

تلفیق داده‌های تک سنجندهی کینکت برای مدل‌سازی سه‌بعدی بدن انسان

سروش جهان‌دیده^{۱*}، محمد سعادت سرشت^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد فتوگرامتری - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده‌های فنی -

دانشگاه تهران

sjahandideh@ut.ac.ir

^۲ دانشیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران

msaadat@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت تیر ۱۳۹۴، تاریخ تصویب اردیبهشت ۱۳۹۵)

چکیده

سنجندهی کینکت به دلیل برخورداری از هزینه‌ی پایین و قابلیت استفاده از آن در موقعیت‌ها و شرایط متفاوت، می‌تواند به عنوان ابزاری کارا برای مدل‌سازی سه بعدی بدن انسان بکار گرفته شود. از کاربردهای ساخت مدل سه بعدی بدن انسان می‌توان به ایجاد اتاق پرو مجازی برای انتخاب و مشاهده لباس، تولید کاراکترهای گرافیکی در بازی‌های رایانه‌ای، ساخت آواتار شخصی برای ارتباطات مجازی، تولید پویانمایی و فیلم سه بعدی، ایجاد واقعیت افزوده در گرافیک رایانه و مانند آن اشاره نمود. از اینرو در این مقاله برای اولین بار در کشور، روشی سریع و ارزان به منظور مدل‌سازی سه‌بعدی بدن انسان با استفاده از سنجندهی کینکت ارائه و پیاده‌سازی شده است. لازم به ذکر است که مدل‌سازی سه‌بعدی بدن انسان، بخصوص با استفاده از یک سنجندهی کینکت، با دو چالش اساسی شامل کاهش کیفیت داده‌های اولیه با افزایش فاصله و همچنین عدم ثبات پیکره شخص در طول اسکن روبرو می‌باشد. به منظور حل چالش اول، سنجنده در فاصله نزدیکتری به شخص قرار گرفت و از قابلیت چرخش آن و اسکن در زوایای متفاوت برای پوشش بدن فرد استفاده شد. برای حل چالش دوم، از هم‌مرجع‌سازی غیرصلب استفاده شد که در آن علاوه بر هم‌مرجع‌سازی صلب ابرنقاط فریم‌های کینکت، تغییر شکل بدن فرد در حین عملیات برداشت داده نیز لحاظ گردیده است. پس از هم‌مرجع‌سازی ابر نقاط حاصل از اسکن بدن فرد که از هشت ایستگاه دورتادور فرد و در سه زاویه ارتفاعی برداشت شده است، این داده‌ها تلفیق شده و یک رویه یا مش^۱ بافت دار به آن برآزش داده شد تا نمایشی سبک و دقیق با ظاهری واقعی از بدن فرد بدست آید. نتایج تجربی، قابلیت بالای سیستم طراحی شده را نشان می‌دهد که عبارتند از هزینه‌ی پایین بواسطه استفاده از یک سنجندهی کینکت نسبتاً ارزانه‌قیمت، قابلیت اسکن در فاصله‌ی کمتر بدون نیاز به تجهیزات اضافی، مدل‌سازی نسبتاً دقیق در نواحی پایین پاها و دستها که از حرکات شدیدتری برخوردارند و حفظ جزئیات نظیر چین و چروک‌ها و مدل مو. نتایج آزمون‌ها نشان می‌دهد توسط این سیستم می‌توان بدن یک فرد با قد ۱٫۸ متر را از فاصله ۱٫۴ متری (حدود ۸۰٪ قد شخص) اسکن نمود و به ابر نقاط با تراکم متوسط ۳٫۷ میلی‌متر با دقت مکانی ۱٫۴ میلی‌متر (انحراف معیار ضخامت ابر نقطه) دست یافت.

واژگان کلیدی: مدل‌سازی سه بعدی بدن انسان، سنجندهی کینکت، هم‌مرجع‌سازی غیرصلب، اسکن سه بعدی، اتاق پرو مجازی

* نویسنده رابط

^۱ Mesh

۱- مقدمه

در سه دهه‌ی اخیر پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای در زمینه‌ی سخت‌افزارها و نرم‌افزارهای گرافیک رایانه‌ای با هدف نمایش طبیعی محیط‌های مجازی صورت گرفته است [۱]. در این راستا مدل‌سازی بدن انسان به واسطه اهمیت بالای آن در تکمیل این محیط‌های مجازی بسیار مورد توجه بوده است. به این ترتیب، مدل‌سازی مجازی بدن انسان دارای کاربرد در زمینه‌های متفاوت می‌باشد. از آن می‌توان در بازی‌های رایانه‌ای و پویانمایی در یک محیط تعاملی از افراد مختلف استفاده نمود. همچنین می‌توان در نمایش فیلم‌های تبلیغاتی در محیط اینترنت از این مدل‌های سه بعدی استفاده کرد [۲]. با توجه به اهمیت روزافزون مدل‌سازی سه بعدی بدن انسان و افزایش کاربردها در سال‌های اخیر، مدل‌سازی بدن انسان به یکی از موضوعات تحقیقاتی رایج در حیطه‌ی گرافیک رایانه و بینایی ماشین تبدیل شده است و این زمینه‌ای برای ارائه‌ی روش‌های متفاوت برای مدل‌سازی سه بعدی بدن انسان شده است. اما همواره تلاش برای تولید مدل‌های سه بعدی دقیق‌تر، سریع‌تر و با هزینه کمتر، یکی از معیارهای اصلی برتری یک روش نسبت به روش‌های دیگر بوده است. در حیطه‌ی مدل‌سازی سه بعدی بدن انسان، روش‌های موجود را می‌توان به سه دسته‌ی کلی گرافیکی، خودکار و پارامتریک تقسیم کرد [۳، ۲]:

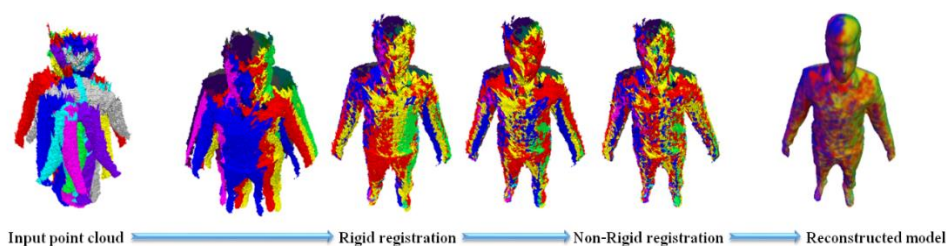
در میان روش‌های مطرح شده، روش خودکار یکی از روش‌های مناسب به منظور مدل‌سازی با ابعاد دقیق می‌باشد. در روش‌های خودکار در اختیار داشتن ابر نقاط سه بعدی یکپارچه و کامل از سطح بدن برای تولید مدل سه بعدی دقیق اهمیت فراوانی دارد. بدین منظور، استفاده از اسکنرهای گران قیمت لیزری یا اپتیکی با هزینه‌های بسیار بالایی همراه بوده [۴، ۵] و به کارگیری تصاویر ویدئویی از هزینه‌ی محاسباتی بالایی برخوردار است [۴].

با پا به عرصه گذاشتن کینکت با توجه به قیمت پایین آن، برداشت مستقیم داده‌های عمق و رنگی از سطح بدن و عدم وابستگی آن به شرایط نوری و نوع بافت سطوح [۴، ۵]، به کارگیری این وسیله برای مدل‌سازی سه بعدی بدن انسان مدنظر این تحقیق قرار گرفت. لذا هدف اصلی این مقاله، ارائه‌ی سیستمی برای ایجاد مدل سه‌بعدی شخص با استفاده از تنها یک دستگاه کینکت می‌باشد، بطوریکه در کنار پایین آوردن هزینه‌ها، یک مدل سه بعدی با دقت بالا در اختیار قرار می‌دهد.

علت تاکید روی توسعه سیستمی با یک سنجنده کینکت، دچار نشدن به مشکلات ناشی از بکارگیری همزمان چندین سنجنده‌ی کینکت می‌باشد که عبارتند از تداخل الگوهای مادون قرمز ایجادشده توسط کینکت‌ها، نیاز به همزمان‌سازی دقیق سنجنده‌ها و افزایش قابل توجه هزینه ساخت سیستم.

در نهایت باید گفت علیرغم مزایای ذکرشده برای کینکت، ایجاد مدل سه بعدی بر مبنای اسکن صورت گرفته توسط کینکت با چالش‌های زیر روبرو است:

- ابر نقاط برداشت شده با کینکت با نویز نسبتاً بالا و حد تفکیک مکانی پایینی به‌خصوص در سطوح با زاویه نرمال بالا همراه است. (شکل ۲)
- از آنجاکه در حین اسکن کاربر نمی‌تواند خود را ثابت نگه دارد و با لرزش‌هایی همراه است، ناسازگاری‌هایی در ابر نقاط فریم‌های متوالی دیده می‌شود که باعث مخدوش شدن هم‌مرجع‌سازی و مدل‌سازی هندسی می‌شود. (شکل ۲)
- ابر نقاط همیشه کامل نمی‌باشد و در نواحی مانند قسمت فوقانی سر در روی شانه‌ها به دلیل عدم توانمندی برداشت اطلاعات با توجه به استفاده از یک سنجنده با نواحی پنهان همراه است. (شکل ۲)
- وجود ناسازگاری بین داده‌های عمق و رنگی که موجب کاهش نگاشت بافت به مدل سه بعدی می‌شود.



شکل ۱- خروجی مراحل مدل‌سازی بدن

الگوریتم اجرایی بررسی و پیشنهادهایی جهت ارتقاء آن ارائه می‌گردد.

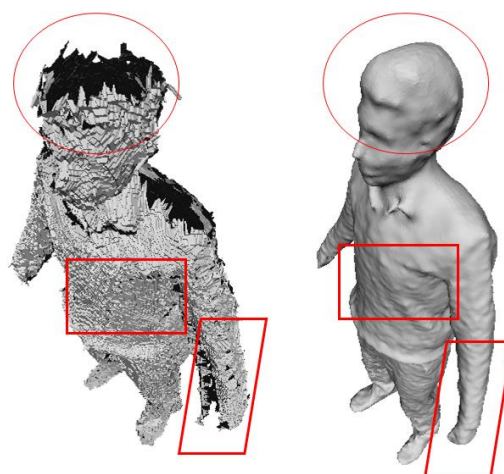
۲- پیشینه تحقیق

در سال‌های اخیر مطالعات برای مدل‌سازی بدن انسان با استفاده از سنجنده‌ی کینکت مطرح شد. استفاده از این سنجنده برای مدل‌سازی بدن انسان در ابتدا با استفاده از ۶ و ۱۰، تعداد کینکت‌های بالاتر همراه بود اما برای کاهش هزینه‌ها در سال‌های اخیر مطالعات برای مدل‌سازی بدن انسان با استفاده از تعداد کینکت‌های کمتر مطرح شد.

وایس و همکاران در سال ۲۰۱۱ روشی به منظور مدل‌سازی با استفاده از یک کینکت را مطرح کردند. در روش پیشنهادی ابتدا یک پایگاه داده‌ای از مدل‌های Scape [۶] تهیه می‌شود سپس کاربر در مقابل کینکت قرار گرفته و از چهار موقعیت تصاویر عمق و رنگی برداشت می‌شود سپس ابر نقاط سه بعدی برای چهار موقعیت اسکن شده با حذف پس‌زمینه به دست می‌آید. با استفاده از برازش ابر نقاط به دست آمده و نیمرخ‌های تولید شده از تصاویر رنگی اولیه، در یک مرحله بهینه‌سازی به مدل اولیه موجود در پایگاه داده، مدل نهایی با توجه به ویژگی‌های شخص مورد اسکن قرار گرفته ایجاد می‌شود [۷]. از معایب این روش می‌توان به نیاز به ایجاد پایگاه داده‌ای از مدل‌های اولیه، هزینه‌ی محاسباتی بالا (زمانی نزدیک به یک ساعت به منظور پردازش و مدل‌سازی نیاز دارد) و همچنین عدم حفظ جزئیات شخص نظیر مدل موها، لباس‌ها با توجه به برازشی بودن آن اشاره کرد. [۷]

با توجه به موفق نبودن روش مطرح شده، تانگ و همکاران در سال ۲۰۱۲ روشی برای مدل‌سازی با استفاده از سه کینکت مطرح کردند. که نیاز به ایجاد محیط اسکن و همچنین استفاده از میزگردان دارد. اگر چه این روش با استفاده از سه کینکت توانسته با کاهش فاصله، کیفیت داده‌های اولیه را افزایش دهد و همچنین با استفاده از میزگردان تا جای ممکن باعث ثابت بودن شخص در طول اسکن شود اما هزینه‌ی سیستم اسکن افزایش پیدا کرده و همچنین به دلیل نوع طراحی سیستم اسکن نیاز به تخصص برای چینش سیستم و همزمان سازی سنجنده‌ها وجود دارد که امکان استفاده در مکان‌های متفاوت و توسط افراد متفاوت را از بین می‌برد [۴]

در راستای حل چالش‌های فوق، ایده استفاده از موتور دوران سنجنده کینکت در سه زاویه ارتفاعی شکل گرفت. به این ترتیب می‌توان با افزایش میدان دید ارتفاعی، فاصله‌ی سنجنده از شخصی به قد ۲ متر را تا ۱،۴ متر کاهش داد و متناسب با آن تراکم و کیفیت ابرنقاط برداشتی را افزایش داد. همچنین روش هم‌مرجع‌سازی غیرصلب پیشنهادی به‌منظور حل مشکل عدم ثابت شخص در طول اسکن در کنار کالیبراسیون هندسی سنجنده به منظور هم‌مرجع‌سازی دقیق داده‌های عمق و رنگی مطرح شد.



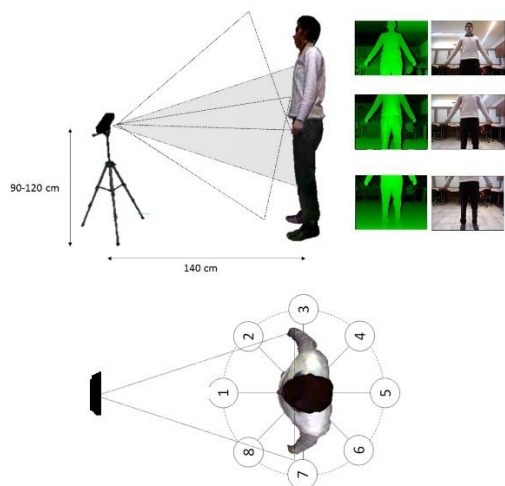
شکل ۲- (بیضی) چالش نواحی پنهان (مستطیل) چالش کیفیت پایین داده‌های اولیه (متوازی‌الاضلاع) چالش عدم ثابت در طول اسکن

نتایج حاصل از این مقاله را می‌توان خلاصه وار به صورت زیر مطرح کرد:

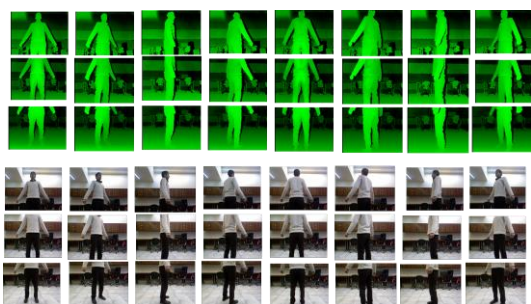
۱. سیستم اسکن خودکار بدن انسان با استفاده از یک کینکت ایجاد شد.
۲. روش هم‌مرجع‌سازی صلب کلی و پایدار نسبت به خطاهای ناشی از تغییر شکل بدن شخص ارائه شد.
۳. روش هم‌مرجع‌سازی غیرصلب با قابلیت هم‌مرجع‌سازی داده‌های با نویز بالا مطرح شد.

در ادامه، ابتدا در بخش پیشینه تحقیق به ارتباط روش مطرح شده با روش‌های گذشته پرداخته می‌شود سپس در بخش سیستم اسکن پیشنهادی به جزئیات سیستم اسکن پیشنهادی پرداخته می‌شود. در بخش روش مدل‌سازی پیشنهادی به مراحل روش پیشنهادی اشاره شده سپس به جزئیات هم‌مرجع‌سازی پیشنهادی پرداخته می‌شود. در ادامه خروجی‌های روش پیشنهادی در آزمون‌هایی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و در نتایج قابلیت‌ها و محدودیت‌های

متفاوت (در هر مرحله حدوداً ۴۵ درجه دوران پیدا می‌کند) قرار گرفته و در مدت زمان کوتاهی در یک دور کامل اسکن می‌شود. عمل اسکن در هر ایستگاه در زوایای تیلت ۳۱-، صفر و ۳۱+ برای کینکت انجام می‌شود.



شکل ۳- وضعیت کینکت و شخص برای اسکن کاربر در یک ایستگاه و نمونه‌ای از داده‌های اولیه به دست آمده (بالا) وضعیت چرخش در ایستگاه‌ها در زوایای متفاوت (پایین)



شکل ۴- تصاویر عمق و رنگی به دست آمده برای سه زاویه‌ی هشت ایستگاه

نتیجه این مرحله سه حلقه فریم‌های متوالی از زوایای دید مختلف از شخص می‌باشد. که مراحل اجرا و خروجی در شکل (۳،۴) مشاهده می‌شود. به منظور دریافت تصاویر عمق و رنگی و کنترل موتور سنجده از درایو OpenNI [۱۲] استفاده شده است.

به منظور استخراج شخص از پس‌زمینه پس از اسکن کردن شخص، داده‌های با عمق بیش از ۱٫۸ متر و کمتر از ۰٫۵ متر به عنوان پس‌زمینه حذف کرده و بقیه را به عنوان شخص در نظر گرفته می‌شود و بدین طریق شخص از پس-زمینه جدا می‌شود. اما این حالت در تیلت ۳۱- استخراج سطح زمین با مشکل روبرو می‌شود. به منظور حل این مشکل در تصاویر با تیلت ۳۱- ابتدا چون در قسمت وسط

کوبی و همکاران در سال ۲۰۱۳ روشی برای مدل‌سازی بدن انسان با استفاده از یک کینکت مطرح نمودند. در روش پیشنهادی ابتدا کاربر در فاصله‌ی ۲ متری و به حالت T در مقابل سنجده قرار می‌گیرد و در حالتی که ۳۶۰ درجه به دور خود می‌چرخد در مدت ۲۰ تا ۳۰ ثانیه مورد اسکن قرار می‌گیرد. برای هر وضعیت ۱۰ فریم تصاویر عمق و رنگی برداشت می‌شود و بین وضعیت‌ها ۰٫۵ ثانیه برداشت صورت نمی‌گیرد. سپس با استفاده از super-resolution فریم‌های مربوط به هر وضعیت به هم متصل می‌شوند و به تعداد وضعیت‌ها ابر نقاط سه بعدی به دست می‌آید. سپس هم-مرجع‌سازی کلی صلب و غیرصلب اعمال می‌شود و فریم‌ها به یکدیگر متصل می‌شوند و یک رویه به آن برازش داده می‌شود و مدل نهایی به دست می‌آید. روش مطرح شده اگر چه از هزینه‌ی پایینی برخوردار است اما با توجه به قرار گرفتن شخص در فاصله‌ی ۲ متری از سنجده کیفیت داده‌های اولیه به دست آمده بسیار پایین است. و با توجه به جابجایی و لرزش پاها هنگام چرخیدن فرد، میزان ناسازگاری ابر نقاط در قسمت تحتانی پاها بسیار بالا است. [۵]

روش‌های مطرح شده هر کدام دارای نقاط قوت‌هایی می‌باشند. ولی در کنار این نقاط قوت‌ها از نقاط ضعف و محدودیت‌هایی برخوردار هستند و نیاز به ارائه‌ی روشی وجود دارد که در کنار استفاده از یک سنجده‌ی کینکت و بدون میزگردان (کاهش هزینه و عدم نیاز به چینش خاص) از داده‌های به دست آمده به منظور مدل‌سازی استفاده کند (عدم نیاز به پایگاه داده‌ای از مدل‌های اولیه پیش‌ساخته) و از زمان پردازش پایین و قابلیت مدل‌سازی جزئیات و چین-وچروک‌ها و همچنین نواحی پاها برخوردار باشد.

۳- سیستم اسکن پیشنهادی

به منظور کاهش تعداد کینکت‌ها به یک کینکت (کاهش هزینه) و همچنین اسکن از فاصله‌ی نزدیک‌تر (افزایش کیفیت داده‌ها)، سیستم اسکن خودکاری بر مبنای قابلیت دوران کینکت توسط موتور دوران کننده‌ی کینکت در نظر گرفته شد. نحوه‌ی تنظیم سیستم اسکن در شکل (۳) مشاهده می‌شود. ابتدا کینکت در محلی با فاصله‌ی حدود ۱٫۴ متری از شخص و در ارتفاع بین ۹۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متری از زمین استقرار یافته، شخص در مقابل کینکت در زاویه‌های

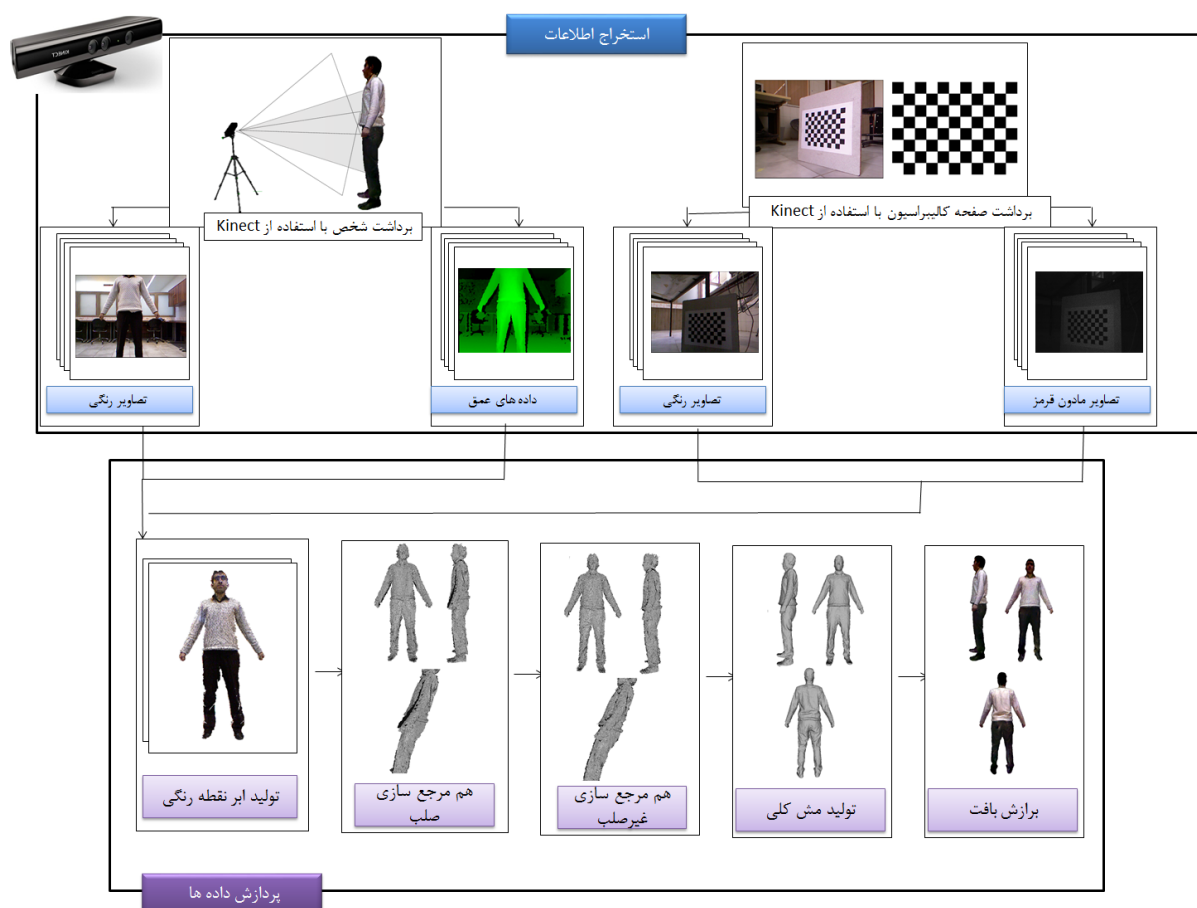
رنگی از ایستگاه‌ها و زوایای متفاوت، ابتدا با استفاده از دوران تقریبی سنجنده در زوایای افقی (۰، ۴۵، ۹۰، ۱۳۵، ۱۸۰، ۲۲۵، ۲۷۰ و ۳۱۵) و زوایای قائم (۰، ۳۱، -۳۱)، و لحاظ فاصله تقریبی سنجنده تا شخص، اسکن‌های مربوط به هر یک از وضعیت‌های شخص در موقعیت تقریبی خود قرار می‌گیرد.

لازم به ذکر است که جابجایی سه دسته ابر نقاط اسکن ارتفاعی بعد از توجیه تقریبی نسبت به هم بسیار ناچیز است زیرا سرعت دوران ارتفاعی کینکت بحدی بالاست که وضعیت شخص تقریباً ثابت می‌ماند. از اینرو با استفاده از الگوریتم ICP^۱، هر سه مجموعه ابر نقاط در هر وضعیت شخص با هم هم‌مرجع‌سازی صلب شده و در موقعیت نسبی دقیقی خود قرار می‌گیرند. به این ترتیب، هشت مجموعه ابر نقاط ترکیبی مربوط به هشت وضعیت شخص به‌دست می‌آید. (شکل ۶)

به بالای تصویر عمق اسکن شده، شخص از پس‌زمینه جدا شده است بیشینه عمق در این نواحی را به دست آورده سپس محدوده خارج از ۰٫۲ متر دورتر و ۰٫۶ متر نزدیک‌تر، به‌عنوان پس‌زمینه در نظر گرفته می‌شود. سپس به منظور اتصال تصاویر عمق و رنگی و تولید ابر نقاط رنگی از پارامترهای کالیبراسیون سنجنده استفاده می‌شود. در مجموع ۲۴ مجموعه ابر نقاط رنگی از مرحله‌ی برداشت داده‌ها در اختیار قرار می‌گیرد که مربوط به ۸ ایستگاه می‌باشد.

۴- روش مدل‌سازی پیشنهادی

با توجه به عدم ثبات شخص در طول اسکن روشی به منظور مدل‌سازی با در نظر گرفتن عدم ثبات مطرح شد که مراحل مطرح شده در روش پیشنهادی در شکل (۵) مشاهده می‌شود. با در اختیار داشتن ۲۴ مجموعه ابر نقاط



شکل ۵- فلوچارت مراحل روش مدل‌سازی پیشنهادی

^۱ Iterated Closest Point



شکل ۶- هشت مجموعه ابر نقاط ترکیبی بعد از هم‌مرجع‌سازی و ترکیب هر سه مجموعه داده در هر وضعیت

و به آنها توسط الگوریتم ICP هم‌مرجع می‌شوند. سپس مجموعه ابر نقاط سوم و اول ثابت در نظر گرفته شده و مجموعه ابر نقاط دوم به آنها هم‌مرجع می‌شوند. اینکار تا مجموعه ابر نقاط هشتم ادامه می‌یابد و خطای بست کاهش می‌یابد. علت این است که با انجام عملیات فوق، بخش قابل توجهی از خطای بست، بین کلیه مجموعه ابر نقاط توزیع می‌یابد. در تکرارهای بعدی میزان این کاهش خطای بست با سرعت کمتری پیش می‌رود تا جاییکه بهبودی مشاهده نشود. معمولاً پس از دو سه تکرار به حالت بهینه می‌رسیم.

۶- هم‌مرجع‌سازی غیر صلب

پس از هم‌مرجع‌سازی صلب، هشت مجموعه ابر نقاط ترکیبی در موقعیت‌های تقریباً دقیق خود قرار می‌گیرند و نواحی از بدن که در طول اسکن تقریباً بدون حرکت بوده‌اند با دقت قابل قبولی با یکدیگر هم‌مرجع می‌شوند. اما نواحی - ای از بدن که در هنگام چرخش فرد، دارای جابجایی نسبی بوده‌اند مانند دست‌ها، پاها و سر، هم‌مرجع‌سازی ابر نقاط به صورت مناسب انجام نمی‌گیرد و ناسازگاریهایی در انطباق ابر نقاط برهم به شکل اعوجاجات موضعی مشاهده می‌شود (شکل ۷).

برای حل این مشکل، یک روش هم‌مرجع‌سازی غیر صلب الگو مبنا بکار گرفته شده است. در این روش، یک الگوی متوسط تقریبی از پیکره فرد تولید شده و مورد مبنا قرار می‌گیرد. سپس کلیه اعوجاجات موضعی ابر نقاط از طریق انطباق آنها با این الگوی مبنا برطرف می‌شود. در روش پیشنهادی، برای رفع اعوجاجات موضعی، فرآیند انطباق ابر نقاط با الگوی مبنا دارای مراحل زیر می‌باشد:

- تناظریابی تقریبی بین ابر نقاط و الگوی مبنا
 - تعریف و تخمین پارامترهای مدل انحراف سطح
 - اعمال مدل انحراف سطح به ابر نقاط
 - تکرار مراحل فوق تا دستیابی به حالت بهینه
- در ادامه جزئیات روش هم‌مرجع‌سازی غیر صلب الگو مبنا تشریح می‌شود:

تولید الگوی مبنا: همانطور که ذکر شد پس از هم‌مرجع‌سازی صلب ابر نقاط، صرف نظر از نواحی با اعوجاجات موضعی، یک مجموعه تقریباً یکپارچه از ابر نقاط بدست می‌آید. الگوی مبنا با استفاده از تقریب رویه این ابر

در مرحله بعد، مجدداً با استفاده از الگوریتم ICP هم‌مرجع‌سازی صلب بین مجموعه ابر نقاط ترکیبی هر دو وضعیت متوالی انجام می‌شود. در انتها به خاطر انباشته شدن خطاهای هم‌مرجع‌سازی ابر نقاط ترکیبی متوالی، وضعیت هشتم و اول دارای خطای بست خواهند شد. به منظور برطرف کردن خطای بست، یک راهکار تکراری بنام هم‌مرجع‌سازی صلب دقیق اعمال می‌شود.

پس از اعمال هم‌مرجع‌سازی صلب دقیق، مشاهده می‌شود که نواحی دارای حرکت مانند دست‌ها و پاها هنوز سازگاری کافی نداشته و بر هم انطباق ندارند (شکل ۷ و ۸). بدین منظور، روش هم‌مرجع‌سازی غیر صلب الگو مبنا توسعه داده شد و روی ابر نقاط اعمال شد.

در ادامه، به منظور تولید مدل نهایی و کاهش حجم داده‌ها و همچنین حل مشکل نواحی بدون داده مانند کف پاها یا روی سر، از روش مدل‌سازی سطح به روش پوآسن [۸] استفاده شد. در انتها، به منظور نمایش طبیعی‌تر سطح، به مدل تولید شده با استفاده از روش برازش بافت TextureStitcher [۹] بافت رنگی نگاشت داده شد. درانتهای مقاله، در شکل‌های ۱۷ و ۱۸ نمونه‌ی خروجی برای افراد متفاوت و زوایای متفاوت مشاهده می‌شود.

۵- هم‌مرجع‌سازی صلب دقیق

همانطور که ذکر شد با توجه به خطای تجمعی هم‌مرجع‌سازی متوالی مجموعه ابر نقاط ترکیبی، خطای بست بین مجموعه ابر نقاط هشتم و اول بوجود می‌آید که باید بین کلیه ابر نقاط سرشکن شود. بدین منظور یک روش تکراری بنام هم‌مرجع‌سازی صلب دقیق به صورت زیر پیاده‌سازی شد.

اساس کار به این صورت است که در هر تکرار، هر یک از مجموعه ابر نقاط با دو همسایه قبل و بعد خود هم‌مرجع‌سازی می‌شود. برای مثال مجموعه ابر نقاط دوم و هشتم ثابت در نظر گرفته شده و مجموعه ابر نقاط اول جابجا شده

اکنون برای هر نقطه‌ی ابر نقاط، می‌توان میزان جابجایی را از طریق متوسط‌گیری وزندار روی جابجایی‌های محاسبه شده برای هر گره موثر، مطابق روابط ۱ و ۲ تخمین زد.

$$\tilde{v}_i = \sum_{j=1}^m w_j (v_i) [R_j (v_i - g_j) + g_j + t_j] \quad (1)$$

$$w_j (v_i) = \frac{1 - \|v_i - g_j\| / d_{\max}}{\sum_{p=1}^k 1 - \|v_i - g_p\| / d_{\max}} \quad (2)$$

که در آن R و t پارامترهای مدل اعوجاج گره g_i بردار اعوجاج گره g_i ، v_i موقعیت نقطه‌ی مربوط به ابرنقاط، m تعداد گره موثر، k تعداد نقاط گرهی موثر بر نقطه‌ی مورد نظر، و $d_{\max}$ فاصله دورترین گره موثر از نقطه‌ی مورد نظر می‌باشد. به منظور حل هم مرجع‌سازی غیرصلب، مجهولات R و t مربوط به مدل انحراف سطح که باعث انطباق دقیق ابر نقاط به الگوی مبنا می‌شود، باید به دست آید. بدین منظور تابع هدفی به صورت زیر تعریف می‌شود که از ترم‌های متفاوتی تشکیل شده است.

$$\min_{R_1, t_1, \dots, R_m, t_m} w_{\text{rigid}} E_{\text{rigid}} + w_{\text{smooth}} E_{\text{smooth}} + w_{\text{fit}} E_{\text{fit}} \quad (3)$$

به‌منظور حفظ ساختار هندسی ابرنقاط و تأمین صلب بودن انحرافات، E_{rigid} به تابع هدف افزوده می‌شود. که به صورت زیر تعریف می‌شود که در آن C_i ستونهای ماتریس R است.

$$R = [C_1, C_2, C_3] \quad (4)$$

$$\text{Rot}(R) = (C_1 C_2)^2 + (C_1 C_3)^2 + (C_2 C_3)^2 + (C_1 C_1 - 1)^2 + (C_2 C_2 - 1)^2 + (C_3 C_3 - 1)^2 \quad (5)$$

$$E_{\text{rigid}} = \sum_{j=1}^m \text{Rot}(R_j) \quad (6)$$

با توجه به این که هر کدام از تبدیلات افاین، انحرافات موضعی در نواحی اطراف نقاط گرهی را مدلسازی می‌کنند، برای حفظ پیوستگی انحرافات در نواحی مجاور با هم، از ترم E_{smooth} در تابع هدف استفاده شده است.

اگر نقاط گرهی j و k مجاور یکدیگر باشند بایستی اعوجاجات حاصل از هر دو مدل افاین در مرز نواحی، یکسان باشند. به بیان دیگر رابطه γ باید کمینه شود.

$$E_{\text{smooth}} = \sum_{j=1}^m \sum_{k \in N(j)} \alpha_{jk} \|R_j (g_k - g_j) + g_j + t_j - (g_k + t_k)\|_2^2 \quad (7)$$

نقاط یکپارچه از طریق مش‌بندی^۱ آن تولید می‌شود. به این منظور، ابتدا تعداد نقاط بصورت یکنواخت به یک درصد آن کاهش می‌یابد. سپس با استفاده از الگوریتم برازش سطح به روش پواسن [۸]، الگوی مبنا به‌دست می‌آید. لازم به ذکر است که انتخاب یک درصد نقاط در نواحی کوچک دارای حرکت، بحدی ناچیز است که نمی‌تواند اخلاص قابل توجهی را در الگوی تولیدی ایجاد کند.

تناظر یابی تقریبی ابرنقاط و الگوی مبنا: به منظور

افزایش سرعت تناظر یابی، ابتدا الگوریتم kd-tree [۱۳] روی ابرنقاط اجرا می‌شود. سپس برای موقعیت هر راس مش الگوی مبنا، نزدیکترین نقطه در ابرنقاط به عنوان نقطه متناظر تعیین می‌شود. بخاطر تقریبات صورت گرفته در تولید الگوی مبنا، ممکن است تعدادی از این نقاط متناظر صحیح نباشند. لذا تناظرهای نادرست از طریق اعمال دو قید حداکثر فاصله یک سانتی‌متر و حداکثر اختلاف زاویه نرمال ۵۰ درجه، شناسایی شده و فیلتر می‌شوند. تا اینجا، نقاط متناظر در نواحی بدون حرکت و اعوجاج موضعی بخوبی به‌دست می‌آید.

با فرض اینکه نقاط متناظر در نواحی با اعوجاج موضعی دارای جابجایی بیش از یک سانتی‌متر می‌باشند، این نقاط در مرحله قبل به عنوان تناظرهای نادرست فیلتر می‌شوند. برای حل این مشکل، ابتدا میزان جابجایی در چهار جهت هر راس مش الگوی مبنا در نظر گرفته شده و ابرنقاط در جهت بیشینه جابجا می‌شود. سپس مجدداً برای این نقاط مطابق الگوریتم تشریحی متناظر به‌دست می‌آید.

مدل انحراف سطح: به منظور هم‌مرجع‌سازی غیرصلب

هشت مجموعه ابرنقاط ($F_i, i=1:8$) با الگوی مبنا (T)، از روش مدل انحراف سطح بنام Embedded deformation [۱۰] استفاده شد.

در این روش، ایجاد انحراف در سطح با استفاده از راهکار Deformatin Graph انجام می‌شود که در آن از طریق نقاط متناظر موجود، برای هر گره گراف یک مدل اعوجاج افاین $v = Rx + t$ با پارامترهای R و t تقریب زده می‌شود. اگر x منطبق بر موقعیت گره باشد میزان اعوجاج برابر g تعریف می‌شود. برای سادگی محاسبات، فرض می‌شود موقعیت گره‌ها بر رئوس سلولهای مش الگوی مبنا انطباق دارد.

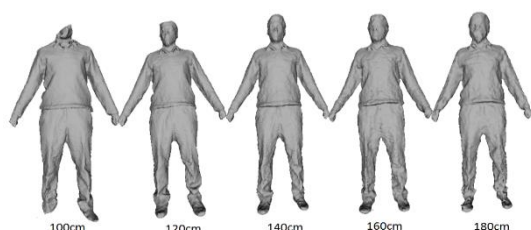
^۱ Mesh Generation

۷- آزمون‌ها و ارزیابی نتایج

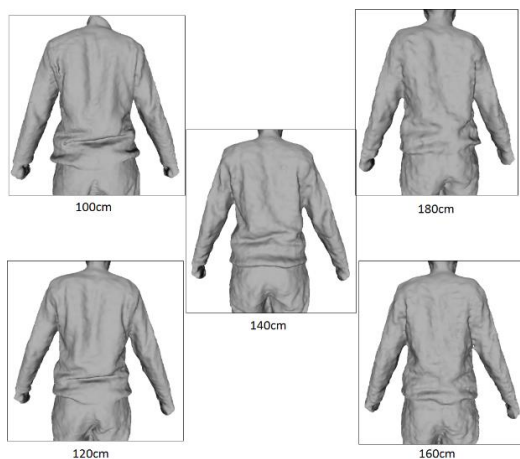
عوامل مختلفی بر روی کیفیت و قابلیت اعتماد مدل سه بعدی حاصل از روش پیشنهادی موثرند مانند تأثیر هم-مرجع‌سازی صلب و غیرصلب، فاصله‌ی سنجنده از کاربر، و کیفیت هم‌مرجع‌سازی داده‌های عمق و رنگی. از این‌رو آزمون‌های مختلفی به شکل زیر طراحی و اجرا گردید.

۷-۱- تأثیر فاصله‌ی بر کیفیت و زمان مدل‌سازی

به منظور ارزیابی تأثیر فاصله‌ی سنجنده از شخص در کیفیت مدل نهایی تولیدی، شخصی با قد تقریباً ۱۷۷ سانتی‌متر در فاصله‌های بین ۱۰۰ تا ۱۸۰ سانتی‌متری از سنجنده در ۵ حالت مورد اسکن و مدل‌سازی قرار گرفت. همان‌گونه که در شکل‌های ۸ و ۹ مشاهده می‌شود با کاهش فاصله‌ی سنجنده از شخص، میزان جزئیات و کیفیت مدل نهایی افزایش می‌یابد. اما وقتی فاصله ۱۲۰ سانتی‌متر و کمتر می‌شود، قسمت‌هایی از سر و پاها در مدل‌سازی نهایی از دست می‌رود. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، در فاصله‌ی ۱۴۰ سانتی‌متری، معادل ۸۰٪ قد شخص، کیفیت مدل نهایی نسبت به حجم پردازش بهینه می‌باشد.



شکل ۸- مدل ایجاد شده در فواصل از چپ به راست ۱۰۰-۱۲۰-۱۴۰-۱۶۰-۱۸۰ از دید جلو و عقب



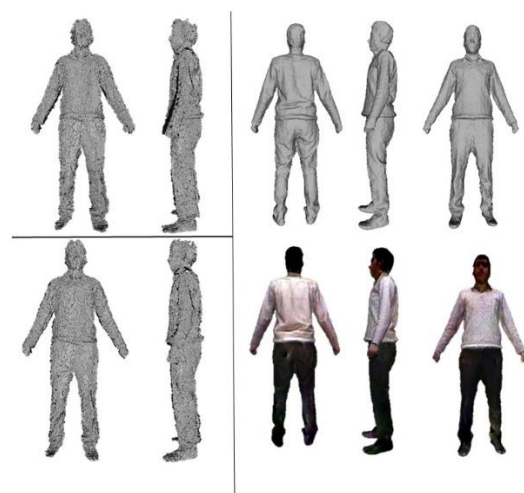
شکل ۹- مدل ایجاد شده در فواصل از چپ به راست ۱۰۰-۱۲۰-۱۴۰-۱۶۰-۱۸۰ در ناحیه‌ی کمر در حالت بزرگ شده

که در آن $N(j)$ شامل همه‌ی گره‌هایی است که با یک یال به گره‌ی j متصل شده است. α_{jk} متناسب با درجه‌ی تأثیر پوشش گره‌های j و k می‌باشد که معمولاً برابر یک قرار داده می‌شود.

به منظور انطباق حداکثری ابر نقاط اعوجاج یافته حاصل از مدل انحراف سطح با الگوی مبنا، باید فاصله‌ی بین ابر نقاط و الگوی مبنا کمینه شود. لذا ترم E_{fit} به صورت زیر به تابع هدف افزوده می‌شود [۱۱].

$$E_{fit} = \sum_{l=1}^p w_{point} \|\tilde{v}_{index(l)} - q_l\|_2^2 + w_{plane} |n_{q_l}^T (\tilde{v}_{index(l)} - q_l)|^2 \quad (8)$$

به منظور بهینه‌سازی رابطه ۳ از روش بهینه‌سازی استاندارد گوس نیوتن [۱۰، ۱۱] استفاده شده است.



شکل ۷- (چپ بالا) خروجی مرحله‌ی هم‌مرجع‌سازی صلب و مشکل عدم ثبات در نواحی دست. (چپ پایین) خروجی مرحله‌ی هم‌مرجع‌سازی غیرصلب. (راست) مدل نهایی خروجی به همراه بافت پردازش داده شده

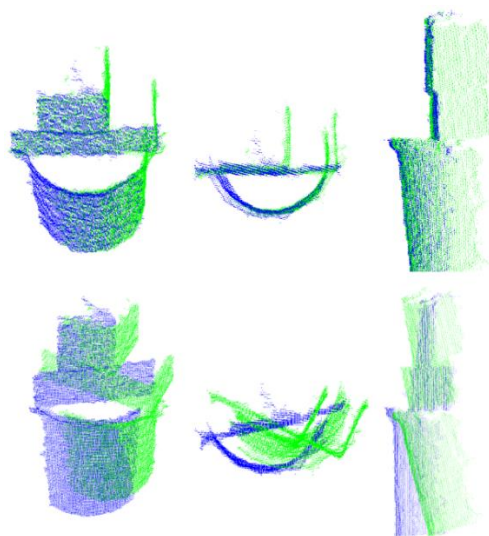
روش هم‌مرجع‌سازی غیرصلب الگو مبنای پیشنهادی نسبت به روش‌های موجود دارای مزایای زیر می‌باشد:

- با استفاده از الگو، نیاز به یافتن نقاط متناظر با دقت بالا و همچنین در اختیار داشتن داده‌های با کیفیت بالا نیست.
- تولید الگوی تقریبی با استفاده از داده‌های مورد پردازش، نیاز به پایگاه الگوهای اولیه را برطرف می‌کند.
- مشکل تناظرابی در داده‌های با کیفیت پایین کینکت، از طریق روش تناظرابی نزدیک‌ترین فاصله از بین می‌رود.

همان گونه که در نتایج مشاهده می شود در صورت عدم انطباق بین داده های عمق و رنگی، بافت برازش داده شده بخاطر جایجایی نسبی کاملاً کیفیت خود را از دست می دهد و به میزانی که انطباق بهتر صورت گرفته باشد، بافت برازش داده شده به حالت طبیعی تر نزدیک می شود.

۷-۳- تأثیر هم مرجع سازی دقیق صلب بر کیفیت هم مرجع سازی صلب

در تصاویر زیر وضعیت ابر نقاط ایستگاه اول و هشتم در حالت هم مرجع سازی صلب تقریبی (قبل از سرشکن کردن خطای بست) و سپس هم مرجع سازی صلب دقیق مشاهده می شود. همان گونه که در شکل (۱۱) مشاهده می شود بدون اعمال هم مرجع سازی صلب دقیق، فریم ها در جایگاه مناسب خود قرار نمی گیرند و به دلیل اینکه روش هم مرجع سازی غیر صلب پیشنهادی به منظور استخراج نقاط متناظر نیاز به حل شدن هم مرجع سازی صلب با دقت مناسب دارد نمی تواند یک خروجی مناسب را در اختیار قرار دهد.



شکل ۱۱- (بالا) خروجی هم مرجع سازی صلب دقیق، (پایین) خروجی هم مرجع سازی صلب اولیه بر روی داده های اسکن شده از اجسام صلب

۷-۴- کیفیت هندسی روش مدل سازی پیشنهادی

به منظور بررسی کیفیت هندسی مدل های به دست آمده با استفاده از روش پیشنهادی، از اجسام ثابت با شکل ساده استفاده شد (شکل ۱۲). پس از برداشت داده ها، پردازش های مدل سازی صورت گرفت. سپس چند بخش مسطح از رویه اجسام جداسازی شد و به آنها صفحه برازش داده شد. میزان

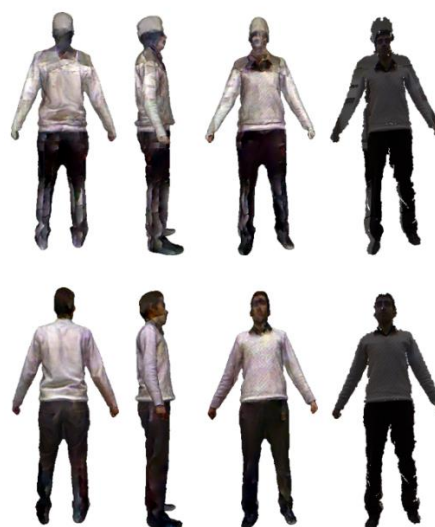
در جدول (۱) زمان صرف شده برای مدل سازی اسکن های صورت گرفته در فاصله های متفاوت مشاهده می شود. همان گونه که در جدول (۱) مشاهده می شود، با افزایش فاصله، بخاطر کاهش تعداد نقاط ابر نقاط مربوط به شخص، زمان مورد نیاز برای پردازش کاهش می یابد. همانطور که قبلاً ذکر شد، بررسی ها نشان می دهد در فاصله ۸۰٪ قد شخص، کیفیت مدل نهایی و مدت زمان پردازش در تعادل بهینه ای قرار می گیرد. لازم به ذکر است مدت زمان پردازش، در نرم افزار متلب و بر روی رایانه با CPU Intel core i5 و میزان Ram 6 گیگابایت بدست آمده است.

جدول ۱- زمان پردازش مراحل متفاوت مدل سازی برای اسکن های صورت گرفته از فاصله های متفاوت

فاصله (سانتی متر)	استخراج اطلاعات (ثانیه)	هم مرجع سازی (ثانیه)	تولید رویه (ثانیه)	برازش بافت (ثانیه)	کل (دقیقه)
۱۰۰	۲،۹۰	۱۲۹۵،۸۳	۶۷،۶۹	۳۰۳،۱۷	۲۷،۸۳
۱۲۰	۱،۵۷	۹۰۳،۴۹	۵۷،۷۴	۲۴۵،۵۴	۲۰،۱۳
۱۴۰	۲،۸۱	۶۳۱،۹۳	۵۱،۰۴	۲۰۵،۸۲	۱۴،۸۶
۱۶۰	۲،۷۷	۷۴۴،۴۱	۴۶،۴۱	۱۸۲،۱۷	۱۶،۲۶
۱۸۰	۲،۳۸	۵۸۷،۱۶	۳۸،۳۲	۱۵۴،۱۶	۱۳،۰۳

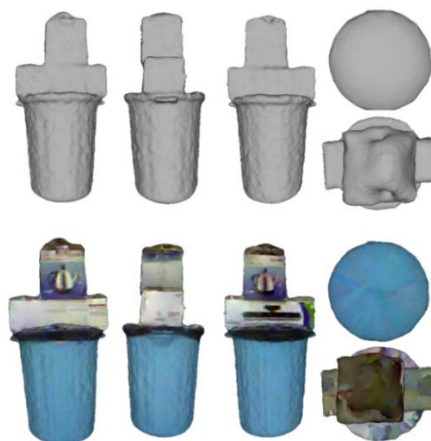
۷-۲- تأثیر انطباق داده های عمق و رنگی بر کیفیت بافت مدل نهایی

به منظور بررسی تأثیر انطباق داده های عمق و رنگی بر کیفیت بافت مدل نهایی، یکبار بدون هم مرجع سازی داده های عمق و رنگی و یکبار با هم مرجع سازی آنها اقدام به نمایش مدل بافت دار سه بعدی مطابق شکل ۱۰ گردید.

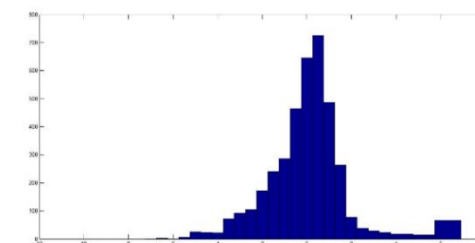
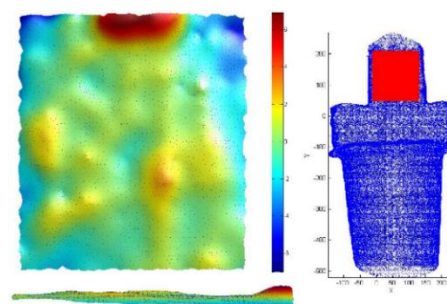


شکل ۱۰- ردیف بالا مدل بدون هم مرجع سازی ردیف پایین مدل با هم مرجع سازی داده های عمق و رنگی

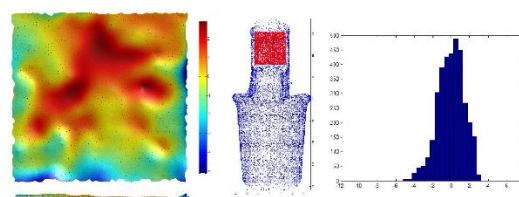
انحرافات نقاط از صفحه‌ی برازش داده شده، مبین ارزیابی کمی و کیفیت ظاهری مدل سه بعدی شکل اجسام، مبین ارزیابی کیفی می‌باشد. در تصاویر زیر نمونه‌ی مدل‌های سه‌بعدی و انحرافات از صفحه مشاهده می‌شود (شکل‌های ۱۳ و ۱۴).



شکل ۱۲- مدل اجسام صلب اسکن شده به منظور بررسی اثر هم مرجع‌سازی صلب دقیق و بررسی کیفیت هندسی به هم راه بافت برازش داده شده



شکل ۱۳- صفحه‌ی جدا شده از سطح مدل و میزان انحرافات نسبت به صفحه‌ی برازش داده شده (میلی‌متر) و هیستوگرام میزان انحرافات

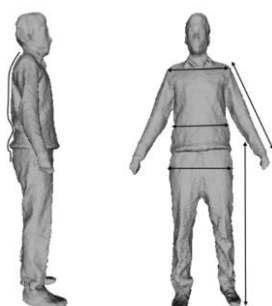


شکل ۱۴- صفحه‌ی جدا شده از سطح مدل و میزان انحرافات نسبت به صفحه‌ی برازش داده شده (میلی‌متر) و هیستوگرام میزان انحرافات

همان‌گونه که از شکل‌های مربوط به میزان انحرافات و هیستوگرام پراکندگی انحرافات بین قسمت جدا شده و صفحه‌ی برازش داده شده مشاهده می‌شود، خطای هندسی به طور متوسط در حد ۱,۴ میلی‌متر قرار دارد. این مقدار کم خطا، نشان دهنده نزدیک بودن سطح رویه مدل‌سازی شده به ابر نقاط برداشتی می‌باشد. همچنین با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام شده بر روی مدل نهایی مشاهده شد، مدل‌های بدست آمده به طور متوسط دارای تراکم ۳,۷ میلی‌متری می‌باشد.

۷-۵- کیفیت ابعاد اندازه‌گیری شده از بدن نسبت به اندازه‌گیری‌های بایومتریک

به منظور بررسی کیفیت مدل‌های به دست آمده نسبت به اندازه‌گیری‌های بایومتریک، ابعاد اندام شخص توسط یک خیاط ماهر باتجربه‌ی حدود ۳۰ سال اندازه‌گیری شد. همچنین فواصل متناظر نیز روی مدل سه‌بعدی بدن شخص نیز اندازه‌گیری شد و میزان خطا نسبت به مقدار اندازه‌گیری شده توسط خیاط به دست آمد (جدول ۲).



شکل ۱۵- موقعیت اندازه‌گیری‌های صورت گرفته بر روی بدن

جدول ۲- میزان اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری شده از روی مدل و اندازه‌گیری شده توسط خیاط و میزان زمان پردازش برای مراحل متفاوت مدل‌سازی

خطای اندازه‌گیری‌های بایومتریک (cm)	فاصله‌ی گردن تا مفصل ران			خطای اندازه‌گیری‌های بایومتریک (cm)
	عرض شانه	عرض شانه	عرض شانه	
	۱,۵	۱,۲	۰,۶	
	۱,۵	۴,۸	۳,۴	
زمان محاسبات (min)	پیش‌پردازش داده‌ها			زمان محاسبات (min)
	هم‌مرجع- سازی	تولید رویه	تولید رویه	
	۱۰,۵۷	۰,۷۲	۰,۷۲	

همان‌گونه که در جدول مشاهده می‌شود میزان اختلاف بین مقدار اندازه‌گیری شده از روی مدل تهیه شده و مقدار اندازه‌گیری شده توسط خیاط ماهر در حدی می‌باشد که بتوان

سنجنده، ثابت نبودن شخص در طول اسکن، وجود نواحی پنهان و همچنین عدم اتصال بین داده‌های عمق و رنگی روبرو است. در این راستا، ایده استفاده از موتور دوران سنجنده کینکت در سه زاویه به منظور کاهش فاصله‌ی سنجنده از کاربر به منظور افزایش کیفیت داده‌های اولیه مطرح شد. همچنین روش هم‌مرجع‌سازی غیر صلب پیشنهادی به منظور حل مشکل عدم ثبات شخص در طول اسکن در کنار کالیبراسیون هندسی سنجنده به منظور هم-مرجع‌سازی دقیق داده‌های عمق و رنگی مطرح شد.

بطور خلاصه، روش کار بدین صورت است که ابتدا شخص در فاصله‌ی مشخص شده از کینکت قرار گرفته در سه زاویه و هشت ایستگاه مورد اسکن قرار گرفته، سپس با هم-مرجع‌سازی تصاویر عمق و رنگی و استخراج شخص از پس-زمینه‌ی ابر نقاط رنگی به دست آمد. در ادامه هم‌مرجع‌سازی صلب صورت گرفته و به منظور حل مشکل عدم ثبات شخص در طول اسکن، هم‌مرجع‌سازی غیر صلب انجام می‌گیرد. در نهایت یک مدل رویه کلی از داده‌های هم‌مرجع‌سازی شده ایجاد شده و بافت به آن برازش داده می‌شود.

آزمون‌های عملی روش پیشنهادی نشان داد که با توجه به کاهش کیفیت داده‌ها با افزایش فاصله، و همچنین عدم امکان اسکن کامل شخص با کاهش فاصله، و افزایش سرعت پردازش داده‌ها با افزایش فاصله، فاصله‌ی بهینه‌ی کینکت تا شخص در حدود ۸۰ درصد قد وی می‌باشد. همچنین به میزانی که پارامترهای استخراجی از مرحله‌ی کالیبراسیون به منظور اتصال تصاویر عمق و رنگی از دقت بیشتری برخوردار باشد انطباق تصاویر عمق و رنگی بهتر صورت گرفته و در نتیجه ابر نقاط رنگی با کیفیت بهتری به دست می‌آید که کمک به برازش بافت با کیفیت بهتر می‌کند. همچنین در صورتی که بخش هم‌مرجع‌سازی دقیق اعمال نشود میزان خطا بین فریم‌ها سرشکن نشده و هم‌مرجع‌سازی صلب به طور کامل حل نمی‌شود. این ضرورت استفاده از هم‌مرجع‌سازی صلب دقیق را نشان می‌دهد.

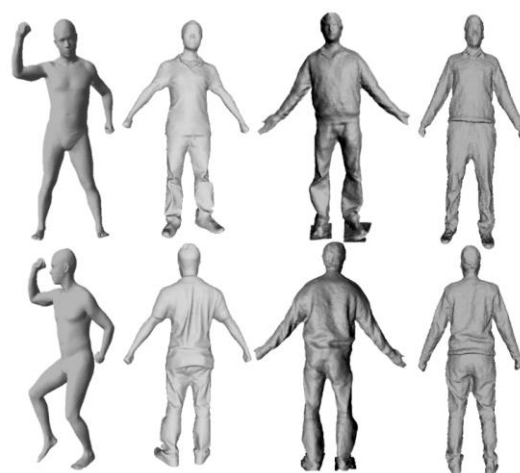
مقایسه با خروجی‌های روش‌های معرفی شده از سوی محققان دیگر نشان می‌دهد روش پیشنهادی نقطه‌ی ضعف هر کدام از روش‌های موجود را برطرف کرده است. نتایج تجربی قابلیت بالای سیستم طراحی شده را نشان می‌دهد. این سیستم نسبت به سیستم‌های طراحی شده تا کنون از هزینه‌ی پایین و قابلیت اسکن در فاصله‌ی کمتر بدون نیاز به تجهیزات اضافی و حفظ جزئیات نظیر چین و چروک‌ها و

از خروجی‌های این روش به منظور انتخاب لباس مناسب بین کلاس‌های متفاوت سایز لباس (S,M,L,XL,XXL) در خرید-های اینترنتی و اتاق پروهای مجازی استفاده کرد.

همچنین از نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود که روش مطرح شده به طور متوسط به زمانی کمتر از ۱۲ دقیقه به منظور مدل‌سازی نیاز دارد که با توجه زمان مورد پردازش توسط [۷]، [۵] از زمان کمتری برخوردار است.

۷-۶- مقایسه خروجی نسبت به روش‌های موجود

همان‌گونه که در شکل (۱۶) مشاهده می‌شود روش پیشنهادی نسبت به روش‌های مطرح شده تا کنون نسبت به روش مطرح شده توسط [۷] قادر به حفظ جزئیات چین چروک لباس و مدل مو شخص اسکن شده می‌باشد. نسبت به روش مطرح شده توسط [۴] مدلی با کیفیت تقریباً نزدیک به هم و با هزینه‌ی ۱:۴ از شخص ایجاد می‌کند و همچنین نسبت به روش مطرح شده توسط [۵] مدلی با کیفیت و جزئیات بیشتر و همچنین با قابلیت مدل‌سازی و حفظ جزئیات در نواحی پاها می‌باشد.



شکل ۱۶- خروجی روش‌های متفاوت از چپ به راست: وایس و همکاران [۷]، تانگ و همکاران [۴]، کویی و همکاران [۵] و خروجی روش پیشنهادی

۸- بحث و نتیجه‌گیری

همان طور که در مقدمه ذکر شد، هدف از انجام این تحقیق، ارائه راهکاری به منظور مدل‌سازی سه‌بعدی بدن انسان با استفاده از تک سنجنده کینکت بوده است. مدل‌سازی با استفاده از یک سنجنده با چالش‌هایی نظیر قدرت تفکیک پایین و سطح نویز بالا داده‌های اولیه‌ی

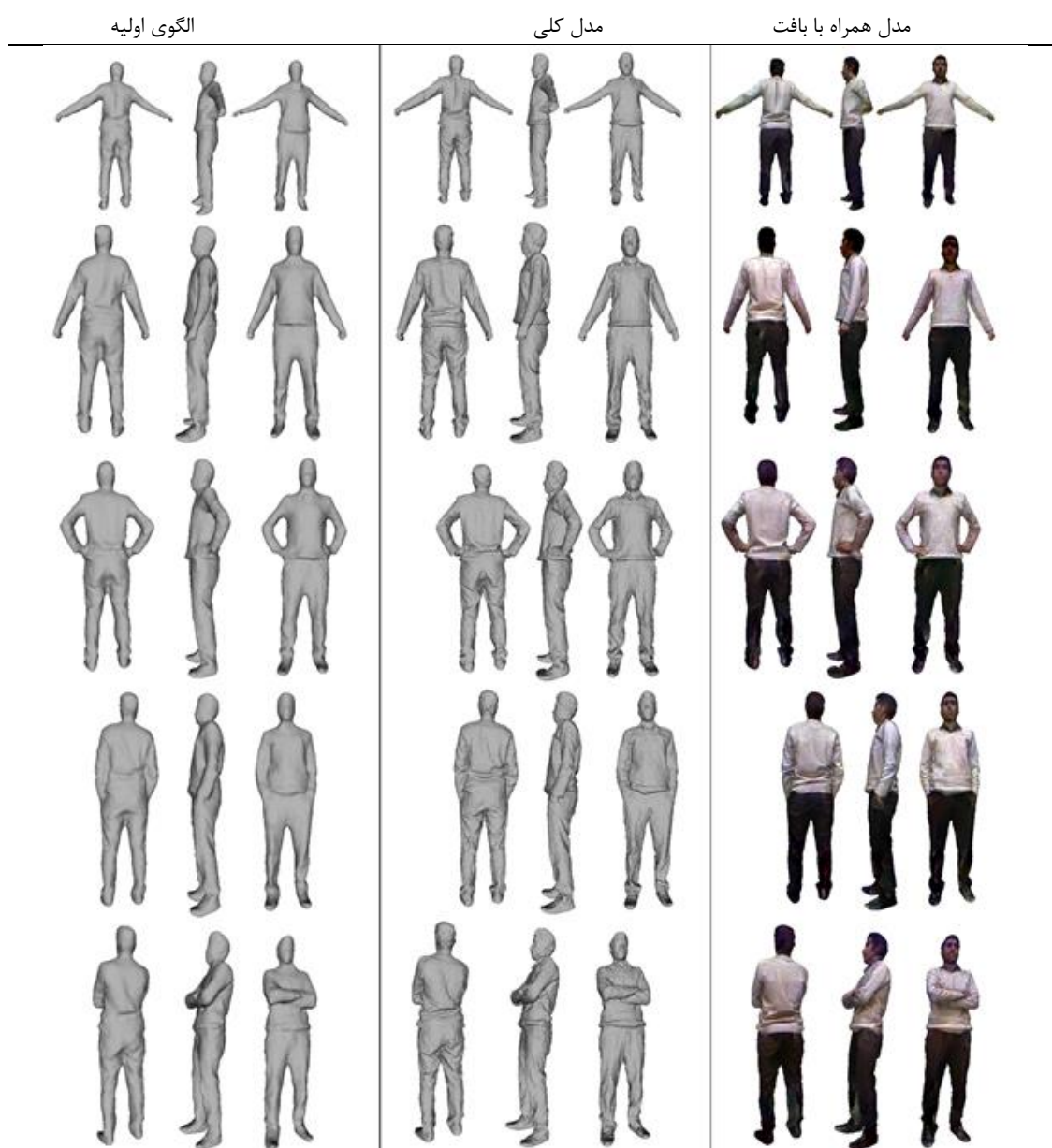
مدل می‌باشد و در نواحی پاها و مدل‌سازی کفش نیز از قابلیت خوبی برخوردار است.

با توجه به بررسی صورت گرفته بر روی خطاهای موجود در اندازه‌گیری‌های بایومتریک، از آنجاکه شخص در طول اسکن لباس به تن دارد، تعیین دور کمر و طول پا با مشکل روبرو است. همچنین با توجه به برازشی بودن روش اندازه‌گیری دور کمر بر روی مدل، این اندازه‌گیری با یک خطای سیستماتیک روبرو است. با اینحال صحت تخمین اندازه‌گیری‌های بارومتریک با این روش بعدی است که امکان استفاده موفقیت آمیز از آن در خیاطی و پروی مجازی وجود دارد.

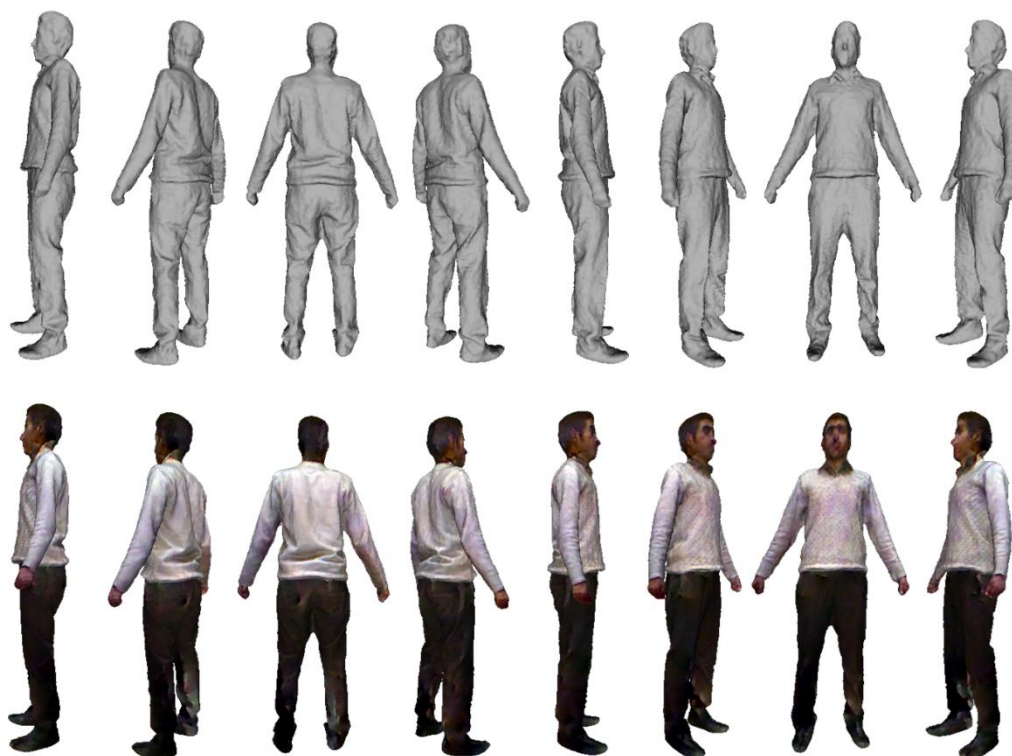
به طور کلی می‌توان گفت روش پیشنهادی ضعف سیستم‌های مشابه را در مراحل برداشت و پردازش داده تا

حد زیادی مرتفع نموده است، بطوریکه امکان به‌کارگیری آن در شرایط محیطی مختلف برای کاربردهای متنوع وجود دارد. این امر به واسطه هزینه‌ی حداقلی سیستم (کمتر از ۵۰۰ هزار تومان) و کیفیت حداکثری خروجی (تراکم نقاط ۳,۷ میلی‌متر با ضخامت ابر نقطه با انحراف معیار ۱,۴ میلی‌متر) حاصل آمده است.

در تحقیقات آتی، مدنظر است با ارائه‌ی روش هم‌مرجع-سازی غیرصلب با پایداری بالا و با امکان رفع مشکل جابجایی‌های قابل‌توجه کاربر در طول اسکن، این امکان را ایجاد کرد که در صورتی‌که کاربر به‌طور ناگهانی با جابجایی‌های زیادی همراه باشد، بتوان مدل‌سازی سه بعدی را انجام داد.



شکل ۱۷- خروجی روش پیشنهادی در حالت‌های مختلف



شکل ۱۸- مدل نهایی و بافت دار در زوایای مختلف

مراجع

- [1] N. Magnenat-Thalmann, Modeling and simulating bodies and garments: Springer Science & Business Media, 2010.
- [2] B. Ugur, "Parametric Human Body Modeling for Virtual Dressing," Bogaziçi University, 2008.
- [3] B. Ugur and A. V. Sahiner, "A Parametric Human Body Modeling Tool," ISCN'08, p. 79, 2008.
- [4] J. Tong, J. Zhou, L. Liu, Z. Pan, and H. Yan, "Scanning 3d full human bodies using kinects," Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on, vol. 18, pp. 643-650, 2012.
- [5] Y. Cui, W. Chang, T. Nöll, and D. Stricker, "KinectAvatar: fully automatic body capture using a single kinect," in Computer Vision-ACCV 2012 Workshops, 2013, pp. 133-147.
- [6] D. Anguelov, P. Srinivasan, D. Koller, S. Thrun, J. Rodgers, and J. Davis, "SCAPE: shape completion and animation of people," in ACM Transactions on Graphics (TOG), 2005, pp. 408-416.
- [7] A. Weiss, D. Hirshberg, and M. J. Black, "Home 3D body scans from noisy image and range data," in Computer Vision (ICCV), 2011 IEEE International Conference on, 2011, pp. 1951-1958.
- [8] M. Kazhdan, M. Bolitho, and H. Hoppe, "Poisson surface reconstruction," in Proceedings of the fourth Eurographics symposium on Geometry processing, 2006.
- [9] M. Chuang, L. Luo, B. J. Brown, S. Rusinkiewicz, and M. Kazhdan, "Estimating the Laplace-Beltrami operator by restricting 3D functions," in Computer Graphics Forum, 2009, pp. 1475-1484.
- [10] R. W. Sumner, J. Schmid, and M. Pauly, "Embedded deformation for shape manipulation," ACM Transactions on Graphics (TOG), vol. 26, p. 80, 2007.
- [11] H. Li, B. Adams, L. J. Guibas, and M. Pauly, "Robust single-view geometry and motion reconstruction," in ACM Transactions on Graphics (TOG), 2009, p. 175.
- [12] OpenNI. OpenNI. Available: <http://openni.org/>
- [13] J.L. Bentley,, "Multidimensional binary search trees used for associative searching". Communications of the ACM 18 (9): 509, 1975.