نشریه پژوهش‌های کاربردی دورکاوی و اطلاعات مکانی

بررسی مقایسه ای ابرنقاط حاصل از فتوگرامتری UAV و MMS با کاربرد عملیاتی Real time

علی شجاعیان[۱]| ناهید سجادیان[۲]| نگار رحیم پور[۳]

مقاله

تاریخ دریافت:
۱۴۰۴/۷/۳
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۴/۱۱/۵
صص: ۱۱۷-۹۷

چکیده

امروزه ابر نقاط مجموعه سه‌بعدی از نقاط است که خصوصیات سطح خارجی یک شی را توصیف می کنند. این نقاط از آنالیز محیط پیرامون شی و جمع آوری اطلاعات از شکل ظاهری آن به دست می آیند. ابرنقاط مذکور از هر دو سیستم نوین موبایل مپینگ و پهپاد قابل برداشت می‌باشند. از کاربردهای ابرنقطه‌ی حاصله می‌توان دسترسی به داده‌های جغرافیایی به صورت real time در زمان وقوع بلایای طبیعی و دیگر حوادث غیر منتظره و همچنین پایش و بررسی تغییرات محیطی جهت برنامه‌ریزی‌ها، پیش‌بینی‌ها و راهکارهای عملیاتی در شهر اشاره نمود. هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی مقایسه‌ای ابر نقاط حاصل از فتوگرامتری پهپاد و موبایل مپینگ با کاربرد عملیاتی real time می‌باشد. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که روش تولید، دیتای تولیدی، پروسه‌ی پردازش داده، کاربردها و محصولات نهایی ابرنقاط بین سیستم موبایل مپینگ و سامانه فتوگرامتری پهپاد متفاوت است. به طوری که تمرکز سامانه پهپاد فتوگرامتری بیشتر روی عوارض سطحی و بعد دوم و سیستم موبایل مپینگ بر عوارض ارتفاعی و بعد سوم می‌باشد. همچنین می‌توان خروجی نهایی حاصل از سامانه‌های نوین تولید داده مورد بررسی را به صورت real time، با تشکیل مدلسازی و شبیه سازی پدیده ها و عوارض شهری در برنامه ریزی ها و پایش تغییرات آتی شهر بکار گرفت.

کلیدواژه‌ها: فتوگرامتری پهپاد، موبایل مپینگ، Point cloud ، Real time

۱ نویسنده مسئول: دکتری، رشته جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران،
shojaian@scu.ac.ir
۲ دکتری، رشته جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
۳ دانشجوی کارشناسی ارشد، رشته جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

مقدمه

در ابتدا ظهور فتوگرامتری زمان واقعی یک رویا بوده است. پیشرفت‌های تکنولوژیکی در چند سال گذشته تحقق این رویا را امکان‌پذیر کرده است. امروزه سرعت پردازش تصاویر و همچنین در دسترس بودن تکنیک های قوی برای استخراج اطلاعات جغرافیایی و موضوعی پایه از فرآیندهای تصویر می‌تواند فتوگرامتری زمان واقعی را امکان‌پذیر سازد[۱]. در سال‌های اخیر با توسعه تکنولوژی کامپیوتر، نسل جدیدی از فتوگرامتری دیجیتال متکی بر سیستم کامپیوتر ظهور کرده و کارایی فتوگرامتری ارتقا یافته است. با این حال، دشوار است که چنین سیستم‌های بزرگ و با مصرف برق بالا، را به صورت آنلاین تجهیز کرد. به طوری که تکنولوژی نوین فتوگرامتری real time در مواجه و برخورد با شرایط اضطراری رشد و گسترش یافته است. در زمان وقوع بلایای طبیعی و دیگر حوادث غیر منتظره دسترسی به داده های مکانی real time ضرورت می یابد. زمانی که هواپیما پرواز می‌کند، داده‌های فتوگرامتریکی از منطقه‌ای که هواپیما تحت پوشش قرار می‌دهد می‌تواند به صورت real time اخذ و پردازش شود و نتایج نهایی با فرود هواپیما ارائه می‌گردد. در حال حاضر، مشکلات سیستم‌های زمینی برای پردازش اطلاعات آنلاین عمدتا در جنبه‌های زیر است: ۱) فضای هواپیما محدود است ۲) عملکرد و بار دستگاه محدود است۳) منبع ذخیره محدود و ناپایدار است ۴) تعاملات و فعل و انفعالات دستی قابل پذیرش نیست. برای غلبه بر این مشکلات، یک سیستم با برق کم مصرف، اندازه کوچک و با یکپارچگی بالا متکی بر تکنولوژی کامپیوتری محاسباتی برای پردازش آنلاین جاسازی شده است که این امر یکی از مسیرهای در حال توسعه فتوگرامتری real time است[۲]. Real time نیاز به اتوماسیونی دارد که نتیجه آن در زمان تصمیم گیری در دسترس است. سیستم فتوگرامتریک نقشه برداری Real time[1] سیستمی است که قادر است داده‌های تصویری دیجیتال[2] از فریم دوربین دیجیتال[3] را به طور مستقیم در نرم افزار فتوگرامتری برای پردازش اتوماتیک مدل های رقومی ارتفاعی[4]، تصاویر ارتو و خطوط کانتور(منحنی تراز)، با استفاده از پلتفرم به صورت Real time وارد کند. برداشت سریع و دقیق داده‌ها در سطح زمینی همواره یکی از

1 Real-Time Photogrammetric Mapping System
2 Digital image data
3 Digital frame camera
4 Digital elevation models

مشکلاتی است که نقشه‌برداران با آن مواجه بوده‌اند. با وجود این‌که سنجش‌ازدور تحولی بزرگ در نقشه‌برداری سریع ایجاد کرده است، اما این فناوری نیز نیازمند وجود یک سیستم دقیق از نقاط کنترل زمینی و انجام پس‌پردازش‌های سنگین برای تولید یک نقشه دقیق می‌باشد. اما تمامی این داستان بعد از به وجود آمدن دو فناوری جدید دستخوش تغییرات شده است. یکی از این دو فناوری، روی کار آمدن دوربین‌های دیجیتال و به‌طور خاص دوربین‌های دیجیتال عکس‌برداری هوایی، و دیگری موقعیت‌یابی سریع و دقیق توسط GPS و INS است. یکی از محصولات اولیه و در برخی موارد نهایی روش های نوین تهیه نقشه، ابر نقاط متراکم با استفاده از روش ها، ابزارها و نرم افزارهای نوین نقشه برداری می‌باشد. این ابزارها به عنوان فن‌آوری نسبتاً جدید در زمینه نقشه‌برداری، روز به روز در حال توسعه و پیشرفت بوده و برای جمع‌آوری اطلاعات زمینی به کار می‌روند. این سیستم ها اطلاعات را به صورت آنی (Real-Time) و با مقیاس حقیقی جمع آوری می‌کنند. این خصوصیت در مورد مدل‌سازی اشیاء پیچیده بسیار حائز اهمیت است، از این جهت که می‌توان تمام جزئیات شیء مورد نظر را به نحو احسن برداشت نمود. در این راستا هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی مقایسه ای ابر نقاط حاصل از فتوگرامتری پهپاد و موبایل مپینگ با کاربرد عملیاتی Real time می باشد.

مبانی نظری

فتوگرامتری پهپاد

از چند سال گذشته و تاکنون، استفاده از وسایل نقلیه بدون سرنشین به میزان قابل توجهی افزایش یافته است. چنین فعالیتی به پیشرفت های فنی قطعات الکترونیکی و امکان ادغام آنها با هواپیماهای کنترل شده از راه دور وابسته است[۳]. سرعت بالا در برداشت داده ها، کیفیت و تراکم بالا داده ها و بکارگیری الگوریتم های پردازش خودکار از جمله ویژگی‌های بارز نقشه‌برداری هوائی با استفاده از پرنده‌های بدون سرنشین است. از طریق نقشه‌برداری زمینی صرفا می توان به نقشه توپوگرافی یک منطقه در زمان طولانی و با هزینه زیاد دست یافت، در حالی که در نقشه های استخراج شده از تصاویر هوایی می توان علاوه بر کاهش زمان و هزینه (به نسبت ابعاد) به خروجی هایی دست یافت که در روش زمینی وجود ندارد[۴].

فتوگرامتری پهپاد مبنا تلفیقی از فتوگرامتری هوایی و فتوگرامتری برد کوتاه است که در آن یک سنسور اخذ داده که می‌تواند دوربین متریک یا غیر متریک و یا هر وسیله اخذ داده دیگری باشد، بر روی یک وسیله پرواز بدون سرنشین نصب شده و از ارتفاع کم داده‌ها اخذ می‌گردند. UAV اصطلاحا به وسایل پرواز بدون سرنشینی گفته می‌شود که می‌تواند به صورت اتوماتیک یا با به کارگیری سیستم کنترل از راه دور در طول پرواز هدایت شود و می‌توان از آن‌ها برای مقاصد مختلفی از قبیل دیده بانی، عکسبرداری، نقشه برداری هوایی، مدلسازی ابنیه، فعالیت های نظامی و غیره استفاده نمود. در سال‌های اخیر به علت نیاز به تصویربرداری از نواحی غیر قابل دسترس که نیاز به پرواز در ارتفاعات پایین می‌باشد و همچنین صرفه جویی در زمان و هزینه و عدم نیاز به محدودیت‌های فیزیولوژیکی، به کارگیری فتوگرامتری پهپاد کم هزینه رواج زیادی پیدا کرده است. وجود اطلاعات سه بعدی دقیق از سطح زمین، یکی از اساسی‌ترین نیازهای کاربردهای مکانی است. به طور معمول روش‌هایی که برای تهیه نقشه‌های توپوگرافی استفاده می‌شوند، شامل: فتوگرامتری هوایی با استفاده از دوربین‌های متریک، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه برداری زمینی و یا استفاده از تکنولوژی لیدار می‌باشد. اما در بعضی از موارد بدلیل مشکلاتی از قبیل: هزینه، دسترسی به منطقه، غیر قابل دسترس بودن منطقه، مجوزهای مورد نیاز، زمان انجام پروژه و غیره استفاده از این تکنیک‌ها دور از انتظار می‌باشد. به منظور رفع مشکلات فوق الذکر، روشی که به تازگی برای تهیه نقشه‌های بزرگ مقیاس استفاده گردیده است، اخذ تصویر توسط وسائل پرواز بدون سرنشین یا همان فتوگرامتری هوایی برد کوتاه می‌باشد[۵]. امروزه اهمیت تصویربرداری به عنوان منبعی برای استخراج داده‌های مکانی، در حال افزایش است، به طوری که در چند سال آینده حدود ۵۰٪ داده های موجود در سازمان های مدیریت اطلاعات مکانی از این طریق به دست خواهند آمد[۶].

مراحل فتوگرامتری پهپاد

- تعیین پارامترهای پروژه
- برنامه‌ریزی پرواز
- پرواز فتوگرامتری خودکار
- بررسی کیفیت داده‌ها.
- مثلث‌بندی

- تولید DSM، ایجاد ارتوفوتو، مدل سازی سه بعدی[۳].

سیستم موبایل مپینگ

سامانه‌های فاصله یابی لیزر به طور معمول سامانه‌های لیدار[1] نامیده می‌شوند. لیدار مخفف سامانه‌های فاصله‌یابی و تشخیص نور[2] است که گاهی، به علت فاصله‌یابی و تشخیص لیزری یا رادار لیزری، لادار[3] هم نامیده می‌شوند[۷]. تکنولوژی LiDAR به دلیل سیستم‌های ماهواره‌ای ناوبری به تکنیک‌های دقیق نظارت برای به دست آوردن اطلاعات جغرافیایی تبدیل شده است و از اوایل دهه ۱۹۹۰ به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. به دنبال آن LiDAR هوایی، LiDAR زمینی (یعنی اسکنر لیزری که بر روی یک سه‌پایه نصب شده است) و تکنولوژی های LiDAR موبایل به سرعت در حال توسعه هستند. تکنولوژی LiDAR موبایل در حال افزایش است و برای کاربردهای مربوط به حمل و نقل با توجه به مزایای زیر استفاده می شود. از مزایای موبایل لیدار می‌توان به ایمنی بیشتر نسبت به سایر روش‌های سنتی، بررسی جاده در داخل وسیله نقلیه همراه با جریان ترافیک، نقشه‌برداری کمتر در ارائه ترافیک و کاهش خطرات زیست محیطی اشاره کرد. علاوه بر این، موبایل لیدار به طور موثر نقشه‌برداری راه را با مساحی کمتر در ترافیک‌های با شتاب انجام می‌دهد. علاوه بر این موبایل لیدار دامنه وسیعی از مجموعه داده‌های با دقت‌های مختلف، از رده سیستم اطلاعات جغرافیایی تا نقشه‌برداری جمع‌آوری می‌کند[۸]. سیستم موبایل مپینگ، بعنوان یکی از روش‌های شناسایی، دارای اجزای مشخصی شامل سیستم تصویربرداری، فاصله‌یاب، موقعیت‌یاب و پیمایش است و خروجی اصلی آن شامل اطلاعات جغرافیایی، نقشه‌های دیجیتالی و انواع فرمت‌های تصویری و ویدئویی می‌باشد. ویژگی اساسی سامانه‌های موبایل مپینگ بکارگیری سنجنده‌های تعیین موقعیت و وضعیت دقیق در کنار سنجنده‌های تصویربرداری و برداشت ابرنقاط کالیبره شده می‌باشد. این سامانه‌ها بایستی مستقل از نقاط کنترل زمینی قابلیت برداشت اطلاعات هندسی بصورت زمین‌مرجع‌سازی مستقیم را دارا باشند. با توجه به محدودیت دقیق تعیین موقعیت کینماتیک و محدودیت‌های کیفیت سنجنده‌ها، در گذشته از این سامانه‌ها صرفا برای مقاصد نمایشی بخصوص در برداشت معابر شهری استفاده می‌شده است. بحث استخراج اطلاعات هندسی با دقت

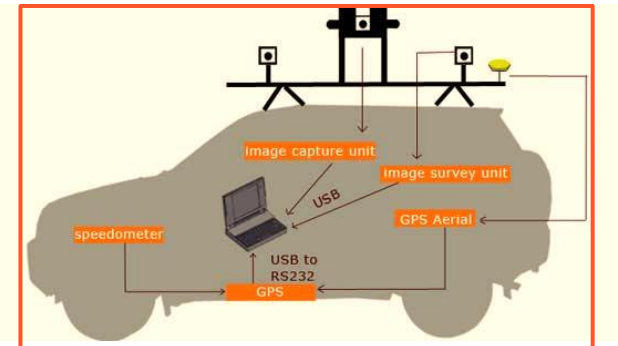
1 Lidar
2 Light Detection and Ranging S
3 Ladar

بالا و بدون نیاز به نقاط کنترل زمینی و عدم توقف در مسیر حرکت، امروزه با معرفی IMU های بسیار دقیق و پایدار و گیرنده‌های GNSS چندفرکانسه چند ماهواره‌ای در کنار دوربین‌های پانورامیک کروی و پروفیل لیزراسکنرهای با نرخ و دقت برداشت ابرنقاط بالا تبدیل به واقعیت عملی شده است[۴]. از نقطه نظر فنی موبایل مپینگ یک سیستم چند سنسوری است که به طور عمده شامل سه مولفه است: سنسورهای نقشه برداری(سیستم های تصویربرداری فعال یا غیرفعال سه‌بعدی)، سنسورهای ناوبری/موقعیت(IMU/GNSS) و یک واحد کنترل، که برای بدست آوردن اطلاعات هندسی/موقعیتی هماهنگ و ادغام شده است. همه سنسورها به صورت ترکیبی بر روی یک پلتفرم در حال حرکت محکم(مانند وانت، اتومبیل، قطار، قایق ها، سورتمه‌های متحرک برفی، مردم و غیره) که مسیر آن تخمین زده شده و در نهایت برای تولید داده‌های دوبعدی و سه‌بعدی ژئورفرنس شده استفاده می‌شود. اسکنرهای لیزری موبایل مبتنی بر زمین که بر روی وانت یا اتومبیل نصب می‌شوند نشان‌دهنده بهترین و مقرون به صرفه‌ترین راه حل برای اخذ ابرنقاط سه بعدی از مناطق شهری با سرعت ضبط بالا، تراکم/دقت نقاط بالا، اکتساب با فن از راه دور هستند. موبایل مپینگ در بسیاری از زمینه‌های کاربردی مانند مهندسی عمران و ساخت و ساز، محیط زیست، طراحی خط لوله، وضع موجود جاده و میراث فرهنگی بسیار با اهمیت هستند[۹]. موبایل مپینگ یک سیستم بسیار پیشرفته در زمینه برداشت اطلاعات جغرافیایی و مکانی می‌باشد این سیستم در اصل از اتصال تکنولوژی های مختلف نظیر عکاسی – سیستم موقعیت‌یابی جهانی - نرم‌افزار - سخت‌افزار رایانه‌ای – و لیزراسکن می‌باشد. این سیستم معمولا بر روی یک خودرو نصب شده و با حرکت در داخل معابر یک تصور ۳۶۰ درجه از اطراف خود با طول و عرض جغرافیایی ذخیره کرده و قابل import کردن در نرم‌افزارهای سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی می باشد و به کاربران کمک خواهد کرد که با این تصاویر متصل به مختصات جغرافیایی اطلاعات را استخراج کرده و اطلاعات جغرافیایی خود را تولید – تکمیل و بروزرسانی نمایند. یکی از مزیت های این سیستم مستند بودن اطلاعات بر اساس تاریخ تصاویر می‌باشد این اطلاعات می‌تواند شامل اطلاعات مشاغل – تابلوهای راهنمایی رانندگی – تیرهای چراغ برق – اطلاعات بیلبوردها و سایر اطلاعات و عوارض شهری یا جاده‌ای باشد. یکی دیگر از مزیت‌های این سیستم این است که با یک سری برداشت از محدوده کلیه اطلاعات شهر در زمان کوتاه‌تر برداشت می‌شود. Mobile Mapping از دریا، آسمان و یا

بر روی زمین ترکیبی از دوربین‌ها، اسکنرهای لیدار، و سیستم‌های INS و GPS را برای نقشه‌برداری سریع از موقعیت‌هایی که شرایط‌شان به سرعت در حال تغییر است، به کار می‌گیرد. که این موقعیت‌ها می‌توانند شامل سیستم‌های حمل و نقل، لجستیک، ساخت و تولید، و سیستم‌های مخابراتی باشند. یکی از مشکلاتی که این صنعت با آن روبه‌رو می‌باشد، ارتباط مستقیم آن با قوانین و حریم شخصی افراد است. استفاده از دوربین‌ها برای جمع‌آوری آنی داده‌ها می‌تواند موجب تعرض به حریم شخصی افراد شود، و همین مسئله باعث شده است که بسیاری از کشورها استفاده از Mobile Mapping را در مناطق مسکونی ممنوع اعلام کنند. همچنین با توجه به این‌که این دوربین‌ها تمامی عوارض مناطق مسکونی، تجاری، دولتی و تمامی تأسیسات دفاعی را پوشش می‌دهند، رعایت مسائل امنیتی نیز در این مقوله مطرح می‌گردد. Mobile Mapping هوایی نیز دارای محدودیت‌های بیشتری، شامل محدودیت‌های قوانین پرواز به‌ویژه برای پرواز بر فراز مناطق پرجمعیت می‌باشد. با وجود مسائل فنی و اجرایی، Mobile Mapping درحال تبدیل به یک فناوری ضروری و غیرقابل‌اجتناب برای کاربردهای مختلف (از تهیه مدل‌های سه‌بعدی برای مدیریت هوشمند شهری، تا تهیه نقشه‌های دقیق برای مسیریابی وسایل نقلیه خودکار) می‌باشد. داده‌های به‌دست‌آمده از Mobile Mapping همچنین در زمان وقوع حوادث برای نجات و بازگرداندن شرایط به حالت عادی بسیار مفید خواهند بود.

خودروهای اتوماتیک، سوار بر تکنولوژی Mobile Mapping

بررسی این نکته جالب‌توجه خواهد بود که خودروهای بدون‌راننده ارائه‌شده توسط Google و دیگران، از تکنولوژی مشابه جهت حرکت در شهرها استفاده می‌کنند. همچنین برای جلوگیری از برخورد با موانع ساکن و یا درحال حرکت (مانند افراد پیاده و یا وسایل نقلیه دیگر) از تکنولوژی رادار بهره می‌گیرند. هسته اصلی پردازشی این فناوری مبتنی بر کامپیوتر بوده و شامل مراحل جمع‌آوری داده، مدل‌سازی حرکتی، همگام‌سازی، کالیبراسیون، زمین‌مرجع کردن، تلفیق داده‌ها، کنترل کیفیت، بهینه‌سازی جریان داده، و خودکارسازی می‌باشد. هندسه داخلی سنسورها، با توجه به وسیله نقلیه، پیش از نقشه‌برداری از طریق یک فرآیند کالیبراسیون استاتیک تعیین می‌شود. در طول انجام مأموریت، پارامترهای جهت و موقعیت وسیله نقلیه به‌طور مداوم توسط GPS و INS ثبت می‌شود.



شکل۱: نمونه ای از سیستم های Mobile Mapping جدید

در مرحله پس‌پردازش تمامی داده‌های استاتیک و دینامیک برای ایجاد نقشه نهایی کنار هم قرار می‌گیرند. این سیستم، به مدل‌سازی فتوگرامتری امکان می‌دهد تا مدل‌هایی سه‌بعدی از شهرهای مختلف تهیه کند. مدل‌هایی بسیار دقیق که قابلیت انجام آنالیزهای متریک بر روی آن‌ها وجود دارد. روابط ریاضی لازم برای زمین‌مرجع کردن، کالیبراسیون، همگام‌سازی و تلفیق و ادغام داده‌ها، نیازمند وجود الگوریتم‌های پیشرفته و پردازنده‌های سریع می‌باشد[۱۰].

بحث، تجزیه و تحلیل

مقایسه Point Cloud حاصل از فتوگرامتری پهپاد و موبایل مپینگ

بعد از عملیات پرواز پرنده در پروسه فتوگرامتری، تصاویر برداشت شده برای پردازش در نرم افزارهای تخصصی مورد آنالیز قرار می‌گیرد. اولین مرحله جهت پردازش تصاویر بحث فیلترینگ تصاویر است و بعد از آن باید توجیه نسبی بر روی تصاویر صورت گیرد و ابرنقطه‌ای اولیه با شرایط و وضعیت ایستگاه عکس‌برداری می‌دهد. اولین و مهم‌ترین محصول تولید شده از یک سیستم پهپاد فتوگرامتری، ابر نقاط متراکم منطقه پروازی است که از تصاویر اخذ شده از آن منطقه بدست می آید. منظور از ابر نقاط تعداد بسیار زیاد و متراکمی از نقاط است که علاوه بر سه مولفه موقعیتی X, y, z، می‌تواند رنگ را هم با خود به همراه داشته باشد و از آن جهت توصیف منطقه استفاده نمود. مدل سه‌بعدی رنگی از محصولات با ارزش روش فتوگرامتری پهپاد است که از تشکیل سطح روی ابر نقاط رنگی ایجاد می‌شود. ابر نقاط حاصل از مثلث‌بندی هوایی به ابر نقاط غیرمتراکم یا Sparse معروف است. ابر نقاط متراکم یا Dense بعد از مثلث‌بندی تولید می‌شود. کیفیت ابرنقاط متراکم

بستگی به تراکم ابرنقاط و دقت بازسازی ابرنقاط دارد. ابر نقاط بدست آمده در حکم همان نقاطی است که عامل نقشه‌بردار بر زمین آن‌ها را برداشت می کند. اما تفاوت در میزان تراکم و دقت برداشت آن نقاط است. بدیهی است که هیچ‌گاه تراکم نقاط بدست آمده از نقشه بردرای زمینی به میزان تراکم ابرنقاط بدست آمده از سیستم پهپاد فتوگرامتری نمی‌باشد. تراکم بالای نقاط باعث می‌شود که بتوان نقشه هایی بسیار دقیق با ارئه جزییات بیشتر تهیه نمود.

به واسطه الگوریتم‌های پیشرفته و اتوماتیک پردازش تصویر خروجی‌های این روش در مقایسه با روش های متداول نقشه برداری بی‌نظیر است. مدل سه‌بعدی رنگی، ابر متراکم نقاط و تصویر ارتوی حقیقی و نقشه پوششی بدست آمده از آن از لحاظ دقت، صحت و پوشش تمامی عوارض مورد نیاز با خروجی‌های روش‌های سنتی قابل مقایسه نمی‌باشد. همچنین می‌توان از ابر نقاط متراکم بدست آمده به نتایج DTM،DEM و DSM نیز دست یافت.

همچنین یکی از سریع‌ترین روش‌های جمع‌آوری اطلاعات از مناطق بحرانی در مواقع سیل، زلزله، آتش‌سوزی جهت مدیریت بحران، محاسبه حجم خسارات و اولویت‌بندی و برنامه‌ریزی امدادرسانی، جستجو و نجات بازماندگان و... استفاده از پهپاد می‌باشد.

ابر نقطه به عنوان محصول نهایی لیزر اسکن تلقی می‌شود. ما قادریم تمامی اشیا بزرگ مقیاس را مانند ساختمان‌ها، مکان‌های تاریخی، مکان‌های صنعتی و معادن را اسکن کنیم. محصول نهایی ما ابری از نقاط است که از اسکن به دست می‌آید. ابر نقاط خود شامل میلیون‌ها نقطه می‌باشد که مدل های سه بعدی دقیقی را از شی اسکن شده به ما می‌دهد. داده‌های ابر نقاط جمع‌آوری شده، باید برای حذف خطاها و به دست آوردن موقعیت سه‌بعدی دقیق نقاط پردازش شوند. ابرنقاط شامل تمامی عوارض قرار گرفته بر روی سطح منطقه اسکن شده نظیر زمین، درختان، پوشش گیاهی، ساختمان‌ها و عوارض توپوگرافیک دیگر هستند. عوارضی چون درخت‌ها، پیاده‌روها و وسایل حمل ونقل بین لیزر اسکن و اشیا اندازه‌گیری شده باعث ایجاد نویز می‌شوند. این مرحله شامل فیلترینگ داده‌ها، حذف کردن تاثیر نویز اندازه‌گیری شده و نویز ناشی از اشیا، درخت‌ها و غیره و به دست آوردن داده‌های دقیق ساختمان‌ها می‌باشد. تکنولوژی LiDAR موبایل در حال افزایش است و برای کاربردهای مربوط به حمل و نقل با توجه به مزایای زیر استفاده می‌شود. با سیستم موبایل لیدار مهندسان نقشه برداری می توانند در یک بزرگراه، جاده و راه آهن روستایی و یا در امتداد خطوط

ساحلی روخانه یا دریاچه رانندگی کنند. در طول راه، سیستم درختان، پل‌ها، چراغ‌های خیابانی، ساختمان‌ها، خطوط برق و دیگر اشیا کوچک چشم انداز خیابان را در شکل ابرنقاط سه بعدی ثبت می‌کنند. علاوه بر این، ابرنقاط سه بعدی به دست آمده اطلاعات سه‌بعدی جغرافیایی جاده را ارائه می‌دهند. داده های جمع‌آوری شده یک نمای سه‌بعدی کاملا جذاب از اشیا و محیط اطراف است[۸]. از طرفی پارامترهای مختلفی مانند سرعت حرکت دستگاه در حین برداشت عاملی تاثیرگذار و کلیدی است. به عبارت دیگر چنانچه سرعت حرکت در زمان برداشت کم یا زیاد شود در تراکم نقاط برداشتی بسیار موثر است. پس از برداشت لازم است به بررسی تراکم نقاط برداشتی و دقت مختصاتی برداشته شده اقدام شود و با استفاده از فیلترهای کاهنده نسبت به حذف نقاط تکراری یا بیشتر متراکم اقدام نمود. پردازش‌های سیستم موبایل مپینگ بدین صورت است که ابتدا کالیبراسیون داده‌ها صورت می‌گیرد سپس داده‌های اضافی حذف می‌شود و برداشت داده‌ها زمانی که وسیله نقلیه متوقف شده است انجام می‌شود. با استفاده از سیستم موبایل مپینگ ویژگی‌های خطی مانند مسیرهای خطی، لبه پیاده رو، گارد محافظ و ویژگی های نقطه‌ای مانند نماد، تیر چراغ برق، چاه‌ها و غیره جمع‌آوری می‌گردد.

توانایی سنسورهای لایدار موبایل مپینگ

- امروزه سنسورهای لیدار موبایل مپینگ توانایی اخذ ۴۰۰۰۰۰ نقطه در هر ثانیه از حرکت را دارا می باشند
- خروجی هر پالس لیزر موقعیت سه‌بعدی دقیق را ثبت می‌کند
- رانندگی در راه تراکم نقطه‌ای بسیار بالا تقریبا ۵۰۰۰ نقطه در هر متر مربع را میسر می سازد
- بر حسب افزایش فاصله از سنسور و سرعت تا حدودی تراکم نقاط کاهش خواهد یافت
- در تراکم نقاط خیلی بالا امکان تشخیص و تعیین موقعیت ویژگی‌ها و خصوصیات بسیار کوچک در طول مسیر وجود دارد
- لیزر پوشش واقعی ۳۶۰ درجه را تامین می‌کند و موقعیت دقیق هر دو خصوصیات زمینی و هوایی را فراهم می‌کند.

LiDAR، یک تکنولوژی نسبتاً جدید و رو به رشدی است که امکان ایجاد(DSM مدل رقومی سطح زمین) را با سرعت بالاتر و با دقت قابل مقایسه با روش‌های سنتی نقشه‌برداری و فتوگرامتری فراهم می‌سازد. با توجه به پیشرفت های اخیر در توانائی های سیستم های LiDAR و گسترش روزافزون روند بکارگیری اطلاعات قابل جمع‌آوری در این سیستم‌ها در کشورهای مختلف، به نظر می‌رسد علوم مهندسی ژئوماتیک بطور اعم و فتوگرامتری بطور اخص در سالهای آینده شاهد تحولات بنیادی در خصوص بکارگیری این تکنولوژی خواهد بود. یکی از کاربردهای LiDAR این است که از داده های LiDAR می‌توان برای تولید مدل رقومی سه بعدی شهرها با دقت بالا استفاده نمود. ارتفاع و موقعیت نقاط روی ساختمان‌ها و زمین با دقت اندازه‌گیری می‌شوند. مدل سه‌بعدی شهرها می‌توانند به عنوان مبنای خوبی جهت طراحی و تصمیم گیری‌های شهری مورد استفاده قرار گیرد.

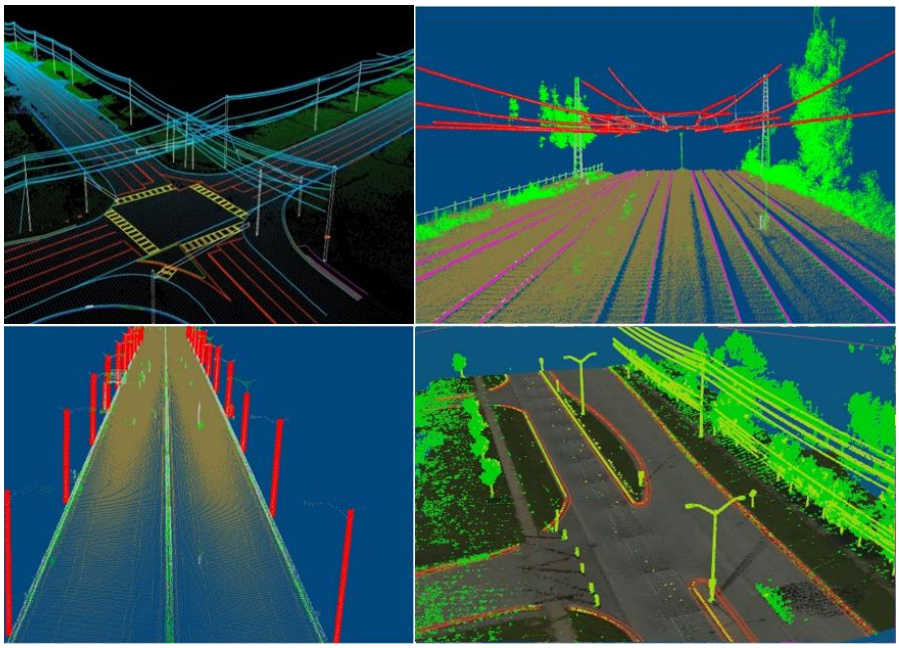
روش تولید ابرنقاط، دیتای تولیدی، پروسه ی پردازش داده، کاربردها و محصولات نهایی بین سیستم موبایل مپینگ و سامانه فتوگرامتری پهپاد متفاوت است. ابرنقطه خروجی از سامانه پهپاد اولین محصول فرآیند فتوگرامتری از عکس‌های پردازش شده می‌باشد. ابرنقطه خروجی از این سامانه از داده‌های غیر نقطه‌ای بدست می‌آید. اما محصول نهایی سیستم موبایل مپینگ ابرنقطه متراکم می باشد. خروجی اولیه و نهایی سیستم موبایل مپینگ به صورت میلیون‌ها نقطه می‌باشد. در پروسه فتوگرامتری با تغییر نوع توابع به کار رفته تراکم ابرنقطه حاصل شده کم یا زیاد می‌شود. اما در سیستم موبایل مپینگ ابرنقطه تولیدی بسیار متراکم می باشد که با توجه به نیاز پژوهش می‌توان از تراکم ابرنقطه کم نمود. تمرکز سامانه پهپاد فتوگرامتری بیشتر روی عوارض سطحی است و تولید بعد سوم با کیفیت بالا نمی‌باشد. اما در سیستم موبایل مپینگ چون عوارض و داده‌های محیط پیرامون را افقی برداشت می کند ابعاد ارتفاعی را به نسبت X و Y دقیق تر تحلیل می کند. به عنوان مثال نمای ساختمان‌ها، پنجره‌ها، تعداد طبقات، علایم و عوارض سطح جاده را سیستم موبایل مپینگ و در عوض علائم حجمی مثل بلوک‌های ساختمانی، سقف خانه‌ها، عوارضی که در سقف خانه‌ها هست مثل نورگیر و غیره با سامانه پهپاد بهتر قابل تحلیل است.

جدول۱: مقایسه روش‌های نوین UAV و MMS

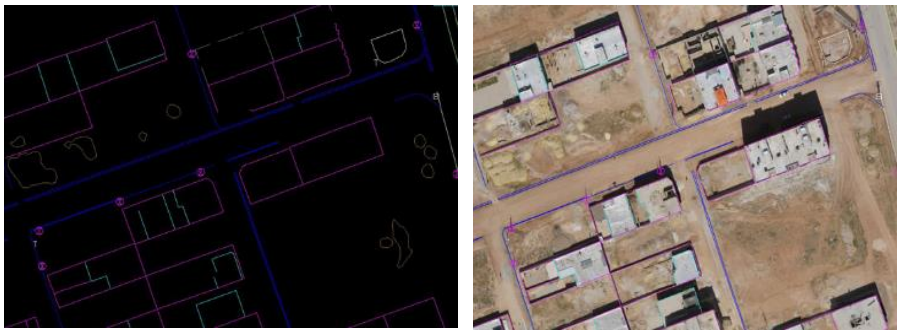
روش	شیوه گردآوری و تولید ابرنقاط	ابعاد تحت پوشش	نمونه عوارض استخراجی	نمونه‌های کاربردی

UAV	محصول فرآیند فتوگرامتری از عکس‌های پردازش شده	تمرکز بر بعد دوم و تحلیل‌های دو بعدی	بلوک‌های شهری، عرصه و اعیان، موقعیت تیرهای چراغ برق، نور گیر، پوشش گیاهی سطحی	مدیریت ترافیک مدیریت بحران مدلسازی سه‌بعدی شهر صنعت کشاورزی صنعت برق باستان شناسی شبیه‌سازی و بررسی صحنه جرم اطلاعات آب و هوایی محیط زیست مطالعات خاک بهره برداری معادن عملیات آتش نشانی شهر و تهیه نقشه‌های شهری تهیه مدل رقومی زمین تولید مدل ارتفاعی رقومی سطحی
MMS	اشعه ی لیزری به سمت منطقه ارسال شده و سپس به کمک GPS و IMU تعبیه شده بر روی سکو، موقعیت هر نقطه ارسالی توسط سنجنده ثبت می شود. فاصله رفت و برگشت پالس لیزر از سنجنده تا زمین هم اندازه گیری می شود و با انتقال مختصات، نقاط زمینی هم دارای مختصات مشخص می گردند. با این توصیف، ابر سه بعدی از سطح زمین تهیه می شود که هرکدام از نقاط آن حداقل دارای مختصات سه بعدی در سیستم مختصات جهانی می باشد و در نتیجه محصول، یک شبکه متراکم از نقاط ارتفاعی ژئورفرنس با دقت بالاست.	تمرکز بر بعد سوم و تحلیل‌های سه‌بعدی	موقعیت تیر چراغ برق، خطوط انتقال و توزیع نیرو، تعداد طبقات ساختمان‌ها، تعداد پنجره‌ها، موقعیت در، ارتفاع ساختمان‌ها، موقعیت پوشش گیاهی شهری و اندازه گیری حجم، کاداستر جاده، برداشت اطلاعات جامع مبلمان شهری، شناسایی تابلوهای محدودیت سرعت، تعداد و مساحت تابلوهای اصناف	صنعت برق مدلسازی سه‌بعدی شهر مسکن و شهرسازی محیط زیست اندازه‌گیری ساختمان‌ها مدیریت سیستم فاضلاب محافظت از بناهای تاریخی تهیه مدل رقومی زمین تولید مدل ارتفاعی رقومی سطحی تهیه نقشه‌های ازبیلت بازسازی حوادث ناوبری شهری نقشه برداری ساحل راه آهن اکتشافات نفتی

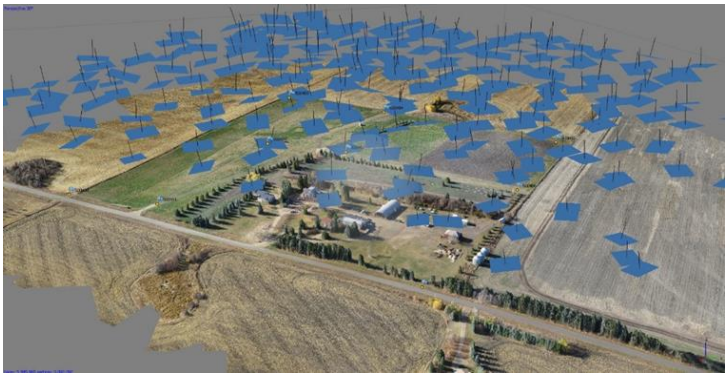
در شکل(۲ و ۳) نمونه‌هایی از کاربردها، محصولات و خروجی‌های سیستم پهپاد و موبایل مپینگ ملاحظه می‌گردد. همچنین در شکل(۴ و ۵) Point Cloud حاصل از سامانه فتوگرامتری پهپاد و سیستم موبایل مپینگ نشان داده شده است.



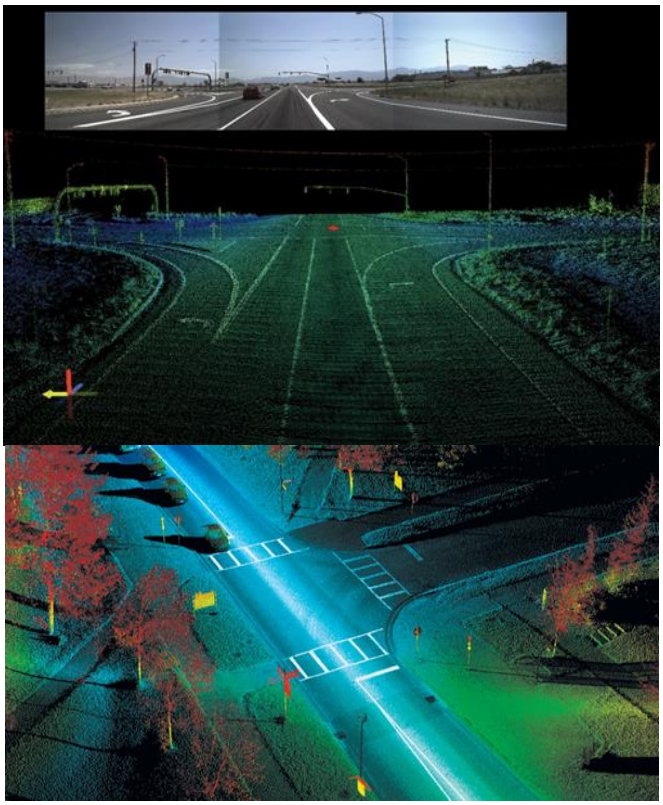
شکل۲: نمونه کاربردها، محصولات و خروجی‌های سیستم موبایل مپینگ



شکل۳: نمونه محصولات و خروجی‌های سامانه پهپاد فتوگرامتری



شکل۴: Point Cloud حاصل از سامانه فتوگرامتری پهپاد



شکل۵: Point Cloud حاصل از سیستم موبایل مپینگ

دسترسی به داده‌های مکانی real time جهت پایش و بررسی تغییرات محیطی و همچنین در مواقع اضطراری و مدیریت بحران ضرورت می‌یابد. در زیر به برخی از کاربردهای‌ترکیبی سیستم‌های نوین(پهپاد فتوگرامتری و موبایل مپینگ) تولید داده در بررسی‌های آنی و بلادرنگ پدیده‌ها و عوارض محیطی اشاره شده است:

مدیریت جنگل

جمع‌آوری اطلاعات به روز و دقیق و به صورت آنی برای مدیریت جنگل‌ها، طراحان و تصمیم گیرندگان در این زمینه روز به روز حیاتی‌تر می‌شود. در گذشته این اطلاعات از طریق نقشه‌برداری زمینی و یا برونیابی داده‌های موجود و یا مشاهدات انجام گرفته از منطقه انجام می‌شد. این روش‌ها از نظر اقتصادی و زمانی مقرون به صرفه نیستند و از طرفی دیگر با توجه به ابعاد جنگل، میزان خطا در آنها می‌تواند زیاد باشد. با پیشرفت تکنولوژی، استفاده از عکس‌های هوائی و ماهواره ای برای این منظور گسترش یافت. ولی این تکنولوژی‌ها جوابگوی نیازهای این بخش نیست. خصوصاً در مواردی که پوشش گیاهی متراکم باشد، استفاده از این تکنولوژی‌ها با مشکلات بیشتری مواجه خواهیم شد. اطلاعات بدست آمده توسط سیستم پهپاد و موبایل مپینگ در زمینه مدیریت جنگل‌ها، می‌تواند زمینه‌های زیر به کار گرفته شود:

- مدیریت و مراقبت از جنگل‌ها
- مبنای تصمیم‌گیری‌های مربوط به آبیاری
- ارزیابی روند فرسایش
- تعیین میزان رشد درخت‌ها و تعیین زمان تهیه الوار
- دسته‌بندی درختان میوه مخروطی و درختان همیشه سبز

محافظت از سواحل

محافظت از جان انسان‌ها، اموال و تجهیزات آنها و محیط زیست در برابر سیل و پیشروی‌های ناگهانی دریاها از مهمترین امور در محافظت از سواحل است. در اثر عدم حفاظت از سواحل در مقابل حوادثی چون فشار طبیعی نیروی امواج دریاها، باد و باران بسیاری از سواحل در معرض فرسایش قرار دارند. ساخت سد و آب بندها وسیله ای جهت محافظت انسان‌ها و تجهیزات در مقابل فرسایش سواحل و از دست دادن زمین و زیرساخت‌ها و مزارع کشاورزی است. از آنجائیکه نواحی

ساحلی از نظر زیست محیطی بسیار حساس و از نظر اقتصادی بسیار مهم هستند و این نواحی هر روز در معرض خطر پیشروی دریاها هستند، اندازه گیری‌ها، پایش به صورت آنی و در زمان واقعی و همچنین معیارهای مهمی‌برای محافظت از آنها لازم می‌باشد.

برخی از کاربردهای عملیاتی real time سیستم پهپاد و موبایل مپینگ در این بخش عبارتند از:

- ثبت و نمایش سواحل
- کنترل آب پشت سدها و آب‌بندها
- طراحی و مدیریت آب‌بندها و سیستم محافظت از سواحل
- شبیه سازی سطح آب در روند جذر و مد
- مشخص کردن نواحی در معرض خطر در جریان پیشروی آب دریاها
- محاسبه حجم فرسایش و مواد انباشته شده در اثر آن
- مشخص کردن مرزهای ساحلی
- تشخیص میزان تغییرات با استفاده از اطلاعات برداشت شده در زمان‌های مختلف

باستان شناسی

جمع آوری داده‌های مربوط به اماکن باستانی و به روز بودن آن‌ها، مبنای بسیاری از تحقیقات و کارهای اجرائی در زمینه باستان شناسی است. تهیه اطلاعات جزئی و دقیق از مراحل مختلف حفاری و ثبت جزئیات آثار به دست آمده، یکی از کارهای اساسی و مهم در این زمینه است. ولی انجام این کارها بوسیله روش‌های معمول بسیار زمان‌بر است. در مقایسه با سایر روش‌ها، LiDAR توانائی ثبت انواع داده‌های باستانی را با سرعت بسیار بالاتر و با دقت بسیار بالا دارد. حتی کوچکترین ارتفاعات و عوارضی که بر روی زمین قابل شناسائی نیست هم با دقت برداشت می‌شود و می‌تواند در مدل سه‌بعدی و مدل ارتفاعی به نحو خوبی نمایش داده شود.

به منظور مستندسازی و ایجاد مدل سه‌بعدی و تهیه اطلاعات بناهای تاریخی، اولین گام داشتن نقشه‌های دقیق از وضعیت موجود بناها می‌باشد. فتوگرامتری از ویژگی‌های منحصر به فردی نسبت به سایر روش‌ها در مستند سازی‌های محوطه‌های باستانی برخوردار است. عدم نیاز به تماس با عارضه، امکان اخذ اطلاعات بافت، رنگ و انطباق این ویژگی‌ها بر روی داده‌های خروجی سه‌بعدی، انعطاف

پذیری بالای این روش در بحث دستیابی به دقت‌های مورد نیاز در اندازه گیری‌ها و پتانسیل آن در دستیابی به دقت‌هایی در حد میکرومتر، قابلیت اخذ کم هزینه مشاهدات و آرشیو تصاویر تا زمان نیاز به استخراج اطلاعات کمی‌از آن‌ها، همگی از پارامترهایی هستند که باعث شده اند بکارگیری شیوه‌های فتوگرامتری در مدلسازی محوطه‌های باستانی بیشتر مورد استفاده قرار گیرند. ولی شیوه‌های معمول فتوگرامتری گاهی در برخی از موارد مانند عدم دسترسی به عوارض، با محدودیت‌هایی مواجه هستند. در نتیجه نیاز به اطلاعات دقیق از عوارض بخصوص در مناطق پرخطر و دور از دسترس، امکان دسترسی به ایستگاه‌های تصویربرداری مناسب و همچنین لزوم صرفه جویی در زمان و هزینه منجر به استفاده از فتوگرامتری پهپاد مبنا گردیده است[۱۱].

کارشناسان مرمت و بازسازی بناها و آثار تاریخی شهرها از طریق مدل‌های سه‌بعدی بنا که قبل و بعد از تخریب توسط داده‌های لیزراسکن تهیه شده اند، می‌توانند برآورد میزان خرابی‌ها در اثر حوادثی همچون زلزله، سیل و غیره بپردازند. در یک طرح مرمت بنای شهری، لیزاسکن می‌تواند به عنوان یکی از روش‌های کارآمد در تهیه مقاطع، نماها، مدل‌های پرسپکتیو بناها به منظور ارئه مدلی کامل از عوارض مورد نظر نقش مهمی‌ایفا نماید[۱۲].

برخی کاربردهای تکنولوژی پهپاد و موبایل مپینگ در زمینه حفظ و نگهداری آثار باستانی به صورت real time عبارتند از:

- ثبت بناها و تجهیزات باستانی و استحکامات بجا مانده از دوران کهن
- بازسازی منظر در شرایط معکوس
- ترکیب با داده‌های زمین مرجع باستان شناسی و استفاده در GIS
- ایجاد مبنا برای کارهای کارتوگرافی و طراحی

ثبت عوارض خطی

یکی از کاربردهای سیستم موبایل مپینگ برداشت عوارض خطی مانند خطوط انتقال نیرو، راه و ... است. در این حالت، کابل‌های انتقال برق، موقیت برج‌ها، سطح زمین، گیاهان و سایر عوارض همجوار با عارضه خطی ثبت می‌شوند.

برخی از کاربردها در این زمینه به صورت آنی و نیمه آنی عبارتند از:

- تهیه نقشه و نمایش عوارض خطی مانند کابل‌های انتقال نیرو و سایر عوارض هم جوار آن

- طراحی، تنظیم و نگهداری شبکه‌های هوائی
- برداری کردن خطوط
- طراحی شبکه‌های آبرسانی
- راه آهن و جاده
- مشخص کردن نقاط کناری برج‌ها
- تعیین انحنای کابل‌های انتقال نیرو
- تعیین فاصله بین گیاهان و خطوط انتقال نیرو

شبیه سازی طغیان رودخانه‌ها و سیل

بالا آمدن آب رودخانه‌ها، یک پدیده طبیعی است که در اثر تداوم بارش باران یا آب شدن برف و یخ، ممکن است به طغیان رودخانه‌ها منجر شود. از آنجائی که دشت‌های سیلابی معمولاً به دلیل حاصلخیزی زمین و سایر ملاحظات اقتصادی، مملو از جمعیت هستند، طغیان رودخانه‌ها می‌تواند سبب ایجاد خسارات مالی و جانی گردد. کنترل این جریآن‌های قوی آب معمولاً بوسیله روش‌هایی مثل احداث سد، هدایت آب به سمت دریاچه‌ها و آبگیرها و ... صورت می‌گیرد. در این بین روشهای زیست‌محیطی بیشتر بر روشهای طبیعی نگهداری و کنترل آب، تأکید دارند. پیش بینی و شبیه‌سازی بالا آمدن سطح آب، امکان تشخیص مناطق در معرض خطر در هر سطح را فراهم می‌کند. مدل تهیه شده توسط سامانه‌های نوین اخذ داده، می‌تواند مبنا و اساس خوبی برای تشخیص مناطق در معرض خطر و اقدامات پیشگیرانه باشد.

برخی از کاربردهای سامانه‌های نوین تهیه داده با کاربرد real time در این زمینه عبارتند از:

- محاسبات شبیه‌سازی تک بعدی و دو بعدی هیدرولیکی
- مشخص کردن نواحی در معرض خطر طغیان
- تولید نقشه‌های طغیان و مدیریت آن
- تولید نقشه‌های مبنا برای کنترل حوادث غیرمترقبه مانند سیل
- ثبت کانال‌های زه کشی
- اندازه گیری سطوح آب

بلایای طبیعی و مدیریت بحران

در هنگام وقوع بلایای طبیعی پاسخ‌گویی سریع به منطقه بسیار مهمتر از نوع حادثه واقع شده می‌باشد. با توجه به اینکه در این مواقع اغلب زیرساخت‌های ارتباطی آسیب دیده‌اند، برقراری ارتباط با منطقه با دشواری همراه است. پهپادها در اولین لحظات پس از وقوع بحران می‌توانند به منطقه اعزام شوند و از طریق ارسال تصاویر به لحظه ارزیابی اولیه از سطح آسیب دیدگی فیزیکی منطقه، تعداد افراد درگیر، مجروح و فوتی، خطرات بالقوه موجود در محل، آسیب دیدگی زیرساخت‌ها و شریان‌های حیاتی و غیره در حادثه به مرکز فرماندهی مدیریت بحران ارسال نمایند. این امربه مدیریت بحران کمک می‌نماید با توجه به شدت و وسعت حادثه نیروهای کافی و تجهیزات مورد نیاز را برای امداد و نجات به محل روانه کنند[۱۳]. یکی از سریع‌ترین روش‌های جمع آوری اطلاعات از مناطق بحرانی به صورت real time در مواقع سیل، زلزله، آتش‌سوزی جهت مدیریت بحران، محاسبه حجم خسارات و اولویت بندی و برنامه‌ریزی امدادرسانی، جستجو و نجات بازماندگان و... استفاده از پهپاد می‌باشد.

نتیجه گیری

نقشه تصویری عمودی از سطح زمین است که عوارض دنیای واقعی را با نسبتی از واقعیت نشان می‌دهد. قدیمی‌ترین انواع نقشه مواردیست که ابعاد هندسی طول و عرض را نشان می‌داده‌اند. با تعریف و توسعه مفاهیم و ابزارهای نوین تولید نقشه، امکان انتقال ابعاد بیشتری از عوارض دنیای واقعی به نقشه میسرگردید. بعد سوم یا ارتفاع از این موارد است که در قالب مفاهیمی‌چون توپوگرافی، DEM و DSM امکان ظهور و بروز یافتند. به عبارت دیگر پس از طول و عرض، ارتفاع بعد جدید در نقشه بوده است که بسته به نمایش ارتفاع تمامی‌عوارض و یا تنها مرتفع‌ترین عارضه، نقشه‌های سه و دو و نیم بعدی را پدید آورد. نقشه اصولا ماهیتی خلاصه شده دارد و از طرفی مجموعه‌ای از اشکال هندسی است که به نمایندگی از عوارض دنیای واقعی به نقشه منتقل شده است. از آنجا که امروزه به جهت عمومیت یافتن استفاده از نقشه، در کارتوگرافی نوین روش‌هایی برای نمایش جزییات بیشتر از عوارض بکار گرفته می‌شود تا هر چه بیشتر بتوان آن‌ها را به شرایطی که در دنیای واقعی دارند، نزدیک نمود. سطح جزئیات موجود در نقشه‌های چند بعدی تابعی از کمیت و نوع نمایش جزئیات مربوطه می‌باشد[۱۴]. هدف اصلی این پژوهش بررسی مقایسه ای Point Cloud حاصل از فتوگرامتری UAV و MMS با کاربرد عملیاتی Real time بوده

است. بدین منظور هر یک از روش‌های نوین فتوگرامتری پهپاد و لایدار موبایل مپینگ مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته‌اند. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که‌ترکیب خروجی‌های حاصل از دو روش مذکور در تهیه بانک اطلاعاتی و همچنین بررسی و تحلیل ابعاد مختلف عوارض شهری و همچنین امری مهم در پایش و دیده بانی پدیده‌های شهری است. به عنوان نمونه یکی از مهم‌ترین محصولات هر دو روش نوین مذکور «ابرنقاط متراکم» در این پژوهش مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. ابر نقاط متراکم اولین و مهم‌ترین محصول فتوگرامتری پهپاد و خروجی نهایی سیستم لایدار موبایل مپینگ می‌باشد. از نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان به این مهم اشاره نمود که با توجه به تفاوت روش تولید ابرنقاط، دیتای تولیدی، پروسه ی پردازش داده، کاربردها و محصولات نهایی بین سیستم موبایل مپینگ و سامانه فتوگرامتری پهپاد،ترکیب و تلفیق محصول مذکور در هر دو سیستم می‌تواند در ابعاد متفاوت، عوارض سطح شهر را شناسایی و تحلیل نماید. زیرا همان طور که قبلا نیز اشاره شد خروجی و محصولات نهایی سامانه پهپاد فتوگرامتری بیشتر روی عوارض سطحی و بعد دوم و سیستم موبایل مپینگ بر عوارض ارتفاعی و بعد سوم تمرکز دارد. به عنوان نمونه از کاربردهای سامانه پهپاد با رویکرد آنی و نیمه آنی می‌توان به مدلسازی و مستندسازی و ایجاد مدل سه‌بعدی در تهیه اطلاعات بناهای تاریخی، ردیابی مسیر، جمع آوری اطلاعات آب و هوایی، شناسایی و پایش محصولات کشاورزی، دیده بانی محیط زیست، مدیریت‌ترافیک، بازرسی دکل‌های مخابراتی و خطوط لوله و نفت و گاز، مدیریت بحران، تهیه نقشه‌های توپوگرافی و شهری(بلوک‌های شهری، عرصه و اعیان، شناسایی موقعیت دقیق پایه‌های برق) و از کاربردهای سیستم لایدار موبایل مپینگ می‌توان به برداشت اطلاعات مبلمان شهری، مشخصات روکش معابر، نقشه‌برداری سیلاب شهری، مدسازی سه‌بعدی شهر، شناسایی خطوط توزیع و انتقال نیرو، کنترل لوله و اکتشافات نفتی، تولید DTM و DSM، شناسایی تابلوهای محدودیت سرعت و وضع فیزیکی علائم، برداشت داده‌های سه‌بعدی از پل برای نظارت و کنترل، تعداد و مساحت تابلوهای اصناف، طبقات املاک و غیره اشاره کرد.

منابع

[1] FÖRSTNER, WOLFGANG(2005) Real-Time Photogrammetry, Wichmann Verlag, Heidelberg, pp:229-238

[2] Zheng, S. Y.; Gui, L.; Wang, X. N.; Ma, D(2014) A REAL-TIME PHOTOGRAMMETRY SYSTEM BASED ON EMBEDDED ARCHITECTURE, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, ISPRS Technical Commission V Symposium, Riva del Garda, Italy, pp:633-638

[3] Ruzgiene,Birute., Berteska,Tautvydas., Gecyte, Silvija., Jakubauskiene, Edita., Aksamitauskas,Vladislovas Ceslovas(2014) Photogrammetric Processing of UAV Imagery: Checking DTM, The 9th International Conference "ENVIRONMENTAL ENGINEERING", Vilnius, Lithuania

[۴] رحیم پور، نگار(۱۳۹۶) کارایی روش‌های نوین تولید نقشه مبنا در مطالعات محیط شهری، استاد راهنما: ناهید سجادیان، استاد مشاور: علی شجاعیان پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه شهید چمران اهواز

[۵] سجادیان، ناهید؛ علی شجاعیان و نگار رحیم پور(۱۳۹۶) کاربردترکیبی روش فتوگرامتری پهپاد و موبایل مپینگ به منظور تهیه نقشه‌های چند بعدی با انواعLOD، کنگره ملی مدیریت و برنامه ریزی شهری نوین، تهران، دبیرخانه دایمی‌کنفرانس

[۶] فرنود احمدی، فرشید؛ عبادی، حمید؛ منصوریان، علی(۱۳۹۰) تلفیق آنی سیستم‌های فتوگرامتری و پایگاه داده مکانی برای تولید داده ساختار یافته طبق استاندارد OGC و روابط توپولوژیکی عوارض، امیر کبیر، مهندسی عمران، سال چهل و سه، شماره۱، صص۶۱-۶۸

[۷] ونگ، کیهائو(۱۳۹۵) پیشرفت‌هایی در سنجش از دور زیست محیطی سنجنده‌ها، الگوریتم‌ها و کاربردها،ترجمه: کاظم علوی پناه، سارا عطارچی، لیدا صادقی،هانیه میرشاه وندی، حمیده امینی، مریم امامی‌جعفری، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول

[۸] Guan, Haiyan., Li, Jonathan., Cao, Shuang., Yu, Yongtao(2016) Use of mobile LiDAR in road information inventory: a review, INTERNATIONAL JOURNAL OF IMAGE AND DATA FUSION, VOL. 7, NO. 3, pp: 219-242

[9] Toschi, I., Rodríguez-Gonzálvez, P., Remondino , F., Minto, S., Orlandini, S., Fuller, A(2015) Accuracy evalution of a mobile mapping system with advance statistical method, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL5/W4, 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, pp: 245-253

[۱۰] واعظی، حسن(۱۳۹۵) https://gisman.ir/moving-forever-by-mobile-mapping/

[۱۱] همتی؛ زهرا؛ عبادی، حمید؛ حسینی، علی؛ اسماعیلی، فرید(۱۳۹۶) ارائه الگوریتمی جدید برای طراحی شبکه تصویر برداری با پهپاد و مسیریابی آن با اهداف مدلسازی محوطه‌های باستانی، نشریه علمی- پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری، دوره هفتم، شماره ۲، صص۱۶۷-۱۸۰

[۱۲] شجاعیان، علی(۱۳۹۲) سنجش از دور و کاربرد آن در برنامه ریزی شهری، چاپ اول، انتشارت نگاره نو

[۱۳] شیخ کاظم برزگری، محمدرضا؛ احمد احمدمعظم و مهدی کوهستانی(۱۳۹۳) به کارگیری پرنده‌های هدایت پذیرازدورپهپاد درکنترل و فرماندهی عملیات آتش نشانی وحوادث موادخطرناکHAZMAT ، ششمین کنفرانس بین المللی مدیریت جامع بحران، مشهد، دبیرخانه دائمی‌کنفرانس بین المللی مدیریت جامع بحران

[۱۴] شجاعیان، علی؛ رحیم پور، نگار؛ ویسی، الهام(۱۳۹۶) کارتوگرافی؛ از سنت تا فرانوین، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، چاپ اول