

文章编号: 1001 - 9014(2008)01 - 0042 - 05

基于元胞自动机的红外弱小目标图像分割

刘松涛, 杨绍清

(海军大连舰艇学院 信息与通信工程系, 辽宁 大连 116018)

摘要:针对红外成像制导中弱小目标图像分割,提出了基于元胞自动机的自动分割方法.首先使用元胞自动机增强图像的对比度,状态转移函数采用了冯·诺伊曼邻域和一致的演化规则,然后采用边缘双阈值策略二值化图像,最后标记形成目标块,并依据种子点和目标复杂度进行滤波,得到精确的图像分割结果.在实拍的 3 幅不同类型的红外图像上进行分割实验,其结果表明:提出的方法均能够有效地分割出多个弱小目标区域,有利于下一步的目标识别和跟踪.

关键词:元胞自动机;图像分割;二值化图像;目标复杂度
中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A

SEGMENTATION OF INFRARED WEAK AND SMALL TARGET IMAGE BASED ON CELLULAR AUTOMATA

L IU Song-Tao, YANG Shao-Qing

(Dept of Information & Communication Engineering, Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China)

Abstract: For segmenting weak and small target image in infrared imaging guidance systems, a new automatic segmentation method based on cellular automata was proposed. First, the image contrast was enhanced by using cellular automata, and a von Neumann neighborhood with a uniform cellular automaton rule was adopted for the state transition function. Then, the image was binarized by using the method of dual edge thresholds. Finally, the target blocks were labeled and filtered according to seed points and target complexity. In this way the accurate results of image segmenting were obtained. In the segmentation experiments for three different types of infrared images captured in the outfield, the proposed method can locate effectively the region of multiple weak and small targets, which facilitates the subsequent target recognition and tracking.

Key words: cellular automata; image segmentation; binary image; target complexity

引言

元胞自动机,英文名 Cellular Automata,简称 CA,有的文献中译为细胞自动机、分子自动机、点格自动机或单元自动机等.冯·诺伊曼只是给出了一个初步的基本概念.此后,经过物理学家、数学家、计算机科学家、生物学家以及其它学科的学者们共同工作,元胞自动机成为一个地地道道的“混血儿”.因此,对元胞自动机的含义也存在不同的解释.物理学家将其视为离散的、无穷维的动力学系统;数学家将其视为描述连续现象的偏微分方程的对立体,是一个时空离散的数学模型;计算机科学家将其视为新兴的人工智能、人工生命的分支;而生物学家则将其

视为生命现象的一种抽象^[1].

元胞自动机的应用范围很广,但是在图像处理领域的应用还很少. Hernandez等^[2]针对图像锐化和平滑进行了研究并提出了许多基于 CA 的算法. Wongthanavas 等^[3]提出了使用冯·诺伊曼邻域的一致自动机规则,在二值和灰度图像上进行边缘检测. Nakano 等^[4]提出了基于 CA 的区域提取算法,依次提取出每个区域,这使得后续的图像处理可以执行流水线处理. Chattopadhyay 等^[5]基于加性 CA 的属性提出了分类问题的新的解决方案.最近, Rosin 等^[6]提出了进行特征选择的串行浮点前向搜索算法来选择最优规则.文中考虑了驱动搜索的多种目标函数,执行了 3 种图像处理任务:去噪、细化和凸包,改善了图像处理性能.

收稿日期: 2007 - 02 - 21, 修回日期: 2007 - 12 - 18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60572160)

作者简介: 刘松涛 (1978-), 男, 河南孟津人, 工学博士, 讲师. 主要从事图像融合、目标识别、成像跟踪、DSP 开发等研究工作.

Received date: 2007 - 02 - 21, revised date: 2007 - 12 - 18

红外成像制导是利用目标和背景之间的热辐射差,形成目标和周围景物的图像来实现自动导引的制导方法,具有很强的抗干扰、探测微弱目标、对目标自动识别和跟踪等方面的能力,是精确制导技术的主要发展方向.图像分割是红外成像制导的一项关键技术,吸引了国内外许多学者的关注^[7,8].如何有效地实现红外弱小目标图像分割一直是这个领域的热点问题,也是尚未解决的难点问题.本文提出了基于规则构型的应用于弱小目标图像分割的二维元胞自动机模型.首先介绍了CA的基本概念和规则构型的CA模型,接着把CA模型应用于实拍红外图像进行对比度增强,并利用边缘双阈值策略二值化图像,最后为了减少后续算法的计算量,先对二值化图像进行中值滤波,再标记形成目标块,并依据种子点和目标复杂度进行滤波,得到精确的图像分割结果.

1 基本概念

元胞自动机是一个时空离散、状态离散的并行数学模型,它是由大量简单的、具有局域相互作用的元胞所构成.元胞自动机在每一个离散时间点进行演化,每一格点的值根据一个预定义的局部规则,按照相邻元胞前一时刻的值同步更新.

标准的元胞自动机是一个四元组 $A = \{d, S, N, f\}$. A 代表一个元胞自动机系统; d 表示 A 的维数,是一个正整数; S 是一个有限状态集; N 是一个 Z^d 的包含 n 个不同元胞状态的空间矢量,表示邻域内元胞的组合, $N = (S_1, S_2, \dots, S_n)$; f 表示将 S^n 映射到 S 上的一个局域转换规则.元胞排列成无限 d 维阵列,其位置由 Z^d 来索引, Z^d 为整数 d 元组集合.一个元胞 $s \in Z^d$ 的邻元是指位置 $S + S_i$ ($i = 1, 2, \dots, n$) 处的元胞.局部规则 f 给出了一个元胞根据其邻元前一时刻的状态来导出新状态的规则.若元胞的状态有 k 种,状态更新由自身及其四周临近的 n 个元胞状态共同决定,那么可能的演化规则有 k^n 种,这正是模拟复杂现象所必需具备的条件.对于不同的系统,可以用不同的格子形状、不同的状态集合、不同的演化规则来构成不同的元胞自动机.

鉴于图像像素的排列特点,本文探讨二维元胞自动机,格子的形状为正方形.对于元胞状态,先从二值状态介绍,然后推广到多值状态,这正好可以对应于二值图像和灰度图像.

2 规则构型的元胞自动机

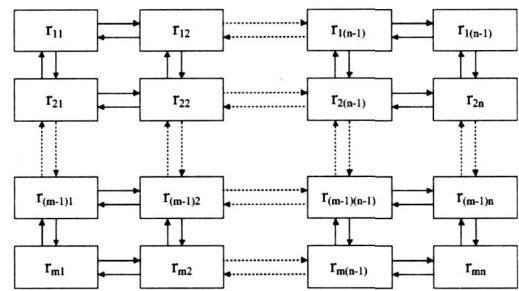


图 1 CA 的结构

Fig 1 Structure of CA

表 1 CA 的状态表

Table 1 The state table of the proposed CA

状态 $h(c) = (v(c), v(n), v(e), v(s), v(w))$	$v^+(c)$
00000 ~ 01111 (0 ~ 15)	0
10000 ~ 11110 (16 ~ 31)	1
11111 (32)	0

图 1 是 m 行 n 列元胞自动机的互连结构.元胞的演化规则记为 $r_{11}, r_{12}, r_{13}, \dots, r_{1n}$, 则 $[r_{11}, r_{12}, \dots, r_{1n}]$, $[r_{21}, r_{22}, \dots, r_{2n}]$, \dots , $[r_{m1}, r_{m2}, \dots, r_{mn}]$ 为 $m \times n$ 型 CA 的规则向量,这样的 CA 就称为具有规则构型的元胞自动机.在每一个时间步,元胞使用元胞规则更新元胞的状态.令所有元胞使用相同的规则,并且其邻域结构为冯·诺伊曼型,则元胞 c 的演化规则为 $v^+(c) = f(v(c), v(n), v(e), v(s), v(w))$,其中 $v(c)$ 为当前元胞的状态, $v(n), v(s), v(w), v(e)$ 分别为当前元胞上、下、左、右元胞的状态, $v^+(c) = (v(c) + v(n) + v(e) + v(s) + v(w)) \bmod 5$,如果 $v^+(c) = 0$,则 $v^+(c) = v(c)$,否则, $v^+(c) = 0$.表 1 为演化规则对应的状态表,共有 $32(2^5)$ 个局域转换规则,这是所有 2^{32} 个可能的状态表的其中之一.

3 图像分割

红外图像通常表现为对比度差和信噪比低,尤其是目标在很远的地方或辐射不是很强时,目标将淹没于大片的背景中,给目标识别带来了困难,因此需要对获取的红外图像进行预处理增强,然后才能有效地分割出目标,从而进行目标识别和跟踪.

3.1 对比度增强

本文研究的对象为 256 级的灰度图像,所以要把元胞自动机从二值状态推广到多值状态.从二值状态转换规则可以看出,其基本思想是变化区域的元胞状态保持不变,均匀区域的元胞状态置为 0.若推广至多值状态,比如应用在灰度图像上,可演化为

边界区域的像素值保持不变,均匀区域的像素值趋于 0,从而图像的对比度增强了,即:如果 $v_c \leq v_{max} - v_{min}$, 则 $v_c^+ = v_c$; 否则, $v_c^+ = v_{max} - v_{min}$, 其中 v_c 是当前元胞的状态, v_{max} 和 v_{min} 分别是冯·诺伊曼邻域元胞状态的最大值和最小值. 为了使图像整体亮度增加,图像像素的动态范围扩展为 $0 \sim 255$. 和二值状态不同,由于状态空间太大,多值状态不能给出直观的状态表.

3.2 二值化

对增强后图像采用边缘双阈值策略二值化,其中低阈值可以确保不丢失弱边缘,高阈值可以找到目标的种子点像素.在一幅图像中,非边缘点数目在总图像像素点数目中占有一定的比例,对应的比例因子表示为 $Lratio$. 根据图像边缘图对应的直方图,从低灰度值等级开始逐步累加图像点数目,当累加数目达到图像总像素数目的 $Lratio$ 时,对应的图像灰度值即为低分割阈值.文中 $Lratio$ 取为 0.95,高阈值对应的比例因子 $Hratio$ 取为 0.99.

3.3 标记和滤波

二值化图像中可能混杂有大量的孤立噪声点,即虚警点.为了减小后续处理的复杂度,采用经典的中值滤波可以直接排除掉这些虚警点.

将滤波后的二值化图像从左到右,从上到下进行扫描标记(设定图像的起点在图像的左上方).为了标记当前被扫描的像素,需要检查该像素与它之前扫描到的若干个近邻像素的连通性,这里采用了 8 邻域^[9].若当前正被扫描像素的灰度为 0 时,不予考虑,反之,则需要考虑以下几种不同的情况:

(1)前面相邻的几个像素的灰度均不为 1,则赋予一个新的目标标记;

(2)前面相邻的几个像素的灰度仅有一个为 1,则将它标记为与之连通的目标像素;

(3)前面相邻的几个像素的灰度不止一个为 1,则可以认为这些像素实际是属于同一个目标,并把它们连接起来.

对标记后的目标块利用种子点和目标复杂度进行滤波.种子点是图像中的高灰度值点,认为目标中一定含有种子点.目标复杂度简单地用目标块的像素数表示,认为图像中的准目标含有的像素数一定较多.

4 实验结果

实验图像为实拍的 3 幅舰船目标红外图像,其共同特点是对比度差,信噪比低,目标弱小,不同之

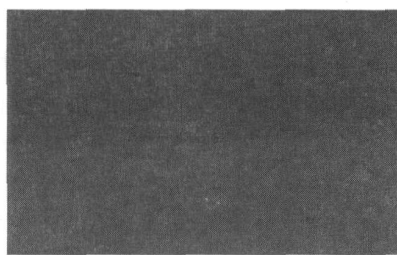


图 2 舰船目标红外图像 1
Fig. 2 Ship target infrared image 1

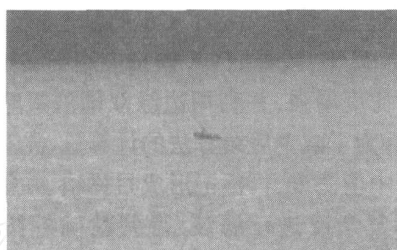


图 3 舰船目标红外图像 2
Fig. 3 Ship target infrared image 2

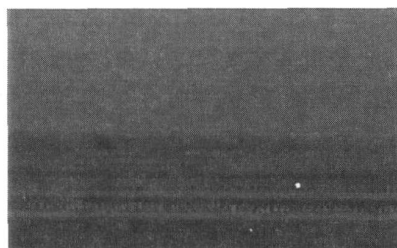


图 4 舰船目标红外图像 3
Fig. 4 Ship target infrared image 3



图 5 CA 增强算法
Fig. 5 Enhancement algorithm based on CA

处在于:第 1 幅图像场景亮度适中,含有两个小目标,一个在图像中间,另一个在图像右下方,另外,图像下方有两排叠加的视频文字,无形中增加了图像中的干扰信息,见图 2;第 2 幅图像场景亮度偏亮,含有一个小目标,有浪花干扰,见图 3;第 3 幅图像场景亮度偏暗,含有一个小目标,鱼筏子干扰非常严重,见图 4.

第 1 幅图像的实验结果如下:图 5 为 CA 算法



图6 双阈值分割
Fig.6 Segmentation of dual thresholds



图7 形态滤波
Fig.7 Morphological filtering



图8 中值滤波
Fig.8 Median filtering

增强后图像,目标和干扰都变得更加明显,同时海空背景变得很暗,显然,图像的对比度增大了,非常有利于后续的图像分割和目标识别处理.图6为双阈值分割的结果,不仅保留了目标的高灰度值部分,还保留了目标的弱边缘部分,从而尽可能少地损失后续目标识别算法所需要的信息量.图7和图8分别为对分割后图像进行形态滤波和中值滤波的结果.显见,形态滤波的结果较差,比如图像右下方目标的像素数变得更少了,所以文中采用了中值滤波算法.图9为基于目标复杂度的滤波结果,实验中保留了具有强复杂度的前10个目标块,海空背景下的大量干扰被滤除掉了,但视频文字干扰仍存在.图10为再利用种子点进行滤波的结果,也是第1幅图像的最终分割结果,两个目标均被完整地分割出来.由于图像中间目标的船体和烟囱呈现反灰度值,且边缘信息非常弱,所以分割结果为两个目标块.

考虑到版面限制,对第2、3幅图像仅给出最终

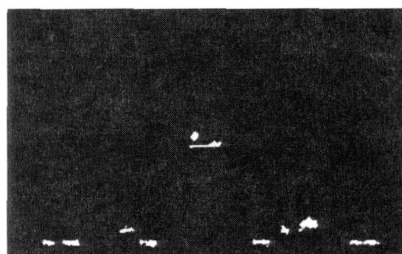


图9 目标复杂度滤波
Fig.9 Target complexity filtering

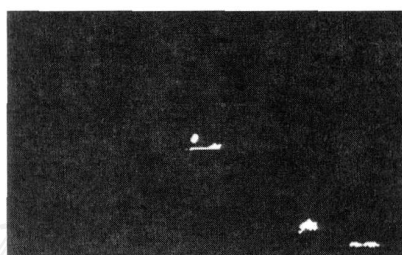


图10 第1幅图像的最终分割结果
Fig.10 Final segmentation result of the first image

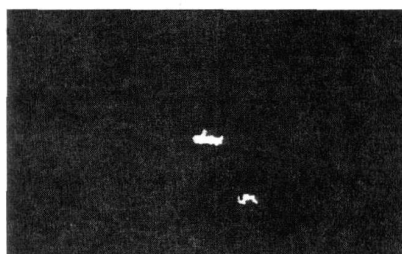


图11 第2幅图像的最终分割结果
Fig.11 Final segmentation result of the second image

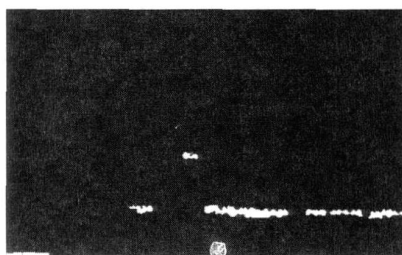


图12 第3幅图像的最终分割结果
Fig.12 Final segmentation result of the third image

分割结果.对3幅图像分割的所有算法参数保持一致,实验结果都比较理想,充分体现了本文算法的有效性、适应性.

另外,令 $H_{ratio} = 0.995$,即可排除图11的浪花干扰,对于图10的视频文字干扰、图12的鱼筏子干扰,可以考虑在目标识别时结合其它信息滤除掉.

5 结束语

本文提出了将基于规则构型的二维元胞自动机模型应用于红外弱小目标图像分割. 实验表明, 提出的算法能够有效地分割出多个弱小目标区域, 有利于下一步的目标识别和跟踪. 另外, Preston等^[10]曾指出: 若把CA算法在CA机器上实现, 计算复杂度是一个常量乘以迭代次数, 即 $O(n \cdot a)$. 本文中, CA增强算法仅需要一个时间步, 则计算复杂度为 $O(a)$, 所以CA增强算法是非常高效的. 实际上, 本文只是把CA模型应用到图像对比度增强, 没能完全应用到图像分割, 从而也没能彻底发挥出CA模型的高效性. 下一步工作考虑设计合适的局域转换规则, 经过多步演化, 可以直接分割出图像中的多个弱小目标区域.

REFERENCES

- [1] ZHOU Cheng-Hu, SUN Zhan-Li, XIE Yi-Chun *Research on geography cellular automatic* [M]. Beijing: Science Press(周成虎, 孙战利, 谢一春. 地理元胞自动机研究. 北京: 科学出版社), 1999.
- [2] Hernandez Gonzalo, Hans J Hermann Cellular automata for elementary image enhancement [J]. *Graphical Models and Image Processing*, 1996, **58**(1): 82—89.
- [3] Wongthanavas S, Sadananda R. A CA-based edge operator and its performance evaluation [J]. *J. Vis Comm un In-*
age R, 2003, (14): 83—96
- [4] Nakano T, Morie T, Nagata M, *et al* A cellular-automaton-type image extraction algorithm and its implementation using an FPGA [A]. *In Proceeding of IEEE*, 2002: 197—200.
- [5] Chattopadhyay Santanu, Shelly Adhikari, Sabyasachi Sengupta, *et al* Highly regular, modular, and cascable design of cellular automata-based pattern classifier [J]. *IEEE Transactions on Very large Scale Intergration Systems*, 2000, **8**(6): 724—735.
- [6] Rosin Paul L. Training cellular automata for image processing [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2006, **15**(7): 2076—2087.
- [7] YANG Lei, YANG Jie, LNG Jian-Guo, *et al* Real-time method for detecting multi-small targets in infrared large sight field [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (杨磊, 杨杰, 凌建国, 等. 一种红外大视场环境下的多小目标实时检测方法. 红外与毫米波学报), 2006, **25**(5): 377—381.
- [8] TAO Wen-Bing, JIN Hai Ship infrared object segmentation based on mean shift filtering and graph spectral clustering [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (陶文兵, 金海. 基于均值漂移滤波及谱分类的海面舰船红外目标分割. 红外与毫米波学报), 2007, **26**(1): 61—64.
- [9] CHEN Zhong-Bi, ZHANG Qi-Heng An image segmentation algorithm suitable for multi-object detection [J]. *Opto-Electronic Engineering* (陈忠碧, 张启衡. 一种适合于多目标检测的图像分割方法. 光电工程), 2004, **31**(5): 34—37.
- [10] Preston Jr Basics of cellular logic with some applications in medical image processing [J]. *Proc IEEE*, 1979, (67): 826—857.
- [3] CHANG Jun, LU Li-Ping, WANG Yong-Tian, *et al* Dual-band infrared optical system with large field-of-view and aperture [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (常军, 刘莉萍, 王涌天, 等. 大视场、大口径双波段红外非制冷光学系统. 红外与毫米波学报), 2006, **25**(3): 170—172.
- [4] GUO Yong-Hong, SHEN Mang-Zuo, LU Zu-Kang A study on off-axis three-mirror system [J]. *Opto-Electronic Engineering* (郭永洪, 沈忙作, 陆祖康. 离轴三反射镜系统研究. 光电工程), 1999, **26**(Sup): 45—48.
- [5] LU L in The study on design of the three-reflective system [D]. Soochow University, Master Dissertation (刘琳. 长焦距反射式望远镜设计研究. 苏州大学硕士学位论文), 2002.
- [6] LU L in, XU Meng-Qiu, SHEN Wei-Min Approach to increase the image performance of the uncoaxial three-mirror reflective system [J]. *Optical Technique* (刘琳, 薛鸣球, 沈为民. 提高离轴三反射镜系统成像质量的途径. 光学技术), 2002, **28**(2): 181—184.

(上接 41 页)