

# بررسی روشهای ویدیوگرامتری برای مدلسازی سه بعدی عوارض در محیطهای بسته

علی حسینی نوه احمدآبادیان<sup>a</sup>، مسعود ورشوساز<sup>b</sup>

<sup>a</sup> کارشناسی ارشد فتوگرامتری: ali\_hosseini\_naveh@yahoo.com

<sup>b</sup> استادیار گروه مهندسی نقشه برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی: varshosazm@kntu.ac.ir

## چکیده

مدلسازی سه بعدی یکی از مهمترین موضوعات در بحث فتوگرامتری می باشد. یکی از شاخه های اصلی فتوگرامتری ویدیوگرامتری است که در این شاخه، روشهای بسیار زیادی برای مدلسازی عوارض در محیط های بسته و باز طراحی شده است. در این مقاله روشهای ارائه شده برای مدلسازی سه بعدی در محیط های بسته با استفاده از ویدیوگرامتری مورد بررسی قرار گرفته اند. برای این منظور این روشها به دو دسته کلی روشهای مستقیم و معکوس تقسیم شدند. در این خصوص روش های مستقیم به دو دسته روش های استفاده کننده از تارگت و روشهایی که از تارگت استفاده نمی کنند تقسیم شدند. در مورد روشهایی که از تارگت استفاده می کنند، این روش ها با توجه به نوع تارگت استفاده شده در آنها از هم تفکیک شدند. در نهایت همه این روشها بر اساس چهار معیار دقت، سرعت، حجم داده مربوط به مدل و هزینه با هم مقایسه شدند.

واژگان کلیدی: ویدئوگرامتری، مدلسازی سه بعدی

## ۱- مقدمه

فتوگرامتری از لحاظ اندازه گیری دقیق از تصاویر (عکسها) به عنوان علم و به علت مدلسازی سه بعدی از اشیاء میراث فرهنگی و نمایش دیجیتالی به عنوان هنر تبدیل تصاویر دو بعدی به سه بعدی شناخته شده است. از طرف دیگر، اصطلاح ویدیوگرامتری که تقریباً از ۲۰ سال قبل معرفی شده، به معنی رکورد و نمایش همزمان تصاویر حاصل شده از وسایل ویدیویی و پردازش آنها با استفاده از الگوریتم ها و سیستمهای فتوگرامتری می باشد (Remondino, 2003). به طور کلی یک سیستم فتوگرامتری به عنوان یک سیستم با سه خصوصیت انعطاف پذیری در مسائل مدلسازی سه بعدی، توانایی دستیابی به دقت و صحت بالا و توانایی برای انجام کنترل کیفیت روی اندازه گیریها و نتایج شناخته شده است (Gruen, 1994).

در ویدیوگرامتری، تصاویر به صورت متوالی که اصطلاحاً یک سکانس گفته می شود، ضبط می شوند. هر سکانس ویدئویی بطور استاندارد دارای ۲۵ فریم در ثانیه است. بنابراین در این شاخه از فتوگرامتری عملاً از نظر تعداد تصاویر محدودیتی نداریم. در طول سالهای گذشته ویدیوگرامتری به یک تکنیک اندازه گیری بسیار مناسب برای کاربردهایی مثل ردیابی ذرات (Willneff, 2003)، معماری (Lin and Mills, 2006)، اندازه گیری در تونل باد (Graves and Burner, 2001)، کاربردهای صنعتی (Ganci and Handley, 1998)، علوم دریایی (Shortis and Harvey, 1998)،

تحلیلهای جناعی مثل شناسایی مجرمین (Klasen and Fahlander, 1996)، نقشه برداری متحرک (Roncella and etc., 2005) و پزشکی (Setan et al., 2005) تبدیل شده است.

بطور کلی در فتوگرامتری برد کوتاه - با استفاده از دوربین های عکاسی یا فیلمبرداری - در دو حالت off-line و on-line (real time) می توانیم تصویر تهیه کنیم. در حالت off-line، فقط از یک دوربین استفاده می شود و دوربین در مکانهای مختلف مستقر می شود. بعد از اتمام تصویر برداری، محاسبات لازم انجام می شوند و مختصات بدست می آید. در این روش علاوه بر مختصات زمینی تارگتها، پارامترهای توجیه خارجی دوربین در وضعیت های مختلف عکسبرداری نیز به دست می آیند. در پروژه های مهندسی و در مقیاس بزرگ، از روش off-line استفاده می شود، زیرا دارای دقت زیادی است. استفاده از ابداعات جدید از جمله تارگتهای کد دار و وسایل توجیهی در کنار دوربینهای CCD هوشمند می تواند باعث اتوماتیک شدن پروسه اندازه گیری برای این روش شود. یکی از پیش فرضهای این روش این است که در طول مدت تصویر برداری شکل جسم نباید تغییر کند، زیرا در صورت تغییر موقعیت نقاط کنترل نسبت به هم، پارامترهای توجیه خارجی تغییر خواهند کرد (Ryall and Fraser, 2002).

در حالت on-line یا real-time از چندین دوربین بطور همزمان استفاده می شود. این روش برای مطالعه فرایندهای دینامیک که در آن اجسام دچار تغییر شکل می شوند، به کار می رود. به طور مثال ناسا از این روش برای بررسی تغییر شکل صفحات خورشیدی تلسکوپ هابل استفاده کرده است (Sapp, 1998).

همانطور که بیان شد یکی از کاربردهای ویدیوگرامتری چه در حالت off-line و چه on-line مدلسازی سه بعدی از عوارض است. تاکنون روشهایی برای مدلسازی سه بعدی ارائه شده که برخی از این روش ها برای مدلسازی عوارض در محیط های باز به طور مثال نمای ساختمانها طراحی شده اند (Pollefeys et al., 2000)، در حالیکه برخی دیگر برای محیط های بسته و داخل ساختمان از جمله مدلسازی قطعات صنعتی کوچک طراحی شده اند. در این مقاله به بررسی روشهای مدلسازی در محیط های بسته پرداخته شده است. برای این منظور این روشها به دو دسته کلی روشهای معمول و معکوس تقسیم شدند. در این دو دسته نیز روشها بر اساس مشخصاتشان به زیر دسته هایی تقسیم شدند. در نهایت همه روشها بر اساس معیارهایی با هم مقایسه شدند.

## ۲- روشهای معمول مدلسازی سه بعدی با استفاده از ویدیو گرامتری

در این روشها از اندازه گیری بر روی عکسها و ایجاد ابر نقطه مدل سه بعدی به دست می آید. در این مقاله این روشها بر اساس استفاده یا عدم استفاده از تارگت به دو دسته روشهایی که از تارگت استفاده نمی کنند و روشهایی که از تارگت استفاده می کنند تقسیم شده اند.

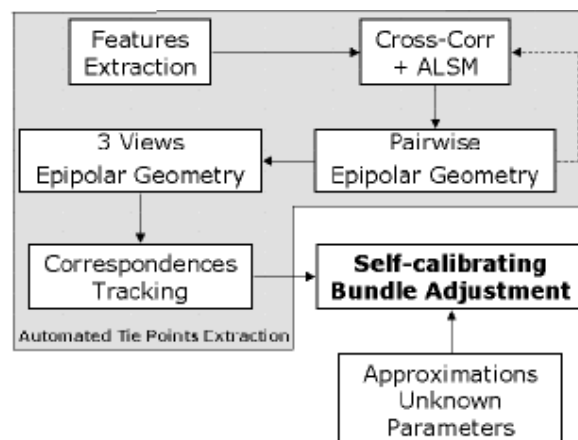
### ۲-۱ روشهایی که از تارگت استفاده نمی کنند

این روشها برای مواردی استفاده می شوند که امکان استفاده از تارگت برای شئی مورد نظر وجود ندارد. در این روشها به منظور دستیابی به مدل سه بعدی از تصاویر ویدیویی، یک پروسه سه مرحله انجام می شود. این مراحل عبارتند از کالیبراسیون و توجیه عکسهای حاصل شده از تصویر برداری، تناظریابی روی سطح شئی مورد بررسی و

ایجاد ابر نقطه و مدل‌سازی (Remondino, 2002). تا کنون، این سه مرحله به شکلها و الگوریتم های متفاوتی انجام شده اند. بیان همه این روش ها در انجام سه مرحله فوق در این مقاله امکان پذیر نمی باشد. بنابراین تنها برای مشخص شدن نحوه عملکرد این روشها، روش Remondino (۲۰۰۴) در ادامه توضیح داده می شود.

## ۱-۱-۲ کالیبراسیون دوربین و توجیه عکسها

کالیبراسیون و توجیه عکسها به منظور استخراج اطلاعات دقیق سه بعدی از شئی ضروری است. به این منظور سرشکنی باندل طبق یک روش خاص که مراحل آن در شکل (۱) دیده می شود انجام می شود. این روش به دو قسمت کلی استخراج اتوماتیک نقاط گره ای و مثلث بندی عکسی با استفاده از سرشکنی باندل تقسیم می شود که در ادامه به آنها پرداخته می شود (Remondino, 2002).



شکل (۱): مراحل کالیبراسیون دوربین و توجیه عکس ها

## ۱-۱-۱-۲ استخراج اتوماتیک نقاط گره ای

سیستم هایی که برای توجیه عکس ها طراحی شده اند، به دو دسته می توانند تقسیم شوند. دسته اول شامل سیستم هایی هستند که برای baseline های خیلی کوچک طراحی شده اند (Fitzgibbon et al., 1998؛ Pollefeys et al., 1998؛ Roth et al., 2000). دسته دوم که انعطاف پذیرتر از دسته اول می باشند، شامل سیستم هایی هستند که برای baseline های خیلی بزرگ طراحی شده اند (Tuytelaar et al., 2000؛ Remondino, 2002). (۲۰۰۴) یک پروسه ۶ مرحله ای برای استخراج اتوماتیک نقاط متناظر ارائه داد که می تواند برای baseline های بزرگ استفاده شود. این مراحل به شرح ذیل است.

۱. مشخص کردن نقاط مورد نظر: در این مرحله مجموعه ای از نقاط در هر عکس از تصاویر با استفاده از اپراتورهای Harris یا Foerstner به دست می آید.

۲. تناظریابی نقاط متناظر: در این مرحله عوارض استخراج شده بین تصاویری که به هم نزدیک هستند، ابتدا با استفاده از الگوریتم تناظریابی Cross-Correlation تناظریابی شده و سپس با استفاده از Adaptive Least Square Matching (ALSM) تصحیح می شوند (Gruen, 1985).
۳. فیلتر کردن نقاط اشتباه: همه نقاط به دست آمده از مرحله قبل درست تناظریابی نشده اند و نقاط اشتباه نیز در آنها وجود دارد که برای حذف آنها از گرادیان بی شباهتی<sup>۱</sup> استفاده می کنند. که در آن بر اساس رابطه ای که به کمک اختلاف فاصله پیکسلی بین تمام نقاط تناظریابی شده انجام می شود، نقاطی که دارای جوابی بیشتر از متوسط جوابها هستند، حذف می شوند.
۴. هندسه اپی پولار بین زوج تصویرها: در این مرحله بر اساس شرط هم صفحه ای ماتریس اصلی با استفاده از روش Least Median of the Squares (LMedS) محاسبه می شود. این روش مسائل مینیم سازی غیرخطی را حل نموده و کمترین مقادیر را برای میانگین مربع باقیمانده ها برای مجموعه داده ها محاسبه می کند.
۵. هندسه اپی پولار بین سه تصویر: همه تناظرهایی که از مرحله قبل به دست آمده اند، ضرورتاً درست نیستند. برای حذف و یا کاهش بقیه اشتباهات یک هندسه اپی پولار بین سه تصویر در نظر گرفته می شود. نمایش خطی توجیه نسبی سه تصویر با استفاده از مجموعه ای از ماتریس های  $3 \times 3$  نمایش داده می شود که به این مجموعه تنسور T گفته می شود (Shashua, 1994). برای محاسبه این تنسور از الگوریتمی به نام الگوریتم RANSAC استفاده می شود (Fischler et al., 1981).
۶. ردیابی تناظرهای تصویری از طریق ترتیب تصاویر: بعد از محاسبه تنسور T برای هر سه تصویر متوالی، همه تنسورها برای همه سه تصویرها، در نظر گرفته شده و نقاط متناظری که در تنسورهای متوالی وجود دارند مشخص می شوند. این نقاط، همان نقاط گره ای هستند که برای سرشکنی باندل مورد استفاده قرار می گیرند.

## ۲-۱-۱-۲ مثلث بندی عکسی با استفاده از سرشکنی باندل

در این مرحله با استفاده از تناظرهای عکسی حاصل شده از مرحله قبل و مقادیر پارامترهای تقریبی دوربین ها، سرشکنی باندل سلف کالیبراسیون انجام می شود (Remondino, 2004).

## ۲-۱-۲ مرحله تناظریابی

در این مرحله برای پوشش شکل سه بعدی شئی مورد نظر، مجموعه ی متراکمی از نقاط تصویری متناظر، با استفاده از یک پروسه تناظریابی اتوماتیک بدست می آید (D'Apuzzo, 2003). این پروسه، از نقاطی که به صورت دستی انتخاب شده شروع به تناظریابی بین سه تصویر می کند و نقاط متناظر را افزایش می دهد. هندسه اپی پولار حاصل شده از مرحله توجیه عکسی نیز برای بهبود نتایج استفاده می شود. در این پروسه تصویر وسط بین هر سه تصویر، به عنوان template و دو تصویر دیگر به عنوان تصاویر جستجو در نظر گرفته می شوند. الگوریتم تناظریاب نقاط متناظر را در هر تصویر جستجو به طور مجزا شناسایی کرده و در پایان آنها را با هم تلفیق می کند. اگر کیفیت تصویر از عکسی به عکس دیگر تغییر کند، این پروسه می تواند با مشکل مواجه شود. برای جلوگیری از این مشکل از فیلتر Wallis برای افزایش فرکانسهای پایین تصویر استفاده می شود (Remondino, 2004).

## ۲-۱-۳ بازسازی سه بعدی و مدلسازی

پس از مرحله تناظریابی، مختصات سه بعدی از نقاط تناظریابی شده دو بعدی، با استفاده از روش تقاطع به دست می آید. برای این منظور پروسه تقاطع، از نتایج حاصل از مرحله توجیه تصاویر استفاده می کند. پس از آن یک فیلتر خاص برای کاهش نویزها در داده های سه بعدی استفاده می شود تا تراکم یکنواختی از ابر نقطه حاصل شود. اگر پروسه تناظریابی دوچار مشکل شود، سوراخهایی می تواند در ابر نقطه ایجاد شود. بنابراین با استفاده از یک پروسه نیمه اتوماتیک فضاهای خالی با استفاده از تراکم نقاط کناری پر می شود. پس از ایجاد ابر نقطه با استفاده از الگوریتم های خاصی یک سطح polynomial بر ابر نقطه حاصل برآزانده شده و در نهایت با استفاده از تعدادی از تصاویر، texture به مدل ایجاد شده اضافه می شوند (Remondino, 2004).

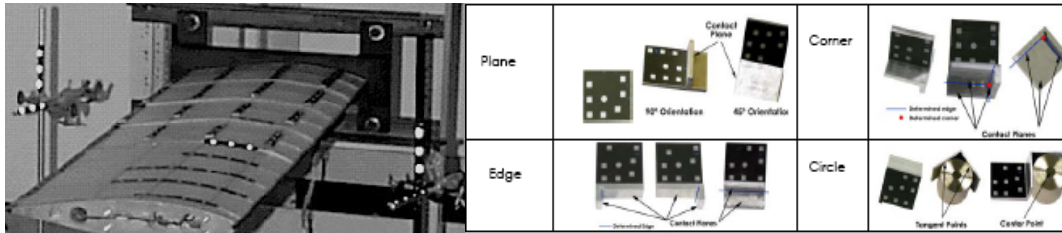
## ۲-۲ روشهایی که از تارگت استفاده می کنند

این روشها برای اتوماتیک کردن پروسه مدلسازی و یا اندازه گیری سه بعدی از تارگتها و نرم افزارهای خاص استفاده می کنند. از این طریق کاربر پس از تارگت گذاری بر شئی مورد نظر و تصویر برداری، فقط با کلیک کردن بر روی چند دکمه در محیط کامپیوتری می تواند به مدل سه بعدی شئی مورد نظر دست پیدا کند. در نوع پیشرفته تر یک دوربین هوشمند برای تصویر برداری استفاده می شود. این دوربین هوشمند شامل یک کامپیوتر یکپارچه است و تصاویر را بلافاصله بعد از گرفته شدن پردازش می کند. بنابراین کاربر می تواند یک فیدبک از اندازه گیریها در لحظه عکس برداری، دریافت کند (Ganci, and Brown, 2000). در ادامه انواع تارگتها و نرم افزارهای این روش ها بیان می شوند.

## ۲-۲-۱ انواع تارگتها

روشها که از تارگت برای مدلسازی استفاده می کنند، از یکی یا ترکیبی از سه نوع تارگت به نام های تارگتهای کد دار از جمله feature target ها (Ganci, and Clement, 2000)، تارگتهای منعکس کننده<sup>۲</sup> (Ryall and Fraser, 2002) و تارگتهای نوری ایجاد شده توسط وسایل خاص (از جمله پروژکتور ها) استفاده می کنند (Ganci, and Brown, 2000).

در مورد خصوصیات استفاده از تارگتهای کد دار که نمونه ای از آنها در شکل (۲) سمت چپ دیده می شود، می توان به افزایش سرعت اندازه گیری مختصات و آنالیز خطاها، سرعت در آماده سازی و اجرا و امکان استفاده در محیطهای بی ثبات اشاره نمود (Ganci, and Clement, 2000). این تارگتها برای هر قسمت از شئی، شکل خاصی دارند که توسط نرم افزار قابل شناسایی می باشند.



شکل (۲): تارگتهای کد دار طراحی شده برای قسمت های مختلف شیئی (سمت چپ) و تارگتهای منعکس کننده نور (سمت راست)

تارگتهای منعکس کننده نور که نمونه از آنها در شکل (۲) سمت راست مشاهده می شود، به علت خاصیت بازتاباندن نور در مسیر تابش باعث می شوند که این تارگتها در تصاویر حاصل، از کنتراست بالایی برخوردار باشند و به راحتی و به صورت اتوماتیک توسط نرم افزارها قابل شناسایی باشند (Ryall and Fraser, 2002).

تارگتهای نوری ایجاد شده با وسایل خاص برای اشیائی که امکان تارگت گذاری بر روی آنها - به علت غیر قابل دسترس بودن و یا دمای زیاد - وجود ندارد، استفاده می شوند. در مقایسه با دو نوع تارگت فوق، این تارگتها دارای مزیتهایی می باشند، که از آن جمله می توان به هزینه کمتر، سرعت تارگت گذاری و تارگت برداری بسیار بالاتر، قابلیت ایجاد تارگتها با تراکم بسیار بالا اشاره کرد. عیب این تارگتها در مقایسه با دو تارگت دیگر سرعت پردازش کمتر می باشد، که علت آن پایین تر بود کنتراست آنهاست. این امر باعث می شود که برای شناسایی تارگت توسط نرم افزار مشکلاتی وجود داشته باشد (Ganci, and Brown, 2000).

## ۲-۲-۲ نرم افزارهای مدلسازی سه بعدی که نیاز به تارگت دارند

نرم افزارهای متعددی برای ایجاد مدل سه بعدی از تصاویر ویدیویی با بهره گیری از تارگتها در کارهای گوناگون استفاده شده اند. که از آن جمله می توان به *Australis* (Ryall and Fraser, 2002)، ورژن بتا نرم افزار PhotoModeler Pro 5.0 (Leifer et al., 2007) *iWitness* (Nuikkaa et al., 2008)، سیستم ویدیوفتوگرامتری Kinescan-IBV© (Page et al., 2006) *ShapeCaptureTM* (Remondino, 1974) و V-STARS/S (Setan and Ibrahim, 2003) *Rhinoceros* اشاره کرد. در اینجا امکان توضیح خصوصیات همه این نرم افزارها وجود ندارد. بنابراین به توضیح مختصری از یکی از بهترین آنها به نام سیستم V-STARS/S و تلفیق آن با نرم افزار *Rhinoceros* می پردازیم.

سیستم V-STARS<sup>۳</sup> یک سیستم اندازه گیری فتوگرامتریک صنعتی است که برای اندازه گیری مختصات سه بعدی از یک دوربین هوشمند خاص با رزولوشن بالا به نام INCA<sup>۴</sup>، تارگتهای با کنتراست بالای منعکس کننده نور و تارگتهای کددار، و نرم افزار خاصی برای اتوماسیون پروسه اندازه گیری استفاده می کند. دقت این سیستم در حدود ۱۰ ppm یا به عبارتی در حدود ۰/۰۵۰ میلیمتر برای یک شیئی ۵ متری است. این سیستم توسط GSI<sup>۵</sup> آمریکا طراحی شده و در کاربردهای متنوع صنعتی استفاده شده است (Fraser, 1999; Brown, 1998; Ganci and Brown, 2001; Ganci and Brown, 2000; Ganci and Clement, 2000).

قبل از تصویر برداری توسط دوربین INCA، تارگتهای منعکس کننده برای اندازه گیری و تارگتهای کد دار برای اندازه گیری اتوماتیک روی شئی قرار داده می شوند. داده ها به سرعت به یک کامپیوتر نوت بوک انتقال پیدا کرده و پردازش ها به صورت اتوماتیک با استفاده از نرم افزار V-STARS انجام می شود. به این ترتیب ابر نقطه به صورت داده گرافیکی با فرمت IGES<sup>۱</sup> توسط این نرم افزار ایجاد می شود. این فرمت برای انتقال اطلاعات بین سیستم های CAM و CAD مناسب می باشد (Setan and Ibrahim, 2003).

برای ایجاد مدل سه بعدی از ابر نقطه ایجاد شده، نیاز به نرم افزار دیگری است. نرم افزار Rhinoceros که یک نرم افزار مدلسازی سه بعدی تجاری است، برای این کار مناسب می باشد. مراحل ایجاد مدل سه بعدی با استفاده از این نرم افزار به این شرح است که ابتدا داده ها با فرمت IGES از نرم افزار V-STARS به این نرم افزار وارد شده، یک wireframe از مدل ایجاد می شود، سپس یک مدل یکپارچه (solid model) از wireframe ایجاد شده، بدست می آید (Setan and Ibrahim, 2003).

### ۳- روشهای معکوس مدلسازی سه بعدی با استفاده از ویدیو گرامتری

امروزه در مدلسازی، بجای اینکه صرفاً اندازه گیری روی مدل انجام شود، تمایل زیادی برای visualization و تهیه مدل‌های photorealistic وجود دارد. بر این اساس روش دیگری برای مدلسازی وجود دارد که از آن تحت عنوان ویدئوگرافی نام برده می شود. روش کار در مقایسه با روشهای بیان شده در بخشهای قبل برعکس می باشد، یعنی ابتدا مدل ساخته می شود و سپس اندازه گیری انجام می شود. در نهایت یک مدل photorealistic تشکیل می شود. ضمناً می توانیم اشیاء گرافیکی مجازی را نیز به مدل اضافه کنیم که نتیجه آن یک مدل Augmented Reality خواهد شد (Çöltekin, H. Haggrén, 2000).

در این روش به راحتی می توانیم دوربین را در اطراف شئی حرکت دهیم و نیازی نیست که از قبل از پارامترهای دوربین و حرکت آن آگاهی داشته باشیم. چنین مدلی دارای ویژگیهای هندسی و رادیومتریکی اشیاء مورد نظر می باشد. از ویژگیهای دیگر این روش این است که برای هر عارضه یک سیستم مختصات تعریف می شود و در نهایت تمام سیستم مختصاتها به یک سیستم مختصات مبنا و محلی (local) که معمولاً برای محیط کاری مانند اتاق، سالن، محوطه و ... تعریف شده، متصل می شوند. مانند سایر روشهای فتوگرامتری، در این روش نیز به نقاط کنترل نیاز داریم که باید مختصات آنها در سیستم مختصات مبنا معلوم باشد (Çöltekin, H. Haggrén, 2000).

از مدل‌های حاصل از روش ویدئوگرافی در زمینه های مختلفی استفاده می شود (Janura et al., 1998)، که یکی از این زمینه ها، مدلسازی اتاقها و کلاً فضاهای داخلی ساختمانها می باشد. اطلاعات هندسی این مدلها در کاربردهای متنوعی مانند سیستم های مدیریت امکانات (FMS<sup>۲</sup>) استفاده می شود. به طور کلی این مدلسازی را می توان در دو مرحله ایجاد مدل اولیه و ایجاد مدل نهایی انجام داد که به صورت ذیل می باشند (Haggrén, and S. Mattila, 1997).

۱. ایجاد مدل اولیه (Functional Model): در این مرحله ابتدا یک مدل ساده به صورت بصری ایجاد می شود و سپس با استفاده از view های مختلف ویدئویی ویرایش می شود. مدل به تدریج با اضافه کردن اشیاء مختلف به آن بدست می آید. ویرایش مدل نیز بصورت بصری انجام می شود. بر روی هر تصویر، یک شبکه

wire frame از مدل که از همان زاویه تصویری تهیه شده است، قرار داده می شود. تصحیح هندسی بر اساس همین تصاویر پرسپکتیو صورت می پذیرد. اما هنوز مدل از لحاظ هندسی دقیق نمی باشد. بعد از ایجاد مدل کامل، دقت هندسی را با استفاده از روش سرشکنی دسته اشعه افزایش می دهند.

۲. ایجاد مدل نهایی (photorealistic Model): کاری که در این مرحله انجام می شود، همان texture mapping است. Texture ها از تصاویر ویدئویی استخراج می شوند و با توجه به اینکه مدل و تصاویر نسبت به هم توجیه هستند، texture ها به راحتی روی مدل قرار داده می شوند. در این مرحله برای انداختن texture روی مدل، تصویر را resample می کنند.

#### ۴- مقایسه روشهای مدلسازی سه بعدی با استفاده از ویدیوگرامتری

در بخش های قبل، روشهای مدلسازی سه بعدی برای عوارض در محیط های بسته به دو دسته روشهای مستقیم و معکوس تقسیم شدند. روش های مستقیم نیز به دو دسته روشهایی که از تارگت استفاده نمی کنند و روشهایی که از تارگت استفاده می کنند تقسیم شدند و روشهایی که از تارگت استفاده می کنند نیز بر حسب نوع تارگت استفاده از هم مجزا شدند. در ادامه این روشها از لحاظ دقت مدل ایجاد شده، سرعت ایجاد مدل، حجم داده مربوط به مدل و هزینه با هم مقایسه می شوند.

علت انتخاب چهار معیار فوق برای مقایسه را می توان به این شکل بیان کرد که دقت بالای مدل برای کاربردهای صنعتی از اهمیت بالایی برخوردار است. سرعت بالا در ایجاد مدل برای کاربردهای پردازشهای Real time مد نظر می باشد، حجم داده کم برای بارگذاری داده بر روی شبکه جهانی اینترنت تحت فرمت داده ای مثل VRML مناسب می باشد و هزینه یک فاکتور همواره مهم در هر پروژه ای می باشد.

در اجرای روش با تارگت کد دار توسط Ganci و Climent (۲۰۰۰) که برای چند قطعه صنعتی انجام شد، دقتی که با استفاده از انحراف معیار (RMS) به دست آمد، در حدود ۰/۰۲ میلیمتر برای یک شی ۱/۸ متری یعنی در حدود ۱:۱۰۰۰۰۰ ابعاد شی بود. در این کار سرعت انجام کل کارهای انجام شده از قبیل تارگت گذاری ۴۰ تارگت، عکسبرداری، پردازش و برداشتن تارگتها، ۱۵ دقیقه به طول انجامید (Ganci, and R. Clement, 2000).

در مقایسه بین دو روش با استفاده از تارگت های نوری و تارگت های منعکس کننده نور (Retro) توسط Ganci و Brown (۲۰۰۰) که بر روی یک دیش ماهواره انجام شد، دو روش از لحاظ هزینه و مدت زمان انجام پروژه با هم مقایسه شدند. در این کار انداختن و برداشتن ۴۵۰۰ تارگت نوری بر یک دیش ۱/۴ متری و انجام کلیه کارها به منظور رسیدن به مدل سه بعدی ۸ دقیقه طول کشید، در حالیکه انجام این پروژه برای تنها ۲۸۳ تارگت retro، ۲۰ دقیقه به طول انجامید. این زمان برای ۴۵۰۰ تارگت از این نوع، ۱۴۶ دقیقه تخمین زده شد. این درحالی است که هزینه این تعداد تارگت Retro ۳۲۰ دلار برآورد شد. که این هزینه برای تارگتهای نوری صفر است. در ادامه این کار دقت روش استفاده از تارگت نوری در بهترین حالت برای یک دیش به قطر ۲/۴ متری ۰/۳۸۱ میلیمتر به دست آمد. یعنی در حدود ۱:۱۰۰۰۰۰ ابعاد شی مورد نظر (Ganci, and J. Brown, 2000).

در اجرای روش بدون تارگت توسط d'Apuzzo (۲۰۰۲) دقتی که از این روش برای مدلسازی نیمی از بدن انسان با استفاده از این روش به دست آمد، در حدود ۰/۳ میلیمتر بود. با فرض ۱ متر ابعاد این عارضه دقت این روش در حدود ۱:۴۰۰۰ می باشد (d'Apuzzo, 2002). همچنین در مورد روشهای معکوس، می توان گفت که این روش ها



اساساً برای کارهای دقیق طراحی نشده اند بلکه سرعت انجام آنالیزها، کیفیت نمایشی آنها و امکان بارگذاری آنها بر روی اینترنت اهمیت دارد (Çöltekin, H. Haggren, 2000). در ادامه با توجه به تحقیقات بیان شده، روشهای مورد بررسی با توجه به معیارهای بیان شده با هم مقایسه می شوند. در پایان، نتایج حاصل از مقایسه صورت گرفته در جدول (۱) آورده شده است.

۱. دقت: در اینجا یک تعریف واحد از دقت، که عبارت است از نسبت انحراف معیار (RMS) به طول عارضه، در نظر گرفته می شود. با نگاهی به اعداد مربوط به این مقدار برای هر روش، آنها به روشهای بسیار دقیق، دقیق و کم دقت تقسیم شدند. علت عدم استفاده از اعداد این است که پارامترهای زیادی بر دقت موثر می باشند و برای بررسی آن نیاز است که همه روشها توسط یک شخص، با یک نوع دوربین و نرم افزار و در شرایط یکسان انجام شود. به این ترتیب روش های با تارگت به عنوان روشهای بسیار دقیق، روشهای بدون تارگت به عنوان روشهای دقیق و روش های معکوس به عنوان روشهای کم دقت مشخص شدند.

۲. سرعت: منظور از سرعت، مدت زمان لازم برای انجام کلیه کارها برای دستیابی به مدل سه بعدی در هر روش می باشد. با این تعریف، روش ها به سه دسته روشهای با سرعت زیاد، متوسط و کم تقسیم شدند. با توجه به تحقیقات انجام شده، روشهایی که از تارگت استفاده نمی کنند، چون می توانند در کارهای real-time استفاده شوند به عنوان روشهای با سرعت زیاد، روشهایی که از تارگت های کد دار و Retro استفاده می کنند، به علت نیاز به زمان زیاد برای تارگت گذاری و تارگت برداری به عنوان روشهای با سرعت کم، روشهای معکوس چون نیاز به تارگت گذاری ندارند ولی نیاز به پردازشهای بصری و دستی توسط کاربر دارند به عنوان روشهای با سرعت متوسط و روشهایی که از تارگتهای نوری استفاده می کنند چون نیاز به تنظیم پرژکتور برای انداختن تارگت بر شئی دارند، به عنوان روشهای با سرعت متوسط در نظر گرفته شدند.

۳. حجم داده: منظور از حجم داده، مقدار بایت مورد نیاز برای ذخیره سازی مدل ایجاد شده است. در تحقیقات انجام شده اطلاعاتی در مورد حجم داده های هر روش ارائه نشده است. اما آنچه مسلم است اینست که روش های معکوس چون به منظور بارگذاری مدل بر روی اینترنت طراحی شده اند، نسبت به سایر روشها دارای حجم داده کمتری می باشند. بنابراین می توان این روشها را به عنوان روشهایی با حجم داده کم و بقیه روشها را با حجم داده زیاد در نظر گرفت.

۴. هزینه: چون در همه روش ها دوربین لازم می باشد، منظور از هزینه، مقدار پول مورد نیاز برای تهیه تجهیزات غیر از دوربین می باشد. با این تعریف، روشها به سه دسته روشهای با هزینه زیاد، متوسط و کم تقسیم شدند. بنابراین روشهایی که نیاز به تهیه تارگت در هر پروژه دارند، یعنی روشهایی که با تارگتهای Retro و کددار کار می کنند به عنوان روشهای پر هزینه، روشهایی که از تارگت نوری استفاده می کنند، به علت نیاز به تهیه وسایل تصویر کننده نور (از جمله پرژکتور ها) به عنوان روشهایی با هزینه متوسط، و سایر روشها که نیاز به تارگت ندارند به عنوان روشهای کم هزینه مشخص شدند.

جدول (۱): مقایسه روشهای ویدیوگرامتری برای مدلسازی سه بعدی عوارض در محیط های بسته

هزینه	حجم داده	سرعت	دقت	روشهای مدلسازی		
				روشهای با تارگت	روش های بدون تارگت	روش های معکوس
زیاد	زیاد	کم	بسیار دقیق	تارگت retro	روش های مستقیم	
زیاد	زیاد	کم	بسیار دقیق	تارگت کد دار		
متوسط	زیاد	متوسط	بسیار دقیق	تارگت نوری		
کم	زیاد	زیاد	دقیق	روش های بدون تارگت		
کم	کم	متوسط	کم دقت	روش های معکوس		

## ۵- نتیجه گیری و پیشنهادات

- نتایجی که از مقایسه روشهای تقسیم بندی شده در این مقاله به دست آمد به شرح ذیل می باشند:
۱. برای کاربردهای صنعتی که دقت از اهمیت بالایی برخوردار است، بهترین روشها، روشهایی هستند که از تارگتها استفاده می کنند. در این روشها، تارگت های کد دار و منعکس کننده بالاترین دقت را دارا می باشند. اما هزینه بالاتری نسبت به روشهایی که از تارگتهای نوری استفاده می کنند دارند.
  ۲. همچنین زمان لازم برای مدلسازی با استفاده از این روشها طولانی تر از روشهای دیگر است.
  ۳. روشهای بدون تارگت معمولاً برای مدلسازی با دقت نسبتاً خوب از عوارض بسیار پیچیده مناسب می باشند. یکی از کاربردهای اصلی این روشها مدلسازی انسان و بررسی حرکات آن می باشد.
  ۴. روشهای معکوس به علت سرعت نسبتاً بالا در ایجاد مدل و حجم کم داده، برای ایجاد مدل های سه بعدی فانتزی برای نمایش بر روی web مناسب می باشند.
- برای کارهای آتی پیشنهاداتی ارائه شد، که به شرح ذیل می باشند:
۱. برای مقایسه دقیقتر روشها، می توان همه روش ها در یک زمان، در شرایط یکسان، بر روی عارضه مشخص، با دوربین یکسان و توسط یک شخص انجام شود.
  ۲. برای بررسی حجم داده هر یک از روشها و امکان بارگذاری آنها بر روی اینترنت نیاز به بررسی دیگری می باشد.
  ۳. استفاده از ویدیوگرامتری برای ایجاد مدل های پانوراما و استخراج مدل سه بعدی عوارض از مدل ایجاد شده موضوعی است که می تواند مورد توجه قرار گیرد.

## مراجع

1. Brown, J., *V-STARS/S Acceptance Results*. Boeing Large Scale Optical Metrology Seminar, Seattle, 1998. Web [<http://www.geodetic.com/papersdownload.htm>].
2. Çöltekin, A. and Haggrén, H., *Vrml As A Tool For Web-Based, 3D, Photo-Realistic GIS*. IAPRS, Vol. XXXIII, Amsterdam, 2000.
3. D'Apuzzo, N., *Surface Measurement And Tracking Of Human Body Parts From Multi Station Video Sequences*. Ph.D. Dissertation, ETH Zurich, Nr. 15271, 2003.
4. D'Apuzzo, N., *Surface Measurement And Tracking Of Human Body Parts From Multi-Image Video Sequences*. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing (56), pp. 360-375, 2002.

5. Fitzgibbon, A. and Zisserman A., *Automatic 3D Model Acquisition and Generation Of New Images From Video Sequences*. proceedings of european signal processing conference, pp. 1261-1269, 1998.
6. Fraser, C. S., *Automated Vision Metrology: A Mature Technology For Industrial Inspection And Engineering Surveys*. 6th South East Asian Surveyors Congress, Fremantle, Western Australia, 1999.
7. Ganci, G. and Brown, J., *BMW Applies V-Stars, The Use Of Self-Identifying Targeting For Feature Based Measurement*. Leica Geosystems AG, Switzerland, 2001. Web[[http://www.leica-geosystems.com/ims/application/v-stars%20\\_bmw.pdf](http://www.leica-geosystems.com/ims/application/v-stars%20_bmw.pdf)].
8. Ganci, G. and Brown, J., *Developments In Non- Contact Measurement Using Videogrammetry*. Boeing Large Scale Metrology Seminar, 2000.
9. Ganci, G. and Clement, R., *The Use Of Self-Identifying Targeting For Feature Based Measurement, Coordinate Measuring System Committee*. Dearborn, Michigan, 2000. Web[<http://www.geodetic.com/papersdownload.htm>].
10. Ganci, G. and Handley, H., *Automation In Videogrammetry*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 32(5), pp. 53-58, 1998.
11. Graves, S. and Burner, A. W., *Development Of An Intelligent Videogrammetric Wind Tunnel Measurement System*. Proc. SPIE, Vol. 4448, pp. 120-131, 2001.
12. Gruen, A., *Adaptive Least Squares Correlation: A Powerful Image Matching Technique*. South African Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Cartography, Vol. 14(3), pp. 175-187, 1985.
13. Gruen, A., *Digital Close-Range Photogrammetry: Progress Through Automation*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 30(5), pp. 122-135, 1994.
14. Haggren, H. and Mattila, S., *3-D Indoor Modeling From Videography*. Editor, Proc. SPIE 3174, SanDiego, pp. 14-20, 1997. web[[http://foto.hut.fi/publications/paperit/haggren/videometrics\\_1997\\_mattila/text.html](http://foto.hut.fi/publications/paperit/haggren/videometrics_1997_mattila/text.html)].
15. Janura, M., Mayer, M., Dlabolová, I., Elfmark, M., Murcková, P., Salinger, J. and Vaverka, F., *Application Of A 3d Videography In The Analysis Of Gait - Basic Information*. Acta Universitatis Palackanae Gymnica, tisku, vol. 28, 1998.
16. Klasen, L. and Fahlander, O., *Using Videogrammetry And 3-D Image Reconstruction To Identify Crime Suspects*. SPIE Vol. 2942, Investigative Image Processing, editors: Rudinamd, L. and Bramble, S., Boston, pp. 162-169, 1996.
17. Leifer, J., Black, J. T., Weaver Smith, S., Ma, N. and Lump, J. K., *Measurement of In-Plane Motion of Thin-Film Structures Using Videogrammetry*. Journal of Spacecraft and Rockets, Vol. 44, no. 6, 2007.
18. Lin, S. and Mills, P., *A Non-Contact Monitoring System For Investigating As-Built Membrane Roof Structures*. IAPRS Volume XXXVI, Part 5, Dresden, pp. 25-27, 2006.
19. Nuikka, M., Rönholm, P., Kaartinen, H., Kukkonen, A., Suominen, A., Salo, P., Pöntinen, P., Hyypää, H., Hyypää, J., Haggren, H., Absetz, I., Puttonen, J. and Hirsia, H., *Comparison Of Three Accurate 3d Measurement Methods For Evaluating As-Built Floor Flatness, The International Archives Of The Photogrammetry*. Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVII, Part B5, Beijing, 2008.
20. Page, A., Candelas, P., and Belmar, F., *Application Of Video Photogrammetry To Analyse Mechanical Systems In The Undergraduate Physics Laboratory*. Eur. J. Phys. 27 (3), pp. 647-655, 2006.
21. Pollefeys, M. and Van Gool, L., *Visual Modelling: From Images To Images*. The Journal Of Visualization And Computer Animation, Vol. 13, no. 4, pp. 199-209(11), 2002.
22. Pollefeys, M., Koch, R. and Van Gool, L., *Self Calibration And Metric Reconstruction In Spite Of Varying And Unknown Internal Camera Parameters*. IEEE, ICCV Proc., pp. 90-96, 1998.

23. Pollefeys, M., Koch, R., Vergauwen, M. and Van Gool, L., *Automated Reconstruction Of 3d Scenes From Sequences Of Images*. ISPRS Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing (55)4, pp. 251-267, 2000.
24. Remondino, F. and Roditakis, A., *Human Figures Reconstruction And Modeling From Single Images Or Monocular Video Sequences*. IEEE, International 3DIM Conference, Ottawa, Canada, pp. 116-123, 2003.
25. Remondino, F., *3-D Reconstruction Of Static Human Body Shape From Image Sequence*. Journal of Computer Vision and Image Understanding, Vol. 93(1), pp. 65-85, 2004.
26. Remondino, F., *Image Sequence Analysis For Human Body Reconstruction*. Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 34(5), pp. 590-595, 2002.
27. Remondino, F., *Image-Based Modeling For Object And Human Reconstruction*. Swiss Federal Institute Of Technology (Eth), Zurich, Doctoral Thesis Eth no. 16562, 1974.
28. Roncella, R., Remondino, F. and Forlani, G., *Photogrammetric Bridging Of Gps Outages In Mobile Mapping*. Proc. SPIE, Vol. 5665, pp. 308-319, 2005.
29. Roth, G. and Whitehead, A., *Using Projective Vision To Find Camera Positions In An Image Sequence*. 13th Vision Interface Conference, 2000.
30. Ryall, T. G. and Fraser, C. S., *Determination Of Structural Modes Of Vibration Using Digital Photogrammetry*. AIAA Journal of Aircraft, Vol. 39, no. 1, pp. 114-119, 2002.
31. Sapp, C. A., *Photogrammetric Assessment Of The Hubble Space Telescope Solar Arrays During The Second Servicing Mission*. NASA/TP-98-201793, Houston, Texas, 1998.
32. Setan, H. and Ibrahim, M. S., *Precise Measurement And 3d Modeling For Industrial Applications*. Presented at the 11th International Symposium on Deformation measurement, Greece, 2003.
33. Setan, H., Ibrahim, M. S. and Majid, Z., *Precise Measurement And 3d Modeling For Medical And Industrial Applications: Verification Tests*. From Pharaohs to Geoinformatics, FIG Working Week 2005 and GSDI-8, Cairo, Egypt, 2005.
34. Shashua, A., *Trilinearity In Visual Recognition By Alignment*. ECCV, Lectures Notes in Computer Science, Springer-Verlag, Vol. 800, pp. 479-484, 1994.
35. Shortis, M. and Harvey, E. S., *Design And Calibration Of An Underwater Stereo-Video System For The Monitoring Of Marine Fauna Populations*. International Archives Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 32(5), pp. 792-799, 1998.
36. Tuytelaars, T. and Van Gool, L., *Wide Baseline Stereo Matching Based On Local, Affinely Invariant Regions*. Proc. British Machine Vision Conference, Vol. 2, pp. 412-425, 2000.
37. Willneff, J., *A Spatio-Temporal Matching Algorithm For 3d Particle Tracking Velocimetry*. Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zurich, Switzerland, PhD Thesis, Nr. 15276, 2003.

---

<sup>1</sup> disparity gradient

<sup>2</sup> Retro- reflective targets

<sup>3</sup> Video Simultaneous Triangulation And Resection System

<sup>4</sup> INtelligent CAMERA

<sup>5</sup> Geodetic Services Inc

<sup>6</sup> Initial Graphics Exchange Specification

<sup>7</sup> Facilities Management Systems