نشریه علمی - پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری، دوره هفتم، شماره ۲، آذر ماه ۱۳۹۶

ارائه الگوریتمی جدید برای طراحی شبکه تصویر برداری با پهپاد و مسیریابی آن با اهداف مدلسازی محوطه‌های باستانی

زهرا همتی مندجین*[۱]، حمید عبادی[۲]، علی حسینی نوه احمد آبادیان[۳]، فرید اسماعیلی[۴]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد نقشه‌برداری، فتوگرامتری - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
hemmati8589@yahoo.com

[۲] استاد دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
ebadi@kntu.ac.ir

[۳] استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
ali_hosseini_naveh@yahoo.com

[۴]دانشجوی دکتری نقشه‌برداری، فتوگرامتری - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
farid_63@yahoo.com

(تاریخ دریافت دی ۱۳۹۵، تاریخ تصویب تیر ۱۳۹۶)

چکیده

طراحی شبکه یکی از مراحل مهم و کلیدی در انجام تمامی پروژه‌های فتوگرامتری برد کوتاه می‌باشد. از سوی دیگر لزوم استفاده از فتوگرامتری پهپاد مبنا در مدلسازی محوطه‌های میراث فرهنگی غیر قابل تردید است. استفاده از این شیوه بدون لحاظ کردن اصول طراحی شبکه منجر به پردازش‌های طولانی و غیر ضروری می‌شود. در این تحقیق روشی ارائه شده است که به کمک آن با در نظر گرفتن اصول طراحی شبکه فتوگرامتری، قبل از تصویر برداری موقعیت‌های مناسب و بهینه دوربین برای اخذ تصویر تعیین می‌گردند. سپس بین موقعیت‌های بدست آمده یک مسیریابی بهینه جهت پرواز پهپاد انجام می‌گیرد تا با صرف کمترین زمان و هزینه تصاویر مورد نیاز برای ایجاد مدل سه بعدی از محوطه‌های باستانی اخذ گردد. نتایج بدست آمده برای تصاویر اخذ شده از دو محوطه میراث فرهنگی نشان داده است که تعداد تصاویر با بکارگیری اصول طراحی شبکه نسبت به روش طراحی شبکه فرد فتوگرامتریست کاهش یافته است؛ و در نتیجه سرعت مدلسازی سه بعدی با استفاده از این روش نیز افزایش می‌یابد.

واژگان کلیدی: UAV، سیستم فتوگرامتری پهپاد مبنا، طراحی شبکه، مسیریابی، مدلسازی محوطه‌های باستانی

* نویسنده رابط

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

تولید و به کارگیری مدل‌های سه بعدی محوطه‌های باستانی با اهداف تحقیقاتی، بازسازی اشیاء تاریخی ارزشمند، ایجاد موزه‌های مجازی و مستندسازی محوطه‌های باستانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به منظور مستندنگاری و ایجاد مدل سه بعدی و تهیه اطلاعات بناهای تاریخی، اولین گام داشتن نقشه‌های دقیق از وضعیت موجود بناها می‌باشد. روش‌های متعددی مانند مترکشی، نقشه‌برداری کلاسیک (استفاده از دوربین‌های معمول نقشه‌برداری)، فتوگرامتری (خصوصاً فتوگرامتری برد کوتاه) و لیزر اسکنرها برای تهیه این نقشه‌ها از گذشته مورد استفاده قرار گرفته‌اند[۲,۱]. 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 سه بعدی، انعطاف پذیری بالای این روش در بحث دستیابی به دقت‌های مورد نیاز در اندازه‌گیری‌ها و پتانسیل آن در دستیابی به دقت‌هایی در حد میکرومتر، قابلیت اخذ کم هزینه مشاهدات و آرشیو تصاویر تا زمان نیاز به استخراج اطلاعات کمی از آن‌ها، همگی از پارامترهایی هستند که باعث شده‌اند 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[۳]. در نتیجه نیاز به اطلاعات دقیق از عوارض بخصوص در مناطق پرخطر و دور از دسترس، امکان دسترسی به ایستگاه‌های تصویر برداری مناسب و همچنین لزوم صرفه جویی در زمان و هزینه منجر به استفاده از فتوگرامتری پهپاد مبنا[۱] گردیده است.

فتوگرامتری پهپاد مبنا تلفیقی از فتوگرامتری هوایی و فتوگرامتری برد کوتاه است که در آن یک سنجنده اخذ داده که می‌تواند دوربین متریک یا غیرمتریک و یا هر وسیله اخذ داده دیگر باشد، بر روی یک سکوی بدون سرنشین (UAV)[۲] نصب شده و از ارتفاع کم داده‌ها اخذ می‌گردند. هزینه کم برای ساخت، عدم نیاز به فرودگاه و باند پرواز طولانی، قابلیت مانور بیشتر، امکان استفاده از موتورهای الکتریکی با مزیت عدم نیاز به استفاده از سوخت‌های فسیلی و گران قیمت از پارامترها و ویژگی‌های مهم در استفاده از پرنده‌های بدون سرنشین می‌باشند[۴]. محققان زیادی با استفاده از سیستم‌های UAV فعالیت‌های مختلفی از جمله تهیه نقشه توپوگرافی در مقیاس بزرگ ([۵])، تهیه عکس نقشه با دقت یک سانتی متر([۶])، ارزیابی مراحل مختلف ساخت یک جاده([۷])، جمع آوری و تولید نقشه‌های سه بعدی و موضوعی با دقت و کیفیت بالا با قابلیت واکنش سریع در حوادث طبیعی مثل سیل، زلزله و حوادث انسانی ([۸]) را به انجام رسانیدند.

بر اساس معیارها و کاربردهای متفاوت برای UAV طبقه بندی‌های مختلفی ارائه شده است. Henri Eisenbeiß در سال ۲۰۱۰ بر اساس استفاده از منبع انرژی، معیار انعطاف پذیر بودن، ثابت بودن و یا دورانی بودن پره یا بال در سکوی بدون سرنشین، آن‌ها را دسته بندی کرده است[۹]. بر اساس نتایج ارائه شده و با توجه به مورد مطالعاتی این پژوهش که محوطه‌های باستانی می‌باشد، در نگاه اول می‌توان نتیجه گیری کرد که UAV های بال ثابت، چتر ثابت یا نیمه منعطف و بدون بال به دلیل انعطاف پذیری پایین و با توجه به فضای محدود پرواز در پروژه‌های محوطه‌های باستانی عملاً قابل استفاده نیستند. در نتیجه از بین سیستم‌های پره چرخشی، کوادراتورها[۳](چهارپره) به دلیل هزینه کمتر، انعطاف بالا و زمان پرواز مناسب می‌توانند گزینه مناسبی جهت استفاده در پژوهش حاضر انتخاب گردند.

البته محدودیت‌هایی نیز در استفاده از سیستم‌های چهارپره مانند ناپایداری در هنگام پرواز به دلیل سبک بودن وزن، محدودیت حمل سنجنده های بزرگ و دقیق‌تر، نیاز به زمان بیشتر برای عکسبرداری، پردازش و محاسبات وجود دارد که با یک طراحی شبکه مناسب می‌توان تا حدودی محدودیت زمان را کاهش داد. پس به علت نیاز به دقت بالا در مستند سازی محوطه‌های باستانی توسط فتوگرامتری پهپاد مبنا، توجه بیشتری به پیکربندی ایستگاهی دوربین یا هندسه شبکه نیاز است تا دستیابی به دقت مورد نظر امکان پذیر گردد. مباحثی نظیر انتخاب مشخصات دوربین تصویربرداری، تعداد ایستگاه‌های دوربین و موقعیت

۱ UAV Photogrammetry
۲ Unmanned Arial Vehicle
۳ Quadrotors

Archive of SID

www.SID.ir

قرارگیری آن‌ها، تکرار تصویر و هندسه شبکه موضوعات اساسی در این زمینه تحت عنوان طراحی شبکه فتوگرامتری پهپاد مبنا می‌باشند. پس از طراحی شبکه و بدست آوردن موقعیت‌های بهینه برای قرار گیری چهارپره به منظور اخذ تصویر برای ایجاد مدل سه بعدی از عارضه، یکی از چالش‌های اصلی، طراحی و انتخاب مسیر برای موقعیت‌های بدست آمده است تا با توجه به محدودیت زمانی پرواز، بتوان در زمان کمتر و بدون برخورد با مانع، تصویر برداری از عارضه را انجام داد. لزوم طراحی مسیر، ایجاد مسیری عاری از برخورد با موانع می‌باشد به طوری که همزمان از نقطه شروع تا پایان کوتاه‌ترین مسیر پرواز نیز انتخاب شود.

هدف در این پژوهش طراحی شبکه و طراحی مسیر تصویر برداری مناسب برای سیستم‌های چهارپره به منظور ایجاد مدل سه بعدی از محوطه‌های باستانی می‌باشد. برای رسیدن به این هدف ابتدا الگوریتمی جدید متناسب با شرایط پروژه‌های مدل سازی از محوطه باستانی جهت طراحی شبکه تصویر برداری سکوی بدون سرنشین در قالب الگوریتم بهینه QUD_IND[1] ارائه می‌شود. سپس الگوریتم دیگری جهت تعیین مسیر بهینه تصویر برداری بین ایستگاه‌های انتخاب شده بر پایه بهینه سازی مسیریابی سه بعدی به کمک الگوریتم مورچگان معرفی می‌گردد.

در بخش اول همان طور که دیده شد به لزوم ایجاد مدل سه بعدی از محوطه‌های باستانی پرداخته شد. در بخش دوم ابتدا به مطالعه پژوهش‌های انجام شده در این زمینه پرداخته می‌شود. سپس بر اساس ارزیابی‌های انجام شده، الگوریتمی جدید برای تعیین موقعیت‌های بهینه سیستم‌های چهارپره و نهایتاً مسیریابی آن‌ها در بخش سوم ارائه می‌شود. در بخش چهارم این روش در یک پروژه عملی پیاده سازی شده و در بخش نهایی نتایج مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۲- مروری بر تحقیقات انجام شده

از جمله کاربردهای فتوگرامتری برد کوتاه می‌توان به اندازه‌گیری دقیق ابعاد و شکل اشیاء سه بعدی اشاره کرد. با توجه به نیاز به دستیابی به دقت‌های از پیش معلوم، بهینه سازی هزینه پروژه، زمان و حجم اخذ داده‌ها و از همه مهم‌تر صحت مشاهدات و نتایج بر اساس شرایط پروژه، مهم‌ترین چالش در بکارگیری شیوه‌های فتوگرامتری برد کوتاه مسئله طراحی شبکه می‌باشد. در ادامه مروری بر تحقیقات گذشته در رابطه با طراحی شبکه فتوگرامتری برد کوتاه با هدف ایجاد مدل سه بعدی از عارضه پرداخته می‌شود.

۲-۱- طراحی شبکه فتوگرامتری برد کوتاه

در سال ۱۹۷۴ اولین بار Grafarend برای طراحی شبکه‌های فتوگرامتری چهار اصول و فاز کاری در نظر گرفت[۱۰]. در مرحله اول یا فاز صفر (ZOD)[2]، سیستم مختصات و سطح مبنا تعریف می‌شود. در فاز اول (FOD)[3] هندسه تصویر برداری تعریف می‌شود و تنظیمات عکسبرداری انجام می‌گیرد. ماتریس وزن مشاهدات و دقت اندازه گیری مشاهدات در فاز دوم (SOD)[4] تعیین می‌شود و نهایتاً در فاز سوم (THOD)[5] اگر دقت مورد نظر تعیین نشود به تعیین تراکم و پراکندگی ایستگاه‌های تصویربرداری پرداخته می‌شود.

با در نظر گرفتن اصول طراحی شبکه، سه استراتژی کلی برای روند طراحی شبکه تصویر برداری وجود دارد. ۱) طراحی شبکه کامل عکسبرداری با داشتن مدل اولیه از عارضه (تعیین موقعیت دوربین برای اخذ تصویر)، ۲) بهبود تدریجی شبکه تصویربرداری اولیه با اضافه کردن عکس‌های ثانویه، ۳) خوشه بندی و انتخاب بهترین تصاویر از بین تصاویر زیاد اخذ شده. در طراحی شبکه کامل عکسبرداری سه فاز ZOD، FOD و SOD در نظر گرفته می‌شود در حالی که در بهبود تدریجی فقط به فاز سوم اصول طراحی شبکه Grafarend پرداخته می‌شود. خوشه بندی و انتخاب تصاویر بهینه نگاهی مجزا به فازها دارد و از منظری دیگر به مسئله نگاه می‌کند و با کاهش تعداد تصاویر منجر به کاهش زمان پردازش و محاسبات می‌شود. با توجه به نوع عارضه و دقت مورد نیاز برای ایجاد مدل می‌توان از هر یک از اصول و روند طراحی شبکه استفاده کرد. محققان زیادی در حوزه فتوگرامتری بردکوتاه تحقیقات مفیدی را در زمینه طراحی شبکه بعمل آورده‌اند. Fraser و همکاران در سالهای ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۶ تحقیقات گسترده‌ای در خصوص طراحی شبکه بر مبنای شرایط فیزیکی لحظه عکسبرداری به منظور تعیین مختصات سه بعدی نقاطی مشخص از شئ با بالاترین دقت ممکن انجام

[1] Quadrotors Imaging network designer

[2] Zero-order design
[3] First-order design
[4] Second-order design
[5] Third-order design

Archive of SID

www.SID.ir

دادند[۱۱, ۱۲]. تحقیقات Fritsch در سال ۱۹۹۰ در زمینه تعیین موقعیت و وضعیت ایستگاه‌های تصویربرداری به منظور اندازه گیری دقیق شکل و ابعاد شئ بوده است [۱۳]. در سال ۱۹۹۵ Mason سیستمی به نام CONSENS[۱] بر مبنای یک مدل اولیه از عارضه برای طراحی شبکه ایجاد کرد[۱۴]. تحقیقات Fraser، Fritsch و Mason بر اساس طراحی شبکه کامل انجام گرفته بود و فعالیت آن‌ها بر روی تارگت و یا نقاط خاص بوده است. سعادت سرشت در سال ۲۰۰۵ تحقیقاتش را در زمینه طراحی شبکه برای قرارگیری محل بهینه دوربین با هدف اینکه عکس‌های ثانویه از کدام قسمت عارضه گرفته شود تا با اضافه کردن آن‌ها به تصاویر اولیه به دقت مورد نظر رسید به انجام رسانید[۱۵]. در سال ۲۰۱۴ تحقیقات حسینی نوه در زمینه طراحی شبکه با هدف ایجاد مدل سه بعدی از عوارض منجر به معرفی الگوریتمی به نام IND[۲] شد که در راستای بهبود الگوریتم CMVS[۳] ارائه گردید[۱۶]. وی در این تحقیق نشان داد که برای طراحی شبکه نیاز به یک مدل اولیه از عارضه است تا هندسه عارضه در طراحی در نظر گرفته شود و با اضافه کردن قیود زاویه دید، مقیاس، قدرت تفکیک و... بتوان به مدل کامل و دقیقی رسید. تحقیقات حسینی نوه بر اساس طراحی شبکه کامل و با هدف ایجاد مدل سه بعدی از عارضه انجام گرفت. اگرچه IND برای ایجاد مدل سه بعدی از اشیاء کوچک مورد استفاده قرار گرفت ولی در این تحقیق تلاش بر بهبود IND به منظور استفاده شدن در طراحی شبکه هواپیمای بدون سرنشین چهارپره‌ها می‌باشد.

۲-۲- طراحی شبکه برای تصویر برداری با پهپادها

ایجاد مدل سه بعدی از محوطه‌های باستانی با استفاده از پهپادها در سالهای اخیر مورد توجه محققان زیادی بوده است. در زمینه طراحی شبکه با استفاده از پهپادها به منظور مدلسازی فعالیت‌های زیر انجام گرفته شده است. در سال ۲۰۱۰ Remondio با استفاده از پهپاد پره چرخشی Microdrone MD4-200 توانسته است مدل سه بعدی از منطقه میراث فرهنگی Pava واقع در ایتالیا را ایجاد و ارزیابی کند[۱۷]. استراتژی که او برای تصویر برداری از منطقه میراث فرهنگی به کار برد اخذ تصویر در چند رینگ حول عارضه بود. نداشتن یک برنامه ریزی مناسب برای پرواز و نداشتن شبکه مستحکم برای تصویر برداری از محدودیت‌هایی بود که Romondio با آن مواجه بود. Hoppe در سال ۲۰۱۲ برای ایجاد مدل سه بعدی از عوارض، از هواپیمای بدون سرنشین Falcon8 مجهز به دوربین با وضوح بالا استفاده کرده است[۱۸]. برای اینکه یک سری داده کامل(ابرنقطه) از عارضه بدست آورد و مدل بدست آمده از عارضه محدودیت و نواقص کمتری داشته باشد، به طراحی نحوه‌ی قرار گیری موقعیت بهینه دوربین پرداخت. Hoppe برای بدست آوردن موقعیت‌های بهینه دوربین از قائم بر سطح استفاده کرد و در امتداد نرمال بر صفحه حرکت کرده و موقعیت دوربین‌ها را بدست آورد که روش بکار برده شده طراحی کامل شبکه است. محدودیت کار او این بود که تعداد زیادی تصویر برای ایجاد مدل سه بعدی از عارضه بدست آورد که با انتخاب عکس‌های بهینه تا حدودی می‌توان این محدودیت را کاهش داد.

در سال ۲۰۱۴ Brutto، Garraffa و Meli از هواپیمای بدون سرنشین پره چرخشی Microdrone Md4-200 برای نقشه برداری میراث فرهنگی استفاده کرده‌اند[۱۹]. آن‌ها طی سه مرحله به مدل سه بعدی از عارضه دست یافتند. ابتدا برنامه ریزی مناسبی برای پرواز ایجاد کردند سپس تصاویر مناسب بر اساس برنامه ریزی و طراحی انجام شده اخذ کردند و نهایتاً ابر نقطه سه بعدی از عارضه را بدست آوردند. هر مرحله مشکلات مربوط به خودشان را داشت، وجود موانع، نزدیکی در مناطق شهری متراکم و شرایط آب و هوایی مانند باد از جمله این مشکلات هستند.

اصول و پارامترهای طراحی شبکه در پژوهش‌های پیشین کمتر مورد توجه محققان قرار گرفته است و این از محدودیت‌هایی است که در پژوهش‌های فوق وجود داشت. در این پژوهش با در نظر گرفتن اصول طراحی شبکه، موقعیت‌های بهینه برای قرارگیری چهار پره‌ها به منظور اخذ تصویر از محوطه‌های باستانی با هدف ایجاد مدل سه بعدی از آن بدست می‌آید.

۲-۳- طراحی مسیر پرواز پهپاد

با مشخص بودن موقعیت بهینه برای تصویر برداری چهارپره این سؤال مطرح است که چهارپره به چه ترتیبی روی موقعیت‌های بهینه قرار گیرد که کمترین زمان از لحاظ طی کردن مسافت سپری شده باشد و آیا با قرار

[۱] CONfiguration of SENSors
[۲] Imaging network designer
[۳] Clustering views for multi_view stereo

Archive of SID

www.SID.ir

گیری آنها در این مسیرها امکان برخورد با موانع وجود دارد یا نه؟ پاسخ به این سؤال‌ها در رباتیک با مفهوم طراحی مسیر[۱] انجام می‌گیرد. لزوم طراحی مسیر، ایجاد مسیری عاری از برخورد با موانع می‌باشد به طوری که از نقطه شروع تا پایان کوتاه‌ترین مسیر انتخاب شود. به طور کلی برای طراحی مسیر الگوریتم‌ها به دو دسته بادرنگ و بی‌درنگ تقسیم بندی می‌شوند که در هر دسته دو گروه الگوریتم کلاسیک و تکاملی وجود دارد. الگوریتم کلاسیک به صورت قطعی به یک مسیر طراحی شده می‌رسد و در صورت وجود موانع، طراحی مسیر زمان بر خواهد بود. روش‌های رایج برنامه ریزی مسیر با استفاده از الگوریتم کلاسیک شامل روش نقشه راه، گراف رؤیت پذیری، نمودار ورونوی، روش تجزیه سلولی و میدان پتانسیل است. الگوریتم تکاملی به صورت تکراری به یک مسیر بهینه دست می‌یابد. از جمله روش‌های تکاملی می‌توان الگوریتم ژنتیک، بهینه سازی ازدحام ذرات و الگوریتم بهینه سازی مورچگان را نام برد. در زمینه طراحی مسیر برای سکوهای بدون سرنشین کارهای متعددی انجام گرفته شده است.

Wang honglum و همکارانش در سال ۲۰۱۴ با استفاده از الگوریتم ژنتیک و به صورت بادرنگ یک روش برای مسیریابی و برنامه ریزی مسیر برای سکوی بدون سرنشین مطرح کرده‌اند[۲۰]. الگوریتم ژنتیک به عنوان یک الگوریتم محاسباتی بهینه سازی، با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از نقاط فضای جواب در هر تکرار محاسباتی، بنحو مؤثری نواحی مختلف فضای جواب را جستجو می‌کند. وی برای اجتناب از برخورد با موانع از عبارات ریاضی استفاده کرد و موانع را با استفاده از روابط ریاضی به کره، استوانه، مخروط و... تبدیل کرد.

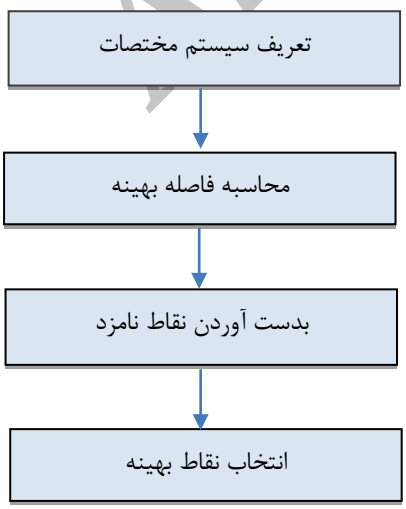
در سال ۲۰۱۴، Xiangyin zhang و همکارش از الگوریتم تفاضلی DE[۲] برای مسیریابی پرنده‌های بدون سرنشین استفاده کردند و تابع هدف را که کوتاه‌ترین فاصله و ارتفاع پرواز کم است را برآورد نمودند[۲۱].

Didier Devaurs و همکارانش در سال ۲۰۱۴ از ترکیب دو روش *RRT[۳] و T-RRT[۴] یک الگوریتم جدید برای مسیریابی بدست آوردند[۲۲]. مزیت این روش این است که به صورت پویا طراحی مسیر را انجام می‌دهد و مسیر بهینه را بدون برخورد به عارضه طی می‌کند.

در مسئله مسیریابی سیستم‌های چهارپره، با فرض معلوم بودن وضعیت کنونی چهارپره و همچنین نقشه‌ای از عوارض در محیط حرکت، هدف محاسبه خط سیر بهینه پرواز است به گونه‌ای که تابع هدف مشخصی بهینه شود و چهارپره بدون برخورد با موانع به یک موقعیت و هدف مشخص برسد. در ادامه جزئیات الگوریتم‌های مورد استفاده و ارزیابی‌های انجام شده تشریح می‌گردند.

۳- معرفی الگوریتم IND

الگوریتم IND برای طراحی شبکه فتوگرامتری و تعیین موقعیت‌های بهینه دوربین برای اخذ تصویر استفاده می‌شود، و در آن سعی شده است به یک طراحی کامل از شبکه فتوگرامتری رسید[۲۳]. در فتوگرامتری برد کوتاه برای طراحی شبکه اصولاً از قیودی مانند قید فضای کاری، مقیاس، عمق میدان، روشنایی و... استفاده می‌گردد. الگوریتم IND علاوه بر در نظرگرفتن تمام قیود فوق از روش مبتنی بر قیود نرمال نیز استفاده می‌کند و طراحی شبکه را با هدف تعیین موقعیت‌های بهینه دوربین برای اخذ تصویر از عارضه بدست می‌آورد. در حقیقت الگوریتم IND تلفیق فتوگرامتری برد کوتاه و بینایی ماشین است تا در یک زمان مناسب و با بالا بردن دقت بتوان به یک مدل سه بعدی کامل از عارضه دست یافت. روند طراحی شبکه تصویر برداری با استفاده از الگوریتم IND به صورت شکل۱ می‌باشد.



شکل۱- نمودار چرخه کار الگوریتم IND

۱ Path planning
۲ Differential Evolutionary
۳ Rapidly-exploring Random Tree
۴ Transition-based RRT

Archive of SID

www.SID.ir

الگوریتم IND برای تعیین نقاط بهینه چهار مرحله را سپری می‌کند. تعریف سیستم مختصات اولین مرحله الگوریتم است. در بسیاری از آثار گذشته برای راحتی کار اطراف عارضه یک سیستم مختصات کروی تعریف می‌شود و نقاط دید در داخل محدوده کره قرار می‌گیرد[۲۴]. در این حالت شکل عارضه در نظر گرفته نمی‌شد، برای رفع این محدودیت از سیستم مختصات بیضوی بجای کروی استفاده می‌شود و پارامترهای بیضوی بر اساس شکل عارضه بدست می‌آید؛ بدین صورت که مرکز بیضوی روی مرکز عارضه قرار دارد قطر اطول در راستای خط واصل بین دورترین نقطه عارضه از مرکز است و قطر اقصر عمود بر قطر اطول است در حالی که سیستم مختصات دست راستی است. مرحله دوم محاسبه فاصله بهینه برای قرارگرفتن دوربین از عارضه است. کمترین و بیشترین فاصله ممکن از عارضه با توجه به سیستم مختصات بیضوی تعریف شده و بر اساس اصول طراحی شبکه و با در نظر گرفتن قیود دید دوربین، عمق میدان و... بدست می‌آید. در مرحله سوم بر اساس مدل اولیه از عارضه و مخروط چهار ناحیه‌ای که برای هر نقطه از عارضه تعریف می‌شود، ماتریس دید بدست می‌آید. در مرحله چهارم نیز با استفاده از ماتریس دید بدست آمده و شرط برقراری دید هر نقطه در سه عکس و نیز برقراری قیود طراحی شبکه می‌توان نقاط بهینه و نهایتاً عکس‌های بهینه را با توجه به اصول و قیود طراحی شبکه بدست آورد.

پس از بدست آوردن نقاط بهینه به منظور تعیین موقعیت بهینه دوربین جهت اخذ تصاویر از عارضه، هدف یافتن بهترین مسیر برای موقعیت‌های بدست آمده است تا در یک زمان کمتر و با صرف حداقل هزینه بتوان مسیر طراحی شده را برای اخذ تصویر پیمود. برای طراحی مسیر و بدست آوردن مسیر بهینه الگوریتم‌های مختلفی وجود دارد از جمله این الگوریتم‌ها، روش فرا ابتکاری الهام گرفته از طبیعت است. در بخش بعدی الگوریتم مورچگان، یکی از زیر شاخه‌های روش فرا ابتکاری که برای بهینه سازی مسیر بکار برده می‌شود را به صورت مختصر توضیح داده می‌شود.

۴- معرفی الگوریتم مورچگان

بهینه سازی جمعیت مورچگان نوعی روش فرا ابتکاری است که در حل مسائل بهینه سازی موفق عمل کرده است[۲۵]. الگوریتم مورچگان به عنوان یک ابزار جهت حل مسئله فروشنده دوره گرد توسط دوریگو و همکارانش در سال ۱۹۹۲ مطرح شد[۲۶]. این الگوریتم از رفتار غذایابی مورچه‌ها الهام گرفته شده است. آزمایشات زیست شناسی بر روی مورچه‌ها نشان می‌دهد که اگر دو راه برای مورچه‌ها از لانه تا منبع غذایی در نظر گرفته شود اغلب مورچه‌ها بعد از مدتی مسیر کوتاه‌تر را انتخاب می‌کنند. این عمل از این ناشی می‌شود که مورچه‌ها در طول مسیر رفت و برگشت ماده شیمیایی به نام فرومون آزاد می‌کنند که تبخیر پذیر می‌باشد. به عبارت دیگر مورچه‌ها مسیر را در ابتدا به صورت تصادفی انتخاب می‌کنند زیرا هیچ فرومونی بر روی مسیرها موجود نمی‌باشد. اما بعد از مدتی که مورچه‌های قبلی بر اساس مسیر کوتاه‌تر و منبع غذایی بهتر، فرمون ریزی کردند آن گاه انتخاب در این زمان به صورت احتمالی صورت می‌گیرد. یعنی مسیر دارای فرومون بیشتر، مورد انتخاب تعداد بیشتری از مورچه‌ها قرار می‌گیرد. مورچه k وقتی روی یک نود (گره i) است برای انتخاب نود بعدی N_i از رابطه ۱ استفاده می‌کند. در اینجا τ_{ij} نشان دهنده مقدار فرومون روی یال (i , j) بوده، در حالی که η_{ij} نشان دهنده عکس مقدار فاصله بین دو گره i و j است. البته هر کدام از این دو دارای توانی هستند که می‌توان با تغییر آن‌ها میزان اهمیت هر یک را نسبت به دیگری تغییر داد.

$$P_{ij}^{k}=\begin{cases}\dfrac{\tau_{ij}^{\alpha}\eta_{ij}^{\beta}}{\sum_{j\in N_i}\tau_{ij}^{\alpha}\eta_{ij}^{\beta}} & If\ j\in N_i\\ 0 & If\ j\notin N_i\end{cases} \qquad (۱)$$

همچنین مورچه‌ها در حالی که از یک گره i به گره دیگر j می‌روند اطلاعات فرومون $\Delta\tau_{ij}$، معمولاً به اندازه عکس مقدار یال (i, j) را روی یال مربوطه می‌ریزند. این عمل با استفاده از رابطه ۲ انجام می‌شود.

$$\tau_{ij}(t)\leftarrow\tau_{ij}(t)+\Delta\tau_{ij} \qquad (۲)$$

الگوریتم مورچه همگرایی سریع به یک مسیر را دارد که صرفاً مسیر بهینه نمی‌باشد و این محدودیتی می‌باشد که در الگوریتم وجود دارد. برای اجتناب از همگرایی سریع همه مورچه‌ها به یک مسیر زیر بهینه، از مکانیزم تبخیر فرومون استفاده می‌شود. تبخیر شدن فرومون و احتمال، به مورچه‌ها امکان پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر را می‌دهند.

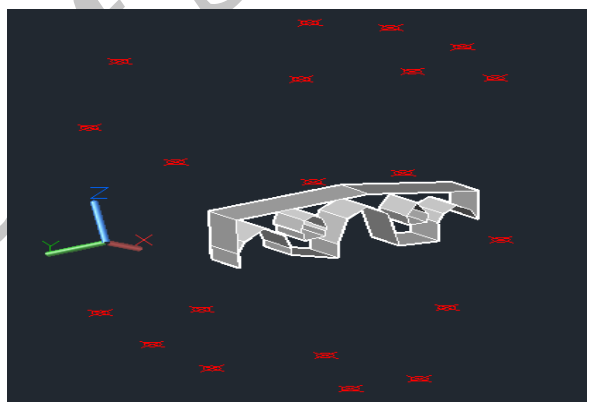
Archive of SID

www.SID.ir

این دو ویژگی باعث ایجاد انعطاف در حل هرگونه مسئله بهینه سازی می‌شوند و الگوریتم این توانایی را دارد تا به سرعت مسیر بهینه را با توجه به شرایط جدید پیدا کند. در بخش بعدی الگوریتم‌هایی که در این پژوهش بکار گرفته شده‌اند، به صورت مختصر معرفی می‌شوند.

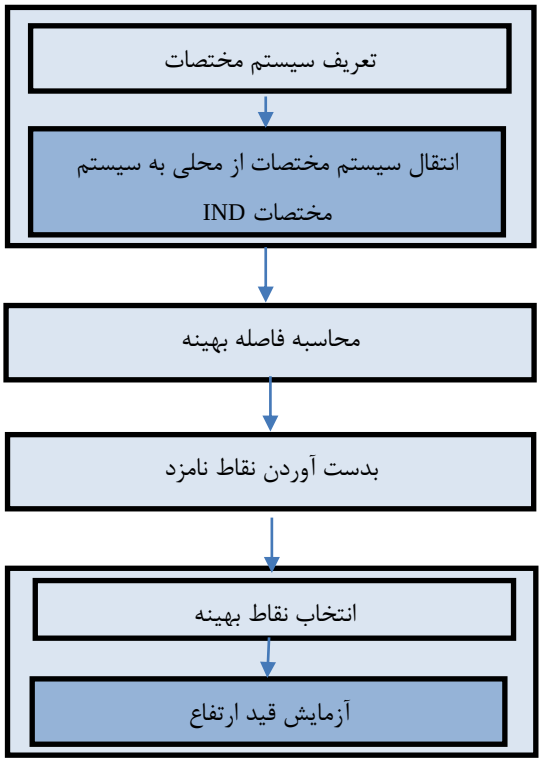
۵- الگوریتم پیشنهادی این پژوهش

همان طور که در بخش‌های قبل توضیح داده شد الگوریتم IND برای تعیین موقعیت های بهینه دوربین برای اخذ تصاویر بکار گرفته می‌شود و همچنین برای اشیاء در مقیاس کوچک پیاده سازی و مورد ارزیابی قرار گرفته است[۲۷]. الگوریتم IND برای فتوگرامتری پهپاد مبنا در یک محوطه باستانی در مقیاس بزرگ مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج بدست آمده در شکل۲ نمایش داده شده است.



شکل۲- مدل سه بعدی پل سید محمد واقع در زنجان در محیط اتوکد، نقاط قرمز موقعیت‌های بدست آمده برای چهارپره در الگوریتم IND

همان طور که نتایج نشان می‌دهد الگوریتم IND در مورد طراحی شبکه فتوگرامتری پهپاد مبنا برای ایجاد مدل سه بعدی از محوطه‌های باستانی دچار محدودیت است و نقاط با ارتفاع منفی را نیز به عنوان نقاط بهینه در نظر گرفته است. برای اینکه IND بتواند برای طراحی شبکه چهارپره استفاده شود قیدی بنام ارتفاع در گام چهارم الگوریتم IND اضافه می‌شود. برای برطرف کردن محدودیت IND که مختصات با ارتفاع منفی وجود دارد الگوریتم QUAD_IND طراحی و پیاده سازی شد که روند و الگوریتم آن به صورت شکل ۳ می‌باشد.



شکل۳- نمودار چرخه کار الگوریتم QUAD_IND

ساختار الگوریتم QUAD_IND مشابه الگوریتم IND است با این تفاوت که دو گام زمین مرجع نمودن و آزمایش قید ارتفاع به آن اضافه شده است. برای اضافه کردن آزمایش قید ارتفاع ابتدا مدل وارد شده در الگوریتم، با استفاده از مختصات واقعی بدست آمده از GPS زمین مرجع می‌شود. پارامترهای تبدیل که شامل شش پارامتر دوران و انتقال می‌باشد از سیستم زمین مرجع به سیستم IND محاسبه می‌شود. در حقیقت پارامترهای تبدیل، سیستم مختصات اولیه مدل (سیستم مختصات محلی) را به سیستم مختصات بیضوی تعریف شده انتقال می‌دهد. در مرحله خوشه بندی و انتخاب نقاط بهینه مختصات هر دوربین با استفاده از پارامترهای تبدیل به سیستم مختصات اصلی برگشته و قید ارتفاعی برای آن چک می‌شود. برای آزمایش قید ارتفاع از رابطه۳ استفاده می‌شود.

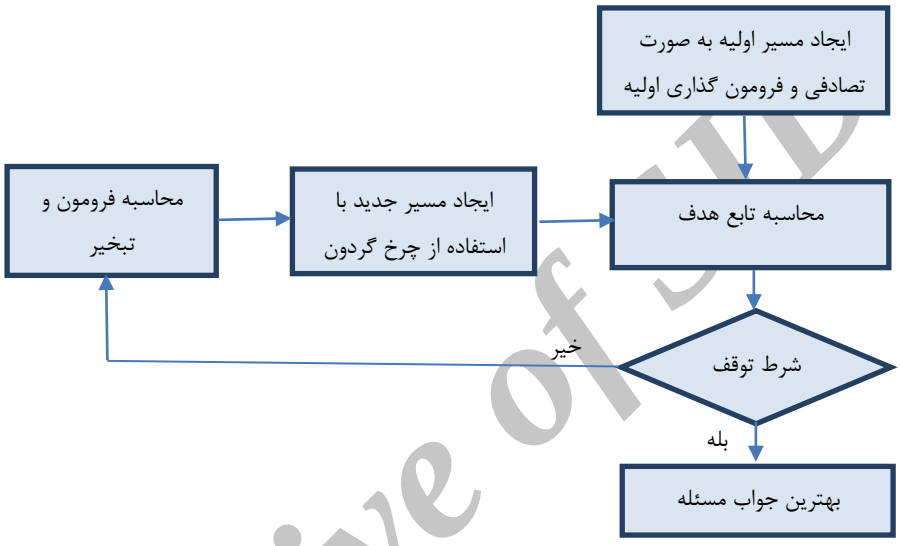
$$[Z_2]=R[Z_1]+T$$
$$[Z_1]=(R^{-1})[Z_2-T] \quad (۳)$$

در رابطه بالا R پارامتر دوران و T پارامتر انتقال می‌باشد، که با استفاده از این پارامترها آزمایش ارتفاع از لحاظ مثبت یا منفی بودن انجام می‌گیرد تا موقعیت‌های بهینه کوادارتورها برای اخذ تصویر از عارضه بدست آید. بر اساس موقعیت‌های بدست آمده برای چهارپره، طراحی مسیر با هدف کمینه

Archive of SID

www.SID.ir

کردن تابع هدف که می‌تواند کوتاه‌ترین مسیر و یا حداقل هزینه باشد انجام می‌شود. با توجه به پیچیدگی‌ها و هزینه‌های هر مأموریت پرواز در بیشتر سناریوها طراحی مسیر بهینه پرواز به صورت دو بعدی و یا سه بعدی تنها به وسیله عامل انسانی یک امر غیر ایمن، پر خطر و حتی ناممکن است. در نتیجه با توجه به اینکه پارامترهای پرواز و توپوگرافی منطقه پرواز مشخص است می‌توان این مشکل را تا حدودی مدل سازی نمود. روش های مختلفی برای مسیریابی وجود دارد؛ ابتدا از روش های قطعی استفاده می شد. به دلیل عدم کارایی مناسب در فضاهای جستجوی بزرگ و پیچیده، روش‌های ابتکاری و فرا ابتکاری به وجود آمدند. یکی از الگوریتم‌های فرا ابتکاری، الگوریتم مورچه است که به دلیل ذات گسسته آن مناسب مسائل برنامه ریزی مسیر گسسته است. پس روشی که برای مسیریابی بهینه چهارپره در این پروژه انتخاب گردید روش الگوریتم مورچگان است[۲۸]. بهینه سازی جمعیت مورچگان در حل مسائل بهینه سازی موفق عمل کرده است و تغییرات آن در هر مرحله از الگوریتم کم است. شکل۴ نمودار چرخه کار روند کلی الگوریتم مورچه در این پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل۴- نمودار چرخه کار الگوریتم مورچگان

همان طور که در نمودار چرخه کار مشخص شده است تعیین مسیر به روش فرا ابتکاری روندی تکراری دارد و تا حد امکان از بهینه محلی فرار کرده و به جواب‌های خوبی همگرا می‌شود. نحوه‌ی تولید جمعیت در این مسئله به صورت تصادفی است. پس از ایجاد جمعیت اولیه مقادیر توابع هدف محاسبه می‌شود و شرط توقف بررسی می‌شود. جمعیت جدید با استفاده از چرخ گردون ایجاد می‌گردد و تا رسیدن به تابع هدف و شرط توقف این روند تکرار می‌گردد. پس با یک طراحی شبکه مناسب و بدست آوردن موقعیت‌های بهینه برای قرارگیری چهارپره و نهایتاً مسیریابی بین موقعیت‌های بدست آمده می‌توان به یک مدل سه بعدی از عارضه دست یافت. در بخش بعد اصول طراحی شبکه نامبرده شده در دو محوطه باستانی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۶- منطقه مطالعاتی و تجهیزات مورد استفاده

مناطق مورد نظر جهت ایجاد مدل سه بعدی، پل حاج سید محمد واقع در جنوب شرقی شهر زنجان و تپه‌ی باستانی ازبکی یکی از محوطه‌های باستانی ارزشمند تاریخی فلات ایران واقع در شهرستان نظرآباد از شهرستانهای استان البرز می‌باشد. پل حاج محمد در سال ۱۳۰۰ قمری در دوره قاجار ساخته شده و در سال ۱۳۵۶ به شماره ثبت ۱۴۸۶ در فهرست آثار ملی ایران به ثبت رسیده است. پل دارای سه دهانه بزرگ و دو دهانه کوچک بر روی پایه‌های سنگی و مختصات جغرافیایی (° ۴۸,۴۸۹ و° ۳۶,۶۵۴) می‌باشد. محوطه باستانی ازبکی در ۸۰ کیلومتری غرب تهران واقع شده است و قدمتی نه هزار ساله دارد، که در سال ۱۳۵۲ به شماره ۹۵۵ در فهرست آثار ملی ایران به ثبت رسیده است. مختصات جغرافیایی منطقه (° ۵۰,۵۸۶ و° ۳۵,۹۷۹) و ارتفاع تپه ۲۶ متر از سطح زمین‌های اطراف است. هر کدام از محوطه‌های باستانی به دلیل خصوصیت معماری خاصی که دارند برای ایجاد مدل سه بعدی انتخاب گردیدند که در شکل ۵ نشان داده شده‌اند.

Archive of SID

www.SID.ir

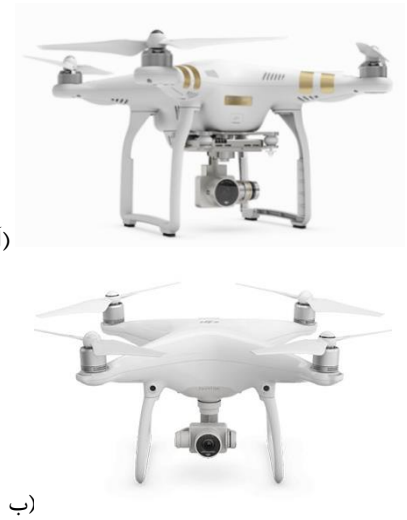
شکل۵- معرفی مناطق مورد مطالعه

سکوهای بدون سرنشین مورد استفاده در این پژوهش فانتوم ۳ و ۴ می‌باشند. سنجنده‌های تعبیه شده در این سیستم شامل GPS، قطب نما، ارتفاع سنج، شتاب سنج و ژیروسکوپ می‌باشد. از قابلیت‌های این سکوها انعطاف پذیر بودن و امکان چرخش زاویه دوربین در موقعیت‌های مورد نیاز و همچنین امکان تعقیب عارضه متحرک را می‌توان نام برد. پس با یک طراحی شبکه انجام شده برای پرواز و مشخص شدن موقعیت مراکز عکسبرداری، سکوها قابلیت عکسبرداری از موقعیت‌های از پیش تعیین شده را دارند. جیمبال تعبیه شده در این سیستم‌ها لرزش‌ها و تکان‌های ناشی از پرواز را به حداقل می‌رسانند و با پایدار سازی دوربین خطای کشیدگی تصویر کمینه می‌شود. جدول خصوصیات هر کدام از سکوها را نشان می‌دهد.

جدول۱- مشخصات سکوهای بدون سرنشین ۳ و ۴

مشخصات فنی	فانتوم ۳	فانتوم ۴
وزن با باطری (گرم)	۱۲۱۶	۱۳۸۰
زمان پرواز (دقیقه)	۲۳	۲۸
نوع دوربین (مگا پیکسل)	۱۲,۴	۱۲,۴
سنجنده عدم برخورد با موانع	ندارد	دارد

دوربین تعبیه شده در این سکوها دارای تباین بالایی می‌باشد و حداکثر اندازه تصویر در آنها ۳۰۰۰*۴۰۰۰ پیکسل می‌باشد.



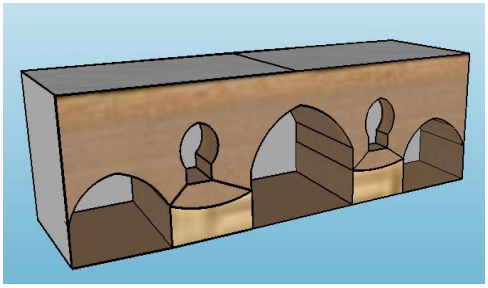
(آ)

(ب)

شکل۶- سکوهای بدون مورد استفاده، فانتوم ۳ (شکل آ)، فانتوم ۴(شکل ب)

۷- پیاده سازی و نتایج پژوهش

بر اساس پیاده سازی های انجام شده در این پژوهش، برای مدلسازی از محوطه‌های باستانی می‌توان از فتوگرامتری پهپاد مبنا در قالب یک شبکه طراحی شده و همگرا حول عارضه استفاده کرد. دوربین مورد استفاده در سکوی بدون سرنشین غیر متریک است و برای رسیدن به دقت مطلوب باید کالیبراسیون را بر روی آن انجام داد. در این پژوهش از روش سلف کالیبراسیون برای تعیین پارامترهای کالیبراسیون دوربین استفاده شده است. همان طور که در بخش قبل نیز بیان گردید برای رسیدن به دقت مطلوب در مدل سازی محوطه‌های باستانی علاوه بر کالیبراسیون دوربین باید طراحی شبکه انجام گیرد تا فاصله و موقعیت بهینه برای سکو بدست آید. برای طراحی شبکه داشتن مدل اولیه از عارضه و همچنین موانع موجود در اطراف آن الزامی می‌باشد. شکل ۷ مدل اولیه از محوطه باستانی پل محمد که در محیط اسکچ‌آپ[۱] ترسیم شده است را نشان می‌دهد.



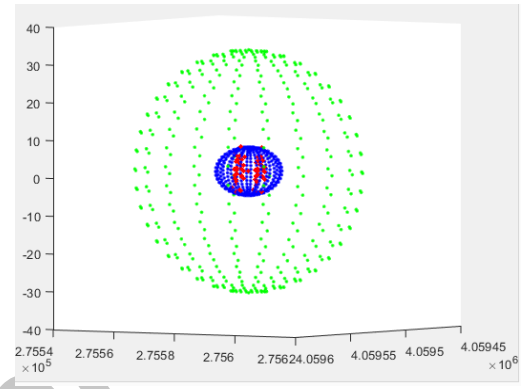
شکل۷- مدل اولیه از محوطه

۱ Sketch Up

Archive of SID

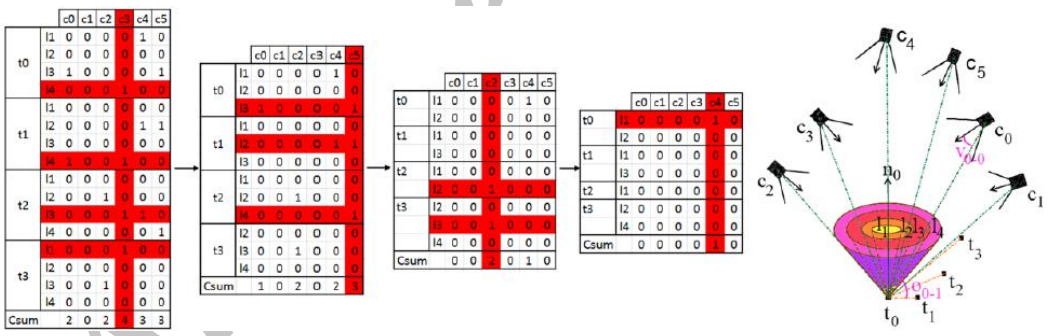
www.SID.ir

بر اساس مدل اولیه بدست آمده از محوطه و برای رسیدن به دقت مورد نیاز، فاصله اولیه سکو از محوطه بدست می‌آید. با اعمال قیود طراحی شبکه مانند قید قدرت تفکیک، مقیاس، زاویه دید، عمق میدان و... و بدست آوردن فضای کاری مقدار بهینه فاصله سکوی بدون سرنشین از محوطه بدست می‌آید. بر اساس فاصله بدست آمده بیضوی سه محوره طوری ترسیم می‌شود که با بیضوی فیت شده با مدل اولیه از عارضه به اندازه فاصله بهینه اختلاف داشته باشد. شکل۸ بیضوی رسم شده حول محوطه در فاصله بهینه بدست آمده را نشان می‌دهد.

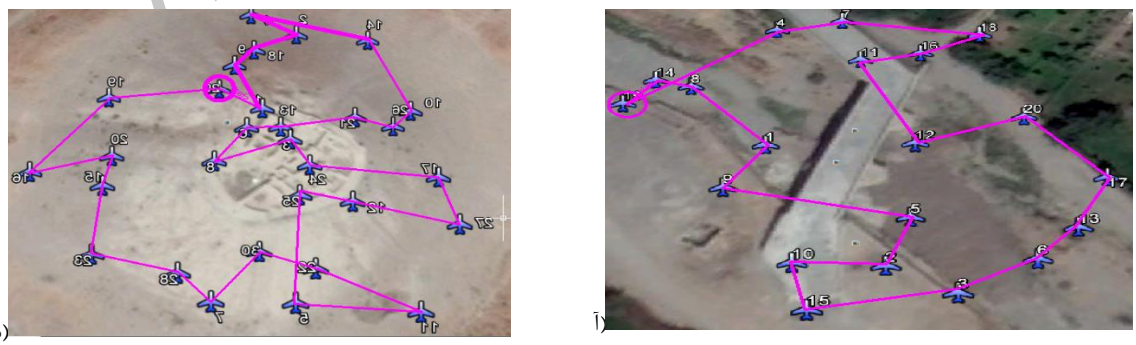


شکل۸- ابر نقطه حاصل از محوطه (نقاط قرمز رنگ)، بیضوی فیت شده حول محوطه (نقاط آبی رنگ) و بیضوی فیت شده حول محوطه در فاصله بهینه (نقاط سبز رنگ)

نقاط نامزد برای قرار گیری سکوی بدون سرنشین با توجه به مقدار پوشش مورد نیاز برای تصاویر روی بیضوی دوم قرار می‌گیرند. با استفاده از ماتریس دید، چک کردن قید نواحی پنهان و بررسی رؤیت شدن هر نقطه در سه تصویر می‌توان نقاط بهینه را انتخاب کرد. بدین صورت که برای هر نقطه از عارضه مخروط چهار ناحیه‌ای به محور قائم برسطح طوری ترسیم می‌شود که زاویه رأس آن وابسته به مقدار زاویه فرود است. خطوطی بین موقعیت‌های بدست آمده برای دوربین و نقاط عارضه ترسیم می‌شود؛ با توجه به اینکه خط در کدام ناحیه مخروط را قطع کند ماتریس دید تشکیل می‌گردد. پس ماتریس دید برای هرنقطه دارای چهار سطر و ستونهایی به تعداد موقعیت‌های پیشنهادی برای دوربین است. پس به ازای تمام نقاط عارضه و موقعیت‌های دوربین ماتریس دید تشکیل می‌گردد و مجموع تمام ستون‌ها محاسبه می‌شود و نهایتاً نقاطی به عنوان موقعیت بهینه انتخاب می‌گردد که مقدار بیشتری داشته باشد. شکل ۹ به صورت شماتیک ماتریس دید و انتخاب نقاط بر اساس مخروط چهار ناحیه‌ای ترسیم شده بر نقاط را نشان می‌دهد.



شکل۹- مخروط چهار ناحیه‌ای تعریف شده برای هر نقطه از عارضه (سمت راست)، انتخاب نقاط بهینه بر اساس ماتریس دید (سمت چپ)



شکل۱۰- موقعیت و مسیر سکو از محوطه‌های باستانی برای اخذ تصویر، پل سید محمد (شکل آ)، تپه ازبکی (شکل ب)

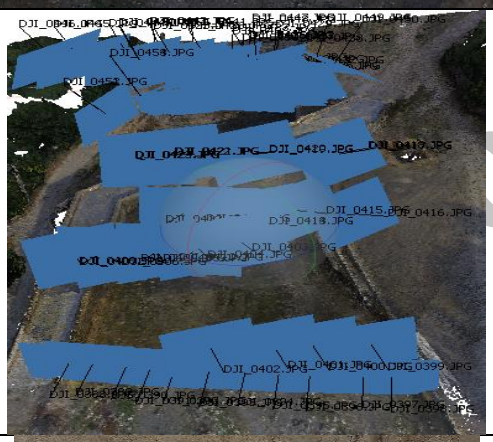
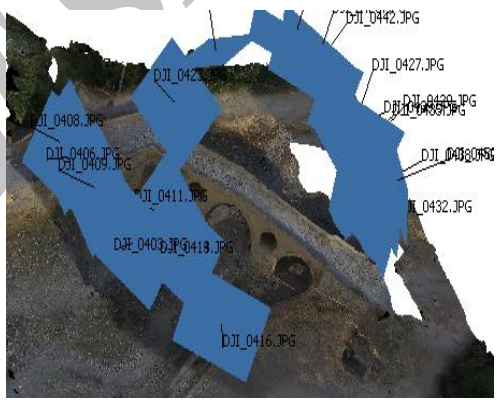
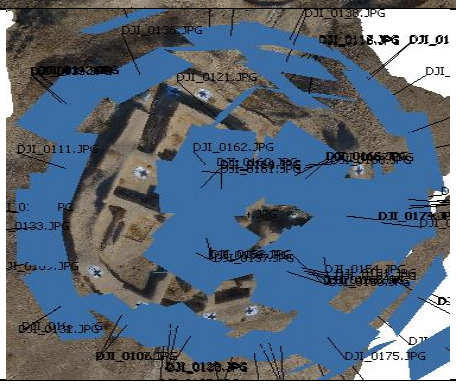
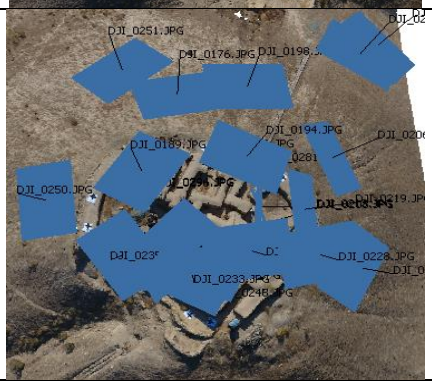
پس از تعیین نقاط بهینه برای قرار گیری سکو به منظور اخذ تصویر از محوطه باستانی به منظور ایجاد مدل سه بعدی از آن، برای به حداقل رساندن زمان پرواز سکو و همچنین عدم برخورد آن با موانع نیازمند طراحی مسیر است. در شکل۱۰

www.SID.ir

موقعیت‌های قرار گیری سکو برای اخذ تصویر از محوطه‌های باستانی و همچنین طراحی مسیر بهینه برای به حداقل رساندن زمان پرواز نشان داده شده است.

در این پژوهش پس از اخذ تصویر با هدف ایجاد مدل سه بعدی از محوطه از نرم افزار Agisoft استفاده شد. نرم افزار Agisoft دانش فتوگرامتری و ماشین بینایی را با هم تلفیق نموده و تا حد زیادی مختص پردازش تصاویر پهپاد مبنا و تصاویر برد کوتاه اخذ شده توسط دوربین‌های غیر متریک است. برای ارزیابی نیز می‌توان از طراحی شبکه بر اساس دانش اولیه یک فرد فتوگرامتریست استفاده کرد و مدل و ابر نقاط بدست آمده از دو روش طراحی شبکه QUAD_IND و طراحی شبکه فرد آماتور و فتوگرامتریست را مورد ارزیابی قرار داد. جدول ۲ نتایج و مدل سه بعدی بدست آمده از محوطه‌های باستانی در دو حالت را نشان می‌دهد.

جدول۲- نتایج بدست آمده در دوحالت طراحی شبکه QUAD_IND و طراحی شبکه آماتور برای دو محوطه باستانی

		طراحی شبکه آماتور	طراحی شبکه QUAD_IND
پل سید محمد	مدل سه بعدی تولید شده منظم به بافت		
	موقعیت قرارگیری ایستگاه‌های تصویر برداری		
تپه ازبکی	مدل سه بعدی تولید شده منظم به بافت		
	موقعیت قرارگیری ایستگاه‌های تصویر برداری		

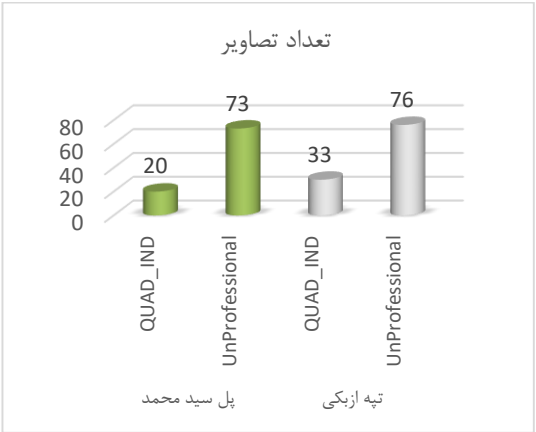
www.SID.ir

با بکار گیری اصول و قیود طراحی شبکه برای تعیین ایستگاههای مناسب سکو همان طور که در جدول ۲ دیده شد تعداد ایستگاه‌های تصویر برداری در مقایسه با پرواز به صورت آماتور کاهش یافته است و در نتیجه زمان ایجاد مدل سه بعدی از محوطه نیز کاهش یافته است. طراحی شبکه آماتور برای ایجاد مدل سه بعدی از پل سید محمد به دلیل ساختار و خصوصیت فیزیکی محوطه به صورت نوارهایی موازی با دیواره‌های محوطه انجام گرفت. همچنین طراحی شبکه آماتور برای محوطه تپه ازبکی نیز به دلیل خصوصیت فیزیکی آن در چهار رینگ حول عارضه در ارتفاع‌های ۷، ۱۴، ۲۶ و ۴۰ متری از سطح محوطه انجام گرفت. جدول ۳ نتایج بدست آمده برای محوطه‌های باستانی طبق طراحی شبکه QUAD_IND و آماتور را نشان می‌دهد.

جدول۳- نتایج بدست آمده از محوطه‌های باستانی

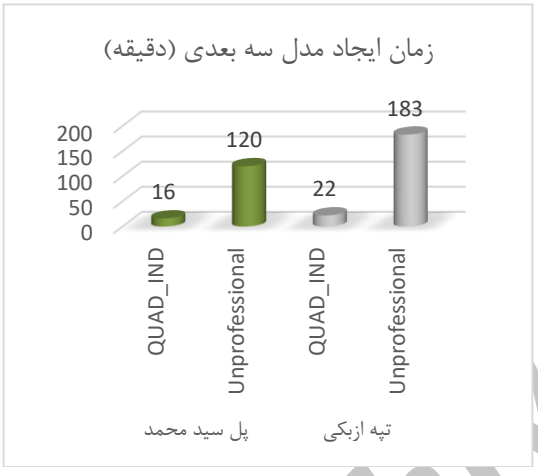
محوطه باستانی	طراحی شبکه QUAD_IND			طراحی شبکه آماتور		
	تعداد تصاویر	تعداد ابر نقاط	زمان ایجاد مدل (دقیقه)	تعداد تصاویر	تعداد ابر نقاط	زمان ایجاد مدل (دقیقه)
پل سید محمد	۲۰	۱۹۶۲۲۲۲	۱۶	۷۳	۳۰۰۴۲۸۲	۱۲۰
تپه ازبکی	۳۳	۲۳۹۷۴۹۴	۲۲	۷۶	۳۰۳۵۰۷۰	۱۸۳

همان طور که از جدول ۳ مشاهده می‌شود با طراحی شبکه مناسب و انتخاب موقعیت مناسب سکوی بدون سرنشین برای اخذ تصاویر می‌توان در یک زمان کمتر به یک مدل کامل رسید. شکل ۱۱ نمودار مقایسه‌ای تعداد تصاویر برای دو محوطه باستانی در دو حالت طراحی شبکه را نشان می‌دهد.



شکل۱۱- نمودار مقایسه‌ای تعداد تصاویر

همان طور که از نمودارها دیده می‌شود تعداد تصاویر در حالت طراحی شبکه QUAD_IND برای محوطه باستانی پل سید محمد تقریباً ۴ برابر کاهش یافته است و همچنین تعداد تصاویر در محوطه باستانی تپه ازبکی در حالت طراحی شبکه QUAD_IND حدوداً ۲ برابر کاهش یافته است. این اختلاف بخاطر طراحی شبکه آماتور است که برای هر محوطه به نسبت خصوصیت معماری و فیزیکی آن و همچنین محیط کاری و موانع موجود در اطراف محوطه طراحی شبکه متفاوتی از سوی فرد فتوگرامتریست انجام گرفته است. نمودار مقایسه‌ای زمان نیز در دو حالت طراحی شبکه QUAD_IND و آماتور در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



شکل۱۲- نمودار مقایسه‌ای زمان ایجاد مدل سه بعدی

زمان ایجاد مدل سه بعدی محوطه باستانی پل سید محمد در حالت طراحی شبکه QUAD_IND نسبت به طراحی شبکه آماتور در نرم افزار Agisoft حدوداً ۸ برابر کاهش یافته است. همچنین ایجاد مدل سه بعدی تپه ازبکی در حالت طراحی شبکه QUAD_IND حدوداً ۸ برابر نسبت به طراحی شبکه فرد فتوگرامتریست کاهش یافته است. پس با توجه به ساختار و خصوصیات فیزیکی محوطه‌های باستانی و همچنین با در نظر گرفتن یک طراحی شبکه مناسب می‌توان با تعداد تصاویر بهینه در یک زمان کمتر به یک مدل سه بعدی از عارضه دست یافت.

۹- نتیجه گیری و پیشنهادها

در این پژوهش برای مدل سازی بهینه و کامل از محوطه‌های باستانی، سیستم‌های فتوگرامتری پهپاد مبنا معرفی گردید. با توجه به محدودیت زمان پرواز به دلیل

Archive of SID

www.SID.ir

کم بودن منبع تغذیه سکو و افزایش حجم داده‌ها که منجر به افزایش هزینه محاسبات از نظر زمانی و پیچیدگی می‌گردد، طراحی شبکه کامل مبتنی بر کاهش بهینه مشاهدات و تعیین بهترین موقعیت قرارگیری سکو، معرفی و پیاده‌سازی گردید. همچنین نتایج پیاده‌سازی‌ها نشان دهنده کاهش زمان محاسبات و کاهش افزونگی بی دلیل مشاهدات است. عملاً با بکارگیری یک روش کارا در طراحی شبکه پیش از پرواز و یا پس از اخذ مشاهدات با افزونگی بالا، می‌توان به شکل بسیار مؤثری به بهبود محاسبات و نتایج در بکارگیری سیستم‌های فتوگرامتری پهپاد مبنا در حوزه مدل سازی و تهیه نقشه‌های سه بعدی از محوطه‌های باستانی دست یافت. نتایج این پژوهش می‌تواند در ناوبری بلادرنگ سیستم‌های فتوگرامتری پهپاد مبنا مبتنی بر اصول طراحی شبکه فتوگرامتری در پروژه‌های مدل سازی مورد استفاده قرار گیرد.

مراجع

[1] Sgrenzaroli, M. Cultural heritage 3D reconstruction using high resolution laser scanner: new frontiers data processing. in CIPA 2005 XX International Symposium. 2005.

[2] Vosselman, G. and S. Dijkman, 3D building model reconstruction from point clouds and ground plans. International archives of photogrammetry remote sensing and spatial information sciences, 2001. 34(3/W4): p. 37-44.

[3] Sauerbier, M., UAV1 Photogrammetry Project Drapham Dzong, Bhutan.

[4] Everaerts, J., The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for remote sensing and mapping. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2008. 37: p. 1187-1192.

[5] Eisenbeiss, H., A mini unmanned aerial vehicle (UAV): system overview and image acquisition. International Archives of Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2004. 36(5/W1).

[6] Haarbrink, R. and H. Eisenbeiss, Accurate DSM production from unmanned helicopter systems. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci :۳۷ .۲۰۰۸ ,p. 1259-1264.

[7] Zhang, C., An UAV-based photogrammetric mapping system for road condition assessment. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci, 2008. 37: p. 627-632.

[8] Bendea, H., et al. Mapping of archaeological areas using a low-cost UAV. The Augusta Bagiennorum test site. in XXI International CIPA Symposium, 01-06 octobre 2007, Athens, Greece. 2007. Citeseer.

[9] Eisenbeiß, H., UAV photogrammetry. 2009: ETH Zurich, Switzerland.:

[10] Grafarend, E.W. and F. Sansò, Optimization and design of geodetic networks. 2012: Springer Science & Business Media.

[11] Fraser, C., Network design considerations for non-topographic photogrammetry. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1984. 50(8): p. 1115-1126.

[12] Fraser, C., Network design. Close range photogrammetry and machine vision, 1996: p. 256-281.

[13] Fritsch, D., et al. Multi-sensors and multiray reconstruction for digital preservation. in Photogrammetric Week. 2011.

[14] Mason, S., Expert system-based design of close-range photogrammetric networks. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 1995. 50(5): p. 13-24.

[15] Saadatseresht, M., Optimum photogrammetric network design based on artificial intelligence concepts. 2005, Ph. D. thesis, University of Tehran, Tehran, Iran. 150 pages (in Farsi).

[16] Hosseininaveh, A., et al., Automatic image selection in photogrammetric multi-view stereo methods. 2012.

[17] Remondino, F., et al., UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling–current status and future perspectives. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2011. 38(1): p. C22.

[18] Hoppe, C., et al. Photogrammetric camera network design for micro aerial vehicles. in Computer vision winter workshop (CVWW). 2012.

[19] Brutto, M.L., A. Garraffa, and P. Meli, UAV platforms for cultural heritage survey: first results. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2014. 5: p. 227-234.

Archive of SID

www.SID.ir

[20] Wang, H., et al., Three-dimensional path planning for unmanned aerial vehicle based on interfered fluid dynamical system. Chinese Journal of Aeronautics, 2015. 28(1): p. 229-239.

[21] Zhang, X. and H. Duan, An improved constrained differential evolution algorithm for unmanned aerial vehicle global route planning. Applied Soft Computing, 2015. 26: p. 270-284.

[22] Devaurs, D., T. Siméon, and J. Cortés. A multi-tree extension of the Transition-based RRT: Application to ordering-and-pathfinding problems in continuous cost spaces. in 2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. 2014. IEEE.

[23] Hosseininaveh, A., Photogrammetric Multi-view Stereo and Imaging Network Design. 2014, University College London.

[24] Chen, S. and Y. Li, Automatic sensor placement for model-based robot vision. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics), 2004. 34(1): p. 393-408.

[25] Dorigo, M., V. Maniezzo, and A. Colorni, Ant system: optimization by a colony of cooperating agents. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics), 1996. 26(1): p. 29-41.

[26] Junjie, P. and W. Dingwei. An ant colony optimization algorithm for multiple travelling salesman problem. in First International Conference on Innovative Computing, Information and Control-Volume I (ICICIC'06). 2006. IEEE.

[27] Ahmadabadian, A.H., et al. Image selection in photogrammetric multi-view stereo methods for metric and complete 3D reconstruction. in SPIE Optical Metrology 2013. 2013. International Society for Optics and Photonics.

[28] Dorigo, M ,.Optimization, learning and natural algorithms. Ph. D. Thesis, Politecnico di Milano, Italy, 1992.

Archive of SID

www.SID.ir