

i

**

*

*

**

ii

iii

v

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*

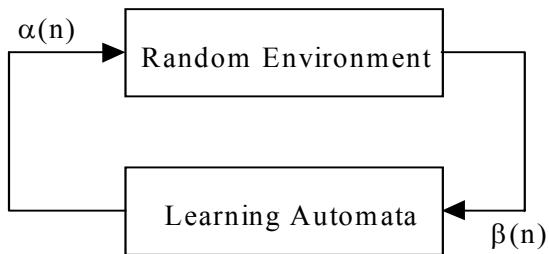
[]

v
[]
[]

iv
vi
[] [] []
[]

[]

[][][]



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

$$E \equiv \{\alpha, \beta, c\}$$

β

$$c \equiv \{c_1, c_2, \dots, c_r\}$$

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

$$\beta_2 = 0$$

$$\beta_1 = 1$$

P

[0,1]

$$\beta(n) \in Q$$

viii

$$\alpha_i$$

$$\beta(n)$$

$\beta(n) \leq S$

ix

{ α , β , F , G , ϕ }

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

xii

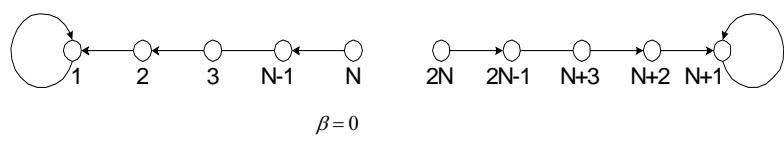
$$\alpha \equiv \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$$

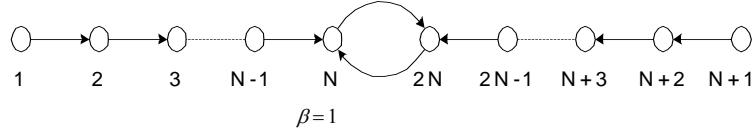
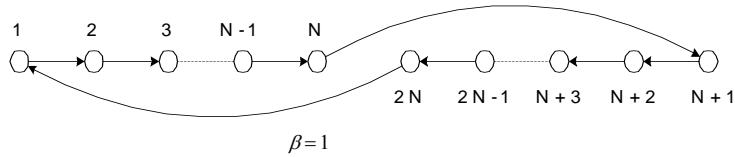
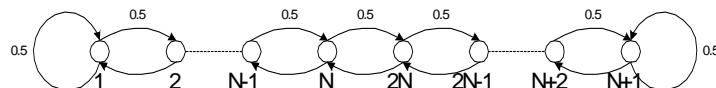
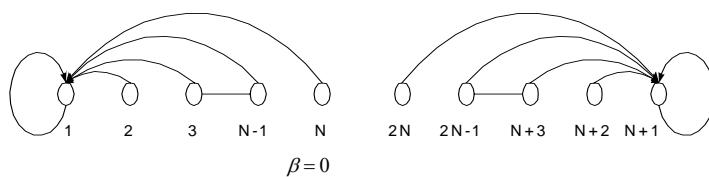
$$F:\phi \times \beta \rightarrow \phi$$

$$\phi \equiv \{\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_s\}$$

$$G:\phi \rightarrow \alpha$$

$$\in L_{2N,2}$$




 $L_{2N,2}$
 \vdots
 α_1
 N
 α_2
 $L_{2N,2}$
 $G_{2N,2}$

 $G_{2N,2}$
 \vdots
 $L_{2N,2}$
 $: \text{Krylov}$
 ϕ_{i+1}
 $/$
 $\phi_i (i \neq 1, N, N+1, 2N)$
 ϕ_{i-1}

 $\beta=1$
 Krylov
 \vdots
 $L_{2N,2}$
 $: \text{Krinsky}$
 ϕ_1
 $\phi_i (i = 1, 2, \dots, N)$
 N
 ϕ_{N+1}
 $\phi_i (i = N+1, N+2, \dots, 2N)$
 $L_{2N,2}$

 $\beta=0$
 Krinsky
 \vdots
 $\{\alpha, \beta, p, T\}$
 xiii
 $\beta \equiv \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$
 $\alpha \equiv \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$
 $p(n+1) = T[\alpha(n), \beta(n), p(n)]$
 $p \equiv \{p_1, p_2, \dots, p_r\}$
 n
 α_i
 $p_i(n)$
 $p_i(n)$
 $p_i(n)$

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

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

L_{RP} (left): A sequence of states b, a, b, \dots with transitions labeled xvi . It ends at state a .

 L_{ReP} (right): A sequence of states b, a, b, a, \dots with transitions labeled xv . It ends at state a .

$$L = \{l_1, l_2, \dots, l_n\} \quad < L, V, Q, \Omega, \Phi >$$

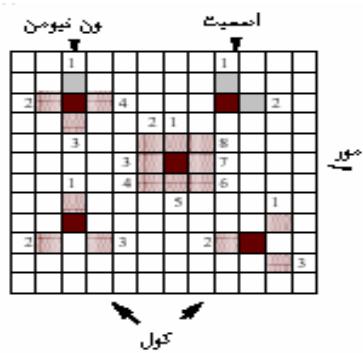
$$V = \{vi, i \in L\}$$

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

$$V = \{vi, i \in L\}$$

$$\begin{aligned} 1) \quad &i \notin v_i \quad \forall i \in L \\ 2) \quad &i \in v_i \quad \text{iff } j \in v_i \quad \forall i, j \in L \end{aligned}$$

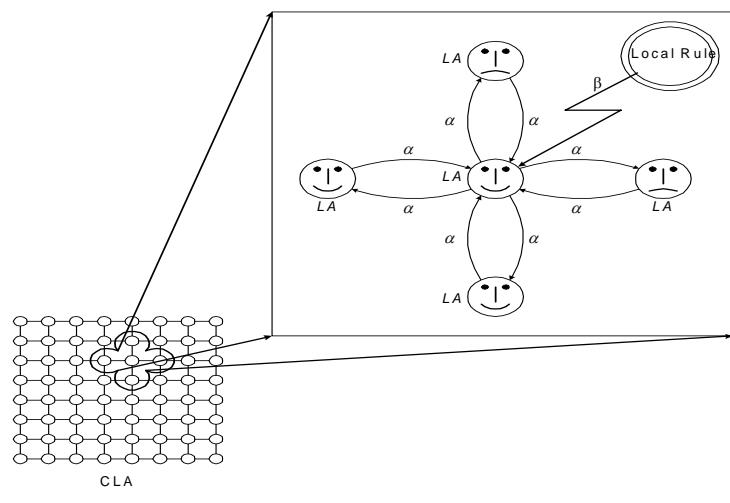
$$v_i \quad \quad \quad v_i$$



xviii

xvii

xix



xxii

xxi

xx

[] []

	A	B	C
1			
2			
3			

α_1 CLA
 α_2

:And All

And

α_1 All

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

TRUE)

(FALSE

α_1 CLA α_2 CLA

True

α_1

:Or All

Or All

α_1

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

α_1 CLA α_2 CLA

[][]

M={M₁,M₂,...}

N-M

N={N₁,N₂,...}

N

α_1 M
 α_2 CLA

α_1
(M).
 α_2 CLA
(N)

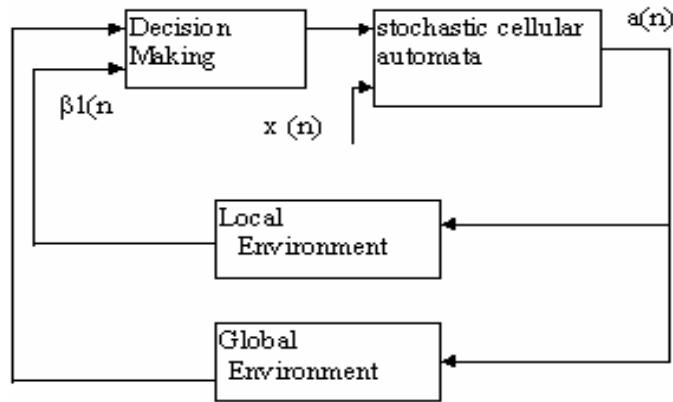
α_1

α_1

[]

[][]

\wedge



xxiii

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

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

$$Y_{i,j} \quad X_{i,j} \quad NxN$$

$$L$$

$$(i,j)$$

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

$$k$$

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

$$k, k' \in M \quad 0 \leq \rho \leq 1$$

$$\sigma^2$$

$$\eta$$

$$X$$

$$\frac{1-\rho}{M-1}$$

$$Y$$

$$Y = X + \eta$$

$$X$$

$$P(X/Y)$$

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

$$[]$$

$$[][]$$

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

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

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

$$P\left(\begin{array}{c}x\end{array}\right) ~=~ \frac{\text{exp}\left(-\frac{1}{T\left(k\right)}U\left(x_i,j\right)\right)}{\sum\limits_{m=1}^M\text{exp}\left(-\frac{1}{T\left(k\right)}U\left(m\right)\right)}$$

$$U(m)=\sum_{\mathcal{C}(k,l)\in R}\left[V_{\mathcal{C}}(m_{\;xk})+\frac{(z_{lj}-m)^2}{2\;\sigma}\right]$$

$$\begin{matrix} C & U(X)=\sum\limits_{c\in C}V_c(X) & U(x) \\ & c & (i,j) \\ V_c(i,j)=\begin{cases} -\beta & xi=xj \\ \beta & otherwise \end{cases} & \end{matrix}$$

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

$$\mathbf{V}(\mathbf{x})$$

$${\mathbf M}$$

$${\mathbf M}$$

$$\begin{matrix} P(X/Y) & & \\ & P(X/Y) & \\ & 1-P(X/Y) & P(X/Y) \end{matrix}$$

$p_2=0.2$ $p_1=0.8$

[]
%

1/M

$p_2=0.2$ $p_1=0.8$
[][]



%



[Gonz95]

[Ster86]



AB AB

%

ABAB

[Gonz95]

[Ster86]

AB

AMIR AMIR
AMIR AMIR
AMIR AMIR

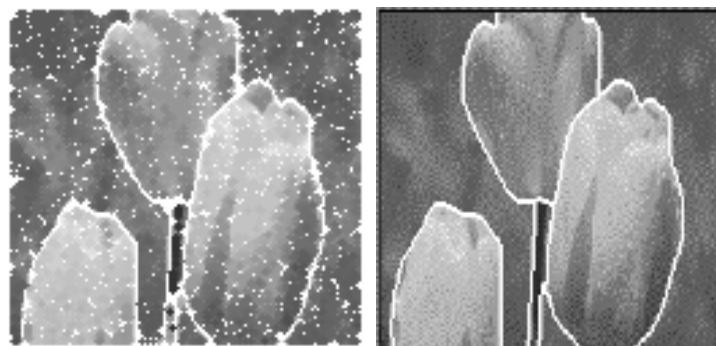
%

AMIR AMIR
AMIR AMIR
AMIR AMIR

[Gonz95]

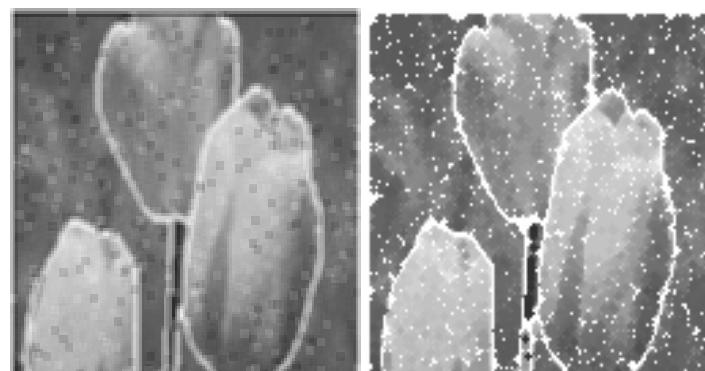
[Ster86]

AMIR
AMIR
AMIR



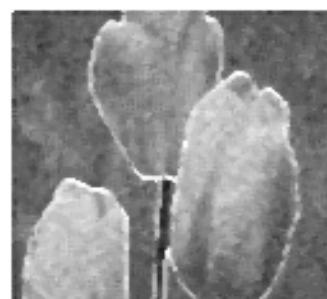
%

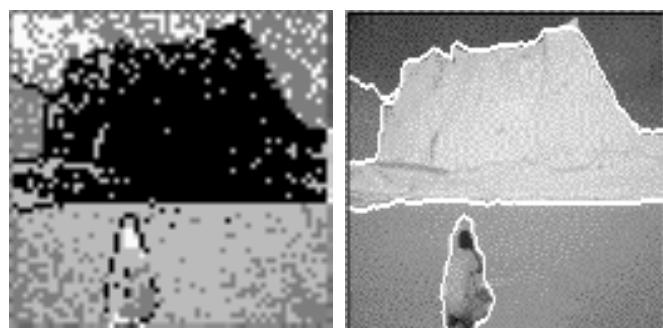
:



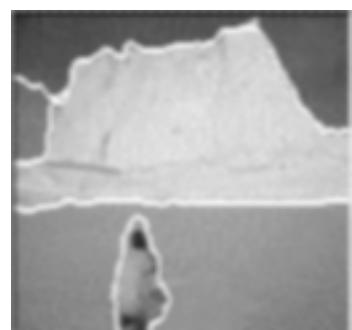
:

شكل ١٩ : الف- حذف نویز با فیلتر مورفولوژی [Ster86] ب- با فیلتر میانه [Gonz95]





%



xxiv

[].

)

(

•
•
•
•

n+1

n

T_n

T₀

(T₀, T₁, ... , T_n)

W_k

T_k < x(i,j) ≤ T_{k+1}

x(i,j)

[] []

[]

[] Simulated Annealing

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

T

X_{ij} NxN

L

X = {X_{ij} : (i,j) ∈ L}

(i,j)

Q = {q₁, q₂, ..., q_k}

k

Ω = {x: L → Q} = Q^N

P(X/Y)

Y

P(X/Y)

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

(i,j)

C

δ μ_w

[Gema92]

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

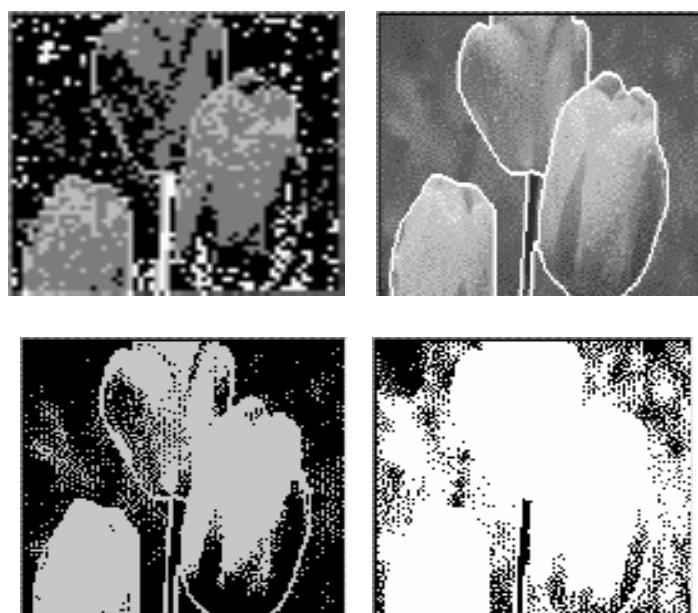
k

()

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

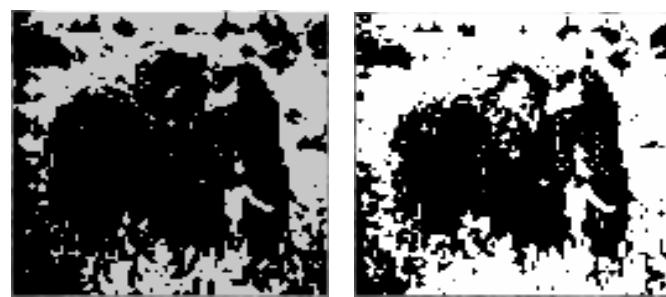
k

* * *

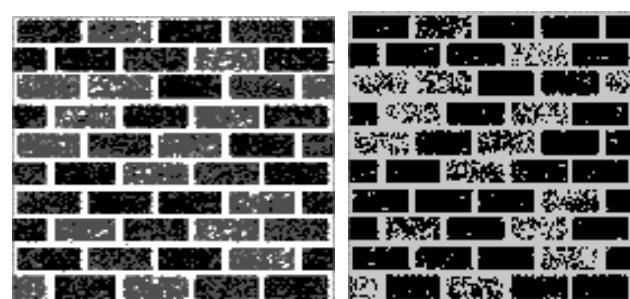
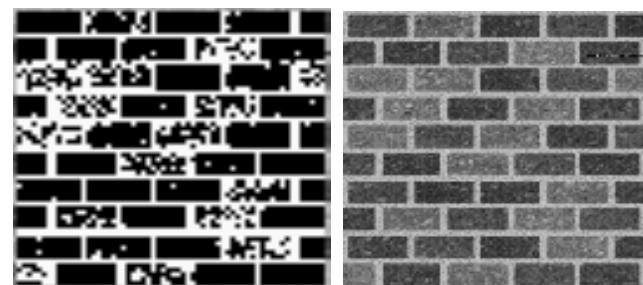


S.A.

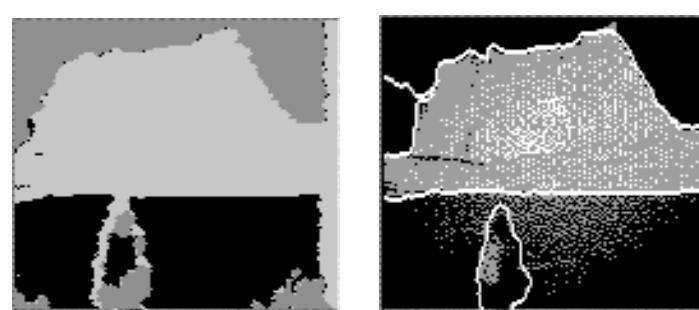
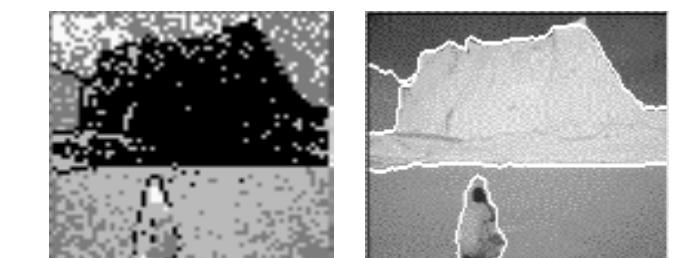




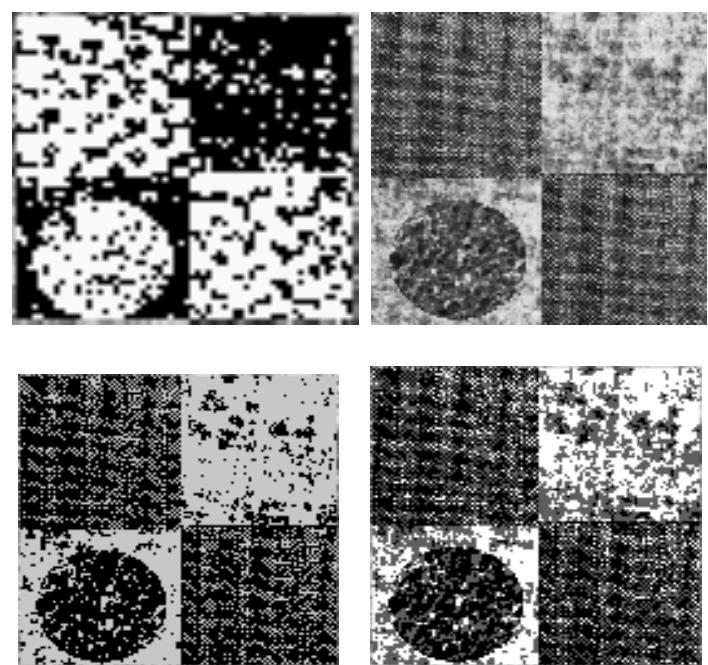
S.A



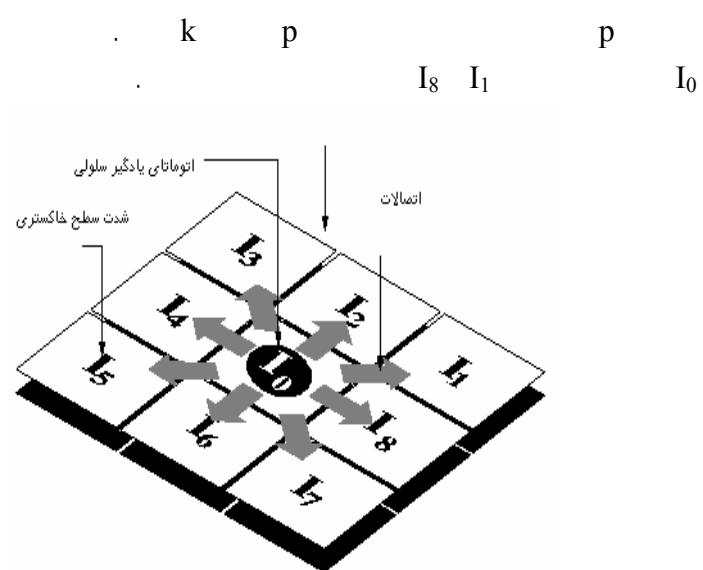
[S.A

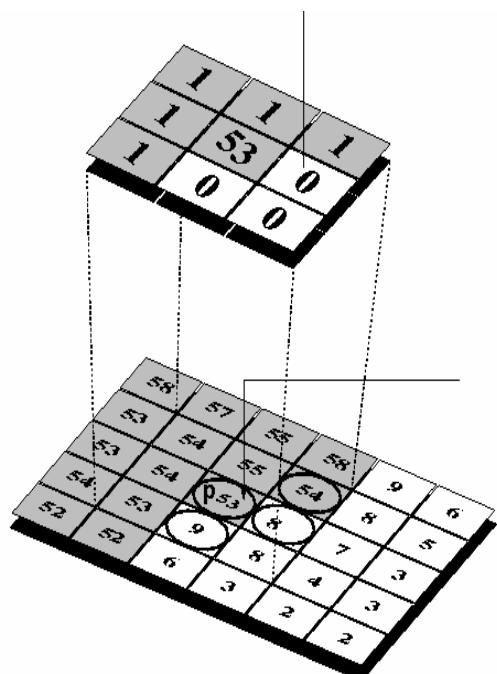


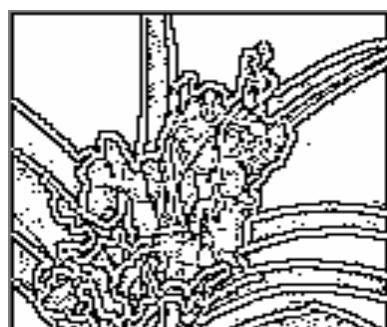
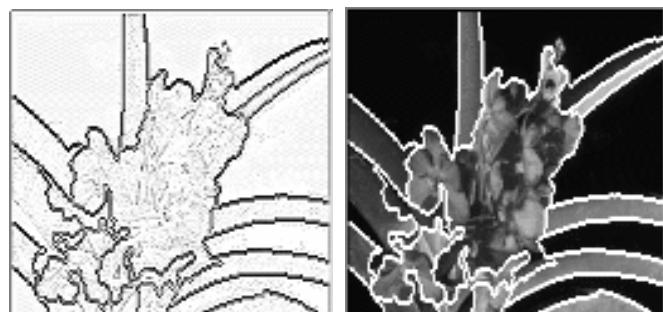
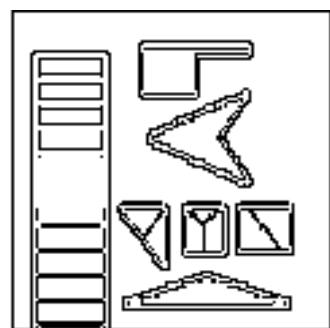
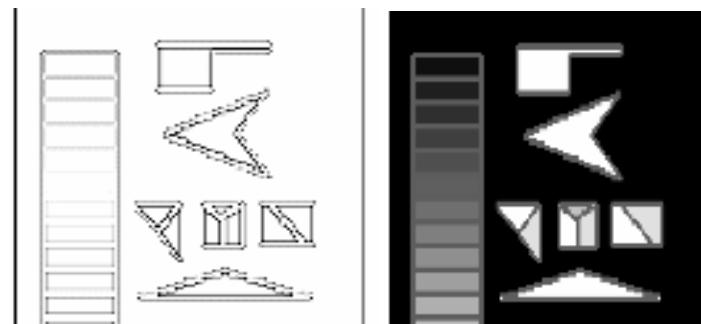
S.A

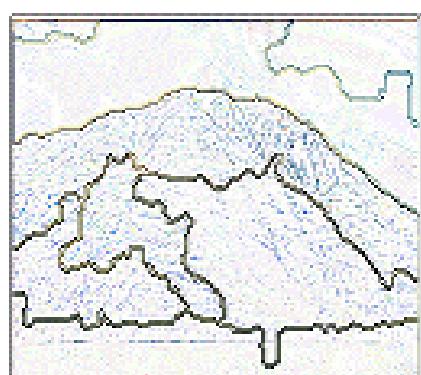
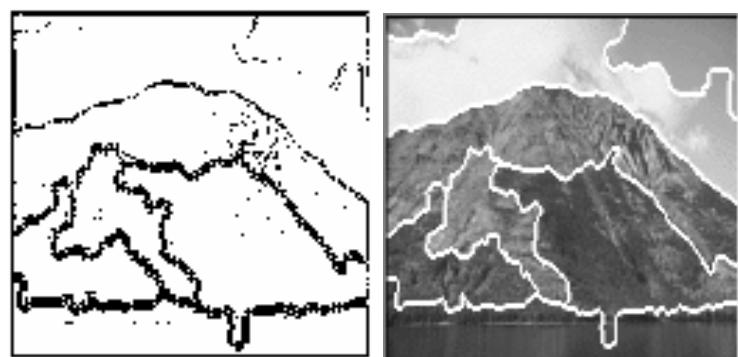


S.A



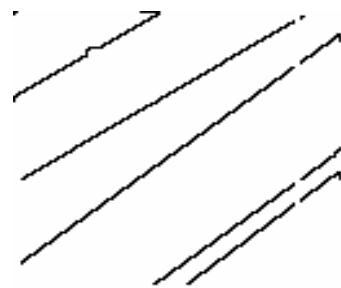
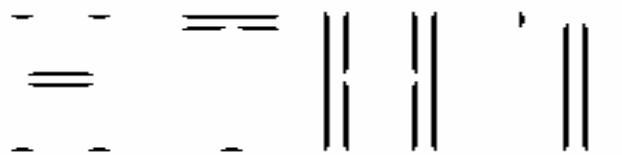






*

H T



[]

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

d(i,j) y(i,j) x(i,j)

	/	/	/
	/	/	/
	/	/	/

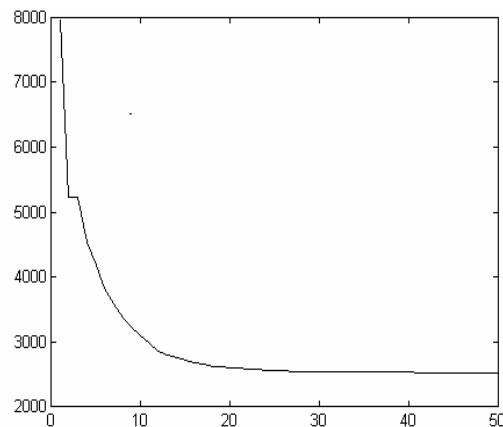
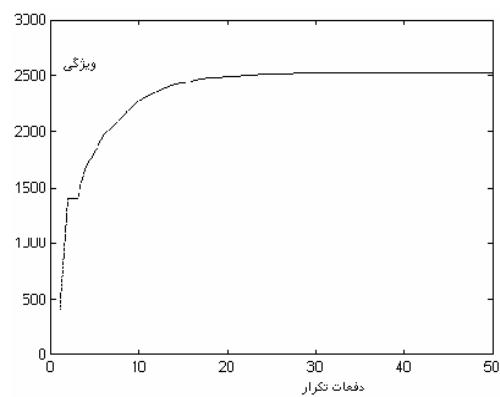
μ_3	μ_2	μ_1	μ_3	μ_2	μ_1	

) () (

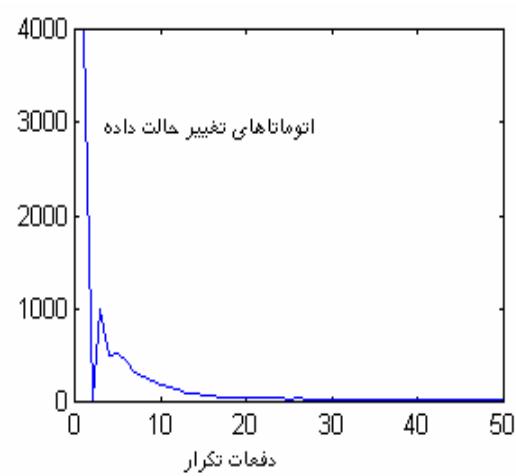
$$R_k = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \alpha_{i,j}^k$$

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

k (i,j) $\alpha_{i,j}^k$



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

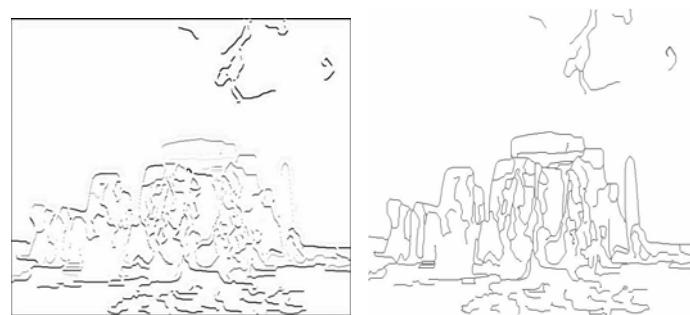




%



:

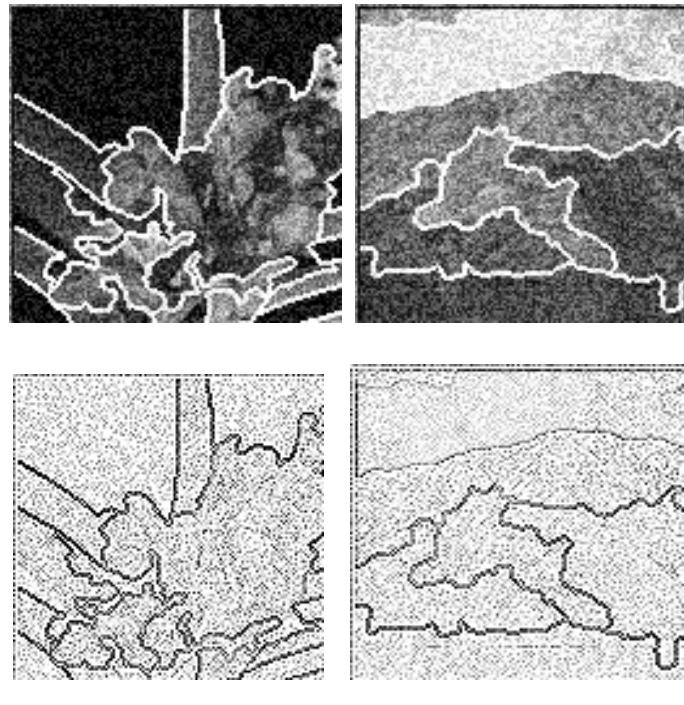


- :



:

%



%

- [1] **Besag, J.**, "On the Statistical Analysis of Dirty Pictures", Jurnal 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 Recovery 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 recognitin", 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 cntour 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., " ε -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 مبیدی، "قطعه بندی تصاویر توسط اتوماتای یادگیر سلولی"، مجموعه مقالات دهمین کنفرانس برق، دانشگاه تبریز، دانشکده فنی، صفحات ۳۰۶-۲۹۸، ۱۳۸۱.
- [] محمد رفیع خوارزمی و محمدرضا مبیدی، "بازیاتی تصاویر توسط اتوماتای یادگیر سلولی"، مجموعه مقالات اولین کنفرانس در بینایی ماشین و پردازش تصاویر، دانشگاه بیرجند، صفحات ۲۴۴-۲۵۴، ۱۹۸۰.
- [] محمد رضا مبیدی ، حمید بیگی و مسعود طاهرخانی، "اتوماتای یادگیر سلولی و کاربردهای ان"، گزارش فنی، دانشکده مهندسی کامپیوٹر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۷۹

- [] محمدرضا مبیدی و مسعود طاهرخانی، "کاربرد اتوماتای یادگیر سلولی در مدل کردن پدیده انتشار شایعه" ، مجموعه مقالات نهمین کنفرانس برق، موسسه فنی نیرو و اب، صفحات ۱۰-۱۱، اردیبهشت ۱۳۸۰.
- [] محمدرضا مبیدی ، حمید بیگی و مسعود طاهرخانی، "اتوماتای یادگیر سلولی" ، مجموعه مقالات ششمین کنفرانس انجمن کامپیوتر ایران، دانشگاه اصفهان، صفحات ۱۶۳-۱۵۳، اسفند ۱۳۷۹.
- [] محمدرضا مبیدی ، 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 مبیدی و محمدرضا خسته، "کاربرد اتوماتای یادگیر سلولی در مدل کردن شبکه های ثجارت" ، مجموعه مقالات ششمین کنفرانس انجمن کامپیوتر ایران، دانشگاه اصفهان، صفحات ۲۹۵-۲۸۴، اسفند ۱۳۷۹.
- [] محمد رفیع خوارزمی و محمدرضا مبیدی، "بازیاتی تصاویر توسط اتوماتای یادگیر سلولی" ، مجموعه مقالات دومن کنفرانس در بینایی ماشین و پردازش تصاویر، دانشگاه خواجه نصیر طوسی، صفحات ۲۷۰-۲۶۱، اردیبهشت ۱۳۸۱.
- [۳۷] محمدرضا مبیدی 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 مبیدی و فرشاد مارچینی، "کاربرد اتوماتای یادگیر سلولی در پردازش تصاویر- قسمت سوم" ، گزارش فنی، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۲.
- [۳۹] فرهاد مهدی پور، مرتضی صاحب‌الزمانی و محمدرضا مبیدی، "پیاده سازی اتوماتای یادگیر سلولی در سخت افزار" ، مجموعه مقالات اولین کنفرانس مکاترونیک ایران، دانشگاه ازاد اسلامی قزوین، قزوین، ایران، خرداد ۱۳۸۲.
- [۴۰] محمدرضا مبیدی و فرهاد مهدی پور، "کاربرد اتوماتای سلولی در جایابی مدارهای مجتمع متراکم" ، مجموعه مقالات هشتمین کنفرانس سالانه انجمن کامپیوتر ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، صفحات ۱۹۵-۲۰۳، اسفند ۱۳۸۱.
- [۴۱] محمدرضا خسته و محمدرضا مبیدی، "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
Environment ^{vii}
Unfavorable ^{viii}
Stationary ^{ix}
Non-Stationary ^x
Fixed Structure ^{xi}
Actions ^{xii}
Variable Structure ^{xiii}
Linear Reward Pealty ^{xiv}
Linear Reward Epsilon Penalty ^{xv}
Linear Reward Inaction ^{xvi}
^{xvii} Synchronous
^{xviii} Asynchronous
^{xix} von Newman
^{xx} General
^{xxi} Totalistic
^{xxii} Outer totalistic
Gibbz Random Field - ^{xxiii}

