



# جنرالیزاسیون DTM کسب شده از لیدار بمنظور استخراج شبکه راهها

ترجمه و تنظیم: مهندس حمید عنایتی

## چکیده

هدف خلاصه سازی DTM کسب شده از روی داده های لیدار بمنظور جنرالیزاسیون (کاهش جزئیات) و همچنین تقویت عوارض مهم می باشد. جهت تجسم سطح زمین می بایستی به تقویت عوارض خاصی از قبیل خطوط راهها و سدها پرداخت. این مقاله بدنال یک الگوریتم جهت استخراج راهها است. با الگوریتم خلاصه سازی می توان شبکه راهها و ابر نقاط فیلتر شده مربوط به LIDAR را برآورد نمود.

## ۱- مقدمه

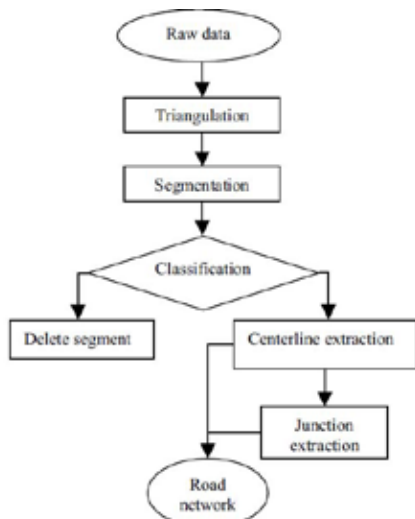
استخراج و تقویت عوارضی همچون راهها، با توجه به اهمیت کاربرد بسیار بالای آن در امر ترافیک، حمل و نقل و در مواقع بحران، دسترسی آسان به مسیرها امری ضروری بشمار می آید. امروزه استخراج راهها به روش های گوناگونی از جمله ترسیم از روی مدل استرئو با استفاده از تصاویر هوایی و ماهواره ای بصورت دستی و یا استخراج خطوط راهی از روی ارتوفتو و نقشه ها و همچنین به طریق مستقیم زمینی (نقشه برداری زمینی) امکان پذیر است. با توجه به زمانبر و پرهزینه بودن روش های مورد اشاره نیاز به بررسی و رسیدن به یک روش منطقی که سریع و کم هزینه باشد امری ضروری بشمار می آید.

امروزه استخراج عوارض بصورت خودکار به یک مسئله بسیار مهم در فتوگرامتری و سنجش از دور تبدیل گردیده است. پیشرفت های اخیر در توانایی های سامانه لیدار و رشد روز افزون به کارگیری داده های آن در زمینه های مختلف (Mohammadzadeh et al, 2006) همچنین هزینه پایین، سرعت بالا و قابلیت بالای فناوری در خودکار کردن فرآیند استخراج عوارض، موجب ایجاد انگیزه ای جهت تحقیق در رابطه با ایجاد الگوریتم های استخراج عوارض شامل راهها از داده های LIDAR شده است.

در این مقاله تلاش به منظور کم نمودن زمان پردازش حجم بسیار بالای داده ها، نیازمند ساده نمودن و یا برآورد تقریبی اطلاعات اصلی است. با توجه به پیشرفت تکنولوژی و بالا رفتن حجم داده ها، موضوع ساده سازی اتوماتیک جهت مدل های سطح که با جزئیات زیاد همراه است بسیار مورد توجه قرار دارد. Cignoni et al (1998) الگوریتم های مختلف ساده کردن را مقایسه می نماید و نظر کلی خوبی راجع به روش های فعلی ارائه می دهد. همچنین Heckbert Garland (1997) خلاصه کاملی از ساده کردن سطح چند ضلعی را مطرح می نماید که در آن سعی شده الگوریتم های مطرح شده طبقه بندی گردند. Luebke (2001) مهمترین الگوریتم های ساده کردن از دیدگاه سازنده

ارزیابی و توصیف می کند. علی رغم وجود چندین الگوریتم ساده سازی، ممکن است عوارض خاصی در طول این فرآیند وضوح خود را از دست داده و یا لبه های آنها محو گردند، مگر اینکه این عوارض در طی فرآیند در نظر گرفته شوند. لذا می بایستی روش های مناسب خلاصه سازی جهت وضوح انواع عوارض مهم مورد استفاده قرار گیرند.

در اینجا یک الگوریتمی جهت خلاصه سازی DTM بدست آمده از داده های لیدار ارائه می گردد. کیفیت بالای DTM کسب شده از ارتفاع سنجی لیزری حجم قابل توجهی از داده ها را تولید می کند که بایستی قابل کنترل باشند. روش های خلاصه سازی و ساده سازی بمنظور کاهش داده های سه بعدی و کنترل آنها مورد نظر است. در طی فرآیند جنرالیزاسیون می بایستی به عوارض مهم در DTM جهت وضوح آنها اهمیت داده شود. جهت تجسم سطح زمین بعنوان مثال در حین تغییر مقیاس به خلاصه سازی و بهسازی عوارض توپوگرافی مانند راهها و سدها توجه شود. این مقاله به بهسازی عوارض راه می پردازد.



## نگاره ۱. استخراج شبکه راه

روش انتخاب شده از یک تبدیل Affine بر پایه مثلث بندی فواصل مابین محورهای خیابان های بهسازی شده استفاده می کند. حال به الگوریتم استخراج راه و فرآیند خلاصه سازی این روش می پردازیم.



## ۲- خلاصه‌سازی DTM

### ۲-۱- استخراج شبکه راه‌ها

بمنظور تشخیص و استخراج اتوماتیک راه‌ها در داده‌های خام از یک تقسیم‌بندی منطقه‌ای بر مبنای اختلاف ارتفاع و جهات نرمال استفاده می‌شود. بخش‌های بدست آمده در راه‌های استخراج شده تحت یک، طبقه‌بندی به عنوان خروجی طبقه‌بندی می‌شوند. فرآیند استخراج راه از یک مرحله تقسیم‌بندی اطلاعات و یک مرحله کلاسه‌بندی قسمت‌های بدست آمده به دو بخش راه و غیر راه تقسیم می‌شوند. و در نهایت خطوط مرکزی شبکه راه‌ها بوسیله عملیات morphological استخراج می‌گردند.

### ۲-۲- تقسیم داده‌ها

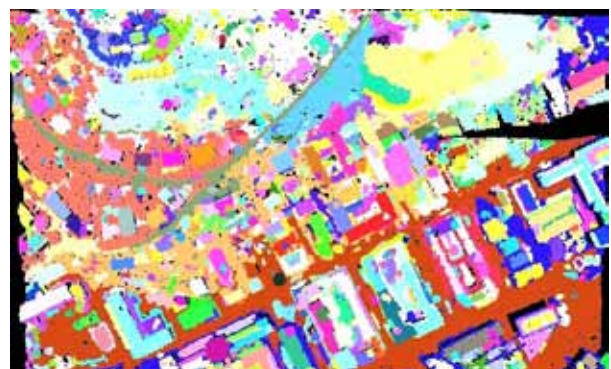
فرآیند تقسیم‌بندی از داده‌های اصلی استفاده می‌کند. الگوریتم تقسیم‌بندی به این شکل است که ابتدا یک مثلث تقسیم شده بطور تصادفی انتخاب و قسمت جدیدی را تشکیل می‌دهد. سپس همسایه‌های هر مثلث، که هنوز جزء هیچ قسمتی نمی‌باشند تجزیه و تحلیل می‌گردند. چنانچه اختلاف جهت نرمال کمتر از  $\Delta n$  و اختلاف میانگین ارتفاع بیشتر از  $\Delta h$  نباشد مثلث مجاور به بخش تجزیه تحلیل شده اضافه می‌شود. این روند تکرار می‌شود تا دیگر مثلثی نتواند به قسمت اضافه گردد.

بر اساس آزمایش‌های انجام شده مطابق با جدول شماره ۱، مجموعه‌های مختلف داده با تراکم و با شرایط توپوگرافی متفاوت مسطح و کوهستانی، پارامترهای مربوط به تغییر نرمال و اختلاف ارتفاع بدست آمده‌اند.

جدول ۱. پارامترهای تقسیم‌بندی، تابعی از تراکم داده و شرایط توپوگرافی

Topographic characteristics	Density [point/m <sup>2</sup> ]		
	0.15 > D	0.15 < D < 1	D > 1
Flat	$\Delta h = 0.8 \text{ m}$ $\Delta n = 9^\circ$	$\Delta h = 0.5 \text{ m}$ $\Delta n = 6^\circ$	$\Delta h = 0.3 \text{ m}$ $\Delta n = 3^\circ$
Mountainous	$\Delta h = 1.5 \text{ m}$ $\Delta n = 18^\circ$	$\Delta h = 0.9 \text{ m}$ $\Delta n = 12^\circ$	$\Delta h = 0.5 \text{ m}$ $\Delta n = 6^\circ$

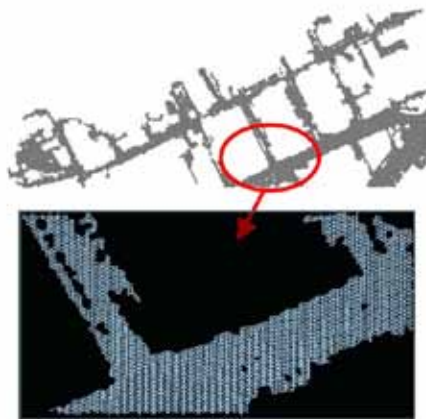
ضمناً نتایج تقسیم‌بندی توسط جهات نرمال و اختلاف در نگاره ۲ نمایش داده شده است.



نگاره ۲. نتایج تقسیم‌بندی توسط جهات نرمال و اختلاف ارتفاع

### ۲-۳- طبقه‌بندی

برای تمایز دادن شبکه راه با دیگر عوارض که ممکن است سقف ساختمان‌ها از جمله آنها باشند؛ باید یک سری اصول تصمیم‌گیری بررسی شوند. در درجه اول اینکه قسمت‌های راه‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای از دیگر قسمت‌ها بزرگتر هستند. بر اساس این مؤلفه اولین کانون بوجود می‌آید. چنانچه مساحت بخش تحلیل شده بیشتر از مساحت بزرگترین ساختمان باشد لذا این بخش احتمالاً راه می‌باشد. ویژگی بعدی استحکام قسمت‌ها است. نسبت پیکسل‌های داخل بدنه محدب به پیکسل‌هایی که بخشی از قسمت می‌باشند؛ چنانچه مقدار استحکام قسمت‌ها نزدیک به صفر باشد و لذا این بخش یک جاده است. در ادامه این فرآیند بخش‌ها طبقه‌بندی و راه‌ها شناسایی می‌شوند در نگاره ۳ در نهایت خطوط مرکزی راه محاسبه می‌شوند تا داده‌ها کاهش و توپولوژی راه تعیین گردد.



### نگاره ۳. قسمت‌های

طبقه بندی شده

راه‌ها.

بالا: قسمت‌های

طبقه‌بندی شده،

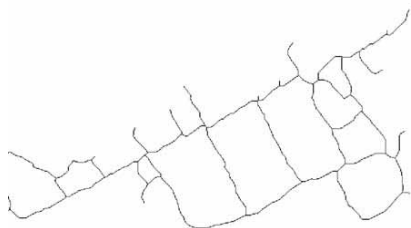
پایین: اتصال مابین

مثلث‌های قسمت راه

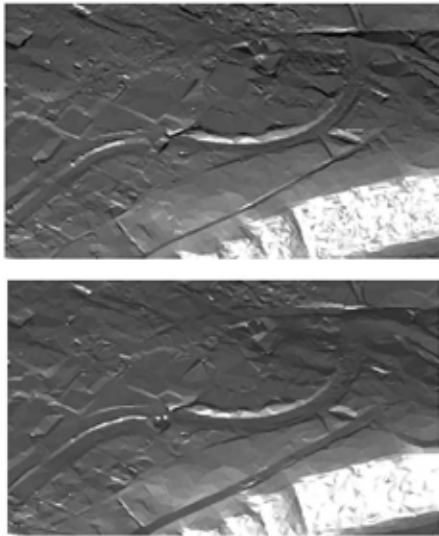
### ۲-۴- استخراج خطوط مرکزی راه

استخراج خطوط مرکزی شبکه راه‌ها از طریق اپراتورهای مورفولوژی انجام می‌شود. بمنظور پرکردن و کامل کردن گپ‌ها در شبکه راه از اپراتورهای پرکننده استفاده می‌گردد.

بدین طریق داده‌ها اسکلت‌بندی می‌شوند (Lam et al, 1992). نگاره ۴ نتیجه اپراتورهای morphological در داده‌های طبقه‌بندی و تقسیم‌بندی شده را نشان می‌دهد. گپ‌ها و جا افتادگی که ممکن است ناشی از پوشش گیاهی و یا خودروها باشند دیگر وجود ندارد.

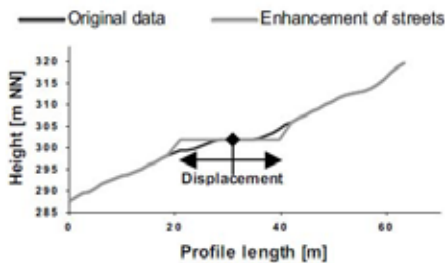


نگاره ۴، خطوط مرکزی استخراج شده شبکه راه‌ها



نگاره ۵. بالا: DTM راه‌های اصلی، پایین: راه‌های تعریض شده.

نگاره ۶ یک مقطع از راه اصلی و بهسازی شده را نشان می‌دهد. نقطه‌ای که در مرکز قرار گرفته محور میانی خیابان را نشان می‌دهد. طوری که خط مشکی مربوط به مقطع عرضی اصلی آن و بهسازی شده خیابان هم با خاکستری نشان داده شده است. کاملاً مشخص است جایی که راه‌های بهسازی شده تمام می‌شوند، شیب‌های نرم و قبلی لبه‌های تیزی دارند.



نگاره ۶. مقطع عرضی DTM اصلی بدون خیابان بهسازی شده و با خیابان بهسازی شده.

### ۲-۷- تعدیل DTM

عملیات جابه‌جایی می‌تواند موجب تغییر شکل در مجموعه داده‌ها گردد. هر چقدر محدوده مورد نظر بزرگتر باشد، به لحاظ حجم داده‌ها، تغییر شکل کمتری در فرآیند جابه‌جایی کل DTM باید در نظر گرفته شود. مقادیر ارتفاع باید طوری جابه‌جا شوند که هیچ اطلاعات ارتفاعی از بین نرود (Kremeike 2004).

استفاده از یک تبدیل افاین ساده می‌تواند تمام مقادیر اصلی ارتفاع DTM روی سطح و خارج از محدوده تعریض شده محور راه که از تعریض راه‌ها به وجود آمده ترسیم نماید. این فرآیند در نگاره ۷ نشان داده می‌شود.

سپس انجام عملیات برداری نمودن شبکه راه انجام می‌شود تا بعد از ویرایش کامل بعنوان یک تولید اتوماتیک راه مطرح گردند.

### ۲-۵- تولید DTM

در تولید DTM، از نقاط بدست آمده مربوط به شبکه راه بعنوان اولین برآورد بهره‌گیری می‌شود. از طریق تکرار و بهره‌گیری از نقاط دیگر لیزر، چنانچه اختلاف ارتفاع کمتر از مقدار مشخص  $\Delta H$  باشد نقاط به DTM اضافه می‌گردند.

محاسبه ارتفاع نقاط اندازه‌گیری شده توسط یک تابع درون‌یابی بر مبنای نقاط مجاور و مقایسه ارتفاع بدست آمده با ارتفاع اندازه‌گیری شده است. نقاط مربوط به ساختمان‌ها با یک اختلاف ارتفاع زیاد مثبت مشخص می‌گردند در صورتیکه نقاط روی سطح با یک اختلاف ارتفاع منفی و یا اختلاف کم مثبت مشخص می‌گردند.

جهت محاسبه ارتفاع جدید یک نقطه مشخص از تابع درون‌یابی دو بعدی استفاده می‌نماییم. ضریب آن از یک فرآیند Correlation بدست می‌آید که در آنجا تمام نقاط در یک شعاع مشخص حول نقطه مورد نظر تحت بررسی جداگانه قرار خواهند گرفت. آنچه مسلم است برداشتن ساختمان‌ها و دیگر عوارض از DTM زمانی است که از توابع درون‌یابی چند جمله‌ای استفاده گردد.

### ۲-۶- بهسازی راه‌ها در DTM

عوارض راه در DTM وضوح خود را در طول فرآیند جنرالیزاسیون به شرطی از دست نخواهد داد که عملیات خلاصه‌سازی قوی انجام نگردد همین اتفاق را می‌توان برای خیابان‌هایی مثال زد که از راه دور مورد مشاهده قرار نمی‌گیرند. بعبارتی راه‌ها از یک مقیاس دور مورد رؤیت قرار نخواهند گرفت.

با توجه به راه‌های 2D استخراج شده، راه‌ها دو طرف محور مرکزی خود تعریض می‌شوند. بعبارتی عرض آن بیش از حد بزرگ می‌گردد. بزرگنمایی با استفاده از الگوریتم Haurert and sester (2004) انجام می‌شود. در مرحله اول خطوط راه‌ها به پلی‌گون تبدیل می‌شوند و تعویض راه‌ها با کوچک شدن پلی‌گون‌های اطراف همراه خواهد بود. چندضلعی‌های مجاور در معرض فرآیند انقباض قرار گرفته که با شیفت موازی همزمان تمام لبه‌ها در داخل چند ضلعی انجام می‌شود. عرض خیابان‌ها تعریض شده و حول محورهای خیابان‌ها مقادیر ارتفاع با توجه به جهت محور خیابان‌ها مجدداً محاسبه می‌شوند.

در نگاره ۵ مجموعه داده‌های اصلی با نتیجه بهسازی شده برای یک قسمت از DTM مربوط به شهر اشتوتگارت مقایسه شده است. در شکل پایین مربوط به نگاره ۵، مشخص است که وضوح خیابان بهسازی شده بهتر از زمانی است که بهسازی نشده است. به طور کلی مقداری که عرض راه را زیاد نماییم به وضوح صفحه نمایش و فاصله ناظر بستگی دارد. هیچ داده اضافه‌ای در نظر گرفته نمی‌شود. راه‌های اصلی باید از خیابان‌های کوچک بیشتر مورد توجه واقع گردند.

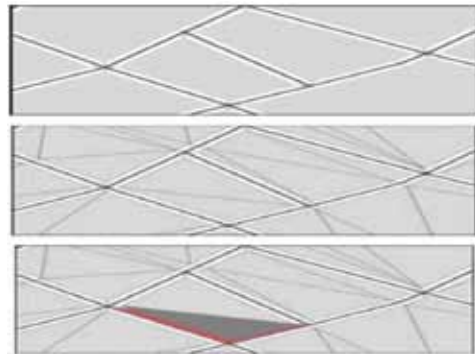




است. نگاره ۱۰ نشان می‌دهد که شبکه راه‌ها به طور کلی طبقه‌بندی شده‌اند به طوری که اغلب راه‌ها قابل تشخیص و شناسایی می‌باشند.



نگاره ۹: قسمت‌بندی ابر نقاط



نگاره ۷. محور میانی راه‌ها (سیاه) و راه‌های تعریض شده (سفید) نگاره بالا: تعریض راه‌ها، نگاره وسط: مثلث‌بندی پلی‌گون‌های بدست آمده. نگاره پایین: تبدیل مقادیر ارتفاعی از مثلث اصلی (قرمز) به مثلث جدید (خاکستری)

نگاره ۱۰: نتایج طبقه‌بندی



در ابتدا خطوط راه تبدیل به پلی‌گون و پیرو بهسازی راه‌ها، سطوح بین محور راه‌ها کوچک و در نتیجه مقادیر ارتفاعی در این پلی‌گون‌های کوچک شده از تعریض راه‌ها باید مجدداً استفاده شوند. هر چندضلعی با استفاده از روش مثلث بندی دلونی مثلث‌بندی می‌شوند (نگاره ۷، وسط). با توجه به مقادیر معلوم X,Y برای هر سه رأس مثلث و رئوس مثلث اصلی، در فرآیند نمونه برداری می‌توان تصاویر ارتفاعی برای هر المان رستری در مثلث‌های کوچک شده را با تبدیل این نقطه به همان مکان اصلی خودش و گرفتن مقدار ارتفاعی آن محاسبه کرد. در این حالت هیچ مقدار ارتفاعی از بین نمی‌رود.

### ۳- نتایج آزمایشی

بهره‌گیری از این الگوریتم بر روی یک داده لیزر اسکن با تراکم  $1/m^2$  نقطه در محدوده ای با وسعت ۵۰۰۰ متر مربع در حومه شهر اشتوتگارت نشان داده شده است. نگاره ۸ یک دید کلی از ابر نقاط منطقه را نشان می‌دهد. این منطقه دارای توپوگرافی متفاوت و با ترکیب عوارض شامل پوشش گیاهی، ساختمان‌ها و راه‌ها با شکل و ابعاد متفاوت می‌باشند.



نگاره ۱۱: برهم نهی شبکه راه‌های استخراج شده قرار گرفته روی ابر نقاط لیزری (خطوط مرکزی راه (قرمز))، پشت زمینه

تبدیل نقاط طبقه بندی شده به یک شبکه راه در نگاره ۱۱ نشان داده شده است. در برخی از موارد به دلیل پوشش گیاهی که در دو طرف راه وجود دارد ممکن است راه نشان داده نشود ولی در مجموع تمامی راه‌های اصلی شناسایی و استخراج شده‌اند.



نگاره ۱۲: بالا: دید کلی از DTM فیلتر شده در ظاهر اصلی پایین: دید بالا از نتایج فیلتر شده- دید پرسپکتیو

نگاره ۸. دید کلی از ابر نقاط از منطقه اشتوتگارت آلمان



تقسیم راه‌ها با پارامترهای زیر انجام شده است: برای تغییر نرمال مجاز  $(\Delta n)$  تلورانس ۶ و برای اختلاف ارتفاع  $(\Delta h)$  ۰/۵ متر در نظر گرفته شده است. نتیجه تقسیم بندی و طبقه بندی در نگاره‌های ۹ و ۱۰ نشان داده شده





22(1): 37-54.

Garland, M., 1999. Multiresolution Modeling: Survey & Future Opportunities. Eurographics '99, State of the Art Reports. 111-131.

Hauert, J.-H. and Sester, M., 2004: Using the Straight Skeleton for Generalisation in a Multiple Representation Environment. ICA Workshop on Generalisation and Multiple Representation, Leicester, 2004.

Hake, G., Grünreich, D., Meng, L., 2002: Kartographie. 8th Ed., de Gruyter.

Heckbert, P. & Garland, M., 1997. Survey of Polygonal Surface Simplification Algorithms, Technical report, School of Computer Science, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, Multiresolution Surface Modeling Course SIGGRAPH.

Kraus K. and Pfeifer N, 2001. Advanced DTM generation from LIDAR data. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. 34(3/W4): 23-30.

Kremeike, K., 2004. Generalization of dense Digital Terrain Models while enhancing important objects. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 35(B4): 403-408.

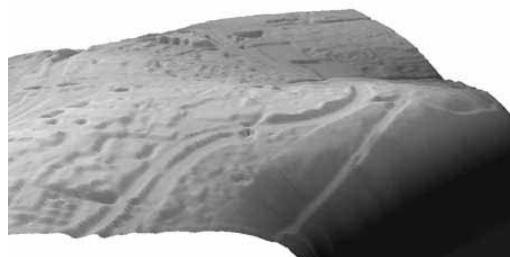
Lam, L., Lee, S.W., Suen, C.Y., 1992. Thinning methodologies a comprehensive survey. IEEE Trans. on PAMI. 14(9): 869-885.

Luebke, D., 2001. A Developer's Survey of Polygonal Simplification Algorithms. IEEE Computer Graphics and Applications, 21(3): 24-35.

Weibel, R., 1989. Konzepte und Experimente zur Automatisierung der Reliefgeneralisierung. Geoprocessing 15; Zürich, Dissertation, Universität Zürich.

ISPRS WG III/3, III/4, V/3 Workshop "Laser scanning 2005", Enschede, the Netherlands, September 12-14, 2005

در نگاره ۱۳ نتایج بهسازی جاده همراه با جایی نشان داده شده را می‌توان با نتایج اصلی مربوط به DTM خلاصه نشده مقایسه کرد. در این مقایسه مشخص است که جاده‌های تعریف شده بهتر قابل تشخیص هستند و همچنین تمام مشخصه سطح نیز حفظ شده‌اند.



نگاره ۱۳: دید کلی از DTM با خیابان‌های بهسازی شده.

### نتیجه‌گیری

در این آزمایش با توجه به خلاصه سازی DTM به شبکه راه‌ها بعنوان عارضه ای که باید بهسازی گردد تمرکز شده است. الگوریتم استخراج راه طوری برنامه‌ریزی شده که راه‌های مهم در داده لیدار، راه‌هایی که تأثیر واقعی روی خلاصه سازی دارند، را شناسایی کند.

جهت بهسازی عوارض نیاز به بزرگنمایی آنها است که مشکلاتی را در مناطق و عوارض هم جوار به وجود می‌آورد. به همین دلیل باید از عملگرهای جابه جایی استفاده کرد. پیشنهادی که در این مقاله ارائه شد استفاده از مثلث بندی دلونی و یک تبدیل ساده است که نتایج قابل قبولی را ارائه می‌دهد.

اگر چه استفاده از چند ضلعی‌های مثلث بندی شده ممکن است وقتی مثلث‌های مختلف به یکدیگر متصل می‌شوند مشکلی در آن مناطق ایجاد نمایند. خصوصاً در جابه‌جایی عوارض روی سطح زمین یک روش کلی‌تر که از آن پلی‌گون‌ها به صورت کلی (از همه پلی‌گون‌ها) استفاده کند مناسب‌تر به نظر می‌آید. جهت چنین محاسباتی یک الگوریتم rubber sheeting باید مناسب باشد.

### منابع

Abo-Akel, N., Zilberstein, O. & Doytsher, Y. 2004. A Robust Method Used with Orthogonal Polynomials and Road Network for Automatic Terrain Surface Extraction from LiDAR Data in Urban Areas. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. 35(B3).

Brunner, K., 2001. Kartographie am Bildschirm – Einschränkungen und Probleme. Kartographische Nachrichten, 5: 233-239.

Cignoni, P., Montani, C. and Scopigno, R., 1998. A comparison of mesh simplification algorithms. Computers & Graphics,