

روش تطبیق زمینه شکل وفقی برای بازشناسی تصویری اشیاء

زهرا حسین نژاد

گروه مهندسی برق- واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی- شیراز- ایران
پست الکترونیکی: hoseinnejad.zahra@yahoo.com

حامد آگاهی*

گروه مهندسی برق- واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی- شیراز- ایران
پست الکترونیکی: Agahi@iaushiraz.ac.ir

آذر محمودزاده

گروه مهندسی برق- واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی- شیراز- ایران
پست الکترونیکی: azar_mahmoodzadeh@yahoo.com

چکیده

عملکرد بازشناسی تصاویر دودویی را نسبت به الگوریتم پایه بهبود داده، بلکه با به کارگیری روش‌های آماری به جای روش‌های بهینه سازی، باعث انتقال کلیه محاسبات به مرحله آموزش و در نتیجه کاهش پیچیدگی محاسباتی در مرحله آزمون گردیده است. نتایج شبیه‌سازی تصدیق کننده برتری روش پیشنهادی نسبت به سایر روش‌های کلاسیک است.

واژه‌های کلیدی: بازشناسی اشیاء، توصیف‌گر زمینه شکل، شناسایی لبه، نقاط نشانه، کاهش ابعاد

۱- مقدمه

بازشناسی اشیاء^۱ عبارت از یافتن یا تعیین ماهیت یک شیء مشاهده شده در یک تصویر در بین مجموعه‌ای از تصاویر مشخص یا دنباله‌های ویدئویی است [۱]. بازشناسی اشیاء یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین مسائل در بینایی ماشین و پردازش تصویر است که در بسیاری

روش تطبیق زمینه شکل یک روش متداول در بازشناسی اشیاء است. این الگوریتم با محاسبه هیستوگرام قطبی برای نقاط نشانه، نسبت به تغییرات مقیاس، چرخش و انتقال مقاوم می‌باشد. در عین حال، مهم‌ترین نقاط ضعف آن، تعدد نقاط نشانه تکراری و زمان اجرای بالای الگوریتم است. با هدف ارتقای عملکرد این الگوریتم، در این مقاله پس از استخراج پیکسل‌های لبه، تصویر پنجره‌بندی شده و فاصله لبه‌ها از یکدیگر در هر پنجره محاسبه می‌شود. آنگاه برای دو نقطه بیش از حد آستانه نزدیک، یکی بر اساس یک معیار مشخص حذف می‌شود. سپس برای نقاط باقی‌مانده، توصیف‌گر زمینه شکل تولید می‌شود. در ادامه، ابعاد بردار توصیف‌گر با استفاده از روش‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی کرنل و تحلیل جداساز فیلتر کرنل کاهش می‌یابد. در نهایت برای شناسایی اشیاء، از توصیف‌گر زمینه شکل کاهش‌یافته به‌عنوان ورودی الگوریتم‌های بازشناسی استفاده شده است. رویکرد پیشنهادی نه تنها

از کاربردهای صنعتی چون پردازش مستندات، تشخیص هویت و بسیاری از زمینه‌های دیگر کاربرد دارد [۲، ۳]. با توجه به کاربردهای متنوع این فرآیند، در سال‌های اخیر طیف گسترده‌ای از پژوهش‌ها بر این حوزه متمرکز شده و الگوریتم‌ها و روش‌های مختلفی در راستای بهبود عملکرد آن ارائه شده است. در عین حال، هنوز مشکلاتی همچون تغییرات روشنایی، چرخش، انتقال، تغییر مقیاس، انسداد و نوفه تصاویر می‌تواند منجر به کاهش کارایی یا تداخل عمده در فرایند بازشناسی اشیاء شود [۴]. فرایند بازشناسی اشیاء شامل سه مرحله اصلی استخراج و توصیف ویژگی‌ها، تطبیق ویژگی‌ها و طبقه‌بندی آن‌ها می‌باشد [۵]. استخراج و توصیف ویژگی‌ها، یک مرحله بسیار مهم در بازشناسی اشیاء است، به طوری که حتی قوی‌ترین روش‌های شناسایی نیز بدون در اختیار داشتن توصیف مناسب از ویژگی‌ها با مشکل مواجه می‌شوند [۶]. الگوریتم‌های استخراج و توصیف ویژگی‌ها باید در برابر تغییرات هندسی و رادیومتریکی مقاوم باشند و از طرف دیگر مطلوب است که پیچیدگی محاسباتی آن‌ها نیز پایین باشد. ارائه یک روش موثر برای استخراج و توصیف ویژگی‌ها که بتواند پاسخگوی تمامی خواسته‌های یاد شده باشد، بسیار دشوار است. لذا همواره یک رابطه معکوس میان کارایی و پیچیدگی در هر الگوریتم استخراج ویژگی وجود دارد.

الگوریتم تطبیق زمینه شکل ۲، یکی از معروف‌ترین روش‌های شناسایی و توصیف است که در سال‌های اخیر به‌طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است [۳، ۷]. در سال ۲۰۰۲ بیلانگی و همکارانش این الگوریتم را به‌عنوان یک توصیف‌گر مقاوم نسبت به تغییرات مقیاس، چرخش و انتقال پیشنهاد کردند [۸]. این الگوریتم در بازشناسی اشیاء [۹]، ردیابی شیء [۱۰]، بازیابی تصویر [۱۱]، تصویر برداری پزشکی [۱۲] و شناسایی افراد با استفاده از خصوصیات زیست‌سنجی [۱۳] کاربرد دارد. الگوریتم زمینه شکل توصیف‌گری است که شکل مورد نظر را بر

2- Shape Context

اساس موقعیت نسبی نقاط نمونه‌برداری شده بر روی لبه‌های توصیف می‌کند. این توصیف حاصل محاسبه اندازه فاصله و زاویه هر نقطه لبه نسبت به نقاط دیگر و تبدیل آن به هیستوگرام قطبی-لگاریتمی می‌باشد. استفاده از موقعیت نسبی نقاط، ایده کلیدی و نقطه قوت این الگوریتم محسوب می‌گردد و باعث می‌شود یک توصیف‌گر قوی، دقیق و با قابلیت جداسازی بالا به دست آید. در [۱۴] از الگوریتم زمینه شکل برای محاسبه هیستوگرام قطبی-لگاریتمی و تعیین توزیع احتمال رنگ در تصویر به منظور بازشناسی افراد با استفاده از رنگ لباس استفاده شده است. در [۱۵] با ترکیب روش زمینه شکل و رگرسیون خطی، شناسایی افراد بر اساس خصوصیات بیومتریک انجام شده است. در [۱۶] شناسایی اشیاء با ترکیب الگوریتم زمینه شکل و الگوریتم برنامه‌ریزی پویا انجام شده است. این روش منجر به تطبیق دقیق دو شکل مدل و هدف، و در نهایت افزایش نرخ شناسایی شده است.

با توجه به معایب الگوریتم زمینه شکل کلاسیک از جمله کارایی پایین در تصاویر رنگی و زمان اجرای بالا، این روش عملکرد مناسبی در تطبیق بیدرنگ تصویر و به دنبال آن بازشناسی اشیاء به صورت برخط ندارد. از این‌رو، الگوریتم‌های بهبودیافته زمینه شکل پیشنهاد شده‌اند که تلاش کرده‌اند برخی از مشکلات الگوریتم پایه را کاهش دهند. لینگ و همکاران [۱۷] با ایجاد تغییر در نحوه محاسبات فاصله و زاویه زمینه شکل، یک توصیف‌گر جدید به نام زمینه شکل فاصله داخلی ارائه نمودند. در این توصیف‌گر به جای محاسبه فاصله اقلیدسی، از فاصله داخلی و به جای استفاده از زاویه میان نقاط، از زاویه داخلی استفاده شده است؛ این کار افزایش سرعت و نرخ بازیابی را در پی داشته است. گانگ و همکاران [۱۸] برای بازشناسی چهره از ترکیب الگوریتم متراکم تبدیل ویژگی مقیاس ثابت^۳ و الگوریتم زمینه شکل استفاده کرده‌اند. این روش در بازشناسی چهره در تصاویری که میزان

3- Dynamic Programming

4- Scale-invariant Feature Transformation (SIFT)

روشنایی آن‌ها پایین است، عملکرد موثری دارد. دیپلاروس و همکاران [۱۹] توصیف‌گری جدیدی بر مبنای الگوریتم زمینه شکل ارائه کردند که در آن از ترکیب اطلاعات رنگ و شکل جهت بازشناسی اشیاء استفاده شده است. این روش در بازشناسی تصاویر رنگی موثر می‌باشد. کومار و همکاران [۲۰] از شناساگر کُنی، توصیف‌گر زمینه شکل و فاصله کانبرا به ترتیب جهت استخراج لبه‌ها، توصیف و تطبیق ویژگیها برای کاربرد بازشناسی اعداد استفاده کردند. وانگ و همکاران [۲۱] برای بهبود بازشناسی لوگو از توصیف‌گر زمینه شکل و شبکه عصبی پیچشی بهره بردند. لی و همکاران [۲۲] توصیف‌گر بهبود یافته زمینه شکل جهت بازشناسی عابرپیاده شبانه ارائه کردند. در این توصیف‌گر از اطلاعات جهت برای توصیف استفاده می‌کنند. اسعاری و همکاران [۲۳] برای ارتقا بازشناسی اشیاء از توصیف‌گر زمینه شکل سه بعدی استفاده کردند. مانی و همکاران [۲۴] توصیف‌گر زمینه شکل جدیدی براساس گرداب خارج از جریان استوانه‌ه جهت بازشناسی اشیاء ارائه کردند. کومار و همکاران [۲۵] برای بهبود بازشناسی اشیاء از شناساگر کُنی، توصیف‌گر زمینه شکل و فاصله هاسدورف به ترتیب جهت استخراج لبه‌ها، توصیف و تطبیق ویژگی‌ها استفاده کردند. ژنگ و همکاران [۲۶] توصیف‌گری جدیدی بر مبنای الگوریتم زمینه شکل ارائه کردند که در آن، ابتدا هیستوگرام توصیف‌گر زمینه شکل مبتنی بر فاصله داخلی محاسبه می‌شود و سپس به کمک تبدیل‌های ویولت و فوریه به توصیف‌گری دو بعدی تبدیل می‌شود. این توصیف‌گر، در بازشناسی اشیاء نرخ بازیابی و سرعت بالایی دارد.

یکی از مشکلات الگوریتم زمینه شکل و نسخه‌های بهبود یافته آن، شناسایی تعداد زیادی نقطه نشانه است که اکثر آن‌ها دارای اطلاعات تکراری و زائد هستند. تعدد این نقاط منجر به کاهش کارایی فرآیند بازشناسی اشیاء می‌شود. یک ایده سنتی، انتخاب برخی نقاط نشانه و حذف سایرین بر اساس روش‌های نمونه‌برداری به صورت یکنواخت و

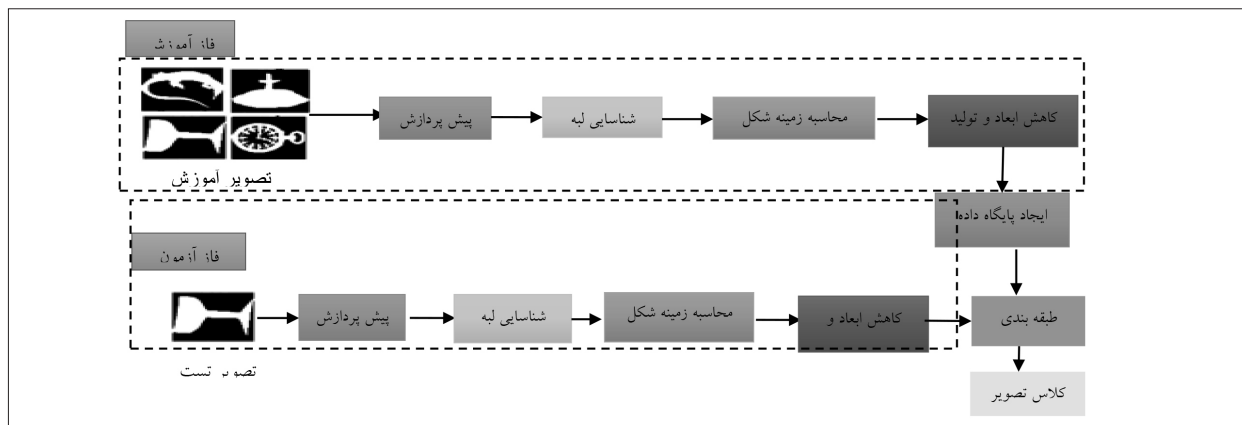
5- Conformal Vortex Induced Flow Based Shape Descriptor

با فرکانس معین بوده است. مهم‌ترین نقیصه این روش‌ها اینست که ممکن است بعضی از نقاط نشانه مهم که در بازشناسی اشیاء از اهمیت بالایی برخوردار هستند (مانند نقاط واقع بر گوشه‌ها)، حذف شوند. مشکل تعدد نقاط نشانه تولید شده توسط الگوریتم زمینه شکل، انگیزه بخش این مقاله جهت پیشنهاد الگوریتم زمینه شکل بهبودیافته برای شناسایی نقاط نشانه موثر و ارتقای کارایی سیستم بازشناسی اشیاء استفاده شد. در روش پیشنهادی، بعد از شناسایی لبه‌ها توسط الگوریتم کُنی، تصویر پنجره بندی شده و فاصله نقاط از یکدیگر در هر پنجره محاسبه می‌شود. برای دو نقطه که فاصله آن‌ها از یک مقدار آستانه معین کمتر است، یکی از آن نقاط (به‌عنوان نقطه زائد) حذف می‌شود. این روش سبب حذف ویژگی‌های تکراری و در نهایت افزایش دقت بازشناسی اشیاء و افزایش سرعت اجرا می‌شود.

پس از یافتن بهترین مجموعه نقاط نشانه (لبه‌های باقی‌مانده) توسط الگوریتم زمینه شکل بهبود یافته پیشنهادی، سعی می‌شود امکان بازشناسی با کارایی بالا و هزینه محاسباتی کم فراهم شود. برای نیل به این هدف، مراحل بهینه‌سازی در روش‌های شناسایی شیء مبتنی بر زمینه شکل حذف می‌شود و به جای آن از روش‌های آماری همچون تحلیل مؤلفه‌های اصلی کرنل^۶ و تحلیل جداساز فیشر کرنل^۷ جهت کاهش ابعاد توصیف‌گرها استفاده می‌شود. این امر پیچیدگی محاسباتی حاصل از مقایسه دو ماتریس زمینه شکل (که دارای ابعاد بزرگی هستند) را به نحو چشمگیری کاهش می‌دهد. این کاهش پیچیدگی به لطف انتقال کلیه محاسبات به مرحله آموزش و در نتیجه کاهش بار محاسباتی در مرحله آزمون به دست می‌آید. به عبارت دیگر در الگوریتم پیشنهادی، به جای مقایسه زمینه شکل تصویر ورودی با انبوهی از زمینه‌های شکل موجود در پایگاه داده از طریق حداقل کردن هزینه تطابق، کافی است به کمک فاصله اقلیدسی فاصله بردارهای کاهش بعد یافته

6- Kernel Principal Components Analysis

7- Kernel Fisher Discriminant Analysis



شکل ۱: نمودار روش پیشنهادی

توصیف می‌شود. مراحل پیش‌پردازش و محاسبه زمینه شکل در مراحل آموزش و آزمون یکسان است. سپس با استفاده از الگوریتم‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی کرنل و تحلیل جداساز فیشر کرنل، بردارهای ویژگی متمایز مربوط به هر تصویر بر اساس توصیف‌گرها در یک فضای غیرخطی، محاسبه و در پایگاه داده ذخیره می‌شوند. در نهایت فاصله بردار آزمون با تک تک بردارهای موجود در پایگاه داده آموزشی بر اساس معیار فاصله اقلیدسی محاسبه می‌شود. آنگاه از روش نزدیک‌ترین همسایگی با $K=5$ برای این بردارها استفاده می‌شود تا تعیین شود تصویر آزمون به کدام رده تصاویر شبیه‌تر است و در نتیجه به کدام رده تعلق دارد.

۲-۱. پیش‌پردازش

در این مرحله، ابتدا ابعاد کلیه تصاویر به اندازه 170×200 یکسان‌سازی می‌شود. سپس لبه‌های شیء مورد نظر با استفاده از روش کنی [۲۹] استخراج می‌شود.

۲-۲. زمینه‌شکل بهبودیافته

زمینه شکل یک توصیف‌گر مبتنی بر کانتور است که شیء مورد نظر را با استفاده از اطلاعات لبه‌های آن توصیف می‌کند [۸]. این روش با محاسبه موقعیت نسبی نقاط نمونه برداری شده بر روی لبه‌های شیء، قادر است توصیفی نسبتاً دقیق از آن ارائه دهد. استفاده از موقعیت نسبی نقاط سبب می‌شود زمینه شکل در برابر اثرات تغییر

آن‌ها با یکدیگر مقایسه شوند. لذا حذف مراحل بهینه‌سازی و جایگزین نمودن آن‌ها با روش‌های شناسایی آماری می‌تواند هم به دقت قابل قبول و قوام مناسب بودن در برابر تغییرات هندسی [۲۷] و تغییر شکل‌های غیرخطی [۲۸] منجر گردد و هم کارایی روش زمینه شکل را به‌عنوان یک روش مبتنی بر کانتور به منظور استفاده در سیستم‌های بیدرنگ ارتقا دهد.

سازمان‌دهی ادامه مقاله به این صورت است: در بخش دوم به شرح مراحل روش پیشنهادی جهت بازشناسی اشیاء پرداخته شده است. سپس در بخش سوم در خصوص نحوه اجرای این روش، نتایج به‌دست آمده و بحث و تحلیل نتایج توضیح داده شده است. در نهایت، در بخش چهارم، به نتیجه‌گیری و پیشنهادها پرداخته می‌شود.

۲- روش پیشنهادی

در این بخش فرآیند بازشناسی اشیاء در چهار مرحله، مطابق شکل (۱) شرح داده می‌شود. مطابق شکل، در مرحله آموزش، الگوریتم مورد نظر با استفاده از مجموعه‌ای از تصاویر، آموزش داده می‌شود، سپس در مرحله آزمون، تعلق هر تصویر ورودی جدید به یک رده خاص اعلام می‌شود. در مرحله پیش‌پردازش، ابتدا ابعاد تصاویر یکسان‌سازی می‌شود و سپس لبه‌های تصاویر با استفاده از الگوریتم کنی شناسایی می‌شود. در مرحله بعد، ویژگی‌ها با استفاده از توصیف‌گر زمینه شکل بهبودیافته پیشنهادی

مقیاس، انتقال و چرخش مقاوم باشد. تعدد ویژگی‌های تولید شده در این روش منجر به پیچیدگی محاسباتی بالا و تداخل در فرآیند بازشناسی اشیاء می‌شود. از اینرو در این مقاله، روش زمینه شکل بهبود یافته برای بازشناسی اشیاء پیشنهاد شد که در ادامه به جزییات آن پرداخته می‌شود. شکل (۲) فرآیند محاسبه زمینه شکل را نشان می‌دهد که در آن فرض بر این است که شیء مورد نظر را بتوان به وسیله یک مجموعه گسسته و متناهی از نقاط لبه توصیف کرد [۴].

مرحله اول: یک پنجره مربعی با ابعاد 10×10 ایجاد می‌شود و به صورت غیر همپوشان، روی کل صفحه دودویی نمایش‌دهنده لبه‌ها حرکت داده می‌شود. ابعاد پنجره به صورت تجربی و با توجه به تعدد و توزیع مکانی لبه‌ها در تصاویر آموزشی به نحوی در نظر گرفته شده که در هر پنجره غیر تهی (دارای نقاط لبه)، حدوداً کمتر از یک چهارم نقاط موجود (۲۵ عدد)، نقطه لبه باشند. برای هر نقطه لبه، فاصله اقلیدسی تا سایر نقاط لبه موجود در پنجره محاسبه می‌شود.

مرحله دوم: شاخص مجموع مربعات فواصل^۹ بین هر پیکسل لبه و سایر لبه‌ها در پنجره مطابق رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$SSD(p_b) = \sum_{i=1}^M d^2(p_b, p_i) \quad (1)$$

در این رابطه، M تعداد پیکسل‌های لبه در پنجره و $d(p_b, p_i)$ فاصله اقلیدسی بین پیکسل‌های لبه p_b و p_i است.

مرحله سوم: یک مقدار آستانه (چهار پیکسل)، جهت حذف افزونگی پیکسل‌های لبه تعیین می‌شود. برای هر دو پیکسل نزدیک به هم در یک پنجره، اگر فاصله این پیکسل‌ها از آستانه موردنظر کمتر باشد، در این صورت یکی از دو پیکسل لبه، زائد در نظر گرفته شده و باید حذف شود. از میان این دو، پیکسل لبه‌ای که شاخص مجموع مربعات فواصل آن کوچکتر است، حذف می‌شود. بر اساس تعدد و توزیع مکانی لبه‌های کشف شده در تصاویر آموزشی، مقدار سطح آستانه به صورت تجربی به نحوی انتخاب

شده که بین ۹۰ تا ۱۲۰ نقطه لبه به روش فوق باقی بماند. **مرحله چهارم:** از آنجا که با اعمال مراحل اول تا سوم به تصاویر مختلف، تعداد نقاط لبه متفاوت خواهد بود لازم است عملیاتی انجام شود که در نتیجه آن تعداد نقاط نهایی در همه تصاویر، ثابت (هشتاد عدد) باشد. از این رو، نقاط لبه باقی‌مانده بر اساس مجموع مربعات فواصل آن از بزرگ به کوچک مرتب‌سازی می‌شود. آنگاه هشتاد نقطه اول حفظ شده و بقیه حذف می‌شوند. پیکسل‌های لبه باقیمانده به عنوان «نقاط نشانه» در نظر گرفته می‌شود.

مرحله پنجم: برای هر نقطه نشانه، فاصله اقلیدسی و زاویه تا همه نقاط نشانه در کل تصویر محاسبه شده و سپس نرمالیزه می‌شود. آنگاه این مقادیر به یک دستگاه مختصات قطبی-لگاریتمی تصویر شده و هیستوگرام فاصله و زاویه برای آن نقطه نشانه به صورت یک ماتریس زمینه شکل محاسبه می‌شود. با کنار هم گذاشتن سطرهای ماتریس زمینه شکل (بردارای سازی)^{۱۰}، یک بردار سطری برای آن نقطه نشانه به دست می‌آید. در این مقاله تعداد پنج بین برای مقدار لگاریتمی فاصله و دوازده بین برای زاویه اختصاص داده شده است که در این حالت هیستوگرام مورد استفاده در مجموع شامل شصت بین می‌باشد. همچنین تعداد هشتاد نقطه نشانه از روش پیشنهادی تعیین شده است.

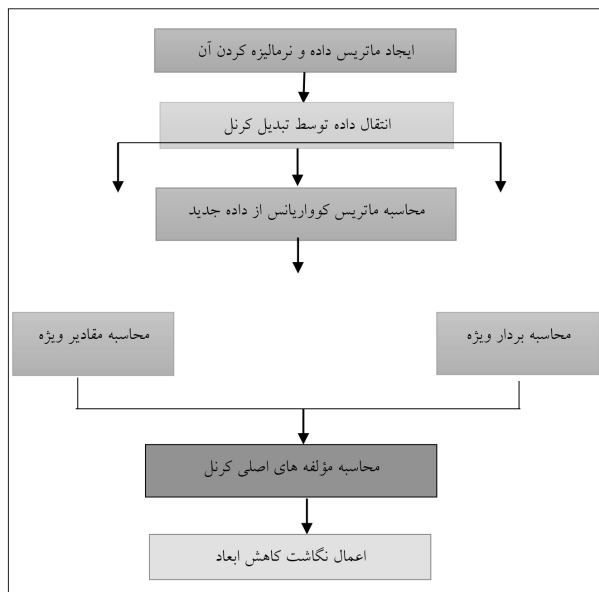
مرحله ششم: با قرار دادن بردارهای سطری زیر هم به ترتیب شاخص مجموع مربعات فواصل (از بزرگ به کوچک)، ماتریس زمینه شکل کل تصویر با ابعاد 80×60 ایجاد می‌شود که با برداری‌سازی، یک بردار بزرگ به نام بردار ویژگی^{۱۱} با ابعاد 4800×1 به دست می‌آید. مقدار هر درایه، نشانگر توزیع مقدار قطبی-لگاریتمی در بین مربوطه برای هر نقطه نشانه است. در مراحل بعد، از این بردارها به منظور یافتن شباهت میان دو شکل استفاده خواهد شد.

۳-۲. کاهش ابعاد و طبقه‌بندی

ابعاد بردار ویژگی به دست آمده در مرحله قبل بسیار

10- Vectorization
11-Feature Vector

9- Sum of Square Distances (SSD)

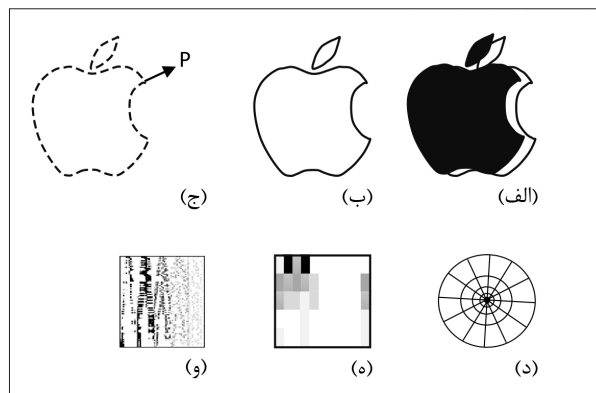


شکل ۳: نمودار تحلیل مؤلفه‌های اصلی کرنل

بردار ویژه و زمینگی زمینگی شکل بهبود یافته) توسط تابع کرنل و ماتریس‌های نگاشت، به فضای ویژه و ویژه‌گی کاهش یافته تصویر می‌شود. روش تحلیل جداساز کرنل فیشر به عنوان یک روش غیرخطی قادر است آن دسته از داده‌هایی که در فضای خطی تفکیک‌پذیری مطلوبی ندارند را با استفاده از کرنل به فضایی غیرخطی نگاشت کرده و سپس در فضای جدید ویژه‌گی‌هایی که قابلیت تمایز بیشتری میان کلاس‌ها ایجاد می‌کنند را انتخاب و حفظ نماید و سایر ویژه‌گی‌ها را حذف کند.

۲-۳-۳ تطبیق

برای تصاویر پایگاه داده آموزشی، پس از استخراج بیکسل‌های لبه تصاویر و اعمال روش زمینگی شکل بهبود یافته، بردار ویژه به کمک الگوریتم‌های کاهش بعد به فضای جدید کاهش می‌یابد و هر بردار ویژه‌گی کاهش یافته به عنوان بردار متناظر هر تصویر ورودی در یک پایگاه داده آموزشی ذخیره می‌شود. آنگاه برای هر تصویر در مرحله آزمون، ابتدا لبه‌ها استخراج شده و روش زمینگی شکل بهبود یافته اعمال می‌شود. سپس بعد بردار ویژه‌گی کاهش می‌یابد تا بردار ویژه‌گی جدید به دست آید. آنگاه فاصله این بردار با تک تک بردارهای موجود در پایگاه داده آموزشی بر اساس معیار فاصله اقلیدسی محاسبه



شکل ۲: مراحل الگوریتم زمینگی شکل. (الف) شکل اصلی، (ب) تعیین نقاط لبه (ج) کاهش نقاط لبه توسط روش پیشنهادی (د) تعیین دستگاه مختصات قطبی-لگاریتمی (ه) ماتریس زمینگی شکل هر نقطه نشانه (و) ماتریس زمینگی شکل کل تصویر

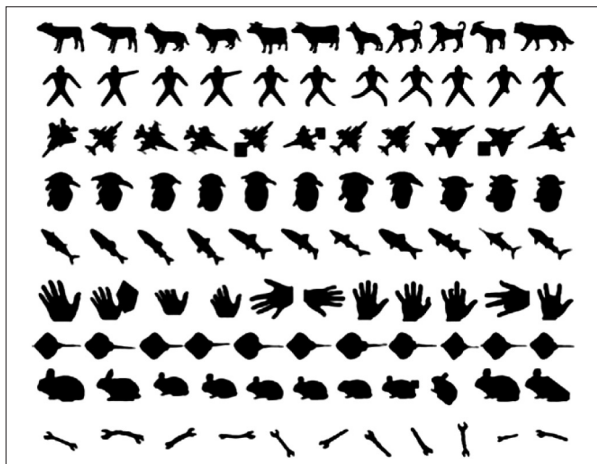
بالا است. این منجر به پیچیدگی محاسباتی زیاد و دشواری در طراحی و آموزش مدل طبقه‌بندی می‌شود. از این رو، در این مرحله بردار ویژه‌گی به صورت جداگانه به الگوریتم‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی کرنل و تحلیل جداساز فیشر کرنل داده می‌شود تا بردار ویژه‌گی با طول کاهش یافته ایجاد شود. شایان ذکر است طول این بردارهای کاهش یافته برای همه تصاویر ثابت است. در ادامه این دو الگوریتم کاهش ابعاد مختصراً بیان می‌شود.

۲-۳-۱ تحلیل مؤلفه‌های اصلی کرنل

تحلیل مؤلفه‌های اصلی کرنل، یکی از روش‌های کاهش بعد بر اساس ایده خوشه‌بندی می‌باشد. در این روش بدون نظارت^{۱۲} غیرخطی، هدف انتقال داده‌ها از یک فضای بعد بالا به یک فضای جدید با ابعاد پایین‌تر با استفاده از یک نگاشت غیرخطی کرنل است [۳۰]. در این روش، با توجه به بردارهای ویژه ماتریس کوواریانس داده‌ها در فضای غیرخطی، سعی می‌شود که راستهایی با بیشترین پراکندگی ویژه‌گی‌ها تعیین شوند. سپس چندین راسا با بیشترین پراکندگی انتخاب می‌شود و هر بردار اصلی به یک بردار با ابعاد کوچک‌تر در این فضای جدید تصویر می‌شود.

۲-۳-۲ تحلیل جداساز فیشر کرنل

در این روش، داده‌های گرفته شده از هر تصویر



شکل ۵: پایگاه داده Kimia-99 [۳۴]

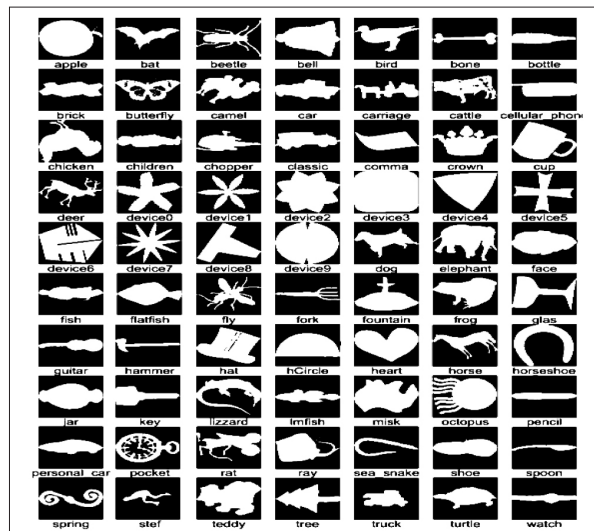
۳-۱ پایگاه داده

پایگاه داده MPEG-7 شامل ۱۴۰۰ تصویر دودویی می‌باشد که در ۷۰ رده دسته‌بندی شده‌اند [۳۳]. با توجه به شباهت شکل‌های موجود در دسته‌های مختلف، این پایگاه داده می‌تواند توانایی الگوریتم‌ها را در مواجهه با شباهت بین رده‌ای مورد ارزیابی قرار دهد. همچنین با وجود تغییر شکل‌های پیچیده در برخی از رده‌ها می‌توان قابلیت بازیابی الگوریتم‌ها را در هنگام وجود تفاوت درون رده‌ای بررسی نمود. انسداد جزئی، برش بخش‌هایی از تصویر، چرخش و تغییر مقیاس از جمله مسائلی هستند که الگوریتم‌های شناسایی در این پایگاه داده با آن مواجه می‌شوند. شکل (۴) چند نمونه از تصاویر مربوط به این پایگاه داده را نمایش می‌دهد.

پایگاه داده Kimia-99 شامل ۹۹ تصویر دودویی می‌باشد که در قالب ۹ رده دسته‌بندی شده‌اند [۳۴]. با استفاده از تصاویر این پایگاه داده می‌توان الگوریتم‌های بازشناسی اشیاء را در شرایط انسداد جزئی، برش بخش‌هایی از تصویر و تغییرات مفصل مورد ارزیابی قرار داد [۲۲]. شکل (۵) تصاویر مربوط به این پایگاه داده را نمایش می‌دهد.

۳-۲ بررسی عملکرد روش کاهش ابعاد آماری

در این بخش، برای بررسی عملکرد روش‌های طبقه‌بندی آماری، از پایگاه داده Kimia-99 و معیارهای نزدیک‌ترین تطابق می‌شود. نتایج بررسی‌ها در جدول (۱)



شکل ۴: چند نمونه از تصاویر مربوط به پایگاه داده MPEG-7 [۳۳]

می‌شود. آنگاه از روش نزدیک‌ترین همسایگی با $K=5$ برای این بردارها استفاده می‌شود تا تعیین شود تصویر آزمون به کدام رده تصاویر شبیه‌تر است و در نتیجه به کدام رده تعلق دارد. مقدار K بر اساس آزمایش سعی و خطا در نظر گرفته می‌شود.

۳-۳ آزمایش‌ها و ارزیابی نتایج

به منظور ارزیابی کارایی روش پیشنهادی در بازشناسی اشیاء، دو مجموعه آزمایش انجام شد. در آزمایش اول، میزان تطبیق هر یک از روش‌های آماری ارائه شده با توصیف‌گر زمینه شکل بهبودیافته جهت بازشناسی اشیاء مورد ارزیابی و مقایسه قرار می‌گیرد. در آزمایش دوم، عملکرد روش پیشنهادی با روش‌های ارائه شده در سال‌های اخیر بررسی می‌شود. به منظور ارزیابی کارایی روش پیشنهادی از معیارهای کلاسیک نرخ بازیابی، نزدیک‌ترین تطابق [۳۱]، [۳۲] و زمان اجرا (آموزش و آزمون) استفاده می‌شود. پایگاه تصاویر مورد استفاده در این مقاله، MPEG-7 [۳۳] و Kim-99 [۳۴] می‌باشد که در ادامه هر یک از این پایگاه‌ها معرفی می‌شود. همه آزمایش‌ها در محیط برنامه‌نویسی MATLAB 2015a و با استفاده از یک کامپیوتر با سرعت پردازش ۲/۵۴ گیگا هرتز و حافظه ۸ گیگابایت انجام شده است.

13- Closest Matching

جدول ۱: مقایسه روش‌های پیشنهادی با استفاده از پایگاه داده Kimia-99 و معیار ارزیابی نزدیک‌ترین تطابق

رتبه ۱۰	رتبه ۹	رتبه ۸	رتبه ۷	رتبه ۶	رتبه ۵	رتبه ۴	رتبه ۳	رتبه ۲	رتبه ۱	روش
۹۹	۹۹	۹۸	۹۵	۹۶	۹۳	۹۲	۹۰	۸۷	۸۵	زمینه شکل بهبود یافته با تحلیل مؤلفه‌های اصلی کرنل
۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	زمینه شکل بهبود یافته با تحلیل جداساز فیشر کرنل

جدول ۲: مقایسه عملکرد روش پیشنهادی با روش‌های دیگر با استفاده از پایگاه داده MPEG-7

زمان اجرا آموزش (ثانیه)	زمان اجرا آزمون (ثانیه)	نرخ بازیابی	روشها
۱۸/۳۴۶	۱۰۱۲/۷۱	۸۹/۶۶	روش تابع ارتفاع ۱ [۲]
۲۴/۲۵۱	۱۱۸۷/۰۴	۹۰/۳۵	روش تابع ارتفاع و پیچیدگی شکل ۲ [۲]
۲۷/۹۳	۹۸۹/۸۱	۹۱/۰۰	روش تابع ارتفاع و تبدیل کسینوس گسسته ۳ [۵]
۴۶/۷۱	۱۰۲۰/۱۳	۸۵/۴۰	روش زمینه شکل مبتنی بر فاصله داخلی و برنامه‌ریزی پویا [۱۵]
۳۱/۰۹	۱۱۰۶/۰۹	۸۸/۳۰	روش زمینه شکل وضعی ۴ [۳۵]
۳۳/۴۷	۱۰۶۵/۳۰	۸۶/۸۰	روش زمینه شکل و برنامه‌ریزی پویا [۱۶]
۲۸/۵۳	۹۷۵/۲۱	۷۶/۵۱	روش زمینه شکل و اسپلاین صفحه نازک ۵ [۸]
۳۵/۸۲	۱۲۴۳/۱۵	۸۲/۵	روش زمینه شکل مبتنی بر فاصله داخلی ۶ [۲۶]
۲۱/۷۶	۹۶۳/۸۶	۷۹/۰۳	روش زمینه شکل مبتنی بر فاصله هاسدورف [۲۵]
۴۸/۱۳	۱۳۰۱/۹۰	۸۴/۲۴	روش توصیف‌گر زمینه شکل بر اساس گرداب خارج از جریان استوانه [۲۴]
۱۱/۸۰	۹۳۹/۶۸	۹۴/۶۴	روش پیشنهادی (زمینه شکل بهبود یافته با تحلیل جداساز کرنل فیشر)

- 1- Height Function
- 2- Height Function and Shape Complexity
- 3- Discrete Cosine Transformation and Height Functions
- 4- Aspect Shape Context
- 5- Thine Plate Spline and Shape Context
- 6- Inner Distance Shape Context

خوبی نشان می‌دهد که عملکرد روش پیشنهادی بهتر از دیگر سایر الگوریتم‌ها بوده است. در واقع، استفاده از الگوریتم زمینه شکل بهبود یافته پیشنهادی به عنوان یک توصیف‌گر در کنار یک روش شناسایی آماری مانند تحلیل جداساز کرنل فیشر می‌تواند عملکردی به مراتب بهتر از به کارگیری روش زمینه شکل (و روش‌های مشابه) در کنار روش‌های بهینه‌سازی در برداشته باشد، زیرا حذف مراحل بهینه‌سازی و جایگزین نمودن آن‌ها با روش‌های شناسایی آماری می‌تواند هم به دقت قابل قبول و قوام مناسب بودن در برابر تغییرات هندسی و تغییر شکل‌های غیرخطی منجر گردد و هم در سیستم‌های بیدرنگ کارایی دارد.

همچنین، نتایج اعمال روش پیشنهادی و سایر روش‌ها به پایگاه داده Kimia-99 در جدول (۳) نشان داده شده است. در معیار نزدیک‌ترین تطابق هر یک از تصاویر آموزشی

نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول (۱) مشاهده می‌شود، ترکیب توصیف‌گر زمینه شکل پیشنهادی با روش کاهش مرتبه تحلیل جداساز کرنل فیشر نسبت به روش دیگر عملکردی بهتری دارد. این قابلیت به دلیل غیرخطی بودن فضای برداری حاصل از روش زمینه شکل بهبود یافته و نیز لحاظ نمودن شباهت درون رده‌ای و فاصله بین رده‌ای در جداسازی داده‌ها می‌باشد.

۳-۳. مقایسه عملکرد روش پیشنهادی با روش‌های دیگر

در این بخش، برای مقایسه عملکرد روش پیشنهادی با برخی روش‌های موجود، دو مجموعه آزمایش بر روی پایگاه‌های داده MPEG-7 و Kimia-99 انجام می‌شود. نتایج اعمال روش‌های مورد مقایسه به پایگاه داده MPEG-7 در جدول (۲) نشان داده شده است. نتایج به

جدول ۳: مقایسه روش‌های پیشنهادی با روش‌های پیشین با استفاده از پایگاه داده Kimia-99 و معیار ارزیابی نزدیک‌ترین تطابق

رتبه ۱۰	رتبه ۹	رتبه ۸	رتبه ۷	رتبه ۶	رتبه ۵	رتبه ۴	رتبه ۳	رتبه ۲	رتبه ۱	روش‌ها
۳۷	۵۶	۶۶	۷۵	۷۷	۸۴	۸۵	۸۸	۹۱	۹۷	روش زمینه شکل و اسپلاین صفحه نازک [۸]
۷۹	۹۴	۹۸	۹۷	۹۷	۹۸	۹۸	۹۹	۹۹	۹۹	روش زمینه شکل مبتنی بر فاصله داخلی و برنامه‌ریزی پویا [۱۵]
۸۸	۹۸	۹۶	۹۹	۹۹	۹۸	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	روش تابع ارتفاع [۲]
۹۶	۹۹	۹۷	۹۹	۹۸	۹۷	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	روش تابع ارتفاع و تبدیل کسینوس گسسته [۵]
۵۲	۷۰	۷۴	۷۴	۸۰	۸۱	۸۶	۸۹	۹۲	۹۷	روش [۳۶]
۳۹	۵۸	۶۸	۷۶	۷۹	۸۵	۸۶	۸۹	۹۲	۹۸	روش زمینه شکل مبتنی بر فاصله هاسدورف [۲۵]
۹۰	۹۳	۹۳	۹۴	۹۴	۹۵	۹۵	۹۵	۹۶	۹۷	روش توصیف‌گر زمینه شکل براساس گرداب خارج از جریان استوانه [۲۴]
۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	روش پیشنهادی (زمینه شکل بهبود یافته با تحلیل جداساز کرنل فیشر)

زمینه شکل بهبود یافته پیشنهادی به جای تصاویر در الگوریتم‌های بازشناسی الگو مبتنی بر تحلیل مؤلفه‌های اساسی کرنل و تحلیل جداساز فیشر کرنل و حذف روش‌های بهینه‌سازی در شناسایی شیء مبتنی بر زمینه شکل اشاره نمود. این کار باعث انتقال کلیه محاسبات به مرحله آموزش و در نتیجه کاهش پیچیدگی محاسباتی در زمان مواجهه با ورودی‌های جدید می‌گردد. در مطالعات آتی تلاش می‌شود که با به‌کارگیری الگوریتم توصیف‌گر زمینه شکل بهبود یافته پیشنهادی در سایر الگوریتم‌های بازشناسی الگو، بتوان به حداکثر بهبود فرآیند بازشناسی اشیاء رسید.

مراجع

- [1] P. Loncomilla, J. Ruiz-del-Solar, and L. Martínez, "Object recognition using local invariant features for robotic applications: A survey," *Pattern Recognition*, vol. 60, pp. 499-514, 2016.
- [2] "Shape matching and classification using height functions," *Pattern Recognition Letters*, vol. 33, pp. 134-143, 2012.
- [3] S. Susan, P. Agrawal, M. Mittal, and S. Bansal, "New shape descriptor in the context of edge continuity," *CAAI Transactions on Intelligence Technology*, vol. 4, pp. 101-109, 2019.
- [4] C. Sukanya, R. Gokul, and V. Paul, "A survey on object recognition methods," *International Journal of Science, Engineering and Computer Technology*, vol. 6, p. 48, 2016.
- [5] B. Shekar and B. Pilar, "Discrete cosine transformation and height functions based shape representation and classifica-

به‌عنوان یک داده آزمون مورد استفاده قرار می‌گیرند، در این حالت الگوریتم مورد نظر بایستی از میان تصاویر موجود در پایگاه داده ۱۰ تصویر که بیشترین شباهت را به تصویر آزمون دارند، بازیابی نماید. سپس تصاویر بازیابی شده به ترتیب بیشترین شباهت در رتبه‌های ۱ تا ۱۰ قرار می‌گیرند. در نهایت مجموع تصاویر بازیابی شده صحیح در هر رتبه به‌عنوان نرخ بازیابی در آن رتبه بیان می‌شود. با توجه به اینکه پایگاه داده Kimia-99 از نود و نه تصویر تشکیل شده است، بنابراین بیشترین مقدار ممکن برای هر رتبه برابر با ۹۹ خواهد بود. نتایج نشان می‌دهد روش پیشنهادی نسبت به روش‌های ارائه شده اخیر در بازشناسی اشیاء عملکرد بهتری دارد.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله، رویکرد جدیدی جهت بهبود عملکرد فرآیند بازشناسی اشیاء ارائه شد. از نوآوری‌های مهم مقاله، پیشنهاد توصیف‌گر زمینه شکل بهبود یافته جهت انتخاب نقاط نشانه مناسب است که این امر سبب بهبود عملکرد توصیف‌گر زمینه در بازشناسی اشیاء می‌باشد. از نوآوری دیگر این مقاله جایگزین کردن بردارهای ویژگی الگوریتم

- logo recognition with data enhancement by shape context,” in 2018 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), 2018, pp. 1-7.
- [22]G. Li, Y. Zhao, D. Wei, and R. Cheng, “Nighttime pedestrian detection using local oriented shape context descriptor,” in Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Science and Electronics Engineering, 2013, pp. 917-920.
- [23]M. A. As’ari, U. U. Sheikh, and E. Supriyanto, “3D shape descriptor for object recognition based on Kinect-like depth image,” *Image and Vision Computing*, vol. 32, pp. 260-269, 2014.
- [24]T. Srikanth, “Design of Novel Approach for Conformal Vortex Induced Flow Based Shape Descriptor for Object Recognition,” *Sensing and Imaging*, vol. 19, pp. 1-16, 2018.
- [25]K. S. Kumar, T. Manigandan, D. Chitra, and L. Murali, “Object recognition using Hausdorff distance for multimedia applications,” *Multimedia Tools and Applications*, vol. 79, pp. 4099-4114, 2020.
- [26]Y. Zheng, B. Guo, C. Li, and Y. Yan, “A weighted Fourier and wavelet-like shape descriptor based on IDSC for object recognition,” *Symmetry*, vol. 11, p. 693, 2019.
- [27]S. Wang, J. Lu, X. Gu, H. Du, and J. Yang, “Semi-supervised linear discriminant analysis for dimension reduction and classification,” *Pattern Recognition*, vol. 57, pp. 179-189, 2016.
- [28]A. A. D’Archivio and M. A. Maggi, “Geographical identification of saffron (*Crocus sativus* L.) by linear discriminant analysis applied to the UV-visible spectra of aqueous extracts,” *Food chemistry*, vol. 219, pp. 408-413, 2017.
- [29]J. Canny, “A computational approach to edge detection,” *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, pp. 679-698, 1986.
- [30]J.-B. Li, M. Li, J.-S. Pan, S.-C. Chu, and J. F. Roddick, “Gabor-based kernel self-optimization Fisher discriminant for optical character segmentation from text-image-mixed document,” *Optik*, vol. 126, pp. 3119-3124, 2015.
- [31]V. Premachandran and R. Kakarala, “Perceptually motivated shape context which uses shape interiors,” *Pattern recognition*, vol. 46, pp. 2092-2102, 2013.
- [32]Z. Cao, J. C. Principe, and B. Ouyang, “Information point set registration for shape recognition,” in 2016 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2016, pp. 2603-2607.
- [33]L. J. Latecki, R. Lakamper, and T. Eckhardt, “Shape descriptors for non-rigid shapes with a single closed contour,” in Proceedings IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. CVPR 2000 (Cat. No. PR00662), 2000, pp. 424-429.
- [34]H. Riemenschneider, “Yet Another Computer Vision Index to Datasets (YACVID),”.
- [35]H. Ling, X. Yang, and L. J. Latecki, “Balancing deformability and discriminability for shape matching,” in European Conference on Computer Vision, 2010, pp. 411-424.
- [36]N. Kaothanong, J. Chun, and T. Tokuyama, “Distance interior ratio: A new shape signature for 2D shape retrieval,” *Pattern recognition letters*, vol. 78, pp. 14-21, 2016.
- tion,” *Procedia Computer Science*, vol. 58, pp. 714-722, 2015.
- [6]S. Hore, S. Chatterjee, S. Chakraborty, and R. K. Shaw, “Analysis of different feature description algorithm in object recognition,” in *Computer Vision: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*, ed: IGI Global, 2018, pp. 601-635.
- [7]I. Kokkinos, M. M. Bronstein, R. Litman, and A. M. Bronstein, “Intrinsic shape context descriptors for deformable shapes,” in 2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2012, pp. 159-166.
- [8]S. Belongie, J. Malik, and J. Puzicha, “Shape matching and object recognition using shape contexts,” *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, vol. 24, pp. 509-522, 2002.
- [9]S. G. Salve and K. C. Jondhale, “Shape matching and object recognition using shape contexts,” in 2010 3rd International Conference on Computer Science and Information Technology, 2010, pp. 471-474.
- [10]Z. Liu, H. Shen, G. Feng, and D. Hu, “Tracking objects using shape context matching,” *Neurocomputing*, vol. 83, pp. 47-55, 2012.
- [11]S. Mouine, I. Yahiaoui, and A. Verroust-Blondet, “Advanced shape context for plant species identification using leaf image retrieval,” in Proceedings of the 2nd ACM international conference on multimedia retrieval, 2012, pp. 1-8.
- [12]G. Mori, S. Belongie, and J. Malik, “Efficient shape matching using shape contexts,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 27, pp. 1832-1837, 2005.
- [13]R. C. Bakshe and A. Patil, “Hand geometry as a biometric for human identification,” *International Journal of Science and Research*, vol. 4, pp. 2744-2748, 2015.
- [14]I. Kviatkovsky, A. Adam, and E. Rivlin, “Color invariants for person reidentification,” *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, vol. 35, pp. 1622-1634, 2012.
- [15]H. Ling and D. W. Jacobs, “Shape classification using the inner-distance,” *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, vol. 29, pp. 286-299, 2007.
- [16]X. Bai, B. Wang, C. Yao, W. Liu, and Z. Tu, “Co-transduction for shape retrieval,” *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 21, pp. 2747-2757, 2011.
- [17]Z. Tang, L. Huang, X. Zhang, and H. Lao, “Robust image hashing based on color vector angle and Canny operator,” *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, vol. 70, pp. 833-841, 2016.
- [18]J.-G. Wang, J. Li, W.-Y. Yau, and E. Sung, “Boosting dense SIFT descriptors and shape contexts of face images for gender recognition,” in 2010 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition-Workshops, 2010, pp. 96-102.
- [19]A. Diplaros, T. Gevers, and I. Patras, “Color-shape context for object recognition,” in *IEEE Workshop on Color and Photometric Methods in Computer Vision*, 2003, pp. 167-73.
- [20]S. Kumar, “Object Recognition Using Shape Context with Canberra Distance,” *Asian Journal of Applied Science and Technology (AJAST) Volume*, vol. 1, pp. 268-273, 2017.
- [21]Y. Wang, W. Yang, and H. Zhang, “Deep learning single