فصلنامه علوم و فنون نظامی
سال هفتم، شماره ۱۷، تابستان ۱۳۸۹، صص:۱۱۶ -۹۷
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۹/۲
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۸۹/۱۱/۲۰

سامانه لیدار[1] و کاربردهای آن در عملیات دریایی

افراسیاب فدوی[2]

چکیده:

نیروی دریایی یک نیروی تجهیزات محور و تخصص محور است. نیروی دریایی راهبردی به تجهیزات خاص نیاز دارد.

امروزه عملیات دریایی بر محور عملیات زیرسطحی می‌چرخد. در این راستا طراحان عملیات دریایی و سازه‌های زیرسطحی به‌دنبال راه‌هایی هستند، که توسط حساسه‌های صوتی طرف مقابل (دشمن) مورد کشف و شناسایی قرار نگیرند. این فرایند دوطرفه همیشه در جریان است. یکی از فناوری‌هایی که قابلیت تشخیص زیر دریا را بدون استفاده از امواج صوتی دارد، سامانه لیدار می‌باشد. اساس کار لیدار و رادار مشابه بوده و تفاوت این دو در طول موج‌های مورد استفاده آن‌ها است، در حالی که رادار از امواج رادیویی با طول موج‌هایی در حد سانتی‌متر استفاده می‌نماید، لیدار از طول موج‌های نوری که توسط لیزرها فراهم می‌شوند، بهره می‌برد. یکی دیگر از تفاوت‌های عمده رادار و لیدار این است که لیدار قادر به اندازه‌گیری در تمام شرایط آب و هوایی نمی‌باشد.

امروزه از این فناوری در اقیانوس‌نگاری و تحقیقات اقیانوس‌شناسی مانند بررسی عمق آب در نقاط مختلف، تعیین آلاینده‌های موجود در آب و همچنین تصویربرداری از اجسام غوطه‌ور در آب استفاده می‌شود. کاربردهای نظامی این سامانه در تهیه نقشه‌های توپوگرافی با دقت بالا، در هیدروگرافی برای اندازه‌گیری عمق آب‌های سطحی و ارتفاع زمین‌های اطراف سواحل و قابل ذکر است، این سامانه تنها سامانه‌ای است که می‌تواند در یک عملیات نقشه‌برداری هر دو اطلاعات هیدروگرافی و توپوگرافی را جمع‌آوری کند و در عملیات ضدزیردریایی جهت شناسایی و تصویربرداری از زیر دریایی‌های دشمن از این سامانه استفاده و در هواشناسی برای اندازه‌گیری توده‌های شیمیایی از قبیل لایه ازن، بخار آب و آلودگی‌ها در اتمسفر نیز بهره‌برداری می‌گردد. به‌علاوه از این سامانه در جنگل‌داری، توسعه شهری و اکتشاف نفت استفاده شده است.

کلید واژگان: لیدار، لیزر، توپوگرافی، هیدروگرافی، نقشه‌برداری، موقعیت‌یاب جهانی.

---

1 -LIDAR: Light Detection and Ranging

۲- کارشناس ارشد مدیریت دفاعی و رئیس کمیته فرماندهی و ستاد گات دریایی

مقدمه:

امروزه افزایش چالش‌ها بسیار فراتر از روبرو شدن با دشمنان بالقوه که به سلاح‌های مدرن دسترسی دارند، است. بخش‌های تجزیه و تحلیل امور نظامی روند این تغییرات را بررسی می نمایند، که آیا رشته‌های اخیر نظامی و فناوری‌های در حال ظهور در ترکیب، سازمان و تغییرات عملیاتی، پیشرفت‌های چشم‌گیری در اثربخشی نظامی که به آن انقلاب در امور نظامی می‌گویند به‌وجود خواهد آورد؟

مهم‌ترین اصل در عملیات ضدزیردریایی، کشف یگان زیرسطحی است. سامانه‌های کشف زیردریایی به دو گروه صوتی و غیرصوتی تقسیم‌بندی می‌شوند. سامانه‌های صوتی با انتشار صوت نسبت به کشف و شناسایی هدف مورد نظر اقدام می‌کنند. از معروف‌ترین آنها می‌توان به سونارها و بویه‌های سوناری (سونوبوی) اشاره کرد.

سامانه‌های غیرصوتی کشف زیردریایی که در انواع یگان‌های پروازی قابل نصب هستند با استفاده از طبیعت کره زمین (مغناطیس) و یا دانش جدید (لیزر) نسبت به کشف و شناسایی هدف مورد نظر اقدام می‌کنند. از معروف‌ترین این سامانه‌ها می‌توان به سامانه کشف دود، لیدار، سامانه پشتیبانی الکترونیکی وسامانه تشخیص تغییرات میدان مغناطیسی اشاره نمود.(طحانی،۱۳۸۹ص ۲۴)

با پیشرفت و توسعه فناوری، ابزارهای مختلفی به‌منظور کسب اطلاعات از سطح زمین به‌کار گرفته می‌شود. استفاده از عکس‌های هوایی توسط دوربین‌های نصب شده در هواپیما منجر به پیدایش علم فتوگرامتری شد. در این روش با عکس‌برداری از منطقه‌ای با پوشش‌های مناسب و فرآیند تصحیح تصاویر، نقشه سه‌بعدی منطقه تهیه می‌شود. پس از آن با پیدایش فناوری ماهواره‌ها، تصویربرداری از سطح زمین آغاز شد و علم سنجش از دور پدید آمد، که به‌صورت فعال و غیرفعال به کسب اطلاعات از زمین پرداخت. (آقایی، جعفری، ۱۳۸۶ص۳۲)

امروزه سامانه‌های فعال که در آن سنجنده به‌عنوان مولد موج الکترومغناطیس، محدودهٔ مشخصی از طول موج را به سمت هدف ارسال نموده و بازگشت امواج را ثبت می‌نمایند، عرصه جدیدی را به‌وجود آورده است که اطلاعات متنوعی را ارائه می‌دهند. به‌طور کلی در تصویر-برداری اپتیکی (نوری) فقط اطلاعات مربوط به دامنه ثبت ، اما توسط سنجنده‌های فعال که رادار و لیدار از آن دسته‌اند، اطلاعات بیشتری ثبت می‌گردند.

داده‌های مکانی نقش مهمی در تفسیر ما از محیط پیرامون بازی می‌کنند. فرآیند جمع‌آوری داده های توپوگرافی با روش‌های نقشه‌برداری زمینی تا فتوگرامتری فضایی و سنجش از دور و تکنیک جمع‌آوری داده در سال های اخیر با استفاده از سامانه لیدار که لیزر اسکنر هوایی[1] نامیده می‌شود، تحولی عظیم را در صحنه عملیات ایجاد نموده است. سامانه لیدار از سال ۱۹۷۰ میلادی توسعه یافت و قادر است به‌طور سه‌بعدی و تمام اتوماتیک اشیاء را از فضا، هوا، کشتی یا ایستگاه‌های زمینی اندازه‌گیری نماید. لیدار داده‌ها را از اولین سطحی که پرتو لیزر با آن برخورد می‌کند، جمع‌آوری و مدل رقومی سطح[2] حاصل، نمایش دهنده ارتفاع سطحی است که ترکیبی از سطح زمین لخت[3] و عوارض روی زمین می‌باشد. سامانه لیدار، اطلاعات سه بُعدی رقومی مربوط به شکل زمین، شامل تعیین ساختار سطح قائم، ارتفاع عوارض روی زمین، درختان، بوته‌ها و ساختمان‌ها و روشنایی که عوارض سطحی تولید می‌کند را تهیه می‌نماید. در واقع، فناوری لیدار ابزار مکملی جهت اخذ اطلاعات سه بعدی در کنار فتوگرامتری فضایی و سنجش از دور است. لیدار یک سامانه فعال است و انواع هوایی آن قادر به ایجاد ابر نقاط با تراکم بالا (یک نقطه در متر مربع یا بالاتر) و با دقت نسبتاً خوب ۵۲ تا ۵۱ سانتی‌متر در ارتفاع ۳۰ تا ۱۰۰ سانتیمتر در سطح برای ارتفاع پرواز کمتر از ۲ کیلومتر از سطح زمین) در مدت زمان نسبتاً کوتاهی می‌باشد. امتیازات این سامانه، شامل قابلیت استفاده در شب و روز، قابلیت نفوذ در جنگل و پوشش‌های گیاهی مختلف وجمع‌آوری سریع اطلاعات از زمین و دریا در سطح وسیع به‌صورت رقومی است. اکنون سامانه لیدار برای تهیه نقشه توپوگرافی، نقشه جنگل‌ها، دریاها، زمین‌های مسطح، نقشه راه‌ها، دالان‌ها، خطوط ریلی، خطوط نیرو و مدل سازی شهری، فضاهای شهری، ارتباطات بی‌سیم و محاسبات کارهای مهندسی، مدیریت نواحی ساحلی و کشف و استخراج نفت استفاده می‌شود.

۱- لیدار چیست؟

لیدار که مخفف عبارت آشکارسازی نوری و بردیابی است، یک نوع دورحسی نوری از نوع فعال می‌باشد، که در آن با استفاده از لیزر پالسی، پالس‌هایی به درون محیط تزریق، آن‌گاه نور پس

1 - Airborne laser scanner
2 - Digital surface model
3 - Bare-earth

پراکنده شده و با تأخیر زمانی معین توسط سامانه آشکارساز لیدار، آشکار می‌گردد. این سامانه با ارسال پالس‌های لیزری به سمت هدف، زمان بازگشت پالس به سمت گیرنده را اندازه‌گیری و با توجه به سرعت نور، فاصله هدف را محاسبه می‌کند. لیدار یا سامانه فاصله‌یاب و کشف لیزری یک سامانه سنجش از دور است، که به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات توپوگرافی استفاده می‌گردد. بر این اساس، تکنیک لیدار شباهت بسیار زیادی به تکنیک رادار دارد. به این دلیل به رادار لیزری[1] نیز مشهور است. تفاوت این دو را می‌توان در طول موج‌های مورد استفاده آن‌ها جستجو کرد. در حالی‌که رادار از امواج رادیویی با طول موج‌هایی در حد سانتی‌متر استفاده می‌نماید، لیدار از طول موج‌های نوری که توسط لیزرها فراهم می‌شوند، بهره می‌برد. این سامانه با سامانه‌های موقعیت‌یاب جهانی و اندازه‌گیری اینرشیال یکپارچه و در یگان‌های پروازی نصب می‌شود. حساسه‌های لیدار، اطلاعات نقاطی که به‌طور مرتب توسط سامانه موقعیت‌یاب جهانی ثبت می‌گردد را جمع‌آوری، پردازش و تجزیه و تحلیل می‌کنند. سپس این اطلاعات به‌صورت طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع ثبت و به‌صورت مدل ارتفاع دیجیتالی نمایش داده می‌شود. اطلاعاتی که توسط سامانه لیدار جمع‌آوری می‌گردد، به صورت مختصات سه بعدی X,Y,Z است. اطلاعات لیدار قابل تلفیق با اطلاعات تصاویر هوایی بوده و با مقایسه این تصاویر می‌توان خصوصیات زمین و دریا را به سادگی شناسایی کرد. (آقایی، جعفری، ۱۳۸۶ص۳۲)

۲- اجزای لیدار:

به‌طور کلی یک سامانه لیدار از سه بخش اصلی تشکیل شده است:

الف) فرستنده

ب) گیرنده

ج) آشکارساز

۳- نحوه عمل‌کرد سامانه لیدار:

لیدار یک فناوری شبیه به رادار است که با ارسال موج لیزر به‌سمت عارضه و دریافت آن، با ثبت شدت موج برگشتی و اندازه‌گیری زمان رفت و برگشت موج، تصویر عارضه را ثبت و فاصله را محاسبه می‌نماید.

---

1 - Laser Radar

در سامانه لیدار که به‌نام‌های رادار لیزری، رادار نوری[۱] و ALMS[۲] بیان می‌گردد، از فرکانس‌های نوری استفاده می‌شود. این فناوری قادر است فاصلهٔ بین سنجنده تا شیء یا یک سطح را توسط پالس‌های لیزر اندازه‌گیری نماید. سامانه رادار با استفاده از امواج رادیویی و با اندازه‌گیری زمان ارسال موج تا دریافت موج، فاصله را محاسبه می‌کند، اما سامانه لیدار از نور یا لیزر استفاده می‌نماید. تفاوت اصلی لیدار و رادار در طول موج‌های مورد استفاده می‌باشد. در لیدار از طول موج‌های بسیار کوچک که به نوعی در محدودهٔ ماوراء بنفش، مرئی یا مادون قرمز نزدیک است، استفاده شده اما در رادار از امواج با طول موج‌های بلند در محدوده ماکروویو استفاده می‌شود. لازم به ذکر است طول موج‌های به‌کار گرفته شده در لیدار حدوداً ۱۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ برابر کوچک‌تر از طول موج‌های سامانه رادار است.

در لیدار ممکن است موج پیوسته[۳] یا پالس[۴] به‌صورت متمرکز یا به‌صورت پرتوهای موازی استفاده شود. امواج پیوسته در لیدار هنگامی استفاده می‌شود که فواصل کوتاه و پریودهای طولانی مورد نظر باشد. از لیزر به‌صورت پالس در مواردی استفاده می‌شود که از توان بسیار بالاتری در طول کار استفاده شود. بنابراین نسبت سیگنال به نویز بیشتر است، در سامانه‌های لیدار برای اندازه‌گیری فواصل دور معمولاً از پالس استفاده می‌شود.

لیدار ممکن است دارای یک فرستنده و یک گیرنده به‌صورت جداگانه باشد[۵] یا دارای یک بخش بوده که در آن ارسال و دریافت امواج صورت می‌گیرد.[۶] (شکل ۱) این سامانه به‌دلایل زیر در اندازه‌گیری علمی ترجیح داده می‌شود:

(۱) امتدادگذاری و نشانه‌روی، هر دو در یک مسیر قرار می‌گیرند.

(۲) ارسال و دریافت داده‌ها از یک محل صورت می‌گیرد.

(۳) فقط یک دستگاه وجود دارد.

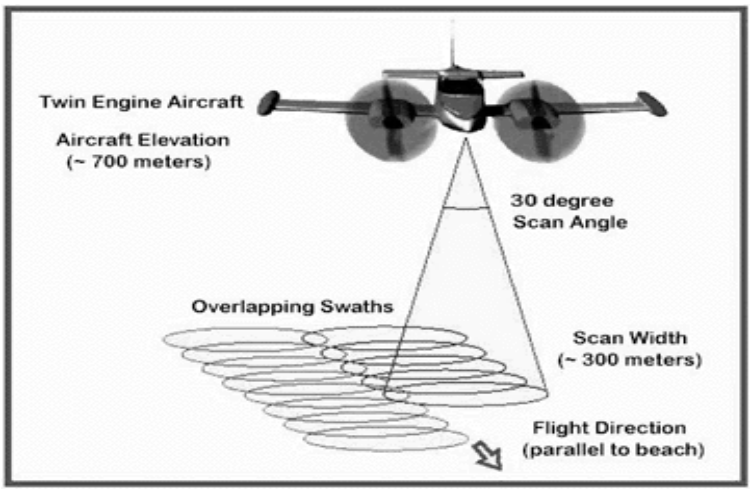
---

1 - Optical Radar
2 - Airborne Laser Swath Mapping
3 - Continuous wave
4 - Pulse
5 - Bi static
6 - Mono static

در برخی از سامانه‌های لیدار به‌نام CLR[1] علاوه بر اطلاعات دامنه و زمان، اطلاعات فاز[2] نیز ثبت می‌شود.

به‌طور کلی سه نوع سامانه لیدار وجود دارد:

الف) لیدار فاصله‌یاب[3]: از ساده‌ترین نوع لیدار است. این نوع لیدار برای اندازه‌گیری فاصله بین لیدار تا عارضه خاص استفاده می‌شود. (آقایی، جعفری، ۱۳۸۶ص۳۲).



شکل (۱) نحوه عمل‌کرد سامانه نصب شده در هواپیما[4]

ب)DIAL[5]: از این سامانه لیدار برای اندازه‌گیری توده‌های شیمیایی از قبیل لایه ازن، بخار آب و آلودگی‌ها در اتمسفر استفاده می‌شود. یک DIAL از دو طول موج متفاوت لیزر استفاده می‌کند و به‌گونه‌ای انتخاب می‌شوند که یکی از طول موج‌ها توسط مولکول‌های مورد نظر جذب شده و دیگری عبور می‌کند. از طریق اختلاف بین مقادیر سیگنال‌های بازگشتی دو طول موج می‌توان به وجود مولکول‌های مورد نظر در اتمسفر پی برد.

---

1 - Coherent Laser Radar
2 - Phase
3 - Range Finder LIDAR
4 - http://www.csc.noaa.gov/products/sccoasts/html/tutlid.htm
5- Differential Absorption LIDAR

پ) لیدار داپلر[1]: این سامانه به‌منظور اندازه‌گیری سرعت یک هدف، مورد استفاده قرار می‌گیرد. هنگامی که نور از سمت این سامانه به عارضه‌ای که در حال دور شدن یا نزدیک شدن به سامانه لیدار می‌باشد، ارسال گردد، طول موج نور بازتابی از هدف تغییر می‌کند، این پدیده به‌عنوان پدیدهٔ جابه‌جایی داپلر شناخته شده است، به همین علت این سامانه به‌نام لیدار داپلر خوانده می‌شود. هنگامی که هدف در حال دور شدن از سامانه لیدار باشد، نور بازگشتی طول موج بلندتری خواهد داشت. در حالی‌که اگر هدف به‌سمت لیدار در حال نزدیک شدن باشد، طول موج کوتاه‌تری به سنجنده می‌رسد. از این سامانه می‌توان برای تعیین سرعت اجسام مختلف استفاده کرد. همچنین می‌توان با استفاده از این سامانه سرعت باد را از طریق اندازه‌گیری سرعت ذرات معلق در هوا اندازه‌گیری نمود.

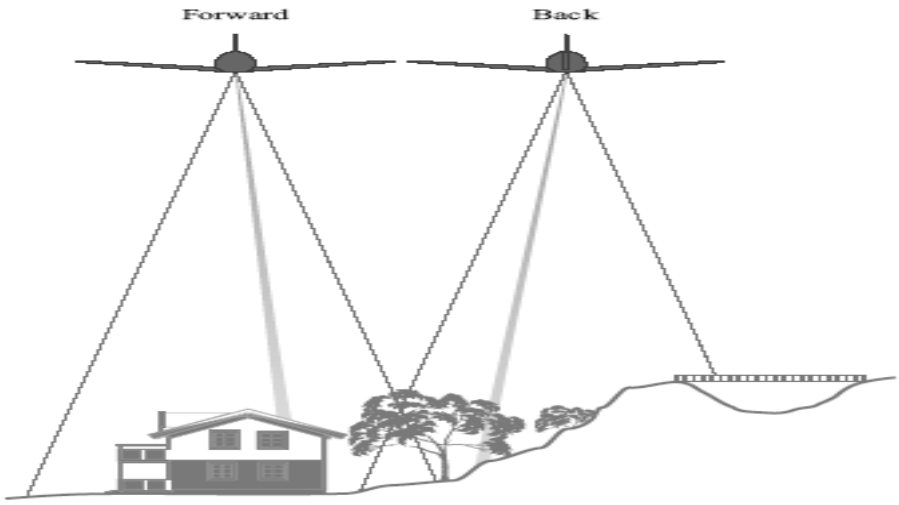
۴- قواعد لیدار:

سامانه لیدار اسکن‌های زیادی را از سطح زمین و دریا با استفاده از چند خط پرواز به‌دست آورده و سپس اسکن‌ها به یکدیگر متصل شده تا یک مدل گسسته از زمین و دریا به‌دست آید. معمولاً اجزاء یک سامانه لیدار همگی بر روی یک سطح[2] هوایی و در موارد خاص روی یک پلت فرم فضایی سوار می‌شوند. داده‌های لیدار خصوصیات خاص خود را دارند، ابری از نقاط در فضای سه بعدی و با داده‌های به‌دست آمده از روش های معمول فتوگرامتری فضایی و سنجش از دور پدید می‌آید. (Baltsavias, 1999, :83-94)

در یک سامانه لیدار، زمان بازگشت یک پالس لیزر محاسبه می‌شود تا فاصله نقطه گسیل بر روی پلت فرم هوایی از سطح زمین به دست آید. زمان رفت و برگشت پالس به‌وسیله آنالیز الکترونیکی نوع موج پالس برگشتی محاسبه می‌شود، سپس فاصله از نقطه گسیل پالس تا سطح زمین با ضرب سرعت نور در نصف زمان رفت و برگشت بدست می‌آید. آرایه اندازه‌گیری فاصله، از نوع خطی، اسکن نامیده می‌شود. (شکل ۲) فاصله و موقعیت گسیل‌های پالس و وضعیت خط دید در سامانه لیدار مشخص است، لذا موقعیت نقاط روی سطح زمین در یک قالب سه بعدی قابل تعیین خواهند بود و فواصل بین نقاط بستگی به نرخ اندازه‌گیری، زاویه اسکن، ارتفاع از سطح زمین و سرعت پلت فرم فضایی دارد. چون عوارض روی زمین در

1 -Doppler LIDAR
2- platform

ترکیب مواد و ارتفاع متفاوت می‌باشند، قدرت سیگنال پالس برگشتی (پژواک پالس گسیل شده) نیز ضبط می‌شود و امکان دریافت چندین انعکاس از یک پالس وجود دارد. سیگنال لیزری در زمان ارسال به سمت زمین ممکن است با اشیاء مختلفی (پوشش گیاهی) برخورد کند و قسمتی از سیگنال ارسال شده، به‌سمت گیرنده منعکس شود و توسط آن ثبت و بخشی دیگر به سطح زمین برخورد و بازتاب آن توسط گیرنده ثبت شود.(صادقیان،ولدان زوج، ۱۳۸۷ص ۳۴)

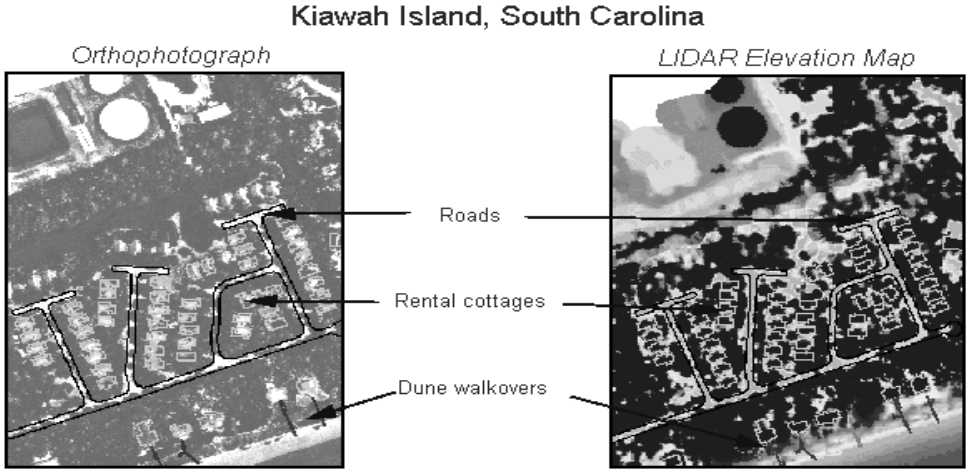


شکل۲- برداشت اطلاعات از زمین توسط سامانه لیدار نوع هوایی

(در این روش سطح زمین به‌صورت نواری اسکن می‌شود و ابری از نقاط با استفاده از ترکیب اسکن ها تشکیل می‌گردد)

اولین پالس منعکس شده حاوی اطلاعاتی راجع به پوشش گیاهی روی زمین بوده که در تولید اورتوفوتوگراف[1] (شکل ۳) و کاربردهای جنگل‌داری و تعیین پوشش گیاهی استفاده می‌شوند و پالس برگشتی دوم برای اندازه‌گیری زمین لخت[2] استفاده می‌شود.

1 -Orthophotograph
2 -Bare-earth



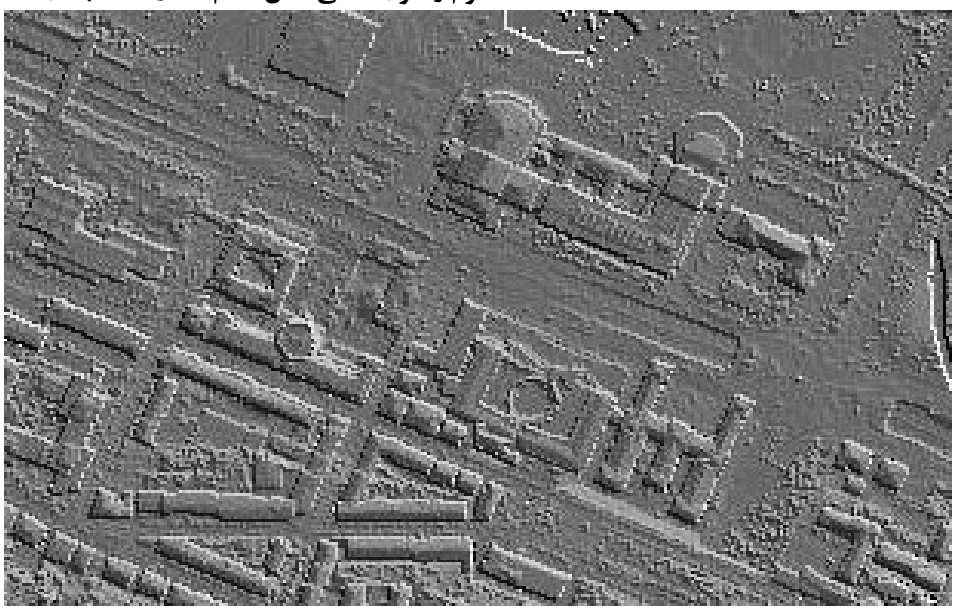
شکل ۳- مقایسه تصویر برداشت شده توسط سامانه لیدار و روش ارتوفوتوگرافی
برگرفته از: http://www.csc.noaa.gov/products/sccoasts/html/tutlid.htm

علاوه بر این دو بازگشت، ممکن است سیگنال لیزر به عوارض دیگری در بین این دو مسیر برخورد نماید و انعکاس آن توسط سنجنده ثبت شود. سامانه‌های امروزی قابلیت ثبت حداقل دو انعکاس مختلف برای هر سیگنال ارسال شده را دارند، که معمولاً به این انعکاس‌ها پالس اولیه[1] و پالس ثانویه [2] گفته می‌شود. این ویژگی سامانه‌های لیدار را از سامانه‌های معمول فتوگرامتری[3] فضایی متمایز می‌کند، چرا که در مناطق پوشیده از گیاه علاوه بر مدل رقومی سطح منطقه، می توان به‌کمک پالس ثانویه، بسته به تراکم پوشش گیاهی، بخش زیادی از سطح زمین را نیز نمونه‌برداری نمود. اطلاعاتی که توسط سامانه لیدار جمع‌آوری می‌گردد، به‌صورت مختصات سه بعدی x,y,z بوده، اگر چه امکان تعیین موقعیت مسطحاتی و ارتفاعی عوارض با دقت قابل قبولی امکان‌پذیر است، ولی این داده‌ها هیچگونه اطلاعاتی در مورد بافت و خصوصیات رادیومتریکی عوارض ارائه نمی‌کنند. به‌این ترتیب، داده‌های ثبت شده حاوی اطلاعات هندسی و ساختاری سطح خواهند بود، در سال‌های اخیر دو روش عمده به منظور افزودن قابلیت اندازه‌گیری اطلاعات رادیومتریک عوارض به‌داده‌های معمول ارتفاعی لیدار مورد استفاده قرار

1 - First pulse
2 - Last pulse
3 - Photo-grametry

گرفته است. یکی از این روش‌ها، ثبت قدرت سیگنال بازگشتی و دیگری استفاده از یک دوربین دیجیتال جهت تصویربرداری هم‌زمان با نمونه‌برداری سامانه اسکن لیزری است. (Baltsavias ,1999, :83-94)

همان‌گونه که از نوع موج برگشتی برای اندازه‌گیری زمان بازگشت یک پالس استفاده می‌شود، اکثر سامانه‌ها از این مورد برای اندازه‌گیری قدرت پالس برگشتی نیز استفاده می‌کنند. با ثبت قدرت سیگنال بازگشتی، علاوه بر اطلاعات هندسی، بخشی از خواص رادیومتریک عوارض موجود در منطقه نیز ثبت خواهد شد. داده‌های سامانه لیدار شدت درجات خاکستری اشیاء را ثبت نمی‌کنند، بلکه این داده‌ها نشان‌دهنده قدرت لیزر دریافت شده توسط سنجنده هستند. مواد موجود بر روی سطح زمین خصوصیات طیفی متفاوتی دارند و به همین دلیل امکان بدست آوردن یک تصویر با قدرت تفکیک پایین از قدرت پالس برگشتی وجود دارد، عوارضی که لیزر را به نحو مشابهی منعکس می‌نمایند، در این تصاویر، دارای درجات خاکستری یکسان خواهند بود، در صورت یکسان بودن سایر شرایط فیزیکی به عنوان مثال، آسفالت سقف ساختمان‌ها و آسفالت راه‌ها دارای انعکاس مشابهی بوده و در تصاویر داده‌های لیدار، به یک صورت ثبت می‌شوند. به این ترتیب قابلیت این داده‌ها جهت استفاده در روند تشخیص و جداسازی اشیاء به نحو چشمگیری کاهش می‌یابد. تشعشع استفاده شده در لیدار در محدوده مادون قرمز از طیف الکترومغناطیس است. بنابراین موادی مانند گیاه، روشن به نظر می‌رسند، زمین و آسفالت تیره به نظر می‌آیند، در آب‌های عمیق تشعشع جذب می‌شود، البته در کنار داده‌های هندسی لیدار می‌توان از دوربین رقومی برای تصویربرداری استفاده کرد و از داده‌های آن برای استخراج بافت و خصوصیات رادیومتریک عوارض استفاده نمود، وقتی همه اسکن‌ها به‌هم پیوسته شدند ابری از نقاط در یک قالب مرجع سه‌بعدی بدست می‌آید. (شکل۴) مهم‌ترین خصوصیت قابل ذکر ابر نقاط لیدار این است که بزرگ و حجیم هستند و اغلب شامل میلیون ها نقطه می‌باشند. (صادقیان،ولدان زوج، ۱۳۸۷ص۳۵)



شکل(۴) تصویر به‌دست آمده از ابر نقاط

۵- تهیه مدل سه‌بعدی با استفاده از تکنیک لیدار:

یکی از کاربردهای مهم لیدار که امروزه در بخش‌های نقشه‌برداری هوایی و دریایی در بسیاری از کشورها استفاده می‌شود، تهیه و تولید مدل ارتفاعی رقومی دقیق (DEM) با دقت در حد ۱۰سانتی‌متر و تهیه مدل سه‌بعدی از سطح زمین می‌باشد. یک سامانه لیدار شامل قسمت‌های زیر است:

۱-یک سامانه اسکن‌کننده که پالس لیزر را تولید کرده و امواج بازگشتی از سطح زمین را ثبت می‌کند.

۲-یک سامانه موقعیت‌یاب جهانی نصب شده در هواپیما به‌منظور ثبت موقعیت سنجنده.

۳-یک واحد اندازه‌گیری اینرشیال[1] به‌منظور اندازه‌گیری وضعیت سنجنده[2].

۴-یک ایستگاه سامانه موقعیت‌یاب جهانی دقیق مستقر در سطح زمین به‌منظور استفاده از روش تفاضلی برای تعیین موقعیت دقیق[3].

---

1 -IMU
2 -Attitude
3- DGPS: Differential GPS

سامانه نوری بخش اسکن کننده، پالس لیزری را با ۷۵۰۰۰ پالس در هر ثانیه و در جهت عمود بر مسیر حرکت سنجنده به‌سمت 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 برداشته شده بسته به سرعت سنجنده متغیر خواهد بود. با کاهش سرعت سنجنده فواصل برداشته شده، کمتر شده لذا توان تفکیک مکانی بهبود می‌یابد.

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

$d= c.t/2$ t زمان رفت و برگشت و c سرعت نور خواهد بود.

دقت تعیین فاصله لیدار به عوامل زیر بستگی دارد: (آقایی، جعفری، ۱۳۸۶، ص۳۳)

۱-ارتفاع پرواز که بر روی شدت موج بازگشتی تأثیرگذار است.

۲-دقت دستگاه لیدار و سامانه پردازش کننده.

۳-صحت و دقت موقعیت سنجنده، ارتفاع و داده‌های وضعیت سنجنده.

۴-مشخصات عارضه (اندازه‌گیری‌های دقیق‌تر می‌تواند از سطوح جامد و سخت حاصل شود).

سامانه موقعیت‌یاب جهانی نصب شده در هواپیما به‌منظور تعیین موقعیت X، Y، Z سنجنده استفاده می‌شود. همچنین میزان وضعیت سنجنده حول سه محور X، Y، Z توسط یک سامانه اندازه‌گیری اینرشیال که شامل شتاب‌سنج و جایروسکوپ[1] می‌باشد اندازه‌گیری می‌شوند. به‌منظور افزایش دقت تعیین موقعیت سنجنده، می‌توان از یک سامانه موقعیت‌یاب جهانی زمینی نیز استفاده و به روش تفاضلی 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 و نقشهٔ توپوگرافی سطح زمین را به‌دست آورد.

(http://www.csc.noaa.gov/crs/rsapps/sensors/lidar.htm)

یکی از تفاوت‌های عمده رادار و لیدار این است که لیدار قادر به اندازه‌گیری در تمام شرایط آب و هوایی نمی‌باشد، زیرا به‌دلیل کوچک بودن طول موج‌های لیزر، ذرات با قطر کوچک از قبیل ذرات باران، ابر و گرد وغبار، به‌عنوان یک مانع در برابر این امواج قرار می‌گیرند. اما در سامانه‌های رادار به‌دلیل استفاده از طول موج‌های بلند، این مشکل بوجود نمی‌آید. لازم به ذکر

1- Gyroscope

است لیدار قادر است در شب و روز اطلاعات کسب نماید. در سال‌های اخیر در کنار سامانه لیدار از دوربین‌های رقومی نیز استفاده می‌شود. پس پردازش‌های انجام شده برروی داده‌های لیدار شامل موارد زیر می‌باشند:

۱- استفاده از داده‌های موقعیت‌یاب جهانی زمینی به‌منظور زمین مرجع نمودن داده‌ها.

۲- فیلتر نمودن داده‌ها به‌منظور جدا کردن داده‌های عوارض مختلف سطح زمین که باعث بازگشت‌های متفاوت یک پالس به سنجنده می‌شوند. (آقایی، جعفری، ۱۳۸۶ص ۳۳)

با توجه به این‌که یک پالس لیزر ممکن است به چند عارضه برخورد کرده و بازگشت آن در زمان‌های متفاوت به سنجنده برسد، نیاز به یک سری پس‌پردازش[1] می‌باشد تا بتوان پالس‌های بازگشتی متفاوت را از هم جدا نمود، که این عمل توسط الگوریتم‌های مختلفی که به‌منظور فیلترکردن وجود دارد انجام می‌شود. به‌عنوان مثال یک لیزر ممکن است به عوارض یا بخش‌های مختلف برخورد کرده و بازگشت امواج 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.

۶- محدودیت‌های سامانه لیدار:

(۱) در مناطقی که پوشش گیاهی فشرده و وسیع بوده، اطلاعات بدست آمده توسط سامانه لیدار(ارتفاع و فاصله) با مقدار واقعی آن از زمین دارای خطا است.

(۲) دقت اطلاعات کسب شده توسط سامانه لیدار به‌دقت سامانه موقعیت‌یاب جهانی و اندازه‌گیری اینرشیال بستگی داشته زیرا در مواقعی‌که هواپیما پیچ[2] و رول[3] دارد، توسط سامانه اندازه‌گیری اینرشیال این خطا تصحیح می‌گردد.

(۳) سامانه لیدار از امواج مادون قرمز نزدیک[4] استفاده می‌کند، سطوح خاص مانند آب، آسفالت و قیر، ابر و مه این امواج را جذب و بازتاب این اجسام کم است.

(۴) اندازه فایل‌های اطلاعات سامانه لیدار بسیار بزرگ است.
(http://www.csc.noaa.gov/crs/rsapps/sensors/lidar.htm)

---

1 - Post processing
2 - Pitch
3 - Roll
4 - Near Infra Red

۷- کاربردهای سامانه لیدار:

علاوه بر تهیه مدل سه‌بعدی زمین این سامانه کاربردهای متعددی دارد. از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

(۱) تهیه نقشه‌های زیربنایی شهر

(۲) جنگل‌داری

(۳) هیدروگرافی

(۴) مطالعات اتمسفری

(۵) تولید محصولات سه‌بعدی و شبیه‌سازی پرواز

(۶) کاربردهای نظامی

(۷) بررسی تغییرات کوچک ارتفاعی در سطح زمین

۸- کاربرد در هیدروگرافی:

لیدار ابزار ایده‌آلی برای اندازه‌گیری عمق آب‌های سطحی و ارتفاع زمین‌های اطراف سواحل بوده و تنها سامانه‌ای است که می‌تواند در یک عملیات نقشه‌برداری هر دو اطلاعات هیدروگرافی و توپوگرافی را جمع‌آوری کند. لیدار هیدروگرافی اندازه‌گیری‌های سریع و متراکم از نواحی ساحلی ، تعیین میزان حجم کانال‌های کم‌عمق، اندازه‌گیری حرکات شن‌های کنار سواحل، تهیه نقشه تپه‌های مرجانی، نقشه‌های دریایی، تعیین پیوستگی‌های بین تغییرات عمق‌سنجی در فواصل دور از ساحل، آشکارسازی شکل خطوط ساحلی، کمک به پروژه های لوله‌گذاری و کابل‌کشی، نمایش پویایی رسوبات، پیش‌بینی میزان ذوب شدن برف‌ها از دیگر ویژگی‌های این سامانه است.

سیل و مسائل همراه آن به‌دلیل میزان خسارتی که به محیط اطراف وارد می‌آورد مورد توجه بسیاری از کشورها است. از مهم‌ترین پارامترها در مطالعه هیدرولیک، دشت‌های سیلابی و جهت جاری شدن آب است، لیدار این امکان را فراهم می‌آورد که بتوان سطح را بازسازی نموده و زوایای شیب را محاسبه کرد، که این مورد کمک شایانی به محاسبه سریع، آسان و دقیق جهت جریان آب می‌کند. موضوع مهم دیگر تغییرات اطلاعات حاشیه رودخانه‌ها و جابه-جایی آن در طول زمان است، که با روش‌های فتوگرامتری و سنجش از دور بسیار زمان‌بر و پر-هزینه خواهد بود، در مقابل، لیدار راه حل سریع و بهینه را با کیفیت مطلوب ارائه می‌کند، به-

دلیل طبیعت داده‌های لیدار که در آن عوارض را نمی‌توان به سادگی تشخیص داد (در مقایسه با داده‌های تصویری) نیاز به توسعه روش‌های مستحکم و کارآمد پردازش تصویر به جهت تفسیر و بازسازی سطح عوارض مربوطه از داده‌های لیدار است که در تحقیقات کنونی لیدار و الگوریتم های ارائه شده کمبود آن احساس می شود. (Zwally, schutz, 2002: 405-445)

۹- کاربرد سامانه لیدار جهت عملیات در جنگل:

از این سامانه در حفظ محیط زیست و جنگل‌داری نیز استفاده می‌شود، ارزیابی ترکیب و ساختار جنگل از فواصل دور بسیار مشکل است اما برای کمک به مدیریت جنگل نمایش اطلاعات مهم و ضروری می‌باشد. فناوری لیدار ابزار جدیدی برای جمع‌آوری و به‌کارگیری چنین اطلاعاتی است، به‌خصوص جهت انجام عملیات در جنگل توسط نیروهای عملیات ویژه اندازه‌گیری ارتفاع درختان اهمیت فوق‌العاده‌ای دارند، آنالیز ساختار موجود در تصاویر هوایی که از ترکیب داده‌های لیدار با داده های رقومی و تصاویر فتوگرامتری با دقت بالا بدست می-آید امکان تفسیر لایه‌های مختلف گیاه، درخت، تراکم، درجه اختلال و سایر پارامترهای جنگل را با اعتماد بالا فراهم می‌آورد. یکی از کاربردهای آن در جنگل‌داری، استخراج مدل رقومی زمین[1] DSMو[2] DTM است که سامانه لیدار می‌تواند خصوصیات پوشش گیاهی جنگل را به صورت سه بعدی تهیه کند. (http://lidar.usgs.gov/index.php)

۱۰-تفاوت‌های لیدار هیدروگرافی و لیدار توپوگرافی:

۱- لیدار هیدروگرافی از دو بیم لیزری و لیدار توپوگرافی از یک بیم لیزری استفاده می‌کند.

۲- لیدار هیدروگرافی برای اندازه‌گیری عمق آب، از طول موج قرمز برای سطح آب و از طول موج آبی و سبز برای نفوذ در آب، اما لیدار توپوگرافی برای شناسایی اغلب اجسام از امواج مادون قرمز استفاده می‌کند.

۳- لیدار هیدروگرافی از فرکانس ۴۰۰ هرتز و لیدار توپوگرافی از فرکانس ۳۰۰۰۰ هرتز استفاده می‌کند.

---

1 -Digital Surface Model
2- Digital Terrain Model

۴- لیدار هیدروگرافی نیاز به قدرت بالا دارد، اما لیدار توپوگرافی با یک هواپیما یا بالگرد کوچک نیز قادر به انجام عملیات است.

به‌طور مثال یکی از کاربردهای مهم لیدار هیدروگرافی در اندازه‌گیری عمق آب است، که دقت این اندازه‌گیری بستگی به تیرگی یا شفاف بودن آب دارد.

(www.Ambercore.com, a white paper on lidar mapping:2)

۱۱-کاربرد در عملیات دریایی:

امروزه عملیات دریایی بر محور عملیات زیرسطحی می‌چرخد. در این راستا طراحان عملیات دریایی و سازه‌های زیرسطحی به‌دنبال راه‌هایی هستند که توسط ردیاب‌های صوتی طرف مقابل (دشمن) مورد کشف و شناسایی قرار نگیرند. این فرایند دوطرفه همیشه در جریان است. یکی از فناوری‌هایی که قابلیت تشخیص زیر دریا را بدون استفاده از امواج صوتی دارد، سامانه لیدار می‌باشد.

زیردریایی‌ها قادرند حدود سه چهارم سطح کرهٔ زمین را بدون آنکه توسط دشمن آشکار شوند، بپیمایند؛ در حالی‌که زیردریایی‌ها معمولاً در صورت انتشار کوچک‌ترین اختلالی از قبیل گرمایی، الکترومغناطیسی، هیدرودینامیکی و بخصوص اکوستیکی آشکارسازی می‌شوند. انتشارات اکوستیکی، به لحاظ آشکارسازی اهمیت زیادی دارند؛ زیرا با سرعت بالا و در مسافت-های طولانی منتشر می‌شوند و در فواصل طولانی قابل آشکارسازی[1] و طبقه‌بندی[2] می‌باشند. مخفی بودن اکوستیکی زیردریایی، بالاترین امتیاز به شمار می‌آید و به این دلیل تلاش‌های مستمری صورت می‌گیرد تا زیردریایی‌ها امروزه بدون کوچکترین علامت، بسیار ساکت[3] و با قابلیت‌های بالا ساخته شوند. عوامل مختلفی وجود دارند که به این تلاش‌ها دامن می‌زنند که در زیر به چند مورد اشاره می‌شود:

اول، از زیردریایی‌های امروزی انتظار می‌رود که در آب‌های کم‌عمق و نزدیک سواحل حرکت نمایند. محل‌هایی مثل خلیج فارس، به‌گونه‌ای هستند که زمان حضور زیردریایی را در نزدیکی

1 - Detection
2 - Classification
3 - Quiet

دشمن افزایش می‌دهند. مأموریت در این محل‌ها از لحاظ اکوستیکی بسیار مشکل‌تر از گشت‌زنی در آب‌های عمیق اقیانوس‌ها می‌باشد.

دوم، امروزه پردازش سیگنالی و فناوری حساسه‌ها با سرعت فزاینده‌ای درحال پیشرفت است. تغییرات و پیشرفت‌های به دست آمده در زمینه محاسبات و ارتباطات، امکان پردازش و نمایش حجم زیادی از اطلاعات حساسه‌ها را در یک کپسول ریز فراهم ساخته است. سامانه‌های چند حساسه می‌توانند با ترکیب اطلاعات گوناگون برای آشکارسازی و دنبال کردن اهداف ساکت به‌کار روند. سامانه‌های سوناری DT [1] برای آشکارسازی و ردیابی زیردریایی‌های دشمن از حساسه‌های ناوهای سطحی، هوپیما، صدایاب زیرآبی [2] و دیگر تجهیزات بهره می‌گیرند. سامانه‌های سوناری DT یک سامانه سوناری فعال پیشرفته چند حساسه فرکانس پایین می‌باشد، که زیردریایی‌های دشمن را آشکارسازی می‌کند. ترکیب اطلاعات مختلف از حساسه‌های گوناگون باعث بهبود کارایی سامانه می‌شود.

بنابراین سامانه لیدار مناسب‌ترین ابزار جهت شناسایی زیردریایی در آب‌های کم عمق می‌باشد.

۱۲- کاربرد لیدار در اقیانوس شناسی و موانع موجود در این زمینه:

از لیدار در تحقیقات اقیانوس‌شناسی مانند بررسی عمق آب در نقاط مختلف، تعیین آلاینده‌های موجود در آب و همچنین تصویربرداری از اجسام غوطه‌ور در آب می‌توان استفاده کرد. سامانه لیداری که برای کارهای عمق‌سنجی استفاده می‌شود بر پایهٔ برهم‌کنش، پراکندگی و جذب پرتو نوری با حجم آب بنا نهاده شده است. در مورد تصویر- برداری از اجسام زیر آب این عوامل نه تنها کمک چندانی به فرایند تصویربرداری نمی‌کنند، بلکه خود نیز به‌عنوان یک مشکل اساسی ظاهر می‌شوند. به‌عبارت دیگر مسأله اصلی که در مورد تصویربرداری زیر آب وجود دارد، مسأله جذب و پراکندگی نور در محیط‌های آبی است. افزایش اطلاعات در زمینهٔ پارامترهای مربوط به میزان جذب و پراکندگی یا به‌عبارت دیگر خواص اپتیکی آب، توانایی سامانه در افزایش قدرت تصویربرداری را افزایش می‌دهد. به همین دلیل مطالعات زیادی در زمینهٔ خواص اپتیکی آب و بررسی تابع گسترش نقطه‌ای (PSF) [3] و رابطهٔ آن با تابع گسترش (BSF) [4] صورت گرفته

1 - Distant Thunder
2 - Sonobuoys
3- Point Spread Function
4 -Beam Spread Function

است. در حالت کلی خواص اپتیکی آب را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد: ظاهری و ذاتی.

خواص اپتیکی ذاتی (IOPs)[1] ویژگی‌هایی هستند که تنها به محیط وابسته هستند و مستقل از میدان نوری محیط پس‌زمینه هستند. دو نمونه اساسی از خواص اپتیکی ذاتی عبارتند از ضریب جذب و تابع پراکندگی حجمی. از دیگر خواص اپتیکی ذاتی می‌توان به ضریب خاموشی و توان بازتابش تک پراکندگی اشاره کرد. خواص اپتیکی ظاهری که معمولاً استفاده می‌شود عبارتند از انعکاس تابش، کسینوس‌های میانگین و تغییرات توابع میرائی.

یکی از اولین کارهای انجام شده در زمینه اپتیک اقیانوسی به سال ۱۹۶۳ بر می‌گردد که توسط دانتلی تحت عنوان نور در دریا[2] منتشر شد و پس‌از آن کتاب‌های دیگری توسط مرتن در سال ۱۹۷۰ و توسط اسمیت در سال ۱۹۸۴ منتشر شد که تصویربرداری زیر آب را مورد بررسی قرار می‌داد. در دهه ۱۹۹۰ بیشتر مسائل مربوط به پراکندگی در محیط‌های آبی و همچنین پیشرفت‌های تکنولوژیکی در زمینه پردازش تصویر و دستگاه‌های تصویرنگاری مورد بحث قرار گرفتند.

(www.Ambercore.com, a white paper on lidar mapping:3-6)

نتیجه‌گیری:

لیدار مشابه اصول رادار کار می‌کند که بعضی اوقات نیز رادار لیزری نامیده می‌شود. اختلاف اصلی بین لیدار و رادار در واقع نوع طول موج‌های تابشی مورد استفاده است. رادار طول موج‌های ناحیه رادیویی را استفاده می‌کند در حالی که لیدار طول موج‌های لیزری را به‌کار می‌برد. لیدار به عبارت ساده نوعی دستگاه لیزری سنجش است. از این دستگاه در موارد متعددی استفاده می‌شود. یکی از مهم‌ترین موارد کاربرد لیدار، نقشه‌برداری، سنجش مشخصات ابرها شامل فاصله، ضخامت، میزان رطوبت ابر و همچنین عملیات ضدزیردریایی می‌باشد. از سامانهٔ لیدار جهت جمع‌آوری اطلاعات توپوگرافی نیز استفاده می‌شود. اگر اطلاعاتی که لیدار به ما می‌دهد با یک سری اطلاعات اضافی که از عکس‌برداری هوایی به‌دست می‌آید، ضمیمه شود، قابل فهم‌تر خواهد بود. در مباحث مربوط به رزم ضدزیرسطحی از دو نوع سامانهٔ صوتی و غیر صوتی استفاده می‌شود

1- Inheritance Optical Properties
2- Light in the sea

که از زیرمجموعه‌های سامانهٔ صوتی می‌توان به سونار و بویه‌های سونار (سونوبوی) اشاره کرد. لیدار و رادار هم از زیرمجموعه‌های مهم سامانهٔ غیر صوتی به شمار می‌روند.

سامانه لیدار نسبت به سونار قابلیت شناسایی و مانور بیشتری را برای شناسایی اجسام زیر آب فراهم می‌کند، اما به‌کارگیری مؤثر این سامانه نیازمند شناسایی خواص اپتیکی آب و به‌کارگیری تکنیک‌های مناسب پردازش تصویر و کنترل سامانه‌ها است. در صورت فراهم بودن این امکانات این سامانه قابلیت تصویربرداری با وضوح بالا و تعیین عمق اجسام و موانع موجود در آب را با قدرت تفکیک بسیار بالایی دارد.

عملیات در آب‌های ساحلی یکی از چالش‌هایی است، که نیروی دریایی در جنگ آینده با آن مواجه است. بنابراین جهت اجرای عملیات در این آب‌ها شناسایی زیردریایی‌های دشمن از اهمیت خاصی برخوردار است. از آنجایی‌که زیردریایی‌های امروزی کم‌ترین انتشار الکترونیکی، مغناطیسی و صوتی را از خود دارند، با استفاده از سامانه لیدار می‌توان به‌راحتی این واحدها را شناسایی نمود.

از عملیات‌های مهم دیگر که نیروی دریایی با آن در آینده روبرو می‌باشد، عملیات آبخاکی است. در این عملیات شناسایی دقیق سواحل توسط دشمن از جمله اقداماتی است که نیروهای ویژه قبل از شروع عملیات می‌بایستی انجام دهند، بنابراین یکی از سامانه‌هایی که می‌توان به‌وسیله آن واحدهای دشمن را در حال نزدیک شدن به سواحل شناسایی کرد، سامانه لیدار است.

روند توسعه و توانایی سامانه لیدار در جمع‌آوری داده های مکانی با سرعت و دقت بالا باعث شده است، این روش جایگزین روش‌های سنتی اخذ و جمع‌آوری داده های مکانی گردد. نیاز فتوگرامتری و سنجش از دور به تصاویر فضایی و تلفیق داده‌های لیدار با تصاویر فضایی، در آینده نزدیک می‌تواند منجر به ایجاد تحولات بسیار در زمینه تولید داده‌های مکانی گردد. با توجه به کاربردهای فراوان سامانه لیدار در هیدروگرافی، توسعه شهری،استخراج نفت، جنگل-داری و به‌خصوص عملیات نظامی در جهت کسب اطلاعات از خصوصیات زمین و دریا در عملیات‌های ضدزیردریایی، آبخاکی، هلی‌برن و ... باعث شده است ابزار ایده‌آلی برای اندازه گیری عمق آب‌های سطحی و ارتفاع زمین‌های اطراف سواحل گردد و تنها سامانه‌ای است که می‌تواند در یک عملیات هر دو اطلاعات هیدروگرافی و توپوگرافی را جمع‌آوری کند.

منابع:

الف) منابع فارسی:

۱- آقایی، جعفری؛ ابوالفضل، جواد (بهار۱۳۸۶). معرفی سیستم لیدار، فصل‌نامه سپهر، نشریه سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، دوره شانزدهم، شماره ۶۱.

۲- صادقیان ،سعید؛ ولدان زوج، محمد جواد (آبان۱۳۸۷). سیستم لیدار و کاربردهای آن.ماهنامه فضا، سازمان فضایی ایران، سال چهارم، شماره ۳۴.

۳- طحانی، غلامرضا (۱۳۸۹). تجهیزات و فناوری در عملیات دریایی. انتشارات معاونت آموزش دافوس آجا.

ب) منابع لاتین:

1- Baltsavias, E. (1999). “A comparison between photogrammetry and laser scanning,” ISPRS JPRS, vol. 54.

2- Zwally, H.J, Schutz B., Abdalati W., Abshire J., Bentley C., Brenner A., Bufton J., Dezio J., Hancock, D. Herring T., Minster B., Quinn K., Palm S., Spinhirne J.,Thomas R. (2002) “ICE Sat’s laser measurements of polar ice, atmosphere, ocean, and land,” Journal of Geodynamics, vol. 34.

پ) سایت‌های اینترنتی:

1- http://www.csc.noaa.gov/products/sccoasts/html/tutlid.html .
2- http://www.csc.noaa.gov/crs/rs apps/sensors/lidar.htm.
3- http://www.lidar.cr.usgs.gov.
4- http://lidar.usgs.gov/index.php.
5- www.ambercore.com.