

# 面向移动机器人的拓扑地图自动生成

樊征 曹其新 杨扬 李长勇

(上海交通大学 机器人研究所, 上海 200240)

**摘要:** 提出了一种在区域内自动提取拓扑地图的混合算法. 该算法通过定义拓扑点和线, 在对已知环境定位的基础上, 利用腐蚀法计算出所知环境的骨骼路径, 应用区别算法区分出各个组成路径的拓扑点的属性值. 考虑到在单独使用腐蚀法的情况下, 无法准确地得到机器人路径规划所需的关键驻点位置及方向等信息, 提出了一种改进的图像骨骼化混合算法, 并提出了实现完整拓扑地图的约束方法, 对传统的路径规划方法做出了改进. 仿真实验表明, 该方法生成的拓扑地图克服了传统算法中的缺点, 得到了较好的结果.

**关键词:** 移动机器人; 导航; 腐蚀法; 路径规划; 混合算法; 拓扑地图

**中图分类号:** TP391.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-4512(2008)SI-0163-04

## Automatically generation of topological map for mobile robot

Fan Zheng Cao Qixin Yang Yang Li Changyong

(Research Institute of Robotics, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

**Abstract:** This paper put forward a new composite algorithm to automatically generate the topological maps in local area. Firstly, topological nodes and links were used to calculate the skeleton path of the area. Then a discriminate algorithm was used to gain the value of topological nodes which compose the path of skeleton. Considering that only use the basic algorithm of thinning can't gain the important information like the key nodes location or direction accurately, a developed composite thinning algorithm is given to realize the calculation. Then the restrict method to realize the complete topological map is proposed, it is a development to the traditional method of path planning. The experimental result shows that the shortage exists in the traditional method is overcome by the new composite algorithm, which gains satisfied result.

**Key words:** mobile robot; navigation; algorithm of thinning; path planning; composite algorithm; topological map

运用传统方法, 如 Voronoi 算法<sup>[1]</sup> 以及栅格迭代法<sup>[2]</sup> 来提取机器人自主导航所需要的导航信息<sup>[3]</sup> 并产生导航地图的过程中, 存在着许多的问题. 如处理进入电梯问题时, 首先在电梯处的拓扑点冗余; 其次当房门所处空隙相对于机器人的尺寸过于小时, 无法进行判别, 导致在这样的空隙处依旧产生路径, 但机器人无法通过, 所以在这样的路径上无法添加机器人的拓扑点, 对于导航过程无效.

为了解决上述问题, 本研究应用一种腐蚀法

算法<sup>[4]</sup>, 其算法结构较为简单, 能够直接应用于在栅格地图的基础上产生拓扑地图, 并应用 Map Editor (ME) 软件构建室内环境.

### 1 运用腐蚀法自动产生拓扑地图

具体过程如下: 在一副数字化图像上, 设某个像素点为  $P_1$ , 其相邻的像素点为  $P_2 \sim P_9$ , 如图 1, 顺时针环绕  $P_1$ . 然后腐蚀过程为运用以下两步迭代.

收稿日期: 2008-07-15.

作者简介: 樊征(1984-), 男, 硕士研究生, E-mail: fanzhengde@sjtu.edu.cn.

基金项目: 国家高技术研究发展计划资助项目(2006AA04Z261).

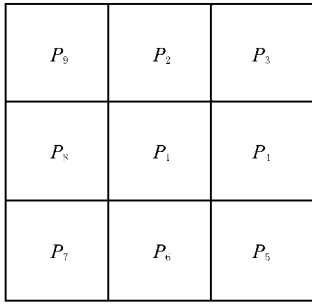


图 1 像素  $P_1 \sim P_9$  所形成的网格

步骤 1 a.  $P_2 \sim P_9$  相加的值  $N(P_1)$  需大于等于 2, 小于等于 6;

b.  $P_2 \sim P_9$  从 0 到 1 的变化次数  $S(P_1)$  应等于 1;

c.  $P_2, P_3, P_4$  相乘的结果应为 0;

d.  $P_4, P_6, P_8$  相乘的结果应为 0.

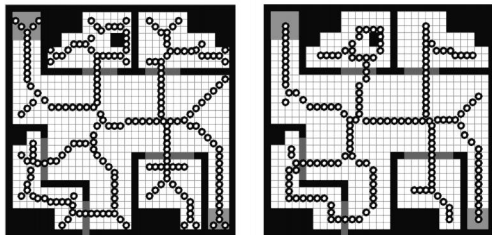
步骤 2 a 和 b 同步骤 1;

c.  $P_2, P_4, P_8$  相乘结果应为 0;

d.  $P_2, P_6, P_8$  相乘结果应为 0.

以上算法反复迭代, 直至剩余的像素点符合步骤 1, 2 的标准, 剩下的像素点形成原来图像的骨骼. 与 Voronoi 图算法相比, 腐蚀法所形成的机器人路径较为简洁, 实用性强.

对于进入电梯的问题, 在运用了腐蚀法后得到了很好的解决, 如图 2 所示.



(a) Voronoi 算法 (b) 腐蚀法

图 2 两种方法的 topology 图对比

在图 2 中, 两种方法所生成的路径相似, 但是腐蚀法更加简便, 而且在细节处的处理上, 腐蚀法能够去除多余的分叉, 这便能够解决在 Voronoi 算法中存在的进入电梯的问题.

首先, 在腐蚀法算法下, 只具有一个拓扑点, 去除了不必要的冗余信息, 所以运用腐蚀法在此处更有效. 其次, 运用腐蚀法来生成拓扑地图同样能解决在 Voronoi 算法中所存在的入房门问题, 由于在腐蚀法处理过程中, 栅格的大小与机器人的大小相同, 所以在对原始地图二值化的过程中便能够判断出其所在的房门能否允许机器人通过. 若门距小于一个栅格的大小(机器人大小), 则此处区域便会显示为被物体所占, 无法生成栅格

点, 反之, 则至少能生成一个栅格点.

## 2 混合算法的提出

在产生拓扑点之后便是将拓扑地图上每个拓扑点相连接的过程<sup>[5]</sup>, 设任意栅格为  $G_i(X_1, Y_1)$ , 其周围栅格为  $G(X, Y)$ . 两个不同的栅格  $G_i(X_1, Y_1)$  与  $G(X, Y)$  之间, 符合如下条件则相连:  $O_i(X_1, Y_1) = O(X, Y) = 1$ ,  $O(x, y)$  与  $O_1(x, y)$  的值代表栅格是否为物体所占, 1 表示被占, 0 表示未被占.

$\min \sqrt{(X_1 - X)^2 + (Y_1 - Y)^2}$  表示两个栅格之间距离最小.

图 3 为运用上述方法后的结果.

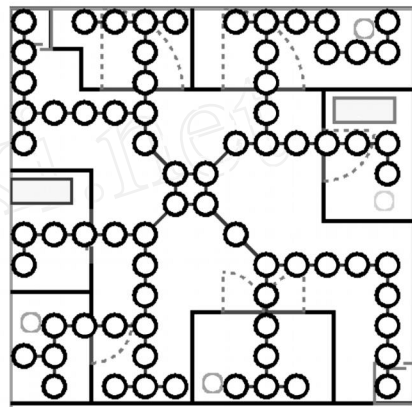


图 3 拓扑点相连结果图

由图 3 可知, 在效果图的中央存在着一个四点相连的区域, 这对于机器人的路径规划极为不利. 这是由腐蚀算法的性质所决定的, 在腐蚀过程中, 对于空间较大的空白区域, 其最后便腐蚀为 X 状.

为了解决这个问题, 可以采用基于任务的混合算法, 由于腐蚀法在某些角落区域存在优势, 而对于空白区域却不能很好地产生符合机器人路径规划的路径图<sup>[6]</sup>, 由此采用基于任务的路径生成方式.

首先将任务区域进行分割<sup>[7]</sup>, 在空白区域采用改进的腐蚀法或与腐蚀法类似的算法; 而在其他交错区域或者角落中, 运用腐蚀法. 然后采用改进的混合腐蚀算法.

步骤 1 a.  $P_2 \sim P_9$  相加的值  $N(P_1)$  需大于等于 2, 小于等于 6;

b.  $P_2 \sim P_9$  从 0 到 1 的变化次数  $S(P_1)$  应等于 1;

c.  $P_2, P_3, P_4$  相乘的结果应为 0;

d.  $P_4, P_6, P_8$  相乘的结果应为 0;

步骤 2 a 和 b 同步骤 1;

c.  $P_2, P_4, P_8$  相乘的结果应为 0;

- d.  $P_2, P_6, P_8$  相乘的结果应为 0;
- 步骤 3 a 和 b 同步骤 1;
- c.  $P_4, P_8, P_6$  相乘的结果应为 0;
- d.  $P_2, P_6, P_8$  相乘的结果应为 0;
- 步骤 4 a 和 b 同步骤 1;
- c.  $P_2, P_4, P_8$  相乘的结果应为 0;
- d.  $P_2, P_6, P_4$  相乘的结果应为 0.

步骤 3 和 4 是在原腐蚀法的基础上增加的迭代步骤. 根据文献 [8, 9], 增加类似的循环可以使腐蚀过程中骨骼线斜率减小, 使路径趋向于纵横形式. 将两种算法混合能取得较好的效果, 如图 4 所示.

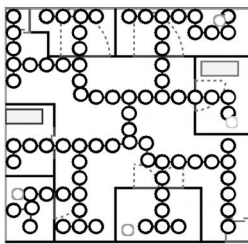


图 4 混合算法结果

### 3 完整拓扑图的生成

步骤 1 去除多余点, 保留关键拓扑点.

在这步中, 所有拓扑点被区分为冗余点与关键点, 利用下列算法<sup>[9]</sup>来区分冗余点与关键点, 运用图 1 中的排列结构, 设  $P_2 \sim P_9$  中的拓扑点值为 1, 非拓扑点值为 0, 其原则为:

- a. 若拓扑点  $P_i$  周围的拓扑点数  $M(P_i)$  大于等于 1, 小于等于 3, 则拓扑点  $P_i$  周围拓扑点的变化次数  $S(P_i)$  等于 1;
- b. 若拓扑点  $P_i$  周围的拓扑点数  $M(P_i)$  等于 2, 则拓扑点  $P_i$  周围拓扑点的变化次数  $S(P_i)$  等于 1;
- c. 若拓扑点  $P_i$  周围的拓扑点数  $M(P_i)$  大于 3, 则拓扑点  $P_i$  周围拓扑点的变化次数  $S(P_i)$  等于 3.

图 5 为运用以上原则后的效果图.

步骤 2 将单个拓扑线融合为完整拓扑线.

在实现单独点相连基础上将其发展为关键拓扑点相连, 如图 6 所示. 利用原本点与相近点之间短线相连, 通过保留原本冗余点的位置信息, 将冗余点消除的同时, 将冗余拓扑点之间的拓扑线“融合”, 从而得到所需要的拓扑线.

### 4 仿真实验

在 ME 环境下进行仿真实验, 由于拓扑点大

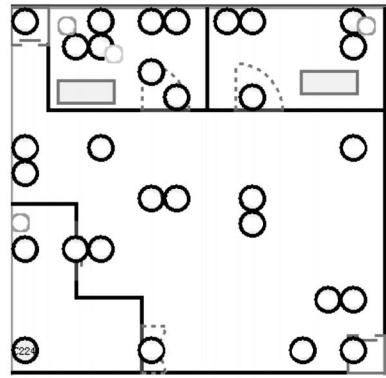
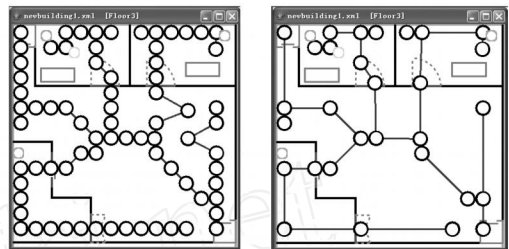


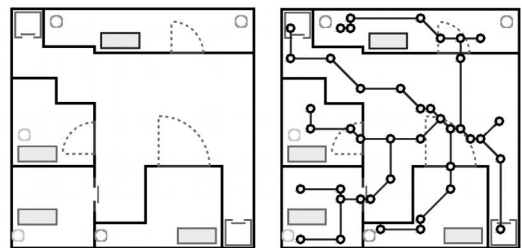
图 5 提取关键点后的结果图



(a) “融合”前 (c) “融合”前

图 6 拓扑线“融合”示意图

小不同, 拓扑图的精确度亦不同, 因此实验中选取了一幅地图, 并进行实验, 如图 7 所示.



(a) 原始地图 (b) 拓扑地图

图 7 仿真实验结果图

仿真结果表明, 利用腐蚀法以及基于任务的拓扑路径图生成方式, 较好地实现了在室内环境的拓扑图自动生成, 所提出包含拓扑线和拓扑点的混合算法, 解决了传统算法中所存在的问题.

### 参 考 文 献

[1] Dudek G, Freeman P, Hadjres S. Mapping in unknown graph-like worlds[J]. International Journal of Robotics Systems, 1996, 13(8): 539-559.

[2] Van Zwynvoorde D, Simeon T, Alami R. Incremental topological modeling using local voronoi-like graphs[C]. Proceeding of the 2000 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Cedex: [s. n.], 2000: 897-902.

[3] Sim R, Dudek G. Learning visual landmarks for pose estimation[C]. IEEE Conf Robotics and Automation. Los Angeles: [s. n.], 1999: 1 972-1 978.

- [4] Thrun S. Learning maps for indoor mobile robot navigation[J]. Artificial Intelligence, 1999, 1(13): 21-71.
- [5] Bandera A, Urdiales C, Sandoval F. A hierarchical approach to grid-based and topological maps integration for autonomous indoor navigation[J]. Proceedings of the 2001 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2001, 2(12): 883-888.
- [6] Russell S, Norvig P. Artificial intelligence: a modern approach[M]. Beijing: Post and Telecom Press, 2004, 78-81.
- [7] Jensfelt P, Austin J D, Wijk O, et al. Feature based condensation for mobile robot localization[J]. 2000, 20(11): 2-9.
- [8] Sinha R M K, Ammann C J. Comments on fast thinning algorithm for binary images[J]. Image Vision Comput, 1986, 4(1): 57-58.
- [9] Althaus P, Henrik I. Christensen automatic map acquisition for navigation in domestic environments[J]. Proceeding of the 2003 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2003, 2(4): 1 551-1 556.

www.cnki.net

(上接第 158 页)地避免了背景中相似颜色的干扰,提高了视觉跟踪的准确性,降低了背景复杂性和光线变化对机器人视觉跟踪产生的不良影响。

#### 参 考 文 献

- [1] 叶剑波,夏利民.基于卡尔曼粒子滤波器的人眼跟踪[J].计算机工程,2006,32(3):196-198.
- [2] 彭娟春,顾立忠,苏剑波.基于 Camshift 和 Kalman 滤波的仿人机器人手势跟踪[J].上海交通大学学报,2006,40(7):1 161-1 165.
- [3] 杜霖.基于 NMI 特征的 Auto-Camshift 算法及其应用[J].计算机工程,2006,32(3):217-219.
- [4] Bradski G R, Clara S. Computer vision face tracking for use in a perceptual user interface[J]. Intel Technology Journal, 1998, 2(2): 1-15.
- [5] 王建宇,陈熙霖,高文,等.背景变化鲁棒的自适应视觉跟踪目标模型[J].软件学报,2006,17(5):1 001-1 008.
- [6] 张爱华,余胜生,周敬利.一种二维直方图阈值化图像分割的后处理方法[J].华中科技大学学报:自然科学版,2002,30(10):59-61.