

i

\*\*

\*

\*

\*\*

ii

iii

:

# Applications of Cellular Learning Automata to Image Processing

**M. R. Meybodi**

**Soft Computing Lab.**

**Computer Engineering and Information Technology Department.**

**Amirkabir University of Technology**

**Tehran Iran**

**M. R. Kharazmi**

**Department of Electronic**

**University of Shiraz**

**Shiraz Iran**

## *Abstract*

*A cellular learning automaton (CLA) is a collection of learning automata arranged in a grid similar to cellular automata and interacts with each other. Each learning automaton based on the actions chosen by their neighbors tries to find its best action in order for the cellular learning automata to reach a particular goal. In this paper several applications of cellular learning automata to designing image processing operations such as noise removal, image segmentation, and feature extraction are presented. The proposed algorithms have number of good characteristics such as: effectiveness in the presence of noise, higher accuracy comparing to other image processing algorithms, parallel nature, and locality.*

**Keywords:** *Cellular Automata, Learning Automata, Cellular Learning Automata, Image segmentation, Noise removal, Feature Extraction*

. [ ]

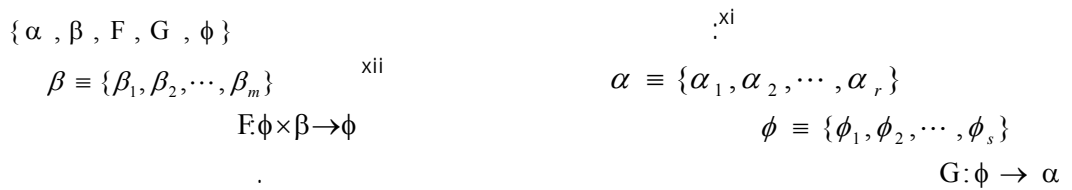
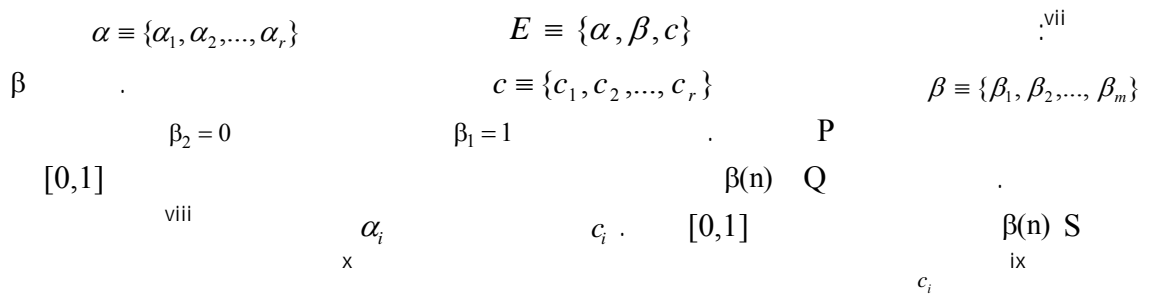
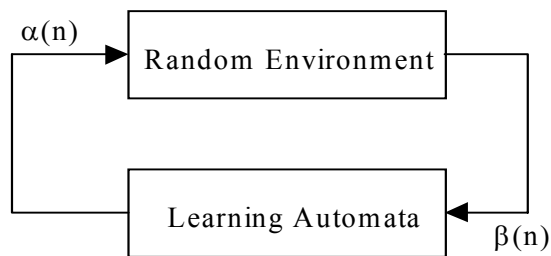
v . [ ]  
[ ]

iv  
vi . [ ]

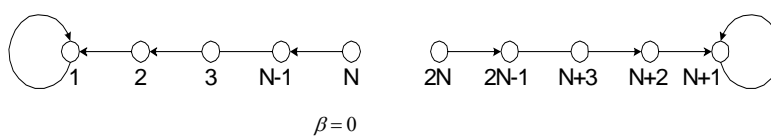
. [ ] [ ] [ ]

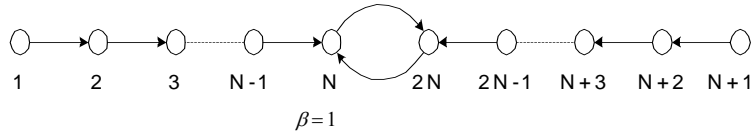
. [ ]

[ ] [ ] [ ]



.  $L_{2N,2}$





$L_{2N,2}$

$\alpha_1$

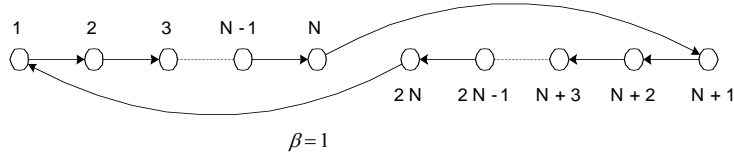
$N$

$\alpha_2$

$L_{2N,2}$

$G_{2N,2}$

$L_{2N,2}$



$G_{2N,2}$

$L_{2N,2}$

:Krylov

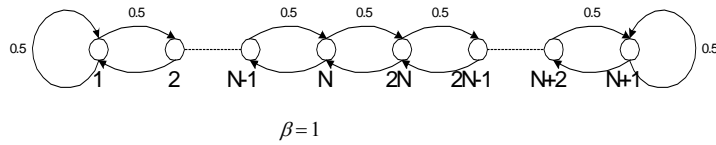
|

$\phi_{i+1}$

|

$\phi_i (i \neq 1, N, N+1, 2N)$

$\phi_{i-1}$



$\beta=1$

Krylov

$L_{2N,2}$

:Krinsky

$\phi_1$

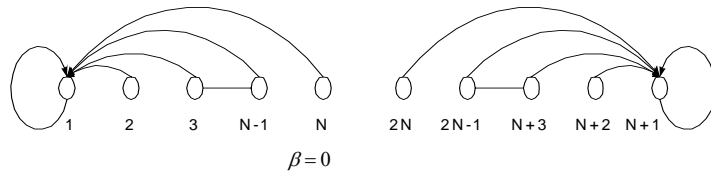
$\phi_i (i = 1, 2, \dots, N)$

$N$

$\phi_{N+1}$

$\phi_i (i = N+1, N+2, \dots, 2N)$

$L_{2N,2}$



$\beta=0$

Krinsky

$\{\alpha, \beta, p, T\}$

,xiii

$\beta \equiv \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$

$\alpha \equiv \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$

$p(n+1) = \Pi[\alpha(n), \beta(n), p(n)]$

$p \equiv \{p_1, p_2, \dots, p_r\}$

$n$

$\alpha_i$

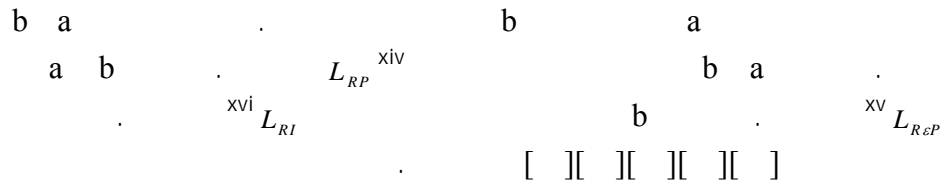
$p_i(n)$

$p_i(n)$

$p_i(n)$

$$\begin{aligned}
 p_i(n+1) &= p_i(n) + a[1 - p_i(n)] \\
 p_j(n+1) &= (1-a)p_j(n) \quad j \neq i \quad \forall j
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p_i(n+1) &= (1-b)p_i(n) \\
 p_j(n+1) &= \frac{b}{r-1} + (1-b)p_j(n) \quad j \neq i \quad \forall j
 \end{aligned}$$



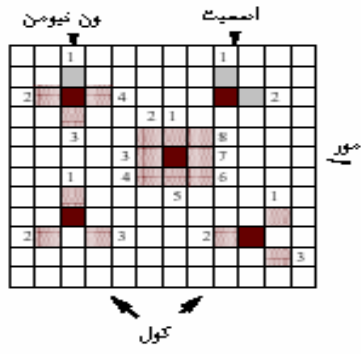
$$\begin{aligned}
 L &= \{l_1, l_2, \dots, l_n\} \quad \langle L, V, Q, \Omega, \Phi \rangle \\
 V &= \{v_i, i \in L\}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q &= \{q_1, q_2, \dots, q_k\} \quad \Phi \\
 \Omega &= \{x: L \rightarrow Q\} = Q^N
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V &= \{v_i, i \in L\} \\
 & \vdots
 \end{aligned}$$

- 1)  $i \notin v_j \quad \forall i \in L$
- 2)  $i \in v_j \quad \text{iff } j \in v_i \quad \forall i, j \in L$

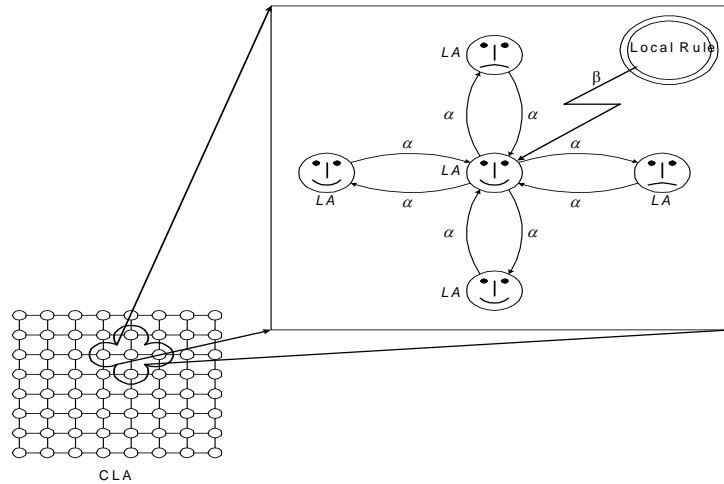
$$\begin{aligned}
 & i \quad v_i
 \end{aligned}$$



xviii

xvii

xix



(CLA)

xxii

xxi

xx

[ ] [ ]

	A	B	C
1			
2			
3			

$\alpha_1$

CLA

$\alpha_2$

*:And All*

*And*

$\alpha_1$

*All*

AND(A1,A2,A3,B1,B2,B3,C1,C2,C3)

TRUE )

( FALSE

$\alpha_1$  CLA

$\alpha_2$  CLA

$\alpha_1$

True

$\alpha_1$

*:Or All*

*Or All*

$\alpha_1$

OR(A1,A2,A3,B1,B2,B3,C1,C2,C3)

$\alpha_1$  CLA

$\alpha_2$  CLA

$\alpha_1$

[ ]

M={M<sub>1</sub>,M<sub>2</sub>,...}

N-M

N={N<sub>1</sub>,N<sub>2</sub>,...}

$\alpha_1$

$\alpha_1$

N

$\alpha_1$

M

$\alpha_2$

CLA

( M )

$\alpha_1$

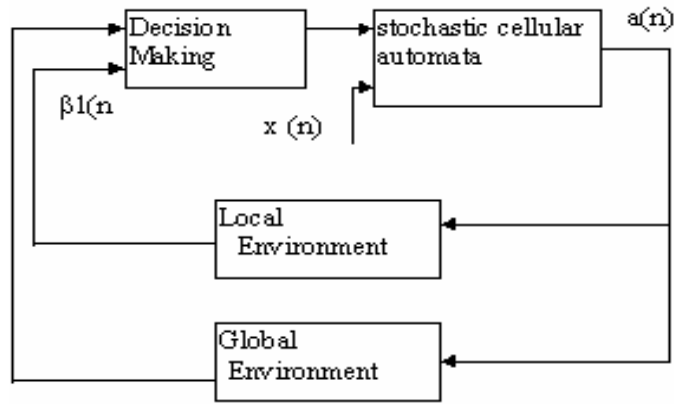
( N )

$\alpha_1$

[ ]

[ ]





xxiii

$$Y = \{Y_{ij} : (i,j) \in L\}$$

$$X = \{X_{ij} : (i,j) \in L\}$$

$$Y_{ij} \quad X_{ij} \quad N \times N \quad L$$

$$P(Y/X) = \prod_{i,j \in L} p(y_{i,j} / x_{i,j})$$

(i,j)

k

$$p(y_{i,j}=k / x_{i,j}=k') = \begin{cases} \rho & k=k' \\ \frac{1-\rho}{M-1} & k \neq k' \end{cases}$$

$$\sigma^2 \quad \rho \quad \eta \quad X \quad k, k' \in M \quad 0 \leq \rho \leq 1 \quad \frac{1-\rho}{M-1}$$

$$Y = X + \eta$$

P(X/Y)

$$H(X) = ||Y - X||^2 + \Phi(X)$$

[ ]

[ ]

$$P(X/Y) = \sum_{N \times N} p(y/x) p(x)$$

$$P(Y/X) = \rho \sum_N \sum_N \delta(y_{i,j}, x_{i,j}) * W$$

$$W = \left( \frac{1-\rho}{M-1} \right)^{\sum_N \sum_N (1-\delta(y_{i,j}, x_{i,j}))}$$

$$P(x) = \frac{\exp\left(-\frac{1}{T(k)} U(x_{i,j})\right)}{\sum_{m=1}^M \exp\left(-\frac{1}{T(k)} U(m)\right)}$$

$$U(m) = \sum_{c(k,l) \in R} \left[ V_c(m, x_{kl}) + \frac{(z_{ij} - m)^2}{2\sigma^2} \right]$$

C

$$U(X) = \sum_{c \in C} V_c(X)$$

U(x)

c (i,j)

$$V_c(i,j) = \begin{cases} -\beta & x_i = x_j \\ \beta & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$U(a(i,j)) = \sum_{n=-1}^1 \sum_{m=-1}^1 V(a(i,j), a(i+m, j+n))$$

V(x)

M

M

P(X/Y)

P(X/Y)

1-P(X/Y)

P(X/Y)

$p_2=0.2$   $p_1=0.8$

[ ]

%

1/M

$p_2=0.2$   $p_1=0.8$

[ ][ ]



%



[Gonz95]

[Ster86]



%

AB AB

[Gonz95]

[Ster86]

AB

AMIR AMIR  
AMIR AMIR  
AMIR AMIR

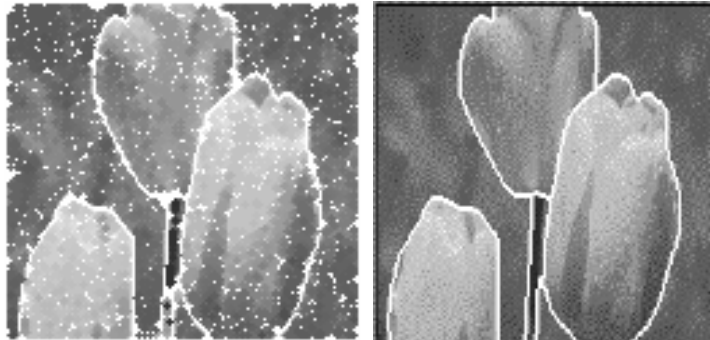
%

AMIR AMIR  
AMIR AMIR  
AMIR AMIR

[Gonz95]

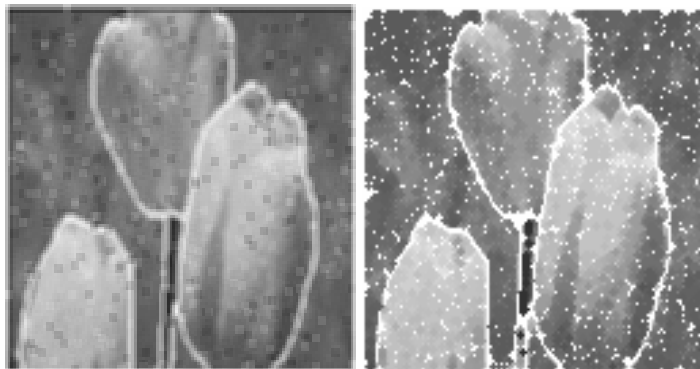
[Ster86]

A M I R  
A M I R  
A M I R

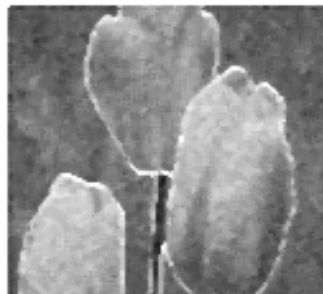


%

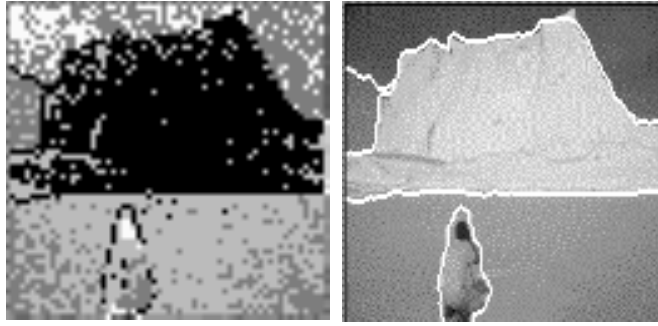
:



شکل ۱۹: الف- حذف نویز با فیلتر مورفولوژی [Ster86] ب- با فیلتر میانه [Gonz95]

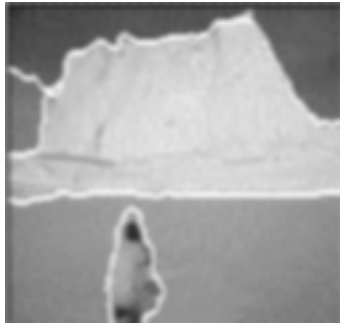


:



%

:



xxiv

[ ].

)

(

::

- 
- 
- 
- 

:

n+1

n

$$W_k \begin{matrix} T_n \\ T_0 \end{matrix} \quad T_k < x(i,j) \leq T_{k+1} \quad (T_0, T_1, \dots, T_n) \quad x(i,j)$$

[ ] [ ]

[ ] Simulated Annealing

$$\frac{-\Delta E}{T}$$

T.

$X_{i,j}$   $N \times N$

L

$X = \{X_{i,j} : (i,j) \in L\}$

(i,j)

$Q = \{q_1, q_2, \dots, q_k\}$

k

$\Omega = \{x: L \rightarrow Q\} = Q^N$

P(X/Y)

Y

P(X/Y)

$$E = \min_{Y \in \Omega} \left( \sum_{x \in X} \frac{(\mu_w - x)^2}{2\delta^2} + \sum_{c \in C} v_c(w) \right)$$

(i,j)

C

$\delta$   $\mu_w$

[Gema92]

c

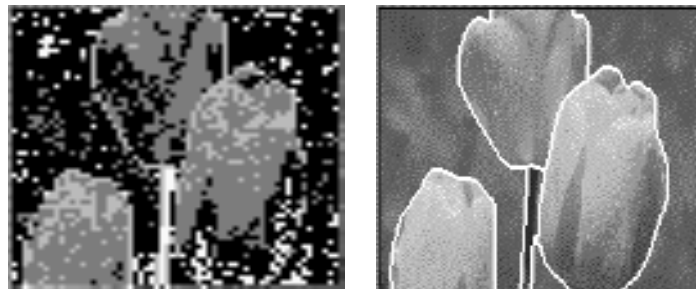
$$V_c(i,j) = \begin{cases} -\beta & x_i = x_j \\ \beta & \text{otherwise} \end{cases}$$

k

( )

$$E_{w \in Q} = \frac{(\mu_w - x_{ij})^2}{2\delta^2} + \sum_{c \in C} v_c(i, j)$$

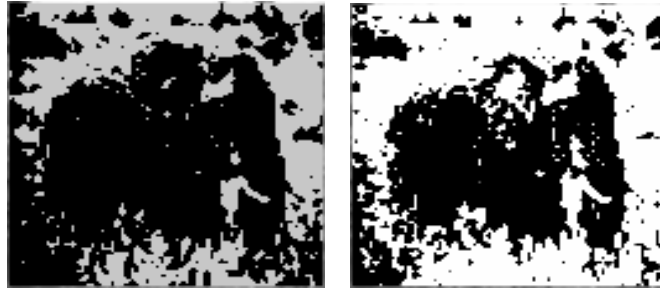
k



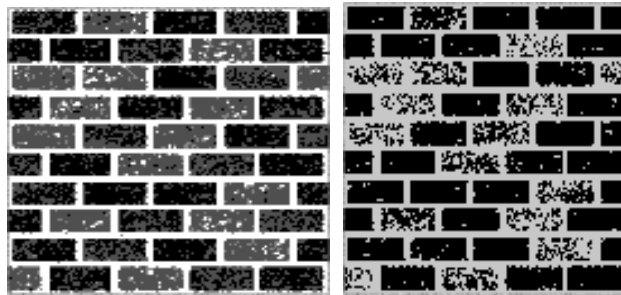
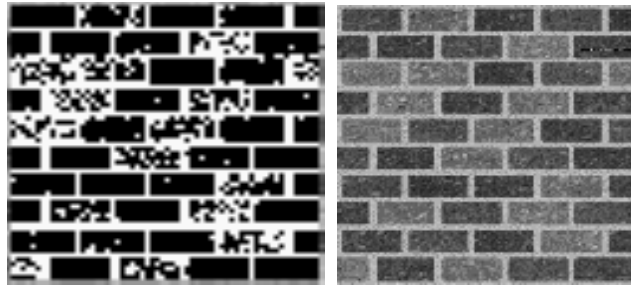
S.A.



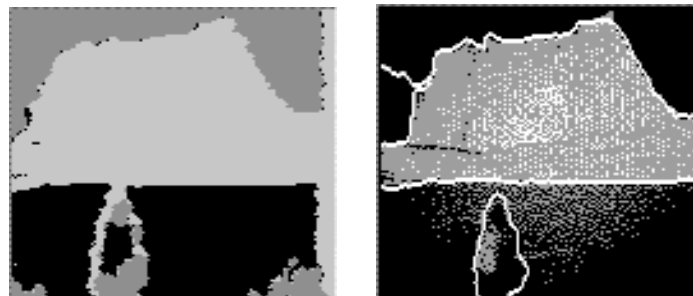
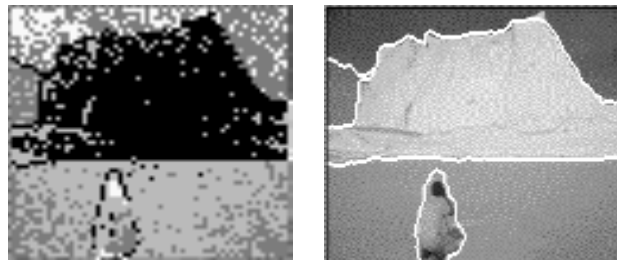




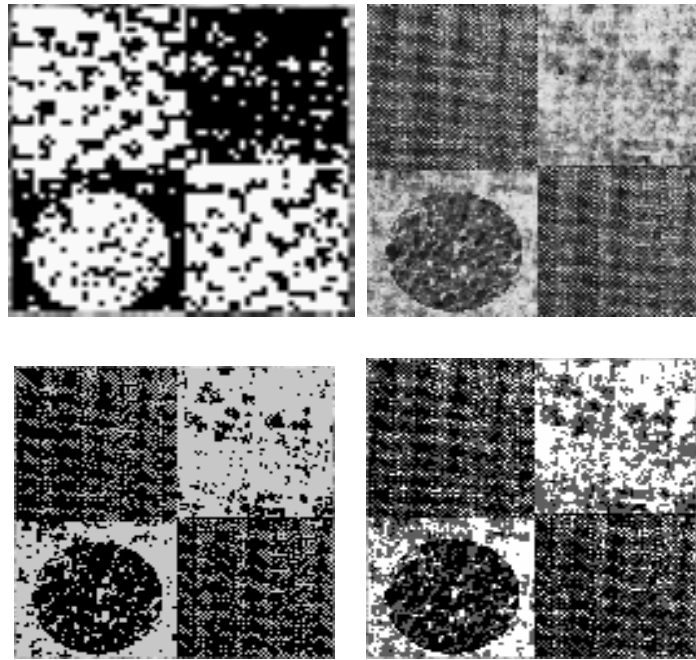
S.A



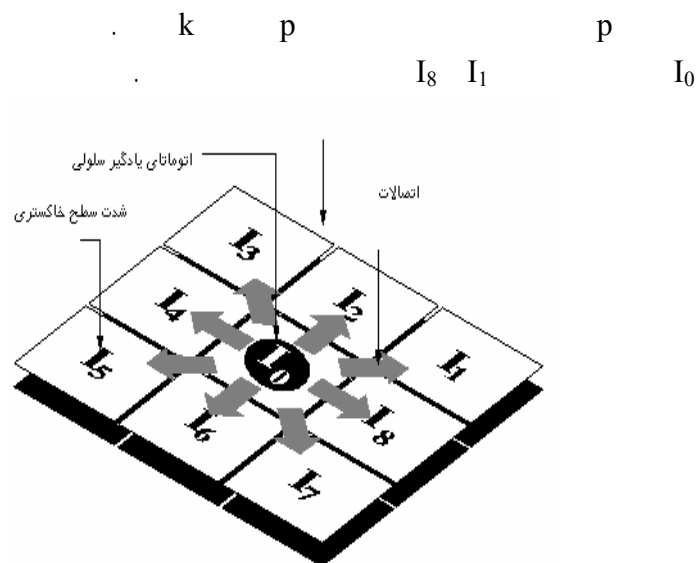
[S.A

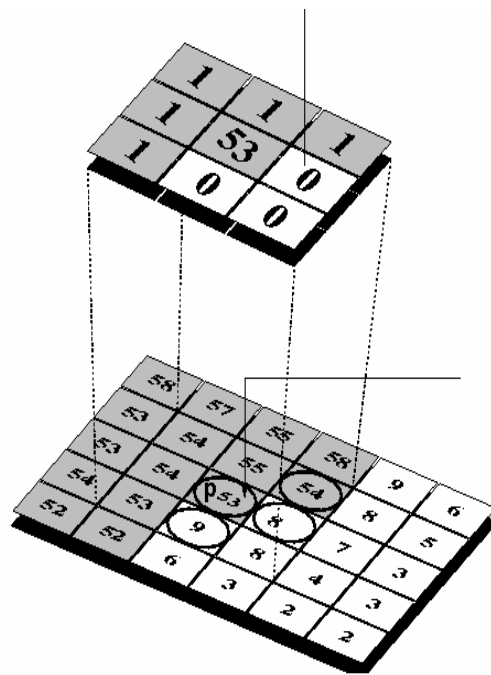


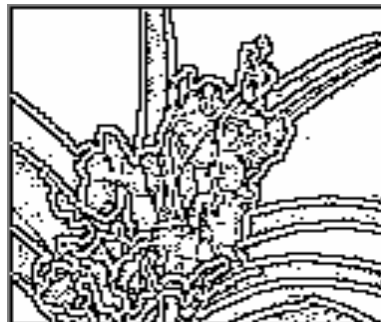
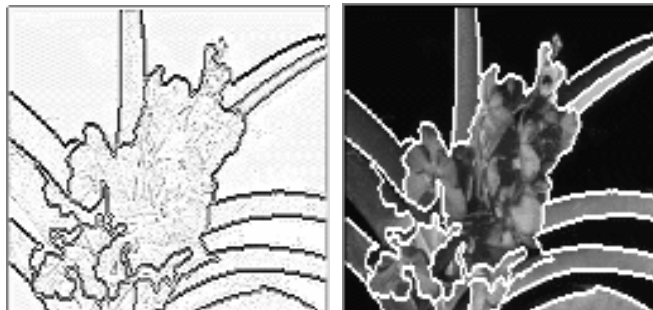
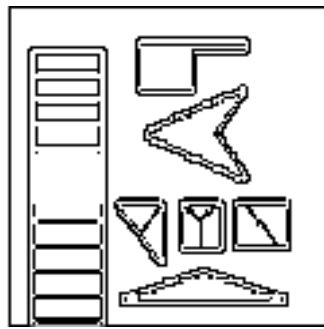
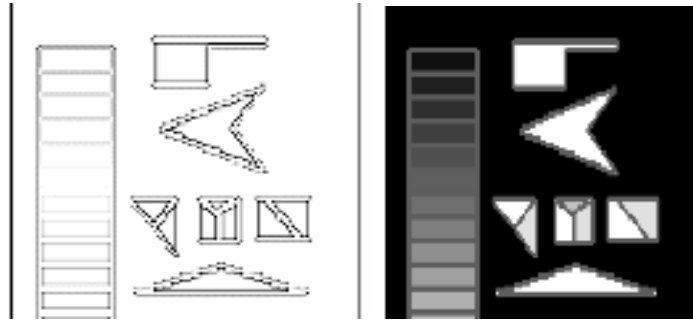
S.A

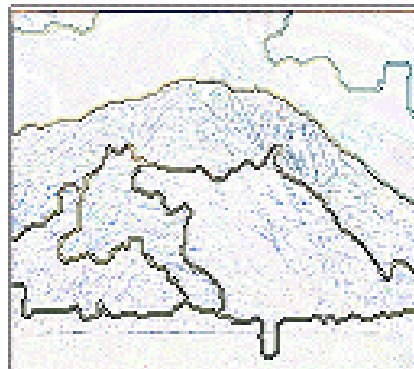
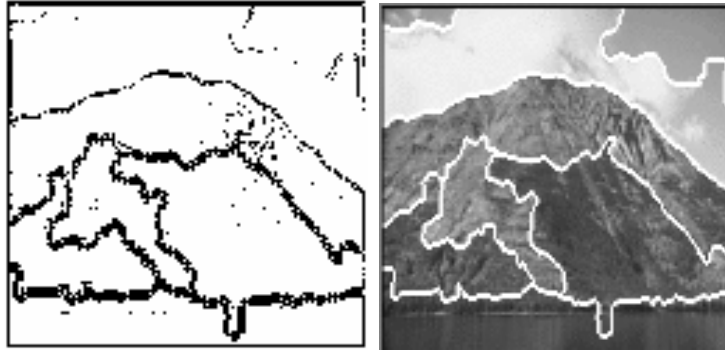


S.A

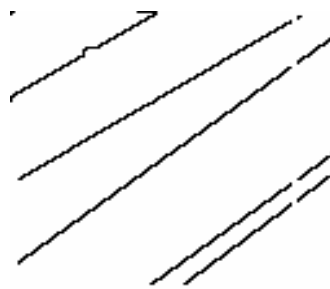
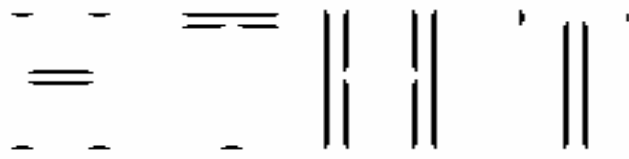








HT



[ ]

$$NR = 10 \log \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=i}^N (d(i, j) - x(i, j))^2}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=i}^N (y(i, j) - x(i, j))^2}$$

$d(i, j)$

$y(i, j)$

$x(i, j)$

	,	,	,
	/	/	/
	,	,	,

$\mu_3$	$\mu_2$	$\mu_1$	$\mu_3$	$\mu_2$	$\mu_1$	

) ( )

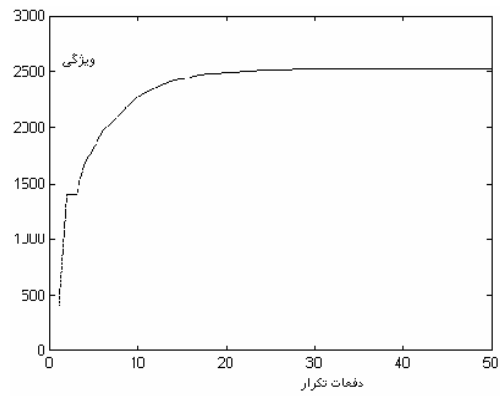
(

$$R_k = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \alpha_{i,j}^k$$

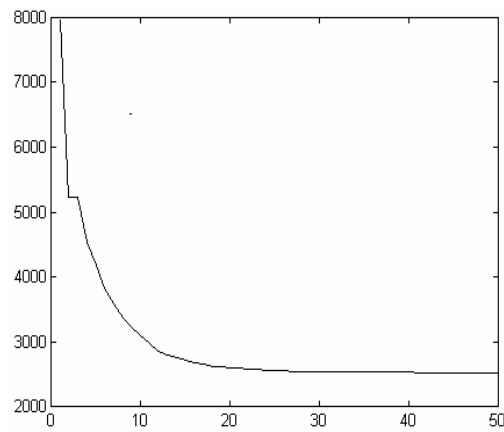
$$D_k = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (\alpha_{i,j}^{k-1} - \alpha_{i,j}^k)$$

k (i,j)

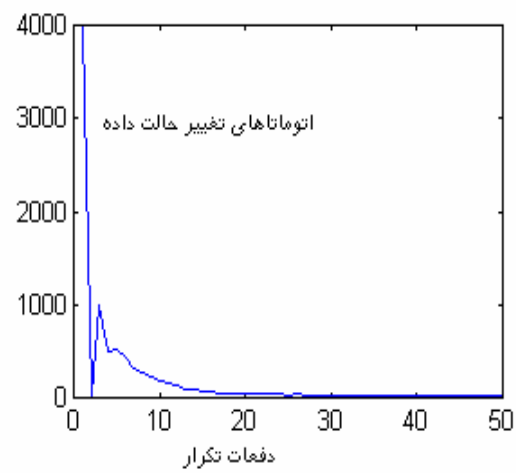
$\alpha_{i,j}^k$



:



شکل ۳۶: منحنی تعداد ویژگی‌های استخراج شده با دفعات تکرار منحنی تعداد اتوماتاهای تغییر وضعیت داده در



:





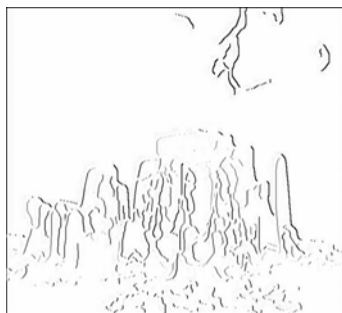
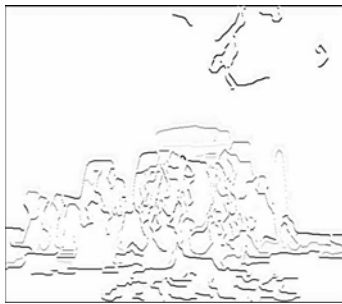
%

:



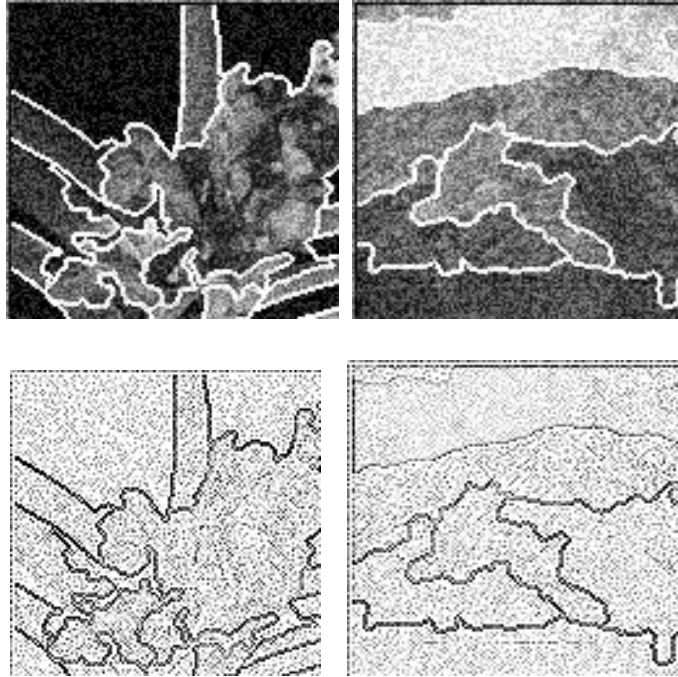
-

:



:

%



%

- [1] **Besag, J.**, " *On the Statistical Analysis of Dirty Pictures* " , *Jornal of Royal Statistical Society B*, vol. 48: pp. 259-302, 1986.
- [2] **Beveridge J. R. et al.**, "*Segmenting Images Using Localizing Histograms and Region Merging*". *Int.J.of Compt.vision*. vol.2, 1989.
- [3] **Canny, J. F.**, "*A Computational Approach to Edge Detection*". *IEEE Trans. Patt. Anal. Mach. Intell.*. PAMI-8(6):679-698, 1986.
- [4] **Chou, K.C., willsky, A.S. and Benvensite, A.**, "*Multiscale Recursive Estimation, Data Fusion and Regularization*", *IEEE Trans. Automatic Control* vol. 39 1994.
- [5] **Gabrani, M. , Kotropoulos, C. and Pitas, I. ,** "*Cellular Adaptive LMS L-filters for Noise Suppression in Still Images and Image Sequences,*" *Proc. ICIP 1994*, Austin, Texas, November 1994.
- [6] **Geman, S. and Geman, D.**, "*Stochastic Relaxation, Gibbs Distributions, and the Bayesian Restoration of Images*", *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 6, 1984.
- [7] **Geman, D. and Reynolds G.**, "*Constrained Restoration and the Recover of Discontinuities,*" , *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 14, pp 367-383, 1992.

- [8] Gonzales, R. C. and Woods, R.E., "Digital Image Processing", Addison Wesley, 1995.
- [9] Haralich, R.M. and Shapiro, L.G., "Survey: Image Segmentation", *Compu. Vision, Graphics, Image Proc. Vol 29*, pp. 100-123, 1985.
- [10] Haralich, R.M. and Sterenberg, S.R., "Image Analysis Using Mathematical Morphology", *IEEE Trans. on PAMI. Vol 9*, 1987.
- [11] Kim, Y. and Lee, S., "Direct extraction of topographic features for gray scale character recognition", *IEEE Trans. Patt. analysis and machine Inte.*, vol. 17, no. 7, 1995.
- [12] Lakshmivarahan, S., "Learning Algorithms: Theory and Applications", New York, Springer Verlag, 1981.
- [13] Liow, Y., "A contour tracing algorithm that preserve common boundaries between regions", *CVGIP-Image understanding*, 1991.
- [14] Mars, P., Chen, J.R. and Nambir, R., "Learning Algorithms: Theory and Applications in Signal Processing, Control and Communications", CRC Press, Inc., pp. 5-24, 1996.
- [15] Marroquin, J., and Ramirez, A., "Stochastic Cellular Automata With Gibbsian Invariant Measures". *IEEE Trans. Info. Theory*, vol. 37, no. 3, May 1991.
- [16] Barzohar, M. and Cooper, D. B., "Automatic finding of main roads in aerial images by using geometric-stochastic models and estimation". *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 18(7):707--721, 1996.
- [17] Meybodi, M. R. and Lakshmivarahan, S., " $\varepsilon$ - Optimality of a General Class of Absorbing Barrier Learning Algorithms", *Information Sciences*, Vol. 28, pp. 1-20, 1982.
- [18] Meybodi, M.R. and Lakshmivarahan, S., "On a Class of Learning Algorithms which have a Symmetric Behavior under Success and Failure", *Springer Verlag Lecture Notes in Statistics*, pp. 145-155, 1984.
- [19] Mitchell, M., "Computation in Cellular Automata: A Selected Review", Technical Report, Santa Fe Institute, Santa Fe, U.S.A., 1996.
- [20] Narendra, K. S. and Thathachar, M. A. L., "Learning Automata: An Introduction", Prentice Hall, Inc., 1989.
- [21] Preston, K., Duff, M. J. B., Levialdi, S., Norgren, P.F., and Toriwaki, J.I., "Basics of Cellular Logic with Some Application in Medical Processing", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 67, No 5, 1979.
- [22] Preston, K. JR., "Feature Extraction by Golay Hexagonal Pattern Transformations", *IEEE Trans. Comput.*, Vol. C-20, pp. 1007-1014, 1979.
- [23] Sahota, P., Daemi, M. F. and Elliman, D. G., "Training Genetically Evolving Cellular Automata for Image Processing", *International Symposium on Speech, Image Processing and Neural Networks*, 1994.
- [24] Sterenberg, S. R., "Grayscale Morphology", *Compu. Vision, Graphics, Image Proc. Vol 35*, pp. 333-355, 1986.
- [25] TAN, H. L. ,Gelfand, S. Delp, J., "A Cost Minimization Aproch To Edge Detection Using Simulated Anneling", *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 14, pp 3-16, 1992.
- [26] Weska, J. S. , "A Survey of Threshold Selection Techniques", *Compu. Vision, Graphics, Image Proc. Vol 2*, pp. 259-265, 1978.
- [27] Wolfrom, S., "Theory and Application of Cellular Automata", Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 1986.
- [28] Zhao Y. , Anderson L. S. , "Pattern Estimation and Restoration of Noisy Images Using Gibbs Distributions In Hidden Markov Models" *IEEE*, 1989.

[ ] محمد رفیع خوارزمی و محمدرضا میبیدی، "قطعه بندی تصاویر توسط اتوماتای یادگیر سلولی"، مجموعه مقالات دهمین کنفرانس برق، دانشگاه تبریز، دانشکده فنی، صفحات ۲۹۸-۳۰۶، اردیبهشت ۱۳۸۱.

[ ] محمدرضا میبیدی و محمد رفیع خوارزمی، "بازیاتی تصاویر توسط اتوماتای یادگیر سلولی"، مجموعه مقالات اولین کنفرانس در بینایی ماشین و پردازش تصاویر، دانشگاه بیرجند، صفحات ۲۴۴-۲۵۴، اردیبهشت ۱۹۸۰.

[ ] محمدرضا میبیدی، حمید بیگی و مسعود ظاهرخانی، "اتوماتای یادگیر سلولی و کاربردهای آن"، گزارش فنی،

دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۷۹

- [ ] محمدرضا میبیدی و مسعود طاهرخانی، " کاربرد اتوماتای یادگیر سلولی در مدل کردن پدیده انتشار شایعه" ، مجموعه مقالات نهمین کنفرانس برق، موسسه فنی نیرو و اب، صفحات ۱۰-۱، اردیبهشت ۱۳۸۰.
- [ ] محمدرضا میبیدی ، حمید بیگی و مسعود طاهرخانی، " اتوماتای یادگیر سلولی" ، مجموعه مقالات ششمین کنفرانس انجمن کامپیوتر ایران، دانشگاه اصفهان، صفحات ۱۶۳-۱۵۳، اسفند ۱۳۷۹.
- [ ] محمدرضا میبیدی ، حمید بیگی و مسعود طاهرخانی، " اتوماتای یادگیر سلولی و کاربرد آن در پردازش تصاویر" ، مجموعه مقالات اولین کنفرانس ریاضیات و ارتباطات، مرکز تحقیقات مخابرات، مهر ۱۳۷۹.
- [ ] محمدرضا میبیدی و محمدرضا خجسته، " کاربرد اتوماتای یادگیر سلولی در مدل کردن شبکه های تجارت" ، مجموعه مقالات ششمین کنفرانس انجمن کامپیوتر ایران، دانشگاه اصفهان، صفحات ۲۹۵-۲۸۴، اسفند ۱۳۷۹.
- [ ] محمد رفیع خوارزمی و محمدرضا میبیدی، " بازیاتی تصاویر توسط اتوماتای یادگیر سلولی"، مجموعه مقالات دومین کنفرانس در بینایی ماشین و پردازش تصاویر، دانشگاه خواجه نصیر طوسی، صفحات ۲۷۰-۲۶۱، ۱۳۸۱.
- [ ۳۷ ] محمدرضا میبیدی و فرشاد مارچینی، " کاربرد اتوماتای یادگیر سلولی در پردازش تصاویر- قسمت اول" ، گزارش فنی، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۲.
- [ ۳۸ ] محمدرضا میبیدی و فرشاد مارچینی، " کاربرد اتوماتای یادگیر سلولی در پردازش تصاویر- قسمت دوم" ، گزارش فنی، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۲.
- [ ۳۹ ] فرهاد مهدی پور، مرتضی صاحبالزمانی و محمدرضا میبیدی ، " پیاده سازی اتوماتای یادگیر سلولی در سخت افزار" ، مجموعه مقالات اولین کنفرانس مکترونیک ایران، دانشگاه آزاد اسلامی قزوین، قزوین، ایران، خرداد ۱۳۸۲.
- [ ۴۰ ] محمدرضا میبیدی و فرهاد مهدی پور، " کاربرد اتوماتای سلولی در جابجایی مدارهای مجتمع مترکم"، مجموعه مقالات هشتمین کنفرانس سالانه انجمن کامپیوتر ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، صفحات ۱۹۵-۲۰۳، اسفند ۱۳۸۱
- [ ۴۱ ] محمدرضا خجسته و محمدرضا میبیدی، " اتوماتای یادگیر بعنوان مدلی برای همکاری در یک تیم از عاملها"، مجموعه مقالات هشتمین کنفرانس سالانه انجمن کامپیوتر ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، صفحات ۱۲۶-۱۱۶، اسفند ۱۳۸۱

Cellular Learning Automata - ii

Image feature extraction - iii

iv Liow

v Meir

vi Kim

vii Environment

viii Unfavorable

ix Stationary

x Non-Stationary

xi Fixed Structure

xii Actions

xiii Variable Structure

xiv Linear Reward Pealty

xv Linear Reward Epsilon Penalty

xvi Linear Reward Inaction

xvii Synchronous

xviii Asynchronous

xix von Newman

xx General

xxi Totalistic

xxii Outer totalistic

Gibbz Random Field - xxiii

