اولین کنفرانس مهندسی فناوری اطلاعات مکانی
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی نقشه‌برداری
۲۹ و ۳۰ دی ماه ۱۳۹۴

The 1st National Conference on Geospatial Information Technology
K.N.Toosi University of Technology
Faculty of Geomatics Engineering
19 - 20 January 2016

طراحی و پیاده سازی شبکه فتوگرامتری پهباد مبنا برای مدلسازی سایت‌های باستانی

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

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۲- دانشیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۳- استادیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۴- دانشجوی دکتری، گروه فتوگرامتری و سنجش از دور ، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

چکیده :

طراحی شبکه یکی از مراحل مهم و کلیدی در انجام همه‌ی پروژه‌های فتوگرامتری برد کوتاه می‌باشد. از سوی دیگر لزوم استفاده از فتوگرامتری پهباد مبنا در مدلسازی سایت‌های میراث فرهنگی غیر قابل تردید است. استفاده از این تکنیک بدون لحاظ کردن اصول طراحی شبکه منجر به پردازش‌های طولانی و غیر ضروری می‌شود. در این مقاله روشی ارائه شده است که به کمک آن با در نظر گرفتن اصول طراحی شبکه فتوگرامتری، از بین تصاویر متعدد اخذ شده توسط پهباد، تصاویر و موقعیت‌های مناسب و بهینه انتخاب می‌گردند. نتایج بدست آمده برای تصاویر اخذ شده از یک سایت میراث فرهنگی نشان داده است که کارایی مدلسازی سه بعدی با استفاده از این روش حدوداً چهار برابر افزایش یافته است.

واژه‌های کلیدی : UAV، سیستم فتوگرامتری پهباد مبنا، طراحی شبکه، مدلسازی سایت‌های باستانی

نویسنده مکاتبه کننده : زهرا همتی
آدرس پستی : تهران خیابان ولیعصر تقاطع میرداماد غربی دانشگاه صنعتی خواجه نصیر، دانشکده نقشه برداری
تلفن : ۰۹۳۳۰۴۴۹۳۰۸
آدرس پست الکترونیک : hemmati8589@yahoo.com

۱- مقدمه

تولید و به کارگیری مدل‌های سه بعدی سایت‌های باستانی با اهداف تحقیقاتی، بازسازی اشیاء تاریخی ارزشمند، ایجاد موزه‌های مجازی و مستندسازی سایت‌های 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 تا بتوان با اضافه کردن دیگر اطلاعات مانند نوع مصالح، کاربری در گذشته و حال و... اطلاعات کاملی از بنا را داشت. بدین منظور بایستی از روش‌هایی برای تهیه نقشه‌ها استفاده کرد که علاوه بر دقت بالا بتوان با صرف کمترین هزینه و زمان به طور مستمر نسبت به تهیه نقشه اقدام نمود و با مقایسه نقشه‌های تهیه شده در بازه‌های مختلف زمانی روند تغییرات ایجاد شده در بنا را شناسایی کرده و تصمیم مناسبی در مقابل آن‌ها اتخاذ نمود. 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[۱, ۲]. از بین این روش‌ها معمولاً روش‌های فتوگرامتری به دلیل اینکه اطلاعاتی از بافت و رنگ عوارض در اختیار کاربر قرار می‌دهد، در مدلسازی سایت‌های باستانی بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. ولی این روش‌ها اغلب 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 و همچنین لزوم صرفه جویی در زمان و هزینه منجر به استفاده از فتوگرامتری پهباد مبنا[1] گردیده است.

فتوگرامتری پهباد مبنا تلفیقی از فتوگرامتری هوایی و فتوگرامتری برد کوتاه است که در آن یک سنسور اخذ داده که می‌تواند دوربین متریک یا غیرمتریک و یا هر وسیله اخذ داده دیگری باشد، بر روی یک وسیله پرواز بدون سرنشین (UAV)[2] نصب شده و از ارتفاع کم داده‌ها اخذ می‌گردند.UAV اصطلاحاً 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 دیده‌بانی، عکسبرداری، نقشه برداری هوایی، مدلسازی ابنیه، فعالیت‌های نظامی و... استفاده نمود. هزینه کم برای ساخت، عدم نیاز به فرودگاه و باند پرواز طولانی، قابلیت مانوربیشتر، امکان استفاده از موتورهای الکتریکی با مزیت عدم نیاز به استفاده از سوخت فسیلی و گران قیمت از پارامترها و ویژگی‌های مهم در استفاده از پرنده‌های بدون سرنشین می‌باشند[۴]. البته محدودیت‌هایی نیز در استفاده از پرنده بدون سرنشین مثل ناپایداری در هنگام پرواز به دلیل سبک بودن وزن و محدودیت حمل سنجنده های بزرگ و دقیق تر و نیاز به زمان بیشتر برای عکسبرداری، پردازش و محاسبات وجود دارد که با یک طراحی شبکه مناسب می‌توان تا حدودی برخی از این محدودیت‌ها را کاهش داد. طراحی شبکه، تعیین موقعیت و وضعیت دوربین برای اخذ تصاویر اضافی به منظور بهبود نواحی ضعیف شبکه است. پس به علت نیاز به دقت بالا در فتوگرامتری پهباد مبنا برای مستندنگاری سایت‌های باستانی، توجه بیشتری به پیکربندی ایستگاهی دوربین یا هندسه شبکه نیاز است تا دقت مورد نظر تأمین گردد.

هدف اصلی این مقاله ارائه روشی مناسب برای انتخاب عکس‌های بهینه از تصاویر اخذ شده توسط UAV می‌باشد که منجر به ایجاد مدل سه بعدی دقیق و بهینه از سایت‌های باستانی می‌گردد. برای رسیدن به این هدف در بخش دوم به مطالعه کارهای انجام شده در این زمینه پرداخته می‌شود. در بخش سوم با علم به کارهای انجام شده در این زمینه روشی جدید برای انتخاب تصاویر بهینه ارائه می‌شود. در بخش چهارم این روش در یک پروژه عملی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و در بخش نهایی نتایج مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

[1] UAV Photogrammetry
[2] Unmanned Arial Vehicle

۲- مروری بر تحقیقات انجام شده

کاربردهای روزافزون فتوگرامتری برد کوتاه نشان دهنده فراگیر بودن آن بعنوان یک روش اندازه گیری دقیق ابعاد و شکل اشیاء سه بعدی بوده است. مهم‌ترین چالش در به کارگیری تکنیک‌های فتوگرامتری برد کوتاه مساله طراحی شبکه می‌باشد. محققان زیادی در حوزه فتوگرامتری بردکوتاه تحقیقات مفیدی را در زمینه طراحی شبکه بردکوتاه بعمل آوردند.

Fraser و همکاران در سالهای ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۶ تحقیقات گسترده ای 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 دادند[۵, ۶]. تحقیقات Fritsch در سال ۱۹۹۰ در زمینه تعیین موقعیت و وضعیت ایستگاه‌های تصویربرداری به منظور اندازه گیری دقیق شکل و ابعاد شئ بوده است [۷]. در سال Mason۱۹۹۵ سیستمی به نام CONSENS[۳] برای طراحی شبکه ایجاد کرد که در این سیستم نیاز به یک مدل CAD از عارضه است [۸]. CONSENS دارای محدودیت‌هایی مانند مقیاس، رزولوشن، زاویه دید، عمق میدان، تعداد و توزیع نقاط، زاویه فرود، نواحی پنهان، فضای کاری و موانع می‌باشد. 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[۹]. در سال ۲۰۱۴ تحقیقات حسینی نوه در زمینه طراحی شبکه منجر به معرفی نرم افزاری به نام IND شد که در راستای بهبود روند انتخاب تصاویر بهینه نسبت به نرم افزار CMVS ارائه گردید. در این روش برای طراحی شبکه نیاز به یک مدل اولیه از عارضه است تا هندسه عارضه را در طراحی در نظر گرفته شود و با اضافه کردن قیود زاویه دید، مقیاس، رزولوشن، قدرت تفکیک و... به مدل کامل و دقیق رسید[۱۰].

پیش فرض اغلب روش‌های طراحی شبکه‌های فتوگرامتری بردکوتاه در دسترس بودن مدل تقریبی شبیه سازی سه بعدی شئ و محیط اطراف آن می‌باشد تا به کمک آن از یک سو مساله قابلیت دید تارگتها قابل تحلیل بوده و از سوی دیگر به عنوان اطلاعات اولیه در فرایند طراحی به کار گرفته شود. با توجه به اینکه در اکثر کاربردها اطلاعات بهنگام جهت شبیه سازی شئ و محیط مربوطه در دسترس نیست، از فتوگرامتری پهباد مبنا برای حل این مشکل استفاده می‌شود. در گذشته توسعه سیستم‌های UAV و سیستم عامل آن اغلب کاربرد نظامی داشت و برای نظارت و شناسایی مناطق دشمن بکار می‌رفت. اولین تجربه ژئوماتیک در پایان دهه ۷۰ میلادی توسط Przybilla و همکارانش بدست آمد و با بهبود سیستم عامل‌ها و نرم افزارهای کاربردی گسترش یافت[۱۱]. در سال‌های اخیر تحقیقات گسترده ای در زمینه طراحی و ساخت هواپیمای بدون سرنشین در گروه‌های مختلف در کشور انجام پذیرفته است با این وجود عملاً این فعالیت‌ها در زمینه فتوگرامتری بر مبنای هواپیمای بدون سرنشین نبوده است. اغلب تحقیقات موجود در این زمینه مربوط به مراکز تحقیقاتی خارج از کشور می‌باشد که البته مواردی مرتبط با موضوع نیز طی سالهای اخیر در کشور وجود داشته که در ادامه برخی از آن ارائه می‌گردد.

رمضانی در سال ۱۳۹۰ شمسی در پایان نامه خود امکان سنجی استفاده از وسایل پرواز بدون سرنشین و دوربین‌های غیرمتریک در تولید نقشه‌های بزرگ مقیاس را مورد بررسی قرار داده است و با استفاده از یک سکوی پرنده بال ثابت کوادرا و یک دوربین کوچک اقدام به جمع آوری و تهیه اطلاعات سه بعدی سطح زمین با مقیاس ۱:۵۰۰ و با دقت استاندارد از یک منطقه بسیار کوچک نموده است. نورمحمد، سعادت سرشت و فدوی در سال ۱۳۹۱ شمسی ارزیابی تأثیر کالیبراسیون دوربین غیرمتریک در مثلث بندی هوایی تصاویر UAV را مورد بررسی قرار داده‌اند و با توجه به اینکه در اغلب پرنده‌های بدون سرنشین فتوگرامتری سایز کوچک، از دوربین‌های غیرمتریک استفاده می‌گردد، میزان خطاهای سیستماتیک این دوربین‌ها معمولاً روی نتایج مثلث بندی تاثیرگذار است.

[3] CONfiguration of SENSors

Henri Eisenbeib و همکاران در Zurich سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۹ میلادی با استفاده از انواع سکوهای پرنده بدون سرنشین و نصب انواع سنجنده‌ها محصولات متنوعی را در حوزه فتوگرامتری کلاسیک، فتوگرامتری بردکوتاه و صنعتی تهیه نمود[۱۲]. وی همچنین در سال ۲۰۰۹ به کاربردهایی از فتوگرامتری UAV مانند نقشه برداری توپوگرافی در مقیاس بزرگ و ایجاد مدل سه بعدی از عوارض روی زمین دست یافت. Haabrink & E.Koers در سال ۲۰۰۶ میلادی با استفاده از یک سکوی پرنده بدون سرنشین (Geocopter) و نصب یک دوربین رقومی اقدام به تهیه ارتوفتو با دقت یک سانتی متر نموده است و در تحقیق خود روی قابلیت بالای سکوی پرنده بدون سرنشین بال ثابت برای کاربردهای فتوگرامتری تاکید نموده است[۱۳]. Chunsun Zhang در امریکا در سال 2008 با استفاده از یک سری عمود پرواز فتوگرامتری مجهز به سیستم تعیین موقعیت، وضعیت و ناوبری خودکار، انواع مدل‌های سه بعدی را برای ارزیابی مراحل مختلف ساخت یک جاده تهیه نموده است[۱۴]. در سال Horea Bendea 2007 و همکارانش در ایتالیا با استفاده از یک هواپیمای بدون سرنشین فتوگرامتری ارزان قیمت، کارایی این سامانه را با قابلیت واکنش سریع در حوادث طبیعی مثل سیل، زلزله و حوادث انسانی برای جمع آوری و تولید نقشه‌های سه بعدی و موضوعی با دقت و کیفیت بالا به اثبات رسانید[۱۵]. Federico Cosentino با همکاری مجتمع هوایی آرژانتین سال ۲۰۰۹ با استفاده از یک هواپیمای بدون سرنشین یک سامانه هوایی فتوگرامتری را با هدف اخذ اطلاعات و تولید نقشه‌های عکسی قائم و نقشه‌های برداری سه بعدی توسعه داده است. در سال ۲۰۱۰ Remondio با استفاده از UAV توانست مدل سه بعدی از منطقه میراث فرهنگی Pava واقع در ایتالیا را ایجاد کند[۱۶]. نداشتن یک برنامه ریزی مناسب برای پرواز و نداشتن شبکه مستحکم برای تصویر برداری از محدودیت‌هایی بود که Remondio با آن مواجه بود. Hoppe در سال ۲۰۱۲ برای اینکه یک سری داده کامل از عارضه بدست بیاورد و مدل بدست آمده از عارضه محدودیت و نواقص کمتری داشته باشد، به طراحی نحوه‌ی قرار گیری موقعیت بهینه دوربین پرداخت و توانست با کاهش تعداد تصاویر به دقت مورد نظر برای مدلسازی برسد[۱۷]. در سال ۲۰۱۴ Brutto و Garraffa و Meli از هواپیمای بدون سرنشین برای نقشه برداری میراث فرهنگی استفاده کردند[۱۸].

همان طور که بیان شد UAV ها به غیر از کاربرد نظامی در اکثر زمینه‌ها بخصوص ژئوماتیک مورد استفاده قرار می‌گیرند و بسته به نوع کاربردشان انواع مختلفی از آن‌ها طراحی گردیده است. با استفاده از UAV محدودیت دید از عارضه حذف شده و با برطرف شدن این محدودیت می‌توان یک طراحی شبکه مناسب برای رسیدن به یک مدل کامل و دقیق از عارضه انجام داد. سه استراتژی طراحی کلی شبکه با داشتن یک مدل اولیه از عارضه، بهبود تدریجی شبکه تصویربرداری اولیه، خوشه بندی و انتخاب بهترین تصاویر از بین تصاویر اخذ شده برای طراحی شبکه فتوگرامتری وجود دارد که با توجه به نوع عارضه و دقت مورد نیاز برای ایجاد مدل می‌توان از آن‌ها استفاده کرد. بر اساس مطالعات انجام شده پرکاربردترین روش‌های معرفی شده جهت طراحی شبکه، روش‌های IND، CMVS می‌باشند. روش CMVS دارای محدودیت‌هایی است از جمله محدودیت‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

نواحی پنهان به خوبی پوشش داده نمی‌شود و قید فضای کاری در آن اعمال نشده است. دقت بالایی که در فتوگرامتری مورد نیاز است در این روش تأمین نمی‌شود. فاصله و موقعیت بهینه برای قرارگیری دوربین در نظر گرفته نمی‌شود. از بین الگوریتم‌های توسعه داده شده برای طراحی شبکه UAV می‌توان گفت که IND نسبت به CMVS دارای برتری است. در ادامه جزئیات الگوریتم مورد استفاده و ارزیابی‌های انجام شده تشریح می‌گردند.

۳- معرفی روش پیشنهادی تحقیق

در این پژوهش برای انتخاب تصاویر بهینه از بین تصاویر اخذ شده توسط UAV از یک روش طراحی شبکه توسعه داده شده در نرم افزار IND استفاده شده است. ساختار الگوریتم مورد استفاده در این روش در ادامه تشریح می‌گردد.

نرم افزار IND برای طراحی شبکه فتوگرامتری استفاده می‌شود، و در آن سعی شده است به یک طراحی کامل از شبکه فتوگرامتری رسید. در کامپیوتر ویژن برای انتخاب تصاویر بهینه اصولاً از روش مبتنی بر قیود نرمال استفاده می‌شود و در فتوگرامتری برد کوتاه از قیودی مانند قید فضای کاری، مقیاس، عمق میدان، روشنایی و... استفاده می‌گردد. تلفیق این دو روش که برای بالا بردن دقت و رسیدن به مدل کامل‌تر از عارضه است باعث ایجاد نرم افزاری به نام IND شد. گام‌های الگوریتم بدین صورت می‌باشد، اولین قدم ایجاد یک مدل اولیه از عارضه است که بصورت سریع و با هزینه کم از طریق کینکت[4] و یا SFM ایجاد شده است. مرحله بعد برازش یک بیضی به مدل اولیه است تا از طریق آن بتوان فاصله بهینه و ماتریس visibility را بدست آورد. ماتریس visibility موقعیت‌های بهینه را با در نظر گرفتن قیود زاویه دید، قدرت تفکیک، زاویه فرود و... تعیین می‌کند و نهایتاً بهترین موقعیت دوربین و فاصله بهینه با استفاده از قیود طراحی شبکه بدست می‌آید[۱۰].

۴-منطقه مطالعاتی و داده های مورد استفاده

سایت باستانی مورد مطالعه در این پژوهش که بدلیل موقعیت مکانی و خصوصیت معماری انتخاب شد، ابنیه باستانی کاخ ملت واقع در کاخ سعد آباد می‌باشد. انجام مشاهدات در قالب تصویر برداری از عارضه طی دو مرحله انجام پذیرفت. تصاویری که با استفاده از فتوگرامتری برد کوتاه اخذ شد و همچنین تصاویری که با استفاده از پهباد فانتوم ۲ اخذ گردید. تصاویر اخذ شده از فانتوم ۲ دارای ابعاد ۳۲۸۸*۴۳۸۴ پیکسل است که در شکل ۱ نمونه ای از تصاویر دیده می شود.

شکل ۱: تصویر اخذشده توسط پهباد فانتوم ۲ (سمت راست)، تصویر اخذ شده توسط فتوگرامتری برد کوتاه(سمت چپ)

۵- پیاده سازی و نتایج تحقیق

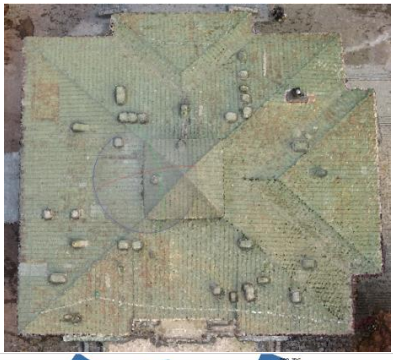
بر اساس پیاده سازی های انجام شده در این پژوهش، با ورود سیستم‌های UAV مدلسازی از سایت‌های باستانی را می‌توان در دو گام اصلی انجام داد. مرحله اول مدلسازی دیواره‌های سایت باستانی که با استفاده از روش‌های معمول فتوگرامتری برد کوتاه در قالب یک شبکه همگرا حول عارضه انجام می‌گیرد و مرحله بعد مدلسازی از سقف سایت باستانی است که با استفاده از روش‌های فتوگرامتری پهباد مبنا صورت می‌گیرد. گستردگی سایت‌های باستانی و نیاز به افزایش مشاهدات جهت دستیابی به پوشش مناسب و دقت بالا در مدلسازی مناطق پنهان یا نواحی با جزئیات بالا، اغلب منجر به اخذ تعداد زیادی تصویر اضافی جهت اطمینان از پوشش عارضه می‌گردد. نتیجه این موضوع افزایش هزینه محاسبات از لحاظ زمان، حجم و پیچیدگی است. در حالی که با یک طراحی شبکه مناسب و انتخاب تصاویر بهینه از بین تصاویر اخذ شده می توان در یک زمان کمتر با تعداد مشاهدات بهینه به یک مدل کامل رسید. برای بررسی این موضوع در این پژوهش همانطور که بیان شد توسط یک الگوریتم بهینه سازی طراحی شبکه معرفی شده، پس از اخذ مجموعه مشاهدات با افزونگی بالا، تعداد و تصاویر مناسب اخذ شده از بین مجموعه تصاویر انتخاب

[4] kinect

می‌گردند. تصاویر اخذ شده به طور جداگانه برای ایجاد مدل سه بعـدی در نـرم افـزار AGISOFT بکـار گرفتـه شـده و نهایتاً مدل سه بعدی مطابق شکل ۲ تولید گردیده است.

شکل ۲: مدل بدست آمده از تصاویر فتوگرامتری برد کوتاه (سمت راست) و مدل بدست آمده از تصاویر فتوگرامتری پهباد مبنا (سمت چپ).

همان طور که از مدل‌های بدست آمده در شکل ۲ مشاهده می‌شود فتوگرامتری برد کوتاه در ایجاد مدل کامل از عارضه دچار محدودیت است که با استفاده از فتوگرامتری پهباد مبنا این مشکل برطرف می‌گردد. با یک طراحی شبکه مناسب برای فتوگرامتری پهباد مبنا با استفاده از نرم افزار IND می‌توان تصاویر بهینه را از بین تمام تصاویر اخـذ شـده بدسـت آورد و در نتیجه ضمن کاهش بار محاسباتی و زمانی پروژه نهایتاً به مـدل مناسـبی دسـت یافـت. شـکل ۳ نتـایج ایـن پژوهش را نشان می‌دهد.

	بدون در نظر گرفتن طراحی شبکه	با در نظر گرفتن طراحی شبکه
مدل ایجاد شده در AGISOFT		
موقعیت قرارگیـری ایستگاه های تصویر برداری		
تعداد تصاویر	۸۰	۲۶
تعداد ابر نقاط	۶۰۱۴۴۵	۵۱۶۵۱۵
زمان انجام فرآیند (ثانیه)	۲۱۰	۶۰

شکل ۳: نتایج بدست آمده از نرم افزار AGISOFT در دوحالت استفاده از IND و بدون استفاده از IND

همان طور که از جدول مشاهده می‌شود با طراحی شبکه مناسب و انتخاب تصاویر بهینه از بین تصاویر اخذ شده می‌توان در یک زمان کمتر به یک مدل کامل رسید.

۶- نتیجه گیری و پیشنهادات

در این پژوهش جهت مدل سازی بهینه از سایت‌های باستانی، یک روش ترکیبی از به‌کارگیری یک سیستم فتوگرامتری زمینی حول عارضه و یک سیستم فتوگرامتری پهباد مبنا معرفی گردید. با توجه به ترکیب دو مجموعه مشاهدات فتوگرامتری و افزایش حجم داده‌ها که منجر به افزایش هزینه محاسبات از نظر زمانی و پیچیدگی می‌گردد، یک روش طراحی شبکه مبتنی بر کاهش بهینه مشاهدات و انتخاب بهترین تصاویر، معرفی و پیاده سازی گردید. همچنین نتایج پیاده‌سازی‌ها نشان دهنده کاهش زمان محاسبات و کاهش افزونگی بی دلیل مشاهدات است. عملاً با به کارگیری 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 به کار گیری سیستم‌های فتوگرامتری پهباد مبنا در حوزه مدل سازی و تهیه نقشه‌های سه بعدی از سایت‌های باستانی دست یافت. نتایج این پژوهش می‌تواند در ناوبری بلادرنگ سیستم‌های فتوگرامتری پهباد مبنا مبتنی بر اصول طراحی شبکه فتوگرامتری در پروژه‌های مدل سازی مورد استفاده قرار گیرد. به عنوان کارهای آینده پیشنهاد می گردد که یک طراحی شبکه قبل از تصویربرداری صورت گیرد و نهایتاً موقعیت‌های بهینه قرارگیری دوربین تعیین گردد تا بار محاسباتی، زمان و هزینه به حداقل ممکن برسد.

مراجع

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

[۲] G. Vosselman and S. Dijkman, "3D building model reconstruction from point clouds and ground plans," *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 34, pp. 37-44, 2001.

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

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

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

[۶] C. Fraser, "Network design considerations for non-topographic photogrammetry," *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 50, pp. ۱۱۱.۱۹۸۴ ,۱۱۲۶-۵

[۷] C. Fraser, "Network design," *Close range photogrammetry and machine vision*, pp. 256-281, 1996.

[۸] A. Grün, Z. Zhang, and H. Eisenbeiss, "UAV photogrammetry in remote areas–3D modeling of Drapham Dzong, Bhutan," *ISPRS–Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inform. Sci*, vol. 39, p. B1, 2012.

[۹] D. Fritsch, A. M. Khosravani, A. Cefalu, and K. Wenzel, "Multi-sensors and multiray reconstruction for digital preservation," in *Photogrammetric Week*, 2011.

[۱۰] S. Mason, "Expert system-based design of close-range photogrammetric networks," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 50, pp. 13-24, 1995.

[۱۱] A. Hosseininaveh, M. Serpico, S. Robson, M. Hess, J. Boehm, I. Pridden, *et al.*, "Automatic image selection in photogrammetric multi-view stereo methods," 2012.

[۱۲] H. Przybilla and W. Wester-Ebbinghaus, "BILDFLUG MIT FER-• NGELENKTEM KLEINFLUGZEUG. BILDMESSUNG UND LUFTBILDWESEN. ZEITSCHRIFT FUER PHOTOGRAMMETRIE UND FERNERKUNDUNG," ed: HERBERT WICHMAN VERLAG, KARLSRUHE, GERMANY, 1979.

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

[۱۴] R. Haarbrink and H. Eisenbeiss" ,Accurate DSM production from unmanned helicopter systems," *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci*, vol. 37, pp. 1259-1264, 2008.

[۱۵] C. Zhang, "An UAV-based photogrammetric mapping system for road condition assessment," *Int. Arch. Photogramm .Remote Sens. Spatial Inf. Sci*, vol. 37, pp. 627-632, 2008.

[۱۶] H. Bendea, F. Chiabrando, F. Giulio Tonolo, and D. Marenchino, "Mapping of archaeological areas using a low-cost UAV. The Augusta Bagiennorum test site," in *XXI International CIPA Symposium* , ۰۱-۰۶*octobre 2007, Athens, Greece*, 2007.

[۱۷] F. Remondino, L. Barazzetti, F. Nex, M. Scaioni, and D. Sarazzi, "UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling–current status and future perspectives," *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 38, p. C22, 2011.

[۱۸] C. Hoppe, A. Wendel, S. Zollmann, K. Pirker, A. Irschara, H. Bischof, *et al.*, "Photogrammetric camera network design for micro aerial vehicles," in *Computer vision winter workshop (CVWW* ,۲۰۱۲ ,(pp. 1-3.

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

ABSTRACT:

Net work design is one of the key steps in carrying out all the projects close range photogrammetry. One the other hand the use of photogrammetry is unmistakable drone base in modeling of cultural heritage sites. Using this technique without regard to the principles of network design leads to long processing is unnecessary. In this paper a method is prouded in which the network is designed keeping in mind the principles of photogrammetry from multiple images taken by drones images and optimum fit and selected positions.the results for images taken from a site of cultural heritage has shown that the efficiency of 3D modeling using this method increased about four times.