

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده برق و رباتیک

گروه الکترونیک

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته

الکترونیک، گرایش سیستم

موضوع

تطابق استریو با استفاده از ویژگی‌های رنگ و بافت

استاد راهنما :

آقای دکتر حسین خسروی

دانشجو:

مجتبی سعیدی

بهمن ۹۲

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده: برق و رباتیک

گروه: الکترونیک

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای مجتبی سعیدی

تحت عنوان: تطابق استریو با استفاده از ویژگی‌های رنگ و بافت

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	استاد راهنما
	نام و نام خانوادگی:

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی:		نام و نام خانوادگی:
			نام و نام خانوادگی:
			نام و نام خانوادگی:

خداوند بزرگ را شاکرم که لطف خود را شامل حال من نمود تا بتوانم تحقیق خود را به پایان

برسانم و گامی هر چند اندک، در راه توسعه علمی ایران عزیز بردارم.

همچنین از زحمات جناب آقای دکتر خسروی که با هدایت و حمایت های بی دریغشان

یاری ام نمودن بسیار سپاسگزارم.

و در پایان از زحمات خانواده خوبم و دوستان عزیزم و سایر کسانی که در تدوین این تحقیق مرا

یاری نمودند متشکرم.

تعهد نامه

اینجانب مجتبی سعیدی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق - گرایش الکترونیک (سیستم) دانشکده برق و رباتیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه تطابق استریو با استفاده از ویژگی‌های رنگ و بافت تحت راهنمایی دکتر حسین خسروی متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل راز داری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

امضای دانشجو

تاریخ

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

جابجایی مکانی، اختلاف موقعیت دو پیکسل متناظر از تصویرهای چپ و راست صحنه، با در نظر گرفتن یکی از تصاویر به عنوان مرجع، می‌باشد. عدم وجود متناظر برای هر پیکسل از تصویر مرجع در تصویر دیگر نیز، می‌بایست به درستی تشخیص داده شود. الگوریتم‌های ارائه شده تاکنون، در نواحی بدون بافت، در نواحی با بافت تکراری، در نواحی مجاور ناپیوستگی‌های عمق صحنه، در نواحی انسدادیافته، در نواحی دارای شیب افقی و عمودی و در نواحی استوانه‌ای و کروی، از نظر دقت استخراج نقشه در مقیاس جزء پیکسل و نیز از نظر سرعت اجرا، با ایده‌آل‌ها فاصله بسیار دارند. هدف ما در این پایان نامه، بررسی ایده‌های جدید و تلفیق آنها برای بهبود نقشه جابجایی مکانی در هر یک از موارد فوق می‌باشد. از میان الگوریتم‌های مختلف بینایی استریو اعم از الگوریتم‌های مبتنی بر پیکسل، مبتنی بر سطح و مبتنی بر ویژگی، ما در این کار از الگوریتم‌های مبتنی بر سطح استفاده نمودیم. الگوریتم برنامه شامل سه گام جداگانه می‌شود. گام اول مرحله پیش پردازش است که در این قسمت ما از یک فیلتر میانگین‌گیر استفاده نمودیم. در گام دوم از یک پنجره وزن‌دار تطبیقی، حول پیکسل مورد نظر در فضای رنگ CIElab و $I_1I_2I_3$ استفاده می‌شود. همچنین برای کاهش فضای جستجو از قيود خطوط هم قطبی و محدوده اختلاف مکانی استفاده شده است. نتیجه اجرای این گام از الگوریتم یک نقشه جابجایی مکانی اولیه می‌باشد. گام آخر مرحله پس پردازش می‌باشد که در این قسمت از یک فیلتر میانه وزن دار به نام فیلتر هدایت شونده استفاده شده است. با توجه به نتایج بدست آمده الگوریتم پیشنهادی در نواحی مرزی از عملکرد قابل قبولی برخوردار است و نتایج بهتری نسبت به چند کار دیگر که در فصل پنجم با آنها مقایسه شده است، داشته است.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

- ۱-۱ مقدمه ۲
- ۲-۱ تعریف اصطلاحات مورد نیاز ۳

فصل دوم: مروری بر پیشینه کار

- ۱-۲ دسته بندی روش‌ها ۱۲
- ۱-۱-۲ قیود مورد استفاده در تطابق استریو ۱۲
- ۲-۱-۲ دسته بندی روش‌های استخراج نقشه جابجایی مکانی ۱۴
- ۲-۲ بررسی پیشینه کار ۱۶
- ۱-۲-۲ روش‌های محلی پایه یا پنجره‌ای ۱۷
- ۲-۲-۲ روش‌های پنجره‌ای با توابع معیار شباهت ترتیبی ۲۰
- ۳-۲-۲ روش پنجره تطبیقی ۲۴
- ۴-۲-۲ روش پنجره وزن دار تطبیقی ۳۴
- ۳-۲ جمع بندی نقاط قوت و ضعف روش‌ها ۳۶

فصل سوم: روش پیشنهادی

- ۱-۳ مقدمه ۴۰

۴۱	..... ۲-۳ بلوک دیاگرام
۴۳	..... ۳-۳ الگوریتم استخراج نقشه جابجایی مکانی
۴۳	..... ۱-۳-۳ مرحله اول (فراخوانی تصاویر ورودی)
۴۴	..... ۲-۳-۳ مرحله دوم (مرحله پیش پردازش)
۴۵	..... ۳-۳-۳ مرحله سوم (تبدیل فضای رنگ)
۴۶	..... ۴-۳-۳ مرحله چهارم (محاسبه وزن ها و نقشه جابجایی مکانی اولیه)
۴۹	..... ۵-۳-۳ مرحله پنجم (مرحله پس پردازش)
۴۹	..... ۱-۵-۳-۳ فیلتر هدایت شونده

فصل چهارم: نتایج تجربی

۵۴	..... ۱-۴ بانک تصاویر و روش ارزیابی الگوریتم ها
۵۴	..... ۱-۱-۴ معرفی بانک تصاویر دانشگاه Middlebury
۵۸	..... ۲-۱-۴ روش ارزیابی
۵۹	..... ۳-۱-۴ ارزیابی و رتبه بندی روش ها

فصل پنجم: نتایج

۶۴	..... ۱-۵ نتیجه گیری
۶۶	..... مراجع

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: هندسه تشکیل تصویر با صفحه تصویر در جلو ۴
- شکل ۱-۲: هندسه تصویربرداری با دو دوربین در حالت کلی ۵
- شکل ۱-۳: هندسه تصویربرداری استریوی دو دوربینه با صفحات تصویر موازی ۶
- شکل ۱-۴: انسداد در دو حالت مختلف ۸
- شکل ۱-۲ (الف) برقراری محدودیت ترتیب (ب) عدم برقراری محدودیت ترتیب ۱۳
- شکل ۲-۲ عدم برقراری قید یکتایی در دو حالت مختلف ۱۴
- شکل ۲-۳ تصاویر استریوی چپ و راست نقطه‌ای تصادفی ساختگی ۲۲
- شکل ۲-۴ نقشه جابجایی مکانی بدست آمده به روش، (الف) Census و (ب) NCC ۲۲
- شکل ۲-۵ جهت‌های مجاز گسترش پنجره ۳۰
- شکل ۲-۶: تجسم سه بعدی تصاویر استریوی مصنوعی، (الف) حالت اصلی، (ب) پنجره 3×3 ، (ج) پنجره 7×7 ، (د) پنجره تطبیقی ۳۲
- شکل ۲-۷ میزان گسترش پنجره برای نقاط مختلف تصویر، (الف) به سمت چپ؛ (ب) به سمت راست؛ (ج) به سمت پایین؛ و (د) به سمت بالا ۳۳
- شکل ۲-۸: گراف جهت‌دار حول پیکسل مورد نظر ۳۴
- شکل ۳-۱: بلوک دیاگرام مراحل اجرای الگوریتم پیشنهادی ۴۲
- شکل ۳-۲: تصویر Tsukuba، الف- تصویر چپ، ب- تصویر راست ۴۴
- شکل ۳-۳: فیلتر میانگین‌گیر 3×3 ۴۴
- شکل ۳-۴: تصویر Tesukuba در فضای رنگ CIElab ۴۵
- شکل ۳-۵: تصویر Tesukuba در فضای رنگ $l1l2l3$ ۴۶

- شکل ۳-۶: تصویر جابجایی مکانی استخراج شده از الگوریتم، تصویر سمت چپ، تصویر مرجع.....۴۷
- شکل ۳-۷: تصویر جابجایی مکانی استخراج شده از الگوریتم، تصویر سمت راست، تصویر مرجع.....۴۸
- شکل ۳-۸: تصویر خروجی پس از تعیین نقاط انسداد با روش انطباق چپ-راست.....۴۸
- شکل ۳-۹: تصویر خروجی نهایی مربوط به Tsukuba.....۵۱
- شکل ۴-۱: تصویر Tsukuba، الف-تصویر چپ، ب-نقشه جابجایی مکانی، ج-نقاط انسداد یافته (بارنگ سیاه)، نقاط مجاور ناپیوستگی عمق (رنگ سفید).....۵۴
- شکل ۴-۲: تصویر Venus، الف-تصویر چپ، ب-نقشه جابجایی مکانی، ج-نقاط انسداد یافته (بارنگ سیاه)، نقاط مجاور ناپیوستگی عمق (رنگ سفید).....۵۵
- شکل ۴-۳: تصویر Teddy، الف-تصویر چپ، ب-نقشه جابجایی مکانی، ج-نقاط انسداد یافته (بارنگ سیاه)، نقاط مجاور ناپیوستگی عمق (رنگ سفید).....۵۵
- شکل ۴-۴: تصویر Cones، الف-تصویر چپ، ب-نقشه جابجایی مکانی، ج-نقاط انسداد یافته (بارنگ سیاه)، نقاط مجاور ناپیوستگی عمق (رنگ سفید).....۵۵
- شکل ۴-۵: بخشی از جدول ارزیابی استریوی Middlebury.....۵۹
- شکل ۵-۱: نقشه جابجایی مکانی استخراج شده بوسیله روش پیشنهادی برای تصاویر الف (Tsukuba، ب) Teddy، ج) Cones، د) Venus.....۶۴
- شکل ۵-۲: الف) تصویر خروجی الگوریتم پیشنهادی، ب) روش ارائه شده در [۲۰]، ج) روش ارائه شده در [۱۹]، د) روش ارائه شده در [۲۸].....۶۵

فهرست جدول ها:

جدول ۴-۱ : محدوده تغییرات جابجایی مکانی و ضریب تبدیل مناسب برای تصاویر [۸]..... ۵۶

جدول ۵-۱: مقایسه بین روش پیشنهادی و الگوریتم های مبتنی بر روش های محلی..... ۶۶

جدول ۵-۲: مقایسه بین روش پیشنهادی و الگوریتم های مبتنی بر روش های سراسری..... ۶۶

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

از قرن‌ها پیش مکانیزم سیستم بینایی انسان در درک سه بعدی محیط مورد توجه بوده است. تا اوایل قرن ۱۷ این تئوری پذیرفته شده بود که از چشم‌های انسان پرتوهایی در محیط ساطع می‌شود. در سال ۱۶۰۴ کپلر اولین تئوری اپتیک چشم را ارائه کرد. در سال ۱۶۲۵ شاینر به صورت تجربی، تشکیل تصاویر در پشت کره چشم را مشاهده نمود. کشفیات جدید این سوال را که "ادراک عمق چگونه صورت می‌گیرد"، برجسته‌تر نمود. چگونه با تصاویر تشکیل شده بر روی شبکیه چشم، انسان به درک سه بعدی از محیط دست می‌یابد؟ و بالاخره با پیشرفت کامپیوترها در قرن بیستم سؤال جامع‌تری مطرح گردید: چگونه با ابزار بینایی می‌توان به استخراج عمق محیط پرداخت؟ پاسخ به این سؤالات علاوه بر حل نسبی معمای بینایی انسان، پیامدهای عملی مفید بسیاری به دنبال داشت که از آن جمله می‌توان اتوماسیون صنعتی، ناوبری خودکار رباتها و تعامل انسان با ماشین را ذکر نمود. روش‌های فعال استخراج عمق مانند سونار، رادار و لیزر اطلاعات دقیقی از عمق محیط تهیه کرده و به سادگی پیاده سازی می‌شوند. اما این روش‌ها ضمن آنکه وابستگی شدیدی به شرایط محیطی دارند، اطلاعات عمق را با درجه تفکیک^۱ بالا و در تمام جهات در اختیار نمی‌گذارند، بنابراین در کاربردهای محدودی قابل استفاده هستند.

دانش انسان نسبت به محیط اطراف خود مانند انسداد، اندازه نسبی، ترتیب قرار گرفتن عمودی اجسام در میدان دید انسان که به تجربه کسب نموده است، بسیار مفید و معمولاً برای ادراک سه بعدی از محیط کافی می‌باشند، بطوریکه انسان را با تنها یک چشم نیز قادر به ادراک سه بعدی محیط می‌سازد. بر این مبنا مطالعات زیادی برای استخراج عمق از یک تصویر صورت گرفت، اما عملکرد روش‌های مبتنی بر یک تصویر کاملاً وابسته به فرضیات و دانش قوی از صحنه می‌باشد و برای صحنه‌های دلخواه و کلی، انتقال این اطلاعات به کامپیوتر نیازمند پردازش‌های اولیه بسیار است. جولز در سال ۱۹۶۰ نشان داد که

^۱ resolution

انسان بدون توجه به اطلاعات ذکر شده فوق نیز قادر به ادراک عمق می‌باشد. این اکتشاف منشأ تحقیقات گسترده ای برای استخراج عمق بوسیله دو یا چند تصویر گرفته شده از یک صحنه و از موقعیت‌های مختلف، گردید. در سال ۱۹۷۰ تا ۱۹۹۵ تحقیقات وسیعی در زمینه استخراج عمق محیط در نقاط خاصی از صحنه، مانند گوشه‌ها و نقاط واقع بر روی لبه‌های اجسام، صورت گرفت. همزمان با پیشرفت سریع پردازنده‌های دیجیتال در سال‌های اخیر، به‌علت کاهش زمان اجرای الگوریتم‌های پیچیده استریو، مسأله استخراج نقشه کامل عمق محیط، یا به‌عبارت دیگر بازسازی سه بعدی صحنه، مورد توجه خاص قرار گرفته است.

هدف ما در این پایان نامه، بررسی ایده‌های جدید و تلفیق آنها برای بهبود در استخراج نقشه جابجایی مکانی می‌باشد. این پایان‌نامه در پنج فصل تدوین شده است. در ادامه این فصل، تعریف اصطلاحات مورد استفاده ارائه می‌شود. در فصل دوم پیشینه کار و الگوریتم‌های رایج برتر و مباحث تئوری مربوط به آنها ارائه می‌شود. در فصل سوم، روش پیشنهادی در حل مسأله مورد بررسی قرار می‌گیرد و بر اساس آن، اهداف و روش‌های پیشنهادی و همچنین فعالیت‌هایی که در طی انجام پایان نامه صورت می‌پذیرد، ارائه می‌شود. فصل چهارم شامل معیارها و روش‌های ارزیابی الگوریتم‌ها و بانک تصاویر می‌باشد. و نهایتاً در فصل پنجم، نتایج با کارهای قبلی مقایسه می‌شود.

۱-۲ تعریف اصطلاحات مورد نیاز

در این بخش، برخی از اصطلاحاتی که بطور مکرر در این نوشتار استفاده می‌شوند، با جزئیات لازم، جهت وضوح مطالب و اجتناب از تکرار، تعریف و توضیح داده می‌شوند [۱].

سیستم تصویربرداری: شمای کلی سیستم تصویربرداری در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.

فاصله کانونی^۱: در یک سیستم تصویربرداری مبتنی بر لنز و CCD^۲، مجموعه لنز که متشکل از چندین

عدسی محدب و مقعر است با یک عدسی محدب به فاصله کانونی f ، مدل می‌شود.

صفحه تصویر^۳: محل تشکیل تصویر که آن را صفحه تصویر می‌گویند، صفحه‌ای عمود بر محور عدسی

و به فاصله f در پشت آن می‌باشد.

مرکز تجسم^۴: معمولاً محور نوری عدسی را محور مختصات Z در نظر می‌گیریم و محل تقاطع محور

Z و عدسی را مرکز مختصات سه بعدی یعنی C در نظر می‌گیرند. C را مرکز تجسم نیز می‌گویند. برای

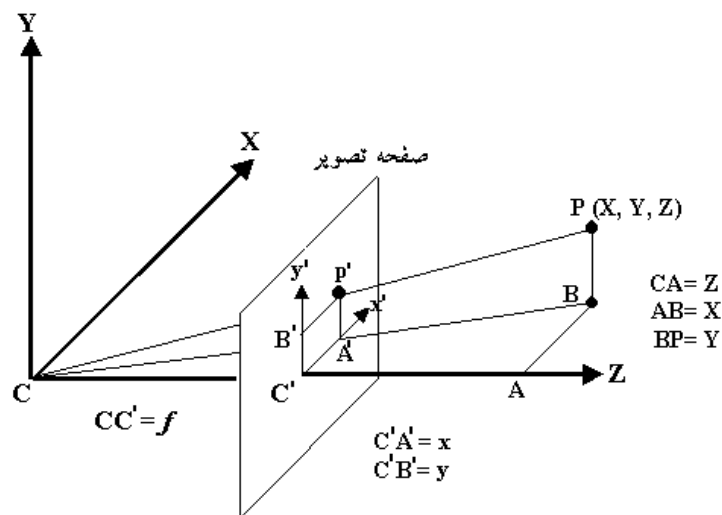
سادگی در اکثر مراجع، صفحه تصویر در جلوی مرکز تجسم و به فاصله f از آن در نظر گرفته می‌شود.

روابط پرسپکتیو^۲: اگر نقطه‌ای در فضای سه بعدی باشد، P' یعنی تصویر P در صفحه تصویر، از

برخورد CP با صفحه تصویر بدست می‌آید. اگر (X, Y, Z) مختصات P در فضای سه بعدی و (x, y)

مختصات P' در صفحه تصویر باشد، با توجه به شکل ۱-۱ می‌توان رابطه (۱-۱) را نوشت.

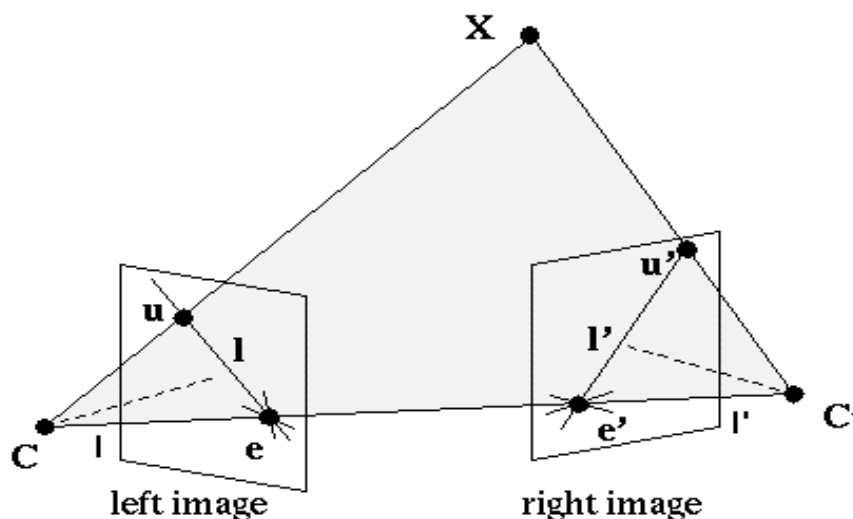
$$x = f \frac{X}{Z} \quad , \quad y = f \frac{Y}{Z} \quad (1-1)$$



شکل ۱-۱: هندسه تشکیل تصویر با صفحه تصویر در جلو

Focus Center^۱
Charged Couple Device^۲
Image Plane^۳
Center Of Projection^۴

استریوی دو دوربینه^۱: شکل ۲-۱ هندسه تصویربرداری با دو دوربین را در حالت کلی نشان می‌دهد. در این شکل I و I' صفحات تصویر چپ و راست و C, C' مراکز تجسم دو دوربین هستند. u, u' تصاویر نقطه سه بعدی X در صفحه های تصویر چپ و راست فرض می‌شوند. صفحه همقطبی^۲: مطابق با شکل ۲-۱، برای هر نقطه سه بعدی X در محیط، صفحه‌ای که از این نقطه و مراکز دو دوربین یعنی C, C' می‌گذرد، صفحه همقطبی نامیده می‌شود. خط همقطبی: در صفحه تصویر هر دوربین، خطی که از تقاطع صفحه همقطبی با صفحه تصویر تشکیل می‌گردد، خط همقطبی نامیده می‌شود. در شکل ۲-۱، خط همقطبی متناظر با نقطه X ، در صفحه تصویر چپ با l و در صفحه تصویر راست با l' نشان داده شده است.



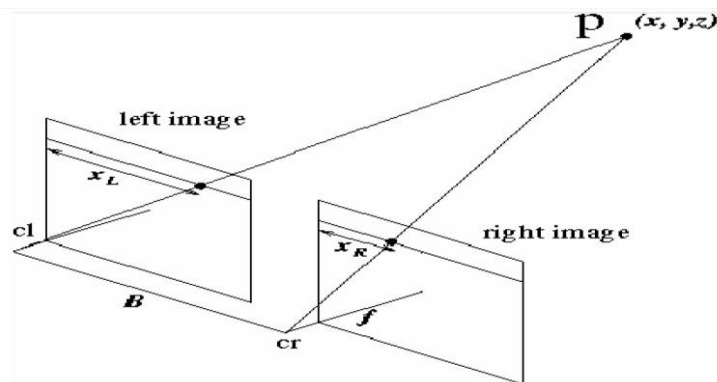
شکل ۲-۱: هندسه تصویربرداری با دو دوربین در حالت کلی

استریوی موازی یا کانونی^۳: اگر محور نوری تصاویر چپ و راست مطابق با شکل ۳-۱ با یکدیگر موازی باشند و تنها با یک انتقال افقی بر هم منطبق شوند، استریوی موازی یا کانونی ایجاد می‌گردد.

Binocular Stereo¹
Epipolar²
Canonical Stereo³

کالیبراسیون سیستم استریو: ایجاد استریو موازی یا کانونی در عمل به سادگی میسر نمی‌باشد. بنابراین یک مدل تصحیح کننده برای رسیدن به شرایط کانونی، اعمال می‌گردد. پارامترهای این مدل با کالیبراسیون سیستم تعیین می‌گردند. کالیبراسیون سیستم عبارتست از پروسه تعیین پارامترهای داخلی و خارجی سیستم تصویربرداری. پارامترهای داخلی، مشخصات نوری و هندسی داخلی دوربین‌ها را بیان می‌کنند و شامل فاصله کانونی مؤثر، ضرایب اعوجاج لنزها و پارامترهای اسکن تصویر، نظیر مرکز تصویر می‌باشند. پارامترهای خارجی، موقعیت و جهت سه بعدی دوربین‌ها را نسبت به همدیگر و نیز نسبت به دستگاه مختصات مرجع مشخص می‌کنند. برای کالیبراسیون دوربین‌ها روش‌های مختلفی ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به روش کالیبراسیون Tsai [5]، اشاره نمود.

تصاویر یکسوشده^۱: تصاویر یکسوشده، تصاویری هستند که منطبق با شرایط استریوی موازی یا کانونی بدست آمده باشند. معمولاً این تصاویر با اعمال مدل تصحیح کننده بدست آمده از فرآیند کالیبراسیون بر تصاویر واقعی، بدست می‌آیند.



شکل ۱-۳ هندسه تصویربرداری استریوی دودوربینه با صفحات تصویر موازی

تطابق استریو^۲: u, u' که تصاویر یک نقطه از فضا در صفحات تصویر چپ و راست می‌باشند، نقاط متناظر یا منطبق نامیده می‌شوند. تطابق استریو، یافتن منطبق هر نقطه از یک تصویر در تصویر دیگر

^۱ Rectified Image
^۲ Stereo Matching or Stereo Correspondence

می‌باشد. نشان داده می‌شود در حالت کلی و به علت وجود سطوح دارای تغییر عمق تدریجی، تطابق تعداد پیکسل‌های نامساوی از دو تصویر با یکدیگر نیز امکان‌پذیر است.

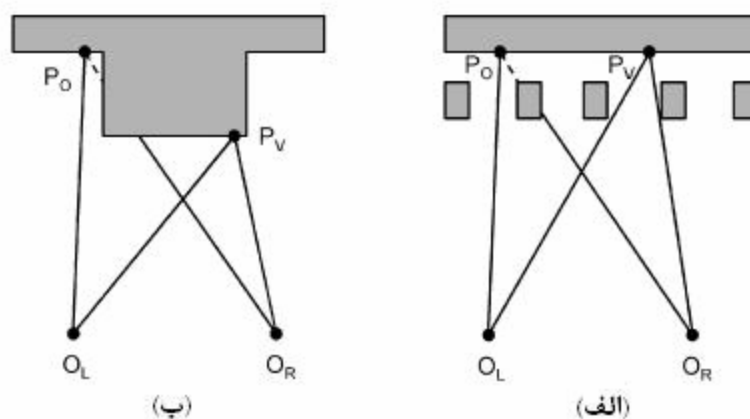
جابجایی مکانی^۱: در سیستم استریو موازی چنانچه P یک نقطه در فضا یا مختصات واقعی باشد، تصویر این نقطه در صفحه تصویر چپ و (x_r, y_r) متناظر این نقطه در تصویر راست باشد، ضمن آنکه رابطه $y_l = y_r$ برقرار است، جابجایی مکانی d بین این دو نقطه بر حسب پیکسل، از (۲-۱) تعریف می‌شود.

$$d = x_l - x_r \quad (2-1)$$

مقیاس جز پیکسل^۲: اگر چه مقدار جابجایی مکانی تعریف شده از (۲-۱) یک مقدار صحیح می‌باشد، اما در حالت کلی چنانچه از شرط انطباق یک‌به‌یک در مورد پیکسل‌ها عدول نماییم و انطباق تعداد نامساوی پیکسل‌ها را، در حضور سطوح دارای تغییر عمق تدریجی در صحنه، ممکن بدانیم می‌توان مقادیر عددی حقیقی، به جابجایی مکانی نسبت داد. به عنوان مثال چهار پیکسل مجاور از تصویر چپ با یک پیکسل از تصویر راست منطبق شوند، مقدار جابجایی مکانی هر یک از پیکسل‌های تصویر چپ یک مقدار عددی صحیح به علاوه ضربی از مقدار عددی 0.25 خواهد بود.

انسداد^۳: انسداد در استریو از این واقعیت نشأت می‌گیرد که به‌علت آنکه دوربین‌ها در دو موقعیت مکانی متفاوت قرار گرفته‌اند، بخشی از نقاط صحنه در یک تصویر مشاهده شده اما در تصویر دیگر دیده نمی‌شوند. شکل ۴-۱ دو حالت مختلف برای انسداد را نشان می‌دهد. نقطه P_v توسط هر دو دوربین مشاهده می‌شود ولی نقطه P_o تنها در محدوده دید دوربین چپ قرار گرفته است. در حالت (الف)، انسداد ناشی از سد شدن جسم عقب‌تر به وسیله جسم جلوتر می‌باشد و در حالت (ب)، انسداد در مجاورت ناپیوستگی عمودی عمق، یعنی ناپیوستگی در راستای لبه‌های موازی با صفحه تصویر، روی داده است.

Disparity¹
Sub Pixel Scale²
Occlusion³



شکل ۱-۴ : انسداد در دو حالت مختلف

نقشه جابجایی مکانی گسسته^۱: در این حالت، مقدار جابجایی مکانی تنها برای نقاط خاصی از تصویر که متناظر با ویژگی‌های مشخصی از صحنه مانند گوشه‌ها و لبه اجسام می‌باشند، بدست می‌آید. نقشه جابجایی مکانی گسسته محصول روش‌های استریو مبتنی بر ویژگی^۲ است. کاربرد نقشه جابجایی مکانی گسسته در کاربردهای ناوبری ربات سیار، به عنوان مثال در موقعیت‌یابی ربات سیار در محیط، می‌باشد.

نقشه جابجایی مکانی متراکم^۳ [۶]: مقدار جابجایی مکانی، با مرجع قرار دادن یکی از تصاویر، برای کلیه نقاط آن تصویر تعیین می‌شود. از آنجا که به علت انسداد، متناظر بخشی از پیکسل‌های تصویر مرجع در تصویر دیگر وجود ندارد، عدم امکان تعیین جابجایی مکانی در این نقاط نیز می‌بایست در نقشه جابجایی مکانی متراکم به درستی تشخیص داده شود. نقشه جابجایی مکانی متراکم، که محصول روش‌های استریو مبتنی بر پیکسل^۴ است، در بازسازی سه بعدی صحنه و نیز انتقال اطلاعات تصاویر استریو به کار می‌رود. به طور معمول نمایش نقشه جابجایی مکانی متراکم، به صورت تصویری، با سطوح روشنایی خاکستری صورت می‌گیرد. ضریب ثابتی برای تبدیل مقادیر جابجایی مکانی به مقادیر متناظر شدت روشنایی منظور می‌گردد. این ضریب ثابت با توجه به محدوده تغییرات جابجایی مکانی در تصویر مورد نظر تعیین می‌شود.

Sparse Disparity Map¹
 Feature_Based Stereo²
 Dense Disparity Map³
 Pixel_Based Stereo⁴

استخراج عمق^۱: کاربرد استریو در بدست آوردن اطلاعات عمق محیط با بازسازی سه بعدی صحنه می‌باشد. سیستم استریو موازی شکل ۳-۱ از دو دوربین با صفحات موازی، که به فاصله B از هم قرار گرفته‌اند^۲ و فاصله کانونی هر کدام f است، تشکیل شده است. چنانچه d مقدار جابجایی مکانی پیکسل (x,y) از تصویر مرجع چپ، متناظر با نقطه P در فضا با مختصات واقعی (x,y,z) باشد و دستگاه مختصات در مرکز دوربین چپ فرض شود، عمق نقطه P ، یعنی Z ، از (۳-۱) محاسبه می‌گردد.

$$Z = \frac{Bf}{d} \quad (3-1)$$

استخراج Z با استفاده از (۳-۱) کار سرراستی است، اما دو مشکل تطابق و وجود خطا در کالیبراسیون دوربین‌ها، معمولاً یافتن عمق را با مشکل همراه می‌سازد. با استفاده از نقشه جابجایی مکانی گسسته، امکان تعیین عمق محیط در نقاط محدودی از صحنه فراهم می‌گردد، بنابراین برای بازسازی کامل صحنه معمولاً از روش برازش صفحات بر این نقاط^۳ استفاده می‌گردد. با استفاده از نقشه جابجایی مکانی مترکم امکان بازسازی کل صحنه به طور مستقیم امکان‌پذیر می‌باشد، هر چند در این حالت نیز چون هر پیکسل تصویر معادل با بخشی از صحنه می‌باشد، با استفاده از روش درون‌یابی می‌توان مقدار عمق را در نقاط صحنه با مقدار دقیق‌تری تخمین زد.

Depth Extraction¹
Base Line²
Interpolation³

فصل دوم

مروری بر پیشینه کار

۲-۱ دسته‌بندی روش‌ها

از آنجا که قیود و محدودیت‌های مورد استفاده در تطابق استریو، مبنای عملکرد الگوریتم‌های استریو می‌باشند، در این بخش ابتدا به بررسی این قیود و محدودیت‌ها پرداخته می‌شود. سپس با ارائه دسته‌بندی کلی روش‌ها، برخی الگوریتم‌های برجسته و پایه در هر دسته معرفی می‌شوند.

۲-۱-۱ قیود مورد استفاده در تطابق استریو

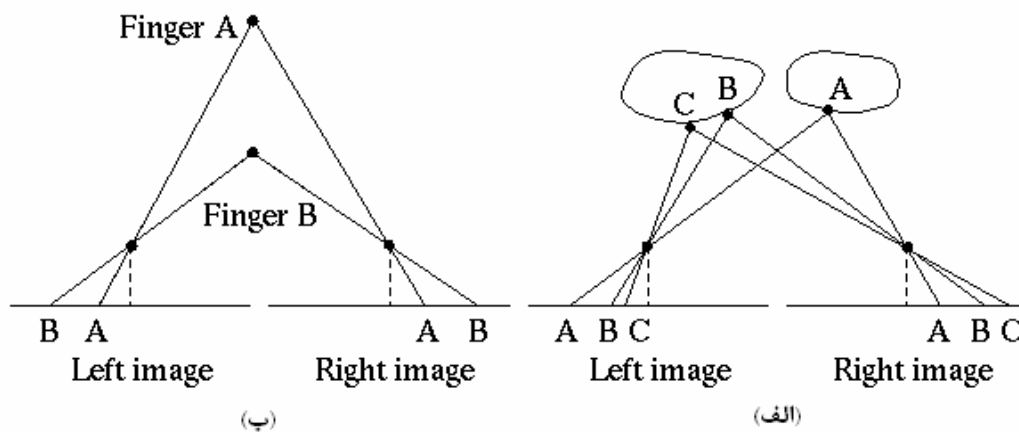
جهت کاهش فضای جستجو ما می‌توانیم از قیودی در تصاویر استریو استفاده نماییم. در [۹،۱۰،۱۱،۱۲] این قیود ذکر شده‌اند که در زیر پاره‌ای از آنها به اختصار بیان شده است:

- **قید تشابه رنگ^۱ یا شدت روشنایی:** از آنجا که هر دو بخش تطابق یافته دو تصویر، متناظر با یک ناحیه از صحنه می‌باشند، این دو بخش در حالت ایده‌آل از نظر رنگ یا شدت روشنایی در دو تصویر یکسان ظاهر می‌شوند.
- **قید هم‌قطبی:** با توجه به شکل ۱-۲ اگر u و u' تصاویر نقطه سه بعدی X در صفحات تصویر چپ و راست باشند، این دو نقطه روی خطوط هم‌قطبی متناظر یعنی l ، l' واقعند. به عبارت دیگر برای هر نقطه مثل u در صفحه تصویر چپ، نقطه متناظرش در صفحه تصویر راست می‌بایست روی خطی باشد که از محل تقاطع صفحه هم‌قطبی و صفحه تصویر ایجاد می‌شود. به طور خلاصه در هندسه تصویر برداری استریو، محدودیت هم‌قطبی، ناحیه جستجو برای یافتن نقطه متناظر در تصویر دیگر را، از دو بعد به یک بعد کاهش می‌دهد. در استریوی موازی با تصاویر یکسوشده، خطوط هم‌قطبی، خطوط افقی متناظر دو تصویر می‌باشند.
- **قید حداقل-حداکثر مقدار جابجایی مکانی:** اجسام موجود در صحنه به طور معمول دارای حداقل فاصله مشخصی از دوربین می‌باشند. بنابراین طبق (۱-۳) مقدار حداکثر جابجایی مکانی،

^۱Color Constancy

d_{max} محدود می‌گردد. از آنجا که مقدار عمق همواره مثبت است مقدار جابجایی مکانی، بزرگتر از صفر بوده ضمن آنکه در صحنه‌های داخلی بر خلاف صحنه‌های خارجی حداکثر عمق صحنه که متناظر با دورترین نقطه زمین می‌باشد، محدود بوده و بنابراین مقدار جابجایی مکانی از یک مقدار مشخص مثبت، d_{min} بزرگتر می‌گردد. حداقل و حداکثر جابجایی مکانی، فضای جستجو را در فرایند تطابق، محدود می‌کند.

- **قید ترتیب^۱**: این محدودیت بیان می‌کند که ترتیب مکانی نقاط در روی تصویر حفظ می‌شود. به عبارت دیگر اگر در تصویر چپ نقطه A در سمت راست نقطه B قرار داشته باشد آنگاه متناظر A در تصویر راست هم در سمت راست متناظر B قرار دارد. این محدودیت چنانچه در صحنه، ناپیوستگی‌های بزرگ وجود نداشته باشد قابل اعمال است. شکل ۱-۲، در قسمت (الف)، برقراری و در قسمت (ب)، عدم برقراری این محدودیت را در دو صحنه مختلف نشان می‌دهد.

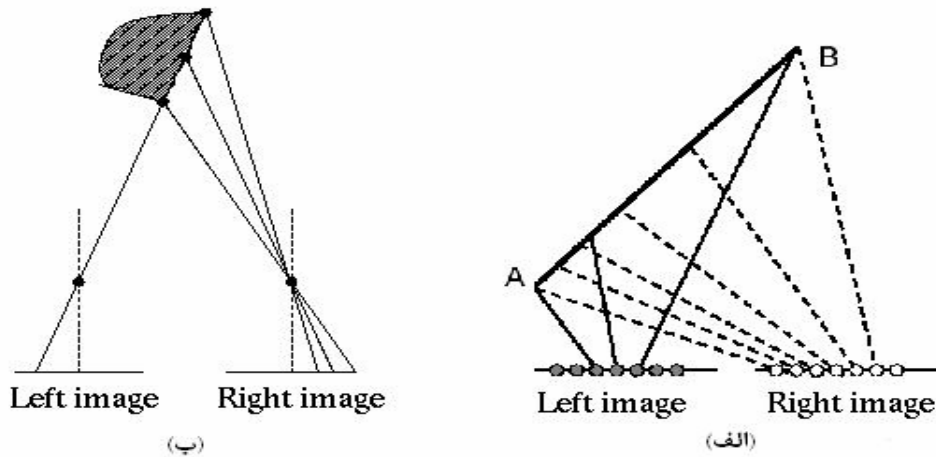


شکل ۱-۲ الف) برقراری محدودیت ترتیب ب) عدم برقراری محدودیت ترتیب

- **قید یکتایی^۲**: این محدودیت بیان می‌کند که متناظر هر نقطه در صفحه تصویر چپ، یک و تنها یک نقطه از تصویر راست می‌باشد. گرچه این محدودیت برای

Ordering Constraint¹
Uniqueness²

بسیاری از صحنه‌های طبیعی موجود برقرار است اما می‌توان حالات خاصی را یافت که این محدودیت برقرار نباشد. شکل ۲-۲، قسمت (الف)، نمونه‌ای از این حالت را نشان می‌دهد. علاوه بر این در [۷] نشان داده شده است که بر روی سطوح شیب‌دار امکان انطباق تعداد نامساوی از پیکسل‌ها وجود دارد. چنین حالتی در قسمت (ب) از شکل ۲-۲ نشان داده شده است.



شکل ۲-۲ عدم برقراری قید یکتایی در دو حالت مختلف

- **قید پیوستگی جابجایی مکانی^۱:** صرف‌نظر از ناپیوستگی‌های عمق در مرز اشیاء، اجسام موجود در محیط غالباً دارای سطوحی با تغییرات عمق ناچیز یا پیوسته می‌باشند. از آنجا که لبه‌ها یا مرزها، بخش ناچیزی از نقاط صحنه را شامل می‌شوند جابجایی در اغلب نقاط تصویر پیوسته تغییر می‌کند. تشخیص تغییرات ناگهانی جابجایی مکانی نقاط واقع بر روی مرزهای ناپیوستگی عمق و در عین حال، حفظ پیوستگی جابجایی مکانی در سایر نقاط تصویر منجر به نتایج بهتر می‌شود.

¹Continuity of Disparity Constraint

۲-۱-۲ دسته‌بندی روش‌های استخراج نقشه متراکم جابجایی مکانی

عملکرد الگوریتم‌های استریوی استخراج نقشه متراکم جابجایی مکانی را به طور کلی می‌توان در سه مرحله خلاصه نمود [۶].

۱- محاسبه هزینه انطباق^۱ نقطه‌به‌نقطه: براساس قید تشابه رنگ یا شدت روشنایی، متناسب با اختلاف شدت روشنایی یا رنگ دو پیکسل تصویر چپ و راست، با استفاده از یک تابع مشخص، بعنوان مثال قدر مطلق اختلاف روشنایی، هزینه انطباق نقطه‌به‌نقطه دو پیکسل محاسبه می‌گردد.

۲- تجمع هزینه^۲: مقایسه مستقیم دو پیکسل به علت اثرات نویز، تغییرات شدت روشنایی دو تصویر به‌علت تغییر مشخصه دوربین‌ها و اثرات نمونه‌برداری منجر به نتایج مطلوبی نمی‌شود. به منظور استفاده از مزیت حمایت پیکسل‌های مجاور، برای هر دو پیکسل کاندید تطابق، هزینه‌های انطباق محاسبه شده از مرحله قبل در یک ناحیه یا همسایگی مشخص، جمع یا میانگین‌گیری می‌شوند. استفاده از یک همسایگی^۳ مستطیلی با ابعاد مشخص، مرسوم‌ترین روش مورد استفاده می‌باشد. محصول مرحله اول و دوم در این نوشتار هزینه انطباق ناحیه‌ای یا به اختصار هزینه انطباق نامیده می‌شود. به تابع معیاری که مبین مقدار هزینه انطباق می‌باشد تابع معیار شباهت اطلاق می‌گردد.

۳- محاسبه جابجایی مکانی: در این مرحله با استفاده از اطلاعات بدست آمده از دو مرحله قبل، همچنین منظور کردن قيود و محدودیت‌های استریو، که در بخش (۴-۱) بررسی گردیدند، با یک دیدگاه بهینه‌سازی مشخص، مقدار جابجایی مکانی مناسب برای پیکسل مورد نظر تعیین می‌گردد.

Matching Cost Computation¹
Cost Aggregation(Support)²
Support Region³

۲-۲ بررسی پیشینه کار

الگوریتم‌های متعددی در منابع تحقیقاتی برای حل مسأله مورد نظر ارائه شده‌است و بدیهی است بررسی کلیه روش‌های ارائه شده به علت حجم زیاد آن امکان‌پذیر نمی‌باشد، اما تلاش شده است روش‌هایی که دارای ایده‌های جدید بوده و نتایج قابل قبولی، داشته‌اند، بررسی گردند.

ساده‌ترین روش برای حل مسأله تطابق آن است که با توجه به قید حداکثر-حداقل جابجایی مکانی و محدودیت هم‌قطبی، براساس قید ثبات رنگ و شدت روشنایی، هر پیکسل از هر خط تصویر چپ با پیکسلی در خط متناظر از تصویر راست که شبیه‌ترین رنگ یا شدت روشنایی به آن را داراست، منطبق گردد. این ایده در صورتی که فرض شود هر نقطه محیط دارای رنگی منحصر به فرد است، از طرفی با رنگی منحصر به فرد و یکسان در دو تصویر استریو ظاهر می‌شود، منطقی است. اما در یک تصویر دیجیتال که مقادیر محدودی از رنگ یا شدت روشنایی به پیکسل‌ها نسبت داده می‌شود، عملی نمی‌باشد. علاوه بر این وجود نویز و تغییرات روشنایی یا اعوجاج ناشی از تغییر زاویه دید در دو تصویر گرفته شده با دو دوربین در موقعیت‌های مکانی متفاوت سبب می‌شود امکان ظهور دو پیکسل متناظر با رنگی یکسان در دو تصویر استریو، با احتمال بالایی منتفی گردد. چنانچه یک جفت تصویر استریو ساختگی باینری شامل پیکسل‌هایی که می‌توانند به طور مستقل و تصادفی سیاه یا سفید باشند در نظر بگیریم، با روش تطابق نقطه‌ای، احتمال پیدا کردن متناظر صحیح برای هر پیکسل از تصویر چپ $\frac{1}{2^n}$ می‌باشد. که n تعداد نقاط کاندید تطابق از تصویر راست برای نقطه مورد نظر از تصویر چپ می‌باشد. بنابراین با در نظر گرفتن سه محدودیت ثبات رنگ، یکتایی و هم‌قطبی، امکان حل کامل مسأله تطابق استریو وجود ندارد. به عبارت دیگر در نظر گرفتن سطح روشنایی یا رنگ، در دو پیکسل کاندید تطابق، در عمل اطلاعات کافی

برای تطابق موفق را فراهم نمی کند [۱۳]. در ادامه به بررسی برخی از الگوریتم‌های مهم پرداخته می شود.

۲-۲-۱ روش محلی پایه یا پنجره‌ای

با استفاده از شرط پیوستگی عمق، یا به عبارتی ثابت ماندن جابجایی مکانی برای نقاط مجاور، می توان از اطلاعات همسایگی هر پیکسل برای کاهش ابهام در تطابق و در نتیجه کاهش انطباق‌های نادرست، بهره برد. این خود ایده اصلی روش محلی پایه است که در این نوشتار به اختصار پنجره‌ای نامیده می شود. به روش پنجره‌ای در برخی مراجع، روش مبتنی بر ناحیه^۱ نیز اطلاق می گردد. برخی نکات مهم و قابل توجه در روش پنجره‌ای را می توان چنین خلاصه نمود:

- در روش پنجره‌ای، یک پنجره مستطیلی با ابعاد مشخص حول پیکسل مورد نظر در تصویر اول در نظر گرفته می شود. بر اساس یک تابع معیار شباهت مشخص، شباهت یا وابستگی این پنجره با پنجره مشابه دیگری که در هر موقعیت محتمل تطابق در تصویر دوم قرار می گیرد، مبین هزینه انطباق به ازای جابجایی مکانی مفروض است [۱۳].

- توابع معیار شباهت مرسوم در روش پنجره‌ای، مجموع قدر مطلق اختلاف شدت روشنایی، SAD ^۲، مجموع مجذور اختلاف شدت روشنایی، SSD ^۳ و همبستگی متقابل بهنجر، NCC ^۴، می باشند. با استفاده از این توابع معیار شباهت، در پنجره‌ای با ابعاد $W_1=2W_1+1$ و $W_2=2W_2+1$ در تصاویر یکسوسازی شده چپ و راست با شدت روشنایی I_L و I_R ، مقدار هزینه انطباق در دو روش SAD و SSD و عکس هزینه انطباق در روش NCC از روابط (۲-۱)، (۲-۲) و (۲-۳) به

Area Based¹
Sum Of Absolute Differences²
Sum Of Square Differences³
Normalized Cross Correlation⁴

دست می آید [۶]. مختصات نقطه مورد نظر در تصویر چپ (x, y) و d جابجایی مکانی مفروض است. \bar{I}_L شدت روشنایی متوسط در پنجره چپ و \bar{I}_R شدت روشنایی متوسط در پنجره راست می باشد.

$$SAD(x, y, d) = \sum_{i=-w_1}^{w_1} \sum_{j=-w_2}^{w_2} |I_L(x+i, y+j) - I_R(x+d+i, y+j)| \quad (1-2)$$

$$SSD(x, y, d) = \sum_{i=-w_1}^{w_1} \sum_{j=-w_2}^{w_2} (I_L(x+i, y+j) - I_R(x+d+i, y+j))^2 \quad (2-2)$$

$$(3-2)$$

$$NCC(x, y, d) = \frac{\sum_{i=-w_1}^{w_1} \sum_{j=-w_2}^{w_2} (I_L(x+i, y+j) - \bar{I}_L)(I_R(x+d+i, y+j) - \bar{I}_R)}{\sqrt{\sum_{i=-w_1}^{w_1} \sum_{j=-w_2}^{w_2} (I_L(x+i, y+j) - \bar{I}_L)^2} \sqrt{\sum_{i=-w_1}^{w_1} \sum_{j=-w_2}^{w_2} (I_R(x+d+i, y+j) - \bar{I}_R)^2}}$$

- در توابع معیار شباهت SAD و SSD ، در فرایند مراحل مختلف الگوریتم استخراج نقشه که در بخش (۲-۲) بررسی گردید، در مرحله اول، هزینه انطباق پیکسل به پیکسل به ترتیب قدر مطلق اختلاف شدت روشنایی و مجذور اختلاف شدت روشنایی می باشد. در مرحله دوم، تجمع هزینه در یک ناحیه پنجره‌ای با ابعاد $W_1 * W_2$ صورت می گیرد. در مورد تابع معیار شباهت NCC محاسبه هزینه انطباق با تفکیک مرحله اول و دوم میسر نمی باشد، بلکه با ترکیب این دو مرحله، عکس هزینه انطباق از (۳-۲) تعیین می شود. تابع معیار شباهت SAD دارای کمترین حجم محاسباتی است، اما مزیت روش NCC این است که ضریب حاصل در محدوده مشخص ۰-۱ تغییر می کند.

- موقعیت‌های کاندید تطابق برای پیکسل مورد نظر، در تصویر دیگر، با در نظر گرفتن محدودیت هم‌قطبی و قید حداقل-حداکثر میزان جابجایی مکانی، تعیین می گردند.
- موقعیتی که در آن هزینه انطباق مینیمم شود، تعیین کننده پیکسلی از تصویر دوم است که متناظر با پیکسل مورد نظر از تصویر اول می باشد. به عبارت دیگر، در این روش مقدار جابجایی

مکانی با یک انتخاب ساده بهترین از بین کاندیداها، WTA^۱، تعیین می‌شود و تعیین جایابی مکانی هر پیکسل بدون توجه به مقادیر جایابی مکانی محاسبه شده برای سایر نقاط صورت می‌گیرد [۱۴].

- برای تشخیص نقاط انسدادیافته، معمولاً از روش آستانه‌ای یا روش انطباق چپ/راست استفاده می‌شود [۱۵]. در روش آستانه‌ای نقاطی که بازای کلیه کاندیداها تطابق دارای مقدار هزینه انطباقی بزرگتر از یک حد آستانه باشند، به عنوان نقاط انسدادیافته معرفی می‌شوند. در روش انطباق چپ/راست با در نظر گرفتن تصویر چپ و راست به عنوان مرجع، نقشه جایابی مکانی در دو حالت بدست می‌آید. سپس با مقایسه دو نقشه، نقاطی که دارای جایابی مکانی قرینه نباشند از لیست انطباق‌های صحیح حذف شده و انسدادیافته تلقی می‌گردند.
- اعتبار روش پنجره‌ای در پیدا کردن تطابق صحیح، به ثابت ماندن جایابی مکانی در کلیه نقاط پنجره بستگی دارد. زیرا در صورتی می‌توان از حمایت پیکسل‌های حول پیکسل مرکز پنجره بهره برد، که متناظر این پیکسل‌ها در پنجره تصویر دوم نیز ظاهر شده باشند و این در صورتی است که کلیه نقاط داخل پنجره دارای مقدار جایابی مکانی ثابت باشند.
- افزایش ابعاد پنجره، با حذف اثر نویز، قابلیت اطمینان را افزایش داده، به نتایج دقیق‌تری در نواحی بدون تغییر عمق و بدون بافت، منجر می‌شود، در حالی که پنجره کوچکتر در این نواحی، نقشه جایابی مکانی ناهموار و نویزی تولید می‌کند [۱۴].
- با کاهش ابعاد پنجره، احتمال تغییر مقدار جایابی مکانی پیکسل‌های داخل پنجره کاهش یافته و بنابراین در نقاط مجاورت ناپیوستگی‌های عمق، که تغییرات ناگهانی جایابی مکانی اجتناب‌ناپذیر است، نتایج بهتری حاصل می‌شود. استفاده از پنجره بزرگتر سبب پدیده ابهام در نقشه جایابی مکانی در نواحی مجاور ناپیوستگی‌های عمق می‌گردد. به عبارت دیگر، مقادیر جایابی مکانی، به جای تغییرات ناپیوسته، دارای تغییرات پیوسته و تدریجی می‌باشند.

Winner Take All^۱

- روش پنجره‌ای علاوه بر آنکه از نظر مفهومی ساده و سراسر است می‌باشد، با تمهیداتی، قابل پیاده‌سازی با حجم محاسباتی پایین و بنابراین مناسب برای کاربردهای بلادرنگ می‌گردد.

۲-۲-۲ روش پنجره‌ای با توابع معیار شباهت ترتیبی^۱

در روش‌های پنجره‌ای مبتنی بر توابع معیار شباهت ترتیبی، بجای مقادیر شدت روشنایی، از ترتیب نسبی مقادیر شدت روشنایی پیکسل‌های داخل پنجره، استفاده می‌گردد. در لبه‌ها یا مرزهای ناپیوستگی صحنه، به علت تغییر جابجایی مکانی پیکسل‌های داخل پنجره، بخش‌های پیوسته‌ای از اطلاعات نویزی وجود دارد که اثر چنین نویزی بوسیله روش‌های ترتیبی، برخلاف توابع معیار آماری، قابل حذف می‌باشد [۱۶، ۱۷].

توابع معیار مبتنی بر علامت اختلاف شدت روشنایی

- در روش اول ارائه شده در [۱۶]، به هر پنجره $n \times n$ عددی بین ۰ و $n^2 - 1$ نسبت داده می‌شود. این عدد مبین تعداد پیکسل‌هایی است که دارای شدت روشنایی کوچک‌تر از شدت روشنایی مرکز پنجره می‌باشند.
- در روش دوم ارائه شده در [۱۶]، موسوم به *Census*، هر پنجره $n \times n$ به یک رشته باینری به طول $n^2 - 1$ تبدیل می‌شود. هر بیت رشته که متناظر با یک پیکسل پنجره است، در صورتی که از شدت روشنایی کمتری نسبت به پیکسل مرکزی برخوردار باشد "یک" و در غیر اینصورت "صفر" در نظر گرفته می‌شود. برای مقایسه دو رشته متناظر پنجره‌های چپ و راست از فاصله همینگ^۲ استفاده می‌شود، که مبین تعداد بیت‌هایی است که در دو رشته متفاوتند.
- خروجی روش‌های مبتنی بر علامت اختلاف شدت روشنایی، با تغییر خطی گین و بایاس شدت روشنایی نقاط پنجره، تغییر نمی‌کند.

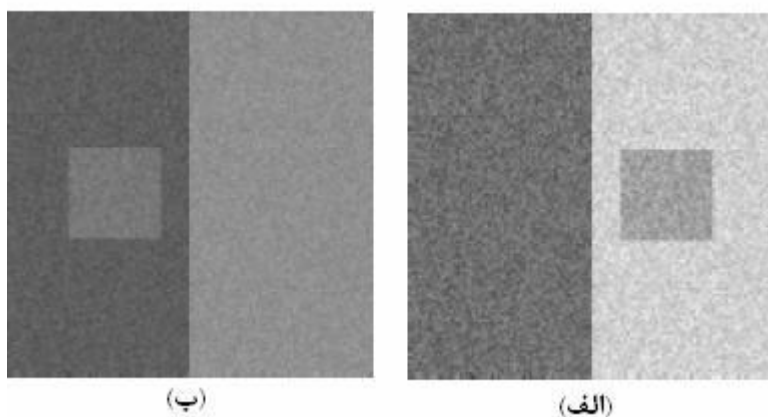
^۱ Ordering
^۲ Hamming Distance

- اگر تعداد اندکی از نقاط داخل پنجره دارای خطای بزرگی باشند، به اندازه میزان تغییر شدت روشنایی خود در مقدار هزینه انطباق تاثیر نگذاشته و اثرشان به تعداد آنها محدود می‌گردد. اگر پنجره‌ای با مقادیر شدت روشنایی زیر در تصویر چپ در نظر گرفته شود:

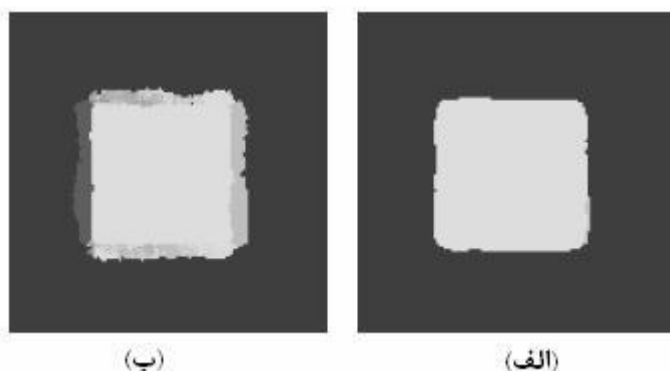
۱۲۷	۱۲۷	۱۲۹
۱۲۶	۱۲۸	۱۲۹
۱۲۷	۱۳۱	A1

چنانچه پنجره دیگری، که به جای شدت روشنایی $A1$ دارای شدت روشنایی $A2$ است و در سایر نقاط دارای مقادیر شدت روشنایی مشابه پنجره اول می‌باشد، در تصویر راست فرض گردد به روش SAD تفاوت دو پنجره، $|A1 - A2|$ می‌باشد. با توجه به محدوده تغییرات $A1$ و $A2$ بین صفر و ۲۵۵، این خطا می‌تواند از صفر تا ۲۵۵ تغییر کند، در حالیکه خطای معیارهای ترتیبی معرفی شده، حداکثر "یک" خواهد بود. بنابراین تعداد معدودی از پیکسل‌ها می‌توانند مقادیر بسیار متفاوتی در دو پنجره داشته باشند، اما اثر کلی آنها در این معیارها به جای میزان تغییرات شدت روشنایی آنها، به تعداد آنها محدود می‌گردد.

- در شکل ۲-۳ یک جفت تصویر استریوی ساختگی تصادفی نقطه‌ای^۱ نشان داده شده است، یک مربع شناور بر روی یک سطح صاف قرار گرفته است. یک لبه تغییر شدت روشنایی عمودی در زمینه تصویر مشاهده می‌گردد. تصاویر بدون نویز بوده و شدت روشنایی دو تصویر با گین و بایاس ثابت تغییر کرده‌اند. مقایسه نقشه جابجایی مکانی بدست آمده از روش $Census$ و روش NCC ، که به ترتیب در شکل‌های (شکل ۲-۴ الف) و (شکل ۲-۴ ب) نشان داده شده‌اند، عملکرد مطلوب روش $Census$ را بالاخص در مجاورت ناپیوستگی عمق نشان می‌دهد. در نقشه بدست آمده از روش NCC ، ابهام در مرزها کاملاً مشهود می‌باشد [۱۶].



شکل ۲-۳ تصاویر استریوی چپ و راست نقطه‌ای تصادفی ساختگی



شکل ۲-۴ نقشه جابجایی مکانی بدست آمده به روش،(الف)Census و(ب)NCC

توابع معیار مبتنی بر رتبه^۱

- در روش‌های مبتنی بر رتبه، نقاط، بر حسب شدت روشنایی خود در پنجره رتبه بندی می‌شوند [۱۷]. مثلاً چنانچه پنجره‌ای با مقادیر شدت روشنایی زیر در نظر گرفته شود:

۱۰	۳۰	۷۰
۲۰	۵۰	۸۰
۴۰	۶۰	۱۰۰

ماتریس رتبه پنجره بصورت زیر خواهد بود.

۱	۳	۷
۲	۵	۸
۴	۶	۹

Rank^۱

- معیار شباهت Spearman [۱۷]: یک ضریب وابستگی بین رتبه‌های متناظر در دو پنجره

می‌باشد. چنانچه دو پنجره S و R را در نظر بگیریم و رتبه پیکسل‌های متناظر در دو پنجره S_i

و R_i باشند، معیار شباهت Spearman از (۴-۲) بدست می‌آید.

$$r_s = \frac{\sum_i (R_i - \bar{R})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_i (R_i - \bar{R})^2} \sqrt{\sum_i (S_i - \bar{S})^2}} \quad (۴-۲)$$

این ضریب بین صفر و یک تغییر می‌کند.

- معیار شباهت Kendall [۱۷]: چنانچه پنجره رتبه $R=(r_1, r_2, \dots, r_n)$ و $S=(s_1, s_2, \dots, s_n)$ را در

نظر بگیریم، تعداد $\frac{1}{2}n(n-1)$ جفت (r_i, s_i) و (r_j, s_j) می‌توان در نظر گرفت. جفت x -اضافی،

y -اضافی، سازگار و ناسازگار بصورت زیر تعریف می‌شوند.

$$A_1 = r_i - r_j, \quad a_2 = s_i - s_j$$

اگر $a_2=0$ \Rightarrow اضافی- x $extra_x$

اگر $a_1=0$ \Rightarrow اضافی- y $extra_y$

اگر $a_1 a_2 > 0$ \Rightarrow سازگار n_1

اگر $a_1 a_2 < 0$ \Rightarrow ناسازگار n_2

در اینصورت ضریب Kendall از (۵-۲) تعریف می‌شود.

$$\tau = \frac{n_1 - n_2}{\sqrt{n_1 + n_2 + extra_y} \sqrt{n_1 + n_2 + extra_x}} \quad (۵-۲)$$

- ضریب Kendall وابستگی کمتری به رتبه‌ها دارد و تنها یکسان بودن ترتیب دو نقطه از پنجره

اول و ترتیب دو نقطه متناظر از پنجره دوم اهمیت دارد [۱۷].

- اگر متناظر با پنجره شدت روشنایی مفروض، پنجره‌ای در نظر گرفته شود که تنها در مقدار

پیکسل آخر متفاوت بوده و این مقدار بین ۸۰ تا ۲۵۵ تغییر کند، ماتریس‌های رتبه در دو

پنجره یکسان خواهند بود و بنابراین ضرایب Spearman و Kendall ثابت می‌مانند. در حالیکه

اگر این پیکسل، بعنوان مثال، مقدار ۲۵۵ را اختیار کند، ضریب NCC از یک به $۰/۶۴۵$ کاهش می‌یابد [۱۷].

• در [۱۸] روشی ارائه شده است که حساسیت به اعوجاج خطی رتبه‌ها را کاهش می‌دهد. پرداختن به جزئیات این روش از حوصله این نوشتار خارج است، اما قابل ذکر است که برای دو ماتریس رتبه زیر نسبت به ماتریس رتبه مفروض، مقدار ضریب تعریف شده، K ، در دو حالت در مقدار $۰/۵$ ثابت مانده است، در حالیکه مقادیر ضرایب $Spearman$ ، $Kendall$ و NCC به ترتیب از مقادیر $۰/۹۸$ ، $۰/۹۴$ و $۰/۶$ به مقادیر $۰/۴$ ، $۰/۵۶$ و $۰/۳۱$ کاهش می‌یابند.

۱	۳	۷	۲	۴	۸
۲	۵	۹	۳	۶	۹
۴	۶	۸	۵	۷	۱

• این ضریب معیاری مقاوم می‌باشد، و بنابراین تطابق‌های صحیح بیشتری به خاطر عدم تطابق ناشی از نویز و عوامل دیگر، حاصل می‌شود. روش مذکور در تصاویر مختلف با پنجره‌های ۷×۷ و ۹×۹ نتایج مطلوبی داده است. نتایج ارائه شده بر روی تصاویر ساختگی با نویز فلفل-نمکی^۱ حاکی از عملکرد بهتر ضریب K نسبت به معیارهای مرسوم SSD ، NCC و سایر معیارهای رتبه‌ایست. عملکرد ضریب K ، بر روی تصاویر واقعی تنها بصورت کیفی ارائه شده است و مقایسه کمی با سایر روش‌ها صورت نگرفته است [۱۷].

۲-۲-۳ روش پنجره تطبیقی

در نواحی بدون بافت یا دارای بافت کم و بدون تغییر عمق، اندازه پنجره می‌بایست به اندازه کافی بزرگ انتخاب شود، بطوریکه پیکسل‌های بیشتری را جهت حصول سیگنال به نویز بالا، قدرت تمایز بیشتر و در نتیجه انطباق مطمئن‌تر در بر گیرد. از طرفی ابعاد پنجره در مجاورت ناپیوستگی‌های عمق، برای اجتناب از تغییر جابجایی مکانی پیکسل‌های داخل پنجره، می‌بایست به اندازه کافی کوچک اختیار

¹ Salt and Pepper Noise

شود [۱۳]. بنابراین انتخاب اندازه پنجره بصورت تطبیقی در نقاط مختلف تصویر، بسته به تغییرات محلی شدت روشنایی و تغییرات جابجایی مکانی مطلوب می‌باشد. تغییرات محلی شدت روشنایی به سادگی از اطلاعات تصویر قابل استخراج است، اما تعیین تغییر جابجایی مکانی به سادگی میسر نمی‌باشد، زیرا جابجایی مکانی، محصول نهایی تطابق در بینایی استریو می‌باشد.

پنجره تطبیقی ارائه شده در [۱۳]

روش ارائه شده در [۱۳]، مقدار جابجایی مکانی مناسب را برای هر نقطه تصویر، با تعیین اندازه پنجره بصورت تطبیقی و با یک الگوریتم تکراری، تخمین می‌زند. در ادامه این روش را به تشریح بررسی می‌کنیم. هدف از بررسی تفصیلی این روش، علاوه بر تشریح الگوریتم تطبیقی، آشنایی با عملکرد روش پنجره‌ای با در نظر گرفتن نویز شدت روشنایی و تغییر جابجایی مکانی پیکسل‌های پنجره، بر اساس روابط ریاضی، می‌باشد.

- مدل مناسبی برای نویز در تصویر در نظر گرفته می‌شود. برای سادگی روابط، مرکز پنجره‌ای که در نقطه (x, y) قرار گرفته است، در نقطه $(0, 0)$ فرض می‌شود. در اینصورت برای هر نقطه (ξ, η) ، شدت روشنایی f_1 از پنجره تصویر اول و f_2 از پنجره تصویر دوم، با (ξ, η) مرتبط می‌شوند.

$$f_1(\xi, \eta) = f_2(\xi + d_r(\xi, \eta), \eta) + n(\xi, \eta) \quad (6-2)$$

در این رابطه $d_r(\xi, \eta)$ جابجایی مکانی نقطه (ξ, η) از پنجره مفروض می‌باشد. $n(\xi, \eta)$ نویز سفید گاوسین در نظر گرفته شده است، که بصورت $(7-2)$ نشان داده می‌شود.

$$n(\xi, \eta) \sim N(0, 2\sigma_n^2) \quad (7-2)$$

در $(7-2)$ ، σ_n^2 توان مفروض نویز در هر تصویر می‌باشد.

- با بسط $f_2(\xi + d_r(\xi, \eta), \eta)$ از $(6-2)$ ، در $d_r(0, 0) - \xi$ ، اختلاف شدت روشنایی دو نقطه متناظر از دو پنجره با $(8-2)$ تخمین زده می‌شود.

(۸-۲)

- مدل آماری مفروض در (۹-۲) نشان می‌دهد، اختلاف جابجایی مکانی نقطه (ξ, η) ، یعنی $n_s(\xi, \eta) = f_1(\xi, \eta) - f_2(\xi + d_r(0,0), \eta) \approx (d_r(\xi, \eta) - d_r(0,0)) \frac{\partial}{\partial \xi} f_2(\xi + d_r(0,0), \eta) + n(\xi, \eta)$ و نقطه $(0,0)$ ، یعنی $d_r(0,0)$ ، در پنجره، از یک توزیع گاوسین، با واریانس که متناسب با فاصله دو نقطه می‌باشد، تبعیت می‌کند. بنابراین هر چقدر فاصله پیکسلی در پنجره از مرکز پنجره بیشتر باشد، تابع توزیع تغییر جابجایی مکانی آن پیکسل نسبت به مرکز پنجره دارای واریانس بیشتری است.

$$d_r(\xi, \eta) - d_r(0,0) \sim N(0, \alpha_d \sqrt{\xi^2 + \eta^2}) \quad (۹-۲)$$

α_d ثابتی است که میزان تغییر جابجایی مکانی را در پنجره کنترل می‌کند.

- از (۸-۲) و با کمک روابط مفروض (۷-۲) و (۹-۲)، تابع توزیع اختلاف شدت روشنایی هر دو نقطه متناظر پنجره‌ها از (۱۰-۲) تعیین می‌شود.

$$n_s(\xi, \eta) \approx f_1(\xi, \eta) - f_2(\xi + d_r(0,0), \eta) \sim N(0, 2\sigma_n^2 + \alpha_f \alpha_d \sqrt{\xi^2 + \eta^2}) \quad (۱۰-۲)$$

که α_f در (۱۰-۲)، از (۱۱-۲) بدست می‌آید. E ، مبین امید ریاضی یا میانگین می‌باشد.

$$\alpha_f = E \left[\left(\frac{\partial}{\partial \xi} f_2(\xi + d_r(0,0), \eta) \right)^2 \right] \quad (۱۱-۲)$$

(۱۰-۲) نشان می‌دهد، توزیع اختلاف شدت روشنایی دو نقطه متناظر پنجره‌ها، دارای مشخصه گاوسین با میانگین صفر است. واریانس این توزیع، ترکیبی از یک بخش ثابت، متأثر از نویز شدت روشنایی تصویر، و یک بخش متناسب با فاصله از مرکز پنجره، $\sqrt{\xi^2 + \eta^2}$ ، می‌باشد. بخش متغیر نشان می‌دهد هر چقدر فاصله نقاط از مرکز پنجره بیشتر باشد، احتمال اختلاف بیشتر شدت روشنایی نقاط متناظر دو پنجره، بیشتر است، و این بدان دلیل است که اختلاف بیشتر جابجایی مکانی نقاط متناظر در اطراف مرکز پنجره، طبق (۹-۲)، محتمل‌تر است. اثر تغییر جابجایی مکانی در احتمال اختلاف شدت روشنایی نقاط متناظر دو پنجره با ضریب α_f

تقویت می‌شود. با توجه به (۱۱-۲)، این مسأله چنین توجیه می‌شود که هر چقدر تغییرات شدت روشنایی در پنجره بیشتر باشد، اثر تغییر جابجایی مکانی نقاط متناظر دو پنجره در خطای اختلاف شدت روشنایی نقاط متناظر، جدی‌تر است.

- چنانچه $d_{r-1}(0,0)$ تخمین قبلی جابجایی مکانی پنجره باشد، با بسط تیلور (۱۰-۲)، مقدار اختلاف شدت روشنایی دو نقطه متناظر پنجره‌ها، $n_s(\xi, \eta)$ از (۱۲-۲) تعیین می‌شود.

$$n_s(\xi, \eta) = f_1(\xi, \eta) - f_2(\xi + d_r(0,0), \eta) - \Delta d \frac{\partial}{\partial \xi} f_2(\xi + d_0(0,0), \eta) \quad (12-2)$$

در این رابطه $\Delta d = d_r(0,0) - d_{r-1}(0,0)$ می‌باشد. Δd تغییر تدریجی جابجایی مکانی برای تصحیح جابجایی مکانی مرکز پنجره می‌باشد.

اختلاف شدت روشنایی، ϕ_1 ، و مشتق شدت مکانی شدت روشنایی، ϕ_2 ، با (۱۳-۲) و (۱۴-۲) تعریف می‌شوند.

$$\phi_1(\xi, \eta) = f_1(\xi, \eta) - f_2(\xi + d_{r-1}(0,0), \eta) \quad (13-2)$$

$$\phi_2(\xi, \eta) = \frac{\partial}{\partial \xi} f_2(\xi + d_{r-1}(0,0), \eta) \quad (14-2)$$

بر اساس این تعاریف (۱۲-۲) بصورت (۱۵-۲) نوشته می‌شود.

$$n_s(\xi, \eta) = \phi_1(\xi, \eta) - \Delta d \phi_2(\xi, \eta) \sim N(0, \sigma_s^2(\xi, \eta)) \quad (15-2)$$

در (۱۵-۲)، بر اساس (۱۰-۲)، مقدار σ_s^2 ، واریانس توزیع اختلاف شدت روشنایی در هر نقطه پنجره، از (۱۶-۲) بدست می‌آید.

$$\sigma_s^2(\xi, \eta) = 2\sigma_n^2 + \alpha_f \alpha_d \sqrt{\xi^2 + \eta^2} \quad (16-2)$$

- با نمونه‌برداری از مقادیر شدت روشنایی تصویر اول، f_1 ، و تصویر دوم، f_2 ، در پیکسل‌های تصویر، (ξ_i, η_j) ، در پنجره W ، نمونه‌های φ_{ij} ، از $n_s(\xi, \eta)$ از (۱۷-۲) بدست می‌آیند.

$$\varphi_{ij} = n_s(\xi_i, \eta_j) - \Delta d \phi_2(\xi_i, \eta_j) \quad (17-2)$$

با توجه به (۱۵-۲)، تابع توزیع احتمال شرطی اختلاف شدت روشنایی دو پیکسل متناظر از پنجره، یعنی φ_{ij} ، با فرض تغییر جابجایی مکانی Δd ، از (۱۸-۲) تعیین می‌شود.

$$p(\varphi_{ij}|\Delta d) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_s(\xi_i, \eta_j)} \exp\left(-\frac{(\phi_1(\xi_i, \eta_j) - \Delta d \phi_2(\xi_i, \eta_j))^2}{2\sigma_s^2(\xi_i, \eta_j)}\right) \quad (18-2)$$

• از آنجا که $n_s(\xi, \eta)$ نویز سفید است، مقادیر φ_{ij} ها در پیکسل‌های مختلف پنجره مستقل هستند، بنابراین توزیع φ_{ij} ها برای کل پیکسل‌های پنجره از (۱۹-۲) تعیین می‌شود.

$$p(\varphi_{ij}(i, j \in W)|\Delta d) = \prod_{i, j \in W} p(\varphi_{ij}|\Delta d) \quad (19-2)$$

• با استفاده از قاعده بیز و با توجه به رابطه (۲۰-۲)، و نیز با فرض عدم وجود دانش اولیه از تغییرات جابجایی مکانی، احتمال تغییر جابجایی مکانی، $p(\Delta d)$ ، مقدار ثابتی در نظر گرفته شود، تابع توزیع تغییر جابجایی مکانی، Δd ، به شرط تغییرات شدت روشنایی پیکسل به پیکسل دو پنجره، $\varphi_{ij}(i, j \in W)$ ، از (۲۰-۲) بدست می‌آید.

$$p(\Delta d|\varphi_{ij}(i, j \in W)) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\Delta d}} \exp\left(-\frac{(\Delta d - \hat{\Delta d})^2}{2\sigma_{\Delta d}^2}\right) \quad (20-2)$$

در (۲۰-۲)، مقدار میانگین تابع توزیع شرطی تغییر جابجایی مکانی، $\hat{\Delta d}$ ، و نیز واریانس این توزیع، $\sigma_{\Delta d}^2$ ، از (۲۱-۲) و (۲۲-۲) بدست می‌آیند.

$$\hat{\Delta d} = \frac{\sum_{i, j \in W} (\phi_1(\xi_i, \eta_j) \phi_2(\xi_i, \eta_j) / \sigma_s^2(\xi_i, \eta_j))}{\sum_{i, j \in W} (\phi_2(\xi_i, \eta_j) / \sigma_s(\xi_i, \eta_j))^2} \quad (21-2)$$

$$\sigma_{\Delta d}^2 = \frac{1}{\sum_{i, j \in W} (\phi_2(\xi_i, \eta_j) / \sigma_s(\xi_i, \eta_j))^2} \quad (22-2)$$

در روابط (۲۱-۲) و (۲۲-۲) مقادیر ϕ_1 و ϕ_2 از روابط (۱۳-۲) و (۱۴-۲) تعیین می‌گردند. واریانس توزیع اختلاف شدت روشنایی در هر پیکسل پنجره، $\sigma_s^2(\xi_i, \eta_j)$ ، در روابط (۲۱-۲) و (۲۲-۲)، طبق (۱۶-۲) به مقادیر α_d و α_f وابسته است، که این مقادیر بر مبنای روابط (۹-۲)

و (۲-۱۱) بعنوان نوسان جابجایی مکانی و نوسان شدت روشنایی در پنجره تعبیر می‌شوند. این مقادیر با توجه به مقادیر پیشین جابجایی مکانی پیکسل‌های پنجره، $d_{r-1}(\xi_i, \eta_j)$ مقدار پیشین جابجایی مکانی پیکسل مرکزی پنجره، $d_{r-1}(0,0)$ تعداد پیکسل‌های پنجره، N_W و شدت روشنایی تصویر دوم، f_2 ، از روابط (۲-۲۳) و (۲-۲۴)، تخمین زده می‌شوند.

$$\hat{\alpha}_d = \frac{1}{N_W} \sum_{i,j \in W} \frac{(d_0(\xi_i, \eta_j) - d_0(0,0))^2}{\sqrt{\xi_i^2 + \eta_j^2}} \quad (2-23)$$

$$\hat{\alpha}_f = \frac{1}{N_W} \sum_{i,j \in W} \left(\frac{\partial}{\partial \xi} f_2(\xi_i + d_0(0,0), \eta_j) \right)^2 \quad (2-24)$$

قابل ذکر است مقادیر α_d و α_f وابسته به شکل و اندازه پنجره بوده و با تغییر پنجره می‌بایست مجدداً تعیین شوند.

- از (۲-۲۰) استنتاج می‌شود که توزیع احتمال شرطی تغییر جابجایی مکانی، Δd ، با در نظر گرفتن تغییرات شدت روشنایی پیکسل به پیکسل دو پنجره متناظر، $\varphi_{ij}(i, j \in W)$ ، یک تابع چگالی احتمال گاوسین می‌باشد. $\hat{\Delta}d$ ، میانگین این تابع، محتمل‌ترین تخمین تغییر جابجایی مکانی و $\sigma_{\Delta d}^2$ ، واریانس این تابع، عدم قطعیت تخمین تغییر جابجایی مکانی را به‌ازای اطلاعات پنجره W نشان می‌دهد. به عبارتی با در اختیار داشتن مقادیر شدت روشنایی دو تصویر، f_1 و f_2 ، پنجره W در دو تصویر و مقادیر تخمین فعلی جابجایی مکانی در هر پیکسل تصویر، $d_r(0,0) = d_{r-1}(0,0) + d_{r-1}(\xi_i, \eta_j)$ ، تخمین بهتر جابجایی مکانی برای مرکز پنجره، $d_{r-1}(0,0) = d_{r-1}(0,0) + d_{r-1}(\xi_i, \eta_j)$ ، و عدم قطعیت این تخمین قابل محاسبه می‌باشد.

- در [۱۳]، از یک الگوریتم تکراری بر مبنای پنجره تطبیقی استفاده شده است. مراحل این الگوریتم در موارد ذیل خلاصه می‌شود:

۱- برای هر پیکسل (x,y) از تصویر، یک جابجایی مکانی اولیه $d_0(x,y)$ ، تخمین زده می‌شود.

۲- در تکرار n ام برای هر پیکسل (x, y) از تصویر، پنجره‌ای انتخاب می‌شود که تخمین تغییر جابجایی مکانی آن از $(2-21)$ ، دارای کمترین عدم قطعیت از $(2-22)$ ، باشد. در عمل شکل پنجره‌ها مطابق شکل ۲-۵، مستطیلی در نظر گرفته شده است که طول و عرض آن به طور مستقل در چهار جهت مختلف گسترش می‌یابد. استراتژی انتخاب پنجره بهینه در هر پیکسل تصویر از قرار زیر می‌باشد:

الف) عدم قطعیت تخمین جابجایی مکانی با پنجره مفروض، از $(2-22)$ ، محاسبه می‌گردد. در تکرار اول، یک پنجره 3×3 با مرکزیت پیکسل مورد نظر فرض می‌گردد.

ب) جهت اولیه گستر پنجره x^+ در نظر گرفته شود.

ج) پنجره در جهت مفروض موقتاً با اندازه یک پیکسل گسترش یابد.

د) عدم قطعیت، از $(2-22)$ محاسبه گردد. اگر گسترش پنجره سبب افزایش عدم قطعیت نسبت به مقدار مرحله الف شده است، این جهت گسترش پنجره از لیست چهار جهت مجاز گسترش، حذف شود.

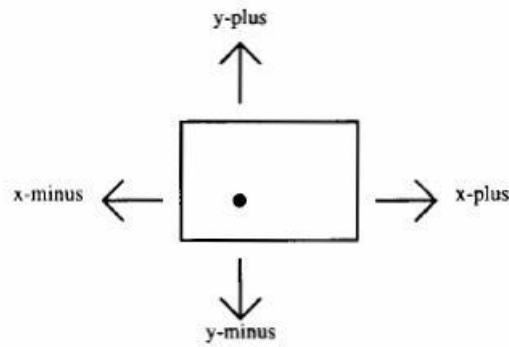
ه) شکل پنجره به حالت الف برگردانده شده، جهت بعدی گسترش پنجره انتخاب شود و تا بررسی هر چهار حالت گسترش پنجره، به مرحله ج برود.

و) عدم قطعیت‌های محاسبه شده از سه مرحله قبل مقایسه شده و پنجره حالت الف به اندازه یک پیکسل در جهتی که کمترین عدم قطعیت را ایجاد کرده است، گسترش یابد.

پ) تخمین تغییر جابجایی مکانی از $(2-21)$ ، برای پنجره جدید محاسبه شده، مقدار $d_r(x, y)$ تعیین شود.

ت) مراحل الف تا پ تا وقتی که گسترش پنجره در مرحله d در تمام جهات متوقف شود یا مساحت پنجره به مقدار از پیش تعیین شده‌ای برسد، تکرار شوند.

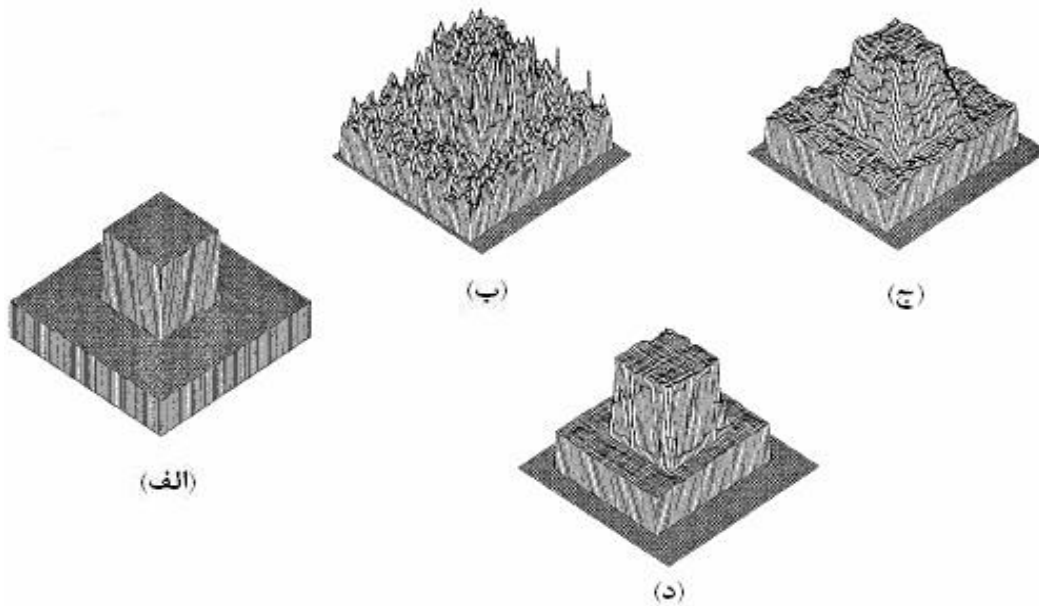
۳- مرحله (۲) تا همگرایی مقادیر جابجایی مکانی در کلیه پیکسل‌های تصویر، یا تعداد تکرار مشخصی، تکرار شوند.



شکل ۲-۵ جهت‌های مجاز گسترش پنجره

- در بررسی نتایج این الگوریتم، یک جفت تصویر مصنوعی که شکل سه بعدی متناظر آن در شکل (شکل ۲-۵الف) مشاهده می‌شود، در نظر گرفته شده است. تصاویر دارای الگوی روشنایی شیب‌دار با نویز گاوسی بوده‌اند. در شکل (شکل ۲-۵ب) تجسم سه بعدی بازسازی شده به روش پنجره‌ای با اندازه پنجره 3×3 ، در شکل (شکل ۲-۶ج) با اندازه پنجره 7×7 و در شکل (شکل ۲-۶د) به روش پنجره تطبیقی مشاهده می‌گردد. در روش پنجره‌ای، ملاحظه می‌شود هرچقدر اندازه پنجره کوچکتر باشد بازسازی سه بعدی با نویز پراکنده بیشتری صورت گرفته است، در عوض لبه‌های ناپیوستگی عمق بهتر استخراج شده‌اند. پدیده ابهام در مرزها در اندازه پنجره بزرگتر کاملاً مشهود است، درحالی‌که نویز پراکنده کاهش چشمگیری داشته است. در روش پنجره تطبیقی، ضمن آنکه نویز پراکنده وجود ندارد، ناپیوستگی‌های عمق با دقت بالا تشخیص داده شده‌اند.

- میانگین خطای جابجایی مکانی صحیح و جابجایی مکانی محاسبه شده، بر حسب پیکسل، با هر یک از سه روش مذکور، در جدول ۲-۱ ارائه شده است. عملکرد بهتر روش تطبیقی با این معیار کمی نیز تایید گردیده است.



شکل ۲-۶ : تجسم سه بعدی تصاویر استریوی مصنوعی، (الف) حالت اصلی، (ب) پنجره 3×3 ، (ج) پنجره 7×7 ، (د) پنجره تطبیقی

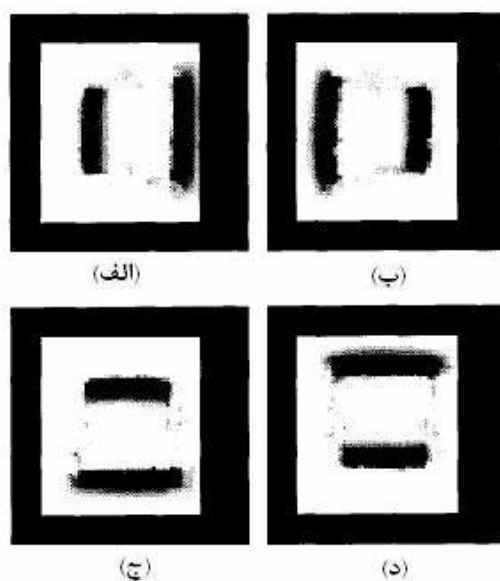
جدول ۲-۱: خطای میانگین روش‌های مختلف

پنجره	میانگین خطا
3×3	۰/۲۲
7×7	۰/۲۰
تطبیقی	۰/۰۸

- در شکل ۲-۷، میزان گسترش پنجره برای چهار جهت نشان داده شده در شکل ۲-۵ در هر پیکسل تصویر مشاهده می‌شود. رنگ تیره‌تر نشان دهنده آنستکه پنجره در آن نقطه در جهت مفروض گسترش کمتری داشته است. بعنوان مثال، در شکل (شکل ۲-۷الف) نشان می‌دهد که پنجره‌های واقع بر روی نقاط سمت راست ناپیوستگی عمق عمودی چپ، که بر روی برجستگی مربعی واقع می‌شوند، و نقاط سمت راست ناپیوستگی عمق عمودی راست، که بر

روی زمینه قرار می‌گیرند، برای پرهیز از همپوشانی با ناپیوستگی‌های عمق، دارای گسترش کمتری به سمت چپ می‌باشند.

- عملکرد الگوریتم ارائه شده بر روی چندین تصویر واقعی، در مقایسه با روش پنجره‌ای در اندازه پنجره‌های مختلف، بصورت کیفی ارزیابی شده و نتایج مطلوبی مشاهده گردیده است. مقایسه کمی با روش‌های دیگر ارائه نشده است.



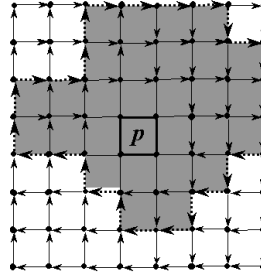
شکل ۲-۷ میزان گسترش پنجره برای نقاط مختلف تصویر، (الف) به سمت چپ؛ (ب) به سمت راست؛ (ج) به سمت پایین؛ و (د) به سمت بالا

پنجره تطبیقی ارائه شده در [۳۱]

روش ارائه شده در [۳۱]، مطابق با شکل ۲-۸ یک گراف جهت‌دار حول نقطه مورد نظر P در نظر می‌گیرد. یک تابع هزینه که متناسب با میانگین خطای شدت روشنایی نقاط متناظر پنجره‌ها و عکس اندازه پنجره است تعریف می‌گردد. چنانکه از شکل ۲-۸ پیدا است، یک سیکل بسته از لبه‌های جهت‌دار گراف می‌تواند یک پنجره با شکل دلخواه حول نقطه P تشکیل دهد. با الگوریتم^۱ MRC یک گراف حول نقطه P، پنجره‌ای که دارای کمترین مقدار هزینه است انتخاب می‌گردد. نمونه‌ای از پنجره بدست آمده

^۱ Minimum Ratio Cycle

در شکل با رنگ خاکستری نشان داده شده است. این روش، برخلاف روش ارائه شده در [۱۳]، می‌تواند پنجره‌هایی با اشکال متفاوت ایجاد کند.



شکل ۲-۸: گراف جهت‌دار حول پیکسل مورد نظر

۲-۲-۴ روش پنجره وزن‌دار تطبیقی^۱

بررسی روش پنجره تطبیقی نشان می‌دهد یافتن پنجره‌ای با شکل و اندازه دلخواه مسأله‌ای بسیار پیچیده و زمان‌بر است. در حالیکه در مجاورت ناپیوستگی‌های عمق، که دارای اشکال مرزی مختلفی می‌باشند، پنجره‌های با شکل و اندازه دلخواه مورد نیاز است، در عمل، الگوریتم‌های ارائه شده فضای جستجو را به پنجره‌هایی با شکل خاص و در یک بازه اندازه مشخص، محدود می‌کند. روش چند پنجره‌ای را می‌توان حالت ساده شده روش پنجره تطبیقی برای کاهش حجم محاسباتی و زمانبری الگوریتم به شمار آورد. روش‌هایی ارائه شده است که در یک فضای پنجره‌ای مشخص، وزن‌های مناسبی به پیکسل‌های داخل پنجره نسبت می‌دهند [۱۹، ۲۰]. ایده اصلی این روش‌ها آنستکه به پیکسل‌هایی از پنجره که با احتمال بیشتری دارای جایگاهی مکانی مساوی با پیکسل مرکزی می‌باشند، وزن بزرگتری نسبت داده شود. به عبارت دیگر این پیکسل‌ها سهم بیشتری در محاسبه هزینه انطباق داشته باشند. در ادامه به بررسی روش ارائه شده در [۱۹]، پرداخته می‌شود.

¹ Adaptive Weight Window

- (۲۵-۲) بیان می‌کند وزن انتسابی به پیکسل q در یک پنجره با مرکزیت p ، $\omega(p, q)$ ، می‌بایست متناسب با احتمال مساوی بودن جابجایی مکانی پیکسل q ، d_q ، و جابجایی مکانی پیکسل p ، d_p باشد.

$$\omega(p, q) \propto \Pr(d_p = d_q) \quad (25-2)$$

- در روش‌های ارائه شده در [۱۹، ۲۰]، بر مبنای (۲۵-۲)، با تخمین اولیه مقادیر جابجایی مکانی و با الگوریتم‌های تکراری، وزن‌های مناسبی برای پیکسل‌های پنجره تعیین می‌شوند.
- روش ارائه شده در [۱۹]، بر مبنای شباهت رنگی و نزدیکی مکانی پیکسل‌های پنجره به پیکسل مرکزی، وزن‌های پنجره را تعیین می‌کند. چنانچه ΔC_{pq} ، اختلاف رنگی و Δg_{pq} فاصله مکانی نقطه q با پیکسل مرکزی پنجره، p ، تعریف شود، وزن اختصاص یافته به پیکسل q ، $\omega(p, q)$ ، با (۲۶-۲) تعیین می‌شود.

$$\omega(p, q) = k \cdot f(\Delta C_{pq}, \Delta g_{pq}) \quad (26-2)$$

در (۲۶-۲)، k ، یک ثابت عددی است.

- شباهت رنگ و مجاورت پیکسل‌های پنجره دو رویداد مستقل فرض شده‌اند، بنابراین (۲۶-۲) بصورت (۲۷-۲) بیان می‌شود.

$$\omega(p, q) = k \cdot f_s(\Delta C_{pq}) \cdot f_p(\Delta g_{pq}) \quad (27-2)$$

در (۲۷-۲) توابع f_s و f_p با (۲۸-۲) و (۲۹-۲) تعریف می‌شوند.

$$f_s(\Delta C_{pq}) = \exp\left(-\frac{\Delta C_{pq}}{\gamma_c}\right) \quad (28-2)$$

$$f_p(\Delta g_{pq}) = \exp\left(-\frac{\Delta g_{pq}}{\gamma_p}\right) \quad (29-2)$$

بنابراین (۲۷-۲) بصورت (۳۰-۲) نوشته می‌شود.

$$\omega(p, q) = k \cdot \exp\left(-\left(\frac{\Delta C_{pq}}{\gamma_c} + \frac{\Delta g_{pq}}{\gamma_p}\right)\right) \quad (30-2)$$

- هزینه انطباق دو نقطه، p از تصویر اول و نقطه دیگری از تصویر دوم با جابجایی مکانی d ، \bar{p}_d از (۳۱-۲) بدست می آید.

$$E(p, \bar{p}_d) = \frac{\sum_{q \in W_p, \bar{q}_d \in W_{\bar{p}_d}} \omega(p, q) \omega(\bar{p}_d, \bar{q}_d) e_0(q, \bar{q}_d)}{\sum_{q \in W_p, \bar{q}_d \in W_{\bar{p}_d}} \omega(p, q) \omega(\bar{p}_d, \bar{q}_d)} \quad (31-2)$$

W_p ، پنجره مفروض در تصویر اول و $W_{\bar{p}_d}$ ، پنجره متناظر آن در تصویر دوم می باشد. \bar{p}_d و \bar{q}_d متناظر پیکسل های p و q از تصویر اول، در تصویر دوم می باشند. $e_0(q, \bar{q}_d)$ با (۳۲-۲) تعریف می شود.

$$e_0(q, \bar{q}_d) = \min\{\sum_{c \in \{r, g, b\}} |I_c(q) - I_c(\bar{q}_d)|, T\} \quad (32-2)$$

I_c شدت روشنایی رنگ c و T مقدار آستانه ای است که حد هزینه انطباق را تعیین می کند. بر مبنای هزینه انطباق محاسبه شده برای مقادیر جابجایی مکانی مجاز، $S_d = \{d_{min}, \dots, d_{max}\}$ مقدار جابجایی مکانی پیکسل مورد نظر با قاعده WTA^1 تعیین می شود.

۲-۳ جمع بندی نقاط قوت و ضعف روش ها

- نقاط قوت

- روش محلی پایه، مرسوم به روش پنجره ای، یک روش ساده از نظر مفهومی، و آسان برای پیاده سازی می باشد. حجم محاسباتی آن با بکارگیری روش های موجود، بطور چشمگیری کاهش یافته و امکان بکارگیری آن در کاربردهای بلا درنگ فراهم می گردد.

- نقاط ضعف

- در روش پنجره ای، انتخاب مناسب تابع معیار شباهت و تعیین صحیح اندازه و شکل پنجره به سادگی امکان پذیر نمی باشد. در روش پنجره ای امکان اعمال محدودیت هایی مانند شرط پیوستگی جابجایی مکانی، بصورت مستقیم و بدون پردازش های ثانویه

¹Winer All Take

امکان پذیر نمی باشد. تشخیص انسداد، با پردازش های ثانویه به روش آستانه ای یا انطباق
چپ/راست صورت می گیرد. این روش ها می توانند منجر به از دست دادن تطابق های
صحیح شوند، ضمن آنکه در روش آستانه ای تعیین مقدار مناسب آستانه، به سادگی
میسر نمی باشد.

فصل سوم

روش پیشنهادی

۳-۱ مقدمه

با توجه به هندسه تصویربرداری، مسائل اصلی هر الگوریتم استریو عبارتند از [۷]:

۱-انتخاب و استخراج اجزای تصویر: در این مرحله اجزای مهم و مورد نظر مثل لبه‌ها، پاره‌خطها و مرزها استخراج می‌شوند.

۲-تطبیق و یافتن اجزای متناظر: در این مرحله لیست اجزای انتخاب شده و استخراج شده از دو تصویر، با استفاده از توابع معیار مناسب تطبیق داده شده و اجزای متناظر در دو تصویر مشخص می‌شوند.

۳-بازسازی: در این مرحله با داشتن اجزای متناظر در دو تصویر چپ و راست و اطلاعات مربوط به دوربین‌ها و هندسه سیستم تصویربرداری، یعنی وضعیت دوربین‌ها نسبت به هم، موقعیت 3D اجزاء بدست می‌آیند. یکبار تصویر چپ را مرجع قرار می‌دهند و نقاط متناظر را در تصویر سمت راست محاسبه می‌کنند و در مرحله بعد تصویر راست را مرجع قرار می‌دهند و نقاط متناظر از روی تصویر سمت چپ محاسبه می‌شود.

۴-پس پردازش^۱: در این مرحله نقاط انسدادیافته و نامعتبر^۲ شناسایی و در نقشه جابجایی مکانی نهایی تصحیح می‌شود. معمولاً در این قسمت ابتدا روی نقشه‌های جابجایی مکانی بدست آمده از مرحله قبل یک فیلتر میانه وزن دار می‌گذارند و سپس نقاط انسدادیافته که درست تشخیص داده نشده است، مشخص و تصحیح می‌شود.

همان‌طور که اشاره شد، الگوریتم‌های استریو به دو روش کلی تقسیم بندی می‌شوند: روش‌های محلی و روش‌های سراسری. تمرکز ما در این کار بیشتر بر روی روش‌های محلی می‌باشد. در این روش‌ها که مبتنی بر انتخاب یک پنجره مناسب هستند، برای رسیدن به نتایج قابل قبول در هر دو ناحیه یکنواخت و غیریکنواخت، پنجره مناسب برای هر پیکسل از تابع هزینه باید بصورت تطبیقی انتخاب شود. یک

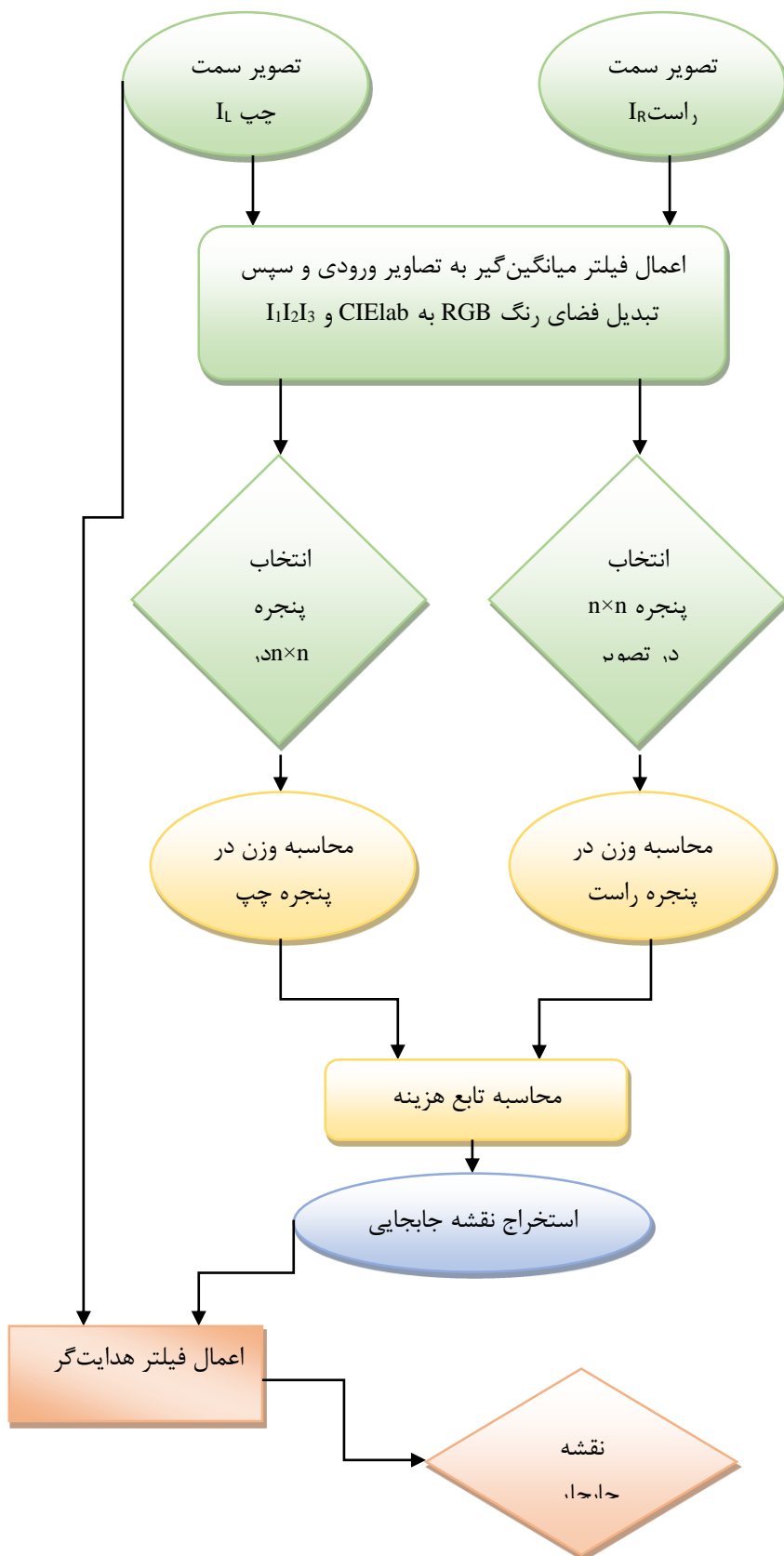
Postprocessing¹
Unreliable²

پنجره در نواحی یکنواخت و بدون بافت باید بقدر کافی بزرگ و در نواحی مرزی کوچک انتخاب شود. روش‌های متعددی [۲۱،۲۲،۲۳،۲۴] برای حل این مسئله پیشنهاد شده است. در [۱۹] همان‌گونه که بیان شد، بجای پیدا کردن یک پنجره بهینه، یک پنجره ثابت و نسبتاً بزرگ انتخاب شد و به هر پیکسل این پنجره بر اساس دو فاکتور رنگ، و فاصله آن با پیکسل مرکز پنجره، وزنی اختصاص یافت و در حقیقت به جای استفاده از پنجره تطبیقی از پنجره وزن دار استفاده شد. در کار انجام شده بوسیله Yoon & Kwean شباهت بین دو پیکسل در فضای رنگ CIElab و RGB اندازه‌گیری شده است. در اینجا ما برای افزایش دقت بجای فضای رنگ RGB از فضای رنگ $I_1I_2I_3$ استفاده نمودیم. بر اساس نتایج تجربی [۳۲]، فضای رنگی $I_1I_2I_3$ می‌تواند مشخصه‌های رنگی بهتری را برای تطابق استریو ارائه دهد. روش مذکور در نواحی مرزی از دقت پایینی برخوردار است. ما با اعمال یک فیلتر میانگین‌گیر [۳۰]، بر روی تصویر RGB ورودی؛ و یک فیلتر میانه وزن دار با نام فیلتر هدایت شونده^۱ [۲۶] بر روی تصویر جابجایی مکانی استخراج شده، این نقیصه را تا حد مطلوبی بهبود دادیم.

۳-۲ بلوک دیاگرام

در این بخش، برای درک بهتر الگوریتم پیشنهادی، روند کار را بصورت بلوک دیاگرام شکل ۳-۱ نمایش داده‌ایم. با توجه به مطالب ارائه شده در بخش قبل، این بلوک دیاگرام را نیز می‌توانیم به چهار مرحله تقسیم بندی کنیم. مرحله اول که شامل انتخاب و استخراج اجزای تصویر است را با بلوک‌های سبز رنگ نشان داده‌ایم. مرحله یافتن و تطبیق اجزای متناظر را با بلوک‌های نارنجی، مرحله بعدی که شامل بازسازی یا همان استخراج نقشه جابجایی مکانی اولیه است را با رنگ آبی و بالاخره مرحله پس پردازش را با رنگ صورتی نشان داده‌ایم.

¹ Guided filter



شکل ۳-۱: بلوک دیاگرام مراحل اجرای الگوریتم پیشنهادی

۳-۳ الگوریتم استخراج نقشه جابجایی مکانی

اکنون که دورنمای کلی کار معرفی شد، در این بخش روش پیشنهادی را با جزئیات بیشتری بیان می‌نماییم. استخراج نقشه جابجایی مکانی مهمترین قسمت هر الگوریتم استریو است و اکثریت محققان به آن توجه دارند، چرا که افزایش سرعت اجرا و دقت الگوریتم به این مرحله وابسته است. الگوریتم پیشنهادی ما جهت یافتن نقشه جابجایی مکانی به شرح زیر است:

۳-۳-۱ مرحله اول (فراخوانی تصاویر ورودی)

برای اجرای الگوریتم نیاز به دو تصویر از یک صحنه داریم. دیتا بیس مورد نظر در سایت دانشگاه MIDLUBURRY جهت استفاده محققین ارائه شده است. این تصاویر یکسو شده و در فضای رنگ RGB هستند. بعنوان نمونه جفت تصویر چپ و راست مربوط به تصویر Tsukuba در شکل ۳-۲ نشان داده شده است. در قسمت (الف) و (ب) از شکل مذکور، به ترتیب تصویر چپ و راست ارائه گردیده است. ما یکبار تصویر سمت چپ را به عنوان تصویر مرجع و تصویر سمت راست را بعنوان تصویر هدف در نظر می‌گیریم و الگوریتم را پیاده سازی می‌کنیم. سپس جای تصویر هدف و مرجع را عوض می‌نماییم و مجدد الگوریتم را اجرا می‌کنیم. مقصود از انجام این کار پیدا کردن نقاط انسداد یافته در تصویر با استفاده از روش انطباق چپ-راست می‌باشد. در این روش با در نظر گرفتن تصویر چپ و راست به عنوان مرجع، نقشه جابجایی مکانی در هر دو حالت بدست می‌آید. سپس با مقایسه دو نقشه، نقاطی که دارای جابجایی مکانی قرینه نباشند از لیست انطباق صحیح حذف می‌شوند و انسداد یافته تلقی می‌شوند.



(ب)



(الف)

شکل ۳-۲ : تصویر Tsukuba، الف-تصویر چپ، ب- تصویر راست

۳-۳-۲ مرحله دوم (پیش پردازش)

فیلترهای هموارساز جهت مات کردن و کاهش نویز به کار می روند. مات کردن در اعمال پیش پردازش، مانند حذف جزئیات کوچک از یک تصویر و دستیابی به تصویری با کاهش میزان انتقال های سریع (پرش) در سطوح شدت روشنایی می شود. ایده فیلترهای هموارساز بسیار سراسر است و عبارت است از جایگزینی مقدار هر پیکسل در یک تصویر یا میانگین شدت روشنایی در همسایگی تعریف شده توسط نقاب فیلتر. نقاب فیلتری که ما در این کار از آن استفاده کردیم یک نقاب میانگین گیر وزن دار است که بر روی هر دو تصویر ورودی اعمال می شود. این کار سبب می شود تصویر در مرزها و لبه ها هموارتر شود و تغییرات ناگهانی شدت روشنایی تاثیر کمتری بر روی محاسبه تابع هزینه داشته باشد. در شکل ۳-۳ پیکسل وسط در مقدار بیشتری از سایر مقادیر ضرب شده است. بنابراین، این پیکسل اهمیت بیشتری در محاسبه میانگین دارد. وزن سایر پیکسل ها با فاصله آنها از مرکز نقاب، نسبت عکس دارد.

$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$
$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$

شکل ۳-۳ : فیلتر میانگین گیر ۳×۳

۳-۳-۳ مرحله سوم (تبدیل فضای رنگ)

این بخش شامل تبدیلات فضای رنگ است. در زیر مراحل این تبدیلات و خروجی الگوریتم پس از اعمال آنها بر روی تصویر نشان داده شده است.

- روابط تبدیل فضای RGB به XYZ به صورت (۱-۳) است:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4124 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9502 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (۱-۳)$$

- برای تبدیل فضای XYZ به CIElab بصورت روابط زیر عمل نمودیم:

$$l = 116f(Y/Y_n) - 16 \quad (۲-۳)$$

$$a = 500[f(X/X_n) - f(Y/Y_n)] \quad (۳-۳)$$

$$b = 200[f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)] \quad (۴-۳)$$

- در روابط مذکور، تابع f از (۵-۳) محاسبه می شود.

$$f(t) = \begin{cases} t^{1/3} & \text{if } t > \left(\frac{6}{29}\right)^3 \\ \frac{1}{3}\left(\frac{26}{9}\right)^2 t + \frac{4}{29} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (۵-۳)$$

- شکل ۳-۴ تصویر خروجی این مرحله از اجرای الگوریتم را بر روی تصویر سمت چپ Tsukuba نشان می دهد:



شکل ۳-۴ : تصویر Tesukuba در فضای رنگ CIElab

- همچنین با استفاده از روابط (۳-۶)، (۳-۷)، (۳-۸) می توانیم فضای رنگ RGB را به فضای رنگ $I_1I_2I_3$ ببریم:

$$I_1 = \frac{R+G+B}{3} \quad (۶-۳)$$

$$I_2 = \frac{R-B}{2} \quad (۷-۳)$$

$$I_3 = \frac{2G-R-B}{4} \quad (۸-۳)$$

• تصویر خروجی این فضای رنگ بر روی تصویر چپ Tsukuba، به صورت شکل ۵-۳ است.



شکل ۵-۳: تصویر Tsukuba در فضای رنگ $I_1I_2I_3$

۳-۳-۴ مرحله چهارم (محاسبه وزن ها و نقشه جابجایی مکانی اولیه)

این بخش شامل چند فاز می شود که هر یک را جداگانه مورد بررسی قرار می دهیم:

فاز ۱: در این قسمت از بالا به پایین و از چپ به راست شروع به جدا کردن پنجره های $n \times n$ حول پیکسل های تصاویر سمت چپ و راست در فضای رنگ CIElab و $I_1I_2I_3$ می نماییم. سپس بلوک اول از تصویر سمت چپ را انتخاب می کنیم و در تصویر سمت راست با استفاده از دو قید هم قطبی و حداقل-حداکثر مقدار جابجایی مکانی، بلوک هایی را که می توانند جهت تطابق کاندید شوند را انتخاب می نماییم. برای تصاویر Tsukuba مقدار حداقل-حداکثر جابجایی بین ۰ تا ۱۵ می باشد. بنابراین هر پیکسل در تصویر مرجع، باید با ۱۵ پیکسل از تصویر هدف مقایسه شود.

فاز ۲: در این قسمت، از رابطه (۲-۳۰) به محاسبه وزن های تابع هزینه در فضای رنگی CIElab و از رابطه (۲-۳۲) به محاسبه e_0 ، منتها به جای فضای RGB در فضای رنگ $I_1I_2I_3$ ، می پردازیم. برای هر

بلوک یک تابع هزینه محاسبه می شود و در مجموع ۱۵ مقدار پس از اجرای کامل این فاز بدست می آید.

فاز ۳: پس از اینکه تابع هزینه را از رابطه (۲-۳۱) ، برای تمام بلوک‌های کاندید تطابق محاسبه کردیم، در نهایت با استفاده از قاعده WTA ، شبیه‌ترین بلوک را به بلوک تصویر سمت چپ انتخاب می‌نماییم. این بلوک نشان دهنده مقدار جابجایی مکانی محاسبه شده می باشد. بطور مثال اگر در بلوک هفتم تابع هزینه مینیمم شده باشد، پیکسل مربوط به این بلوک به عنوان پیکسل متناظر در نظر گرفته می شود و مقدار جابجایی برابر با $d=7-1=6$ خواهد بود. برای تک تک پیکسل های تصویر این d ها محاسبه می شود و در یک ماتریس خروجی ذخیره می شود. وقتی این ماتریس کامل شود، به ما یک نقشه جابجایی مکانی می دهد. تصویر خروجی حاصل از این بخش الگوریتم در شکل ۳-۶ نشان داده شده است. هر چقدر اجسام در تصویر به دورین نزدیک تر باشند، مقدار جابجایی مکانی محاسبه شده کوچکتر می شود و در تصویر خروجی دارای رنگ روشن تری می باشد و بالعکس.



شکل ۳-۶: تصویر جابجایی مکانی استخراج شده از الگوریتم، تصویر سمت چپ، تصویر مرجع

همین روند را برای حالتی که تصویر سمت راست، تصویر مرجع باشد و تصویر سمت چپ، تصویر هدف، تکرار می کنیم. تصویر جابجایی مکانی حاصل در شکل ۳-۷ نشان داده شده است.



شکل ۳-۷ : تصویر جابجایی مکانی استخراج شده از الگوریتم، تصویر سمت راست، تصویر مرجع

حال برای تعیین نقاط انسداد یافته از روش انطباق چپ-راست، استفاده می کنیم. شکل حاصل اجرای این روش است.



شکل ۳-۸ : تصویر خروجی پس از تعیین نقاط انسداد با روش انطباق چپ-راست

همان طور که مشاهده می شود نتیجه در نقاط ناپیوستگی عمق دچار مقداری ابهام می باشد که این ابهام در مرحله بعد تا حد مطلوبی رفع می شود.

۳-۳-۵ مرحله پنجم (پس پردازش)

از اجرای مراحل قبل یک نقشه جابجایی مکانی اولیه بدست می‌آید. در این کار جهت بهبود این نقشه در لبه‌ها از فیلتر هدایت‌شونده استفاده می‌نماییم. در این فیلتر ما تصاویر سمت چپ و نقشه جابجایی مکانی اولیه را بعنوان ورودی می‌دهیم و یک نقشه جابجایی مکانی بهبود یافته بعنوان خروجی می‌گیریم. در ادامه این بخش به معرفی این فیلتر و عملکرد آن می‌پردازیم و سپس نتایج حاصل از اعمال آن را نشان می‌دهیم:

۳-۳-۱ فیلتر هدایت‌شونده

- بطور کلی فیلترگذاری خطی که شامل یک تصویر هدایت گر I ، یک تصویر ورودی P و یک تصویر خروجی q می‌باشد به صورت (۳-۹) قابل نمایش می‌باشد:

$$q_i = \sum_j w_{ij}(I) P_j \quad (۳-۹)$$

- در (۳-۹) i و j نمایه‌های^۱ پیکسل مورد بررسی می‌باشند. هسته فیلتر w_{ij} تابعی از تصویر I و مستقل از P می‌باشد و نسبت به P خطی می‌باشد.

- یک مثال از چنین فیلتری، فیلتر مشترک دوطرفه^۲ ارائه شده در [۲۵] می‌باشد:

$$w_{ij}^{bf}(I) = \frac{1}{k_i} \exp\left(-\frac{\|X_i - X_j\|^2}{\sigma_s^2}\right) \exp\left(-\frac{\|I_i - I_j\|^2}{\sigma_r^2}\right) \quad (۳-۱۰)$$

حال به معرفی فیلتر هدایت‌شونده مورد استفاده در کار خودمان می‌پردازیم. نکته اصلی در این فیلتر این است که فرض کنیم بین تصویر هدایت گر I و تصویر خروجی q یک مدل خطی حاکم است. بنابراین فرض می‌کنیم که q یک تبدیل خطی از I در پنجره w_k به مرکز پیکسل k می‌باشد:

$$q_i = a_k I_i + b_k, \forall i \in w_k \quad (۳-۱۱)$$

^۱Index

^۲Joint Bilateral Filter

- در (۱۱-۳)، a_k و b_k ضرایب خطی هستند که در پنجره مربعی w_k با شعاع r ، ثابت فرض شده اند. در این مدل خطی محلی اطمینان داریم اگر در I یک لبه داشته باشیم، q نیز یک لبه می شود، زیرا $\nabla q = a\nabla I$ است.

- برای پیدا کردن ضرایب a_k و b_k باید اختلاف بین P و q را در حالیکه مدل خطی (۱۱-۳) نیز حفظ می شود، مینیمم کنیم. برای این هدف تابع هزینه زیر را در پنجره w_k تعریف می کنیم:

$$E(a_k, b_k) = \sum_{i \in w_k} ((a_k I_i + b_k - P_i)^2 + \epsilon a_k^2) \quad (۱۲-۳)$$

- در (۱۲-۳)، ϵ پارامتر تنظیم برای کاهش دادن a_k های بزرگ می باشد.

- با مینیمم کردن (۱۲-۳)، ضرایب a_k و b_k بصورت زیر محاسبه می شوند:

$$a_k = \frac{\frac{1}{|\omega|} \sum_{i \in w_k} I_i P_i - \mu_k \bar{P}_k}{\sigma_k^2 + \epsilon} \quad (۱۳-۳)$$

$$b_k = \bar{P}_k - \mu_k a_k \quad (۱۴-۳)$$

- μ_k میانگین و σ_k^2 واریانس تصویر I در پنجره w_k ، $|\omega|$ تعداد پیکسل های پنجره w_k می باشد.

$$\bar{P}_k = \frac{1}{|\omega|} \sum_{i \in w_k} P_i \quad \text{نیز میانگین } P \text{ در پنجره } w_k \text{ می باشد:}$$

- پس از تعیین ضرایب a_k و b_k با استفاده از روابط (۱۳-۳) و (۱۴-۳)، تصویر خروجی از (۳-

۱۱) قابل محاسبه می شود. الگوریتم این فیلتر بصورت زیر می باشد:

Algorithm 1.Guided Filter.

Input:filtering input image P , guidance image I , radius r , regularization ϵ

Output:filtering output q .

1. $mean_I = f_{mean}(I)$
 $mean_P = f_{mean}(P)$
 $corr_I = f_{mean}(I.*I)$
 $corr_{I_P} = f_{mean}(I.*P)$
2. $var_I = corr_I - mean_I.*mean_I$
 $cov_{I_P} = corr_{I_P} - mean_I.*mean_P$
3. $a = cov_{I_P} / (var_I + \epsilon)$
 $b = mean_P - a.*mean_I$
4. $mean_a = f_{mean}(a)$
 $mean_b = f_{mean}(b)$

$$5. \quad q = \text{mean}_a * I + \text{mean}_b$$

فیلتر بالا برای تصاویر رنگی قابل تعمیم می‌باشد. زمانیکه تصویر هدایت گر I چندکاناله باشد، (۱۱-۳) بصورت زیر نوشته می‌شود:

$$q_i = a_k^T I_i + b_k, \forall i \in w_k \quad (15-3)$$

I_i یک بردار رنگ 3×1 می‌باشد و a_k بردار ضرایب 3×1 آن می‌باشد. q_i و b_k نیز عددی می‌باشند. بنابراین برای یک تصویر رنگی a_k ، b_k و q_i از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$a_k = (\Sigma_k + \epsilon U)^{-1} \left(\frac{1}{|\omega|} \sum_{i \in w_k} I_i P_i - \mu_k \bar{P}_k \right) \quad (16-3)$$

$$b_k = \bar{P}_k - a_k^T \mu_k \quad (17-3)$$

$$q_i = \bar{a}_i^T I_i + \bar{b}_i \quad (18-3)$$

در (۱۶-۳)، Σ_k ماتریس کواریانس 3×3 از تصویر I در پنجره w_k می‌باشد. U نیز یک ماتریس تطابق 3×3 است.

خروجی این بخش به ما تصویر جابجایی مکانی متراکم نهایی را می‌دهد که ما در اینجا برای تصویر Tesukuba این خروجی را در شکل ۹-۳ شکل ۹-۳ نمایش دادیم:



شکل ۹-۳: تصویر خروجی نهایی مربوط به Tsukuba

فصل چہارم

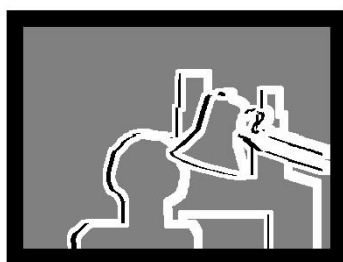
نتائج تجربی

۴-۱ بانک تصاویر و روش ارزیابی عملکرد الگوریتم‌ها

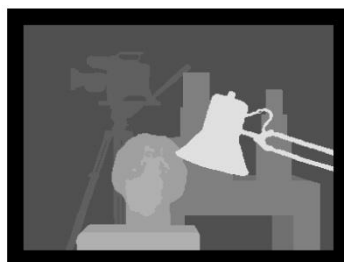
استخراج نقشه متراکم جابجایی مکانی در حالت ایستا و غیرفعال با در اختیار داشتن دو تصویر یکسوسازی شده از صحنه، موضوعی خاص در تحقیقات علمی اخیر می‌باشد. مراجع متعددی به بررسی و ارزیابی روش‌های ارائه شده در این زمینه پرداخته‌اند. در [۶] جمع‌بندی کاملی از روش‌های استخراج نقشه متراکم جابجایی مکانی، با ارائه معیارهای ارزیابی مشخص، صورت گرفته است. علاوه بر آن در سایت اینترنتی [۸] نقشه خروجی الگوریتم‌های پیشنهادی نسبت به روشهای دیگر که نتایج آنها در کنفرانس‌ها و مجلات علمی معتبر ارائه شده است، قابل ارزیابی بوده و رتبه و خطای حاصل در تصاویر استریو مشخصی که در اختیار قرار گرفته است، ارائه می‌گردد.

۴-۱-۱ معرفی بانک تصاویر دانشگاه Middlebury

چهار جفت تصویر مختلف به نام‌های *Cones, Teddy, Venus, Tsukuba* در سایت اینترنتی دانشگاه *Middlebury* [۸]، برای ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های استریو، در اختیار قرار گرفته است. این تصاویر که به ترتیب در شکل‌های شکل ۴-۱، شکل ۴-۲، شکل ۴-۳ و شکل ۴-۴ نشان داده شده‌اند، بصورت جفت تصویر چپ و راست یکسوشده، در حالت ایستا و غیر فعال از برخی صحنه‌های پیچیده داخلی^۱ به دست آمده‌اند. در قسمت (الف) از شکل‌های مذکور، تصویر چپ ارائه گردیده است.



(ج)



(ب)



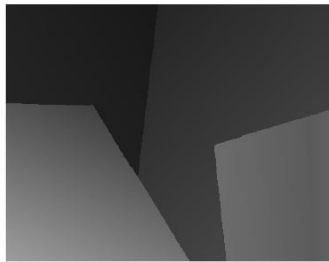
(الف)

شکل ۴-۱: تصویر *Tsukuba*، الف-تصویر چپ، ب-نقشه جابجایی مکانی، ج-نقاط انسداد یافته (بارنگ سیاه)، نقاط مجاور ناپیوستگی عمق (رنگ سفید)

¹Indoor



(ج)



(ب)

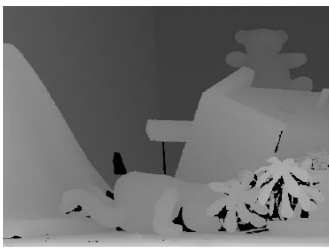


(الف)

شکل ۲-۴: تصویر Venus، الف-تصویر چپ، ب-نقشه جابجایی مکانی، ج-نقاط انسداد یافته (بارنگ سیاه)، نقاط مجاور ناپیوستگی عمق (رنگ سفید)



(ج)



(ب)



(الف)

شکل ۳-۴ : تصویر Teddy، الف-تصویر چپ، ب-نقشه جابجایی مکانی، ج-نقاط انسداد یافته (بارنگ سیاه)، نقاط مجاور ناپیوستگی عمق (رنگ سفید)



(ج)



(ب)



(الف)

شکل ۴-۴ : تصویر Cones، الف-تصویر چپ، ب-نقشه جابجایی مکانی، ج-نقاط انسداد یافته (بارنگ سیاه)، نقاط مجاور ناپیوستگی عمق (رنگ سفید)

نقشه جابجایی مکانی صحیح^۱: نقشه متراکم جابجایی مکانی صحیح، با در نظر گرفتن تصویر مرجع چپ و تعیین مقدار جابجایی مکانی صحیح هر نقطه تصویر مرجع به روش‌های استریوی فعال، به کمک پرتوهای لیزری، بدست می‌آید [۶]. جدول ۴-۱ برای هر یک از تصاویر بانک اطلاعاتی *Middlebury*، محدوده تغییرات جابجایی مکانی و ضریب تبدیل مناسب برای نمایش تصویری نقشه را نشان می‌دهد. در قسمت (ب) از شکل‌های تصاویر بانک اطلاعاتی *Middlebury*، نقشه جابجایی مکانی صحیح ارائه

^۱Ground Truth Disparity Map

شده است. مقدار جابجایی مکانی صحیح هر نقطه تصویر چپ، از تقسیم شدت روشنایی نقطه متناظر در نقشه جابجایی مکانی صحیح، بر ضریب ثابت مربوط از جدول ۴-۱ بدست می‌آید. نقاط دارای شدت روشنایی بیشتر در نقشه جابجایی مکانی صحیح، متناظر با نقاط دارای جابجایی مکانی بزرگتر و بنابراین دارای عمق کمتر، و نقاط تیره‌تر متناظر با نقاط دورتر صحنه می‌باشند.

جدول ۴-۱: محدوده تغییرات جابجایی مکانی و ضریب تبدیل مناسب برای تصاویر تست [۸]

ضریب تبدیل به شدت روشنایی	محدوده تغییرات جابجایی مکانی	نام تصویر
۱۶	۱۵...۰	Tsukuba
۸	۱۹...۰	Venus
۴	۵۹...۰	Teddy
۴	۵۹...۰	Cones

بانک تصاویر دانشگاه *Middlebury* به گونه‌ای انتخاب شده است که شامل نواحی مختلف تصویری، برای بررسی عملکرد روش‌های استریو در شرایط مختلف، می‌باشد. معرفی این نواحی و اهمیت آنها در استخراج نقشه جابجایی مکانی مترکم را می‌توان در موارد ذیل خلاصه نمود:

- **نواحی انسداد یافته^۱:** نواحی انسداد یافته شامل پیکسل‌هایی از تصویر مرجع است که متناظر آنها در تصویر دیگر وجود ندارد. در قسمت (ج) از شکل‌های بانک تصاویر دانشگاه *Middlebury* نواحی انسداد یافته که اکثراً در مجاورت ناپیوستگی‌های عمق صحنه ظاهر می‌شوند، با رنگ سیاه نشان داده شده‌اند. این نواحی بدان سبب دارای اهمیت می‌باشند که تشخیص انسداد در استخراج نقشه مترکم جابجایی مکانی به سادگی میسر نمی‌باشد.

¹Occluded Regions

- **نواحی مجاور ناپیوستگی عمق^۱**: این نقاط که در شکل‌های بانک تصاویر دانشگاه *Middlebury*، در قسمت (ج)، با رنگ سفید نشان داده شده‌اند، متناظر با نقاطی از صحنه هستند که در یک همسایگی مشخص از ناپیوستگی‌های عمق قرار گرفته‌اند. در این نواحی، مقدار جابجایی مکانی دارای تغییر ناگهانی می‌باشد و عدم تشخیص دقیق مقدار جابجایی مکانی در این نواحی سبب ایجاد ابهام^۲ در نقشه جابجایی مکانی می‌شود.
- **نواحی شیب‌دار^۳**: این نواحی که دارای تغییرات تدریجی جابجایی مکانی هستند، متناظر با نقاطی از سطوح صحنه می‌باشند که در آنها مقدار عمق به صورت پیوسته و تدریجی تغییر می‌کند [۷]. نمونه‌هایی از این نواحی که متناظر با سطوح شیب‌دار افقی^۴، دارای تقاطع عمود بر خطوط هم‌قطبی با صفحه تصویر، و عمودی^۵، دارای تقاطع موازی خطوط هم‌قطبی با صفحه تصویر، سطوح کروی^۶، استوانه‌ای^۷ و مخروطی^۸ می‌باشند و در این نوشتار به اختصار شیب‌دار نامیده می‌شوند، در بانک تصاویر *Middlebury* بالاخص در تصاویر *Venus* و *Cones* در شکل‌های شکل ۲-۴ و شکل ۴-۴ مشاهده می‌شوند. تعیین جابجایی مکانی دقیق بر روی این سطوح به علت تغییرات تدریجی آن به سادگی میسر نمی‌باشد.
- **نواحی بدون بافت^۹**: این نواحی متناظر با نقاطی از صحنه هستند که دارای تغییرات ناچیز شدت روشنایی یا رنگ می‌باشند. به عنوان نمونه در تصویر *Venus* در شکل ۲-۴، نقاط زمینه، و در تصویر *Teddy*، نقاط واقع بر روی عروسک‌ها، بدون بافت محسوب می‌شوند، عمل تطابق در این نواحی به علت عدم وجود تغییرات شدت روشنایی به سختی امکان‌پذیر است.

Depth Discontinuity¹
 Blurring²
 Slanted Regions³
 Horizontal Slant⁴
 Vertical Slant⁵
 Spherical Surface⁶
 Cylindrical Surface⁷
 Conic Surface⁸
 Texture Less Regions⁹

- نواحی دارای بافت تکراری^۱: این نواحی متناظر با نقاطی از صحنه هستند که دارای تغییرات متناوب شدت روشنایی می باشند. در تصاویر *Teddy* و *Cones* نقاط زمینه سمت راست دارای بافت تکراری محسوب می شوند. تکرار الگوی شدت روشنایی در این نواحی، عمل تطابق و تعیین مقدار جابجایی مکانی را با دشواری روبرو می سازد.

۴-۱-۲ روش ارزیابی^۲

برای بررسی عملکرد الگوریتم‌های استریو و مشاهده اثر پارامترهای مختلف، معیارهای کمی مورد نیاز است. با فرض در اختیار داشتن نقشه جابجایی مکانی صحیح، در [۶] دو معیار کمی از (۴-۱) و (۴-۲) پیشنهاد شده است. مقدار جابجایی مکانی محاسبه شده در پیکسل (x,y) تصویر و $d_T(x,y)$ مقدار جابجایی مکانی صحیح می باشد. N تعداد پیکسل‌های تصویر است.

۱- معیار خطای RMS^3

$$R = \left(\frac{1}{N} \sum_{(x,y)} (d_C(x,y) - d_T(x,y))^2 \right)^{1/2} \quad (1-4)$$

۲- درصد پیکسل‌های انطباق نیافته

$$B = \frac{1}{N} \sum_{(x,y)} (|d_C(x,y) - d_T(x,y)| > \delta_a) \quad (2-4)$$

δ_a حد خطای جابجایی مکانی بر حسب پیکسل می باشد و به طور معمول یک فرض می شود. معیار RMS وابستگی شدیدی به میزان خطای بدست آمده در هر پیکسل دارد، در حالیکه آنچه اهمیت دارد و در معیار خطای دوم نمود یافته است درصد پیکسل‌هایی است که دارای خطا بوده‌اند.

هر یک از این معیارها علاوه بر آنکه بر روی کل تصویر پیاده‌سازی می شوند، برای ارزیابی عملکرد الگوریتم‌ها در نواحی مختلف تصویر، به عنوان مثال نواحی بدون بافت یا مجاور ناپیوستگی‌های عمق،

Repead Texture Regions¹
Evaluation²
Root Mean Square³

نیز قابل محاسبه می باشند. در جدول ارزیابی ارائه شده در [۸] که بخشی از آن در شکل ۴-۵ نشان داده شده است، ارزیابی روش‌ها با معیار دوم (B) و در نواحی غیرانسدادیافته (nonocc)، کل تصویر (all) و مجاورت ناپیوستگی‌های عمق (disc) صورت می‌گیرد. ارزیابی الگوریتم‌ها در ناحیه غیر انسدادیافته، که شامل نواحی سفید و خاکستری رنگ در قسمت (ج) از شکل‌های بانک تصاویر می‌باشد، عملکرد الگوریتم‌ها را بدون توجه به تشخیص صحیح نقاط انسدادیافته که متناظر با نواحی سیاه رنگ در قسمت (ج) از شکل‌های بانک تصاویر می‌باشد، نیز مورد توجه قرار می‌گیرد.

Algorithm	Avg. Rank	Tsukuba ground truth			Venus ground truth			Teddy ground truth			Cones ground truth			Average percent of bad pixels (explanation)
		nonocc	all	disc	nonocc	all	disc	nonocc	all	disc	nonocc	all	disc	
AdaptGCP [137]	6.8	1.03 ¹³	1.29 ⁵	5.60 ¹⁵	0.10 ³	0.14 ¹	1.30 ⁴	4.63 ¹⁵	6.47 ⁶	12.5 ¹⁷	1.81 ¹	5.70 ¹	5.33 ¹	3.83
ADCensus [94]	10.2	1.07 ¹⁷	1.48 ¹⁴	5.73 ²⁰	0.09 ²	0.25 ⁸	1.15 ³	4.10 ¹⁰	6.22 ⁴	10.9 ⁹	2.42 ¹²	7.25 ¹⁰	6.95 ¹³	3.97
AdaptingBP [17]	12.6	1.11 ²¹	1.37 ⁸	5.79 ²²	0.10 ⁴	0.21 ⁵	1.44 ⁶	4.22 ¹²	7.06 ⁹	11.8 ¹³	2.48 ¹⁴	7.92 ¹⁹	7.32 ¹⁸	4.23
CoopRegion [41]	12.8	0.87 ⁴	1.16 ¹	4.61 ⁴	0.11 ⁵	0.21 ⁴	1.54 ⁸	5.16 ²³	8.31 ¹⁴	13.0 ²⁰	2.79 ²⁷	7.18 ⁹	8.01 ³⁴	4.41
RVbased [116]	16.5	0.95 ⁹	1.42 ¹²	4.98 ⁹	0.11 ⁷	0.29 ¹³	1.07 ¹	5.98 ³²	11.6 ⁴⁴	15.4 ⁴⁰	2.35 ⁹	7.61 ¹¹	6.81 ¹¹	4.88
DoubleBP [35]	17.0	0.88 ⁶	1.29 ⁴	4.76 ⁷	0.13 ⁹	0.45 ³²	1.87 ¹⁵	3.53 ⁷	8.30 ¹³	9.63 ⁶	2.90 ³⁴	8.78 ⁴⁴	7.79 ²⁷	4.19
RDP [102]	17.0	0.97 ¹⁰	1.39 ¹⁰	5.00 ¹⁰	0.21 ³⁰	0.38 ²¹	1.89 ¹⁶	4.84 ¹⁶	9.94 ²⁵	12.6 ¹⁸	2.53 ¹⁶	7.69 ¹³	7.38 ¹⁹	4.57
OutlierConf [42]	18.2	0.88 ⁵	1.43 ¹³	4.74 ⁶	0.18 ²⁰	0.26 ¹¹	2.40 ³⁰	5.01 ¹⁹	9.12 ²⁰	12.8 ¹⁹	2.78 ²⁶	8.57 ³⁵	6.99 ¹⁴	4.60
SubPixDoubleBP [30]	23.2	1.24 ²⁹	1.76 ³⁴	5.98 ²⁶	0.12 ⁸	0.46 ³⁴	1.74 ¹²	3.45 ⁶	8.38 ¹⁵	10.0 ⁸	2.93 ³⁷	8.73 ⁴¹	7.91 ²⁹	4.39
SurfaceStereo [79]	23.3	1.28 ³⁵	1.65 ²³	6.78 ⁴³	0.19 ²²	0.28 ¹²	2.61 ⁴²	3.12 ⁴	5.10 ¹	8.65 ²	2.89 ³³	7.95 ²¹	8.26 ⁴²	4.06
SubPixSearch [127]	23.4	2.04 ⁸¹	2.48 ⁷⁰	6.40 ³⁶	0.14 ¹³	0.40 ²⁵	1.74 ¹²	4.00 ⁹	6.39 ⁵	11.0 ¹¹	2.24 ⁶	6.87 ⁷	6.50 ⁶	4.18
LLR [135]	24.8	1.05 ¹⁴	1.65 ²²	5.64 ¹⁶	0.29 ⁴⁹	0.81 ⁶⁴	3.07 ⁵¹	4.56 ¹⁴	9.81 ²⁴	12.2 ¹⁴	2.17 ³	8.02 ²³	6.42 ⁴	4.64
WarpMat [55]	27.1	1.16 ²²	1.35 ⁷	6.04 ²⁷	0.18 ²¹	0.24 ⁷	2.44 ³⁴	5.02 ²⁰	9.30 ²¹	13.0 ²²	3.49 ⁵³	8.47 ³³	9.01 ⁵⁸	4.98
ObjectStereo [98]	28.2	1.22 ²⁸	1.62 ¹⁸	6.36 ³³	0.59 ⁷⁷	0.69 ⁵⁶	4.61 ⁷⁸	4.13 ¹¹	7.59 ¹⁰	11.2 ¹²	2.20 ⁴	6.99 ⁸	6.36 ³	4.46
PMF [138]	30.8	1.74 ⁶⁴	2.04 ⁵⁴	8.07 ⁷³	0.33 ⁵⁵	0.49 ³⁸	4.16 ⁷¹	2.52 ¹	5.87 ³	8.30 ¹	2.13 ²	6.80 ⁶	6.32 ²	4.06
HistoAqqr2 [144]	32.0	1.93 ⁷³	2.30 ⁶⁵	6.39 ³⁴	0.16 ¹⁶	0.46 ³⁵	2.22 ²⁵	5.88 ³¹	11.3 ³⁷	14.7 ³¹	2.41 ¹¹	7.78 ¹⁴	6.89 ¹²	5.20

شکل ۴-۵: بخشی از جدول ارزیابی استریوی Middlebury

۳-۱-۴ ارزیابی و رتبه‌بندی روش‌ها

چنانکه اشاره شد، نقشه خروجی الگوریتم پیشنهادی در سایت اینترنتی استریوی دانشگاه Middlebury [۸] بصورت online، بر اساس معیارهای ارزیابی بررسی شده در بخش (۳-۲) قابل ارزیابی بوده و خطای حاصل و رتبه نسبت به سایر روش‌ها در هر یک از تصاویر بانک تصاویر توضیح داده شده در بخش (۳-۳) و نواحی مختلف که در بخش (۳-۲) توضیح داده شد، ارائه می‌گردد. الگوریتم‌های مختلف دارای نقاط ضعف و قوت متفاوتی می‌باشند و برگزیدن روش بهینه با توجه به عملکرد متفاوت آنها از نظر دقت

استخراج عمق در مجاورت ناپیوستگی‌های عمق، در نواحی انسدادیافته، در نواحی شیب‌دار، در نواحی بدون بافت یا دارای بافت تکراری و نیز از نظر سرعت اجرا، به سادگی امکان‌پذیر نمی‌باشد. بررسی کلی جدول ارزیابی سایت اینترنتی دانشگاه *Middlebury* که بخشی از آن در شکل ۴-۵ نشان داده شده است، مؤید این مطلب است و برخی نقاط قابل توجه در جدول مذکور، به صورت ذیل خلاصه می‌گردد. نقد تفصیلی و هدفمند روش‌های مختلف را به بخش‌های بعد موعول می‌کنیم.

- بهترین روش، یعنی الگوریتم *Adaptive ground control points* که به اختصار *AdaptGCP* نامیده می‌شود، بر روی تصویر *Tsukuba*، در نقاط غیر انسدادیافته تصویر دارای $1/0.3\%$ خطا می‌باشد. به عبارت دیگر بر روی این تصویر که دارای ابعاد 384×288 می‌باشد در 1012 نقطه، مقدار جابجایی مکانی با بیش از یک پیکسل خطا گزارش شده است.
- برای مثالی دیگر، روش *Double BP*، که رتبه ششم جدول را در اختیار دارد، از کل نقاط تصویر، نقاط غیرانسدادیافته و انسدادیافته، در 1268 نقطه، یا به عبارتی $1/29\%$ از کل نقاط تصویر، دارای خطا بوده است.
- روش *BPDouble*، در $4/76\%$ از نقاط تصویر که بر روی مرزهای ناپیوستگی قرار گرفته‌اند و در شکل (شکل ۴-۱-ج) با نقاط سفید نشان داده شده‌اند، جابجایی مکانی را درست تشخیص نداده است.
- با توجه به کسب رتبه‌های متفاوت در هر تصویر، الگوریتم‌های مختلف بر روی تصاویر مختلف دارای عملکرد متفاوت می‌باشند.
- نظری به جدول شکل ۴-۵ نشان می‌دهد، روش‌های مختلف در نواحی متفاوت هر تصویر دارای عملکرد موزون نمی‌باشند. به عنوان مثال روشی که از نظر رتبه کلی در مکان چهارم جدول قرار گرفته است، در نواحی مجاور ناپیوستگی‌های عمق در تصاویر *Cones*، *Venus*، *Tsukuba* به ترتیب رتبه‌های ۴، ۸ و ۳۴ را کسب نموده است.

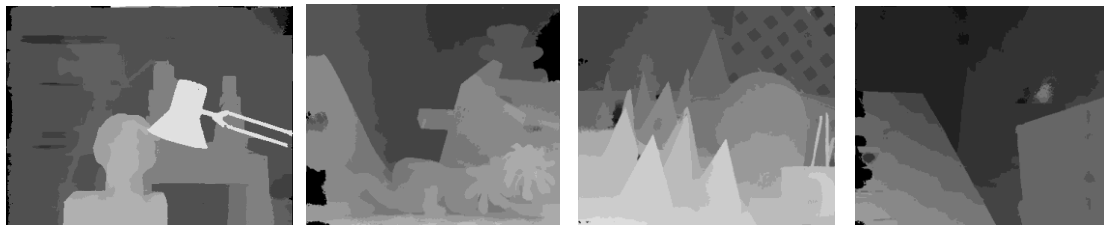
- رتبه متوسط با در نظر گرفتن عملکرد الگوریتم مورد نظر بر روی تصاویر مختلف و نواحی انسدادیافته و نواحی مجاور مرزهای ناپیوستگی اعلام شده است. تفاوت رتبه‌های متوسط با مکان قرار گرفتن روش مورد نظر در جدول نشان دهنده عملکرد متفاوت روش‌های مختلف بر روی تصاویر مختلف و نواحی مختلف تصویر می‌باشد. به عنوان مثال رتبه متوسط روش مکان سوم جدول ۱۲/۶ می‌باشد.
- در ارزیابی جدول *Middlebury* امکان کاهش آستانه خطا تا مقدار 0.5 پیکسل وجود دارد. در این صورت روش *AdaptGCP*، که با آستانه خطای ۱ در مکان اول جدول قرار داشت، با رتبه متوسط ۱۱/۵ در مکان سوم قرار می‌گیرد. بنابراین روش‌های مختلف در مقیاس جز پیکسل عملکرد متفاوتی داشته‌اند. با توجه به اختلاف بیشتر رتبه‌های متوسط با مکان قرار گرفتن روش‌ها در جدول در مقیاس جز پیکسل، مشکل بند قبل بطور جدی‌تری بروز می‌نماید.
- مقایسه صورت گرفته در جدول شکل ۴-۵، عملکرد روش‌های مختلف را بر روی سطوح شیب‌دار، نواحی بدون بافت یا دارای بافت تکراری بطور خاص نشان نمی‌دهد، هرچند به نظر می‌رسد تلاش شده است تصاویر تست در نظر گرفته شده دارای نواحی با این ویژگی‌ها، باشند.

فصل پنجم

نتیجہ گیری

۱-۵ نتیجه گیری

در این پایان نامه ما از تصاویر رنگی استریو در فضای رنگ $I_1I_2I_3$ استفاده نمودیم، که با توجه به نتایج حاصل شده و مقایسه ای که با کار انجام شده در [۱۹] انجام دادیم، در نواحی بافتی تصویر بهبود قابل ملاحظه ای در کار صورت گرفت اما نواحی مرزی همچنان قسمت مورد چالش کار بود. بنابراین برای افزایش دقت، علاوه بر تغییر فضای رنگ، از دو فیلتر در ابتدا و انتهای کار نیز استفاده شد. همچنین ابعاد پنجره در کار ما 35×35 انتخاب شده است. ما در ابتدا پنجره ها با ابعاد 25×25 و 45×45 را تست کردیم اما متوجه شدیم که پنجره 25×25 خیلی نویز پذیر می شود و پنجره 45×45 دارای ابهام بسیار زیاد در نواحی مرزی می شود. بنابراین به این نتیجه رسیدیم که پنجره 35×35 عملکرد بهتری در هر دو ناحیه خواهد داشت. پارامترهای تابع هزینه هم نیز بصورت تجربی و برابر با $\gamma_c = 5$ ، $\gamma_p = 17.5$ و $T=40$ در نظر گرفته شد. جهت انجام مقایسه بهتر، الگوریتم مطرح شده را روی چهار تصویر استریو از پایگاه داده MIDDLEBURY تست نمودیم. در شکل ۱-۵ (الف، ب، ج و د)، نتایج روی این تصاویر نشان داده شده است.



(الف)

(ب)

(ج)

(د)

شکل ۱-۵: نقشه جابجایی مکانی استخراج شده بوسیله روش پیشنهادی برای تصاویر الف) Tsukuba، ب) Teddies،

ج) Cones، د) Venus

در شکل ۲-۵ تصویر خروجی Tsukuba با خروجی سه الگوریتم پیشنهادی برتر مقایسه شده است. با توجه به تصاویر، نتایج بهتر الگوریتم ما نسبت به روش های دیگر در نواحی مرزی قابل مشاهده است.



(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل ۵-۲ (الف) تصویر خروجی الگوریتم پیشنهادی، (ب) روش ارائه شده در [۲۰]، (ج) روش ارائه شده در

[۱۹]، (د) روش ارائه شده در [۲۸]

در جدول ۵-۱ مقایسه‌ای بین روش پیشنهادی ما و روش‌های ارائه شده در [۱۹، ۲۰] انجام شده است. از جدول مذکور نکات زیر قابل استنتاج می‌باشد:

- نتایج درج شده در جدول، بر حسب درصد پیکسل‌های دارای خطای بزرگتر از یک پیکسل هستند و این خطا بر روی کل نقاط تصویر، اعم از نقاط غیر انسدادیافته و انسدادیافته محاسبه شده است.
- الگوریتم پیشنهادی ما بر روی تصویر Tsukuba، در کل نقاط تصویر دارای ۱,۷۱ درصد خطا بوده است. بعبارتی بر روی این تصور که دارای ابعاد ۲۸۸×۳۸۴ می‌باشد، در ۱۸۸۰ پیکسل، خطایی بزرگتر از یک پیکسل داشته است.

- همان‌طور که مشاهده می‌شود الگوریتم پیشنهادی بر روی کل نقاط تصاویر Venus، Cones و Teddy بترتیب در ۱۸۴۵، ۱۶۰۷ و ۲۴۶۵ نقطه دچار خطای بزرگتر از یک پیکسل شده است.
- الگوریتم پیشنهادی در سه تصویر Tsukuba، Cones و Venus نسبت به روش ارائه شده در [۱۹]، از عملکرد بهتری برخوردار بوده است.

جدول ۱-۵: مقایسه بین روش پیشنهادی و الگوریتم‌های مبتنی بر روش‌های محلی

الگوریتم	Tesukuba	Teddy	Cones	Venus
روش ما	۱,۷۱	۱۴,۳۶	۹,۵۱	۱,۱۱
روش [۱۹]	۱,۸۵	۱۳,۳	۹,۷۹	۱,۱۹
روش [۲۰]	۲,۷۵	۱۳,۸	۸,۵۷	۱,۴۵
روش [۲۸]	۱,۹۹	۱۳,۳	۹,۳۴	۰,۸۱

در جدول ۱-۵ مقایسه بین الگوریتم‌های حوزه روش‌های محلی انجام شد. برای مقایسه کامل‌تر، در جدول ۲-۵ الگوریتم پیشنهادی را با چند الگوریتم دیگر که از روش‌های سراسری استفاده نموده‌اند را نیز مقایسه کردیم.

جدول ۲-۵: مقایسه بین روش پیشنهادی و الگوریتم‌های مبتنی بر روش‌های سراسری

الگوریتم	Tesukuba	Teddy	Cones	Venus
روش ما	۱,۷۱	۱۴,۳۶	۹,۵۱	۱,۱۱
روش [۲۷]	۱,۶۲	۱۱,۹	۹,۶۸	۱,۶۷
روش [۲۹]	۲,۴۵	۱۴,۲	۱۲,۷	۱,۶۵

- [1] Stefano Mattocchia (May 24, 2012), "**Stereo Vision: Algorithms and Applications**", University of Bologna.
- [2] R. C. Gonzalez, R. E. Woods(1992), "**Digital image Processing**", Addison WesleyLongman, Inc.
- [5] R.Y.Tsai(1987), "**A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the Shelf TV Cameras and Lenses**", *IEEE Journal of Robotic And Automation*,.
- [6]D. Scharstein and R. Szeliski (2002). "**A taxonomy and evaluation of dense two-frame tereo correspondence algorithms**". *IJCV*.
- [7] E. Trucco, A. Verri(1998), "**Introductory Techniques For 3D Computer Vision**", PrenticeHall,.
- [8] D. Scharsteinand R. Szeliski, <http://vision.middlebury.edu/stereo/eval/>
- [9] A. Koschan(1993), "**A Survey on Current Stereo Papers**". Technische Universität Berlin, Technischer Bericht 93-22, August.
- [10] P. moallem, K. faez, and J. haddadnia(2002). "**Fast Edge-Based Stereo Matching Algorithms through Search Space eduction**". *IEICE Trans. INF. & SYST, Vol.E85-D, No.11 (20021101)* pp. 1859-1871,.
- [11] P. Moallem and K. Faez (2005). "**Effective Parameters in Search Space Reduction Used in a Fast Edge-Based StereoMatching**". *Journal of Circuits, Systems, and Computers,14(2): 249-266*,.
- [12] P. Moallem, M. Ashorian, B. Mirzaeian, and M. Ataei (March 2006). "**A Novel Fast Feature Based Stereo Matching Algorithm with Low Invalid Matching**". *WSEAS Transaction on Computers, Issue 3, Vol. 5, pp. 469 – 477*,.
- [13] Kanade, T., Okutomi, M., (1994). "**Stereo matching algorithm with an adaptive window: Theory and experiment**".*IEEE Trans. Pattern Anal.Machine Intell. 16 (9), 920–932*.
- [14] S. Birchfieldand C. Tomasi(April 1998). "**A pixel dissimilarity measure that is insensitive to image sampling**". *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 20(4):401-406*,.
- [15] Ehlem Zigh, Mohamed Faouzi Belbachir(2012). "**Soft computing strategy for stereo matching of multi spectral urban very high resolution IKONOS images**". *Applied Soft Computing 12 , 2156–2167*.
- [16] R. Zabih, J. Woodfill (1994), "**Non-parametric Local Transforms for Computing Visual Correspondence**", in: *European Conference on Computer Vision, ECCV, Stockholm,Sweden, , pp. 151–158*
- [17] D. Bhat, S. Nayar(1998), "**Ordinal Measures for Image Correspondence**", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI 20 (4) 415–423*.
- [18] H. Hirschmuller and D. Scharstein (2009). "**Evaluation of stereo matching costs on images with radiometric differences**",*IEEE TPAMI, 31(9)*.
- [19] K.-J. Yoon and I.-S.Kweon(2006). "**Adaptive support-weight approach for correspondence search**". *PAMI 28(4):650-656*,.
- [20] Leonardo De-Maeztu , Arantxa Villanueva, Rafael Cabeza(2011). "**Stereo matching using gradient similarity and locally adaptive support-weight**". *Pattern Recognition Letters 32 ,1643–1651*

- [21] Y.Boykov, O. Veksler, and R.Zabih, "**A Variable Window Approach to Early Vision**," *IEEE Trans.Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.20, pp.1283-1294, 1998.
- [22] T.Kanade and M.Okutomi, "**A Stereo Matching Algorithm with an Adaptive Window:Theory and Experiments**," *IEEE Trans.Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.16, pp.920-932, 1994.
- [23] O.Veksler, "**Stereo Correspondence with Compact Window via Minimum Ratio Cycle**," *IEEE Trans.Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.24, pp.1654-1660, 2002
- [24] O.Veksler, "**Fast Variable Window for Stereo Correspondence Using Integral Image**" *Proc.IEEE CS Conf .Computer Vision and Pattern Recognition*, vol.pp.556-561, 2003.
- [25] G.Petschnigg, M.Agrawala, H.Hoppe, R.Szeliski, M.Cohen, and K.Toyama, "**Digital Photography with Flash and No-Flash Image Pairs**," *Proc.ACM Siggraph*, 2004.
- [26] K. He, J.Sun, and X.Tang. **Guided image filtering** . *TFAMI*, 2013.
- [27] D. Min and K. Sohn. **Cost aggregation and occlusion handling with WLS in stereo matching**. *IEEE TIP* 2008.
- [28] J. Kowalczyk, E. Psota, and L. Pérez. **Real-time stereo matching on CUDA using an iterative refinement method for adaptive support-weight correspondences**. *IEEE TCSVT* 23(1):94-104, 2013.
- [29] W. Yu, T. Chen, F. Franchetti, and J. Hoe. **High performance stereo vision designed for massively data parallel platforms**. *IEEE TCSVT* 2010.
- [30] [4] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, **Digital image Processing**, Addison Wesley, 1992.
- [31] Olga Veksler. **Stereo Matching by Compact Windows via Minimum Ratio Cycle**. in *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (TPAMI)*, vol. 24, no.12, pp. 1654-1660, 2002. Citation count: 40.
- [32] R. Klette, A. Koschan, K. Schläins, and V. Rodehorst. **Surface Reconstruction based on Visual Information**. Department of Computer Science, Technical Report 95/6 July 1995.

Abstract

Disparity is the difference position between two corresponding points from left and right images which is consider one of those images references. Non_existent of coresponding point for each pixei from reference image against other image should be recognize in right way. The latest proposed algorithms with accuracy to extract a map in sub pixel scale from texture less regions, repeated texture regions, beside depth discontinuity regions, occluded regions, horizontal and vertical slant regions and also in cylindrical and spherical surfaces are far from ideal.

Our purpose in this article is considering new idea and gather them for optimizing disparity map that include each above items. From the varity of stereo vision algorithms like pixel_based, feature_based and area_based methods, we used area_based algorithms in this job. Algorithm program include 3 step. The first step is pre_processing which we used average filter. The second step we used adaptive weight windows around selected pixel in CIE lab and $I_1I_2I_3$ color space. Also to reduce the search space from epipolar and rang of disparity constraints is used. The performance of this step is a premium disparity map. The last step is post_processing which we used a mwdian weight filter as guided filter. According to the result, suggested algorithm from boundury regions in correct way and also we have better result in other job in chapter 5 that is compared with them.



Shahrood University of Technology

Faculty of Electrical Engineering

Stereo Matching, With Using Texture and Color Features

(M.S.C)

Mojtaba Saeedi

Supervisor(s):

Dr. Hossein khosravi

Date: Jan 2014