

دسته‌بندی نوع تاری تصویر در تارهای سراسری

الهه علی‌پور^۱، حمید حسن‌پور^۲ و منصور فاتح^۳

چکیده

تاری یکی از خرابی‌های متداول در تصاویر است. این خرابی به دلیل سرریز اطلاعات یک پیکسل در پیکسل‌های همجوار آن ایجاد می‌شود. تارهای انواع مختلفی دارد و عدم آگاهی از نوع آن، روش‌های رفع تار را در بهسازی تصویر با مشکل مواجه می‌سازد. در این مقاله، روشی در حوزه مکان ارائه شده است که قادر به تشخیص چهار نوع تار سراسری شامل تار گوسین، تار مستطیلی، تار ناشی از حرکت دوربین و تار ناشی از عدم تنظیم لنز است. روش پیشنهادی در این مقاله، از مفهوم همبستگی در تصویر برای شناسایی انواع مختلف تار استفاده می‌کند. همبستگی، میزان وابستگی و ارتباط پیکسل‌های همجوار را نشان می‌دهد. در تارهای مختلف، نحوه اثرگذاری هر پیکسل روی پیکسل‌های همجوار آن متفاوت است. بر اساس نحوه اثرگذاری، ویژگی‌های لازم برای تشخیص هر تار استخراج می‌شوند. صحت کلی روش پیشنهادی برای تشخیص وجود تار و همچنین انواع مختلف آن، ۹۰/۴ درصد است. مقایسه این کار با روش‌های موجود، برتری روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها

دسته‌بندی انواع تار، حوزه مکان، ضریب همبستگی، تار سراسری

۱ مقدمه

نبودن لنز، حرکت نسبی دوربین یا اشیاء صحنه، اغتشاشات جوی، پردازش‌های مختلف بر روی تصاویر مانند استفاده از فیلترهای میانگین و گوسی برای حذف نویز است [۲].

بهسازی تصاویر تار، از جمله عملیات مهم در پردازش تصویر می‌باشد. اکثر روش‌های رفع تار با فرض وجود نوع خاصی از تار در تصویر اقدام به رفع آن می‌کنند. به طور معمول، تعیین نوع تار توسط کاربر انجام می‌شود. برای خودکار سازی عملیات رفع تار، باید نوع تار هم به طور خودکار تعیین شود. در این مقاله، دسته‌بندی چهار نوع تار سراسری به صورت خودکار انجام شده است. این تارها شامل تار گوسی، تار مستطیلی، تار ناشی از حرکت دوربین و تار ناشی از عدم تنظیم لنز هستند. در این مقاله فرض شده است که در تصویر تنها یک نوع تار وجود دارد. به طور معمول برای دسته‌بندی انواع تار در روش‌های موجود از ویژگی‌های حوزه فرکانس استفاده می‌شود [۳] تا [۷]. تارهای ویژگی‌های مهمی مانند لبه‌ها، اشکال، مناطق، و اشیاء را خراب می‌کند و آنالیز تصویر برای تشخیص آن در حوزه مکان را با مشکل

تاری^۱ یکی از خرابی‌های متداول در تصاویر است که به موجب آن لبه‌ها و وضوح جزئیات تصویر از بین می‌رود [۱]. تار در تصاویر به علل مختلفی ایجاد می‌شوند. از علل مهم آن، تنظیم

این مقاله در آذرماه ۱۳۹۶ دریافت، در آذرماه ۱۳۹۷ سومین بازنگری و در بهمن‌ماه همان سال پذیرفته شد.

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی شاهرود.

رایانامه: elahealipour@shahroodut.ac.ir

^۲ دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی شاهرود

رایانامه: h.hassanpour@shahroodut.ac.ir

^۳ دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی شاهرود

رایانامه: mansoor_fateh@shahroodut.ac.ir

نویسنده مسئول: حمید حسن‌پور

در رابطه فوق L طول تاری است. در این رابطه، پیکسل تار از میانگین L پیکسل مجاورش به صورت خطی در جهت θ به دست می‌آید.

دومین دسته، تاری ناشی از عدم تنظیم لنز^۶ است. این تاری بر اثر تنظیم نبودن لنز حین عکس‌برداری ایجاد می‌شود. تاری ناشی از عدم تنظیم لنز به دلیل سیستم دایره‌ای دیافراگم رخ می‌دهد، از این نظر، این تاری به صورت یک دیسک^۷ مدل می‌شود. هسته این تاری با رابطه (۳) مدل می‌شود [۷].

$$h(x, y) = \begin{cases} \frac{1}{\pi R^2} & \text{if } \sqrt{x^2 + y^2} \leq R \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

در رابطه فوق R شعاع دیسک است و بدین معناست که هر پیکسل تار از میانگین پیکسل‌های مجاورش در تمامی زوایا و تا شعاع R پیکسل به دست می‌آید.

بعضی از تکنیک‌های پردازش تصویر موجب ایجاد تاری در تصویر می‌شوند. فیلترهای کاهش نویز مانند فیلتر گوسی، تصویر را هموار می‌کنند. این هموارسازی موجب ایجاد تاری می‌شود. تاری ناشی از اعمال فیلتر گوسی به نام تاری گوسی شناخته می‌شود. هسته تاری گوسی، یک تابع گوسی است که با رابطه (۴) مدل می‌شود [۱۰].

$$h(x, y) = \begin{cases} K \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) & (x, y) \in C \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

در رابطه فوق σ انحراف معیار، C ناحیه اثرگذاری و K ثابت نرمال‌سازی است. در این تاری، میزان تاثیرگذاری پیکسل‌های همجوار به صورت گوسی است. یعنی پیکسل‌های نزدیک‌تر به پیکسل تار، تاثیر بیشتری روی آن دارند. با افزایش فاصله، تاثیر پیکسل‌ها بتدریج کمتر می‌شود.

تاری مستطیلی ناشی از اعمال فیلتر میانگین به تصویر است و برای رفع نویز استفاده می‌شود. هسته تاری مستطیلی، پنجره‌ای با مقادیر یکسان برای همه پیکسل‌های همجوار است و با رابطه (۵) تعریف می‌شود [۱۱].

$$h(x, y) = \begin{cases} \frac{1}{w * h} & \text{if } x \leq \frac{w}{2}, y \leq \frac{h}{2} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

در رابطه فوق w عرض پنجره و h ارتفاع آن است. همان‌طور که بیان شد، در تاری‌های مختلف نحوه اثرگذاری و ارتباط پیکسل‌های همجوار متفاوت است. بر همین اساس، در این مقاله، از مفهوم همبستگی برای تشخیص وجود تاری و همچنین تفکیک تاری‌های مختلف استفاده شده است.

این مقاله از هفت بخش تشکیل شده است. بخش دوم حاوی کارهای انجام شده در زمینه دسته‌بندی نوع تاری است. در بخش سوم توضیحاتی پیرامون مفهوم همبستگی ارائه می‌شود. روش

مواجه می‌سازد. در حالی که تاری‌های مختلف در حوزه فرکانس متفاوت ظاهر می‌شوند، و تفکیک آن‌ها در مقایسه با روشهای حوزه مکان راحت‌تر انجام می‌شود [۷]. از سوی دیگر، کار در حوزه فرکانس پیچیدگی بالا و سرعت پایینی دارد. اما استخراج ویژگی مناسب در حوزه مکان از پیچیدگی کمتری برخوردار است و موجب افزایش سرعت کار می‌شود [۸]. به همین دلیل ویژگی‌های بیان شده در این مقاله، در حوزه مکان تعریف شده‌اند.

بطور کلی علت ایجاد تاری در تصویر، سرریز^۱ اطلاعات یک پیکسل در پیکسل‌های همجوار آن است [۹]. بنابراین، یک ارتباط و همبستگی بین این پیکسل‌ها در تصویر تار وجود دارد. از این رو، در این مقاله از مفهوم همبستگی^۲ در تصویر برای استخراج ویژگی استفاده شده است. این مفهوم، میزان وابستگی و ارتباط پیکسل‌های همجوار را نشان داده و متناسب با مفهوم تاری می‌باشد. میزان این همبستگی و چگونگی آن در انواع تاری متفاوت است. بنابراین، با استخراج ویژگی‌های مناسب از آن می‌توان به خوبی نوع تاری را تشخیص داد. بررسی‌های ما نشان می‌دهد که تاکنون از این مفهوم برای دسته‌بندی انواع تاری‌ها استفاده نشده است.

مدل‌سازی فرآیند خرابی یک تصویر، اولین قدم در رفع آن است. تاری تصویر را می‌توان با عمل پیچش^۳ به صورت رابطه (۱) مدل کرد [۷].

$$g = f \otimes h + \eta, \quad (1)$$

در این رابطه، g تصویر تار شده، f تصویر اصلی سالم، \otimes بیانگر عمل پیچش، η نویز در حوزه مکان، و h هسته تاری است که به آن تابع نقطه گستر^۴ (PSF) نیز گفته می‌شود. برای هر نوع تاری، هسته تاری نشان‌دهنده نحوه انتشار شدت روشنایی یک نقطه از تصویر در پیکسل‌های همجوار است. هر پیکسل از تصویر تار، حاصل ترکیب آن پیکسل و پیکسل‌های همجوار آن می‌باشد. به عبارت دیگر، مقدار یک پیکسل تار نتیجه مجموع وزن‌دار نقاط همسایه آن است [۲]. به همین دلیل تاری با عمل پیچش مدل می‌شود.

در این مقاله، روشی برای دسته‌بندی چهار نوع تاری سراسری متداول ارائه می‌شود. اولین نوع تاری مورد بررسی، تاری ناشی از حرکت خطی دوربین است که به آن تاری حرکتی^۵ می‌گویند. علت این تاری، حرکت خطی دوربین در حین عکس‌برداری است. هسته تاری در این حالت یک خط است که با رابطه (۲) تعریف می‌شود [۷].

$$h(x, y) = \begin{cases} \frac{1}{L} & \text{if } \sqrt{x^2 + y^2} \leq L, \tan \theta = \frac{y}{x} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

¹ Spilling over

² Correlation

³ Convolution

⁴ Point Spread Function

⁵ Motion blur

⁶ Defocus blur

⁷ Disk

معیار، همواری نسبی مقادیر خاکستری در هر منطقه، چولگی^۵، یکنواختی و آنتروپی است. مرجع [۵] به دسته‌بندی نوع تاری ناشی از حرکت دوربین، تاری ناشی از عدم تنظیم لنز و ترکیب این دو در تصاویر بارکد پرداخته و از شبکه عصبی پیشخور استفاده کرده است. ویژگی‌های در نظر گرفته شده در این مقاله شامل میانگین و انحراف معیار تبدیل Ridgelet است. تبدیل Ridgelet مبتنی بر تبدیل‌های رادون و موجک است. با اعمال این تبدیل روی الگوهای تاری، میانگین و انحراف معیار ضرایب مربوط به هر جهت محاسبه و در کنار هم به عنوان بردار ویژگی در نظر گرفته می‌شوند. در [۶] هم برای استخراج ویژگی از الگوهای تار در حوزه فرکانس استفاده شده است و با استفاده از شبکه عصبی پیشخور تاری تشخیص داده می‌شود. برای این منظور از الگوهای تار در سه سطح، تبدیل موجک گرفته می‌شود. میانگین و انحراف معیار جزئیات حاصل در سه سطح به عنوان ویژگی استفاده می‌شود. مزیت روش‌های [۵] تا [۷]، لحاظ کردن ترکیب دو تاری ناشی از حرکت دوربین و تاری ناشی از عدم تنظیم لنز است. این روش‌ها تنها محدود به تصاویر خاص یعنی تصاویر بارکد هستند.

مرجع [۳] به تشخیص سه نوع تاری شامل تاری گوسی، تاری ناشی از حرکت دوربین و تاری ناشی از عدم تنظیم لنز پرداخته است. در این مقاله از شبکه عصبی عمیق^۶ (DNN) برای دسته‌بندی نوع تاری استفاده شده است. ابتدا نوع تاری برای هر وصله^۷ از تصویر ورودی شناسایی و سپس با توجه به نوع آن، پارامتر هسته تاری تخمین زده شده است. ویژگی مورد استفاده برای دسته‌بندی، طیف لگاریتمی^۸ است. این ویژگی با گرفتن لگاریتم نرمال شده از تبدیل فوریه نواحی تار به دست می‌آید.

مرجع [۴] به دسته‌بندی تاری ناشی از حرکت دوربین، تاری ناشی از عدم تنظیم لنز و ترکیب این دو پرداخته است. در این مرجع یک روش جدید مبتنی بر شناسایی قله کپستروم^۹ ارائه شده است. این روش، در ابتدا در حوزه فرکانس، به بررسی وجود تاری در تصویر می‌پردازد. سپس در حوزه کپستروم، تاری را دسته‌بندی می‌کند. در کپستروم تصویر با تاری حرکتی، دو قله آشکار دیده می‌شود. در کپستروم تصویر با تاری ناشی از عدم تمرکز لنز، دایره‌های هم‌مرکز دیده می‌شوند که بزرگی آن‌ها با دور شدن از مرکز کپستروم کاهش می‌یابد. برای حالت ترکیبی هم اثرات هر دو تاری در کپستروم ظاهر می‌شوند.

۲-۲ تشخیص تاری در حوزه مکان

مرجع [۱۴] به شناسایی دو تاری ناشی از حرکت دوربین و تاری ناشی از عدم تنظیم لنز پرداخته است. در این مرجع، یک الگوریتم

پیشنهادی در بخش چهارم آمده است. در بخش پنجم و ششم پایگاه داده و آزمایش‌ها، و در بخش هفتم جمع‌بندی مقاله ارائه شده است.

۲ کارهای مرتبط

روشهای موجود برای تشخیص تاری تصویر را می‌توان به سه دسته حوزه فرکانس، حوزه زمان، و حوزه مکان-فرکانس تقسیم بندی کرد. در ادامه، روشهای موجود در هر سه حوزه مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۲-۱ تشخیص تاری در حوزه فرکانس

در [۱۲] از یک شبکه عصبی مبتنی بر نورون‌های چندمقداره^۱ (MVN) برای شناسایی چهار نوع تاری شامل تاری گوسی، تاری مستطیلی، تاری ناشی از حرکت دوربین در جهت افقی و تاری ناشی از عدم تنظیم لنز استفاده شده است. ویژگی مورد استفاده دامنه اسپکتروم فوریه^۲ تصویر است. روش پیشنهادی دقت نسبتاً خوبی دارد. اما تعداد ویژگی‌های مورد استفاده در این روش خیلی زیاد است.

در [۱۱] سه نوع تاری شامل تاری گوسی، تاری مستطیلی و تاری حرکتی شناسایی می‌شوند. تاری حرکتی تنها در دو جهت افقی و عمودی در نظر گرفته شده است. این مقاله برای تشخیص نوع تاری از یک شبکه عصبی چند لایه با نورون‌های چندمقداره^۳ (MLMVN) استفاده کرده است. برای تعیین بردار ویژگی، تصویر را با تبدیل فوریه به حوزه فرکانس برده و از قدرمطلق مقادیر حاصل لگاریتم گرفته می‌شود. تعدادی از این ضرایب طیفی به عنوان ورودی شبکه استفاده می‌شوند. در این مرجع، از شبکه MLMVN با مقادیر گسسته استفاده شده است. در این روش برای محاسبه ورودی‌ها و خروجی‌های همه نورون‌های شبکه، عمل چندی‌سازی^۴ انجام می‌شود. خطای چندی‌سازی روی کارایی این روش تأثیر منفی می‌گذارد. به همین دلیل در [۱۳] برای بهبود نتایج از شبکه MLMVN با مقادیر پیوسته استفاده شده است. تارهای در نظر گرفته شده در این مرجع مشابه روش ارائه در [۱۱] است. در این روش، تاری حرکتی در دو جهت قطر اصلی و فرعی هم به روش ارائه شده در [۱۱] اضافه شده است.

در [۷] از یک شبکه عصبی پیشخور برای تشخیص تاری ناشی از حرکت دوربین، تاری ناشی از عدم تنظیم لنز و ترکیب این دو در تصاویر بارکد استفاده شده است. ایده اصلی این روش، استخراج ویژگی از الگوی تار در حوزه فرکانس است. استخراج ویژگی با توجه به قابلیت ویژگی‌های آماری در جداسازی الگوهای تار انجام می‌شود. بردار ویژگی شامل میانگین شدت روشنایی، انحراف

⁵Skewness

⁶Deep Neural Network

⁷Patch

⁸Logarithmic spectra

⁹Cepstrum peak

¹Multi-valued neurons

²Fourier spectrum amplitude

³Multilayer neural network based on multi-valued neurons

⁴Quantization

جدید برای تشخیص و شناسایی تاروی مبتنی بر مقادیر اکسترمم^۱ در تصویر پیشنهاد شده است. استخراج مقادیر ویژگی مبتنی بر تحلیل آماری هیستوگرام‌های اکسترمم‌ها است. در [۱۵] به دسته‌بندی تاروی گوسی، تاروی ناشی از حرکت دوربین و تاروی ناشی از عدم تنظیم لنز با استفاده از ثابت‌ها^۲ پرداخته شده است. در این مقاله از ثابت‌های گشتاور^۳، ثابت‌های تاروی/کانولوشن و ترکیب این دو استفاده شده است. ثابت‌های گشتاور نسبت به تبدیل‌های مکانی و ثابت‌های تاروی/کانولوشن نسبت به خرابی ثابت هستند. در این روش ابتدا ثابت‌ها برای تصویر اصلی محاسبه می‌شوند. ضمناً سه نوع تاروی مورد نظر، به تصویر اعمال و ثابت‌ها روی تصاویر حاصل محاسبه می‌شوند. سپس، فاصله بین مقادیر ثابت‌های تصویر اصلی و ثابت‌های حاصل از تصاویر دوباره تار شده محاسبه می‌شود. حداقل فاصله خروجی نتیجه دسته‌بندی را مشخص می‌کند. در این مرجع تنوع تاروی اندکی لحاظ شده است. این روش در حوزه مکان کار می‌کند و نیازی به پایگاه داده و مرحله آموزش ندارد. مشکل اصلی این روش، دقت پایین آن برای تاروی ناشی از عدم تنظیم لنز است. مرجع [۱۶] به تشخیص دو تاروی گوسی و تاروی ناشی از حرکت دوربین می‌پردازد. برای این منظور یک معیار در پنج مرحله تعریف شده است. ابتدا با عملگر سوپل لبه‌های تصویر استخراج می‌شود. سپس چند پیکسل از پیرامون لبه‌های تصویر حاصل برای حذف اثرات منفی لبه ایجاد شده در مرحله قبل، برش داده می‌شود. در مرحله بعد، به صورت پی در پی نسخه‌های تار شده تصویر گام قبل با طول ثابت و زاویه‌های مختلف ساخته می‌شود. سپس شباهت نسخه‌های به صورت متوالی تار شده تصویر با تصویر اولیه آن‌ها محاسبه می‌شود. در نهایت بر مبنای این مقادیر شباهت‌ها، معیار مورد نظر به دست می‌آید. اگر مقدار این معیار از یک حد آستانه بیشتر باشد، تصویر دارای تاروی حرکتی است.

۳ ضریب همبستگی

همبستگی، میزان ارتباط و وابستگی دو متغیر را نشان می‌دهد [۱۸]. ضریب همبستگی، معیاری برای تعیین همبستگی دو متغیر است. این ضریب نوع رابطه دو متغیر و شدت ارتباط آن‌ها را تعیین می‌کند. ضریب همبستگی پیرسون^۴ مشهورترین معیار اندازه‌گیری وابستگی دو متغیر کمی است. این ضریب تنها همبستگی خطی را می‌سنجد و برای دو متغیر تصادفی x و y با رابطه (۶) تعریف می‌شود [۱۸].

$$r_{xy} = \frac{\text{cov}(x, y)}{S_x S_y} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (6)$$

در رابطه فوق، cov بیانگر کواریانس، S انحراف معیار و \bar{x} و \bar{y} به ترتیب میانگین متغیرهای تصادفی x و y است. صورت کسر بالا درجه تغییر x و y نسبت به هم است که با استفاده از انحراف هر کدام از میانگین آن‌ها محاسبه می‌شود. در مخرج کسر درجه تغییرات هر متغیر به صورت جداگانه اندازه‌گیری می‌شود.

کواریانس به تنهایی وابسته به مقیاس اندازه‌گیری متغیرهاست و معیار مناسبی برای نشان دادن همبستگی نیست. با این تقسیم، وابستگی کواریانس به مقیاس داده‌ها از بین می‌رود و معیار مناسبی برای همبستگی تعریف می‌شود.

۲-۳ تشخیص تاروی در حوزه مکان-فرکانس

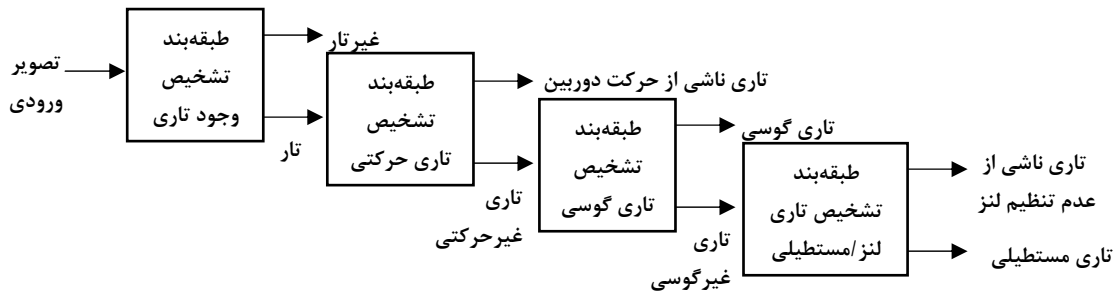
بعضی از روش‌های موجود برای تشخیص نوع تاروی، از ویژگی‌هایی در هر دو حوزه مکان و فرکانس استفاده می‌کنند. مرجع [۱۷] نمونه‌ای از این روش‌ها است. در این مرجع، به دسته‌بندی تاروی‌های محلی شامل تاروی ناشی از حرکت شی، تاروی ناشی از تمرکز لنز روی بخشی از صحنه و ترکیب این دو می‌پردازد. در ابتدا، به کمک یک الگوریتم، مناطق تاردر تصویر شناسایی می‌شود. سپس نوع تاروی با الگوریتم دیگری تعیین می‌شود. در این روش با تشخیص کلاس تاروی مناطق تار، ساختار هسته تاروی مشخص می‌شود. در پایان، مناطق تار با استفاده از الگوریتم رفع تاروی غیرکور بازیابی می‌شود. ویژگی‌های استخراجی از مناطق تار،

¹Extrema values

²Invariants

³Moment

⁴Pearson's correlation coefficient



شکل ۱- چارچوب روش پیشنهادی برای تشخیص انواع تاری در تصویر

پنجره‌ها یک پیکسل همپوشانی^۱ دارند. ضریب همبستگی این دو پنجره محاسبه و در پیکسل مرکزی پنجره دوم ذخیره می‌شود. این پنجره‌ها کل تصویر را پیمایش و این ضریب را محاسبه می‌کنند. بنابراین، یک نقشه همبستگی ایجاد می‌شود که میزان وابستگی و تاثیرپذیری هر پیکسل نسبت به پیکسل‌های مجاورش را نشان می‌دهد. در روش پیشنهادی، این نقشه برای تصاویر فاقد تاری و تصاویر با تاری حرکتی، تاری ناشی از عدم تنظیم لنز، گوسی و مستطیلی محاسبه شده است. شکل‌های ۲ تا ۵ نمونه‌هایی از نقشه‌های حاصل برای تاری‌های مختلف و هیستوگرام آن‌ها است.

ضریب همبستگی مقداری مطلق و در محدوده ۱- تا ۱+ است. اگر دو متغیر مستقل خطی باشند، ضریب همبستگی آن‌ها صفر خواهد بود. با نزدیکی این ضریب به ۱+ یا ۱-، ارتباط و همبستگی بیشتری بین دو متغیر ایجاد می‌شود. در صورت مثبت بودن ضریب همبستگی دو متغیر، افزایش یک متغیر با افزایش متغیر دیگر و کاهش یک متغیر با کاهش متغیر دیگر همراه است. در صورت منفی بودن ضریب همبستگی دو متغیر، افزایش یک متغیر با کاهش متغیر دیگر همراه است [۱۹].

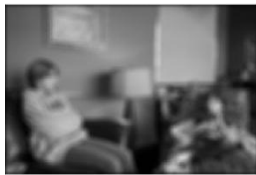
۴ روش پیشنهادی

در روش پیشنهادی، عمل دسته‌بندی تاری در تصویر طی چند مرحله انجام می‌شود. ابتدا تار یا غیرتار بودن تصویر مشخص می‌شود. در صورت تار بودن تصویر، نوع تاری تشخیص داده می‌شود. برای این منظور، ابتدا توسط یک دسته‌بند، تاری به دو دسته حرکتی و غیرحرکتی تقسیم می‌گردد. در صورت غیرحرکتی بودن تاری، طبقه‌بند بعدی، گوسی بودن آن را بررسی می‌کند. در نهایت طبقه‌بند نهایی، تاری مستطیلی و تاری ناشی از عدم تنظیم لنز را تفکیک می‌کند. چارچوب روش پیشنهادی در شکل ۱ آمده است.

با محاسبه همبستگی پیکسل‌های مجاور، میزان تاثیرپذیری هر پیکسل از پیکسل‌های مجاورش مشخص می‌شود. نحوه این تاثیرگذاری برای تاری‌های مختلف متفاوت است. در نتیجه از این طریق می‌توان تاری‌های مختلف را دسته‌بندی کرد. برای پیاده‌سازی مفهوم همبستگی در تصویر، از ضریب همبستگی دو بعدی استفاده شده است که با تعمیم رابطه (۶) به حالت دو بعدی به دست می‌آید. ضریب همبستگی دو ماتریس A و B با رابطه (۷) قابل محاسبه است.

$$r = \frac{\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})(B_{mn} - \bar{B})}{\sqrt{(\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})^2)(\sum_m \sum_n (B_{mn} - \bar{B})^2)}} \quad (7)$$

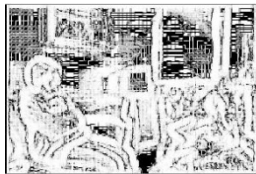
در رابطه فوق، \bar{A} و \bar{B} به ترتیب میانگین عناصر ماتریس‌های A و B هستند. بیشتر بودن این ضریب نشان‌دهنده ارتباط و همبستگی خطی دو ماتریس است. در این مقاله، برای محاسبه ضریب همبستگی، دو پنجره ۳×۳ در نظر گرفته شده است. این



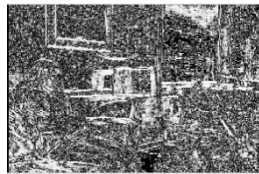
ب



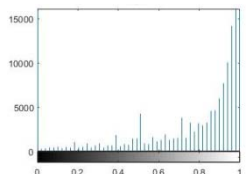
الف



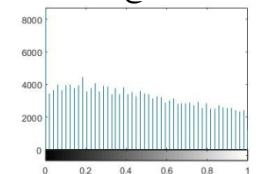
د



ج



و



ه

شکل ۲- نقشه همبستگی تصویر غیرتار و تاری ناشی از عدم تنظیم لنز و هیستوگرام آن‌ها: الف) تصویر غیرتار [۲۰]، ب) تصویر با تاری ناشی از عدم تنظیم لنز با شعاع ۸ پیکسل، ج) نقشه همبستگی تصویر غیرتار، د) نقشه همبستگی تصویر با تاری ناشی از عدم تنظیم لنز، ه) هیستوگرام نقشه همبستگی تصویر غیرتار، و) هیستوگرام نقشه همبستگی تصویر با تاری ناشی از عدم تنظیم لنز.

¹Overlap



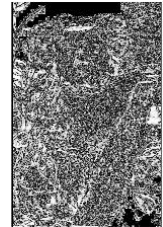
ب



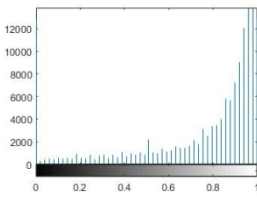
الف



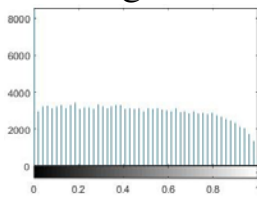
د



ج



و



ه



ب



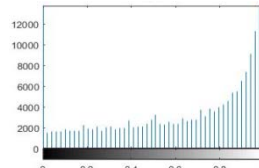
الف



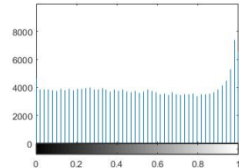
د



ج



و



ه

شکل ۵- نقشه همبستگی تصویر غیرتار و تاری مستطیلی و هیستوگرام آن‌ها: الف) تصویر غیرتار [۲۱]، ب) تصویر با تاری مستطیلی با پنجره ۱۵×۱۵، ج) نقشه همبستگی تصویر غیرتار، د) نقشه همبستگی تصویر با تاری مستطیلی، ه) هیستوگرام نقشه همبستگی تصویر غیرتار، و) هیستوگرام نقشه همبستگی تصویر با تاری مستطیلی.

شکل ۳- نقشه همبستگی تصویر غیرتار و تاری حرکتی و هیستوگرام آن‌ها: الف) تصویر غیرتار [۲۱]، ب) تصویر با تاری حرکتی به طول ۲۵ پیکسل و زاویه ۴۵ درجه، ج) نقشه همبستگی تصویر غیرتار، د) نقشه همبستگی تصویر با تاری حرکتی، ه) هیستوگرام نقشه همبستگی تصویر غیرتار، و) هیستوگرام نقشه همبستگی تصویر با تاری حرکتی.

نقشه همبستگی تصاویر غیرتار دارای جزئیات بیشتری نسبت به تصاویر تار است. در نقشه همبستگی تصاویر تار کشیدگی لبه‌ها به وضوح قابل مشاهده است. در نقشه این تصاویر فراوانی رنگ-های نزدیک به سفید خیلی بیشتر است. هیستوگرام نقشه همبستگی تصاویر غیرتار، نسبتاً هموار و یکنواخت است، و همه سطوح در آن فراوانی نسبتاً یکسانی دارند. در حالی که در هیستوگرام نقشه همبستگی تصاویر تار، فراوانی مقادیر نزدیک به یک خیلی بیشتر است و حالت نمایی دارد.



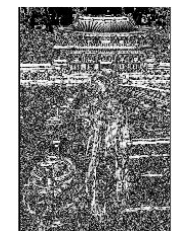
ب



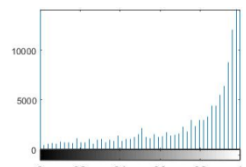
الف



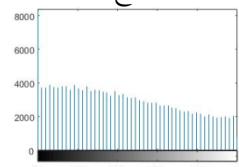
د



ج



و



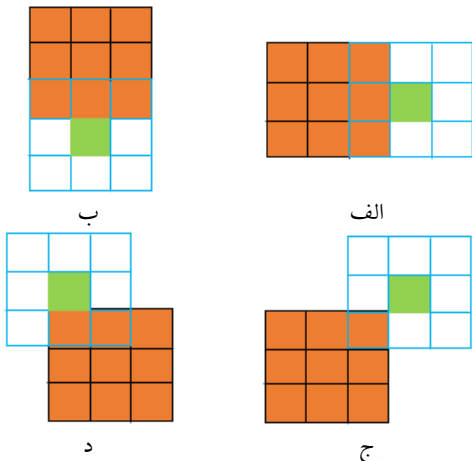
ه

۴-۱ تشخیص وجود تاری در تصویر

همان‌طور که قبلاً ذکر شد، نقشه همبستگی تصاویر غیرتار حاوی جزئیات زیاد و هیستوگرام آن‌ها تقریباً هموار است. این مسأله نشان‌دهنده وجود مقادیر مختلف همبستگی به طور نسبتاً یکنواخت در تصاویر غیرتار است. در حالی که تاری باعث ایجاد همبستگی بین پیکسل‌های تصویر شده و ضریب همبستگی آن‌ها را افزایش می‌دهد. بنابراین، فراوانی ضرایب نزدیک به یک، افزایش می‌یابد. تاری بیشترین تاثیر را روی لبه‌ها می‌گذارد. بنابراین، نقشه همبستگی تصاویر تار در نواحی لبه‌ها دچار کشیدگی می‌شود. همچنین به دلیل افزایش فراوانی مقادیر نزدیک به یک، رنگ سفید در نقشه همبستگی آن بیشتر است. این مسأله در هیستوگرام آن‌ها قابل مشاهده است. هیستوگرام این نقشه‌ها حالت نمایی دارد. در حالی که هیستوگرام نقشه همبستگی تصاویر غیرتار تقریباً هموار

شکل ۴- نقشه همبستگی تصویر غیرتار و تاری گوسی و هیستوگرام آن‌ها: الف) تصویر غیرتار [۲۲]، ب) تصویر با تاری گوسی با پنجره ۱۰×۱۰ و انحراف معیار ۳، ج) نقشه همبستگی تصویر غیرتار، د) نقشه همبستگی تصویر با تاری گوسی، ه) هیستوگرام نقشه همبستگی تصویر غیرتار، و) هیستوگرام نقشه همبستگی تصویر با تاری گوسی.

استفاده می شود. البته برای استخراج ویژگی های مناسب می توان پنجره های لغزان را در سایر جهات های دیگر نیز حرکت داد. در شکل ۷ این جهتها، نشان داده شده است.



شکل ۷- نحوه قرارگیری پنجره های لغزان برای محاسبه نقشه همبستگی: الف) جهت افقی، ب) جهت عمودی، ج) در جهت قطر اصلی، د) در جهت قطر فرعی.

در تاری حرکتی، نقشه همبستگی حاصل از حرکت پنجره در جهت های مختلف متفاوت است. اما در انواع دیگر تاری، ویژگی نقشه همبستگی مستقل از جهت حرکت پنجره است. برای بررسی این اثر در شکل ۸ برای یک تصویر با تاری حرکتی و در شکل ۹ تصویر با تاری ناشی از عدم تنظیم لنز، نقشه همبستگی حاصل از جهت مختلف حرکت پنجره محاسبه و هیستوگرام آن ها رسم شده است.



الف

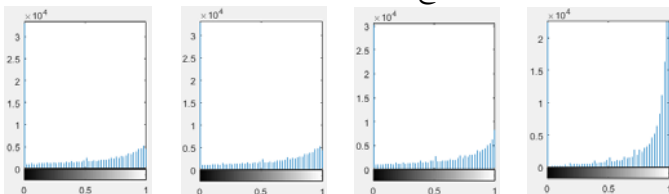


ه

د

ج

ب



ط

ح

ز

و

شکل ۸- نقشه همبستگی با جهت های مختلف حرکت پنجره: الف) تصویر با تاری حرکتی با طول ۲۰ و زاویه صفر درجه، ب) پنجره افقی، ج) پنجره عمودی، د) پنجره قطر اصلی، ه) پنجره قطر فرعی، و) هیستوگرام تصویر ب، ز) هیستوگرام تصویر ج، ح) هیستوگرام تصویر د، ط) هیستوگرام تصویر ه

و یکنواخت است. بنابراین از توزیع هیستوگرام نقشه همبستگی به عنوان یک ویژگی برای تشخیص خودکار تار یا غیرتار بودن تصویر می توان کمک گرفت.

۴-۲ تشخیص نوع تاری

پس از تشخیص وجود تاری در تصویر، بایستی نوع تاری مشخص شود. هر نوع تاری اثرات خاصی روی تصویر می گذارد. با بررسی این اثرات، می توان مجموعه ویژگی مناسبی را برای تشخیص نوع تاری به دست آورد. در ادامه برای تارهای مختلف با توجه به مفهوم آن ها و همچنین مفهوم همبستگی، استخراج ویژگی انجام می شود.

۴-۲-۱ تشخیص تاری حرکتی

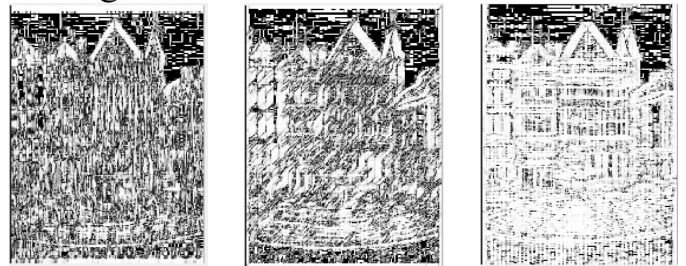
هسته تاری حرکتی، همان طور که در رابطه (۲) نشان داده شد، یک خط است. یعنی هر پیکسل تار، حاصل میانگین تعداد خاصی از پیکسل های مجاور آن در یک جهت خاص است. بنابراین، مفهوم جهت تنها در این نوع تاری معنا پیدا می کند. در حالی که در سایر تارهای، پیکسل های مجاور در تمامی جهتها به میزان یکسانی روی پیکسل مورد نظر تاثیرگذار هستند. همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، در نقشه همبستگی مربوط به تاری حرکتی، لبه های تصویر در جهت تاری کشیده می شوند. همچنین در شکل ۶، نقشه همبستگی حاصل از تاری حرکتی در جهت های مختلف نشان داده شده است.



ج

ب

الف



و

ه

د

شکل ۶- نقشه همبستگی تاری حرکتی زاویه های مختلف: الف) تاری حرکتی با طول ۲۰ و زاویه صفر درجه، ب) تاری حرکتی با طول ۲۰ و زاویه ۴۵ درجه، ج) تاری حرکتی با طول ۲۰ و زاویه ۹۰ درجه، د) نقشه همبستگی الف، ه) نقشه همبستگی ب، و) نقشه همبستگی ج.

در این شکل نیز، لبه های تصویر در جهت تاری کشیده شده اند. برای محاسبه نقشه همبستگی از پنجره های لغزان در جهت افقی

این پنجره‌ها همواره ۵۰ درصد هم‌پوشانی وجود دارد و نتیجه در پیکسل مرکزی پنجره لغزان ذخیره می‌شود.

در این مقاله، برای تفکیک تاری گوسی از دو تاری دیگر، ابتدا نقشه‌های همبستگی حاصل از اعمال پنجره‌هایی با اندازه‌های مختلف محاسبه می‌شود. سپس ویژگی‌هایی از هیستوگرام این نقشه‌ها استخراج می‌شود که حاوی روند تغییرات هستند. می‌توان از ویژگی‌های آماری مانند میانگین و انحراف معیار برای این منظور استفاده کرد. استفاده از معیارهای فاصله و شباهت برای نشان دادن روند این تغییرات در هیستوگرام‌های متوالی راه‌گشا است. در این تحقیق، ویژگی‌های میانگین، انحراف معیار، آنتروپی، معیار شباهت جنسن^۱ و معیار فاصله اقلیدسی مورد بررسی قرار گرفتند. در مقایسه دو بردار به کمک معیار جنسن، ویژگی‌های کلی آنها مد نظر قرار می‌گیرد، در نتیجه نسبت به تغییرات اندک حساس نبوده و به خوبی می‌تواند شباهت آنها را ارزیابی نماید. تعریف معیار شباهت جنسن برای دو بردار P و Q به صورت زیر است [۲۳]:

$$Jensen(P, Q) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k p_i \log_2 p_i + q_i \log_2 q_i - (\sum_{i=1}^k (p_i + q_i)) \log_2 ((\sum_{i=1}^k (p_i + q_i)) / 2) \quad (8)$$

$$p_i = \frac{p_i}{\sum_{i=1}^k p_i}, \quad q_i = \frac{q_i}{\sum_{i=1}^k q_i}$$

در رابطه فوق، p_i و q_i مولفه‌های بردارهای P و Q هستند. این معیار بازه مشخصی دارد و مقداری بین صفر و یک می‌دهد. اگر مقدار آن صفر باشد یعنی دو بردار کاملاً مشابه هستند و اگر یک باشد یعنی کاملاً متفاوت هستند.

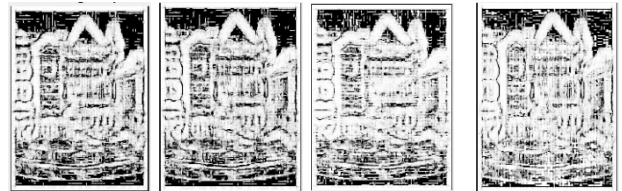
بهترین نتیجه در استفاده از ویژگی میانگین هر یک از هیستوگرام‌ها به همراه معیار شباهت جنسن (محاسبه شباهت جنسن هر هیستوگرام با هیستوگرام قبلی) پدیدار شد. دلیل ضعف معیار فاصله نسبت به شباهت جنسن این است که معیارهای فاصله مقایسه را نظیر به نظیر انجام می‌دهند. در نتیجه نسبت به کوچک‌ترین تغییری حساس هستند. در حالی که در این مسأله تغییرات کلی مهم هستند. همچنین با استفاده از ۱۱ پنجره مختلف با اندازه‌های 3×3 ، 5×5 ، 7×7 ، 9×9 ، 11×11 ، 13×13 ، 15×15 ، 17×17 ، 19×19 ، 21×21 و 23×23 ، بهترین نتیجه حاصل شده است.

۲-۲-۴ تشخیص تاری مستطیلی و تاری ناشی از عدم تنظیم لنز

تاری مستطیلی، با اعمال فیلتر میانگین برای رفع نویز در تصویر ایجاد می‌شود. هسته این تاری، همان طور که در رابطه (۵) نشان داده شد، پنجره‌ای مستطیلی است که بر روی آن میانگین‌گیری انجام می‌شود. در این میانگین‌گیری تاثیر و وزن تمام پیکسل‌های همسایه‌ی موجود در پنجره مستطیلی، یکسان است.



الف

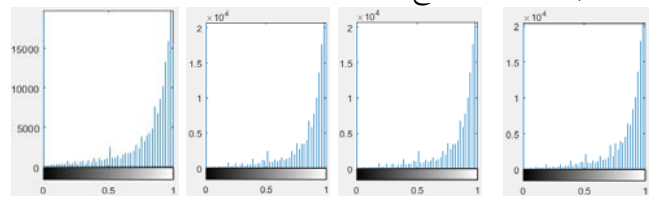


ه

د

ج

ب



ط

ح

ز

و

شکل ۹- نقشه همبستگی با جهت‌های مختلف حرکت پنجره: (الف) تصویر با تاری defocus با شعاع ۱۵، (ب) نقشه همبستگی با پنجره افقی، (ج) نقشه همبستگی با پنجره عمودی، (د) نقشه همبستگی با پنجره قطر اصلی، (ه) نقشه همبستگی با پنجره قطر فرعی، (و) هیستوگرام تصویر ب، (ز) هیستوگرام تصویر ج، ح) هیستوگرام تصویر د، (ط) هیستوگرام تصویر ه.

هیستوگرام نقشه‌های همبستگی تاری حرکتی، متفاوت از سایر تارهای است و شیب خط‌گذرنده از مقادیر آنها متفاوت است. برخی نزدیک به صفر و برخی زیاد هستند. اما در سایر تارهای، شیب در همه جهت‌ها یکسان و دارای مقدار زیادی است. بنابراین، می‌توان از شیب هیستوگرام نقشه‌های همبستگی در چهار جهت به عنوان یک ویژگی برای تفکیک تاری حرکتی از سایر تارهای استفاده نمود.

۲-۲-۴ تشخیص تاری گوسی

هسته تاری گوسی، همان طور که در رابطه (۴) نشان داده شد، یک تابع گوسی است. در این تاری تاثیر پیکسل‌های همسایه متفاوت است. در واقع، تاثیر پیکسل‌های نزدیک‌تر به پیکسل مورد نظر بیشتر است. اما در تاری مستطیلی و تاری ناشی از عدم تنظیم لنز، میانگین‌گیری از پیکسل‌های همسایه انجام می‌شود و تاثیر همه پیکسل‌های همسایه در این میانگین‌گیری یکسان است. با توجه به تناسب تاثیر پیکسل‌های همسایه با فاصله آنها از پیکسل مورد نظر در تاری گوسی، امکان تفکیک این تاری از دو تاری دیگر به کمک ویژگی‌های استخراجی از این پنجره‌ها، میسر است. در روش پیشنهادی برای مشخص کردن تاری گوسی، از پنجره‌هایی با اندازه‌های مختلف برای محاسبه همبستگی استفاده شده است. در

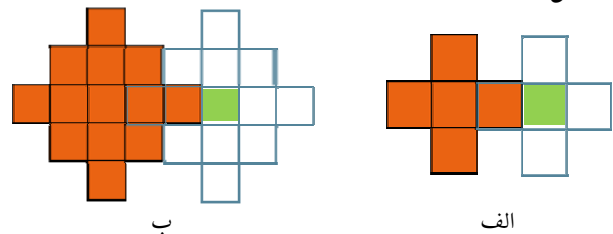
¹ Jensen Similarity Measure

برای واقعی تر بودن شبیه سازی، تصاویر تار شده با پارامترهای خیلی کم، به عنوان تصویر غیرتار لحاظ می شوند. حد آستانه مورد استفاده برای پارامترهای هر تاری در جدول ۱ آمده است. چنانچه این پارامترها کوچکتر از مقادیر عنوان شده در این جدول باشند، تصویر غیرتار فرض می شود. برای هر تاری، ۴ مقدار کمتر از حد آستانه، برای ساخت تصاویر غیر تار و ۲۰ مقدار بیشتر از حد آستانه برای ساخت تصاویر تار مورد استفاده قرار می گیرد. بنابراین، برای هر تاری ۲۴ مقدار پارامتر مختلف اعمال می شود. نمونه هایی از این مقادیر پارامترها در جدول ۱ آمده است. با اعمال ۲۰ مقدار پارامتر هر تاری بر روی ۱۰۰ تصویر، ۲۰۰۰ تصویر از هر نوع تاری و در مجموع برای چهار تاری، ۸۰۰۰ تصویر تار خواهیم داشت. همچنین در هر تاری با اعمال چهار مقدار پارامتر کمتر از حد آستانه بر روی ۱۰۰ تصویر، ۴۰۰ تصویر غیر تار و در مجموع برای چهار تاری ۱۶۰۰ تصویر غیرتار ساخته می شود که با ۱۰۰ تصویر اصلی، ۱۷۰۰ تصویر غیرتار خواهیم داشت. بنابراین، پایگاه داده حاصل شامل ۹۷۰۰ تصویر است.

۶ آزمایش ها و نتایج

برای بررسی وجود تاری در تصویر و تشخیص نوع آن از ماشین بردار پشتیبان (SVM) استفاده شده است. در روش پیشنهادی، همان طور که در نمودار شکل ۱ نشان داده شد، دسته بندی در چند مرحله انجام می شود. ابتدا تار یا غیرتار بودن تصویر مشخص می شود. ویژگی مورد استفاده برای این دسته بندی، مقادیر هیستوگرام نقشه همبستگی با پنجره لغزان 3×3 در جهت افقی است. البته این هیستوگرام با در نظر گرفتن ۱۰ انبارک محاسبه شده است. سپس انبارک اول و آخر حذف می شود و نرمال سازی مقادیر دیگر انبارک ها از طریق تقسیم بر بیشینه مقدار انجام می گیرد. بنابراین هشت ویژگی از طریق هیستوگرام به دست می آید. با اضافه کردن شیب خط گذرنده از مقادیر هیستوگرام نقشه های همبستگی در چهار جهت به مجموعه ویژگی ها، عملکرد طبقه بند بهبود می یابد. بنابراین طبقه بند اول ۱۲ ویژگی در ورودی دارد. با این ویژگی ها تار یا غیرتار بودن تصویر مشخص می شود.

تاری ناشی از عدم تنظیم لنز در اثر تنظیم نبودن لنز دوربین رخ می دهد. به دلیل دایره ای بودن سیستم دیافراگم، این تاری را می توان با اعمال هسته دایره ای و میانگین گیری از پیکسل های واقع در آن دایره شبیه سازی نمود. در رابطه (۳) معادله هسته این تاری را نشان داده شد. تنها تفاوت تاری مستطیلی و تاری ناشی از عدم تنظیم لنز، شکل هسته ای آن ها است. پس برای تفکیک این دو تاری می توان از پنجره های دایره ای برای محاسبه همبستگی استفاده کرد. در این مقاله، از اعمال پنجره هایی با اندازه های مختلف برای محاسبه نقشه همبستگی و مقایسه هیستوگرام آن ها استفاده شده است. نمونه هایی از این پنجره های دایره ای با اندازه های مختلف در شکل ۱۰ آمده است.



شکل ۱۰ - نمونه هایی از پنجره های دایره ای لغزان با اندازه های مختلف برای محاسبه نقشه همبستگی: الف) پنجره 3×3 ، ب) پنجره 5×5 .

همانند بخش قبل، میانگین و شباهت جنسن هیستوگرام ها به عنوان ویژگی برای تفکیک تاری مستطیلی و تاری ناشی از عدم تنظیم لنز در نظر گرفته می شود.

۵ پایگاه داده

برای دسته بندی نوع تاری، پایگاه داده استاندارد وجود ندارد. به همین دلیل برای بررسی کارایی روش پیشنهادی یک پایگاه داده ساخته شده است. برای این منظور ۱۰۰ تصویر سالم و فاقد تاری از چهار پایگاه داده PASCAL VOC 2007 [۲۰]، CERTH Berkeley Segmentation Image Blur Dataset [۲۱]، Dataset [۲۲] و Caltech 101 dataset [۲۴] انتخاب شده اند. سپس چهار نوع تاری حرکتی، تاری ناشی از عدم تنظیم لنز، تاری گوسی و تاری مستطیلی با پارامترهای مختلف روی آن ها اعمال شده است. معمولاً تصاویر طبیعی اندکی تار هستند. این میزان با چشم به خوبی قابل تشخیص نیست. از این رو، در این پایگاه داده

جدول ۱ - حد آستانه و نمونه هایی از پارامترهای هر تاری برای ساخت پایگاه داده

نوع تاری	نام پارامتر	حد آستانه	مقدار پارامترها برای ساخت تصاویر تار	نمونه مقدار پارامتر برای ساخت تصاویر تار
تاری حرکتی	طول تاری	۵ پیکسل	۱-۲-۳-۴	۶-۱۱-۱۸-۲۴-۲۹
تاری ناشی از عدم تنظیم لنز	شعاع تاری	۲/۵ پیکسل	۰/۵-۱-۱/۵-۲	۳-۵/۵-۹-۱۲-۱۴/۵
تاری مستطیلی	اندازه پنجره	۵×۵	۱×۱-۲×۲-۳×۳-۴×۴	۶×۶-۱۳×۱۳-۱۹×۱۹-۲۳×۲۳-۲۹×۲۹
تاری گوسی	اندازه پنجره	۵×۵	۱×۱-۲×۲-۳×۳-۴×۴	۶×۶-۱۲×۱۲-۱۷×۱۷-۲۲×۲۲-۲۹×۲۹
	انحراف معیار	۱ پیکسل	۰/۰-۱-۰/۲۵-۰/۵-۰/۷۵	۱/۲۵-۲/۷۵-۴/۲۵-۵/۵-۷

در روابط بالا، Accuracy، precision و recall به ترتیب صحت، دقت و فراخوانی هستند. TP بیانگر تعداد نمونه‌هایی از کلاس اول است که به درستی تشخیص داده شده‌اند. FP تعداد نمونه‌هایی از کلاس دوم است که به اشتباه به کلاس اول تعلق گرفته‌اند. TN تعداد نمونه‌هایی از کلاس دوم است که به درستی تشخیص داده شده‌اند. FN تعداد نمونه‌هایی از کلاس اول است که به اشتباه به کلاس دوم تعلق گرفته‌اند.

سپس مدل‌های آموزش داده شده طبق چارچوب شکل ۱ در کنار هم آورده شده است. کارایی این مدل‌ها با مجموعه آزمون بررسی شده است. نتایج دسته‌بندی با این روش در جدول ۳ آمده است.

جدول ۲- نتیجه ارزیابی دسته‌بندی‌های مختلف .

دسته‌بند	صحت	دقت	فراخوانی
طبقه‌بند اول (تار/غیرتار)	۹۷٫۲	۹۷٫۱	۹۷٫۴
طبقه‌بند دوم (تاری حرکتی/غیر حرکتی)	۹۸٫۹	۹۹٫۶	۹۸٫۲
طبقه‌بند سوم (تاری گوسی/غیرگوسی)	۹۷٫۳	۹۷٫۵	۹۷٫۲
طبقه‌بند چهارم (تاری ناشی از عدم تنظیم لنز/مستطیلی)	۸۳٫۲	۸۳	۸۳٫۴

جدول ۳- صحت نهایی روش پیشنهادی

صحت	دادگان
۹۷٫۵	غیرتار
۹۶٫۱	تاری حرکتی
۹۲٫۱	تاری گوسی
۸۰٫۳	تاری ناشی از عدم تنظیم لنز
۸۷	تاری مستطیلی
۹۰٫۴	صحت کلی

یکی از معیارهای ارزیابی الگوریتم‌های دسته‌بندی، ماتریس درهم‌ریختگی^۱ است. این ماتریس حاوی اطلاعاتی درباره کلاس‌های واقعی و پیش‌بینی شده توسط طبقه‌بند است [۲۶]. ماتریس درهم‌ریختگی نتایج دسته‌بندی در جدول ۴ آمده است.

طبق این جدول تعداد قابل توجهی از تارهای مختلف به اشتباه به عنوان غیرتار دسته بندی شده‌اند. علت آن در نظر گرفتن تصویر تار با پارامتر خیلی کم به عنوان تصویر غیرتار است که دقت دسته‌بندی تار/غیرتار را کاهش می‌دهد. از سوی دیگر درصد جابه‌جایی در تشخیص دو تاری ناشی از عدم تنظیم لنز و تاری مستطیلی هم بالاست. علت این خطا، شباهت زیاد این دو تاری است. در هر دو تاری یک میانگین‌گیری انجام می‌شود و تنها تفاوت در شکل پنجره آن‌ها است. بنابراین تفکیک این دو دشوار است

پس از این مرحله، در صورت تار بودن تصویر، باید نوع آن مشخص شود. برای این منظور از سه طبقه‌بند SVM دیگر استفاده شده است. طبقه‌بند اول، تاری حرکتی را از سه تاری دیگر تفکیک می‌کند. در پایگاه داده تولیدی، تاری حرکتی در چهار جهت افقی، عمودی، قطر اصلی و قطر فرعی لحاظ شده است. ویژگی مورد استفاده برای این منظور، شیب خط گذرنده از مقادیر هیستوگرام نقشه‌های همبستگی در چهار جهت است. بنابراین این طبقه‌بند با چهار ویژگی ورودی، تاری حرکتی را تشخیص می‌دهد. در صورت غیر حرکتی بودن تاری تصویر، از طبقه‌بند دوم استفاده می‌شود. این طبقه‌بند تاری گوسی را از دو تاری باقی‌مانده تفکیک می‌کند. ویژگی مورد استفاده در این طبقه‌بند، میانگین مقادیر هیستوگرام نقشه‌های همبستگی تصویر با پنجره‌هایی با اندازه $(2k+1) \times (2k+1)$ ، $k = 1, \dots, 11$ و همچنین شباهت جنسن هر هیستوگرام با هیستوگرام قبلی از نظر اندازه است. بنابراین ۱۱ مقدار میانگین و ۱۰ مقدار شباهت جنسن خواهیم داشت. برای $k=1$ هیستوگرام قبلی موجود نبوده و شباهت جنسن قابل محاسبه نیست. بنابراین این طبقه‌بند ۲۱ ویژگی در ورودی دارد. طبقه‌بند آخر دو تاری مستطیلی و تاری ناشی از عدم تنظیم لنز را تعیین می‌کند. مجموعه ویژگی این طبقه‌بند مشابه طبقه‌بند تشخیص تاری گوسی دارای ۲۱ ویژگی است. اما نقشه‌های همبستگی با استفاده از پنجره‌های دایره‌ای محاسبه می‌شوند.

از مجموعه داده ساخته شده، ۸۰ درصد برای آموزش و مابقی برای آزمون استفاده می‌شود. برای آموزش هر طبقه‌بند از روش اعتبارسنجی چندمرحله^۱ با مرتبه ۱۰ استفاده شده است [۲۵]. به این صورت که مجموعه آموزش به ۱۰ قسمت برابر تقسیم می‌شود. هر بار یک قسمت برای آزمون طبقه‌بند و نه قسمت دیگر برای آموزش آن استفاده می‌شود. این روند ۱۰ بار تکرار می‌شود. صحت^۲ هر دسته‌بند، میانگین صحت آن در ۱۰ بار تکرار است. مدلی با بیشترین میزان صحت به عنوان مدل نهایی برای هر طبقه‌بند انتخاب می‌شود. صحت هر طبقه‌بند آموزش دیده در جدول ۲ آمده است. برای بررسی بهتر نتایج علاوه بر صحت، دو معیار دقت^۳ و فراخوانی^۴ نیز محاسبه شدند که به صورت زیر تعریف می‌شوند.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (9)$$

$$precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (10)$$

$$recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (11)$$

¹ Jensen Similarity Measure

² Jensen Similarity Measure

³ Jensen Similarity Measure

⁴ Jensen Similarity Measure

⁵ Confusion matrix

جدول ۴- ماتریس درهم ریختگی

کلاس پیش بینی شده					غیرتار	تاری حرکتی	تاری گوسی	تاری ناشی از عدم تنظیم لنز	تاری مستطیلی
کلاس واقعی									
					تاری حرکتی	۳/۱۱	۰/۵۲	۰	۰/۲۶
					تاری گوسی	۶/۱۹	۹۲/۰۸	۱/۴۹	۰/۲۵
					تاری ناشی از عدم تنظیم لنز	۴/۶۸	۱/۲۳	۸۰/۳۰	۱۳/۵۵
					تاری مستطیلی	۰/۵۲	۰/۲۶	۱۱/۷۵	۸۶/۹۵

جدول ۵- مقایسه عملکرد روش پیشنهادی با مرجع [۶] و [۱۷] در تشخیص تاری ناشی از حرکت و لنز.

[۱۷]	[۶]	روش پیشنهادی	
۸۵/۱	۹۲/۲	۹۹	صحت
۸۸/۹	۹۳/۷	۹۹/۹	دقت
۸۰/۲	۹۰/۶	۹۸/۲	فراخوانی

مرجع [۱۶] به عنوان یک روش در حوزه مکان که اخیراً معرفی شد، به دسته بندی دو تاری گوسی و حرکتی می پردازد. همان طور که بیان شد، این مرجع براساس شباهت نسخه های به صورت متوالی تار شده لبه های تصاویر با نسخه اولیه، معیاری تعریف می کند و با یک حد آستانه این دو تاری را تفکیک می کند. برای پیاده سازی این روش سه پارامتر متناسب با پایگاه داده و به صورت تجربی تعیین شدند. این سه پارامتر شامل حد آستانه عملگر سوبل برای لبه یابی، طول تاری برای اعمال تاری های پی در پی و حد آستانه معیار نهایی برای تعیین نوع تاری هستند. بازه آزمایش شده و مقدار مناسب هر پارامتر در جدول ۶ آمده است. پس از تعیین مقدار مناسب پارامترها، تصاویر با تاری حرکتی و گوسی از پایگاه داده انتخاب می شوند و پایگاه داده ای با ۴۰۰۰ تصویر ساخته می شود. سپس روش پیشنهادی و روش [۱۶] روی این پایگاه داده اعمال شده و نتایج در جدول ۷ آمده است.

جدول ۶- تعیین پارامترهای مناسب برای روش مرجع [۱۶]

مناسب ترین مقدار	بازه مورد آزمایش	
۰/۰۶	[۰/۰۲ - ۰/۳]	حد آستانه معیار تشخیص نوع تاری
۳	[۱ - ۲۰]	طول تاری اعمالی
۰/۵	[۰/۱ - ۰/۸]	حد آستانه عملگر سوبل

جدول ۷- مقایسه عملکرد روش پیشنهادی با مرجع [۱۶] در تشخیص دو تاری گوسی و حرکتی.

[۱۶]	روش پیشنهادی	
۸۰/۷	۹۹/۲	صحت
۷۷/۵	۹۹/۸	دقت
۸۶/۶	۹۸/۶	فراخوانی

و خطای نسبتاً بیشتری دارد. خطا در دیگر موارد کم و قابل قبول است.

همان طور که در بخش قبل اشاره شد، برای انواع تاری پایگاه داده استاندارد موجود نیست. یکی از دلایل عدم وجود پایگاه داده استاندارد، لحاظ کردن تاری های خاص و متفاوت در مقالات پیشین و ساخت پایگاه داده مختص هر روش است. اکثر روش های موجود هیچ مقایسه ای با دیگر روش ها انجام نداده اند [۴] تا [۷] و [۱۴] و [۱۵]. علت عدم این مقایسه، عدم وجود پایگاه داده استاندارد، پایگاه داده متفاوت برای هر روش، در دسترس نبودن پایگاه داده مقالات پیشین و متفاوت بودن تعداد و نوع تاری ها در هر روش می تواند باشد. به همین دلیل مقایسه با روش های پیشین کار مشکلی است. در این مقاله، مقایسه با مراجع [۶]، [۱۶] و [۱۷] انجام گرفته است. از آنجایی که پایگاه داده این مراجع در دسترس نیست، قسمت دسته بندی نوع تاری، روی پایگاه داده ما پیاده سازی شده است.

یکی از روشهایی که اخیراً توسط مرجع [۱۷] ارائه شده است به دسته بندی دو تاری حرکتی و تاری ناشی از لنز و همچنین ترکیب آن ها می پردازد. از آنجایی که ما تاری ترکیبی را در نظر نمی گیریم، مقایسه تنها با دو تاری حرکتی و تاری ناشی از لنز امکان پذیر است. مرجع [۱۷] برای دسته بندی این دو تاری، از ویژگی های توزیع گرادیان و تبدیل رادون استفاده کرده است. ویژگی های مورد استفاده از هر دو حوزه مکان و فرکانس هستند. طبقه بند مورد استفاده این مرجع SVM است که مشابه روش ما است. در مرجع [۶]، ابتدا تصویر به حوزه فرکانس انتقال داده می شود. سپس، از تبدیل موجک برای استخراج ویژگی استفاده می کند. این روش با اعمال ویژگی های استخراج شده به یک شبکه عصبی دو نوع تاری ناشی از حرکت و لنز را از هم تمییز می دهد. برای مقایسه این روش ها، تصاویر پایگاه داده شامل دو تاری مورد نظر یعنی ۴۰۰۰ تصویر را انتخاب و ویژگی های مرجع [۶] و [۱۷] و همچنین ویژگی های روش پیشنهادی ما را از آن ها استخراج می کنیم. نتایج دسته بندی در جدول ۵ آمده است.

همان طور که در جدول ۸ و شکل ۱۱ نشان داده شده است، روش پیشنهادی نسبت به همه روش‌های پیاده‌سازی شده زمان اجرای کمتری دارد. روش‌های [۶] و [۱۷] که هر دو در حوزه فرکانس هستند، زمان اجرای تقریباً یکسانی دارند. روش [۱۶] با اینکه در حوزه مکان است اما زمان اجرای آن خیلی بالا است. علت آن این است که در این روش لبه‌های تصویر، ۱۸۰ بار در زوایای مختلف تاری می‌شود که این فرآیند زمان‌بری است.

۷ جمع‌بندی

در این مقاله، یک روش جدید برای شناسایی نوع تاری تصویر در تارهای سراسری شامل تاری گوسی، تاری مستطیلی، تاری ناشی از حرکت دوربین و تاری ناشی از عدم تنظیم لنز پیشنهاد شد. در این روش از مفهوم همبستگی برای دسته‌بندی استفاده شد. میزان همبستگی هر پیکسل نسبت به همسایه‌های محاسبه و با توجه به آن، تاری غیرتاری بودن تصویر و همچنین نوع آن مشخص می‌شود. روش پیشنهادی، در حوزه مکان به استخراج ویژگی می‌پردازد. این حیطه نسبت به حوزه فرکانس پیچیدگی کمتری دارد و سریع‌تر است. بنابراین نیاز به سخت‌افزار قوی ندارد. در آزمایش‌های انجام شده، صحت روش پیشنهادی برای انواع تاری ۹۰/۴ است. برای نزدیک‌تر بودن پایگاه داده ساخته شده به تصاویر واقعی و طبیعی، تصاویر تاری شده با مقدار پارامترهای خیلی کم، به عنوان تصویر غیرتاری در نظر گرفته شده است. با این کار دقت دسته‌بندی تاری غیرتاری کاهش می‌یابد اما به حالت واقعی نزدیک‌تر است. محدودیت‌های روش پیشنهادی شامل در نظر گرفتن تاری‌های سراسری، وجود حداکثر یک نوع تاری در تصویر و در نظر گرفتن تاری حرکتی تنها در چهار جهت اصلی است. در کارهای آینده، می‌توان تاری‌های محلی، ترکیب تاری‌ها و زوایای بیشتری در تاری حرکتی را مورد بررسی قرار داد.

مراجع

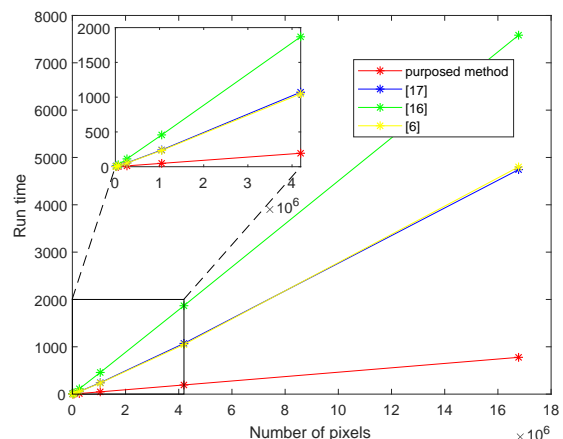
- [1] Javaran, T.A., H. Hassanpour and V. Abolghasemi, "Automatic estimation and segmentation of partial blur in natural images". The Visual Computer. p. 1-11, 2015.
- [2] حسن پور، حمید و اسدی امیری، سکینه، مفاهیم جامع پردازش تصویر دیجیتال به همراه پیاده‌سازی الگوریتم‌ها با MATLAB، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۳۹۴.
- [3] Yan, R. and L. Shao, "Blind Image Blur Estimation via Deep Learning". IEEE Transactions on Image Processing. 25(4): p. 1910-1921, 2016.
- [4] Li, Y.-J. and X.-G. Di. "Image mixed blur classification and parameter identification based on cepstrum peak detection". in Control Conference (CCC), 2016 35th Chinese. 2016. TCCT.
- [5] Tiwari, S., V. Shukla, S. Biradar and A. Singh, "Blur classification using ridgelet transform and feed forward

طبق جداول ۵ و ۷، عملکرد روش پیشنهادی در دسته‌بندی این دو تاری بهتر از روش‌های مراجع [۶]، [۱۶] و [۱۷] است. علت اختلاف نتایج روش پیشنهادی در دو جدول، متفاوت بودن پایگاه داده آن‌ها از منظر نوع تاری است. نتایج روش پیشنهادی تفاوت زیادی با روش‌های پیاده‌سازی شده دارد. به طور کلی علت برتری روش پیشنهادی، استفاده از مفهوم همبستگی برای تشخیص تاری است. عملکرد همبستگی، مطابق با تعریف و مفهوم تاری است و با استخراج ویژگی‌های متناسب با مفهوم تاری از آن می‌تواند به خوبی انواع تاری را تفکیک کند.

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، سرعت ویژگی مهمی در تشخیص نوع تاری است. بنابراین بهتر است مقایسه از این منظر هم انجام گیرد. برای این منظور، روش پیشنهادی و روش‌های مراجع [۶]، [۱۶]، [۱۷] در کامپیوتری با پردازنده ۲/۶ گیگا هرتز پنج هسته‌ای و RAM چهار گیگا بایت و با نرم‌افزار متلب نسخه ۲۰۱۷ اجرا شدند. برای مقایسه بهتر، تمامی روش‌ها با ساختار یکسانی پیاده‌سازی شدند. برای مقایسه زمان اجرا، ۱۰ نمونه تصویر مختلف انتخاب شد و متوسط زمان اجرای هر روش برای این تصاویر با شش اندازه مختلف در جدول ۸ آمده است. نمودار متوسط زمان اجرا بر حسب تعداد پیکسل تصویر نیز در شکل ۱۱ آمده است.

جدول ۸- مقایسه متوسط زمان لازم برای دسته‌بندی تاری در تصاویر با اندازه‌های مختلف در روش پیشنهادی و روش‌های ارائه شده در [۶]، [۱۶] و [۱۷]

اندازه تصویر (پیکسل)	متوسط زمان اجرا (ثانیه) برای ۱۰ تصویر			
	روش پیشنهادی	روش ارائه شده در [۱۷]	روش ارائه شده در [۱۶]	
۱۲۸×۱۲۸	۱/۳۳	۲/۸۰	۶/۵۱	روش ارائه شده در [۶]
۲۵۶×۲۵۶	۳/۱۷	۱۲/۴۰	۲۷/۴۷	
۵۱۲×۵۱۲	۱۲/۱۶	۵۴/۶۲	۱۱۲/۵۶	
۱۰۲۴×۱۰۲۴	۴۸/۱۲	۲۴۰/۶۲	۴۵۷/۲۵	
۲۰۴۸×۲۰۴۸	۱۹۳/۳۵	۱۰۷۱/۲۲	۱۸۶۷/۸۷	
۴۰۹۶×۴۰۹۶	۷۷۷/۰۶	۴۷۴۳/۳۱	۷۵۸۳/۴۱	



شکل ۱۱- نمودار مقایسه متوسط زمان لازم برای دسته‌بندی تاری در تصاویر با اندازه‌های مختلف در روش پیشنهادی و روش‌های ارائه شده در [۶]، [۱۶] و [۱۷]

- [18] Asuero, A., A. Sayago and A. Gonzalez, "The correlation coefficient: An overview". *Critical reviews in analytical chemistry*. 36(1): p. 41-59, 2006.
- [19] Taylor, R., "Interpretation of the correlation coefficient: a basic review". *Journal of diagnostic medical sonography*, 6(1): p. 35-39, 1990.
- [20] Everingham, M., L. Van Gool, C.K. Williams, J. Winn and A. Zisserman, *The pascal visual object classes challenge 2007 (voc 2007) results (2007)*. 2008.
- [21] Mavridaki, E. and V. Mezaris. "No-reference blur assessment in natural images using fourier transform and spatial pyramids". in *2014 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*. IEEE. 2014.
- [22] Martin, D., C. Fowlkes, D. Tal and J. Malik. "A database of human segmented natural images and its application to evaluating segmentation algorithms and measuring ecological statistics. in *Computer Vision*". *ICCV 2001. Proceedings. Eighth IEEE International Conference on*. 2001. IEEE, 2001.
- [23] Darvishi, A. and Hassanpour, H. "A Geometric View of Similarity Measures in Data Mining", *International Journal of Engineering*, Vol. 28, No 12, pp. 1731-1740, 2015.
- [24] Fei-Fei, L., R. Fergus and P. Perona, "Learning generative visual models from few training examples: An incremental bayesian approach tested on 101 object categories". *Computer vision and Image understanding*. 106(1): p. 59-70, 2007.
- [25] Rodriguez, J.D., A. Perez and J.A. Lozano, "Sensitivity analysis of k-fold cross validation in prediction error estimation. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*. 32(3): p. 569-575, 2010.
- [26] Deng, X., Q. Liu, Y. Deng and S. Mahadevan, "An improved method to construct basic probability assignment based on the confusion matrix for classification problem". *Information Sciences*. 340: p. 250-261, 2016.
- neural network". *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing*. 6(9): p. 47, 2014.
- [6] Tiwari, S., V. Shukla, S. Biradar and A. Singh, "Blur Classification Using Wavelet Transform and Feed Forward Neural Network". *International Journal of Modern Education and Computer Science*. 6(4): p. 16, 2014.
- [7] Tiwari, S., V.P. Shukla, S. Biradar and A. Singh, "Texture features based blur classification in barcode images". *International Journal of Information Engineering and Electronic Business*. 5(5): p. 34, 2013.
- [8] Ali, Sarah. (2014). *Image Enhancement -Spatial vs. Frequency Domain Filters*. Technical Report. 2014. 10.13140/2.1.1256.7042.
- [۹] عسکری جواران، طیبہ، حسن پور، حمید، ابولقاسمی، وحید، "تخمین نقشه تاروی تصویر بر اساس اختلاف بلاک محیطی پیکسل با نسخه تار شده آن"، *مجله ماشین بینایی و پردازش تصویر، دوره ۳، شماره ۱، ص ۲۹ تا ۳۶، ۱۳۹۵*.
- [10] Chen, F. and J. Ma, "An Empirical Identification Method of Gaussian Blur Parameter for Image Deblurring". *IEEE Transactions on Signal Processing*. 57(7): p. 2467-2478, 2009.
- [11] Aizenberg, I., D. Paliy and J.T. Astola. "Multilayer neural network based on multi-valued neurons and the blur identification problem". in *The 2006 IEEE International Joint Conference on Neural Network Proceedings*. IEEE. 2006.
- [12] Aizenberg, I.N., C. Butakoff, V.N. Karnaukhov, N.S. Merzlyakov and O. Milukova. "Blurred image restoration using the type of blur and blur parameter identification on the neural network". in *Electronic Imaging 2002*. *International Society for Optics and Photonics*. 2002.
- [13] Aizenberg, I., D.V. Paliy, J.M. Zurada and J.T. Astola, "Blur identification by multilayer neural network based on multivalued neurons". *IEEE Transactions on Neural Networks*. 19(5): p. 883-898, 2008.
- [14] Chong, R.M. and T. Tanaka. "Image extrema analysis and blur detection with identification". in *Signal Image Technology and Internet Based Systems, 2008. SITIS'08*. *IEEE International Conference on*. IEEE. 2008.
- [15] Gajjar, R., T. Zaveri and A. Shukla. "Invariants based blur classification algorithm". in *2015 5th Nirma University International Conference on Engineering (NUiCONE)*. IEEE. 2015.
- [16] M. Karpinski, N. Piontko, and V. Karpinskyi, "Automatic identification method of blurred images," *Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska*, pp. 59-61, 2015.
- [17] Yang, D. and S. Qin, "Restoration of partial blurred image based on blur detection and classification". *Journal of Electrical and Computer Engineering*. 2016: p. 1, 2016.



الهه علی‌پور مدرک کارشناسی خود را در سال ۱۳۹۴ در رشته مهندسی کامپیوتر گرایش نرم‌افزار از دانشگاه بیرجند و مدرک کارشناسی ارشد خود را در سال ۱۳۹۶ در رشته مهندسی کامپیوتر گرایش هوش مصنوعی از دانشگاه صنعتی شاهرود دریافت نمود. زمینه تحقیقاتی مورد علاقه وی پردازش تصویر می‌باشد.



حمید حسن‌پور استاد تمام دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشند. ایشان در سال ۱۳۷۲ مدرک کارشناسی مهندسی کامپیوتر خود را از دانشگاه علم و صنعت و در سال ۱۳۷۵ مدرک کارشناسی ارشد خود را در گرایش هوش ماشین از دانشگاه صنعتی امیرکبیر دریافت نمود. در سال ۱۳۸۳ موفق به اخذ مدرک دکتری خود از دانشگاه صنعتی کوئینزلند استرالیا در گرایش پردازش سیگنال شد. از سال ۱۳۸۴ الی ۱۳۸۶ نامبرده به عنوان عضو هیئت علمی در دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی بابل فعالیت داشت؛ سپس به دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه شاهرود انتقال یافت. زمینه‌های علمی مورد علاقه ایشان پردازش سیگنال، پردازش تصویر، داده‌کاوی، و پردازش متن می‌باشد.



منصور فانح مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی برق از دانشگاه صنعتی شاهرود در سال ۱۳۸۶ دریافت کرد. سپس کارشناسی ارشد و دکتری خود را در رشته‌های مهندسی پزشکی و الکترونیک دیجیتال در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۳ از دانشگاه تربیت مدرس دریافت کرد. پروژه کارشناسی ارشد خود را با عنوان "بررسی نقش و اثر نور پلاریزه در درماتوسکپی از بدن با استفاده از شبیه‌سازی" و پروژه دکتری خود را با عنوان "خواندن خودکار نقشه‌های دستی فرش" انجام رسانید. از سال ۱۳۹۴ ایشان عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی شاهرود بوده و زمینه تحقیقاتی ایشان پردازش تصویر و یادگیری تقویتی می‌باشد.