



مروری تحلیلی بر روند توسعه ی یک سیستم جهت محاسبه و مقایسه حجم با استفاده از سنسور کینکت

نگار نوری*^۱، علی حسینی نوه^۲، ابوالقاسم صادقی نیارکی^۳، مسعود ورشوساز^۴

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه فتوگرامتری و سنجش از دور - دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
- ۲- عضو هیات علمی و استادیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور - دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
- ۳- عضو هیات علمی و استادیار گروه سیستم اطلاعات مکانی - قطب علمی فناوری اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
- ۴- عضو هیات علمی و دانشیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور - دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

چکیده :

محاسبه و مقایسه حجم موضوع مهمی می باشد که در بسیاری از برنامه های کاربردی مانند بازرسی صنعت، محصولات کشاورزی و مهندسی عمران مورد توجه می باشد. در زمینه محاسبه حجم، پارامترهای مختلف از جمله زمان پردازش، هزینه و دقت نقش مهمی را ایفا می کند. در میان سنسورهای مختلف که برای محاسبه و مقایسه حجم توسعه یافته اند، کینکت دارای سرعت زیاد، هزینه کم و دقت نسبتا بالا می باشد. در این مقاله، مراحل محاسبه و مقایسه حجم با استفاده از سنسور کینکت، مورد بررسی قرار می گیرد. این فرایند از گرفتن اطلاعات عمق با کینکت و تولید یک ابر نقطه متراکم با این سنسور شروع می شود. پس از آن براساس یکی از اصول مدل سازی، مدل سه بعدی تولید می شود. در مرحله ی بعدی بوسیله الگوریتم های قطعه بندی مدل مورد نظر از صحنه جدا می شود. پس از آن، حجم مدل قطعه بندی شده محاسبه می گردد. در نهایت، به منظور مقایسه حجم مدل سه بعدی بدست آمده با مدل از پیش تعریف شده، این مدل ها باید هم مرجع شوند. در این مقاله، بر روی هر یک از مسایل فوق بحث شده است و الگوریتم های آنها به همراه مزایا و معایب هر یک ارائه شده است. این بررسی روند کاری را برای توسعه یک سیستم به منظور محاسبه و مقایسه حجم نشان دهد.

واژه های کلیدی: مدل سازی سه بعدی، سنسور کینکت، محاسبه حجم و مقایسه حجم



مقدمه

امروزه مدل سازی، نمایش فضای محیط اطراف، قابلیت اندازه گیری در این مدل ها و همچنین محاسبه حجم بسیار مورد توجه و کاربرد قرار گرفته است. برای مثال در بخش صنعتی، در اندازه گیری غیر مخرب حجم جسم مورد نیاز می باشد [۱، ۲]. در بخش کشاورزی، محصولات باغی نیاز به درجه بندی براساس اندازه و وزن می باشند که می توان از این تکنیک استفاده کرد [۳]. در حمل و نقل اندازه ی بسته ها و ابزارها به منظور محاسبه هزینه حمل و نقل محاسبه می شود [۲]. برای پاسخ گویی به این نیاز، در طول چند دهه گذشته سیستم های الکترونیکی مختلفی توسعه یافته اند که در میان آنها سیستم هایی ماشین بینایی سه بعدی براساس روش های فعال جایگاه خاصی دارد که برای کاربردهای محاسبه حجم و اندازه اشیاء بسیار کاربرد دارد [۴-۶].

برای تولید مدل سه بعدی از شی، روش های مختلفی وجود دارد که در این میان روش های اپتیکی بسیار فراوان استفاده می شوند [۷]. در سال های اخیر تقاضا برای سنسورهای تصویری اپتیکی بسیار افزایش یافته است که منجر به توسعه دستگاه های تجاری موجود شده است [۸]. روش های اپتیکی خود به روش های فعال و غیر فعال تقسیم بندی می شوند، که روش های فعال خود به روش های مثلث بندی (لیزر تک نقطه ای، لیزر خطی و نور ساخت یافته) و تاخیر زمانی (TOF^۱، هولوگرافیک و اینترفرومتری) تقسیم بندی می شوند [۸-۱۱]. در جهت مدلسازی سه بعدی سنسورهای اپتیکی فراوانی وجود دارند شکل (۱). که با توجه به هزینه مدلسازی به دو دسته ارزان قیمت (Primsense, SR4000, PMD, Project Tango, Occipital و کینکت ورژن ۱ و ۲) و گران قیمت (لیزر اسکنر) تقسیم می شوند.

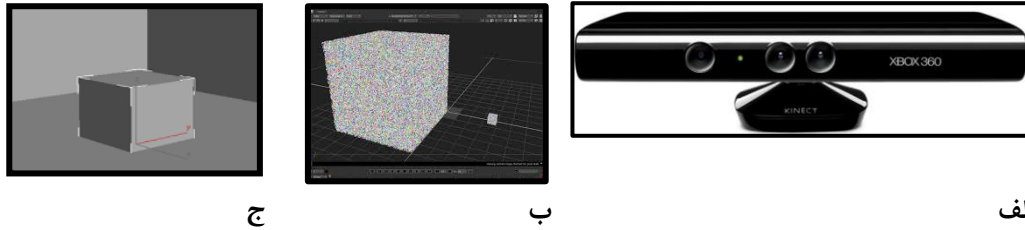
سنسورهای فعال						
ارزان قیمت						گران قیمت
Occipital	kinect v1&2	Project tango	PMD	SR4000	Primesense	Laser scanner

شکل ۱. طبقه بندی سنسورهای فعال ارزان قیمت

در سال های اخیر به منظور انتخاب سنسورهای اپتیکی مقایسه های فراوانی انجام شده است. که در تمام این مقایسه ها شاید بتوان گفت در میان سنسورهای ارزان قیمت کینکت یکی از بهترین نمونه ها می باشد [۱۲-۱۶]. یکی از آخرین تحقیقاتی که توسط پینتو در سال ۲۰۱۵ بین سنسورهای کینکت ورژن ۱ و ۲، Occipital و SR4000 انجام شد. سنسور کینکت ورژن ۲ و SR4000 به عنوان یکی از دقیق ترین سنسورها معرفی شد. ولی توجه به این نکته ضروری است که بعلا ساختارهای مشابه این دو سنسور باید آنالیزی بر روی دقت و خطای سیستماتیک آنها انجام داد [۱۴].

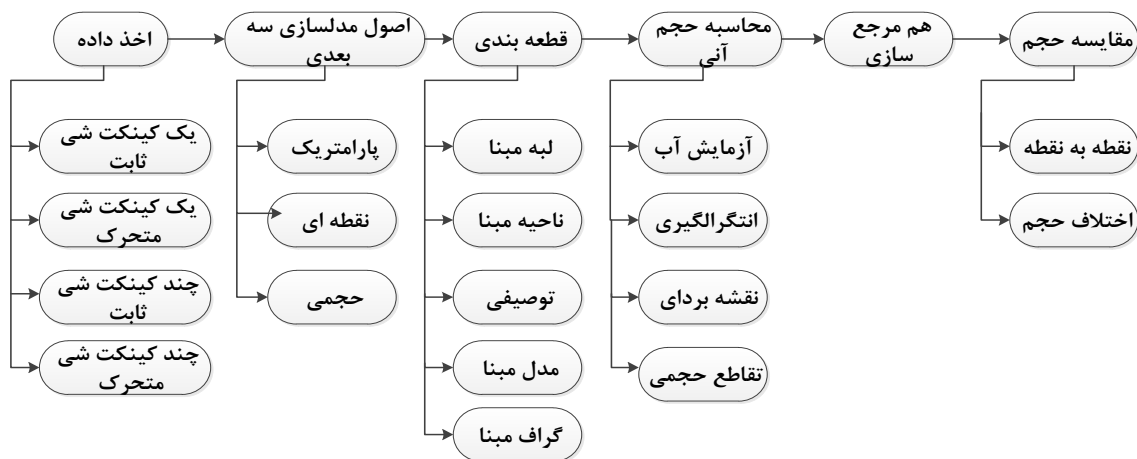
سنسور کینکت شرکت مایکروسافت، یک مثال عالی برای سنسورهای سه بعدی می باشد که امروزه براحتی در دسترس قرار گرفته است (شکل (۲- الف)). علی رغم اینکه این سنسور برای بازی رایانه ای استفاده می شود، از آن می توان در کاربردهای صنعتی استفاده نمود [۱۷]. مدل سه بعدی بدست آمده از این سنسور می تواند در کارهای محاسبه حجم به صورت آبی و مقایسه حجم استفاده شود. محاسبه حجم به طور خاص با استفاده از سنسور کینکت در کاربردهای حمل و نقل وسایل صنعتی سنگین [۱۷]، تعیین سایز بدن بیمار در جهت تشخیص میزان تابش نورمال به بیمار در کاربردهای پزشکی [۱۸]، ارزیابی سلامت و اندازه گیری بخش های مختلف بدن [۱۹-۲۱]، تعیین فضای خالی بین صورت و ماسک های تنفسی [۲۲] می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

¹ Time of Flight



شکل ۲. الف) سنسور کینکت، ب) مدل سه بعدی، ج) مدل از پیش تعریف شده

پس از انتخاب سنسور کینکت به عنوان یک ابزار مناسب در جهت مدل‌سازی سه بعدی و مزایای ذکر شده در محاسبه حجم به صورت آنی و مقایسه با مدل از پیش تعریف شده، هدف از این مقاله، بررسی مراحل مختلف سیستم محاسبه و مقایسه حجم با استفاده از سنسور کینکت و بررسی روش‌ها، مسائل مطرح و نکات در این خصوص می‌باشد. بطور کلی، محاسبه و مقایسه حجم شامل ۶ مرحله اصلی می‌باشد. به طور خلاصه، مرحله اخذ داده شامل رویکردهای مختلف اخذ داده با استفاده از سنسور کینکت شامل یک کینکت یا چند کینکت برای اشیاء متحرک و یا ثابت می‌باشد، مرحله اصول مدل‌سازی سه بعدی شامل تکنیک‌های پارامتریک، نقطه ای، حجمی می‌باشد. مرحله سوم پس از اینکه ابر نقطه ایجاد شد، روش‌های استخراج شی مورد نظر از زمینه شرح داده می‌شود که شامل روش‌های مدل‌مبنا، گراف مبنا، توصیفی، ناحیه مبنا، لبه مبنا می‌باشد. در مرحله چهارم روش‌های محاسبه حجم را که شامل روش‌های آزمایش آب، انتگرالگیری، تقاطع حجمی و نقشه برداری می‌باشد، معرفی می‌شود و سپس روش‌های هم‌مرجع‌سازی مدل سه بعدی با مدل از پیش تعریف شده توضیح داده می‌شود (شکل ۲). در مرحله آخر رویکردهای مقایسه حجم به دو صورت نقطه به نقطه و اختلاف حجم بیان می‌شود. جزئیات این ۶ مرحله در شکل (۳) نشان داده شده است. در این مقاله، در بخش ۱ تا ۶ جزئیات هر مرحله تشریح شده و روش‌ها، مسائل، مزایا و معایب مطرح در آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد. در پایان نتیجه‌گیری و پیشنهادات بیان می‌شود.



شکل ۳. فلوچارت کلی مساله

۱- اخذ داده با استفاده از سنسور کینکت

به منظور اخذ داده با استفاده از سنسور کینکت چهار رویکرد وجود دارد. در رویکرد اول شی ثابت است و یک سنسور کینکت در اطراف شی حرکت می‌کند [۲۳]. در رویکرد دوم از چندین سنسور کینکت در اطراف یک شی ثابت



استفاده می شود که در این حالت مسئله کالیبراسیون، همزمان سازی و چینش سنسورها به طور ویژه باید مورد توجه قرار گیرد [۲۴]. در رویکرد سوم یک سنسور کینکت [۲۵] و در رویکرد چهارم چندین سنسور کینکت [۲۴] در نقاط مشخصی ثابت قرار داده شده و شی متحرک است و برای حرکت شی از میز دوار استفاده می شود [۲۴، ۲۵].

۲- اصول مدلسازی سه بعدی با استفاده از سنسور کینکت

بیش از سه دهه است که بر روی مدلسازی سه بعدی تحقیقات فراوانی انجام شده است. به منظور تولید مدل سه بعدی می توان حالت های مختلفی را در نظر گرفت: مدلسازی آفلاین که از روش پارامتریک استفاده می کند [۲۶-۲۸] و مدلسازی آنلاین که از روش نقطه ای و حجمی استفاده می شود [۲۸-۳۰]. در روش پارامتریک شی به صورت ثابت قرار دارد و از منظرهای مختلف از آن تصویر برداری می شود و سپس منظرهای مختلف با یکدیگر هم مرجع می شوند و در نهایت یک مدل سه بعدی کامل ایجاد می شود [۲۶، ۲۷]. در روش های نقطه ای، رویکرد معمول این است که از یک سنسور متحرک استفاده شود و در اطراف شی حرکت کرده و به صورت پیوسته مدل بهبود داده شود [۲۹]. برخلاف سیستم آفلاین، روش آنلاین نیاز به فیوژن افزایشی بسیاری از نقشه های عمق هم پوشان با هم دارد که یک نمایش سه بعدی را به صورت پیوسته بهبود دهد [۲۸]. در روش حجمی از یک ساختار داده حجمی به منظور ذخیره سازی نمونه های یک تابع پیوسته استفاده می کند که نقشه های عمق به تابع فاصله و میانگین جمعیتی یک شبکه وکسل منظم تبدیل می شوند. روش Kinectfusion اخیرا با روش حجمی سازگار شده است و می تواند بازسازی حجم را به صورت آنی با استفاده از یک GPU انجام دهد. با توجه به هزینه محاسباتی، این رویکرد دارای محدودیت حافظه می باشد [۲۸]. برای حل این مشکل می توان به روش های Kinfu large scale و Kinfu اشاره کرد که سعی بر آن دارد که مشکلات روش Kinectfusion را حل کند [۳۰-۳۲].

۲-۱- مقایسه روش های مدل سازی سه بعدی با استفاده از کینکت

در نهایت می توان روش های بالا را با سه معیار، دقت و نحوه برداشت اطلاعات با یکدیگر مقایسه نمود. همانطور که در جدول (۱) مشاهده می کنید، در جهت بررسی معیار زمان می توان گفت: روش های حجمی برای تهیه مدل سه بعدی به زمان کمتری نسبت به روش های نقطه ای و همچنین روش های نقطه ای زمان کمتری نسبت به روش های پارامتریک نیاز خواهند داشت. و در ادامه بررسی معیار دقت می توان گفت: روش های حجمی و پارامتریک دارای دقت زیاد و روش های پارامتریک دارای دقت کمی می باشد در نهایت معیار نحوه برداشت اطلاعات به این صورت است که در روش های حجمی و نقطه ای به صورت متحرک اطلاعات برداشت می شود و در روش های پارامتریک به صورت ثابت خواهد بود.

جدول ۱. مقایسه روش های مدلسازی سه بعدی با استفاده از کینکت

معیار	مدلسازی	حجمی	نقطه ای	پارامتریک
زمان		کم	متوسط	زیاد
دقت		زیاد	زیاد	کم
نحوه برداشت اطلاعات		متحرک	متحرک	ثابت



۳- استخراج شی از ابر نقاط (قطعه بندی)

قطعه بندی ابر نقاط یک فرایند طبقه بندی می باشد که ابر نقاط به چندین ناحیه همگن طبقه بندی می شوند که نقاط در ناحیه های یکسان و دارای ویژگی های یکسان در یک قطعه قرار می گیرند. در واقع به کمک روش های قطعه بندی می توان شی مورد نظر را از زمینه استخراج کرد. روش ها و الگوریتم های مختلفی در جهت قطعه بندی ابر نقاط ارائه شده است که در مجموع می توان آنها را به ۵ دسته قطعه بند براساس لبه، ناحیه، توصیف، مدل و گراف تقسیم کرد که در روش لبه مبنا، مرزهای چندین ناحیه در ابر نقطه بوسیله قطعه بندی ناحیه ها بدست می آید. اصول این روش براساس قرار دادن نقاط در تغییرات سریع شدت است که در واقع ویژگی از شکل اشیاء را توصیف می کند [۳۳]، روش ناحیه مبنا از اطلاعات همسایگی نقاط نزدیک به هم استفاده می کند که دارای ویژگی های مشابه هستند. در نهایت ناحیه ها جدا شده بدست می آید و به تبع آن تفاوت میان ناحیه های مختلف پیدا می شود. روش توصیف مبنا شامل دو مرحله جداگانه است. در اولین مرحله صفات محاسبه می شود و در مرحله ی دوم ابر نقاط براساس صفات خوشه بندی می شوند. روش مدل مبنا، از اشکال هندسی اولیه (مانند کره، مخروط، هواپیما و سیلندر) برای قطعه بندی نقاط استفاده می کند و نقاطی که دارای نمایش ریاضی مشابه هستند به عنوان یک قطعه گروه بندی می شوند [۳۴]. روش گراف مبنا، ابر نقاط را به صورت یک گراف در نظر میگیرد که هر نقطه شکستگی در ابر نقطه مربوط به یک نقطه در داده ها است [۳۵]. وزن این گراف ها به وسیله ی ترکیبی از فاصله ی اقلیدسی، تفاوت شدت پیکسل ها و زاویه بین سطح نرمال برای هر نقطه محاسبه می شود [۳۴].

۳-۱- مقایسه روش های استخراج شی از ابر نقطه

در جهت مقایسه روش های قطعه بندی با توجه به جدول (۲) می توان گفت: روش های لبه مبنا، بسیار سریع و حساس به نویز می باشد که تراکم ابر نقاط در آنها به صورت ناهموار می باشد. روش های ناحیه مبنا، نسبت به نویز دقیق می باشند و توانایی این را دارند که به صورت دقیق مرز ناحیه را تشخیص دهند و از معایب این روش می توان به قطعه بندی به تعداد ناحیه بیشتر و یا کمتر اشاره نمود. روش های توصیف مبنا، دارای نتایج انعطاف پذیر، دقیق و همچنین رویکرد قوی در قطعه بندی ناحیه همگن می باشد و از معایب این روش می توان وقت گیر بودن در برخورد با داده های چند صفتی را ذکر نمود. روش های مدل مبنا، بسیار سریع و مستحکم نسبت به داده های پرت می باشد و در برخورد با داده ها از ابر نقطه متفاوت، دقت کمی دارند. روش گراف مبنا، توانایی قطعه بندی صحنه های پیچیده، ابر نقطه شامل نویز و نقاط ناهموار را دارند و از معایب این روش، اجرا نشدن در زمان آنی، نیاز به آموزش گام به گام و نیاز به هم مرجع سازی می باشد [۳۴].

جدول ۲. مقایسه روش های قطعه بندی

معیاب	مزیت	قطعه بندی
بسیار حساس به نویز، تراکم ابر نقاط به صورت ناهموار	بسیار سریع	لبه
قطعه بندی به تعداد ناحیه بیشتر یا کمتر	نسبت به نویز دقیق، تعیین دقیق مرز ناحیه	ناحیه
وقت گیر بودن در برخورد با داده های چند صفتی	نتایج انعطاف پذیر و دقیق، رویکرد قوی در قطعه بندی ناحیه همگن	توصیفی
کم دقت بودن در برخورد با داده ها از ابر نقطه متفاوت	بسیار سریع و مستحکم نسبت به داده های پرت	مدل
اجرا نشدن در زمان آنی، نیاز به آموزش گام به گام، نیاز به هم مرجع سازی	قطعه بندی صحنه های پیچیده، ابر نقطه شامل نویز، ابر نقاط ناهموار	گراف

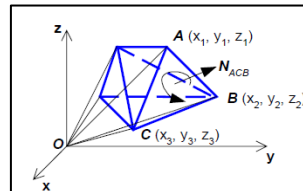
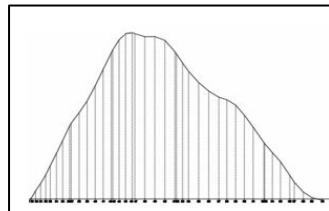
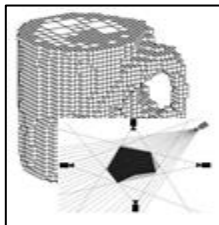


۶- روش های محاسبه حجم

اندازه گیری حجم جسم از اهمیت زیادی در صنعت، کشاورزی، حمل و نقل، تولید و جنگلداری برخوردار است. پس از بدست آوردن ابر نقطه کامل شی مورد نظر که مراحل آن در بخش های قبلی شرح داده شده، نوبت به محاسبه حجم حاصل از ابر نقطه می رسد. در جهت محاسبه حجم روش های زیادی وجود دارد، از جمله این روش ها آزمایش آب، انتگرالگیری، نقشه برداری و تقاطع حجمی می باشد (شکل (۴)). روش جابه جایی آب از قدیمی ترین روش ها می باشد که جز ساده ترین روش ها در آزمایشگاه می باشد که می توان شی را در یک ظرف آب مدرج قرار داد و از طریق اختلاف جابه جایی سطح آب، میزان حجم جسم را محاسبه نمود [۳۶]. در روش انتگرالگیری، محاسبه حجم با استفاده از انتگرال سه بعدی برای اشکال نامنظم انجام می شود [۳۷]. روش نقشه برداری از رسم پروفیل طولی و عرضی استفاده می کند [۳۸]. روش های تقاطع حجمی که برای اندازه گیری حجم به مانند روش Shape From Siluhett بر مبنای استخراج سیلوت تصویری کار می کند [۳۹]. در واقع پس از اخذ داده ها، شی از پس زمینه استخراج می شود و سپس داده ها بر روی یک شبکه وکسل پروژکت می شوند و با هم تلفیق می شوند و در نهایت شبکه وکسل برای رسیدن به حجم جسم حکاکی می شود [۲۵].

۶-۱- مقایسه روش های محاسبه حجم

با توجه به اینکه جسم مورد نظر چپست و به چه منظور حجم محاسبه می شود و چه دقتی نیاز خواهیم داشت، می توان از هر یک از روش های بالا بهره برد. روش های حجمی برای محاسبه حجم اشیا کوچک مقیاس و در مقابل روش های نقشه برداری برای محاسبه حجم فضای بزرگ مقیاس مانند حجم خاکبرداری و خاکریزی استفاده می شود و در نهایت روش های انتگرال گیری و آزمایش آب نیز به عنوان یک مرجع اصلی در جهت محاسبه حجم معرفی می شود.



شکل ۴. الف) آزمایش آب، ب) انتگرال گیری، ج) نقشه برداری، د) تقاطع حجمی

۷- روش های هم مرجع سازی ابر نقاط

هم مرجع سازی ابر نقاط بدست آمده از سنسورهای عمق یکی از چالش برانگیز ترین موضوعات در زمینه ماشین بینایی و رباتیک می باشد. با توجه به ظهور اخیر سنسورهای ارزان قیمت، برای هم مرجع سازی ابر نقاط الگوریتم های زیادی پیشنهاد شده است [۴۰]. هم مرجع سازی سطوح سه بعدی در واقع چندین مجموعه داده سه بعدی را به یک سیستم مختصات مشابه انتقال می دهد که به طور نزدیک در ارتباط با برازش داده ها است که شامل سه بخش در هم آمیخته انتخاب مدل، مطابقت (قیود) و بهینه سازی است [۴۱]. هم مرجع سازی ابر نقاط برای دو سری از جسم های صلب و غیر صلب انجام می شود امروزه تحقیقات مختلفی بر روی هم مرجع سازی جسم صلب و غیر صلب انجام شده است [۴۲، ۴۳].



۸- روش های مقایسه حجم

به منظور مقایسه حجم مدل از پیش تعریف شده که از آن می تواند به عنوان داده صحیح نام برد، با مدل بدست آمده توسط سنسور کینکت دو رویکرد مختلف اختلاف حجم و نقطه به نقطه می توان در نظر گرفت. در رویکرد اول حجم مدل بدست آمده از حجم مدل از پیش تعریف شده کم می شود و اختلاف حجم به صورت عددی بررسی میشود و از طریق روش های نسبی (اختلاف حجم مدل بدست آمده با مدل از پیش تعریف شده تقسیم بر حجم مدل از پیش تعریف شده) دقت می تواند محاسبه شود [۲۵, ۲۰, ۱۹] و در رویکرد دوم می توان به صورت نقطه به نقطه بررسی کرد که در کدام بخش جسم حجم آن نسبت به مدل از پیش تعریف شده تغییر پیدا کرده است، برای این امر می توان از یک حدآستانه استفاده کرد که فاصله ی هر نقطه بین دو مدل بوسیله یک رنگ نمایش داده شود و به صورت بصری مشاهده کرد که در کدام قسمت جسم اختلاف حجم اتفاق افتاده است [۴۳].

۹- نتیجه گیری

محاسبه و مقایسه حجم یکی از کاربردهای نسبتاً جدید در مدلسازی سه بعدی می باشد که در محیط های غیر آزمایشگاهی به صورت آنی قابل انجام است. در این مقاله، مراحل کاری توسعه یک سیستم به منظور محاسبه و مقایسه حجم به همراه مسائل مطرح، معایب و مزایای هر یک از مراحل تشریح گردید. ارزیابی یک سیستم جهت محاسبه و مقایسه حجم طبق اصول بیان شده در این تحقیق، می تواند زمینه مناسبی را جهت تحقیقات آتی در این خصوص را فراهم آورد.

یکی دیگر از مسائلی که تحقیق زیادی در زمینه آن انجام نشده است، بحث مقایسه حجم به صورت نقطه به نقطه با استفاده از سنسور کینکت می باشد. که می توان به عنوان یک موضوع مناسب در آینده مورد بررسی قرار گیرد و همچنین محاسبه حجم و هم مرجع سازی اجسام غیر صلب با یک چالش جدی روبرو است که می تواند به عنوان یک موضوع با اهمیت مورد تحقیق قرار گیرد. با این حال با توجه به محدودیت های دقت این سنسور برای کارهای صنعتی که نیاز به اندازه گیری اشیای کوچک با دقت بالا دارد، مناسب نمی باشد. دقت این سنسور را می توان بوسیله تغییر خط مرجع و عمق میدان دید به اندازه زیر میلیمتر افزایش داد [۴۴].

مراجع

- [1] Moreda, G., et al., *Non-destructive technologies for fruit and vegetable size determination—a review*. Journal of Food Engineering, 2009. **92**(2): p. 119-136.
- [2] Nylinder, M., T. Kubénka, and M. Hultnäs, *Roundwood measurement of truck loads by laser scanning*. Field study at Arauco pulp mill Nueva Aldea, 2008: p. 1-9.
- [3] Sakai, N. and S. Yonekawa, *Three-dimensional image analysis of the shape of soybean seed*. Journal of food engineering, 1992. **15**(3): p. 221-234.
- [4] Batlle, J., E. Mouaddib, and J. Salvi, *Recent progress in coded structured light as a technique to solve the correspondence problem: a survey*. Pattern recognition, 1998. **31**(7): p. 963-982.
- [5] Besl, P.J., *Active optical range imaging sensors*, in *Advances in machine vision*. 1989, Springer. p. 1-63.
- [6] Blais, F., *Review of 20 years of range sensor development*. Journal of Electronic Imaging, 2004. **13**(1).
- [7] Mada, S.K., et al. *Overview of passive and active vision techniques for hand-held 3D data acquisition*. in *Opto Ireland*. 2003. International Society for Optics and Photonics.
- [8] Sansoni, G., M. Trebeschi, and F. Docchio, *State-of-the-art and applications of 3D imaging sensors in industry, cultural heritage, medicine, and criminal investigation*. Sensors, 2009. **9**(1): p. 568-601.



- [9] Luhmann, T., et al., *Close range photogrammetry: Principles, methods and applications*. 2006: Whittles.
- [10] Remondino, F. and S. El-Hakim, *Image-based 3D Modelling: A Review*. The Photogrammetric Record, 2006. **21**(115): p. 269-291.
- [11] Hosseinaveh, A., *Photogrammetric Multi-View Stereo and Imaging Network Design*, in *Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering*. 2014: University College London (UCL).
- [12] Hammerle, M., et al., *Comparison of Kinect and Terrestrial LiDAR Capturing Natural Karst Cave 3-D Objects*. Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE, 2014. **11**(11): p. 1896-1900.
- [13] Khoshelham, K. and S.O. Elberink, *Accuracy and resolution of kinect depth data for indoor mapping applications*. Sensors, 2012. **12**(2): p. 1437-1454.
- [14] Pinto, A.M., et al. *Evaluation of Depth Sensors for Robotic Applications*. in *Autonomous Robot Systems and Competitions (ICARSC), 2015 IEEE International Conference on*. 2015. IEEE.
- [15] Smisek, J., M. Jancosek, and T. Pajdla, *3D with Kinect*, in *Consumer Depth Cameras for Computer Vision*. 2013, Springer. p. 3-25.
- [16] Weinmann, M., S. Wursthorn, and B. Jutzi, *Semi-automatic image-based co-registration of range imaging data with different characteristics*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2011. **38**(3): p. W22.
- [17] Carreira, A., R. Ventura, and J. Gaspar, *Volumetrics-Measuring free volumes*.
- [18] Cook, T.S., et al., *Using the Microsoft Kinect for patient size estimation and radiation dose normalization: proof of concept and initial validation*. J Digit Imaging, 2013. **26**(4): p. 657-62.
- [19] Henseler, H., et al., *Validation of the Kinect device as a new portable imaging system for three-dimensional breast assessment*. J Plast Reconstr Aesthet Surg, 2014. **67**(4): p. 483-8.
- [20] Buffa, R., et al., *A new, effective and low-cost three-dimensional approach for the estimation of upper-limb volume*. Sensors (Basel), 2015. **15**(6): p. 12342-57.
- [21] Lowes, L.P., et al., *Reliability and validity of active-seated: An outcome in dystrophinopathy*. Muscle Nerve, 2015. **52**(3): p. 356-62.
- [22] Xu, M., Z. Lei, and J. Yang, *Estimating the Dead Space Volume Between a Headform and N95 Filtering Facepiece Respirator Using Microsoft Kinect*. J Occup Environ Hyg, 2015. **12**(8): p. 538-46.
- [23] Weiss, A., 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. IEEE.
- [24] Tong, J., et al., *Scanning 3d full human bodies using kinects*. Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on, 2012. **18**(4): p. 643-650.
- [25] Dellen, B. and I.A. Rojas Jofre, *Volume measurement with a consumer depth camera based on structured infrared light*. 2013.
- [26] Ugur, B., *Parametric Human Body Modeling for Virtual Dressing*. 2008, Bogaziçi University.
- [27] Ugur, B. and A.V. Sahiner, *A Parametric Human Body Modeling Tool*. ISCN'08, 2008: p. 79.
- [28] Nießner, M., et al., *Real-time 3d reconstruction at scale using voxel hashing*. ACM Transactions on Graphics (TOG), 2013. **32**(6): p. 169.
- [29] Keller, M., et al. *Real-time 3D reconstruction in dynamic scenes using point-based fusion*. in *3D Vision-3DV 2013, 2013 International Conference on*. 2013. IEEE.
- [30] Popescu, C.R. and A. Lungu, *Real-Time 3D Reconstruction Using a Kinect Sensor*. Computer Science and Information Technology, 2014. **2**(2): p. 95-99.
- [31] Roth, H. and M. Vona. *Moving Volume KinectFusion*. in *BMVC*. 2012.
- [32] Izadi, S., et al. *KinectFusion: real-time 3D reconstruction and interaction using a moving depth camera*. in *Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology*. 2011. ACM.
- [33] Silberman, N. and R. Fergus. *Indoor scene segmentation using a structured light sensor*. in *Computer Vision Workshops (ICCV Workshops), 2011 IEEE International Conference on*. 2011. IEEE.
- [34] Nguyen, A. and B. Le. *3D point cloud segmentation: A survey*. in *Robotics, Automation and Mechatronics (RAM), 2013 6th IEEE Conference on*. 2013. IEEE.



- [35] Golovinskiy, A. and T. Funkhouser. *Min-cut based segmentation of point clouds*. in *Computer Vision Workshops (ICCV Workshops), 2009 IEEE 12th International Conference on*. 2009. IEEE.
- [36] Arghiani, M., E. Nemati, and H.S. Yazdi, *Volume Measurement of Human Hand by Using Digital Image Sequences*.
- [37] Lien, S.-I. and J.T. Kajiya, *A symbolic method for calculating the integral properties of arbitrary nonconvex polyhedra*. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 1984. **4**(10): p. 35-42.
- [38] Ramon, A. and E. Alonso. *Analysis of ettringite attack to stabilized railway bases and embankments*. in *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris*. 2013.
- [39] Kutulakos, K.N. and S.M. Seitz, *A theory of shape by space carving*. *International Journal of Computer Vision*, 2000. **38**(3): p. 199-218.
- [40] Bellekens, B., et al. *A Survey of Rigid 3D Pointcloud Registration Algorithms*. in *Fourth International Conference on Ambient Computing, Applications, Services and Technologies*. 2014. IARA.
- [41] Tam, G.K., et al., *Registration of 3D point clouds and meshes: a survey from rigid to nonrigid*. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, 2013. **19**(7): p. 1199-1217.
- [42] Audette, M.A., F.P. Ferrie, and T.M. Peters, *An algorithmic overview of surface registration techniques for medical imaging*. *Medical image analysis*, 2000. **4**(3): p. 201-217.
- [43] Van Kaick, O., et al. *A survey on shape correspondence*. in *Computer Graphics Forum*. 2011. Wiley Online Library.
- [44] Rütger, M., M. Lenz, and H. Bischof. μ Nect: On using a gaming RGBD camera in micro-metrology applications. in *Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), 2011 IEEE Computer Society Conference on*. 2011. IEEE.



Reviewing the Workflow of a new System for Volume Computation and Comparison with Kinect

Nouri, N.^{1*}, Hosseinaveh, A.², Sadeghi-Niaraki, A.³, Varshosaz, M.⁴

1- Ms.c student of photogrammetry in Department of Geomatics, Faculty of Geodesy&Geomatics Eng, K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran.

2- Assistant professor in Department of Photogrammetry, Faculty of Geodesy&Geomatics Eng, K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran.

3- GIS Dept., Geoinformation Technology Center of Excellence, Faculty of Geodesy&Geomatics Eng, K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran.

4- Associate Professor in Department of Photogrammetry, Faculty of Geodesy&Geomatics Eng, K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran.

Abstract

Volume computation and comparison are very important issues in many applications such as industry inspections, agricultural products. In volume computation methods several parameters such as processing time, cost and accuracy play important roles. Among different sensors that have been developed for volume computation and comparison, Kinect has the potential to be fast, low-cost and relatively accurate. The processes of volume comparison and computation with Kinect have several steps which have been considered in this paper. This process starts from capturing depth information with Kinect and generating a dense point cloud with this sensor. Then, a comprehensive procedure should be done to provide a 3D model from the object using this sensor. Next, the interesting object should be separated from other objects in the scene using different algorithms known as 3D segmentation. Afterward, the volume can be computed on the segmented model. Finally, in order to compare the obtained 3D model with a predefined model, these models should be registered to each other and compared. In this paper, each of the above steps is discussed and suitable algorithms are presented with their advantages and disadvantages. This review shows the work flow to develop a system for volume computation and comparison with Kinect.

Keywords: 3D modeling, Kinect sensor, volume estimation, volume comparison.

Photogrammetry Group, Department of Geomatics, University of K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran. Tel: +98 9307823416.

Email: negar_nouri123@yahoo.com