باسمه تعالی

فیلترینگ داده های لیزر اسکنر با تکیه بر تولید DTM

نام و نام خانوادگی : دکتر مسعود ورشوساز – مدیر گروه فتوگرامتری و سنجش از دور دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی

Email : varshosazm@yahoo.com

آدرس : تهران – خیابان ولی عصر – تقاطع میرداماد – دانشگده مهندسی نقشه برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

نام و نام خانوادگی : سمیه دهقان – دانشجوی کارشناسی ارشد فتوگرامتری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

Email : elh_dehghan@yahoo.com

آدرس : تهران – خیابان ولی عصر – تقاطع میرداماد – دانشگده مهندسی نقشه برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی – تلفن : **22671023**

چکیده

در طول دو دهه گذشته لیزر اسکن تبدیل به یکی از قابل اعتماد ترین و موثق ترین تکنیک ها در فتوگرامتری شده است . حتی برخی فتوگرامتریست ها معتقدند که لیزر اسکن ایجاد یک پارادایم را در این زمینه باعث شده است .که این به دلیل اثر قابل توجه آن روی روش هایی مثل تولید DTM یا مدل سه بعدی شهر ها در فتوگرامتری میباشد . در واقع تکنیک لیزر اسکن برای تهیه DTM مناطق جنگلی به وجود آمد. که البته تکنیک ها و روش های متعددی برای آن پیشنهاد شده است. همان طور که می دانیم از ویژگی های اصلی این سیستم حجم بسیار بالای داده های برداشتی آن است که نسبت به سایر روش ها در مدت زمان کوتاهتری به دست آمده است. برای کار با این داده ها یکی از فاز های مهم پردازش و کاربرد های آن فیلترینگ این داده ها می باشد. تمرکز اصلی مطالبی که در اینجا ارائه می شود بیشتر بر روی فرآیند ها و الگو ریتم هایی است که بدین منظور پیشنهاد شده است. که بدین منظورو با تاکید بر روی تولید مدل های رقومی زمین یا DTM ها پس از بررسی اجمالی این روشها چند تا از آنها را به صورت مفصل تر شرح خواهیم داد. در واقع بسته به کاربردی که دیتاهای لیزر اسکن برای ما دارند الگوریتم های پردازش آنها تا حدی با هم متفاوت خواهد بود. اگر بخواهیم از داده های لیزر DTM تهیه کنیم می بایست عوارضی مثل ساختمان ها را از میان عوارض برداشت شده حذف کنیم . اما مواردی هم وجود دارندکه در آنها هدف مورد نظر ما مدل سازی ساختمان ها و عوارض man made است. البته بسته به نوع بافت و پوشش منطقه هم الگوریتم ها از هم متمایز خواهند بود. علاوه بر این حذف نویز و دیتا های ناخواسته نیز از میان این داده ها روش های خاصی را می طلبد بسته به دقتی که ما در کار خود

به آن نیاز داریم نیز حجم دیتاهای مورد بررسی با هم متفاوت خواهد بود .پس یک عامل مهم دیگر که جای بررسی خواهد داشت هم کاهش حجم داده ها لیزر در صورت نیاز خواهد بود که این بستگی به کابرد و دقت مطلوب دارد و می بایست نوعی trade off بین این عوامل انجام شود. از این نقطه نظر نرم افزار های پردازش داده های لیزر هم محصولات خاصی با توانایی های پردازش حجم داده های بالا و قابلیت های Visualization فوق العاده خواهند بود.این بسته های نرم افزاری توانایی پردازش ها و تفسیر های متعدد و متفاوتی را از این داده ها به کاربران می دهند . بررسی قابلیت های این نرم افزار ها در زمینه پردازش داده های لیزر اسکن چه در نوع هوایی و چه در نوع زمینی بیش از هر زمان دیگر اهمیت داده های سازمان یافته لیزر اسکن را برای ما مشخص میکند.

کلمات کلیدی :

Dual Rank Filtering،روش المان های محدود ، سرشکنی Robust ،فیلترینگ ، کلاسه بندی ساختمان ها و پوشش گیاهی ، لیزر اسکنر، momentهای ناوردا، noise، نرم افزارهای پردازش داده های لیزر،، مدل رقومی زمین (DTM).

1- مقدمه

هدف ما در این مقاله بررسی اجمالی الگوریتم ها و روش های مختلف ارائه شده برای فیلترینگ (filtering) داده های لیزر اسکن می باشد.تاکید کلی در میان این روش ها آن هایی است که به عنوان روشی برای تولید مدل های رقومی زمین یا DTM ها در موقعیت های مختلف محسوب می شوند. در میان الگوریتم های مطرح شده چند تا را به صورت مفصل تری توضیح خواهیم داد و برای الگوریتم های خاصی نیز نمونه های عملی را گزارش می کنیم و به تحلیل نتایج به دست آمده خواهیم پرداخت.

به طور کلی دیتاهای لیزر می توانند مربوط به دو دسته کلی باشند:

الف) دیتاهایی که از لیزر اسکنر های زمینی به دست آمده اند[1]

ب) دیتاهایی که از لیزر اسکن هوایی به دست آمده اند[2]

دیتاهایی که از لیزر اسکن هوایی به دست آمده اند آنهایی هستند که با سیستم LIDAR بر داشت شده اند. که با توجه به هدف ما که می تواند تهیه DTM باشد و نیز و شرایط و بافت منطقه مورد بررسی الگوریتم های متفاوتی برای آن وجود دارد. به طور کلی فیلترینگ داده های لیزر اسکن می تواند با سه هدف عمده انجام شود :

Terrestrial laser scaner data[1]
Air born laser scaner data [2]

1- حذف عوارض ناخواسته یعنی عوارض اضافه ای که نمی بایست جزء مدل برداشتی باشند، به عنوان مثال سیم های برق یا عوارضی از این قبیل

2- استخراج عوارض که این بستگی به هدف ما دارد مثلا استخراج لبه ها، ساختمانها یا درخت

3- خلاصه کردن حجم نقاط برداشتی در این حالت با توجه به دانسیته دیتاهای برداشت شده یا دقت مورد نیاز در application مورد نظر حجم نقاط را کم می کنیم . به این مرحله در اصطلاح Data Volume Reduction میگویند.

اندازه گیری ها و عوارض ناخواسته بسته به کاربرد موردنظر می توانند شامل noise ها ، outliers یا gross error ها باشند.مهم ترین بخش فیلترینگ حذف مقادیر ارتفاعی یا در اصطلاح Height Values برای تولید DTM می باشد. به طوری که گاهی اوقات حتی تعریف فیلترینگ را نیز بر همین مبنا انجام می دهند. بدین منظور روش ها روال های متعددی ارائه شده است مثلا :

1-Morphological Filters (Eckstein,1995)
2- Linear Prediction (Kraus , 1997)
3- Spline Approximation (Axelsson ,1998)
4- General Digital Image Processing (Von Hansen, 1999)

در اینجا تلاش ما بر این است که برای مقاصد مختلف فیلترینگ الگوریتم هایی را ارائه دهیم مثلا الگوریتم هایی برای استخراج عوارض ،یا آنهایی که در مناطق جنگلی یا شهری کاربرد دارند و الگوریتم هایی که برای پردازش ابر نقاط لیزر به کار میروند و یا الگوریتم هایی که در مناطق در اصطلاح سایه دار ویا برای تشخیص درخت ها استفاده می شوند. برای پردازش داده های لیزر یک عامل تاثیر گذار دیگر نرم افزار پردازشی است که استفاده می شود در این راستا ضرورت دارد که علاوه بر الگوریتم هاو پایه های تئوری چند نرم افزار هم به صورت اجمالی معرفی شوند و قابلیت های آنها در مقاصد و کاربرد های مختلف شرح داده شوند.این سیستم های پیچیده در فاز جمع آوری و کسب داده بیشتر سیتم هایی ژئودتیک هستند و در فاز پردازش داده ها سیتم های فتوگرامتری محسوب می شوند.نرم افزار های این زمینه هم بر دو دسته مرسوم ومتداول یا همان تجاری (prorietry products) و نرم افزارهای آکادمیک هستند.گونه تجاری آنها قابلیت اتصال به نوع خاصی از سیستم لیزر اسکنر را ندارند و توسط کمپانی های محدودی هم ارائه می شوند. از جمله این نرم افزار ها که قابلیت انجام پروسه های مختلف پردازش داده های پر حجم لیزررا دارند عبارتند از : نرم افزار های TeraScan, TeraModeler , phidias,polyworks,Ris Risscan pro که در مورد آنها به اختصار توضیح خواهیم داد.

دیتاهای برداشتی لیزر دارای صفات یا attribute های متفاوتی هستند که که به کابرد موردنظر ما وسیستم لیزر اسکن مورد استفاده بستگی دارند.برخی از این صفات که الگوریتم های فیلترینگ و modeling را تحت تاثیر قرار می دهند عبارتند از:

- دانسیته نقاط

- ثبت بازتاب های چندگانه[۳]
- ثبت تشدیدها [۴]

دانسیته نقاط به عواملی مثل ارتفاع پرواز، فاکتورهای وابسته به سیستم مثل سرعت platform ، میدان دید(field of view) و فرکانس sampling می باشد.دانسیته نقاط می بایست براساس کاربرد موردنظر تنظیم شود. مثلا دانسیته موردنظر برای تهیه مدل سه بعدی شهرها با دانسیته ای که برای تهیه DEM مدنظر قرارمیگیرد بسیار متفاوت است. بازتاب های چند گانه در الگوریتم های filtering, modeling مهم هستند و به جدایی بافت و سطح زمین و نیز کاربردهایی مثل تخمین حجم پوشش گیاهی وابسته اند.ثبت تشدیدها نیز اطلاعات رادیومتریکی را درباره منطقه مورد بررسی در اختیار ما قرارمی دهند.و در الگوریتم های classification مثلا در جداکردن مناطق آسفالته از مناطق دارای پوشش چمن مفید می باشند.نکته دیگری که باید به آن توجه کرد این است که اگر دیتاهای لیزر به صورت یک گرید منظم (در یک DSM) انترپوله شوند بخشی از دیتاها که به صورت random 3D برداشت شده اند از دست خواهد رفت .علی الخصوص اگر بازتاب های چندگانه در مناطق جنگلی داشته باشیم این اثر قابل توجه خواهد بود. زیرا در این مناطق نقاطی با x,yهای مشابه ممکن است دارای چند مقدار متفاوت elevation باشند که نمایش آنها در یک regular grid مشکل است.

2- الگوریتم های فیلترینگ

همانطور که گفتیم الگوریتم های فیلترینگ تا حدی وابسته به application مورد استفاده ما می باشند.در اینجا چند الگوریتم و روش کلی را ارائه کرده و شرح مختصری از آنها ارائه می دهیم.سپس چند تا از آنها را به صورت مفصل تر شرح خواهیم داد .

روش های که ما در اینجا آنها را معرفی خواهیم کرد عبارتند از:

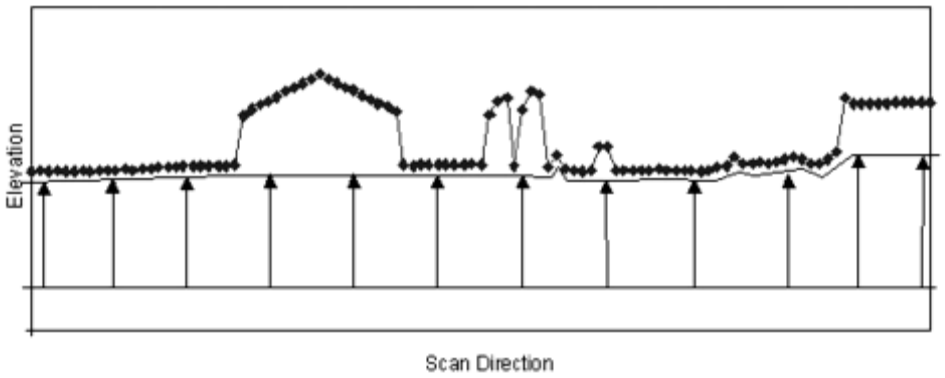
- روش Linear Prediction
- روش Dual Rank Filtering
- روش فیلترینگ سطح زمین
- روش استخراج مدل ساختمان ها از moment های ناوردا
- روش بازسازی باستفاده از تقاطع وجه های مسطح
- روشی برای حذف نویز از داده های لیزر
- روش فیلترینگ برمبنای segmentation ابر نقاط لیزری

Multiple echoes [3]
reflectance [4]

- روش فیلترینگRobust به کمک المانهای محدود
- روش convex hull
- روش فیلترینگ بر اساس شیب (slope based filtering)

1-2 الگوریتم اول : یافتن سطح زمین

در اینجا الگوریتمی ارائه می شود که در آن سطح از پایین متصل به ابر نقاط لیزر است.(شکل **1**) در اینجا فقط اصول کلی این متد شرح داده می شود تا زمینه کلی این الگوریتم مشخص شود. در اینج به سطح اجازه داده شده است که حول مقادیر مشخصی نوسان داشته باشد.این نوسان ها می توانند توسط معیارهای خاصی کنترل شوند؛ به عنوان مثال توسط مدل های طول توصیفی یا minimum description length models (MDL) ، توابع spline اعمال شده ،مدل های contour فعال مثل snakes یا آستانه های هندسی برای تفاضل ارتفاعات



شکل **1**) سطح از پایین متصل به ابر نقاط لیزر

.برخی خصوصیات اصلی این الگوریتم به صورت زبر است:

- در این سطح از مدل TIN استفاده می شود.
- این مدل object های بزرگ سطح مثل کارخانه های صنعتی بسیار بزرگ را به هم متصل میکند و از سطح جدا می نماید.
- سطح از نقاط اصلی عبور میکند
- نقاط ground surface که دارای ارتفاع کمتری هستند هم در مدل شرکت می کنند.

یک روال ساده شده مدل مزبور به صورت زیر قابل اجراست:

2-1- 1 کلاسه بندی ساختمان ها و پوشش گیاهی

یک ابزار کلاسه بندی object های روی سطح را در دو کلاس طبقه بندی می کند :

ساختمان ها و پوشش گیاهی (vegetation) توانایی لیزر در نفوذ به داخل پوشش گیاهی و در یافت بازتاب از چندین ارتفاع این امکان را فراهم می آورد تا بین این دو کلاس به نوعی تمایز قائل شویم. پروسه classification بر مبنای اعمال معیار MDL برای Robust estimation (برآورد قوی) میباشد.تابع هزینه برای این دو کلاس بر مبنای مشتق دوم تفاضل ارتفاعات ایجاد می شود. این مدل فرض می کند که ساختمان ها شامل سطوح مسطحاتی به هم پیوسته می باشند.سطوح همسایهTIN دارای orientation یکسان در داخل یک سطح noise میباشند.لبه ها و برآمدگی های سقف ها و سایر تغییرات در امتداد سقف نیز دارای مشتق دوم غیر صفر می باشند. مدل هندسی ساختمان ها در طول یک خط اسکن شده به این صورت می باشد:

straight line segment ∈ point $\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = 0$

$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} \neq 0$ point ∈ Break point

که در آن x در امتداد خط اسکن و z ارتفاع است. تابع ارزش یا Description Length (DL) مربوط به مدل ساختمانها دارای سه بخش اصلی است :

- یک مدل پارامتریک برای خط صفر مشتق دوم که ارزش این مدل برابر صفر است
- یک مدل آماری برای انحرافات فرضی گوسی از مدل پارامتریک
- یک مدل آماری برای breakpoint های که دارای رفتار فرضی تصادفی هستند.(مشابه با وضعیت vegetation)

$$DL_{buildings} = DL_{par} + (DL_{roof} + DL_{gauss}) * n_{roof} + DL_{brak} * n_{break}$$

$$DL_{pat} = C_{cons\tan t}$$

$$DL_{roof} = lb\ (L / \varepsilon)$$

$$DL_{gauss} = lb\ (\sigma / \varepsilon) + (1/2) lb\ (2 \prod e)$$

$$DL_{break} = [lb\ (R_{xy}) / \varepsilon) + (lb\ (R_z) / \varepsilon)]$$

$$n_{roof} + n_{break} = n_{tot}$$

سایز ساختمان= L

سایز فضای searchرا برای ساختمان مشخص می کند=R

واریانس باقی مانده ها= ∂^2

resolution یا دقت دیتا ها = ε

لگاریتم باینری با پایه **2** = lb

vegetation هم به عنوان نقاطی در نظر گرفته می شوند که مشتق دوم آنها دارای توزیع random هستند

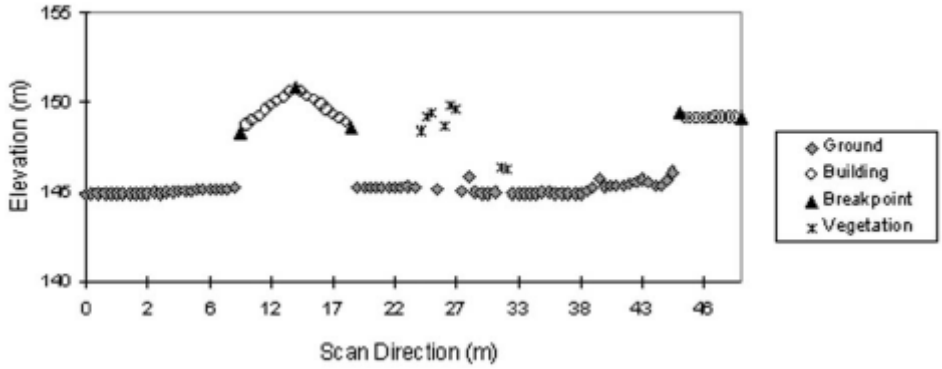
$$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} \neq 0$$

اما تابع ارزش (cost function) برای پوشش گیاهی فقط دارای یک بخش است: که به صورت یک مدل آماری برای پوشش گیاهی است که فرض می شود دارای رفتار random مشابه باbreakpoint ها می باشد:

$$DL_{veget} = DL_{rand} * n_{tot}$$

$$DL_{rand} = \left[lb \frac{R_{xy}}{\varepsilon} + lb \frac{R_z}{\varepsilon} \right]$$

در این صورت یک مقدار min برای مدل ساختمان ها به دست می آید که در آن تعداد بهینه breakpointها در مقابل انحراف های گوسی به نوعی balance شده است. این min باmin به دست آمده از مدل vegetation مقایسه می شود و classification بر مبنای اینکه کدام کوچکتر است انجام می شود. نمونه هایی از این کلاسه بندی را در شکل های**2**و **3** مشاهده می کنید.نتایج کلاسه بندی وارد مرحله قبلی می شود کهobject modeling نام دارد. نتیجه این مرحله نمایش کلی ساختمان ها در یک سیستم CAD/vector است. البته یک روش مشابه دیگر هم segmentation براساس وجه های TINو breakpoint های شناسایی شده در ترکیب با یک اجسمنت کمترین مربعات همزمان صفحات segmentشده است.



شکل **2**) یک خط اسکن در مناطق شهری که با استفاده از breakpoint ها به سه دسته ground, building, vegetation کلاسه بندی شده است.

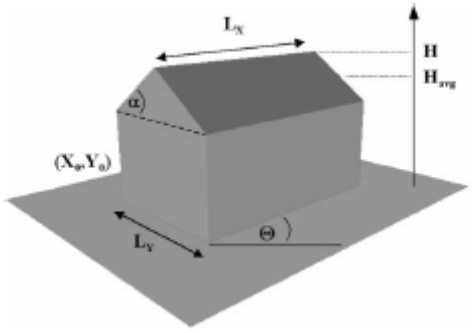
شکل **3**) دیتاهای LRF که به صورت اتوماتیک و به وسیله MDL و با استفاده از تابع cost ، label گذاری شده اند

2-2 استخراج پارامتر های مدل ساختمان ها از **moment** های ناوردا

استفاده از این روش سابقه طولانی در پردازش تصویر دارد.ممان های وزن دار ارتفاعی داده های لیزر هوایی توسط رابطه زیر به دست می آیند:(نقاط لیزر = p1,…..pn)

$$M_{ij} = \sum_{p=p_1}^{p_n} X_P^i Y_p^i H_P$$

این ممان می بایست نسبت به شیفت ، دوران و scale ناوردا باشد.در اینجا تمرکز اصلی این روش بر روی سقف های شیروانی ساختمانهاست که شامل مختصات ، طول ، عرض و ارتفاع ساختمان و نیزorientation و نوع سقف وشیب سقف است که در شکل **4** مشاهده می کنید:



شکل **4**) نوع استاندارد سقف شیروانی منزل

اگر Hp را در رابطه بالا **1** قرار دهیم (بر مبنای دیتاهای باینری شده) و با استفاده از قیود ناوردا بودن تمامی این **7** پارامتر با محاسباتی روی ممانهای مرتبه اول و دوم و به عنوان نتایجی از این محاسبات قابل محاسبه خواهند بود.از ذکر جزئیات ریاضی این مدل در اینجا خودداری میکنیم اما پس از محاسبه **7**

پارامتر مربوط به مدل ساختمان ها یک تست آماری از نوع goodness of fit با تصویر کردن مدل ساختمان بر ابر نقاط segment شده و محاسبه باقی مانده های ارتفاعات برای هر نقطه اجرا می شود. و بدین وسیله رد مدل ساختمان محاسبه شده (در حالت برازش بد) و برای حذف outlierها در نقاط دیتا امکانپذیر می شود. ممان های مرتبه های بالاتر می توانند برای تعیین سایر انواع مدل های سقف شیروانی ساختمان ها به کارروند.علاوه بر این این ممان ها می توانند به منظور شناسایی case های غیر متقارن در سقف های شیروانی مورد استفاده واقع شوند. یک نمونه رایج از این موارد وجود اتاق خوابهای جداگانه (dorms) روی سقف هاست که در شکل **5** مشاهده می کنید.

شکل **5**) خانه ای با دوتا dorm مدل شده روی سقف آن

در این حالت dorm ها بو وسیله **4** یا **5** پارامتر اضافه توصیف می شوندکه هم زمان با **7** پارامتر استاندارد برای مدل سقف شیروانی در حل هم زمان معادلات مربوط به ممان های مرتبه سوم مورد استفاده می گیرند.اما حتی برای یک dorm با **4** پارامتر معادلات بسیار پیچیده خواهند شد. به همین دلیل در قدم اول یک مدل کلی سقف شیروانی تعریف می کنند و سپس تفاضل بین نقاط اصلی ابر نقاط و نقاط مدل محاسبه می شود ؛ نقاطی که در بالای مرز (لبه) ارتفاعات قرار می گیرند به عنوان دودکش ها یا آنتن ها به دور انداخته می شوند و نقاطی که در زیر این مرز هستند ولی به صورت قابل توجهی در بالای سقف قرار می گیرند به عنوان نقاط dormها تلقی می شوند.این نقاط طی آنالیز های binningو اتصال پروسه segmentation را طی می کنند.

برای ساختمان هایی که صفحه زمینی غیر مستطیلی هستند نمی توان از ممان های درجات بالاتر استفاده کرد ؛ در عوض این صفحات زمینی را به المان های ابتدایی تر می شکنند تا به فرم مدل های ابتدایی که شرح دادیم درآیند.

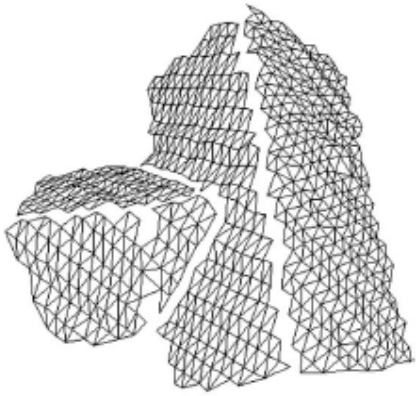
2- 3بازسازی مدل ساختمان ها بااستفاده از تقاطع وجه های مسطح

در حالت کلی مدل های چند وجهی به بهترین حالت می توانند ساختمان ها را مدل کنند. پس نیاز به الگوریتمی داریم که بتواند به نوعی این وجه های مسطح را استخراج کند.الگوریتم های متعددی برای این کار وجود دارد در یکی از این الگوریتم ها که توسط Haala در سال **1998** ارائه شد به منظور کاهش noise در محاسبه گرادیان ها یک صفحه را بر بخش کوچکی از dataset برازش می دهند و

با استفاده از اطلاعات نقشه امتدادگرادیان ها را با طرح کلی سقف ها در یک راستا قرار می دهند. یک روش دیگر به نام clustering می باشد این روش بر مبنای ایجاد mesh روی مثلث بندی Delaunay می باشدبه این صورت که تمام مثلث هایی که مربوط به یک وجه هستند می بایست در یک صفحه قرار بگیرند.ما فضای cluster سه بعدی مورد نظر را به وسیله دو پارامتر شیب (Sx,Sy) و یک فاصله d ایجاد می کنیم:

$$Z = s_x X + s_y Y + d$$

برای هر نقطه (x,y,z) در دیتاهای لیزر معادله این این صفحه در فضای cluster نوشته می شود.برروی هر کدام از این صفحات هم مثلث بندی Delaunay انجام می شود در این صورت اگر سطح هرکدام از آنها از یک threshold خاص بیشتر شود ، یک سقف تلقی خواهد شد.در اینجا برای افزایش دقت می توان از برازش کمترین مربعات هم استفاده کرد.



شکل **6**) مثلث بندی delaunay

4-2 روش Linear Prediction

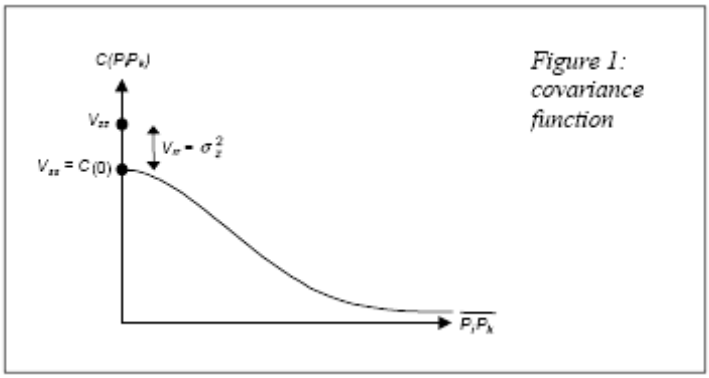
روش Linear Prediction یک روش انترپولاسیون آماری است که علی الخصوص برای انترپولاسیون DTMهاوDSMها مناسب است.مقادیر ارتفاعی که می بایست فیلتر شوند یا به فرم های irregular هستند یا به فرم raster که در اصطلاح arrange شده اند. روشی که در اینجا شرح می دهیم در نرم افزار DTMCOR در موسسه مهندسی فتوگرامتری و نقشه برداری در دانشگاه هانوفر آلمان به مرحله اجرا در آمده است.این روش بر مبنای correlation نقاط همسایه است که به صورت یک تابع کوواریانس بیان می شود:

$$C(p_i, p_k) = C(0) * e^{-1.30103\left[\frac{\overline{p_i p_k}}{B}\right]^2}$$

کوواریانس بین نقاط Pi,Pk به فاصله PiPk بستگی دارد.اگر نقاط به هم نزدیک باشند آنگاه کوواریانس آنها بالا خواهد بود. C(0) هم میزان vertex valueبرای تابع کوواریانس به حساب می آید که در نرم

افزار DTMCOR این مقدار0.99 اختیار می شود.B هم فاصله ای را بیان می کند که در آن میزان تابع کوواریانس به 25% کاهش می یابد. مقدار 1.30103- هم یک فاکتور ثابت است , C(0),B هم پارامتر هایی هستند که در تعامل بین کابر و نرم افزار تعیین می شوند.به منظور اعمال روش Linear Prediction در ابتدا می بایست یک Trend Function تعریف کنیم . این تابع می تواند یک polynomial از درجه پایین ویا یک moving plane باشدنتیجه امر یک بردار $\underline{Z}$ است شامل نقاط تمرکز یافته اندازه گیری ها یا Zi ها می باشد.جداسازی Trend در نرم افزار DTMCOR با محاسبه یک moving plane انجام می شود.با سه ضریب مجهول زیر

$$z_i = a_0 + a_1 X_i + a_2 Y_i$$



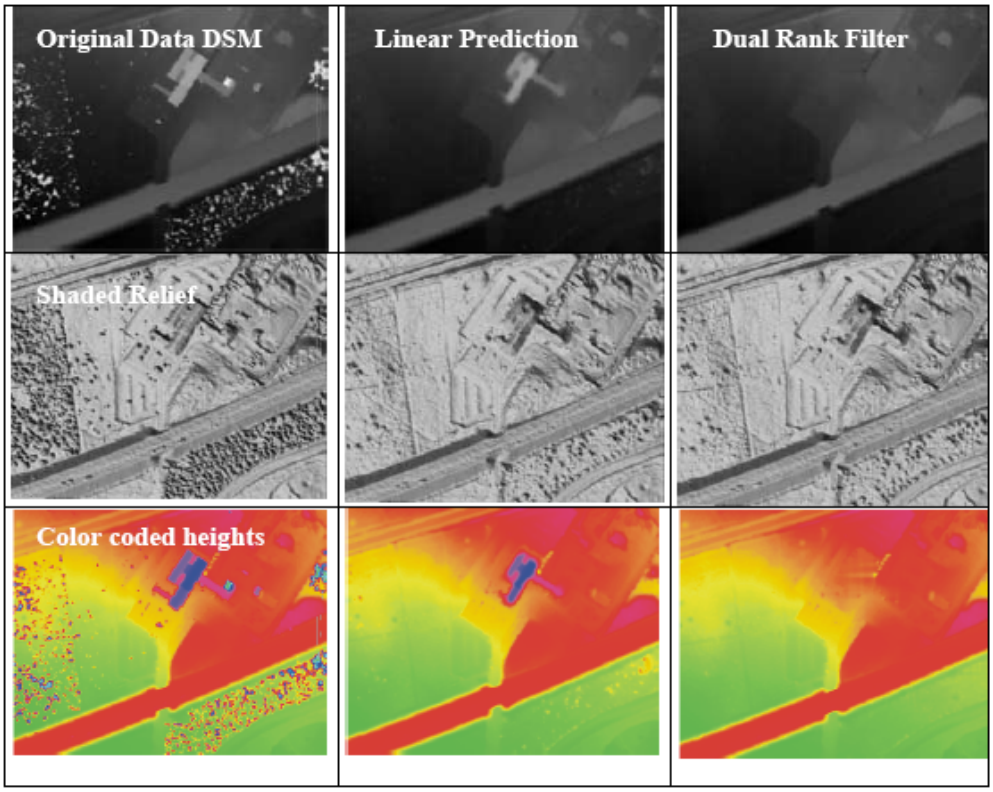
شکل **7**) روش Linear prediction

در این الگوریتم منطقه مورد بررسی به یک سری mesh هایی دارای سایز یکسان تقسیم می شود. در هنگام پردازش نقاط یک mesh ، mesh های همسایه هم در نظر گرفته می شوند و ضرایب نامبرده با در نظر گرفتن اندازه گیری های ارتفاع نقاط Pi در داخل **9** تا mesh مزبور با استفاده از سرشکنی کمترین مربعات محاسبه می شوند.دو فاکتور تلورانس هم در مکالمه بین کاربر و نرم افزار DTMCOR تعیین می شوند در ابتدا کاربر یک فاکتور تلورانس l_{tp} را نسبت به moving plane وارد می کند مقادیر ارتفاع هایی که میزان انحراف یا deviationآنها از این مقدار بیشتر باشند به عنوان outlier تلقی می شوند و حذف می گردند. دومین فاکتو تلورانس l_{pre} تفاوت بین مقادیر اندازه گیری های تمرکز یافته Zi و مقادیر محاسبه شده توسط فرایند prediction یا Ui ها را چک می کند. اگر باقی مانده ها از این فاکتور بیشتر شد این نقاط هم حذف می شوند. مدل ریاضی این روش در پیوست ارائه شده است.

5-2 روش Dual Rank Filtering

این روش برمبنای فیلترینگ مورفولوژیکی است و در نرم افزار HALCON به کار می رودکه کتابخانه ای از توابع را ارائه می دهد که برای این پروسه مفیدند و نیز شامل یک محیط برنامه نویسی به نام

Hdevelop است.نقاطی که در بالای سطح زمین هستند دارای یک ویژگی بارز می باشند و آن این است که تغییر بزرگی در ارتفاع آنها به هنگام عبور از زمین به object و برعکس رخ می دهد.(نوعی ناپیوستگی) به منظور آشکار سازی تغییر در ارتفاعات در اولین مرحله یک فیلتر انحراف معیار روی داده ها اعمال می کنند.برای به دست آوردن لبه های sharp و مشخص استفاده از یک mask کوچک مثلا **3*3**کافیست.سپس یک مقدار Threshold روی مقادیر انحراف استاندارد اعمال میشودتا تغییرات بزرگ در ارتفاعات را آشکار سازد.برای یک سطح میانگین با فاصله متوسط **1** متر برای هر پیکسل آستانه **1.8** متر کافی است که به صورت تجربی به دست آمده است.در مرحله بعدی حفره های موجود به وسیله اپراتور HAICON پر می شوند.اکنون مناطق مورد نظر ما مشخص شده اند که شامل ساختمان ها و مناطق جنگلی است. اما یک سری مناطق مسطح در داخل مناطق جنگلی و حیاط ساختمان ها توسط این روال پر شده است برای حذف این اشتباهات از یک روال اتوماتیک استفاده می کنند که این مناطق را به یک سری زیر منطقه هایی تقسیم می کنند برای انجام این کار هیستوگرام درجه خاکستری این مناطق را با استفاده از فیلتر گوسی در اصطلاح smooth میکنند تا مقدار minima تولید شوداین minها تعدادی threshold را برای به قسمت های جز« تقسیم کردن سطوح ارتفاعی جداگانه در داخل مناطق مورد نظر ارائه می دهند. subregionهای به دست آمده دارای مقادیر gray level یک جور و متشابه خواهند بود.



شکل **8**) سمت چپ: دیتا های اصلی ، وسط روش Linaer Prediction ، سمت راست : روشDual Rank

6-2 روش slope Based Filtering

vosselman در سال **2001** میلادی روشی را مطرح کرد که از شیب یا slope به عنوان معیاری برای فیلترینگ استفاده مشود.نقاط لیزر در صورتی به عنوان نقاط لیزر پذیرفته می شوند که ارتفاع آنها تانقاط همسایه به صورت قابل توجهی تغییر نکرده باشد . در این حالت پروسه فیلترینگ وابسته است به دانسیته نقاط ونیز تفاوت ارتفاعات تا Terrain . Axelsson در سال **2000** بررسی یک DTM در اصطلاح coarse را شروع کرد و با استفاده از فاصله و زاویه به باز یابی و اصلاح آن پرداخت طوری که نقاط مربوط به بافت و مرز ساختمان ها قابل شناسایی بودند.به دلیل قیود مورفولوژیکی این متد فقط برای تفاضل های محلی ارتفاعات به حساب می آید.

Robust Filtering With Finite Elements 7-2

TINDTM به وسیله یک سری المان های محدود قوی سرشکن می شود.در یک TINDTM که به وسیله sتا نقطه TIN تعریف شده است داریم:

$$T_r(X_r, Y_r, Z_r)(r = 1, s)$$

t تا نقطه لیزر (m=1,t) Pm(Xm,Ym,Hm) به وسیله انحراف معیار ارتفاعی c_{Hm} اندازه گیری شده اند برای یک جفت مثلث داده شده در یک نقطه لیزر اندازه گیری شده Pm معادلات مشاهدات خطی زیر نوشته می شوند:

$$H_m + v_m = f(Z_i, Z_j, Z_l) + A_1 Z_i + A_2 Z_l + A_3 Z_j$$
$$H_r + v_r = Z_r(r = i, j, k, l)$$

$$V_u + v_{V_u} = g(Z_i, Z_j, Z_l, Z_k) = B_1 Z_l + B_2 Z_k + B_3 Z_j + B_4 Z_l$$

$$A_1 = \frac{(X_1 Y_j - X_j Y_1) - (Y_j - Y_l) X_m + (X_j - X_l) Y_m}{D}$$

$$A_2 = \frac{(X_j Y_l - X_i Y_j) - (Y_i - Yj) X_m + (X_j - X_i) Y_m}{D} Z$$

$$A_3 = \frac{(X_i Y_l - X_l Y_i) - (Y_l - Yi) X_m + (X_l - X_i) Y_m}{D}$$

$$D=(X_l Y_j - X_j Y_l) - (Y_j - Y_l) X_i + (X_j - X_l) Y_i$$

$$B_2 = \left(\frac{dX_3 . dY_4 - dY_3 . dX_4}{l_3 l_1} \right)$$

$$B_3 = \left(\frac{dX_4 . dY_2 - dY_4 . dX_2}{l_2 l_4} \right)$$

$$B_4 = \left(\frac{dX_2 . dY_4 - dY_2 . dX_3}{l_3 l_2} \right)$$

$$B_1 = - B_2 - B_3 - B_4$$

$$dX_r = X_r - X_i$$

$$dY_r = Y_r - Y_i$$

$$l_r = \sqrt{(dX_r)^2 + (dY_r)^2}$$

$$r = i, j, k$$

معادله اول انترپولاسیون ارتفاعی را برای نقطه Pm در مثلثی به وسیله ارتفاعات TIN، Zi,Zj,Zk نشان می دهد.معادله دوم هم یک معادله مشاهده ساده شده برای ارتفاع مجهول Zr می باشد.در نهایت معادله سوم هم قیدcomplanarity بین سه بردار $\overrightarrow{TiTj}, \overrightarrow{T_i T_L}, \overrightarrow{T_r T_k}$ را نشان می دهد.معرفی توابع وزن خاص که وزن های اولیه را به وسیله باقی مانده های نرمال شده nv مربوط به هر مشاهده تحت تاثیر قرار میدهند منجر میشود به یک الگوی اجسمنت robust . توابع وزن عبارتند از :

$$W_1(n_v) = \frac{1}{\sqrt{1 + (n_v)^2}}$$

$$W_2(n_v) = e^{-(n_v)^2}$$

وزن ها در هرکدام از مراحل توسط روابط زیر به دست می آیند:

$$p_H^{(v+1)} = p_H^{(0)} . wq(n_{v_H}^V)$$

$$P_v^{v+1} = p_v^0 . wq(n_{w_v}^v)$$

q=1,2 v=iteration step

با طی مراحل این پروسه مشاهداتی که دارای باقی مانده های نرمال شده بزرگ هستند وزن کمتری می گیرند و حتی اکر به یک آستانه خاص برسند حذف می شوند.این راه حل برای ارتفاعات DTM طی یک اجسمنت تکراری به وسیله min کردن تابع زیر انجام می شود:

$$f(Z_r,\sigma_H,\sigma_V)=V_H{}^T p_H^V V_H+V_v^T p_v^v V_v$$

تا زمانی که مقادیر برآورد شده برای c_H, c_v ثابت شدند یا به یک Threshold تعیین شده برسیم.

8-2 الگوریتمی برای کاهش noise در داده های laser

یکی از عوامل مهمی که باعث انجام تفسیر های غاط و اندازه گیری های اشتباه روی داده های لیزر می شود noise در این داده هاست. الگوریتم های متعددی برای این کار (noie reduction) وجود دارد. ما در اینجا الگوریتمی را شرح می دهیم که در نرم افزار LSR2004 مورد استفاده قرار می گیرد. روال کار در اینجا یک روند آماری مستحکم به این صورت است : ابر نقاط لیزر به یک سری Mesh های منظم تقسیم بندی می شود.که این کار بر حسب زوایای افقی و قائم می باشد.سایز mesh هم مستقیما توسط کاربر تعیین می شود و تابع دانسیته مورد نظر کاربر در پایان مرحله فیلترینگ می باشدبرای هر کدام از mesh ها میانه فاصله ها برآورد شده میزان انحراف مقادیر از این میانه محاسبه می شود.فواصلی که میزان تفاضل آنها از median کمتر از دقت laser scanner است قبول شده و بقیه رد می شوند. این تکنیک علاوه بر حذف noise روش قدرتمندی برای حذف عوارض نا خواسته مثل سیم های برق یا ماشین ها یا بوته هاو... می باشد.

3- معرفی نرم افزار های پردازش داده های لیزر

Terra Scan1- 1

Terrascan نرم افزاری است برای مشاهده ، کلاسه بندی و پردازش دیتاهای لیزر هم در نوع هوایی و هم در نوع زمینی آن.به صورت خلاصه این نرم افزار قابلیت های زیر را برای کاربران فراهم می آورد:

- قابلیت مشاهده حجم زیاد نقاط سه بعدی
- قابلیت کلاسه بندی نقاط به سه دسته ground,building,vegetation با استفاده از الگوریتم های اتوماتیک قدرتمند
- ثبت نقاط مربوط به ابر نقاط لیزر
- ابزار مشاهده قدرتمند نقاط با استفاده از fly,3D،section
- رنگ آمیزی نقاط براساس attributeهای آنها

- اندازه گیری فاصله با استفاده از ابزا های Microstation و CAD
- حذف دیتاهای زائد و اضافی در مناطق مرزی
- دیجیتایز کردن عوارض و.....

2- نرم افزار POLYWORKS

POLYWORKS نرم افزاری است برای پردازش دیتا های 3D laser scanner ها از range کوتاه تا بلند . مزایای استفاده از POLYWORKS عبارتند از:

- توانایی کار با رنج وسیعی از اسکنر ها
- استفاده از الگوریتم های robust که می تواند با استفاده از آنها datasetهای خیلی بزرگ تا **100** میلیون نقطه را پردازش کند
- geo-reference کردن دیتا ها با استفاده از **3** نقطه کنترل در منطقه
- POLYWORKS دارای ابزارهای قوی اندازه گیری طول ، ارتفاع، زاویه، حجم و... است که بسیار سریع آنها را از دیتا ها استخراج می کند

3DLM Site Monitor – 3

3DLM SiteMonitor نرم افزاری است برای کار با داده های گرید مربوط به Riegel LPM range scanner که دارای قابلیت های زیر می باشد:

- تکرار پذیری داده های گرید را فراهم می کتد
- تطبیق نقاط را همانند مدل های زمین فراهم می کند
- عملیات اتوماتیک را برای monitoring های پیوسته و پریودیک فراهم می کند.
- خروجی دیتاها را به فرمASCII ارائه می دهد
- دیتاهای آن می توانند به 3D mine planning CAD ، import شوند

PHIDIAS -4

PHIDIAS یک سیستم فتوگرامتری رقومی بسیار قوی است که با هر نوع اندازه گیری روی تصویر کار می کند. در این نرم افزار ابر نقاط لیزری می توانند در ترکیب با تصاویر فتوگرامتریک مورد استفاده قرار گیرند.این ترکیب مزایای بسیار زیادی دارد که عبارتند از :

- برخی جزئیات objectهای اسکن شده که کمتر از resolution اسکنر هستند با استفاده از تصاویر high resolution فتوگرامتری قابل مشاهده می شوند.
- اندازه گیری های زمان بر استریو می تواند با اندازه گیری های تک عکس جایگزین شود
- تصاویر فتوگرامتریک می توانند به صورت جداگانه و بدون توجه به زاویه بین عکس ها توجیه شوند.
- orthophoto مستقیما تولید می شود ؛ زیرا بعد سوم را داریم

5- Terra Modeler

Terra Modeler یک نرم افزار قوی برای کار با داده های لیزر Airborn است. این نرم افزار مدل سطح را در RAM کامپیوتر نگه می دارد که این امکان را برای شما فراهم می آورد تا تعداد نامحدودی نقطه مدل و انواع مختلف TIN را مورد استفاده قرار دهید. از جمله مزایای آن عبارتند از:

- ایجاد DTM های با سطح عملکرد بالا از ابر نقاط
- تولید و نمایش منحنی های میزان ، گرید، مثلث بندی و مثلث های سایه زده شده
- overlay کردن تصاویر geo reference شده محاسبه حجم بین سطوح و بین سطح و template طراحی شده
- تولید و plot مقاطع
- label گزاری سطوح و ترسیم کاربردها
- ابزارهای قدرتمند ویرایش سطح
- قابلیت های import و export دیتاها

6- نرم افزار POINTOOLS

نرم افزاری است برای انجام اندازه گیری های دقیق برروی ابر نقاط لیزر ،برای انواع کاربرد های باستان شناسی ، معماری و داده هایLIDAR . این نرم افزار دارای قابلیت های زیر است:

- قابلیت ارائه ابزارهایی برای مشاهده ابر نقاط ، مدل های سه بعدی و ترسیمات
- قابلیت کار با dataset های تا **100** میلیون نقطه
- قابلیت مشاهده فایل هایی با اندازه بزرگتر از memory موجود در دسترس
- سیستم نمایش دینامیک
- قابلیتimport , export دیتا

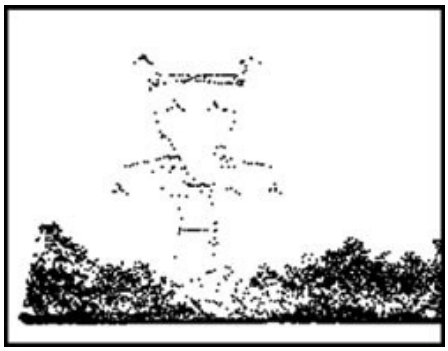
- امکان اندازه گیری های متفرد نقطه به نقطه

7- نرم افزار Teraa Match

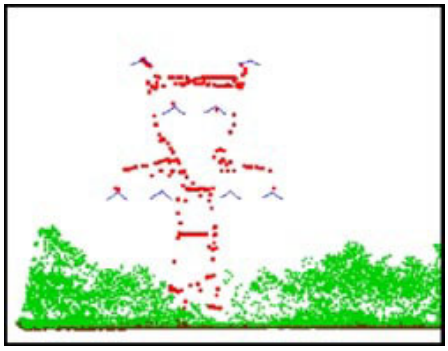
Teraa Match نرم افزار قدرتمندی برای تصحیح دادهای لیزر Airborn است .این خطاها می توانند ناشی از سیتم GPS/INS یا آینه اسکن و یا خطا در اندازه گیری فاصله باشند.این نرم افزار برای مدل سازی و کشف خطاها از الگوریتم های data snooping استفاده می کند و قابلیت های زیر را پشتیبانی می کند:

- تصحیح اتوماتیک خطاهایی که در اسکن رخ می دهند
- اجسمنت اتوماتیک داده های لیزر
- مدل سازی خطاهای سیستماتیک با استفاده از همپوشانی خطاهای برداشت شده

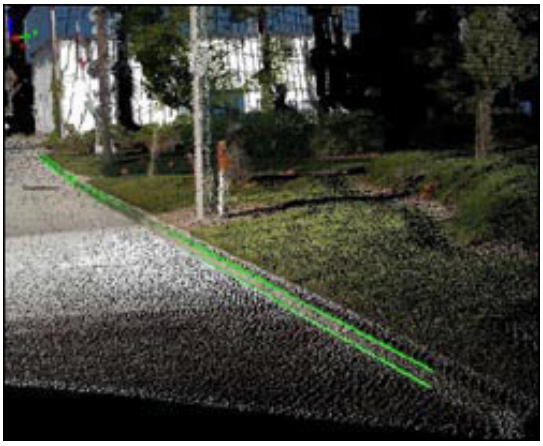
علاوه بر نرم افزار هایی که در باره آنها به توضیح مختصری اکتفا کردیم . نرم افزار های دیگری هم وجود دارند که اغلب پردازش داده های scanner های خاصی را support می کنند. از جمله این نرم افزار ها Terra Photo ، Risscan pro (که برای کار با داده های LIDAR است)،DTMCOR ، HALCON ، LSR2004، 3dlmVolume،و .... می باشند. در شکا های زیر نمونه هایی از پردازش های این نرم افزار ها را مشاهده می کنید.



شکل 9) دیتاهای لیزر اسکنر هوایی قبل از پردازش

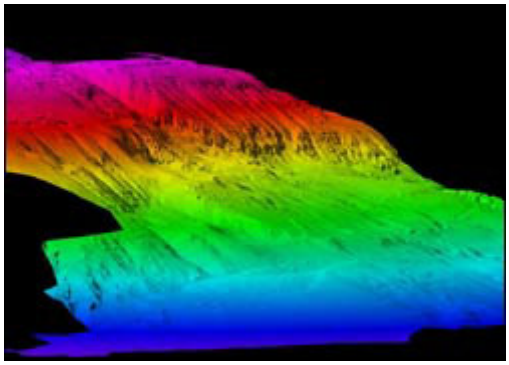


شکل **10**) بعد از پردازش توسط Terrra Scan



شکل **11**) مشخص کردن عوارض با polyworks

مدل سازی ساختمان ها با استفاده از PHIDIAS (شکل **12**



DTM تولید شده توسط Terra modeler (شکل **13**

4- نتیجه گیری و پیشنهادات

آنچه که در این مقاله مورد نظر بود. بررسی هرچند مختصر بر الگوریتم ها و روش های مختلفی است که درباره فرآیند های فیلترینگ داده های لیزر اسکنر ها ارائه شده است. در این راستا آشنایی با روش های عملی مورد استفاده در نرم افزار ها نیز ضرورت دارد. از ویژگی های مهم الگوریتم های که شرح دادیم این است که می توانند به صورت روشی اتوماتیک جهت پروژه های عملی مورد استفاده قراربگیرند. اولین الگوریتمی که در این مقاله مورد بررسی قرار دادیم الگوریتمی برای یافتن سطح زمین بود که با استفاده از روشی ریاضیاتی و با استفاده از توابع MDL نقاطی راکه نیاز نیست در دیتاهای ما وجود داشته باشد را حذف می کند . این روش علی الخصوص روی دیتاهایی که دارای ساختار TIN باشند به خوبی جواب می دهد و از مزیت های آن این است نقاط اصلی که برداشت شده اند حتما عضو سطح هستند . این الگوریتم می تواند در جداسازی object های سطح روش مناسبی باشد.و از مهم ترین روش های classification و modeling محسوب می شود.روش های دیگری که شرح دادیم روش Linear prediction و روش Dual rank میباشد. مبنای کار روش linear prediction استفاده از توابع کوواریانس و correalation می باشد. که به خوبی بر روش های تست و اجسمنت آماری هماهنگ می شود. مبنای ریاضیاتی این روش موجب می شود که علی الخصوص هنگامی که دیتا ها ار توزیع خاصی تبعیت کنند به نتایج قابل قبو لی دست یابیم . این روش علی الخصوص دارای دیتاهای بدون داده های پرت است .(حداقل مقدار) نتایج پروژه های عملی نشان می دهد که این روش در مناطق جنگلی بهترین نتایج را می دهد . اما برای فیلترینگ داده های مربوط به حالت هایی که ساختمان های بزرگ داریم این امر نیازمند استفاده از grid cell های بسیار بزرگ است که در مناطقی که دارای ناهمواری های متغیر است مناسب نمی باشد. علاوه براین مشکل است که در منطقه ای که دارای توپوگرافی متغیر است

با یک مجموعه پارامتر های سطح کار کنیم . روش dual rank هم که بر اساس مفاهیم مورفولوژیکی کار می کند نیازمند آگاهی های قبلی درباره وضعیت منطقه است . نتایج عملی در باره این روش نشان می دهد که در مناطقی که عوارض ارتفاعی دارای اختلاف ارتفاع نسبتا زیادی با عوارض مجاور است این روش به نتایج قابل قبولی منتهی می شود. علاوه بر این سطوحی که دارای صعود و نزول قطری طبیعی می باشد(مثل سد و خاکریز ها) در مرحله اول این الگوریتم مورد توجه قرار نمی گیرند. روش دیگری که استفاده کردیم روش استفاده از moment های ناورداست. این روش برای مناطقی که شکل کلی ساختمانها از مدل کلی سقف شیروانی ارائه شده تبعیت می کند نتایج خوبی دارد ولی برای انواع مختلف مدل هایی که در مناطق مختلف برای ایجاد ساختمانها مورد استفاده قرار می گیرد روش flexible ای نیست . و تغییر کوچکی در مدل ساختمان ها اساس این کار را به هم می ریزد . و برای اعمال این تغییرات در مدل با پیچیدگی های فراوانی مواجه می شویم . علاوه براین این روش تنها مدلی ریاضی برای استخراج سقف ساختمان هاست و فقط در مناطق شهری کاربرد دارد. در این راستا اگر هدف ما فقط استخراج ساختمانها باشد استفاده از روش تقاطع وجه های مسطح هم از لحاظ تئوری ساده تر است و هم flexibility بیشتری با انواع الگوها دارد. روش دیگری که ارائه کردیم روش استفاده از المانهای محدود برای استخراج DTM ها می باشد. این روش دارای مبنای ریاضیاتی و استفاده از Robust Least Squares می باشد و بنابراین دقت های خوبی را در زمینه داده های TIN به ارمغان می آورد . معادلات مشاهدهات خطی شده این روش هم متاثر از خطاهایی که در Linearization هستند می باشد. علاوه براین استفاده از تست های آماری روی نتایج این روش مناسب است. دقت DTM های به دست آمده در این روش **15** تا **25** سانتیمتر است . این روش نیز در مناطق جنگلی دقیق ترین نتایج را می دهد . علاوه براین از لحاظ برنامه نویسی ساده تر است. روشی که برای کاهش noise ارائه کردیم بر مبنای تقسیم منطقه به mesh های منظم کار می کند. و علی الخصوص برای حذف عوارض ناخواسته و داده های پرت کاربرد دارد. روش دیگر روش slope based است که تا حد زیادی وابسته به دانسیته نقاط و اختلاف ارتفاع آنها تا Terrain است . این روش به علت اثر قیود مورفولوژیکی فقط در تفاضلات محلی ارتفاعات کاربرد دارد. سایر الگوریتم های که در این زمینه وجود دارد و در این مقاله به آنها اشاره کردیم شامل روش convex hulls ، روش فیلترینگ بر مبنایsegmentation ابر نقاط لیزری و ..... می باشد.

در واقع بسته به application مورد نظر ما الگوریتم های مورد استفاده هم متفاوت خواهند بود و برمبنای هدفی که داریم و نیز دقت مورد نظر روشی که اتخاذ می کنیم فرق می کند . علاوه براین در اتخاذ روش ها در حالت عملی به نرم افزار مورد استفاده نیز بستگی دارد . در این راستا چند نرم افزار را هم مورد بررسی قرار دادیم از جمله نرم افزار هایی مثل Terra scan، Teraa Modeler، Pointools ، Polyworks، PHIDIAS ، Tera match، 3DLM site monitor و.....

در میان این نرم افزار ها آنچه مهم به نظر می رسد توانایی های قابل توجه آنها در کار با داده های حجیم لیزر اسکن می باشد . بسته به پردازشی هم که روی داده ای انجام می دهیم و نتایج دیدا- ری مورد نظر ما قدرتvisualizatioin این نرم افزار ها هم متفاوت خواهد بود و باید به این نکته نیز توجه کرد. توانایی

تلفیق داده های لیزر با سایر داده های مورد استفاده در فتوگرامتری و حتی GIS هم موضوعی است که جای بحث دارد. قابلیت نرم افزار PHIDIAS در تلفیق این داده ها به یکدیگر و انجام پردازش های مختلف قابل توجه است.

با توجه به انچه که گفته شد در میان الگوریتم های متعددی که برای پردازش داده های لیزر وجود دارند انتخاب الگوریتم براساس application مورد نظر و حجم دیتاهای برداشتی و ساختار دیتا ها و دقت مورد نظر صورت می گیرد. در راستا این آشنایی با قابلیت های نرم افزاری هم مورد توجه می باشد.

امید است که این مطالب بتواند سهمی هر چند کوچک در زمینه آشنایی با تکنولوژی لیزر اسکن داشته باشد.

5- منابع و مآخذ

1- Krzystek ,p, 2004, FILTERING OF LASER SCANNING DATA IN FOREST AREAS USING FINITE ELEMENTS , Dept. of Geoinformatics, University of Applied Sciences, Munich, Germany

2- Sitholea,g , George Vosselman , FILTERING OF AIRBORNE LASER SCANNER DATA BASED ON SEGMENTED POINT CLOUDS , Delft University of Technology, Faculty of Aerospace Engineering. Enschede, The Netherlands

3- Lohmann , p. KOCH, A, SCHAEFFER , M , APPROACHES TO THE FILTERING OF LASER SCANNER DATA , of Hanover, Germany Institute of Photogrammetry and Engineering Surveys (IPI)

4- Vosselman. G, Two algorithms for extracting building models from raw laser altimetry data , *Delft Uníersity of Technology, Faculty of Cíil Engineering and Geosciences Thijsseweg*

5- Axelsson , P, Processing of laser scanner data—algorithms and applications , *Department of Geodesy and Photogrammetry, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden*

6- Bornaz . L , Rinaudo, F . TERRESTRIAL LASER SCANNER DATA PROCESSING, Politecnico di Torino - Dipartimento di Georisorse e Territorio

7- http://www.terrasolid.com last accessed at : 2005 / 11 / 29

9- http://www.3DLM.com last accessed at: 2005 / 11 / 29