

# 基于细化算法的移动机器人拓扑地图创建

王娜, 马昕

(山东大学控制科学与工程学院, 山东 济南 250061)

**摘要:**在大规模未知环境中, 移动机器人要自主完成导航和路径规划等智能任务, 关键问题是创建周围环境地图。拓扑地图, 以图(Graph)的结构形式表现一个环境的连通性, 是一种紧凑的环境表示方法。文中借鉴图像处理中的细化算法来创建室内环境的拓扑地图, 首先以栅格地图建模机器人环境, 然后将环境的栅格地图进行细化, 提取出环境的有效拓扑信息, 而且, 此方法创建的拓扑地图, 未直接使用传感器原始数据, 对环境的变化具有较强的鲁棒性。仿真实验结果表明, 基于细化算法创建的环境拓扑地图, 清晰、简洁, 不会产生多余的节点和路径信息。相比于栅格地图, 信息存储量明显减少, 从而提高了移动机器人自主运行、导航和路径规划的能力, 大大提高了系统的工作效率。

**关键词:**移动机器人; 拓扑地图; 细化算法

**中图分类号:** TP242.6

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2009)10-0011-03

## Mobile Robot Topological Map Building Based on Thinning Algorithm

WANG Na, MA Xin

(School of Control Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China)

**Abstract:** In order to accomplish navigation and path planning, map building is the key technology and fundamental problem in mobile robotic control in unknown environment. Topological map uses a graph to represent the connectivity of an environment, and it provides a concise description. In this paper the topological map is built based on the grid map by using a thinning algorithm. The environment is modeled in grid map, next the thinning algorithm is applied in the map, and then the effective topological information is extracted. Moreover, the map is robust to environment change, because this map is extracted from a grid map rather than directly uses the original data of the sensor. Simulation results show that the topological map based on thinning algorithm is clear and succinct, and it also avoids producing unnecessary nodes and paths. This topological map stores much less information which will improve the ability of autonomous operation, navigation and path planning further.

**Key words:** mobile robot; topological map; thinning algorithm

## 0 引言

创建机器人工作空间的环境地图是机器人控制与导航的关键。环境的空间表示法, 现在主要分为两大类: 几何地图(Geometrical Map)和拓扑地图(Topological Map)<sup>[1]</sup>。拓扑地图把室内环境表示为带节点和相关连接线的拓扑结构图, 对存储空间和计算时间要求比较低, 计算效率比较高<sup>[2]</sup>。

各国学者已提出多种方法创建环境拓扑地图, 其中比较常用的一种是 GVG (Generalized Voronoi

Graph)<sup>[3]</sup>。但是, 由于环境的复杂性或者传感器噪声, Voronoi 图中会产生多余的节点或路径。

## 1 问题的提出

拓扑地图, 由 Kuipers 首次提出, 是一种与紧凑的环境表示方法——只提取环境中的连通信息, 重在描述环境的拓扑结构<sup>[4]</sup>。拓扑地图的创建有两种方式: 一种是直接根据传感器信息和机器人运动模型创建; 另一种是从几何地图(特别是栅格地图)提取节点和连接关系, 如常见的广义 Voronoi 图法, Choset 创建的拓扑地图是基于环境的 GVG 图, 机器人在探索环境的过程中, 定义了接近状态、探索状态、边界点状态等几个子状态, 采用增量式算法构造 GVG 的实现<sup>[5]</sup>。

文中介绍的拓扑地图创建方法是基于图像处理中的细化算法, 首先以栅格地图建模机器人环境, 然后将

收稿日期: 2009-02-14; 修回日期: 2009-05-17

基金项目: 山东省科技发展计划项目(2006GG3204018)

作者简介: 王娜(1983-), 女, 硕士研究生, 研究方向为移动机器人环境建模与仿真技术; 马昕, 教授, 硕士生导师, 研究方向为移动机器人导航、多机器人协同。

环境的栅格地图进行细化,提取出有用的拓扑信息<sup>[6]</sup>。栅格地图可以看作原始传感器数据和最终拓扑地图的过滤器,这样就会对传感器数据具有鲁棒性,并且能够处理由任意形状物体组成的环境。在细化过程中,需要随时检测孤立点和线段端点,对细化后有空洞、断点的图像进行实时处理,保持细化后图像的连通性。

## 2 细化算法的基本步骤

一个平面图像区域的骨架,可用来代表一定的形状结构,在模式识别系统中可以代表特定的特征参数,具有很重要的意义<sup>[7]</sup>。求图像骨架的过程通常称为对图像“细化”的过程,细化就是采用一定的算法对二值化图像进行处理,减少原始图像的数据量,同时保持原图像形状的基本拓扑结构不变<sup>[8]</sup>。

图 1 描述的是中心单元  $p_1$  和它的 8 个邻近单元  $p_2 \sim p_9$ ,“0”表示单元为空,“1”表示单元为满。对被占据栅格  $p_1$ ,如果它的 8 个邻近单元满足如下细化条件,则其就被修改为空<sup>[6]</sup>。

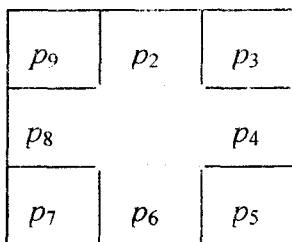


图 1 中心单元  $p_1$  和它的 8 个邻近单元

[步骤 1]

- (1)  $2 \leq N(p_1) \leq 6$ ;
- (2)  $S(p_1) = 1$ ;
- (3)  $p_2 \cdot p_4 \cdot p_6 = 0$ ;
- (4)  $p_4 \cdot p_6 \cdot p_8 = 0$

[步骤 2]

- (1)  $2 \leq N(p_1) \leq 6$ ;
- (2)  $S(p_1) = 1$ ;
- (3)  $p_2 \cdot p_4 \cdot p_8 = 0$ ;
- (4)  $p_2 \cdot p_6 \cdot p_8 = 0$

其中,  $N(p_1) = p_2 + p_3 + \dots + p_8 + p_9$ , 表示  $p_2, p_3, \dots, p_8, p_9$  中 0 单元的个数和;  $S(p_1)$  表示序列  $p_2, p_3, \dots, p_8, p_9$ , 从 0 到 1 的转变次数。

图 2 描述了细化过程的两个步骤,执行完步骤 1 后,边缘白色的栅格为被判定的符合删除条件的点,接着执行步骤 2,此时判定符合删除条件的点被标记为白色栅格。步骤 2 执行完后,剩余的图像是原“T”形图像细化后的结果,此时剩下的黑色栅格为单行单列,位于原图像区域的中心且保持原图像的拓扑结构不变。

## 3 仿真实验

上述细化算法将障碍物区域细化,得到的是障碍

物区域的拓扑图,而机器人需要创建的是空白区域环境的拓扑地图,所以,在算法中,环境中空白栅格设置为“1”,被障碍物覆盖的栅格设置为“0”。

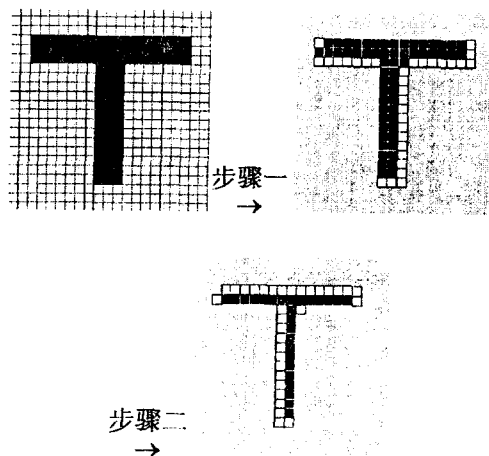


图 2 细化过程举例

### 3.1 基于细化算法的拓扑地图的特点

基于细化算法的拓扑地图是在已知的栅格地图基础上创建的,所以创建地图时无需直接使用传感器数据,因此地图数据具有鲁棒性。

图 3 对 Voronoi 图表示的拓扑地图和细化算法创建的拓扑地图进行了比较,(a)图中 Voronoi 图的区域边界线连接起路径的汇聚点,但是有的边界线对机器人探索导航来说是没有作用的,而(b)图中细化算法表示的拓扑地图就不会产生类似的无效路径,这样就提高了移动机器人导航的效率<sup>[6]</sup>。

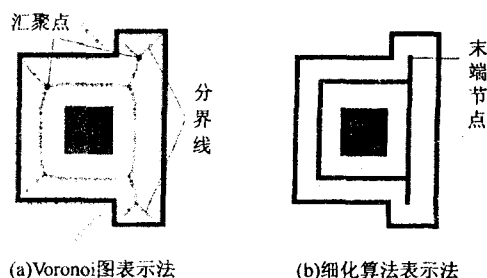


图 3 拓扑地图表示法比较

另一种情况是在 Voronoi 图中会出现称为虚汇聚点的节点,如图 4(a)所示。这是因为在创建 Voronoi 图时,直接使用传感器数据,而这些数据存在不同程度的不确定性,导致产生的拓扑地图的路径存在一定的误差。但是,图 4(b)所示的细化算法表示的拓扑地图就不存在这样的虚汇聚点,这对于创建地图是很有必要的,因为这样的点对机器人导航来说是无效的。

### 3.2 创建任意环境的拓扑地图

在仿真平台上,环境中障碍物的设定可以直接选择固定模式,也可以自行设定任意障碍物,设置不同的环境。

在创建环境拓扑地图过程中,首先执行细化算法的第一个步骤,逐一判断环境中的空白栅格,被判定符合删除条件的点暂不删除,但是要加以记录。接下来进入第二阶段的删除步骤,同样,判定为要删除的点只是加以记录而暂不删除,等最后同时删除。当某栅格点判定为孤立点或者线段端点时,将此栅格点加以标记,判定完后,这些点均不会被删除。然后,对剩下的未删除栅格继续进行判断,重复上述步骤,直到环境中没有符合删除条件的点为止。

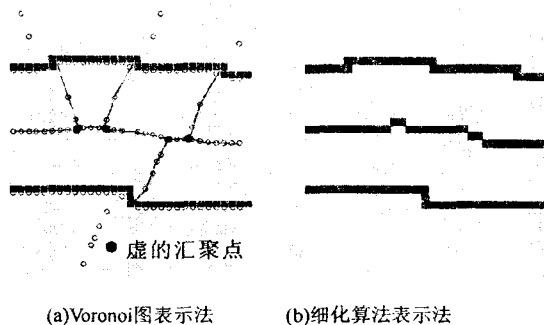
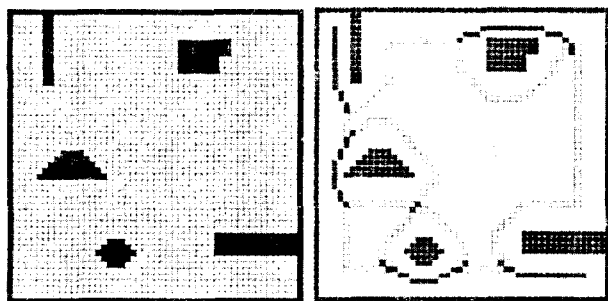
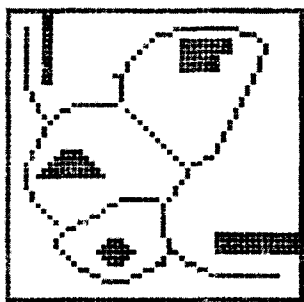


图 4 环境中产生虚汇聚点比较

图 5 说明了在环境中任意设置障碍物,并利用细化算法创建环境的拓扑地图。(a)图所示为在仿真环境中任意设置了几个不规则多边形障碍物,黑色区域即代表障碍物,最外围的四个边界也设置为障碍物;(b)图是细化过程中的一个界面,蓝色栅格代表已经创建的环境的局部拓扑地图;(c)图是环境的最终拓扑地图,其中的蓝色栅格即代表环境的拓扑地图,黑色栅格



(a) 任意设置环境的初始界面 (b) 几次迭代细化过程后的界面



(c) 利用细化算法创建的拓扑地图

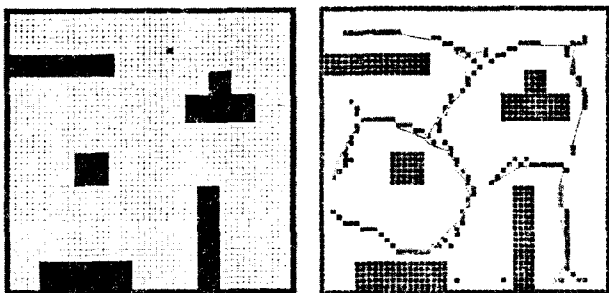
图 5 对任意环境利用细化算法创建地图

与(a)图相同,仍是原环境中的障碍物。

### 3.3 机器人在行进中创建地图的仿真实验

移动机器人携带传感器进行环境探测并创建地图,但是传感器具有探测距离限制,这使得细化过程在一个预先设定大小的区域内进行。

在仿真平台上,通过程序仿真了移动机器人在行进中创建环境局部拓扑地图。如图 6 所示,(a)图设定了环境中机器人和障碍物的初始位置,机器人利用携带的传感器探测环境,检测障碍物位置,并利用细化算法创建环境的拓扑地图。(b)图是实验的结果,红色的线段表示机器人的轨迹,红色栅格表示机器人在行进过程中到达的位置,蓝色的栅格表示环境的拓扑地图。



(a) 机器人及障碍物初始位置设定 (b) 利用细化算法创建的拓扑地图

图 6 移动机器人创建环境拓扑地图

## 4 结束语

文中,采用了一种简易但有效的方法创建环境的拓扑地图,首先以栅格地图建模机器人工作环境,然后将环境的栅格地图进行细化,提取出环境的有效拓扑信息。此方法在多次实验中得到了验证,并得到如下结论:细化算法提供了一种简单有效的方式创建环境的拓扑地图,而且不会产生多余的节点和路径信息,从栅格地图中提取出的拓扑信息简洁而有意义,从而提高了移动机器人自主运行、导航和路径规划的能力,提高了系统的工作效率。

### 参考文献:

- [1] Beevers K R. Mapping with limited sensing[D]. Troy, NY: Rensselaer Polytechnic Institute, 2007.
- [2] 赵翊捷,陈卫东. 基于地图的移动机器人定位技术新进展[J]. 上海交通大学学报, 2002, 36(10): 1435-1438.
- [3] Choset H, Burdick J. Sensor-based exploration: the hierarchical generalized voronoi graph[J]. Int J Rob Res, 2000, 19(2): 96-125.
- [4] Kuipers B. Modeling spatial knowledge[J]. Cognitive Science, 1978(2): 129-153.
- [5] Choset H, Nagatani K. Topological simultaneous localization

(下转第 17 页)

表 1 笔画分类结果

笔画	数量	笔画	数量
㇏	9662	㇏	142
㇏	434	㇏	3259
㇏	157	㇏	1645
㇏	20149	㇏	222
㇏	8695	㇏	89
㇏	62	㇏	84
㇏	1172	㇏	143
㇏	1996	㇏	137
㇏	11370	㇏	261
丨	13038		

东(E)、东北(EN)。在 1.2 小节获得的笔画外包图形是包括笔画的最小矩形,其中心点坐标可作为笔画的位置描述。因此,将每个笔画外包框的中心点坐标记录在 XML 文件中,笔画间的位置便可直接比较坐标得到。

下面的 XML 子节点描述的是“丈”字,记录了 Unicode 码、笔画个数、每个笔画的中心点坐标和类型编码:

```
<Character char="丈" code="4e08">
<StrokeCount>3</StrokeCount>
<Strokes>
  <Stroke pointX="504" pointY="221">
    heng
  </Stroke>
  <Stroke pointX="392" pointY="499">
    pie
  </Stroke>
  <Stroke pointX="593" pointY="637">
    na
  </Stroke>
</Strokes>
</Character>
```

### 3 结束语

二级汉字的笔画数量庞大,形状极其多变,人类视觉对部分独立笔画都难以分辨,让计算机快速准确地识别物体的形状更加困难。该文利用综合分类法,先预处理汉字轮廓图形得到汉字笔画;然后基于笔画骨架采用统计方法获得纵横比、四边码、四角码、投影四个特征向量,对笔画进行粗分类;最后跟踪笔画轮廓,获取关键点特征,进行细分类,对粗分类过程中的误分笔画进一步处理,获得了较高的分类正确率。笔画类型和拓扑关系是下一步进行汉字语义规则描述的基础,具有十分重要的意义。值得一提的是,笔画细化过程会产生畸变和噪音,影响统计的正确性,因此可在细化之前进行低通滤波以平滑图像和弱化细节,使细化之后的骨架具有更强的分类特性。

#### 参考文献:

- [1] 丁晓青. 汉字识别——原理方法与实现[M]. 北京:高等教育出版社,1992.
- [2] Microsoft Corporation. TrueType 字型核心技术[M]. 北京:学苑出版社,1993.
- [3] Chen H H, Su J S. A syntactic approach to shape recognition [C]//In: Proc Int'l Computer Symp. Tainan, Taiwan: [s. n.], 1986:103-122.
- [4] Belkasim S O, Shridhar M, Ahmadi M. Pattern recognition with moment invariants: A comparative study and new results [J]. Pattern Recognition, 1991, 24(12):1117-1138.
- [5] Kauppinen H, Seppanen T, Pietikainen M. An Experimental Comparison of Autoregressive and Fourier-Based Descriptors in 2D Shape Classification[J]. IEEE Trans on PAMI, 1995, 17(2):201-207.
- [6] Persoon E, Fu L S. Shape discrimination using Fourier descriptors[J]. IEEE Trans on PAMI, 1986, 8(3):388-397.
- [7] Dubois S R, Glanz F H. An autoregressive model approach to two-dimensional shape classification[J]. IEEE Trans on PAMI, 1986, 8(1):55-66.
- [8] Lam L, Lee S W, Suen C Y. Thinning methodologies - A comprehensive survey [J]. IEEE Trans on PAMI, 1992, 14(9):869-885.
- [9] Sklansky J, Gonzalez V. Fast polygonal approximation of digitized curves[J]. Pattern Recognition, 1980, 13(5):327-331.

(上接第 13 页)

- and mapping (SLAM): Toward exact localization without explicit localization[J]. IEEE Transactions on Robotics & Automation, 2001, 17(2):125-136.
- [6] Kwon T B, Song J B. Real-time building of a thinning-based topological map[J]. Intelligent Service Robotics, 2008, 1

(3):211-220.

- [7] 史绍强. 一种改进型的汉字字符图像细化算法[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(9): 88-91.
- [8] 龙占超, 蔡超. 一种新的指纹细化算法[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(3):147-149.