

ارائه‌ی یک روش نوین در تشخیص دایره در تصاویر دیجیتال توسط الگوریتم ژنتیک

ژینا شهیدی زندی^۱ و علی محمد لطیف^۲

چکیده

تشخیص شکل در تصاویر دیجیتال یکی از موضوع‌های پرکاربرد در حوزه‌ی پردازش تصویر است. این مقاله، به معرفی روشی برای تشخیص دایره در تصاویر دیجیتال با استفاده از الگوریتم ژنتیک می‌پردازد. دایره در صفحه‌ی مختصات، توسط یک رابطه‌ی درجه دوم بیان می‌شود. برای تشخیص دایره یافتن ضرایب این رابطه‌ی درجه دوم چالش است. در روش پیشنهادی سه نقطه‌ی تصادفی از لبه‌های تصویر انتخاب می‌شوند. با توجه به این که در صفحه‌ی مختصات هر سه نقطه‌ی غیرواقع بر روی خط راست یک دایره را بیان می‌کند، ضرایب رابطه‌ی درجه دوم مربوط به دایره، کروموزوم الگوریتم ژنتیک در نظر گرفته می‌شود. پس از یافتن ضرایب با رسم دایره در تصویر و محاسبه‌ی میزان هم‌پوشانی این دایره با لبه‌های موجود تابع برازندگی محاسبه می‌گردد. سپس با استفاده از عملگرهای تقاطع و جهش ضرایب چندجمله‌ای نسل‌های جدید تولید و روند الگوریتم ژنتیک تا رسیدن به شرایط همگرایی ادامه می‌یابد. نتایج آزمایش‌ها بر روی چندین تصویر نشان می‌دهد، روش پیشنهادی می‌تواند دایره‌های موجود در تصویر را پیدا نماید. افزایش نرخ موفقیت در تشخیص دایره‌ی موجود در تصویر و همچنین تشخیص مرکز و شعاع دقیق دایره نسبت به روش‌های مورد بررسی از دستاوردهای مهم است.

کلیدواژه‌ها

تشخیص دایره، الگوریتم ژنتیک، تصویر دیجیتال، تشخیص لبه

۱ مقدمه

تشخیص شکل در تصاویر دیجیتال یکی از موضوع‌های مهم در بینایی ماشین و پردازش تصویر است؛ زیرا تشخیص شکل در مدل‌سازی اشیاء صفحه مهم تلقی می‌شود [۱]. یکی از مهم‌ترین کاربردهای تشخیص دایره شناسایی علائم هشدار دهنده‌ی سرعت در تصاویر جاده‌ای راهنمایی و رانندگی است. یافتن دایره در تصاویر به دلیل کاربردهای متنوع آن دارای اهمیت زیادی

می‌باشد. وجود فراوان دایره در تصاویر صحنه‌های طبیعی نویسنده را علاقه‌مند ساخت تا با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی به تشخیص دایره در تصاویر دیجیتال بپردازد.

تشخیص دایره توسط دو تکنیک قطعی و غیرقطعی انجام می‌شود. از تکنیک‌های قطعی تبدیل هاف را می‌توان نام برد. در تبدیل هاف برای تمام نقاط لبه‌ی تصویر در فضای پارامتری دایره نگاشت ایجاد می‌شود. این نگاشت به صورت افزایش مقدار یک انباره است. با این افزایش، به ازاء نقاط موجود بر روی دایره انباره افزایش می‌یابد. در پایان با قرار دادن یک آستانه‌ی مناسب می‌توان دایره را تشخیص داد [۲].

در سال ۱۹۹۰ میلادی، زو^۱ و همکارانش با استفاده از تبدیل هاف، برای کاهش حجم انباره تبدیل هاف تصادفی را ارائه

این مقاله در دی‌ماه سال ۱۳۹۸ دریافت، در فروردین‌ماه سال ۱۳۹۹ بازنگری و در مردادماه همان سال پذیرفته شد.

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر، دانشگاه یزد

رایانامه: zhina.shahidi@yahoo.com

^۲ دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه یزد

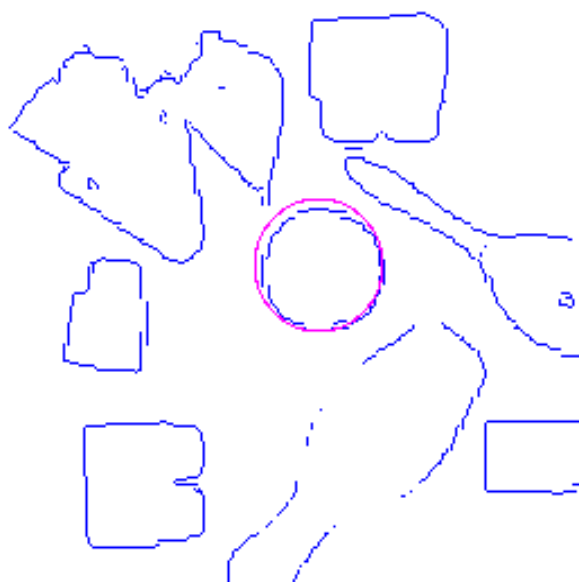
رایانامه: Alatif@yazd.ac.ir

^۱ Xu

در سال ۲۰۱۲ میلادی کیوز و همکارانش یک روش دیگر بر مبنای الگوریتم هارمونی برای تشخیص دایره ارائه دادند. آن‌ها نیز از سه نقطه لبه‌ی تصویر برای به دست آوردن مرکز و شعاع دایره‌ی نامزد در الگوریتم هارمونی استفاده کردند. در طی اجرای الگوریتم هارمونی دایره‌های نامزد سعی می‌کنند تا مقدار برازندگی خود را افزایش دهند [۹].

در اکثر تکنیک‌های غیرقطعی مرکز و شعاع دایره با استفاده از سه نقطه‌ی لبه محاسبه می‌شود [۹ و ۱۰]. مرکز و شعاع به دست آمده اعداد حقیقی بودند. به دلیل این که در تصاویر دیجیتال مرکز و شعاع دایره باید اعداد صحیح باشند، مقادیر شعاع و مرکز به اعداد صحیح گرد می‌گردید که این باعث عدم تشخیص صحیح دایره می‌شد.

شکل ۱ مشکل روش‌های پیشنهادی پیشین را واضح‌تر نمایش می‌دهد. در این شکل لبه‌های تصویر با رنگ آبی و دایره‌ی تشخیص داده شده توسط الگوریتم با رنگ قرمز نمایش داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود دایره‌ی تشخیص داده شده به صورت کامل بر روی دایره‌ی موجود در تصویر قرار نمی‌گیرد.



شکل ۱ مشکل روش‌های غیرقطعی

در این مقاله روشی جدید در تشخیص دایره با استفاده از الگوریتم ژنتیک ارائه می‌شود. در این روش از سه نقطه که بر روی لبه‌های تصویر قرار دارند، برای پیدا کردن ضرایب رابطه‌ی (۱) استفاده می‌شود.

$$a(x^2 + y^2) + bx + cy + 1 = 0 \quad (1)$$

ضرایب حقیقی رابطه‌ی ۱ به عنوان پارامترهای نمایش دایره می‌باشند. این ضرایب در روش پیشنهادی توسط الگوریتم ژنتیک محاسبه می‌شوند. از محاسن این روش می‌توان تشخیص هم‌زمان چندین دایره و دایره‌های دست‌نویس را نام برد.

ساختار مقاله به صورت زیر می‌باشد. در بخش دوم الگوریتم ژنتیک بیان می‌شود. روش پیشنهادی تشخیص دایره در بخش سوم

کردند [۳]. در سال ۱۹۹۳ میلادی، هان^۱ و همکارانش برای تشخیص دایره از تبدیل هاف فازی استفاده کردند. آن‌ها با استفاده از منطق فازی در تبدیل هاف برای دایره‌های ناقص به نتایج بهتری نسبت به تبدیل هاف دست یافتند [۴].

در سال ۱۹۹۶ میلادی شکد^۲ و همکارانش با تغییر اندکی در تبدیل هاف، الگوریتم تبدیل هاف احتمالی را برای تشخیص دایره ارائه کردند. نتایج آزمایش‌های آن‌ها نشان داد، تبدیل هاف احتمالی نتایج بهتری را نسبت به تبدیل هاف دارد [۵].

روش‌های مبتنی بر تبدیل هاف به دلیل این که باید برای تمام پیکسل‌های تصویر انجام شود، برای تصاویر با ابعاد بالا قابل اجرا نیستند؛ زیرا به محاسبه و حافظه زیادی نیاز دارند [۱]. تکنیک‌های غیرقطعی برای تشخیص دایره می‌توانند بدون نیاز به محاسبه‌های پیچیده و حافظه زیاد به راه حل مناسبی برسند. از جمله تکنیک‌های غیرقطعی می‌توان الگوریتم ژنتیک^۳ را نام برد [۱].

در سال ۱۹۹۹ میلادی، یین^۴ و همکارانش یک روش تشخیص دایره با الگوریتم ژنتیک و جستجوی محلی ارائه دادند. جستجوی محلی با استفاده از عملیات ریاضی انجام شد و کارایی الگوریتم را بهبود بخشید [۶].

در سال ۲۰۰۶ میلادی، ایالا^۵ و همکارانش روشی برای تشخیص دایره مبتنی بر الگوریتم ژنتیک ارائه دادند. این الگوریتم از سه نقطه که روی لبه‌ی تصویر واقع شده‌اند برای به دست آوردن مرکز و شعاع دایره‌ی نامزد استفاده کردند [۱].

در سال ۲۰۱۲ میلادی، کیوز^۶ و همکارانش روشی بر مبنای اتوماتای سلولی یادگیری^۷ برای تشخیص دایره ارائه کردند. در این روش از سه نقطه‌ی غیر واقع بر یک خط راست به عنوان نامزد دایره استفاده می‌شود. هر یک از نامزدها از یک سیگنال تقویتی برای نمایش میزان تلاقی دایره‌ی نامزد با لبه استفاده می‌کنند. این سیگنال میزان برازندگی هریک از نامزدها را نشان می‌دهد. در طی اجرای الگوریتم دایره‌های نامزد سعی می‌کنند تا مقدار برازندگی خود را افزایش دهند [۷].

در سال ۲۰۱۲ میلادی کیوز و همکارانش یک روش دیگر مبتنی بر الگوریتم کلونی زنبور عسل^۸ برای تشخیص دایره ارائه دادند. آن‌ها نیز از سه نقطه لبه‌ی تصویر برای به دست آوردن مرکز و شعاع دایره‌ی نامزد استفاده کردند و برای تشخیص هم‌زمان چند دایره در تصویر، آن را یک مسئله بهینه سازی چندگانه در نظر گرفتند [۸].

¹ Han

² Shaked

³ Genetic Algorithm

⁴ Yin

⁵ Ayala

⁶ Cuevas

⁷ Learning Cellular Automata

⁸ Bee Colony Algorithm

ارائه می‌گردد. بخش چهارم نتایج شبیه‌سازی الگوریتم بر روی تصاویر نمونه نمایش داده می‌شود. نتیجه‌گیری مقاله در بخش پنجم مطرح خواهد شد.

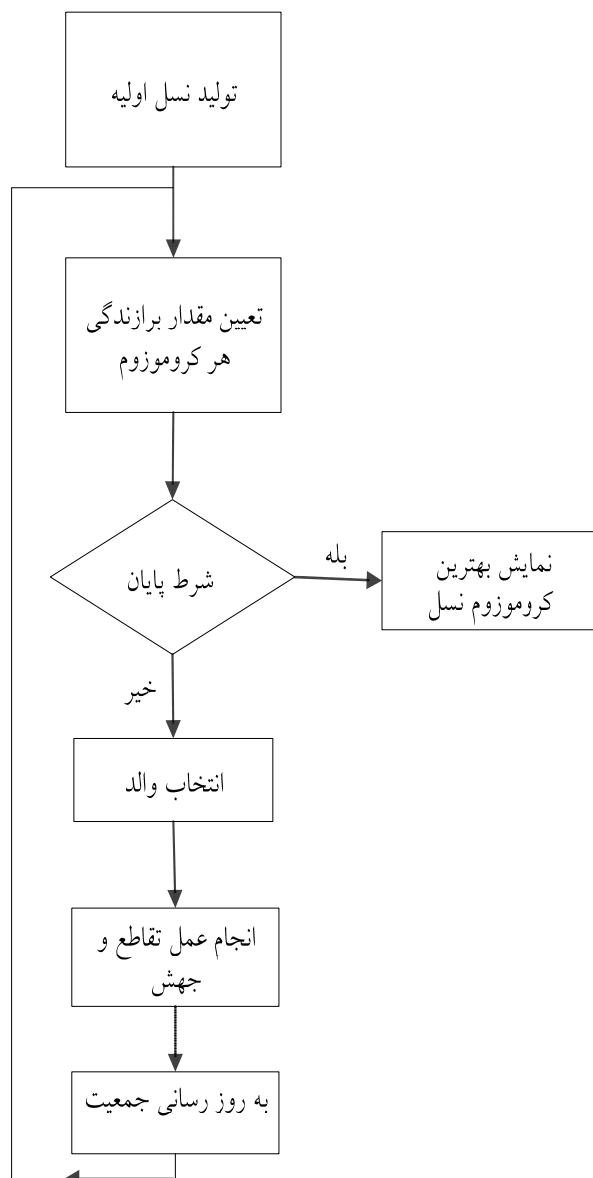
۲ الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک اولین بار توسط جان هلند^۱ در سال ۱۹۸۹ میلادی مطرح شد. این الگوریتم از جمله الگوریتم‌های جستجو به شمار می‌رود. این الگوریتم سیستم‌های تکاملی بیولوژیکی را شبیه‌سازی می‌کند.

الگوریتم ژنتیک با ایجاد یک مجموعه جواب ابتدایی به عنوان یک جمعیت اولیه تصادفی آغاز می‌گردد. در این الگوریتم پاسخ‌های ممکن به گونه‌ای کدگذاری می‌شوند که در اجرای الگوریتم بتوان این پاسخ‌ها را توسط تابع برازندگی^۲ ارزیابی کرد و سپس بر روی آن‌ها عمل‌گرهای مختلف ژنتیکی را به کار برد [۱۰]. هر پاسخ از مسئله توسط یک عضو از جمعیت به نمایش گذاشته می‌شود که به هریک از اعضای جمعیت کروموزوم^۳ می‌گویند. هر کروموزوم شامل رشته‌ای از اعداد می‌باشد که هر یک از اعداد را ژن^۴ می‌نامند. به جمعیت در زمان معلوم از اجرای الگوریتم نسل^۵ اطلاق می‌گردد. در هر تکرار از الگوریتم ژنتیک یک نسل جدید تولید و برازندگی هر یک از کروموزوم‌ها با توجه به تابع برازندگی محاسبه می‌شود [۱۱].

در حین فرایند تولید عمل‌گرهای ژنتیک مانند عمل‌گر تقاطع^۶ تقاطع^۶ و جهش^۷ بر روی کروموزوم‌ها با یک احتمال از پیش تعیین تعیین شده اعمال می‌شوند و به این ترتیب کروموزوم‌های نسل جدید تولید می‌شوند که به آن‌ها نوزاد^۸ گفته می‌شود. در ادامه برازندگی هر یک از نوزادان محاسبه می‌گردند و توسط یکی از روش‌های انتخاب، کروموزوم‌های بهتر انتخاب و به نسل بعد منتقل می‌شوند [۱۲].

اجرای الگوریتم ژنتیک این‌گونه دنبال می‌شود که کروموزوم‌های موجود در هر نسل توسط عمل‌گرهای ژنتیک سعی می‌کنند فضای جستجو را بهتر کاوش نمایند و مقدار برازندگی خود را افزایش دهند تا به این ترتیب بهترین راه‌حل‌ها پیدا شوند [۱۳]. برای بیان خلاصه الگوریتم ژنتیک روندنمای الگوریتم در شکل ۲ آورده شده است.



شکل ۲ روندنمای الگوریتم ژنتیک

با توجه به کدگذاری مسئله عمل‌گرهای تقاطع و جهش متفاوتی انجام می‌شود. هنگامی که دو کروموزوم عمل‌گر تقاطع بر روی آن‌ها اعمال می‌شود، با جابه‌جایی مقادیر کروموزوم‌ها اطلاعات نسل‌های گذشته بین این دو کروموزوم مبادله می‌شود.

در عمل جهش هر ژن با احتمال از پیش تعریف شده، تغییر می‌کند و موجب حذف ژنی از مجموعه ژن‌های جمعیت می‌شود یا ژنی که تا به حال در جمعیت وجود نداشته است به آن اضافه خواهد شد. توسط جهش می‌توان امید داشت که کروموزوم‌های خوبی که در مراحل انتخاب و یا تکثیر حذف شده‌اند، دوباره احیا شوند. استفاده از جهش باعث می‌شود عمل کاوش در فضای جواب بهتر صورت گیرد. بدیهی است فرزندان جدیدی که در هر نسل با استفاده از تقاطع و جهش تولید می‌شوند بررسی می‌شوند تا محدودیت‌های مسئله را ارضا کنند.

¹John Holland

²Fitness Function

³Chromosome

⁴Gene

⁵Generation

⁶Cross Over

⁷Mutation

⁸Offspring

۳ روش پیشنهادی

اکثر روش‌های پیشین برای تشخیص دایره توسط الگوریتم ژنتیک، از سه نقطه‌ی تصادفی لبه برای محاسبه‌ی مرکز و شعاع دایره‌ی نامزد استفاده می‌کردند. این پارامترها اعدادی حقیقی بودند. اما در تصاویر دیجیتال مرکز و شعاع دایره باید اعداد صحیح باشند. به همین دلیل این روش‌ها مقادیر شعاع و مرکز را به اعداد صحیح گرد می‌کردند. این امر موجب عدم تشخیص صحیح دایره می‌گردید. این بخش به بررسی روشی جدید در تشخیص دایره با استفاده از الگوریتم ژنتیک می‌پردازد. در این روش ضرایب حقیقی رابطه‌ی درجه دوم مربوط به دایره، به عنوان کروموزوم الگوریتم ژنتیک در نظر گرفته می‌شوند.

ابتدا تشخیص لبه به عنوان یک پیش‌پردازش با استفاده از فیلتر canny بر روی تصویر انجام می‌شود. نقاط لبه‌ی تصویر به صورت $v = \{v_0, v_1, \dots, v_{ne}\}$ در نظر گرفته می‌شود که ne تعداد نقاط لبه‌ی تصویر می‌باشد. مختصات هر نقطه از لبه به صورت (x_i, y_i) است. برای افزایش سرعت همگرایی الگوریتم ژنتیک از نقاط لبه برای تعیین کروموزوم نامزد دایره استفاده می‌شوند.

فرض می‌شود که دایره از سه نقطه‌ی تصادفی لبه v_1, v_2, v_3 عبور می‌کند که مختصات این نقاط برابر با (x_1, y_1) ، (x_2, y_2) و (x_3, y_3) می‌باشند. با جایگذاری این نقاط در رابطه ۱ دستگاه سه معادله و سه مجهول رابطه‌ی (۲) به دست می‌آید.

$$\begin{bmatrix} x_1^2 + y_1^2 & x_1 & y_1 \\ x_2^2 + y_2^2 & x_2 & y_2 \\ x_3^2 + y_3^2 & x_3 & y_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 \\ -1 \\ -1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

ضرایب a, b, c مربوط به دایره‌ی نامزد با حل این دستگاه محاسبه می‌شوند. بنابراین حل رابطه‌ی (۲) را می‌توان به صورت نگاشت رابطه‌ی (۳) در نظر گرفت که سه نقطه‌ی v_1, v_2, v_3 از لبه را به پارامترهای a, b, c تبدیل می‌کند.

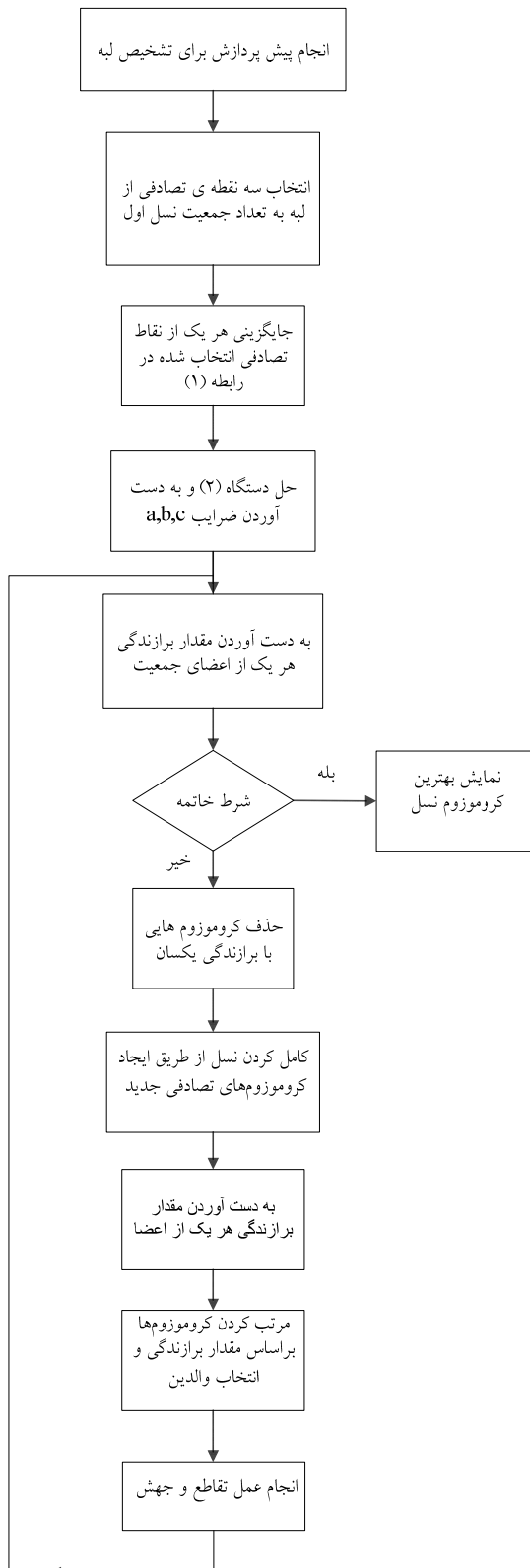
$$[a \ b \ c] \leftarrow T(v_1, v_2, v_3) \quad (3)$$

روند بالا به تعداد جمعیت نسل اولیه تکرار می‌شود و کروموزوم‌های نسل اول تولید می‌گردند. بدیهی است که ضرایب مربوط به نمایش یک دایره شامل چهارتایی (a, b, c, d) می‌باشد که مقدار d در این مقاله برابر با یک فرض می‌شود. شکل ۳ کروموزوم الگوریتم پیشنهادی را برای تشخیص دایره نشان می‌دهد.

a	b	c
---	---	---

شکل ۳ کروموزوم الگوریتم پیشنهادی برای تشخیص دایره

در ادامه‌ی اجرای الگوریتم ژنتیک مقدار برازندگی هر یک از کروموزوم‌ها به صورت جداگانه به دست می‌آید. برای افزایش سرعت همگرایی الگوریتم سعی می‌شود کروموزوم‌هایی با برازندگی یکسان از هر نسل حذف گردند. سپس توسط انتخاب سه نقطه‌ی تصادفی دیگر از لبه و تعیین پارامترهای مربوط به آن، نسل کامل می‌گردد.



شکل ۴ روندنمای الگوریتم پیشنهادی

تمایل به انتخاب کروموزوم‌هایی با مقدار برازندگی زیاد دارد. در این مقاله از عملگر تقاطع یکنواخت استفاده شده است. برای شرح این عملگر، دو والد به صورت رابطه‌ی (۶) در نظر بگیرید:

$$x_1 = (x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n}) \quad (6)$$

$$x_2 = (x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2n})$$

با استفاده از ماسک دو فرزند حاصل از عملگر تقاطع طبق روابط (۷) و (۸) تولید می‌شوند.

$$y_1 = (y_{11}, y_{12}, \dots, y_{1n}) \quad y_{1i} = \alpha x_{1i} + (1-\alpha)x_{2i} \quad (7)$$

$$0 \leq \alpha \leq 1 \quad 1 \leq i \leq n$$

$$y_2 = (y_{21}, y_{22}, \dots, y_{2n}) \quad y_{2i} = \alpha x_{2i} + (1-\alpha)x_{1i} \quad (8)$$

$$0 \leq \alpha \leq 1 \quad 1 \leq i \leq n$$

جدول ۱ لیست پارامترهای الگوریتم ژنتیک را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از اجرای روش تشخیص دایره توسط مرجع [۱]، تبدیل هاف، تشخیص دایره توسط مرجع [۹] و روش پیشنهادی روی تصاویر شکل ۵ به ترتیب در شکل‌های ۶ تا ۹ نمایش داده شده است. شکل ۶ نتایج حاصل از مرجع [۱] را نشان می‌دهد که از سه نقطه‌ی لبه برای به دست آوردن مرکز شعاع دایره استفاده می‌کند شکل ۹ بیانگر آن می‌باشد که روش پیشنهادی توانسته است به خوبی دایره را تشخیص دهد.

جدول ۱ لیست پارامترهای الگوریتم ژنتیک در مسئله تشخیص دایره

Population size	70
Crossover probability	0.2
Mutation probability	0.2
Selection method	Roulette Wheel
Crossover method	Uniform Crossover
Number of epochs	100



ب



الف

شکل ۵ تصاویر آزمایشی

برای تولید نسل جدید، والدها توسط عملگر انتخاب از میان کروموزوم‌هایی با مقدار برازندگی بالا انتخاب می‌شوند و بر روی آن‌ها عملگرهای ژنتیکی انجام می‌گیرد. روند الگوریتم ژنتیک تا همگرایی به شرط از پیش تعیین شده ادامه می‌یابد. سپس بهترین کروموزوم به عنوان جواب مسئله‌ی تشخیص دایره انتخاب می‌شود. روندنمای الگوریتم پیشنهادی در شکل ۴ به صورت مختصر آورده شده است.

۳-۱ تابع برازندگی

مختصات هر یک از نقاط محیط دایره برای محاسبه‌ی برازندگی ذخیره می‌شود. سپس وجود هریک از نقاط محیط دایره بر روی تصویر بررسی می‌شود. هر یک از نقاط محیط دایره که بر روی لبه تصویر واقع شده باشند، موجب افزایش برازندگی دایره‌ی نامزد می‌شود.

مجموعه نقاط انتخابی واقع بر روی محیط دایره‌ی نامزد به صورت $S = \{S_1, S_2, \dots, S_{NS}\}$ می‌باشد که NS تعداد نقاط می‌باشد. این نقاط تست از نمونه‌گیری یکنواخت بر روی دایره به دست می‌آیند. بدیهی است هر چه مقدار NS بزرگ‌تر باشد دایره کامل‌تر خواهد بود.

تابع برازندگی F در رابطه‌ی (۴) برابر است با مجموع تعداد نقاطی از محیط دایره نامزد که بر روی لبه‌ی تصویر قرار دارند. در این رابطه از برازندگی نرمالیزه استفاده می‌شود به دلیل آنکه محیط دایره تابعی از شعاع آن است [۱].

$$F = \sum_{i=1}^{Ns} \frac{E(x_i, y_i)}{Ns} \quad (4)$$

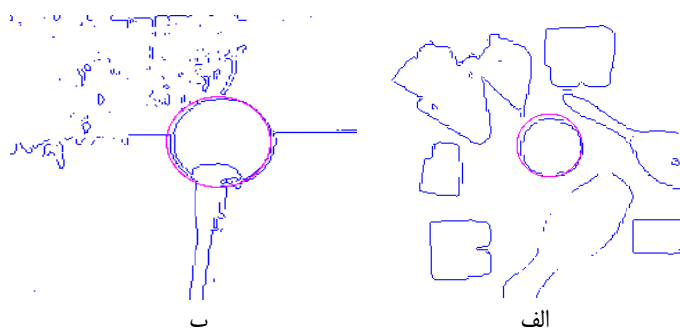
پارامتر $E(x_i, y_i)$ در صورت تطابق مجموعه نقاط S روی لبه‌ی تصویر یک خواهد بود. رابطه‌ی (۵) مقدار $E(x_i, y_i)$ را بیان می‌کند.

$$E(x_i, y_i) = \begin{cases} 1 & (x_i, y_i) \in \text{نقاط لبه} \\ 0 & \text{در غیراین صورت} \end{cases} \quad (5)$$

در الگوریتم ژنتیک پیشنهادی هدف آن است که تابع برازندگی F بیشینه شود، به عبارتی تمام نقاط دایره‌ی نامزد بر روی لبه‌ی تصویر واقع شوند.

۴ شبیه سازی و نتایج

در روش پیشنهادی برای عملگر انتخاب از چرخ رولت استفاده می‌شود که یکی از روش‌های نمونه‌برداری است. در این روش هر کروموزوم معادل با یک قطاع از یک چرخ دایره‌ای است. اندازه‌ی این قطاع متناسب با مقدار برازندگی نرمالیزه‌ی کروموزوم است. برای انتخاب یک کروموزوم یک عدد بین صفر و یک با توزیع یکنواخت تولید می‌شود. در هر ناحیه که آن عدد قرار گیرد کروموزوم آن ناحیه انتخاب می‌شود؛ زیرا سهم هر ناحیه متناسب با مقدار برازندگی نرمالیزه‌ی آن است. این شیوه‌ی انتخاب بیش‌تر



شکل ۶ نتایج تشخیص دایره توسط مرجع [۱]

ارائه‌ی یک روش نوین در تشخیص دایره در تصاویر دیجیتال توسط الگوریتم ژنتیک

تصاویر اجرا می‌گردد. محل نمایش دایره در تصاویر توسط یک ناظر انسانی با دقت بررسی شده و موارد موفق و ناموفق تشخیص دایره تعیین و با رابطه (۹) نرخ موفقیت محاسبه می‌شود.

$$(9) \quad \text{نرخ موفقیت} = \frac{\text{تعداد آزمایش‌های موفق}}{\text{تعداد کل آزمایش‌های انجام شده}}$$

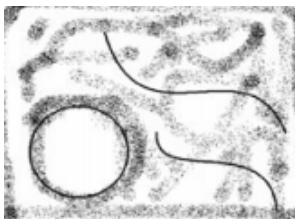
نرخ موفقیت بیانگر درصد آزمایش‌های موفق بعد از انجام تعدادی آزمایش مشخص است.

$$(10) \quad E_s = \gamma * (|x_{true} - x_D| + |y_{true} - y_D|) + \mu * |r_{true} - r_D|$$

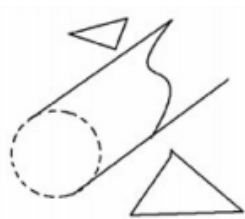
پارامترهای (x_{true}, y_{true}) و r_{true} به ترتیب مختصات مرکز و شعاع دایره واقعی را در تصویر نمایش می‌دهند و (x_D, y_D) و r_D به ترتیب مختصات مرکز و شعاع دایره تشخیص داده شده در تصویر می‌باشند. در این مقاله مقدار $\mu = 0/1$ ، $\gamma = 0/05$ می‌باشد که μ وزن اختلاف شعاع دایره واقعی با دایره تشخیص داده شده و γ وزن اختلاف مرکزهای دو دایره است. برای محاسبه مقدار میانگین خطای تشخیص همزمان چند دایره در تصویر از رابطه (۱۱) استفاده می‌شود.

$$(11) \quad ME = \left(\frac{1}{NC} \right) * \sum_{R=1}^{NC} ES_R$$

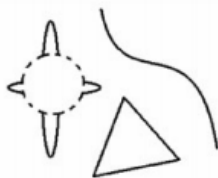
پارامتر NC تعداد دایره‌های موجود در تصویر می‌باشد. شکل‌های ۱۱ تا ۱۴ به ترتیب نتایج حاصل از اجرای روش تشخیص دایره توسط مرجع [۱]، مرجع [۹] و تبدیل هاف [۳] و روش پیشنهادی را روی تصاویر شکل ۱۰ نمایش می‌دهد. جدول ۲ نرخ موفقیت الگوریتم پیشنهادی، روش تبدیل هاف تصادفی و مرجع [۱] و [۹] را روی تصاویر شکل ۱۰ نشان می‌دهد.



ب



الف

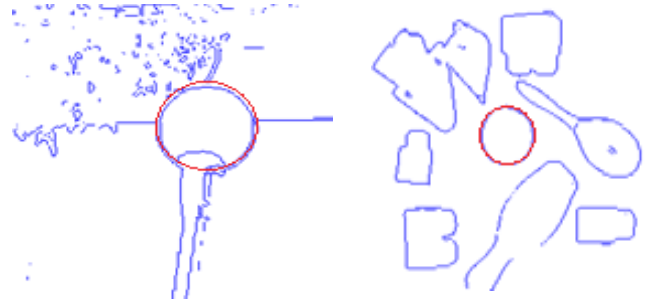


د



ج

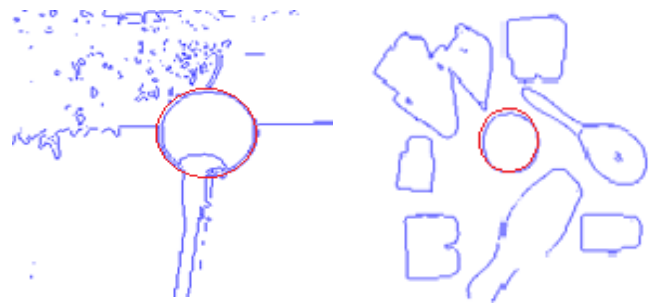
شکل ۱۰ تصاویر آزمایشی [۹]



ب

الف

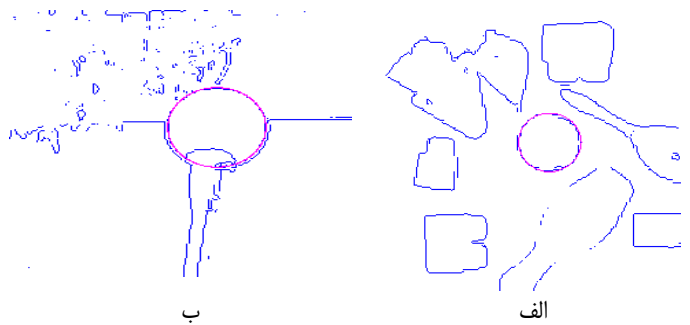
شکل ۷ نتایج تشخیص دایره توسط تبدیل هاف



ب

الف

شکل ۸ نتایج تشخیص دایره توسط مرجع [۹]



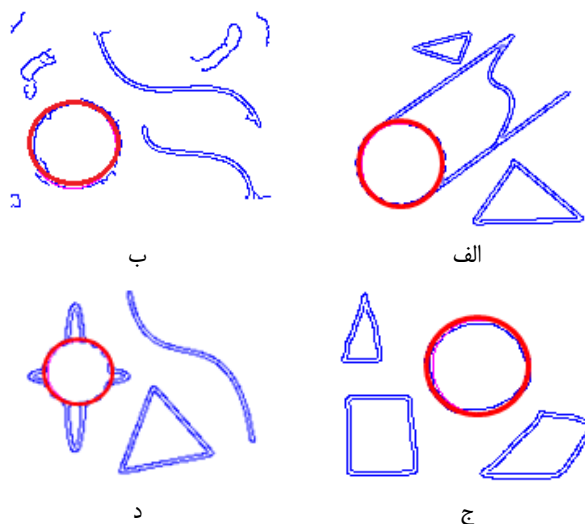
ب

الف

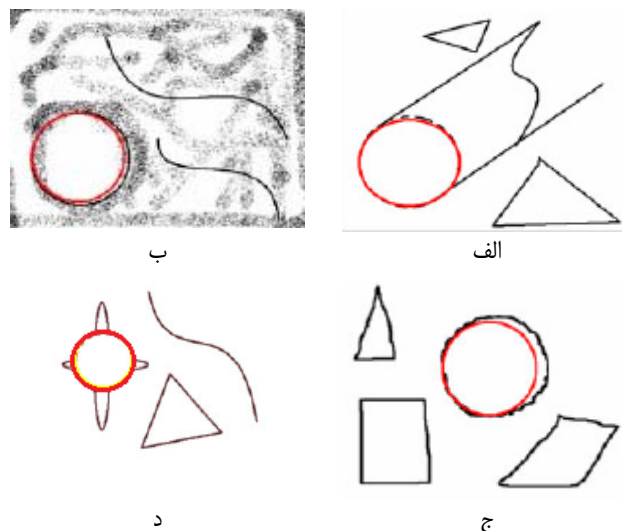
شکل ۹ نتایج حاصل از اجرای روش پیشنهادی

در شکل‌های شماره ۶ تا ۹ دایره‌های تشخیص داده شده با رنگ قرمز و لبه‌های تصویر با خطوط آبی نمایش داده شده‌اند. همان‌طور که در شکل‌های ۶ و ۸ ملاحظه می‌شود در روش مرجع [۱] و [۹]، به دلیل خطای گرد کردن مرکز و شعاع دایره با تطابق کامل یافت نمی‌شود. درحالی‌که در الگوریتم پیشنهادی دایره به طور کامل بر روی دایره اصلی در تصویر منطبق می‌شود.

برای مقایسه کارایی روش پیشنهادی نسبت به سایر روش‌های مورد بررسی از دو معیار نرخ موفقیت رابطه‌ی (۹) و میانگین مقدار خطا رابطه‌ی (۱۰) استفاده می‌شود. ابتدا چندین تصویر محک انتخاب می‌شود. سپس هر کدام از الگوریتم‌ها روی این



شکل ۱۴ نتایج حاصل از اجرای روش پیشنهادی روی تصاویر شکل ۱۰



شکل ۱۱ نتایج تشخیص دایره توسط مرجع [۱]

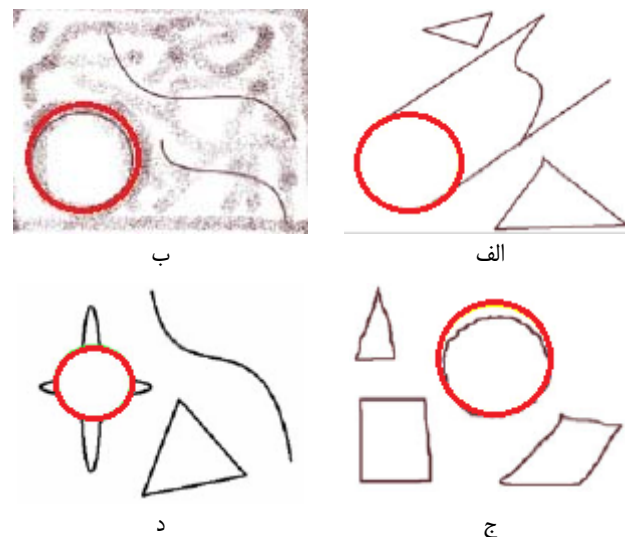
جدول ۲ مقایسه نرخ موفقیت روش پیشنهادی با تبدیل هاف [۳]، مرجع [۱] و مرجع [۹]

تصویر	نرخ موفقیت مرجع [۱]	نرخ موفقیت تبدیل هاف [۳]	نرخ موفقیت مرجع [۹]	نرخ موفقیت روش پیشنهادی
الف-۱۲	۹۸	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
ب-۱۲	۹۸	۹۸	۱۰۰	۱۰۰
ج-۱۲	۷۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
د-۱۲	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

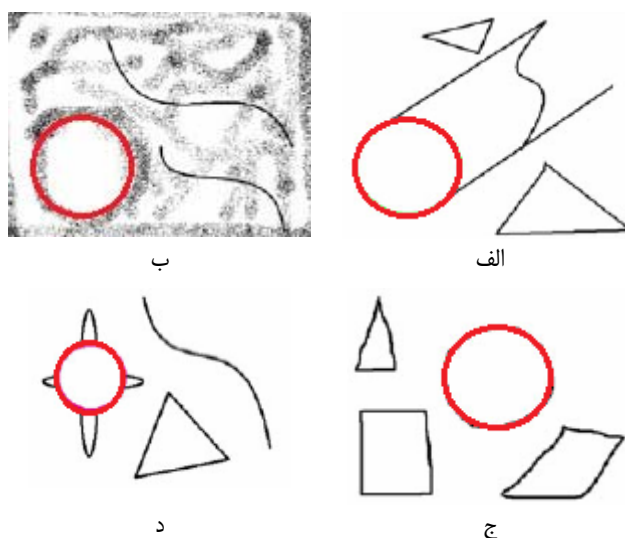
جدول ۲ کارایی روش فوق را نسبت به روش‌های تبدیل هاف [۳] و مرجع [۱] و [۹] را نمایش می‌دهد. همان‌طور که در این روش نمایش داده می‌شود، روش پیشنهادی دارای نرخ موفقیت بالاتری نسبت به دو روش دیگر است. نتایج حاصل از اجرای تبدیل هاف، روش تشخیص دایره مرجع [۱] و روش پیشنهادی روی تصاویر شکل ۱۵ به ترتیب در شکل‌های ۱۶ تا ۱۸ نمایش داده شده است.



شکل ۱۵ تصاویر آزمایشی



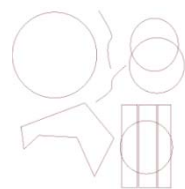
شکل ۱۲ نتایج تشخیص دایره توسط مرجع [۹]



شکل ۱۳ نتایج تشخیص دایره توسط تبدیل هاف [۳]

ارائه‌ی یک روش نوین در تشخیص دایره در تصاویر دیجیتال توسط الگوریتم ژنتیک

نتایج حاصل از تشخیص دایره توسط مرجع [۱]، [۸] و روش پیشنهادی روی تصاویر شکل ۱۹ به ترتیب در شکل‌های ۲۰ تا ۲۲ نمایش داده شده است. در شکل‌های شماره ۱۷، ۱۸، ۲۰ و ۲۲ دایره‌های تشخیص داده شده توسط هر یک از روش‌ها با رنگ قرمز و لبه‌های تصویر با خطوط آبی نمایش داده شده‌اند.



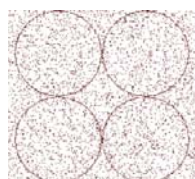
ب



الف



د



ج

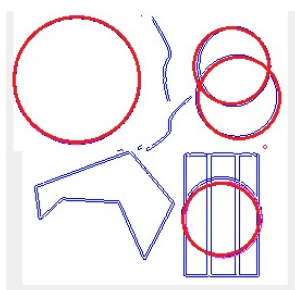


ر

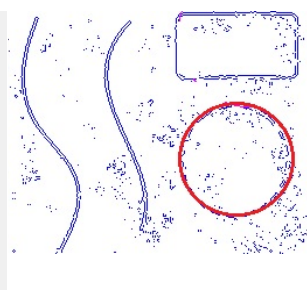


ذ

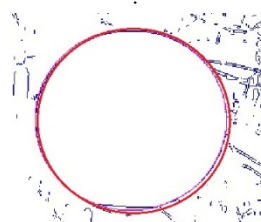
شکل ۱۹ تصاویر آزمایشی [۸]



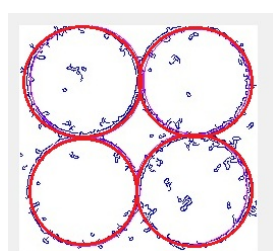
ب



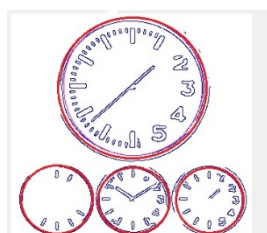
الف



د



ج



ر



ذ

شکل ۲۰ نتایج تشخیص دایره توسط مرجع [۱]



ب



الف



د

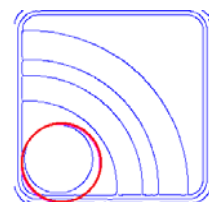


ج

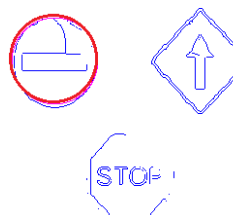
شکل ۱۶ تشخیص دایره توسط تبدیل هاف



ب



الف

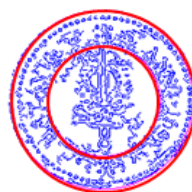


د

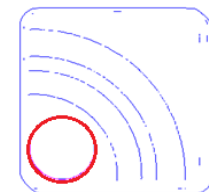


ج

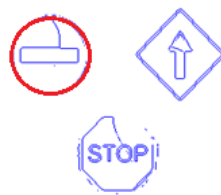
شکل ۱۷ نتایج تشخیص دایره توسط مرجع [۱]



ب



الف



د



ج

شکل ۱۸ نتایج تشخیص دایره توسط الگوریتم پیشنهادی

همان‌طور که در شکل‌های ۱۷، ۲۰ و ۲۱ ملاحظه می‌شود، در روش تشخیص دایره توسط مرجع [۱] و [۸] دایره با کمی اعوجاج یافت می‌شود.

جدول ۳ مقدار میانگین خطای تشخیص دایره مرجع [۱] را با روش تشخیص دایره توسط مرجع [۸] و روش پیشنهادی مقایسه می‌کند.

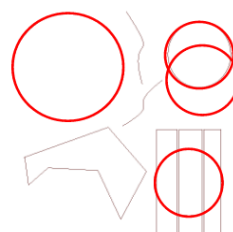
جدول ۳ مقایسه میانگین خطای روش پیشنهادی با مرجع [۱] و [۸]

تصویر	میانگین خطا مرجع [۱]	میانگین خطا مرجع [۸]	میانگین خطا روش پیشنهادی
الف - ۱۹	۰/۴۱	۰/۲۲	۰/۱۷
ب - ۱۹	۰/۵۱	۰/۲۶	۰/۱۹
ج - ۱۹	۰/۴۸	۰/۱۵	۰/۱۲
د - ۱۹	۰/۴۵	۰/۲۵	۰/۱۸
ذ - ۱۹	۰/۸۱	۰/۳۷	۰/۲۲
ر - ۱۹	۰/۹۲	۰/۴۱	۰/۳۳

جدول ۳ نشان می‌دهد که در تصاویر آزمایشی شکل ۱۹ روش پیشنهادی دارای مقدار میانگین خطای کمتری است. نتایج حاصل از روش پیشنهادی از نظر دقت و صحت تشخیص دایره بهتر از روش‌های موجود است. نتایج عددی و بصری حاصل از مقایسه روش پیشنهادی با روش‌های موجود تایید کننده این ادعا است که استفاده از ضرایب رابطه درجه دوم دایره در تعیین کروموزوم‌های الگوریتم ژنتیک برای تشخیص دایره موجب بهبود کارایی الگوریتم می‌شود.

۵ نتیجه‌گیری

در این مقاله به ارائه روشی جدید در تشخیص دایره با استفاده از الگوریتم ژنتیک پرداخته شد. در روش پیشنهادی ضرایب چندجمله‌ای درجه‌ی دوم به عنوان کروموزوم یک دایره در نظر گرفته شد. برای افزایش سرعت همگرایی الگوریتم پیشنهادی و تعیین ضرایب چندجمله‌ای تنها از نقاط لبه‌ی تصویر استفاده می‌شود. ضرایب چندجمله‌ای درجه دوم توسط حل یک دستگاه سه معادله و سه مجهول به دست می‌آیند. هر یک از معادله‌های دستگاه از جایگزینی یکی از نقاط لبه در معادله‌ی دایره حاصل می‌شوند. نتایج حاصل از الگوریتم نشان می‌دهد که این روش می‌تواند برای تشخیص هم‌زمان چندین دایره در تصویر استفاده شود. علاوه بر این، افزایش نرخ موفقیت در تشخیص دایره‌ی موجود در تصویر و هم‌چنین تشخیص مرکز و شعاع دقیق دایره نسبت به روش‌های مورد بررسی از دستاوردهای مهم این مقاله



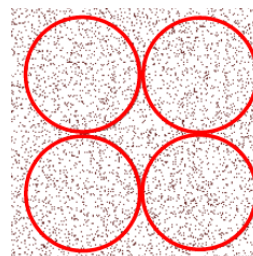
ب



الف



د



ج

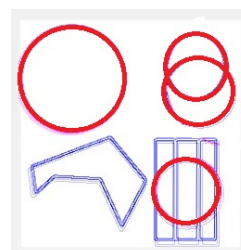


ر

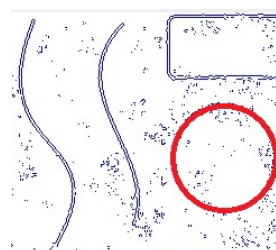


ذ

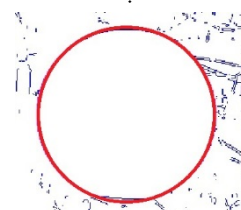
شکل ۲۱ نتایج تشخیص دایره توسط مرجع [۸]



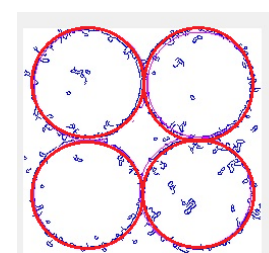
ب



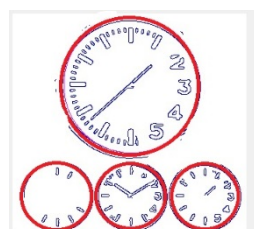
الف



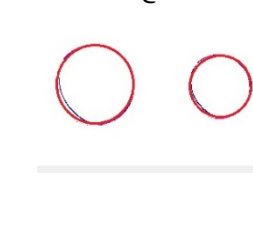
د



ج



ر



ذ

شکل ۲۲ نتایج تشخیص دایره توسط الگوریتم پیشنهادی



علی محمد لطیف مدرک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در رشته الکترونیک به ترتیب از دانشگاه صنعتی اصفهان و دانشگاه امیرکبیر تهران در سال های ۱۳۷۲ و ۱۳۷۵ دریافت نمود و مدرک دکتری خود را از دانشگاه اصفهان در سال ۱۳۹۰ در رشته مهندسی کامپیوتر، هوش مصنوعی اخذ نمود. ایشان در حال حاضر دانشیار گروه

مهندسی کامپیوتر دانشگاه یزد فعالیت دارد. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان پردازش تصویر، مخفی نگاری داده و رمز نگاری است.



ژینا شهیدی زندی مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی کامپیوتر- نرم افزار از دانشگاه سیستان و بلوچستان در سال ۱۳۹۰ اخذ نمود و مدرک کارشناسی ارشد خود را با استفاده از سهمیه استعداد درخشان و بدون آزمون ورودی در دانشگاه یزد در رشته مهندسی کامپیوتر- هوش مصنوعی در سال

۱۳۹۲ دریافت نمود. زمینه های پژوهشی مورد علاقه‌ی وی پردازش تصویر و روش های بهینه سازی ابتکاری و مخفی نگاری داده است.

است. نتایج عددی و بصری حاصل از اجرای این روش بر روی تصاویر آزمایشی توانایی این روش را نشان می‌دهد.

مراجع

- [1] Ayala-Ramirez, V., Garcia-Capulin, C. H., Perez-Garcia, A., Sanchez-Yanez, R. E., "Circle detection on images using genetic algorithms", Pattern Recognition Letters, 27(6), pp. 652-657, 2006.
- [2] Pedersen, S. J. K., "Circular hough transform," Aalborg University, Vision, Graphics, and Interactive Systems, 2007.
- [3] Xu, L., Oja, E., Kultanen, P., "A new curve detection method: randomized Hough transform (RHT)", Pattern recognition letters, 11(5), pp. 331-338, 1990.
- [4] Han, J. H., Kóczy, L., Poston, T., "Fuzzy hough transform", Pattern Recognition Letters, 15(7), pp. 649-658, 1994.
- [5] Shaked, D., Yaron, O., Kiryati, N., "Deriving stopping rules for the probabilistic Hough transform by sequential analysis", Computer Vision and Image Understanding, 63(3), pp. 512-526, 1996.
- [6] Yin, P. Y., "A new circle/ellipse detector using genetic algorithms", Pattern Recognition Letters, 20(7), pp. 731-740, 1999.
- [7] Cuevas, E., Wario, F., Zaldivar, D., and Pérez-Cisneros, M., "Circle detection on images using learning automata", in Artificial Intelligence, Evolutionary Computing and Metaheuristics, ed: Springer, pp. 545-570, 2013.
- [8] Cuevas, E., Sención-Echauri, F., Zaldivar, D., Pérez-Cisneros, M., "Multi-circle detection on images using artificial bee colony (ABC) optimization", Soft Computing, 16 (2), pp. 281-296, 2012.
- [9] Cuevas, E., Ortega-Sánchez, N., Zaldivar, D., and Pérez-Cisneros, M., "Circle detection by harmony search optimization", Journal of Intelligent & Robotic Systems, vol. 66, pp. 359-376, 2012.
- [10] Yuen, S. Y., Ma, C. H., "Genetic algorithm with competitive image labelling and least square", Pattern Recognition, 33(12), pp. 1949-1966, 2000.
- [11] Roth, G., Levine, M. D., "Geometric primitive extraction using a genetic algorithm", Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, 1994.
- [12] Roth, G., Levine, M.D., "Extracting geometric primitives", CVGIP: Image Understanding 58(1), pp. 1-22, 1993.
- [13] Brindle, A., "Genetic algorithms for function optimization", Doctoral Dissertation, University of Alberta, Edmonton, 1981.