

تخمین حالت و همتراز سازی مدل‌های سه‌بعدی با کمینه سازی تابع خطا در تصاویر سایه‌نما

محمد رمضان و حسین ابراهیم‌نژاد

چکیده

از آنجائیکه بسیاری از توصیف‌گرهای مورد استفاده در زمینه جستجوی مدل‌های سه‌بعدی نسبت به تغییرات و تبدیلات تشابه، بدون تغییر نیستند، هم‌تراز کردن مدل‌های سه‌بعدی یکی از مهمترین گام‌های رسیدن به یک سیستم بازیابی و یا تشخیص مدل‌های سه‌بعدی با دقت بالا می‌باشد. این مقاله، روشی برای تخمین حالت‌های مختلف یک مدل سه‌بعدی مثلثی در فضای سه‌بعدی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی Nelder-Mead، با تابع هزینه‌ای برابر میزان اختلاف مساحت سایه‌نماهای حاصله از مدل سه‌بعدی مورد نظر در زاویه‌های دید متناظر ارائه می‌دهد. بطوریکه پس از انجام استانداردسازی مدل‌های سه‌بعدی به لحاظ موقعیت و تغییرات مقیاس، به منظور هم‌ترازسازی از نقطه نظر چرخش در هر کلاس از مدل‌های پایگاه داده مورد بررسی، یکی از مدل‌های سه‌بعدی به عنوان الگو در نظر گرفته شده و بقیه مدل‌ها طوری در فضای سه‌بعدی دوران داده می‌شوند که به بهترین حالت ممکن برای انطباق با مدل الگو دست یابند. جهت بررسی صحت روش ارائه شده، از مدل‌های سه‌بعدی موجود در پایگاه داده McGill، استفاده شده است. نتایج کمی به دست آمده از آزمایش‌های مختلف، بیانگر موفقیت الگوریتم پیشنهادی در هم‌تراز سازی مدل‌های مورد بررسی می‌باشد. برای نمونه، مدل سه‌بعدی هواپیما با بکارگیری تصاویر سایه‌نما با ابعاد 256×256 پیکسل، خطای کمینه (مجموع مساحت ناحیه غیر همپوشان سایه‌نماهای متناظر) در بهترین حالت به مقدار 36437 پیکسل می‌رسد که این خطا معادل $6/8\%$ مجموع مساحت سایه‌نماهای دو مدل سه‌بعدی مورد بررسی (ثابت و متحرک) می‌باشد.

کلید واژه‌ها

مدل سه‌بعدی، تخمین حالت، هم‌ترازی چرخشی، الگوریتم Nelder-Mead، بهینه‌سازی.

۱ مقدمه

پیدا کرده است. بنابراین، پردازش و بررسی مدل‌های سه‌بعدی، به یکی از مهمترین مسائل در مباحث بینایی ماشین و پردازش سیگنال تبدیل شده است. از جمله مهمترین سیستم‌هایی که به پردازش و بررسی مدل‌های سه‌بعدی می‌پردازد، سیستم‌های جستجو و بازیابی مدل‌های سه‌بعدی، می‌باشند. هر کدام از سیستم‌های بازیابی موجود و سیستم‌هایی که در آینده پیشنهاد می‌شوند، از ویژگی‌ها و توصیف‌گرهای خاصی استفاده می‌کنند و از آنجائیکه دسته بسیار وسیعی از این ویژگی‌ها و توصیف‌گرها نسبت به تغییرات و تبدیلات تشابه، از جمله انتقال، تغییر مقیاس و تغییر زاویه دوران، حساس بوده و بدون تغییر نمی‌باشند، بنابراین، نیاز به یک الگوریتم هوشمند با کارایی قابل قبول احساس

با توجه به نوآوری‌ها و پیشرفت‌های زیادی که در سال‌های اخیر در تکنولوژی‌های تصویربرداری سه‌بعدی و نرم‌افزارهای طراحی و مدل‌سازی سه‌بعدی صورت گرفته است، میزان مدل‌های سه‌بعدی، چه در محیط اینترنت و چه در سایر محیط‌های مجازی، افزایش

این مقاله در شهریورماه ۱۳۹۱ دریافت، در خردادماه ۱۳۹۲ بازنگری و در مهرماه ۱۳۹۲ پذیرفته شد.

محمد رضمانی، دانشگاه صنعتی سهند، دانشکده مهندسی برق،

mr_ramezani@sut.ac.ir

حسین ابراهیم‌نژاد، دانشگاه صنعتی سهند، دانشکده مهندسی برق،

ebrahimnezhad@sut.ac.ir

۲ کارهای گذشته

در این قسمت، به شرح مختصری از فعالیت‌های انجام شده در زمینه استانداردسازی و هم‌ترازسازی مدل‌های سه‌بعدی می‌پردازیم.

۱-۲ روش‌های مبتنی بر آنالیز اجزای اساسی

یکی از قدیمی‌ترین و مشهورترین روش‌های موجود در این زمینه، آنالیز اجزای اساسی می‌باشد [۳] که بر مبنای محاسبه ممان‌های یک مدل سه‌بعدی عمل می‌کند. پس از ارائه این روش به عنوان اولین روش، الگوریتم‌های بسیار دیگری به منظور تقویت و بهبود میزان عملکرد این الگوریتم پیشنهاد شده‌اند که از آن جمله می‌توان به آنالیز اجزای اساسی پیوسته [۴]، با در نظر گرفتن میزان مساحت هر کدام از رویه‌های مدل سه‌بعدی اشاره کرد. دو روش گفته شده، از روش‌های معمول برای هم‌ترازسازی مدل‌های سه‌بعدی می‌باشد.

این دسته از روش‌ها، از اطلاعات آماری مختصات رئوس استفاده نموده و با استخراج سه محور متعامد با بیشترین مقادیر، پراکندگی، محورهای اساسی هر مدل سه‌بعدی را استخراج می‌کنند. همچنین با گسترش ایده موجود در روش آنالیز اجزای اساسی پیوسته، آنالیز اجزای اساسی بردارهای نرمال [۵] شده است که با در نظر گرفتن بردار نرمال هر کدام از وجه‌های مدل سه‌بعدی، محورهای اساسی و متعامد هر مدل سه‌بعدی را استخراج می‌کند. در این روش، عملیات موجود در روش آنالیز اجزای اساسی پیوسته در مورد بردارهای نرمال وجه‌های یک مدل سه‌بعدی اجرا می‌شود. از جمله نقاط ضعف روش‌های هم‌ترازسازی مبتنی بر آنالیز اجزای اساسی آن است که این دسته از روش‌ها عموماً دارای دقت کمی بوده و در هم‌ترازسازی مدل‌های سه‌بعدی مختلف در یک کلاس معنایی، ضعیف عمل می‌کنند. چرا که محورهای اساسی و متعامد استخراج شده از الگوریتم‌های مذکور لزوماً بر محورهای قالب مختصات استاندارد ایده‌آل موازی نیست [۶]. دو روش آنالیز اجزای اساسی پیوسته و آنالیز اجزای اساسی بردارهای نرمال، هیچ‌گونه مزیتی نسبت به یکدیگر نداشته و در برخی از مدل‌های سه‌بعدی روش آنالیز اجزای اساسی پیوسته و در برخی دیگر روش آنالیز اجزای اساسی بردارهای نرمال بهتر عمل خواهد کرد [۷].

۲-۲ روش‌های مبتنی بر تقارن

بسیاری از روش‌های هم‌ترازسازی مدل‌های سه‌بعدی، از

می‌شود. در بسیاری از موارد، مدل‌های سه‌بعدی در فضا به صورت دلخواه از نظر موقعیت، مقیاس و میزان دوران قرار گرفته‌اند، بنابراین، استانداردسازی و هم‌ترازسازی مدل‌های سه‌بعدی یکی از مهمترین مسائل در بسیاری از کاربردهای گرافیکی از جمله در سیستم‌های بازیابی، تشخیص و دیداری مدل‌های سه‌بعدی خواهد بود. هدف اصلی در این مقاله، ارائه یک روش هوشمند برای انتقال یک مدل سه‌بعدی با وضعیت دلخواه در فضای سه‌بعدی به یک قالب مختصات استاندارد می‌باشد، به طوری که بیان مدل سه‌بعدی مذکور مستقل از موقعیت، مقیاس و میزان دوران آن در فضای سه‌بعدی باشد.

یک قالب مختصات استاندارد برای یک مدل سه‌بعدی، به صورت یک مکعب محیط بر آن تعریف می‌شود که محورهای آن بر جهات بالا - پائین، راست - چپ و روبرو - پشت مدل سه‌بعدی مورد بررسی موازی می‌باشد. به طور کلی، مهمترین مشکل‌ترین قسمت فرآیند نرمالیزه کردن مدل‌های سه‌بعدی، مربوط به هم‌ترازی دو مدل از نظر میزان دوران و یا چرخش می‌باشد. به طوری که تاکنون روش‌های بسیار زیادی برای حل این مشکل و یا حداقل بهبود روش‌های پیشین پیشنهاد شده است. این مسأله ما را بر آن داشت تا با ارائه یک روش مبتکرانه، به هر چه بهتر هم‌تراز شدن مدل‌های سه‌بعدی موجود در یک کلاس کمک کنیم. در روش ارائه شده در این مقاله، مسأله هم‌ترازسازی مدل‌های سه‌بعدی در فضای سه‌بعدی به هم‌ترازسازی نماهای دویبعدی متناظر آن‌ها در حوزه فضای دویبعدی تقلیل یافته است. هر چند با استفاده از نماها در این روش برخی اطلاعات در حوزه فضای سه‌بعدی را از دست می‌دهیم لیکن استفاده از نماهای دو بعدی بجای استفاده مستقیم از مدل‌های سه‌بعدی، دارای مزایای بسیار زیادی می‌باشد که از جمله آن می‌توان به کاهش حجم محاسبات، افزایش سرعت الگوریتم هم‌ترازسازی، ارائه سراسری ویژگی‌های هندسی مدل مورد بررسی در حوزه فضای سه‌بعدی و مقاومت در برابر نویز و غیره اشاره داشت [۱]. ایده اصلی در ارائه مدل‌های سه‌بعدی در روش‌های مبتنی بر نما، آن است که اگر دو مدل سه‌بعدی در فضا در حالت‌های یکسان و مشابهی قرار داشته باشند، آن وقت هر دو مدل سه‌بعدی از زوایای مختلف مشابه دیده خواهند شد [۲]. در شکل ۱ بلوک دیاگرام روش پیشنهاد شده در این مقاله نشان داده شده است.

در ادامه، سازماندهی مقاله به این ترتیب خواهد بود که، در بخش دوم مروری مختصر بر روش‌ها و فعالیت‌های مرتبط انجام شده در این زمینه شرح داده می‌شود. در بخش سوم، الگوریتم پیشنهادی در سه بخش به صورت مفصل بحث می‌شود. بخش چهارم نتایج بدست آمده از هم‌ترازسازی مدل‌های سه‌بعدی با استفاده از این روش و روش‌های مورد مقایسه را ارائه می‌دهد و در نهایت در بخش پنجم، نتیجه‌گیری مقاله و برخی از کارهای آینده بیان می‌گردد.

¹Principle Component Analysis (PCA) Based Methods

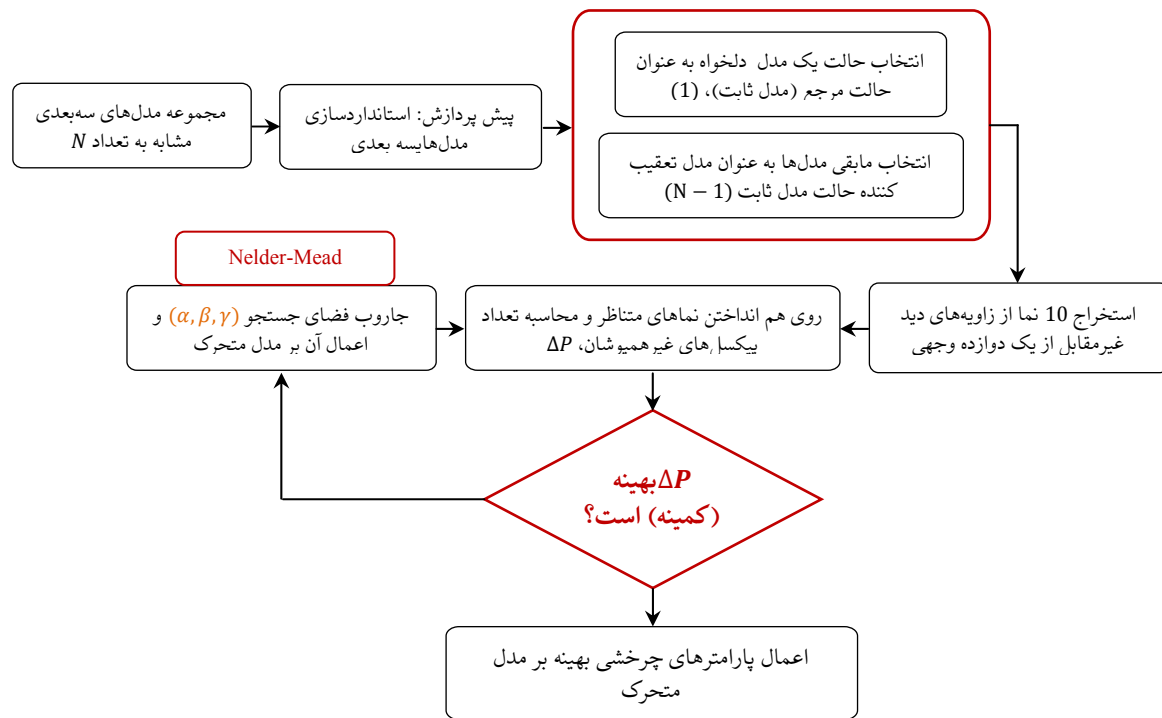
²Continuous PCA (CPCA)

³Faces

⁴Vertices

⁵Normal PCA (NPCA)

⁶Symmetry Based Methods



شکل ۱ بلوک دیاگرام کلی از روش پیشنهاد شده در این مقاله.

۲-۳ روش‌های مبتنی بر بهینه‌سازی

در مباحث مربوط به بینایی ماشین، استفاده از تکنیک‌های بهینه‌سازی از جمله بهترین ابزارهای موجود به منظور دستیابی به مقدار بهینه از یک سری از متغیرهای مورد بررسی می‌باشد. در ساده‌ترین حالت، در یک مسأله بهینه‌سازی، بیشینه یا کمینه یک تابع حقیقی از متغیرها مورد جستجو قرار می‌گیرد. در این دسته از روش‌های هم‌ترازسازی مدل‌های سه‌بعدی، حالت یک مدل سه‌بعدی به متغیرهایی تبدیل می‌شود که در نهایت به صورت یک تابع عددی در الگوریتم بهینه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. رسیدن به جواب مطلوب، منوط به همگرا شدن تابع عددی مذکور به یک مقدار بهینه در فضای جستجوی مورد بررسی می‌باشد. از آنجا که اکثر الگوریتم‌های بهینه‌سازی مورد استفاده در این زمینه، از جمله الگوریتم‌های بهینه‌سازی محلی می‌باشند، حدس اولیه از متغیرهای مورد بحث، یکی از مهمترین قسمت‌های هر الگوریتم بهینه‌سازی می‌باشد. در یکی از روش‌هایی که در این دسته‌بندی قرار دارد، پس از محاسبه پوسته محدب برای مدل سه‌بعدی مورد بررسی، یک تابع ارزیابی با چند معیار مختلف از جمله ویژگی‌های هندسی، میزان ثبات استاتیکی، تقارن، توازن و غیره تشکیل می‌شود. سپس مجموعه‌ای از معیارهای کاندید که برای آن‌ها مقدار تابع ارزیابی ماکزیمم است، برای هم‌ترازسازی مدل‌های ساخت دست انسان استفاده شده است [۱۱].

ویژگی‌های تقارن این مدل‌ها استفاده شده است. از جمله تقارن‌های مدل‌های سه‌بعدی تقارن‌های چرخشی، حلقوی و دوسطحی می‌باشد که در آنالیز ویژگی‌های تقارن انعکاسی در [۸] استفاده شده است. از روشی‌های دیگری که در این دسته‌بندی ارائه شده است، استفاده از تبدیل تقارن [۹] می‌باشد. در این روش‌ها، میزان درجه تقارن مدل سه‌بعدی نسبت به صفحات تقارن انتخاب شده، محاسبه شده و به عنوان یک ویژگی برای هم‌ترازسازی مدل‌های سه‌بعدی مورد استفاده قرار گرفته شده است. این روش در [۱۰] با به کارگیری صفحات تقارن دوطرفه در نماهای سه‌بعدی مدل تعمیم یافته است. در این روش نیز، محورهای اساسی صفحات تقارن دوطرفه مشابه عملیاتی که در روش آنالیز اجزای اساسی وجود دارد، محاسبه می‌شود. به طوری که اولین محور اساسی صفحه تقارن دوطرفه دارای بیشترین گستردگی در صفحات تقارن دوطرفه بوده و محور اساسی دوم عمود بر محور اساسی اول و محور اساسی سوم برابر بردار نرمال صفحه تقارن دوطرفه می‌باشد. در هر صورت، این دسته از روش‌های هم‌ترازسازی مدل‌های سه‌بعدی نیز دارای محدودیت‌هایی می‌باشند. چرا که بسیاری از مدل‌های سه‌بعدی موجود نه تنها تقارن آشکاری ندارند، بلکه در اصل متقارن نبوده و روش‌های هم‌ترازسازی مبتنی بر تقارن در مورد آن‌ها نمی‌تواند کارایی داشته باشد.

¹Rotational

²Cyclic

³Dihedral

⁴Symmetry Transform

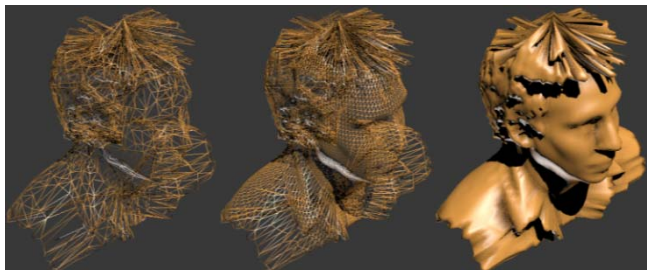
⁵Bilateral Symmetry Planes (BSPs)

⁶Scalar Function

⁷Local Optimization Algorithm

⁸Convex Hull

محاسبات و در نتیجه کاهش سرعت پردازش می‌شود. بنابراین، تنها به منظور تسریع عملیات انتقال مدل سه‌بعدی به مختصات استاندارد از دیدگاه تغییرات انتقال و مقیاس، مدل سه‌بعدی مورد نظر پیش از عملیات انتقال به مختصات استاندارد به تعداد کم‌تری از رئوس و وجه‌های مثلثی، بدون از دست دادن شکل اصلی خود، تقلیل می‌یابد. این روند توسط مدل سه‌بعدی نمایش داده شده از سر انسان در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲ روند ساده‌سازی مدل‌های سه‌بعدی از راست به چپ به منظور تسریع عملیات استانداردسازی.

برای آن که یک مدل سه‌بعدی در قالب مختصات استاندارد قرار بگیرد، باید از سه دیدگاه تغییرات انتقال، مقیاس و دوران استانداردسازی بشود. معمولاً برای بدون تغییر بودن نسبت به تغییرات انتقال، مرکز ثقل مدل سه‌بعدی مورد بررسی را در فضای R^3 بدست آورده و به مرکز مختصات انتقال می‌دهیم. به این ترتیب، مدل مورد نظر نسبت به تغییرات انتقال استانداردسازی شده است. مرکز ثقل مدل‌های سه‌بعدی با استفاده از الگوریتم آنالیز اجزای اساسی پیوسته و با در نظر گرفتن میزان مساحت رویه‌های مدل مورد نظر و به صورت رابطه زیر بدست می‌آید [۱۴]. اگر $V = [v_x, v_y, v_z]^T$ برابر یکی از رئوس مدل سه‌بعدی باشد، در این صورت مختصات V با استفاده از مرکز گرانش از رابطه ۱ بدست خواهد آمد [۱۴].

$$V = a.A_i + b.B_i + (1 - a - b).C_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (1)$$

که در این رابطه A_i ، B_i و C_i برابر رئوس رویه‌ی مثلثی i ام از مدل سه‌بعدی و N برابر تعداد کل رویه‌های مثلثی مدل مورد بررسی می‌باشد. همچنین a و b برابر مختصات مرکز ثقل وجه مثلثی می‌باشد. در نهایت مرکز ثقل مدل سه‌بعدی، m از رابطه ۲ قابل محاسبه خواهد بود.

$$m = \frac{1}{E} \iint_{V \in T_i} V ds = \frac{1}{E} \sum_{i=1}^N E_i \cdot \frac{(A_i + B_i + C_i)}{3} \quad (2)$$

که در این رابطه E برابر مساحت کل سطح مدل سه‌بعدی و E_i برابر مساحت وجه i ام از مدل سه‌بعدی می‌باشد. در نهایت برایتغییرناپذیرنسبت به تغییرات جابه‌جایی به صورت رابطه ۳ عمل می‌کنیم.

۲-۴ روش‌های مبتنی بر نگاشت‌های دوبعدی

در بسیاری از روش‌های هم‌ترازسازی مدل‌های سه‌بعدی، از ویژگی‌های نگاشت‌هایی که از یک مدل سه‌بعدی در فضای سه‌بعدی، روی صفحات مختلف بدست می‌آید، استفاده می‌کنند. مساحت نگاشت‌های مذکور از جمله این ویژگی‌ها می‌باشد [۲]. در این نمونه، ابتدا دو مجموعه از محورهای کاندید شده توسط آنالیز اجزای اساسی و الگوریتم خط راست، مشخص می‌شوند، سپس محور اساسی نهایی از بین مجموعه محورهایی که برای آن‌ها مجموع مساحت نگاشت‌های انجام شده، مینیمم شود، انتخاب می‌شود. در [۱۲] هم‌ترازسازی مدل‌های سه‌بعدی با انتخاب مستقیم محورهای اساسی بر مبنای حداقل مساحت نگاشت‌ها انجام شده است، و دیگر وابستگی‌ای به الگوریتم آنالیز اجزای اساسی وجود ندارد. همچنین در [۱۳] نتایج هم‌ترازسازی الگوریتم‌های آنالیز اجزای اساسی و آنالیز اجزای اساسی پیوسته با راستاهای مدل سه‌بعدی اولیه مقایسه می‌شود و مدل سه‌بعدی منتجه از هر کدام از آن‌ها که دارای پوسته دیداری کوچک‌تری باشد، انتخاب می‌شود. همان‌طور که اشاره شد، در این مقاله روش مورد استفاده به منظور هم‌ترازسازی مدل‌های سه‌بعدی ترکیبی از روش‌های مبتنی بر آنالیز اجزای اساسی و مبتنی بر نگاشت‌های دوبعدی می‌باشد.

در این مقاله، با استفاده از یک الگوریتم بهینه‌سازی بسیار کارآمد و بکارگیری ویژگی‌های استخراج شده از نماهای دوبعدی از یک مدل سه‌بعدی از زاویه‌های دید مختلف، سعی در انتقال مدل مذکور به قالب مختصات استاندارد داریم که در ادامه به شرح مفصل الگوریتم پیشنهادی می‌پردازیم.

۳ الگوریتم پیشنهادی

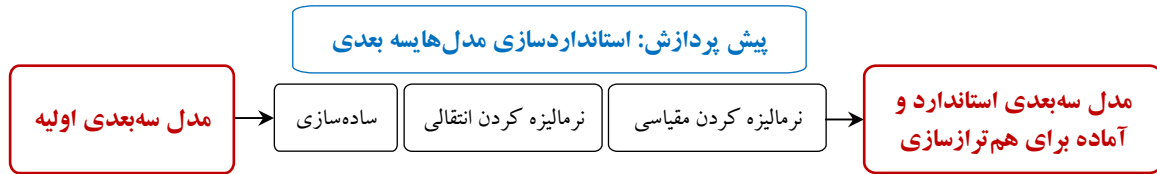
شمای کلی از الگوریتم پیشنهاد شده در این مقاله به این صورت می‌باشد که مدل‌های سه‌بعدی قبل از آماده شدن برای هم‌ترازی، باید به صورت استاندارد از نظر انتقال و تغییرات مقیاس قرار بگیرند. پس از آن، نماهای دوبعدی از آن استخراج شده و الگوریتم بهینه‌سازی با استخراج ویژگی‌های هر نما، بهترین حالت ممکن را برای مدل سه‌بعدی مورد بررسی کشف خواهد کرد. تمام مراحل انجام شده در این مقاله، به صورت مفصل در قسمت‌های بعدی در این بخش توضیح داده خواهد شد.

۳-۱ استانداردسازی مدل سه‌بعدی

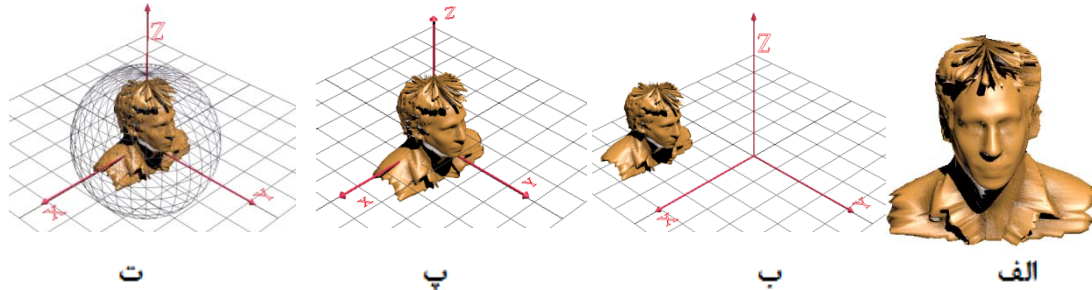
همان‌طور که می‌دانیم، مدل‌های سه‌بعدی مثلثی از تعداد بسیار زیادی وجه‌های مثلثی و رئوس تشکیل شده‌اند، به طوری که در برخی از این مدل‌ها تعداد رئوس به چند هزار و تعداد وجه‌ها به چند ده هزار عدد می‌رسد و این امر موجب افزایش حجم

¹Rectilinearity

²Visual Hull



شکل ۳ بلوک دیاگرام فرآیند استاندارد سازی مدل سه بعدی.



شکل ۴ مراحل استانداردسازی یک مدل سه بعدی، الف) مدل سه بعدی اصلی، ب) موقعیت مدل سه بعدی در حوزه فضای سه بعدی، پ) انتقال مرکز ثقل مدل سه بعدی به مرکز مختصات، ت) استانداردسازی مدل سه بعدی به لحاظ تغییرات مقیاس و انتقال مدل سه بعدی به یک کره واحد.

$$C = \frac{1}{E} \sum_{i=1}^N E_i \cdot n_i \cdot n_i^T \quad (۶)$$

که در این رابطه، n_i برابر بردار نرمال رویه‌ی مثلثی T_i می‌باشد. حال پس از یافتن ماتریس کواریانس مختصات رئوس مدل سه بعدی مورد بررسی، مقادیر ویژه و بردارهای ویژه آن را بدست آورده و با مرتب سازی کاهشی بردارهای ویژه بر حسب مقادیر ویژه متناظر، ماتریس نگاشت مورد نظر را برای ضرب در ماتریس اولیه و انتقال مجموعه نقاط به حالت جدید، بدست می‌آوریم. پس از انجام این عملیات، مدل‌های سه بعدی به درون کره‌ای به شعاع یک و مرکز مبدأ مختصات محدود خواهند شد. فرآیند استانداردسازی مدل‌های سه بعدی مرحله به مرحله در بلوک دیاگرام شکل ۳ و مدل شکل ۴ نشان داده شده است.

۲-۳ نگاشت‌های دوبعدی از مدل سه بعدی

از آنجائیکه در این مقاله، هم‌ترازسازی مدل‌های سه بعدی در فضای سه بعدی به کمک هم‌ترازسازی نماهای دوبعدی متناظر حاصل از نگاشت مدل سه بعدی مورد بررسی بر صفحات مشخص انجام می‌شود، نحوه توزیع دوربین‌های مجازی برای کسب این دسته از نماها بسیار اهمیت دارد. در واقع، دوربین‌های مجازی باید به صورتی در فضا قرار بگیرند که تا حد امکان هم‌پوشانی نداشته و بتوانند به بهترین صورت ویژگی‌های هندسی مدل سه بعدی را نشان دهند. در این مقاله، نحوه توزیع دوربین‌های مجازی بصورت رئوس یک دوازده وجهی می‌باشد. یک دوازده وجهی دارای دوازده رویه به شکل پنج‌ضلعی، سی لبه و بیست رأس می‌باشد که هر رأس محل اتصال سه لبه می‌باشد. یک دوازده وجهی دارای بیست رأس می‌باشد که در این مقاله از ده رأسی که مقابل هم نباشند به عنوان محل قرار دادن دوربین‌های مجازی استفاده شده است. همان‌طور که در شکل ۵ قابل مشاهده می‌باشد، دوازده

$$V'_i = V_i - m = [v_{ix} - m_x, v_{iy} - m_y, v_{iz} - m_z]^T \quad (۳)$$

تغییرناپذیری نسبت به مقیاس، با بزرگ نمایی و یا کوچک نمایی مدل سه بعدی مورد نظر، برای رسیدن به مقیاس دلخواه، انجام می‌شود. به طور مثال اگر R_M ماکزیمم فاصله رئوس مدل سه بعدی مورد بررسی از مرکز ثقل آن باشد، در این صورت در گام بعدی برای رسیدن به تغییرناپذیری نسبت به تغییرات مقیاس، طبق رابطه ۴ عمل خواهیم کرد.

$$V''_i = \frac{V'_i}{R_M} = \frac{[v'_{ix}, v'_{iy}, v'_{iz}]^T}{R_M} = \left[\frac{v'_{ix}}{R_M}, \frac{v'_{iy}}{R_M}, \frac{v'_{iz}}{R_M} \right]^T \quad (۴)$$

در روش آنالیز اجزای اساسی پیوسته، ماتریس کواریانس سطح مدل سه بعدی، در ادامه رابطه ۲ از رابطه ۵ بدست می‌آید.

$$C = \frac{1}{E} \iint_{V \in M} (V - m)(V - m)^T ds = \frac{1}{E} \sum_{i=1}^N \iint_{V \in T_i} (V - m)(V - m)^T ds \quad (۵)$$

$$\Rightarrow C = \frac{1}{12E} \sum_{i=1}^N E_i \cdot [f(A_i) + f(B_i) + f(C_i) + 9 \cdot f\left(\frac{A_i + B_i + C_i}{3}\right)]$$

و در روش آنالیز اجزای اساسی بردار نرمال، ماتریس کواریانس مذکور به صورت رابطه ۶ محاسبه می‌شود.

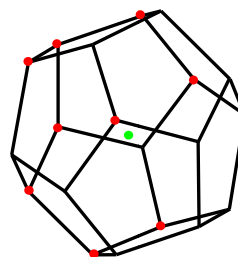
محققان مطرح بشود که نتایج حاصل از فعالیت‌های آن‌ها، در مواردی قابل قبول و در مواردی دیگر غیر قابل قبول می‌باشد. هدف از هم‌تراز کردن مدل‌های سه‌بعدی در این مقاله، تغییر حالت مدل‌های سه‌بعدی موجود در یک کلاس از پایگاه داده، به منظور رسیدن همه آن‌ها به یک شکل هماهنگ می‌باشد. برای این منظور در هر کلاس، یک مدل مرجع از لحاظ حالت در نظر گرفته شده و بقیه مدل‌ها با توجه به حالت مدل مرجع هم‌تراز می‌شوند. بدست آوردن حالت مطلوب برای یک مدل، به معنی بدست آوردن سه زاویه اویلر در دستگاه مختصات دکارتی است. همان‌طور که می‌دانیم، برای انطباق دو سیستم مختصات در فضای سه‌بعدی به حداقل سه زاویه نیاز داریم، که زوایای اویلر تنها یکی از روش‌های پیشنهاد شده برای انطباق دو شیء سه‌بعدی در فضا می‌باشد. سه پارامتر چرخشی اویلر برابر سه زاویه (α, β, γ) می‌باشند. مطابق شکل ۷، اگر هدف انطباق دو سیستم مختصات قرمز XYZ و آبی xyz در فضای سه‌بعدی باشد، در این صورت با تعریف بردار N به صورت محل تقاطع دو صفحه XY و xy زوایای اویلر به این ترتیب هستند: زاویه α برابر زاویه محور x با بردار N، زاویه β برابر زاویه محور z با Z و زاویه γ برابر زاویه بردار N با محور X می‌باشد.

زوایای اویلر تنها یکی از چند روش موجود برای بیان ارتباط چرخشی دو سیستم مختصات می‌باشد. رنج تغییرات زوایای اویلر به این ترتیب می‌باشد که زوایای α و γ دارای یک دوره تغییرات 2π به عنوان مثال $[-\pi, \pi]$ و زاویه β دارای یک دوره تغییرات π همچون $[0, \pi]$ و یا $[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}]$ می‌باشد.

به این ترتیب با بدست آوردن هر سه پارامتر چرخشی اویلر می‌توانیم مدل‌های موجود در یک کلاس از پایگاه داده مورد بررسی را با نمونه مرجع در آن کلاس هم‌تراز کنیم. در این مقاله، سه پارامتر چرخشی اویلر با استفاده از هم‌تراز سازی سایه‌نماهای دو مدل مورد بررسی (مدل مرجع و مدل پایگاه داده)، انجام می‌شود. همان‌طور که در بخش قبل مطرح شد، از هر مدل سه‌بعدی در فضا، به تعداد ده نما با استفاده از ده دوربین مجازی در ده زاویه دید مختلف گرفته می‌شود. ایده اصلی در هم‌تراز سازی مدل‌های سه‌بعدی با استفاده از سایه‌نماهای متناظر آن‌ها، آن است که مدل‌های سه‌بعدی هم‌حالت و یا هم‌تراز، دارای سایه‌نماهای متناظر بسیار شبیه به هم می‌باشند، به طوری که اختلاف سایه‌نماها در حالتی که در موقعیت دورانی یکسانی قرار دارند، کمینه می‌باشد. مطابق شکل ۸، اختلاف سایه‌نماها در این حالت، به صورت مقدار مساحت اختلاف سطح پوشیده شده توسط آن دو (XOR) دو سایه نما) تعریف می‌شود.

شکل‌های جدول ۱، روند هم‌تراز سازی نماهای متناظر از مدل‌های سه‌بعدی بر مبنای محاسبه و کمینه کردن سطح-هایغیرهمپوشان نماهای متناظر از دو مدل سه‌بعدی هواپیمای مرجع (آبی) و متحرک (قرمز) نشان می‌دهد. مقدار مساحت

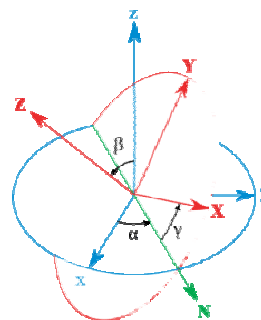
وجهی، مدل سه‌بعدی را دربرگرفته و دوربین‌های مجازی که با ستاره در رئوس مطلوب دوازده وجهی نشان داده شده‌اند، نماهای مورد نظر را استخراج می‌کنند. این کار برای همه مدل‌های سه‌بعدی مورد بررسی انجام می‌شود. در شکل ۶، یک نمونه از سایه‌نماها برای مدل سه‌بعدی هواپیمای نمایش داده شده است.



شکل ۵ محل قرار دادن دوربین‌های مجازی بر رئوس یک دوازده‌وجهی که با نقاط قرمز رنگ مشخص شده‌اند و محل مدل سه‌بعدی که با رنگ سبز مشخص شده است.



شکل ۶ مدل سه‌بعدی در سمت چپ و سایه‌نماهای استخراج شده آن در سمت راست.



شکل ۷ زاویه‌های اویلر، سیستم مختصات ثابت، xyz با رنگ آبی و سیستم مختصات چرخیده شده XYZ با رنگ قرمز و بردار N به رنگ سبز نشان داده شده‌اند.

۳-۳ هم‌تراز سازی چرخشی مدل‌های سه‌بعدی

همان‌طور که پیش‌تر نیز مطرح شد، هم‌تراز سازی مدل‌های سه‌بعدی یکی از مهمترین و ضروری‌ترین مسائل در مباحث بینایی کامپیوتر می‌باشد و تاکنون هیچ روشی که برای هم‌تراز سازی همه انواع مدل‌های سه‌بعدی کارآمد باشد، ارائه نشده است. روش‌های پیشنهاد شده تاکنون، در شرایط ویژه و برای مدل‌های خاصی وجود داشته‌اند. چرا که برای یک مدل سه‌بعدی نوعی ویژگی‌ها و توصیف‌گرهای بسیار زیادی مطرح است و این که از کدام یک از آن‌ها و به چه صورت استفاده کنیم، مسأله‌ای است که چندان روشن نیست. این امر موجب شده است تا تحقیقات بسیار زیاد و متنوعی در این زمینه و برای هم‌تراز سازی مدل‌های سه‌بعدی توسط

¹Euler Angles (α, β, γ)

که معمولاً از سایر روش‌های بهینه‌سازی استفاده می‌کنند نیز دارا می‌باشد. مگر آنکه مسئله مورد نظر دارای شرایط پیچیده‌تری باشد که در آن صورت باید از الگوریتم‌های بهینه‌سازی مدرن، استفاده بشود. همان طور که پیش‌تر نیز اشاره شد، الگوریتم Nelder-Mead از مفهوم Simplex به منظور بهینه‌سازی استفاده می‌کند. مفهوم Simplex برابر یک شیء هندسی با $N + 1$ رأس در فضای N بعدی می‌باشد. به عنوان مثال، یک Simplex در خط، برابر یک قطعه خط، در صفحه برابر یک مثلث و یک چهارضلعی در فضای سه‌بعدی و غیره می‌باشد. طی یک سری از تبدیلات هندسی بسیار ساده همچون انعکاس، گسترش، انقباض، کاهش و یا انقباض چندگانه، Simplex اولیه در هر تکرار جابجا شده، گسترش و انقباض می‌یابد و به طور کلی به روز رسانی می‌شود تا در نهایت به یک نقطه بهینه و قابل قبول همگرا بشود. در هر تکرار الگوریتم مورد نظر تبدیل مناسب را از بین تبدیلات مذکور تشخیص داده و Simplex را به روز رسانی می‌کند. این فرآیند تنها به مقدار تابع هدف در رأسی که به عنوان Simplex در نظر گرفته شده است، بستگی دارد. در هر بار که یکی از این دسته از تبدیلات اجرا می‌شود، بهترین رأس جایگزین بدترین رأس شده و فرآیند مذکور تکرار شده تا در نهایت معیار توقف الگوریتم مهیا بشود. روند کلی این الگوریتم برای یک تابع هدف $f(x)$ در زیر آمده است.

الف) مرحله اول، مرتب‌سازی

همان طور که مطرح شد، Simplex مجموعه‌ای از $N + 1$ نقطه در N بعد می‌باشد. اگر این نقاط به شکل $P_1, P_2, P_3, \dots, P_{N+1}$ باشند، در حالت تعمیم‌یافته، مرتب‌سازی به شکل رابطه V می‌باشد.

$$f(P_1) \leq f(P_2) \leq \dots \leq f(P_{N+1}) \quad (V)$$

با توجه به این مرتب‌سازی نقاط P_1 و P_{N+1} به ترتیب دارای کم‌ترین و بیشترین مقادیر تابع هدف می‌باشند. به عبارت دیگر، نقطه P_1 با کمترین مقدار تابع هدف به عنوان بهترین و نقطه P_{N+1} با بیشترین مقدار تابع هدف به عنوان بدترین نقطه می‌باشند.

ب) مرحله دوم، محاسبه نقطه میانی، \bar{P}

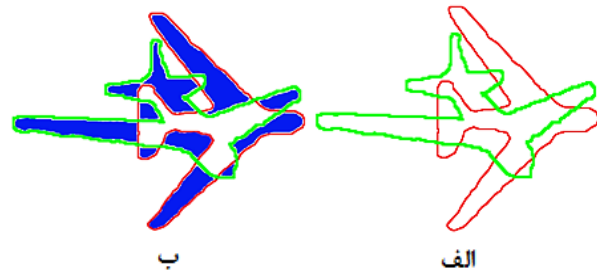
محاسبه مرکز گرانش برای همه نقاط منهای بدترین نقطه P_{N+1} ، برابر \bar{P} می‌باشد که به صورت رابطه λ قابل محاسبه خواهد بود.

$$\bar{P} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_N}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i \quad (A)$$

پ) مرحله سوم، انعکاس، P_r

با توجه به این که تمامی نقاط مرتب‌سازی شده‌اند، با حرکت به سمت بهترین نقطه، مقادیر تابع هدف کاهش می‌یابد و بطور مشابه با حرکت به سمت بدترین نقطه مقادیر تابع هدف افزایش می‌یابد

اختلاف سطح پوشیده شده برای دو نمای متناظر در حالتی که دو مدل سه‌بعدی در حالت دورانی یکسانی قرار دارند، کمینه می‌شود. به همین منظور، در این مقاله در صدد هستیم تا با بهینه کردن سه پارامتر زاویه چرخشی اوایلر، این اختلاف را برای مجموعه نماهای متناظر برای دو مدل مورد بررسی، کمینه کنیم. برای این منظور از الگوریتم Nelder-Mead برای کمینه سازی این مقدار استفاده می‌کنیم.



شکل ۸ نتیجه XOR دو نمای متناظر از مدل سه بعدی دو هواپیمای مرجع و متحرک. الف) دو نما روی هم افتاده‌اند، ب) قسمت‌های آبی رنگ نشان دهنده سطح‌های غیرهمپوشان دو نما می‌باشد.

۳-۳-۱- الگوریتم بهینه‌سازی Nelder-Meads

الگوریتم Nelder-Mead و یا الگوریتم جستجوی Simplex سراسری، [۱۵] در سال ۱۹۶۵ توسط آقایان، John Nelder و Roger Mead برای تخمین مقادیر بهینه محلی تابع هدف چند متغیره در حوزه‌های فضای چندبعدی ارائه شده است. این الگوریتم، یکی از مشهورترین الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای مسائل بهینه‌سازی توابع چندبعدی غیر خطی و بدون قید و شرط بدون نیاز به مراتب مختلف مشتق‌های تابع مورد نظر، می‌باشد. به عبارتی بهتر، این الگوریتم، به نوعی یک الگوریتم جستجوی مستقیم است که بر مبنای به روز رسانی Simplex مورد نظر عمل می‌کند. یک Simplex شامل مجموعه‌ای از رئوس می‌باشد که از مجموعه یک نقطه و یک تابع تشکیل شده است. بنابراین، طبق موارد ذکر شده، این الگوریتم از مراتب مختلف مشتقات تابع هدف بی‌نیاز بوده و همین امر سبب می‌شود در موارد بسیاری از توابع هدف غیرهموار و یا ناپیوسته کارایی داشته باشد. این دسته از توابع هدف غیرهموار و یا ناپیوسته، عموماً در ریاضیات کاربردی و آماری دیده می‌شوند. فهم این الگوریتم، بسیار ساده بوده و در کاربردهای تخمین پارامترها و یا موارد مشابه در مسائل آماری بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. به خصوص در مواردی که مقادیر تابع هدف آلوده به نویز و یا نامطمئن می‌باشد. به همین دلیل استفاده از این الگوریتم در بسیاری از مسائل، با تابع هدف غیرخطی و بدون قید و شرط بسیار رایج می‌باشد. بهرحال، الگوریتم Nelder-Mead برخلاف بسیاری از الگوریتم‌های بهینه‌سازی مدرن امروزی، از جمله الگوریتم‌های جستجوی اکتشافی می‌باشد که حتی توانایی همگرا شدن به نقاط بهینه پویا را

¹Downhill Simplex Search Algorithm

جدول ۱ همتراز سازی دو سایه‌نمای متناظر بر مبنای کمینه سازی مساحت اختلاف سطح پوشیده شده آنها، به ترتیب از راست به چپ.

مرحله ۵	مرحله ۴	مرحله ۳	مرحله ۲	مرحله ۱	سایه نمای مدل مرجع (ثابت)
					سایه نمای مدل متحرک (تعقیب کننده)

حرکت به سمت آن به سمت مقادیر کمینه تابع هدف سوق داده می‌شویم، چرا که شاید نقطه بهینه جایی در نزدیکی نقطه انعکاس داده شده باشد. در این حالت با جایگزین کردن P_1 با P_r ، Simplex جدید تشکیل می‌شود. در واقع عملیات انجام شده در این مرحله مشابه مرحله انعکاس می‌باشد و تنها در ضریب رابطه متفاوت است و به صورت رابطه ۱۰ و مشابه شکل ۹ - ب در خواهد آمد.

$$P_e = \bar{P} + \gamma(\bar{P} - P_{N+1}) = (\gamma + 1)\bar{P} - \gamma P_{N+1}$$

$$= P_r + (\bar{P} - P_{N+1})$$

$$\gamma = 2 \tag{10}$$

$$P_e = 3\bar{P} - 2P_{N+1}$$

که در این رابطه P_e برابر نقطه گسترش داده شده می‌باشد. اگر مقدار تابع هدف در نقطه گسترش داده شده، P_e از مقدار تابع هدف در نقطه انعکاس داده شده، P_r کوچکتر باشد، $f(P_e) < f(P_r)$ در این صورت نقطه نقطه بهتری یافته شده است و Simplex جدید می‌تواند با جایگزین کردن بدترین نقطه، P_{N+1} با نقطه گسترش داده شده، P_e حاصل بشود و الگوریتم در تکراری جدید از مرحله اول ادامه می‌یابد. در غیراینصورت، اگر مقدار تابع هدف در نقطه گسترش داده شده، P_e از مقدار تابع هدف در نقطه انعکاس داده شده، P_r بزرگتر باشد، $f(P_e) > f(P_r)$ در این صورت Simplex جدید را می‌توانیم با جایگزین کردن بدترین نقطه P_{N+1} با نقطه انعکاس داده شده، P_r بدست آوریم و با مرحله اول در یک تکرار جدید الگوریتم را ادامه دهیم.

بنابراین، این امر محتمل می‌باشد که تابع هدف با دور شدن از بدترین نقطه و در انعکاس با بهترین نقاط، مقادیر کمتری داشته باشد. انعکاس نقاط از رابطه ۹ و مشابه شکل ۹ - الف بدست می‌آید.

$$P_r = \bar{P} + \alpha(\bar{P} - P_{N+1}) = (\alpha + 1)\bar{P} - \alpha P_{N+1}$$

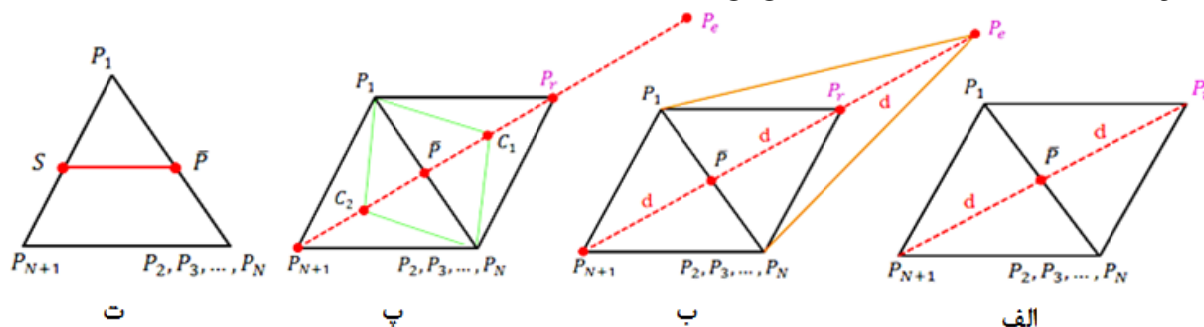
$$\alpha = 1 \tag{9}$$

$$P_r = 2\bar{P} - P_{N+1}$$

که در این رابطه P_r برابر نقطه انعکاس داده شده می‌باشد. در این مرحله، دو حالت می‌تواند وجود داشته باشد، اگر نقطه انعکاس داده شده بهتر از بدترین نقطه موجود، P_N بوده ولی بهتر از بدترین نقطه P_1 نباشد، $f(P_1) \leq f(P_r) \leq f(P_N)$ در این صورت می‌توانیم Simplex جدید را با جایگزین کردن بدترین نقطه با نقطه انعکاس داده شده، P_r بدست آورده و با رفتن به مرحله اول، روند الگوریتم را با Simplex جدید ادامه دهیم. در غیراینصورت اگر نقطه انعکاس داده شده، P_r بهتر از بهترین نقطه موجود، P_1 باشد، $f(P_r) \leq f(P_1)$ و یا نقطه انعکاس داده شده، P_r از بدترین نقطه موجود، P_N بهتر نباشد، $f(P_N) \leq f(P_r)$ در این صورت می‌باید الگوریتم را در مراحل بعدی به ترتیب با گسترش و انقباض ادامه دهیم.

ت) مرحله چهارم، گسترش، P_e

همان طور که اشاره شد، اگر مقدار تابع هدف در نقطه انعکاس داده شده، P_r کوچکتر از مقدار تابع هدف مذکور در بهترین نقطه باشد P_1 ، و یا به عبارت دیگر $f(P_r) \leq f(P_1)$ ، در این صورت با استناد به این که جهت مورد نظر جهت مورد اطمینانی می‌باشد، با



شکل ۹ مراحل الگوریتم بهینه‌سازی Nelder-Mead: (الف) مرحله سوم (انعکاس)، (ب) مرحله چهارم (گسترش)، (پ) مرحله پنجم (انقباض)، (ت) مرحله ششم (کاهش).

نخست ادامه دهیم. مسأله انتخاب بین دو نقطه منتخب C_1 و C_2 در ابعاد بالاتر بسیار اهمیت پیدا خواهد کرد.

اما اگر هیچ کدام از دو نقطه منتخب C_1 و C_2 نتوانستند شرط بالا را داشته باشند و مقدار تابع هدف برای هر دوی آنها بیشتر از مقدار تابع هدف برای بدترین نقطه بود، $f(P_C) > f(P_{N+1})$ در این صورت الگوریتم به مرحله بعد به منظور کاهش و یا کوچک کردن می‌رود.

ج) مرحله ششم، کاهش (چندگانه)، P_i

این مرحله زمانی به کار می‌رود که الگوریتم برای جستجو پیرامون نقطه بهینه، بدترین نقطه، P_{N+1} را غیرمفید دانسته و با کوچک کردن Simplex ناحیه جستجو را به نزدیکی P_1 انتقال می‌دهد. همان طور که در مرحله گذشته اشاره شد، زمانی که مقدار تابع هدف برای نقاط منتخب از مقدار تابع هدف برای بدترین نقطه بیشتر باشد، در این صورت الگوریتم با کاهش یا کوچک کردن تمامی نقاط به غیر از بهترین نقطه، P_1 همه نقاط را طبق رابطه ۱۴ جابه‌جا می‌کند.

$$p_i = p_1 + \sigma(p_i - p_1) = (1 - \sigma)p_1 - \sigma p_i$$

$$\sigma = \frac{1}{2}$$

$$p_i = \frac{1}{2}p_1 + \frac{1}{2}p_i \quad (14)$$

در این رابطه $i \in \{2, 3, \dots, N + 1\}$ می‌باشد.

به عبارتی ساده‌تر همان طور که در شکل ۹ - ت نشان داده شده است با جابه‌جا کردن همه نقاط به غیر از بهترین نقطه Simplex به صورت زیر به روز رسانی خواهد شد.

۳-۳-۲- هم‌ترازسازی مدل‌های سه‌بعدی

در این مقاله هم‌ترازسازی مدل‌های سه‌بعدی با استفاده از انطباق نماهای متناظر آنها در زاویه‌های دید مختلف، حاصل می‌شود. به طوری که نماهای مذکور با استفاده از ده دوربین مجازی که بر رؤس غیرمشابه یک دوازده وجهی قرار دارند، استخراج شده و در مرحله بعد، با استفاده از الگوریتم Nelder-Mead هر سه پارامتر چرخشی اوایلر به منظور انطباق مدل سه‌بعدی متحرک بر مدل سه‌بعدی مرجع و ثابت بهینه شده و مشخص می‌شوند. با توجه به موارد ذکر شده در باب زوایای اوایلر در مورد تعداد (۳ مورد) و دوره تغییرات آنها (به ترتیب برابر 2π ، π و 2π می‌باشد)، فضای جستجوی الگوریتم Nelder-Mead برابر یک مکعب با اضلاعی به طول 2π ، π و 2π می‌باشد.

الف) مقدار دهی اولیه برای الگوریتم بهینه‌سازی Nelder-Mead

همان‌طور که گفته شد، فضای جستجوی الگوریتم بهینه‌سازی مورد استفاده در این مقاله، برابر یک مکعب با اضلاعی به طول 2π ، π

ث) مرحله پنجم، انقباض، P_C

همان طور که در قسمت‌های قبلی مطرح شد، اگر نقطه منعکس شده، P_T از بدترین نقطه موجود، P_N بهتر نباشد، این احتمال وجود خواهد داشت که مقدار تابع هدف در نقطه میانی، \bar{P} کوچک‌تر باشد. اما در این حالت قادر به جابه‌جایی بدترین نقطه P_{N+1} با نقطه میانی \bar{P} نخواهیم بود، چرا که در هر بار تکرار الگوریتم Simplex مورد نظر باید به صورت کامل وجود داشته باشد و ممکن است با انجام این عمل Simplex را از دست بدهیم. برای این منظور نقطه منقبض شده را به صورت رابطه ۱۱ می‌توانیم بدست آوریم.

$$P_C = \bar{P} + \rho(\bar{P} - P_{N+1}) = (\rho + 1)\bar{P} - \rho P_{N+1}$$

$$\rho = \pm \frac{1}{2} \quad (11)$$

که در این رابطه P_C برابر نقطه منقبض شده می‌باشد.

همان طور که در رابطه ۱۱ مشاهده می‌شود برای ضریب ρ دو مقدار $\pm \frac{1}{2}$ وجود دارد، به طوری که اگر $f(P_N) \leq f(P_C) < f(P_T)$ مقدار $\rho = +\frac{1}{2}$ باشد، و رابطه بالا به شکل زیر (رابطه ۱۲) در خواهد آمد.

$$P_C = \bar{P} + \frac{1}{2}(\bar{P} - P_{N+1}) = \frac{3}{2}\bar{P} - \frac{1}{2}P_{N+1} \quad (12)$$

ولی اگر $f(P_C) \leq f(P_T)$ ، در این صورت می‌باید بدترین نقطه P_{N+1} را با نقطه منقبض شده، P_C جایگزین کرده و با یک Simplex جدید الگوریتم را از مرحله اول تکرار کنیم. در غیر این صورت اگر $f(P_T) \geq f(P_{N+1})$ باشد، $\rho = -\frac{1}{2}$ بوده و رابطه ۱۱ به شکل زیر (رابطه ۱۳) خواهد شد.

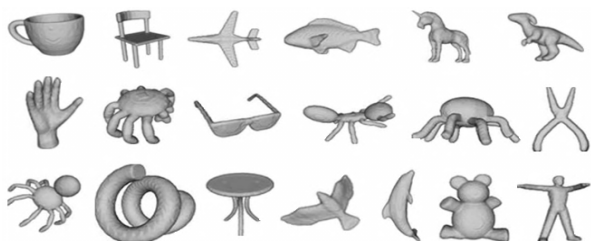
$$P_C = \bar{P} - \frac{1}{2}(\bar{P} - P_{N+1}) = \frac{1}{2}\bar{P} + \frac{1}{2}P_{N+1} \quad (13)$$

در این حالت اگر $f(P_C) < f(P_{N+1})$ باشد، در این صورت می‌باید بدترین نقطه P_{N+1} را با نقطه منقبض شده P_C جایگزین کنیم و در غیر این صورت باید به مرحله بعدی رجوع کنیم.

به عبارت ساده‌تر، مطابق شکل ۹ - پ نقطه منقبض شده از بین دو نقطه منتخب C_1 و C_2 که به ترتیب برابر نقطه میانی خط واصل بدترین نقطه و نقطه مرکز ثقل Simplex و نقطه میانی خط واصل نقطه مرکز ثقل Simplex و نقطه منعکس شده می‌باشند، انتخاب می‌شود. مقدار تابع هدف برای هر کدام از این دو نقطه محاسبه شده و مقدار کوچک‌تر که از مقدار تابع هدف برای بدترین نقطه هم کوچک‌تر است $f(P_C) < f(P_{N+1})$ ، به عنوان نقطه منقبض در نظر گرفته می‌شود. اگر این شرایط برقرار شده باشد، یک نقطه بهتر یافت شده است. در این صورت با به روز رسانی Simplex با جایگزین کردن بدترین نقطه، P_{N+1} با نقطه منقبض شده، P_C می‌توانیم الگوریتم را در تکرار جدید با Simplex جدید از مرحله

۴-۱ پایگاه داده

به منظور تحلیل، بررسی و تأیید روش پیشنهاد شده در این مقاله از پایگاه داده McGill استفاده شده است. این پایگاه داده از ۱۹ کلاس داده با تعداد متفاوتی نمونه برای هر کلاس تشکیل شده است. در شکل ۱۱ نمونه‌هایی برای هر کلاس از این پایگاه داده نمایش داده شده است. کلاس‌های این پایگاه داده شامل: هواپیما، مورچه، پرنده، صندلی، خرچنگ، لیوان، دایناسور، دلفین، ماهی، حیوان چهارپا، دست، انسان، اکتاپوس، انبردست، مار، عینک، عنکبوت، میز و عروسک تدی می‌باشد. این پایگاه داده شامل هر دو نوع داده‌های مفصل‌دار همچون عنکبوت و خرچنگ و غیره و بدون مفصل همچون هواپیما، میز و غیره می‌باشد که تعداد آن‌ها در هر کلاس از ۱۲ نمونه تا ۳۱ نمونه می‌باشد که در مجموع برابر ۴۵۶ نمونه در کل پایگاه داده می‌شوند.



شکل ۱۱ نمونه‌های مدل سه‌بعدی از پایگاه داده McGill.

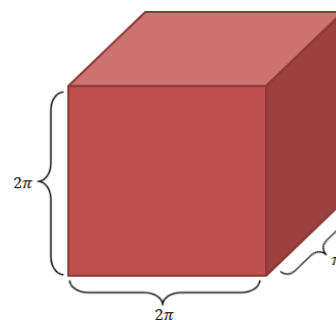
۴-۲ نتایج آزمایش و بحث

همان‌طور که مطرح شد، هدف از این مقاله، هم‌تراز سازی مدل‌های سه‌بعدی در فضا با استفاده از هم‌تراز سازی نماهای متناظر آن‌ها از ده زاویه دید غیر همپوشان مستقر بر یک دوازده وجهی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی Nelder-Mead، است. به همین منظور در ادامه، عملکرد روش پیشنهاد شده در این مقاله را برای دو مدل سه‌بعدی هواپیما در قسمت‌های مختلف شرح داده‌ایم. همچنین نتایج حاصله از الگوریتم بهینه‌سازی با نتایج حاصله از اعمال سه الگوریتم ۱- هم‌تراز سازی مبتنی بر آنالیز اجزای اساسی، ۲- هم‌تراز سازی مبتنی بر آنالیز اجزای اساسی پیوسته و ۳- آنالیز اجزای اساسی بردار نرمال به صورت دیداری مقایسه شده است.

همان‌طور که در شکل ۱۲ قابل مشاهده است، نمونه هواپیمای A، به عنوان نمونه مرجع در نظر گرفته شده و قصد داریم نمونه دیگر را، B، با توجه به راستاهای نشان داده شده توسط محورهای x، y و z هم‌راستا کنیم. نمونه مرجع طوری در فضا قرار دارد که دارای بیشترین گستردگی در راستای x و پس از آن در راستای y و در نهایت کمترین گستردگی را در راستای z دارا می‌باشد. نتایج سه الگوریتم مبتنی بر آنالیز اجزای اساسی، برای هم‌تراز سازی در این شکل نشان داده شده است. هواپیماهای نمونه C، D، E به ترتیب نتایج حاصل از الگوریتم‌های هم‌تراز سازی آنالیز اساسی، PCA، هم‌تراز سازی آنالیز اساسی پیوسته، CPCA و هم‌تراز سازی آنالیز

و 2π ، می‌باشد که مقادیر بهینه سه پارامتر چرخشی اوایلر از این فضا استخراج می‌شود. با توجه به این که مقادیر اولیه برای الگوریتم‌های بهینه سازی، همچون الگوریتم استفاده شده در این مقاله هم به جهت هم‌گرا شدن الگوریتم به مقدار بهینه صحیح و همچنین برای تسریع الگوریتم برای رسیدن به جواب، بسیار حائز اهمیت می‌باشند، در این مقاله حدس اولیه برای الگوریتم بهینه‌سازی از یک آزمایش با جاروب کردن کل فضای جستجو برای پیدا کردن بهترین محل برای جستجوی دقیق استفاده شده است. به طوری که قبل از آن که الگوریتم بهینه‌سازی برای یافتن پارامترهای چرخشی بهینه فعال بشود، بهترین محل به لحاظ نزدیکی به مقادیر بهینه در فضای جستجو استخراج شده و به عنوان حدس اولیه به منظور جستجوی دقیق‌تر توسط الگوریتم بهینه‌سازی، به آن اعمال می‌شود.

به طور مثال همان‌گونه که در شکل ۱۰ قابل مشاهده است می‌توان با در نظر گرفتن کل فضای جستجو با گام‌های مشخص برای هر کدام از اضلاع مکعب جستجو، نزدیک‌ترین نقطه همچون $(\alpha', \beta', \gamma')$ را به نقطه بهینه فضای جستجو را مشخص کرد. همچنین برای هر چه نزدیک‌تر شدن به نقطه بهینه، می‌توانیم این عملیات را با مرکزیت نقطه پیدا شده $(\alpha', \beta', \gamma')$ و با یک محدوده مشخص از قبل تا بعد آن برای هر سه پارامتر، با یک وضوح جدید برای یافتن نقطه جدید، $(\alpha'', \beta'', \gamma'')$ ادامه بدهیم. در این مقاله برای هر کدام از پارامترهای چرخشی اوایلر در فضای جستجوی مکعبی برای انتخاب بهترین و نزدیک‌ترین حدس اولیه برای الگوریتم بهینه‌سازی Nelder-Mead عملیات مذکور سه بار (سه وضوح) و با تقسیم‌بندی هر ضلع مکعب جستجو به ۳، ۵ و ۳ مقدار در هر سه تکرار، به ترتیب برای پارامترهای چرخشی α ، β و γ ، در نظر گرفته شده است.



شکل ۱۰ فضای جستجوی الگوریتم Nelder-Mead به شکل یک مکعب با اضلاعی به طول 2π ، π و 2π .

۴ نتایج و بحث

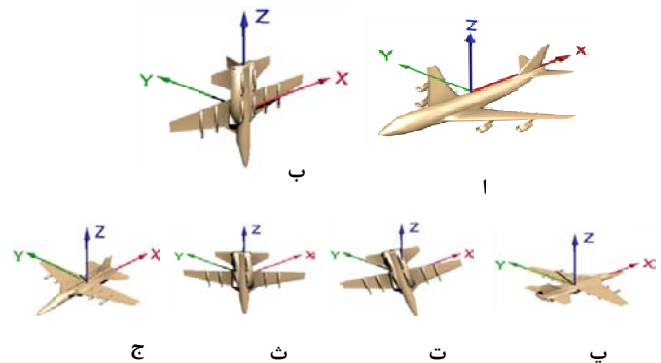
برای شبیه‌سازی این مقاله از نرم‌افزار Matlab استفاده شده و تمامی نتایج با استفاده از یک رایانه با پردازش‌گر مرکزی با سرعت ۲/۵ گیگاهرتز و میزان حافظه داخلی برابر ۲ گیگابایت حاصل شده است.

در نمونه مطرح شده پیشین، نمونه متحرک با استفاده از همین روش با مدل سه بعدی مرجع هم تراز می شود. ابتدا در مرحله پیش-پردازش، مدل های سه بعدی به لحاظ تغییرات موقعیت و مقیاس استانداردسازی شده و ۱۰ سایه نما از زاویه های دید مشخص استخراج می شود. سپس به منظور مقداردهی اولیه الگوریتم بهینه سازی در سه مرحله، بهترین محدوده از ناحیه جستجوی مورد نظر برای بهینه سازی پارامترهای چرخشی اوایلر تعیین می شود. در نمونه مطرح شده در بالا نتایج مقدار دهی اولیه به صورت زیر می باشد.

همان طور که در شکل ۱۳ مشاهده می شود، مجموع پیکسل های غیرهمپوشان در مجموعه نماها، به عنوان خطای هم تراز سازی برای نماهای متناظر از دو مدل سه بعدی مرجع و متحرک، در سه تکرار برای سه وضوح مختلف برای پارامترهای چرخشی اوایلر محاسبه شده است. با توجه به این که میزان گام های در نظر گرفته شده برای پارامترهای چرخشی اوایلر (۳، ۵، ۳)، تعداد حالت های قابل محاسبه در هر تکرار برابر ۴۵ حالت می باشد. طبق جدول ۲ در هر تکرار مقدار کمینه خطا محاسبه شده و حالت متناظر با آن در تکرار بعدی به عنوان مرکز محدوده جستجو در نظر گرفته می شود. مقدار نهایی سه پارامتر چرخشی اوایلر به عنوان مقادیر اولیه به الگوریتم بهینه سازی Nelder-Mead اعمال می شود.

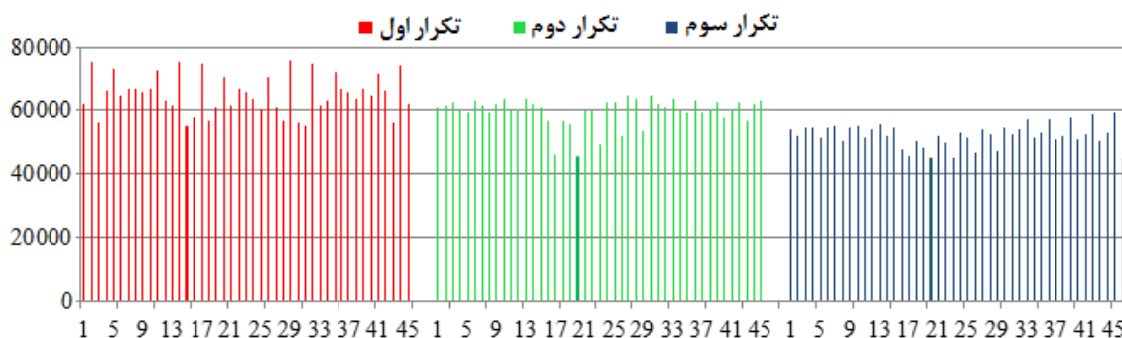
همچنین در اشکال جدول ۳ وضعیت ابتدایی و انتهایی انطباق نماهای متناظر از دو مدل سه بعدی از هواپیماهای مرجع و متحرک نشان داده شده است. همان طور که در این اشکال دیده می شود نماهای متناظر دو هواپیما ابتدا در شرایط نامناسبی هستند اما به تدریج مدل متحرک در وضعیتی قرار می گیرد که XOR نماهای متناظر آن و مدل ثابت (ناحیه غیر هم پوشان) کمینه می شود.

اساسی بردار نرمال، NPCA می باشند. همان طور که قابل ملاحظه می باشد این دسته از نتایج هم تراز سازی با مدل مرجع بسیار فاصله داشته و این الگوریتم ها در این مورد با مشکل روبرو می شوند. علاوه بر این، در این شکل نتیجه دیداری الگوریتم پیشنهادی به منظور هم تراز سازی مدل سه بعدی هواپیما نشان داده شده است. همان طور که دیده می شود، بهترین نتیجه دیداری در روش پیشنهادی گرفته شده است.



شکل ۱۲ مقایسه نتایج هم تراز سازی مدل سه بعدی هواپیما. الف) مدل سه بعدی هواپیما مرجع و ثابت. ب) مدل سه بعدی متحرک. پ) نتیجه هم تراز سازی با روش PCA. ت) نتیجه هم تراز سازی با روش NPCA. ج) نتیجه هم تراز سازی مدل سه بعدی هواپیما با استفاده از روش پیشنهادی.

همان طور که پیش تر اشاره شد، روش پیشنهاد شده در این مقاله به منظور هم تراز سازی مدل سه بعدی متحرک با مدل سه بعدی مرجع، از هم تراز سازی نماهای دوبعدی متناظر آن دو در حوزه فضای دوبعدی با استفاده از الگوریتم های بهینه سازی Nelder-Mead بهره می برد.

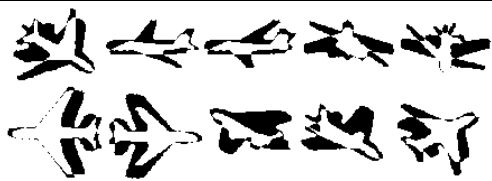
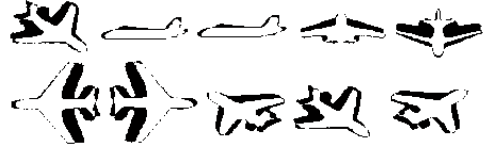


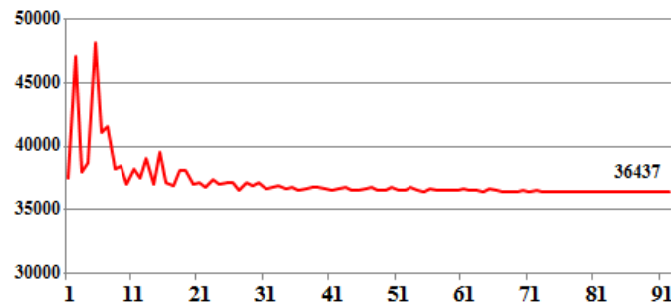
شکل ۱۳ نتایج مرحله مقداردهی اولیه الگوریتم Nelder-Mead در سه تکرار برای سه درجه از وضوح، که مقدار کمینه در هر تکرار به صورت پررنگ تر نشان داده شده است. محور عمودی مجموع تعداد پیکسل های غیرهمپوشان و محور افقی شماره حالت ها (۴۵ حالت) در سه تکرار است.

جدول ۲ نتایج حاصله از مقداردهی اولیه الگوریتم Nelder-Mead در سه تکرار و مقادیر مجموع تعداد پیکسل های غیر هم پوشان.

زوایای چرخشی اوایلر (R)			خطای کمینه / حالت		خطای میانگین	شماره تکرار
۱/۵۷	۲/۶۱	-۴/۱۷	۱۵	۵۵۰۹۰	۶۳۹۱۴	اول
۱/۵۷	۲/۹۶	-۴/۱۷	۲۰	۴۵۳۳۸	۵۸۵۱۳	دوم
۱/۵۷	۳/۰۴	-۴/۱۷	۲۰	۴۴۹۱۷	۵۲۵۱۶	سوم

جدول XOR^۳ نماهای متناظر مدل هواپیمای مرجع و متحرک.

وضعیت هم‌پوشانی نماهای متناظر از مدل سه‌بعدی مرجع (ثابت) و متحرک	وضعیت اجرایی الگوریتم
	مرحله ابتدایی
	نتیجه هم‌ترازسازی



شکل ۱۴ نتیجه الگوریتم Nelder-Mead و همگرا شدن الگوریتم به مجموع پیکسل‌های غیرهمپوشان کمینه برابر ۳۶۴۳۷ (معادل ۶/۸٪ مجموع مساحت کل سایه‌نماهای دو مدل سه‌بعدی)، محور عمودی برابر مجموع پیکسل‌های خطا و محور افقی برابر شماره تکرار الگوریتم بهینه‌سازی می‌باشد.

شد، این امر با ایده مقدار دهی اولیه برای الگوریتم بهینه‌سازی محقق شده است. ایده مطرح شده در مقداردهی اولیه نه تنها از واگرایی الگوریتم جلوگیری می‌کند، بلکه در بالا بردن سرعت همگرا شدن الگوریتم بهینه‌سازی بسیار موثر است. جدول ۵ اثر ایده مقداردهی اولیه در همگراسازی و همچنین سرعت بخشیدن به روش هم‌ترازسازی را نشان می‌دهد. آنچه که باید مورد توجه قرار بگیرد، این است که در روش‌های مبتنی بر بهینه‌سازی عموماً سرعت الگوریتم نسبت به سایر روش‌ها کمتر می‌باشد و علت آن جستجوی فضای مورد بررسی به منظور کسب بهترین نتیجه با کمترین خطا می‌باشد. لذا در مقام مقایسه، روش پیشنهاد شده در این مقاله نسبت به سایر روش‌های ذکر شده در بخش ۲ دارای سرعت کمتری می‌باشد.

همان طور که از نتایج جدول ۵ برمی‌آید، الگوریتم بهینه‌سازی برای مدل‌های سه‌بعدی‌ای که دارای پیچیدگی کمتری هستند، بدون نیاز به اعمال مقادیر اولیه الگوریتم، هر چند با صرف زمان بیشتر، به مقدار بهینه همگرا شده‌اند. به عنوان مثال مدل‌های سه‌بعدی اردک، کامیون، ببر و سر انسان از این دست مدل‌ها می‌باشند. در مقابل الگوریتم بهینه‌سازی Nelder-Mead برای مدل‌های سه‌بعدی اسب شاخدار، هواپیما و دوچرخه که دارای پیچیدگی نسبی بیشتری هستند دچار مینیمم‌های محلی شده و نتوانسته است که به مقدار مینیمم سراسری همگرا بشود. بنابراین، این نتایج بر لزوم استفاده از یک ایده مناسب به منظور مقداردهی اولیه برای

پس از اعمال بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم Nelder-Mead، همان طور که در شکل ۱۴ برای مدل سه‌بعدی هواپیما نشان داده شده است، الگوریتم به یک مقدار کمینه همگرا می‌شود. در این مثال، دو تصویر سایه‌نما در ابعاد 256×256 با هم مقایسه شده و مقدار خطا در هر مرحله از الگوریتم بهینه‌سازی که به صورت مجموع پیکسل‌های غیرهمپوشان مشخص می‌شود، برابر ۳۶۴۳۷ پیکسل می‌رسد. این مقدار خطا، معادل ۶/۸٪ مجموع مساحت کل سایه‌نماهای دو مدل سه‌بعدی (ثابت و متحرک) می‌باشد.

به منظور ارزیابی عملکرد الگوریتم پیشنهادی در هم‌ترازسازی مدل‌های سه‌بعدی، چند مدل منتخب از پایگاه داده McGill مورد استفاده قرار داده شده است. به همین دلیل، میزان خطای الگوریتم پیشنهادی به صورت نسبت مساحت ناحیه غیرهمپوشان به مساحت کل سایه‌نماها به صورت درصد در جدول ۴ برای برخی از مدل‌های سه‌بعدی منتخب از پایگاه داده مذکور آورده شده است. همان طور که در این جدول قابل مشاهده می‌باشد، میزان خطای هم‌پوشانی برای مدل‌های سه‌بعدی منتخب از پایگاه داده McGill با استفاده از روش پیشنهادی در این مقاله از روش‌های مورد مقایسه PCA، CPCA و NPCA کمتر بوده و الگوریتم مطرح شده قابلیت بهتری نسبت به هم‌ترازسازی مدل‌های سه‌بعدی دارد.

یکی از مزیت‌های روش پیشنهادی در این مقاله، تعمیم الگوریتم بهینه‌سازی محلی Nelder-Mead به یک الگوریتم سراسری در فضای جستجو می‌باشد. همان طور که پیشتر اشاره

اجرای الگوریتم هم‌ترازسازی با مدل سه‌بعدی بدون نویز هواپیما هم‌تراز شده است. نتایج عددی هم‌ترازسازی مدل نویز‌آلود با مدل بدون نویز مطابق جدول ۷ می‌باشد. در این جدول، مقدار تابع خطا نسبت مساحت ناحیه غیر همپوشان به مساحت کل سایه نماها را به درصد ارائه می‌دهد (همانند جدول ۴).

همان طور که نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد، الگوریتم پیشنهادی در هم‌ترازسازی مدل سه‌بعدی نویز‌آلود هواپیما با مدل سه‌بعدی بدون نویز هیچ گونه محدودیتی نداشته و با کمترین خطای ممکن عمل هم‌ترازسازی را انجام می‌دهد.

۵ نتیجه‌گیری و کارهای آینده

ما در این مقاله به ارائه یک روش جدید برای هم‌ترازسازی مدل‌های سه‌بعدی مبتنی بر نماهای دوبعدی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی Nelder-Mead پرداختیم. هر مدل سه‌بعدی به صورت مجموعه‌ای از نماهای دوبعدی در نظر گرفته شده و ده نمای متناظر استخراج شده از دو مدل مرجع و متحرک با هم مقایسه شده و با بهینه‌سازی سه پارامتر چرخشی اوپلر در هر بار تکرار، میزان مجموع اختلاف نماها کمینه شده و در نهایت دو مدل مذکور در فضای سه‌بعدی هم‌تراز می‌شوند. جهت بررسی صحت روش پیشنهاد شده در این مقاله از پایگاه داده مدل‌های سه‌بعدی McGill استفاده شده است و نتایج حاصله از این الگوریتم با هم‌ترازسازی‌های منتجه از الگوریتم‌های هم‌ترازسازی مبتنی بر آنالیز اجزای اساسی مقایسه شده است. بررسی نتایج بدست آمده از هم‌ترازسازی مدل‌های سه‌بعدی، نشان از قدرت الگوریتم پیشنهادی دارد.

از جمله کارهای آینده در این زمینه می‌تواند بهبود عملکرد الگوریتم‌های هم‌ترازسازی با در نظر گرفتن بازخورد کاربر باشد. در آن دسته از سیستم‌های هم‌ترازسازی مدل‌های سه‌بعدی، کاربر می‌تواند دو راه برای تصمیم‌گیری داشته باشد، اول آنکه از بین چند مدل منتجه بهترین مدل را برگزیند و یا آنکه به میزان رضایتش از هم‌ترازی مدل سه‌بعدی امتیاز اختصاص بدهد. با استفاده از این

الگوریتم بهینه‌سازی و فرار از تله مینیمم محلی، تکیه خواهد داشت.










یکی از مواردی که در میزان صحت و قدرت عملکرد الگوریتم پیشنهادی مورد بررسی قرار می‌گیرد، تاثیر نویز در نتیجه الگوریتم هم‌ترازسازی می‌باشد. برای این منظور یکی از مدل‌های سه‌بعدی هواپیما را به نویز گاوسی با میانگین صفر و نسبت سیگنال به نویز ۱۰ دسی‌بل آلوده کرده و با برهم زدن موقعیت چرخشی آن در فضای سه‌بعدی، سعی داریم مدل نویز‌آلود را به عنوان مدل متحرک و مدل اصلی (بدون نویز) را به عنوان مدل ثابت (مرجع) در نظر گرفته و از الگوریتم هم‌ترازسازی پیشنهاد شده در این مقاله برای هم‌ترازسازی مدل سه‌بعدی هواپیمای نویز‌آلود با مدل سه‌بعدی هواپیمای بدون نویز استفاده کنیم. شکل ۱۵ مدل سه‌بعدی هواپیمای اصلی و مدل نویز‌آلوده شده آن را نشان می‌دهد. همچنین در شکل ۱۶ سایه‌نماهای مدل سه‌بعدی هواپیمای نویز‌آلود نیز نشان داده شده است.

در این قسمت، هم‌ترازسازی مدل سه‌بعدی نویز‌آلود هواپیما با مدل بدون نویز آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. اشکال جدول ۶ دو نمونه از نتیجه XOR دو نمای متناظر از دو مدل نویز‌آلود و بدون نویز را نشان می‌دهد. در این شکل کانتور نماهای مدل سه‌بعدی بدون نویز با رنگ قرمز و کانتور نماهای مدل سه‌بعدی نویز‌آلود با رنگ سبز مشخص شده است و در نهایت نواحی آبی رنگ نتیجه XOR آن دو سایه‌نما را نشان می‌دهد.





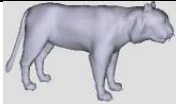



همان طور که در اشکال جدول ۶ مشاهده می‌شود، الگوریتم هم‌ترازسازی پیشنهادی برای هم‌ترازسازی مدل نویز‌آلود با مدل بدون نویز هیچ محدودیتی نداشته و به صورت مناسبی هم‌ترازسازی مکانی انجام شده است. شکل ۱۷ در سه مرحله فرآیند هم‌ترازسازی مدل سه‌بعدی نویز‌آلود هواپیما را با مدل بدون نویز به صورت خلاصه نشان می‌دهد. در شکل مذکور مدل سه‌بعدی هواپیمای نویز‌آلود با رنگ صورتی روشن و مدل بدون نویز با رنگ آبی نشان داده شده است.

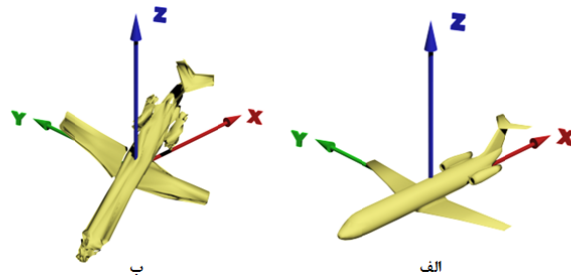
همان طور که در این شکل دیده می‌شود، مدل سه‌بعدی نویز‌آلود هواپیما که با رنگ صورتی نشان داده شده است طی

جدول ۴ نتایج هم‌ترازسازی مدل‌های سه‌بعدی منتخب از پایگاه داده McGill.

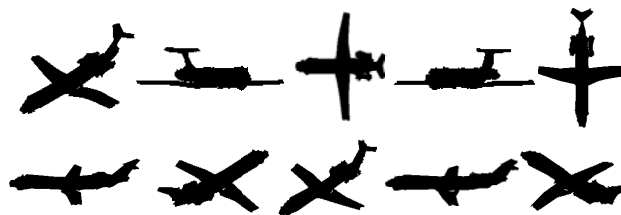
مقدار تابع خطا (نسبت مساحت ناحیه غیر همپوشان به مساحت کل سایه نماها به درصد)									روش پیاده‌سازی
									
۷/۷۶	۱۲/۲۳	۱۰/۸۷	۹/۹۸	۱۴/۷۹	۱۰/۴۳	۱۰/۰۴	۸/۸۷	۱۱/۹۵	PCA
۸/۴۵	۱۱/۹۸	۷/۳۴	۸/۵۲	۱۲/۶۹	۸/۸۹	۹/۸۶	۱۰/۵۵	۱۴/۶۳	CPCA
۷/۷۶	۱۱/۵۳	۵/۷۶	۱۰/۱۵	۱۳/۹۱	۸/۸۲	۹/۷۸	۷/۳۴	۱۶/۷۳	NPCA
۵/۵۶	۸/۷۶	۴/۴۵	۵/۵۰	۵/۷۶	۵/۷۸	۶/۷۶	۷/۰۵	۶/۸۰	پیشنهادی

جدول (۵) : اثر مقداردهی اولیه در همگراسازی و سرعت بخشیدن به هم‌تراز سازی مدل سه‌بعدی در الگوریتم Nelder-Mead.

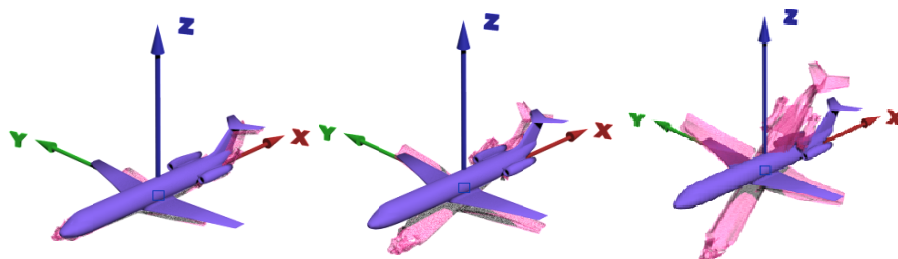
زمان (ثانیه)		مدل سه‌بعدی	زمان (ثانیه)		مدل سه‌بعدی
مقداردهی اولیه پیشنهادی در این مقاله	مقداردهی اولیه تصادفی		مقداردهی اولیه پیشنهادی در این مقاله	مقداردهی اولیه تصادفی	
۱۱۴	۱۵۶		۱۷۸	عدم همگرایی به مقدار کمیته سراسری	
۱۷۶	عدم همگرایی به مقدار کمیته سراسری		۸۷	۱۴۵	
۵۶	۹۸		۸۷	۱۲۶	
۱۷۶	۲۱۲		۱۸۹	عدم همگرایی به مقدار کمیته سراسری	



شکل ۱۵ تاثیر نویز بر عملکرد الگوریتم هم‌تراز سازی مدل‌های سه‌بعدی، (الف) مدل سه‌بعدی هواپیمای اصلی (بدون نویز) و (ب) مدل سه‌بعدی هواپیمای نویز آلود به نویز گاوسی با میانگین صفر و نسبت سیگنال به نویز ۱۰ دسی‌بل.



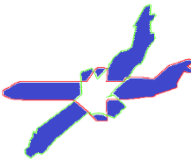



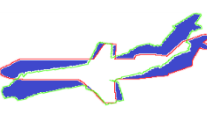
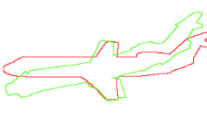






شکل ۱۶ سایه‌نماهای استخراج شده از مدل سه‌بعدی هواپیمای نویز آلود به نویز گاوسی با میانگین صفر و نسبت سیگنال به نویز ۱۰ دسی‌بل.



شکل ۱۷ فرآیند هم‌تراز سازی مدل سه‌بعدی نویز آلود هواپیما با مدل بدون نویز با استفاده از الگوریتم پیشنهادی (به ترتیب از راست به چپ).

جدول ۶ فرآیند هم‌ترازسازی مدل سه‌بعدی هواپیمای نویزآلود با مدل بدون نویز در سه مرحله از الگوریتم پیشنهادی.

نمونه سایه‌نمای دوم		نمونه سایه‌نمای اول		پیشرفت الگوریتم هم‌ترازسازی
نتیجه XOR دو سایه نما	انطباق کانتورهای دو سایه‌نمای متناظر	نتیجه XOR دو سایه نما	انطباق کانتورهای دو سایه-نمای متناظر	
				مرحله ابتدایی
				مرحله میانی
				نتیجه نهایی

جدول ۷ نتایج عددی هم‌ترازسازی مدل سه‌بعدی نویزآلود هواپیما با مدل بدون نویز.

الگوریتم پیشنهادی	NPCA	CPCA	PCA	روش پیاده‌سازی
۳/۷۶	۵/۱۲	۸/۸۷	۷/۴۵	مقدار تابع خطا

- [4] Vranic, D. V. and D. Saupe (2004). "3D model retrieval." Proc. SCCG, pp. 3-6.
- [5] Pu, J., K. Lou, et al. (2005). "A 2 D Sketch-Based User Interface for 3 D CAD Model Retrieval." Computer-Aided Design and Applications, vol. 2, no. 6, pp. 717-725.
- [6] Chen, D. Y., X. P. Tian, et al. (2003). "On visual similarity based 3D model retrieval.", Wiley Online Library, USA.
- [7] Papadakis, P., I. Pratikakis, et al. (2007). "Efficient 3D shape matching and retrieval using a concrete radialized spherical projection representation." Pattern Recognition, vol. 40, no. 9, pp. 2437-2452.
- [8] Chaouch, M. and A. Verroust-Blondet (2009). "Alignment of 3D models.", Graphical Models, vol. 71, no. 2, pp. 63-76.
- [9] Podolak, J., P. Shilane, et al. (2006). "A planar-reflective symmetry transform for 3D shapes.", ACM Transactions on Graphics (TOG) - Proceedings of ACM SIGGRAPH, vol. 25, no. 3, pp. 549-559.
- [10] Tedjokusumo, J. and W. Leow (2006). "Normalization and alignment of 3D objects based on bilateral symmetry planes." Advances in Multimedia Modeling, vol. 4351, pp. 74-85.

اطلاعات سیستم می‌تواند در بررسی مجدد، نتایج بهتری را ارائه دهد. همچنین در قسمت بهینه‌سازی زوایای چرخشی اوایلر می‌توان از سایر الگوریتم‌های بهینه‌سازی همچون PSO نیز استفاده کرد. علاوه بر آن، استفاده از تعداد نماهای بیشتر با آرایشی متفاوت شاید بتواند توصیف بهتری از مدل‌های سه‌بعدی داشته و باعث بالا رفتن میزان صحت عملکرد روش هم‌ترازسازی مدل‌های سه‌بعدی بشود. همچنین می‌توان بجای کمینه سازی تابع خطای اختلاف سطح در فضای سه بعدی پرداخت.

مراجع

- [1] Shih, J. L., C. H. Lee, et al. (2007). "A new 3D model retrieval approach based on the elevation descriptor." Pattern Recognition, vol. 40, no. 1, pp. 283-295.
- [2] Lian, Z., P. L. Rosin, et al. (2010). "Rectilinearity of 3D meshes.", International Journal of Computer Vision, vol. 89, no. 2, pp. 130-151.
- [3] Jolliffe, I. T. and MyiLibrary (2002). "Principal component analysis.", Wiley Online Library.

- [11] Fu, H., D. Cohen-Or, et al. (2008). "Upright orientation of man-made objects.", ACM Transactions on Graphics (TOG) - Proceedings of SIGGRAPH, vol. 27, no. 3.
- [12] Johan, H., B. Li, et al. (2011). "3D model alignment based on minimum projection area.", The Visual Computervol. vol. 27, no. 6-8, pp. 565-574.
- [13] Napoléon, T. and H. Sahbi (2010). "From 2D silhouettes to 3D object retrieval: contributions and benchmarking.", Journal on Image and Video Processing, vol. 2010, no. 1.
- [14] Vranic, D. V., D. Saupe, et al. (2001). "Tools for 3D-object retrieval: Karhunen-Loeve transform and spherical harmonics." IEEE, pp. 293-298
- [15] Nelder, J. A. and R. Mead (1965). "A simplex method for function minimization." The computer journal, vol. 7, no. 4, pp. 308-313.

محمد رضانی متولد ۱۳۶۵ در شهر تهران

می‌باشد. وی مدارک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی برق به ترتیب در گرایش الکترونیک از دانشگاه یزد و گرایش مخابرات سیستم از دانشگاه صنعتی سهند تبریز



دریافت نمود. از زمینه‌های علاقمندی او می‌توان به پردازش، طبقه‌بندی و بازیابی تصاویر و مدل‌های سه‌بعدی نام برد. همچنین او دارای تجربیاتی در زمینه فشرده‌سازی داده‌های ویدئویی سه‌بعدی می‌باشد.

حسین ابراهیم‌نژاد مدرک کارشناسی و

کارشناسی ارشد خود را به ترتیب در سال‌های 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. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان بینایی کامپیوتر، پردازش مدل سه‌بعدی، پردازش تصویر، شناسایی الگو و محاسبات نرم بوده و در حال حاضر عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی سهند می‌باشد.