

基于模糊隶属度的并行彩色图像分割

侯艳丽

(商丘师范学院 计算机科学系, 河南 商丘 476000)

摘要:室内移动机器人有着广泛的应用前景,是机器人研究中的热点之一。为了提高移动机器人视觉导航的实时性,提出了一种基于同组滤波和模糊隶属度的并行彩色图像分割算法。首先根据不同的目标把导航任务分解为不同的子任务,在此基础上,给出了基于多个处理器的用于不同目标分割的并行结构框架。然后用 Fisher 判据自动确定出每个子任务中目标像素的一个同组,从而完成目标图像的分割,其中为了提高分割效果,定义了模糊隶属度函数。最后进行了计算机仿真实验,实验结果表明所提算法比较简单且具有良好的特性。

关键词:图像分割;并行;同组;fisher 判据;模糊隶属度;导航

中图分类号:TP242.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2011)08-0109-03

Parallel Color Image Segmentation Based on Fuzzy Membership

HOU Yan-li

(Department of Computer, Shangqiu Teachers College, Shangqiu 476000, China)

Abstract: Indoor mobile robot has a wide range of applications which is one of the hotspots in robot research. To improve the real-time performance for visual navigation of the mobile robot, a parallel color image segmentation algorithm using peer group filter (PGF) and fuzzy membership is studied. Firstly, the mobile robot navigation task is decomposed into different subtasks corresponding to the different objects, and then a general parallel structure based on multiple processors is proposed, used to extract the different objects simultaneously. Secondly, a peer group is determined corresponding to the interested object in a subtask using fisher discrimination, at the same time, defining the fuzzy membership function to improve the segmentation effect. At last, simulations are performed on the presented parallel algorithm, and the simulation result shows that the presented algorithm is not only simple but also effective.

Key words: image segmentation; parallel; peer group; fisher discrimination; fuzzy membership; navigation

0 引言

室内移动机器人有着广泛的应用前景,是机器人研究中的热点之一。在室内移动机器人导航研究中,最常用的方法是基于路标的方法,可用作的路标主要包括天花板上的灯、墙壁、墙角、窗户、门等,其中路标的分割是决定移动机器人能否准确到达给定目的地的关键环节。路标分割属于图像分割,其主要任务是将图像划分为具有相似属性或相对一致性的有限区域集。近年来,利用不同的方法出现了不少彩色图像分割算法。比如:边缘检测方法^[1]、区域生长法^[2-4]、聚类法^[5-8]、基于模型的方法^[9,10]等。这些算法对于图像中只有少数待分割目标的情况下都取得了不错的分割效果,但是,当图像中有多个目标需要分割时,这些

算法就非常耗时。同样是为了降低算法的运行时间,文献[8]提出了基于图像分割的并行图像检索算法,文献[11]利用 SPMD (single process multiple data) 模型提出了基于区域增长的并行图像分割算法。鉴于此,为了提高室内移动机器人导航的实时性,文中提出用多个处理器组成并行结构同时对移动机器人导航中不同子任务所对应的目标进行分割。在分割算法中,用 Fisher 判据自动确定出每个子任务中目标像素的一个同组,从而完成目标图像的分割,其中为了提高分割效果,定义了模糊隶属度函数。

1 并行图像分割的结构框架

移动机器人导航所完成的任务不同,对图像所关注的内容也就不同。即便只有一个任务,在完成这一任务的各个阶段,对图像所关注的内容也不同。图1给出了移动机器人导航的一个例子。

在图1中,假定移动机器人从当前位置出发,无碰撞运动到给定的门口。在这一导航过程中,移动机器人先面向箱子的行为直接向箱子运动。接近箱子时,

收稿日期:2011-01-12;修回日期:2011-04-22

基金项目:河南省科技基础与前沿技术研究计划项目(102300410242);河南省教育厅自然科学基金项目(2010A510009)

作者简介:侯艳丽(1978-),女,河南南阳人,讲师,硕士,主要研究方向为多传感器多目标数据融合技术、图像处理、模式识别。

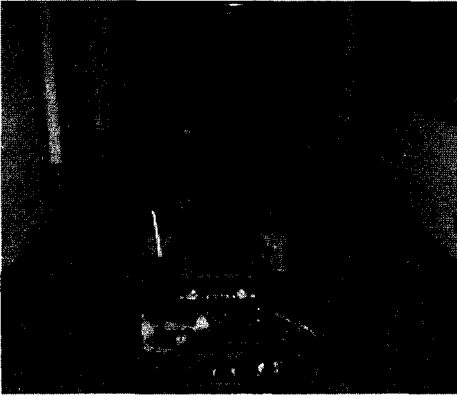


图 1 移动机器人导航的一个例子

采取(左/右)躲避的 wall-following 行为躲过箱子。此时,移动机器人最关注的图像目标是箱子。绕过这一箱子后,移动机器人采用面向门的行为直接向给定的门口运动。此时,最关注的图像目标是门。假设给定的导航任务为 T , 将其进行分解, 即:

$$T = \bigcup_{h=1}^m T_h \quad (1)$$

$$T_h \cap T_v = \emptyset, \quad h \neq v$$

其中, T_h 表示第 h 个子任务, m 表示可分解的子任务的个数。在每一个 T_h 的学习过程中, 假定移动机器人仅关注一个目标 O_h , 则整幅图像 P 可被分割为:

$$P = \bigcup_{h=1}^m P_h \quad (2)$$

$$P_h \cap P_v = \emptyset, \quad h \neq v$$

其中 P_h 表示对应于目标 O_h 的图像区域。

根据式(2), 设计 m 个并行的图像处理系统, 使得 D_h 仅对应一个目标 O_h , 形成并行图像处理系统, 如图 2 所示。

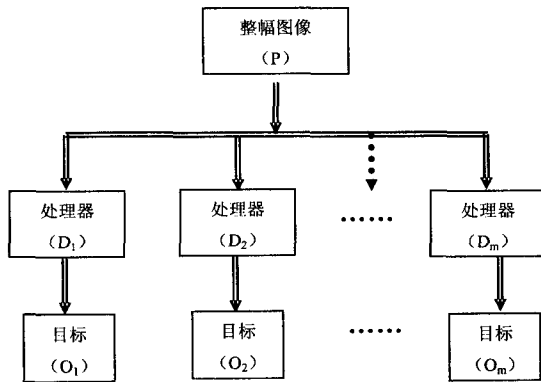


图 2 并行图像处理系统

2 基于同组和模糊隶属度的图像分割算法

确定完并行图像分割的结构框架后, 接下来就是设计图像分割算法。在分割算法中, 用 Fisher 判据自

动确定出每个子任务中目标像素的一个同组, 从而完成目标图像的分割, 其中为了提高分割效果, 定义了模糊隶属度函数。

2.1 同组的定义

文献[12]提出了同组滤波算法, 即要确定原像素的同组成员, 首先要计算在大小为 $u \times u (u \geq 3)$ 的滑动窗口中各邻域像素与原像素的距离, 然后进行升序排列。对于 $M \times M$ 的二维彩色图像, 设 $c(i, j) = [r(i, j), g(i, j), b(i, j)]^T$ 表示位置为 (i, j) , $(1 \leq i, j \leq M)$ 处的颜色值, $r(i, j)$ 代表红色, $g(i, j)$ 代表绿色, $b(i, j)$ 代表蓝色, T 表示转置。为了方便计算, 记 $N = \text{round}(u/2)$, 考虑到边界像素, 把原始图像扩展为 $(M+N) \times (M+N)$ 。这样, 滤波窗口中每个像素到窗口中心的欧氏距离为:

$$\begin{cases} D_n(i, j) = \|c(i, j) - c(i+n, j+n)\|_2 = \\ \sqrt{(r(i, j) - r(i+n, j+n))^2 + (g(i, j) - g(i+n, j+n))^2 + (b(i, j) - b(i+n, j+n))^2} \\ n = -N, -(N-1), -(N-2), \dots, 0, \dots, (N-2), (N-1), N \end{cases} \quad (3)$$

把每个像素按照到该窗口中心像素 $c(i, j)$ 的距离的升序重新进行排序, 即有:

$$\begin{cases} D_0(i, j) \leq D_1(i, j) \leq D_2(i, j) \dots \leq D_k(i, j) \\ C_0(i, j), C_1(i, j), C_2(i, j), \dots, C_k(i, j) \\ k = u^2 - 1 \end{cases} \quad (4)$$

则原像素 $c(i, j)$ 的同组成员 $P(i, j)$ 可定义为:

$$\begin{cases} P(i, j) = \{C_m(i, j), \quad m = 0, 1, 2, \dots, s(i, j) - 1\} \\ D_{s(i, j)-1}(i, j) \leq \gamma(i, j) \quad \text{and} \quad D_{s(i, j)}(i, j) > \gamma(i, j) \end{cases} \quad (5)$$

其中, $s(i, j)$ 表示同组成员的个数, $\gamma(i, j)$ 是待确定的最优阈值。根据 Fisher 判别估计能够自动优化阈值, 从而确定 $s(i, j)$, 其判别方程为:

$$F(m) = \frac{|v_1(m) - v_2(m)|^2}{h_1^2(m) + h_2^2(m)} \quad m = 1, 2, \dots, k \quad (6)$$

其中:

$$v_1(m) = \frac{1}{m} \sum_{i=0}^{m-1} D_i(i, j) \quad v_2(m) = \frac{1}{k-m} \sum_{i=m}^k D_i(i, j) \quad (7)$$

$$h_1^2(m) = \sum_{i=0}^{m-1} |D_i(i, j) - v_1(m)|^2 \quad h_2^2(m) = \sum_{i=m}^k |D_i(i, j) - v_1(m)|^2 \quad (8)$$

则同组成员的大小 $s(i, j)$ 为:

$$s(i, j) = \underset{m}{\operatorname{argmax}} F(m) \quad (9)$$

2.2 分割算法

根据子任务 T_h , 选择关注的目标 O_h 。从人眼观测的角度来看, 假定对目标 O_h 起决定性作用的颜色为 (r_h, g_h, b_h) 。针对目标 O_h 在图像中的对应区域, 利用式(3), 求区域中每一像素到 (r_h, g_h, b_h) 的距离, 并记

最小距离为 d_{\min} , 最大距离为 d_{\max} 。图像中, 其他像素到 (r_h, g_h, b_h) 的范式距离为 d 。用变量 sd 表示所有距离, 构造一个模糊隶属度函数 $\mu(sd)$:

$$\mu(sd) = (e^{\beta \cdot (sd - d_{\max})})^{-1} \quad (10)$$

式中, β 为常数, 它的取值和 $sd = d_{\max}$ 有关, 则 $\mu(sd)$ 满足下面条件:

$$\mu(sd) = \begin{cases} 1, & sd = d_{\min} \\ 1 \sim 0.5, & d_{\min} < sd < d_{\max} \\ 0.5, & sd = d_{\max} \\ 0.5 \sim 0, & d_{\max} < sd \leq d \end{cases} \quad (11)$$

滑动窗口作用于像素 $c(i, j)$, 记:

$$c(i, j) = \begin{cases} c(r_h(i, j), g_h(i, j), b_h(i, j)), & c(i, j) \in Ob_h \\ c(r_r(i, j), g_r(i, j), b_r(i, j)), & c(i, j) \notin Ob_h \end{cases} \quad (12)$$

式(12)中, $c(r_h(i, j), g_h(i, j), b_h(i, j))$ ($h = 1, 2, \dots, m$) 表示目标 Ob_h 的描述像素, $c(r_r(i, j), g_r(i, j), b_r(i, j))$ 表示图像其他区域的描述像素。

滑动窗口作用像素 $c(i, j)$ 后, 当 $s(i, j) < \text{Round}(\frac{1}{2}u^2) + 1$ 时,

$$c(i, j) = c(r_r(i, j), g_r(i, j), b_r(i, j)) \quad (13)$$

当 $s(i, j) \geq \text{Round}(\frac{1}{2}u^2) + 1$ 时, 求窗口中满足 $s(i, j) \geq \text{Round}(\frac{1}{2}u^2) + 1$ 像素到 (r_h, g_h, b_h) 的范式距离 $sd(e)$, 并根据此距离, 利用式(10)和式(11)求这些像素的隶属度 $\mu(sd(e))$, 则,

$$c(i, j) = \begin{cases} c(r_h(i, j), g_h(i, j), b_h(i, j)), & \bigcap_{e=1}^{s(i, j)} \mu(sd(e)) > 0.5 \\ c(r_r(i, j), g_r(i, j), b_r(i, j)), & \text{其他} \end{cases} \quad (14)$$

当滑动窗口作用完图像中所有像素, 就从原始图像中分割出目标 Ob_h 。这样, m 个处理器用相同的算法同时分割不同的 m 个目标 Ob_h ($h = 1, \dots, m$)。

3 实验

利用上述算法, 对图3所示的原始图像进行了目标分割仿真实验, 其目的是要从原始图像中分割出箱子和门。在实验中, 滑动窗口的大小设定为 $u \times u = 3 \times 3$, $\alpha = 1$, 对箱子而言 β 设置为 0.0693, 对门而言, β 设置为 0.0173。在仿真过程中, 箱子像素和门像素分别用 (5, 5, 5) 表示和 (10, 10, 10) 表示, 而其他像素用 (255, 255, 255) 表示, 结果如图4和图5所示。从图4和图5可以看出, 文中所提并行算法能同时从原始图像中分割出箱子和门, 提高移动机器人视觉导航的实

时性。

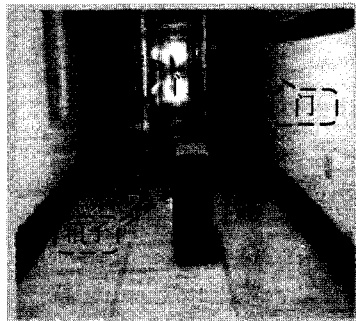


图3 原始图像

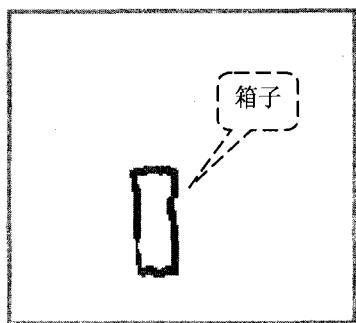


图4 箱子分割结果

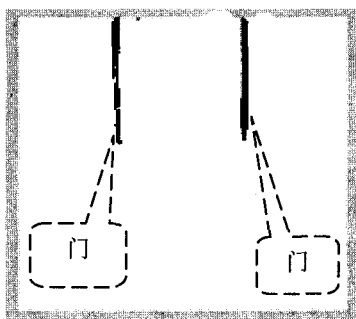


图5 门分割结果

4 结束语

文中用多个处理器组成并行结构同时对移动机器人导航中不同子任务所对应的目标图像进行分割。在此框架上, 运用 Fisher 判据确定出每个子任务中目标像素的一个同组来完成目标图像分割。为了提高分割效果, 构造了模糊隶属度函数。实验证实了所提并行算法的有效性。

参考文献:

- [1] Lin Shengyou, Shi Jiaoying. A color edge detection operation based on human vision[J]. Journal of Images and Graphics, 2005, 10(1): 45-47.
- [2] 金 军. 基于子块的区域生长的彩色图像分割算法[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(1): 82-83.
- [3] 叶齐祥, 高 文, 王伟强, 等. 一种融合颜色和空间信息的彩色图像分割算法[J]. 软件学报, 2004, 15(4): 522-530.

(下转第116页)

表 2 G-O 模型、ZTP 模型和新模型比较结果

	SSE	R-Square	AE
G-O	470.1561	0.8367	0.0827
ZTP 模型	380.4837	0.9454	0.0698
提出的新模型	174.0872	0.9545	0.0452

6 结束语

迄今为止,还没有一个通用的软件可靠性模型可以适用于任何一个软件开发的过程当中。因此只能根据实际情况,选择适当的可靠性模型对软件开发过程进行预测。文中所提出的模型,综合考虑了排错时间、排错效率和错误引入率不是理想情形的影响,此该模型更为准确地体现了非理想排错过程的特点,使模型更加符合实际情况。通过两组公开发表的软件失效数据对模型进行了拟合分析,验证了新模型的对软件可靠性的评估和预测能力,而且所验证的模型仅是新提出的一般模型的简化特例。对于文中提出使用的错误发现率函数,错误排除效率函数,错误引入率函数等函数的具体形式,还可以根据其性质和实际的具体软件开发过程选取其他的函数来建立求解模型。

参考文献:

- [1] Lo Jung-Hua. Considering Both Failure Detection and Fault Correction Activities in Software Reliability Modeling [C]//IEEE Region 10 International Conference (TENCON 2006). [s. l.]: [s. n.], 2006:1-4.
- [2] Lo J, Huang C. An integration of fault detection and correction processes in software reliability analysis [J]. Journal of System and Software, 2006(79):1312-1323.
- [3] 谢景燕, 安金霞, 朱纪洪. 考虑不完美排错情况的 NHPP 类软件可靠性增长模型[J]. 软件学报, 2010, 21(5):942-949.
- [4] Huang C Y, Lyu M R, Kuo S Y. A unified scheme of some nonhomogenous Poisson process models for software reliability estimation [J]. IEEE Transaction on Software Engineering, 2003, 29(3):261-269.
- [5] Goel A L, Okumoto K. Time dependent error detection rate model for software reliability and other performance measures [J]. IEEE Transaction on Reliability, 1979, 28(3):206-211.
- [6] Zhang Xuemei, Teng Xiaolin, Pham H. Considering Fault Removal Efficiency in Software Reliability Assessment [J]. IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics, 2003, 33(1):114-119.
- [7] Huang C, Lin C. Software reliability analysis by considering fault dependency and debugging time lag [J]. IEEE Transaction on Reliability, 2006, 55(3):436-450.
- [8] 吴彩华, 朱小冬, 刘俊涛. 一种新的软件可靠性增长模型[J]. 系统工程与电子技术, 2009, 31(8):2024-2028.
- [9] Musa J D. Software reliability measurement, prediction, application [M]. New York: McGraw-Hill Press, 1987.
- [10] Huang C Y, Kuo S Y, Michael R L, et al. Quantitative Software Reliability Modeling from Testing to Operation [C]//11th International Symposium on Software Reliability Engineering. [s. l.]: [s. n.], 2000:72-82.
- [11] 刘宏伟, 杨孝宗, 岳晓光. 一个考虑多种排错延迟的 NHPP 类软件可靠性增长模型[J]. 计算机工程与应用, 2004(30):12-14.
- [12] Wood A. Predicting software reliability [J]. IEEE Computer, 1996, 29(11):69-77.
- [13] Pham H, Zhang X. A Software Cost Model with Warranty and Risk Costs [J]. IEEE Trans. Computers, 1999, 48(1):71-75.
- [4] Wang Jianan, Kong Jun. A region-based SRG algorithm for color image segmentation [C]//Proceedings of the Sixth International Conference on Machine Learning and Cybernetics. Hong Kong: [s. n.], 2007:19-22.
- [5] 林开颜, 徐立鸿, 吴军辉. 快速模糊 C 均值聚类彩色图像分割方法[J]. 中国图像图形学报, 2004, 9(2):159-163.
- [6] 周礼平, 高新波. 图像分割的快速模糊 C 均值聚类算法[J]. 计算机工程与应用, 2004(8):68-70.
- [7] Zhang Yongyue, Brady M, Smith S. Segmentation of Brain Image Through a Hidden Markov Random Field Model and the Expectation-Maximization Algorithm [J]. IEEE Transaction on Medical Image, 2001, 20(1):45-57.
- [8] 刘盈盈, 石跃祥, 莫浩瀚. 基于改进 K 均值算法在彩色图像分割中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(29):191-192.
- [9] 王志豪, 汪继文. 一种基于 CB 模型的彩色图像分割方法[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(5):44-46.
- [10] Gao Pengdong, Lu Yongquan, Qiu Chu. Performance Comparison between Color and Spatial Segmentation for Image Retrieval and Its Parallel System Implementation [J]. Journal of Liaoning Normal University, 2008, 30(3):539-543.
- [11] Fernandes S D F, Monteiro A M V. Parallelism and images: a parallelization experiment for image segmentation with an application for automatic classification of scenes obtained from orbital platforms [C]//Proceedings XIII Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing. [s. l.]: [s. n.], 2000:342-344.
- [12] Kenney C, Deng Y, Manjunath B S. Peer group image enhancement [J]. IEEE Transaction on Image Processing, 2001, 10(2):326-334.

(上接第 111 页)