



دانشکده مهندسی فناوری‌های نوین

گروه مهندسی مکترونیک

پایان نامه

برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد در رشته‌ی مهندسی مکترونیک

عنوان

تعیین موقعیت و جهت با استفاده از بینایی استریو

استادان راهنما

دکتر علی رستمی

دکتر قادر کریمیان

استاد مشاور

دکتر احمد قنبری

پژوهشگر

سید محمد رضا شهشهانی

بهمن ۱۳۸۹

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقد و :

پاس راور رکن را دارم از اوست.

از اسایدا می تقدرم در عرضی و در میان انجام این پیمان زت او ای مل رروطا یاری را ن آ و نندا می م. ن از اتا دشاور روارم در مراد مری

ای ما ن خ و د و زان شان ل رادارم.

اما پاس و ه و در ا خا و لده ام واره از را مان و ت شان و در ا و دده و م، شان م.

اید دزی و سادگی ای بی ان ان

نام خانوادگی دانشجو: شهشهانی		نام: سید محمد رضا	
عنوان پایان نامه: تعیین موقعیت و جهت با استفاده از بینایی استریو			
اساتید راهنما: دکتر علی رستمی و دکتر قادر کریمیان.			
استاد مشاور: دکتر احمد قنبری.			
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد		رشته: مهندسی مکاترونیک	
دانشگاه: دانشگاه تبریز		دانشکده: مهندسی فناوری های نوین	
تاریخ فارغ التحصیلی: بهمن ۱۳۸۹		تعداد صفحات: ۸۷	
واژه نامه: تعیین موقعیت و جهت، بینایی استریو، تطابق استریو، الگوریتم ژنتیک.			
<p>چکیده: تعیین موقعیت و جهت جسم متحرک، مسئله ای مهم و پیچیده و کماکان مورد تحقیق و کنکاش می باشد. برای این منظور روش ها و سنسورهای مختلف بکار می رود که از آن جمله، روشهای مبتنی بر بینایی استریو، لیزر، سونار و ادومتری یا تلفیق آنها را می توان نام برد.</p> <p>در این رساله، با هدف بالا بردن کارائی بینایی استریو در تعیین مختصات و سمت، از ویژگی های SURF و SIFT بعنوان علائم راهنما استفاده شده است. کارهای انجام شده در این رساله، حول سه مولفه اصلی مسئله، یعنی تطابق علائم راهنما در تصاویر استریو، دنبال کردن علائم راهنما بین دو موقعیت مختلف دوربین و تعیین جابجایی و تغییر جهت مبتنی بر علائم راهنمای تطابق یافته و دنبال شده، متمرکز است. بستر آزمایشگاهی برای ارزیابی دستاوردها، دوربین استریوی بامبل بی ۲ ساخت شرکت پوینت گری است. دوربین به کامپیوتر متصل شده و برای هر آزمایش در دو موقعیت متفاوت قرار می گیرد. هدف محاسبه ی ماتریس چرخش و بردار جابجایی بین دستگاه مختصات دوربین در دو موقعیت مختلف است. محیط تصویربرداری، محیط داخل ساختمان است.</p> <p>از دستاوردهای این رساله در زمینه ی محاسبه ی ماتریس چرخش و بردار جابجایی، الگوریتمی جدید بر پایه ی الگوریتم ژنتیک است. این الگوریتم هم از نظر هزینه ی محاسباتی پایین است و هم دقت بسیار خوبی دارد. برای مثال، حداکثر خطای مشاهده شده برای نقاط SIFT، $1/9$ میلی متر در 83 میلی متر بوده است که تقریباً معادل 3% خطاست. این نتیجه، عملکرد بسیار خوب الگوریتم مبتنی بر بینایی ارائه شده را بخوبی نشان می دهد.</p>			

فهرست مطالب

پیشگفتار.....	۱
فصل اول: بررسی منابع.....	۴
۱-۱ مقدمه.....	۵
۲-۱ مروری بر بینایی استریو.....	۵
۳-۱ هندسه‌ی بینایی استریو-بازسازی سه‌بعدی.....	۷
۴-۱ پارامترهای یک سیستم استریو.....	۹
۵-۱ علائم راهنما.....	۹
۱-۵-۱ پاره‌خط‌ها.....	۹
۲-۵-۱ گوشه‌ها.....	۱۰
۳-۵-۱ نقاط ویژگی SIFT.....	۱۱
۱-۳-۵-۱ تشخیص مکان ویژگی.....	۱۲
۲-۳-۵-۱ حذف نقاط متعلق به لبه‌ها.....	۱۵
۳-۳-۵-۱ تخصیص جهت.....	۱۶
۴-۳-۵-۱ توصیف‌گر نقطه‌ی ویژگی.....	۱۸
۴-۵-۱ نقاط ویژگی SURF.....	۱۹
۱-۴-۵-۱ تشخیص نقاط ویژگی.....	۱۹
۱-۱-۴-۵-۱ تصاویر تجمعی.....	۱۹
۲-۱-۴-۵-۱ نقاط ویژگی مبتنی بر ماتریس هسین.....	۲۰
۳-۱-۴-۵-۱ نمایش فضای مقیاس.....	۲۲
۴-۱-۴-۵-۱ تعیین مکان نقطه‌ی ویژگی.....	۲۴
۲-۴-۵-۱ تعیین جهت غالب ویژگی.....	۲۴
۳-۴-۵-۱ تشکیل بردار ویژگی.....	۲۶
۵-۵-۱ سایر نقاط ویژگی.....	۲۷

۲۸	۶-۵-۱ بحث و جمع‌بندی
۲۸	۶-۱ تطابق استریو
۲۸	۱-۶-۱ الگوریتم‌های مبتنی بر اطلاعات نوری و پیکسل‌های تصویر
۳۱	۲-۶-۱ الگوریتم‌های تطابق علائم راهنما در تصاویر استریو
۳۴	۷-۱ دنبال کردن علائم راهنما بین دو جفت تصویر استریو
۳۵	۸-۱ محاسبه‌ی جابجایی و تغییر جهت
۳۷	۹-۱ بررسی کاربردی
۳۷	۱۰-۱ تعریف مسئله و اهداف پژوهش
۳۹	فصل دوم: مواد و روش‌ها
۴۰	۱-۲ مقدمه
۴۰	۲-۲ دوربین استریو
۴۲	۳-۲ انتخاب نقاط علائم راهنما
۴۳	۴-۲ الگوریتم‌های تطابق مبتنی بر نقاط ویژگی
۴۳	۱-۴-۲ الگوریتم مبتنی بر حد آستانه
۴۵	۲-۴-۲ الگوریتم 2^{nd} NN
۴۶	۳-۴-۲ الگوریتم‌های سراسری
۴۶	۱-۳-۴-۲ مدل‌سازی مسئله
۴۸	۲-۳-۴-۲ تابع هدف و حل مسئله‌ی تطابق
۵۱	۴-۴-۲ دنبال کردن علائم راهنما بین دو جفت تصویر استریو
۵۲	۵-۴-۲ تعیین موقعیت و جهت با استفاده از علائم راهنما
۵۲	۱-۵-۴-۲ الگوریتم CTF
۵۲	۱-۱-۵-۴-۲ استفاده از SVD برای محاسبه‌ی ماتریس‌های دوران و جابجایی
۵۳	۱-۱-۵-۴-۲ محاسبه‌ی چرخش
۵۳	۲-۱-۵-۴-۲ محاسبه‌ی جابجایی

۵۴	۲-۴-۵-۱-۱-۳ موارد خاص
۵۴	۲-۴-۵-۱-۲ بهبود جواب
۵۵	۲-۴-۵-۲ استفاده از الگوریتم ژنتیک برای محاسبه‌ی موقعیت و جهت
۵۶	۲-۴-۵-۱-۲ الگوریتم ژنتیک
۶۱	۲-۴-۵-۱-۲ محاسبه‌ی موقعیت و جهت
۶۴	۲-۴-۵-۳-۲ محاسبه‌ی جابجایی و تغییرات زاویه نسبت به دستگاه اولیه
۶۶	فصل سوم: نتایج و بحث
۶۷	۳-۱ مقدمه
۶۷	۳-۲ استخراج نقاط ویژگی از تصاویر
۶۹	۳-۳ تطابق استریو
۷۲	۳-۴ دنبال کردن نقاط ویژگی بین دو وضعیت
۷۴	۳-۵ تعیین موقعیت و جهت
۷۹	نتیجه‌گیری
۸۰	پیشنهادها
۸۱	منابع

فهرست شکل‌ها

- شکل (۱-۱): در قسمت پایین شکل، دوربین استریوی بامبل‌بی ۲ قرار دارد. در قسمت بالای شکل، دو تصویر خروجی چپ و راست دوربین دیده می‌شود. نقاط نشان داده شده، نمونه‌ای از دو نقطه‌ی متناظر هستند. ۶.....
- شکل (۲-۱): بالا: دوربین استریو به همراه دستگاه مختصات دوربین چپ. پایین: نمایش هندسی سیستم استریو. ۷.....
- شکل (۳-۱): نحوه‌ی تشکیل فضای مقیاس. سمت چپ: تصاویر هموار شده با توابع گاوسین؛ سمت راست: تصاویر محاسبه شده از تفاضل تصاویر همواره شده. ۱۴.....
- شکل (۴-۱): اکستریم محلی تابع DoG با مقایسه‌ی پیکسل نشان داده شده توسط \times ، با ۲۶ پیکسل همسایه در نواحی 3×3 (نقاط سبزرنگ) محاسبه می‌گردد. ۱۵.....
- شکل (۵-۱): نمونه‌ای از هیستوگرام تشکیل شده برای تعیین جهت غالب نقطه‌ی ویژگی. میله‌ی قرمز رنگ نشان دهنده‌ی بیشینه مقدار در هیستوگرام و در نتیجه جهت غالب نقطه‌ی ویژگی است. ۱۷.....
- شکل (۶-۱): برای تشکیل توصیف گر نقطه‌ی ویژگی ابتدا اندازه و جهت بردار گرادیان برای نقاط داخل پنجره‌ای حول نقطه‌ی ویژگی محاسبه می‌شود (شکل چپ). سپس مقادیر این نقاط برای نواحی 4×4 در هیستوگرام جهت وارد شده و برای ۸ جهت محاسبه می‌گردد (شکل راست). ۱۸.....
- شکل (۷-۱): با استفاده از تصاویر تجمعی، می‌توان جمع مقادیر درون هر مستطیل دلخواه از تصویر را تنها با استفاده از ۳ بار جمع و تفریق محاسبه کرد. ۲۰.....
- شکل (۸-۱): نیمه‌ی چپ: مشتق دوم گاوسین در راستای y () و xy ()؛ نیمه‌ی راست: تخمین همان مشتقات سمت چپ با استفاده از فیلترهای جعبه‌ای. قسمت‌های خاکستری در این فیلترها معادل صفر است. ۲۱.....
- شکل (۹-۱): سمت چپ: ابعاد فیلتر ثابت است، ابعاد تصویر به تدریج کاهش می‌یابد؛ سمت راست: ابعاد تصویر ثابت است، ابعاد فیلتر به تدریج افزایش می‌یابد. ۲۲.....
- شکل (۱۰-۱): فیلترهای (بالا) و (پایین) برای دو مقیاس متوالی (9×9) و (15×15) . ۲۳.....

- شکل (۱-۱۱): فیلترهای ویولت هار که پاسخ را در جهت x(چپ) و y(راست) محاسبه می‌کنند. بخش‌های سفید معادل +۱ و بخش‌های سیاه‌رنگ، معادل ۱- هستند. ۲۵
- شکل (۱-۱۳): تخصیص جهت نقطه‌ی ویژگی: پاسخ فیلتر ویولت وزنی دهی شده با گاوسین، برای نقاط درون ناحیه‌ای دایره‌شکل حول نقطه‌ی ویژگی محاسبه شده(بالا) و به همچون نقاطی در دستگاه مختصات کارتزین رسم می‌گردد؛ سپس با لغزاندن پنجره‌ای به پهنای - در نمودار رسم شده، جهت غالب تعیین می‌شود(پایین). ۲۵
- شکل (۱-۱۴): نحوه‌ی تشکیل بردار ویژگی..... ۲۶
- شکل (۱-۱۵): توصیف‌گر ویژگی GLOH که از بردارهای گرادیان حوا نقطه‌ی ویژگی حاصل شده است..... ۲۷
- شکل (۱-۱۶): نمونه‌ای از یک تصویر DSI و مسیر بهینه(نقاط سفیدرنگ). ۲۹
- شکل (۱-۱۷): مدل مسئله در الگوریتم برش گراف؛ x محور افقی، y محور قائم و d محور اختلاف مکان است..... ۳۰
- شکل (۲-۱): بالا: دوربین استریوی مورد استفاده؛ پایین: نمایی از برنامه‌ی در حال اجرا برای تصویر برداری. ۴۱
- شکل (۲-۲): الگوریتم CTF..... ۵۵
- شکل (۲-۳): نمودار ترتیبی عملکرد الگوریتم ژنتیک..... ۵۶
- شکل (۲-۴): نمونه‌ای از یک چرخ رولت به همراه وزن‌های هر قطاع از آن..... ۵۸
- شکل (۲-۵): جابجایی تک نقطه‌ای..... ۵۹
- شکل (۲-۶): نمونه‌ای از اعمال عملگر جهش بر روی یک کروموزوم. منظور از m، ژنی است که در اثر عملگر جهش در کروموزوم جایگزین شده است. ۶۰
- شکل (۲-۷): نحوه‌ی بیان متغیرهای مسئله به صورت کروموزوم برای استفاده در الگوریتم ژنتیک..... ۶۲
- شکل (۳-۱): نقاط ویژگی استخراج شده از دو نمونه تصویر گرفته شده با استفاده از دوربین استریو. چپ: نقاط SURF؛ راست: نقاط SIFT. تصاویر مربوط به دوربین چپ دوربین استریو است..... ۶۷

شکل (۲-۳): نمونه‌ای از نقاط ویژگی دنبال شده در دو تصویر از دو موقعیت متفاوت. بالا سمت چپ: موقعیت اولیه؛ بالا سمت راست: موقعیت ثانویه. پایین: ترسیم نقاط دنبال شده (هر دو نقطه دسته نقاط، در یک تصویر نشان داده شده و دنبال شده‌اند). ۷۲

فهرست جداول

- جدول (۱-۲): مشخصات فنی دوربین بامیل بی ۲. ۴۰
- جدول (۲-۲): عملگرها و پارمترهای مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک ارائه شده. ۶۲
- جدول (۱-۳): مقایسه‌ی تعداد نقاط ویژگی SIFT و SURF در تصاویر. ۶۸
- جدول (۲-۳): مقایسه‌ی دو الگوریتم تطابق مورد استفاده برای نقاط SURF. ۶۹
- جدول (۳-۳): نتایج بهبود الگوریتم‌های تطابق با استفاده از تطابق دوطرفه. ۷۰
- جدول (۴-۳): نتایج تطابق نقاط SIFT با استفاده از الگوریتم 2^{ND} NN. ۷۱
- جدول (۵-۳): نتایج الگوریتم 2^{ND} NN در دنبال کردن نقاط SURF. ۷۳
- جدول (۶-۳): نتایج الگوریتم 2^{ND} NN در دنبال کردن نقاط SIFT. ۷۳
- جدول (۷-۳): نتایج محاسبه‌ی زوایای چرخش و تغییر مکان با استفاده از الگوریتم CTF برای نقاط SURF. ۷۴
- جدول (۸-۳): نتایج محاسبه‌ی زوایای چرخش و تغییر مکان با استفاده از الگوریتم CTF برای نقاط SIFT. ۷۴
- جدول (۹-۳): نتایج محاسبه‌ی زوایای چرخش و تغییر مکان با استفاده از الگوریتم GA برای نقاط SURF. ۷۵
- جدول (۱۰-۳): نتایج محاسبه‌ی زوایای چرخش و تغییر مکان با استفاده از الگوریتم GA برای نقاط SIFT. ۷۵
- جدول (۱۱-۳): قدر مطلق خطای CTF بر روی نقاط SURF (گردشده تا اولین رقم اعشار). ۷۵
- جدول (۱۲-۳): قدر مطلق خطای CTF بر روی نقاط SIFT (گردشده تا اولین رقم اعشار). ۷۶
- جدول (۱۳-۳): قدر مطلق خطای GA بر روی نقاط SURF (گردشده تا اولین رقم اعشار). ۷۶
- جدول (۱۴-۳): قدر مطلق خطای GA بر روی نقاط SIFT (گردشده تا اولین رقم اعشار). ۷۶
- جدول (۱۵-۳): مقایسه‌ی خطای زوایا برای دو الگوریتم و برای نقاط SIFT و SURF. ۷۷
- جدول (۱۶-۳): مقایسه‌ی خطای زوایا برای دو الگوریتم و برای نقاط SIFT و SURF. ۷۷

لیست علائم اختصاری

SIFT	Scale Invariant Feature Transform
SURF	Speeded Up Robust Features
CTF	Coarse to Fine
GA	Genetic Algorithm
DoG	Difference of Gaussian
LoG	Laplacian of Gaussian
SUSAN	Smallest Univalued Segment Assimilating Nucleus
DSI	Disparity Image Space
GLOH	Gradient Location and Orientation Histogram

پیشگفتار

امروزه مهندسی مکاترونیک دامنه‌ی وسیعی از علوم مختلف را در بر گرفته و هر کدام از این علوم نقش ابزاری را در بخش‌های مختلف این علم بازی می‌کنند. یکی از پرکاربردترین این علوم، علم بینایی ماشین^۱ است. بینایی ماشین چنانچه از نام آن بر می‌آید، توانایی ادراک محیط را به صورت دیداری برای ماشین‌ها فراهم می‌سازد. به بیان ساده‌تر، بینایی ماشین به مثابه چشم در انسان‌هاست. در حقیقت بسیاری از مفاهیم و بنیان‌های علمی در بینایی ماشین با الهام گرفتن از سیستم بینایی در انسان شکل گرفته است. بینایی استریو^۲ یکی از مهم‌ترین سیستم‌های بوجود آمده در زمینه‌ی بینایی ماشین است که دقیقاً بر اساس سیستم بینایی انسان (دو چشم) ایجاد شده است.

آنچه در انسان امکان ادراک سه‌بعدی از محیط را فراهم می‌آورد، همین وجود دو چشم است که اطلاعات دو تصویر، با اندکی تفاوت دید، را به مغز منتقل کرده و به وی امکان تمیزدادن اجسام دور از نزدیک را می‌دهد. با الهام از این سیستم طبیعی، علم بینایی ماشین تلاش کرده است تا با به‌کارگیری آن در ماشین‌ها، به هرچه هوشمندتر شدن آن‌ها کمک کند.

یکی از موارد پرکاربرد بینایی استریو، تعیین موقعیت و جهت است. هر کجا نیاز باشد تا تنها با تکیه بر تکنیک‌های بینایی ماشین، مکان و جهت نسبی یک جسم متحرک تعیین شود، این تکنیک قابل استفاده و پیاده‌سازی است، خواه جسم متحرک یک ربات سیار مجهز به یک دوربین استریو^۳ باشد، و یا فردی نابینا که دوربین به او متصل است. کلیت مسئله یکی است. آنچه ممکن است در جزئیات تأثیرگذار باشد، محدودیت‌های محیطی و یا امکانات پیاده‌سازی است.

در کاربردهای مختلف یکی از پارامترهای تأثیرگذار در انتخاب روش مناسب برای ادراک محیط و حل مسئله‌ی مکان‌یابی، امکان پیاده‌سازی آسان و با حداقل نیازهای محاسباتی است. از آنجا که مباحث

¹ Machine vision

² Stereo vision

³ Stereo camera

بینایی ماشین به طور کلی بر گسسته‌سازی روابط و روش‌های عددی مبتنی است، هم از نظر محاسباتی و هم از نظر پیاده‌سازی ساده‌تر از روش‌هایی نظیر استفاده از سنسورهای آلتراسونیک^۱ است.

اندازه‌گیری موقعیت و جهت یکی از کاربردهایی است که پارامتر دقت در آن نقش مهمی دارد. به همین منظور فراهم آوردن الگوریتم‌هایی که بتواند دقت مناسبی را برای سیستم فراهم آورد، یکی از موارد بسیار مهم و تأثیرگذار است. در این پایان‌نامه، هدف بررسی روش‌های مختلف حل مسئله‌ی اندازه‌گیری جابجایی و تغییر جهت و ارائه‌ی الگوریتم‌های با قابلیت پیاده‌سازی مناسب است. در این پژوهش، با هدف بالا بردن کارایی بینایی استریو در تعیین مختصات و سمت، از ویژگی‌های استخراجی از تصویر بعنوان علائم راهنما استفاده خواهد شد. کارهای انجام شده در این رساله، حول سه مولفه‌ی اصلی مسئله، یعنی استخراج علائم راهنما از تصاویر استریو، تطابق علائم راهنما در تصاویر استریو و دنبال کردن آن‌ها در دو تصویر متوالی و تعیین جابجایی و تغییرات جهت مبتنی بر علائم راهنمای تطابق یافته و دنبال شده، متمرکز است. محیط مورد مطالعه نیز محیط داخلی و بدون داشتن هیچ گونه علائم مصنوعی است.

در فصل اول این نوشتار، به بررسی مختصر اصول، تئوری و پایه‌های نظری مربوط به موضوع پایان‌نامه پرداخته شده است. همچنین مروری بر پیشینه‌ی کار نیز در این فصل گردآوری شده است. در فصل دوم الگوریتم‌های مورد بررسی معرفی شده و الگوریتم‌های پیشنهادی با ذکر جزئیات، شرح داده شده است. فصل سوم شامل نتایج پیاده‌سازی الگوریتم‌های مورد بررسی است. در پایان نیز به نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای ادامه‌ی کار پرداخته شده است.

^۱ Ultrasonic

فصل اول

بررسی منابع

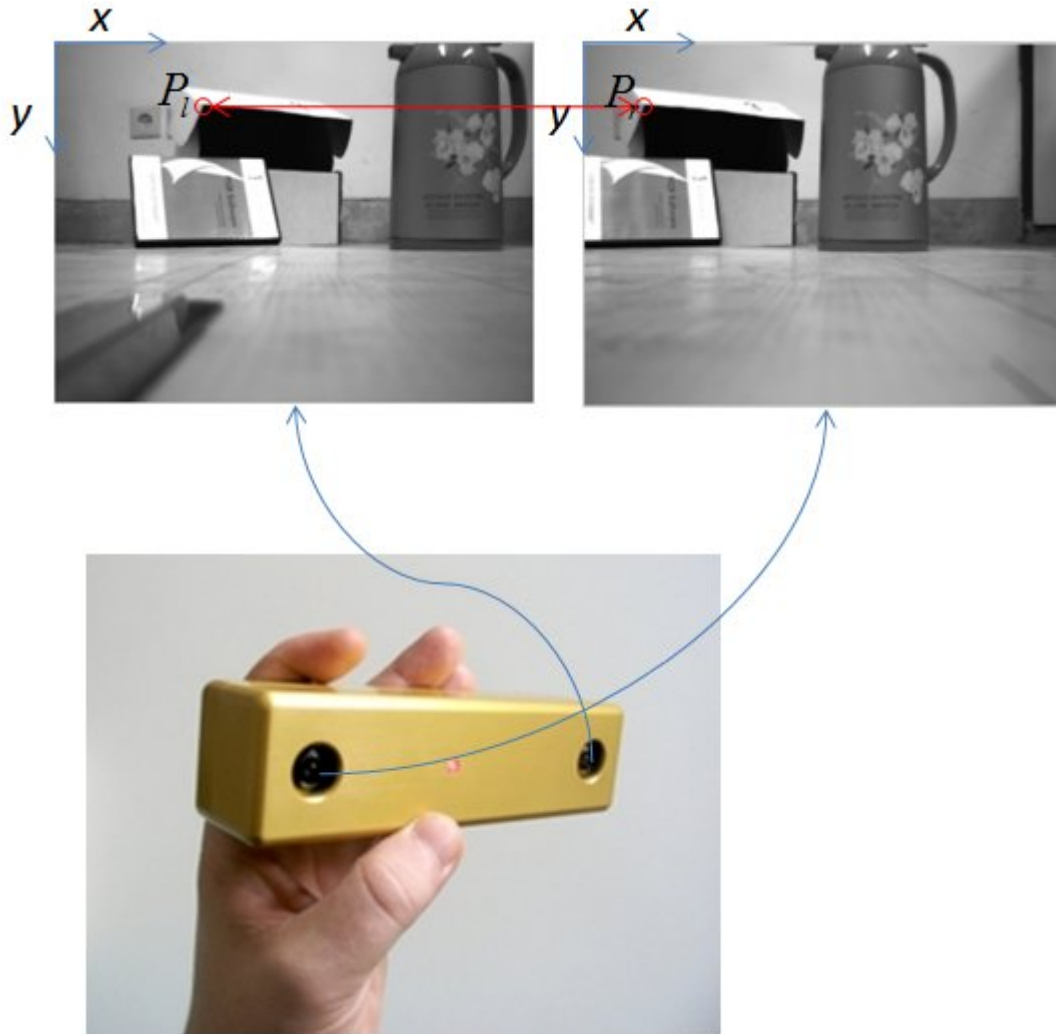
۱-۱ مقدمه

در این فصل به بررسی مختصر اصول، تئوری و پایه‌های نظری مربوط به موضوع پایان‌نامه پرداخته و خلاصه‌ای از روابط و نتایج آن‌ها به تفکیک موضوع در هر بخش ارائه شده است. در این قسمت مباحثی نظیر: مروری بر بینایی استریو، تطابق استریو و علائم راهنما، تطابق بین فریم‌های متوالی و محاسبه‌ی موقعیت و جهت مبتنی بر تصاویر استریو، با ذکر روابط و تئوری‌های مربوطه بصورت خلاصه از منابع مختلف آورده شده است. در آخر، موضوع و مسئله‌ی پایان‌نامه تعریف گشته و اهداف در نظر گرفته شده بیان گردیده است.

۱-۲ مروری بر بینایی استریو

بینایی استریو تشخیص ساختار سه‌بعدی و عمق اجسام با استفاده از دو یا چند تصویر از محیط از زوایای مختلف است [1]. در حقیقت این تفاوت زاویه دید از محیط است که منجر به توانایی تشخیص عمق می‌شود. این بحث برداشت مستقیم از مطالعات صورت گرفته بر سیستم بینایی انسان است؛ چرا که وجود دو چشم در انسان که با فاصله از هم قرار دارند، وی را قادر می‌سازد تا بتواند سه‌بعدی ببیند. از دید محاسباتی، در بینایی استریو دو مسئله‌ی مورد حل وجود دارد. اولین مسئله، بحث تطابق استریو است و به این مسئله می‌پردازد که چه نقطه‌ای از یکی از تصاویر ورودی (مثلاً تصویر چپ در بینایی دوچشمی) معادل کدام نقطه از تصویر ورودی دیگر (مثلاً تصویر راست در بینایی دوچشمی) است. به این مسئله در بخش مربوطه به طور مفصل پرداخته خواهد شد.

مسئله‌ی دیگر، بازسازی سه‌بعدی نقاط است که بعد از حل مسئله‌ی تطابق و یافتن نقاط متناظر، با استفاده از یک هندسه‌ی ساده و البته در نظر گرفتن یک سری پارامترهای مربوط به دوربین و تصاویر، قابل حل است. برای بیان بهتر مسئله، جزئیات بیشتر در بخش بعد آورده شده است.

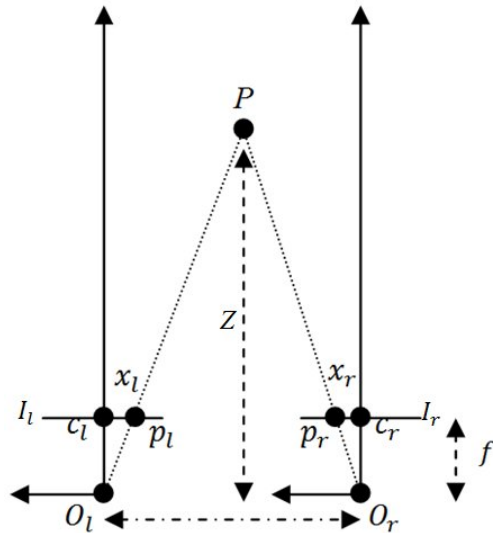


شکل (۱-۱): در قسمت پایین شکل، دوربین استریوی بامبل‌بی^۱ قرار دارد. در قسمت بالای شکل، دو تصویر خروجی چپ و راست دوربین دیده می‌شود. نقاط نشان داده‌شده، نمونه‌ای از دو نقطه‌ی متناظر هستند.

^۱ Bumblebee 2

۳-۱ هندسه بینایی استریو-بازسازی سه بعدی

شکل (۲-۱) دید از بالای یک سیستم استریو متشکل از دو دوربین است. صفحات تصویر راست و چپ هم صفحه بوده و با x و y نشان داده شده است. همچنین z و مرکز تصویر^۱ در دو دوربین است و محورهای نوری دو دوربین با یکدیگر موازی هستند.



شکل (۲-۱): بالا: دوربین استریو به همراه دستگاه مختصات دوربین چپ. پایین: نمایش هندسی سیستم استریو.

روشی که بینایی استریو به کمک آن مکان فضایی نقطه‌ی P (شکل ۲-۱) را محاسبه می‌کند، مثلث‌سازی^۲ است. همان‌طور که در شکل (۲-۱) دیده می‌شود، با ترسیم خطوط نوری فرضی از مراکز نوری دو دوربین یعنی O_l و O_r به نقطه‌ی P ، مثلث فرضی شکل می‌گیرد. هدف این است که با داشتن نقاط تصویر نقطه‌ی P بر روی صفحه‌ی تصویر راست و چپ، و بر اساس این هندسه، عمق و به‌طور

^۱ Projection center

^۲ Triangulation