得到环境中障碍物的位置信息,利用这些信息可以进行下一步的路径规划。为了更好地说明移动机器人路径规划过程,整个算法的逻辑结构见图 2。

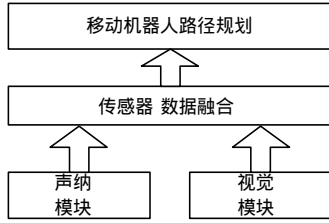


图 2 移动机器人路径规划策略的逻辑结构

### 3 探测障碍物信息

可用于探测障碍物信息的传感器主要可以分为两类：一类是距离传感器，如声纳和激光雷达；另一类是视觉传感器。如果仅仅使用声纳(组)来进行障碍物探测，那么它的探测面相当有限，不可能得到较为详尽的环境信息。激光雷达可以得到较高精度的环境中障碍位置信息，但是一方面它成本很高，不利于实际应用；另一方面很难实现物体识别功能，不利于移动机器人拓展其功能。与距离传感器相比，视觉传感器可以获取到更多关于机器人周围环境的信息，但是如果采用单目视觉，将不会得到障碍物的深度信息，如果采用双目视觉，则又存在计算量过大、成本过高等问题。本文充分利用声纳与单目视觉的优点，提出一种新颖且简单高效的障碍物定位方法。

#### 3.1 声纳模块

Pioneer 机器人共有 8 个声纳,分别朝向机器人前方的不同方向,声纳读数是在声纳所指方向上障碍物相对机器人之间的距离,范围为 10 cm~400 cm。这 8 个固定在机器人前端的声纳,只能探测到它们各自正前方一个很小区域的障碍物距离信息,在后面的数据融合一节中,将利用这些数据结合图像数据来获取更多的障碍物位置信息。

#### 3.2 视觉模块

在视觉模块中,使用的是一个固定安装在机器上的 CCD 摄像机,通过图像处理技术可以得到障碍物在图像上的位置信息,并能够计算出它在图像上的外接矩形。图像上可能会出现多个障碍物,把它们在图像上的外接矩形都保存下来。

在机器人的路径规划中,需要知道的是环境中障碍物的三维位置信息,但是通过摄像机得到的是二维图像,所以,将把这些二维信息与声纳数据进行融合,从而得到所需的障碍物三维坐标值。

### 4 数据融合

为了高效、准确地计算出路径规划所需要的障碍物位置信息,将前面 2 节中所得到的声纳与摄像机数据进行融合。图 3 表示机器人及前方障碍物俯视图,以机器人驱动轮的轴中心在 8 个声纳所在平面上的投影为原点,建立直角体系(机器人坐标系),定义沿驱动轮轴方向并由左轮指向右轮为  $X$  轴正方向,垂直  $X$  轴且竖直向上为  $Z$  轴方向,则根据右手法则可以得到  $Y$  轴指向机器人的正前方。 $O_1$  为机器人前端的 8 个声纳所在圆的圆心。 $O_2$  为摄像机光心, $O_2'$  是它在  $XY$  平面上的投影, $O_2'$  在机器人坐标系下的位置可通过摄像机标定得

到。 $AB$  为机器人前方的一个声纳探测到的障碍物,声纳波与障碍物的交点为  $Q$  点。下面通过声纳与视觉数据的融合来计算这两点的位置。

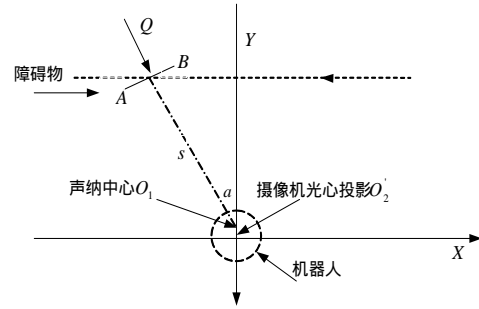


图 3 声纳与摄像机数据融合示意图

在图 3 中,声纳探测到的障碍物到机器人距离为  $s$ ,即  $\overline{O_1Q} = s$ 。由机器人有关参数可以得到声纳中心  $O_1$  在机器人坐标系下坐标值  $W_{O_1} = [X_{O_1}, Y_{O_1}, Z_{O_1}]^T$ ,于是  $Q$  点在机器人坐标系下的位置为

$$W_Q = \begin{bmatrix} X_Q \\ Y_Q \\ Z_Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{O_1} + s \sin \alpha \\ Y_{O_1} + s \cos \alpha \\ Z_{O_1} \end{bmatrix} \quad (1)$$

然后根据摄像机透视模型可以得到  $Q$  点在图像上对应像点的坐标  $I_Q = [u_Q, v_Q]^T$  :

$$d\bar{I}_Q = A(RW_Q + T) \quad (2)$$

其中,  $\bar{I}_Q = [u_Q, v_Q, 1]^T$  表示齐次图像坐标;  $d$  是一个包含深度信息的比例因子,它表示  $Q$  点沿摄像机光轴方向与光心的距离;  $A \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$  是摄像机的内参数矩阵;  $R \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$  和  $T \in \mathbb{R}^{3 \times 1}$  分别是摄像机坐标与机器人坐标系的旋转和平移关系,  $A, R, T$  可以通过摄像机的标定得到。

通过式(2),就可以得到  $Q$  点的图像坐标  $I_Q$  以及比例因子  $d$ 。根据第 3 节得到的图像中障碍物的外接矩形信息,通过图像坐标比较可以确定  $Q$  点所属障碍物(判断  $q$  点在哪个矩形内),由此,可以知道障碍物边缘上点  $AB$  通过透视变换投影到图像上的点的坐标  $I_A, I_B$ 。于是,根据摄像机透视模型可知

$$\bar{I}_A = A(RW_A + T) / d \quad (3)$$

其中,  $W_A$  是  $A$  点在机器人坐标系下的三维坐标,根据式(3)可得  $W_A = R^{-1}(dA^{-1}\bar{I}_A - T)$ 。同样,可以得到  $B$  点的位置信息:

$$W_B = R^{-1}(dA^{-1}\bar{I}_B - T)。$$

假设  $A, B$  两点与  $Q$  具有同样的深度比例因子  $d$ 。这样得到的  $A, B$  其实是它在过  $Q$  点且与摄像机光轴垂直平面上的投影,但是经过障碍物膨化后,可以得到一个包络了实际障碍物的障碍物圆柱。

### 5 切线法进行局部最优路径规划

机器人在向目标位置运动的过程中,机器人始终只关心朝向目标点的方向上有没有障碍物,且直到绕过当前障碍,再去考虑下一个障碍。当障碍物密集时,可将它们归为同一个团块,有利于绕过密集的障碍物群。为加快障碍物检测的处理速度,可以对探测到的障碍物进行“膨化”,得到一些包络了实际障碍物的障碍物圆柱。由于机器人工作在室内环境下,因此只需要得到这些障碍物圆柱在  $XY$  平面上的投影所

得到圆，就可利用切线法来进行路径规划了，通过下式可以得到这个圆形投影的中心点  $O_{op}$  和直径  $D_{op}$ ：

$$O_{op} = \left[ \frac{X_A + X_B}{2}, \frac{Y_A + Y_B}{2} \right]^T \quad (4)$$

$$D_{op} = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2} + W \quad (5)$$

其中  $[X_A, Y_A], [X_B, Y_B]$  是障碍物边缘两点，即  $A, B$  两点在  $X, Y$  方向上的坐标值； $W$  表示机器人的宽度。将机器人的宽度累加到障碍物圆直径上，这样在路径规划中就可以将机器人考虑成为一个没有大小的质点，描述与实现起来更加方便。下面将具体讨论切线法路径规划的方法。为了方便描述，考虑在朝向目标点的方向上只包含一个障碍物的情形，见图 4。

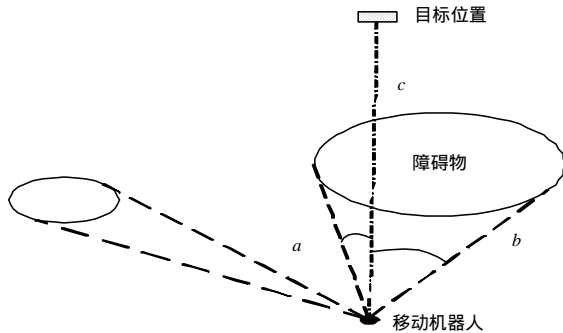


图 4 用切线法进行局部最优路径规划

将起始点作为空间直角坐标系的原点，机器人每遇到一个障碍物，就进行一次局部路径规划，并以当前位置作为新直角坐标系的原点，规划出行走方向。

在进行每一步规划时，首先利用声纳和 CCD 可以探测到机器人前方 4 m 内的障碍物信息，然后经过数据融合后，由式(4)、式(5)可以得到障碍物圆的中心位置及大小。若机器人与目标位置的连线(即图 4 中虚线  $c$ )上无障碍物，则机器人将沿  $c$  到达目标位置；否则，将由机器人当前位置出发分别做与障碍物圆左、右两侧相切的线段  $a, b$ ，再计算出  $a, b$  与  $c$  的夹角  $\alpha, \beta$ ，当  $\alpha < \beta$  时，机器人沿左切线  $a$  运动；当  $\alpha > \beta$  时，机器人沿右切线  $b$  运动。当机器人绕过当前障碍物后，再进行下一步的路径规划。

## 6 实验结果

为了验证本文所提出路径规划方法的有效性，以图 1 所示的移动机器人系统为实验平台，在  $7\text{ m} \times 5\text{ m}$  的室内环境下进行了多组实验，如图 5 所示。在实验中，为了方便图像处理，可以通过颜色来对障碍物进行了标记。事实上，完全可以通过边缘检测等办法来完成图像中障碍物的提取，但是图像处理不是本文研究的重点，所以，在该实验中，是通过 HSV 颜色空间的阈值分割来实现对障碍物信息的提取。在图 5 中，纸箱为障碍物，机器人通过将声纳与摄像机探测到的数据进行融合得到障碍物在机器人坐标系下的位置，然后通过切线法完成局部路径规划，逐步得到一条由起始位置到目标位置的局部最优路径。



图 5 移动机器人路径规划实验

## 7 结束语

本文提出一种基于声纳与视觉信息融合的机器人路径规划方法。该算法充分利用了声纳与机器视觉各自的特点，可以快速、准确地计算出障碍物位置并完成路径规划。实验结果也证实了该算法的良好性能。本文所做的工作是对不同传感器数据融合的一个尝试，提高障碍物位置估计的精度是下一步努力的方向。

致谢：特别感谢方勇纯教授和马博军博士给予的大力支持和帮助。

## 参考文献

- [1] 王栋耀, 马旭东, 戴先中. 基于声纳的移动机器人沿墙导航控制[J]. 机器人, 2004, 26(4): 59-63.
- [2] 赵冬梅, 马昕, 刘伟. 基于声纳的移动机器人环境建模仿真平台的设计[J]. 山东科学, 2005, 18(1): 49-53.
- [3] 王景川, 陈卫东, 曹其新. 基于全景视觉与里程计的移动机器人自定位方法研究[J]. 机器人, 2005, 27(1): 41-45.
- [4] 赵颖, 陈兵旗, 王书茂. 基于机器视觉的耕作机器人行走目标直线检测[J]. 农业机械学报, 2006, 37(4): 83-86.
- [5] 李俊琴, 肖南峰. 基于多传感器的家庭服务机器人局部导航方法研究[J]. 微计算机信息, 2006, 22(20): 255-258.
- [6] Sharir M. Algorithmic Motion Planning in Robotics[J]. Computer, 2000, 27(1): 85-97.
- [7] Deng Xiaotie, Mirzaian A. Competitive Robot Mapping with Homogeneous Markers[J]. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 1996, 12(4): 532-542.
- [8] Ashiru I, Czarnecki C, Routen T. Characteristics of a Genetic Based Approach to Path Planning for Mobile Robots[J]. Journal of Network and Computer Applications, 1996, 19(2): 149-169.
- [9] Yang S X. Real-time Collision-free Path Planning of Robot Manipulators Using Neural Network Approaches[J]. Autonomous Robots, 2000, 9(1): 27-39.
- [10] Zavlangas P G, Tzafestas S G. Industrial Robot Navigation and Obstacle Avoidance Employing Fuzzy Logic[J]. Journal of Intelligent and Robotic Systems, 2000, 27(1/2): 85-97.