بررسی مسائل موجود در زمینهٔ طراحی سیستم های

فتوگرامتری برای اهداف پزشکی بهمراه یک نمونهٔ عملی

دکتر مسعود ورشوساز

مهندس اکرم جعفرآقایی

email: Varshosazm@yahoo.com
a_jafaraghaei@yahoo.com

چکیده:

امروزه فتوگرامتری می تواند بعنوان یک ابزار بی درد و غیر تماسی با بیمار در امر اندازه گیریهای مکانیِ مربوط به بخشهای بدن انسان، ایفای نقش کند. در این روند، بررسی شرایط وامکاناتی که یک فتوگرامتریست در حین اجرای طراحی و ساخت سیستم منظوره برای هدف خاص مواجه خواهد شد، از ضروریات می باشد. مسائلی چون آماده سازی شئ، سیستم کسب تصویر،ایجاد سیستم کنترل، بسته های نرم افزاری و نتایج درخواستی کاربر؛ از جمله مسائل مطرح در این راستا می باشند. آماده سازی شئ که عمدتاً برای سهولت در امر تناظریابی انجام می گردد، جهت عارضه دارکردن سطحِ بدن-بدلیل یکنواخت بودن آن- بطور مصنوعی صورت می گیرد. در مورد سیستم کسب تصویرهم، اموری چون انتخاب دوربین مناسب جهت کار از بین انواع دوربین های موجود برای کسب چندتصویریها، نحوهٔ آرایش دوربینها، لزوم همزمانی دوربینها در برخی موارد، کالیبراسیون دوربینها، ... بحث می شوند. بسته های نرم افزاری هم که یا موجودند و یا براساس نیاز کاربر نوشته می شوند نتایج درخواستی کاربر را تأمین می کنند. آنچه که در این تحقیق آمده است به بیان دومورد اول، همراه با ارائهٔ شرحی از اقداماتی که در راستای راه اندازی سیستمی برای اندازه گیری دست با در نظر گرفتن برخی ازموارد فوق تا حد نیاز همراه با نتیجه گیری و پیشنهاد پرداخته است.

واژگان کلیدی:آماده سازی شئ، تارگتهای کددار، چندتصویریها، سیگنال ویدئویی، فتوگرامتری پزشکی، فریم گرابرها، کالیبراسیون، مدل سه بعدی دست، همزمانی دوربینها، CCD[1]

۱-مقدمه

مزایایی که فتوگرامتری در پزشکی می‌تواند داشته باشد در یک نظر کلی عبارتند 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 اندازه گیری Real-time،

[1] *Charge couple device*

ایجاد مدل سه بعدی از بخشهای مدنظر، بهره گیری از تصاویر دو بعدی(با اجزا پیکسل) در قالب سه بعد(سه بعدX,y,Z) و یا حتی چهار بعد(ردیف تصاویر سه بعدی که بعد زمان را هم در نظر می گیرند). بسیاری از غیر فتوگرامتریستها تحقیقاتی را در این زمینه شروع کرده‌اند اما کار برای فتوگرامتریستها هنوز بسیار کند پیش می‌رود[۱،۸]. ساخت و طراحی سیستم های فتوگرامتری برای اهداف پزشکی همانند دیگر سیستم های فتوگرامتری برد کوتاه، دارای ویژگیها و خصوصیات ویژه ای می باشد که می بایست برای هر کدام از آنها ترفندهای خاصی را در نظر گرفت. از این امور می توان آماده سازی شئ، انتخاب دوربین، آرایش دوربینها و سیستم کسب تصویر، ایجاد سیستم کنترل، بسته های نرم افزاری و نتایج درخواستی کاربر را نام برد. آنچه که در ادامه خواهد آمد به بیان مختصری از موارد مطرح در ساخت و طراحی سیستم های فتوگرامتری در زمینهٔ آماده سازی شئ، و سیستم کسب تصویر همراه با شرحی بر موارد مطرح در زمینهٔ سیستم موردنیاز برای مدلسازی سه بعدی دست، خواهد پرداخت.

۲-آماده سازی شئ

پیدا کردن نقاط متناظر در تصاویر برای مطالعات پزشکی بدلیل یکنواخت بودن آن، از طریق تکنیکهای استاندارد تصویر سازی ممکن نیست. لذا بحث آماده سازی شئ مطرح می شود. استفاده از تارگت و یا یک شبکه تصادفی از نقاط می تواند جهت ایجاد الگو بر روی سطوح با بافت کم مؤثر باشد. برای انداختن طرح شبکه می توان از پروژکتور بهمراه اسلاید استفاده نمود؛ امکاناتی چون نور لیزر، پودر، جاگذاری تعداد زیادی از تارگت‌ها وعکسبرداری رنگی هم حربه های دیگر برای جبران بافت هستند. علائم مشخص شده می توانند بصورت نقاط مشخص شده یا تارگت و یا تارگتهای کددار باشد[۱،۲]. استفاده از تارگتهای کددار منجر به اتوماسیون اندازه گیریها بویژه در اندازه گیری های تکراری می شود که در طراحی آنها و نرم افزار مورد نظر، مواردی چون عدم نیاز به استفاده از مواد منعکس کنندهٔ نور، مستقل بودن از موقعیت در تصویر، مستقل بودن از دوران کد، مستقل بودن از تبدیل افاین (بویژه زمانی که سطح انحناء زیادی داشته باشد)، مستقل بودن از مقیاس تارگت(کوچکترین اندازهٔ ممکن تارگت در طراحی نرم افزار در نظر گرفته شود)، داشتن وضوح زیاد در تصویر و امکان تولید تعداد زیادی از آنها، می بایست مد نظر قرار گیرد[۷]. البته تارگت گذاری نیاز به افراد مجرب و آموزش دیده دارد و این امر خود ملاحظات هزینه ای را در بر دارد. بعد از آماده سازی جسم نوبت به مرحلهٔ کسب داده می رسد.

۳- انتخاب دوربین ، آرایش دوربینها و سیستم کسب تصویر

دوربینهای مورد استفاده در پردازش تصویر رقومی دو جزء عمده دارد: واحد کسب تصویر و واحد خروجی تصویر. در حال حاضر واحد کسب تصویر اغلب مبتنی بر تراشه های CCD است که شامل عناصر جداگانهٔ حساس به نور می باشد که هر کدام یک پیکسل را ارائه می کند. یک پیکسل نور رسیده به خود را به شارژ تبدیل می کند که در طول خروجی به یک ولتاژ تبدیل می شود. تراشه های CCD در اندازه و وزن کوچک هستند. علاوه بر اینها بدلیل تولید زیاد برای کاربران، قیمت بالایی هم ندارندکه همین دلایل آنها را بعنوان واحدهای معمول کسب تصویر

مطرح ساخته است. واحد خروجی، یک سیگنال ویدئویی را تولید می کند که برای ابزار پـردازش تصـویری بعـدی مناسب است. سیگنال ویدئویی مطابق با یکی از استانداردهای بین المللی(مثل استاندارد CCIR[1] برای دوربینهای تک رنگ وPAL (برای اروپا) و NTSC (برای امریکا) برای سیستم های رنگی) هستند. اسکن از گوشهٔ سمت چپ بـالا شروع می شود و به انتهای خط می رسد(برای استاندارد CCIR بعد از ۵۲ میلی ثانیه)، سپس اشعه غیر فعال شده به عقب بر می گردد و شروع به خط سوم(و نه خط دوم) می کند. در این حالت اولین اسکن محدودهٔ خطـوط فـرد را می پوشاند در حالیکه دومین اسکن محدودهٔ خطوط زوج را می پوشاند. این روش (که Interlacing نامیده می شود) منجر به مشکلاتی در پردازش تصویر می شود. تکنیک interlace یک مصیبت برای اندازه گیری می باشـد. در ابتـدا دوربین خطوط فرد و سپس خطوط زوج را اسکن می کند. حال اگر جسم مورد ثبت در حال حرکت باشد، در ایـن صورت جسم در موقعیتهای مختلف بین اسکن های اول و دوم خواهد بود که به شکل خطوط افقی و عمودی غیـر منظم بوده، اثر جاروب اره ای را ایجاد خواهد کرد. ساده ترین راه حل برای این مسأله استفاده از تنهـا خطـوط فـرد می باشد؛ هر چند با این کار، رزولوشن در جهت قائم نصف می شود. چنانچه رزولوشن کامل مورد نیـاز اسـت در این صورت باید از دوربینهای ویژهٔ non-interlaced استفاده کرد. این دوربینها که "دوربینهای اسکنی پیشرفته" نامیده می شوند؛ قادر به کسب تصویر در یک گذر هستند. واضح است که این دوربینها بسیار گـران بـوده، نیـاز بـه فـریم گرابرهای ویژه ای دارند. فریم گرابرها سیگنال ویدئویی آنالوگ یک دوربین را خوانده، آن را به یک ردیـف تصـویر رقومی تبدیل می کنند؛ در ابتدا همزمانی باثباتی از خطوط و فریم ها حاصل می شود، سـپس مرحلـهٔ بعـدی کسـب تصویر شروع می شود که مربوط به تولید خود پیکسلهاسـت. مطـابق بـا اسـتانداردهای ویـدئویی، واحـد نمونـه و نگهدارنده(sample, hold) ۷۶۷ پیکسل را در هر خط دیجیتایز می کند(برای CCIR) و آنها را در یک بافر تصـویری جمع می کند. گونه های مختلفی از فریم گرابرها موجود می باشند که فریم گرابرهای کم خرج ماشین بینائی، فـریم گرابرهایی با چند ورودیِ (معمولاً ۲ یا ۳ ورودی) RGB، فریم گرابرهای ویژه برای رزولوشـن و سـرعت فریمـی بالاترجهت استفاده با دوربینهای اسکنی پیشرفته یا برای استفاده با دوربینهای رقومی، از این نوعند[۵]. بعـد از ایـن مقدمه وارد مرحلهٔ کسب چندتصویریها می شویم:

برای مدلسازی سه بعدی یک جسم یا صحنه، نیاز به اخذ تصاویر از موقعیتهای مختلف در فضا می باشد که به ایـن چند تصویر بدست آمده که شرح دهندهٔ همان جسم یا صحنه باشند اصطلاح چند تصویری گفته می شود. در مـورد صحنهٔ متحرک این چند تصـویری بایسـتی بطـور همزمـان بدسـت آمـده باشـند. دقـت همزمـان سـازی ابزارهـای تصویرسازی، نقش مهمی برای پتانسیل دقت اندازه گیری بدست آمده از تصاویر، بازی می کنند. بـرای کاربردهـای درگیر با ثبت افراد، بدن فرد بدلیل این که همیشه بطور جزئی و بی اختیار حرکتهایی بدلیل انقباضات ماهیچه ای و یا نفس کشیدن دارد؛ همزمانی دوربینها اهمیت ویژه ای دارد. لذا همیشه برای اندازه گیری سطح بخشهای بـدن انسـان توصیه می شود بطور دقیق چند دوربین را همزمان کرد. معمولاً ۱/۳۰ ثانیه لازم است تا از عدم حرکـت بـدن انسـان اطمینان حاصل کنیم.

[1] *Comit´e Consultatif International des Radiocommunications*

روشهای مختلفی برای کسب ردیف چند تصویری(چند تصویری بدست آمده در زمانهای مختلف که اغلب برای بحث حرکت مورد نیازند) می تواند استفاده شود. سیستم های دوربینی مختلف زیر هم که برحسب نزول دقت مرتب شده اند می توانند استفاده شوند: دوربینهای CCD اسکنی پیشرفتهٔ همزمان سازی شدهٔ ماشین بینایی، دوربینهای Interlaced CCD همزمان سازی شدهٔ ماشین بینایی،Camcorder های ویدئویی دیجیتال همزمان سازی شده با استفاده از یک Clapper . برای کاربردهای اندازه گیری سطحِ بدون ردیابی، تنها چند تصویریها مورد نیازند. در این حالت سیستم های زیر نیز می تواند برای کسب چند تصویری استفاده شوند(بر اساس کاهش دقت مرتب شده اند):دوربینهای Still رقومی چندگانه، یک دوربین تکی یا Camcorder ویدئویی کسب کنندهٔ تصویر در جهات مختلف ، Webcamهای رقومی چندگانه.

دوربینهای CCD اسکنی پیشرفتهٔ همزمان سازی شدهٔ ماشین بینایی: این دوربینها بر اساس کیفیت و نحوهٔ انجام، بهترین ابزار تصویر سازی برای کسب ردیفهای ویدئویی چندتصویری می باشند. خصلت عمدهٔ این دوربینها این است که کل فریم را بطور آنی با داشتن رزولوشن کامل سنجنده بدست می آورند و نیز برای اشیاء متحرک بدست می آید. این دوربینها بسیار گران بوده، فریم گرابرهای خاصی نیاز دارند. اخیراً دوربینهای اسکنی پیشرفتهٔ توسعه یافته، پورت IEEE-1394 را بکار می برند که هیچ فریم گرابری در این حالت مورد نیاز نیست[۶].

دوربینهای Interlaced CCD همزمان سازی شدهٔ ماشین بینایی: این دوربینها بسیار ارزان بوده، اما هنوز کیفیت بالایی دارند. عمده امتیاز این نوع دوربینها بر دوربینهای CCD اسکنی پیشرفته، خروجی ویدئویی استاندارد است(CCIR/EIA). عیب استفاده از این دوربین اثر Interlace است. این اثر بهنگام حرکت شئ باعث یک الگوی اره ای می شود. یک راه حل برای این مسأله، استفادهٔ تنها از خطوط فرد است که آنها را در تصاویر دوبله کرده، خطوط زوج را حذف کرد[۶].

Camcorder های ویدئویی رقومی: چند Camcorder ویدیوئی رقومی می توانند برای کسب ردیف ویدئویی چند تصویری استفاده شوند. این راه، یک راه کم هزینه است، چرا که فریم گرابر نیاز ندارد. چند دوربین می توانند با استفاده از یک clapper یا چیزی که صدای ناگهانی ایجاد کند، همزمان‌سازی شوند[۶].

چند دوربینهای still رقومی: خصلت جالب چند مورد از آنها امکان کنترل دوربین از یک کامپیوتر می باشد که اجازهٔ کسب تصاویر را در زمانهای کوتاهی می دهند. تصاویر بدست آمده روی کارتهای حافظه ذخیره می شوند، سپس به یک کامپیوتر انتقال می یابند. با این سیستم کسب فقط چندتصویریها حاصل می شوند. این روش می تواند فقط برای اندازه گیری بخشهای غیرمتحرک یا ثابت بدن انسان بکار رود. عیب دوم این روش، نیاز به توجیه خیلی پیچیده و روندهای کالیبراسیون است[۶].

Webcamهای رقومی: راه حل کم هزینه برای کسب چند تصویریها بوسیلهٔ Webcamها پیشنهاد می شود. هزینهٔ این دوربینها امروزه پایین می باشد و هیچ فریم گرابری مورد نیاز نیست. اگرچه کیفیت تصاویر پایین است و نویزشان بالاست، Webcamهای رقومی، راه‌حل ارزان و راحتی برای اهداف نمایشی هستند[۶].

بعد از بررسی سیستم های کسب مختلف آنچه که بعنوان جمع بندی از این بخش می توان گفت بقرار زیر است: برای اندازه‌گیری بخشهای بدن انسان متحرک، همزمانی کسب چند تصویریها ضروری است. سیستمهای مبتنی بر

چند دوربین Still رقومی و سیستم‌های استفاده‌کننده از Webcamها می‌توانند برای کسب همزمان چند تصویریها، تنظیم شوند؛ اگرچه این کار بطور الکترونیکی کاملاً دقیق نمی تواند صورت پذیرد و همواره تأخیر زمانی دارند. سیستمهای مبتنی بر یک دوربین تکی هم بطور آشکار نمی‌توانند چند تصویری را بطور همزمان بدست‌آورند البته در برخی موارد، بعنوان مثال هنگامی که دقت بالای اندازه‌گیری نیاز نیست یا اگر بخش بدن انسان می‌تواند غیر متحرک بماند، تأخیرهای زمانی بالا، می تواند قابل قبول باشد.

۴-کالیبراسیون سیستم کسب داده:

منظور از کالیبراسیون سیستم، کالیبراسیون(تعیین پارامترهای هندسهٔ داخلی تک تک ابزار تصویر سازی و دیگر پارامترهای مدل کنندهٔ خطاهای سیستماتیک ایجاد شده بوسیلهٔ سیستم اپتیکی و دیگر منابع) و توجیه همزمان کل اجزاء(شامل تعیین پارامترهای توجیه خارجی برای تعریف ایستگاه و محور دوربین در فضای سه بعدی) در سیستم کسب داده می باشد. تعیین دقیق کل این پارامترها برای یک اندازه گیری دقیق روی تصاویر، مورد نیاز است. مدل ریاضی مورد استفاده برای تصویر کردن نقطهٔ شئ ای به سیستم مختصات تصویری شرط هم خطی می باشد. برای توجیه و کالیبره کردن سیستم دوربینها، روشهای مختلف موجود است. با این همه دو خصوصیت عمده می بایست در انتخاب روش توجیه و کالیبراسیون مناسب و کافی، مد نظر قرار گیرند: اول این که چند دوربین شبکه معمولاً یا یک موقعیت ثابت دارند و یا با همدیگر، بدون تغییر موقعیتهای نسبی شان جابجا می شوند و دوم این که اغلب اوقات مجموعهٔ دوربین بایستی کالیبره و توجیه شوند(بعنوان مثال در هر بار کسب داده). به همین دلایل برای چند دوربینها اغلب یک کالیبراسیون و توجیه همزمان(کالیبراسیون سیستم) مناسبتر است. دو روش موجود است: روش میله مرجع و روش فیلد مرجع. در روش اول با حرکت دادن یک میلهٔ مرجع با دو نقطهٔ تارگتی منعکس کنندهٔ نور در طول کسب ردیف چند تصویری، بدست می آید(روش میلهٔ مرجع). داده های اضافی مورد نیاز طول معلوم بین دو نقطهٔ میله بود. عمده امتیاز این روش استفاده از یک میلهٔ مرجع است و ایراد آن پردازش کل داده ها بمنظور کالیبره کردن سیستم، می باشد. حالت دوم استفاده از یک فیلد مرجع سه بعدی با نقاط مشخص شده ای که مختصاتشان در فضا معلوم است، می باشد. روند کالیبراسیون در این حالت ساده تر است و اتوماسیون کامل می تواند با استفاده از نقاط تارگتی کددار که می تواند بطور کاملاً اتوماتیک تشخیص داده شوند و در تصاویر اندازه گیری شوند؛ حاصل گردد. نتیجهٔ روند کالیبراسیون، پارامترهای توجیه خارجی دوربینها ، پارامترهای توجیه داخلی دوربینها ، پارامترهای اعوجاج شعاعی و خروج از مرکزی لنزهای سیستمهای اپتیکی و دو پارامتر اضافی می باشد. تعیین کامل و تمام عیار این پارامترها برای دستیابی به دقت بالا در اندازه گیری مورد نیاز است[۵]؛ البته چهار پارامتر تعریف کنندهٔ خصوصیات سنجنده(اندازهٔ سنجنده و اندازهٔ پیکسلی) بایستی از ابتدا معلوم باشند.

مواردی که گفته شد مواردی است که از لحاظ سخت افزاری بهنگام طراحی سیستم فتوگرامتری برای اهداف پزشکی(و حتی اهداف صنعتی) بایستی مدنظر قرار گیرد. در ادامه روندی که بصورت عملی برای ایجاد یک سیستم فتوگرامتری برای اندازه گیری دست انجام گردیده است آمده است.

۵-کاربرد فتوگرامتری در مدلسازی دست

فتوگرامتری پزشکی می تواند در مدلسازی سه بعدی دست بکار رود. اطلاعات سه بعدی دست نه تنها برای اهداف تشخیص پزشک بلکه بعنوان یک ورودی به سیستم های تشخیص دست و اخیراً برای اهداف تفریحی نظیر کارتونها و ... بکار می رود. جراح پلاستیک دست بطور خاص نیاز به اطلاعاتی در مورد شکل یا اندازه و پیوند(بند)های دست انسان بصورت یک دست کامل یا بخشهایی از آن دارد. امروزه درمان بیماران با آسیبهای دست، اختلالات بدتر شونده، نقص های مادرزادی دست، پیشرفتهای زیادی را شامل شده است. جراحان پلاستیک هم به ظاهر محل عمل و هم به عمل اهمیت می دهند. در مورد دست عموماً مسائل و مشکلات خاصی مطرح است؛ چرا که هر مشکل دست، مشکل واحدی است. لذا برای هر دست یک مدل خاص مورد نیاز است. در کل می توان مدل کردن دست را برای اهداف زیر بکار گرفت: ساخت مدلهای چنگ زدن دست (هم جهت اهداف توانبخشی و هم جهت امور تفریحی و سرگرمی همانند هنرپیشه های مجازی درکارتونها)، ساخت پروتز دست، ساخت فراساختار حمایتی جراح جهت جراحیها (جراحی پلاستیک همانند جداسازی انگشتان متصل بهم، برش بخش رشد یافتهٔ دست،...)، بهبود حرکت دست و استفاده از دست با بررسی مدل توسط پزشک مربوطه، تفسیر ایما و اشارات دست برای بیان چیزی که این امر اساساً یک مسألهٔ تشخیص الگو می باشد؛ جایی که هدف، کلاسه بندی ردیف موقعیت دست به یک مجموعهٔ محدود از اشارات باشد، انجام دادن با دست یا دست ورزی که این امر متناظر با یک تفسیر از موقعیت و حرکت دست بعنوان یک ابزار دست ورزی می باشد. این امر نیاز به اندازه گیری یک مجموعه از پارامترهای مرتبط با جنبش و دینامیک دست برای اتخاذ تصمیماتی در مورد درون کنشی بین دست و اشیاء مجازی نیاز دارد. مدل مجازی دست می تواند برای کاربردهای دیگر نظیر آموزش و ... بکار رود[۳].

روشهای موجود در مدلسازی دست

مدل کردن دست بویژه در یک کاربرد Real time، یک مسئلهٔ خیلی ساده نیست؛ چرا که پیچیدگی ساختار دست انسان مطرح است. در مبحث ماشین بینایی، بیشتر مدلهای دست مورد استفاده در نوشتجات علمی مبتنی بر پارامتری کردن موقعیت دست انسان با استفاده از زوایای بندهای اسکلت دست انسان است. انتخاب مدل بستگی به کاربرد دارد. در حالت تشخیص ایما و اشاره که حیطهٔ وسیعی در تحقیقات می باشد؛ موقعیت دست با استفاده از مدلهای دو بعدی ممکن است گویا باشد. مدل اسکلتی دست انسان، ساختار کینماتیکی دست را ارائه می کند و کمترین مدل پارامتری است که می تواند در سیستم برآورد موقعیت سه بعدی دست استفاده شود. جنبهٔ دیگری که بایستی مدل شود ساختار هندسی دست(بعبارتی شکل دست) است. مدل کردن هندسی دست معمولاً با جایگذاری بندهای دست با شکلهای هندسی ساده نظیر استوانه ها، مخروطها، نیم کره ها و ... بدست می آید. آنچه که در مورد اطلاعات سه بعدی دست مطرح می شود، نیاز به دانستن موقعیت نقاط روی دست می باشد که داشتن کنترلی بر روی دست امری ضروری می باشد؛ لذا ورود فتوگرامتری راهکار مؤثری برای این مسأله می باشد[۳].

انجام یک پروژهٔ عملی

دست انسان بدلیل داشتن انگشت همانند دیگر اشیاء، شرایط ساده ای برای کسب پوشش کل شئ را ندارد؛ چرا که هر برنامه ریزی که برای بدنهٔ دست صورت گیرد، بهمراه آن بایستی پوشش انگشتان هم مد نظر باشد. در

وهلهٔ اول برای ایجاد سیستم، مبنا بر استفاده از نرم افزار CDW Industry برای ایجاد مدل سه بعدی قـرار گرفـت. سپس بر اساس نیازهای این سیستم، طراحی سخت افزار سیستم شروع گردید. بی شک برای دستیابی به منظرهـای مختلف و بدست آوردن اطلاعات عمقی از دست نیاز به بیش از یک دوربین ضروری است. از طرفی هـم یکـی از نیازهای نرم افزار CDW Industry داشتن حداقل یک نقطه در سه تصویر همگراست(البته نیاز به داشتن سه تصویر از زوایای مختلف نه تنها نیاز این نرم افزار، بلکه نیاز هر سیستم فتوگرامتری برد کوتاهی برای همپوشانی از طریـق چندتصویریهاست چراکه در نظر گرفتن این شرط از شرایط ثبات سیستم طراحی است). بـرای شـروع کـار اولـین مرحله آماده سازی دست بود. در مرحلهٔ عکسبرداری برای ایجاد مدل سه بعدی، آشکار بود که از تعداد زیـادی از عکس باید استفاده کرد. حالتهای مختلفی که عکسبرداری گردید در زیر آمده اند(جدول۱-۵).

جدول۱-۵ حالتهای مختلف عکسبرداری برای تعیین بهترین مجموعهٔ عکسی پوشش دار از دست

ردیف	تعداد عکس	فاصلهٔ ایستگاهها از دست(بطور تقریبی بر حسب سانتی متر)	فاصلهٔ ایستگاهها از همدیگر(سانتی متر)	زاویهٔ همگرایی محور دوربینها با هم(بطور تقریبی بر حسب درجه)	چیدمان دوربینها
حالت اول	۸	۳۰	۳۰	۹۰	روی رئوس یک مکعب مستطیل
حالت دوم	۱۲	۳۰	۲۵	۵۰	روی رئوس یک منشور با مقطع شش ضلعی
حالت سوم	۱۶	۳۰	۲۰	۳۰	روی رئوس یک منشور با مقطع هشت ضلعی
حالت چهارم	۴	۲۸	۳۷	۴۵	روی رئوس یک مربع با آینه
حالت پنجم	۲	۲۰	۳۰	۹۰	روی دو سر یک خط با آینه
	۱۱	۱۰	۳۰	۳۰	روی یک کمان

تمامی حالتهای زیر برای بررسی این امر صورت گرفتند که کدامیک از حالات زیر می تواند بر مسـألهٔ پوشـش کـل دست چیره آید بگونه ای که بتوان هر نقطهٔ دست را در سه تصویر از زوایای مختلف دید. لذا هنـوز مسـألهٔهمزمان سازی را در نظر نگرفته، از ماکت گچی دست یک فرد که حرکتهای جزئی دست را ندارد و در روی آن در مکانهای

مختلف مارکهای سیاه و در برخی دیگر از جاها تارگتهای کددار زده شده است(جهت عارضه دار کردن آن)، استفاده کردیم. دوربینی که استفاده شد canon powershot pro 90 IS با مشخصات مندرج در جدول آتی بود(جدول۲-۵).

جدول۲-۵ مشخصات دوربین رقومی:Canon powershot pro 90 IS [۴]

فاصلهٔ کانونی	۷ میلی متر برای زاویهٔ باز تا ۷۰ میلی متر برای عکس راه دور
فاصلهٔ فوکوس کردن (از سطح لنزی)	با زاویهٔ باز :۱۰ سانتی متر تا بینهایت برای عکس راه دور: ۱ متر تا بینهایت
محدودهٔ روزنه	برای زاویهٔ باز:F2.8-F8.0 و برای عکس راه دور : F3.5-F8.0
تعداد پیکسلهای ثبت شده	در حالت فیلم: ۲۴۰×۳۲۰و در حالت با قدرت تفکیک بالا: ۱۳۹۲×۱۸۵۶
واسط ذخیره سازی	کارت تی ام فلاش فشرده نوع ۱و۲
سرعتهای شاتر	۱/۱۰۰۰-۸ ثانیه
اندازهٔ تراشه	۸,۱×۶,۶۴ میلی مترمربع
تعداد پیکسلهای ثبت شده	۲,۵۸ میلیون پیکسل

فاصلهٔ کانونی ۷ میلی متر بعنوان فاصلهٔ کانونی ثابت بسته شد و سپس عکسبرداریهای فوق صورت گرفت.

۶-نتیجه گیری و پیشنهادات

۱-از بین حالات فوق در سه حالت اول، حالت سوم پوشش بیشتری از دست را نشان می دهد؛ اما با اینهمه در برخی از جاها بخصوص بین انگشتان بدلیل انحنای زیاد این نواحی، نقاطی موجود بودند که در بیشتر از دو عکس ظاهر نشده بودند؛ برای حل مسأله می شود از حالت مخصوصی از دست عکس گرفت که در آن شخص انگشتان خود را تا حد امکان از هم در زوایای مختلف نسبت بهم فاصله داده باشد که البته همین امر خود باعث گم شدن برخی از نقاط بین انگشتان می گردد. شاید بهمین دلیل فوق باشد که اکثر محققین یا روی نقاط خاصی از دست و یا از شیوه های کاذبی چون پوشاندن دستکش به دست و یا متصل گرفتن بین انگشتان استفاده کرده اند. چنانچه نیاز به مدل دست در یک بازهٔ زمانی مدنظر باشد می توان از مدل بخشی بدین ترتیب که انگشتان(مثلاً شصت و سبابه با هم) و بدنه را جدا جدا مدل کرد و سپس از طریق نقاط اتصال، مدلهای مقیاس دهی شدهٔ تک تک انگشتان را به بدنهٔ دست متصل کرد. البته در این صورت حتماً باید حد مدلها برای اتصال آتی روی دست علامت خورده باشند. مسأله داشتن پوشش حداقل سه عکس از هر نقطهٔ دست، یکی از حیاتی ترین موارد در ایجاد سیستمی برای اندازه گیری دست می باشد. لذا توصیه می شود در وهلهٔ اول از پوشش کامل دست توسط کل عکسها اطمینان حاصل کرد، بعبارتی تعداد و آرایش دوربینها معین گردد تا پس از آن مسألهٔ همزمان سازی مدنظر قرار گیرد که مسلماً با توجه به تعداد دوربینهای زیاد از طریق الکترونیکی سخت و شاید از طریق ترفندهای مکانیکی انجام پذیر باشد.

۲-اندازه گیری نقاط روی دست برای امر تناظریابی بدلیل انبوهی نقاط تا حد امکان بایستی اتوماتیک باشد. برای این امر اکثر نرم افزار ها با تارگتهای کددار تجهیز شده اند. اصولاً تارگتها رادر اکثر جاهایی که انحناء تغییر می کند و یا نقطهٔ مهمی برای بررسی می باشد؛ قرار می دهند. در این کار، اندازهٔ اصلی این علائم بگونه ای که کد ثبت شده روی آنها بوضوح دیده شود از آنچه که ما بر روی دست قرار دادیم بزرگتر بود. دلیلی هم که فکر می کردیم این اندازه های کوچک جواب بدهد به خصلت خود تارگت کددار برمی گشت که یک تارگت کددار باید در تمپلتهای با اندازه های مختلف تعریف شده باشد اما آنچه که در بررسی بدست آمد در یک سطحی با انحناء دست، تارگتهایی که توسط شرکت AICON برای تارگت گذاری در نرم افزار CDW Industry بعنوان تارگتهای کددار مطرح شده اند مستقل از مقیاس و انحناء نبودند و در بسیاری از حالات حتی در مواردی که کاملاً حالت عادی را داشته اند بعنوان تارگتهای کددار شناخته نشدند. لذا امکان اندازه گیری اتوماتیک تارگتهای کددار با مشکل مواجه گردید و این امید که برای انداز گیری اتوماتیک روی سطوح پیچیده نظیر دست بشود از نرم افزار CDW Industry و در ادامه از تارگتهای کددار استفاده کرد زیاد مثمر ثمر واقع نگردید و تنها ۷۰ تا ۶۰ درصدشان شناخته شد.

۳- امکان دیگر برای اتوماتیک کردن کار، اندازه گیری نقاط مشخص شده توسط نرم افزار می باشد. در این کار، در حالت نقاط تاریک ، این نقاط بصورت کاملاً اتوماتیک شناخته نشدند و تنها ۴۰ تا ۳۰ درصدشان برای دست شناخته شد(لازم به ذکر است که در روی بدنهٔ دست تارگتهای کددار در فواصل سه سانتی متری از هم و در روی انگشتان در بندها ؛ و نقاط مشخص شده در روی بدنه با فواصل یک سانتی متری و در روی انگشتان با فواصل نیم سانتی متری و در بین انگشتان با فواصل کمتر از نیم سانتی متر قرار داده شده بودند). کار دیگری که برای عارضه دار کردن دست بصورت آزمایشی صورت گرفت استفاده از یک پروژکتور اسلاید برای انداختن طرح روی دست بود. اسلایدی که استفاده شد از یکسری خطوط و علائم افقی بهمراه ارقام (شبیه حالت دو نقالهٔ بهم چسبیده از طرف قاعده) تشکیل شده بود. این کار هم باز در بین انگشتان و نیز در جاهای دورتادور دست دقیقاً جایی که انحناء زیادی خورده است با تفرق طرح، برخورد کرد. مسلماً آوردن یکسری دیگر از پروژکتورها که از جانبهای دیگر طرح را برجسم بتابانند امری ضروری است اما همین تداخل طرحها با هم نه تنها باعث اغتشاش و سردرگمی در تناظریابی خواهد شد؛ بلکه حتی با این کار باز هم بین انگشتان بصورت معضل باقی می ماند.

۴-یکی از ترفندهای مشهور در فتوگرامتری برد کوتاه در عکسبرداری جهت دورتادور جسم برای کم کردن تعداد دوربینها، استفاده از آینه ها در جانب دیگر جسم که رو به دوربین نمی باشد، است. همانگونه که در شمارهٔ ۱ بیان گردید امکان تعیین تعداد عکسی که مجموعهٔ آنها بتواند پوشش کاملی از دست را ارائه بدهد بسیار سخت و نیاز به روش سعی و خطا دارد. لذا به فکر افتادیم که آینه را بکار بگیریم و این بود که حالت چهارم و مورداول حالت پنجم طراحی شدند. علاوه بر مشکلاتی چون مانع دار شدن زیاد محدودهٔ عکسبرداری، عمده مشکلی که بوجودآمد عبارت بود از عمق زیاد منطقهٔ مورد دید با آینه. از طرفی عمق میدان لنز دوربین ما کم بود و لذا اجازهٔ کسب تصویر واضح از دست را بصورت هم روی دست و هم پشت دست را نمی داد. بطور کلی در استفاده از آینه برای کم کردن تعداد دوربینها و برخی مزایای دیگر، بهتر است از عمق میدان مناسب لنز دوربین اطمینان حاصل کرد(عمق میدان فاصلهٔ بین نزدیکترین و دورترین نقطهٔ بطور واضح تصویر شده بر روی تصویر می باشد). بدیهی است که اتخاذ فاصلهٔ

مناسب دست تا آینه یکی از فاکتورهای مؤثر در بهبود تصویر جهت سازگاری با عمق میدان لنز دوربین می باشد اما در خود همین امر هم بایستی ایجاد مانع در دید را در نظر گرفت.

مراجع:

۱-جعفرآقائی، (اکرم)، "کاربردهای فتوگرامتری برد کوتاه در پزشکی" سمینار کارشناسی ارشد فتوگرامتری، دانشکدهٔ نقشه برداری، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی(۱۳۸۲)

[2]Atkinson,K.B.,1996, Close Range Photogrammetry and Machine Vision.department of photogrammetry and surveying, University College London, pp: 303-312

[3] Bebis,G.,Harris,F.,Erol,A.,2002, Development of Nationally competitive Program in Computer Vision Technologies for effective Human-computer Interaction in Virtual Environments, http://www.cs.unr.edu/CVL/current_proj.php

[4]canon powershot pro 90 specifications,2003,http://www.digital-camerastore.com/canonpro90s.htm

[5]D'Apuzzo,N.,2002, surface measurement and tracking of human body parts from multi-image video sequences.ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing, vol.56, pp.360-375

[6] D'Apuzzo,N.,2003, Surface Measurement and Tracking of Human Body Parts from Multi Station Video Sequences, Institute of Geodesy and Photogrammetry, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich

[7]Niederöst, M., 1998, Automatic deformation measurement with a digital still video camera, Institute of Geodesy and Photogrammetry, Swiss Federal Institute of Technology

[8]Patias,P.,2002, Medical imaging challenges photogrammetry, ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing, vol.56, pp.295-310