



استخراج مدل رقومی زمینی با استفاده از فیلتر کردن تصویر لیدار به کمک تصویر نوری قائم، انتخاب داده‌های آموزشی نیمه خودکار و عملگر مورفولوژی

علی محمد زاده^{۱*}، مهدی اصفهانی^۲

۱- دانشیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

چکیده:

امروزه لیزر اسکنر هوایی (LiDAR) نقش مهمی در برداشت اطلاعات سه بعدی عوارض سطح زمین ایفا می‌کنند. با توجه به جمع‌آوری سریع داده‌ها، استخراج مدل رقومی زمینی با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی به‌عنوان یک پردازش استاندارد در دهه‌های اخیر در نظر گرفته می‌شود. فیلتر کردن نقاط زمینی از غیرزمینی به‌منظور بدست آوردن زمین حقیقی یک پردازش اساسی برای استخراج مدل رقومی زمینی به حساب می‌آید. تعداد زیادی از روش‌های فیلتر کردن در دهه‌های اخیر پیشنهاد و ارائه شده‌اند. به‌طور اساسی آن‌ها را می‌توان در سه روش؛ رگرسیون خطی، شیب مبنا، مورفولوژی دسته‌بندی کرد. فیلترهای شیب مبنا به کار برده شده یک فرض اساسی در زمین‌های با شیب ملایم دارند که مشکل اصلی آن‌ها زمین‌های پلکانی یا با شیب تند، وسایل نقلیه و پوشش‌های گیاهی کم ارتفاع است. راه‌کار ارائه‌شده در این مقاله به‌منظور فیلتر کردن، یک روش سازگار با منطقه بر اساس الگوریتم شیب مبنا محلی به همراه استفاده از داده‌های آموزشی و عملگرهای مورفولوژی ریاضی می‌باشد که به‌طور نیمه‌خودکار به کمک تصویر نوری و لیدار باهدف حل مشکلات فوق تهیه شده است؛ که در مقایسه با روش شیب مبنا محلی بدون استفاده از داده‌های آموزشی رفتار و نتایج بهتری را ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: فیلتر کردن، لیدار، شیب مبنا محلی، عملگرهای مورفولوژی ریاضی، داده‌های آموزشی نیمه‌خودکار



۱- مقدمه

استفاده از لیزر اسکنر هوایی یکی از روش‌های اولیه برای اخذ داده‌های سه‌بعدی سطح به‌صورت مستقیم و مناسب در مقیاس بزرگ می‌باشد. چندین کشور در دهه‌های اخیر برای توسعه و بروز رسانی مناطق با جزئیات بالا و استخراج مدل رقومی زمینی آن‌ها از داده‌های لیزر اسکنر هوایی استفاده کرده‌اند. با وجود این فناوری، تولید و استخراج مدل رقومی زمینی از اندازه‌گیری‌های بدست آمده توسط لیزر اسکنر هوایی، بدون مشکل نیست. دو مشکل اساسی آن حذف خطای سیستماتیک و انتخاب درست و دقیق نقاط زمینی است [۱]. با توسعه سریع سیستم‌های لیزر اسکنر هوایی و گسترش تکنولوژی، امروزه خطای سیستماتیک آن کاهش داشته و در مقایسه با فتوگرامتری دارای دو مزیت مقرون‌به‌صرفه بودن، برای بدست آوردن اطلاعات ارتفاعی از مناطق بزرگ و پیش‌پردازش کمتر داده‌ها می‌باشد [۲]. بعلاوه، آنچه سیستم‌های لیدار را محبوب‌تر می‌کند محدودیت کمتر آن در انواع شرایط آب و هوایی و امکان اخذ داده تمامی ساعات روز است [۳]. از کاربردهای اصلی لیزر اسکنر هوایی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: (۱) جنگلداری: استخراج مدل رقومی ارتفاعی در مناطق جنگلی و مطالعه الگوهای زهکشی، برآورد پارامترهای گیاهی (۲) مدل‌سازی روستایی و شهری و شناسایی تغییرات: استخراج جاده، خطوط انتقال حمل‌ونقلی، خطوط انتقال انرژی، استخراج ساختمان، مدل‌سازی سه‌بعدی شهری، استخراج مدل رقومی ارتفاعی شهری (۳) فتوگرامتری: تعیین دقیق و مطلق امتدادها در تصاویر فتوگرامتری، بروز رسانی نقشه‌های شهری (۴) اقیانوس و هیدروگرافی: اندازه‌گیری خطوط جزر و مدی، تغییرات و فرسایش ساحل، پیش‌بینی سیل و ... [۴]. تعدادی زیادی از روش‌های فیلتر کردن برای کاربردهای فوق پیشنهاد شده‌اند. سیتوله و وسلمن در سال ۲۰۰۴ و ژانگ و ویتمن در سال ۲۰۰۵ بعضی از این روش‌ها را با یکدیگر مقایسه کرده‌اند. به‌طور کلی، این روش‌ها را می‌توان در سه دسته رگرسیون خطی، شیب مبنا و روش‌های مورفولوژی پایه قرارداد [۵]. در میان این کاربردهای ذکر شده، تولید و استخراج مدل رقومی زمینی یکی از مهم‌ترین آن‌ها و یک پردازش استاندارد و اصلی به حساب می‌آید. گاهی برای ساده‌سازی انجام این پردازش نقاطی که دارای مختصات سه‌بعدی هستند به داده‌های منظم (رستری) تبدیل می‌گردند. تعدادی زیادی از روش‌های فیلتر کردن پیشنهاد شده‌اند. سیتوله و وسلمن در سال ۲۰۰۴ و ویتمن و ژانگ در سال ۲۰۰۵ بعضی از این روش‌ها را با یکدیگر مقایسه کرده‌اند. به‌طور کلی، این روش‌ها را می‌توان در سه دسته رگرسیون خطی، شیب مبنا و روش‌های مورفولوژی پایه قرارداد. شان و سامپس در سال ۲۰۰۵ از شروط شیب و ارتفاعی برای تعیین یک نقطه زمینی از غیرزمینی استفاده کردند [۳]. بلیغ و همکاران در سال ۲۰۰۸ به منظور شناسایی و حذف اشتباهات داده‌های لیدار از روش موجک^۱ استفاده کردند. این روش براساس تجزیه تصویر خام لیدار به منظور شناسایی تغییرات کوچک ارتفاعی برای استخراج زمین طبیعی بود [۶]. همچنین ایشان در سال ۲۰۱۱ برای استخراج زمین طبیعی از داده‌های لیزر اسکنر هوایی، یک شبکه عصبی را با داده‌های آموزشی نظارت شده و نظارت نشده آموزش دادند [۷].

مقادیر شیب معمولاً بین نقاط زمینی و غیرزمینی به‌طور قابل‌توجهی زیاد و ارتفاع از سطح زمین برای سطوح غیرزمینی معمولاً بزرگ خواهد بود. با استفاده از این دو شرط آن‌ها یک مدل ریاضی برای توصیف سطح زمین طراحی کردند. در این مقاله از دو شرط شیب و اختلاف ارتفاع از نقاط زمینی که به‌صورت نیمه‌خودکار به کمک تصویر نوری و لیدار به‌عنوان داده آموزشی از سطح زمین انتخاب گردیده و همچنین از عملگرهای مورفولوژی استفاده شده و باهدف توسعه و بهبود نتایج روش فوق ارائه گردیده است.

^۱Wavelet

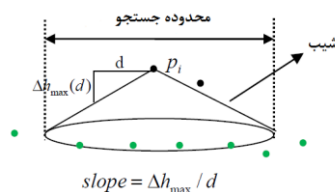


۲- فیلترهای شیب مبنا

۲-۱- فیلتر شیب مبنا

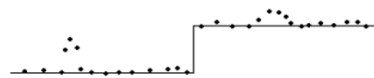
فیلتر شیب مبنا اولین بار توسط وسلمن در سال ۲۰۰۰ پیشنهاد شده [۸] و ایده اصلی آن بدین صورت است که دونقطه مجاور روی زمین دارای اختلاف ارتفاع زیاد نیستند به عبارتی آن دو نقطه روی سطح زمین دارای شیب ملایم هستند [۶]. این فیلتر براساس یک المان ساختاری (تابع همسایگی) که ترکیبی از دو پارامتر شیب و محدوده جستجو (d) می‌باشد؛ طراحی شده است. رابطه (۱) در زیر بیانگر معادله مربوط به المان ساختاری است.

$$k(\Delta x, \Delta y) = -\Delta h_{\max}(d) = \text{slope} \times d \quad (\text{رابطه ۱})$$

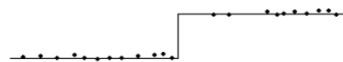


شکل ۱- شکل هندسی از تابع المان ساختاری

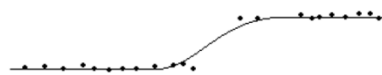
حدآستانه تعریف شده در این روش بایستی به طور صحیح بر اساس نوع زمین تعیین گردد. فیلتر شیب مبنای محلی [۹] جهت تعیین حدآستانه شیب در هر منطقه به صورت جداگانه، قبل از اجرای فیلتر شیب مبنا طراحی گردید. فیلتر شیب مبنای محلی برای زمین‌های مسطح و دارای شیب زیاد به خوبی کار می‌کند؛ اگرچه برای نواحی پلکانی و ترانشه نتایج حاصله ممکن است غیرقابل اعتماد باشد. خطا در پروسه فیلتر کردن با استفاده از روش شیب مبنای محلی در مناطقی مانند شکل ۲ رخ خواهد داد [۱۰]. شکل ۲-۱ ابر نقاط داده‌های لیدار در اطراف یک عارضه پلکانی نشان می‌دهد. شکل ۲-۲ ابر نقاط لیدار بعد از فیلتر کردن به روش شیب مبنای محلی را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد نقاط نزدیک به عارضه پلکانی در بالا فیلتر شده هستند. در واقع در این حالت، فیلتر کردن بیش از حد ابر نقاط لیدار رخ داده است و سطح حاصله نسبت به سطح اصلی مدل رقومی زمینی نرم‌تر می‌باشد. شکل ۲-۳ سطح زمین نرم شده حاصله بعد از فیلتر کردن را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱- شکل هندسی ابر نقاط قبل از فیلتر کردن



شکل ۲-۲- شکل هندسی ابر نقاط بعد از فیلتر کردن



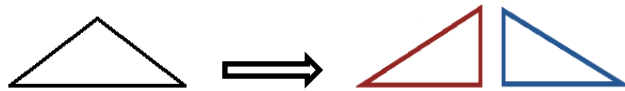
شکل ۲-۳- سطح حاصله نرم شده زمین بعد از فیلتر کردن

۲-۲- فیلتر شیب مبنای محلی دو امتدادی

فیلتر شیب مبنای محلی دو امتدادی توسط وانگ و تسنگ در سال ۲۰۱۰ باهدف حل مشکل فیلتر کردن نقاط در زمین‌های پلکانی ارائه گردید [۱۰]. ایده اصلی این روش تقسیم فیلتر شیب مبنا به دو فیلتر در دو جهت رفت و برگشت می‌باشد (شکل ۳).



در این روش مجدداً مسئله فیلتر کردن بیش از حد نقاط لیدار در عوارض پلکانی مورد بررسی قرار گرفت و این کار با دو فیلتر در دو جهت با دو پارامتر شیب و محدوده جستجو انجام پذیرفت. نقاط از دست رفته در روش قبلی توسط یکی از دو فیلتر حفظ خواهد شد (شکل ۴-۱). نتیجه نهایی آن، به وسیله اجتماع گیری از نتایج دو فیلتر می توانند بدست آید (شکل ۴-۲). به عبارت دیگر می توان گفت در این روش هر نقطه ای زمانی که از یک فیلتر عبور کند بر حسب زمینی می گیرد. هندسه فیلتر شیب مبنای محلی یک فیلتر امتدادی نیست؛ اما اگر آن را در امتداد دیگری بکار گرفته شود، نتایج حاصل از آن مشابه روش فوق خواهد بود.



شکل ۳- شکل هندسی فیلتر شیب مبنای دو امتدادی

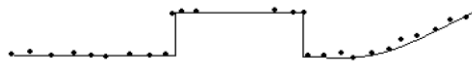


شکل ۴-۱ نتایج فیلتر شیب مبنای دو امتدادی



شکل ۴-۲ اجتماع نتایج دو فیلتر در دو جهت متفاوت

در این روش مشکلی که ممکن است پیش بیاید، در انتخاب محدوده جستجو است. اگر محدوده مورد بررسی به اندازه کافی بزرگ نباشد، یک عارضه طبیعی بزرگ ممکن است به عنوان نقاط غیرزمینی فیلتر شود و در صورتی که محدوده بررسی بیش از حد بزرگ باشد ممکن است عوارضی مانند ساختمان های کم ارتفاع به عنوان نقاط زمینی در نظر گرفته شوند. شکل ۵ مشکل ایجاد شده در محدوده جستجو را بعد از اجتماع گیری نشان می دهد.



شکل ۵- خطای حاصل شده از کوچک بودن محدوده جستجو

۳- استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در استخراج زمین طبیعی:

این روش که توسط بلیغ و همکاران در سال ۲۰۱۱ ارائه شده از داده های آموزشی که به دو روش نظارت شده و نظارت نشده تهیه شده اند برای آموزش شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردیده است [۷]. در این روش با توجه به تراکم نقاط لیدار از دو شعاع همسایگی کمینه و بیشینه برای تهیه داده های آموزشی خودکار استفاده شده است که تعیین کننده حد آستانه شیب برای انتخاب داده آموزشی است. داده های آموزشی تهیه شده (نظارت شده و نظارت نشده) برای آموزش شبکه عصبی مصنوعی استفاده می شود سپس شبکه عصبی مصنوعی آموزش داده شده برای طبقه بندی (فیلتر کردن) داده های لیدار در دو کلاس زمین طبیعی و عوارض مورد استفاده قرار می گیرد. نقاطی که در کلاس زمینی طبیعی قرار می گیرند مجدداً توسط حد آستانه زبری به صورت محلی مورد بررسی قرار می گیرند.

۴- روش پیشنهادی

در این روشی که پیشنهاد گردیده از داده های رستری بازگشت آخر لیدار و تصویر نوری داده های ناحیه ۳ منطقه و اینهننگن آلمان استفاده شده است. در ابتدا نوبت موجود در داده رستری بازگشت آخر لیدار و داده های دورافتاده اصلاح می گردند [۷, ۱۱]. سپس در مرحله دوم داده های آموزشی نقاط زمینی به طور نیمه خور کار با استفاده از آلمان ساختاری، تصویر بازگشت آخر لیدار و به کمک شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده ترکیب یافته با مناطق سایه [۱۱], [۱۲] (CombinedIndex_NDVI) بدست آمده از تصویر نوری انتخاب می گردد.



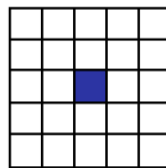
مرحله سوم فیلتر کردن نقاط زمینی از غیرزمینی می‌باشد که از فیلتر شیب مبنای محلی [۹] سیتوله و وسلمن استفاده شده است. سپس نتایج حاصل از فیلتر کردن با استفاده از عملگر مورفولوژی ریاضی گشایش بهبود داده می‌شود. در مرحله آخر نقاطی که به‌عنوان نقطه زمینی از مرحله قبل عبور کرده‌اند با استفاده از روش شبکه‌بندی مکعبی (Cubic) برای استخراج سطح مدل رقومی زمینی استفاده می‌شوند.

۴-۱- اصلاح نویز و نقاط دورافتاده

قبل از شروع روند کلی فیلتر کردن داده‌های رستری بازگشت آخر لیدار بایستی از لحاظ وجود نویز و داده‌های دورافتاده پیش‌پردازش شوند [۱۲]. برای شناسایی این پیکسل‌ها، تفاضل تصویر بازگشت اولیه لیدار از تصویر بازگشت آخر آن محاسبه می‌گردد [۷، ۱۱]. برای اصلاح نقاط دورافتاده اختلاف ارتفاع هر پیکسل از پیکسل‌های همسایه در ۴ جهت بالا، پایین، چپ و راست بصورت متوالی محاسبه می‌گردد. در صورتی که اختلاف ارتفاع در جهت‌های بالا و پایین بیشتر از حد آستانه باشد اصلاح می‌گردند.

۴-۲- انتخاب نیمه‌خودکار داده‌های آموزشی زمینی

انتخاب داده‌های آموزشی به‌صورت نیمه‌خودکار در دو مرحله انجام می‌پذیرد. در هر دو مرحله از یک کرنل با ابعاد فرد که توسط کاربر تعیین می‌گردد؛ استفاده می‌شود. پارامترهایی که توسط کاربر بایستی انتخاب شوند، اولین نقطه داده آموزشی زمینی در یکی از گوشه‌های تصویر، حد آستانه اختلاف ارتفاع (Th) و CombinedIndex_NDVI است. هسته کرنل با قرارگیری بر روی اولین داده آموزشی محدوده انتخاب برای داده آموزشی دوم را ایجاد می‌کند (شکل ۶).



شکل ۶- محدوده جستجو برای انتخاب داده آموزشی - پیکسل آبی داده آموزشی اول را نشان می‌دهد

در انتخاب داده‌های آموزشی سه شرط شیب، اختلاف ارتفاع (Th) و CombinedIndex_NDVI نسبت به داده‌های آموزشی قبلی و نزدیک مورد بررسی قرار می‌گیرد. در داخل هر کرنل دو داده آموزشی انتخاب می‌شود (برای مرحله اول داده آموزشی اول توسط کاربر تعیین شده). حرکت کرنل بر روی تصویر به‌گونه‌ای است که اشتراکی با محدوده جستجوی قبلی ندارد (شکل ۷). علت انتخاب داده‌های آموزشی در دو مرحله داشتن داده آموزشی در مناطق چمن زار است.



شکل ۷- محدوده‌های جستجو برای انتخاب داده‌های آموزشی

۴-۲-۱- انتخاب داده‌های آموزشی - مرحله اول

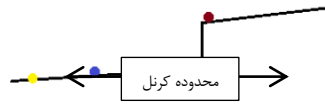
همان‌طور که گفته شد در هر کرنل دو داده آموزشی انتخاب می‌گردد، اولین داده آموزشی دارای شروط کمترین شیب از داده آموزشی قبلی و نزدیک، CombinedIndex_NDVI کمتر از حد آستانه (Ti) تعریفی و کمترین اختلاف ارتفاع باشد. داده آموزشی دوم شرط شیب برای آن بررسی نمی‌گردد و نقطه‌ای به‌عنوان داده آموزشی دوم انتخاب می‌گردد

که بیشترین اختلاف ارتفاع از داده آموزشی قبلی و نزدیک (داده آموزشی اول در کرنل) را داراست در حالتی که کمتر از حد آستانه تعریفی می‌باشد و به آن نزدیک‌تر است (شکل ۸). رابطه ۴ نحوه انتخاب اولین داده آموزشی و رابطه ۵ انتخاب دومین داده آموزشی در هر کرنل را نشان می‌دهد.

در صورتی که چند پیکسل منتخب برای داده آموزشی باشند یکی از آن‌ها به صورت تصادفی انتخاب می‌گردد.

$$\text{if } \left\{ \begin{array}{l} \text{Slope } P_i \text{ is min} \\ \text{CombinedIndex_NDVI } P_i < T_i \\ \text{Differential_High of } P_i \text{ is min} \end{array} \right\} \rightarrow P_i \text{ is First training data in kernel} \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$\text{if } \left\{ \begin{array}{l} \text{CombinedIndex_NDVI } P_i < T_i \\ \text{Differential_High of } P_i \text{ is max} < T_h \\ P_i \text{ has min distance from } P_{i-1} \end{array} \right\} \rightarrow P_i \text{ is Second training data in kernel} \quad (\text{رابطه ۵})$$



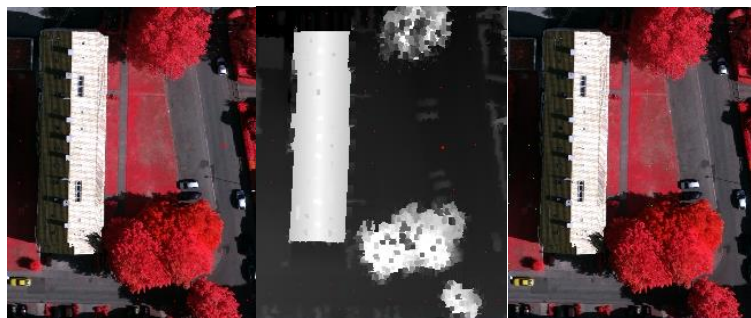
شکل ۸- نحوه انتخاب داده‌های آموزشی در محدوده کرنل

مزیت انتخاب داده آموزشی با بیشینه اختلاف ارتفاع کمتر از حد آستانه، داشتن داده‌های آموزشی از عوارض پلکانی به منظور استفاده در فرآیند فیلتر کردن است. همچنین استفاده از CombinedIndex_NDVI در این مرحله باعث می‌گردد که پوشش‌های گیاهی با ارتفاع پائین و همچنین قرار گرفته در سایه به عنوان داده آموزشی انتخاب نگردند. این امر سبب می‌شود که ما داده آموزشی از مناطق چمن‌زار که جزء نقاط زمینی محسوب می‌شوند نداشته باشیم (شکل ۸).

۴-۲-۲- انتخاب داده‌های آموزشی - مرحله دوم

این مرحله همانند مرحله قبل، در محدوده کرنل پیکسل‌هایی به عنوان داده‌های آموزشی انتخاب می‌گردند. در این مرحله CombinedIndex_NDVI بالاتر از حد آستانه، کمترین شیب و کمترین اختلاف ارتفاع نسبت به داده آموزشی نزدیک و قبلی را دارا باشند. به عبارتی می‌توان گفت داده‌های آموزشی در چمن‌زارها انتخاب می‌گردند (شکل ۹). رابطه ۶ نحوه انتخاب داده‌های آموزشی در مرحله دوم را ارائه می‌دهد.

$$\text{if } \left\{ \begin{array}{l} \text{Slope } P_i \text{ is min} \\ \text{CombinedIndex_NDVI } P_i > T_i \\ \text{Differential_High of } P_i \text{ is min} \end{array} \right\} \rightarrow P_i \text{ is First and Second training data in kernel} \quad (\text{رابطه ۶})$$

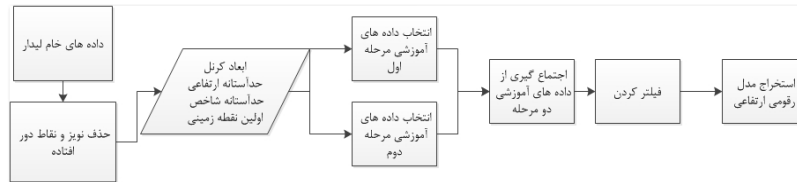


شکل ۹- داده‌های آموزشی در مرحله اول به رنگ قرمز و داده‌های آموزشی در مرحله دوم به رنگ سبز



۴-۲-۳- اجتماع گیری از داده‌های آموزشی مرحله اول و دوم

داده‌های آموزشی که از مرحله اول و دوم بدست آمده است با یکدیگر اجتماع گیری می‌شود و باهم کل داده‌های آموزشی ما را تشکیل می‌دهند. فلوجارت انتخاب داده‌های آموزشی و استفاده از آنها در فیلتر کردن را نشان می‌دهد.



شکل ۹- فلوجارت انتخاب داده‌های آموزشی

۴-۳- فیلتر کردن با استفاده از روش شیب مبنای محلی

در این مرحله جهت فیلتر کردن نقاط زمینی از غیرزمینی از الگوریتم شیب مبنا محلی [۹] استفاده گردیده است. برای انجام فرآیند فیلتر کردن از دو شرط شیب و اختلاف ارتفاع استفاده گردیده است. در این روند دو داده آموزشی که نزدیک‌ترین فاصله تا پیکسل موردبررسی را دارند شناسایی و شیب بین آن دو داده آموزشی محاسبه می‌گردد که تعیین‌کننده شیب منطقه است. سپس شیب پیکسل موردبررسی با نزدیک‌ترین داده آموزشی نیز محاسبه و همراه یک حدآستانه شیب منطقه مقایسه می‌گردد و شرط اختلاف ارتفاع با داده آموزشی نزدیک نیز بررسی می‌شود. در صورتی که پیکسل موردبررسی هر دو شرط را ارضاء کند به‌عنوان پیکسل زمینی در نظر گرفته می‌شود. رابطه ۷ نشان‌دهنده شروط برای فیلتر شیب مبنای محلی است.

$$\left. \begin{array}{l} |Slope n_i - local Slope| < T_s \\ \text{and} \\ |Hn_i - HP_i| < T_h \end{array} \right\} \rightarrow n_i \text{ is ground point} \quad (\text{رابطه ۷})$$

در رابطه بالا n_i پیکسل موردبررسی T_s حد آستانه تغییرات شیب و T_h حد آستانه اختلاف ارتفاع است

۴-۴- ارزیابی نتایج بعد اعمال فیلتر با استفاده از داده‌های آموزشی

جهت ارزیابی نتایج حاصل از فیلتر کردن ۲۰۰۰ پیکسل به عنوان داده ارزیابی به صورت دستی و تصادفی انتخاب گردیده که ۱۰۰۰ پیکسل آن زمینی و ۱۰۰۰ پیکسل آن غیرزمینی می‌باشد. نتایج حاصل شده برای روش پیشنهادی در جدول ۱ آمده است. خطای نوع اول پیکسل‌های زمینی هستند که به‌اشتباه غیرزمینی در نظر گرفته شده‌اند و خطای نوع دوم پیکسل‌های غیرزمینی که به‌اشتباه زمینی در نظر گرفته شده‌اند.

خطای نوع اول	خطای نوع دوم	خطای کل
۱۵.۸ %	۶.۷ %	۱۰.۲ %

جدول ۱- ارزیابی نتایج حاصل از فیلتر کردن با داده‌های آموزشی

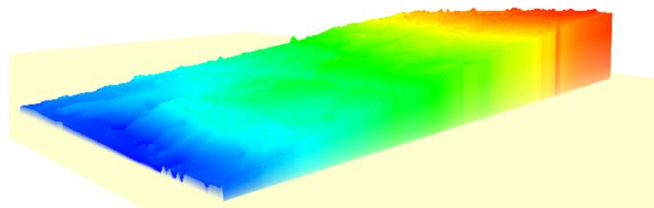
شکل ۱۱ سمت راست نتایج حاصل از فیلتر کردن به روش پیشنهادی و شکل ۱۱ سمت چپ بهبود نتایج حاصل از فیلتر با استفاده از عملگرهای مورفولوژی را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود پوشش‌های گیاهی کم ارتفاع و وسایل نقلیه در تصویر فیلتر شده‌اند.



شکل ۱۱- نتیجه حاصل از فیلتر کردن و بهبود نتایج با عملگر مورفولوژی گشایش

۴-۶- تهیه مدل رقومی زمینی منطقه

پیکسل‌های سفید در شکل ۱۲ نقاط زمینی بوده. با داشتن ارتفاع آن‌ها از تصویر بازگشت آخر لیدار و با استفاده از روش شبکه‌بندی به روش مکعبی (Cubic) سطح مدل رقومی زمینی منطقه بدست می‌آید. شکل ۱۳ نشان‌دهنده مدل رقومی زمینی منطقه است.



شکل ۱۳- مدل رقومی زمینی منطقه

۵- بحث و پیشنهادها

این مقاله یک روش فیلتر کردن داده‌های رستری لیدار به کمک تصویر نوری قائم با انتخاب داده‌های آموزشی نیمه‌خودکار به روش شیب مبنای محلی و عملگرهای مورفولوژی را ارائه می‌دهد. نتایج مورد بررسی نشان می‌دهد که داده‌های آموزشی درست و دقیق می‌تواند به دقت الگوریتم شیب مبنای محلی کمک کند و استفاده از این داده‌ها باعث کاهش عدم قطعیت، افزایش سازگاری با منطقه می‌گردد و همچنین می‌توان بر روی روند کلی الگوریتم و نوع منطقه نظارت داشت. داده‌های آموزشی در صورتی که به درستی انتخاب شوند قابلیت آن را دارند که پوشش‌های گیاهی کم ارتفاع و وسایل نقلیه را فیلتر و زمین‌های پلکانی که در حد آستانه ارتفاعی باشند به عنوان نقاط زمینی در نظر بگیرند که موجب بهبود مدل رقومی زمینی استخراج شده می‌گردد. از جمله مشکل این روش در انتخاب داده‌های آموزشی چمن زاری بود که در سایه قرار داشتند که با استفاده از شاخص $CombinedIndex_NDVI$ این امر میسر گردید. برای کارهای آینده می‌توان روش ارائه شده را روی داده‌های بیشتری امتحان کرد تا از اطمینان و انعطاف‌پذیری آن مطلع شد و همچنین انتخاب داده‌های آموزشی را می‌توان به طور خودکار در چهار جهت انتخاب کرد.

منابع

- [1] Huising, E. and L.G. Pereira, *Errors and accuracy estimates of laser data acquired by various laser scanning systems for topographic applications*. ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing, 1998. **53**(5): p. 245-261.
- [2] Meng, X., et al., *A multi-directional ground filtering algorithm for airborne LIDAR*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2009. **64**(1): p. 117-124.



- [3] Shan, J. and S. Aparajithan, *Urban DEM generation from raw lidar data*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2005. 71(2): p. 217-226.
- [4] A. Mohammadzadeh , M.J.V., A. Tavakoli , N. Mohammadzadeh, *An overview to the applications of airborne lidar systems*, in *The 13th Australian Remote Sensing and Photogrammetry Conference, Sensor Technologies*. 2006: Canberra, Australia.
- [5] Silván-Cárdenas, J. and L. Wang, *A multi-resolution approach for filtering LiDAR altimetry data*. ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing, 2006. 61(1): p. 11-22.
- [6] Baligh, A., M.V. Zoj, and A. Mohammadzadeh, *Bare earth extraction from airborne lidar data using different filtering methods*. Proceedings of Commission III, ISPRS Congress Beijing 2008, 2008.
- [7] Jahromi, A.B., et al., *A Novel Filtering Algorithm for Bare-Earth Extraction From Airborne Laser Scanning Data Using an Artificial Neural Network*. Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of, 2011. 4(4): p. 836-843.
- [8] Vosselman, G., *Slope based filtering of laser altimetry data*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 2000.(33.B3/2; PART 3): p. 935-942.
- [9] Sithole, G., *Filtering of laser altimetry data using a slope adaptive filter*. International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2001. 34(3/W4): p. 203-210.
- [10] Wang, C.-K. and Y.-H. Tseng, *Dem generation from airborne lidar data by an adaptive dual-directional slope filter*. 2010: na.
- [11] Zarea, A. and A. Mohammadzadeh, *A Novel Building and Tree Detection Method From LiDAR Data and Aerial Images*. Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of, 2015. PP(99): p. 1-12.
- [12] Zare, A., *Building Extraction and 3D Building Reconstruction by Fusion of Optic and LiDAR Data*, in *K.N.Toosi University of Technology Faculty of Geodesy and Geomatics*. 2013.



DTM Extraction using LiDAR filtering data by using optical image, choose semi-automated training data and morphology operator

Ali Mohammadzadeh^{1*}, Mahdi Esfehani²

1-Associate Professor of Remote Sensing Dept., Faculty of Geomatics Engineering, K.N.Toosi University of Technology

2- MSc Student of Remote sensing, K.N.Toosi University of Technology

ABSTRACT:

An airborne LiDAR² system capable of collecting three dimensional information over ground surface effectively. DTM³ extraction using airborne LiDAR data has become standard process from airborne LiDAR data in decade. Filtering ground point from non-ground point in order to have ground truth is basic process for DTM extraction. Many filtering method have been proposed for this process in decade.

Basically they can be categorized into three main approaches: linear regression method, slope based method and morphology based method. Slope base method has The basic Assumption of land with gentle slopes which its important problems in terraced ground, abrupt surface, Vehicles and low-lying vegetation. In this paper in order to filtering an adaptive approach with región According to local slope base filtering with use of training data and mathematical morphology operator, which training data with use optic and LiDAR images. This approach is proposed With the aim of solving the above problems which Compared with local based approach without training data Behavior and provides better results.

KEY WORDS:

Filtering, LiDAR, Local slope base, Mathematical morphology, Semi-Automatic training data

² Light Detection And Ranging

³ Digital Terrain Model