The 2nd National Conference on Geospatial Information Technology (NCGIT)

K.N.Toosi University of Technology
Faculty of Geomatics Engineering

18 January 2017

دومین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی نقشه‌برداری
۲۹ دی ماه ۱۳۹۵

شناسایی تیرهای برق از داده‌های لیزر اسکنر متحرک زمینی

سیامک طالبی نهر[1*]، محمد سعادت سرشت[2]

۱- دانشجوی دکتری فتوگرامتری، دانشکده مهندسی نقشه¬برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده¬های فنی، دانشگاه تهران
۲- دانشیار دانشکده مهندسی نقشه¬برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده¬های فنی، دانشگاه تهران

چکیده :

این روزها سیستم‌های لیدار متحرک زمینی پیشرفت بسیاری داشته و برای نقشه‌برداری مسیرها با سرعت و دقت بالا بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به چگالی بالای داده‌های این سیستم‌ها، برای شناسایی عوارض موجود در جاده‌ها نیازمند الگوریم‌های جدیدی هستیم. با توجه به اهمیت بالای شناسایی اتوماتیک عوارض در تهیه و بروز رسانی نقشه‌های شهری و مسیرها، در این مقاله روشی برای شناسایی تیرهای برق از داده‌های ابرنقاط لیدار متحرک زمینی ارائه شده است. بخش‌های اصلی روش پیشنهادی عبارتند از: ۱. حذف نقاط زمینی ۲. استخراج اجزای به هم پیوسته ۳. تولید ویژگی‌های هندسی ۴. استخراج تیرهای برق. این روش بر روی یک جاده روستایی دارای عوارض مختلف پیاده‌سازی شده و شاخص‌های ۰/۸۰، ۰/۷۲ و ۰/۶۲، که به ترتیب بیانگر کامل بودن، صحت و کیفیت می‌باشند، حاصل شد.

واژه‌های کلیدی لیدار متحرک زمینی، شناسایی تیر برق، فاصله باتاچاریا

نویسنده مکاتبه کننده : سیامک طالبی نهر
آدرس پستی : تهران، دانشگاه تهران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشکده مهندسی نقشه‌بردای و اطلاعات مکانی
تلفن : ۰۹۱۴۹۷۱۸۷۱۳
آدرس پست الکترونیک : talebi@ut.ac.ir

۱- مقدمه

سیستم‌های فاصله‌یابی لیزری (لیدار) متحرک[1] زمینی با استفاده از ترکیب یک یا چند لیزر اسکنر، سیستم موقعیت یابی ماهواره‌ای، واحد اندازه‌گیری اینرسیایی[2]، شاخص اندازه‌گیری فاصله و دوربین دیجیتال عمل می‌کنند[۱ و ۲]. این سیستم های برای جمع‌آوری داده‌های مکانی سه بعدی مسیرهای جاده‌ای برای نواحی وسیع با یک سرعت رانندگی متوسط استفاده می‌شوند. به دلیل چگالی و صحت بالای سیستم‌های لیدار این روزها از این سیستم‌ها به صورت وسیع در نقشه‌برداری آزادراه‌ها [۳]، مسیرهای داخل شهری [۴ و ۵] و شناسایی عوارض جاده‌ای[۶ و ۷] استفاده می‌شود [۳] در همین راستا عوارض میله‌ای، شامل: چراغ‌های روشنایی و علائم ترافیکی واقع در کنار جاده‌ها، نمونه‌ای از عمومی‌ترین عوارضی هستند که در مسیرها وجود دارند. علائم ترافیکی، که سهم عمده‌ای از عوارض جاده‌ای را شامل می‌شوند، نقش بسیار مهمی در حمل و نقل، ایمنی جاده‌ها و هدایت جاده‌ها بازی می‌کنند. نظارت و مدیریت چراغ‌های روشنایی برای افزایش امنیت جاده‌ها امری ضروری است. در این میان شناسایی عوارض میله‌ای چه در شناسایی علائم ترافیکی و چه در شناسایی چراغ‌های رانندگی ضروری بوده و باقی مراحل کار را ساده‌تر می‌نماید. عموما عوارض میله ای گرد و بلند از مواد مختلفی ساخته شده‌اند و دارای ارتفاع و شعاع مختلف هستند. هرچند در بررسی یک منطقه نه چندان بزرگ این مشخصات اکثرا شبیه هم می‌باشد. البته در اکثر مواقع در ایران چراغ‌های روشنایی رو تیرهای برق قرار داشته و این تیرهای برق دارای سطح مقطع مستطیلی هستند. برهمین اساس در سال‌های اخیر شناسایی عوارض میله‌ای در کنار جاده‌ها توجه بسیاری از محققین در این زمینه را به خود جذب کرده است.

چگالی متوسط ابرنقاط جمع‌آوری شده توسط سیستم‌های لیزراسکنر متحرک[3] زمینی می‌تواند به ۴۰۰۰ نقطه در متر مربع، در سرعت متوسط حرکت km/h ۵۰، برسد. بنابراین این داده‌ها برای شناسایی تیرهای برق بسیار مناسب به نظر می‌رسند. در این مقاله روشی کاربردی برای استخراج تیرهای برق به صورت مستقیم از داده‌های ابرنقاط MLS در یک مسیر روستایی ارائه می‌شود. روش پیشنهادی به ۵ قسمت اصلی تقسیم می‌شود که عبارتند از: ۱. پیش‌پردازش ۲. حذف نقاط زمینی ۳. استخراج اجزای به هم پیوسته[4] ۴. تولید ویژگی‌های هندسی ۵. استخراج تیرهای برق بر اساس فاصله باتاچاریا[5].

۲- پیشینه تحقیق

در این بخش به بررسی مقاله‌های مربوط به شناسایی عوارض از داده‌های لیدار متحرک زمینی می‌پردازیم. روش‌های عمومی شناسایی عوارض میله‌ای از داده‌های ابرنقاط لیدار متحرک زمینی عموما بر اساس ویژگی‌های شکلی [۸ و ۹]پیش‌دانسته‌ها [۱۰] و تناظریابی الگوی شکلی[6] می‌باشند. در [۸]یک روش قطعه‌بندی برای شناسایی تیرهای چراغ برق خیابان بر اساس k نزدیکترین همسایگی، آنالیز اجزای اصلی[7] و ویژگی‌های هندسی-متنی ارائه شده است. در این مقاله از k نزدیکترین همسایگی برای خوشه‌بندی نقاط استفاده شده است که نسبت به نواحی پنهان مقاوم نیستند. در [۱۰] روشی بر اساس چگالی نقاط تصویر شده[8] برای شناسایی تیرهای چراغ برق بر اساس ارتفاع تیرهای برق ارائه

[1] Mobile light detection and ranging
[2] Inertial measurement unit
[3] Mobile laser scanner (MLS)
[4] Connected-components
[5] Bhattacharya
[6] Shape template matching
[7] Principal Component Analysis
[8] Density of Projected Points

شده است. این روش نیازمند تعیین دستی حد آستانه برای ارتفاع بهینه تیرهای برق است. الگوریتم برش نرمال شده[1] نیز در[۱۱ و ۱۲] برای استخراج تیرهای برق از داده‌های لیدار متحرک زمینی استفاده شدند.

در[۷] روشی براساس جمع‌آوری ویژگی‌های قسمت‌های مختلف ابرنقاط برای شناسایی عوارض میله‌ای ارائه شده است. همچنین روشی جدید دو به دو[2] در[۱۳] بر اساس شکل-متنی[3] برای شناسایی چراغ‌های خیابان از ابرنقاط حاصل از MLS ارائه شده است. در [۱۴] ابتدا روش پیشنهادی ابرنقاط را به سوپروکسل‌ها[4] تبدیل کرده، و سپس با استفاده از تعریف قوانینی به تبدیل این سوپروکسل‌ها به قطعه‌های معنادار اقدام می‌کند. در نهایت مدل مفهومی عوارض شهری تشکیل شده و برای طبقه‌بندی عوارض استفاده می‌شوند. در [۱۵] یک استراتژی سلسله‌مراتبی شامل: قطعه‌بندی[5]، آنالیز اجزای اصلی، فیلتر کردن و روند استخراج پارامترها، برای استخراج ویژگی‌های هندسی پروفیل‌های عمودی و مقاطع عرضی جاده‌ها ارائه شده است. در[۱۹] با استفاده از همسایه‌های محلی و براساس آنالیز اندازه نسبی مقادیر ویژه[6] میله‌ها استخراج شده‌اند.

۳- روش پیشنهادی

در این بخش به تشریح روش پیشنهادی در قسمت‌های مختلف می‌پردازیم. در بخش ۳-۱پیش‌پردازش‌های لازم برای آماده‌سازی داده‌ها برای ورود به الگوریتم پیشنهادی توضیح داده می‌شود. در بخش ۳-۲ الگوریتمی برای شناسایی و حذف نقاط زمینی از داده‌های لیدار متحرک زمینی ارائه می‌شود. در ادامه در بخش ۳-۳ به شناسایی اجزای به هم پیوسته می‌پردازیم. سپس در بخش ۳-۴ به تولید و استخراج ویژگی‌های هندسی محلی عوارض مورد نظر و در نهایت در بخش ۳-۵ به استخراج تیرهای برق می‌پردازیم.

۳-۱- پیش‌پردازش

در این قسمت برای کاهش حجم داده‌ها و پردازشات، بافری[7] به مرکزیت مسیر حرکت سنجنده و ۲ برابر عرض تقریبی تقریبی جاده در نظر گرفته می‌شود و نقاط خارج از این محدوده حذف می‌شوند. این امر به دلیل آگاهی از قرار داشتن تیرهای برق در نزدیکی جاده‌های انجام می‌شود. پس از این مرحله شاهد کاهش حجم زیاد داده ها خواهیم بود و مراحل بعدی با سرعت بیشتری انجام خواهند شد.

۳-۲- حذف نقاط زمینی

پس از مرحله پیش‌پردازش حجم اولیه داده‌ها تا حدی کاهش می‌یابد، ولی به دلیل چگالی بالای داده‌های MLS باز هم کار با این حجم از داده‌ها دشوار می‌باشد. بر همین اساس نسبت به حذف نقاط زمینی برای کاهش حجم داده‌ها اقدام می‌نماییم.

برای حذف نقاط زمینی از الگوریتم فیلتر مورفولوژی ساده[8] (SMRF) که در [۱۶] ارائه شده است استفاده می‌کنیم. این الگوریتم ابتدا منطقه مورد نظر را شبکه‌بندی کرده و سپس در ۴ بخش اصلی ادامه می‌یابد. در بخش اول یک سطح کمینه به نقاط برازش داده می‌شود. در بخش دوم این سطح کمینه پردازش می‌شود تا مشخص شود هر سلول شبکه دارای نقاط زمینی و یا غیر زمینی است. این بخش قسمت اصلی الگوریتم می‌باشد. در مرحله سوم

[1] Normalized cut
[2] Pairwise
[3] Shape-context
[4] Supervoxels
[5] Segmentation
[6] Eigenvalues
[7] Buffer
[8] Simple Morphology Removing Filter (SMRF)

مدل رقومی ارتفاعی[1] از این داده‌های شبکه‌بندی شده استخراج شده و در نهایت در مرحله چهارم با استفاده از رابطه بین نقاط لیدار و مدل رقومی ارتفاعی، نقاط مربوط به نقاط زمینی و نقاط غیر زمینی شناسایی می‌شوند.

۳-۳- استخراج اجزای به هم پوسته

پس از حذف نقاط زمینی، نقاط غیر زمینی جدا می‌شوند. به خاطر ویژگی گسسته و بدون نظم ابرنقاط نیازمند استخراج اجزای به هم پیوسته هستیم. در مراحل بعدی این اجزای به هم پیوسته تک به تک بررسی خواهند شد.

برای استخراج اجزای به هم پیوسته در این مقاله از الگوریتم DBSCAN ارائه شده در [۱۷] استفاده می‌شود. این الگوریتم بر اساس تعداد همسایه‌های یک نقطه در یک فاصله همسایگی مشخص کار می‌کند. روند کلی این الگوریتم به صورت شکل (۱) زیر می‌باشد:

```
for object i
if the i-th object is not a member of a given cluster yet
create a new cluster C
while the neighboring objects satisfy the cluster condition
expand cluster C
end
end
end
```

شکل ۱: روند کلی الگوریتم DBSCAN برای استخراج اجزای به هم پیوسته

در نهایت با استفاده از پیش دانسته‌هایی از قبیل حداکثر و حداقل تعداد نقاط و بیشترین و کمترین ارتفاع مربوط به تیرهای برق عوارض فیلتر می‌شوند.

۳-۴- تولید ویژگی‌های هندسی

در این مقاله با استفاده از آنالیز آماری ویژگی‌های هندسی اقدام به استخراج تیرهای برق می‌کنیم. بر این اساس برای هرکدام از نقاط اجزای به هم پیوسته تولید شده در بخش قبل یک بردار ویژگی ۵ بعدی که بیانگر ویژگی‌های هندسی محلی نقطه مورد نظر است تعریف می‌شود. این بردار ویژگی در رابطه (۱) بیان می‌شود:

$$F_p = \{N_x, N_y, N_z, dis, n_{\text{var}}\}$$

رابطه (۱)

که در این رابطه N_x، N_y و N_z اجزای بردار نرمال نقطه p در یک همسایگی مشخص m، dis فاصله بین نقطه p و مرکز جرم تمامی نقاط عارضه مورد نظر در صفحه XoY و n_{var} واریانس محلی بردارهای نرمال در همسایگی مشخص m می‌باشند. در مرحله بعدی یک تابع توزیع نرمال ۵ بعدی به بردار ویژگی برازش می‌دهیم. در صورتی که $\Phi_i = N_i(\mu_i, \Sigma_i)$ تابع توزیع نرمال ۵ بعدی برای عارضه i باشد μ_i و Σ_i به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\mu_i = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} f_{pj}$$

رابطه (۲)

$$\Sigma_i = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} (f_{pj} - \mu_i)^T (f_{pj} - \mu_i)$$

رابطه (۳)

[1] Digital Elevation Model

۳-۵- استخراج تیرهای برق براساس فاصله باتاچاریا

اجزای به هم پیوسته دارای ساختار مشابه عموما دارای ویژگی‌های هندسی مشابهی نیز هستند. براین اساس، توابع توزیع برازش داده شده بر روی این ویژگی‌های هندسی نیز باید مشابه باشند. در این مقاله برای مقایسه توابع توزیع برازش داده شده از فاصله باتاچاریا استفاده می‌شود. این فاصله از لحاظ محاسباتی ساده بود و جدایی دو تابع توزیع نرمال چند بعدی را می‌تواند اندازه‌گیری کند. اگر $N_p = \{\mu_p, \Sigma_p\}$ تابع توزیع نرمال یک تیر برق نمونه و $N_i = \{\mu_i, \Sigma_i\}$ تابع توزیع نرمال سایر اجزای به هم پیوسته باشند فاصله باتاچاریا به صورت زیر تعریف می‌شود:

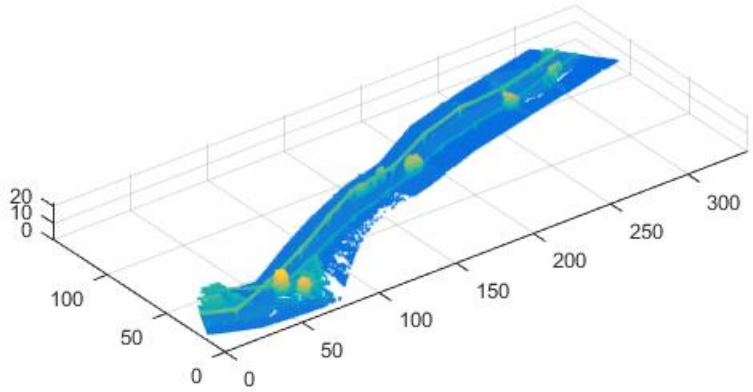
$$d_{bhati} = \frac{1}{8}(\mu_i - \mu_p)^T \left[\frac{\Sigma_p + \Sigma_i}{2}\right]^{-1} (\mu_i - \mu_p) + \frac{1}{2}\ln \frac{\left|\frac{\Sigma_p + \Sigma_i}{2}\right|}{\sqrt{|\Sigma_p||\Sigma_i|}}$$

رابطه (۴)

رابطه (۴) گسستگی بین ۲ تابع توزیع نرمال را بیان می‌کند. فاصله باتاچاریا در بازه صفر تا مثبت بی‌نهایت قرار می‌گیرد، به‌طوریکه مقدار صفر بیانگر این است ۲ تابع توزیع مورد نظر دقیقا یک شکل هستند. با استفاده از یک حد آستانه مشخص می‌تواند عوارض مشابه را استخراج نمود.

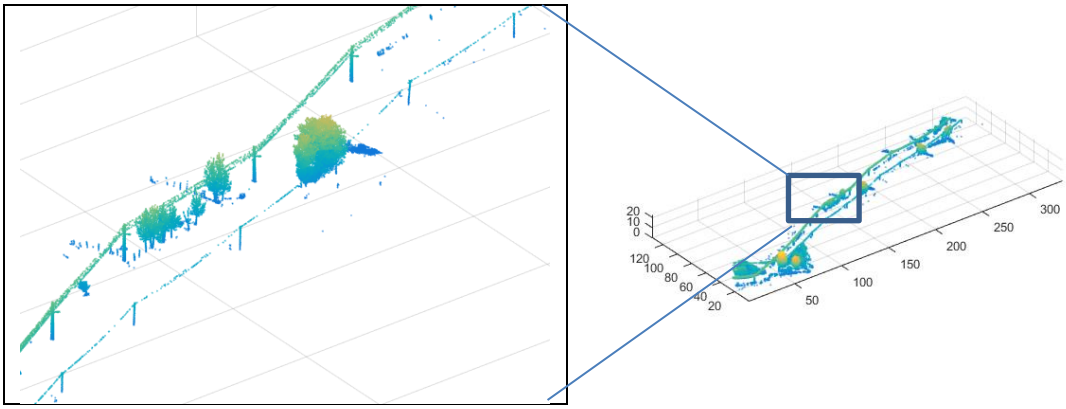
۴- پیاده‌سازی

داده‌های مورد استفاده در این مقاله مربوط به مسیر ۳۵۰ متری یک جاده روستایی می‌باشد. برای پیاده‌سازی روند پیشنهادی ابتدا از مرکز جاده به فاصله ۲۵ متری بافری زده می‌شود و نقاط خارج از این بافر حذف می‌شوند. بر این اساس شکل (۲) مسیر مورد نظر برای استخراج تیرهای برق می‌باشد.



شکل ۲ : منطقه مورد مطالعه

در مرحله بعدی با استفاده از الگوریتم SMRF اقدام به حذف نقاط زمینی می‌نماییم. پارامترهای استفاده شده در این الگوریتم در جدول (۱) و نتایج آن در شکل (۳) نمایش داده می‌شود.



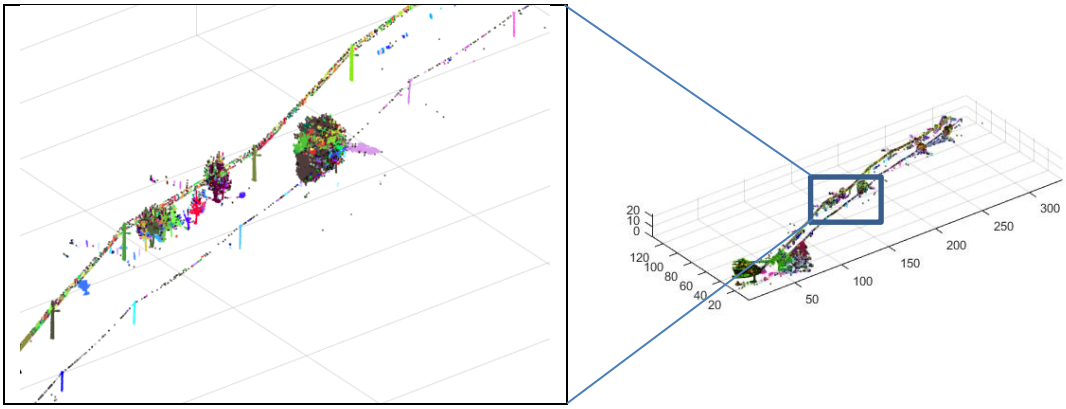
شکل ۳ : نقاط غیر زمینی تولید شده توسط الگوریتم SMRF

جدول ۱ : پارامترهای استفاده شده در الگوریتم SMRF

Cell size	**1m**
Maximum expected slope	**0.2**
Maximum window radius	**16**
Elevation threshold	**0.45**
Elevation scaling factor	**1.2**

برای تولید اجزای به هم پیوسته توسط الگوریتم DBSCAN شعاع جستجو برابر ۳۰ سانتی متر و کمترین تعداد نقاط لازم در این همسایگی ۳ انتخاب شد. نتایج این الگوریتم در شکل (۴) نمایش داده می‌شوند. تعداد اجزای به هم پیوسته تولید شده توسط این الگوریتم ۲۹۷۵ می‌باشد. با توجه به آگاهی از ویژگی‌های تقریبی تیرهای برق این اجزا فیلتر می‌شوند. به صورتیکه:

الف. تعداد نقاط هر عارضه نباید کمتر از ۱۰۰ و یا بیشتر از ۲۰۰۰۰ باشد.
ب. ارتفاع عارضه باید از ۳ متر و طول عمودی آن از ۶ متر بیشتر باشد.
این فیلتر کردن تعداد عوارض کاندید تیر برق را به ۴۴ عدد تقلیل می‌دهد.

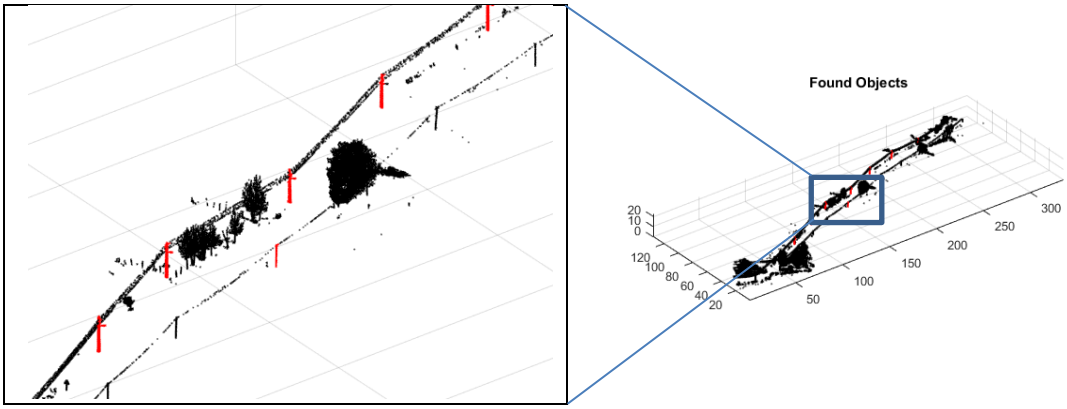


شکل ۴ : اجزای به هم پیوسته تولید شده توسط الگوریتم DBSCAN

برای تولید بردار ویژگی هندسی از ۸ همسایگی هر نقطه استفاده و سپس تابع توزیع نرمال ۵ بعدی برای هر کدام از عوارض محاسبه شد. در ادامه یک نمونه از تیرهای برق به صورت دستی از ۴۴ عارضه موجود انتخاب و با استفاده از رابطه (۴) اقدام به محاسبه فاصله باتاچاریا بین این عارضه و مابقی عوارض می‌نماییم. جدول (۲) این فواصل رو نمایش می‌دهد. با استفاده از حد آستانه ۰/۴ اقدام به جداسازی تیرهای برق از مابقی عوارض می‌نماییم. این عوارض با رنگ قرمز در جدول (۲) و شکل (۵) نمایش داده می‌شوند.

جدول ۲ : فاصله باتاچاریا بین عوارض مختلف

#obj	d_{bhati}	#obj	d_{bhati}	#obj	d_{bhati}	#obj	d_{bhati}
1	2.17	12	0.84	23	0.15	34	0.81
2	2.73	13	0.32	24	1.03	35	1.00
3	2.22	14	0.51	25	1.83	36	0.59
4	0.82	15	1.14	26	0.83	37	0.43
5	2.02	16	2.60	27	1.02	38	1.01
6	0.17	17	0.18	28	0.84	39	0.56
7	0.72	18	1.35	29	1.94	40	0.46
8	0.00	19	0.14	30	2.065	41	0.35
9	0.57	20	1.85	31	1.44	42	1.21
10	0.47	21	1.44	32	3.10	43	1.16
11	0.69	22	0.21	33	1.95	44	0.54



شکل ۵ : نتایج نهایی استخراج تیر برق‌ها

۵- ارزیابی

برای ارزیابی روش پیشنهادی از شاخص‌های ارائه شده در [۱۸] استفاده می‌نماییم. این شاخص‌ها عبارتند از صحت[۱]، کامل بودن[۲] و کیفیت[۳]. روابط ۵ تا ۷ این شاخص‌ها را نمایش می‌دهد. برای بررسی تاثیر حداستانه انتخابی برای فاصله باتاچاریا، جدول ۳ نتایج ارزیابی را برای سه حد آستانه ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ نمایش می‌دهد.

$$Comp = \frac{TP}{TP + FN}$$ رابطه (۵)

$$Corr = \frac{TP}{TP + FP}$$ رابطه (۶)

$$Corr = \frac{TP}{TP + FP + FN}$$ رابطه (۷)

[۱] Correctness
[۲] Completeness
[۳] Quality

جدول ۳ : ارزیابی کمی روش پیشنهادی

	مرجع زمینی		نتایج شناسایی			نتایج ارزیابی		
حد آستانه	تیر برق	سایر تیرها	TP	FN	FP	کامل بودن	صحت	کیفیت
۰/۳	۱۰	۱۲	۶	۴	۰	۰/۶۰	۱/۰۰	۰/۶۰
۰/۴	۱۰	۱۲	۷	۳	۱	۰/۷۰	۰/۸۸	۰/۶۳
۰/۵	۱۰	۱۲	۸	۲	۳	۰/۸۰	۰/۷۲	۰/۶۲

۶- نتیجه‌گیری

برای ارزیابی روش پیشنهادی در این مقاله از داده‌های ابرنقاط لیدار متحرک زمینی مربوط به یک مسیر روستایی که دارای عوارض متعدد بود استفاده شد. این داده‌های دارای چگالی و صحت بالایی بودند. برای استخراج تیرهای برق از این داده‌ها ابتدا نقاط زمینی با استفاده از الگوریتم SMRF حذف شده و سپس این نقاط با استفاده از الگوریتم DBSCAN به اجزای به هم پیوسته تبدیل شدند. به خاطر تعداد زیاد این اجزا و با آگاهی از ویژگی‌های هندسی تیرهای برق اقدام به فیلتر کردن این عوارض و حذف عوارض ناخواسته شد. در مرحله بعدی ویژگی‌های هندسی برای هرکدام از عوارض فیلتر شده محاسبه شد. با استفاده از یک تابع توزیع نرمال ۵ بعدی این ویژگی‌های هندسی برای هرکدام از عوارض مدل شده و سپس با استفاده از فاصله باتاچاریا اقدام به شناسایی تیرهای برق شد.

برای ارزیابی روند پیشنهادی از شاخص‌های صحت، کامل بودن و کیفیت استفاده شد. با مشاهده جدول (۳) عملکرد الگوریتم پیشنهادی ۰/۸۰، ۰/۷۲ و ۰/۶۲، که به ترتیب بیانگر کامل بودن، صحت و کیفیت می‌باشند، بیان شد. این نتایج نشان از عملکرد نسبتا خوب روند پیشنهادی برای شناسایی تیرهای برق دارد.

درنهایت با توجه به مشکلات روش پیشنهادی در برخورد با تیرهای برق همجوار درختان، و یا سایر همپوشانی‌ها بین عوارض مختلف به نظر می‌رسد استفاده از الگوریتم‌های قطعه‌بندی پس از مرحله شناسایی اجزای به هم پیوسته می‌تواند مفید باشد. هم چنین می‌توان با تغییر بردار ویژگی هندسی محلی و اضافه نمودن پارامترهای دیگر به افزایش دقت الگوریتم کمک نمود.

تشکر و قدردانی

از شرکت مهندسین مشاور پویا نقش امید به خاطر در اختیار قراردادن داده‌های این تحقیق تشکر می‌گردد.

مراجع

[1] M. Brogan, S. McLoughlin, and C. Deegan, "Assessment of stereo camera calibration techniques for a portable mobile mapping system," IET Computer Vision, vol. 7, no. 3, pp. 209-217, 2013.

[2] S. Murray, S. Haughey, M. Brogan, C. Fitzgerald, S. McLoughlin, and C. Deegan, "Mobile mapping system for the automated detection and analysis of road delineation," IET intelligent transport systems, vol. 5, no. 4, pp. 221-230, 2011.

[3] J. Gong, H. Zhou, C. Gordon, and M. Jalayer, "Mobile terrestrial laser scanning for highway inventory data collection," in Proceedings of International Conference on Computing in Civil Engineering, Clearwater Beach, FL, USA, 2012, pp. 17-20.

[4] Y. Yu, J. Li, H. Guan, C. Wang, and J. Yu, "Automated detection of road manhole and sewer well covers from mobile LiDAR point clouds," IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 11, no. 9, pp. 1549-1553, 2014.

[5] H. Guan et al., "Iterative tensor voting for pavement crack extraction using mobile laser scanning data," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 53, no. 3, pp. 1527-1537, 2015.

[6] H. Guan, Y. Yu, Z. Ji, J. Li, and Q. Zhang, "Deep learning-based tree classification using mobile LiDAR data," Remote Sensing Letters, vol. 6, no. 11, pp. 864-873, 2015.

[7] S .Pu, M. Rutzinger, G. Vosselman, and S. O. Elberink, "Recognizing basic structures from mobile laser scanning data for road inventory studies," ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 66, no. 6, pp. S28-S39, 2011.

[8] H. Yokoyama, H. Date ,S. Kanai, and H. Takeda, "Pole-like objects recognition from mobile laser scanning data using smoothing and principal component analysis," International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. 38, no. 5/W12, pp-۱۱۵ . .۲۰۱۱ ,۱۲۰

[9] S. I. El-Halawany and D. D. Lichti, "Detection of road poles from mobile terrestrial laser scanner point cloud," in Multi-Platform/Multi-Sensor Remote Sensing and Mapping (M2RSM), 2011 International Workshop on, 2011, pp. 1-6: IEEE.

[10] Y. Hu, X. Li, J. Xie, and L. Guo, "A novel approach to extracting street lamps from vehicle-borne laser data," in Geoinformatics, 2011 19th International Conference on, 2011, pp. 1-6: IEEE.

[11] J. Reitberger, C. Schnörr, P. Krzystek, and U. Stilla, "3D segmentation of single trees exploiting full waveform LIDAR data," ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 64, no. 6, pp. 561-574, 2009.

[12] J. Shi and J. Malik, "Normalized cuts and image segmentation," IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, vol. 22, no. 8, pp. 888-905, 2000.

[13] Y. Yu, J. Li, H. Guan, C. Wang, and J. Yu, "Semiautomated extraction of street light poles from mobile LiDAR point-clouds," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 53 ,no. 3, pp. 1374-1386, 2015.

[14] B. Yang, Z. Dong, G. Zhao, and W. Dai, "Hierarchical extraction of urban objects from mobile laser scanning data," ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 99, pp. 45-57, 2015.

[15] A. Holgado-Barco, D. Gonzalez-Aguilera, P. Arias-Sanchez, and J. Martinez-Sanchez, "An automated approach to vertical road characterisation using mobile LiDAR systems: Longitudinal profiles and cross-sections," ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 96, pp. ۸-۳۷, ۲۰۱۴.2

[16] T. J. Pingel, K. C. Clarke, and W. A. McBride, "An improved simple morphological filter for the terrain classification of airborne LIDAR data," ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 77, pp. 21-30, 2013.

[17]T. N. Tran ,K. Drab, and M. Daszykowski, "Revised DBSCAN algorithm to cluster data with dense adjacent clusters," Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, vol. 120, pp. 92-96, 2013.

[18] M. Rutzinger, F. Rottensteiner, and N. Pfeifer, "A comparison of evaluation techniques for building extraction from airborne laser scanning," Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of, vol. 2, no. 1, pp. 11-20, 2009.