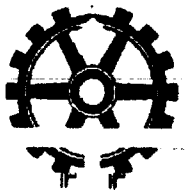
بسم الله الرحمن الرحيم

٣٩٠٣٤

۱۳۸۰ /۱۱/ ۲۹



دانشگاه تهران

بازسازی اتوماتیک سطح صورت انسان توسط روش‌های فتوگرامتری برد کوتاه و تناظریابی رقومی

توسط: جعفر امیری پریان

استاد راهنما: دکتر علی عزیزی

015856

پایان نامه

برای دریافت درجهٔ کارشناسی ارشد

در

رشتهٔ مهندسی عمران - نقشه‌برداری

گرایش فتوگرامتری

دانشکدهٔ فنی

زمستان ۱۳۸۰

۳۹۰۳٤

موضوع

بازسازی اتوماتیک سطح صورت انسان توسط روش های فتوگرامتری برد کوتاه و تناظریابی رقومی

توسط

جعفر امیری پریان

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی نقشه برداری - فتوگرامتری

از این پایان نامه در تاریخ ۸۰/۱۰/۰۹ در مقابل

هیئت داوران دفاع بعمل آمده و مورد تصویب قرار گرفت.

محل امضاء

سرپرست کمیته تحصیلات تکمیلی دانشکده:	دکتر محمدعلی بنی هاشمی
مدیر گروه آموزشی:	دکتر علیرضا آزموده اردلان
نماینده تحصیلات تکمیلی:	دکتر محمدرضا سراجیان
استاد راهنما:	دکتر علی عزیزی
عضو هیئت داوران:	دکتر محمدرضا سراجیان
عضو هیئت داوران:	دکتر محمودرضا دلاور

دانشگاه تهران
دانشکده فنی
گروه مهندسی نقشه برداری

چکیده

اندازه‌گیری و مدلسازی سه‌بعدی سطح صورت انسان در زمینهٔ پزشکی و متحرک‌سازی کاربردهای فراوانی دارد. برای این منظور روش‌های متعددی برای بازسازی سطح صورت بکار گرفته شده‌اند که متداول‌ترین آنها فتوگرامتری رقومی، پویش لیزر و نور ساختار یافته است.

در این پایان نامه یک روش اتوماتیک برای اندازه‌گیری سطح صورت انسان و بازسازی آن توسط روش فتوگرامتری رقومی اجرا و ارزیابی گردید. عکسبرداری، بر اساس طراحی شبکهٔ فتوگرامتری برد کوتاه، توسط یک دوربین آماتور از حداقل هفت ایستگاه همگرا صورت گرفت. محاسبات کالیبراسیون و توجیه خارجی توسط یک شبکهٔ نقاط کنترل سه بعدی که برای این منظور طراحی، ایجاد و اندازه‌گیری گردید، صورت گرفت. برای اینکه محاسبات تناظریابی امکان‌پذیر باشد، بافت مصنوعی بر صورت ایجاد شد و تناظریابی به روش Adaptive least squares multi image matching با محاسبهٔ بیش از ۱۸۰۰۰ نقطهٔ متناظر صورت گرفت. محاسبات بازسازی سطح صورت توسط تقاطع فضایی و با در نظر گرفتن پارامترهای کالیبراسیون انجام و سطح سه بعدی با دقت متوسط ۰/۷ میلیمتر محاسبه شد. نقاط سه بعدی توسط مثلث‌بندی به روش دلونی مدلسازی گردیدند و برای ارائهٔ نتایج متناسب با کاربردهای فوق، سطح صورت به دو شیوهٔ منحنی میزان و نورپردازی شده نمایش داده شد.

تقدیر و تشکر

از

- استاد گرانقدر آقای دکتر عزیزی بخاطر راهنمایی‌های مدبرانه و پیشنهادات راهگشا در اجـرا و محاسبات پایان‌نامه،
- پدر و مادر عزیزم بخاطر همفکری و فراهم آوردن شرائط تحقیق در پیشبرد این پایان نامه،
- برادر بزرگوار صابر بخاطر پیشنهادات و راهنمایی‌ها،
- برادرم مهدی و خواهرم مهناز بخـاطر کمـک در جمـع آوری اطلاعـات شـبکهٔ کالیبراسـیون و قرائت‌های عکسی و همکاری در عکسبرداری،
- آقای مهندس سهیل ستوده بخاطر کمک در نمایش مدل سه بعدی صورت،
- آقای دکتر صمدزادگان بخاطر پیشنهاد موضوع پایان نامه،
- آقای دکتر اردلان، آقای مهندس شریفی و آقای مهندس امیری سیمکوییِ بخاطر راهنمـایی و مشاوره در محاسبات کمترین مربعات و کشف خطا،
- آقای مهندس عابدینی بخاطر در اختیار قرار دادن تجهیزات گروه مهندسی نقشه‌برداری،
- آقای دکتر دلاور بخاطر در اختیار گذاشتن تجهیزات کارگاه سامانه‌های اطلاعات مکـانی بـرای محاسبات و تحقیقات،

و کسانی که به نحوی مرا یاری کردند و اسامی آنها برده نشده است قدردانی و تشکر می‌نمایم.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول	
۱-۱- مقدمه	۱
۱-۲- اهداف پایان نامه	۲
۱-۳- روش کار	۳
۱-۴- ساختار پایان نامه	۳
فصل دوم	
۲-۱- مقدمه	۵
۲-۲- فاز جمع‌آوری اطلاعات	۵
۲-۲-۱-شبکهٔ نقاط کنترل	۶
۲-۲-۲- ایجاد بافت مصنوعی	۸
۲-۲-۲-۱- خصوصیات بافت مصنوعی	۹
۲-۲-۳- طراحی شبکهٔ فتوگرامتری برد کوتاه	۱۰
۲-۲-۳-۱- اصول و قوانین طراحی شبکه فتوگرامتری	۱۱
۲-۲-۳-۲- ملاحظات و خصوصیات اجرایی طراحی شبکهٔ فتوگرامتری برد کوتاه	۱۴
۲-۲-۴- عکسبرداری	۱۶
۲-۲-۴-۱- مرحلهٔ اول عکسبرداری	۱۷
۲-۲-۴-۲- مرحلهٔ دوم عکسبرداری	۲۰
۲-۲-۴-۳- مرحلهٔ سوم عکسبرداری	۲۱
۲-۲-۴-۴- مرحلهٔ چهارم عکسبرداری	۲۲
۲-۳- فاز محاسباتی	۲۴
۲-۳-۱- محاسبات شبکهٔ نقاط کنترل	۲۵
۲-۳-۱-۱- نتایج عددی	۲۶
۲-۳-۲- کالیبراسیون	۲۷
۲-۳-۲-۱- مروری بر روش‌های کالیبراسیون	۲۷
۲-۳-۲-۲- فرمول‌سازی و معادلات ریاضی سلف کالیبراسیون	۲۸
۲-۳-۲-۲-۱- فرمولسازی پارامترهای اضافی	۲۹
۲-۳-۲-۲-۲- معادلات ریاضی DLT	۳۰
۲-۳-۲-۲-۳- فرمولسازی معادلات شرط هم‌خطی با پارامترهای اضافی	۳۲

۲-۳-۲-۳- اجرا و نتایج ۳۴
۲-۳-۲-۳-۱- یافتن نقاط گوشه‌ای ۳۵
۲-۳-۲-۳-۲- نتایج عددی کالیبراسیون ۳۶
۲-۳-۳- تناظریابی ۴۰
۲-۳-۳-۱- اندازهٔ پنجره ۴۰
۲-۳-۳-۲- انتخاب اتوماتیک پارامترهای هندسی ۴۱
۲-۳-۳-۲-۱- معیار حساسیت ۴۱
۲-۳-۳-۲-۲- معیار همبستگی ۴۲
۲-۳-۳-۳- فرمولسازی معادلات ریاضی تناظریابی ناحیه مبنا ۴۲
۲-۳-۳-۴- روش کار و نتایج تناظریابی ۴۶
۲-۳-۳-۴-۱- معرفی الگوریتمها ۴۶
۲-۳-۳-۴-۲- نتایج تناظریابی ۵۰
۲-۳-۳-۴-۳- ارزیابی دقت تناظریابی ۵۲
۲-۳-۴- بازسازی ۵۳
۲-۳-۴-۱- معادلات ریاضی ۵۳
۲-۳-۴-۲- نتایج ۵۴
۲-۳-۴-۳- ارزیابی دقت سطح محاسبه شده ۵۷
۲-۳-۵- نمایش ۵۷

فصل سوم
۳-۱- نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۶۰

ضمیمهٔ I ۶۱
ضمیمهٔ II ۶۳

مراجع ۶۵

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۲-۱- خصوصیات فیزیکی شبکه	۷
جدول ۲-۲- فواصل قابل قبول دوربین تا شئ با توجه به دقت قرائت و دقت مورد نظر فضای شئ	۱۵
جدول ۲-۳- دورترین و نزدیکترین فاصلهٔ قابل قبول و عمق میدان	۱۶
جدول ۲-۴- نتایج محاسبات شبکهٔ نقاط کنترل	۲۶
جدول ۲-۵- بیشترین و میانگین خطاهای سرشکنی باندل برای ۷۴ نقطهٔ کنترل	۳۸
جدول ۲-۶- بیشترین و میانگین خطاهای سرشکنی باندل با ۶۶ نقطهٔ کنترل و ۸ نقطهٔ چک	۳۸
جدول ۲-۷- بیشترین و میانگین خطاهای سرشکنی باندل با ۴۶ نقطهٔ کنترل و ۲۸ نقطهٔ چک	۳۹

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۲-۱- شبکهٔ نقاط کنترل ایجاد شده بر روی دیوار	۷
شکل ۲-۲- ابزار مورد استفاده برای اندازه‌گیری شبکهٔ نقاط کنترل	۸
شکل ۲-۳- قطعه‌ای از بافت مصنوعی استفاده شده در این پایان نامه	۹
شکل ۲-۴- موقعیت و توجیه ایستگاههای عکسبرداری با نمایش حداقل چهار ایستگاه همگرا	۱۱
شکل ۲-۵- نمایش ایستگاههای عکسبرداری بر اساس قوائد طراحی شبکهٔ برد کوتاه	۱۴
شکل ۲-۶- دوربین Canon Eos 630 از این دوربین برای عکسبرداری استفاده شده است	۱۷
شکل ۲-۷- موقعیت اورهد و ایستگاههای عکسبرداری	۲۱
شکل ۲-۸- نمایش قرائت نقاط واقع بر لبهٔ فیلم	۳۵
شکل ۲-۹- نمایش تصاویر تهیه شده از هفت ایستگاه عکسبرداری	۳۷
شکل ۲-۱۰- نمایش فرمول (۲-۲۴)	۴۳
شکل ۲-۱۱- فلوچارت یافتن اندازهٔ پنجرهٔ مناسب برای تناظریابی	۴۷
شکل ۲-۱۲- فلوچارت تناظریابی	۴۸
شکل ۲-۱۳- نقاط متناظر استخراج شده به صورت پروفیل قائم	۵۰
شکل ۲-۱۴- نقاط تناظریابی شده توسط الگوریتم ارائه شده برای نیمهٔ چپ صورت در عکسبرداری مرحلهٔ سوم	۵۱
شکل ۲-۱۵- نتیجهٔ تناظریابی برای نیمهٔ چپ صورت در عکسبرداری مرحلهٔ چهارم	۵۲
شکل ۲-۱۶- سطح بازسازی شدهٔ صورت و عدم اتصال دو نیمهٔ محاسبه شده	۵۴
شکل ۲-۱۷- وضعیت اتصال دو نیمهٔ چپ و راست صورت	۵۶
شکل ۲-۱۸- نمایش روبروی صورت توسط نقاط در فضای شئ	۵۶
شکل ۲-۱۹- نمایش خطا برای نقاط سازندهٔ سطح سه بعدی صورت	۵۷
شکل ۲-۲۰- نمایش مثلث‌بندی نقاط سطح صورت	۵۸
شکل ۲-۲۱- نمایش منحنی میزان سطح صورت	۵۹
شکل ۲-۲۲- نمایش نورپردازی شدهٔ سطح صورت	۵۹
شکل I -۱- نمایش حل یک مسالهٔ کمترین مربعات برای دو متغیر به دو روش Gauss-Newton و Levenberg-Marquardt	۶۲
شکل II -۱- نمایش بیضی خطا	۶۳

فصل اول

۱-۱-مقدمه

جهت ارزیابی تغییرات آناتومی سطح در جراحی پلاستیک و جراحی فک و دندان، دانستن شکل و اندازهٔ صورت بیمار قبل از عملیات جراحی لازم است. دو روش متفاوت جهت مدلسازی سطح صورت انسان قابل ذکر است. در یک روش هدف دقت بالا و دیگری مدلسازی مناسب از سطح صورت بدون دقت بالاست. روش دوم در دنیای متحرک سازی کامپیوتر (animation) مرسوم است [۱۲]. روش اول در کاربردهای پزشکی از قبیل برنامه ریزی عملیات جراحی [۳۷] یا اندازه‌گیری تغییرات سطح پس از عملیات جراحی به صورت دوره‌ای/ مقایسه‌ای [۱۳] و یا پیش بینی نتیجه عملیات جراحی صورت مورد استفاده قرار گرفته است [۱۸] که با مدلسازی سطح توسط اجزاء محدود (finite elements) و اعمال پارامترهای مختلف، تغییر شکل محاسبه و نمایش داده می‌شود.

در حال حاضر روشهای متعددی جهت تولید مدل سه بعدی صورت انسان بکار گرفته شده‌اند. کاربردی‌ترین و معروفترین آنها پویش لیزر(Laser scan) ، coded light بر مبنای هندسهٔ مثلثات (triangulation) و روش فتوگرامتری رقومی است.

روش پویش لیزر به طور گسترده‌ای در دنیای متحرکسازی کامپیوتر بکار گرفته شده است و محصولات نرم افزاری فراوانی جهت مدلسازی سه بعدی و خصوصاً مدلسازی صورت انسان بر پایهٔ این روش به وجود آمده‌اند [۶]. این سیستم به طور متوسط از روبرو سطح صورت را در مدت زمان حدود ۳۰ ثانیه جاروب می‌نماید. سر انسان باید در مدت زمانی که عملیات رقومی کردن صورت می‌گیرد ثابت بماند. رقومی‌گر شامل یک دسته اشعه و یک دوربین ویدئویی است. توسط دوربین ویدئویی اطلاعات هندسی ثبت می‌شود. با روشهای هندسهٔ مثلثات یا انترفرومتری مختصات سه بعدی نقاط جاروب شده با سرعت بالایی محاسبه می‌شوند. این روش توده‌ای از نقاط را که بصورت متراکم اندازه‌گیری شده‌اند و به سهولت قابل استفاده هستند در اختیار می‌گذارد. دقت اندازه‌گیری حدود ۰/۵ میلیمتر است و لازم است فیلترهای نرم کننده به سطح زبر استخراج شده اعمال گردند. زمان طولانی جاروب نمودن کاهش دقت را به همراه خواهد داشت زیرا سوژه نمی‌تواند به مدت زیادی ثابت بماند.

دومین روش متداول coded light بر پایهٔ روش هندسهٔ مثلثات است[۲۹] [۳۹] [۲۲]. این سیستم‌ها معمولاً شامل یک دوربین و یک پروژکتور هدایت شونده هستند. نور کد شده به شکل نوارهای سیاه و سفید به صورت متوالی بر روی سطح شیء توسط پروژکتور تصویر می‌شود. با پروژکتور و دوربین کالیبره اطلاعات عمق از طریق مثلث‌بندی تصاویر جمع‌آوری شده قابل محاسبه است. این سیستم که شامل یک دوربین و پروژکتور است به سهولت نصب می‌شود و به سادگی قابل استفاده است به همین دلیل در شاخهٔ صنعت متداول است. این روش برای اشیاء ساکن (موضوعات Static)

بهینه است و برای موضوعات پیچیده مانند صورت انسان، لازم است برداشت‌های متفاوتی با تابشهای نور کد شده از جهات مختلف انجام شود.

روش فتوگرامتری رقومی [۱۴] [۸] ایستگاههای مختلفی را برای برداشت تصاویر از یک شیء بکار می‌گیرد و می‌تواند پوشش کامل از سطح صورت ارائه دهد. بر خلاف روش‌های فوق که روش‌های active هستند روش فتوگرامتری یک روش passive است یعنی به لیزر یا نور ساختار یافته نیازی ندارد و با نور معمولی ولی با تصویر برداری استریو مدل سه بعدی سطح را بازسازی می‌نماید. در این روش تنها توسط دوربین اطلاعات طیفی بر روی فیلم یا صفحهٔ CCD ثبت می‌شود و معادلهٔ اصلی فتوگرامتری شرط هم‌خطی -که نقش اصلی دارد- ارتباط هندسی موقعیت عکسی را با شیء بر قرار می‌سازد. الگوریتم‌های تناظریابی مانند تناظریابی به روش کمترین مربعات به طور اتوماتیک توده‌ای از نقاط متناظر را استخراج می‌نمایند. مختصات سه بعدی نقاط متناظر توسط تقاطع فضایی محاسبه می‌شوند که مستلزم محاسبهٔ پارامترهای داخلی (کالیبراسیون) و خارجی دوربین است. موضوع اندازه‌گیری -صورت انسان- اغلب بافت (Texture) کافی جهت تناظریابی ندارد، بنابراین لازم است بافت مصنوعی بر روی سطح صورت مثلاً از طریق پروژکتور تصویر شود. بافت مصنوعی می‌تواند حاوی الگوهای خطی، نقطه‌ای و یا الگویی از نقاط تصادفی با طیف مختلفی از درجات خاکستری بر اساس روش تناظریابی باشد. از آنجایی که کلیه اطلاعات (هندسی و طیفی) جهت مدلسازی سطح می‌تواند در یک مرحله جمع‌آوری گردد، فتوگرامتری رقومی می‌تواند به عنوان یک روش جهت اندازه‌گیری سطح با دقت بالا به کار گرفته شود.

۱-۲-اهداف پایان نامه

در این پایان نامه روشی جهت اندازه‌گیری سطح صورت انسان با دقت بالا توسط روش فتوگرامتری اجرا و ارزیابی شده است. هدف از این پایان نامه پیاده سازی یک سیستم جهت کمک به برنامه‌ریزی (بررسی سطح صورت برای عملیات جراحی) و تخمین شکل صورت انسان پس از عملیات جراحی فک و دندان و جراحی پلاستیک است.

تحقیقات قبلی در این زمینه برای پیاده سازی یک سیستم جهت اندازه‌گیری و مدلسازی سطح صورت انسان به سال ۱۹۹۷ D'Apozzo [۷] بازمی‌گردد. در این تحقیق از یک دوربین در پنج ایستگاه و یک پروژکتور جهت اندازه گیری سطح یک ماسک صورت استفاده شده است. در سال ۱۹۹۸ D'Apozzo [۸] سیستم خود را بهینه می‌سازد و از ۵ دوربین و ۲ پروژکتور برای تصویر بافت مصنوعی بر روی صورت انسان استفاده می‌نماید. روش محاسبات در هر دو تحقیق یکسان است و استفاده از ۵ دوربین تنها زمان عکسبرداری را کاهش می‌دهد (زمان عکسبرداری حدود ۱۰ ثانیه). دقت حدود ۰/۱ تا ۰/۳ میلیمتر در فضای شیء بدست آمده است.

۱-۳-روش کار

روش بکار گرفته شده در این پایان نامه Multi Image Photogrammetry است. عکسبرداری با یک دوربین از حداقل هفت ایستگاه همگرا بر اساس طراحی شبکهٔ فتوگرامتری صورت می‌گیرد. بافت مصنوعی حاوی اطلاعات خطی/ نقطه‌ای و طیفی به دو روش مختلف؛ الف) تصویر توسط یک پروژکتور، ب) رنگ آمیزی بر روی صورت ایجاد می‌گردد. تناظریابی بر پایهٔ روش adaptive least square multi image matching است که نقاط متناظر بر اساس کمینه نمودن مجموع مربعات اختلاف درجات خاکستری بین دو ناحیهٔ انتخاب شده از تصاویر محاسبه می‌شوند. بافت مصنوعی طیف مختلفی از عوارض خطی/ نقطه‌ای و درجات خاکستری را بر روی سطح ایجاد می‌کند. پارامترهای داخلی و خارجی دوربین توسط یک شبکه سه بعدی نقاط کنترل و مختصات سه بعدی سطح توسط تقاطع فضایی با استفاده از اثر نتایج محاسبات کالیبراسیون دوربین محاسبه می‌گردند. سطح محاسبه شده به سه طریق زیر نمایش داده می‌شود:

الف) مثلث بندی نقاط نا منظم به روش دلونی

ب) منحنی میزان

ج) سطح نورپردازی شده

زمان عکسبرداری حدود ۲۰ ثانیه و دقت سطح بازسازی شده در فضای شیئ با مقیاس ۱:۲۳ به طور متوسط برابر ۰/۷ میلیمتر است.

۱-٤-ساختار پایان نامه

این پایان نامه علاوه بر این فصل شامل دو فصل زیر است:

فصل دوم

در این فصل مراحل جمع‌آوری اطلاعات، اجرا و محاسبات تشریح و نتایج ارائه می‌گردند.

فاز جمع‌آوری اطلاعات شامل مراحل زیر است:

- ایجاد و اندازه‌گیری شبکهٔ نقاط کنترل برای کالیبراسیون و توجیه خارجی
- ایجاد بافت مصنوعی
- طراحی ایستگاههای عکسبرداری
- عکسبرداری

فاز محاسباتی شامل مراحل زیر است:

- محاسبات شبکهٔ نقاط کنترل
- محاسبات کالیبراسیون
- تناظریابی
- بازسازی سطح صورت و ارزیابی سطح بازسازی شده

- نمایش سطح صورت

فصل سوم

شامل نتیجه گیری و پیشنهادات است.

فصل دوم

۲-۱- مقدمه

همانطور که قبلاً اشاره شد در این فصل جمع آوری اطلاعات (Data acquisition)، محاسبات، اجرا و ملاحظات برای محاسبهٔ سطح سه بعدی صورت تشریح می‌شود. در ابتدا در بخش ۲-۲ فاز جمع‌آوری اطلاعات شامل چهار مرحله برای معرفی جداگانهٔ روش‌ها و نکات اجرایی و ارائهٔ نتایج اجرای هر مرحله تشریح می‌شود. در این بخش علاوه بر موضوعات اجرایی و عملیاتی، موضوع طراحی شبکهٔ فتوگرامتری با هدف یافتن پارامترهای مناسب و بهینهٔ ایستگاههای عکسبرداری به دلیل اهمیت آن و پیش نیاز بودن برای عملیات عکسبرداری مورد توجه و بررسی قرار گرفته است. در انجام صحیحتر و بهتر فاز جمع‌آوری اطلاعات بسیاری از مشکلات و روش حل آنها در فاز محاسباتی بدست آمده ولی برای ارائهٔ منظم‌تر و مفیدتر واقع شدن آنها، برخی نتایج فاز محاسباتی که در اجرا تاثیر می‌گذاشته در فاز جمع‌آوری اطلاعات گنجانده شده است. بخش ۲-۳ مبانی ریاضی، الگوریتمها، روش‌ها و نتایج محاسباتی را با عنوان فاز محاسباتی تشریح می‌کند. تقسیم‌بندی فاز جمع‌آوری اطلاعات و فاز محاسباتی از یک طرف یک ترتیب منطقی پایان نامه و از طرف دیگر نوع عملیات را دسته‌بندی می‌کند. با این مقدمه فاز جمع‌آوری اطلاعات تشریح می‌شود.

۲-۲- فاز جمع‌آوری اطلاعات

در این فاز سه مرحلهٔ عملیاتی، اجرایی و یک مرحلهٔ طراحی شبکه به ترتیب زیر انجام شده است:

- ایجاد و اندازه‌گیری شبکهٔ نقاط کنترل
- ایجاد بافت مصنوعی
- طراحی ایستگاههای عکسبرداری
- عکسبرداری

مرحله اول، ایجاد و اندازه‌گیری شبکهٔ نقاط کنترل برای کالیبراسیون و توجیه خارجی دوربین است. برای این منظور یک شبکهٔ کالیبراسیون با ۲۶۶ نقطه ایجاد شده است. در بخش ۲-۲-۱ دربارهٔ ایجاد و اندازه‌گیری شبکهٔ نقاط کنترل صحبت می‌شود.

مرحلهٔ دوم، طراحی و ایجاد بافت مصنوعی است. صورت انسان بافت کافی برای محاسبات تناظریابی (matching) ندارد، بنابراین به دو روش مختلف؛ یکی با تصویر کردن بافت طراحی شده توسط پروژکتور بر صورت و دیگری رنگ‌آمیزی سطح صورت، بافت مصنوعی با خصوصیاتی که مناسب روش تناظریابی و عملیات عکسبرداری باشد بر صورت ایجاد شده است. در بخش ۲-۲-۲ دربارهٔ این مرحله صحبت می‌شود.

مرحلهٔ سوم، این مرحله از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. چراکه تصمیمات و نتایج این مرحله بر چگونگی عکسبرداری و نتایج محاسبات تاثیر مستقیم می‌گذارد. در این مرحله مروری بـر اصـول و قوانین طراحی ایستگاههای عکسبرداری صورت می‌پذیـرد و پارامترهـای عکسـبرداری شـامل: تعـداد، موقعیت، جهت دید ایستگاهها ، فاصلهٔ کانونی و مقیـاس مشـخص می‌شـوند. هـر چنـد ایـن مرحلـه محاسباتی است ولی به دلیل پیش‌نیاز بودن مرحلهٔ عکسـبرداری در فـاز جمـع‌آوری اطلاعـات مطـرح می‌گردد. توضیحات این مرحله در بخش ۲-۲-۳ آورده شده است.

مرحلهٔ چهارم، آخرین مرحلـه و از مـهمترین مراحـل فـاز جمـع‌آوری اطلاعـات اسـت. چراکـه اگر عکسبرداری با ویژگیهای مناسب انجام نپذیرد نمی‌توان از نتایج مراحل قبل در فاز محاسباتی به خوبی استفاده نمود. در فاز محاسباتی ارتباط فضای تصویر و فضای شـئ برقـرار می‌شـود و در صورتـی ایـن ارتباط به خوبی ایجاد می‌شود که در عکسبرداری قوانین طراحی شبکه فتوگرامتری رعایت شـوند. در بخش ۲-۲-۴ دربارهٔ مراحل عکسبرداری از صورت، ملاحظات و مشکلات آن صحبت می‌شود.

۲-۲-۱-شبکهٔ نقاط کنترل

نقاط کنترل در محاسبات کالیبراسیون و پارامترهای توجیه خارجی دوربین استفاده می‌شوند. برای این نقاط باید شروطی در نظر گرفت که بتوانند به خوبـی اهـداف کالیبراسـیون و توجیـه خـارجی را برآورده سازند. این شروط عبارتند از:

۱) نقاط پراکندگی مناسب داشته باشند بطوریکه تمام مناطق (وسط و نواحـی نزدیـک لبـه‌های) عکس را پوشش دهند.

۲) تعداد نقاط به اندازه‌ای باشد که حداقل مشاهدات مستقل برای حل مجهولات با توجه به مدل ریاضی را بتوان ایجاد کرد و از طرفی بتوان از آنها به عنوان نقاط چـک نـیز (check points) استفاده نمود.

۳) نقاط توزیع سه بعدی داشته باشند (هم‌صفحه نباشند).

۴) تصاویر نقاط علامت گذاری شده واضح بوده و نشانه روی (pointing) بر روی این نقاط بـدون ابهام قابل انجام باشد.

شرط ۱ برای این است که محاسبات کالیبراسیون به درستی انجام شود. اگر نقاط در تصویر پراکندگی یکنواخت و سرتاسری نداشته باشند پارامترهای کالیبراسیون به درستی محاسـبه نمی‌شـوند. شـرط ۲ برای کنترل محاسبات در نظر گرفته می‌شود و در صورتی که شرط ۳ رعایت نشود فاصلهٔ کانونی قابل محاسبه نخواهد بود. شرط ۴ برای کاهش خطای قرائت یا نشانه روی نقاط در نظر گرفته می‌شود. بـه این ترتیب شبکهٔ نقاط کنترل با در نظر گرفتن خصوصیات فوق بر روی دیوار طراحی و ایجاد گردیـد. شکل ۲-۱ وضعیت این نقاط را نشان می‌دهد.