معرفی سیستم لیدار (LIDAR)

گردآوری و ترجمه:

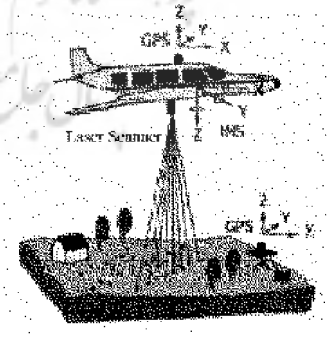
مهندس ابوالفضل آقایی میبدی
کارشناس ارشد سنجش از دور

مهندس جواد جعفری
کارشناس نقشه‌برداری

مقدمه

امروزه با پیشرفت و توسعه تکنولوژی، ابزار مختلفی بمنظور کسب اطلاعات از سطح زمین بکار گرفته می‌شود. استفاده از عکسهای هوایی که توسط دوربینهای نصب شده در هواپیما اخذ شدند، منجر به علم فتوگرامتری گردید. در این سیستم با عکسبرداری از منطقه با پوششهای مناسب و فرآیند تصحیح تصاویر، نقشه سه‌بعدی منطقه تهیه می‌شود. پس از آن با پیدایش تکنولوژی ماهواره‌ها، تصویربرداری از سطح زمین آغاز شده و علم سنجش از دور پدید آمد که بصورت فعال و غیرفعال به کسب اطلاعات از زمین پرداخت.

امروزه سیستمهای فعال که در آن سنجنده به عنوان مولد موج الکترومغناطیس، محدودهٔ مشخصی از طول موج را به سمت هدف ارسال نموده و بازگشت امواج را ثبت می‌نمایند، عرصه جدیدی را به وجود آورده است که اطلاعات متنوعی را ارائه می‌دهند. بطور کلی در تصویربرداری اپتیکی (نوری) فقط اطلاعات مربوط به دامنه ثبت می‌شود، اما توسط سنجنده‌های فعال که رادار و *LIDAR* از آن دسته‌اند، اطلاعات دیگری نیز ثبت می‌گردند. در این مقاله به معرفی سیستم *LIDAR* پرداخته می‌شود.



نگاره ۱: طرز کار سیستم LIDAR

LIDAR

LIDAR (Ligh Detection And Ranging) یک تکنولوژی شبیه به رادار است که با ارسال موج لیزر به سمت عارضه و دریافت آن، با ثبت شدت موج رسیده و اندازه‌گیری زمان رفت و برگشت موج، تصویر عارضه را ثبت و فاصله را محاسبه می‌نماید.

در سیستم *LIDAR* که به نام‌های *Laser Radar* یا *Optical Radar* و *ALSM (Airborn Laser Swath Mapping)* بیان می‌گردد، از فرکانسهای نوری استفاده می‌شود. این تکنولوژی قادر است فاصله بین سنجنده تا شیء یا یک سطح را توسط پالس‌های لیزری اندازه‌گیری نماید. مانند سیستم رادار که از امواج رادیویی و راداری و با اندازه‌گیری زمان ارسال موج تا دریافت موج، فاصله را محاسبه می‌کند، سیستم *LIDAR* از نور یا لیزر بدین منظور استفاده می‌نماید. تفاوت اصلی *LIDAR* و *RADAR* در طول موج‌های مورد استفاده می‌باشد. در *LIDAR* از طول موج‌های بسیار کوچک که نوعاً در محدودهٔ ماوراء بنفش، مرئی یا مادون قرمز نزدیک است، استفاده می‌شود. اما در *RADAR* از امواج با طول موجهای بلند در محدوده ماکروویو استفاده می‌شود. لازم به ذکر است طول موجهای بکار گرفته شده در *LIDAR* حدوداً ۱۰،۰۰۰ تا ۱۰۰،۰۰۰ برابر کوچکتر از طول موجهای سیستم رادار است.

در *LIDAR* ممکن است از موج پیوسته *(Continuous wave)* و یا پالس *(Pulse)* بصورت متمرکز و یا پرتوهای موازی استفاده شود.

امواج پیوسته در *LIDAR* هنگامی استفاده می‌شود که فواصل کوتاه و پریودهای طولانی مورد نظر باشد. درمواردی که از لیزر و بصورت پالس استفاده می‌شود از توان بسیار بالاتری در طول کار استفاده می‌شود، بنابراین نسبت سیگنال به نویز *(S/N)* بیشتر است. در سیستمهای *LIDAR* که از پالس استفاده می‌شود معمولاً برای اندازه‌گیری فواصل دور استفاده می‌گردد. *LIDAR* ممکن است دارای یک فرستنده و یک گیرنده بصورت جداگانه باشد *(Bistatic)* و یا دارای یک بخش بوده که در آن ارسال و دریافت امواج صورت می‌گیرد *(Monostatic)*. سیستم *Monostatic* بدلایل زیر در اندازه‌گیری علمی ترجیح داده می‌شود:

– امتدادگذاری و نشانه روی، هر دو در یک مسیر قرار می‌گیرند.
– ارسال و دریافت داده‌ها از یک محل صورت می‌گیرد.
– فقط یک دستگاه وجود دارد.

دربرخی از سیستمهای *LIDAR* به‌نام *Coherent Laser Radars (CLR)* علاوه بر اطلاعات دامنه و زمان، اطلاعات فاز *(Phase)* نیز ثبت می‌شوند.

بطور کلی سه نوع سیستم *LIDAR* وجود دارد:

- *Range Finder LIDAR*: از ساده‌ترین نوع *LIDAR* است. این نوع *LIDAR* برای اندازه‌گیری فاصله بین *LIDAR* تا عارضه خاص استفاده می‌شود.
- *DIAL (Differential Absorption LIDAR)*: از این سیستم *LIDAR* برای اندازه‌گیری توده‌های شیمیایی از قبیل ازن، بخار آب و آلودگیها در اتمسفر استفاده می‌شود. یک *DIAL* از دو طول موج متفاوت

لیزر استفاده می‌کند و به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که یکی از طول موجها توسط مولکولهای مورد نظر جذب شده و دیگری عبور کند. از طریق اختلاف بین مقادیر سیگنالهای بازگشتی دو طول موج می‌توان به وجود مولکولهای مورد نظر در اتمسفر پی برد.

● *Doppler LIDAR*: این سیستم به منظور اندازه‌گیری سرعت یک هدف، مورد استفاده قرار می‌گیرد. هنگامی که نور از سمت این سیستم به عارضه‌ای که در حال دور شدن یانزدیک شدن به سیستم *LIDAR* باشد، ارسال گردد، طول موج نور بازتابی از هدف تغییر می‌نماید. این پدیده به عنوان پدیدهٔ جابجایی *Doppler* شناخته شده است، به همین علت این سیستم با نام *Doppler LIDAR* خوانده می‌شود. هنگامی که هدف در حال دور شدن از سیستم *LIDAR* باشد، نور بازگشتی طول موج بلندتری خواهد داشت. در حالیکه اگر هدف به سمت *LIDAR* در حال نزدیک شدن باشد، طول موج کوتاهتری به سنجنده می‌رسد. از این سیستم می‌توان برای تعیین سرعت اجسام مختلف استفاده کرد. همچنین می‌توان سرعت باد را از طریق اندازه‌گیری سرعت ذرات معلق در هوا اندازه‌گیری نمود.

تهیه مدل سه‌بعدی زمین با استفاده از تکنیک *LIDAR*

یکی از کاربردهای مهم *LIDAR* که امروزه در بخشهای نقشه‌برداری هوایی در اروپا و آمریکای شمالی بسیار استفاده می‌شود، تهیه و تولید مدل ارتفاعی رقومی دقیق *(DEM)* با دقت در حد ۱۰*cm* و تهیه مدل سه‌بعدی از سطح زمین می‌باشد.

یک سیستم *LIDAR* شامل قسمتهای زیر می‌باشد:

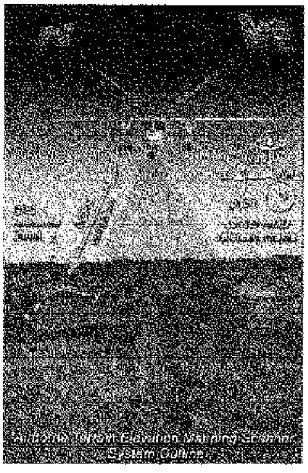
– یک سیستم اسکن کننده که پالس لیزر را تولید کرده و امواج بازگشتی از سطح زمین را ثبت می‌کند.

– یک *GPS* نصب شده در هواپیما بمنظور ثبت موقعیت سنجنده.

– یک واحد اندازه‌گیری اینرشیال *(IMU)* بمنظور اندازه‌گیری دورانهای سنجنده یا *Attitude*.

– یک ایستگاه *GPS* مستقر در سطح زمین بمنظور استفاده از روش تفاضلی *(DGPS)* برای تعیین موقعیت دقیق.

نگارهٔ ۲ طرز عمل سیستم *LIDAR* و اجزای آن رانشان می‌دهد.



نگاره ۲: اصول به کار رفته در سیستم LIDAR

سیستم نوری بخش اسکن کننده، پالس لیزری را با ۷۵۰۰۰ پالس در هر ثانیه و در جهت عمود بر مسیر حرکت سنجنده به سمت زمین ارسال کرده و نقاط زمینی را در فواصل ۰/۵ تا ۴ متری برداشت می‌کند که در واقع همان توان تفکیک مکانی سنجنده می‌باشد. فواصل نقاط برداشت شده بسته به سرعت سنجنده متغیر خواهد بود. با کاهش سرعت سنجنده فواصل برداشت کمتر شده لذا توان تفکیک مکانی بهبود می‌یابد.

با اندازه‌گیری دقیق زمان رفت و برگشت لیزر و با معلوم بودن سرعت نور، فاصله *LIDAR* تا نقطهٔ زمینی مطابق رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$d = \frac{c.t}{2}$$

که t زمان رفت و برگشت و c سرعت نور خواهد بود.

دقت تعیین فاصله *LIDAR* به عوامل زیر بستگی دارد:

– ارتفاع پرواز که برروی شدت موج بازگشتی تاثیرگذار است.

– دقت دستگاه *LIDAR* و سیستم پردازش کننده.

– صحت و دقت موقعیت سنجنده، ارتفاع و داده‌های *Attitude*

– مشخصات عارضه (اندازه‌گیری‌های دقیق‌تر می‌تواند از سطوح جامد و سخت حاصل شود)

GPS نصب شده در هواپیما به منظور تعیین موقعیت *X,Y,Z* سنجنده استفاده می‌شود. همچنین میزان دوران‌های سنجنده حول سه محور *X,Y,Z* که به نام *Attitude* معرفی می‌گردد توسط یک سیستم اندازه‌گیری اینرشیال *(IMU)* که شامل شتاب سنج و ژیروسکوپ می‌باشد اندازه‌گیری می‌شوند. بمنظور افزایش دقت تعیین موقعیت سنجنده، می‌توان از یک ایستگاه *GPS* زمینی استفاده کرده و به روش تفاضلی *(Differential)* موقعیت دقیق سنجنده را تعیین کرد. لذا با معلوم بودن مختصات دقیق سنجنده و فاصله بین سنجنده تا هر نقطه می‌توان مختصات سه‌بعدی هر نقطه در روی زمین را تعیین کرده و نقشهٔ توپوگرافی سطح زمین را بدست آورد.

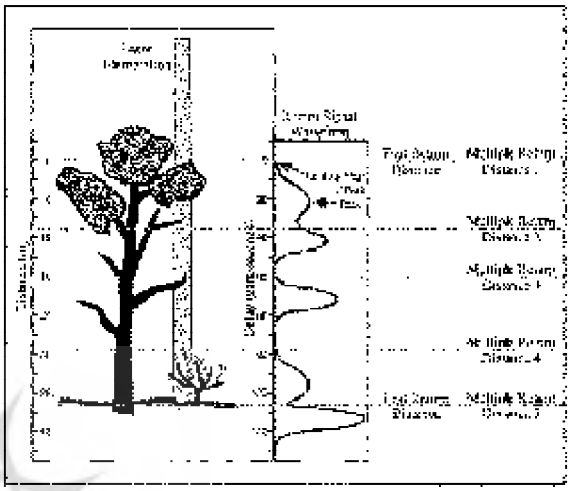
یکی از تفاوتهای عمده سیستم *LIDAR, RADAR* در این است که *LIDAR* قادر به اندازه‌گیری در تمام شرایط آب و هوایی نمی‌باشد. چراکه بدلیل کوچک بودن طول موجهای لیزر، ذرات با قطر کوچک از قبیل ذرات باران، ابر و گردوغبار، به عنوان یک مانع در برابر این امواج قرار می‌گیرند. اما در سیستمهای *RADAR* به دلیل استفاده از طول موجهای بلند، این مشکل بوجود نمی‌آید. لازم به ذکر است *LIDAR* قادر است هم در شب و هم در روز اطلاعات کسب نماید. در سالهای اخیر در کنار سیستم *LIDAR* از دوربینهای رقومی نیز استفاده می‌شود. پس پردازشهای انجام شده برروی داده‌های *LIDAR* شامل موارد زیر می‌باشد:

– استفاده از داده‌های *GPS* زمینی به منظور زمین مرجع نمودن داده‌ها

– فیلتر نمودن داده‌ها بمنظور جدا کردن داده‌های عوارض مختلف سطح زمین که باعث بازگشت‌های متفاوت یک پالس به سنجنده شده‌اند.

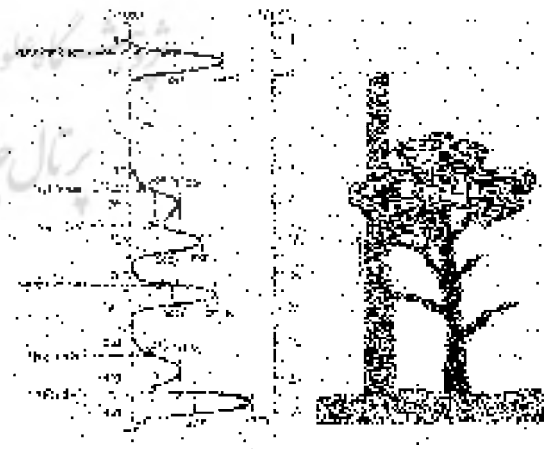
با توجه به اینکه یک پالس لیزر ممکن است به چند عارضه برخورد کرده و بازگشت آن در زمانهای متفاوت به سنجنده برسد، لذا نیاز به یک سری پس پردازش *(Post processing)* می‌باشد تا بتوان پالسهای بازگشتی متفاوت را از هم جدا نمود. که این عمل توسط الگوریتم‌های مختلفی که به منظور

Filter کردن وجود دارد انجام می‌شود. بعنوان مثال مطابق نگاره ۳ یک لیزر ممکن است به عوارض یا بخشهای مختلف برخورد کرده و بازگشتهای آنها با ترتیب خاصی و در زمانهای مجزا به سنجنده برسند. با جدا کردن این سیگنالهای دریافتی می‌توان بخشهای مختلف را از هم تمیز داد.



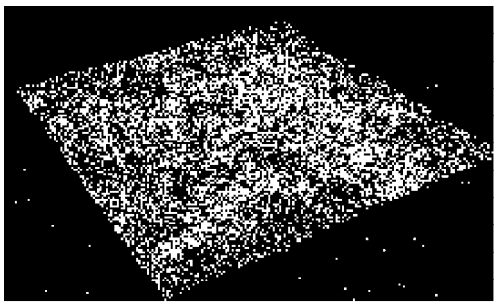
نگاره ۳: برخورد امواج حاصل از لیدار به پدیده‌های مختلف

در نگارهٔ (۴) نشان داده شده است که یک پالس لیزر به پنج عارضه برخورد کرده که پالسهای بازگشتی در زمانهای مجزا توسط سنجنده ثبت می‌شوند. لذا می‌توان با جدا کردن اولین سیگنال بازگشتی که مربوط به نوک درخت بوده و آخرین سیگنال بازگشتی که مربوط به سطح زمین است، ارتفاع درخت را بدست آورد.

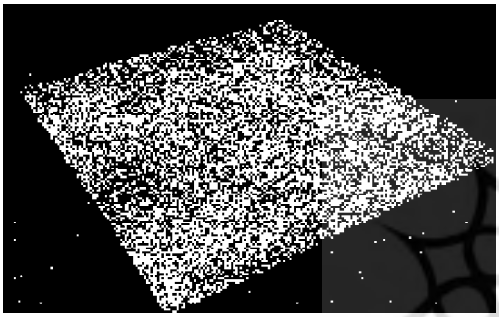


نگاره ۴: ثبت زمانهای مختلف بازگشت موج توسط عوارض

نگارهٔ ۵ و ۶ حذف عوارض خاصی را از طریق فیلتر کردن برای رسیدن به یک سطح مشخص نشان می‌دهد. نگارهٔ ۵ اولین بازتاب رسیده به سنجنده را نشان می‌دهد. نگارهٔ ۶ توپوگرافی سطح زمین را نشان می‌دهد که حاصل از فیلتر امواج بازگشتی می‌باشد. از این خاصیت می‌توان در تعیین انواع پوششهای سطح زمین و میزان سن گیاهان استفاده کرد.



نگاره ۵: اولین بازتاب رسیده به سنجنده



نگاره ۶: توپوگرافی سطح زمین پس از فیلتر امواج بازگشتی

کاربردها

سیستم *LIDAR* علاوه بر تهیه مدل سه‌بعدی زمین کاربردهای متعددی دارد. از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- تهیه نقشه‌های زیربنایی شهری
- جنگلداری
- هیدروگرافی
- مطالعات اتمسفری
- تولید محصولات سه‌بعدی و شبیه‌سازی پرواز
- کاربردهای نظامی
- بررسی تغییرات کوچک ارتفاعی در سطح زمین

منابع

1- *http:// WWW.ghcc.msFc.nasa.gov.*

2- *http:// WWW.usgs.gov*

3- *http:// WWW.asprs.org/asprs/Publications/Pe & Rs/2001 journal/ november/ highlight 1. html*

4- *http:// WWW.Lidar.com*

5- *http://WWW. gnu.org*

6- *http:// WWW.W3.org*

7- *http:// WWW.space.com*

8- *http:// Vulcan.wr.usgs.gov/Monitoring / LIDAR*