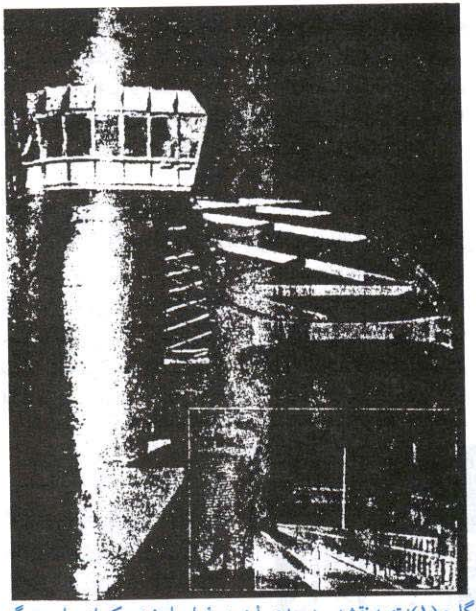
تهیه مدلهای شیئی سه بُعدی دقیق و ریز
با استفاده از اشعهٔ لیزر

سیستم‌های تهیه نقشهٔ تجسمی (سه‌بُعدی) لیزری فواصل نزدیک [1]

نویسندگان: Dr. Mathiaj J.P. Lemmens و Ir, Frank A.van den Heuvel
اساتید دانشکدهٔ مهندسی ژئودزی، دانشگاه فن آوری دلف هلند
برگردان: خسرو خواجه

خلاصه:

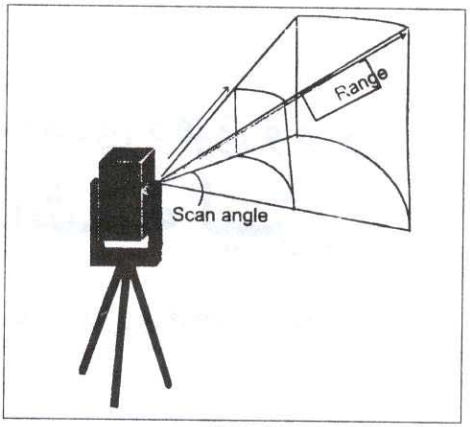
برای بیش از سه دهه می‌باشد که اندازه‌گیری فواصل در کارهای نقشه‌برداری روزمره و عادی عملی شده است. امروزه، در اثر پیشرفت‌هایی که در فن‌آوری رایانه‌ای بعمل آمده، جمع‌آوری و پردازش خودکار با حجم‌های وسیعی از داده‌های حوزه و میدان لیزری امکان پذیر گردیده است. سیستم‌های تهیه نقشه تجسمی (سه‌بعدی) لیزری فواصل نزدیک که از این پیشرفت ها حاصل گردید، توانایی آنرا دارند که در عرض مدت کوتاهی مدل‌های رایانه‌ای دقیقی با جزئیات فراوانی از انواع وسیعی از اشیاء منجمله کارهای ساختمانی، مجتمع‌های صنعتی، کارهای هنری و معماری را فراهم آورد. نویسندگان این مقاله با ارایه نمونه‌های عملی، نحوهٔ کار و امکانات سیستم‌های تهیه نقشهٔ تجسمی لیزری فواصل نزدیک را مورد بررسی و بحث قرار می‌دهند. آنها همچنین طرفداران و منتقدین این فن و روش را با طرفداران و منتقدین سیستم فتوگرامتری مقایسه می‌کند.



نگاره (۱): تهیه نقشه سه بعدی لیزری فواصل نزدیک از پل بزرگی برروی رودخانه Maas در روتردام هلند را نشان می‌دهد.
در تصویر کوچک: داده‌های خام اشیای متحرک، مثل کامیون را نشان می‌دهد که در پیمایش اسکن بصورت پالس کوتاه مدت آمده‌اند.

مقدمه

سیستم‌های فعال سنجش ازدور، بویژه سیستم‌های راداری و لیزری در ایجاد مدلهای رایانه‌ای تجسمی (3D) از اشیای دنیای حقیقی بطور فزاینده‌ای اهمیت می‌یابد. در این زمینه، واژه «**فعال**» به این مفهوم است که خود حساسگرها انرژی لازم الکترومغناطیس را ساطع می‌نمایند. آنگاه، انرژی که از سطح شیئی بازتاب می‌یابد، ثبت می‌گردد. اندازه گیریهای لیزری فاصله برای بیش از سه دهه است که در کارهای نقشه برداری روزمره و عادی عملی و قابل استفاده گردیده است. پیشرفت های بعمل آمده در



نگاره (۲): مبانی ثبت 3D-LMS را نشان می‌دهد. فاصله شیئی که در هر دوجهت افقی و عمودی پیمایش (اسکن) شده است، بوسیله آینه‌های دورانی انجام گرفته است.

جمع آوری و پردازش خودکار حجم‌های وسیعی از داده‌های میدان لیزری در طی دههٔ گذشته منتهی به عملیاتی شدن سیستم‌های تهیه نقشهٔ تجسمی (3D) لیزری فواصل نزدیک موسوم به 3D-LMS شده است. سیستم‌های مزبور توانایی آنرا دارند که مدل‌های رایانه‌ای دقیقی با جزئیات زیادی از انواع و اقسام پدیده‌ها، مثل آثار کارهای ساختمانی (نگاره ۱) را ایجاد کنند.

مبانی و اصول 3D-LMS

پایه و اساس فن آوری 3D-LMS را یک فاصله‌یاب لیزری پیمایشی تشکیل می‌دهد. فاصلهٔ حساسگر تانقاط دلخواه بر روی سطح پدیده از زمانی محاسبه می‌گردد که پالس طی می‌کند. پیمایش با این روش منجر بیک مجموعهٔ بادبزنی شکل از پالس‌های لیزری (نگاره ۲) به صورت هزاران نقطه در ثانیه می‌گردد و بادبزن 3D با آینه دورانی ایجاد می‌شود. در این راستا، در پیشتر مواقع شدت پالس لیزری انعکاسی ثبت می‌گردد. این کار خصوصیات انعکاسی سطح پدیده را نشان می‌دهد که ایجاد شبه تصاویر (نگاره ۳) را فراهم می‌آورد. هنگامی که اشیاء بزرگ و پیچیده‌ای ثبت می‌گردند، پیمایش‌های زیادی ازاشیاء مختلف ضرورت‌پیدامی‌کند.در نتیجه پیمایش‌های گوناگونی که از این طریق بدست می‌آید، مستلزم به کارگیری نرم‌افزار خاصی است تا در یک گام پیش‌پردازنده باهم یکپارچه شوند.

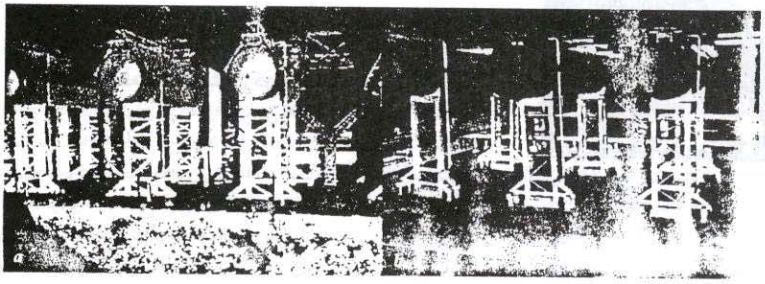
عدم نیاز به منعکس کننده

برخلاف کارهای نقشه برداری روزمره، در سیستم 3D-LMS از رفلکتور (منعکس کننده) استفاده‌ای بعمل نمی‌آید. بدین ترتیب، این نوع و جنس ماده است که با پالس برخورد نموده، شدت سیگنال‌های برگشتی را تعیین می‌کند. برای مثال، سنگ مرمر، از آنجا که نیم شفاف است، باعث می‌شود که پالس‌های ارسالی از ایستگاهها در زیر سطح سنگ نفوذ کرده و پراکنده شوند و در نتیجه کیفیت داده‌های میدان فاصلهٔ لیزر تنزل یابد. هنگامی هم که سطح پدیده‌ای مثل یک آینه عمل کند، هیچگونه سیگنال برگشتی نخواهیم داشت. طول موج اشعهٔ لیزر یا در داخل طیف بصری الکترو مغناطیس یا فقط در بالای آن قرار می‌گیرد.

بنابراین بطور اجمالی می‌توان گفت، آنچه راکه چشم انسان می‌تواند ببیند، مسافت یاب لیزری هم می‌تواند ببیند. لیزر می‌تواند از میان شیشه و آب زلال عبور کرده و فاصله‌ها را اندازه گیری نماید و باران می‌تواند مشکلات اندکی را پدید آورد. با این وجود، باید خاطرنشان ساخت که برف موجبات تقلیل شدید در قابلیت دید را فراهم می‌آورد. عملکرد لیزر مستقل از وجود نور روز است و پیمایشگر می‌تواند در تاریکی محض کار کند.

مدل سازی CAD

وقتی که پارامتری تنظیم، همانند حوزه و فاصلهٔ عمودی و افقی و افزایش‌های گام زاویه‌ای تعیین گردید، ایجاد اولین ابر نقطه‌ای داده‌های 3D (شدت تابعی از مختصات (X، Y و Z) بطور خودکار انجام می‌گردد. بهرحال، برای تبدیل ابرنقطه‌ای به مدل‌های مفهوم دار سه بعدی CAD لازم است که مجموعهٔ نقاط را به یک رایانهٔ شخصی (PC) قدرتمندکه مجهز به مدل سازی پیشرفته CAD و جاسازی الگوریتم (نگاره ۳b) است، مرتبط ساخت. از طریق مجموعه‌ای از نقاط همجوار که ترکیب پدیده یا جزئی از

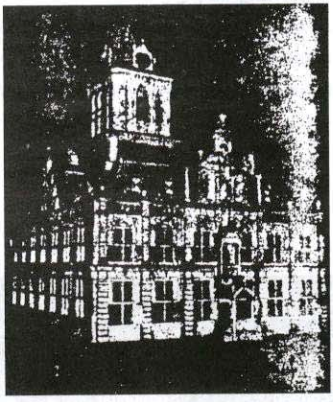


نگاره (۳): a) شبه تصویر بالایشگاه نفت را نشان می‌دهد که بطور مستقیم از داده‌های خام ایجاد شده است b) ایجاد مدل 3D-CAD، بعد از یک فرایند دستی تهیه نقشه را نشان می‌دهد.

آنرا می‌سازند، باید اشکال هندسی را جاسازی نمود. فرایند تفسیر تبدیل سیستم مختصات X، Y و Z مزبور به یک مجموعهٔ محدودی از اشکال، مثل پرتوهای I، پرتوهای C یا لوله‌ها، نیاز جدی به فرایند دستی دارند. حتی به هنگام استفاده از ابزارهای قطعه‌بندی خودکار، بازهم به پردازش دستی نیاز می‌باشد. عامل کارهای مربوط به ویرایش (اصلاح) را بوسیله طرح نواحی مورد نظر و تعیین نوع پدیده، برای نمونه یک لوله، هدایت می‌کند. سپس، در این مرحله از یک نرم‌افزار استفاده می‌شود تا شکل هندسی انتخابی (برای نمونه، استوانه) در ابر نقطه‌ای جاسازی گردد. از آنجاکه داده‌های بسیار زیادی در دسترس است، تنها تعدادی از نقاط، برای نمونه، ۶۰ درصد از آن نقاط، برای جاسازی شکل نیاز می‌باشد. فضای رایانه‌ای که برای ذخیره استوانه نیاز می‌رود، تنها جزئی از فضای ضروری برای ذخیرهٔ نقاط اولیه 3D است.

تجسم

تجسم اشیائی که به اشکال هندسی تجزیه شده‌اند، مستلزم استفاده از پلیگونهای TIN مجموعه نقاطی است که از آنها ساخته شود. برای نمونه، وقتی بخواهیم نقشه‌های کارهای هنری، نظیر مجسمه‌ها و ساختمانها را تجسم کنیم، نیاز به ساخت پلیگونهای TIN از مجموعهٔ نقاط داریم. برای مثال، تهیه نقشه سه‌بعدی (3D) از مجسمه حضرت داود شکاهکار میکل آنژ را در نظر می‌گیریم (نگاره ۴). در سال ۱۹۹۹، گروهی متشکل از ۳۰ نفر از دانشگاه استانفورد و دانشگاه واشنگتن برای آشکار سازی شکل و اندازه این مجسمه درفلورانس ایتالیا از 3D-LMS استفاده نمودند. علاوه بر پیمایشهای لیزری، تعداد ۷۰۰۰ عکس رنگی دیجیتالی نیز از مجسمه گرفته شد. بمنظور بازیابی تمامی جزئیات مجسمه، دقت مورد دستیابی برای



نگاره (۴): تهیه نقشه رایانه‌ای از مجسمهٔ داوود میکل آنژ را نشان می‌دهد. پیمایش‌های اسکن و مدل سازی رایانه‌ای برای طرح دیجیتالی مجسمه توسط دانشگاه استانفورد انجام گرفته‌است.

نگاره (۵)

داده‌های واقعی در حوزهٔ لیزر 0.25 mm بود، در حالی که وضوح و قدرت تفکیک به تراکمی 1 mm بود. حتی قسمت‌هایی از مجسمه، 0.29 mm قدرت تفکیک قدرت تفکیک دیجیتالی شد. ارتفاع مجسمه، باستثنای پایهٔ مجسمه، ۵/۷ سانتی‌متر، مساحت سطحی آن ۱۹ متر مربع و وزنش ۵۸۰۰ کیلوگرم است. برای اینکه به قسمت‌های بالایی مجسمه بخوبی تسلط داشته باشیم از جراثقالی استفاده گردید که روی ریل حرکت می‌کرد. مدل نهایی مجسمه متشکل از دو میلیارد پلیگون و ۷۰۰۰ تصویر رنگی شد. پیش از ۱۰۰۰ ساعت طول کشید تا از مجسمه پیمایش لیزری انجام گیرد در صورتی که برای پردازش دادهها به بیش از ۱/۵ برابر زمان پیمایش نیاز بود. به عنوان مثال دیگر، تالارشهر Delft در هلند (نگاره ۵) را در نظر می‌گیریم که شرکت Delfttech با استفاده از دستگاه پیمایشگر Cyrax 200 آنرا ثبت نمود. پیمایشگر مزبور توسط شرکت فن‌آوری Cyra واقع در اوکلند کالیفرنیا ساخته شده است و دارای میدان دید ۴۰ درجه در هر دو جهت عمودی وافقی است. حداکثر فاصله - فاصله بین پدیده و پیمایشگر ۱۰۰ متر است. شبه رنگها از شدت و تراکم پالسهای برگشتی بدست می‌آید.

3D-LMS در مقابل فتوگرامتری

بسیاری از داده‌هایی که می‌توان بوسیله سیستم 3D-LMS جمع‌آوری نمود، به کمک سیستم‌های فتوگرامتری فواصل نزدیک حاصل می‌شوند. نظرات موافقین و منتقدین هر دو روش را می‌توان بشرح زیر خلاصه نمود:

۱- عملیات ثبت سیستم 3D-LMS در محل پروژه مستقل از وجود بافت و طرح بر روی پدیده می‌باشد. اگر چه این کار برای فتوگرامتری هم صادق است. ولی وقتی لبه‌ها و انحنای اشیاء برای ایجاد مدل‌های TIN اندازه‌گیری می‌شوند، نیاز به یک گام تطابق‌سازی دارد که برای آن وجود بافت و طرح پدیده الزامی می‌باشد.

۲ - شرایط نور برای عملیات سیستم 3D-LMS از اهمیت کمتری برخوردار است.

۳ - ثبت فتوگرامتری از قابلیت انعطاف بیشتری برخوردار است، زیرا دوربین عکاسی سبک تر از دستگاههای پیمایشگر لیزری می‌باشد.

۴ - سیستم 3D-LMS از دقت بالایی برخوردارند و در حال حاضر ده برابر دقت سیستم‌های فتوگرامتری را دارند.

۵ - بااستفاده از مجموعه‌ای از دوربین‌ها که می‌توان آنها را بطور همزمان بکار برد، سیستم فتوگرامتری می‌تواند به ثبت آنی دست یابد. در نتیجه، ثبت اشیائی پویا و متحرک امکان پذیر می‌گردد. با وجودیکه سرعت پیمایش 3D-LMS بسیار بالاست، سطح پدیده بطور ترتیبی، نقطه به نقطه، دریافت می‌گردد. برای مثال، پیمایش دستگاه Cyrax2400 ده دقیقه طول می‌کشد. این بدان معناست که اشیای پدیده‌های پویایی، مثل بدن انسان را نمی‌توان بدون انحرافی در داده‌ها ثبت نمود.

۶ - فتوگرامتری، بیش از اینکه بتوان داده‌های 3D را از عکس‌های زوجی یا سه‌تایی استخراج نمود، نیاز به یک مرحله توجیه نسبتاً پیچیده ای دارد. پیمایش‌های (اسکن) متناوب را می‌توان در یک روش مستقیم و بهم مرتبط ساخت.

۷ - ایجاد مدلهای TIN (شبکه‌های چند ضلعی نامنظم)، که برای تجسم و دستیابی اهداف ضرورت دارد می‌توان بطور مستقیم و خودکار از داده‌های ثبت شدهٔ 3D-LMS انجام گردد. به‌منظور ایجاد مجموعه‌ای از نقاط سه بعدی (3D) در تصاویر فتوگرامتری، ابتدا نیاز بیک مرحله انطباق است و برای کارنیز باید از نرم افزار تطبیقی و ویرایشی اختصاصی استفاده نمود.

۸ - تصویری که بوسیله سیستم 3D-LMS ایجاد می‌شود، یک شبه تصویر است، در صورتی که تصاویر فتوگرامتری توانایی ایجاد پایگاه داده‌ای بصری با کیفیت بالا را دارند. بنحوی که برای خواباندن طرح برروی مدلهای سه بعدی کاملاً مناسب می‌باشند.

۹ - به‌منظور تبدیل داده‌ها به مدلهای مناسب 3D-CAD، هر دو سیستم با توجه به نوع کاربردی که دارند، نیاز چشمگیری به کاردستی دارند. به‌منظور دستیابی تفسیر و گویا سازی درستی از مجموعه‌های نقاط که باسیستم 3D-LMS برداشت شده‌اند، عامل نیاز به پشتیبانی بعدی دارد که توسط ویدئو یا عکس‌ها تأمین می‌گردد.

مقایسه دو سیستم بطور خلاصه‌ای در جدول (۱) آمده است.

نتیجه

تهیه نقشهٔ لیزری سه بعدی قادر است که بطور مستقیم، سریع و دقیق ابرهای نقطه‌ای سه بعدی مختصات X و Y و Z را جمع آوری نماید. فرایند تبدیل مجموعه‌های نقاط به مدلهای 3D-CAD به شدت کار بستگی دارد. در مقایسه با فتوگرامتری، روش 3D-LMS امکانات نوینی را برای حل مسایلی ارایه داشته که قبلاً نمی‌توانستیم از عهدهٔ آنها برآییم. بنابراین، فن‌آوری نوین 3D-LMS می‌رود که به همزیستی خود در کنار سیستم فتوگرامتری ادامه دهد. □

پاورقی:

1) Close Renge Photogrammetry

فتوگرامتری با فواصل نزدیک، یکی از شاخه‌های دانش فتوگرامتری است که در آن فواصل پدیده‌ها تا دوربین کمتر از ۳۰۰ متر است. حوزه کاربرد فتوگرامتری فواصل نزدیک شامل سه محور ۱ - فتوگرامتری معماری ۲ - برجسته سنجی حیاتی (فتوگرامتری، مهندسی حیاتی، طب حیاتی) ۳ - فتوگرامتری صنعتی است.

جدول (۱): مقایسه موافقین و مخالفین سیستم 3D-LMS و سیستم فتوگرامتری فواصل نزدیک را نشان می‌دهد.

		3D-LMS	Photogrammetry
1	Object Texture	Not necessary	Necessity depends on aplication
2	Light Conditions	largely insensitive	Sensitive to
3	Instrument Weight	Heavy	Modest
4	Instrument Costs	High	Low
5	Recording	Sequential	Instantaneous
6	Preprocessing	Linking scans together is straighforward	Orientation is complex
7	TIN creation	Directly from the recorded 3D datd	First a matching step with special software
8	Rendering	Quasi image	Real image data
9	Mapping	Labour-intensive, special software needed	Labour-intensive, special software needed