

Beijing Forest Studio
北京理工大学信息系统及安全对抗实验中心



元胞自动机原理及其在显著性检测中的应用

李蕊

2018年11月4日

- 背景简介
- 基本概念
- 算法原理
- 优劣分析
- 应用总结
- 参考文献

- 预期收获
 - 1. 熟悉元胞自动机的历史现状、分类及应用场景
 - 2. 理解元胞自动机的算法原理
 - 3. 了解元胞自动机在显著性检测中的应用

- 算法提出的原因
 - 为自然界的自我复制和生物发展提供一个理论
- 提出问题
 - 揭示生命复制、进化过程
- 算法的发展历史



冯诺依曼



康威



沃尔夫勒姆

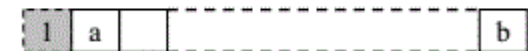
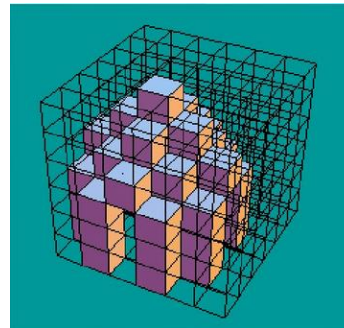
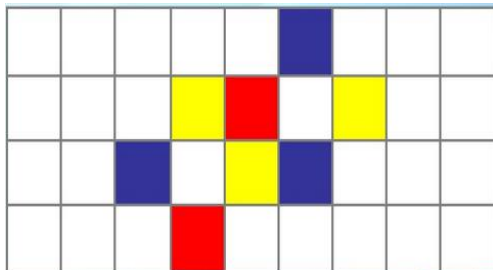
- 基本概念

- 元胞：一个存储元件，可以记录状态

- 元胞空间

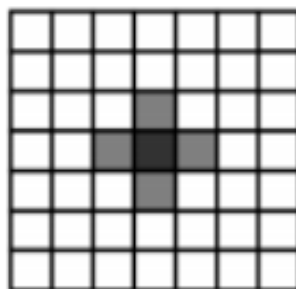
- 元胞所分布的空间网点集合

- 元胞空间的边界条件主要有三种类型：周期型、反射型和定值型

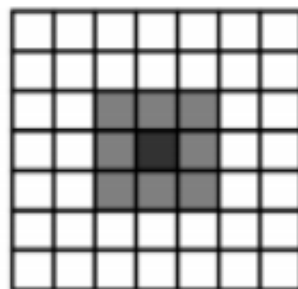


- 基本概念

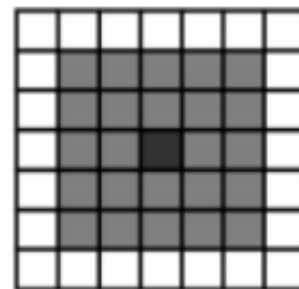
- 邻域



冯诺依曼邻域



摩尔邻域



扩展的摩尔邻域

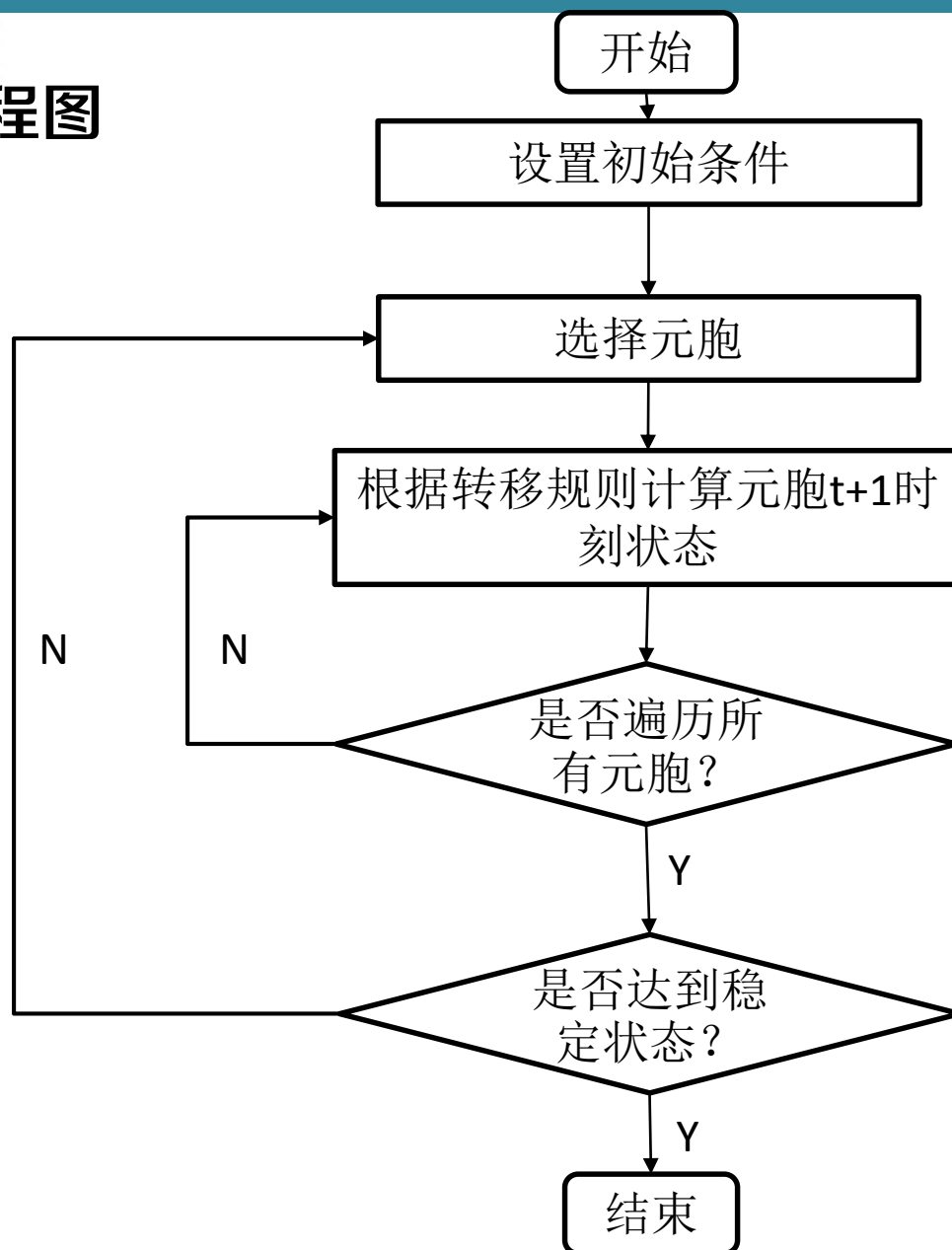
R=2

- 转换规则：根据元胞当前状态及其邻域中元胞的状态决定下一时刻该元胞状态的状态转移函数

T	将状态矩阵由无序状态转移到有序状态
I	无序无规则不平衡的状态矩阵
P	1. 确定初始条件 2. 确定转移规则 For { 更新模型 }
O	有序有规则平衡的状态矩阵

P	模拟（复杂）系统时空演化过程
C	
D	如何确定转移规则
L	CCF A类会议

- 算法流程图



- 算法基本步骤（生命游戏）

- 步骤1：设定元胞状态0表示死亡，1表示活着，邻域半径为1，邻域类型为Moore型，演化规则为

$$\begin{aligned} \text{若 } S_{i,j}^t = 1, \text{ 则 } S_{i,j}^{t+1} &= \begin{cases} 1, & N_{i,j}^t = 2, 3 \\ 0, & N_{i,j}^t \neq 2, 3 \end{cases} \\ \text{若 } S_{i,j}^t = 0, \text{ 则 } S_{i,j}^{t+1} &= \begin{cases} 1, & N_{i,j}^t = 3 \\ 0, & N_{i,j}^t \neq 3 \end{cases} \end{aligned}$$

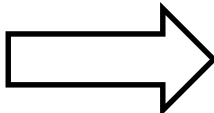
0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	1	0
0	0	1	0	1	0
0	0	1	1	1	0
0	1	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0

- 步骤2：遍历元胞空间中元胞状态，根据转移规则更新 $t+1$ 时刻的元胞状态，当遍历完所有元胞后，开始第二次遍历，直至达到设定的迭代次数。

$$\text{若 } S_{i,j}^t = 1, \text{ 则 } S_{i,j}^{t+1} = \begin{cases} 1, & N_{i,j}^t = 2, 3 \\ 0, & N_{i,j}^t \neq 2, 3 \end{cases}$$

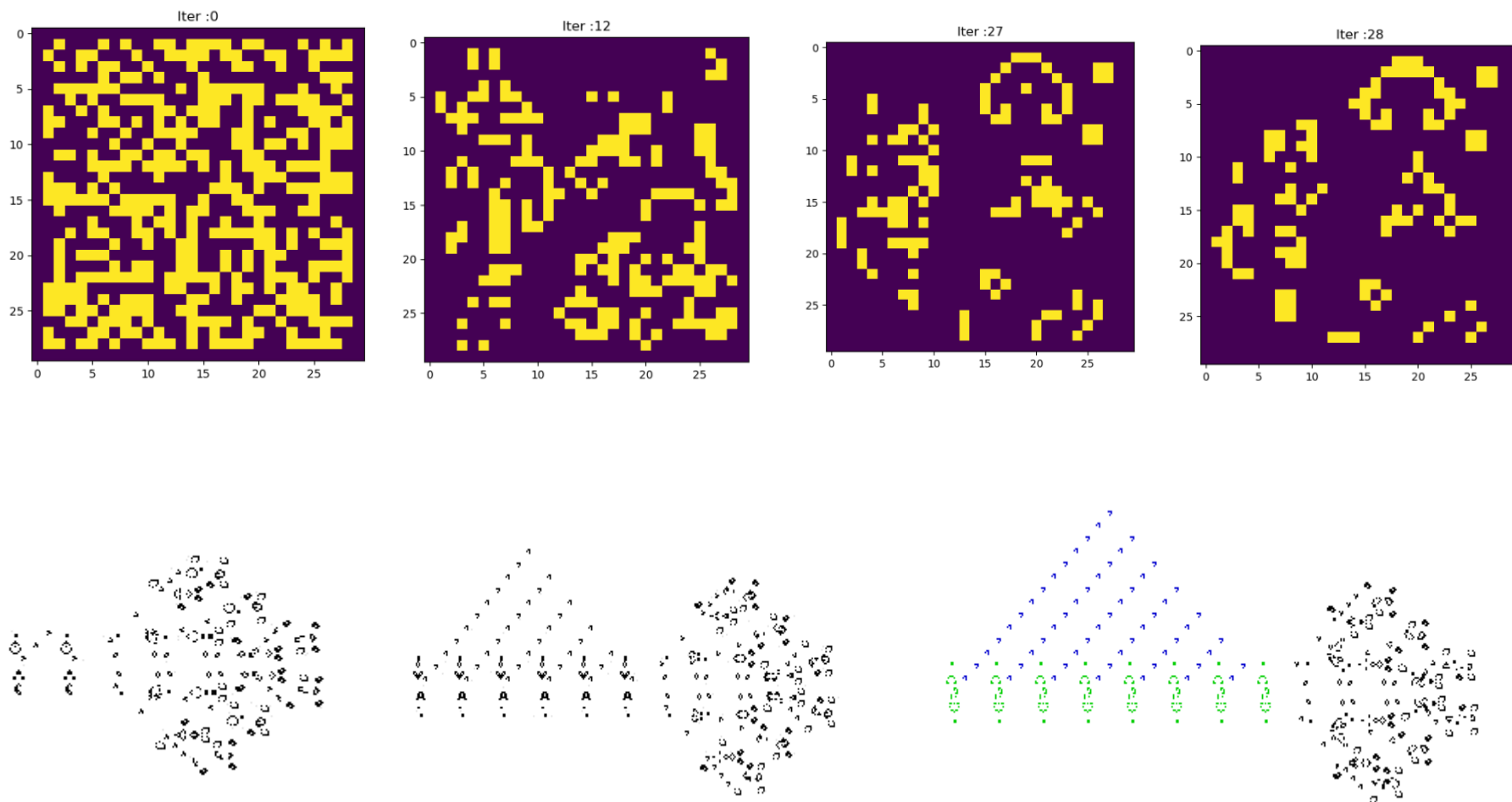
$$\text{若 } S_{i,j}^t = 0, \text{ 则 } S_{i,j}^{t+1} = \begin{cases} 1, & N_{i,j}^t = 3 \\ 0, & N_{i,j}^t \neq 3 \end{cases}$$

0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	1	0
0	0	1	0	1	0
0	0	1	1	1	0
0	1	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0

转移1步


0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	1	0
0	0	0	0	1	0
0	0	1	1	1	0
0	1	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0

- 算法执行结果



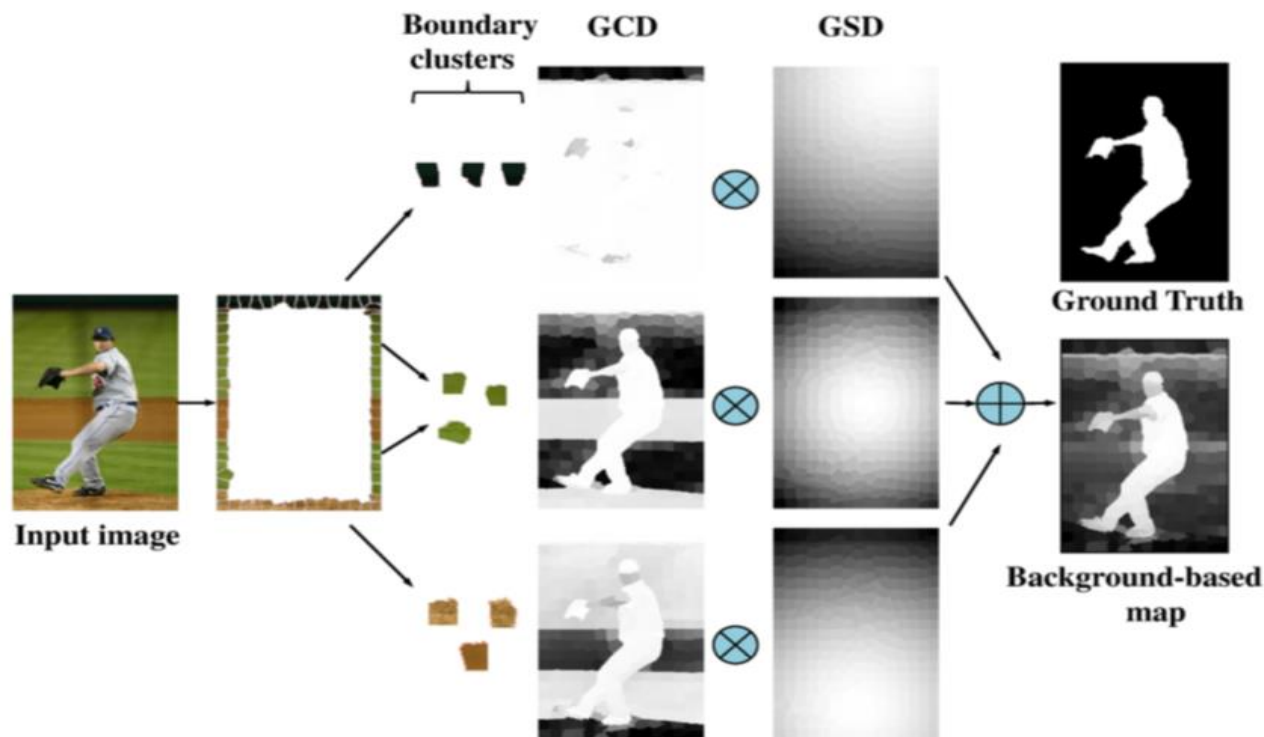
- 优势
 - 简单的规则产生出高度复杂的演化结果
- 劣势
 - 元胞有规律的在空间中排列
 - 合理的转化规则是效果的关键



- 什么是显著性检测
 - 显著性检测是指通过智能算法模拟人的视觉特点，提取图像中的显著区域（即人类感兴趣的区域）
- 为什么要做显著性检测
 - 视觉跟踪、目标重定位、图像分类和图像分割
- 怎样用元胞自动机做显著性检测
 - 构建全局颜色差异矩阵和空间距离矩阵，融合成一幅基于背景的显著性图
 - 使用元胞自动机的同步更新机制

- 超像素
 - 具有相似纹理、颜色、亮度等特征的相邻像素构成的有一定视觉意义的不规则像素块
 - 利用像素之间特征的相似性将像素分组,用少量的超像素代替大量的像素来表达图片特征,很大程度上降低了图像后处理的复杂度
- Lab色彩模型
 - 由亮度 (L) 和有关色彩的a, b三个要素组成。
 - L表示亮度, L的值域由0 (黑色) 到100 (白色)。
 - a表示从洋红色至绿色的范围 (a为负值指示绿色而正值指示品红)
 - b表示从黄色至蓝色的范围 (b为负值指示蓝色而正值指示黄色)。

- 构建全局颜色差异矩阵和空间距离矩阵，融合成一幅基于背景的显著性图



全局颜色差异图

全局空间距离差异图

越靠近背景色，显著值越准确
增加靠近背景色的显著性的权重

- 使用元胞自动机的同步更新机制

- 超像素点代表一个元胞
- 超像素点的显著性值作为状态，（0,1）的连续值
- 邻域 $R=2$
- 影响因子矩阵

色差越大， f 越小

$$f_{ij} = \begin{cases} \exp(\frac{-\|c_i, c_j\|}{\sigma_3^2}) & j \in NB(i) \\ 0 & i = j \text{ or otherwise} \end{cases}$$

- 置信度矩阵

色差越大， c 越大

$$c_i = \frac{1}{\max(f_{ij})} \quad c_i \in [b, a + b] \quad a=0.2, b=0.6$$

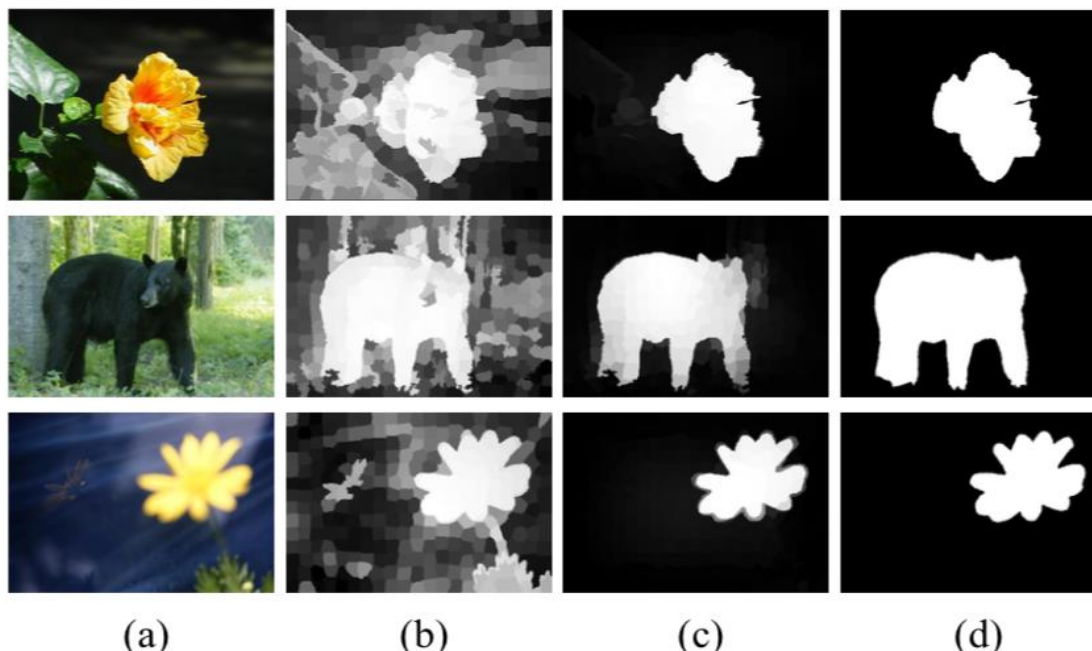
$$c_i^* = a \cdot \frac{c_i - \min(c_j)}{\max(c_j) - \min(c_j)} + b$$

- 使用元胞自动机的同步更新机制

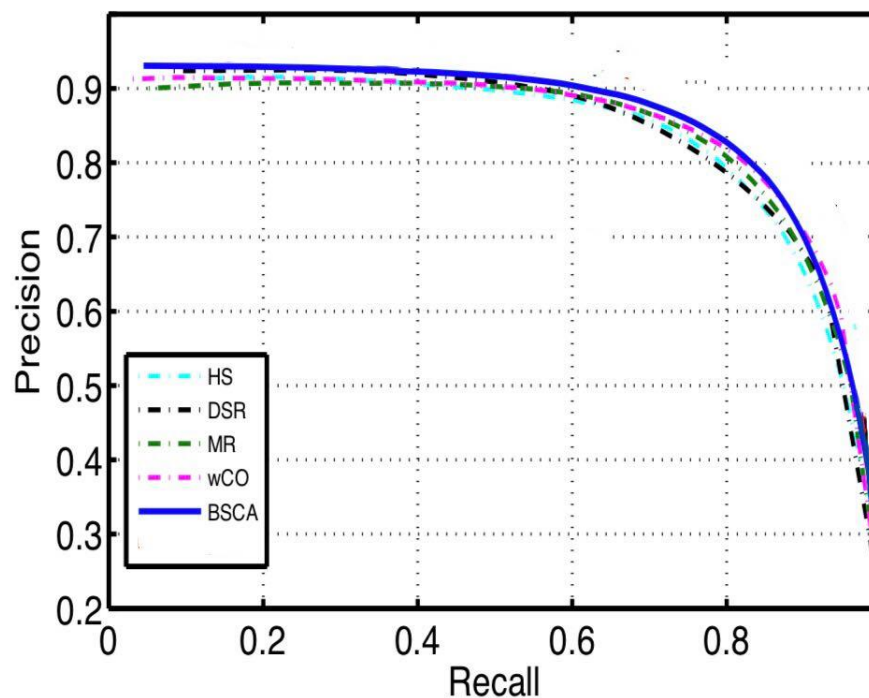
- 同步更新原则

$$S^{t+1} = C^* \cdot S^t + (I - C^*) \cdot F^* \cdot S^t$$

- 检测结果



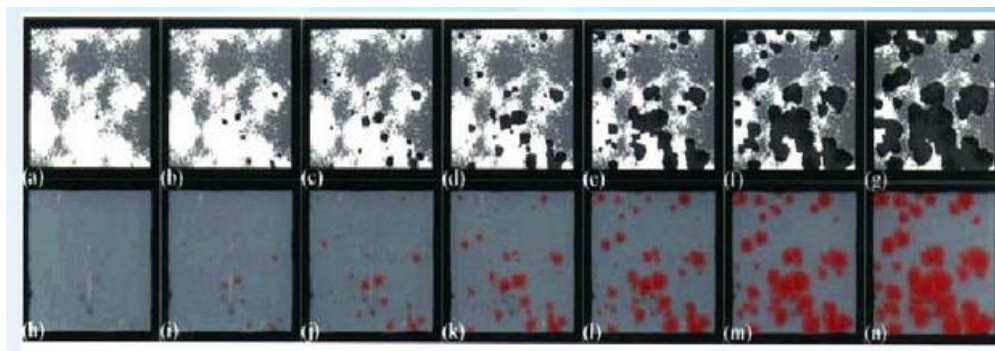
- 评价
 - 精确率-召回率曲线
 - MSRA-5000 标准数据库



– 平均绝对误差 MAE

	FT[1]	IT[16]	CA[13]	RC[8]	XL[47]	LR [36]	HS[48]	UFO [20]	BSCA
ASD	0.205	0.235	0.234	0.235	0.137	0.185	0.115	0.110	0.086
ASD*	0.083	0.098	0.093	0.084	0.082	0.083	0.073	0.073	-
MSRA	0.230	0.249	0.250	0.263	0.184	0.221	0.162	0.146	0.131
MSRA*	0.132	0.137	0.134	0.130	0.127	0.128	0.121	0.118	-
THUS	0.235	0.241	0.237	0.252	0.164	0.224	0.149	0.147	0.125
THUS*	0.128	0.125	0.129	0.125	0.121	0.126	0.117	0.116	-
ECSSD	0.272	0.291	0.310	0.302	0.259	0.276	0.228	0.205	0.183
ECSSD*	0.188	0.186	0.186	0.182	0.181	0.183	0.179	0.180	-
PASCAL-S	0.288	0.298	0.302	0.314	0.289	0.288	0.264	0.233	0.225
PASCAL-S*	0.227	0.225	0.225	0.220	0.226	0.223	0.220	0.215	-
DUT-OMRON	0.217	0.256	0.255	0.294	0.282	0.264	0.233	0.180	0.196
DUT-OMRON*	0.180	0.186	0.189	0.184	0.194	0.185	0.181	0.180	-

- 算法的应用领域
 - 社会学，完全竞争行为下垄断公司的价格决策
 - 交通管理及运输，交通系统及工程运输问题模拟
 - 城市扩展，城市扩展动态过程模拟
 - 火灾系统，模拟火灾蔓延过程
 - 数学，研究数论和并行计算等
 - 视觉图像，显著性检测



- 未来的发展

- 在管理系统中的应用，如在交通运输工程、环境工程等各管理系统中的应用将会不断扩大。
- 结合机器学习算法，神经元胞自动机、遗传算法元胞自动机
- 模型扩展为连续型、多维、多层级元胞自动机

Saliency Detection via Cellular Automata

https://www.cnblogs.com/bellkosmos/p/introduction_of_cellular_automata.html

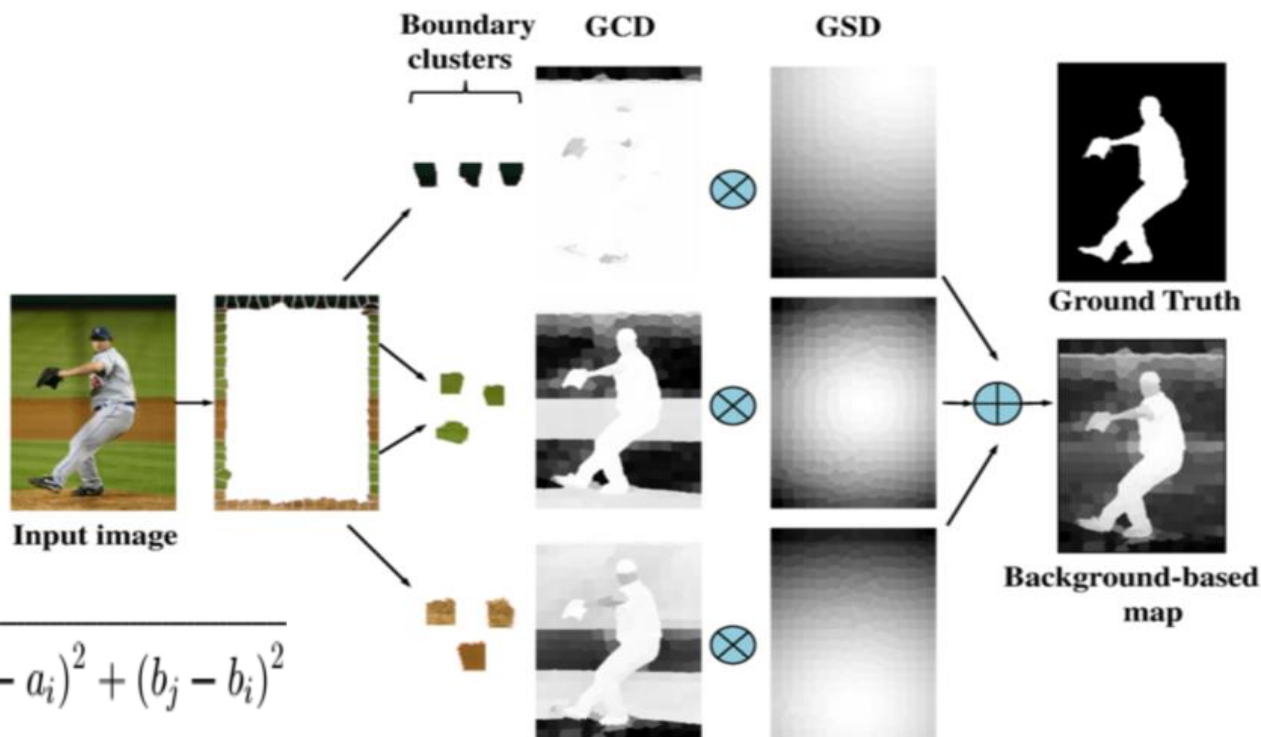
<https://wenku.baidu.com/view/ddf76d8c50e2524de4187e45.html>

谢谢！

知人者智，自知者明。
胜人者有力，自胜者
强。知足者富。强行
者有志。不失其所者
久。死而不亡者，寿。



- 构建全局颜色差异矩阵和空间距离矩阵，融合成一幅基于背景的显著性图



$$S_i^{bg} = \sum_{k=1}^K w_{k,i} \times s_{k,i}$$

全局颜色差异图

全局空间距离差异图

$$s_{k,i} = \frac{1}{p^k} \sum_{j=1}^{p^k} \frac{1}{e^{-\frac{\|c_i, c_j\|}{2\sigma_1^2}} + \beta}$$

属于第k类超像素点的总数

$$w_{k,i} = \frac{1}{p^k} \sum_{j=1}^{p^k} e^{-\frac{\|r_i, r_j\|_2^2}{2\sigma_2^2}}$$