

بازیابی مدل‌های سه‌بعدی با استفاده از ضرایب پیشگویی خطی در نگاشت‌های استوانه‌ای با تعمیم نگاشت بر روی سه استوانه متعامد

وحید مهرداد، حسین ابراهیم نژاد

چکیده

در سال‌های اخیر به علت رشد و توسعه اینترنت، بازیابی مدل‌های سه‌بعدی به یک زمینه تحقیقاتی وسیع تبدیل شده است. روش‌های زیادی برای بازیابی این مدل‌ها ارائه شده است. هر کدام از این روش‌ها ویژگی خاصی را برای عمل بازیابی مورد استفاده قرار می‌دهد. در این مقاله یک روش مبتنی بر هندسه برای بازیابی مدل‌های سه‌بعدی پیشنهاد می‌شود. در مدل‌های سه‌بعدی، نقاط واقع بر رویه مدل دارای همبستگی بالایی با نقاط مجاور هستند. بنابراین، تحلیل پیشگویی خطی برای تخمین این مدل‌ها عملکرد مناسبی دارد. در این مقاله، ضرایب پیشگویی خطی بعنوان یک توصیفگر قوی از نگاشت استوانه‌ای مدل سه‌بعدی استخراج می‌شود. ابتدا مدل سه‌بعدی بر روی سطح جانبی استوانه محیط بر مدل نگاشت می‌شود. سپس ضرایب پیشگویی خطی از نگاشت استوانه‌ای مدل استخراج می‌گردد. در ادامه برای غلبه بر مسئله انسداد، نگاشت استوانه‌ای به سه استوانه هم راستا با محورهای اصلی تعمیم داده می‌شود. برای پایداری توصیفگر در مقابل چرخش از آنالیز مولفه‌ی اصلی استفاده شده است. کارایی توصیفگر پیشنهاد شده با استفاده از پایگاه داده سه‌بعدی McGill مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی، مدل‌های سه‌بعدی با ساختارهای مختلف را بخوبی از همدیگر تفکیک می‌نماید و در برابر نویز نیز مقاوم است.

کلید واژه‌ها

بازیابی مدل‌های سه‌بعدی، نگاشت استوانه‌ای، ضرایب پیشگویی خطی، نرمالیزاسیون حالت.

مدل‌های سه بعدی می‌توانند مدل‌های موردنظر خود را در وب جهان گستر^۱ جستجو نمایند. روش‌های مختلفی برای بازیابی مدل‌های سه‌بعدی وجود دارد که آن‌را به یک زمینه بزرگ تحقیقاتی تبدیل کرده است. همچنین رشد اخیر تکنیک‌ها و رهیافت‌ها در ساخت مدل‌های سه بعدی، باعث افزایش بسیار زیاد تعداد مدل‌های سه‌بعدی در سراسر دنیا شده است. بگونه‌ای که در دهه اخیر تعداد بسیار زیادی از مدل‌های سه‌بعدی طراحی شده با کامپیوتر^۲ در صنعت تولید شده است. بنابراین سازمان‌های زیادی نیز برای تحقیق و جمع‌آوری پایگاه‌های داده سه بعدی در دنیا تشکیل شده است. تاکنون توصیفگرهای زیادی برای بازیابی مدل‌های سه‌بعدی

۱ مقدمه

در سال‌های اخیر بازیابی مدل‌های سه‌بعدی به یک زمینه تحقیقاتی بزرگ در سراسر دنیا تبدیل شده است. این مدل‌ها بطور وسیعی در زمینه‌های بینایی کامپیوتر، صنعتی، پزشکی، باستانشناسی، معماری و ... مورد استفاده قرار می‌گیرند. مردم در سراسر دنیا با بازیابی

این مقاله در مردادماه ۱۳۹۱ دریافت، در تیرماه ۱۳۹۲ بازنگری و در مهرماه سال ۱۳۹۲ پذیرفته شد.

وحید مهرداد، آزمایشگاه تحقیقاتی بینایی کامپیوتر، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی سهند، v_mehrdad@sut.ac.ir

حسین ابراهیم نژاد، آزمایشگاه تحقیقاتی بینایی کامپیوتر، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی سهند، ebrahimnezhad@sut.ac.ir

عملکرد مناسبی است. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که توصیفگر پیشنهادی ساختارهای مختلف از مدل های سه بعدی را با دقت بالا از همدیگر تفکیک می نماید. همچنین روش پیشنهادی در برابر چرخش، انتقال، مقیاس بندی و نویز مقاوم است. برای نرمالیزاسیون چرخش از روش آنالیز مولفه اصلی^۲ (PCA) استفاده می شود [۱۷]. در واقع آنالیز مولفه اصلی برای هم جهت کردن محورهای اصلی مدل سه بعدی با محورهای مختصات استفاده می شود.

در کار قبلی که انجام داده ایم مدل سه بعدی تنها بر روی یک استوانه هم راستا با محور x نگاشت شده است [۱۸]. اما در اینجا عمل نگاشت بر سه استوانه هم راستا با محورهای اصلی بجای یک استوانه انجام می شود. هنگامی که نگاشت تنها با یک استوانه در جهت محور x انجام می شود، یک سری اطلاعات مفید در اثر وجود برخی موانع^۳ در راستای این محور، از بین می رود. بنابراین، در این مقاله، علاوه بر نگاشت در راستای x ، در جهت های y و z نیز انجام می شود. اطلاعات گم شده بر اثر وجود مانع در راستای محور x ، با نگاشت در جهت y و z بدست می آیند. در نتیجه اطلاعات گم شده مدل در اثر قرار گرفتن در مانع بطور قابل ملاحظه ای کاهش یافته و کارایی توصیفگر افزایش می یابد. علاوه بر این، در این مقاله، عملکرد توصیفگر پیشنهادی در مقابل نویز بررسی می گردد و نشان داده می شود که توصیفگر پیشنهادی پایداری خوبی در برابر مقایر مختلف نویز دارد. روند تهیه این مقاله در ادامه آمده است:

در بخش ۲ مروری بر کارهای گذشته انجام می شود. نرمالیزاسیون حالت در بخش ۳ ارائه می گردد و در بخش ۴ روش پیشنهادی و چگونگی استخراج توصیفگر مدل سه بعدی توضیح داده می شود. در بخش ۵ نتایج شبیه سازی و مقایسه با روش های دیگر ارائه می گردد و بخش ۶ نتیجه گیری را بیان می کند.

۲ مروری بر کارهای گذشته

در سال های اخیر، تحقیقات زیادی در زمینه بازیابی مدل های سه بعدی مبتنی بر هندسه انجام شده است. Zhang و Chen برخی ویژگی های هندسی از جمله حجم، سطح و گشتاورهای آماری را برای بازیابی مدل های سه بعدی ارائه کردند [۱]. Corney و همکارانش پوسته محدب^۴ را بر اساس برخی شاخص ها مانند نسبت مساحت رویه مدل و مساحت رویه پوسته محدب آن و همچنین نسبت مساحت رویه مکعب پوسته و حجم مربع پوسته محدب مدل بیان نمودند [۱۹]. Osada و همکارانش سعی کردند مدل های سه بعدی را با توزیع آماری ویژگی های هندسی نقاط واقع بر رویه مدل، توصیف نمایند [۱۰]. این ویژگی ها شامل فاصله،

ارائه شده است. هرکدام از این توصیفگرها مدل ها را با یک ویژگی و مشخصه خاصی توصیف می کنند. این توصیفگرها به سه دسته کلی تقسیم می شوند: توصیفگرهای مبتنی بر فرکانس، مبتنی بر توپولوژی و مبتنی بر هندسه. در روش مبتنی بر فرکانس ویژگی ها و ضرایب فرکانسی مدل برای ارائه توصیفگر مورد استفاده قرار می گیرد. این ویژگی ها شامل ضرایب تبدیل فوریه [۱ و ۲]، تبدیل ویولت [۳ و ۴] و هارمونیک های کروی [۵] تا [۷] می باشد. در روش مبتنی بر توپولوژی، اسکلت و اجزای مدل ها برای مقایسه آنها استفاده می شود. روش های زیادی برای محاسبه اسکلت و اجزای مدل های سه بعدی وجود دارد [۸ و ۹]. در روش مبتنی بر هندسه برای مقایسه مدل ها، اطلاعات هندسی ویژه ای از مدل های سه بعدی استخراج می شود. در این روش ها از یک یا چند ویژگی هندسی اساسی مدل مانند مساحت، حجم، گشتاور، شعاع، فاصله نقاط واقع بر رویه تا مرکز مدل و ... استفاده می شود [۱۰] تا [۱۲]. از آنجایی که در روش های مبتنی بر توپولوژی برای تفکیک مدل ها از همدیگر فقط از توپولوژی و ساختار کلی مدل استفاده می شود، بنابراین تغییر کوچکی در توپولوژی مدل باعث می شود که قدرت تفکیک این توصیفگرها کاهش یابد [۱۳]. معایب دیگر این روش ها این است که بسیاری از مدل ها که با هم متفاوت می باشند، ولی دارای توپولوژی و اسکلت یکسان هستند بطور اشتباه در یک دسته قرار می گیرند. از آنجایی که قدرت تفکیک روش های مبتنی بر توپولوژی نسبتاً پایین است، در بیشتر موارد به صورت ترکیب با روش های دیگر بکار می روند [۱۴ و ۱۵]. از مشکلات اساسی روش های مبتنی بر فرکانس این است که فقط از اطلاعات فرکانسی استفاده می گردد، در حالیکه هیچ اطلاعات فضایی و بصری از مدل در دسترس نیست. ولی در روش های هندسی، علاوه بر ویژگی های هندسی، اطلاعات مکانی و بصری مدل ها نیز مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین در روش های مبتنی بر فرکانس جزئیات مربوط به مدل ها بخوبی از همدیگر تفکیک نمی شود [۱۳]. ویژگی دیگر توصیفگرهای هندسی این است که عموماً نسبت به نویز و اعوجاج نیز پایدار هستند. زیرا در بیشتر مواقع نویز و اعوجاج رویه مدل را مورد حمله قرار می دهد، در حالیکه بسیاری از ویژگی های هندسی به بخش های درونی مدل مربوط می شوند. در این مقاله، یک روش مبتنی بر هندسه پیشنهاد می گردد. توصیفگر پیشنهادی بر اساس نگاشت هندسی مدل بر روی سطح جانبی استوانه محیطی و استخراج ضرایب پیشگویی خطی^۱ از نگاشت استوانه ای، ارائه می شود. تخمین پیشگویی خطی یک تخمین موثر و پایدار برای داده های همبسته است [۱۶]. از آنجایی که نقاط واقع بر رویه مدل سه بعدی با همدیگر همبستگی بالایی دارند و پیوستگی نقاط روی رویه با نقاط مجاور زیاد است و همچنین در این نقاط تغییرات سریع و ناگهانی وجود ندارد، بنابراین تحلیل پیشگویی خطی برای تخمین این مدل ها، دارای

را بیان می‌کند، ولی SGD ویژگی‌های داخلی مدل سه‌بعدی را ارائه می‌کند. در نتیجه، از ترکیب آن‌ها یک ویژگی با عملکرد بهتر نسبت به روش ارتفاع حاصل می‌گردد. Pan و همکارانش توصیفگر هیستوگرام پواسون را برای بیان ویژگی‌های مدل‌های سه‌بعدی ارائه کردند [۲۵]. در این روش نیز از شبکه و کسل‌بندی شده مدل سه‌بعدی استفاده می‌شود. این توصیفگر از دو مرحله تشکیل شده است. ابتدا از معادله پواسون برای تعریف یک مدل سه‌بعدی استفاده می‌شود، سپس یک توصیفگر شکل، مبتنی بر هیستوگرام با جمع آوری مقادیر پواسون، استخراج می‌شود. ایده اساسی معادله پواسون، تشکیل یک تابع روی دامنه یک شکل بسته است. این معادله روی مدل حجمی و کسل‌بندی شده اعمال می‌شود. از آنجاییکه در روش‌های بیان شده بر اساس نگاشت‌های وکسل (که در بالا ذکر شد) رابطه بین ویژگی‌ها و بخش‌های یک مدل کدگذاری نمی‌شود، بنابراین برای تطبیق جزئی مناسب نیستند و بدون بازخورد هستند [۱۳].

از دیگر روش‌های هندسی برای بازیابی مدل‌های سه‌بعدی، مقایسه ویژگی‌های مدل در نماهای دوبعدی مختلف است. ایده اساسی در این دسته از روش‌ها این است که دو مدل سه‌بعدی مشابه، دارای نماهای متناظر مشابه می‌باشند. در مرحله پردازش، برای هر مدل سه‌بعدی، یک توصیفگر متشکل از تعدادی نمای دو بعدی (2D) ساخته می‌شود. در مرحله جستجو، عمل تطبیق یک تصویر جستجو با تصاویر 2D حاصل از مدل‌های دیگر مورد بررسی قرار می‌گیرد. Loffler شباهت بر اساس نماها را با استفاده از جستجوی تصاویر 2D حاصل از مدل سه‌بعدی بکار برد [۲۶]. Li و همکارانش روش بازیابی مدل‌های سه‌بعدی بر پایه نماهای دو بعدی با ضرایب بهینه شده را ارائه کردند [۲۷]. آن‌ها برای اختصاص دادن وزن‌های بهینه به نماهای دوبعدی گرفته شده از مدل سه‌بعدی از ضرایب لاگرانژ و ماشین بردار پشتیبانی^۳ (SVM) استفاده نمودند. Sahbi و Napoleon چارچوب بازیابی "عکس-بردار" دوبعدی برای مدل سه‌بعدی را معرفی کردند [۲۸]. در این روش با دادن مجموعه‌ای از طرح‌ها و عکس‌ها از یک مدل، می‌توان مدل اساسی مشابه را در پایگاه داده مدل‌های سه‌بعدی بازیابی نمود. این روش دارای توانایی هم‌تراز کردن تصاویر برای یافتن نمای استاندارد می‌باشد. لزوماً استفاده از همه نماهای استخراج شده از یک مدل سه‌بعدی، موجب بالا رفتن نرخ بازیابی نمی‌گردد. لذا در بعضی کارها برای بالا بردن سرعت و همچنین افزایش نرخ بازیابی، برخی روش‌ها برای انتخاب نماهای خاص از مدل سه‌بعدی پیشنهاد شده است. Gao و همکارانش از بازخورد ارتباطی برای انتخاب نماها در هر مرحله از بازیابی استفاده نمودند [۲۹]. بطوریکه در هر مرحله فقط یکی از نماهای کاندید شده به مجموعه نماهای تصمیم‌گیری اضافه می‌شود. اضافه شدن نما بر مبنای فاصله کمینه با نمونه‌های مرتبط و همچنین فاصله بیشینه با

زاویه، سطح و حجم می‌باشد. آن‌ها شباهت بین دو مدل را با استفاده از فاصله بین توزیع‌های شکلی مدل مورد ارزیابی قرار می‌دهند. در این روش، مدل سه‌بعدی به پوسته‌ها و قطاع‌های هم‌مرکز جداسازی می‌شوند. روش‌های گفته شده در بالا، تا حدودی، بسیاری از مدل‌های سه‌بعدی در گروه‌های مختلف را که دارای تفاوت‌های کلی با همدیگر هستند بخوبی از همدیگر تفکیک می‌نماید، ولی این روش‌ها اختلاف‌های جزئی مدل‌ها را به خوبی از همدیگر تشخیص نمی‌دهند. بنابراین در جداسازی مدل‌هایی که شباهت زیادی با همدیگر دارند، عملکرد ضعیفی دارند [۱۳]. در ادامه تحقیقات، برخی روش‌ها بر پایه نگاشت‌های وکسل انجام شد. Kriegel و همکارانش نگاشت‌های فضایی از مدل‌های سه‌بعدی را با تقسیم‌بندی شبکه‌های وکسل به سلول‌های غیر متصل متناظر با بین‌های هیستوگرامی پیشنهاد نمودند [۲۰]. آن‌ها سه ویژگی فضایی مختلف مرتبط با سلول‌های شبکه‌ای را ارائه کردند. (۱) ویژگی‌های حجمی ثبات تابع وکسل حجم در هر سلول. (۲) ویژگی زاویه اندازه‌گیری تحذب مرز حجمی در هر سلول. (۳) ویژگی مقدار ویژه تخمین زنده مقادیر ویژه تحلیل مولفه اصلی اعمال شده به وکسل‌ها در هر سلول. Klein و Novotni توصیفگرهای Zernike را برای بازیابی مدل‌ها ارائه کردند [۲۱]. این توصیفگر بر اساس مدل‌های وکسل‌بندی شده عمل می‌کند. توصیفگرهای Zernike توسط نگاشت تابع توصیفی مدل روی یک مجموعه از توابع عمود بر هم محاسبه می‌شوند. این توابع درون یک کره واحد قرار دارند. Ricard و همکارانش یک توصیفگر شکلی با تبدیل شعاعی-زاویه‌ای را معرفی کردند [۲۲]. تبدیل شعاعی-زاویه‌ای یک مدل سه‌بعدی را در مختصات کروی با یک تابع پایه شعاعی در امتداد زاویه و دو تابع پایه شعاعی در امتداد راستای شعاع کروی بیان می‌کند. این توصیفگر از یک آرایه ضرایب تبدیل شعاعی زاویه‌ای با تابع پایه شعاعی تشکیل می‌شود. Shih و همکارانش توصیفگر ارتفاع^۱ را برای بازیابی مدل‌های سه‌بعدی پیشنهاد کردند [۲۳]. در این روش ابتدا مدل سه‌بعدی داخل یک جعبه محیط بر مدل قرار می‌گیرد. سپس نگاشت وکسل مدل در داخل جعبه انجام می‌شود. این توصیفگر مدل سه‌بعدی را با شش ارتفاع (فاصله هر وکسل روی رویه مدل تا یکی از وجه‌های مکعب) بیان می‌کند. در این روش، برای هر مدل از شش طرف بالا، پایین، مقابل، پشت، چپ و راست، شش ارتفاع به دست می‌آید. آن‌ها در ادامه برای بهبود توصیفگر ارتفاع، برخی روش‌های دیگر را با آن ترکیب نمودند [۱۱]. برای بیان ویژگی شکلی داخلی، توصیفگر شبکه پوسته‌ای^۲ (SGD) و برای بیان ویژگی خارجی، توصیفگر ارتفاع بر پایه تبدیل شعاعی زاویه‌ای را با هم ترکیب کردند. این توصیفگر یک سری اطلاعات ارتفاعی از مدل سه‌بعدی در شش زاویه مختلف را نشان می‌دهد و یک مرز خارجی از مدل

مقاوم نمودن ویژگی در برابر انتقال، مرکز جرم مدل به مرکز محورهای مختصاتی انتقال داده می شود.

در بیشتر موارد برای پایداری در مقابل چرخش از روش تحلیل PCA استفاده می شود [۱۷]. با استفاده از مفاهیم ماتریس کواریانس و بردارهای ویژه راستای پراکندگی داده های مدل سه بعدی بدست می آید. در ماتریس کواریانس، بردار ویژه متناظر با بزرگترین مقدار ویژه راستای بیشترین پراکندگی را بیان می کند و محور x در جهت آن قرار داده می شود. همچنین محور y در جهت دومین بردار ویژه مرتب شده، قرار می گیرد و محور z با بردار ویژه متناظر با کوچکترین مقدار ویژه هم جهت می شود. در این روش نقاط واقع بر رویه مدل سه بعدی است. با انتقال مرکز جرم به مبدأ محورهای مختصات برای هر نقطه $L_i=(x_i, y_i, z_i)$ انتقال متناظر $L'_i=(x_i-x_c, y_i-y_c, z_i-z_c)$ انجام می گیرد؛ مقادیر x_c, y_c و z_c بصورت زیر محاسبه می شود:

$$x_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

$$y_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (2)$$

$$z_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i \quad (3)$$

سپس مجموعه نقاط رویه بصورت $L' = \{L'_1, L'_2, \dots, L'_n\}$ تعریف می شوند. ماتریس کواریانس نیز از رابطه ۴ بدست می آید.

$$Cov = \sum_{j=1}^n L'_j{}^T L'_j = \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^n x^2 & \sum_{j=1}^n xy & \sum_{j=1}^n xz \\ \sum_{j=1}^n xy & \sum_{j=1}^n y^2 & \sum_{j=1}^n yz \\ \sum_{j=1}^n xz & \sum_{j=1}^n yz & \sum_{j=1}^n z^2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

سپس مقادیر ویژه متناظر با بردارهای ویژه ماتریس کواریانس محاسبه شده و مرتب می گردند. در ادامه، ماتریس چرخش R که ردیف های آن شامل بردارهای ویژه ماتریس کواریانس می باشد، تشکیل می گردد. با ضرب ماتریس چرخش R در مجموعه نقاط رویه مدل، همه نقاط در مجموعه L' چرخانده می شوند. مجموعه نقاط جدید طبق رابطه ۵ بدست می آید.

$$L'' = \{L''_i | L''_i = L'_i R, L'_i \in L'\} \quad (5)$$

اکنون مدل جدید در جهت محورهای اصلی چرخانده شده است و بردار ویژه متناظر با بزرگترین مقدار ویژه در ماتریس

نمونه های غیرمرتبط قبلی انجام می گیرد. از معایب روش های مبتنی بر نماهای دو بعدی این است که هنگامی که یک عکس دو بعدی از مدل گرفته می شود، برخی نقاط که پشت موانع قرار دارند در تصویر مشخص نمی باشند. بنابراین اطلاعات مفید این نقاط از بین می روند و کارایی روش در هنگام تطبیق اجزای مدل ها کاهش می یابد.

یکی دیگر از روش های هندسی ارائه شده روش های مبتنی بر پایه نگاشت بر صفحه دوبعدی است. با این نگاشت مدل سه بعدی به یک مدل دو بعدی تبدیل می شود. Cheng و Kuo با نگاشت راس های مدل سه بعدی به صفحه اصلی اش آنرا به یک تصویر دوبعدی تبدیل کردند [۳۰]. سپس با استفاده از برنامه نویسی پویا، پوسته محدب مدل دو بعدی را به دست آورده و به مثلث های گسسته بخش بندی می نمایند. در نهایت برای هر مثلث هیستوگرام نگاشتی و گشتاورها به عنوان بردارهای ویژگی برای جستجوی شباهت ها استخراج می گردند. Zou و همکارانش توصیفگر مدل سه بعدی را بر پایه آنالیز صفحه اصلی و انتگرال های گروهی بیان کردند [۱۲]. در این روش ابتدا با استفاده از روابط مربوط به نگاشت مدل سه بعدی، صفحه اصلی یک مدل بدست می آید. سپس دو توصیفگر هیستوگرام آلفا-اتا-فاصله و بتا-اتا-فاصله، با استفاده از بردارهای نرمال صفحه اصلی و توزیع های شکلی مدل استخراج می شوند. از معایب روش های نگاشت بر صفحه اصلی این است که موقع نگاشت یک مدل سه بعدی به صفحه اصلی اش، وجود موانع باعث می شود که برخی نقاط واقع بر رویه مدل بر یک نقطه مشترک روی صفحه اصلی نگاشت شوند. بنابراین یک سری اطلاعات مفید در اثر وجود برخی موانع در راستای نگاشت بر صفحه اصلی از بین می رود. در این مقاله با توجه به اینکه نگاشت بر سطح جانبی استوانه انجام می شود و این سطح جانبی تمام اطراف مدل را در بر می گیرد، بنابراین اطلاعات کمتری نسبت به نگاشت بر صفحه اصلی از بین می رود. علاوه بر این، در این کار نگاشت استوانه ای در راستای هر سه محور اصلی مختصات انجام می شود. بنابراین اطلاعات گم شده بر اثر وجود مانع در راستای یک محور، با نگاشت در جهت محورهای دیگر بدست می آیند.

۳ نرمال سازی حالت

یک مدل سه بعدی دارای موقعیت، راستا و مقیاس های دلخواه در فضا است. در اغلب موارد اندازه گیری متغیرها نسبت به موقعیت، مقیاس و چرخش مدل حساس هستند. بنابراین مرحله نرمالیزاسیون برای اندازه گیری ویژگی ها بسیار با اهمیت است. ویژگی های استخراج شده از مدل سه بعدی با انجام عمل نرمالیزاسیون در مقابل انتقال، چرخش و مقیاس مقاوم می شوند. با تقسیم کردن هر مقدار مختصاتی مدل، بر بزرگترین فاصله نقاط رویه از مرکز جرم، مقیاس مدل سه بعدی می شود. برای

رویه دوبعدی برای استخراج ضرایب پیشگویی خطی مهیا می‌شود.

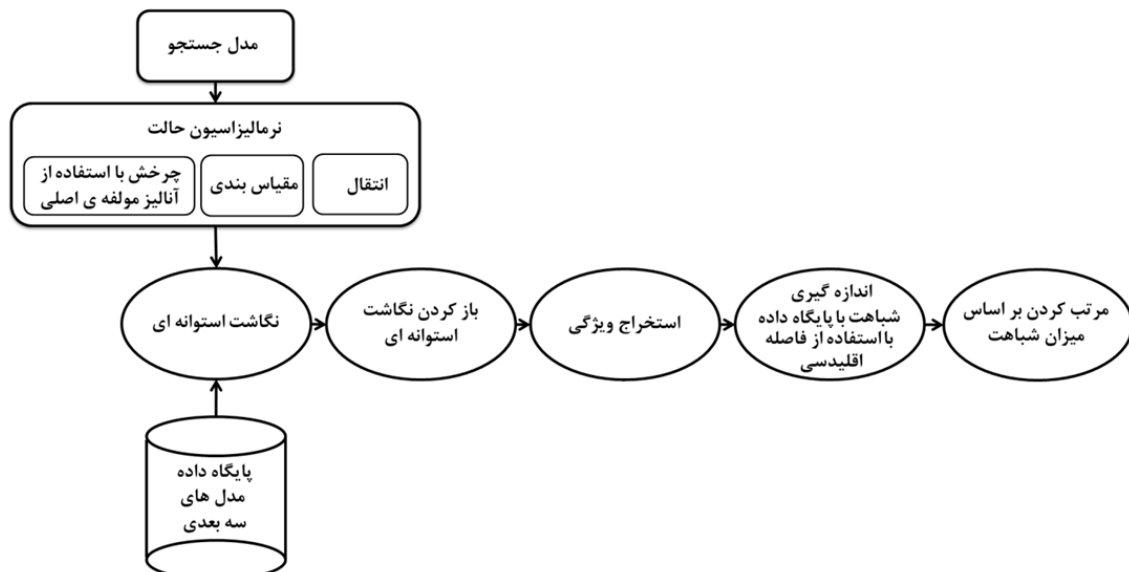
۳- استخراج ویژگی: برای هر رویه بدست آمده از مرحله قبل، ضرایب پیشگویی خطی محاسبه و استخراج می‌شود. سپس بردارهای ویژگی با طول ثابت تشکیل می‌گردند.

۴- اندازه‌گیری شباهت با استفاده از فاصله اقلیدسی: پس از استخراج بردارهای ویژگی، فاصله بین بردار ویژگی مدل جستجو و بردارهای ویژگی مدل‌های پایگاه داده، محاسبه می‌شود. روش‌های مختلفی برای محاسبه این فاصله وجود دارد [۳۱]. در این کار از فاصله اقلیدسی استفاده شده است.

۵- مرتب کردن مدل‌ها بر اساس میزان شباهت: در این مرحله، همه مدل‌های پایگاه داده بر اساس فاصله‌های بدست آمده در مرحله قبل، مرتب می‌شوند. سپس K مدل سه بعدی در پایگاه داده که بیشترین شباهت (کمترین فاصله) را با مدل جستجو دارند، انتخاب شده و به کاربر ارائه می‌شوند.

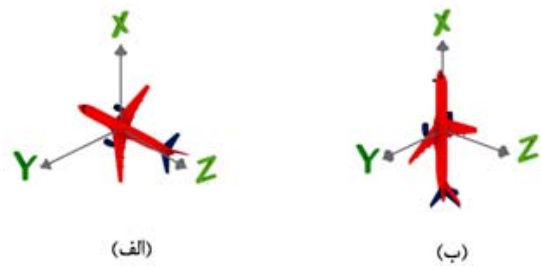
۴-۱ نگاشت استوانه‌ای مدل سه بعدی

برای بدست آوردن نگاشت استوانه‌ای، مدل سه بعدی به سطح جانبی یک استوانه به شعاع R و ارتفاع H نگاشت می‌شود. همانطور که شکل ۳ نشان می‌دهد، R حداکثر فاصله رویه مدل تا محور مرکزی استوانه و H ارتفاع مدل سه بعدی است. هر نقطه $M(\rho, \varphi, z)$ واقع بر رویه مدل به نقطه M' روی سطح جانبی استوانه نگاشت می‌شود. برای هر نقطه M واقع بر رویه مدل ρ فاصله نقطه از محور مرکزی استوانه و z ارتفاع آن می‌باشد. برای نقطه M' ، $(0 \leq \varphi \leq 2\pi)$ ، $\varphi = \varphi'$ و $z = z'$ ($0 \leq z \leq H$) است. در نتیجه، با نگاشت همه نقاط رویه مدل به سطح جانبی استوانه، مدل به یک رویه دو بعدی تبدیل می‌شود.



شکل ۲ نمای کلی از سیستم بازیابی پیشنهادی مدل سه بعدی.

کوارینانس با محور x هم جهت می‌شود. دومین بردار ویژه مرتب شده با محور



شکل ۱ (الف): مدل سه بعدی قبل از عمل PCA. (ب): مدل سه بعدی بعد از عمل PCA.

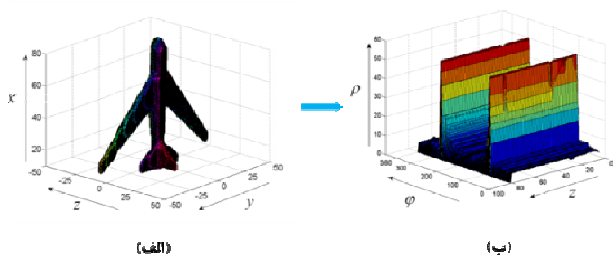
مختصات y هم جهت می‌گردد. همچنین بردار ویژه متناظر با کوچکترین مقدار ویژه در جهت محور z قرار می‌گیرد. شکل ۱ نمونه‌ای از مدل سه بعدی را قبل و بعد از عمل PCA نمایش می‌دهد.

۴ روش پیشنهادی

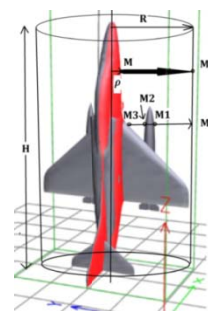
نمای کلی سیستم جستجو و بازیابی در شکل ۲ نشان داده شده است. روش پیشنهاد شده برای بازیابی مدل‌های سه بعدی شامل پنج مرحله است.

۱- فرایند نگاشت استوانه‌ای: ایده اصلی نگاشت استوانه-ای تبدیل یک مدل سه بعدی به یک رویه دوبعدی است. این تبدیل باید بگونه‌ای باشد که ویژگی‌های هندسی مدل حفظ شود. با استفاده از روش تطبیق دوبعدی، پیچیدگی تطبیق مدل سه بعدی بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.

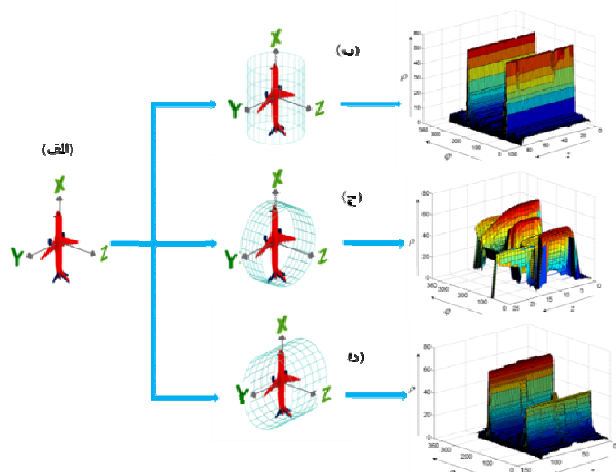
۲- بازکردن نگاشت استوانه‌ای: بعد از نگاشت مدل به سطح جانبی استوانه، برای تبدیل نگاشت به یک رویه دوبعدی، نگاشت استوانه‌ای باز می‌شود. با این عمل



شکل ۴ (الف): مدل سه بعدی هواپیما. (ب): نگاشت استوانه ای باز شده مدل در جهت محور x .



شکل ۳ نگاشت مدل سه بعدی با استوانه هم راستا با محور z .



شکل ۵ (الف): یک مدل سه بعدی. (ب) تا (د): نگاشت های استوانه ای باز شده در سه جهت اصلی محورهای مختصات.

خطی است [۱۶]. تحلیل پیشگویی خطی را می توان به حوزه دوبعدی برای تصاویر و رویه ها نیز گسترش داد [۳۲ و ۳۳]. در بیشتر موارد، تحلیل پیشگویی خطی برای سیگنال های همبسته بکار برده می شود. این تخمین یک روش موثر و پایدار برای داده های همبسته است، زیرا با استفاده از نقاط پیشین، نقاط پسین را تخمین می زند [۱۶].

از آنجایی که نقاط واقع بر رویه مدل سه بعدی با همدیگر همبستگی بالایی دارند و پیوستگی آن ها با نقاط مجاور زیاد است و همچنین در این نقاط تغییرات سریع و ناگهانی وجود ندارد، بنابراین تحلیل پیشگویی خطی برای تخمین این مدل ها دارای عملکرد مناسبی است. روابط مربوط به محاسبه ضرایب پیشگویی خطی در ادامه توضیح داده می شود. تحلیل پیشگویی خطی با توجه به دنباله سری زمانی $\{x(n-2), x(n-1), \dots, x(0), x(-1), \dots\}$ ، یکی از بهترین روش ها برای پیشگویی $x(n)$ است. در تحلیل پیشگویی خطی، مقدار تخمین زده شده $x(n)$ با یک ترکیب خطی از p مقدار قبلی $\{x(n-1), x(n-2), \dots, x(n-p)\}$ استخراج می شود [۳۴]. بنابراین مقدار تخمین زده شده $\hat{x}(n)$ بصورت زیر بدست می آید.

$$\hat{x}(n) = \sum_{i=1}^p a(i)x(n-i) \quad (6)$$

همانطور که در شکل ۳ نیز مشاهده می شود، نقاط واقع بر رویه مدل در راستای یک شعاع به یک نقطه مشترک روی سطح جانبی استوانه نگاشت می شوند. بنابراین، برای نقاط هم راستای رویه، مانند M_1, M_2, M_3 با ϕ و z یکسان و ρ مختلف ($\phi_1 = \phi_2 = \phi_3$)، M_1 فقط نقطه $(z_1 = z_2 = z_3, \rho_1 > \rho_2 > \rho_3)$ دارای بیشترین ρ است، بر روی سطح جانبی استوانه نگاشت می شود.

۲-۴ باز کردن نگاشت استوانه ای

با انجام عمل نگاشت هندسی و باز کردن مدل نگاشت شده، مدل سه بعدی به یک رویه دو بعدی تبدیل می شود. بنابراین می توان ضرایب پیشگویی خطی را از آن استخراج کرد. شکل ۴-الف مدل سه بعدی هواپیما را نشان می دهد و شکل ۴-ب نیز نگاشت استوانه ای باز شده این مدل را در جهت محور x نمایش می دهد. با وجود این که نگاشت استوانه ای اطلاعات مفیدی از مدل سه بعدی را در برمی گیرد، اما در قسمت های محدب فقط یک نگاشت استوانه ای برای حفظ اطلاعات هندسی کافی نیست. در اثر وجود برخی موانع در راستای محور x با نگاشت تنها یک استوانه در جهت این محور، یک سری اطلاعات مفید مدل از بین می روند. برای حفظ اطلاعات بیشتر و غلبه بر مسئله گم شدن اطلاعات در نگاشت تک استوانه ای بجای یک استوانه از سه استوانه متعامد استفاده می شود. بنابراین، علاوه بر راستای x ، نگاشت در جهت های y و z نیز انجام می شود و اطلاعات گم شده در راستای محور x ، با نگاشت در جهت y و z بدست می آیند. نگاشت با سه استوانه متعامد، اطلاعات مفیدتری نسبت به نگاشت با یک استوانه را استخراج می کند. شکل ۵-ب تا ۵-د، نگاشت های استوانه ای توسط سه استوانه متعامد در جهت محورهای اصلی (x, y, z) را نشان می دهد.

۳-۴ استخراج ویژگی

کوتاهی ویژگی ضرایب پیشگویی خطی برای توصیف مدل در این بخش معرفی می شود. تحلیل پیشگویی خطی بطور گسترده ای در تخمین و کد کردن سیگنال های یک بعدی بویژه سیگنال صحبت مورد استفاده قرار می گیرد. توانایی تخمین یک نمونه سیگنال با استفاده از ترکیب خطی نمونه های پیشین، ایده اصلی پیشگویی

استوانه‌ای باز شده مدل سه بعدی است. هر درایه ماتریس دوبعدی x_s ، عمق نقطه متناظر واقع بر رویه مدل می‌باشد. این عمق فاصله نقطه تا محور مرکزی استوانه است. ضرایب پیشگویی خطی رویه طبق رابطه ۱۲ و ۱۳ با جایگزینی x_s بجای x بدست می‌آید [۲۴].

علاوه بر این در این رابطه، p پیکسل بجای ۲ پیکسل همسایگی قبلی در نظر گرفته می‌شود. با افزایش مقدار p دقت تخمین بالاتر می‌رود اما پیچیدگی محاسبات زیاد می‌شود. در این کار ضرایب پیشگویی خطی بر اساس [۲۴] و در محیط نرم‌افزاری MATLAB محاسبه شده است. در بخش ۴-۱ بیان شد که برای نگاشت با اطلاعات بیشتر و غلبه بر مسئله گم شدن اطلاعات، نگاشت‌ها توسط سه استوانه متعامد انجام می‌شود. بنابراین مجموعه x_s, y, z برای بیان مقادیر بردارهای بدست آمده از نگاشت‌های استوانه‌ای در سه جهت محور اصلی تشکیل می‌گردد. t متعلق به $\{x, y, z\}$ جهت محورهایی است که استوانه در راستای آن‌ها قرار دارد. (بردارهای x_s, y, z و x_s, y, z بترتیب مربوط به نگاشت استوانه‌ای مدل در جهت x, y, z است). با استفاده از تحلیل پیشگویی خطی، مجموعه ضرایب پیشگویی خطی دوبعدی A_t از مجموعه x_s, y, z استخراج می‌گردد (بردارهای A_x, A_y, A_z بترتیب مربوط ضرایب پیشگویی خطی در جهت x, y, z می‌باشد). ضرایب A_x از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$A_x = [a_x(0,0) \ a_x(0,1) \ \dots \ a_x(0,p) \ a_x(1,0) \ a_x(1,1) \ \dots \ a_x(1,p) \ \dots \ a_x(p,0) \ a_x(p,1) \ \dots \ a_x(p,p)] \quad (14)$$

$$A_y = [a_y(0,0) \ a_y(0,1) \ \dots \ a_y(0,p) \ a_y(1,0) \ a_y(1,1) \ \dots \ a_y(1,p) \ \dots \ a_y(p,0) \ a_y(p,1) \ \dots \ a_y(p,p)] \quad (15)$$

$$A_z = [a_z(0,0) \ a_z(0,1) \ \dots \ a_z(0,p) \ a_z(1,0) \ a_z(1,1) \ \dots \ a_z(1,p) \ \dots \ a_z(p,0) \ a_z(p,1) \ \dots \ a_z(p,p)] \quad (16)$$

در نتیجه مجموعه ویژگی ضرایب پیشگویی خطی S_A برای یک مدل سه بعدی بصورت زیر بیان می‌شود:

$$S_A = (A_x, A_y, A_z) \quad (17)$$

۴-۴ اندازه‌گیری شباهت با استفاده از فاصله اقلیدسی

پس از اینکه بردارهای ویژگی حاصل شد، فاصله بین بردار ویژگی مدل جستجو و بردارهای ویژگی موجود در پایگاه داده محاسبه می‌شود. با مقایسه فاصله بین دوبردار ویژگی استخراج شده از مدل، شباهت بین آن‌ها، اندازه‌گیری می‌شود. در اینجا فاصله بین دو مجموعه ضرایب پیشگویی خطی مدل، برای مقایسه شباهت بین مدل‌ها استفاده می‌شود. شباهت بین مدل جستجوی q و مدل تطبیقی s بصورت رابطه ۱۸ تعریف می‌شود.

$$s = \frac{1}{\text{فاصله بین بردارهای ویژگی دو مدل } q \text{ و } s} = \text{شباهت بین دو مدل } (s \text{ و } q) \quad (18)$$

هرچه مقدار شباهت بیشتر باشد، مدل سه بعدی تطبیق داده شده s به مدل جستجوی q نزدیک‌تر است.

در رابطه بالا، $a(i)$ ها ضرایب پیشگویی خطی و p مرتبه تخمین است. خطای تخمین $e(n)$ نیز از رابطه ۷ محاسبه می‌گردد.

$$e(n) = x(n) - \sum_{i=1}^p a(i)x(n-i) \quad (7)$$

تعداد زیادی از ویژگی‌های پیشگویی یک بعدی را می‌توان به حالت دو بعدی گسترش داد. مدل نیم صفحه نامتقارن (NSHP) برای تخمین سیگنال دوبعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳۵]. این مدل پیکسل‌های ردیف‌های قبلی تصویر و پیکسل‌های ردیف خود را برای عمل تخمین در نظر می‌گیرد. بنابراین سیگنال دوبعدی تخمین زده شده $\hat{x}(m,n)$ از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\hat{x}(m,n) = \sum_{(i,j) \in P} a(i,j)x(m-i,n-j) \quad (8)$$

در رابطه بالا، P مشخصه NSHP در مکان (m,n) می‌باشد. تعداد ضرایب تخمین به دقت مورد نیاز برای پیشگویی بستگی دارد. برای نمونه، پیشگویی خطی با استفاده از ۲ پیکسل همسایگی از رابطه ۹ بدست می‌آید.

$$\hat{x}(m,n) = a(1,0)x(m-1,n) + a(0,1)x(m,n-1) \quad (9)$$

ضرایب پیشگویی خطی دوبعدی با کمینه‌سازی میانگین مربع خطای تخمین محاسبه می‌شوند. این ضرایب به توابع خودهمبستگی اطلاعات با معادلات Yule Walker وابسته هستند [۳۴]. برای مدل معادله ۹، معادلات Yule Walker از رابطه زیر بدست می‌آیند:

$$\begin{bmatrix} R_{xx}(0,0) & R_{xx}(1,1) \\ R_{xx}(1,1) & R_{xx}(0,0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a(1,0) \\ a(0,1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{xx}(1,0) \\ R_{xx}(0,1) \end{bmatrix} \quad (10)$$

و

$$R_{xx}(k,l) = E \{x(m+k,n+l)x(m,n)\} \quad (11)$$

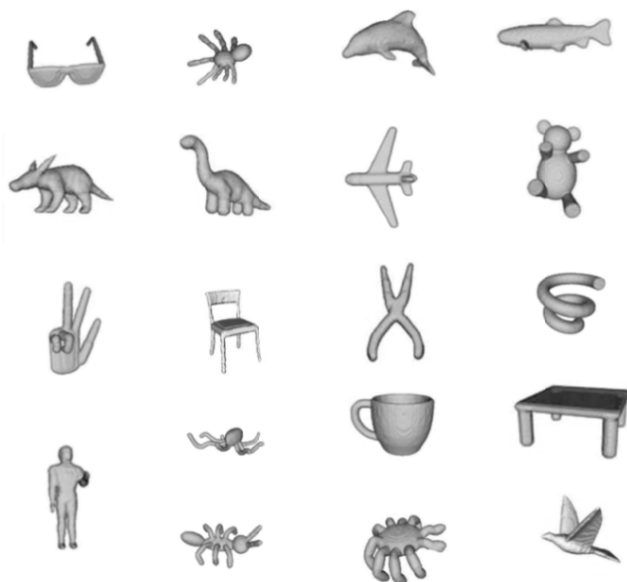
در رابطه بالا $R_{xx}(k,l)$ تابع خودهمبستگی در تاخیر (k,l) و E عملگر امید ریاضی است. در نهایت ضرایب پیشگویی خطی با استفاده از ۲ پیکسل همسایگی از رابطه ۱۲ بدست می‌آید:

$$\begin{bmatrix} a(1,0) \\ a(0,1) \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} R_{xx}(0,0) & R_{xx}(1,1) \\ R_{xx}(1,1) & R_{xx}(0,0) \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} R_{xx}(1,0) \\ R_{xx}(0,1) \end{bmatrix} \quad (12)$$

نمونه تابع همبستگی $\hat{R}_{xx}(k,l)$ در بلوک تصویری $N \times M$ از رابطه زیر حاصل می‌شود.

$$\hat{R}_{xx}(k,l) = \frac{1}{N \times M} \sum_{m=0}^{M-1-k} \sum_{n=0}^{N-1-l} x(m+k,n+l)x(n,m) \quad (13)$$

معادلات ۸ تا ۱۳ را می‌توان برای یک رویه مدل سه بعدی بکار برد. برای این کار عمق چندوجهی (مقدار ρ) جایگزین شدت روشنایی پیکسل می‌شود. بدین منظور برای هر نگاشت استوانه‌ای از مدل سه بعدی ماتریس x_s بجای ماتریس تصویر تشکیل می‌شود. در این ماتریس اندازه $x_s(m,n)$ برابر با $(\rho(\varphi(m)), z(n))$ در نگاشت



شکل ۶ مدل های سه بعدی پایگاه داده‌ی McGill.

اما در اینجا، عمل نگاشت بر سه استوانه متعامد بجای یک استوانه انجام شد. وقتی که نگاشت تنها با یک استوانه در جهت محور x انجام می شود، یک سری اطلاعات مفید در اثر وجود برخی موانع در راستای این محور از بین می رود. بنابراین، در این کار علاوه بر راستای x نگاشت در جهت های y و z نیز انجام گرفت. با نگاشت بر سه استوانه متعامد، اطلاعات گم شده مدل در اثر قرار گرفتن در مانع، بطور قابل ملاحظه ای کاهش یافته و کارایی توصیفگر افزایش می یابد. مقایسه نگاشت بر استوانه های متعامد و نگاشت در جهت x توسط منحنی دقت-فراخوانی در شکل ۷ نشان داده شده است. در منحنی دقت-فراخوانی هرچه قدر که منحنی به گوشه بالا و سمت راست میل کند، نشان می دهد که بازیابی عملکرد بهتری دارد. بنابراین بازیابی ایده آل هنگامی رخ می دهد که مقدار دقت برای تمام مقادیر فراخوانی برابر ۱ باشد. شکل ۷ به وضوح نشان می دهد که هنگامی نگاشت در سه جهت انجام می شود، عملکرد توصیفگر بسیار بهتر از وقتی است که فقط در جهت یک محور انجام می گیرد. در ادامه عملکرد روش پیشنهادی با روش های زیر مقایسه می شود:

۱- توصیفگر هارمونیک کروی^۲ (SHD): یک روش مبتنی

بر هندسه می باشد که در برابر چرخش نیز مقاوم است. این توصیفگر برای مدل هایی که با مجموعه توابع کروی ارائه می شوند، مورد استفاده قرار می گیرد. این روش براساس هارمونیک های کروی برای تبدیل ویژگی های وابسته به چرخش به ویژگی های مستقل از چرخش، عمل می کند. تغییرات مدل سه بعدی با پوسته های کروی هم مرکز ثبت می شود. این تغییرات با نرم ضرایب هارمونیک کروی که توابع مدل را بطور شایسته ای توصیف می کنند، بکار می روند [۵].

۴-۵ مرتب کردن مدل ها براساس میزان شباهت

در این مرحله، همه مدل های پایگاه داده بر اساس فاصله بدست آمده در مرحله قبلی، مرتب می شوند. سپس فهرست K مدل سه بعدی که بیشترین شباهت را با مدل جستجو دارند، انتخاب شده و به کاربر ارائه می شوند.

۵ نتایج شبیه سازی

برای ارزیابی کارایی توصیفگر پیشنهاد شده پایگاه داده McGill مورد استفاده قرار می گیرد [۳۶]. این پایگاه داده شامل ۴۵۷ مدل سه بعدی است، این ۴۵۷ مدل به ۱۹ کلاس مختلف تقسیم بندی می شوند. در هر کلاس حدود ۱۲ تا ۳۱ مدل مشابه وجود دارد. مدل های موجود در این پایگاه داده شامل مورچه، پرنده، خرچنگ، صندلی، فنجان، ماهی، هواپیما، انسان، دایناسور، میز، مار، هشت پا، دلفین، عنکبوت، عروسک خرسی، چهارپا، انبردست، دست انسان و عینک هستند. شکل ۶ مدل های موجود در این پایگاه داده را نمایش می دهد. کارایی توصیفگر بر اساس منحنی دقت-فراخوانی^۱ ارزیابی می شود. در این ارزیابی یک مدل q از کلاس G انتخاب شده و در میان مدل های پایگاه داده جستجو می گردد. سیستم بازیابی برای یافتن مدل هایی که دارای شباهت زیادی با مدل جستجوی q هستند، بکار برده می شود. اگر مدل بازیابی شده r متعلق به کلاس G باشد، عمل بازیابی با موفقیت انجام شده و اگر متعلق به کلاس G نباشد، عمل بازیابی با شکست مواجه شده است. منحنی دقت-فراخوانی که برای اندازه گیری دقت بازیابی مورد استفاده قرار می گیرد، بر پایه مقادیر دقت و بازیابی عمل می کند. دقت، نسبت بین تعداد مدل های بازیابی شده متعلق به کلاس G ، به کل مدل های بازیابی شده را بیان می کند. فراخوانی، برابر با تناسب بین تعداد مدل های بازیابی شده متعلق به کلاس G به کل مدل های متعلق به این کلاس است.

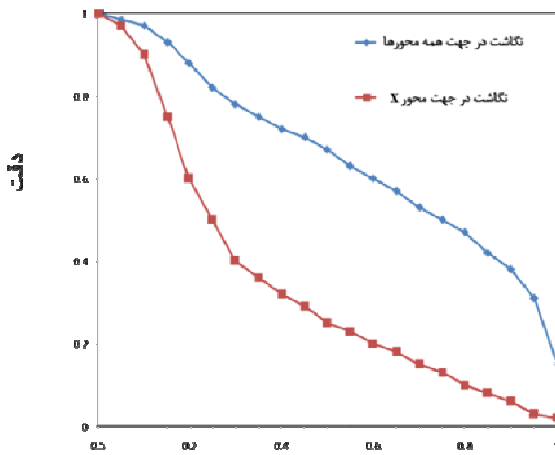
$$(19) \quad \text{دقت} = \frac{\text{تعداد مدل های بازیابی شده متعلق به کلاس } G}{\text{کل مدل های بازیابی شده}}$$

و

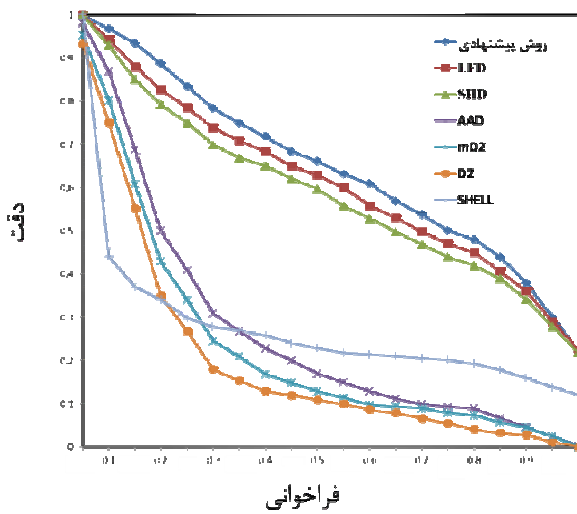
$$(20) \quad \text{فراخوانی} = \frac{\text{تعداد مدل های بازیابی شده متعلق به کلاس } G}{\text{تعداد مدل های کلاس } G}$$

۵-۱ مقایسه با روش های دیگر

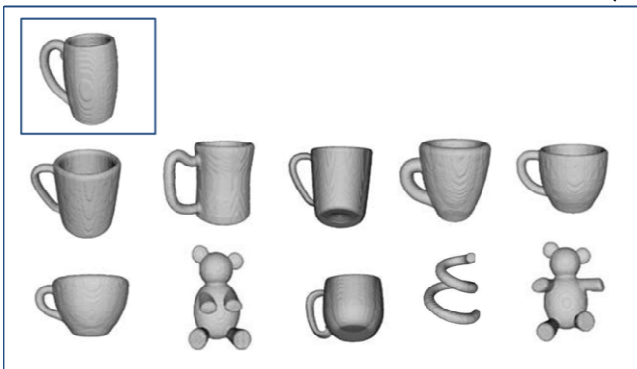
برای بررسی عملکرد بازیابی، روش پیشنهادی با کار قبلی خودمان و چند روش دیگر مقایسه می شود. در کار قبلی که انجام داده ایم، نگاشت تنها بر روی یک استوانه هم راستا با محور x انجام گرفته است [۱۸].



شکل ۷ منحنی دقت-فراخوانی روش پیشنهادی با نگاشت در سه محور اصلی و مقایسه آن با نگاشت تنها در جهت محور X.



شکل ۸ رسم منحنی دقت-فراخوانی برای روش پیشنهادی و مقایسه آن با روش‌های LFD، SHD، AAD، mD2، D2 و SHELL با استفاده از پایگاه داده‌ی McGill.



شکل ۹ بازیابی مدل سه‌بعدی بر اساس شباهت کلی. بالا سمت چپ مدل جستجو شده فنجان را نشان می‌دهد، مدل‌های بازیابی شده با استفاده از توصیفگر پیشنهادی بترتیب از سمت چپ به بالا به پایین مرتب شده‌اند.

۲- توصیفگر حوزه نور^۱ (LFD): این توصیفگر یک مدل سه‌بعدی را با استفاده از هیستوگرام تصاویر دوبعدی ارائه می‌کند. هدف اصلی در LFD توصیف شباهت بین مدل‌ها، بر پایه تصاویر بصری نگاشته شده از مدل است. [۳۷].

۳- هیستوگرام پوسته: این توصیفگر یک روش مبتنی بر هندسه است که با اندازه‌گیری فاصله اقلیدسی هر رأس نسبت به مرکز مدل بدست می‌آید [۲۰].

۴- فاصله زاویه‌ای مطلق^۲ (AAD): در این روش توزیع زاویه‌ای بین بردارهای نرمال سطح بعنوان توصیفگر استفاده می‌شود [۳۸].

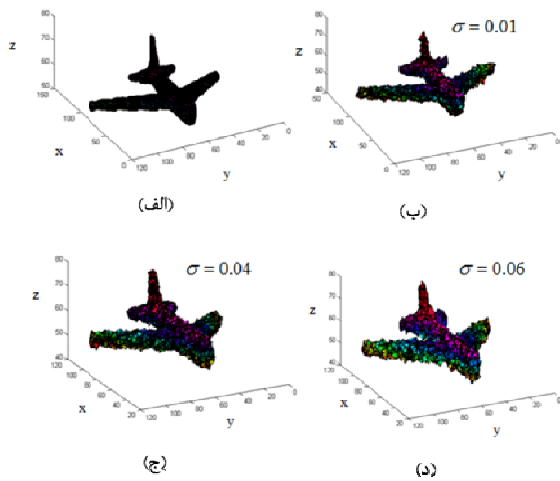
۵- D2: در این روش فاصله دوجه دوی نقاط روی رویه مدل‌های سه‌بعدی محاسبه می‌شوند. سپس هیستوگرام این فاصله‌ها برای توصیف مدل‌ها بکار برده می‌شود. [۱۰].

۶- mD2: این توصیفگر یک روش تعمیم یافته از روش D2 است. در این روش برخلاف روش D2 فاصله‌های همه نقاط روی رویه مدل اندازه‌گیری نمی‌شوند، بلکه فاصله‌های دوجه‌دوی برخی از نقاط روی رویه مدل که با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی بدست می‌آیند را اندازه‌گیری می‌کند [۳۷].

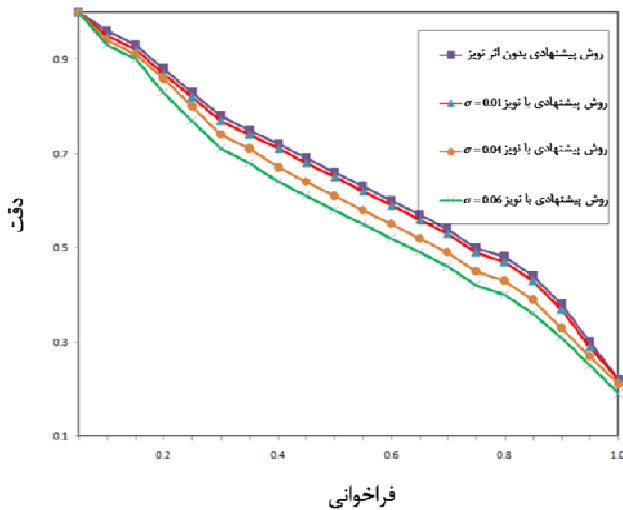
شکل ۸ منحنی دقت-فراخوانی را برای روش پیشنهادی و روش‌های ذکر شده در بالا نشان می‌دهد. همانطور که در شکل نیز نشان داده شده است، روش پیشنهادی نسبت به روش‌های هارمونیک کروی، توصیفگر حوزه نور و هیستوگرام پوسته عملکرد بهتری دارد. شکل ۹ نمونه‌ای از بازیابی مدل سه‌بعدی با استفاده از توصیفگر پیشنهاد شده نشان می‌دهد. در سمت چپ و بالای شکل، مدل فنجان بعنوان مدل جستجو انتخاب شده است. مدل‌های بازیابی شده توسط روش پیشنهادی در پایین شکل نشان داده شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود، اغلب مدل‌های بازیابی شده برای مدل فنجان صحیح هستند. اگر دست و پاهای کوتاه خرس پس نگاشت استوانه‌ای برای مدل‌های خرس عروسکی تقریباً همانند نگاشت مدل فنجان می‌باشد، بنابراین در شکل ۹ مشاهده می‌شود که در برخی موارد به جای مدل فنجان مدل خرس عروسکی بازیابی شده است.

۵-۲ پایداری در برابر نویز

در این بخش پایداری توصیفگر بیان شده در برابر نویز مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای این منظور برای بازیابی از مدل‌های آغشته به نویز استفاده می‌شود. نویز گوسی با $\sigma > 0.01$ (متغیر σ انحراف معیار نویز را نشان می‌دهد) اثر مخربی بر روی مدل سه



شکل ۱۰ (الف): مدل سه بعدی. (ب) تا (د): تاثیر اضافه کردن مقادیر مختلف نویز گوسی ($\sigma=0.01$ ، $\sigma=0.04$ و $\sigma=0.06$) بر روی مدل سه بعدی.



شکل ۱۱ تاثیر درجه های مختلف نویز گوسی ($\sigma=0.01$ ، $\sigma=0.04$ ، $\sigma=0.06$) بر روی عملکرد بازیابی روش پیشنهاد شده.

بعدی دارد. مدل های سه بعدی نویزی شده در شکل ۱۰-ب تا د نشان داده شده است. همانطوری که در شکل نیز نشان داده شده است، رأس های واقع بر رویه مدل بطور تصادفی جابجا شده اند. عملکرد توصیفگر پیشنهاد شده قبل و بعد از اضافه کردن درجه های مختلف نویز گوسی روی مدل سه بعدی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج شبیه سازی در شکل ۱۱ نشان می دهد که توصیفگر پیشنهاد شده در برابر درجه های مختلف نویز گوسی پایدار است. همانطور که در شکل نیز نشان داده می شود، عملکرد توصیفگر هنگامی که $\sigma=0.01$ است، با حالت بدون نویز تغییر چندانی نکرده است. برای درجه های بزرگ تر ($\sigma=0.04$ و $\sigma=0.06$)، اضافه کردن نویز تاثیر بیشتری بر روی عملکرد بازیابی گذاشته است. شکل ۱۱ نشان می دهد که با افزایش درجه نویز گوسی عملکرد بازیابی نیز کاهش می یابد.

۶ نتیجه گیری و کارهای آینده

در این مقاله، یک توصیفگر با استفاده از ضرایب پیشگویی خطی برای بازیابی مدل های سه بعدی پیشنهاد شد. ابتدا مدل روی سطوح جانبی استوانه های متعامد نگاشته شد. سپس ضرایب پیشگویی برای هر مدل سه بعدی نگاشت شده استخراج گردید. توصیفگر پیشنهادی ساختارهای مختلف مدل ها را با دقت بالایی از همدیگر تفکیک نمود. همچنین نشان داده شد که روش ارائه شده در برابر چرخش، انتقال، مقیاس بندی و نویز مقاوم است. کارایی و عملکرد توصیفگر پیشنهاد شده با استفاده از پایگاه داده سه بعدی McGill مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که توصیفگر پیشنهادی عملکرد بهتری نسبت به برخی روش های دیگر دارد. برای ادامه کار، می توان برای عمق های مختلف مدل سه بعدی رویه های مختلفی را به دست آورد. سپس برای هر کدام از این رویه ها، ضرایب پیشگویی خطی را استخراج نمود و بردار ویژگی ضرایب پیشگویی خطی را برای همه رویه های حاصل تشکیل داد. با این عمل، اطلاعات گم شده ناشی از نگاشت مدل بسیار کاهش می یابد. همچنین می توان به جای نگاشت استوانه ای، از نگاشت کروی استفاده نمود و سپس ضرایب پیشگویی خطی را از آن استخراج نمود. برای بالا بردن قدرت تفکیک توصیفگر می توان ضرایب دیگری مانند ضرایب فوریه، ویولت و ... را با ضرایب پیشگویی خطی ترکیب نمود.

مراجع

- [1] C. Zhang and T. Chen, "Efficient feature extraction for 2D/3D objects in mesh representation" In proceedings of International Conference of Image Processing on IEEE. Vol. 3, pp. 935-938, 2001.
- [2] D. Frejlichowski, "A three-dimensional shape description algorithm based on polar-fourier transform for 3D model retrieval", Image Analysis, Springer, Berlin Heidelberg, pp. 457-466, 2011.
- [3] E. Paquet and M. Rioux, "Content-based access of VRML libraries." In Multimedia Information Analysis and Retrieval Springer Berlin Heidelberg, pp. 20-32, 1998.
- [4] A. Khatun, W. y. Chai and M. R. Islam, "An Ellipsoidal 3D Shape Representation and Wavelet Transform Feature Descriptor for 3D Shape Retrieval", Asian Journal of Information Technology vol. 9, pp. 101-106, 2010.
- [5] M. Kazhdan, T. Funkhouser and S. Rusinkiewicz, "Rotation invariant spherical harmonic representation of 3D shape descriptors", In Proceedings of the Eurographics ACM SIGGRAPH symposium on Geometry processing, Eurographics Association, pp. 156-164, 2003.
- [6] H. Laga, M. Nakajima and K. Chihara, "Discriminative spherical wavelet features for content-based 3D model

- eighth ACM symposium on Solid modeling and applications, ACM, pp. 216–225, 2003.
- [22] J. Ricard, D. Couerjolly and A. Baskurt, "Generalizations of angular radial transform for 2D and 3D shape retrieval." *Pattern Recognition Letters*, vol. 26, pp. 2174–2186, 2005.
- [23] J. L. Shih, C. H. Lee and J. T. Wang, "A new 3D model retrieval approach based on the elevation descriptor", *Pattern Recognition*, vol. 40, pp. 283–295, 2007.
- [24] P. Maragos, R. W. Schafer and R. M. Mersereau, "Two-dimensional linear prediction and its application to adaptive predictive coding of images", *IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing*, vol. 32, pp. 1213–1229, 1984.
- [25] X. Pan, Q. You, Z. Liu and Q. H. Chen, "3D shape retrieval by Poisson histogram." *Pattern Recognition Letters* vol. 32, pp. 787–794, 2011.
- [26] J. Löffler, "Content-based retrieval of 3D models in distributed web databases by visual shape information." In *Information Visualization, Proceedings. IEEE International Conference*, pp. 82–87, 2000.
- [27] L. Li, H. Wang, T. J. Chin, D. Suter and S. Zhang, "Retrieving 3D CAD models using 2D images with optimized weights", In *Image and Signal Processing (CISP), 3rd International Congress on IEEE*. Vol. 4, pp. 1586–1589, 2010.
- [28] T. Napoléon and H. Sahbi, "From 2D silhouettes to 3D object retrieval: contributions and benchmarking." *Journal on Image and Video Processing*, vol. 1, pp. 1–18, 2010.
- [29] Y. Gao, M. Wang, Z. J. Zha, Q. Tian, Q. Dai and N. Zhang, "Less is more: efficient 3-d object retrieval with query view selection. *Multimedia*", *Multimedia*, IEEE Transactions, vol. 13, pp. 1007–1018, 2011.
- [30] C. T. Kuo and S. C. Cheng, "3D model retrieval using principal plane analysis and dynamic programming", *Pattern Recognition*, vol. 40, pp. 742–755, 2007.
- [31] R. C. Veltkamp, "Shape matching: Similarity measures and algorithms. In *Shape Modeling and Applications*", *SMI International Conference on IEEE*, pp. 188–197, 2001.
- [32] S. Ranganath and A. Jain, "Two-dimensional linear prediction models--part I: Spectral factorization and realization." *IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing*, vol. 33, pp. 280–299, 1985.
- [33] H. Fang and A. Yagle, "Two-dimensional linear prediction and spectral estimation on a polar raster", *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 42, pp. 628–641, 1994.
- [34] S. Haykin, *Adaptive filter theory (ise)*, Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 2003.
- [35] A. K. Jain, *Fundamentals of digital image processing*, Englewood Cliffs: Prentice-Hall, Inc, 3, 1989.
- retrieval", *International Journal of Shape Modeling* vol. 13, pp. 51–72, 2007.
- [7] C. Ziyang, "Retrieval of 3D Models Based on Spherical Harmonics", In *proceedings of International Conference Electrical and Control Engineering (ICECE) on IEEE*, pp. 2991–2994, 2010.
- [8] G. K. Tam, and R. W. Lau, "Deformable model retrieval based on topological and geometric signatures", *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 13, pp. 470–482, 2007.
- [9] W. Mohamed and A. B. Hamza, "Reeb graph path dissimilarity for 3D object matching and retrieval", *The Visual Computer* vol. 28, pp. 305–318, 2012.
- [10] R. Osada, T. Funkhouser, B. Chazelle and D. Dobkin, "Shape distributions." *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, vol. 21, pp. 807–832, 2002.
- [11] J. L. Shih and H. Y. Chen, "A 3D model retrieval approach using the interior and exterior 3D shape information." *Multimedia Tools and Applications*, vol. 43, pp. 45–62, 2009.
- [12] K. S. Zou, W. H. Ip, C. H. Wu, Z. Q. Chen, K. L. Yung and C. Y. Chan, "A novel 3D model retrieval approach using combined shape distribution", *Multimedia Tools and Applications*, pp. 1–20, 2012.
- [13] J. W. Tangelder, and R. C. Veltkamp, "A survey of content based 3D shape retrieval methods", *Multimedia Tools and Applications*, vol. 39, pp. 441–471, 2008.
- [14] H. Sundar, D. Silver, N. Gagvani and S. Dickenson, "Skeleton based shape matching and retrieval", In *Proceedings of Shape Modeling International. IEEE*, pp. 130–139, 2003.
- [15] Z. Qin, J. Jia and J. Qin, "Content-based 3D Model Retrieval: A Survey", In *Proceedings of Content-Based Multimedia Indexing*, pp. 249–256, 2008.
- [16] L. R. Rabiner and R. W. Schafer. *Digital processing of speech signals*, New York: Prentice-hall. Prentice-hall Englewood Cliffs, Vol. 19, 1978.
- [17] M. Petrou and C. Petrou. *Image processing: the fundamentals*, Wiley, 2010.
- [18] V. Mehrdad and H. Ebrahimnezhad, "3D Model Retrieval Using Linear Prediction Coding Descriptor", *20th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE)*, Tehran, Iran, pp. 721–725, 2012.
- [19] J. Corney, H. Rea, D. Clark, J. Pritchard, M. Breaks and R. Macleod "Coarse filters for shape matching", *Computer Graphics and Applications*, IEEE, vol. 22, pp. 65–74, 2002.
- [20] H. P. Kriegel, S. Brecheisen, P. Kröger, M. Pfeife and M. Schubert, "Using sets of feature vectors for similarity search on voxelized CAD objects", In *Proceedings of the ACM SIGMOD international conference on Management of data*, pp. 587–598, 2003.
- [21] M. Novotni and R. Klein, "3D zernike descriptors for content based shape retrieval. "In *Proceedings of the*

- [36] J. Zhang and K. Siddiqi, D. Macrini, A. Shokoufandeh and S. Dickinson, "Retrieving articulated 3-d models using medial surfaces and their graph spectra," In Energy minimization methods in computer vision and pattern recognition. Springer Berlin Heidelberg, pp. 285-300, 2005.
- [37] D. Y. Chen, X. P. Tian, Y. T. Shen and M. Ouhyoung, "On visual similarity based 3D model retrieval", In Computer graphics forum, Blackwell Publishing, vol. 22, pp. 223-23, 2003.
- [38] R. Ohbuchi, T. Minamitani and T. Takei, "Shape-similarity search of 3D models by using enhanced shape functions", International Journal of Computer Applications in Technology, vol. 23, pp. 70-85, 2005.

وحید مهرباد مدرک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را به ترتیب در سال-های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۸ در رشته مهندسی برق-الکترونیک از دانشگاه شهید رجایی تهران اخذ کرد. او هم اکنون دانشجوی دکتری مهندسی برق-مخابرات سیستم در دانشگاه صنعتی سهند می باشد. علاقمندی تحقیقاتی ایشان بینایی کامپیوتر، پردازش مدل های سه بعدی و پردازش تصویر است.



حسین ابراهیم نژاد مدرک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را به ترتیب در سال-های ۱۳۷۲ و ۱۳۷۵ در رشته مهندسی برق-الکترونیک و برق مخابرات از دانشگاه تبریز و دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی اخذ کرد. همچنین مدرک دکتری خود را در گرایش مخابرات سیستم در سال ۱۳۸۶ از دانشگاه تربیت مدرس دریافت کرد. زمینه های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان بینایی کامپیوتر، پردازش مدل سه بعدی، پردازش تصویر، شناسایی الگو و محاسبات نرم بوده و در حال حاضر دانشیار و عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی سهند می باشد.

