

طبقه‌بندی سبک نقاشی هنرمندان با استفاده از هیستوگرام گرادیان جهت‌دار و الگوی باینری محلی

ساناز کشوری^۱، دانشجوی کارشناسی ارشد؛ عبدالله چاله‌چاله^۲، استادیار

۱- دانشکده مهندسی - گروه مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات - دانشگاه رازی - کرمانشاه - ایران - s.keshvari@pgs.razi.ac.ir

۲- دانشکده مهندسی - گروه مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات - دانشگاه رازی - کرمانشاه - ایران - chalechale@razi.ac.ir

چکیده: شناسایی سبک هر نقاش یکی از مسائل مهم در سبک‌شناسی است ولی اکثر هنرمندان سبک و روش خود را توضیح نمی‌دهند و افراد اغلب با دنبال کردن نقاشی‌های یک هنرمند و با توجه به جزییات نقاشی‌ها به‌صورت تجربی سبک یک هنرمند را تشخیص می‌دهند. در این مقاله، با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر برای اولین بار رویکردی بر طبقه‌بندی سبک نقاشان ایرانی پیشنهاد شده است. در این رویکرد جهت استخراج بردارهای ویژگی از هیستوگرام گرادیان جهت‌دار، الگوی باینری محلی و همچنین ترکیب این دو ویژگی استفاده شده است، با به‌کار بردن دسته‌بند ماشین بردار پشتیبان بردارهای ویژگی طبقه‌بندی شده‌اند. به‌منظور ارزیابی روش ارائه‌شده از پایگاه داده‌ای شامل نقاشی‌های پنج نقاش معروف ایرانی با نام‌های حسین بهزاد، کمال‌الملک، مرتضی کاتوزیان، سهراب سپهری و محمود فرشچیان استفاده شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که روش پیشنهادی ما به‌خوبی می‌تواند سبک‌های نقاشی را طبقه‌بندی کند. سبک‌های متفاوت با استفاده از طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان با درصد صحت متوسط ۹۵/۴۸٪ از یکدیگر تفکیک شدند.

واژه‌های کلیدی: طبقه‌بندی سبک هنری نقاشان، الگوی باینری محلی، ماشین بردار پشتیبان، هیستوگرام گرادیان جهت‌دار.

Stylometry of Painting Using Histogram of Oriented Gradients (HOG) and Local Binary Patterns (LBP)

S. Keshvari¹, MSc Student; A. Chalechale², Assistant Professor

1- Faculty of Engineering, Computer and Information Technology Engineering Department, Razi University, Kermanshah, Iran, Email: s.keshvari@pgs.razi.ac.ir

2- Faculty of Engineering, Computer and Information Technology Engineering Department, Razi University, Kermanshah, Iran, Email: chalechale@razi.ac.ir

Abstract: Stylometry is one of the key issues in art work recognition, however most artists do not identify their styles. Generally, people often empirically recognize an artist's style through following the artist's paintings and paying attention to the paintings' details. This paper, for the first time, proposes an approach to classify Iranian painters' style utilising image processing techniques. For feature extraction, histogram of gradient (HOG) and local binary patterns (LBP) are exploited applying support vector machine (SVM) for classification. To assess the proposed method, one dataset of paintings that contains five famous Iranian painters, namely Hossein Behzad, Kamal-ol-Molk, Morteza Katouzian, Sohrab Sepehri and Mahmoud Farschian, including 326 paintings, is collected. The experimental results indicate that our proposed method can well classify the painting styles, where, different styles are classified with average accuracy rate of 95.48%.

Keywords: Stylometry of painting, local binary patterns, support vector machine, histogram of oriented gradients.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۵/۰۲/۲۹

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۵/۰۵/۱۶ و ۱۳۹۵/۰۶/۲۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۲۳

نام نویسنده مسئول: عبدالله چاله‌چاله

نشانی نویسنده مسئول: ایران - کرمانشاه - باغ ابریشم - دانشگاه رازی - دانشکده مهندسی - گروه مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات.

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر با توجه به رشد روزافزون قدرت پردازشی سیستم‌های محاسباتی، ظرفیت بالای سیستم‌های ذخیره‌سازی و در دسترس بودن سیستم‌های تصویربرداری، موزه‌های هنری دیجیتالی آنلاین رشد چشمگیری داشته‌اند. یکی از موضوعات موردعلاقه محققان یافتن روابط ریاضی در یک اثر هنری است که با کمک طراحی الگوریتم‌های کامپیوتری قادر به تحلیل و ارزیابی صحیحی از آثار هنری هستند. تکنیک‌های پردازش تصویر در کارهای هنری زیادی از جمله خوشه‌بندی^۱ تصاویر [۱، ۲]، واقعیت افزوده موبایل^۲ (MAR) در موزه [۳]، بازیابی تصویر مبتنی بر احساس^۳ (EBIR) [۴]، ارزیابی کیفیت نقاشی در آموزشگاه‌های نقاشی [۵]، اصل و بدل بودن نقاشی [۶] و تعیین مبدأ زمان و مکان نقاشی‌ها [۷] به کار گرفته شده است.

پردازش تصویر در کارهای هنری زیادی شرکت داشته است که همگی قابل بحث هستند اما مقالات مطرح‌شده در سال‌های اخیر به بررسی حوزه‌هایی که در ادامه بیان می‌شوند اشاره داشته‌اند. در [۱] خوشه‌بندی تصاویر هنری به شکل درختی است که ریشه آن تمامی تصاویر موجود بوده، در ادامه با انجام خوشه‌بندی، هر تصویر در برگ درخت قرار می‌گیرد. در [۲] مقایسه‌ای بین خوشه‌بندی نقاشی‌ها توسط انسان و کامپیوتر انجام شده است. برای انجام این خوشه‌بندی اطلاعات باید در سه سطح پایین، میانی و بالا طبقه‌بندی شود. سطح پایین شامل اطلاعات ظاهری مانند تکنیک نقاشی، ضرب‌آهنگ قلم‌مو بر روی بوم توسط نقاش، نوع قلم‌مو و نوع رنگ مورد استفاده و سطح میانی شامل اطلاعات نوع نقاشی ترسیم‌شده مانند منظره و شخص است. در سطح بالا اطلاعاتی نظیر پس‌زمینه نقاشی ذخیره می‌شود. ایده به‌کارگیری MAR در موزه توسط چنگ و همکاران [۳] ارائه شده است که با استفاده از این روش کاربر با موبایل خود از اثر هنری عکس‌برداری می‌کند و این عکس ورودی نرم‌افزار موبایل است و با استفاده از پردازش تصویر اطلاعاتی در مورد تاریخچه، پدیدآورنده و محل پدید آمدن آن اثر به‌صورت صوتی به کاربر داده می‌شود، نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد کاربران از راهنمایی‌های فایل صوتی رضایت بیشتری نسبت به توضیحات افرادی که مسئولیت این کار را در موزه دارند، داشته‌اند. در [۴] روش EBIR با روش بازیابی تصویر مبتنی بر محتوا^۴ (CBIR) مقایسه شده است. روش EBIR از احساس کاربران برای طبقه‌بندی و بازیابی تصاویر استفاده می‌کند و نتایج نشان داده است که کاربران EBIR را به روش CBIR ترجیح می‌دهند. یکی از روش‌های ارزیابی کیفیت نقاشی، بررسی میزان شباهت نقاشی‌های کارآموزان با الگوی اصلی است. سپس با توجه به مقدار اندازه‌گیری‌شده مهارت کارآموز سنجیده می‌شود. لی و همکارانش [۵] برای ارزیابی خودکار کیفیت نقاشی‌ها، سیستمی را پیشنهاد داده و با طبقه‌بندی تصاویر به دو دسته باکیفیت و بی‌کیفیت گام اولیه‌ای در این حوزه برداشته‌اند. برای شناسایی تصاویر هنری اصل از جعلی در [۶] الگوریتمی بر مبنای محاسبه تراکم نخ در بوم نقاشی به‌کاربرده شده است. یکی از چالش‌های مهم برای مورخان هنرهای

باستانی تعیین مبدأ زمان و مکان نقاشی است. در این راستا ژو و همکاران [۷] با استفاده از استخراج ویژگی‌های ظاهری نقاشی این مسئله را بررسی کرده‌اند. در این کار برای طبقه‌بندی ویژگی‌ها از شبکه عصبی استفاده شده است.

شناسایی پدیدآورنده یک اثر هنری^۵ همواره یکی از چالش‌های هنری بوده است که در این فرایند شناسایی و تعیین هویت هنرمند از روی آثار او از طریق تطبیق، تمیز، شناخت و هر گونه واقعیتی که موجب شناخت هنرمند شود صورت می‌گیرد. شناسایی هنرمند تمرکز بر تکنیک‌های نقاش دارد و هدف آن بررسی آثار یک هنرمند بدون در نظر گرفتن دیگر هنرمندان به‌منظور شناخت اصل یا بدل بودن نقاشی است. به این منظور می‌توان از روش‌های آزمایشگاهی رایجی مانند فلورسانس اشعه ماورا بنفش، مادون قرمز، اشعه ایکس، نمونه رنگ، شمردن بافت بوم نقاشی و همچنین روش تجربی ارزیابی حرکت قلم‌موی هر نقاش بر روی بوم استفاده کرد، چراکه نوع ضرب‌آهنگ قلم‌موی نقاش بر روی بوم یک ویژگی منحصربه‌فرد نقاشان است. به‌کارگیری تکنیک‌های پردازش تصویر می‌تواند برای پاسخ به این چالش بسیار مؤثر باشد و راه‌حلی خودکار با دقت بالا و کاهش خطای تجربی ارائه نماید. جانسون و همکارانش [۸] با یک گروه تحقیقاتی در دانشگاه پرینستون، آنالیز تصاویر هنری را از سال ۲۰۰۸ آغاز کردند. این آنالیز به معنای شناسایی پدیدآورنده یک اثر هنری بوده است. مجموعه تصاویر به‌کاربرده شده در این تحقیق، شامل ۱۰۱ نقاشی باکیفیت بسیار بالا از ونسان ونگوگ در موزه ونگوگ و کرولر مولر^۶ در آمستردام است. از ۱۰۱ نقاشی ۸۲ تصویر متعلق به ونگوگ بوده و ۶ نقاشی دیگر متعلق به ونگوگ نیستند و پدیدآورنده ۱۳ تای دیگر نامعلوم است. تحقیقات انجام‌شده در [۹-۱۳] بر روی این پایگاه داده انجام شده است که هدف اصلی این تحقیقات تشخیص آثار اصل از بدل بوده است.

یکی دیگر از چالش‌های مطرح در حوزه آثار هنری استایلومتری^۷ یا تشخیص سبک هر هنرمند است. در این فرایند نکات اساسی و بررسی ویژگی‌های مؤثر در تفاوت‌ها، تغییرات و تنوع سبک هنری میان یک هنرمند و دیگران و یا یک سبک و دیگر سبک‌های هنری ارزیابی می‌گردد، هدف و اساس استایلومتری بر تفاوت و تمیز هنرمندان و یا سبک‌های هنری است. تکنیک‌های پردازش تصویر می‌تواند راه‌کار مؤثری برای این چالش باشد. کیم و همکارانش در [۱۴] با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر و اندازه‌گیری سه پارامتر رنگ‌های اختصاصی هر فرد، تنوع رنگ و میزان درخشندگی توانسته‌اند سبک هر هنرمند را با تکنیک‌های آماری متنوع از قبیل آنالیز فرکتال^۸، تکنیک‌های مبتنی بر موجک، روش پنهان مارکوف چندسطحی^۹، روش مبتنی بر هسته فیشر^{۱۰} و مدل کدگذاری اسپارس^{۱۱} شناسایی کنند. کارهای انجام‌شده به بررسی اثر نقاشان آسیای شرقی، اروپا و آمریکا پرداخته است و بر اساس دانش ما تاکنون ارزیابی آثار نقاشان ایرانی مبتنی بر تکنیک‌های پردازش تصویر گزارش نشده است. ما در این مقاله با ترکیبی از ویژگی‌های هیستوگرام گرادیدان جهت‌دار و الگوی باینری محلی روشی

می‌کند. سپس این ویژگی‌ها به یک شبکه عصبی تزریق شده‌اند و برای طبقه‌بندی هنرمندان متفاوت از روش مدل پنهان مارکوف چند جوابی^{۱۸} و ماشین بردار پشتیبان استفاده می‌شود، فیلتر گابور در [۱۸] نیز به کار برده شده است.

در [۱۹] برای طبقه‌بندی نقاشی‌های جوهری، از ویژگی گشتاور رنگ، که اختلاف رنگ یک ناحیه با نواحی دیگر را محاسبه می‌کند و همچنین اطلاعاتی در مورد بافت نقاشی‌ها مانند خطوط تصویر، زبری و یا صاف بودن آن‌ها استفاده شده است. در [۲۰] ویژگی‌ها توسط تبدیل موجک استخراج و نقاشی‌ها به صورت ترتیبی طبقه‌بندی شده‌اند. برای طبقه‌بندی سبک نقاشی‌های جوهری، در [۲۱] تبدیل کانتورلت به کار گرفته شده است. می‌جان سون و همکارانش در [۲۲] با استفاده از روش مونت کارلو برای استخراج ویژگی‌های بهینه و از SVM برای طبقه‌بندی نقاشی‌های جوهری استفاده کرده‌اند، شبکه‌های عصبی در [۲۳] برای طبقه‌بندی نقاشی‌های جوهری به کار برده می‌شود.

این مقاله به مسئله طبقه‌بندی سبک نقاشی هنرمندان ایرانی پرداخته است. تاکنون روش‌های بسیار زیادی برای استخراج ویژگی بافت تصاویر ارائه شده اما از میان روش‌های موجود الگوی باینری محلی^{۱۹} (LBP)، در شکل اصلی و بهبودیافته خود به دلیل پردازش ساده، پیاده‌سازی آسان و استخراج ویژگی‌های مناسب با دقت طبقه‌بندی بالا، مورد توجه بسیاری از متخصصان این زمینه قرار گرفته است. این ویژگی در طبقه‌بندی سبک نقاشان به کار برده نشده است و ما در این مقاله با استفاده از این ویژگی و ترکیب آن با ویژگی هیستوگرام گرادیان جهت‌دار^{۲۰} (HOG) به نتایج مطلوبی رسیده‌ایم.

۳- روش پیشنهادی

در این بخش روش پیشنهادی را جهت طبقه‌بندی سبک نقاشی پنج هنرمند ایرانی با نام‌های حسین بهزاد، کمال‌الملک، محمود فرشچیان، سهراب سپهری و مرتضی کاتوزیان معرفی می‌کنیم. روش پیشنهادی شامل دو مرحله استخراج ویژگی و طبقه‌بندی است، در ابتدا ویژگی‌های هر نقاشی استخراج شده و سپس با استفاده از دو طبقه‌بند SVM و KNN^{۲۱} سبک‌های هر هنرمند طبقه‌بندی می‌شوند.

۳-۱- استخراج ویژگی

ابتدا تمام تصاویر به سایز 100×100 تغییر سایز داده شده‌اند و علت این نرمال‌سازی در بخش ۴-۲ توضیح داده خواهد شد.

از دو نوع ویژگی HOG و LBP برای طبقه‌بندی سبک هر نقاش در این مقاله استفاده شده است. همان‌طور که در شکل ۱ مشخص است ویژگی‌های HOG و LBP به صورت مجزا از هر تصویر آموزش استخراج می‌شود، سپس این ویژگی‌ها با یکدیگر الحاق شده و ویژگی HOG-LBP به دست می‌آید که در ادامه فرایند به دست آوردن این ویژگی‌ها را توضیح می‌دهیم.

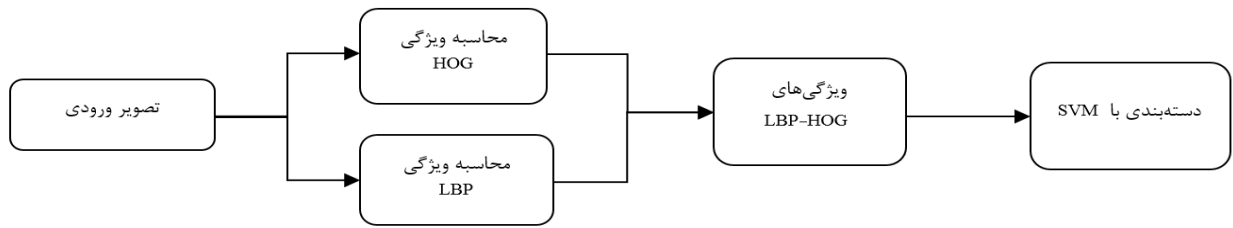
برای طبقه‌بندی سبک اثر پنج نقاش برجسته ایرانی حسین بهزاد، کمال‌الملک، مرتضی کاتوزیان، سهراب سپهری و محمود فرشچیان ارائه کرده‌ایم و برای طبقه‌بندی داده‌ها از دسته‌بند ماشین بردار پشتیبان^{۲۲} (SVM) استفاده شده است.

ساختار ادامه مقاله به شرح زیر است: مروری بر کارهای انجام شده در حوزه طبقه‌بندی سبک اثر هنری در بخش دوم تشریح شده است. در بخش سوم دو ویژگی استخراج شده بر اساس هیستوگرام گرادیان جهت‌دار و الگوی باینری محلی توضیح داده خواهد شد. خصوصیات سبک هر نقاش در پایگاه داده موجود به طور مختصر در بخش چهارم معرفی و همچنین نتایج آزمایش روش پیشنهادی بر روی پایگاه داده ارائه شده است. در پایان در بخش پنجم نتیجه‌گیری و کارهای آینده را بیان می‌کنیم.

۲- مرور کارهای انجام شده

همان‌گونه که در بالا اشاره شد شناسایی پدیدآورنده اثر هنری یکی از مسائل بسیار مهم در زمینه هنر است که به روش‌های تجربی و آزمایشگاهی کارهایی در این زمینه انجام شده است. البته کارهای محدودی بر اساس تکنیک‌های پردازش تصویر در این حوزه پیشنهاد شده است. شناسایی سبک علاوه بر اینکه روشی مستقل برای شناسایی سبک‌ها یا هنرمندان است به عنوان ابزاری برای شناسایی نقاش استفاده می‌شود و می‌توان از نتایج آن در شناسایی نقاش استفاده کرد، مجموعه پایگاه داده‌های شناسایی سبک معمولاً به آسانی در دسترس عموم هستند. یکی دیگر از امتیازات این مسئله حجم پایین محاسبات پردازشی آن است. از این رو، محققان معمولاً به بررسی و تحلیل این چالش می‌پردازند. روش‌های مختلفی که در این زمینه پیشنهاد شده است مبتنی بر ویژگی‌های سطح پایین تصویر مانند هیستوگرام رنگ، اشکال هندسی و ویژگی‌های بافتی تصویر بوده است.

جو و آگروال در [۱۵] برای مقایسه نقاشی‌ها با یکدیگر ویژگی‌هایی مانند هیستوگرام رنگ و گرادیان مکان را استخراج نموده و سپس آنالیز مؤلفه‌های اصلی^{۲۳} (PCA) را برای کاهش ابعاد بردار ویژگی مورد استفاده قرار داده‌اند. در ادامه برای طبقه‌بندی سبک‌های نقاشی از طبقه‌بندهای متفاوت مانند SVM، بیز ساده^{۱۴}، آنالیز تفکیک‌کننده خطی^{۱۵}، رگرسیون منطقی^{۱۶} و K-Means استفاده کرده‌اند. مجموعه تصاویر هنری مورد استفاده در [۱۶] شامل نقاشی‌هایی از دینگ شاولوگان، مونت، زی بی‌هانگ، چی بایشی، ونگوگ و ماتیس می‌باشند که در آن چهار ویژگی بر مبنای تبدیل کانتور^{۱۷} با شش مقیاس برای هر نقاش بررسی شده است. شنگ و همکاران در [۱۷] یک الگوریتم برای طبقه‌بندی خودکار نقاشی‌هایی که با جوهر به وجود آمده‌اند را ارائه می‌دهند، که در آن دو نوع ویژگی سراسری و محلی استخراج شده است. ویژگی‌های سراسری با استفاده از هیستوگرام تصویر به منظور ذخیره‌سازی ضرب‌آهنگ حرکت قلم‌مو بر روی بوم به وجود آمده و فیلتر گابور ویژگی محلی را استخراج



شکل ۱: ساختار کلی روش پیشنهادی

۲-۳- هیستوگرام گرادیان جهت‌دار

هیستوگرام گرادیان جهت‌دار یک روش موفق در شناسایی شیء و شناسایی انسان در تصویر است [۲۴-۲۶]. محاسبه هیستوگرام گرادیان جهت‌دار شامل سه مرحله است که در شکل ۲ نشان داده شده است، ابتدا تصاویر با استفاده از کرنل‌های سوبل^{۲۲} در جهت x و y فیلتر می‌شود تا گرادیان تصویر در راستای x و y به دست آید.

$$G_x = I \times D_x \quad (1)$$

$$G_y = I \times D_y \quad (2)$$

در رابطه (۱) و (۲) I تصویر اصلی، D_x و D_y کرنل‌های سوبل در راستای x و y ، G_x و G_y گرادیان تصویر در راستای x و y و علامت (\times) عمل کانولوشن را نشان می‌دهد. در مرحله دوم اندازه و جهت گرادیان در هر پیکسل برای سه فضای رنگی (R, G, B) محاسبه می‌شود و بیشترین مقدار به‌عنوان اندازه گرادیان آن پیکسل انتخاب می‌شود، گرادیان هر پیکسل با توجه به رابطه (۳) و (۴) به دست می‌آید.

$$|G(i, j)| = \sqrt{(G_x(i, j))^2 + (G_y(i, j))^2} \quad (3)$$

$$\theta_G(i, j) = \tan^{-1}\left(\frac{G_y(i, j)}{G_x(i, j)}\right) \quad (4)$$

که قدر مطلق G اندازه گرادیان، θ_G جهت گرادیان و i و j به ترتیب نشان‌دهنده شماره سطر و ستون پیکسل‌ها هستند. در مرحله سوم یک سلول به اندازه 8×8 پیکسل را در نظر گرفته و در ۹ بین هیستوگرام سلول را اندازه‌گیری می‌کنیم. هر بلوک از چهار سلول تشکیل می‌شود و مجموعاً هر بلاک شامل هیستوگرامی با حداکثر ۳۶ بین است که برای نرمال‌سازی از روش L2-Hys استفاده می‌شود.

۳-۳- الگوی باینری محلی

عملگر دیگری که در نظر گرفته شده LBP است. برای هر پیکسل، 8 همسایه آن را در شعاع R در نظر می‌گیریم. برای مثال موقعیت (i, j) را در نظر بگیرید. بردار اختصاص‌یافته به این موقعیت را h_{ij} می‌نامیم. سپس فاصله اقلیدسی^{۲۳} بین بردار h_{ij} و هر یک از 8 بردار متناظر با همسایه‌های آن را مقایسه می‌کنیم. علاوه بر آن، مقدار میانگین این 8 فاصله را نیز به دست می‌آوریم و آن را d_{av} می‌نامیم. اگر فاصله بین هر یک از بردارهای همسایه و بردار h_{ij} از d_{av} بیشتر یا مساوی باشد، به آن مقدار یک و در غیر این صورت صفر اختصاص می‌دهیم. بنابراین برای هر موقعیت پیکسل، یک رشته باینری 8 رقمی به دست می‌آید [۲۷].

با تبدیل این رشته باینری به معادل دهدهی آن که مقداری در محدوده $0-255$ خواهد بود، مقدار کد برای آن پیکسل به دست خواهد آمد. به‌طور خلاصه این روش کدگذاری را می‌توان با رابطه (۵) بیان کرد.

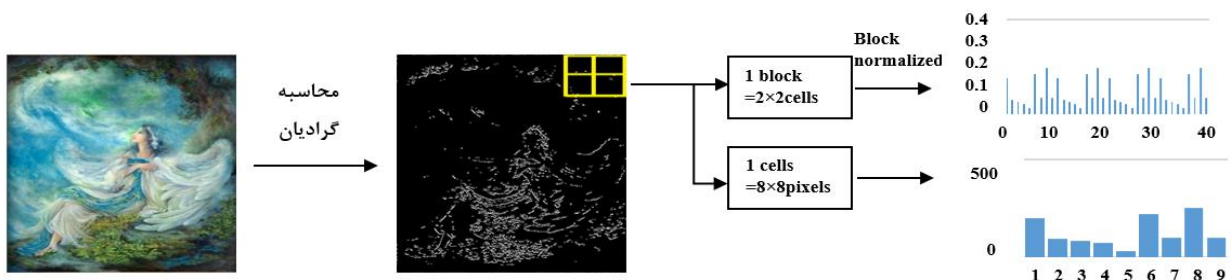
$$GHBP_{w,R}(i, j) = \sum_{k=1}^8 f(d(h_k, h_{ij})) \cdot 2^{k-1} \quad (5)$$

در این رابطه، h_k بردار همسایه موقعیت (i, j) و $d(i, j)$ فاصله اقلیدسی بین بردارها را نشان می‌دهد. تابع f نیز در رابطه (۶) تعریف می‌شود.

$$f(x) = \begin{cases} 1, & x \geq d_{av} \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (6)$$

این روش کدگذاری در شکل ۳ نشان داده شده است. شکل ۳-الف یک پیکسل و 8 همسایه آن را در شعاع R ، و شکل ۳-ب نحوه کدگذاری این هیستوگرام را نشان می‌دهد.

در شکل ۳-ب در مربع سمت چپ، یک بلاک 3×3 که پیکسل مرکزی آن با شدت 100 است و هشت همسایه آن نشان داده شده، در تصویر سمت راست شکل ۳-ب با الگوی باینری محلی این بلاک، با استفاده از رابطه (۶) را نشان می‌دهد.



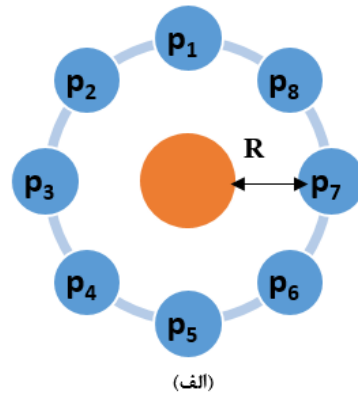
شکل ۲: فرایند استخراج ویژگی HOG

۴- ارزیابی

برای ارزیابی کارایی الگوریتم پیشنهادی یک پایگاه داده از نقاشان ایرانی تهیه شده که در این بخش معرفی شده است. سپس در ادامه، نتایج به دست آمده از پیاده‌سازی الگوریتم و تحلیل آن‌ها ارائه شده است.

۴-۱- پایگاه داده

برای ارزیابی الگوریتم، پایگاه داده‌ای از تصاویر نقاشی‌های پنج نقاش معروف ایرانی با نام‌های حسین بهزاد، کمال‌الملک، محمود فرشچیان، سهراب سپهری و مرتضی کاتوزیان تهیه شده است. تعداد تصاویر نقاشی‌های استاد بهزاد ۲۴^{۲۴}، کمال‌الملک ۷۹^{۲۵}، کاتوزیان ۸۳^{۲۶}، فرشچیان ۵۰^{۲۷} و سپهری ۲۸^{۲۸} است که از سایت‌های معتبر این هنرمندان دانلود شده‌اند.^{۲۹} در شکل ۴ برخی از این تصاویر نشان داده شده‌اند. در ادامه مختصری از سبک‌های این هنرمندان را بیان می‌کنیم. حسین بهزاد بسیاری از ریزه‌کاری‌های زائد مینیاتور را استفاده نمی‌کند. در آثار او حالات و روحیات اشخاص مشخص است. در کارهای مینیاتوری گذشته سایه وجود نداشت بهزاد سایه را وارد مینیاتور کرد و در رنگ‌آمیزی هم ابتکار داشت. سهراب سپهری در آثار نقاشی‌اش رویکرد نوین و متفاوتی داشت به طوری که فرم‌های هندسی نخودی و خاکستری رنگش با تمامی نقاشان فیگوراتیو همزمانش متفاوت بود. محمود فرشچیان بنیان‌گذار مکتب خود در نقاشی ایرانی است. وی با تلفیق جذاب نقاشی سنتی و مدرن، که ترکیبات سبک منحصر به فرد او در نقاشی است، خود را معرفی کرد. برخی از توانایی‌های او نقوش محرک، خلق فضاهای گرد، خطوط نرم و قدرتمند و خلق رنگ‌های موج است. کمال‌الملک رویدادها، اشخاص، ساختمان‌ها، باغ‌ها و پرندگان را نقاشی می‌کرد. سبک نقاشی مرتضی کاتوزیان رئالیسم است، وی هر اتفاق حقیقی را به تصویر می‌کشد.



(الف)

58	25	165	0	0	1
120	100	110	1		1
150	235	130	1	1	1

(ب)

00111111 → 127

شکل ۳: (الف) نمایش سلول متناظر با یک پیکسل و ۸ همسایه آن در شعاع R. (ب) کدگذاری به روش LBP.

با اعمال این روش کدگذاری برای همه پیکسل‌های تصویر، تصویر گذشته به دست می‌آید. در نهایت از تصویر گذشته هیستوگرام با ۲۵۶ بین محاسبه می‌شود. در این روش ویژگی‌های استخراج شده از روش‌های HOG و LBP به یکدیگر الحاق می‌شوند و بردار ویژگی ترکیب دو ویژگی را تشکیل می‌دهند.



(ج)

(ب)

(الف)

(ه)

(د)

شکل ۴: برخی از تصاویر پایگاه داده، (الف) شش نقاشی از محمود فرشچیان، (ب) شش نقاشی از مرتضی کاتوزیان، (ج) شش نقاشی از حسین بهزاد، (د) شش نقاشی از کمال‌الملک، (ه) چهار نقاشی از سهراب سپهری

۴-۲- نتایج آزمایش

معنی‌دار بودن الگوریتم‌ها، انحراف معیار حاصل از ۱۰۰ تکرار محاسبه شده‌اند.

ابتدا با استفاده از دسته‌بند SVM صحت طبقه‌بندی هر جفت هنرمند محاسبه می‌شود، نتایج حاصل از این طبقه‌بندی در جدول ۱ قرار دارد. در ستون اول جدول ۱ نتایج حاصل از ویژگی هیستوگرام ۲۵۶ سلولی از تصاویر بدون کاهش در فضای رنگی را نشان می‌دهد. همچنین در ستون دوم هیستوگرام به ۱۸ سلول تقسیم شده است و نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصاویر در ۱۲ سلول در ستون سوم قرار دارند. در ستون چهارم از ویژگی مبتنی بر فیلتر گابور و همچنین حجم رنگ غالب نقاشی استفاده شده است و در ستون‌های دیگر به ترتیب صحت به دست آمده از ویژگی HOG، LBP، HOG-LBP و قرار دارد.

ماشین بردار پشتیبان داده‌ها با ابعاد بالا را به وسیله هسته انتقال به صورت خطی در فضای جدید به گونه‌ای قرار می‌دهد که تفکیک پذیری در بیشترین حالت باشد که در کاربردهای مختلف به کار برده شده و همواره از کارایی بالایی برخوردار است [۲۸]. روش ماشین بردار پشتیبان یک روش حاشیه بیشینه بوده و با وجودی که میزان حاشیه بین ابر صفحه و نقاط کلاس‌ها را می‌توان نشانگری از قابلیت تعمیم به حساب آورد، اما نمی‌توان ادعا کرد که این روش بیشترین تعمیم را بین روش‌های دسته‌بندی در حالت کلی دارد. به علاوه از جمله نقاط مثبت طبقه‌بند SVM می‌توان رسیدن به بهینه سراسری تابع هزینه، تعیین خودکار ساختار و توپولوژی بهینه برای طبقه‌بندی و به امکان استفاده از مرزهای غیرخطی اشاره کرد [۲۸].

برای ارزیابی ابتدا ویژگی‌های تصاویر پایگاه داده استخراج شده است. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شد ویژگی HOG برای تعیین شیء در نقاشی و خصوصیت LBP به عنوان ویژگی محلی دو ویژگی هستند که برای طبقه‌بندی سبک اثر نقاشی انتخاب شده‌اند. در این ارزیابی ۷۰ درصد از تصاویر هر هنرمند به عنوان داده آموزشی و ۳۰ درصد به عنوان داده آزمایش در نظر گرفته شده‌اند. در جدول ۲ نتایج طبقه‌بندی سبک‌ها با استفاده از روش SVM بر روی هفت نوع ویژگی هیستوگرام ۲۶۵ سلولی [۱۵]، هیستوگرام ۱۸ سلولی [۱۵]، هیستوگرام ۱۲ سلولی [۱۵]، فیلتر گابور [۱۸]، HOG [۱۵]، LBP و HOG-LBP خلاصه شده است. در [۱۵] از هیستوگرام رنگ استفاده شده و علت استفاده از ویژگی هیستوگرام یافتن رنگ‌هایی است که هر نقاش بیشتر استفاده کرده است و همچنین میزان استفاده از آن رنگ‌ها نیز پارامتر دیگری است که مورد بررسی قرار می‌گیرد. در مقاله [۱۸] از ویژگی مبتنی بر فیلتر گابور و همچنین حجم رنگ غالب نقاشان استفاده شده است و طبقه‌بندی سبک نقاشان با استفاده از طبقه‌بند SVM صورت گرفته است. دو ویژگی مورد ارزیابی این مقاله پارامترهای شناسایی اشیا رسم شده در تصویر و ویژگی بافت نقاشی‌ها است که توسط الگوریتم‌های HOG و LBP اندازه‌گیری می‌شوند. نتایج ارائه شده از میانگین گیری ۱۰۰ اجرای تکرار شده در هر روش به دست آمده است و داده‌های آموزش و آزمایش به صورت تصادفی انتخاب شده‌اند، همچنین برای مشاهده پراکندگی داده‌ها و

جدول ۱: طبقه‌بندی نقاشی‌های هر جفت نقاش توسط SVM

HOG-LBP		LBP		[۱۵] HOG		[۱۸]		هیستوگرام ۱۲ سلولی [۱۵]		هیستوگرام ۱۸ سلولی [۱۵]		هیستوگرام ۲۵۶ سلولی [۱۵]		میانگین M و انحراف معیار S
S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	
۳/۴۶	۹۲/۹۷	۲/۴۳	۹۵/۵۲	۳/۴۳	۹۲/۹۷	۵/۳۶	۹۴/۷۳	۴/۹۳	۸۶/۷۸	۳/۱۸	۸۴/۰۵	۲/۱۹	۸۳/۷۶	بهزاد-کمال‌الملک
۲/۲۵	۹۵/۶۷	۱/۴۸	۹۸/۳۴	۲/۶۱	۹۴/۳۵	۲/۱۲	۹۲/۲۷	۳/۵۴	۸۵/۲۶	۵/۴۳	۸۵/۲۶	۰/۸۶	۸۴/۷۶	بهزاد-فرشچیان
۰/۶۱	۹۹/۶۷	۰/۷۷	۹۹/۴۴	۰/۶۰	۹۹/۸۴	۰/۶۱	۹۹/۶۵	۱/۵۹	۹۸/۳۷	۱/۶۶	۹۸/۳۷	۲/۹۷	۹۸/۲۰	بهزاد-سپهری
۱/۲۷	۹۸/۰۰	۱/۳۰	۹۸/۴۲	۲/۳۱	۹۲/۰۶	۲/۳۱	۹۰/۱۱	۱/۷۷	۸۸/۴۵	۱/۸۱	۸۵/۳۵	۳/۰۸	۸۶/۵۱	بهزاد-کاتوزیان
۱/۹۸	۹۶/۵۲	۱/۶۰	۹۶/۱۷	۲/۱۲	۹۵/۱۴	۱/۸۲	۹۶/۶۰	۲/۵۰	۹۱/۹۰	۲/۷۹	۹۰/۳۱	۲/۴۸	۸۹/۲۱	کمال‌الملک-فرشچیان
۱/۴۵	۹۶/۹۹	۱/۴۵	۹۷/۶۳	۰/۹۷	۹۸/۷۰	۱/۱۴	۹۷/۶۸	۱/۱۸	۹۷/۵۳	۱/۹۵	۹۶/۵۶	۱/۷۱	۹۶/۵۷	کمال‌الملک-سپهری
۲/۶۵	۸۷/۰۷	۲/۹۸	۸۳/۸۳	۱/۷۲	۹۲/۸۲	۲/۶۶	۸۳/۷۵	۲/۷۲	۸۶/۰۹	۳/۰۵	۸۵/۶۶	۳/۰۱	۸۵/۰۵	کمال‌الملک-کاتوزیان
۰/۹۷	۹۹/۲۲	۰/۶۰	۹۹/۸۳	۱/۱۱	۹۸/۹۳	۰/۶۹	۹۹/۲۸	۱/۶۸	۹۷/۳۱	۱/۲۳	۹۸/۲۸	۱/۸۷	۹۶/۸۷	فرشچیان-سپهری
۱/۴۵	۹۷/۷۲	۱/۵۸	۹۷/۳۷	۱/۷۶	۹۶/۰۶	۲/۵۸	۹۶/۶۶	۳/۱۵	۸۷/۵۰	۲/۶۹	۸۶/۱۰	۳/۲۹	۸۵/۷۲	فرشچیان-کاتوزیان
۰/۶۸	۹۹/۲۳	۱/۰۳	۹۷/۶۵	۰/۷۶	۹۹/۷۰	۰/۸۷	۹۹/۰۸	۰/۷۱	۹۹/۱۸	۰/۴۸	۹۹/۴۹	۱/۰۶	۹۸/۹۳	سپهری-کاتوزیان

جدول ۲: طبقه‌بندی نقاشی‌ها توسط SVM

میانگین		مرتضی کاتوزیان		سهراب سپهری		محمود فرشچیان		کمال‌الملک		حسین بهزاد		میانگین M و انحراف معیار S
S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	
۲/۱۱	۹۰/۵۵	۱/۹۳	۸۹/۰۵	۱/۹۰	۹۷/۶۴	۲/۱۲	۸۹/۱۴	۲/۳۴	۸۸/۶۵	۲/۲۷	۸۸/۳۰	هیستوگرام ۲۵۶ سلولی [۱۵]
۲/۴۲	۹۰/۹۳	۲/۰۰	۸۹/۱۵	۱/۳۳	۹۸/۱۷	۳/۰۳	۸۹/۹۸	۲/۷۴	۸۹/۱۴	۳/۰۲	۸۸/۲۵	هیستوگرام ۱۸ سلولی [۱۵]
۲/۳۴	۹۱/۸۳	۲/۰۸	۹۰/۳۰	۱/۲۹	۹۸/۱۰	۲/۷۱	۹۰/۴۹	۲/۶۹	۹۰/۵۷	۲/۹۵	۸۹/۷۱	هیستوگرام ۱۲ سلولی [۱۵]
۲/۵۰	۹۴/۹۸	۲/۱۰	۹۲/۴۰	۰/۸۲	۹۸/۹۲	۲/۱۵	۹۶/۲۰	۲/۷۴	۹۳/۱۹	۲/۲۰	۹۴/۱۹	[۱۸]
۱/۷۳	۹۶/۰۵	۱/۶۳	۹۵/۱۶	۰/۸۶	۹۹/۳۰	۱/۹	۹۶/۱۲	۲/۰۶	۹۴/۹۰	۲/۲۳	۹۴/۸۰	HOG [۱۵]
۱/۵۱	۹۶/۴۱	۱/۷۲	۹۴/۳۱	۰/۹۶	۹۸/۶۴	۱/۳۱	۹۷/۹۲	۲/۱۱	۹۳/۲۸	۱/۴۷	۹۷/۹۳	LBP
۱/۶۶	۹۶/۳۰	۱/۵۱	۹۵/۵۱	۰/۹۲	۹۸/۷۷	۱/۶۶	۹۷/۲۸	۲/۳۸	۹۳/۳۸	۱/۸۷	۹۶/۵۷	HOG-LBP

رنالیسم است. مقادیر انحراف معیار نشان می‌دهد که کمترین مقدار انحراف معیار مربوط به بهترین الگوریتم در هر شناسایی سبک بوده است.

نتایج به‌دست آمده در جداول ۱ و ۲ نشان می‌دهند که روش‌های مبتنی بر هیستوگرام [۱۵] که در آن رنگ‌های استفاده شده هر هنرمند استخراج می‌شود و روش مبتنی بر فیلتر گابور [۱۸] موفقیت کمتری نسبت به الگوریتم‌های HOG، LBP و HOG-LBP دارند.

برای انتخاب بهترین سائز تصاویر در یک آزمایش تمامی تصاویر را به سائزهای ۱۰۰×۱۰۰، ۲۰۰×۲۰۰ و ۳۰۰×۳۰۰ پیکسل تغییر سائز داده و با استفاده از دسته‌بند SVM سبک نقاشی‌ها را طبقه‌بندی کردیم و همچنین زمان اجرای الگوریتم‌های پیشنهادی برای هر سائز به‌صورت مجزا اندازه‌گیری شده‌اند. در جدول ۳ صحت طبقه‌بندی و مدت‌زمان شناسایی هر جفت هنرمند توسط دسته‌بند SVM مشاهده می‌شود. صحت به‌دست آمده نشان می‌دهد که با افزایش ابعاد ماتریس دقت الگوریتم افزایش می‌یابد.

در بیان معایب این روش نیز می‌توان به عدم وجود قانون کلی برای انتخاب تابع هسته و پارامترها و تأثیر منفی داده‌های دور افتاده بر روی مرزها اشاره کرد. طبقه‌بندی آثار هر هنرمند به‌صورت میانگین در جدول ۲ قرار داده شده است. همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود برای طبقه‌بندی آثار هنرمندان بهزاد و فرشچیان روش LBP صحت بیشتری داشته است. بهزاد سایه را وارد مینیاتور کرد و آثار او روحیات اشخاص را نشان می‌دهد. فرشچیان با رسم فضاهای گرد، خطوط نرم و قدرتمند و همچنین به‌کار بردن رنگ‌های مختص به‌خود آثارش را خلق کرده است. در طبقه‌بندی آثار کمال‌الملک، عملگر HOG بهترین نتایج را دارد که این هنرمند در اکثر آثار خود اشخاص، ساختمان‌ها و پرندگان را نقاشی کرده است. در آثار سهراب سپهری الگوریتم HOG بیشترین صحت را دارد وی در آثارش فرم‌های هندسی متفاوت با هنرمندان هم‌عصرش پدید می‌آورد و همچنین رنگ‌های نخودی و خاکستری‌رنگ مخصوص به‌خود را داشت. روش HOG-LBP برای طبقه‌بندی آثار کاتوزیان بالاترین صحت را بیان می‌کند، سبک نقاشی‌های کاتوزیان

جدول ۳: مقایسه صحت و مدت زمان الگوریتم‌های HOG، LBP و HOG-LBP بر روی سائزهای مختلف تصاویر

HOG-LBP				LBP				HOG				میانگین M و زمان T						
۳۰۰×۳۰۰		۲۰۰×۲۰۰		۱۰۰×۱۰۰		۳۰۰×۳۰۰		۲۰۰×۲۰۰		۱۰۰×۱۰۰								
M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T							
۹۱/۳۹	۳/۱۸	۹۲/۵۵	۱/۳۶	۹۲/۹۷	۰/۳۲	۹۶/۲۸	۰/۰۴	۹۱/۲۰	۰/۰۳	۹۵/۵۲	۰/۰۳	۹۷/۰۷	۲/۲۰	۹۶/۴۴	۰/۹۹	۹۲/۹۷	۰/۲۱	بهزاد-کمال‌الملک
۹۷/۱۵	۲/۳۴	۹۶/۴۴	۱/۰۲	۹۵/۶۷	۰/۲۳	۹۷/۸۱	۰/۰۳	۹۹/۱۰	۰/۰۳	۹۸/۳۴	۰/۰۳	۹۶/۶۰	۲/۳۹	۹۵/۸۴	۱/۰۳	۹۴/۳۵	۰/۲۳	بهزاد-فرشچیان
۱۰۰	۳/۲۳	۱۰۰	۱/۴۲	۹۹/۶۷	۰/۳۸	۹۸/۷۷	۰/۰۳	۹۹/۱۴	۰/۰۳	۹۹/۴۴	۰/۰۲	۱۰۰	۳/۲۴	۱۰۰	۱/۴۲	۹۹/۸۴	۰/۳۱	بهزاد-سپهری
۹۵/۲۵	۳/۳۳	۹۷/۳۰	۱/۴۹	۹۸/۰۰	۰/۳۳	۹۲/۲۹	۰/۰۳	۹۹/۰۱	۰/۰۳	۹۸/۴۲	۰/۰۳	۹۴/۵۴	۳/۳۶	۹۴/۸۶	۱/۴۶	۹۲/۰۶	۰/۳۲	بهزاد-کاتوزیان
۹۷/۲۶	۳/۸۴	۹۷/۱۳	۱/۶۸	۹۶/۵۲	۰/۳۶	۹۹/۶۷	۰/۰۴	۹۷/۵۴	۰/۰۴	۹۶/۱۷	۰/۰۳	۹۵/۶۲	۲/۸۰	۹۵/۸۶	۱/۲۰	۹۵/۱۴	۰/۲۶	کمال‌الملک-فرشچیان
۹۸/۷۳	۴/۷۹	۹۸/۱۱	۲/۳۹	۹۶/۹۹	۰/۴۴	۹۸/۱۱	۰/۰۵	۹۷/۳۲	۰/۰۵	۹۷/۶۳	۰/۰۴	۹۹/۱۴	۳/۷۳	۹۹/۱۵	۱/۶۳	۹۸/۷۰	۰/۳۶	کمال‌الملک-سپهری
۸۵/۳۷	۴/۷۴	۸۶/۹۷	۲/۲۴	۸۷/۰۷	۰/۴۷	۸۸/۳۶	۰/۰۶	۸۵/۸۴	۰/۰۵	۸۳/۸۳	۰/۰۴	۹۹/۰۸	۳/۸۵	۹۲/۷۴	۱/۷۲	۹۲/۸۲	۰/۳۵	کمال‌الملک-کاتوزیان
۹۹/۵۴	۳/۶۷	۹۹/۶۸	۱/۶۲	۹۹/۲۲	۰/۳۶	۹۸/۸۰	۰/۰۹	۹۹/۳۶	۰/۰۴	۹۹/۸۳	۰/۰۳	۹۹/۶۷	۳/۳۶	۹۹/۶۰	۱/۶۲	۹۸/۹۳	۰/۳۵	فرشچیان-سپهری
۹۷/۷۳	۳/۸۳	۹۸/۱۳	۱/۷۰	۹۷/۷۲	۰/۳۶	۹۷/۸۵	۰/۰۳	۹۷/۷۱	۰/۰۳	۹۷/۳۷	۰/۰۳	۹۷/۳۰	۳/۸۸	۹۶/۹۸	۱/۶۸	۹۶/۰۶	۰/۳۶	فرشچیان-کاتوزیان
۹۹/۴۱	۴/۸۰	۹۹/۳۷	۲/۴۵	۹۹/۲۳	۰/۴۸	۹۷/۸۱	۰/۰۵	۹۷/۸۷	۰/۰۴	۹۷/۶۵	۰/۰۳	۹۹/۴۲	۴/۷۴	۹۹/۳۷	۲/۱۰	۹۹/۷۰	۰/۴۴	سپهری-کاتوزیان
۹۶/۸۱	۳/۷۷	۹۶/۵۶	۱/۷	۹۶/۳۱	۰/۳۷	۹۶/۵۷	۰/۰۵	۹۶/۴۸	۰/۰۴	۹۶/۴۲	۰/۰۳	۹۷/۸۴	۳/۳۸	۹۷/۰۸	۱/۶۱	۹۶/۰۶	۰/۲۹	میانگین

جدول ۴ ماکزیمم مقدار و مقدار میانگین این طبقه‌بندی را نشان می‌دهد که با توجه به آن بهترین نتیجه از روش LBP به دست آمده است. نمودار شکل ۵ نتایج به دست آمده از دو طبقه‌بند SVM و KNN را بر روی شش نوع ویژگی هیستوگرام ۲۵۶ سلولی، هیستوگرام ۱۸ سلولی، هیستوگرام ۱۲ سلولی، HOG، LBP و HOG-LBP نشان می‌دهد، که بیشترین صحت در هر دو روش LBP دارد. صحت روش LBP دسته‌بند SVM، ۹۵/۴۸٪ و با دسته‌بند KNN ۷۸/۹۶٪ است، مقادیر به دست آمده در آزمایش‌ها نشان می‌دهند که روش KNN برای طبقه‌بندی سبک نقاشان دسته‌بند مناسبی نیست.

۵- نتیجه‌گیری و کارهای آینده

در این مقاله برای اولین بار به مسئله طبقه‌بندی سبک نقاشان ایرانی پرداخته شد. الگوریتم پیشنهادی از دو ویژگی HOG، LBP و ترکیبی از هر دو استفاده می‌نماید. ویژگی HOG برای شناسایی شیء در تصویر به کار برده می‌شود و ویژگی LBP نیز یک ویژگی محلی است که به کار برده شده است. سهراب سپهری شکل هندسی یکسانی در نقاشی‌های خود ترسیم کرده است و اکثر نقاشی‌های کمال‌الملک از چهره اشخاص و پرندگان بوده و بیشترین صحت طبقه‌بندی آثار این دو نقاش توسط الگوریتم HOG است. سبک مینیاتور در نقاشی‌های حسین بهزاد و محمود فرشچیان به کار می‌رود که هر دو هنرمند ترجیحات رنگی مخصوص به خود دارند. برای طبقه‌بند آثار این دو هنرمند بهترین روش LBP است و در سبک رئالیسم که سبک مرتضی کاتوزیان است بهترین صحت از روش HOG-LBP به دست آمده است.

همچنین، رابطه مستقیمی بین ابعاد تصاویر و مدت زمان اجرای الگوریتم مشاهده می‌شود. اگر کارایی را به شکل نسبت صحت طبقه‌بندی بر زمان اجرای الگوریتم تعریف کنیم آنگاه در تمامی الگوریتم‌های پیشنهادی، کارایی تصاویر با سایز ۱۰۰×۱۰۰ از دیگر سایزها بیشتر بوده، بنابراین برای نرمال‌سازی تصاویر این سایز انتخاب شده است.

جهت انجام یک ارزیابی دقیق‌تر از الگوریتم پیشنهادی، طبقه‌بندی سبک‌ها به روش KNN^{۲۹} انجام شده است. این دسته‌بند که در کاربردهای متفاوت به کار می‌رود [۲۹]، داده آزمایش را در کلاسی قرار می‌دهد که نزدیک‌ترین کلاس به آن داده باشد، نزدیک‌ترین همسایه با توجه به پارامتری که به عنوان معیار قرار گرفته شده است انتخاب می‌شود. این فاصل معمولاً فاصله اقلیدسی است که در رابطه (۷) نشان داده شده است.

$$d_{eucl}(x, t) = \sqrt{\sum_{i=1}^m d_{eucl}^i(x, t)} \quad (7)$$

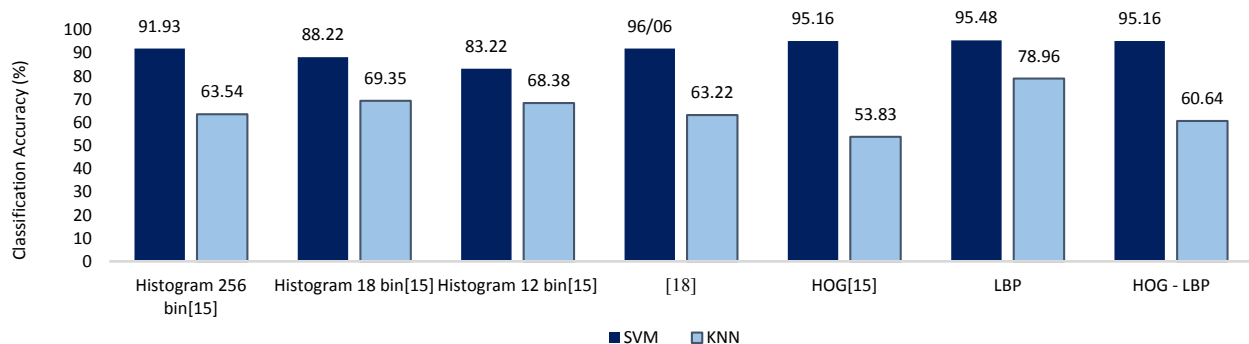
d در رابطه بالا فاصله داده آزمایش t با تمامی داده‌های آموزش x است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$d_{eucl}^i(x, t) = (a_i(x) - a_i(t))^2 \quad (8)$$

قابلیت درک بالا و عدم نیاز به ایجاد فرضیه روی داده‌ها از نکات مثبت این طبقه‌بند است و اما مشکل این طبقه‌بندی تعیین تعداد همسایگان (k) به وسیله کاربر است که در آزمایش‌های انجام شده بهترین تعداد همسایه انتخاب شده است [۳۰].

جدول ۴: طبقه‌بندی نقاشی‌ها توسط SVM و KNN

LBP - HOG		LBP		[۱۵]HOG		[۱۸]		هیستوگرام ۱۲ سلولی [۱۵]		هیستوگرام ۱۸ سلولی [۱۵]		هیستوگرام ۲۵۶ سلولی [۱۵]		میانگین M و انحراف معیار S
S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	
۱/۴۲	۹۵/۱۶	۱/۱۴	۹۵/۴۸	۲/۸۵	۹۵/۱۶	۴/۲۸	۹۱/۹۳	۱/۲۸	۸۳/۲۲	۱/۱۴	۸۸/۰۶	۱/۲۱	۹۱/۹۳	SVM
۱/۷۱	۶۰/۶۴	۱/۲۸	۷۸/۹۶	۵/۷۱	۵۳/۸۳	۱/۳۵	۶۳/۲۲	۱/۹۹	۶۸/۳۸	۱/۱۴	۶۹/۳۵	۴/۲۸	۶۳/۵۴	KNN



شکل ۵: نمودار درصد درستی طبقه‌بندی نقاشی هر هنرمند به روش‌های هیستوگرام ۲۵۶ سلولی، هیستوگرام ۱۸ سلولی، هیستوگرام ۱۲ سلولی، HOG، LBP و HOG-LBP با استفاده از دسته‌بند SVM و KNN

- [12] H. Qi and S. Hughes, "A New Method for Visual Stylometry of Impressionist Paintings," *Conf. Acoustics, Speech, and Signal Processing*, pp. 2036 – 2039, 2011.
- [13] H. Liu, R. Chan and Y. Yao, "Geometric tight frame based stylometry for art authentication of van Gogh paintings," *Applied And Computational Harmonic Analysis*, vol. 41, no. 2, pp. 590-602, 2015.
- [14] D. Kim, S. Son and H. Jeong, "Large-scale quantitative analysis of painting arts," *Scientific Reports 4: 7370*, 2014.
- [15] J. Jou and S. Agrawal, *Artist identification for renaissance paintings*, 2011, https://www.cs.duke.edu/~sendeep/research_files/artist_identification_fall2011.pdf.
- [16] Z. Yi, P. Yuanyuan, H. Yaqun, X. Dan and Q. Wenhua, "Feature extraction and analysis for scientific understanding of visual art," *International Conference on Computer-Aided Design and Computer Graphics (CAD/Graphics)*, pp. 411 – 412, 2013.
- [17] Sheng and J. Chuan, "An effective approach to identify digitized IWPs (ink and wash paintings)," *5th International Congress on Image and Signal Processing, Chongqing*, pp. 407– 410, 2012.
- [18] G. Condorovici, C. Florea, C. Vertan, "Automatically classifying paintings with perceptual inspired descriptors," *Visual Communication and Image Representation*, vol. 26, no. 3, pp. 222-230, 2015.
- [19] C. Liu, D. Univ, "Classification of traditional chinese paintings based on supervised learning methods," *Signal Processing, IEEE International Conference on Communications and Computing*, pp. 411-412, 2014.
- [20] T. Wu, G. Polatkan, D. Steel, W. Brown, I. Daubechies and R. Calderbank, "Painting analysis using wavelets and probabilistic topic models," *20th IEEE International Conference on Image Processing*, pp. 3264 – 3268, 2013.
- [21] C.R. Jacobsen, M. Nielsen, "Stylometry of paintings using hidden Markov modelling of contourlet transforms," *Signal Processing*, vol. 93, no. 3, pp. 579 – 591, 2013.
- [22] M. Sun, D. Zhang, Z. Wang, J. Ren and J. Jin, "Monte carlo convex hull model for classification of traditional chinese paintings," *Neurocomputing*, vol. 171, no. 1, pp. 788-797, 2016.
- [23] J. Sheng and J. Jiang, "Recognition of Chines eartists via windowed and entropy balanced fusion inclassification of their authored ink and wash paintings" *Pattern Recognition*, vol. 47, no. 2, pp. 612-622, 2014.
- [24] N. Dalal and B. Triggs, "Histograms of oriented gradients for human detection", *IEEE Conference Comput. Vis. Pattern Recognit*, vol. 1, no. 1, pp. 886-893, 2005.
- [25] Q. Zhu, M. C. Yeh, K. T. Cheng and S. Avidan, "Fast human detection using a cascade of histograms of oriented gradients," *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, vol. 2, no. 1, pp. 1491-1498, 2006.
- [26] L. Zhang, B. Wu and R. Nevatia, "Pedestrian detection ininfrared images based on local shapefeatures," *International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Minneapolis*, vol. 58, no. 1, pp. 1-8, 2007.
- [27] L. Nanni, A. Lumini and S. Brahnam, "Survey on LBP based texture descriptors for image classification." *J. Expert Syst. Appl.*, vol. 39, no. 13, pp. 3634–3641, 2012.

[۲۸] محمدرضا اکبر زاده توتونچی، سیدعابد حسینی و محمدباقر نقیبی سیستانی، «ارزیابی حالت توجه انتخابی دیداری به کمک تحلیل پتانسیل‌های وابسته به رویداد مغزی»، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، دوره ۴۶، شماره ۱، ۱۳۹۵.

از سوی دیگر نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از دسته‌بند SVM صحت طبقه‌بندی سبک نقاشی با روش‌های HOG، HOG-LBP و LBP به ترتیب ۹۵/۱۶، ۹۵/۴۸ و ۹۵/۱۶ با صد تکرار و میانگین هر تکرار است. ویژگی بافت نقاشی از ویژگی‌های رنگ در طبقه‌بندی سبک نقاشان ایرانی کارآمدتر بوده و در کارهای آینده می‌توان معیارهای بیشتر و جامع‌تری مانند ویژگی‌های اشکال هندسی رسم شده و ضرب‌آهنگ نوع قلم‌زنی هر نقاش و یا ترکیبی از آن‌ها را در نظر گرفت.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از دانشجویان دکتری خانم‌ها مریم تقی زاده و بهناز پروانه که در مراحل مختلف این پژوهش نگارندگان را کمک کرده‌اند سپاسگزاری می‌شود.

مراجع

- [1] K. Barnard, P. Duygulu and D.Forsyth, "Clustering art," *Computer Vision and Pattern Recognition*, vol. 2, no. 1, pp. 434-441, 2001.
- [2] Ch. Wallraven, R. Fleming, D. Cunningham, J. Rigau, M. Feixas and M. Sbert, "Categorizing art: comparing humans and computers," *Computers & Graphics*, vol. 33, no. 4, pp. 484–495, 2009.
- [3] K. Changa, C. Changa, H. Houb, Y. Sungc, H. Chaod and C. Lee, "Development and behavioral pattern analysis of a mobile guide system with augmented reality for painting appreciation instruction in an art museum," *Computers & Education*, vol. 71, no. 1, pp. 185–197, 2014.
- [4] J. Machajdik and A. Hanbury, "Affective image classification using features inspired by psychology and art theory," *Proceedings of the international conference on Multimedia*, pp. 83-92, 2010.
- [5] C. Li and T. Chen, "Aesthetic visual quality assessment of paintings," *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, , vol. 3, no. 2, pp. 236 – 252, 2009.
- [6] D. Johnson, C. Klein, A. Sethares, W. Lee and H. Hendriks, "A thread counting algorithm for art forensics," *DSP Workshop, Marco Island*, pp. 679 – 684, 2009.
- [7] Q. Zou, Y. Cao, Q. Li, Ch. Huang and S. Wang, "Chronological classification of ancient paintings using appearanceand shape features," *Pattern Recognition Letters*, vol. 49, no. 1, pp. 146–154, 2014.
- [8] R. Johnson, E. Hendriks, J. Bereznoy, E. Brevdo, S. M.Hughes, I. Daubechies, J. Li, E. Postma and J. Z. Wang, "Image processingfor artist identification: computerized analysis of Vincent vanGogh’s painting brushstrokes," *IEEE Signal Process*, vol. 25, no. 4, pp. 37–48, 2008.
- [9] B. Chen, G. Sapiro, G. Blei, D. Dunson and L. Carin, "Deep learning with hierarchical convolutional factor analysis," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 35, no. 8, pp. 1887-1901, 2013.
- [10] J. Hughes, M. Dong Mao, D. Rockmore, N. Yang Wang and Q. Wu "Empirical mode decomposition analysis for visual stylometry," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 34, no. 11, pp. 2147-2157, 2012.
- [11] J. Li, L. Yao and H. Wang, "Rhythmic brushstrokes distinguish van Gogh from his contemporaries: findings via automated brushstroke extraction," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 34, no. 6, pp. 1159 – 1176, 2012.

[30] N. Verbiest, C. Cornelis and R.Jensen, "Fuzzy rough Positive region based Nearest Neighbour Classificaton," *IEEE World congress on Computational Intelligence*, pp. 1961-1967, 2012.

[۲۹] رضا خدایی، محمدعلی بالافر و سیدناصر رضوی، «اثربخش بسط پرس‌وجو مبتنی بر خوشه‌بندی استاد شبه بازخورد با الگوریتم KNN»، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، دوره ۴۶، ۱، ۱۳۹۵.

زیرنویس‌ها

- ¹ Clustering
- ² Mobile Augmented Reality
- ³ Emotion Base Image Retrieval
- ⁴ Content Base Image Retrieval
- ⁵ Artist Identification
- ⁶ Kroller Muller
- ⁷ Strylometry
- ⁸ Fractal
- ⁹ Multi Resolution Hidden Markov
- ¹⁰ Fisher
- ¹¹ Spars
- ¹² Support Vector Machine
- ¹³ Principal Component Analysis
- ¹⁴ Naïve Bayes
- ¹⁵ Linear Discriminant Analysis
- ¹⁶ Logistic Regression
- ¹⁷ Curvelet
- ¹⁸ Multi-Resolution Hidden Markov Models
- ¹⁹ Local Binary Pattern
- ²⁰ Histogram of Oriented Gradient
- ²¹ K-Nearest Neighbors Algorithm
- ²² Sobel
- ²³ Euclidean Distance
- ²⁴ persianpaintings.com
- ²⁵ kamalalmolk.info
- ²⁶ mortezaakatouzian.com
- ²⁷ farschchianart.com
- ²⁸ sohrabsephri.org
- ²⁹ تاریخ بازدید سایت‌ها ۹۴/۹/۲۴
- ³⁰ Bin
- ³¹ K-nearest neighbors