

چکیده

در سال‌های اخیر سنجنده جدیدی با نام لیدار موج-پیوسته وارد خانواده لیزر اسکنرهای تجاری شده است. مزیت اصلی این نوع جدید سنجنده‌ها، ثبت کامل موج پالس بازگشتی پس از برخورد به عوارض گوناگون در مسیر سیر پالس لیزر به سطح زمین می‌باشد. با ثبت کامل موج، خروجی ابر نقاط دارای تراکم بالاتر و قابلیت اطمینان بیشتر همراه با پارامترهای جدیدی از جمله پهنای پالس و دامنه پالس مربوط به هر نقطه می‌باشد. این پارامترهای جدید ما را در تحلیل و بررسی هر چه کاملتر و صحیح‌تر خروجی ابر نقاط سه‌بعدی این نوع سنجنده‌ها یاری می‌رسانند. خروجی لیدار می‌تواند در زمینه‌های مختلفی از جمله به روز رسانی پایگاه‌های داده‌ی سه‌بعدی، استخراج عوارض، تهیه مدل سه‌بعدی ساختمان‌ها، تهیه مدل جنگلها، مدیریت و برنامه‌ریزی شهری، مدیریت ترافیک، کنترل آلودگی هوا، صنعت توریسم، مدیریت بحران و بسیاری کاربردهای دیگر بکار گرفته شود. در این مقاله ابتدا به نکاتی در باب سنجنده لیدار موج-پیوسته، پردازش‌های سیگنالی صورت گرفته بر روی آن و نحوه استخراج نقاط سه‌بعدی از آن می‌پردازیم. بررسی انواع مختلف این نوع سنجنده‌ها و تاریخچه مختصری از روند تکاملی آنها بخش بعدی را شامل می‌شود. در پایان به کاربردهای گوناگون و متنوع این داده‌ها در حوزه‌های جنگل، شهری و هیدروگرافی می‌پردازیم.

واژه‌های کلیدی: سنجنش از دور، لیدار موج-پیوسته، مدل سه‌بعدی، توپوگرافی، هیدروگرافی، جنگلداری، فتوگرامتری.

۱- مقدمه

استفاده از مدل‌های سه‌بعدی در مناطق شهری در زمینه‌های گوناگون مدیریت شهری کاربرد روز افزونی پیدا کرده است. به کمک مدل‌های سه‌بعدی می‌توان به صورت جامع‌تر و با دید بهتر در زمینه مدیریت شهری و برنامه‌ریزی صحیح اقدام نمود. استفاده از این مدل‌ها در هنگام بلایای گوناگون طبیعی از جمله زلزله، سیل و غیره مدیران شهری را برای تصمیم‌گیری یاری رسانده و آنها را برای پاسخی سریع به بحران ایجاد شده بیش از پیش مهیا می‌سازد.

یکی از بهترین منابع ایجاد و بروز نگهداری نقشه‌های سه‌بعدی شهری استفاده از سنجنده لیدار می‌باشد. این سنجنده در محدوده طیفی مادون قرمز نزدیک عمل می‌کنند (Ackerman 1999). این سنجنده اشعه لیزری را به سمت منطقه هدف گسیل می‌کند. سپس به کمک GPS و IMU تعبیه شده بر روی سکو موقعیت هر نقطه ارسالی توسط سنجنده ثبت می‌شود. فاصله رفت و برگشت پالس لیزر از سنجنده تا زمین هم اندازه‌گیری می‌شود. با انتقال نقطه مختصات دار روی سکو به زمین، نقطه زمینی نیز دارای مختصات مشخص می‌گردد. با این توصیف ابر نقطه سه‌بعدی از سطح زمین تهیه می‌شود که هر کدام از نقاط آن حداقل دارای مختصات سه‌بعدی در سیستم مختصات جهانی می‌باشند. از سال ۲۰۰۴ به بعد نسل جدیدی از سنجنده لیدار با نام لیدار موج-پیوسته^(۱) به صورت تجاری وارد صنعت ژئوماتیک شد (Mallet and Bretar 2009). این سنجنده جدید علاوه بر خروجی‌های معمول لیدار کلاسیک، پارامترهای جدیدی را ارائه می‌کند که ماهیتی فیزیکی داشته و دیدی غیرهندسی را از سطح زمین ارائه می‌دهد. این پارامترها شامل پهنای پالس دریافتی^(۲)، دامنه پالس^(۳) و شماره اکو^(۴) می‌باشد. این المانها از طریق پردازش سیگنالی موج دریافتی از سطح زمین بدست می‌آیند. داده لیدار موج-پیوسته به کاربر نهایی کنترل بیشتری در باب پروسه تفسیر فیزیکی می‌دهد و اطلاعات جدیدی در مورد ساختار و خصوصیات فیزیکی سطح در اختیار می‌گذارد (Mallet and Bretar 2009). این پارامترها بخصوص در مناطق جنگلی و پوشش گیاهی دارای مقادیری متفاوت از سایر عوارض می‌باشند. به همین دلیل استفاده از داده‌های لیدار موج پیوسته بخصوص برای کاربردهای مرتبط با جنگل بسیار رایج می‌باشد.

۲- انواع سیستم‌های لیدار

سیستم‌های لیدار را می‌توان به دو دسته عمده تقسیم کرد. دسته اول لیدار چند-بازگشتی^(۵) که به آنها لیدارهای کلاسیک هم گفته می‌شود و دسته دوم لیدار موج-پیوسته می‌باشد. تفاوت عمده این دو نوع

سیستم لیدار موج-پیوسته و کاربردهای آن

محسن حسن زاده شاهراجی

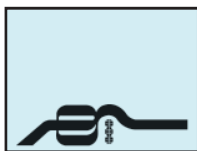
دانشجوی کارشناسی ارشد فتوگرامتری،
دانشکده مهندسی ژئوماتیک
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دکتر علی محمدزاده

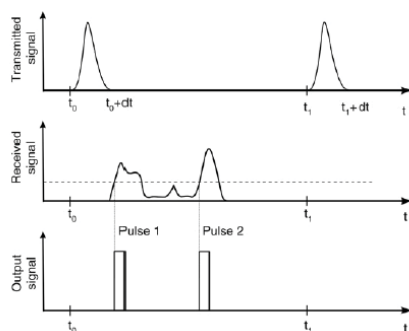
استادیار گروه فتوگرامتری و سنجنش از دور،
دانشکده مهندسی ژئوماتیک
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دکتر کوروش خوش‌الهام

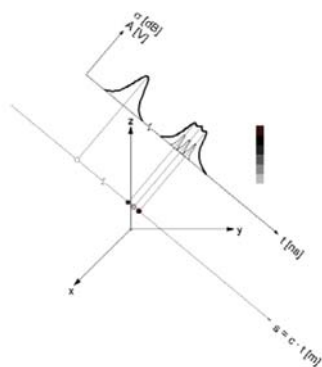
Assistant professor at ITC Faculty of Geo-Information
Science and Earth Observation of the University of Twente



به صورت دو نقطه استخراج می‌کنند. معمولاً پالس‌های لیدار موج-پیوسته با برازش پالس‌های گوسی شبیه‌سازی شده مدل می‌شوند. به عنوان مثال بیش از ۹۸٪ موج‌های مشاهده شده توسط سیستم ریگل^(۹) با مجموع توابع گوسی قابل تخمین می‌باشند (Wagner, Ullrich et al. 2006). همانطور که در نگاره ۲ مشاهده می‌شود پالس بازگشتی توسط مجموع توابع گوسی مدل‌سازی شده و مراکز این توابع گوسی به عنوان نقاط استخراجی از این پالس منظور می‌گردند.



نگاره ۱



نگاره ۲

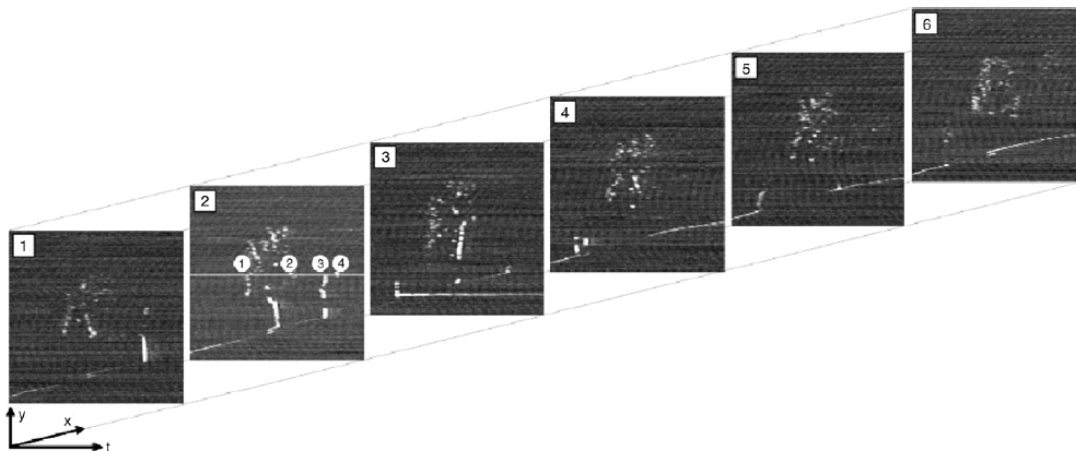
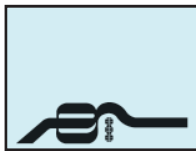
در حقیقت فرض می‌شود که شکل^(۱۰) هر پالس لیزر خروجی، گوسی با پهنای مشخص و کالیبره می‌باشد. بنابراین پالس دریافت شده کانولوشنی^(۱۱) بین توزیع گوسی و تابع سطح^(۱۲) می‌باشد که این تابع سطح وابسته است به اشیای منعکس شده (Mallet, Bretar et al. 2008).

با این وجود سیگنال ارسالی همواره گوسین نمی‌باشد، و مشاهده شده است که موج ارسالی توسط سنجنده LMS-Q560 اندکی نامتقارن می‌باشد. بخصوص در مناطق شهری خیلی از پیک‌ها^(۱۳) دچار اعوجاج می‌گردند، و اکثر امواج بازگشتی در معرض اثرات گوناگون هندسی (مثلاً شیب سقف‌ها) و خصوصیات رادیومتریکی اشیای می‌شوند (برای مثال مواد متفاوت سازنده خیابان و سقف) (Mallet and Bretar 2009). در نتیجه در این مناطق به جای برازش تابع گوسی به پالس‌های لیزر دریافتی از توابع دیگری استفاده می‌کنند. تابع گوسین تعمیم یافته^(۱۴) که بسط و گسترش یافته تابع گوسین می‌باشد، برازش سیگنال‌ها را بهبود بخشیده و پیک‌های اعوجاج یافته را مدل‌سازی می‌کند (Chauve, Mallet et al. 2007).

لیزر اسکنر در تعداد و نوع پارامترهای خروجی‌شان می‌باشد. در مورد لیدار کلاسیک تنها مختصات سه‌بعدی نقاط در دسترس می‌باشد. به نوعی تنها خصوصیتی هندسی از سطح برداشت شده است. البته پالس لیزر بازگشتی دارای مقدار انرژی کاهش یافته‌ای می‌باشد که گاهی از آن به عنوان شدت موج بازگشتی^(۱۵) یاد می‌کنند. اصطلاح شدت موج بازگشتی هنوز به طور دقیق تعریف و تبیین نشده است (Wagner, Hollaus et al. 2008). بنابراین تحقیقات بر روی این داده‌ها تنها جنبه هندسی داده‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهند و در بسیاری مواقع به منظور رسیدن به نتایج کاملتر و دقیقتر این داده‌ها با تصاویر اپتیکی ترکیب می‌شوند تا دید بهتری از منطقه بدست دهند. در مورد لیدار موج-پیوسته این محدودیت دیگر وجود ندارد و نه تنها فاصله تا اشیای مورد دست اندازه‌گیری می‌شود بلکه کل موج حاصل از بازپخش پالس را ثبت می‌کند. با پردازش‌های سیگنالی که روی پالس بازگشتی انجام می‌شود، علاوه بر مختصات سه‌بعدی نقاط پارامترهای دیگری از سیگنال استخراج می‌شود که تا حدود زیادی خصوصیت فیزیکی سطح را نمایندگی می‌کند. به عنوان مثال با بررسی پهنای اکو می‌توان به زبری سطح رسید و یا با بررسی پژواک پالس گسیل شده قابلیت انعکاسی تارگت را مورد بررسی قرار دهیم. یک قابلیت بسیار مهم لیزر اسکنر امکان نفوذ پالس لیزر به درون پوشش گیاهی موجود بر روی سطح زمین می‌باشد. به بیانی دیگر لیزر به درون اشیایی که دارای سطح مشخص و کاملی نیستند مثل درختان و یا مزرعه نفوذ کرده و چندین انعکاس جدا از توسط پالس گسیل شده ایجاد می‌شود. از همین خصوصیت لیزر اسکنر برای تولید مدل رقومی زمین^(۱۶) در مناطق جنگلی بهره می‌گیرند. در نسل جدید لیزر اسکنر موج-پیوسته پالس لیزر علاوه بر نفوذ به درون پوشش گیاهی دچار اعوجاج شده و تغییر شکل محسوس می‌کند و به نوعی پارامترهای فیزیکی آن تغییر می‌کنند. این تغییرات امکان تفکیک پوشش گیاهی از سایر عوارض موجود بر روی سطح زمین را فراهم می‌کند.

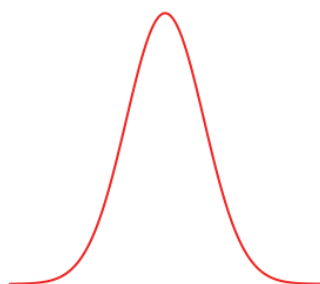
۳- پردازش سیگنالی لیدار موج-پیوسته

لیدار موج پیوسته با ارسال پالس لیزر و دریافت کامل آن پروفیلی طولی از کل مسیر سیر پالس لیزر را ارائه می‌دهد. این پروفیل طولی یک بعدی در واقع تصویری پیوسته از مسیر طی شده توسط لیزر را نشان می‌دهد. سنجنده لیدار موج-پیوسته این قابلیت را دارد که کل پالس بازگشتی را ثبت کرده و در حافظه‌های بسیار حجیم خود نگهداری کند. همین خصوصیت منحصر بفرد کمک می‌کند تا دست کاربر نهایی در زمینه آنالیز و تحلیل داده‌های خروجی بسیار باز باشد. تحقیقات فراوانی در زمینه تحلیل سیگنال بازگشتی انجام شده است و مدل‌های گوناگون ریاضی بر روی آن برازش شده است. در نگاره شماره ۱ روند ساده شده‌ای از مرحله پردازش سیگنالی نشان داده شده است. همانطور که در نگاره ۱ مشاهده می‌شود سنجنده با فاصله زمانی مشخص پالس‌های متقارن و گوسی را به سمت تارگت ارسال می‌کند. پس از برخورد پالس ارسالی به اشیای متفاوت در مسیر سیر خود، پالس دچار اعوجاج می‌شود و از حالت متقارن و گوسی خارج می‌گردد. این پالس نامتقارن توسط سنجنده به طور کامل دریافت می‌گردد. در مرحله سوم به کمک تکنیک‌های پردازش سیگنالی و روش‌های تشخیص پیک^(۱۷) دو پیک را از کل پالس جدا کرده و



نگاره ۳

۴- بررسی دو رویکرد متفاوت در پردازش داده‌های لیدار موج-پیوسته
ابرنقاط سه‌بعدی اعمال کرده و نتایج قابل قبولی دریافت کرد. در نگاره ۴ پهنا و دامنه پالس را نشان می‌دهیم.



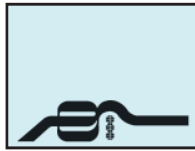
نگاره ۴

در ادامه توضیح کوتاه راجع به هر کدام از پارامترهای فیزیکی ارائه می‌گردد.
دامنه: این پارامتر در واقع شدت انرژی بازگشتی را نشان می‌دهد. به عنوان مثال با برخورد پالس لیزر به لبه ساختمان مقدار بسیار زیادی از این انرژی از دست می‌رود و در مقایسه با پوشش گیاهی این مقدار بسیار کوچکتر می‌باشد.
پهنا: این پارامتر همانطور که در نگاره ۴ مشاهده شد، فاصله افقی در موج را نشان می‌دهد. این پارامتر بخصوص در برخورد پالس لیزر با پوشش گیاهی دچار تغییرات عمده می‌گردد و نسبت به سایر عوارض مقدارش افزایش پیدا می‌کند.
شماره اکو: این پارامتر نشان می‌دهد که نقطه استخراجی مربوط به کدامین اکوی پالس بازگشتی می‌باشد. در مورد پوشش گیاهی این شماره بیش از یک عدد می‌باشد، اما در مورد ساختمان این مقدار یک می‌باشد زیرا به محض برخورد پالس لیزر به لبه ساختمان باقیمانده‌ی آن برمی‌گردد و تنها یک اکو برمی‌گردد.
در نگاره ۵ نحوه تغییر موج پالس در برخورد به عوارض گوناگون در مسیر رفت و برگشت به سنجنده نشان داده شده است، همانطور که در نگاره ۵ مشهود می‌باشد پالس لیزر ارسالی در مسیر خود

دو رویکرد کلی در پردازش داده‌های لیدار موج-پیوسته وجود دارد. هدف از پردازش این نوع داده‌ها اعمال الگوریتم‌های گوناگون بر روی آنها به منظور استخراج عوارض مختلف می‌باشد. در رویکرد نخست محققین بر روی پردازش پروفیل یک بعدی بدست آمده از پالس لیزر بازگشتی خام و پردازش نشده کار می‌کنند و سعی می‌کنند تا عوارض را بطور مستقیم از آن استخراج کنند. از جمله مزیت‌های این روش رسیدن به دقت‌های بسیار بالا در حدود ۱/۱۰ تا ۱/۱۲ فاصله بین نقاط می‌باشد. در نگاره ۳ نمونه‌ای از این نوع رویکرد در کارهای (Jotzi and Stilla 2006) را نشان می‌دهیم.

نگاره ۳ در واقع مقطع قائم صفحه $(y-t)$ مربوط به مکعب داده لیدار می‌باشد، که در آن پوشش گیاهی، زمین و ساختمان موجود است. در مقاله (Jotzi and Stilla 2006) سعی در تشخیص لبه ساختمان از طریق پردازش پارامترهای هر اکو و بررسی همسایگی بین امواج مجاور می‌باشد. برای این امر می‌بایست ابتدا یک مکعب اندازه‌گیری مکانی-زمانی (x,y,t) تولید می‌گردد تا روابط همسایگی^(۱۶) را نشان دهد، سپس مکعب به مقطع‌های عمودی در صفحه $(y-t)$ تقسیم می‌گردد تا اطلاعات ۲/۵ بعدی و ارتباطات لازم را ارائه دهد. اشکال عمده این روش عدم دسترسی به داده‌های خام لیدار موج-پیوسته می‌باشد که دلیل عمده آن عدم تمایل شرکت‌های تولید کننده داده موج-پیوسته به ارائه خام محصولاتشان می‌باشد. به همین دلیل تحقیقات در این زمینه با چالش‌های فراوانی همراه می‌باشد.

در رویکرد دوم شرکت تولید کننده داده‌های لیدار مراحل پس-پردازشی^(۱۷) لازم را روی داده‌های لیدار انجام داده و خروجی نهایی را ارائه می‌دهد. در جدول زیر نمونه‌ای از خروجی داده‌های لیدار موج-پیوسته می‌باشد. همانطور که در جدول ۱ دیده می‌شود در این رویکرد آنچه در اختیار محققین برای بررسی می‌باشد شامل مختصات سه‌بعدی نقاط به همراه پارامترهایی می‌باشد که در مرحله پس-پردازش بدست آمده و در اختیار می‌باشد. بنابراین با تکیه بر دو نوع داده هندسی (X,Y,Z) و فیزیکی (دامنه^(۱۸)، پهنا^(۱۹)، شماره اکو^(۲۰)) میتوان الگوریتم‌های گوناگونی را بر روی



جدول ۱

X	Y	Z	Time	Amplitude	EchoWidth	EchoNumber
-2157.63	337205.51	241.57	146914.104146	37	1.934	1
-2157.63	337205.51	241.57	146914.104166	57	1.901	1
-2157.54	337205.49	241.37	146914.121489	21	1.879	1
-2154.76	337205.07	239.5	146914.121508	83	1.829	1
-2156.54	337205.51	241.57	146914.121528	30	2.335	1
-2157.37	337205.97	241.95	146914.121548	38	1.991	1
-2154.57	337204.95	241.19	146914.138854	138	1.832	1
-2153.26	337205.26	240.92	146914.138874	25	1.865	1
-2154.1	337205.7	240.84	146914.138894	25	1.885	1

ما در این مقاله وارد جزئیات لیدارهای عمق‌سنج نمی‌شویم. برای مطالعه بیشتر می‌توانید به (Guenther, Cunningham et al. 2000) مراجعه کنید. هم‌اکنون سیستم‌های لیدار عمق‌سنجی متعددی موجود است: **LARSEN500**: جزء اولین سیستم‌های عمق‌سنجی می‌باشد **LADS**: مخفف Laser Airborne Depth Sounder **SHOALS**: مخفف Scanning Hydrographic Operational Airborne Lidar Survey می‌باشد. این سیستمها از سال ۱۹۹۴ کاملاً عملیاتی شدند. **Hawk Eye**: این سیستم در سوئد براساس مدل مشابهی از سیستم‌های **SHOALS** طراحی و ساخته شد. **EAARL**: مخفف Experimental Advanced Airborne Research Lidar می‌باشد. این سیستم توسط ناسا^(۳۳) در سال ۲۰۰۲ طراحی و ساخته شد.

۲-۵- سیستم‌های لیدار آزمایشی

نسخه‌هایی از سیستم‌های لیدار موج-پیوسته که توسط ناسا طراحی شده‌اند به بررسی ویژگی‌های مناطق جنگلی یا پوشش زمین^(۲۴) می‌پردازند. هدف آنها نقشه‌برداری از مناطق وسیع با قدرت تفکیک^(۲۵) چندین متر و پهنای باند^(۲۶) یک کیلومتر می‌باشد.

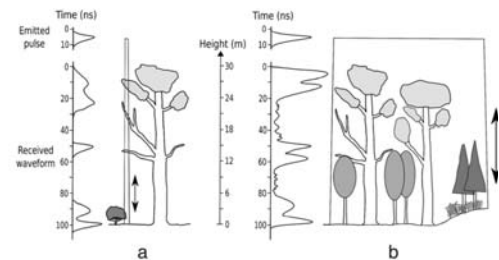
SLICER (Scanning Lidar Imager of Canopies by Echo Recovery)

این سیستم به عنوان پیشگام سیستم‌های توپوگرافیک ابتدا برای نشان دادن ساختار عمودی سطح پوشش گیاهی طراحی شده بود. این دستگاه هوایی با حالت سطح مؤثر متوسط^(۲۷) نشان داد که سیستم‌های موج-پیوسته می‌توانند برای ارزیابی خصوصیات مناطق جنگلی، تمایز بین سن و گونه‌ی درختان بکار گرفته شوند (Lefsky, Harding et al. 1999b). داده SLICER را می‌توان به صورت آنلاین دانلود کرد (SLICER 2008).

SLA (Shuttle Laser Altimeter)

این سنجنده ماهواره‌ای برای پوشش دریاها، ابرها، و زمین (یخچال‌ها، تکتونیک، هیدرولوژی، ژئومورفولوژی، و غیره) طراحی شده است.

از سنجنده به تارگت دچار اعوجاج می‌گردد و دامنه و پهنای آن دچار تغییر می‌گردد. این نکته از این نظر حائز اهمیت می‌باشد که تغییرات در شکل و حالت موج متناسب با اشیایی می‌باشد که موج در مسیر حرکت خود به آنها برخورد می‌کند. بنابراین از شکل موج و پارامترهای استخراجی از آن می‌توان اشیای مختلفی که موج از آنها عبور کرده را شناسایی کرد.



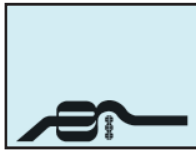
نگاره ۵

۵- بررسی انواع گوناگون لیدار موج-پیوسته^(۲۱)

اولین سیستم موج-پیوسته در دهه ۱۹۸۰ برای مقاصد عمق‌سنجی، طراحی و مورد استفاده قرار گرفت (Guenther and Mesick 1999). سیستم‌های توپوگرافیک در اواسط دهه ۱۹۹۰ ظهور کردند و پس از چند سال به صورت تجاری در دسترس قرار گرفتند (Mallet and Bretar 2009). می‌توان سیستم‌های لیدار موج-پیوسته را به سه گروه عمده تقسیم کرد.

۱-۵- سیستم‌های لیدار عمق‌یاب

در این نوع سیستم‌ها برای تخمین دقیق عمق دریاها از دو اشعه استفاده می‌گردد، یکی سبز (۵۳۲ نانومتر) و دیگری مادون قرمز (۱۰۶۴ نانومتر). اشعه سبز از سطح آب می‌گذرد و با از دست دادن حداقل انرژی و رسیدن به کف دریا در آب منتشر می‌گردد. اشعه مادون قرمز از آب منعکس می‌شود و فاصله هواپیما تا سطح دریا را می‌دهد. پس امواج عمق‌سنجی شامل دو پیک^(۲۲) (قله) می‌باشند. پردازش این امواج شامل پیدا کردن دو ماکزیمم اصلی سیگنال و استخراج فاصله می‌باشد.



دارای پتانسیل قابل توجهی هستند اما کاربرد خاصی برایشان تعیین نشده است (Hug 2004). شرکت‌های سازنده شامل Riegl (اتریش)، TopoSys (آلمان)، TopEye/Blom (سوئد) و Optech (کانادا) می‌باشد. سری‌های لیزر اسکنر هوایی Leica (سوئیس-آلمان) هم اکنون رقومی ساز موج-پیوسته ندارد اما در این زمینه قدم‌هایی برداشته‌اند.

۶- کاربردهای لیدار موج-پیوسته ۱-۶- کاربرد در مناطق جنگلی

داده لیدار موج-پیوسته به صورت گسترده‌ای در تحقیقات مربوط به تحلیل مناطق جنگلی و یافتن پارامترهای گوناگون مرتبط با مطالعه جنگلها بکار می‌روند. در موارد خاصتر به پردازش داده‌های موج-پیوسته در مقیاس یک درخت پرداخته می‌شود. برای مثال، در (Reitberger, 2007) می‌توان ساقه درختان را از هم تشخیص داد، اما برای رسیدن به مدل شاخه‌ها چگالی نقطه بسیار بالایی مورد نیاز است (نگاره ۶).

در کنار این موضوع، تاج درختان^(۲۹) را می‌توان به صورت سه‌بعدی قطعه‌بندی^(۳۰) کرد، مخصوصاً در لایه بالای پوشش گیاهی (Reitberger 2008b). در حقیقت، ویژگی‌هایی که توسط تحلیل موج بدست آمده است در ترکیب با خصوصیات هندسی برای طبقه‌بندی درختان برگ‌ریز^(۳۱) و مخروط‌وار^(۳۲) مورد استفاده قرار می‌گیرند (Reitberger 2008a). نتایج بستگی به چگالی نقاط و شرایط بابرگ/بدون برگ دارد.

پارامترهای لیدار موج-پیوسته برای تخمین ویژگی‌های درختستان در ادامه فهرست شده‌اند:

- ارتفاع پوشش گیاهی
- توزیع عمودی اجزا تشکیل دهنده پوشش گیاهی
- پروفیل ارتفاعی پوشش گیاهی
- میزان پوشش گیاهی
- پروفیل حجمی پوشش گیاهی
- حجم-توده^(۳۳) بالای سطح زمین
- منطقه پایه‌ای و اساسی
- متوسط قطر تنه
- حجم تنه و تاج

کارهای نخست در زمینه پارامترهای تغییرات جنگل با کمک داده‌های لیدار با سطح مؤثر بزرگ^(۳۴) انجام پذیرفت. معرفی ویژگی‌های موج، مثل اندازه و پهنای پالس، برای تقویت الگوریتم‌های تفکیک زمین/غیرزمین و استخراج DTM قابل اعتماد، جالب خواهد بود.

۶-۲- کاربرد در مناطق شهری

در زمینه استفاده از داده‌های لیدار موج-پیوسته در مناطق شهری تحقیقات بسیار محدودی انجام شده است. در مقاله (Jotzi and Stilla 2006) از پردازش سیگنالی داده‌های موج-پیوسته برای استخراج لبه استفاده شده است. در کاری که توسط (Mallet, Bretar et al. 2008) انجام شده است با کمک پارامترهای استخراجی از پالس لیزر بازگشتی به طبقه‌بندی ابرنقاط لیدار

دو نسخه از آن تولید شد، SLA-۰۱ و ۰۲ (۱۹۹۶-۱۹۹۷)، که منظور از طراحی آنها امکان‌سنجی سیستم‌های آینده MBLA و GLAS بود. SLA-۰۲ برای بررسی دقت مدل رقومی زمین در مقیاس جهانی با قدرت تفکیک ۱ کیلومتر، بکار گرفته شد و در نتیجه یکسری بایاس‌های سیستماتیک را نشان داد (Harding 1999).

LVIS (Laser Vegetation Imaging Sensor)

این نسخه بهبود یافته SLICER برای آزمایش و تأمین داده به منظور گسترش الگوریتم‌ها، کالیبره کردن سیستم‌ها و ارزیابی عملکرد اندازه‌گیری‌ها برای مأموریت آینده VCL (Vegetation Canopy Lidar) استفاده شد. این سیستم همچنین پتانسیل داده موج-پیوسته را برای تعیین ویژگی‌های نواحی جنگلی و اندازه‌گیری توپوگرافی زمین حتی در زیر پوشش گیاهی را به نمایش گذاشت (Blair 1999). استفاده اصلی آن برای گسترش الگوریتم‌های آنی (online) برای طبقه‌بندی نقاط زمینی با کمک تحلیل موج بازگشتی استوار بود. داده‌های نمونه از این سیستم در دسترس عموم قرار دارد (LVIS 2008).

MBLA (Multi-Beam Laser Altimeter)

سیستم MBLA بخشی از مأموریت VCL (Vegetation Canopy Lidar) بود. VCL یک سیستم سنجنش از دوری لیدار ماهواره‌ای است که شامل پنج ابزار ارسال اشعه پیوسته با ۲۵ متر قدرت تفکیک در راستای پرواز می‌باشد. VCL برای تأمین مجموعه داده‌هایی به منظور درک مسائل و مشکلات اساسی محیط‌زیستی (تغییرات آب و هوایی، حفظ کاربری اراضی) و تقویت بیومس (biomass) جهانی و تخمین موجودی کربن هدف‌گذاری شد. اهداف اندازه‌گیری اصلی VCL ارتفاع بالای پوشش گیاهی، توزیع عمودی سطوح موردنظر و ارتفاع توپوگرافیک سطح زمین می‌باشد (VCL 2008). این پروژه قرار بود که در سال ۲۰۰۳ عملیاتی گردد، اما رها شد.

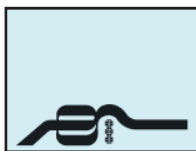
GLAS (Geoscience Laser Altimetry System)

سنجنده GLAS در ژانویه ۲۰۰۳ بر روی ماهواره ICESat نصب و راهی مدار زمین شد. این سنجنده برای مطالعه بر روی روند تکاملی زمین و جرمهای یخچالی دریا در اقیانوس منجمد شمالی و گرینلند، زبری و ضخامت دریا یخی، توپوگرافی (با کمک لیزر ۱۰۶۴ نانومتری) و ساختار عمودی ابرها و هواویزها (لیزر ۵۳۲ نانومتری) بکار گرفته شده است (Geophysic 2005; GLAS 2008).

ICESat موج بازگشتی را به صورت آنی به زمین/یخ و قطعه یخ/دریا تقسیم می‌کند. این طبقه‌بندی با تحلیل موج بازگشتی و تعیین توزیع‌های گوسی انجام می‌پذیرد. از این توزیع‌های گوسی ویژگی‌های اصلی قابل استخراج می‌باشند (Brenner 2003). مجموعه داده‌ها در سایت مأموریت فضایی موجود است (ICESAT 2008).

سیستم‌های لیدار تجاری

نسخه عملیاتی سیستم‌های موج-پیوسته تجاری از سال ۲۰۰۴ به این طرف موجود بوده است. این سیستم‌ها با حالت سطح مؤثر کوچک^(۲۸)



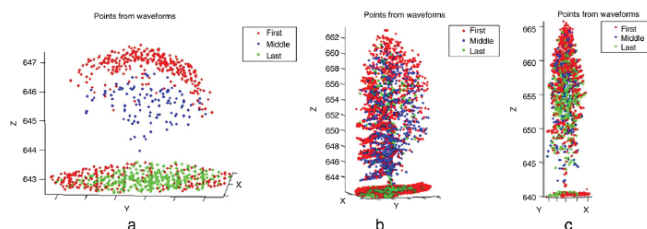
Sensing and Spatial Information Sciences 32(part 3/W14): 81-85.

10. Hug, C., Ullrich, A., Grimm, A. (2004). «Litemapper-5600-A waveform-digitizing LIDAR terrain and vegetation mapping system.» International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 36(Part 8/ W2): 24-29.
11. ICESAT (2008). «Website of the ICESAT mission with in particular technical information and GLAS system data.» Retrieved 24.07.08, from <http://icesat.gsfc.nasa.gov/>.
12. Jotzi, B. and U. Stilla (2006). «Range determination with waveform recording laser systems using a Wiener Filter.» ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 61: 95-107.
13. Lefsky, M., D. Harding, et al. (1999b). «Surface Lidar remote sensing of basal area and biomass in deciduous forests of eastern Maryland, USA.» Remote Sensing of Environment 67(1): 83-98.
14. LVIS (2008). «LVIS sensor website.» Retrieved 24.07.08, from <http://lvis.gsfc.nasa.gov/>.
15. Mallet, C. and F. Bretar (2009). «Full-waveform topographic lidar: State-of-the-art.» ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 64: 1-16.
16. Mallet, C., F. Bretar, et al. (2008). «Analysis of Full-Waveform Lidar Data for Classification of Urban Areas.» Photogrammetrie.Fernerkundung.Geoinformation 5: 337-349.
17. Reitberger, J., Krzystek, P., Stilla, U. (2007). «Combining tree segmentation and stem detection using full-waveform lidar data.» International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 36(Part 3/ W52): 332-337.
18. Reitberger, J., Krzystek, P., Stilla, U. (2008a). «Analysis of full waveform LIDAR data for the classification of deciduous and coniferous trees.» International Journal of Remote Sensing 29(5): 1407-1431.
19. Reitberger, J., Schnorr, C., Krzystek, P., Stilla, U. (2008b). «3D segmentation of full-waveform lidar data for single tree detection using normalized cutes.» International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 37(Part 3A): 77-83.
20. SLICER (2008). «Website of SLICER and SLA sensors.» Technical specifications and data available. 24.07.08, from <http://denali.gsfc.nasa.gov/lapf/>.
21. VCL (2008). «Website of the Vegetation Canopy Lidar mission.» Technical specifications, publications and data available Retrieved 18.07.08, from <http://www.geog.umd.edu/vcl/>.
22. Wagner, W., M. Hollaus, et al. (2008). «3d vegetation mapping using small-footprint full-waveform airborne laser scanners.» International Journal of Remote Sensing 29(5): 1433-1452.
23. Wagner, W., A. Ullrich, et al. (2006). «Gaussian decomposition and calibration of a novel small-footprint full-waveform digitising airborne laser scanner.» ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 60(2): 100-112.

پی نوشت

- 1- Full-waveform LIDAR
- 2- Pulse Width
- 3- Pulse Amplitude
- 4- Echo Number
- 5- Conventional or Classic LIDAR
- 6- Intensity
- 7- Digital Terrain Model
- 8- Peak Detection
- 9- RIEGL
- 10-Shape
- 11- Convolution
- 12- Surface Function
- 13- Peaks
- 14-Generalized Gaussian Function
- 15- Spatio-temporal measurement cube
- 16- Neighborhood relationships
- 17- Post-Processing
- 18- Amplitude
- 19- Echo Width
- 20- Echo Number
- 21- Mallet, C. and F. Bretar (2009). "Full-waveform topographic lidar: State-of-the-art." ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 64: 1-16.
- 22 - Peak
- 23- NASA (National Aeronautics and Space Agency)
- 24- Land Cover
- 25- Resolution
- 26- Swath width
- 27- Medium-sized footprint
- 28- Small footprint
- 29- Tree crowns
- 30- Segmentation
- 31- Deciduous
- 32- Coniferous
- 33- Biomass
- 34- Large footprint

موج-پیوسته در منطقه شهری پرداخته است. استفاده از این پارامترها در کنار پارامترهای هندسی نتایج قابل توجهی در زمینه تفکیک نقاط حاصل کرده است. زمینه کار در خصوص کاربردهای لیدار موج-پیوسته در مناطق شهری بسیار زیاد می باشد و امروزه یکی از زمینه های تحقیقاتی در حال انجام می باشد.



نگاره ۶

۷- نتیجه گیری

در این مقاله به معرفی نوع جدیدی از سنجنده لیدار پرداختیم، که قادر به ثبت کامل پالس لیزر بازگشتی می باشد. از لحاظ تئوریک به معرفی ویژگی های آن پرداختیم. در ادامه به کاربردهای گوناگون آن در مناطق جنگلی و شهری پرداختیم. همانطور که اشاره شد از بدو ایجاد این سیستم ها، از آن در کاربردهای مرتبط با جنگل بهره برده اند. بنابراین کارهای بسیار زیادی در این زمینه انجام شده است. اما در زمینه کاربردهای شهری آن تحقیقات بسیار کمی صورت گرفته است و جا دارد که در آینده در زمینه طبقه بندی ابر نقاط سه بعدی، استخراج عوارض گوناگون شهری، بازسازی و نهایتاً مدلسازی سه بعدی شهرها کارهای بیشتری انجام گرفته و از پتانسیل جدیدی که سیستم لیدار موج-پیوسته در اختیار می گذارد نهایت استفاده برده شود. داده های لیدار موج-پیوسته با پارامترهای جدیدی که در اختیار می گذارند، عملاً امکان ایجاد یک مدل کامل و دقیق شهری را فراهم می کنند. قدم بعدی استفاده از این مدل ها و عوارض استخراج شده شهری در پایگاه های داده GIS سه بعدی و انواع گوناگون سیستم های مدیریتی شهری می باشد.

۸- مراجع

1. Ackerman, F. (1999). «Airborne laser scanning-present status and future expectations.» ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 54: 64-67.
2. Blair, J., Hofton, M. (1999). «Modeling laser altimeter return waveform over complex vegetation using high-resolution elevation data.» Geophysical Research Letters 26(16): 2509-2512.
3. Brenner, A., Zwally, H., Bently, C., Csatho, B., Harding, D. Hofton, M. Minster, B., Roberts, L., Saba, J., Thomas, R., Yi, D. (2003). Derivation of range and range distributions from laser pulse waveform analysis for surface elevations, roughness, slope, and vegetation heights. Technical Report Geoscience Laser Altimeter System (GLAS).
4. Chauve, A., C. Mallet, et al. (2007). Processing Full-Waveform Lidar Data: Modelling Raw Signals. ISPRS Workshop on Laser Scanning Finland.
5. Geophysic (2005). «Special issue on Results From Ice, Cloud, and land Elevation Satellite (ICESAT) Mission.» Geophysical Research Letters 57(2-3-4).
6. GLAS (2008). «Website of GLAS system associated with ICESAT mission.» Retrieved 31.01.08, from <http://glas.gsfc.nasa.gov/>.
7. Guenther, G., A. Cunningham, et al. (2000). Meeting the accuracy challenge in airborne lidar bathymetry. 20th Workshop on Lidar Remote Sensing of Land and Sea. Dresden, Germany.
8. Guenther, G. and H. Mesick (1999). Analysis of airborne lidar bathymetric waveforms. the 9th Ocean Optics Orlando, FA, USA.
9. Harding, D., Gesh, D., Carabajal, C., Luthcke, S. (1999). «Application of the shuttle laser altimeter in an accuracy assessment of GTOPO30, a global 1-kilometer digital elevation model.» International Archives of Photogrammetry, Remote