

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۲۷

پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۲/۰۲

نوع مقاله: پژوهشی

بازیابی تصاویر محتوامحور با استفاده از ویژگی‌های بافت استخراج شده از الگوی دودویی محلی دو لایه

سید علی حسینی*

استادیار، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

پست الکترونیکی: sa.hoseini@birjand.ac.ir

امیر حسین عشقی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

پست الکترونیکی: amir.eshghi@birjand.ac.ir

صبا محمدی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

پست الکترونیکی: sabamohammadi.1321@gmail.com

حمید سعادت فر

استادیار، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

پست الکترونیکی: saadatfar@birjand.ac.ir

چکیده

گرفته‌اند استفاده می‌شود. در این مقاله برای ساخت بافت تصاویر از الگوی دودویی محلی دو لایه استفاده شده است که به جای یک فاصله معین از چند فاصله، جهت استخراج بافت تصاویر استفاده می‌شود. این کار سبب می‌شود طیف گسترده‌تری از پیکسل‌ها برای ساخت بافت مشارکت کنند. در روش معرفی شده طول بردار ویژگی بزرگ نمی‌شود و سرعت پردازش‌ها بالا می‌باشد، همچنین، روش پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم‌های مرتبط گذشته که برای ساخت الگوی دودویی پیشنهاد شده‌اند، از نظر شاخص‌های دقت، یادآوری و نمره-F دارای عملکرد بهتری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بازیابی تصاویر، الگوریتم مبتنی بر محتوا، استخراج ویژگی، الگوی دودویی محلی، بافت تصویر.

بازیابی تصاویر و یافتن الگوهای تصاویر با استفاده از هوش مصنوعی امروزه یکی از مهم‌ترین مسائل در حوزه پردازش تصویر است. بازیابی تصاویر^۱ به ما در پیدا کردن تصاویر مشابه در یک مخزن بسیار بزرگ از تصاویر کمک می‌کند. مسئله پیدا کردن الگوها داخل تصاویر بسیار پیچیده است و راه‌های زیادی برای پیدا کردن الگوها وجود دارد. یکی از این راه‌ها ساخت و استخراج بافت تصاویر است. برای تولید و استخراج بافت الگوریتم‌های زیادی تاکنون بیان شده است که مهم‌ترین آنها الگوی دودویی محلی^۲ است. در این الگوریتم، برای ساخت بافت از همسایه‌های یک پیکسل^۳ که در یک فاصله معین قرار

* نویسنده مسئول

1-Image retrieval
2-Local Binary Pattern (LBP)
3-Pixel

۱. مقدمه

جستجوی تصاویر محتوای محور، یک سیستم نرم‌افزاری است که در حال حاضر راه‌حلی برای مشکل بازیابی تصاویر با استفاده از محتوای تصاویر است. بازیابی تصاویر به معنای یافتن تصاویر از روی محتوای آن‌ها از یک پایگاه داده تعریف می‌شود. نیاز به بازیابی تصاویر مشابه از پایگاه داده‌های بزرگ، امروزه ضرورتی است که برای آن باید راه‌حلی سریع و کارا وجود داشته باشد. تصاویر می‌توانند بر اساس اطلاعات فراداده یا محتوای تصویر، پرس‌وجو شوند. برچسب‌زنی^۴ در سامانه‌های سنتی بازیابی تصویر، کاری پیچیده و زمان‌بر است. هر چه زمان می‌گذرد، بازیابی، پردازش، جستجو، مرور و مدیریت تصاویر دشوارتر می‌شود. برای حل مسئله بازیابی تصویر، تصاویر بر اساس ویژگی‌های سطح بالا یا پایین و گاهی هم ترکیبی از هر دو بازیابی می‌شود. بازیابی تصاویر بر اساس یک پرس‌وجو از پایگاه داده بزرگ انجام می‌شود که در روش‌های سنتی برای یافتن تصاویر برچسب‌هایی تعیین می‌شد که امروزه این کار غیر ممکن است [۱]. امروزه، بازیابی تصاویر بر اساس الگوریتم‌های بازیابی محتوا محور، شیوه‌ای متفاوت به خود گرفته است. تصاویر بر اساس محتوایشان که شامل متن، رنگ، بافت، حاشیه، لبه و غیره می‌باشند، ویژگی‌های خاصی را به خود اختصاص می‌دهند، بر این اساس تصاویر در یک سیستم با هم شباهت پیدا می‌کنند. الگوریتم‌های بازیابی سعی دارند این ویژگی‌ها را برای هر عکس درون یک سیستم استخراج و تصاویر را بر این اساس دسته‌بندی نمایند [۲]. این روش باعث می‌شود جستجوی تصاویر نسبت به روش‌های سنتی بازیابی اطلاعات که بعضاً بر اساس برچسب‌ها یا نام‌گذاری‌های انسانی انجام می‌شود، موثرتر و دقیق‌تر باشد. به جای وابستگی به کلمات کلیدی یا توصیفات متنی، بازیابی تصویر محتوای محور به صورت مستقیم بر روی ویژگی‌های تصویری تمرکز دارد [۳].

سیستم‌های جستجوی محتوای محور در زمینه‌های مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد که یکی از مهم‌ترین کاربردهای آن در صنعت پزشکی است که برای تشخیص بیماری‌ها، تعیین سطح بیماری از طریق دسته‌بندی و بازیابی تصاویر پزشکی می‌باشد [۴]. مثالی دیگر از کاربرد این سیستم‌ها شناسایی حیوانات و گیاهان در حیات وحش می‌باشد [۵]، از این رو، ارتقاء سطح بازیابی و میزان صحت این سیستم‌ها بسیار حائز اهمیت است.

بافت در سال‌های اخیر، به عنوان یک ویژگی بصری اساسی برای توصیف تصویر، توجه زیادی به خود جلب کرده است. بافت تصویر قادر است تا جزئیات زیادی را استخراج کند. طبقه‌بندی بافت، نقش حیاتی در تجزیه و تحلیل بافت تصویر داشته و به طور گسترده در زمینه‌های مختلفی از جمله کنترل کیفیت محصولات صنعتی به کار رفته است [۶]. برای استخراج بافت تصاویر، به عنوان یک ویژگی، الگوریتم‌های زیادی وجود دارد که یکی از آنها الگوریتم الگوی دودویی محلی است. الگوی دودویی محلی اطلاعات بافت یک تصویر را به صورت محلی استخراج نماید. این توصیف‌گر قادر است بافت‌های تصویر را در کانال‌های مختلف استخراج کند اما نکته اینجاست که نسخه ابتدایی این الگوریتم دارای محدودیت‌هایی است که عملکرد آن را تا حد زیادی تحت تاثیر قرار می‌دهد [۷]. در این مقاله، یک الگوریتم نوآورانه برای محاسبه بافت پیشنهاد شده است که به عنوان دستاورد اصلی آن شناخته می‌شود. در این روش، به جای استفاده از یک لایه همسایگی، از دو یا چند لایه، از یک رویکرد جدید استفاده می‌شود. این روش، در هنگام ساخت بافت، طیف وسیعی از پیکسل‌ها را در نظر می‌گیرد که باعث افزایش اطلاعات در بافت ساخته شده می‌شود. یکی از ویژگی‌های منحصر به فرد این روش، مشارکت همه لایه‌ها به طور همزمان در عملیات ساخت بافت است. این در مقابل روش‌های مشابه که از چند لایه استفاده می‌کنند، تفاوت بزرگی دارد؛ زیرا در آن‌ها، لایه‌ها به صورت هم‌زمان در عملیات ساخت بافت مشارکت

همسایه در یک محیط مربعی یا دایره‌ای در نظر می‌گیرد و شدت روشنایی آن‌ها را با مقدار پیکسل مرکزی مقایسه می‌نماید؛ به ازای مقادیر بزرگ‌تر، یک و به ازای مقادیر کوچک‌تر، صفر در نظر گرفته می‌شود. در انتهای کار، با کنار هم قرار دادن این صفر و یک‌ها، یک کد ۸ بیتی^۶ ساخته می‌شود که معادل دهنده‌ی آن یک عدد صحیح در بازه صفر تا ۲۵۵ است. سپس این عدد به عنوان شدت روشنایی پیکسل مرکزی در نظر گرفته می‌شود. فرمول (۱) [۱۰] نحوه محاسبات فوق‌الذکر را برای یک پیکسل در مختصات (x_c, y_c) نشان می‌دهد.

$$LBP_p(x_c, y_c) = \sum_{p=1}^P s(I(x_p, y_p) - I(x_c - y_c)) \times 2^p \quad (1)$$

$$s(I(x_p, y_p) - I(x_c - y_c)) = \begin{cases} 1 & \text{if } I(x_p, y_p) - I(x_c - y_c) \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

در فرمول فوق p نشان‌دهنده تعداد پیکسل‌های مجاور است، که موقعیت آن‌ها بستگی به شعاع همسایگی و نحوه انتخاب همسایه‌ها دارد. در شکل (۱)، کیفیت تعیین مقدار الگوی دودویی محلی برای یک پیکسل از تصویر با همسایگی‌های مربعی و دایره‌ای نشان داده شده است. چنان‌چه این روال برای تمامی پیکسل‌های تصویر انجام شود، در نهایت یک تصویر جدید خواهیم داشت که نمایشی از وضعیت بافت تصویر فراهم می‌کند.

برای بهبود این الگوریتم اولیه [۱۰]، یک راهکار دیگر با همین روش و سبک ارایه شده است که دیگر، همسایگان پیکسل مرکزی را به صورت مربعی در نظر نمی‌گیرد. تحقیقات نشان داده است که اگر همسایگان به شکل دایره‌ای در نظر گرفته شوند، می‌توان اطلاعات بهتری از بافت را دریافت کرد [۱۱]. (شکل ۲)، نکته‌ای که درباره این روش وجود دارد، شامل به دست آوردن مقادیر دقیق برخی از نقاط بر روی شعاع‌های دایره است؛ زیرا که ممکن است در داخل تصویر مقادیر دقیق در آن مختصات وجود نداشته باشد. البته برای حل این چالش می‌توان از

نمی‌کنند. این الگوریتم، با یک الگوی خاص، تمام لایه‌ها را در فرایند ساخت بافت مشارکت داده و بهبودهای قابل توجهی را در نتیجه ایجاد می‌کند که در ادامه بررسی شده است.

۲. کارهای مرتبط

استخراج ویژگی‌های رنگی یک تصویر، به طور عموم، شامل شناسایی فضای رنگی و کاهش گستره رنگ می‌شود. توصیف‌گرهای محبوب رنگ شامل هیستوگرام‌های^۶ رنگ، کورلوگرام‌ها^۷، گشتاورهای مرتبط با کانال‌های رنگی، توصیف‌گرهای رنگی، توصیف‌گرهای ساختار رنگ و غیره هستند [۸]. یکی دیگر از ویژگی‌های سطح پایین استخراج شده از تصاویر که معمولاً برای توصیف محتوای تصویر استفاده می‌شود، بافت است. بافت تصویر در واقع تابعی از میزان تغییرات مکانی شدت روشنایی پیکسل‌ها است. به عبارت دیگر، بافت مشخصه‌ای کمی از نواحی یک تصویر می‌باشد. بافت را معمولاً با مفاهیمی کیفی نظیر نرم، زمخت، برآمده و غیره بیان می‌کنند که البته برای تحلیل، نیاز به کمی کردن آن است. یکی از روش‌های مشهور برای تعیین بافت تصویر الگوی دودویی محلی است [۹]، که نشان‌دهنده میزان تغییرات شدت روشنایی در مجاورت یک پیکسل می‌باشد. از آنجایی که این روش این کار را با مقایسه شدت روشنایی هر پیکسل با همسایه‌های آن انجام می‌دهد لذا به لحاظ محاسباتی بسیار ساده و در عین حال بسیار اثربخش است.

۱-۲- الگوی دودویی محلی

الگوریتم الگوی دودویی محلی یکی از متداول‌ترین روش‌های استخراج بافت تصاویر است که در بسیاری از کارهای حوزه بینایی ماشین^۸ برای توصیف بافت تصویر مورد استفاده قرار می‌گیرد. شرح کار این الگوریتم به این صورت است که برای هر پیکسل تصویر، ۸ پیکسل

6-Histogram
7-Correlogram
8-Computer vision

در روش LBPH [۲۱] ابتدا تصاویر را از فضای رنگی RGB^{۱۵} به فضای رنگی HSV^{۱۶} برده، سپس از تصویر حاصل تنها کانال رنگی H را جدا می‌کند و نهایتاً الگوی دودویی محلی را برای این کانال استخراج می‌کند. در این رویکرد ترکیب رنگ و بافت برای بازیابی بسیار اثر بخش هستند اما کانال H به تنهایی اطلاعات زیادی را به همراه ندارد. در کاری دیگر (MDLBP^{۱۷}) [۲۲]، از تمام کانال‌ها در فضای رنگی RGB برای محاسبه الگوی دودویی محلی استفاده شده است. در این روش پس از محاسبه شدت پیکسل مرکزی در هر کانال رنگی از آنها برای محاسبه یک مقدار واحد استفاده می‌کند و یک تصویر نهایی از بافت ارایه می‌دهد. این روش اگر چه نتایج خوبی را ارایه می‌کند ولی به زمان پردازش زیادی نیاز دارد. در روش (QLBP^{۱۸}) [۲۳] با اعمال یک تبدیل ریاضی به نام (Clifford translation)، بر روی تصاویر، آنها را تبدیل به یک فرم دیگر می‌کند. سپس، بر روی تمامی کانال‌ها الگوی دودویی محلی را استخراج و نهایتاً با هم ادغام می‌نماید. در پژوهشی که اخیراً منتشر شده است و MALBP [۲۴]^{۱۹} نام دارد، ابتدا تصاویر را به مقیاس‌های متفاوت می‌برد و از تصاویر در مقیاس‌های متفاوت بافت تهیه می‌کند.

برای کاهش خطاهای کلی، ترکیب روش‌های مختلف می‌تواند موثر باشد. یو و همکاران [۲۵] در تحقیقات خود با ترکیب ویژگی‌های الگوهای دودویی محلی (LBP) و گرادینان جهتی (HOG)، بهبودهای قابل توجهی در عملکرد بازیابی به دست آورده‌اند. در این تحقیق [۲۶]، یک سیستم جدید بازیابی تصاویر بر اساس مدل کیسه از ویژگی‌ها (BoF) با یکپارچگی تبدیل ویژگی‌های ثابت مقیاس^{۲۰} و الگوی دودویی محلی پیشنهاد می‌شود. نشان داده است که ویژگی‌های تبدیل مقیاس و الگوی دودویی محلی بهبودهای تکمیلی و قابل توجهی در بازیابی تصویر به دست می‌دهند،

توصیفگر با یافتن ترتیب جهت‌دار محلی بین مقادیر شدت روشنایی در مقیاس‌های مختلف و در یک جهت خاص اندازه‌گیری می‌شود. ترتیب جهت‌دار محلی، عامل رابطه چند شعاعی در یک جهت خاص است. الگوریتم الگوی ترتیب جهت‌دار محلی پیشنهادی، برای یک پیکسل خاص، از طریق یافتن رابطه بین پیکسل مرکزی و شاخص‌های ترتیب جهتی محلی محاسبه می‌شود. کالشتوار و همکاران [۱۷] یک الگوریتم جدید شاخص‌گذاری تصویر برای بازیابی تصویر مبتنی بر محتوا با استفاده از الگوی محلی انرژی محور^{۱۴} پیشنهاد داده‌اند. این توصیفگر نیز انرژی و جهت‌های سطح پیکسل را رمزگذاری می‌کند تا ویژگی‌های مکانی و دقیق تصویر را پیدا کند.

در پژوهشی که اخیراً انجام شده است، گونه‌های مختلف محاسبه الگوی دودویی محلی به طور مفصل مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند [۱۸]. نکته‌ای که لازم است در اینجا مورد بررسی قرار گیرد، این است که تقریباً تمامی روش‌های فوق‌الذکر برای محاسبه الگوی دودویی محلی از تصویر سطح خاکستری استفاده نموده‌اند. به عبارت دیگر، در این روش‌ها به اطلاعات موجود در کانال‌های رنگ توجه نشده است. برخی از محققان مسئله تعیین بافت را از کانال‌های رنگ جدا ندیده و به دنبال یافتن مشخصه‌های بافت تصویر در همه کانال‌های رنگی بوده‌اند. در همین راستا و در پژوهشی که توسط هنگ و همکاران انجام شده است، جداگانه برای هر کدام از کانال‌های رنگ محاسبه شده و سپس این ویژگی‌ها با یکدیگر ترکیب شده‌اند [۱۹]. این رویکرد، اگرچه عملکرد بهتر بازیابی تصاویر را به همراه داشته است، ولی با معضلی به نام ابعاد بالای بردار ویژگی همراه بوده است. روش عمومی دیگر در این زمینه شامل استخراج ویژگی‌های رنگ و بافت از کانال‌های رنگی تشکیل‌دهنده تصویر و سپس ادغام آنها در یک بردار ویژگی است. بدیهی است که در این حالت، ابعاد بردار ویژگی سه برابر حالتی است که تنها از یک کانال رنگی استفاده شده است [۲۰].

15-Red- Green- Blue

16-Hue Saturation Value

17-Multichannel Decoded Local Binary Patterns

18-Quaternionic Local Ranking Binary Pattern

19-Multi- Scale Averaging Local Binary Patterns

20-Shift

14-LEOP: Local Energy Oriented Pattern

با این وجود، لازم به ذکر است که استفاده از این روش‌ها همراه با هزینه‌های قابل توجهی در زمینه منابع محاسباتی و زمان برای آموزش مدل‌ها می‌باشد. به دلیل پیچیدگی زیاد مدل‌های یادگیری عمیق و نیاز به حجم بالایی از داده‌ها برای آموزش، تأمین این منابع به چالش‌هایی اقتصادی و فنی مهم تبدیل شده است [۳۱]. در روش‌های فوق برای ایجاد بافت تنها از همسایگان کناری پیکسل مرکزی جهت ساخت بافت استفاده شده است. در روش پیشنهادی با در نظر گرفتن چند لایه و مشارکت همزمان آنها در فرایند ساخت بافت اطلاعات بیشتری را در هر پیکسل از تصویر نگه‌داری می‌کند که این موضوع در زمان اجرای الگوریتم نیز تأثیری نمی‌گذارد.

۳. روش پیشنهادی

الگوریتم پیشنهادی در این مقاله برای بازیابی تصاویر محتوامحور صرفاً از ویژگی‌های استخراج شده بافت استفاده می‌کند. چارچوب کلی الگوریتم پیشنهادی در شکل (۳) نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، در این روش همانند بسیاری از روش‌های بازیابی تصاویر محتوا محور، از ویژگی‌های بافت استفاده شده است. همان‌طور که پیشتر اشاره شد، الگوی دودویی محلی یک روش محبوب برای کم کردن کیفیت بافت در تصاویر است [۳۲]. در روش ارائه شده برای استخراج ویژگی‌های بافت از تصویر، سطح خاکستری تصویر به عنوان ورودی استفاده می‌شود، بنابراین نیاز به تبدیل تصویر رنگی به تصویر سطح خاکستری به عنوان پیش‌پردازش وجود دارد. در این مقاله، یک نسخه جدید از روش الگوی دودویی محلی برای تولید بافت ارائه شده است.

حتی در صورت وجود پس‌زمینه نوفه‌ای و اشیای مبهم هم بازیابی‌های بالایی دارد. یک مقاله دیگر [۲۷] یک سیستم بازیابی تصویر محتوامحور را پیشنهاد می‌دهد که بسیار سریع هستند و از چندین بردار ویژگی به صورت همزمان استفاده می‌شود. همچنین روشی برای تبدیل موج دوبیسی^{۲۱} برای استخراج بردارهای ویژگی تصاویر را پیشنهاد می‌دهد. در این مقاله [۲۸]، یک روش جدید به نام Cell-CCV برای بازیابی تصاویر بر اساس رنگ ارایه شده است. این روش از ترکیب دو تکنیک موثر رنگی، یعنی CCH و CCV، استفاده می‌کند. به جای استفاده از هیستوگرام رنگی معمول در CCH، از بردارهای همبندی^{۲۲} رنگی CCV نیز استفاده می‌شود. آزمایش‌های این روش روی مجموعه داده وانگ نشان می‌دهد که Cell-CCV بهبود قابل توجهی در بازیابی تصاویر نسبت به روش‌های قبلی دارد. در پژوهشی [۲۹] ساختار بافت از روشی نوآورانه به نام DTSD استفاده می‌کند و یک چارچوب جدید با در نظر گرفتن اجزای رنگ، حاشیه، لبه و ارزش برای بازیابی تصویر به کار می‌رود. در این روش، ابتدا با استفاده از الگوریتم اوتسو^{۲۳}، تصویر را به پس‌زمینه و پیش‌زمینه تقسیم می‌کنیم و سپس ویژگی‌های مختلف مناطق مورد بررسی قرار می‌گیرند.

امروزه، با پیشرفت روزافزون فناوری و افزایش حجم زیاد داده‌ها، استفاده از روش‌های یادگیری عمیق^{۲۴} و شبکه‌های عصبی به عنوان یکی از ابزارهای اصلی در حوزه‌های مختلف علمی و کاربردی، از جمله در حوزه پردازش تصویر و به طور خاص در سیستم‌های بازیابی تصاویر محتوامحور بسیار مورد توجه قرار گرفته است. این روش‌ها به دلیل قابلیت بالایشان در استخراج ویژگی‌های مفهومی از داده‌ها و توانایی در پیش‌بینی دقیق، به عنوان ابزارهای قدرتمند در تحلیل و فهم داده‌ها شناخته می‌شوند [۳۰].

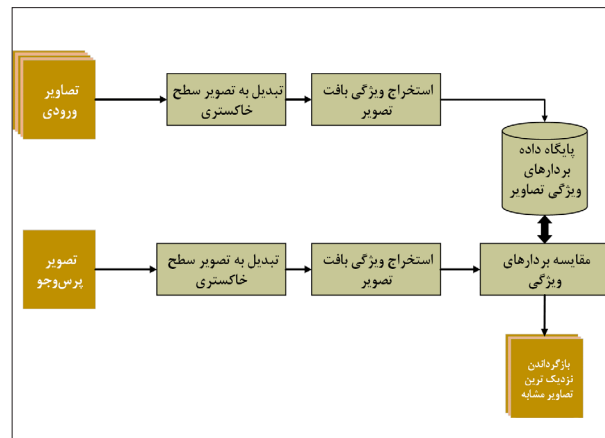
21-Daubechies Wavelet

22-Coherence

23-Otsu algorithm

24-Deep learning

شده است. نکته مهمی که وجود دارد این است که اگر از تمامی ۱۶ پیکسل موجود بر روی دو شعاع همسایگی استفاده کنیم، در این صورت مقادیر بافت برای هر یک از پیکسل‌ها دارای ۱۶ بیت خواهد بود که در مجموع ۲۱۶ حالت مختلف را ممکن می‌سازد. این موضوع باعث افزایش طول بردار ویژگی، که برابر $2^{16} = 65536$ است، می‌شود. لذا هنگام مقایسه بردارهای ویژگی حجم محاسبات به شدت افزایش خواهد یافت.

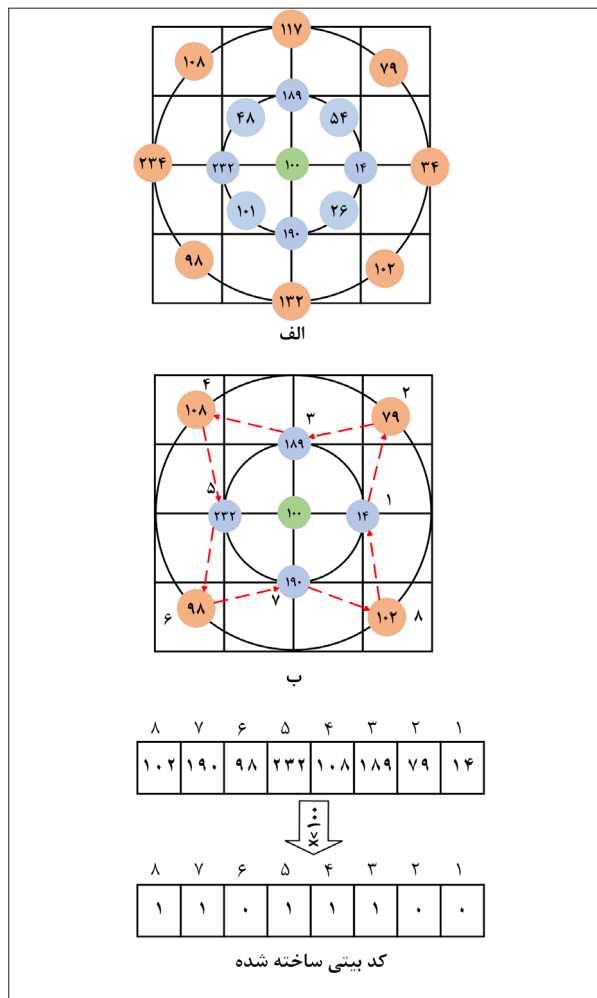


شکل (۳): نحوه کارکرد الگوریتم بازیابی تصویر پیشنهادی

در روش پیشنهادی برای تولید بردار ویژگی بر مبنای ساختار بافت، از یک همسایگی دو لایه استفاده می‌شود. به عبارت دیگر، بافت در هر نقطه به گونه‌ای محاسبه می‌گردد که از پیکسل‌های دورتر از پیکسل مرکزی نیز بهره گرفته می‌شود. در ادامه، به جزئیات این روش پرداخته شده است.

۱-۳- الگوهای دودویی محلی دو لایه (BLBP)

در این روش، برای محاسبه مقدار کمی بافت در هر پیکسل تصویر، از مقادیر شدت روشنایی پیکسل‌ها در همسایگی لایه اول و دوم استفاده می‌شود. همان‌طور که قبلاً اشاره شده، همسایگی‌ها می‌توانند به صورت مربعی یا دایره‌ای باشند. در الگوریتم پیشنهادی، همسایگی‌ها به صورت دایره‌ای در نظر گرفته شده‌اند، به دلیل آن که هنگامی که همسایگان به صورت دایره‌ای در نظر گرفته می‌شوند نقاطی در همسایگی پیکسل مرکزی به وجود می‌آید که مقدار شدت در آنها با استفاده از شدت دیگر پیکسل‌هاست. این موضوع سبب می‌شود که نتایج بهتری را در هنگام ساخت بافت فراهم آورد. در شکل (۴)، نحوه محاسبه مقدار بافت برای پیکسل مرکزی که با رنگ سبز مشخص شده، نمایش داده شده است. همان‌طور که در شکل (۴-الف) مشاهده می‌شود، مقادیر شدت روشنایی در ۸ پیکسل مجاور در دو همسایگی با شعاع‌های ۱ و ۲ پیکسل نشان داده



شکل (۴): نحوه کارکرد الگوریتم BLBP

(الف) چینش اولیه همسایگان پیکسل مرکزی در دو شعاع
 (ب) نحوه ترتیب انتخاب همسایگان
 (ج) نحوه ساخت کد بیتی و محاسبه مقدار بافت پیکسل مرکزی

الف) تصویر رنگی بدون تغییرات

ب) تصویر خاکستری بدون تغییرات

ج) تصویر بافت ساخته شده توسط الگوی دودویی

محلی ابتدایی

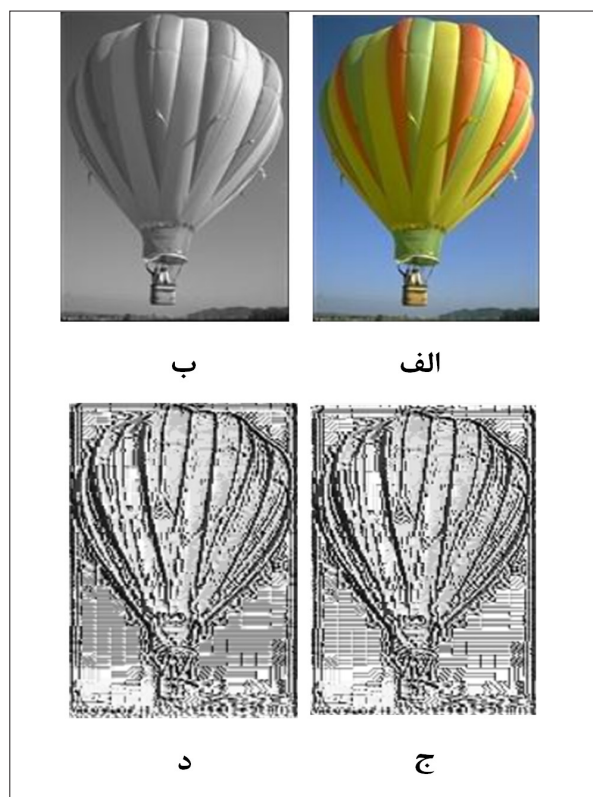
د) تصویر بافت ساخته شده توسط روش پیشنهادی

۴. آزمایش‌ها و نتایج

برای ارزیابی الگوریتم پیشنهادی آزمایش‌هایی انجام شده است که در ادامه به جزئیات آنها می‌پردازیم. قابل ذکر است که روش پیشنهادی با استفاده از زبان برنامه نویسی پایتون و بر روی سیستمی با پردازنده اینتل^{۲۵} و 16Gb حافظه اصلی^{۲۶} اجرا شده است. همچنین پیاده‌سازی‌ها در محیط ویندوز ۱۱ صورت گرفته است.

برای ارزیابی روش پیشنهادی از چندین مجموعه داده استفاده شده است، یکی از آنها وانگ^{۲۷} [۳۳] می‌باشد. این مجموعه از ۱۰۰۰ تصویر رنگی تشکیل شده است که اندازه تصاویر آنها ۲۵۶×۲۸۴ یا ۲۸۴×۲۵۶ است. تصاویر در ۱۰ دسته قرار دارند و هر دسته شامل ۱۰۰ تصویر است. این دسته‌ها شامل تصاویری با محتوای مردم آفریقایی، ساحل، ساختمان، اتوبوس، دایناسور، فیل، گل، اسب، منظره و غذا می‌شوند. دیگر مجموعه داده مورد استفاده کورل^{۲۸} [۳۴] می‌باشد که این مجموعه شامل ۱۰۰۰۰ تصویر رنگی می‌باشد که حاوی ۱۰۰ دسته، که هر کدام شامل ۱۰۰ تصویر را دارا می‌باشد است. ابعاد هر تصویر داخل این مجموعه داده برابر با ۱۸۷×۱۲۶ یا ۱۲۶×۱۸۷ می‌باشد. در شکل ۶ چند نمونه از تصاویر از این مجموعه داده‌ها قابل مشاهده می‌باشد. این تصاویر از مقوله‌های متفاوت در این مجموعه داده‌ها قرار می‌گیرند.

رویکرد پیشنهاد شده در این مقاله، مسیر مشابهی با الگوریتم اولیه الگوی دودویی محلی را طی می‌کند، با این تفاوت که در انتخاب همسایگان، شعاع‌ها به صورت متناوب بین هر دو شعاع پیشنهادی جابه‌جا می‌شوند که حاصل این کار استفاده همزمان از هر دو لایه می‌باشد (شکل ۳-ب). همچنین این موضوع باعث می‌شود حجم محاسبات کمتری داشته باشد زیرا تعداد همسایگان به ۸ عدد کاهش خواهد یافت و طول بردار ویژگی هم ۲۸ خواهد شد (شکل ۳-ج). روش پیشنهادی، با استفاده تعداد لایه‌های متفاوت دید گسترده‌تری برای ساخت بافت در نظر گرفته و حاصل آن تصویر بافتی است که حجم اطلاعات و کیفیت آن افزایش یافته که نرخ بازیابی را افزایش می‌دهد. شکل (۵) تصویری است از بافت ساخته شده با روش پیشنهادی و همچنین بافت ساخته شده توسط الگوی دودویی محلی ابتدایی که در آن میزان تفاوت کیفیت بافت ساخته شده در هر روش به وضوح دیده می‌شود.



شکل (۵): تصویری از بافت‌های ساخته شده توسط روش پیشنهادی و الگوی دودویی ابتدایی

و I_N نیز تعداد تصاویر بازیابی درست (تعداد تصاویری که به درستی بازیابی شده‌اند) است. N تعداد کل تصاویر بازیابی شده است و M تعداد کل تصاویری است که با تصویر پرس‌وجو در یک دسته هستند. به عبارت دیگر، برای هر تصویر پرس‌وجو N تصویر بازیابی می‌شود که تعداد I_N مورد متعلق به ردۀ تصویر پرس‌وجو است و سپس با استفاده از فرمول‌های فوق مقدار دقت، یادآوری و همچنین نمره اف برای تصویر پرس‌وجوی فعلی محاسبه می‌شود. این فرآیند برای همه تصاویر مجموعه داده تکرار شده و سپس میانگین مقادیر دقت آنها به دست می‌آید. نتایج آزمایش‌هایی که بر روی مجموعه داده‌های متفاوت انجام شده، در این بخش گزارش می‌شود.

در فرایند محاسبه دقت می‌بایست بردارهای ویژگی به‌دست آمده از تصاویر با یکدیگر مقایسه شوند. به عبارت دیگر باید فاصله بین دو بردار به‌دست آید. هر چه فاصله دو بردار ویژگی عدد کوچک‌تری باشد به این معناست که دو بردار ویژگی شباهت بیشتری دارند. برای محاسبه فاصله روش‌های متعددی وجود دارد که برخی از فاصله‌های معروف در ادامه معرفی شده‌اند.

فرمول (۶) فاصله کانبرا^{۳۲} [۳۶] می‌باشد که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$D(q, t) = \sum_{i=0}^{L-1} \frac{|f_i^q - f_i^t|}{f_i^q + f_i^t} \quad (6)$$

و همچنین به صورت مشابه برای فاصله کانبرا توسعه یافته داریم:

$$D(q, t) = \sum_{i=0}^{L-1} \frac{|f_i^q - f_i^t|}{(f_i^q + \mu^q) + (f_i^t + \mu^t)} \quad (7)$$

که در رابطه فوق $\mu^t = \frac{1}{L} \sum_{i=0}^{L-1} f_i^t$ و $\mu^q = \frac{1}{L} \sum_{i=0}^{L-1} f_i^q$ می‌باشند. برای فاصله مربعی-کوردیناتی^{۳۳} [۳۸] داریم:



شکل (۶) چند نمونه تصویر از مجموعه داده‌های مورد استفاده

نکته مهم دیگر این است که برای ارزیابی الگوریتم ارایه شده از همه تصاویر موجود در مجموعه داده به عنوان تصویر پرس‌وجو استفاده شده است و همچنین برای ارزیابی کلیه الگوریتم‌های بازیابی تصویر محتوامحور در این پژوهش، و مقایسه عملکرد آنها با الگوریتم پیشنهادی از سه شاخص پراکاربورد و رایج دقت^{۲۹}، یادآوری^{۳۰} و همچنین نمره اف^{۳۱} استفاده شده است. تعریف این شاخص‌ها را در روابط (۳ تا ۵) به ترتیب مشاهده می‌فرمایید [۳۵].

$$P(N) = \frac{I_N}{N} \quad (3)$$

$$R(N) = \frac{I_N}{M} \quad (4)$$

$$F_1\text{-score} = \frac{2 \times (P(N) \cdot R(N))}{(P(N) + R(N))} \quad (5)$$

در روابط فوق $P(N)$ میزان دقت، $R(N)$ میزان یادآوری

29-Precision

30-Recall

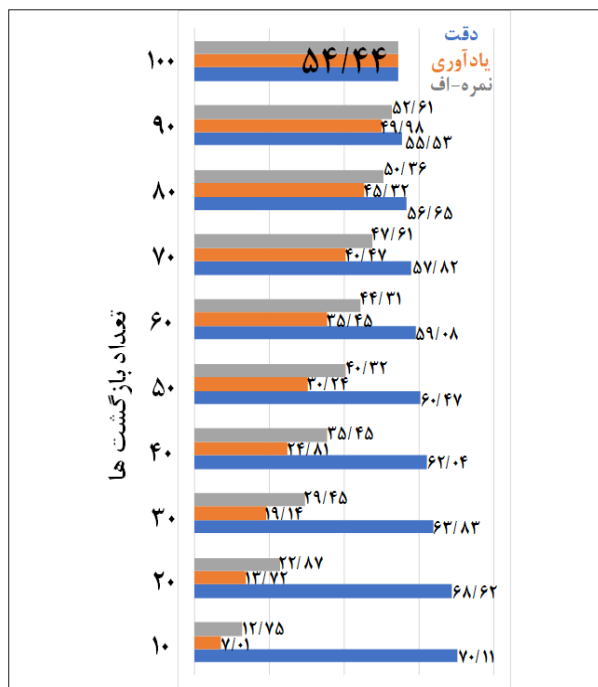
31-F-score

32-Canberra

33-squared chord

جدول (۱) دقت الگوریتم پیشنهادی بر روی مجموعه داده وانگ و به صورت تفکیک دسته و نوع فاصله انتخابی

دسته بندی	دقت			
	Extended Canberra	Canberra	Square Chord	Euclidean
مردم	۶۹/۹	۶۶/۷	۶۵/۶	۶۳/۴۴
ساحل	۵۷/۳	۵۳/۸	۵۱/۸	۴۷/۴۱
ساختمان	۵۸	۵۸/۳	۵۵/۸۶	۴۹/۹
اتوبوس	۹۶/۵	۹۶/۳	۹۶/۲	۹۴
دایناسور	۹۸/۶	۹۷/۸	۹۷/۹	۹۷/۴
فیل	۵۴/۶	۵۳/۹	۵۱	۴۴/۹
گل	۹۱/۸	۷۹/۹	۸۸/۲	۷۹/۴
اسب	۸۴/۳	۸۳/۳	۷۹/۸	۷۰
منظره	۳۴/۸	۳۴/۹	۳۱/۶	۲۶/۷
غذا	۵۵/۵	۵۴/۷۹	۵۴/۹	۴۲/۴۸
میانگین	۷۰/۱۱	۶۷/۹۶	۶۷/۲۱	۶۱/۵۶



شکل (۷): میزان شاخص های دقت، یادآوری و نمره-اف برای بازگشت های متفاوت

همان طور که پیداست هر چقدر که تعداد بازگشت های تصاویر مرتبط بیشتر می شود دقت بازیابی تصاویر کاهش پیدا می کند. در ادامه و در شکل (۸) نتایج به دست آمده از دقت (پریسیژن) حاصل از انواع فاصله ها و همچنین انواع بازگشت ها برای مجموعه داده کورل قابل مشاهده است.

$$D(q, t) = \sum_{i=0}^{L-1} (\sqrt{f_i^q} - \sqrt{f_i^t})^2 \quad (۸)$$

و در آخر برای فاصله اقلیدسی [۳۹] داریم:

$$D(q, t) = \sqrt{\sum_{i=1}^{L-1} (f_i^q - f_i^t)^2} \quad (۹)$$

برای تمامی فواصل نامبرده f_i^q بیانگر بردار ویژگی ای-ام (i^{th}) در تصاویر مورد پرس و جو می باشد و f_i^t بیانگر بردار ویژگی ای-ام در تصاویر موجود در کل مجموعه می باشد.

در ابتدا نتایج بر روی مجموعه داده وانگ گزارش شده است و بر این اساس جدول (۱) دقت روش پیشنهادی را با استفاده از فواصل متفاوت بر روی دسته بندی های متفاوت را این مجموعه داده مورد بررسی قرار می دهد. برای محاسبه میزان صحت در این جدول از دقت فرمول (۳) استفاده شده که در آن مقدار $N=10$ در نظر گرفته شده است و همچنین مقدار $M=100$ می باشد. برای انتخاب تصاویر پرس و جو در مجموعه داده رویکردهای متفاوتی را در نظر می گیرند، در این مقاله تمام تصاویر داخل هر دسته بندی یک بار به عنوان تصویر پرس و جو انتخاب خواهند شد و با تمام تصاویر داخل مجموعه داده مقایسه خواهند شد و نزدیک ترین تصاویر (با توجه به اندازه فاصله محاسبه شده) بازگردانده خواهند شد.

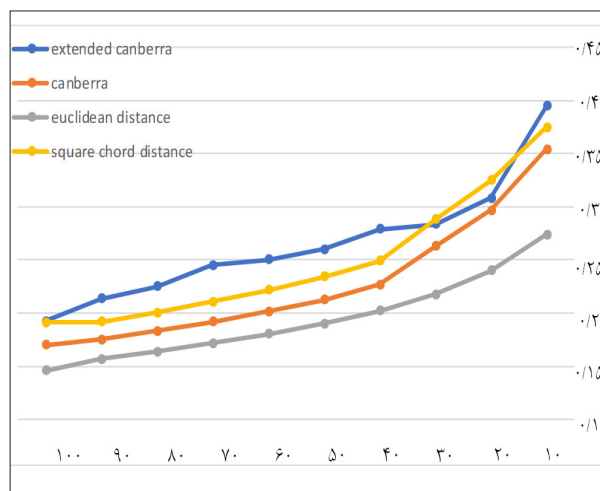
همان طور که در جدول فوق پیداست دقت فاصله کانبرای توسعه یافته در مقایسه با سایر فاصله ها بیشتر است. در ادامه گزارش ها بر روی مجموعه داده وانگ، در شکل (۷) دقت، یادآوری و نمره-اف؛ با استفاده از فاصله کانبرای توسعه یافته برای تعداد بازیابی های متفاوت گزارش شده است.

جدول (۲): دقت الگوریتم پیشنهادی بر روی مجموعه داده Corel-10k برای Nهای متفاوت با استفاده از فاصله کانبرای توسعه یافته

N	ارزیابی براساس	
	دقت (متوسط)	یادآوری
۱۰	۳۹/۴۸	۳/۹
۱۲	۳۸/۵۵	۴/۶
۱۵	۳۳/۵۹	۵/۰
۲۰	۳۰/۷۹	۶/۱
۱۰۰	۱۹/۲۱	۰/۱۹

در آخر، به منظور بررسی کیفیت عملکرد روش پیشنهادی، آن را با تعدادی از روش‌های مشابه که از اطلاعات بافت برای بازیابی تصاویر استفاده نموده‌اند، مقایسه کرده‌ایم. در ابتدا روش پیشنهادی را با تعدادی از روش‌ها را بر روی انواع دسته بندی‌های مجموعه داده وانگ مقایسه خواهیم کرد که در جدول (۳) قابل مشاهده است. در این جدول تعداد بازگشت تصاویر مرتبط برابر با ۲۰ در نظر گرفته شده است.

و در جدول (۴) نتایج پژوهش‌های متفاوت بر روی مجموعه داده‌های وانگ و کورل ۱۰ گزارش شده است. در این راستا الگوریتم‌های [۲۱] LBPH، [۲۲] LBP [۱۰]



شکل (۸): دقت فواصل متفاوت بر روی مجموعه داده Corel-10k

در شکل بالا مشاهده می‌شود که دقت فاصله کانبرای توسعه یافته، برای این مجموعه داده نیز دقت بیشتری نسبت به سایر فاصله‌ها دارد. از این رو برای بررسی دقیق‌تر مقادیر به دست آمده از فاصله فوق‌الذکر برای محاسبه نتایج به دست آمده در جدول زیر استفاده شده است. لازم به ذکر است که نتایج گزارش شده برای Nهای متفاوت از مجموعه داده کورل ۱۰ قابل مشاهده است.

جدول (۳): مقایسه روش پیشنهادی با انواع روش‌ها بر روی دسته‌بندی‌های متفاوت مجموعه داده وانگ و N=20

دسته بندی	مردم	ساحل	ساختمان	اتوبوس	دایناسور	فیل	گل	اسب	منظره	غذا	میانگین
EMSVM[27]	۵۰	۷۰	۲۰	۸۰	۹۰	۶۰	۱۰۰	۸۰	۵۰	۶۰	۶۶/۱
BoF[26]	۵۵	۴۷	۴۴	۹۳	۹۸	۵۲	۷۷	۶۵	۳۴	۵۲	۶۱/۷
HOG[25]	۵۵	۴۷	۵۶	۹۱	۹۴	۴۹	۸۵	۵۲	۳۷	۵۵	۶۲/۱
Cell-CCV[28]	۴۰/۷۵	۲۶/۹۵	۲۸/۶	۳۷/۳۵	۹۷/۹۵	۴۷	۷۵/۳۵	۷۶/۲	۳۸/۰۵	۴۲/۶	۵۱/۰۶
LDLP[40]	۴۱/۷	۲۷/۳	۳۰/۲۵	۵۲/۰۵	۹۷/۴	۵۳/۸۵	۶۱/۹۵	۶۴/۴	۳۷/۵	۵۸/۴	۶۱/۱۴
LDOP[16]	۴۳/۸	۳۳/۳۵	۳۴/۹۵	۶۳/۳	۹۹/۵۵	۵۵/۸	۶۷/۵	۶۹/۹	۲۵/۲۵	۲۳/۹	۴۸/۸۰
DTSD[29]	۶۴/۳	۲۸/۸	۵۴/۲	۷۹/۴	۹۹/۵	۴۰/۲	۷۸/۲	۷۱/۱	۳۱/۴	۳۰/۹	۵۳/۰۴
روش پیشنهادی	۷۵	۵۴/۳	۵۷/۵	۹۵/۴۵	۹۷/۹۴	۴۱/۴۵	۸۹/۷۴	۷۲/۴۴	۳۳/۲۰	۴۹/۰۹	۶۸/۶۲

[3] Y. Rui, T. S. Huang, and S.-F. Chang. 1999, "Image retrieval: Current techniques, promising directions, and open issues," Journal of visual communication and image representation, vol. 10, no. 1, pp. 39-62.

[4] Ş. Öztürk, E. Çelik, and T. Çukur. 2023, "Content-based medical image retrieval with opponent class adaptive margin loss," Information Sciences, vol. 637, p. 118938.

[5] E. Nepovinnikh, T. Eerola, H. Kälviäinen, and I. Chelak. 2024, "NORPPA: novel ringed seal re-identification by pelage pattern aggregation," pp. 1-10.

[6] S. Lan, X. Liao, H. Fan, S. Hu, and Z. Pan. 2023, "A multi-channel framework based Local Binary Pattern with two novel local feature descriptors for texture classification," Digital Signal Processing, vol. 140, p. 104124.

[7] A. Khan, A. Javed, M. T. Mahmood, M. H. A. Khan, and I. H. Lee. 2021, "Directional magnitude local hexadecimal patterns: A novel texture feature descriptor for content-based image retrieval," IEEE Access, vol. 9, pp. 135608-135629.

[8] E. R. Vimina and P. Jacob. 2018, "Computational frameworks for efficiency enhancement of content based image retrieval systems,".

[9] T. Ojala, M. Pietikainen, and T. Maenpaa. 2002, "Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns," IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, vol. 24, no. 7, pp. 971-987.

[10] D.-C. He and L. Wang. 1990, "Texture unit, texture spectrum, and texture analysis," IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 28, no. 4, pp. 509-512.

[11] L. Wang and D.-C. He. 1990, "Texture classification using texture spectrum," Pattern recognition, vol. 23, no. 8, pp. 905-910.

[12] Y. Sa. 2014, "Improved bilinear interpolation method for image fast processing," IEEE, pp. 308-311.

[13] T. Chakraborti, B. McCane, S. Mills, and U. Pal. 2018, "LOOP descriptor: local optimal-oriented pattern," IEEE Signal Processing Letters, vol. 25, no. 5, pp. 635-639.

[14] X.-H. Han, G. Xu, and Y.-W. Chen. 2013, "Robust local ternary patterns for texture categorization," IEEE, pp. 846-850.

[15] A. M. M. Shabat and J. R. Tapamo, 2018, "Angled local directional pattern for texture analysis with an application to facial expression recognition," IET Computer Vision, vol. 12, no. 5, pp. 603-608.

[16] S. R. Dubey and S. Mukherjee, 2020, "Ldop: local directional order pattern for robust face retrieval," Multimedia Tools and Applications, vol. 79, pp. 6363-6382.

[17] G. M. Galshetwar, L. M. Waghmare, A. B. Gonde, and S. Murala, 2019, "Local energy oriented pattern for image indexing and retrieval," Journal of Visual Communication and Image Representation, vol. 64, p. 102615.

[18] R. Arya and E. R. Vimina, 2020, "An evaluation of local binary descriptors for facial emotion classification," Innovations in Computer Science and Engineering: Proceedings of 7th ICICSE, pp. 195-205.

[19] G. M. Galshetwar, L. M. Waghmare, A. B. Gonde, and

و QLBP [۲۳] پیاده‌سازی شده و نتایج آن‌ها برای بازگشت ۱۰ عدد از تصاویر نزدیک ($N=10$) با روش پیشنهادی در جدول (۴) گزارش شده است.

جدول (۴): مقایسه عملکرد روش پیشنهادی با سایر روش‌ها

روش استفاده شده	اندازه بردار ویژگی	مجموعه داده‌ها	
		Wang	Corel-10k
LBP classic	۲۵۶	۶۷/۰۴	۳۶/۷۴
LBPH	۲۵۶	۶۹/۲	۳۳/۴۲
QLBP	۲۵۶	۶۷/۵۵	۳۶/۰۸
MDLBP	۲۵۶	۶۹/۳	۳۸/۸۹
*BLBP	۲۵۶	۷۰/۱۱	۳۹/۴۸

۵. نتیجه گیری

در این مقاله، یک چارچوب مبتنی بر الگوی دودویی محلی برای مساله بازیابی تصویری محتوای محوری ارائه شده است. بر خلاف الگوریتم‌های اولیه محاسبه الگوهای دودویی محلی که از یک همسایگی محدود استفاده می‌کردند، در الگوریتم ارائه شده از یک همسایگی وسیع‌تر استفاده شده است. راهکار پیشنهادی برای جلوگیری از بزرگ شدن بردار ویژگی متناظر با هر تصویر، مقایسه میان پیکسل مرکزی را با پیکسل‌های قرار گرفته بر روی دو همسایگی با شعاع‌های متفاوت به صورت یکنواخت انجام داده است. با این که فقط از ویژگی‌های بافت استفاده شده است، اما در مقایسه با بسیاری از روش‌های دیگر، عملکرد بهتری از خود نشان داده است. در پژوهش‌های آینده، سعی بر آن است که با ترکیب سایر ویژگی‌های استخراج شده از تصویر مانند ویژگی‌های رنگ و شکل، عملکرد روش پیشنهادی را ارتقا داد.

۶. منابع

- [1] G. S. Vieira, A. U. Fonseca, and F. Soares. 2023, "CBIR-ANR: A content-based image retrieval with accuracy noise reduction," Software Impacts, vol. 15, p. 100486.
- [2] R. Fatima, F. D. Mirajkar, V. C. Warad, and S. Sarwath. 2024, "A Roomy Survey on Content Based Image Retrieval,".

- [35] N. Varish, S. R. Reddy, N. G. S. Varma, and P. Singh, 2024, "Integration of statistical parameters-based colour-texture descriptors for radar remote sensing image retrieval applications," *International Journal of Computational Science and Engineering*, vol. 27, no. 2, pp. 204-218.
- [36] F. A. Alghamdi, 2024, "An Effective Hybrid Framework Based on Combination of Color and Texture Features for Content-Based Image Retrieval," *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 49, no. 3, pp. 3575-3591.
- [37] G. Shamsipour, S. Fekri-Ershad, M. Sharifi, and A. Alaei, 2024, "Improve the efficiency of handcrafted features in image retrieval by adding selected feature generating layers of deep convolutional neural networks," *Signal, image and video processing*, pp. 1-14.
- [38] A. Fadlil and N. Trisanti, 2023, "Comparative Analysis of Euclidean, Manhattan, Canberra, and Squared Chord Methods in Face Recognition," *Revue d'Intelligence Artificielle*, vol. 37, no. 3.
- [39] P. Tiwari, S. D. Mahapatra, K. Singh, and S. N. Sharan, 2023, "Extraction and Representation of Low-Level Image Features for an Improved CBIR System using PCA Algorithm," *Journal of Mines, Metals & Fuels*, vol. 71, no. 4.
- [40] S. R. Dubey, 2019, "Local directional relation pattern for unconstrained and robust face retrieval," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 78, no. 19, pp. 28063-28088.
- S. Murala, 2017, "Edgy salient local binary patterns in inter-plane relationship for image retrieval in diabetic retinopathy," *Procedia computer science*, vol. 115, pp. 440-447.
- [20] S. Singh and S. Batra, 2020, "An efficient bi-layer content based image retrieval system," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 79, no. 25-26, pp. 17731-17759.
- [21] C. Singh, E. Walia, and K. P. Kaur, 2018, "Color texture description with novel local binary patterns for effective image retrieval," *Pattern Recognition*, vol. 76, pp. 50-68.
- [22] S. R. Dubey, S. K. Singh, and R. K. Singh, 2016, "Multi-channel Decoded Local Binary Patterns for Content-Based Image Retrieval," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 25, no. 9, pp. 4018-4032.
- [23] R. Lan, Y. Zhou, and Y. Y. Tang, 2015, "Quaternionic local ranking binary pattern: a local descriptor of color images," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 25, no. 2, pp. 566-579.
- [24] S. Fadaei, A. Dehghani, and B. Ravaei, 2024, "Content-based image retrieval using multi-scale averaging local binary patterns," *Digital Signal Processing*, vol. 146, p. 104391.
- [25] C. Zhu, C.-E. Bichot, and L. Chen, 2013, "Image region description using orthogonal combination of local binary patterns enhanced with color information," *Pattern recognition*, vol. 46, no. 7, pp. 1949-1963.
- [26] X. Yuan, J. Yu, Z. Qin, and T. Wan, 2011, "A SIFT-LBP image retrieval model based on bag of features," pp. 1061-1064.
- [27] E. Yildizer, A. M. Balci, M. Hassan, and R. Alhaji, 2012, "Efficient content-based image retrieval using multiple support vector machines ensemble," *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no. 3, pp. 2385-2396.
- [28] M. Salmi and B. Boucheham, 2014, "Content based image retrieval based on cell color coherence vector (Cell-CCV)," *IEEE*, pp. 1-5.
- [29] W. Song et al., 2018, "Taking advantage of multi-regions-based diagonal texture structure descriptor for image retrieval," *Expert Systems with Applications*, vol. 96, pp. 347-357.
- [30] R. Shetty, V. S. Bhat, and J. Pujari, 2024, "Content-based medical image retrieval using deep learning-based features and hybrid meta-heuristic optimization," *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 92, p. 106069.
- [31] M. Ciranni, V. Murino, F. Odone, and V. P. Pastore, 2024, "Computer vision and deep learning meet plankton: Milestones and future directions," *Image and Vision Computing*, vol. 143, p. 104934.
- [32] R. Dowerah and S. Patel, 2024, "Comparative analysis of color histogram and LBP in CBIR systems," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 83, no. 5, pp. 12467-12486.
- [33] J. Z. Wang, L. Jia, and G. Wiederhold, 2001, "SIMPLiC: semantics-sensitive integrated matching for picture libraries," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 23, no. 9.
- [34] S. R. Dubey, S. K. Singh, and R. K. Singh, 2015, "Boosting local binary pattern with bag-of-filters for content based image retrieval," *IEEE*, pp. 1-6.