

طراحی و پیاده‌سازی یک سیستم فتوگرامتری هوشمند جهت هدایت و کنترل اعمال جراحی ترمیمی

بابک قاسمی^{۱*}، حمید عبادی^۲، فرشید فرنود احمدی^۳

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد فتوگرامتری، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- دانشیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳- دانشیار گروه نقشه برداری دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۱۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۲/۳۱

چکیده

تصاویر رقومی دربردارنده اطلاعاتی کارآمد و مؤثر هستند که امکان اندازه‌گیری و اخذ داده از آن‌ها وجود دارند؛ یکی از روش‌هایی که امکان اندازه‌گیری و تفسیر اشیا را تنها از طریق تصاویر می‌دهد، فتوگرامتری برد کوتاه می‌باشد. یکی از این حوزه‌ها، علوم پزشکی است که فتوگرامتری برد کوتاه در این زمینه به دلیل سرعت و دقت بالا، قابلیت ایجاد مدل سه‌بعدی را دارد. این شاخه از فتوگرامتری، تحت عنوان فتوگرامتری پزشکی شناخته می‌شود. در این تحقیق کاربرد هوشمند فتوگرامتری برد کوتاه در هدایت و کنترل عمل‌های جراحی ترمیمی معرفی می‌شود. کارایی روش پیشنهادی در مطالعه موردی صورت انسان با استفاده از الگوریتم‌های تشخیص چهره در فضای دو بعدی برای پیدا کردن چهره‌های متشابه و تناظریابی در فضای سه‌بعدی برای تعیین میزان تغییرات، مورد ارزیابی قرار گرفته است. هدف اصلی تحقیق حاضر، طراحی سامانه‌ای با تلفیق فتوگرامتری برد کوتاه و الگوریتم‌های هوشمند، جهت هدایت و کنترل عمل‌های جراحی ترمیمی با استفاده از تصاویر دو بعدی و مدل‌های سه‌بعدی است. خروجی این سیستم، پارامترهای هندسی و میزان تغییرات چهره ورودی برای تبدیل شدن به چهره پیشنهادی (معرفی شده توسط سیستم) می‌باشد که پزشک بنا به تشخیص، جراحی روی بخش موردنظر را انجام می‌دهد. در این تحقیق ابر نقاط سه‌بعدی مدل صورت با صحت ۱۴۳ میکرون تولید شده و ابر نقاط چهره‌های مشابه در محدوده خطای جذر میانگین مربعات ۲ الی ۳ میلی‌متر با یکدیگر رجیستر شده‌اند.

کلیدواژه‌ها: فتوگرامتری برد کوتاه، پزشکی، تشخیص غیر تماسی، هدایت اعمال جراحی ترمیمی، الگوریتم‌های هوشمند

*نویسنده مکاتبه کننده: تهران، خیابان ولیعصر، تقاطع میرداماد، روبروی ساختمان اسکان، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تلفن: ۰۹۱۴۱۰۷۱۶۸۱

Email : Babak.ghassemi.9@gmail.com

۱- مقدمه

امروزه فتوگرامتری برد کوتاه^۱ دارای کاربردهای فراوانی در حوزه‌های مختلف علوم نظیر پزشکی، صنعت، باستان‌شناسی که نیاز به اندازه‌گیری دقیق دارد، است. فتوگرامتری برد کوتاه در زمینه پزشکی به دلیل سرعت و دقت بالا، قابلیت ایجاد مدل سه‌بعدی غیر تماسی و بدون عوارض جانبی را دارد. این شاخه از فتوگرامتری، تحت عنوان فتوگرامتری پزشکی^۲ شناخته می‌شود. کار این شاخه انجام مدل‌سازی دقیق است که پزشک متخصص، به خاطر محدودیت‌هایی که وجود دارد، قادر به بررسی‌های مستقیم روی بدن بیمار نیست.

تشخیص‌های غیر تماسی یکی از شاخه‌های مهم پزشکی است که رشد سریعی داشته است [۱]. در بسیاری از کارهای مرتبط روش‌های تصویربرداری بر اساس فراصوت^۳، اشعه ایکس^۴، تصویرسازی تشدید مغناطیسی^۵ (MRI)، تابش پوزیترون^۶ یا اطلاعات مستقیم بصری نشانگر ابزار قدرتمند پزشکان است. همچنین در بسیاری از تحقیقات حوزه‌های پزشکی و زیست‌شناختی، تولید تصویر از فاصله کوتاه یکی از روش‌های ضروری برای اخذ داده است. فتوگرامتری برد کوتاه یک فناوری پایه‌ای برای این روش‌ها محسوب می‌شود [۱ و ۲].

زمینه‌های ممکن برای اندازه‌گیری‌ها توسط فتوگرامتری برد کوتاه عمدتاً مربوط به تحقیق، کشف، درمان بیماری‌ها و طرز کار یک روش درمانی به‌خصوص هستند. فتوگرامتری به عنوان ابزار اندازه‌گیری پزشکی اهمیت خاصی دارد. زیرا عکس‌برداری را که یک ابزار سالم، راحت و سریع است به کار می‌گیرد، به داخل بدن کاری ندارد و از تماس با بدن بیمار و همچنین

ضد عفونی کردن آن که احتمال آسیب رسیدن به بیمار وجود دارد، جلوگیری می‌شود. علاوه بر آن، سطحی که مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرد، مخدوش نمی‌شود. مهم‌ترین مزایای فتوگرامتری برد کوتاه در پزشکی عبارت‌اند از: وارد کردن اطلاعات هندسی به داده‌های تصویری، غیر تماسی بودن با بدن بیمار، راحت بودن کار، دقیق بودن ابزار اندازه‌گیری شکل‌ها و توابع بیولوژیکی (همانند سطح بدن انسان) و حرکات و تغییرات آن‌ها در زمان، امکان اندازه‌گیری آنی و ایجاد مدل سه‌بعدی از بخش‌های موردنظر [۳].

امروزه علم پزشکی به دلیل استفاده گسترده از تصاویر و مدل‌های سه‌بعدی با نیازهای جدیدی روبه‌رو است. پیچیدگی ساختارهای آناتومیکی باعث مشکل شدن شناسایی آن‌ها می‌شوند و استفاده از تصاویر مکمل چندوجهی نیاز به شناسایی و رجیستر کردن مکانی دقیق می‌باشد. هم‌چنین مطالعه روی بیمار در بلندمدت نیازمند رجیستر کردن مکانی-زمانی دقیق می‌باشد. لذا خودکارسازی روندهای بصری سازی تعاملی، کمی‌سازی اشکال، بافت‌ها و حرکت، رجیستر کردن، شناسایی و برنامه‌ریزی، شبیه‌سازی و کنترل برای بهبود تشخیص و درمان حیاتی می‌باشد [۴].

یکی از زمینه‌هایی که در پزشکی نیازمند مستندسازی دقیق وضعیت محل بیماری است، انجام جراحی‌های ترمیمی است. این مستندسازی می‌تواند به منظور مقایسه مداوم وضعیت محل بیماری در طول روند درمان یا جهت تصمیم‌گیری در نحوه جراحی و هدایت عمل باشد. استفاده از فتوگرامتری پزشکی به عنوان بخشی از یک سیستم تلفیقی هوشمند می‌تواند به متخصصین مربوطه در مدل‌سازی دقیق سطح بیرونی و قابل دید بیماری که متخصص مربوطه به خاطر محدودیت‌هایی چون عدم امکان تماس فیزیکی با بیمار، عدم امکان اندازه‌گیری دقیق روی بدن بیمار، تغییر وضعیت محل بیماری به‌مرور زمان، عدم امکان ثبت و مقایسه وضعیت فعلی محل بیماری

¹.Close range photogrammetry

².Medical photogrammetry

³.ultrasound

⁴.X-ray

⁵.Magnetic Resonance Image

⁶.Positron emission

هوش مصنوعی یک سیستم نیمه خودکار با قابلیت تشخیص بیماری و قابل استفاده در محیط‌های کلینیکی و توسط کاربران غیرمتخصص، ارائه کردند [۱۲].

در این تحقیق روشی برای هدایت هوشمند عمل جراحی ترمیمی چهره انسان ارائه خواهد شد. فرض مسئله این است که مدل سه‌بعدی چهره بیمار در زمان سلامت در دسترس نیست. و هدف این است که با استفاده از چهره‌های موجود در دسترس، میزان تغییر در چهره بیمار پیشنهاد شود. برای این امر در ابتدا در فضای دوبعدی چهره‌های متشابه به چهره ورودی کاندیدا خواهند شد و در فضای سه‌بعدی شبیه‌ترین چهره به شخص موردنظر انتخاب شده و عملیات تناظریابی انجام می‌پذیرد و در نهایت میزان جابه‌جایی چهره ورودی برای تبدیل به چهره پیشنهادی مشخص می‌شود.

در این تحقیق مسئله‌ای در مورد استفاده فتوگرامتری برد کوتاه به صورت هوشمند در هدایت عمل‌های جراحی مربوط به صورت مطرح شده و امکان‌پذیر بودن اجرای آن مورد بررسی قرار گرفته است. و سامانه‌ای طراحی و پیاده‌سازی شده که در آن:

- قابلیت‌های فتوگرامتری برد کوتاه با سیستم هوشمند در آن تلفیق شده است.
- ورودی آن تنها یک تصویر دوبعدی چهره به همراه مدل سه‌بعدی آن است.
- خروجی آن پارامترهای هندسی و میزان تغییرات چهره ورودی برای تبدیل شدن به چهره پیشنهادی شده توسط سیستم می‌باشد که پزشک بنا به تشخیص، جراحی روی بخش موردنظر را انجام می‌دهد.

۲- متدولوژی تحقیق

در این تحقیق ابتدا الگوریتم‌های مناسب تشخیص چهره مورد بررسی قرار گرفته و مناسب‌ترین الگوریتم در این کاربرد معرفی می‌شود. الگوریتم

با زمان‌های قبل، نمی‌تواند بررسی‌های لازم را مستقیماً روی بدن بیمار انجام دهد، کمک نماید.

برخی از مطالعاتی که در حوزه فتوگرامتری پزشکی انجام گرفته است، در ادامه مختصراً ارائه می‌شود:

چانگ و میلیبورن با استفاده از ۴ دوربین به شکل هم‌زمان و چارچوب مرجع به بررسی شکل ستون فقرات پرداختند و اندازه‌گیری دقیق سه‌بعدی از مهره‌های جدا از هم روی ستون فقرات بدن انسان انجام داده و تصویر سه‌بعدی از پشت بدن تهیه کردند [۵].

پلسمن و جونز با استفاده از دوربین ویدیویی و نور ساخت‌یافته کد دار به بررسی زخم‌های پوستی پرداخته و نقشه سه‌بعدی عارضه را تهیه کرده و عمق و سطح و محیط زخم را تعیین کردند [۶]. گرنس و آسبورن با استفاده از دوربین نیمه متریک و تصویربرداری با لنز ماکرو و همچنین بافت نوری، مختصات سه‌بعدی دندان مصنوعی انسان را تولید و شکل دندان‌ها را مدل‌سازی کردند [۷]. چانگ با استفاده از یک آرایش دو دوربینی و چهار دوربینی و همچنین چارچوب کنترل به مطالعه حرکت دست انسان پرداخت و پس از تولید داده‌های سه‌بعدی سطح،

یک دست واقعی و یک دست مصنوعی را مدل‌سازی کرد [۸]. همچنین در یک تحقیق دیگر با استفاده از ۴ دوربین به شکل هم‌زمان و چارچوب مرجع به بررسی تأثیر بیماری شارکو ماری توث^۱ (CMT) در تحلیل بافت عضله پرداخت [۹]. کلو و

گیدمن با استفاده از دو دوربین و یک پروژکتور به نظارت بر موقعیت بیمار در طول تابش پرتو رادیوتراپی پرداخته و موقعیت‌گیری مناسبی برای بیمار تعیین کردند [۱۰]. آمستوتز با استفاده از ۶ دوربین هم‌زمان و الگوهای نوری، مدل سه‌بعدی بهینه از شکل پا را تهیه کرد تا برای مطالعات پا از آن استفاده شود [۱۱]. فرنود و فرساد با تلفیق یک روش اندازه‌گیری مبتنی بر تصویر با یک سیستم مبتنی بر

اندازه‌گیری مبتنی بر تصویر با یک سیستم مبتنی بر

اندازه‌گیری مبتنی بر تصویر با یک سیستم مبتنی بر

¹ Charcot Marie Tooth

نرخ تشخیص بالایی برخوردارند. در بین روش‌های موجود، الگوریتم "تحلیل مؤلفه‌های اساسی به روش کرنل^۴ (KPCA)" با نرخ تشخیص ۹۹٫۰۵ درصد برای روش ظاهر مبنا و الگوریتم "تبدیل مستقل از مقیاس ویژگی^۵ + الگوهای باینری محلی بهبود یافته^۶ (SIFT+MLBP)" با نرخ تشخیص ۹۹٫۷۳ درصد برای روش عرضه مبنا بهترین عملکرد را دارند [۱۳].

علی‌رغم این‌که روش‌های عرضه مبنا جواب نسبتاً بهتری نسبت به روش‌های ظاهر مبنا دارند، ولی روش‌های ظاهر مبنا در اجرا ساده‌تر بوده و زمان محاسباتی آن کمتر می‌باشد. کما این‌که نرخ تشخیص آن مناسب بوده و تفاوت چندانی با روش ظاهر مبنا ندارد. لذا در این تحقیق از روش ظاهر مبنای KPCA [۱۴] برای تشخیص چهره در فضای دوبعدی استفاده می‌شود.

در ابتدا دو ارزیابی کلی در فضای دوبعدی مربوط به دو پایگاه داده OLR و پایگاه داده طراحی‌شده در این تحقیق، انجام شد. در آزمایش اول با مطالعه روی تصاویر یک پایگاه داده آماده، نرخ تشخیص یک چهره آشنا و موجود در تصاویر پایگاه داده در حالات مختلف بررسی گردید. و آزمایش دوم با هدف ایجاد یک پایگاه داده مناسب و پیشنهاد روشی برای پیدا کردن تصویر مشابه به تصویر ورودی ناشناس، انجام شد. در این ارزیابی‌ها الگوریتم KPCA بر روی تصاویر پایگاه داده‌ها اعمال شده و صحت تشخیص چهره در حالات مختلفی از پارامترهای الگوریتم نامبرده محاسبه شد تا بهترین پارامترها برای تشخیص شبیه‌ترین چهره به چهره ورودی در این الگوریتم تعیین شود.

انتخابی روی یک پایگاه داده آماده بررسی شده و صحت آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در صورتی‌که الگوریتم کارکرد مناسبی داشته باشد، در یک پایگاه داده چهره‌ای که توسط نویسندگان تهیه شده است، بررسی می‌شود که آیا این الگوریتم قابلیت شناسایی شبیه‌ترین چهره ورودی ناشناس به چهره‌های موجود در پایگاه داده را دارد یا نه؟ در صورتی‌که الگوریتم در شناسایی شبیه‌ترین چهره موفق عمل کند، ۳ چهره مشابه به چهره ورودی پیشنهاد شده و مدل سه‌بعدی همه آن‌ها تهیه می‌شود. مدل سه‌بعدی چهره ورودی با ۳ مدل پیشنهادی به صورت اولیه رجیستر شده و مدلی که بیشترین تطابق را با آن داشته باشد انتخاب شده و با مدل چهره ورودی به صورت کامل رجیستر و تناظریابی شده و میزان تغییرات چهره ورودی مشخص می‌شود. روال کلی تحقیق در شکل (۱) نشان داده شده است.

۳- انجام آزمایش‌ها، پیاده‌سازی و ارزیابی

در این بخش، جزئیات پیاده‌سازی و ارزیابی سیستم فتوگرامتری هوشمند پیشنهادی، جهت هدایت و کنترل اعمال جراحی ترمیمی صورت ارائه می‌شود.

۳-۱- تشخیص نزدیک‌ترین چهره مشابه به تصویر ورودی

روش‌های تشخیص چهره را می‌توان به سه دسته کلی ظاهر مبنا^۱، عرضه مبنا^۲ و روش محاسبات نرم تقسیم کرد. طبق مطالعه مروری که توسط بهام^۳ و همکاران با استفاده از روش‌های مختلف روی انواع متفاوت پایگاه داده‌های چهره انجام شده است، نرخ تشخیص نرمالیزه شده این روش‌ها به ترتیب ۹۳٫۸۷، ۹۵٫۰۶ و ۸۹٫۷۰ درصد به دست آمده است [۱۳].

لذا روش‌های عرضه مبنا و ظاهر مبنا از

^۴ Kernel Principal Component Analysis

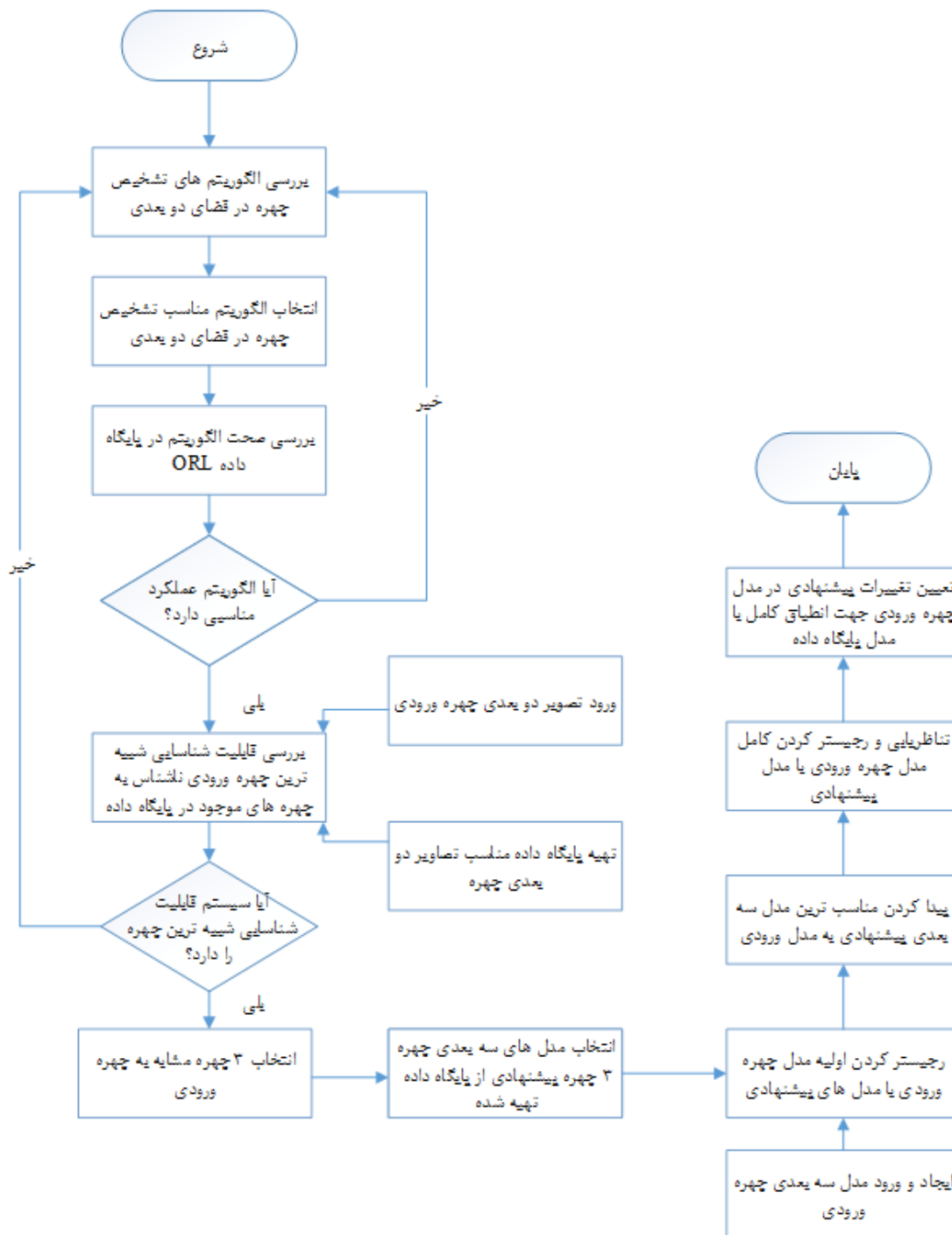
^۵ Scale-invariant Feature Transform

^۶ Modified Local Binary Patterns

^۱ Appearance-based

^۲ Feature-based

^۳ Beham



شکل ۱: روند کلی تحقیق

بسته، لبخند یا بدون لبخند) و جزئیات چهره با عینک و یا بدون عینک می‌باشد. این تصاویر با دوران و تیلت^۱

آزمایش اول بر اساس پایگاه داده حالات چهره ORL می‌باشد [۱۵]. این پایگاه داده شامل تصاویر ۱۰ حالت مختلف از ۴۰ شخص است. پایگاه داده مذکور مطابق شکل (۲) شامل حالات مختلف چهره (چشم باز یا

¹ Tilt

سعی شده است صحت فرآیند تشخیص چهره مشابه بهبود یابد. این ترندها شامل؛ به کارگیری تکنیک KPCA با پارامترهای بهینه تعیین شده، افزایش داده‌های آموزشی، حذف تصاویر نامناسب است که مشکل دوران چهره، اختلاف روشنایی و یا مقیاس دارند.

در آزمایش اول از پایگاه داده ORL مجموعه تصاویر آموزشی و تست تهیه گردید. به این شرح که با لحاظ ۸ تصویر آموزشی و ۲ تصویر تست از هر شخص در کل ۳۲۰ تصویر برای آموزش و ۸۰ تصویر برای تست فراهم گردید. با انجام این کار صحت روش به ۹۲/۵۰ درصد افزایش یافت. در مرحله دوم تصاویر نامناسبی که مشکل دوران چهره، اختلاف روشنایی و یا مقیاس داشتند حذف شدند، به طوری که تصویر هر شخص از ۱۰ به ۵ تقلیل یافت. همچنین از این ۵ تصویر، ۴ تصویر به عنوان آموزش و یک تصویر به عنوان تست در نظر گرفته شد. لذا ۱۶۰ تصویر آموزشی و ۴۰ تصویر تست منظور شد. در نتیجه این تغییرات، صحت روش مورد نظر ۱۰۰ درصد افزایش یافت.

با حصول صحت ۱۰۰ درصد در تشخیص چهره، می توان ادعا کرد اگر پایگاه داده‌ای ایجاد شود که در آن تصاویر به صورت تمام رخ، بدون تمایل و دوران و همچنین در مقیاس و روشنایی ثابت وارد شود، تصویر چهره‌ای که برای تصویر ناشناس ورودی (که در همان شرایط اخذ شده است) شناخته می شود، شبیه ترین چهره موجود در پایگاه داده به آن خواهد بود. لذا برای اثبات این ادعا آزمایش دوم طراحی شد.

در آزمایش دوم ۶ تصویر از ۳۰ شخص مختلف اخذ شد. تصاویر با استفاده از دوربین کانون پاورشات اس ایکس ۱۳۰ آی اس^۱ و تنظیمات F-stop برابر با ۴/f، زمان نوردهی^۲ برابر با ۱/۴ ثانیه، حساسیت حس گر برابر با ISO-200 و فاصله کانونی ۵ میلی متر روی

چهره تا ۲۰ درجه اخذ شده اند. همچنین اختلافاتی تا اندازه ۱۰ درصد نیز در مقیاس وجود دارد. تمام تصاویر درجه خاکستری بوده و ابعاد همه آن‌ها ۹۲×۱۱۲ پیکسل می باشد.

قبل از پیاده سازی روش KPCA با مؤلفه های اساسی متفاوت، میزان صحت این روش با کرنل چندجمله ای و درجات مختلف d و تعداد مؤلفه های اساسی با نسبت انرژی $\alpha = 0.99$ (مجموع تعداد قوی ترین مؤلفه های اساسی انتخاب شده، تقسیم بر مجموع تمام مؤلفه های اساسی) تعیین شد. نتایج حاصل از این بررسی در جدول (۱) ارائه شده است. با بررسی نتایج ارائه شده در جدول (۱) مشخص می شود صحت روش KPCA با افزایش درجه چندجمله ای کاهش می یابد.

سپس نتایج آزمایش های حالات چهره بر اساس پایگاه داده ORL و با به کارگیری روش KPCA با کرنل چندجمله ای درجه ۱ و مؤلفه های اساسی متفاوت در **Error! Reference source not found.** ارائه می - شود. نتایج این ارزیابی نشان داد؛ معیار صحت تشخیص چهره (تعداد تشخیص های صحیحی که برای هر چهره مختلف تصاویر تست حاصل می شود) روش KPCA با ۳۵ مؤلفه اساسی ۷۸ درصد بوده و پس از آن با افزایش مؤلفه های اساسی، میزان صحت تغییر نمی کند. همچنین با استفاده از رابطه نسبت انرژی با $\alpha = 0.99$ تعداد مؤلفه های اساسی ۱۶۸ عدد تعیین شد. صحت روش KPCA با ۱۶۸ مؤلفه اساسی تعیین شده نیز ۷۸ درصد حاصل می شود. نتایج این ارزیابی ها نشان می دهد تعیین تعداد مؤلفه های اساسی با رابطه انرژی روش جایگزین مناسبی برای تعیین تجربی این پارامتر است. لذا در ادامه روش پیشنهادی، تکنیک KPCA با کرنل چندجمله ای درجه ۱ و $\alpha = 0.99$ مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

از آنجایی که هدف این آزمایش پیدا کردن شبیه ترین شخص - نه خود شخص - از نظر چهره برای تصویر چهره ورودی است، لذا با به کارگیری ترندهایی

¹ Canon PowerShot SX130 IS

² Exposure time

۱۰۰ درصدی روش می‌باشد. در مرحله دوم برای پیدا کردن چهره، تمامی تصاویر از همه اشخاص برای آموزش وارد سیستم شدند و برای تست، تصاویر مربوط به یکی از نمونه‌ها از پایگاه داده خارج شده و به‌عنوان تصویر چهره ورودی به سیستم معرفی شد. الگوریتم KPCA با چندجمله‌ای درجه ۱ با $\alpha = 0.99$ اجرا شده و برای چهره ورودی ۳ چهره متشابه مطابق **Error! Reference source not found.** (۴) پیشنهاد کرد.

مشاهده می‌شود تصاویری که الگوریتم به‌عنوان خروجی به‌دست می‌دهد، از لحاظ بصری بسیار به تصویر ورودی شبیه است. برای اعتبارسنجی این روش، چهره افراد موجود در پایگاه داده به همراه چهره ورودی، در اختیار ۴۰ فرد قرار گرفت تا از بین این چهره‌ها، چهره متشابه به چهره ورودی را انتخاب کنند. نتیجه این نظرسنجی با نتیجه حاصل از الگوریتم تشخیص چهره پیشنهادی مقایسه و به‌عنوان معیاری برای ارزیابی صحت الگوریتم پیشنهادی منظور شد.

جدول ۱: درصد صحت تشخیص چهره به روش KPCA در درجات مختلف چندجمله‌ای در $\alpha = 0.99$

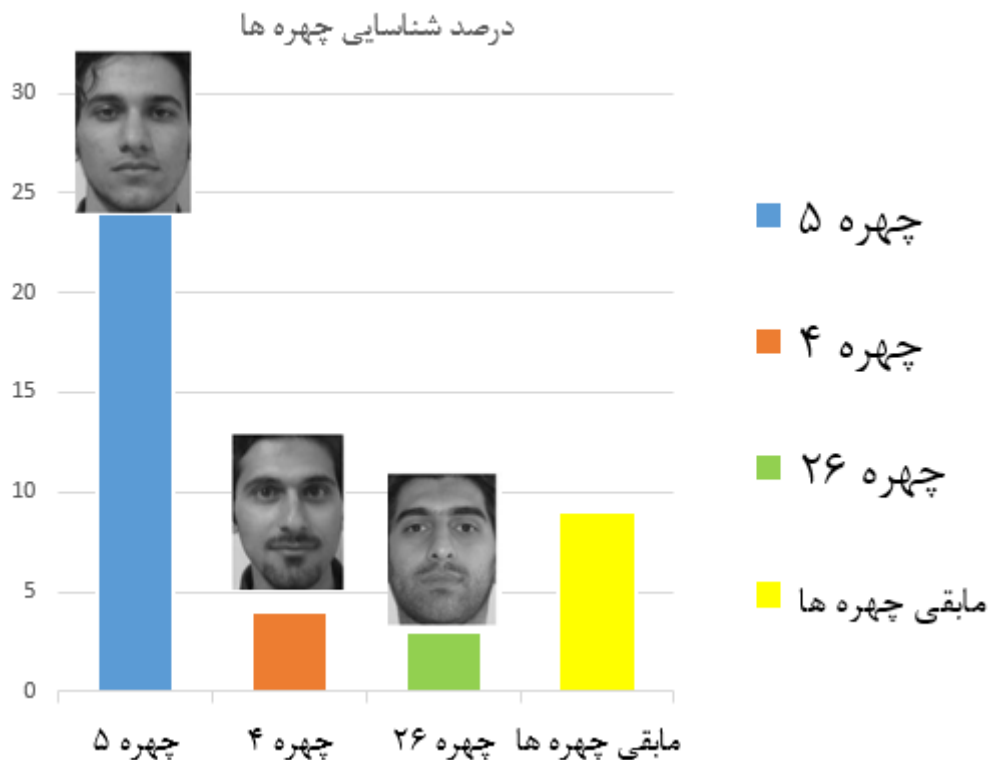
d	۱	۲	۳	۴	۵
تعداد مؤلفه اساسی	۱۶۸	۱۷۶	۱۷۳	۱۶۴	۱۵۲
صحت (%)	۷۸٫۰۰	۷۳٫۰۰	۷۲٫۵۰	۷۲٫۰۰	۷۱٫۰۰

دارند. بنابراین می‌توان از الگوریتم طراحی شده، به صورت عمومی برای تشخیص چهره مشابه استفاده کرد. درنهایت پس از پیدا کردن چهره‌های متشابه به چهره ورودی در فضای دوبعدی، سیستم با استفاده از مدل‌های سه‌بعدی چهره‌های مشابهی که به چهره ورودی پیشنهاد شد، شبیه‌ترین و فیت‌ترین مدل به آن را پیدا می‌کند.

یک سه‌پایه و در فاصله ۱ متری از شخص در شرایط مقیاس و روشنایی یکسان و حتی‌الامکان بدون دوران چهره اخذ شدند. به دلیل یکسان بودن شرایط دوربین و مکان در طی تهیه تصاویر، روشنایی ثابت و همچنین با حفظ فاصله معین، مقیاس ثابت می‌ماند. برای حذف دوران احتمالی، تصاویر در راستای خط واصل بین دو چشم به سمت جهت افق دوران داده شدند. سپس از این تصاویر، قسمت چهره اشخاص شناسایی، استخراج، در ابعاد 100×140 پیکسل تنظیم سایز شده و وارد پایگاه داده شدند. حالات چهره‌ای که برای هر شخص در پایگاه داده وجود دارد، عبارت است از حالات عادی، لبخند ساده، لبخند با مشخص شدن دندان، اخم، چشم‌بسته و با عینک بوده که نمونه‌ای از آن در **Error! Reference source not found.** (۳) قابل‌رؤیت است.

در مرحله اول، ابتدا از هر شخص ۵ تصویر برای آموزش و ۱ تصویر برای تست وارد سیستم شد. که در کل شامل ۱۵۰ تصویر آموزشی و ۳۰ تصویر تست می‌شود. و روش KPCA با چندجمله‌ای درجه ۱ با $\alpha = 0.99$ اجرا شد. نتایج پیاده‌سازی الگوریتم حاکی از صحت

نتایج نظرسنجی نشان داد؛ از بین ۴۰ نفر شرکت‌کننده، ۲۴ نفر چهره شماره ۵ (۶۰ درصد)، ۴ نفر چهره ۴ (۱۰ درصد)، ۳ نفر چهره ۲۶ (۷/۵ درصد) را مطابق **Error! Reference source not found.** (۵) به عنوان شبیه‌ترین چهره انتخاب کرده‌اند. نتایج بررسی نشان داد؛ چهره‌هایی که توسط سیستم به عنوان کاندیدا برای چهره ورودی تشخیص داده شد، با نظر اکثریت افرادی که چهره مشابه را تشخیص داده‌اند، همخوانی



شکل ۵: درصد شباهت چهره پیشنهادی به چهره ورودی توسط رأی گیری از افراد

دوربین در حالت خودکار و عکس برداری به صورت پیوسته^۲ تنظیم شده و فاصله کانونی ۳۵ میلی متر تنظیم گردیده بود. فرد مورد آزمایش در مکان تعبیه شده نشسته و بعد از آن با استفاده از پروژکتور الگوی مناسب (نویز اسپکل^۳) روی چهره شخص انداخته شد (شکل ۷). سپس در طول زمان مابین ۲۰ تا ۳۰ ثانیه به شکلی که فرد مورد نظر کاملاً ثابت است (جهت تکان نخوردن شخص، سر وی از پشت به بردی که تارگت‌ها به آن چسبانده شده تکیه داده شده است)، در حدود ۸۰ الی ۱۰۰ تصویر به صورت پیوسته و از جهات مختلف از وی به همراه شیء هشت وجهی اخذ شد. با استفاده از این تصاویر در نرم افزار فتواسکن^۴، ابر نقاط چهره به همراه شیء در مقیاس واقعی استخراج شدند (Error! Reference

۳-۲- ایجاد مدل سه بعدی چهره

ابزاری که برای تهیه مدل سه بعدی استفاده شد، همان طور که در شکل ۸ (۶) مشخص است عبارت‌اند از: دوربین عکس برداری حرفه‌ای نیکون دی ۵۵۰۰، ۲ عدد پروژکتور، الگوی مناسب و نوار مقیاس. ابتدا مکان مناسبی برای نشستن شخص مورد نظر مشخص شد که در اطراف آن تارگت‌هایی چسبانده شده است. برای ارزیابی صحت مدل سه بعدی تولید شده، یک شیء هشت وجهی که مدل واقعی آن با صحت ۱۰ میکرون در دسترس است، در مکانی مناسب در مجاورت فرد مورد نظر تعبیه شد (شکل ۷). برای تخصیص مقیاس به مدل‌ها، ۶ فاصله از تارگت‌های مشخص که مرکز آن‌ها به وسیله امتداد خطوط افقی و عمودی داخل خود تارگت پیدا شده است، با استفاده از کولیس به صورت دقیق قرائت شد.

² Continuous

³ Speckle Noise

⁴ Agisoft PhotoScan

¹ NIKON D5500

برای ارزیابی صحت مقیاس‌گذاری، ۶ فاصله معین بین تارگت‌ها با استفاده از کولیس با دقت ۰/۱ میلی‌متر به صورت دقیق قرائت شد که ۳ فاصله به عنوان آموزش و ۳ فاصله به عنوان تست در نظر گرفته شدند و در نهایت قدر مطلق متوسط خطای ارزیابی مقیاس ۰/۱۰۱ میلی‌متر ارزیابی شد. به عبارتی صحت مقیاس مدل تهیه‌شده ۱۰ میکرون می‌باشد.

برای بررسی صحت مدل سه‌بعدی تهیه‌شده با روش پیشنهادی، به دلیل در دسترس نبودن داده واقعی و دقیق مدل سه‌بعدی چهره، این بررسی روی یک شیء (هشت‌وجهی بوده با مدل سه‌بعدی با صحت تقریبی ۱۰ میکرون در دسترس) دارای مدل سه‌بعدی واقعی و دقیق، با همان شرایط اخذ مدل چهره، انجام شد.



شکل ۶: ابزار موردنیاز برای تهیه مدل سه‌بعدی



شکل ۷: مکان تعبیه‌شده برای نشستن فرد به همراه الگوی تابیده‌شده روی چهره

با فرض این که تمامی نقاط مربوط به هشت‌وجهی موردنظر در تمامی وجه‌ها روی یک صفحه قرار دارند، به یک وجه مشخص این شیء، صفحه برازش داده شده و تمام نقاط دربرگیرنده صفحه روی آن نگاشت شدند تا مشخص شود که سطح برداشت‌شده چقدر با سطح

Source not found.)) سپس نقاط اضافی از ابر نقاط حاصله حذف شده و تنها نقاط مربوط به چهره حفظ شدند. لازم به ذکر است که در حدود ۷۰ هزار نقطه از یک چهره اخذ شد. برای تسهیل روند پردازش ابر نقاط، از چگالی آن‌ها به صورت یکنواخت کاسته شد و به تقریباً ۲۰ هزار نقطه کاهش یافت.

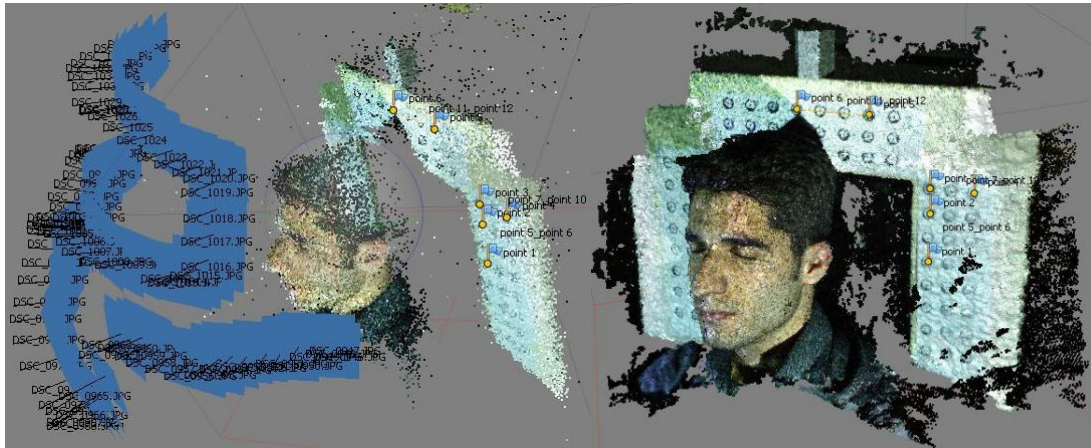
این روند برای تمام چهره‌های موجود پایگاه داده تکرار و مدل سه‌بعدی تمام چهره‌ها استخراج شد. قبل از ورود ابر نقاط نهایی به سیستم، دقت و مقیاس مدل تولیدشده به روش پیشنهادی، مورد ارزیابی قرار گرفت. برای ارزیابی روند تهیه مدل سه‌بعدی، باید صحت مدل سه‌بعدی تهیه‌شده و صحت مقیاس‌گذاری مورد بررسی قرار بگیرند.

در مدل سه‌بعدی تهیه‌شده صورت به همراه شیء، نقاط اضافی حذف و تنها مدل شیء که تنها مدل سه وجه آن تولید شده است، حفظ شده و مش^۱ آن تولید شد.

¹ Mesh

(متوسط انحراف معیارها)، ۱۴۳ میکرون می‌باشد که بیان‌گر دقت نقاط تولیدشده و به عبارتی دقت صفحه برازش داده‌شده به روی نقاط وجه‌ها با استفاده از روش پیشنهادی است.

صاف اختلاف دارد این اختلاف با محاسبه انحراف معیار حاصل می‌شود. این روند برای هر سه وجه تکرار و انحراف معیار همه آن‌ها محاسبه و میانگین آن‌ها محاسبه شد. مقداری که به دست آمد



شکل ۸: ابر نقاط استخراج‌شده به صورت رنگ‌های واقعی و نحوه عکس‌برداری

- بیشینه تعداد تکرار: ۲۰ بار
 - تلورانس بین تکرارهای متوالی: [۰/۰۱ ۰/۰۰۹]
 - (دوران تخمینی (به رادیان) و تلورانس اختلاف مطلق در انتقال)
 - توقف الگوریتم: زمانی که اختلاف متوسط بین تبدیلات صلب تخمینی در ۳ تکرار متوالی اخیر از مقدار تعیین‌شده کمتر باشد.
- به صورت اولیه با هر کدام از ابر نقاط پیشنهادی رجیستر شده و میزان خطای جذر میانگین مربعات^۲ (RMSE) هر کدام محاسبه شد که نتایج آن در شکل (۹) (نقاط آبی رنگ نقاط مربوط به مرجع و نقاط قرمز مربوط به متغیر) قابل مشاهده است.

۳-۳- انتخاب مناسب‌ترین مدل چهره و تعیین میزان تغییر به چهره ورودی

پس از اینکه سیستم در حالت دوبعدی، سه چهره شبیه به چهره ورودی را شناسایی می‌کند، در این قسمت با استفاده از تناظریابی در فضای سه‌بعدی، مناسب‌ترین چهره از میان چهره‌های پیشنهادی انتخاب و در مورد میزان تغییر آن تصمیم‌گیری شده است. ابتدا ابر نقاط چهره ورودی (چهره شماره ۱) وارد سیستم شده و به عنوان ابر نقاط متغیر تعریف شد. سپس ابر نقاط چهره‌های پیشنهادی (چهره‌های شماره ۴، ۵ و ۲۵) به شکل مجزا به عنوان ابر نقاط مرجع در نظر گرفته شدند.

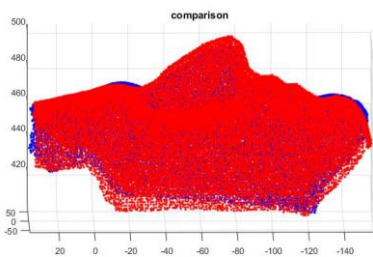
ابر نقاط ورودی به صورت جداگانه و با استفاده از الگوریتم نزدیک‌ترین نقطه تکراری^۱ (ICP) [۱۶] و

پارامترهای ورودی معین به صورت زیر:

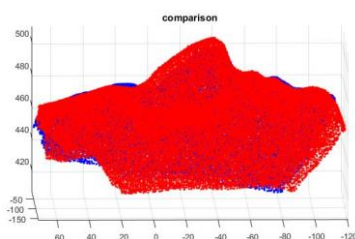
- متریک کمینه‌سازی: نقطه به نقطه
- برونیایی: انجام شود

² Root Mean Square Error

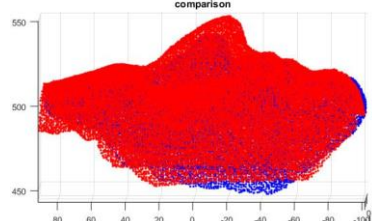
¹ Iterative Closest Point



چهره ۴ - RMSE: 2.1447



چهره ۵ - RMSE: 2.9616



چهره ۲۵ - RMSE: 3.1541

شکل ۹: رجیستر شدن چهره شماره ۱ با چهره‌های پیشنهادی و نتایج RMSE آن (واحد: mm)

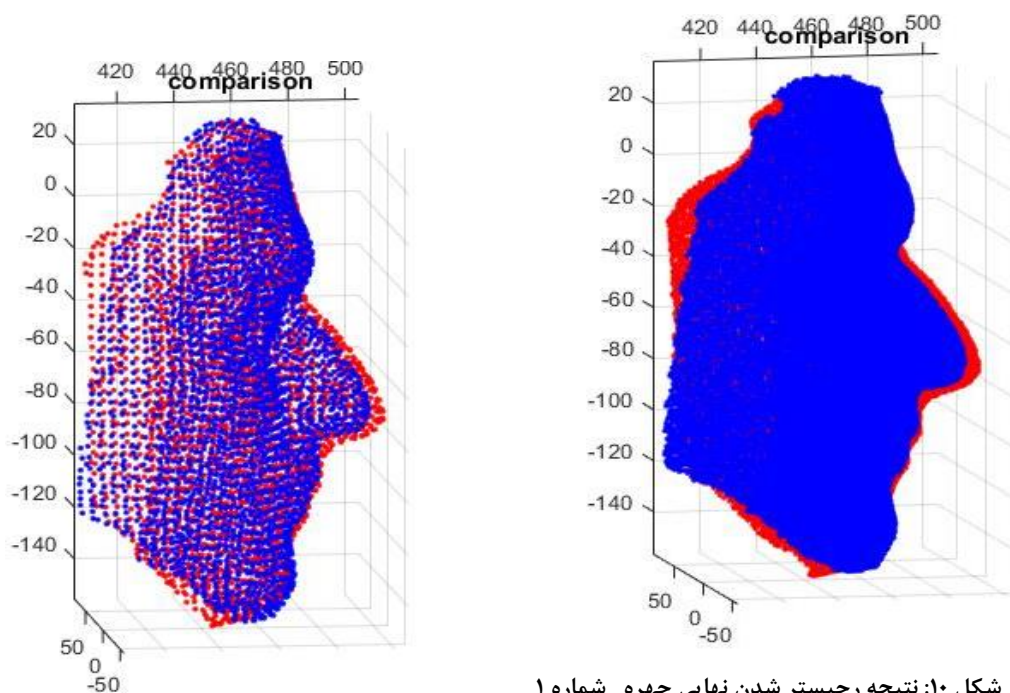
کوتاه‌ترین فاصله را به نقطه مرجع دارد و بقیه نقاط به‌عنوان نقاط اضافی و نامناسب حذف شدند. خروجی نهایی سیستم پیشنهادی، موقعیت، مقدار و جهت نقاط پیشنهادی برای جراحی است که به پزشک جراح پیشنهاد می‌شود. در شکل (۱۲) شمای کلی نقاط مربوط دو چهره مرجع و متغیر به همراه موقعیت، مقدار و جهت (بردار) تغییرات پیشنهادی در جهت انطباق مدل چهره ورودی (مدل قرمز رنگ) به مدل چهره مرجع (مدل زرد رنگ) است. خطوط آبی میزان تغییرات پیشنهادی در جهت تطابق این دو چهره است. شمای ایجاد شده نشان‌گر یک پیشنهاد کلی برای تغییر تمام چهره ورودی به چهره پیشنهادی می‌باشد. تصمیم این‌که کدام قسمت از چهره باید تغییر داده شود بر عهده پزشک می‌باشد. برای این‌که این نقاط برای پزشک معنادار شود، می‌توان با مختصات دهی به این نقاط و در نظر گرفتن دو نقطه مرجع در مقیاس واقعی، جای تک‌تک این نقاط را در صورت پیدا کرد. برای ارائه نمای گرافیکی، مش و کد^۱ هر دو ابر نقطه در نرم‌افزار گام^۲ تولید شده و پس از رجیستر کردن، میزان اختلاف کلی دو چهره ارائه شد (شکل ۱۳). با بررسی شکل (۱۳) مشخص می‌شود دو چهره از لحاظ بصری نیز روی هم انطباق مناسبی داشته و شباهت زیادی نسبت به یکدیگر دارند.

مقایسه سه بعدی چهره‌های مورد بررسی نشان می‌دهد شبیه‌ترین چهره به چهره ورودی، چهره شماره ۴ می‌باشد (به دلیل RMSE کمتر) که متناسب‌ترین چهره برای چهره ورودی است. لذا مدل چهره شماره ۴ به عنوان مرجع در نظر گرفته شده و مدل چهره ورودی به عنوان مدل متغیر با الگوریتم ICP و پارامترهای (متریك کمینه‌سازی: نقطه به نقطه - برونیابی: انجام شود - بیشینه تعداد تکرار: ۳۰ بار - تلورانس بین تکرارهای متوالی: [۰.۰۰۰۹ ۰.۰۰۰۱]) به صورت دقیق‌تر با آن رجیستر شده و روی آن فیت شد. RMSE به دست آمده ۲/۱۳۲۳ میلی‌متر بوده و نقاط رجیستر شده به صورت شکل (۱۰) می‌باشد. به دلیل فشردگی زیاد نقاط در کنار یکدیگر و عدم نیاز به این حجم زیاد از نقاط و همچنین نمایش بصری بهتر، چگالی ابر نقاط با روش میانگین‌گیری شبکه و با ابعاد شبکه ۴ میلی‌متر، از حدود ۲۰ هزار نقطه به ۳ هزار نقطه تقلیل پیدا کرد (شکل ۱۱)).

در ادامه نقاط متناظر ابر نقاط مرجع در ابر نقاط متغیر که همان نزدیک‌ترین نقاط موجود در هر دو ابر نقطه به هم می‌باشند، پس از شناسایی اندکس گذاری شده و فاصله هر کدام از آن‌ها محاسبه شد. در نهایت این نقاط با خط به هم متصل شدند. امکان دارد که چند نقطه از ابر نقاط متغیر به یک نقطه از ابر نقاط مرجع متصل شوند و به عبارتی یک نقطه در ابر نقاط مرجع چند نقطه متناظر در ابر نقاط متغیر داشته باشند. لذا برای حل این مشکل نقطه‌ای نگه داشته شد که

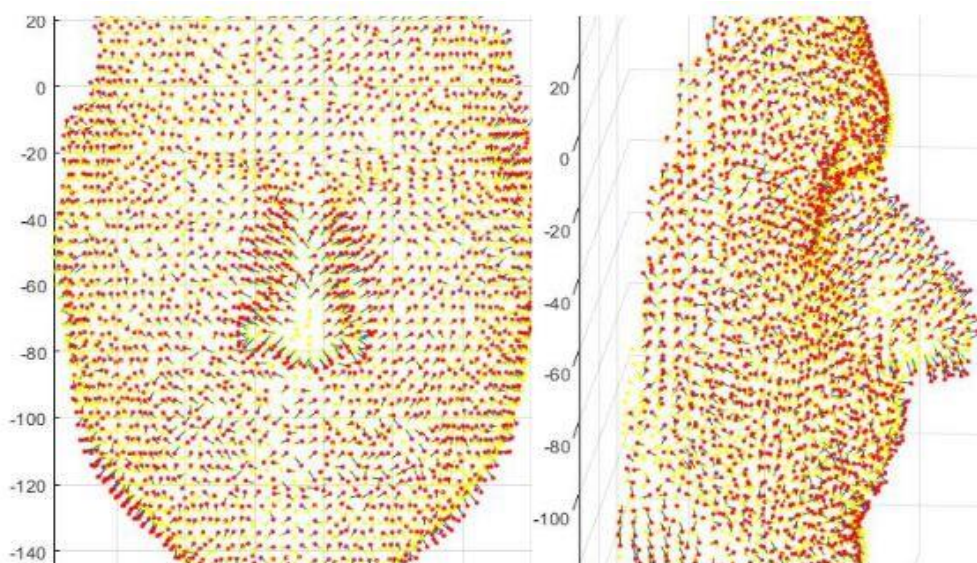
¹ CAD

² GOM



شکل ۱۰: نتیجه رجیستر شدن نهایی چهره شماره ۱ (متغیر) با چهره شماره ۴ (مرجع)

شکل ۱۱: کاهش جگالی ابر نقاط رجیستر شده نهایی



شکل ۱۲: شمای کلی از نقاط مرتبط دو چهره و جهت تغییر آن در وجه‌های مختلف

۴- نتیجه‌گیری

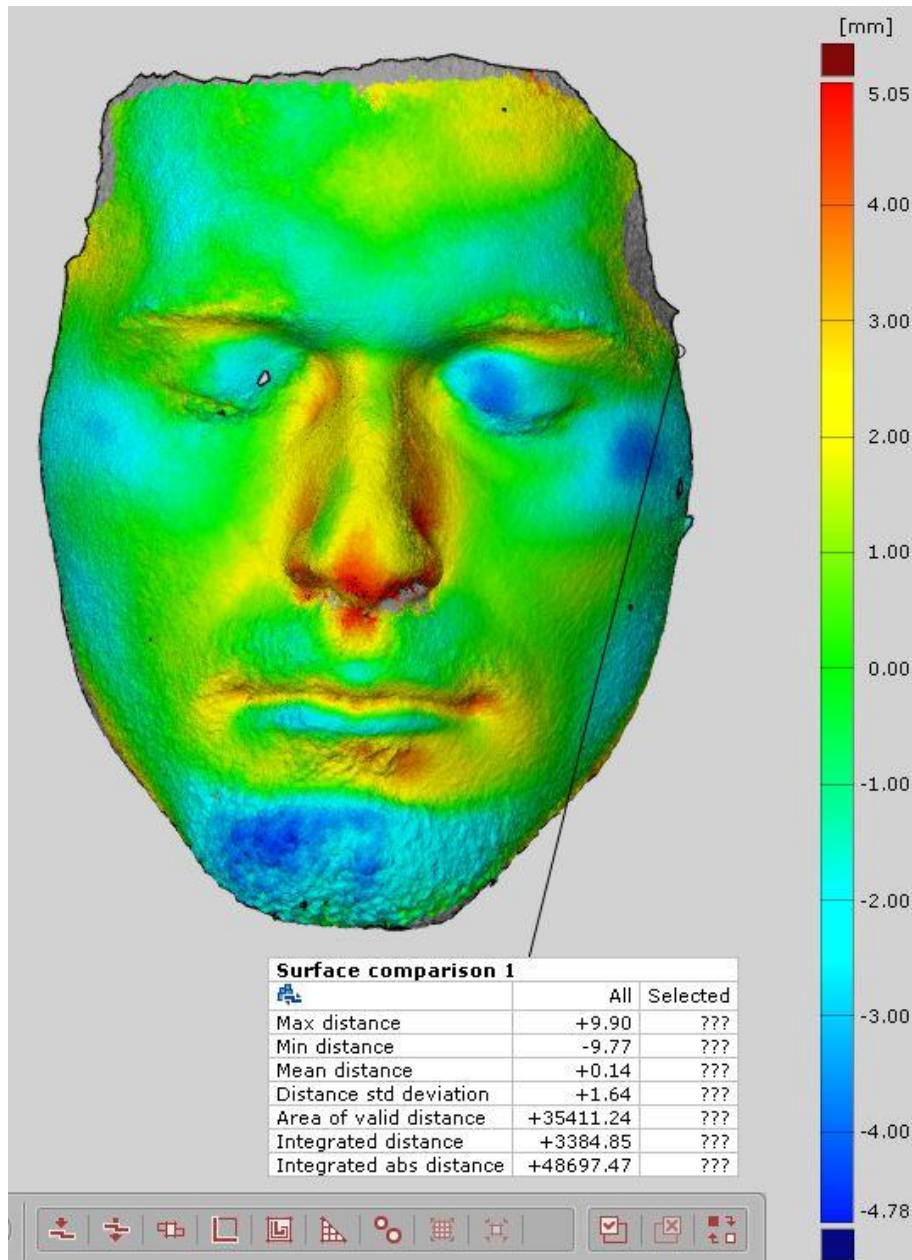
فتوگرامتری برد کوتاه به‌عنوان یک ابزار ضروری برای به‌دست آوردن اطلاعات مکانی با دقت بالا، برای کارهای پزشکی استفاده می‌شود. با در نظر گرفتن

قابلیت‌های فتوگرامتری برد کوتاه به‌عنوان یک روش اخذ داده و توانایی انجام تصمیم‌گیری سیستم‌های هوشمند، می‌توان یک روش هوشمند تشخیص مبتنی بر تصویر، با تلفیق سیستم‌های مذکور ارائه داد

که یک روش ظاهر مینا می‌باشد، عملکرد خوبی در پیدا کردن چهره‌های کاندیدا داشت. برای پیدا کردن مناسب‌ترین مدل از تناظریابی در فضای سه‌بعدی استفاده شد که الگوریتم رجیستر کردن صلب ICP عملکرد مناسبی در فیت کردن ابر نقاط چهره‌های مشابه داشت.

که بتواند به پزشک در انجام عمل‌های جراحی کمک کند.

در این تحقیق برای کاهش حجم محاسبات و سهولت اجرای روند تشخیص چهره، بخش زیاد جست‌وجو در فضای دوبعدی انجام شد و تعدادی کاندیدا برای چهره ورودی انتخاب شد. روش تشخیص چهره KPCA



شکل ۱۳: شمای گرافیکی دو چهره منطبق شده با میزان اختلاف آن‌ها

دو چشم برای پیدا کردن شبیه‌ترین چهره استفاده شود. همچنین می‌توان در آینده اطلاعات تخصصی پزشکی را به سیستم اضافه کرد تا میزان بهره‌وری آن به حداکثر برسد.

پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی، الگوریتم‌های تشخیص چهره عارضه مبنا برای شناسایی چهره‌های کاندیدای مشابه بررسی شده و همچنین از قیود ثابت موجود در چهره نظیر فاصله بین مراکز

مراجع

- cameras: a medical application in CMT disease monitoring," *The Photogrammetric Record*, vol. 26, pp. 263-273, 2011.
- [1] A. Grün and P. Niederer, "Photogrammetry and remote sensing in medicine biostereometry and medical imaging," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 45, pp. i-iv, 1990.
- [2] H. Mitchell and I. Newton, "Medical photogrammetric measurement: overview and prospects," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 56, pp. 286-294, 2002.
- [3] K. B. Atkinson, *Close range photogrammetry and machine vision*: Whittles Publ., 1996.
- [4] N. Ayache, "Medical computer vision, virtual reality and robotics," *Image and Vision Computing*, vol. 13, pp. 295-313, 1995.
- [5] A. K. Chong, P. Milburn, R. Newsham - West, and M. Voert, "High - accuracy photogrammetric technique for human spine measurement," *The Photogrammetric Record*, vol. 24, pp. 264-279, 2009.
- [6] P. Plassmann, B. Jones, and E. Ring, "A structured light system for measuring wounds," *The Photogrammetric Record*, vol. 15, pp. 197-204, 1995.
- [7] M. J. Grenness, J. E. Osborn, and M. J. Tyas, "Stereo - Photogrammetric Mapping of Tooth Replicas Incorporating Texture," *The Photogrammetric Record*, vol. 20, pp. 147-161, 2005.
- [8] A. K. Chong, "Photogrammetry for digital hand surface capture in swimming performance study," *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 36, pp. 74-77, 2006.
- [9] A. K. Chong, "Low - cost compact cameras: a medical application in CMT disease monitoring," *The Photogrammetric Record*, vol. 26, pp. 263-273, 2011.
- [10] R. Calow, G. Gademann, G. Krell, R. Mecke, B. Michaelis, N. Riefenstahl, et al., "Photogrammetric measurement of patients in radiotherapy," *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, vol. 56, pp. 347-359, 2002.
- [11] E. Amstutz, T. Teshima, M. Kimura, M. Mochimaru, and H. Saito, "PCA based 3D shape reconstruction of human foot using multiple viewpoint cameras," in *International Conference on Computer Vision Systems*, 2008, pp. 161-170.
- [12] F. F. Ahmadi and N. F. Layegh, "Integration of close range photogrammetry and expert system capabilities in order to design and implement optical image based measurement systems for intelligent diagnosing disease," *Measurement*, vol. 51, pp. 9-17, 2014.
- [13] M. P. Beham and S. M. M. Roomi, "A review of face recognition methods," *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, vol. 27, p. 1356005, 2013.
- [14] B. Schölkopf, A. Smola, and K.-R. Müller, "Nonlinear component analysis as a kernel eigenvalue problem," *Neural computation*, vol. 10, pp. 1299-1319, 1998.
- [15] F. S. Samaria and A. C. Harter, "Parameterisation of a stochastic model for human face identification," in *Applications of Computer Vision, 1994., Proceedings of the Second IEEE Workshop on*, 1994, pp. 138-142.
- [16] P. J. Besl and N. D. McKay, "Method for registration of 3-D shapes," in *Robotics-DL*



طراحی و پیاده‌سازی یک سیستم فتوگرامتری هوشمند...
بابک قاسمی، حمید عبادی، فرشید فرنود احمدی

tentative, 1992, pp. 586-606.



Design and Implementation of an Intelligent Photogrammetric System for Control and Guidance of Reconstructive Surgery

Babak Ghassemi^{*1}, Hamid Ebadi², Farshid Farnood Ahmad³

- 1- Ms.c of photogrammetry in Department of Photogrammetry and Remote Sensing, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran
- 2- Associate Professor in Department of Photogrammetry and Remote Sensing, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran
- 3- Associate Professor in Department of Geomatics Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Abstract

The digital image contains efficient and useful information which enables measurement and data acquisition. One of the methods that facilitate measuring and interpreting objects, using the image solely, is close-range photogrammetry. Among the various fields of science, whenever a precise measurement is required, this approach can be applied. One of these fields is Medical Sciences that due to high speed and accuracy of close-range photogrammetry, it can create three-dimensional models. To generate the model there is no need for direct contact with the patients consequently there are no side effects. So in this respect, it is better than other conventional methods in medical imaging which are often invasive procedures. This branch of photogrammetry is known as medical photogrammetry.

In this paper, application of intelligent close range photogrammetry in control and guide of reconstructive surgeries is presented. The proposed method is evaluated in a case study of the human face using facial recognition algorithms in two-dimensional space and matching in three-dimensional space. The main objective of this research is to design a system by integrating close-range photogrammetry and intelligent algorithms to guide and control reconstructive surgeries using two-dimensional images and three-dimensional models. The output is geometrical parameters and the changes of input face to transform to the proposed face that surgery is done on part in question at the discretion of the physician. The three-dimensional point cloud from face model produced with 143-micron accuracy and point clouds of similar faces were registered together in the range of 2mm to 3 mm in rmse.

Key words: Close range photogrammetry, Medicine, Non-contact diagnosis, Guidance of reconstructive