



یک روش ترکیبی برای واضح سازی تصاویر (مدل پخش گاز + اتوماتای سلولی فازی)

محمد رضا مبیدی

آزمایشگاه محاسبات نرم

دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

تهران ایران

meybodi@aut.ac.ir

فریبا مهدوی فرد

آزمایشگاه محاسبات نرم

دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

تهران ایران

mahdavifard@aut.ac.ir

تصویر، خصوصاً لبه‌ها است؛ از این‌رو از واضح سازی معمولاً^۱ به عنوان ابزاری برای شناسایی لبه‌ها بهره می‌جویند. روش‌های بسیاری از

جمله واضح سازی با استفاده از مشتق گیری، واضح سازی با استفاده از گرادیان گیری، واضح سازی با استفاده از لaplاسین گیری، واضح سازی با استفاده از مدل پخش گاز و واضح سازی با استفاده از فیلتر Butterworth تا کنون برای انجام عمل واضح سازی تصویر معرفی شده‌اند که هر کدام معایب و مزایای خاص خود را دارند.

یکی از روش‌های واضح سازی، مبتنی بر مدل پخش گاز می‌باشد که در این روش، فرآیند تار شدن تصویر به صورت فرآیند پخش گاز مدل می‌شود. یکی از مشکلات این روش تعیین مقدار مناسب پارامتر a برای هر پیکسل می‌باشد. معمولاً مقدار پارامتر a برای کلیه پیکسلهای تصویر اعم از لبه و غیر لبه یکسان در نظر گرفته می‌شود و به همین دلیل تمام قسمتهای تصویر بطور یکسان برای واضح سازی می‌شود. اگر بتوان مقادیر a را به صورت محلی برای هر پیکسل تعیین نمود، کارایی روش بالاتر خواهد بود؛ به صورتیکه در نقاطی با تغییرات بالای فرکانس (لبه‌ها) از مقادیر بالا و در سایر نقاط از مقادیر پایین برای پارامتر a استفاده شود. در این مقاله روشنی برای واضح سازی پیشنهاد می‌گردد که از ترکیب روش واضح سازی مبتنی بر پخش گاز و اتوماتای سلولی فازی حاصل شده است. در این روش ترکیبی، اتوماتای سلولی فازی، از طریق یکسری قوانین فازی، عهده دار تعیین مقادیر مناسب پارامتر a برای پیکسلهای تصویر می‌باشد. روش پیشنهادی متکی بر عملیات محلی در همسایگی هر پیکسل می‌باشد که این امر پیاده سازی آن را ساده تر می‌سازد. نتایج حاصل از پیاده سازی روش پیشنهادی، نشان دهنده کارایی بالای آن در مقایسه با سایر روش‌های واضح سازی است.

در این مقاله یک روش واضح سازی که از ترکیب روش پخش گاز و اتوماتای سلولی فازی^۱ حاصل شده است پیشنهاد می‌گردد. در این روش ترکیبی، اتوماتای سلولی فازی عهده دار تعیین مقدار مناسب پارامتر a برای پیکسلهای تصویر می‌باشد. هر سلول اتوماتای سلولی فازی، پارامتر a پیکسل متناظر با آن سلول را بر اساس یکسری قوانین فازی تعیین می‌کند. توزیعی بودن روش پیشنهادی و اینکه متکی بر عملیات محلی در همسایگی هر پیکسل می‌باشد، باعث ساده تر شدن پیاده سازی آن به صورت نرم افزاری و سخت افزاری می‌شود. نتایج حاصل از پیاده سازی روش پیشنهادی، نشان دهنده کارایی بالای آن در مقایسه با سایر روش‌های واضح سازی است.

چکیده: واضح سازی یکی از عملیات مهم در پردازش تصویر می‌باشد و یکی از روش‌های واضح سازی، روشنی است مبتنی بر مدل پخش گاز که در آن، فرآیند تار شدن تصویر به صورت فرآیند پخش گاز مدل می‌شود. در این روش معمولاً مقدار پارامتر a برای کلیه پیکسلهای تصویر اعم از لبه و یا غیر لبه یکسان در نظر گرفته می‌شود و به همین دلیل تمام قسمتهای تصویر بطور یکسان برای واضح سازی می‌شود. اگر بتوان مقادیر a را به صورت محلی برای هر پیکسل تعیین نمود، کارایی روش بالاتر خواهد بود؛ به صورتیکه در نقاطی با تغییرات بالای فرکانس (لبه‌ها) از مقادیر بالا و در سایر نقاط از مقادیر پایین برای پارامتر a استفاده شود. در این مقاله روشنی برای واضح سازی پیشنهاد می‌گردد که از ترکیب روش واضح سازی مبتنی بر پخش گاز و اتوماتای سلولی فازی حاصل شده است. در این روش ترکیبی، اتوماتای سلولی فازی، از طریق یکسری قوانین فازی، عهده دار تعیین مقادیر مناسب پارامتر a برای پیکسلهای تصویر می‌باشد. روش پیشنهادی متکی بر عملیات محلی در همسایگی هر پیکسل می‌باشد که این امر پیاده سازی آن را ساده تر می‌سازد. نتایج حاصل از پیاده سازی روش پیشنهادی، نشان دهنده کارایی بالای آن در مقایسه با سایر روش‌های واضح سازی است.

کلمات کلیدی: اتوماتای سلولی، اتوماتای سلولی فازی، پردازش تصویر، واضح سازی تصویر، مدل پخش گاز

۱- مقدمه

یکی از عملیاتی که همواره در پردازش تصویر مورد توجه بوده است عمل واضح سازی تصویر می‌باشد. عمل واضح سازی برخلاف هموار سازی تصویر که سعی در تضعیف فرکانسهای بالا دارد، فرکانسهای بالا را تقویت می‌کند. در واقع هدف از واضح سازی تصویر، مشخص کردن جزئیات

حالات توسط تابع انتقال محلی اتوماتی سلولی فازی انجام می‌گیرد. تابع انتقال محلی برای کلیه سلولها یکسان و یک تابع فازی است. این تابع به این صورت عمل می‌کند که در هر مرحله مقدار عضویت همسایگی سلول را گرفته و مقدار عضویت آن را در مرحله بعد محاسبه می‌کند. برای نمایش روند تکامل FCA، از مقادیر عضویت متغیرهای زیانی سلول در هر لحظه بهره می‌گیریم و متغیر برای نمایش خروجی یک سلول در هر مرحله بکار می‌رود. همسایگی برای تمام سلولها یکسان می‌باشد و در طی زمان بدون تغییر باقی می‌ماند.

اتوماتی سلولی فازی را میتوان به صورت چهارتایی $\langle Z, S, r, f \rangle$ نمایش داد که یک توری منظم n بعدی از سلولها، S مجموعه حالات هر سلول می‌باشد که هر سلول در هر مرحله می‌تواند یکی از آنها را اختیار کند و مقادیر عضویت این مجموعه در بازه $[0, 1]$ قرار دارند، $r \in N$ ساعت همسایگی است و $s \rightarrow s^{r+1} : f$ ، تابع انتقال فازی است.

کاربرد مدل‌های مبتنی بر CA در پردازش تصویر: از آنجا که در پردازش تصاویر زمان واقعی⁶، سرعت عملیات از اهمیت زیادی برخوردار است، نیاز به الگوریتمهای موازی در پردازش تصویر بسیار بیشتر از الگوریتمهای ترتیبی است. در [5] از اتوماتی سلولی به عنوان یک مدل محاسباتی که ذاتاً موازی است، به منظور طراحی الگوریتم موازی در تشخیص لبه تصاویر استفاده شده است و در [6] نیز از مدل CA که به صورت ژنتیکی کنترل می‌شود برای حل مسائل موجود در پردازش تصویر استفاده شده است و کارایی این مدل برای تشخیص لبه در تصاویر نشان داده شده است. [7] نیز اتوماتاهای سلولی مختلف را به عنوان الگوریتمهایی به منظور بهسازی مقدماتی تصویر مورد مطالعه قرار داده است. در این مقاله کاربرد الگوریتمهای اتوماتی سلولی مختلف برای واضح سازی و هموار سازی نشان داده شده است. از CLA نیز تا کنون چندین کاربرد در زمینه پردازش تصویر ارائه شده است. برای مثال در [12] از مدل CLA برای واضح سازی، در [8] برای حذف نویز و در [9] برای قطعه بندی تصویر استفاده شده است. در [16] از اتوماتی یادگیر سلولی ناهمگام باز برای تشخیص لبه در تصاویر استفاده شده و در [21, 20] نیز CLA برای حذف نویز، قسمت بندی و استخراج ویژگیهای در شرایطی که تصویر نویزی است، بررسی شده است. در [11] از CLA برای دسته بندی تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده. و [21] نیز رساله کارشناسی ارشدی است که در آن به کاربردهای CLA در پردازش تصویر پرداخته شده است. اگر چه تا کنون کاربردهای زیادی از مدل CA و CLA در زمینه پردازش تصویر ارائه شده، اما تاکنون از مدل FCA در این زمینه استفاده نشده است. با توجه به قابلیتهای منطق فازی و کاربرد فراوان اتوماتی سلولی در زمینه پردازش تصویر، به نظر می‌رسد که این مدل در پردازش تصویر نیز کاربردهای مناسبی خواهد داشت. در این مقاله با ترکیب مدل اتوماتی سلولی فازی و مدل پخش گاز، روشی برای واضح سازی تصویر ارائه گردیده است.

ادامه مقاله به شرح زیر سازماندهی شده است. در بخش 2 به کارهایی که تا کنون در راستای این کار پژوهشی صورت گرفته است، خواهیم پرداخت. در این بخش توضیحات مختصری در مورد اتوماتی سلولی²، اتوماتی سلولی یادگیر³ و اتوماتی سلولی فازی ارائه می‌گردد و به کاربرد مدل‌های مبتنی بر اتوماتی سلولی در پردازش تصویر خواهیم پرداخت. در بخش 3 نیز الگوریتم ترکیبی پیشنهادی شرح داده خواهد شد. در این بخش در رابطه با روش واضح سازی مبتنی بر مدل پخش گاز نیز توضیحات مختصری ارائه می‌شود. بخش 4 مقاله نتیجه گیری می‌باشد.

2- کارهای گذشته

در این بخش ابتدا توضیحات مختصری در مورد اتوماتی سلولی، اتوماتی سلولی یادگیر و اتوماتی سلولی فازی ارائه شده و سپس در مورد کاربرد مدل‌های مبتنی بر اتوماتی سلولی در زمینه پردازش تصویر توضیحات مختصری ارائه می‌شود.

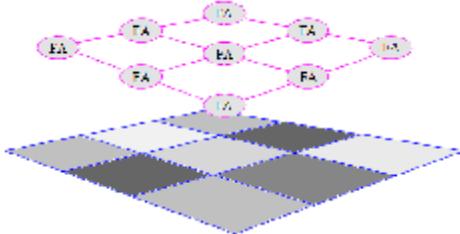
اتوماتی سلولی: اتوماتی سلولی، CA، در حقیقت سیستم‌های دینامیکی گسسته‌ای هستند که رفتارشان کاملاً بر اساس ارتباط محلی استوار است. در اتوماتی سلولی، فضا بصورت یک شبکه تعریف می‌گردد که به هر خانه آن یک سلول گفته می‌شود. زمان بصورت گسسته پیش می‌رود و قوانین آن بصورت سرتاسری است که از طریق آن در هر مرحله هر سلول، وضعیت جدید خود را با در نظر گرفتن همسایه‌های مجاور خود بدست می‌آورد. قوانین اتوماتی سلولی، نحوه تائیر پذیرفتن سلول از سلولهای همسایه را مشخص می‌کند [4]. اتوماتی یادگیر سلولی: اتوماتی یادگیر سلولی، CLA، یک مدل ریاضی برای سیستمهایی با اجزای ساده ای است به طوریکه رفتار هر جزء بر اساس رفتار همسایگانش و نیز تجربیات گذشته اش تعیین و اصلاح می‌شود. هر اتوماتی یادگیر سلولی، از یک اتوماتی سلولی تشکیل شده است که هر سلول آن به یک چند اتوماتی یادگیر مجهز می‌باشد که حالت این سلول را مشخص می‌سازد. مانند اتوماتی سلولی، قانون محلی در محیط حاکم است و این قانون تعیین می‌کند که آیا عمل انتخاب شده توسط یک اتوماتا در سلول باید پاداش داده شود و یا جریمه شود. دادن پاداش و یا جریمه باعث بروز درآورده شدن ساختار اتوماتی یادگیر سلولی به منظور نیل به یک هدف مشخص می‌گردد [19-17]. [13].

اتوماتی سلولی فازی: با توجه به توانایی منطق فازی در پردازش داده های غیر قطعی، ساختاری از CA معرفی شده است که در آن به جای استفاده از مقادیر قطعی در سلولها و توابع انتقالشان از مقادیر غیر قطعی و فازی استفاده می‌شود. تعاریف متفاوتی از اتوماتی سلولی فازی ارائه شده است [2, 3], آخرین تعریف در [14, 15] توسط میبدی و انوری نژاد ارائه شد که در ادامه به توصیف دقیق تر آن خواهیم پرداخت؛ در این مقاله نیز از آن استفاده می‌کنیم. در اتوماتی سلولی فازی مجموعه حالات یک سلول و تابع انتقال محلی⁴ یا همان قوانین، فازی هستند. مجموعه حالات یک سلول متغیرهای زیانی⁵ هستند. این متغیرهای زیانی با توجه به دانش ما از مساله مورد نظر تعیین می‌شود. حالت هر سلول در مرحله بعد بستگی به حالت فعلی سلول و حالات فعلی همسایه هایش دارد. این تغییر

یکسان در نظر گرفته می‌شود و به همین دلیل همه قسمت‌های تصویر به یک نحو واضح سازی می‌شود.

3-2- الگوریتم ترکیبی پیشنهادی برای واضح سازی:

در روش ترکیبی، از اتماتاتی سلولی فازی به منظور تعیین مقادیر مناسب پارامتر a برای پیکسلهای تصویر استفاده می‌شود. قوانین فازی در هر سلول اتماتاتی سلولی فازی عهده دار تعیین مقدار مناسب پارامتر a برای پیکسل متناظر با آن سلول می‌باشد. در واقع اتماتاتی سلولی فازی تعیین می‌کند که برای کدام پیکسل مقدار پارامتر a بایستی پایین و برای کدام پیکسل مقدار پارامتر a بایستی بالا در نظر گرفته شود. برای این منظور در موقعیت‌هایی که تغییرات ناگهانی فرکانس وجود دارد باید از مقادیر بالا برای پارامتر a استفاده کرد و در مقابل در موقعیت‌هایی که تغییرات ناگهانی فرکانس وجود ندارد از مقادیر پایین برای پارامتر a استفاده نمود. به این منظور از مشتق در تصویر استفاده می‌کنیم و بر اساس مقادیر مشتق در هر پیکسل از طریق قوانین فازی، مشتق فازی در هر پیکسل و در هر جهت محاسبه می‌شود. در حقیقت ما سعی می‌کنیم با به کار بردن قوانین فازی و استفاده از مشتق، لبه‌های تصویر را پیدا کنیم و در نقاط لبه، مقادیر a بزرگتری انتخاب کنیم. برای واضح سازی یک تصویر $R \times C$ از یک اتماتاتی دو بعدی با R سطر و C ستون استفاده می‌شود. هر پیکسل تصویر به یکی از سلولهای اتماتاتی سلولی فازی نگاشت می‌شود. به طور مثال پیکسل در سطر ۲ و ستون ۳ به سلول در سطر ۱ و ستون ۲ اتماتاتی سلولی فازی نگاشت می‌شود (شکل 2).



شکل 2- هر پیکسل تصویر متناظر با یکی از سلولهای FCA است مشتق در تصویر: همانطور که می‌دانیم مشتق ساده در نقطه (x, y) و در جهت D تفاضل بین پیکسل (x, y) و همسایه آن در جهت D است که با $\nabla_N(x, y)$ نشان داده می‌شود. همسایه‌های هر پیکسل در هشت جهت مختلف در شکل 3 نشان داده شده است.

3- روش پیشنهادی

در این بخش از مقاله ابتدا روش واضح سازی مبتنی بر مدل پخش گاز شرح داده می‌شود و سپس یک روش ترکیبی که از ترکیب اتماتاتی سلولی فازی و روش واضح سازی مبتنی بر مدل پخش گاز حاصل شده است برای واضح سازی تصاویر پیشنهاد می‌گردد.

3-1- واضح سازی با استفاده از مدل پخش گاز:

فرض کنید که (x, y) تصویر اصلی و (x, y, t) تصویر تار شده باشد. فرآیند تار شدن یک تصویر را می‌توان توسط فرآیند پخش شدن گاز مدل کرد. فرض کنید $f(x, y, t)$ تصویر تار شده در زمان t باشد. از لحظه $t=0$ تاری تصویر (پخش گاز) آغاز می‌شود و در زمان $t=t$ تصویر تار شده، $f(x, y)$ را خواهیم داشت و در این صورت

$$f(x, y, t) = f(x, y) \quad (1)$$

$$f(x, y, 0) = g(x, y) \quad (2)$$

همچنین داریم

$$\partial f / \partial t = K \nabla^2 f \quad K > 0 \quad (3)$$

تابع $f(x, y, t)$ را با استفاده از $f(x, y, 0)$ بسط می‌دهیم و با صرف نظر کردن از جملات با درجه بالاتر از ۱، به عبارت زیر خواهیم رسید.

$$f(x, y, 0) \approx f(x, y, t) - t \frac{\partial f(x, y, t)}{\partial t} \quad (4)$$

با استفاده از روابط (1)، (2)، (3) و (4) خواهیم داشت:

$$g(x, y) = f(x, y) - Kt \nabla^2 f(x, y) \quad (5)$$

از طرفی $\nabla^2 f$ را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد.

$$\nabla^2 f(x, y) = f(x+1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1) + f(x-1, y) - 4f(x, y) \quad (6)$$

معادله (5) را می‌توان با استفاده از تعریف لاپلاسین در تصویر به فرم (6) به صورت زیر برای از بین بردن تاری تصویر استفاده کرد.

$$g(x, y) = (1 + 4a)f(x, y) - a(f(x+1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1) + f(x-1, y)) \quad (7)$$

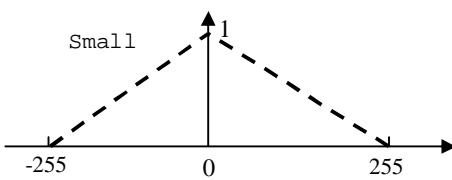
که $a = Kt$ می‌باشد.

بنابراین در نهایت باید کلیشه⁷ شکل 1 را به تصویر اعمال کنیم.

$-a$	$-a$	$-a$
$-a$	$1 + 4a$	$-a$
$-a$	$-a$	$-a$

شکل 1: کلیشه مورد استفاده برای واضح سازی در مدل پخش گاز

یکی از مشکلات این روش این است که برای کلیه پیکسلهای تصویر اعم از لبه و غیر لبه و پیکسلهای با تغییرات هموار و غیر هموار پارامتر a



شکل ۵: تابع عضویت مجموعه فازی small

بنابراین مشتق فازی در پیکسل (x,y) و در جهت NW یعنی $\nabla_{NW}^F(x,y)$ بر اساس قانون فازی زیر محاسبه می‌شود:

If ($\nabla_{NW}(x,y)$ is small and $\nabla_{NW}(x-1,y+1)$ is small)
or ($\nabla_{NW}(x,y)$ is small and $\nabla_{NW}(x+1,y-1)$ is small)
or ($\nabla_{NW}(x-1,y+1)$ is small and $\nabla_{NW}(x+1,y-1)$ is small) then $\nabla_{NW}^F(x,y)$ is small

در هر پیکسل تصویر باید مشتق فازی را در هشت جهت مختلف محاسبه کنیم، بنابراین اتماتای سلولی فازی در هر سلول هشت قانون فازی مشابه با قانون بالا خواهد داشت که هر یک درجه عضویت مشتق فازی را در هر جهت به مجموعه Small محاسبه می‌کنند.

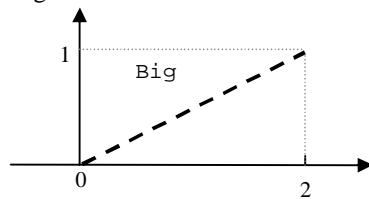
$\nabla_D^F(x,y), D \in dir$

در این مرحله نیازی به غیر فازی سازی نیست، زیرا در مرحله بعد، مستقیماً از درجات عضویت به مجموعه small به عنوان ورودی استفاده می‌شود.

تعیین مقدار پارامتر a : در این مرحله در هر سلول FCA باز هم از یک قانون فازی استفاده می‌کیم که ایده اصلی این قوانین این است که اگر در یک جهت خاص لبه ای وجود دارد (مقدار مشتق فازی در آن پیکسل و حداقل در یکی از 8 جهت بزرگ است) مقدار پارامتر a باید در آن پیکسل بزرگ در نظر گرفته شود که الیه "بزرگی" پارامتر a نیز خود یک متغیر زبانی خواهد بود. برای تعیین میزان بزرگی آلفا، از مجموعه فازی Big استفاده می‌شود که در شکل 6 نشان داده است.

قانون فازی در هر سلول FCA به صورت زیر خواهد بود:

If not(($\nabla_N^F(x,y)$ is small) and ($\nabla_{NE}^F(x,y)$ is small)
and ($\nabla_{NW}^F(x,y)$ is small) and ($\nabla_W^F(x,y)$ is small)
and ($\nabla_{SW}^F(x,y)$ is small) and ($\nabla_S^F(x,y)$ is small)
and ($\nabla_{SE}^F(x,y)$ is small) and ($\nabla_E^F(x,y)$ is small))
then a is big



شکل 6: تابع عضویت مجموعه فازی Big

NW	N	NE
W	(x,y)	E
SW	S	SE

شکل 3: هشت همسایه پیکسل (x,y)

$$\nabla_N(x,y), (D \in dir = \{NW, W, SW, S, SE, E, NE, N\})$$

برای مثال مشتق در جهت شمال و شمال غربی به صورت زیر حساب می‌شود.

$$\nabla_N(x,y) = I(x,y-1) - I(x,y)$$

$$\nabla_{NW}(x,y) = I(x-1,y-1) - I(x,y)$$

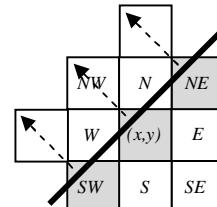
در بخش بعد به تعریفی که برای مشتق فازی ارائه شده است می‌پردازیم.

مشتق فازی: ایده مشتق فازی در [1] ارائه شده است، در [1] از مشتق فازی برای فیلتر کردن تصاویر حاوی نویز گوسی استفاده شده است. در اینجا ما از این مفهوم به منظور واضح سازی تصویر از طریق اتماتای سلولی فازی بهره می‌گیریم.

تعریف مشتق فازی بر این اساس است که اگر لبه ای در همسایگی نقطه (x,y) و در جهت SW-NE وجود داشته باشد (خط تیره در شکل 4)، مقدار مشتق در نقطه (x,y) و در جهت NW $\nabla_{NW}(x,y)$ یعنی $\nabla_{NW}(x-1,y+1)$ و در جهت (x-1,y+1) $\nabla_{NW}(x+1,y-1)$ و در جهت NW و همچنین مقدار مشتق در نقطه (x+1,y-1) $\nabla_{NW}(x+1,y-1)$ بزرگ خواهد بود (خطوط جهتدار در شکل 4). پس برای محاسبه مشتق فازی در جهت NW، باید ابتدا مقدار مشتق زیر را محاسب کنیم:

$$\nabla_{NW}(x,y), \nabla_{NW}(x-1,y+1), \nabla_{NW}(x+1,y-1)$$

ایده اصلی مشتق فازی این است که اگر دو تا از این سه مشتق کوچک باشد، لبه ای در آن جهت وجود ندارد. برای تعیین میزان کوچک بودن مشتق فازی در یک جهت خاص، از مجموعه فازی small استفاده می‌شود که در شکل 5 نشان داده شده است.



شکل 4- خط تیره لبه ای است که از نقطه (x,y) می-

گذرد و بنابراین مشتق فازی در نقطه (x,y) و دو همسایه مجاورش، در جهت NW بزرگ خواهد بود

قابلیتهای زیادی در زمینه پردازش تصویر خواهد داشت که هنوز کارهای تحقیقاتی چندانی در این مورد صورت نگرفته است.

سپاسگزاری

این کار تحقیقاتی توسط مرکز تحقیقات مخابرات ایران حمایت مالی شده است که بدین وسیله سپاسگزاری میشود.

مراجع

- [1] Van De Ville, D., Nachtegael, M., Van der Weken, D., Kerre, E., Philips W. And Lemahieu, I., "Noise Reduction by Fuzzy Image Filtering", IEEE Transaction on Fuzzy Systems, Vol. 11, No. 4, August 2003.
- [2] Mraz, M., Zimic, N., Lapanja, I. and Bajec, I., "Fuzzy Cellular Automata: From Theory to Application", 12th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI'00), p. 0320, 2000.
- [3] Maji, P. and Chaudhuri, P., "Fuzzy Cellular Automata for Modeling Pattern Classifier", IEICE Transactions on Information and Systems, 2005.
- [4] Wolfram, S., "Theory and Applications of Cellular Automata", Advanced Series on Complex Systems, Singapore: World Scientific Publication, 1986.
- [5] Yang, C. and Ye, H., "Cellular Automata Modeling in Edge Recognition", Proceedings of the Seventh International Symposium on Artificial Life and Robotics, pp. 128-132, 1990.
- [6] 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, 13-16 April, Hong Kong, 1994.
- [7] Hernandez, G. and Herrmann, H. J., "Cellular Automata for Elementary Image Enhancement", Graphical Models and Image Processing, Vol. 58, No.1, pp. 82-89, 1996.
- [8] Kharazmi, M. R. and Meybodi, M. R., "An Algorithm Based on Cellular Learning Automata for Image Restoration", Proceedings of The First Iranian Conference on Machine Vision & Image Processing, University of Birjand, pp. 244 – 254, March 2001.
- [9] Kharazmi, M. R. and Meybodi, M. R., "Application of Cellular Learning Automata to Image Segmentation", Proceedings of Tenth Conference on Electrical Engineering (10th ICEE), University of Tabriz, Vol. 1, pp. 298-306, May 2002.
- [10] Meybodi, M. R. and Kharazmi, M. R., "Application of Cellular Learning Automata to Image Processing", Journal of Amirkabir, Vol. 14, No. 56A, pp. 1101-1126, 2004.
- [11] Mojarradi, B., Lucas, C. and Varshosaz, M., "Using Learning Cellular Automata for Post Classification Satellite Imagery".
- [12] Marchini, F., Meybodi, M. R. and Soleymani, V., "A Hybrid Method for Image Sharpening (Gas Diffusion Model + Cellular Learning Automata)", Proceedings of 11th Annual CSI Computer Conference of Iran, Fundamental Science Research Center (IPM), Computer Science Research Lab., Tehran, Iran, pp. 715-720, January 24-26, 2006
- [13] Meybodi, M. R., Beigy, H. and Taherkhani, M., "Application of Cellular Learning Automata to Image Processing", Proceedings of First Conference in Mathematics and Communication, Telecommunication Research Center, Tehran, Iran, 20 Oct. 2000.
- [14] Anvarinejad, T. and Meybodi, M. R., "Fuzzy Dynamic Channel Assignment in Cellular Mobile Networks", Proceedings of the 5th Iranian Conference on Fuzzy

شکل تابع عضویت Big و نقاط ۰ و ۲ بر اساس بررسی های تجربی انتخاب شده اند. مکانیزم استنتاج فازی استفاده شده در اینجا مکانیزم استنتاج ممداňی^۸ می باشد و در غیر فازی سازی نیز از روش کوچکترین ماکریم ها^۹ استفاده می کیم و به این ترتیب مقدار نهایی a در هر نقطه از تصویر بدست می آید.

الگوریتم پیشنهادی در مراحل زیر خلاصه می شود:
۱. هر پیکسل از تصویر به یک سلول از اتوماتی سلولی فازی نسبت داده می شود.

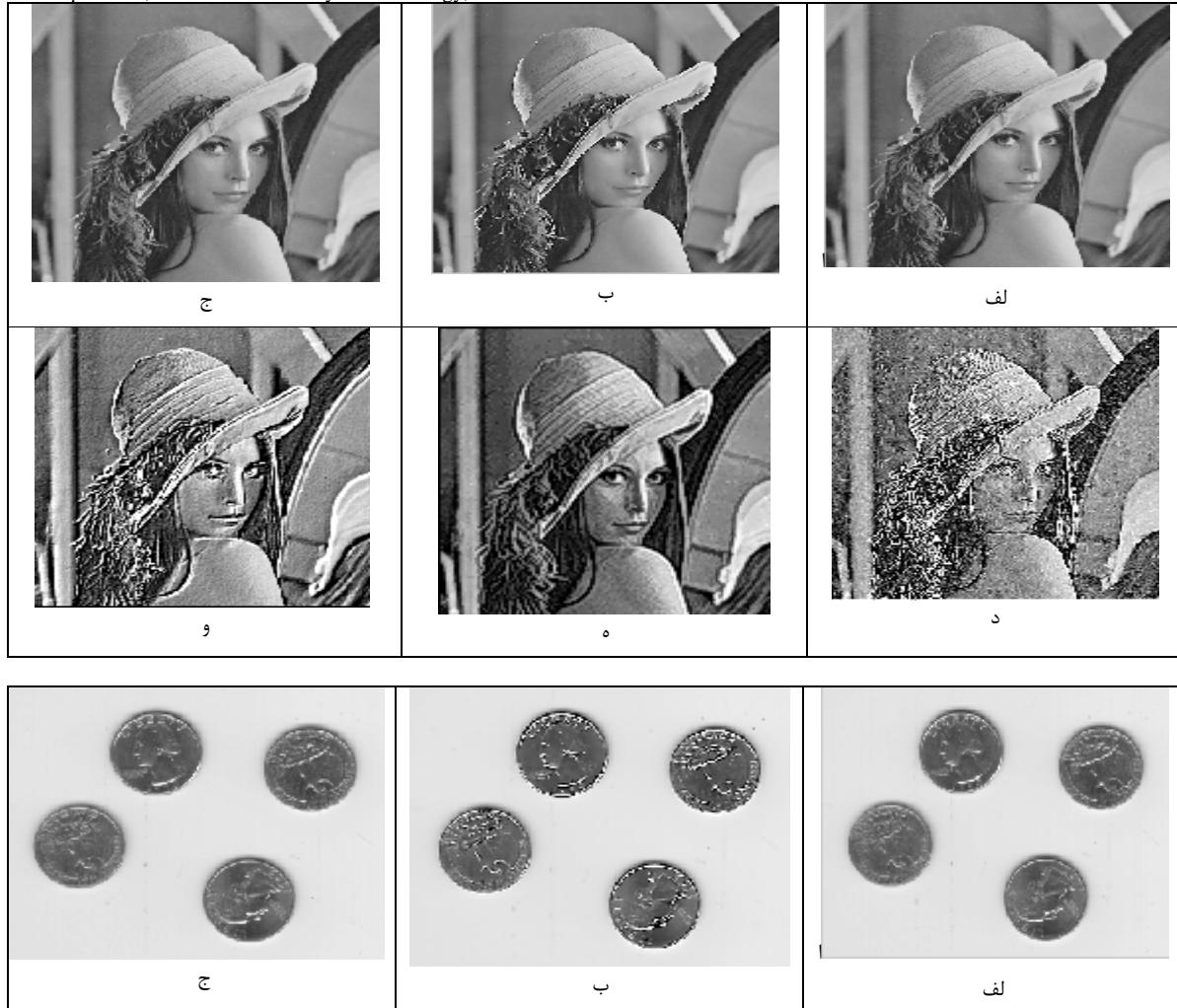
۲. مشتق در هر پیکسل و در تمامی جهت‌ها محاسبه می شود.
 $\nabla_D(x, y), (D \in dir = \{NW, W, SW, S, SE, E, NE, N\})$
 ۳. اتوماتی سلولی فازی بر اساس قوانین فازی، مشتق فازی را در هر پیکسل و در تمامی جهت‌ها محاسبه می کند. یعنی در حقیقت میزان کوچکی مشتق فازی بر اساس تابع عضویت small سنجیده می شود.
 ۴. در اتوماتی سلولی فازی، در هر پیکسل تصویر بر اساس مقدار مشتق فازی در آن پیکسل و در هر هشت جهت و از طریق یک قانون فازی، بزرگی آلفا سنجیده می شود. در صورتی که مشتق فازی در نقطه (x,y) حداقل در یکی از جهت‌ها بزرگ باشد نتیجه می گیریم که از این نقطه لبه ای می گزند و مقدار آلفا باید بزرگ در نظر گرفته شود.
 ۵. بر اساس آلفای به دست آمده در هر سلول اتوماتی سلولی، کلیشه مناسب به پیکسل متناظر با آن سلول اعمال می شود.

نتایج حاصل از واضح سازی با استفاده از الگوریتم پیشنهادی با نتایج حاصل از استفاده از مقادیر ثابت a ، بزرگ و کوچک و همچنین الگوریتم ترکیبی مدل پخش گاز و اتوماتی سلولی یادگیر [12] و همچنین روش گرادیان سوبل مقایسه شده است. نتایج آزمایش برای دو تصویر coins و lena در شکل ۷ نشان داده شده است. برای مشاهده نتایج بیشتر میتوان به www.ce.aut.ac.ir/~mahdavifard مراجعه کرد. نتایج آزمایشها برتری روش ترکیبی پیشنهادی را بر سایر روش‌های واضح سازی نشان می دهد. یکی از مهمترین خصیصه های روش پیشنهادی توزیعی بودن آن است که موازی سازی آن را به سادگی امکان پذیر می سازد و در عین حال سرعت الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم مشابهی که به جای اتوماتی سلولی فازی از اتوماتی یادگیر سلولی برای تنظیم پارامتر a استفاده میکند بسیار بالاتر است.

۴- نتیجه گیری

در این مقاله روشی از ترکیب روش واضح سازی مبتنی بر پخش گاز و اتوماتی سلولی فازی حاصل شده است پیشنهاد گردید. در این روش ترکیبی، اتوماتی سلولی فازی، از طریق یکسری قوانین فازی، عده‌های تعیین مقادیر پارامتر a برای پیکسلهای تصویر می باشد نتایج حاصل از پیاده سازی روش پیشنهادی، نشان دهنده کارایی بالای آن در مقایسه با سایر روش‌های واضح سازی بوده است. با توجه به قابلیتهای منطق فازی و توانایی اتوماتی سلولی در مدلسازی سیستمها و کاربرد آن در زمینه پردازش تصویر، به نظر می رسد که اتوماتی سلولی فازی

- [18] Beigy, H. and Meybodi, M. R., "Open Synchronous Cellular Learning Automata", Advances in Complex Systems, Vol. 10, No. 4, pp. 1-30, December 2007.
- [19] Beigy, H. and Meybodi, M. R., "Asynchronous Cellular Learning Automata", Automatica, Journal of International Federation of Automatic Control, Vol. 44, No. 5, May 2008, to appear.
- [20] Marchini, F. and Meybodi, M. R., "Application of Cellular Learning Automata to Image Processing: Finding Skeleton", Proceedings of Third Conference on Machine Vision, Image Processing and Applications (MVIP 2005), University of Tehran, Tehran, Iran, pp. 271-280, Feb. 2005.
- [21] Marchini, F., "Application of Cellular Learning Automata to Image Processing", Master Thesis, Computer Engineering Department, Amirkabir University of Technology, 2003.
- [15] Anvarinejad, T. and Meybodi, M. R., "Fuzzy Cellular Automata", Proceedings of The 5th Iranian Conference on Fuzzy Systems, pp.57-65, Imam Hussein University, Tehran, Iran, Sept. 2004.
- [16] Bohlool, M. and Meybodi, M. R., "Edge Detection Using Open and Asynchronous Cellular Learning Automata", Proceedings of 4th Iranian Conference on Machine Vision and Image Processing, Mashhad, Iran, Feb 14-15, 2007.
- [17] Beigy, H. and Meybodi, M. R., "A Mathematical Framework for Cellular Learning Automata", Advances on Complex Systems, Vol. 7, Nos. 3-4, pp. 295-320, September/December 2004.





شکل ۶: (الف) تصویر اولیه ب) تصویر واضح شده توسط الگوریتم پیشنهادی (ج) تصویر واضح شده توسط مدل پخش شدن گاز با استفاده از مقدار پایین آلفا (د) تصویر واضح شده توسط مدل پخش شدن گاز با استفاده از مقدار بالای آلفا (ه) تصویر واضح شده توسط مدل ترکیبی CLA و مدل پخش شدن گاز و) تصویر واضح شده با استفاده از گرادیان سوبل

^۳Fuzzy Cellular Automata (FCA)

^۴Cellular Automata(CA)

^۵Cellular Learning Automata (CLA)

^۶Local Transition Function

^۷Linguistic Variable

^۸Real Time

^۹Template

^{۱۰}Mamdani Inference

^{۱۱}Smallest of Maximum