网络出版时间：2014-01-10 22:22
网络出版地址：http://www.cnki.net/kcms/detail/42.1658.N.20140110.2222.097.html

基于局部感知环境分区评价的机器人运动控制

袁文博 曹志强 刘希龙 谭 民

(中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室，北京 100190)

摘要 提出一种基于局部感知环境分区评价的机器人运动控制方法，根据激光测距仪所提供的感知信息进行环境分区，引入距离影响因子，结合视觉指引及基于记忆的判断，产生各候选区评价，确定出适合当前环境的最优区用于移动机器人运动决策. 实验结果表明：所提方法能够将感知环境进行较好的分区，并产生适合当前环境的最优区，实现了机器人的运动控制，验证了所提方法的有效性.

关键词 移动机器人；局部感知；距离影响因子；基于记忆的判断；分区评价；运动控制

中图分类号 TP242 文献标志码 A 文章编号 1671-4512(2013)S1-0038-04

A motion control for mobile robot based on sub-regions evaluation in local sensing environment

Yuan Wenbo Cao Zhiqiang Liu Xilong Tan Min

(State Key Laboratory of Management and Control for Complex Systems, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract A motion control method for mobile robot based on sub-regions evaluation in local sensing environment was proposed. Firstly, the local environment was divided into multiple sub-regions based on the sensing information provided by laser range finder. Then, each sub-region was evaluated by considering the distance influence factor, as well as visual guide and memory-based judgment. Finally, the optimal sub-region adapted to current environment will be used for motion decision of mobile robot. Experimental results show that the proposed method is capable of dividing sensing environment into multiple sub-regions and producing the optimal sub-region adapted to current environment. Motion control for robot was realized and the effectiveness of the proposed method was verified.

Key words mobile robot; local sensing; distance influence factor; memory-based judgment; sub-regions evaluation; motion control

移动机器人[1]是机器人学的一个重要分支，集环境感知、动态决策与规划、行为控制与执行等于一体，广泛应用于军事、工业、服务业等领域，有着重要的研究价值. 其中，实时避障能力及运动规划[1]是移动机器人智能化的重要体现，有代表性的方法包括人工势场法[2]、可视图法[3]、栅格法[4]、自由空间法、基于行为的方法以及模糊逻辑[5]等.

激光测距仪测量精度高，采集的数据点密集，对环境光要求低，使其在移动机器人研究中受到青睐[6]. 文献[7]使用小型化的激光测距仪，基于三角测量获取环境信息，展示了小型机器人配备小巧、低功耗的设备提取环境基本信息的可能性. 文献[8]基于极坐标近邻法对激光数据进行空间障碍聚类，分析特征参数，利用数据的时间关联性对障碍物进行匹配和分类. 在地图构建与定位应用中，文献[9]结合ICP算法和SLAM算法，利用激光雷达获取的数据进行了地图构建；文献[10]

收稿日期 2013-07-10.
作者简介 袁文博(1988-)，男，硕士研究生，E-mail：wenbo.yuan@ia.ac.cn.
基金项目 国家自然科学基金资助项目(61227804，61273352，61175111，60805038).

在复杂的室内环境中, 使用卡尔曼滤波等算法, 处理二维激光数据和全景视觉信息, 构建拓扑地图, 实现了移动机器人定位. 在规划与控制应用方面, 针对向量场直方图法易陷入死区和对阈值敏感的问题, 分别出现了角度势场法[11] 和基于自适应阈值的方法[12]. 文献[13] 在激光信息基础上通过局部方向控制算法实现快速避障. 本研究利用激光测距仪所提供的信息, 将局部环境进行分区, 并结合一定的评价标准, 给出适合当前环境的最优区, 且其环境适应性较好.

1　局部感知环境分区评价法

记激光测距仪探测范围为 d_L, 角度范围为 $[-\theta_L, \theta_L]$, 在分辨率 θ^* 下可获取 $K_m = 2\theta_L/\theta^* + 1$ 个激光数据. 所提方法分为环境分区、候选区评价与决策两部分. 环境分区的目的是将离散的大量激光测距信息进行合理的归类, 避免对每个方向都进行判断; 候选区评价与决策主要是综合距离影响因子以及视觉指引、基于记忆的判断, 结合设计的评价标准, 产生最优区进而实现移动机器人的运动控制.

1.1　环境分区

1.1.1　初分区

对每一个数据 d_j ($j = 1, 2, \cdots, K_m$), 尝试向前一个区域 C_i 归并, 当 d_j 与区域 C_i 所含激光数据的平均距离值 D_{C_i} 满足 $|D_{C_i} - d_j|/D_{C_i} < T_{C_i}$, 则 $C_i = C_i \cup d_j$, 其中自适应阈值 T_{C_i} 由区域 C_i 中的数据个数 N_{C_i}、数据单调性改变次数 s 及阈值范围 $[T_{min}, T_{max}]$ 决定, 如下式所示

$$T_{C_i} = T_{max} - (T_{max} - T_{min})s/N_{C_i}. \qquad (1)$$

以图1 所示环境($d_L = 5$ m, $\theta_L = 135°$, 1 ~5 分别对应5 个障碍物) 为例, 激光原始数据以及初分区结果分别如图2 (a) 和图2 (b) 所示, 图2 (b) 中的每个区域通过相应的激光数据平均距离值反映出来.

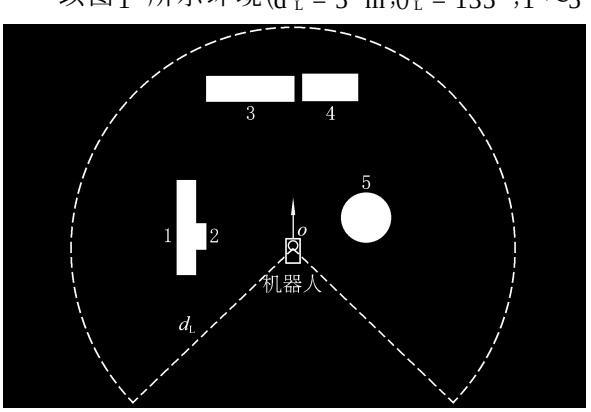
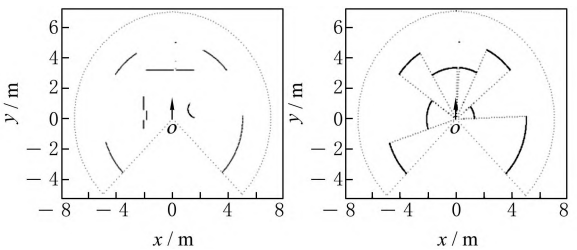


图1　某环境场景



(a) 原始数据　　(b) 初区分结果

图2　图1 场景下的激光原始数据与初分区结果

1.1.2　区域合并

当激光测距仪返回数据异常或者遇到窄缝等环境时, 初分区的质量会受到影响, 当某区域 C_i 数据异常或者满足式(2) 条件的, 认为是特殊区

$$N_{C_i} < N_T^{C_i} \cap (N_{C_{i-1}} < N_T^{C_{i-1}} \cup D_{C_i} > \alpha D_{C_{i-1}}) \cap (N_{C_{i+1}} < N_T^{C_{i+1}} \cup D_{C_i} > \alpha D_{C_{i+1}}), \qquad (2)$$

式中: $N_T^{C_q} = 4\arctan[W_R/(2D_{C_q})] + 1$ 是保证机器人可安全通行条件下区域 C_q 所至少需要的数据个数大小, W_R 为机器人可安全通过的宽度; α 为给定系数.

为了使环境分区更加合理, 下面对初分区结果进行合并处理.

对于均非特殊区的相邻两区域 C_i 和 C_{i+1}, 如果其平均距离值满足 $|D_{C_{i+1}} - D_{C_i}|/D_{C_i} < T_t$, 其中 $T_t = T_{C_{i+1}} N_{C_{i+1}}/(N_{C_{i+1}} + N_{C_i}) + T_{C_i} N_{C_i}/(N_{C_{i+1}} + N_{C_i})$, 则两区域合并.

对于单特殊区或者连续的特殊区, 找到其左右两端紧邻的非特殊区域 C_s 和 C_t, 按照上述同样的思路进行判断, 若条件满足, 则将这两个非特殊区及中间的特殊区合并(见图3).

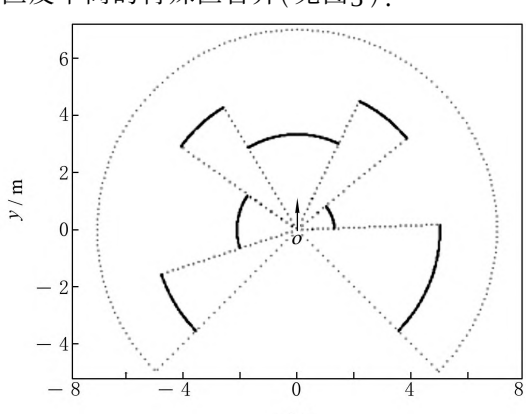


图3　图2 (b) 经区域合并后的结果

当满足区域合并条件时, 将两个非特殊区所包含数据个数形成的比例与各自阈值(平均距离) 的加权和作为合并后的新区域的阈值(平均距离).

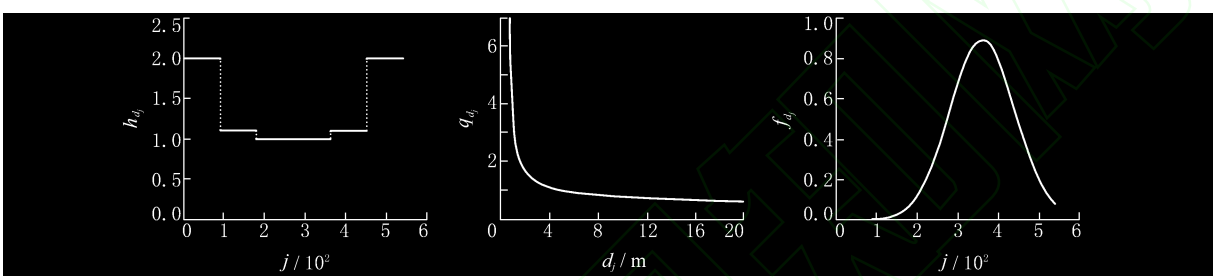
最后,对最终产生的各区进行判断,未被合并的数据异常区直接定为无效候选区,对于其他区域分别重新求取$N_{T^q}^{C_q}$,若区域C_q中的数据个数小于$N_{T^q}^{C_q}$,则认为该区域不足以使机器人通过,标记为无效候选区,剩余的环境各区归为有效候选区.另外,对于有效候选区中存在异常数据的情况,将相应的异常数据用该区的平均距离来替代.

1.2 候选区评价与决策

接下来对各有效候选区进行评价,当判断出机器人与目标之间已无障碍,则将目标方向所在的候选区域直接选为最优区域;否则,若区域C_i^e中存在$d_j \le T_B$的情况,则代表该区距离机器人过近,失去评选最优区的资格;其余有效候选区构成集合C_Φ.评价标准如下

$$I_{C_i^e} = \sum_{d_j \in C_i^e} q_{d_j} f_{d_j} h_{d_j},$$

式中:h_{d_j}为方向保持因子;q_{d_j}为距离影响因子,$q_{d_j} = 1/[\log_K(d_j/T_B)]$;$f_{d_j}$为目标方向$\theta$对$d_j$所对应方向的指引因子,$f_{d_j} = \exp\{-\{[(j-1)/2-\theta_L-\theta]/90\}^2/(2\sigma^2)\}/(\sqrt{2\pi}\sigma)$.如图4所示($K_m = 541$,$\theta^* = 0.5°$),目标方向$\theta$是通过视觉检测[14]辅以目标丢失时基于记忆的判断方式予以获取.从q_{d_j}的变化曲线中可以看出:某方向当机器人距离障碍较近时,随着机器人逐渐远离障碍,距离影响因子急剧下降,而后趋于平缓.



(a) h_{d_j} (b) q_{d_j} ($d_j > T_B = 0.5$ m, $k = 10$) (c) f_{d_j} ($\sigma^2 = 0.2$, $\theta = 45°$)

图4 有效候选区评价标准中各参量

记适合当前环境的最优区为C_{best},它应满足

$$I_{C_{best}} = \min_{C_i^e \in C_\Phi} I_{C_i^e}.$$

图5给出了图3所示区域下目标分别位于□和☆处时的最优区.基于产生的最优区,根据当前行驶方向与最优区的关系,结合必要的安全防护进行决策,使得机器人不断趋近目标,直至达到一定范围内.

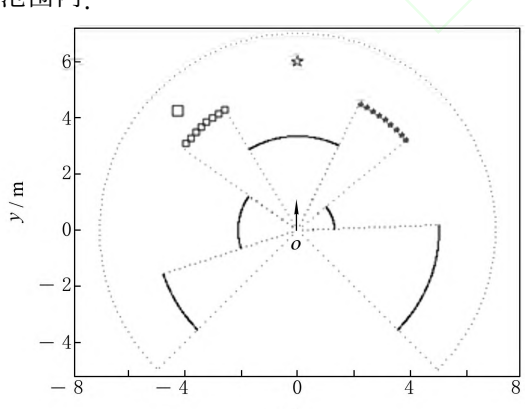
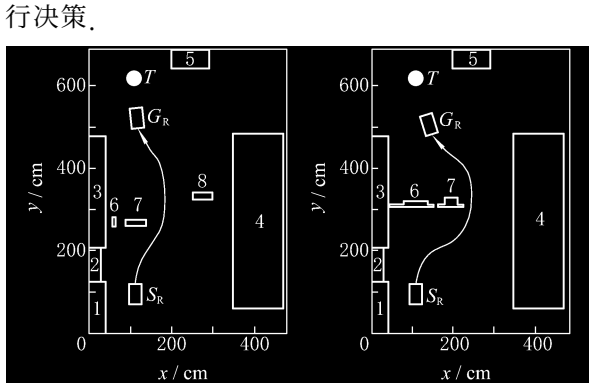


图5 图3所示区域相应目标位置下的最优区

2 实验结果

本实验采用履带式移动机器人,激光测距仪采用SICK公司的LM111,采用Accelnet Micro Panel伺服驱动器控制电机,视觉传感器为大恒MER-130-30UC数字摄像头.机器人运动控制方法中的相关参数取值如下:$W_R = 340$ mm,$T_{max} = 0.20$,$T_{min} = 0.16$,$\alpha = 0.9$.

实验1和实验2中目标T静止,机器人的运动轨迹分别如图6(a)和(b)所示.可以看出:使用所提方法机器人可以无碰撞地不断趋近目标.对于实验2而言,障碍物6和障碍物7之间存在的窄缝经区域合并操作后被有效地处理;并且当由于避障而导致失去目标后,也会结合记忆方位进行决策.



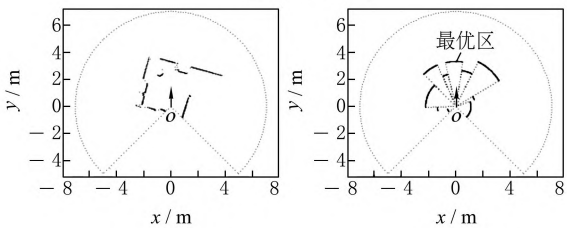
(a) 实验1 (b) 实验2

图6 机器人运动轨迹

为更好地进行展示,在实验2过程中选取了某时刻相应的机器人位置、激光数据以及最优区

选取情况,如图7 所示.

(a) 机器人位置



(b) 激光数据　　(c) 最优区选取

图7　某时刻机器人的位置、激光数据以及最优区选取情况

实验结果表明: 所提方法能够将感知环境进行较好的分区,并产生适合当前环境的最优区. 在此基础上,机器人实现运动的控制. 下一步拟对有效候选区的评价标准进行改进完善,进一步提高机器人运动控制的质量.

参　考　文　献

[1] 谭民,徐德,侯增广,等. 先进机器人控制[M]. 北京: 高等教育出版社,2007.

[2] Khatib O. Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots[C]// Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation. St Louis: IEEE Computer Society, 1985: 500-505.

[3] Lozano-Perez T. Automatic planning of manipulator transfer movements[J]. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics, 1981, 11(10): 681-698.

[4] Metea M B. Route planning for intelligent autonomous land vehicles using hierarchical terrain representation[C]// Proceedings of the 1987 IEEE International Conference on Robotics and Automation. Raleigh: IEEE Computer Society Press, 1987: 1947-1952.

[5] Koren Y, Borenstein J. Potential field methods and their inherent limitations for mobile robot navigation [C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation Sacramento. Sacramento: IEEE Computer Society Press, 1991: 1398-1404.

[6] 任立敏. 基于激光测距仪的移动机器人障碍感知与避障策略研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学机电工程学院,2007.

[7] Fu Guoqiang, Corradi P, Menciassi A, et al. An integrated triangulation laser scanner for obstacle detection of miniature mobile robots in indoor environment [J]. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 2011, 16(4): 778-783.

[8] 仲训昱,彭侠夫,周结华. 基于激光传感器的机器人运动障碍物检测[C]// Proceedings of the 30th Chinese Control Conference. Yantai: IEEE Computer Society, 2011: 4002-4006.

[9] János Rudan, Zoltán Tuza, Gábor Szederkényi. Using LMS-100 laser rangefinder for indoor metric map building[C]// IEEE International Symposium on Industrial Electronics. Bari: IEEE, 2010: 525-530.

[10] Zhuang Yan, Wang Ke, Wang Wei, et al. A hybrid sensing approach to mobile robot localization in complex indoor environments[J]. International Journal of Robotics and Automation, 2012, 27(2): 198-205.

[11] 李云眾,何克忠. 基于激光雷达的室外移动机器人避障与导航新方法[J]. 机器人,2006,28(3): 275-278.

[12] 徐玉华,张崇巍,徐海琴. 基于激光测距仪的移动机器人避障新方法[J]. 机器人,2010,32(2): 179-183.

[13] Zhuang Yan, Liu Yisha, Wang Wei, et al. Hybrid path planning for nonholonomic mobile robot based on steering control and improved distance propagating[C]// 2010 International Conference on Modelling, Identification and Control (ICMIC). Okayama: Association for Computing Machinery, 2010: 704-709.

[14] Liu Xilong, Qian Hanbo, Qian Zhiqiang et al. Data-wave-based features extraction and its application in symbol identifier recognition and positioning suitable for multi-robot systems[J]. International Journal of Advanced Robotic Systems, 2012, 9: 1-7.