کاربرد فتوگرامتری رقومی فواصل نزدیک در یک پروژه کشتی‌سازی

تهیه و نگارش : Dr. Hans-Gerd Mass Thomas-Kersten
از انستیتو ژئودزی و فتوگرامتری ETH-Hönggerberg
مترجم : مهندس عباسعلی صالح‌آبادی

پیشگفتار

سیستمهای اتوماتیک یا نیمه‌اتوماتیک فتوگرامتری رقومی فواصل نزدیک یکی از ابزار دقیق و کارآمد برای اکثر اندازه‌گیریها در تولیدات صنعتی می‌باشد.

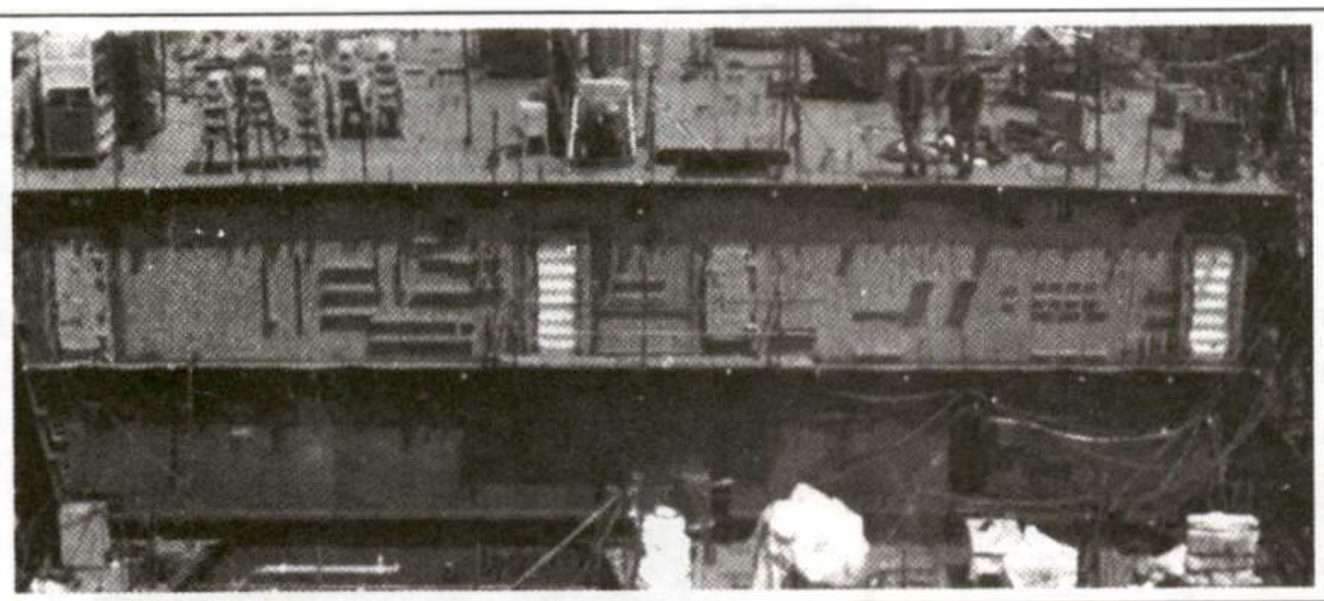
این مقاله تجربیات و نتایج مطالعات راهبردی برروی یک پروژهٔ فتوگرامتری رقومی فواصل نزدیک در فرآیند تولید را کارشناسی کرده و نشان می‌دهد. این نتایج مربوط به کاربرد این تکنیک در تولید و کنترل کیفیت اجرا شده در یک کارخانه کشتی‌سازی آمریکای شمالی است.

مقاله حاضر، نتیجه یکی از پنج بررسی و مطالعه راهبردی اجرا شده توسط انستیتو ژئودزی و فتوگرامتری[۲]، ETH زوریخ، در یک کارگاه کشتی‌سازی به نام (BIW)[۳] در ایالت Maine آمریکا را نمایش می‌دهد.

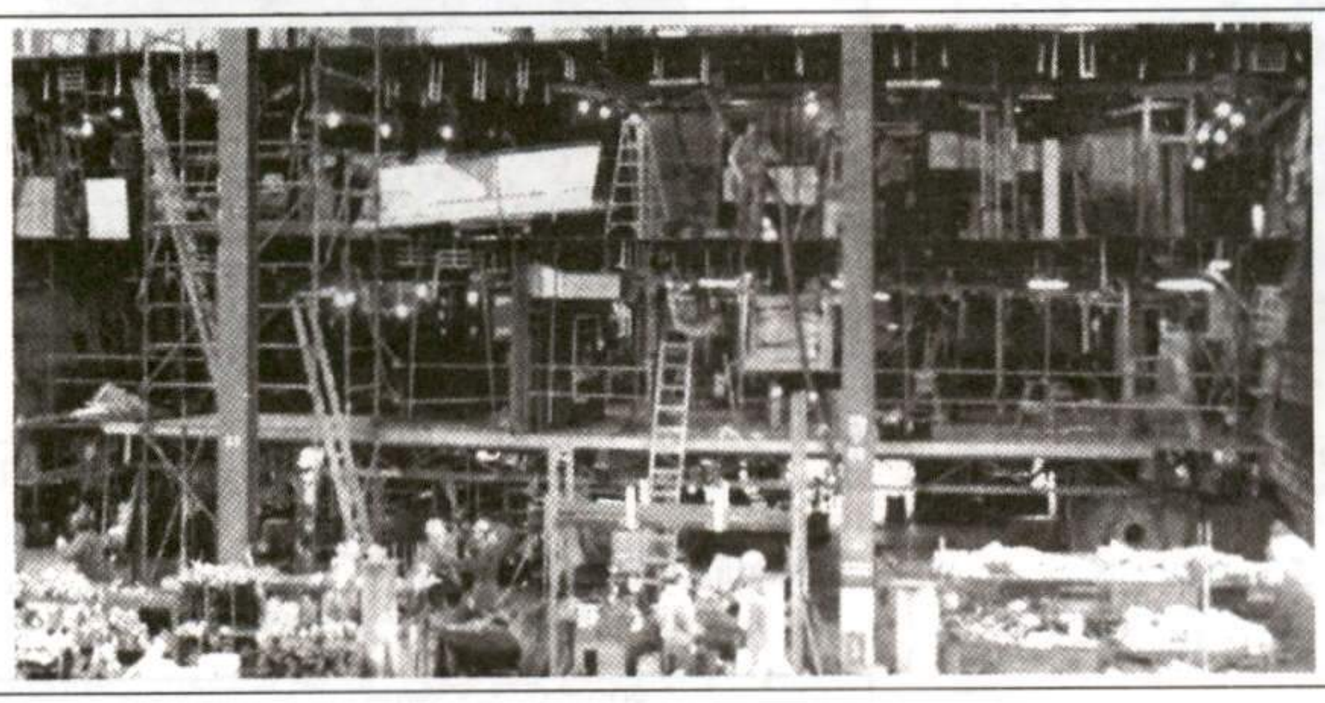
هدف از این بررسیها و مطالعات کارشناسی در واقع یک ارزیابی دقیق از اجرای سیستمهای مدرن فتوگرامتری رقومی در امر اندازه‌گیری وقایعی می‌باشد که در طول مراحل تولید و کنترل کیفیّت آن ها در یک کارگاه کشتی‌سازی رخ می‌دهد.

پروژه ارائه شده در اینجا کنترل ابعادی از قسمتهای مختلف بدنه یک کشتی قبل از نصب و ساخت نهایی است. در کارگاه BIW قسمتهای مختلف بدنه به ابعاد اسمی ۱۲ متر× ۲۵ متر× ۲۵ متر و به وزن چند صد تن برروی همدیگر قرار گرفته و سپس آنها را به طور مجزا آماده و برروی همدیگر سوار می‌نمایند، و نهایتاً آنها را در داخل قسمتی از بدنه کامل شده کشتی، واقع شده در لنگرگاه ساختمانی به طور کامل نصب می‌نمایند.

این روش نصب و انطباق قطعات با یکدیگر در ساخت کشتی، معمولاً به واسطهٔ آزادی عمل منجر به افزایش هزینه مالی می‌شود.



نگارهٔ (۱)



نگارهٔ (۲)

کنترل ابعاد

نگارهٔ ۲ ارتباط یک قسمت ساخته شده از بدنه کشتی که باید در داخل بدنه تقریباً کامل شده کشتی واقع برروی لنگرگاه ساختمانی (به نگارهٔ ۱ رجوع شود) واقع شود، را نشان می‌دهد.

در فرآیند متداول مراحل تولید در کارگاه BIW، کنترل ابعاد در هنگام نصب نهایی اجراء می‌شود. انحراف از این فرآیند باعث ایجاد ضایعات و گرانی قیمت می‌گردد. وظیفه یک سیستم اندازه‌گیری آن است که مراحل این فرآیند و روش را کوتاهتر نماید و این عمل به وسیله کنترل ابعاد در طول مراحل تولید و قبل از ساخت نهایی کشتی امکان پذیر می‌باشد. این وظیفه می‌تواند محدود به تعیین مختصات سه بعدی ۲۰ الی ۵۰ نقطه برروی رابطهای قائم و تعدادی نقاط اضافی برروی رابطهای افقی شود که به آسانی می‌توانند به داخل یک سیستم مختصات مشترک انتقال داده شوند. برای بررسیهای ناوبری این نقاط توسط شاخصهای منعکس کننده نشانه‌گذاری می‌شوند، تعدادی از آنها را می‌توان در نگارهٔ ۱ مشاهده نمود. بایستی توجّه نمود که دسترسی به داده‌ها تحت شرایط سطح تراز از کارخانه صورت می‌پذیرد، یک مانع در خط تولید حتّی برای چند دقیقه نیز خارج از خواست ما می‌باشد. بدان معنی که، علیرغم مزایای فتوگرامتری رقومی در هنگام جمع‌آوری داده‌ها، می‌توان کسب داده‌ها از اجسام در زمان کوتاه و کاربرد مستقیم آنها را نام برد. با این حال ما ناچار هستیم که شاهد تأثیراتی همچون ارتعاشات و نورهای مزاحم مشعل جوشکاری و گرادیانت یا مؤلفه قائم درجه حرارت و حتی انسداد موقتی و جزئی هدف‌نشانه‌ها[۴] باشیم. پیچیدگی و ابهام در امر سوار نمودن قطعات و هر نوع شرط دیگری جهت بهبود وضعیت فوق غیرممکن می‌باشد. به علاوه محدودیتهای ویژه دیگری به ساختار ترکیبی شبکه افزوده شده، که بسیار دور از حالت ایده‌آل می‌باشند.

یک دوربین (عکاسی - ویدیویی) با قدرت تفکیک بسیار بالا از نوع دوربین Kodak مدل DCS200mi از یک عکاسی محلی جهت تصویربرداری اجاره شد. و به جهت پردازش داده‌ها به وسیله نرم‌افزار تهیه شده در IGP برروی ایستگاه (Sun sparc Station) به واسطه اکتساب کوتاه مدّت داده‌ها و پردازش سریع داده‌ها به یک سیستم فتوگرامتری رقومی نیازمند بودیم. دوربین عکاسی ویدیوئی مورد نظر به خوبی به عنوان یک سیستم تهیه تصویر رقومی نسبتاً ارزان، خودکار و قابل تغییر و تطبیق با شرایط پروژه کارآیی خودش را نشان داد.

دستگاه DCS200mi (به نگارهٔ ۳ رجوع گردد) یک دوربین معمولی با منعکس کننده آینه‌ای است که مدل Nikon, 8008 S می‌باشد. این دوربین مجهّز به یک سنسور Kodak CCD با بالاترین قدرت تفکیک در زمینه تصویربرداری مسطّح است.

نگارهٔ (۳)

جدول ۱ : داده‌های تکنیکی دوربین Kodak DCS200mi

بدنه دوربین	Nikon مدل 8008 S
سنجنده	CCD تمام‌فرم ۱۵۲۴×۱۰۱۲
	۹/۳میلی‌متر×۱۴میلیمتر
	سیاه وسفید
متوقّف کننده فرم دوربین	در بدنه دوربین
ظرفیّت	۵۰ تصویر، متراکم‌نشده،برروی Hard disk دربدنه دوربین
رابط	پرت SCSI
نرم افزار	Adobe photoshop (Mac)
	Photostyler (PC)
وزن	۱/۷ کیلوگرم
فراهم کننده انرژی برق	برق متناوب به همراه Adapter ,Charger
عدسیها	Nikon bayonet

Hard disk معین شده در دستگاه دارای توانایی ذخیره‌سازی پنجاه تصویر غیرمتراکم است. این تصاویر می‌تواند از طریق رابطه SCSI به سیستمهای دیگر تبدیل شود. از طرف دیگر بسیاری از دوربینهای CCD مرسوم به یک مولّد برق خارجی و به یک سری کامپیوتر جهت کنترل دوربین و تهیه کننده A/D و ذخیره ساز تصویر نیازمند می‌باشند.

دستگاه DCS 200 mi می‌تواند به عنوان یک سیستم تصویربرداری رقومی کاملاً خودکار تلقّی شود. این واقعیّت و قیمت نسبتاً ارزان آن (تقریباً به قیمت ۱۰،۰۰۰ دلار) دستگاه فوق را به یک دوربین همگانی برای انجام فتوگرامتر رقومی به روش فواصل نزدیک تبدیل نموده است. این ویژگی همگانی شدن دوربین مورد نظر موجب استفاده فراوان آن در زمینه‌های صنعتی و فتوگرامتری معماری شده است.

در طرح نهایی بررسیهای ناوبری فقط نقاط منفرد و جداگانه‌ای که به وسیله هدف نشانه‌های منعکس کننده نشانه‌گذاری شده بودند اندازه‌گیری می‌شوند. به واسطهٔ پیچیدگی شکل قسمتهای مختلف جسم و محدودیتها و موانع فراوان در امر بهینه[5] نمودن موقعیّت مکانهای روشن و آشکار، تکنیک Edge-Based در نظر گرفته نشده است. هدف نشانه‌های منعکس کننده نیازمند به داشتن یک منبع نور (نقطه نورانی) در نزدیکی محور دیدگانی دوربین هستند. زیرا که نور را به صورت یک مخروط باریک در اطراف مسیر انتشارش، ضایع می‌سازند. به طوری که نورهای دایره‌ای شکل که اغلب برای این منظور استفاده می‌شوند، برای بررسیهای ناوبری مورد قبول نمی‌باشند. یک دستگاه فلاش نوری استاندارد و قابل اتّصال برای این منظور استفاده می‌شود که به خوبی می‌تواند این کار را انجام دهد. ترکیب سیستمی که جهت پردازش داده‌ها استفاده شده است در نگارهٔ ۴ نمایش داده شده است.

کارشناسان فتوگرامتری با توجّه به کاربردهای متعدّد فتوگرامتری رقومی طی سالهای اخیر با اکثر تکنیکهای موجود در نمونه‌های نرم‌افزاری مختلف آشنا می‌باشند. قاطعیّت و تلاش سخت جهت یک سیستم قابل انعطافی که به راحتی برای یک کارشناس غیرفتوگرامتری نیز دارای قابلیّت کاربرد و استفاده باشد، در نتیجه ترکیب نمونه‌های نرم‌افزاری مجزّا تحت یک رابط حاصل می‌شود که می‌تواند کاربرد تکنیکهای موجود را برای آنها آسانتر نماید. چندین مرحله خودکار را در فرآیند اندازه‌گیریها می‌توان تشخیص داد،که شامل کشف و تشخیص شاخصها و نشانه‌ها، تعیین مختصات تصویر، تشکیل روابط ریاضی و حلّ اشتباهات می‌باشد. تعدادی از تکنیکها به طور خودکار مختصّات تصویر، نشانه‌های علامت‌گذاری شده، جفت و جور نمودن مدلهای مشابه اجرائیات ناقص و بیضی، و یا اجرائیات مرکزی، یا دیگر تکنیکهای مبنایی منطقه‌ای و مبنایی لبه‌ای موجود را تعیین می‌نماید. انتخاب اجرا مناسب وابسته به اندازه شاخصها و نشانه‌ها، وضعیّت کنتراست در جسم و تأثیر روشنایی آن می‌باشد. معمولاً این گونه اجرائیات قصد دارند تا به دقّتهای $\frac{1}{20}$ الی $\frac{1}{50}$ Pixel در فضای تصویر نایل شوند که بسیار مناسبتر از اندازه‌گیریهای دستی در صفحه تصویر می‌باشند. کشف خودکار نشانه‌های علامت‌گذاری شده اگر چنانچه مقادیر تقریبی خوبی مورد قبول نباشند موجب سوأل انگیز شدن مسائل می‌گردد. از طرفی نمی‌توان از پراکندگی منبع نور و انعکاسات موجود در فضای اجسام اجتناب ورزید.

اگرچه کاربرد نشانه‌ها و شاخصهای منعکس کننده به تصویر اجازه می‌دهند تا در یک دایره بسیار کوچک قرار بگیرد، و اساساً زمانهای بسیار کوتاه روشن و خاموش شدن شاخصهای نشانه‌گذاری شده روشن همراه با

نمونه‌های نرم‌افزاری

- پردازش تصویر
- کشف و اندازه‌گیری نقاط نشانه
- برقراری تطابق
- سرشکنی تحلیلی بوسیله کالیبراسیون داخلی
- انتقال مختصات

رابط استفاده‌کننده

- عملکردهای داخلی
- نمایشگرخطی و بُرداری
- پارامترهای تصحیح

داده‌های خروجی

- بصورت نمایشی و مشاهداتی
- بصورت فرمت نرم‌افزار CAD

نگارهٔ (۴) سیستم پردازش داده‌ها

زمینه تاریک آستانه مانند آنان نمی‌تواند نتایج رضایت‌بخشی را نشان دهد. ایده امیدبخش در این قضیه مقایسه و کاهش تصاویر گرفته شده با Flash و بدون آن می‌باشد که به هر حال لازمه آن گرفتن تصاویر با یک دوربین ثابت واقع برروی سه‌پایه است.

مطابقت چندین تصویر در سیستمهای فتوگرامتری فواصل نزدیک به طور دستی اجرا می‌شود، مگر آن که مقادیر تقریبی خوبی برای مختصّات شیء ارائه شده باشند. یک کاهش قابل ملاحظه از فعل و انفعالات داخلی مورد لزوم، می‌تواند توسّط روش تقاطع خطوط قبلی[۶] حاصل شود. در متد نهایی سرشکن دسته شعاعهای تشکیل دهنده تصویر[۷] کشف و متمرکز نمودن اشتباهات همراه با پارامترهای کالیبراسیون مربوطه موجود می‌باشد.

نهایتاً سیستمهای خودکار در زمینه کاربردهای خاّص فتوگرامتری رقومی فواصل نزدیک طی سالهای اخیر به بازار عرضه شده‌اند. یک روند خودکار این سیستم دراین‌جا نشان داده شده است، به‌هرحال به نظر می‌رسد که در عمل کاربرد سیستم خودکار، امری غیرممکن باشد، حتّی اگر کارآیی و انعطاف سیستم تضمین شده باشد و یا این که اصولاً مجبور باشیم از هر نوع تأثیر شدید بر فرآیند تولید اجتناب ورزیم. لذا در حالت فعلی دو مرحله از سیستم پردازش نیمه خودکار بکار برده می‌شود، به این صورت که استفاده کننده به‌منظور انجام یک توجیه تقریبی ۴ الی ۶ نقطه کنترل به طور مکانیکی و دستی در تصویر تعیین می‌کند سپس آن نقطه کنترلی که باید حداقل در یکی از تصاویر اندازه‌گیری شود، مشخّص می‌نماید. بنابراین بقیه نقاط کنترل می‌توانند از طریق تقاطع قطبی یا تصویر نمایی مجدد[۸] کشف شوند.

نتایج

دوربین DCS200mi به عنوان یک سیستم تصویربرداری رقومی در طول مطالعات هوانوردی[۹] پذیرفته شده است. محدودیت موجود در توانایی ذخیره‌سازی تصویر توسّط دوربین فقط تا پنجاه عدد، ما را ناچار می‌سازد تا بعضی اوقات یک کامپیوتر کوچک قابل حمل که توانایی انتقال داده‌ها را دارا باشد، همراه با دوربین مورد استفاده قرار دهیم. ممکن است یک راه‌حل بسیار جالب برای این مشکل کاربرد Chipهای فشرده تصویر برای کاربردهای خاّص و یا استفاده از Diskетهای قابل تعویض باشد. Flash استاندارد دوربین نیز کاملاً خوب عمل نمود به گونه‌ای که نشانه‌ها و شاخصهای ۲۰ میلی متری در فاصله ۵۰ متری در فضای آزاد قابل مشاهده و اندازه‌گیری بودند. نتایج پردازش داده‌های دو رابط مقطعی در قسمت سوار نمودن قطعات و روی لنگرگاه ساختمانی در جدول ۲ نشان داده شده‌اند.

RMSانحراف معیار در فضای جسم (X,Y,Z)		پروژه
۰/۴۵میلی متر، ۱/۴۷میلی متر، ۰/۶۰میلی متر	۰/۴۵میکرومتر	۱
۱/۰۵میلی متر، ۱/۹۲میلی متر، ۰/۵۸میلی متر	۰/۴۹میکرومتر	۲

جدول (۲): دقّت حاصل شده (Y = جهت محور اصلی کشتی، Z = ارتفاع)

۱) مقطع کشتی در قسمت سوار نمودن قطعات توسّط دوربین DCS200mi مجهّز شده به یک عدسی ۱۸ میلی‌متر عکس‌برداری شد. یک عدسی ۱۸ میلی‌متری برروی یک سنجنده ۹×۱۴ مترمربعی معادل با یک عدسی ۴۵ میلی‌متری برروی سنجنده ۲۴×۳۶ میلی‌متر مربعی یک دوربین با Format و ابعاد فرم کوچک را نمایان می‌سازد. به واسطه محدودیت در امکان نزدیکی به قسمت سوار نمودن قطعات کشتی[۱۰] تصاویر مورد نظر فقط از پنج ایستگاه قابل دوربین‌گذاری، گرفته شده‌اند. از هر ایستگاه باید دو تصویر گرفته شود تا این که بتوانند جسم مورد نظر را به طور کامل پوشش دهند، به علاوه بعضی از لحظه‌های عکسبرداری به

وسیله دوربینی گرفته شده است که در حدود ۹۰ درجه الی ۱۸۰ درجه دوران دیده، این امر موجب تعیین بهتر پارامترهای کالیبراسیون دوربین می‌گردد. جمعاً نوزده تصویر در این تکنیک تهیه و پردازش گردید.

۲) برای تصاویر رابط روی لنگرگاه ساختمانی[11] از یک عدسی ۲۸ میلی متری استفاده شده است. به واسطه امکان نزدیکی محدود و فعالیتهای ساختمانی تنها ۹ تصویر از شش ایستگاه قابل دوربین‌گذاری، تهیه شده است. از طرفی لحظه‌های عکسبرداری به وسیله دوربین دوران داده شده قابل تهیه نبوده‌د و در عوض پارامترهای کالیبراسیون از کاربردهای قبلی که در این جا ذکر نکرده‌ایم، حاصل شده‌اند. مهمترین نتایج دو اندازه‌گیری فوق در جدول ۲ نشان داده شده است.

انحراف معیار وزن واحد به طور تقریب $\frac{1}{2}$ Pixel در فضای تصویر می‌باشد.این مقدار معادل با دقّت نسبی $\frac{1}{20000}$ الی $\frac{1}{30000}$ است، مقداری که به ندرت توسّط یک فیلم در ابعاد و Format کوچک دوربین قابل دسترسی است.

در حقیقت دوربین DCS200mi تقریباً می‌تواند به سطح دقّت فیلم دوربین با Format متوسّط برسد. انحراف استاندارد در فضای جسم به طور تقریبی معادل با دقت نسبی $\frac{1}{40000}$ نسبت به وسعت و پهنای مقطع کشتی می‌باشد. باید توجّه نمود که ترکیب هندسی شبکه در این دو پروژه در مورد تعیین نقاط کنترل و کالیبراسیون دوربین ایده‌آل نبوده است. از طرفی دقّت بعضی از نقاط به واسطه انسداد در بعضی از تصاویر، کاهش پیدا می‌کند، به طور تقریب دقّتهای نسبی $\frac{1}{90000}$ - $\frac{1}{75000}$ را می‌توان با دوربین DCS200mi در یک سری از کاربردها به دست آورد.

نتایج

مطالعات هوانوردی نشان داده که یک سیستم فتوگرامتری رقومی براساس مؤلفه‌های سخت افزاری‌اش در امر انجام اندازه‌گیری در پروژه کشتی سازی بسیار مناسب و مفید می‌باشد. نتایج مطالعات رضایت‌بخش است، به گونه‌ای که می‌توان احتمالات و تردیدها را با در نظرگیری اطمینان و دقّت مورد لزوم متناسب با زمانهای پردازش و هزینه‌ها جلوه‌گر ساخت.

دوربین ویدیوئی DCS200mi شرکت Kodak با قدرت تفکیک بسیار بالای آن در این جا به عنوان یک سیستم انعطاف پذیر با دسترسی خودکار به تصاویر رقومی نشان داده شده است. این سیستم همراه با توان بالای دقّت، ممکن است در آینده نزدیک به عنوان یکی از بازوهای کاری در سیستم فتوگرامتری رقومی نقش ایفا نماید.

نقطه بحرانی هر سیستم فتوگرامتری رقومی، رابط استفاده کننده شخصی آن می‌باشد. این موضوع نه تنها تصمیم کاربرد راحت و قابل انعطاف سیستم را دربردارد، بلکه همچنین قبولی یا عدم قبولی کاربرد خود تکنیک را نیز در صنعت شامل می‌شود. به هر حال میزان خودکار نمودن سیستم نباید موجب افزایش بهای انعطاف‌پذیری و دوام سیستم شود.

به ویژه آن که به نظر می‌رسد، ایجاد یک سیستم کاملاً اتوماتیک، برای نوع اندازه‌گیری توصیف شده در این کاربرد در حال حاضر دور از واقعیت باشد که البته بعضی از فعالیتها در این زمینه، تا اندازه‌ای مورد قبول استفاده کنندگان بوده است.

شرح حال نویسندگان

دکتر Hans-Gerd لیسانس خویش را در زمینه ژئودزی، از دانشگاه Bön در سال ۱۹۸۶ م دریافت کرد و از سال ۱۹۸۸ م در زمینه فتوگرامتری رقومی برای فواصل نزدیک (Close-range) در مؤسسه Zörich ETH مشغول بکار می‌باشد.

وی دکترای (P h.D) خویش را در سال ۱۹۹۲ م دریافت نموده و در حال حاضر معاون ریاست انستیتو ژئودزی و فتوگرامتری مؤسسه ETH زوریخ می‌باشد.

دکتر H.G.Mass رئیس گروه کاری I/3 انجمن بین‌المللی ISPRS در مورد سیستمهای رقومی تصویربرداری اپتیکی می‌باشد.

آقای Thomas Kersten مدرک لیسانس خویش را در زمینه ژئودزی از دانشگاه Hanouver در سال ۱۹۸۸ م دریافت نمود. و از سال ۱۹۸۹ م، ایشان سمت معاونت آموزش و تحقیقات انستیتو ژئودزی و فتوگرامتری مؤسسه ETH زوریخ را به عهده دارد. □

پاورقی:

1) Close-range Photogrammetery
2) IGP
3) Bath Iron Works
4) Target
5) Optimum
6)Epupolar
7)(Bundle-Adjustment)
8) Re-Projection
9) Pilot
10) Assembly shed
11) Building