اشاره

فناوری لیدار (LIDAR)[1]

در تأمین اطلاعات شهری مورد نیاز برنامه‌ریزی شهری

دکتر مهدی مدیری

عضو هیأت علمی دانشکده نقشه‌برداری

mmodiri@ut.ac.ir

چکیده

مدلسازی و کنترل مستمر کیفیت محیطی شهری (نظارت برمحیط زیست شهری)، نیازمند اطلاعات به روز و پیوسته‌ای در ارتباط با مدل توزیع حرارت، آلودگی‌ها، جمعیت، امنیت، صنعت و مدیریت حوادث است. دورکاری دانشی است که با استفاده از یک سری اندازه‌گیریهای از فاصله دور بدون هیچگونه تماس فیزیکی، اطلاعات مفید و قابل استفاده‌ای را متناسب با عرصه‌های مختلف برنامه‌ریزی شهری نوید می‌دهد. اساس کار دورکاوی بر اندازه‌گیری و ثبت خصوصیات فیزیکی و شیمیایی جوّ و سطح زمین از فاصله دور، به وسیله ابزارهای ویژه‌ای به نام سنجنده که برروی سکوهای مختلف نصب می‌شود، استوار است. سنجنده، برحسب آنکه خود منبع انرژی باشد و یا بازتاب انرژی را ثبت نماید به دو گروه فعال و غیرفعال تقسیم می‌شوند. لیدار از جمله فناوری‌های فعال است که راه‌حل‌های ویژه‌ای را جهت دستیابی به اطلاعات مورد نیاز مطالعات و برنامه‌ریزی شهری فراهم می‌سازد. لیدار در مقایسه با سایر سنجنده‌های دورکاری که منبع انرژی آنها خورشید است و در روز به تصویربرداری می‌پردازند، در ساعات مختلف شب می‌تواند به جمع آوری داده‌های شهری بپردازد و با این ویژگی دستیابی به اطلاعات مورد نیاز برنامه‌ریزی حمل و نقل، ترافیک، برآوردهای جمعیت، اشتغال، ارزیابی کیفیت محیطی انجام می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: LIDAR (اصول و ویژگیها)، اطلاعات لیدار، استخراج داده‌های شهری

مقدمه

یکی از وظایف اولیه در دورکاوی شهری، استخراج اطلاعات ساختمان و کاربری زمین از منابع مختلف است. چنین اطلاعاتی برای آنالیز عملکردها و فعالیتهای شهری و انجام مطالعات هیدرولوژی لازم و مفید می‌باشد و در راستای تجزیه و تحلیل وضعیت ساختمان و زمین، پیش‌بینی و شبیه‌سازی حوادث طبیعی استفاده می‌گردد. بررسی‌های هیدرولوژی، اراضی شهری، کاربریها و ساخت و سازها، داده‌های اولیه برای اقدامات شهرسازی (پیش‌بینی و شبیه سازی) و برنامه‌ریزی توسعه شهری است.

مدلسازی و کنترل مستمر کیفیت محیطی شهری (نظارت برمحیط زیست شهری)نیازمند اطلاعات به روز و پیوسته‌ای در ارتباط با مدل توزیع حرارت، آلودگی‌ها، جمعیت، امنیت، صنعت و مدیریت حوادث است.

لیدار از جمله فناوری‌هایی است که راه‌حل‌های ویژه‌ای را جهت دستیابی به اطلاعات موردنیاز مطالعات و برنامه‌ریزی شهری فراهم می‌سازد *(Ackermann,1999)*. لیدار در مقایسه با سایر سنجنده‌های دورکاوی که منبع انرژی آنها خورشید است و در روز به تصویربرداری می‌پردازند، فناوری فعال است و

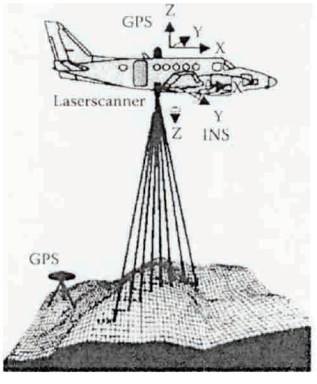
در ساعات مختلف شب می‌تواند به جمع‌آوری داده‌های شهری بپردازد و با این ویژگی است که دستیابی به اطلاعات مورد نیاز برنامه‌ریزی حمل و نقل، ترافیک، برآوردهای جمعیت، اشتغال، ارزیابی کیفیت محیطی امکان‌پذیر می‌گردد.

لیدار نوعی فناوری دورکاوی سه بعدی است که به کمک آن می‌توان موقعیتهای ارتفاعی و پهنه‌سنجی را در مقیاس‌های مختلف تعیین کرد. داده‌های لیدار از قدرت تفکیک فضایی بالا و صحت موقعیت برخوردار می‌باشد. این ویژگی بر سایر داده‌های دورکاوی برتری دارد و از این رو توانایی و پتانسیل دورکاوی را افزایش می‌دهد. معرفی فناوری لیدار، نظریه و روش‌شناسی نوآورانه دورکاوی در پردازش داده‌ها را به چالش می‌کشد. روشهای متعارف پردازش تصویر ممکن است بطور مستقیم برای تجزیه و تحلیل داده‌های لیدار استفاده نشود. دلیل این امر بیشتر به ویژگی داده‌های لیدار است که مجموعه‌ای از نقاط هندسی سه بعدی (مختصات)است، در حالی که تصویر دورکاوی ویژگیهای طیفی پدیده‌ها را ثبت می‌کند.چون تمایز طیف سنجی ممکن است در هندسه و بالعکس وجود نداشته باشد، پردازش داده‌های لیدار به جای اینکه در دامنه‌ی طیفی صورت گیرد در دامنه‌ی فضایی انجام می‌شود.

اصول و ویژگی‌های لیدار

لیدار، فناوری دورکاوی است که فواصل منبع نور تا اهداف (پدیده‌ها) را اندازه می‌گیرد. برای بررسی و ترسیم کاربردها، بطورکلی این اهداف می‌توانند آب یا زمین باشند.

لیدار ژرفاسنجی معمولاً از منبع نور در قسمت آبی/سبز طیف الکترومغناطیسی برای نفوذ به آب و بدست آوردن دو انعکاس، استفاده می‌کند: یک انعکاس از سطح آب و یک انعکاس از کف آب *(Guenther,2001)*.



نگاره ۱: واحدها و اصول سیستم لیدار

(Weng&Quattrochi,2007:23)

منبع نور لیدار توپوگرافی معمولاً در قسمت مادون قرمز طیف الکترومغناطیسی عمل می‌کند که بیشتر توسط زمین منعکس می‌شود تا آب *(Fowler,2001)*.تجهیزات لیدار را می‌توان با توجه به اهدافی که باید اندازه‌گیری شوند، روی یک سه پایه، وسیله‌ی نقلیه زمینی، هواپیما یا یک ماهواره سوار کرد. برای دورکاوی شهری، لیدار توپوگرافی هوایی، مشهورترین مورد است و بدین جهت موضوع این بررسی می‌باشد.

ابزار و تجهیزات لیدار باید به همراه سایر ابزارمانند یک سیستم کالیبره عمل کنند تا اندزه‌گیری صحیح سه بعدی زمین مرجع را ارائه دهند. معمولاً کل سیستم متشکل از سه زیر مجموعه یا واحد اصلی است *(Wehr&Lohr,1999)*.

واحد لیدار، پالس‌های لیزر را به هدف انتقال می‌دهد و پالس‌های برگشتی را دریافت می‌کند. یک ساعت دقیق زمان سفر رفت و برگشت میان پالس‌های منتقل شده و دریافت گردیده را ثبت می‌کند. تقسیم این زمان بر دو و ضرب نتیجه در سرعت نور، فاصله میان واحد لیدار و هدف را مشخص می‌کند. واحداندازه‌گیری اینرسی (IMU)[۲] موقعیت اسکنر لیدار را مشخص می‌کند و واحد دریافت کننده‌ی GPS موقعیت هواپیما را تعیین می‌کند. اندازه‌گیریهای سه واحد، مختصات جغرافیایی – فضایی سه بعدی هر بازگشت مرحله بعد از پردازش لیدار را تعیین خواهد کرد. در مقایسه با دوربین‌های تصویربرداری متعارف، لیدار وجوه تمایز خاص و بی‌نظیری دارد. در حالت تجسس عمل می‌کند. یعنی در حالی که قطعه‌ی زمین را طی مسیر پرواز می‌کند، پالس‌های لیزر را انتقال می‌دهد. در هر ثانیه ۴۰ قطعه اسکن می‌شود (۴۰HZ سرعت اسکن) و هر قطعه با توجه به سنجنده لیدار در صفحه عمودی، ۴۰ درجه است. در هر ثانیه ۸۰۰۰۰ پالس می‌تواند منتقل شود (یعنی سرعت پالس لیدار ۸۰ Khz). فاصله میان جای‌گیری دو پالس مجاور لیزر، فاصله‌بندی زمین نامیده می‌شود. این ویژگی مهم داده‌های لیدار است. با توجه به ویژگی انعکاسی هدف، پالس لیزر منتقل شده بارها به دریافت کننده برمی‌گردد، زیرا پالس زمانی که در هوا سیر می‌کند و به هدف می‌رسد، تغییر می‌کند. در نتیجه اگر بخشی از پالس به لبه سقف ضربه بزند، بقیه پالس به مسیر خود ادامه می‌دهد. وجه تمایز دیگر فناوری لیدار این است که دریافت کننده می‌تواند شدت انرژی پالس‌های برگشتی را نیز ثبت کند. شدت به ویژگیهای انعکاسی اهداف مربوط است. بطور خلاصه، جدول (۱) ویژگیهای عمده سیستم لیدار را بیان می‌کند. قابل ذکر است که اینگونه مقادیر از سیستمی به سیستم دیگر متفاوت است و با پیشرفتهای فناوری تغییر خواهد کرد.

جدول ۱: ویژگیهای اصلی سیستم لیدار

Specification	Typical Values
Laser Wavelength	1.064 μm
Pulse repetition rate	5-33kHz(50kHz max)
Pulse energy	100μj
Pulse Width	10ns
Beam divergence	0.25-2 mrad
Scan angle (full angle)	40 (75° max)
Scan rate	25-40Hz
Scan pattern	Zig-zag;parallel;elliptical;sinusoidal
GPS frequency	1-2Hz
INS frequency	50Hz (200Hz max)
Operating altitude	100-1000m (6000 m max)
Footprint	0.25-2m (at altitude 1000m)
Multiple elevation Capture	1-5
Ground Spacing	0.5-2m
Vertical accuracy	-15cm
Horizontal accuracy	10-100cm

منبع: *(Fowler,2001:539pp)*

داده‌های لیدار و نحوه پردازش آنها

داده‌های لیدار ابتدا توصیف و سپس مورد بازبینی و پردازش قرار می‌گیرند. داده‌ها متناسب با موقعیت منطقه از نظر خصوصیات طبیعی زمین و مشخصات سازه‌ها و عوارض روی زمین مانند ساختمان (مجموعه‌ها، ساختمانهای بلند با سقف‌های مسطح و پیچیده و بلوک‌های متنوع)، پل‌ها، پوشش گیاهی (درختان) و وسایل نقلیه، قابل تفسیر شده و برجستگی‌های توپوگرافی منطقه فهرست می‌گردد.

داده‌های هر منطقه الگوی ناهمواری را نشان می‌دهد و فاصله نامساوی و متفاوت مناطق در مسیر، به فرکانس تکرار پالس لیزر و زاویه اسکن دور از فرودینگاه بستگی دارد. بنابراین فاصله‌بندی در مسیر را می‌توان به صورت یک ثابت در ناحیه‌ای کوچک در نظر گرفت که در مرز قطعه بزرگتر می‌شود. به دلیل تسریع یا کاهش سرعت مکانیسم اسکن، نقاط روی مرز قطعه، نشاندهنده ویژگیهای نامطلوب هستند و گاهی از مجموعه داده‌های خام خارج می‌شوند (*Weber&Lohr,1999*).

فاصله زمین در امتداد مسیر توسط سرعت هواپیما و دوره‌ی یک اسکن تعیین می‌شوند. اسکن نوسانی دو جهتی الگوی زیگزاگ مانند ایجاد می‌کند که در امتداد مسیر پرواز فواصل نامساوی دارد. فاصله زمین زمانی که آینه نوسانی یک خط اسکن را تمام می‌کند و مسیر را برای شروع خط جدید اسکن تغییر می‌دهد، کوچکتر می‌شود و میان شروع یک خط اسکن و پایان خط بعدی بزرگتر است. داده‌های لیدار در واقع ابرهایی از نقاط هستند که از آن نقاط دریافت کننده لیدار پالس‌های برگشتی را ثبت کرده است. چون نقاط با تمام هدفهای متعکس شده زمین ترکیب می‌شوند کارهایی که در پردازش داده‌های لیدار صورت می‌گیرند، سه‌گانه هستند: گروههای متفاوت طبقات شکل مانند درختان، ساختمانها و زمین.

استخراج اطلاعات کاربریهای شهری

راهکارهای فیلترکردن برای استخراج اطلاعات اراضی شهری استفاده می‌شود و عملکرد آن را بطور عینی و از لحاظ کمی ارزیابی می‌کنند.

روش شناسی

فیلتر کردن مورد خاص طبقه‌بندی است که در آن هدف اولیه طبقه‌بندی داده‌های لیدار به دو طبقه است: نقاط زمینی و نقاط غیرزمینی (*Vosselman,2000*). از نقاط زمینی برای تولید DTM و از نقاط غیرزمینی برای استخراج ساختمان استفاده می‌شود. شان و سامبات[۳] (۲۰۰۵) فیلتری برای نواحی شهری طراحی کردند. این فیلتر نقاط غیرزمینی را در امتداد خط اسکن لیدار در دو جهت مخالف کشف کرد و از این دو فیلتر تک بعدی دو جهتی نامیده می‌شود.

برای تعیین زمینی یا غیرزمینی بودن نقاط از دو معیار استفاده می‌شود.

اول، شیب مرز میان ساختمان و زمین معمولاً بطور چشمگیری بیشتر از شیب زمین محاسبه شده در دانسیته معمول نقطه لیدار است.

دوم، نقاط زمین نسبت به نقاط غیرزمینی مجاور ارتفاعات کمتری دارند.

معیار ارتفاع موقعیتی را در نظر می‌گیرد که در آن سقف ساختمانها سطح نیستند. چون شیب سقف‌های پیچیده تغییرات موضعی زیادی دارند، استفاده از معیار شیب به تنهایی منجر به نتیجه نادرست می‌شود. توصیف ریاضی فیلتر به صورت زیر است معادله (۱)

$$\forall P_i : \begin{cases} if\ (S_\varpi > S_T\ and\ Z_i > Z_T)\ non\text{-}\ ground\ point \\ otherwise \quad ground\ point \end{cases} \qquad (1)$$

یعنی برای هر نقطه لیدار P_i، اگر شیب S_v در مجاورت آن بزرگتر از یک آستانه معین S_t و ارتفاع آن Z_i بیشتر از آستانه قابل تطبیق باشد آنگاه نقطه P_i جزو نقاط غیرزمینی طبقه‌بندی می‌شود، در غیر این صورت جزو نقاط زمینی طبقه‌بندی می‌شود. شیب مجاور S_v حضور پدیده غیرزمینی را کشف می‌کند و موقعیت ارتفاع تعیین می‌کند که آیا نقطه لیدار به پدیده تعلق دارد یا زمین.

در معادله (۲) شیب S_i با دو نقطه متوالی در امتداد پروفایل لیدار یا از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$s_i = arctan\left(\frac{Z_i - Z_{i-1}}{\sqrt{(X_i - X_{i-1})^2 + (Y_i - Y_{i-1})^2}}\right) \quad s_i \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right] \qquad (2)$$

شیب در معادله (۲) می‌تواند منفی و مثبت باشد. توالی یک نقطه که از زمین وارد ساختمان می‌شود در مرز زمین –ساختمان، شیب صعودی دارد، در حالی که توالی نقطه‌ای که از ساختمان خارج می‌شود در مرز زمین –ساختمان، دارای شیب نزولی است *(Weng&Quattrochi,2007:28)*.

در ابتدا ممکن است فرض کنید توالی نقطه‌ای از زمین وارد محدوده ساختمان می‌شود. بنابراین زمانی که یک نقطه لیدار به شیبی بیشتر از شیب معین آستانه S_t می‌رسد، پروفایل لیدار در این نقطه به لبه ساختمان می‌رسد. آنگاه جزو نقاط غیرزمینی طبقه‌بندی می‌شود. ارتفاع و شیب آخرین نقطه زمین استخراجی برای استفاده پیش‌بینی ارائه می‌شود.

الگوریتم، طبقه‌بندی نقاط متوالی را به صورت ساختمان ادامه می‌دهد تا زمانی که به شیب نزولی رسید. این نقطه شیب منفی احتمالاً می‌تواند یک نقطه زمینی باشد و باید مورد بررسی قرار گیرد. ارتفاع آن با ارتفاع آخرین نقطه زمینی جایی که پروفایل لیدار به ساختمان می‌رسد، مقایسه می‌شود. اگر دو ارتفاع در یک نقطه حد جدایی به هم نزدیک باشد الگوریتم، نقطه نزولی را به صورت نقطه زمینی طبقه‌بندی می‌کند.

در شهرهای نسبتاً مسطح، این روش به درستی عمل می‌کند. برای شهرهای تپه ماهور، پیش‌بینی ارتفاع نقطه نزولی به کار می‌رود (نگاره۲).

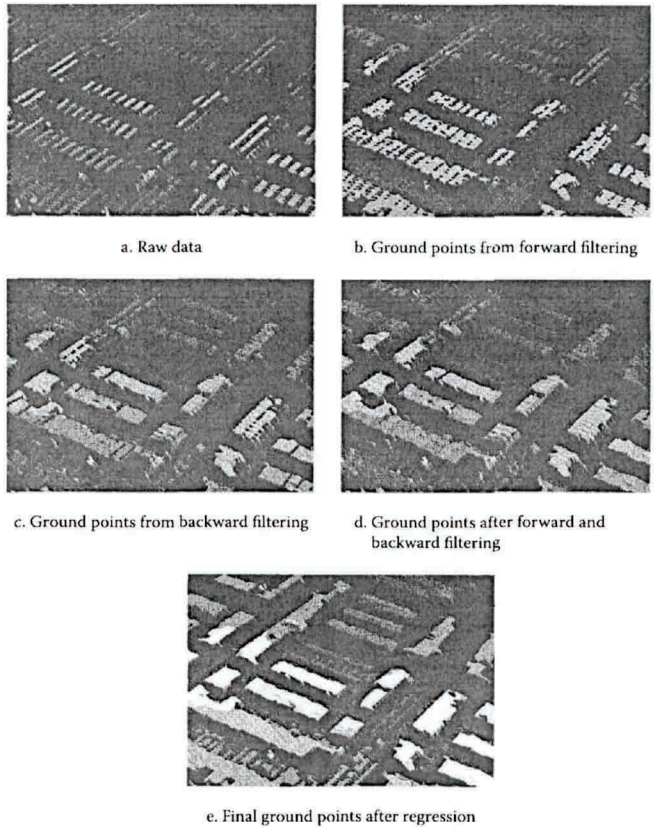
این فرآیند ادامه می‌یابد تا زمانی که آخرین نقطه لیدار در مجموعه داده‌ها باشد.

ارزیابی

نتایج فیلتر کردن دو نوع اشتباه را در بر دارد. نوع اول، به اشتباهی اشاره دارد که نقاط غیرزمینی را به صورت نقاط زمینی طبقه‌بندی می‌کند و نوع دوم، نشاندهنده اشتباهی است که یک نقطه زمینی را به صورت یک نقطه غیرزمینی طبقه‌بندی می‌کند. نتایج فیلتر کردن باید در مقابل این دو اشتباه ارزیابی شوند. در حال حاضر، استفاده از حقیقت زمین یا بررسی دیداری در مقایسه با اورتو تصاویر موجود، معمول‌ترین و مطمئن‌ترین روش است.

بازبینی دستآوردها

الگوریتم فیلتر کردن توسعه زیادی یافته است. برای تسهیلات بازبینی، آنها در دو گروه اصلی خلاصه می‌شوند: راهکار طبقه‌بندی و راهکار تنظیم.



نگاره ۲: مراحل فیلتر

در راهکار طبقه‌بندی، نقاط زمینی با استفاده از عملگرهای خاصی تعیین می‌شوند.

پژوهش‌های زیادی پیرامون فیلترسازی در دنیا انجام یافته است. اشاره به دستآوردها خود مجالی دیگر می‌طلبد و در اینجا تنها به ذکر نام محققین و سال آن اکتفا می‌شود.

لیندربرگر[۴] (۱۹۹۳) عملگرهای ریخت‌شناسی ریاضی را معرفی کرد.

کیلیان و دیگران[۵] (۱۹۹۶) از یکسری عملگرهای ریخت‌شناسی با اندازه‌های متفاوت برای استخراج نقاط زمینی استفاده کردند.

وسل من[۶] (۲۰۰۰) برای توجه به کاهش موضعی، فیلتر شیب محور را پیشنهاد داد.

زانگ[۷] و دیگران (۲۰۰۳) اندازه عنصرساختار را برای طبقه‌بندی داده‌های لیدار به نقاط زمینی و غیرزمینی افزایش دادند.

زانگ[۸] و دیگران (۲۰۰۴) استفاده از مبدل‌های نسبی را به کار گرفتند.

آرفی و هان[۹] (۲۰۰۵) راهکارهای فیلتر کردن برمبنای قطعه سازی ارائه کردند.

زانگ و ویتمن[۱۰] (۲۰۰۵) عملکرد سه فیلتر را با هم مقایسه کردند و نشان دادند که ریخت شناسی تصاعدی بهترین نتایج را فراهم می‌سازد.

منابع

1- [illegible]

2- [illegible]

3- [illegible]

4- [illegible]

5- [illegible]

6- [illegible]

7- [illegible]

8- [illegible]

9- [illegible]

10- [illegible]

پی نوشت

1- [illegible]

2- [illegible]

3- [illegible]

4- [illegible]

5- [illegible]

6- [illegible]

7- [illegible]

8- [illegible]

9- [illegible]

10- [illegible]