

# فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱	فصل اول؛ مقدمه
۲	۱-۱- مقدمه‌ای بر تشخیص مانع
۳	۲-۱- مقدمه‌ای بر بینایی استریو
۷	۳-۱- سیستم تصویر برداری تصاویر استریو
۷	۱-۳-۱- نحوه‌ی قرارگیری دوربین‌های استریو
۹	۲-۳-۱- هندسه‌ی سیستم استریو
۱۱	۴-۱- تقسیم‌بندی کلی الگوریتم‌های بینایی استریو
۱۲	۵-۱- نقاط ویژه
۱۳	۶-۱- کاربردهای بینایی استریو
۱۴	۷-۱- این پایان‌نامه در یک نگاه
۱۵	۸-۱- معرفی فصول پایان‌نامه
۱۶	فصل دوم؛ مروری بر مطالعات
۱۷	۱-۲- مقدمه
۱۸	۲-۲- معیارهای شباهت
۲۱	۳-۲- قیود سیستم استریو
۲۴	۴-۲- کالیبراسیون
۲۵	۵-۲- مروری بر الگوریتم‌های تطابق استریو
۲۵	۱-۵-۲- الگوریتم‌ها بر مبنای ویژگی
۲۷	۲-۵-۲- الگوریتم‌ها بر مبنای سطح
	۲-۶-۲- معرفی برخی الگوریتم‌های به‌کار گرفته شده جهت محاسبه‌ی نگاشت
۲۸	اختلاف مکانی چگال
۲۹	۱-۶-۲- یافتن کوتاهترین مسیر (برنامه نویسی پویا)
۳۱	۲-۶-۲- فیلتر کردن جعبه‌ای

## صفحه

## عنوان

۳۳	۳-۶-۲- نمونه برداری و الگوریتم رشد
۳۵	۴-۶-۲- ناحیه‌بندی و روش پخش
۳۶	۷-۲- نتیجه‌گیری
۳۷	<b>فصل سوم؛ الگوریتم‌های پیشنهادی تشخیص موانع مثبت</b>
۳۸	۱-۳- مقدمه
۳۸	۲-۳- موانع مثبت و انواع آن
۳۹	۳-۳- پایگاه داده
۴۰	۴-۳- کالیبراسیون
۴۱	۵-۳- معیارهای شباهت
۴۳	۶-۳- الگوریتم‌های پیشنهادی تشخیص موانع مثبت
۴۳	۱-۶-۳- الگوریتم پیشنهادی اول
۴۴	۱-۱-۶-۳- الگوریتم تطابق
۴۵	۲-۱-۶-۳- سیستم تشخیص مانع
۴۷	۳-۱-۶-۳- محاسبه‌ی عمق مانع
۴۸	۲-۶-۳- الگوریتم پیشنهادی دوم
۵۰	۱-۲-۶-۳- پیش پردازش
۵۰	۲-۲-۶-۳- آستانه‌گیری افقی
۵۱	۳-۲-۶-۳- شناسایی نوع مانع
۵۱	۱-۳-۲-۶-۳- استخراج ویژگی
۵۳	۴-۲-۶-۳- تطابق استریو و تعیین عمق موانع شناسایی شده
۵۴	۷-۳- نتیجه‌گیری
۵۶	<b>فصل چهارم؛ الگوریتم پیشنهادی حذف سایه‌ی مانع</b>
۵۷	۱-۴- مقدمه
۵۷	۲-۴- الگوریتم پیشنهادی حذف سایه
۵۹	۱-۲-۴- تبدیل تصویر رنگی به فضای HIS
۶۰	۲-۲-۴- عبور از فیلتر میانه

۶۱	۳-۲-۴- انتخاب ناحیه‌ی مرجع
۶۱	۴-۲-۴- مقایسه‌ی مقادیر $H$ و $I$ با حد آستانه
۶۴	۳-۴- نتیجه‌گیری
۶۶	<b>فصل پنجم؛ تشخیص موانع منفی</b>
۶۷	۱-۵- مقدمه
۶۷	۲-۵- تشخیص موانع منفی
۶۹	۱-۲-۵- فاز اول: محاسبه‌ی نگاشت اختلاف مکانی چگال
۶۹	۱-۱-۲-۵- استخراج ویژگی
۷۰	۲-۱-۲-۵- محاسبه‌ی اختلاف مکانی
۷۲	۳-۱-۲-۵- معیارهای شباهت انتخاب شده
۷۳	۴-۱-۲-۵- الگوریتم تطابق
۷۳	۱-۴-۱-۲-۵- تقسیم‌بندی نگاشت اختلاف مکانی اولیه به نواحی کوچک‌تر
۷۵	۲-۴-۱-۲-۵- تطابق براساس ترکیب الگوریتم مبتنی بر ویژگی و الگوریتم رشد
۷۷	۱-۲-۴-۱-۲-۵- برنامه‌نویسی پویا
۷۹	۲-۲-۵- فاز دوم: تشخیص مانع
۷۹	۱-۲-۲-۵- مرحله‌ی اول حذف نویز
۷۹	۲-۲-۲-۵- استخراج محل تغییرات ناگهانی اختلاف مکانی
۸۰	۳-۲-۲-۵- مرحله‌ی دوم حذف نویز
۸۰	۳-۲-۵- فاز سوم: تعیین عمق
۸۰	۱-۳-۲-۵- تعیین نماینده برای هر مانع
۸۱	۲-۳-۲-۵- تعیین محدوده‌ی هر مانع
۸۱	۳-۳-۲-۵- تعیین عمق هر مانع
۸۲	۳-۵- نتیجه‌گیری
۸۳	<b>فصل ششم؛ نتایج پیاده‌سازی الگوریتم‌های پیشنهادی</b>
۸۴	۱-۶- مقدمه
۸۴	۲-۶- الگوریتم‌های تطابق استریوی مورد مقایسه

صفحه

عنوان

۸۶	۳-۶ تصاویر استریوی استفاده شده
۹۰	۴-۶ الگوریتم‌های اجرا شده روی تصاویر موانع مثبت
۹۰	۱-۴-۶ مقایسه‌ی تطابق استریو الگوریتم‌های پیشنهادی روی تصاویر موانع
۱۰۱	۲-۴-۶ مقایسه‌ی الگوریتم پیشنهادی حذف سایه روی تصاویر موانع مثبت
۱۰۴	۵-۶ مقایسه‌ی الگوریتم پیشنهادی تشخیص مانع منفی
۱۱۰	۶-۶ تحلیل نتایج الگوریتم‌های پیشنهادی تشخیص موانع مثبت و منفی توأماً
۱۱۳	۷-۶ مقایسه‌ی کمی الگوریتم‌های پیشنهادی و مطرح شده
۱۱۵	۸-۶ نتیجه‌گیری
۱۱۷	<b>فصل هفتم؛ نتیجه‌گیری و پیشنهادات</b>
۱۱۸	۱-۷ نتیجه‌گیری
۱۲۰	۲-۷ پیشنهادات
۱۲۲	<b>فهرست منابع</b>

## فهرست شکل‌ها

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۷	شکل (۱-۱). نمایش میزان جابجاشدگی در دو تصویر استریو
۸	شکل (۲-۱). نمونه‌ای از سیستم استریو
۹	شکل (۳-۱). هندسه‌ی سیستم استریوی مبنا
۱۸	شکل (۲-۱) بررسی پنجره‌ی شباهت
۱۹	شکل (۲-۲) نمایش نقاط صریح، گمشدگی و مبهم
۲۱	شکل (۳-۲) تطبیق استریوی یک پیکسل با مقدار معیار شباهت
۲۲	شکل (۴-۲) فضای جستجو در محدوده خط‌ابی پولار
۲۳	شکل (۵-۲) یکسوسازی تصویر استریو
۲۴	شکل (۶-۲) محدودیت ترتیب
۲۶	شکل (۷-۲). نمونه‌ای از ساختمان بینایی استریوی مبتنی بر ویژگی
۳۰	شکل (۸-۲) سه حرکت مجاز در برنامه‌نویسی پویا
۳۱	شکل (۹-۲). نمایشی از مسیر بهینه در الگوریتم برنامه‌نویسی پویا
۳۲	شکل (۱۰-۲) نحوه انتخاب پیکسل‌های مختلف
۳۲	شکل (۱۱-۲) نحوه محاسبه معیار شباهت
۳۳	شکل (۱۲-۲) ماتریس خروجی حاصل از فیلترکردن جعبه‌ای
۳۵	شکل (۱۳-۲) رشد دانه $P$
۳۶	شکل (۱۴-۲) مثالی از تقسیم بندی به نواحی کوچک
۴۰	شکل (۱-۳) سیستم استریو در دو حالت بیشینه و کمینه‌ی ارتفاع
۴۱	شکل (۲-۳) تصاویر راست و چپ قبل از مرحله‌ی کالیبراسیون
۴۴	شکل (۳-۳) دیاگرام بلوکی الگوریتم پیشنهادی اول تشخیص موانع مثبت
۴۵	شکل (۴-۳) تصاویر راست و چپ نمایشگاه کتاب
۴۵	شکل (۵-۳) نگاشت اختلاف مکانی
۴۶	شکل (۶-۳) بیش‌ترین واریانس اختلاف مکانی
۴۷	شکل (۷-۳) محدوده‌ی مانع مشخص شده

صفحه

عنوان

۴۸	شکل (۳-۸) مرکز ثقل مانع
۴۹	شکل (۳-۹) دیاگرام بلوکی الگوریتم پیشنهادی دوم
۴۹	شکل (۳-۱۰) تصاویر راست و چپ شکل (۳-۲) بعد از مرحله‌ی کالیبراسیون
۵۱	شکل (۳-۱۱) حاصل <i>AND</i> تصاویر آستانه‌گیری شده با پیش پردازش شده
۵۳	شکل (۳-۱۲) شناسایی مانع از نوع پلکان با سه پله
۵۳	شکل (۳-۱۳) شناسایی مانع از نوع پلکان با حدود ۱۰ پله
۵۴	شکل (۳-۱۴) نگاشت اختلاف مکانی حاصل از تصاویر شکل (۳-۱۱)
۵۴	شکل (۳-۱۵) نگاشت اختلاف مکانی حاصل از تصاویر شکل (۳-۱۳)
۵۸	شکل (۴-۱) دیاگرام بلوکی الگوریتم تشخیص مانع
۵۹	شکل (۴-۲) فضای رنگ <i>RGB</i>
۶۰	شکل (۴-۳) نمایش فضای <i>HIS</i>
	شکل (۴-۴) تصویر اصلی با زمینه قرمز و سایه‌ی دست زیر نور چراغ و مولفه- های فضای <i>HIS</i>
۶۲	
	شکل (۴-۵) تصویر اصلی با زمینه سبز و سایه‌ی دست زیر نور خورشید و مولفه‌های فضای <i>HIS</i>
۶۳	
	شکل (۴-۶) تصویر اصلی با زمینه سبز، سایه‌ی دست زیر نور چراغ و مولفه‌های فضای <i>HIS</i>
۶۳	
۶۷	شکل (۵-۱) دیاگرام بلوکی الگوریتم پیشنهادی
۷۴	شکل (۵-۲) نمایش مراحل تقسیم‌بندی به ریزنواحی مستطیلی
۷۴	شکل (۵-۳) نمونه‌ای از ریزنواحی مستطیلی
۷۵	شکل (۵-۴) نتیجه نهایی فیلترکردن جعبه‌ای روی نواحی مختلف
۷۶	شکل (۵-۵) فضای سه بعدی تعیین همسایگی
۷۷	شکل (۵-۶) همسایگی استفاده شده در این پژوهش
۹۱	شکل (۶-۱) تصویر راست و چپ استریو از پایگاه داده‌ی جدول (۶-۱)
۹۱	شکل (۶-۲) نگاشت اختلاف مکانی با معیار شباهت <i>SAD</i> و بهینه‌ساز <i>DP</i>
۹۲	شکل (۶-۳) نگاشت اختلاف مکانی با معیار شباهت <i>SHD</i> و بهینه‌ساز <i>DP</i>

۹۲	شکل (۶-۴) تصویر استریوی نزدیک به واقعیت
۹۳	شکل (۶-۵) نگاهت اختلاف مکانی با معیار شباهت <i>SAD</i> و بهینه‌ساز <i>DP</i>
۹۳	شکل (۶-۶) نگاهت اختلاف مکانی با معیار شباهت <i>SHD</i> و بهینه‌ساز <i>DP</i>
۹۴	شکل (۶-۷) خروجی فاز تشخیص مانع با الگوریتم پیشنهادی <i>ATPOD</i>
۹۴	شکل (۶-۸) نگاهت اختلاف مکانی چگال با استفاده از روش <i>FAGCSDP</i>
۹۵	شکل (۶-۹) تصویر استریو از جدول (۶-۱)
۹۵	شکل (۶-۱۰) نگاهت اختلاف مکانی با استفاده از روش <i>GC</i>
۹۶	شکل (۶-۱۱) نگاهت اختلاف مکانی با استفاده از روش <i>BF</i>
۹۶	شکل (۶-۱۲) نگاهت اختلاف مکانی با استفاده از روش <i>BPSM</i>
۹۶	شکل (۶-۱۳) نگاهت اختلاف مکانی با استفاده از روش <i>GCS</i>
۹۷	شکل (۶-۱۴) نگاهت اختلاف مکانی با استفاده از روش <i>FAGCS</i>
۹۷	شکل (۶-۱۵) تصویر راست و چپ ورودی
۹۸	شکل (۶-۱۶) نگاهت اختلاف مکانی چگال با معیار شباهت <i>SHD</i>
۹۸	شکل (۶-۱۷) نگاهت اختلاف مکانی چگال با استفاده از روش <i>BF</i>
۹۹	شکل (۶-۱۸) نگاهت اختلاف مکانی چگال با استفاده از روش <i>BPS</i>
۹۹	شکل (۶-۱۹) نگاهت اختلاف مکانی چگال با استفاده از روش <i>BPSM</i>
۱۰۰	شکل (۶-۲۰) نگاهت اختلاف مکانی چگال با استفاده از روش <i>GCS</i>
۱۰۰	شکل (۶-۲۱) نقاط ویژگی که در الگوریتم <i>FAGCS</i> رشد یافته‌اند
۱۰۱	شکل (۶-۲۲) نگاهت اختلاف مکانی چگال با استفاده از روش <i>FAGCS</i>
۱۰۱	شکل (۶-۲۳) تصویر اصلی حاوی مانع مثبت و سایه‌ی آن
۱۰۲	شکل (۶-۲۴) غلظت یا <i>Saturation</i> تصویر راست شکل (۶-۲۳)
۱۰۲	شکل (۶-۲۵) طول موج یا <i>Hue</i> تصویر راست شکل (۶-۲۳)
۱۰۳	شکل (۶-۲۶) نقاطی از تصویر که احتمال مانع بودن آن‌ها وجود دارد
۱۰۳	شکل (۶-۲۷) ماتریس همبستگی دو تصویر راست و چپ مرحله‌ی قبل
۱۰۴	شکل (۶-۲۸) نگاهت اختلاف مکانی حاصل از الگوریتم <i>SHROD</i>
۱۰۵	شکل (۶-۲۹) تصویر اصلی گرفته شده از مانع منفی

## صفحه

## عنوان

- شکل (۶-۳۰) همبستگی بین دو تصویر شکل (۶-۲۹)
- شکل (۶-۳۱) نقاط ویژگی لبه که با اپراتور *canny* استخراج شده است.
- شکل (۶-۳۲) مکان پیکسل‌های تشکیل دهنده‌ی درایه‌های ماتریس *S*
- شکل (۶-۳۳) نگاشت اختلاف مکانی حاصل از الگوریتم *FAGCSDP*
- شکل (۶-۳۴) تصویر اصلی راست و چپ از مانع منفی
- شکل (۶-۳۵) نگاشت اختلاف مکانی حاصل از الگوریتم *FAGCSDP*
- شکل (۶-۳۶) نگاشت اختلاف مکانی که از فیلتر میانه‌ی  $15 \times 15$  عبور کرده
- شکل (۶-۳۷) خروجی اپراتور لبه *canny*
- شکل (۶-۳۸) خروجی مرحله‌ی اول حذف نویز
- شکل (۶-۳۹) خروجی مرحله‌ی دوم حذف نویز
- شکل (۶-۴۰) خروجی نهایی الگوریتم *FNOD*
- شکل (۶-۴۱) خروجی الگوریتم *FNOD* با استفاده از روش *FAGCSDP*
- شکل (۶-۴۲) تصویر اصلی راست و چپ از مانع مثبت و منفی مشخص شده
- شکل (۶-۴۳) خروجی آستانه‌گیری افقی با حد آستانه‌ی  $0/3$
- شکل (۶-۴۴) ماتریس همبستگی دو تصویر راست و چپ آستانه‌گیری شده
- شکل (۶-۴۵) نگاشت اختلاف مکانی با استفاده از روش *FAGCSDP*
- شکل (۶-۴۶) مانع مثبت مشخص شده
- شکل (۶-۴۷) نتیجه‌ی اجرای توأم دو الگوریتم تشخیص مانع مثبت و منفی



## فهرست جداول

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۸۶	جدول (۱-۶) تصاویر استریو پایگاه‌های داده‌ی جهانی و خصوصیات آن‌ها
۸۸	جدول (۲-۶) تصاویر واقعی استفاده شده، مکان تصویر برداری و نوع موانع
۸۹	جدول (۳-۶) تصاویر حاوی موانع منفی و مشخصات آن
۱۱۴	جدول (۴-۶) زمان اجرای تطابق استریو برحسب ثانیه
۱۱۴	جدول (۵-۶) خطای موثر الگوریتم‌های مطرح شده و پیشنهادی
۱۱۵	جدول (۶-۶) درصد تطابق اشتباه

# فصل اول

## مقدمه

## ۱-۱- مقدمه‌ای بر تشخیص مانع

حدود دو میلیون نفر کم‌بینا در اروپا و حدود سه میلیون در امریکا وجود دارند که دستگاه‌های کمک بینایی می‌تواند برای آنها مفید باشد و زندگی را برایشان آسان‌تر کند (۱). در ایران نیز ۵۵۰ هزار نفر کم‌بینا و نابینا وجود دارد (۲). طراحی و ساخت وسایل کمکی (کمک بینایی)، علاوه بر آسان‌تر کردن زندگی برای این افراد، می‌تواند حس استقلال را در افراد کم‌بینا و نابینا افزایش دهد و بدون نیاز به پرستار و مددکار می‌توانند با آرامش به زندگی خود ادامه دهند و حتی برای جامعه و کشور خود مفیدتر واقع شوند.

بیشترین مشکلی که این افراد دارند، در مواجهه با موانع است. در این پایان‌نامه موانع را به دو دسته بزرگ تقسیم می‌کنیم؛ موانع مثبت، موانعی که از سطح زمین بالاترند؛ مانند دیوار، جسمی که در مسیر قرار گرفته، پله‌های بالارو و غیره و موانع منفی؛ آنهایی که از سطح زمین پایین‌تر هستند از جمله تک پله پایین‌رو پیاده‌رو، پله‌های پایین‌رونده، چاله‌های خیابانی و غیره. در این پایان‌نامه سعی بر آن است که موانع تشخیص داده شود، سپس از جهت نوع مانع و در نهایت حدود فاصله‌ی مانع تا فرد تعیین گردد.

روش‌ها و ابزار مختلفی در تشخیص مانع برای افراد کم‌بینا و نابینا به‌کار گرفته شده است، از جمله سنسورهای آلتروسونیک<sup>۱</sup> (۳) و (۴)، فاصله‌یاب لیزر<sup>۲</sup> (۵)، رادار<sup>۳</sup> (۶) و بینایی استریو<sup>۴</sup> (۷) و (۸) می‌باشد. در این پایان‌نامه از بینایی استریو برای تشخیص مانع و فاصله‌ی آن بهره گرفته‌ایم. علت اصلی استفاده از بینایی استریو به‌جای ابزارهای بیان شده، این بوده است که دوربین اطلاعات بسیار زیادتری از پیرامون ما نسبت به سنسورهای نام برده، به ما می‌دهد. اطلاعاتی از جمله رنگ، موقعیت مکانی اجسام در صحنه و غیره. دومین علت ارزان‌تر بودن نسبت به لیزر، رادار و دیگر

---

<sup>1</sup> *Ultrasonic Sensors*

<sup>2</sup> *Laser Rangefinder*

<sup>3</sup> *Radar*

<sup>4</sup> *Stereo Vision*

ابزارها است که این مزیت به پیاده‌سازی سیستم طراحی شده کمک بسزایی می‌کند. البته دلایل دیگری نیز وجود دارد که در فصول بعدی و در حین توضیح روش‌های پیشنهادی به آن‌ها اشاره خواهد شد.

## ۱-۲- مقدمه‌ای بر بینایی استریو

بینایی استریو، بخش مهمی از سیستم بینایی انسان است. بر اساس تحقیقات زیادی که در زمینه بینایی ماشین روی ساختار سه بُعدی اشیاء انجام شده است (۹) مشخص شده که همانند انسان، دیدن اجسام به صورت سه بُعدی، کمک می‌کند که تصاویر ایجاد شده توسط کامپیوتر دارای واقعیت بصری بیشتری باشند (۱۰).

تکنیک‌های معمول استفاده‌ی  $3D$  در بینایی ماشین، عملاً دو و نیم بُعدی هستند، چرا که قسمت‌های دیده نشده‌ی اشیاء، نمی‌توانند با یک تک دید تجسم یابند (۱۱). البته می‌توان با استفاده از تصاویر مختلفی که از یک صحنه با نقاط دید مختلفی گرفته می‌شود، مدل  $3D$  صحنه را بدست آورد. با توجه به این که خصایصی مثل لبه‌ها<sup>۱</sup> و زوایا نقش مهمی را در بینایی انسان بازی می‌کنند، در بینایی ماشین می‌توان با یافتن این اصول اولیه‌ی تناظر و آگاهی از هندسه‌ی دوربین-ها، مدل  $3D$  صحنه را بازیابی کرد (۱۲) و (۱۳).

یک مدل سه بُعدی از یک شیء شامل دو نوع از اطلاعات است:

۱. شکل شیء سه بُعدی (اطلاعات هندسی)

۲. بافت تصویر بر سطح نمایان بیرونی شیء (اطلاعات فتومتریک).

بازیابی نوع اول اطلاعات، یک مسئله‌ی نسبتاً پیچیده در بینایی ماشین است. تکنیک‌های معمول نوع اول عبارتند از: بازیابی شکل از سایه<sup>۲</sup>، بازیابی شکل از حرکت<sup>۳</sup> (۱۴)، بازیابی شکل از

---

<sup>1</sup> Edges

<sup>2</sup> Shape from Shading

<sup>3</sup> Shape from Motion

مرکز توجه<sup>۱</sup>، نمایش استریوی فوتومتریک<sup>۲</sup> و غیره (۱۵). اطلاعات نوع دوم یعنی بافت تصویر، معمولاً از تصویر ثبت شده توسط دوربین و به کمک تکنیک‌های تحلیل و سنتز بافت، بازیابی می‌شوند.

در روش‌های مبتنی بر بینایی استریو، همانند عملکرد چشم، دو تصویر از دو نقطه نظر مختلف از یک صحنه گرفته می‌شود و سپس با ترکیب این دو و اعمال الگوریتم‌های مربوطه، تصویر سه بُعدی از صحنه ایجاد می‌شود. مهمترین نکته در این راستا بدست آوردن عمق<sup>۳</sup> هر نقطه در تصویر یا به عبارتی فاصله‌ی آن از مبدا مختصات، مثلاً دوربین، می‌باشد.

بنابراین همانطور که اشاره شد، در یک سیستم استریو با داشتن دو یا چند تصویر از یک صحنه، مسئله‌ی اصلی برای تولید تصاویر سه بُعدی، مسئله‌ی تناظر است که باید حل شود، چرا که تصاویر متفاوت گرفته شده از یک صحنه نسبت به هم دارای یک جابجاشدگی هستند. این مسئله به عنوان تطبیق استریو<sup>۴</sup> شناخته شده است (۱۶) در واقع الگوریتم‌های تطابق استریو تلاش می‌کنند که برای هر نقطه در یک تصویر استریو، متناظری در تصویر دوم پیدا کنند. با یافتن نقطه‌ی متناظر، می‌توان میزان جابه‌جاشدگی این نقطه را یافت و در نتیجه به عمق این نقطه دست پیدا کرد. نحوه‌ی محاسبه‌ی عمق هر نقطه از تصویر، با استفاده از اختلاف مکانی آن، در ادامه‌ی این فصل آمده است.

مشکلات تطابق استریو به عنوان یک مسئله‌ی بینایی، کاملاً حل نشده است. به عنوان دلالی بر پیچیدگی مسئله‌ی تطابق استریو، می‌توان موارد زیر را نام برد:

۱. نویز<sup>۵</sup> و تغییرات: همواره تغییرات نور و روشنایی، محو شدگی تصویر، و نویز دریافتی در هنگام ایجاد تصویر وجود دارد. یک الگوریتم برای کاربردی بودن باید در مقابل این نوع نویزها منعطف باشد.

۲. نواحی یکنواخت و فاقد بافت<sup>۱</sup>: این مشکل همچنین به عنوان مسئله‌ی شاتر یا دیفراگم<sup>۲</sup> معروف است. این شرط که نقاط متناظر باید از شدت روشنایی<sup>۳</sup> نسبتاً یکسانی برخوردار

---

<sup>1</sup> Shape from Focus

<sup>2</sup> Photometric Stereo

<sup>3</sup> Depth

<sup>4</sup> Stereo Matching

<sup>5</sup> Noise

برخوردار باشند، در این نواحی بی‌فایده است. بنابراین، لازم است برای تطابق استریو، اطلاعات از نواحی شدیداً بافتی<sup>۴</sup> به این نواحی انتشار پیدا کنند. منظور از اطلاعات، اختلاف مکانی نقاطی است که محاسبه شده است.

۳. ناپیوستگی عمقی<sup>۵</sup>: باید محدوده‌ی هر شیئی از شیئی دیگر مشخص باشد. چرا که معمولاً اشیائی موجود در یک تصویر، نسبت به هم دارای عمق‌های متفاوتی هستند، بنابراین در لبه‌هایی از تصویر که این دو شیئی از هم جدا می‌شوند، دارای ناپیوستگی عمقی هستیم.

۴. نقاط گم‌شدگی<sup>۶</sup>: نقاطی از تصویر که متناظری در تصویر دیگر ندارند، نقاط گم‌شدگی هستند (۱۷). نقاط گم‌شده در یک تصویر نباید با پیکسل‌های تصویر دیگر تطابق پیدا کنند.

یک مکانیزم بینایی استریو دارای فازهای اصلی زیر است:

۱. دریافت و ثبت تصویر<sup>۷</sup>
  ۲. استخراج ویژگی‌ها
  ۳. تطابق تصاویر
  ۴. تعیین عمق از جفت تصاویر بر اساس معادلات مدل قرارگیری دوربین.
- برای بدست آوردن نگاشت عمق، باید به محاسبه‌ی یک نگاشت اختلاف مکانی<sup>۸</sup> پردازیم که هر پیکسل در این نگاشت، اختلاف مکان دو پیکسل مورد تطابق از هر یک از دو تصویر چپ و راست استریو را، ارائه می‌دهد.

بطور کلی روش‌های بدست آوردن عمق را می‌توان به دو گروه عمده‌ی غیرفعال<sup>۹</sup> و فعال<sup>۱۰</sup> تقسیم کرد. در روش‌های فعال (۱۸) و (۱۹) از منبع نور اضافه و کنترل شده‌ای برای روشن

---

<sup>1</sup> Textureless

<sup>2</sup> Aperture

<sup>3</sup> Intensity

<sup>4</sup> Highly Textured

<sup>5</sup> Depth Discontinuity

<sup>6</sup> Occlusion

<sup>7</sup> Image Acquisition

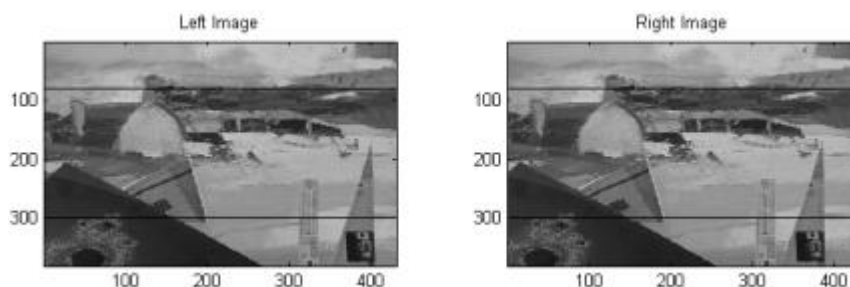
<sup>8</sup> Disparity Map

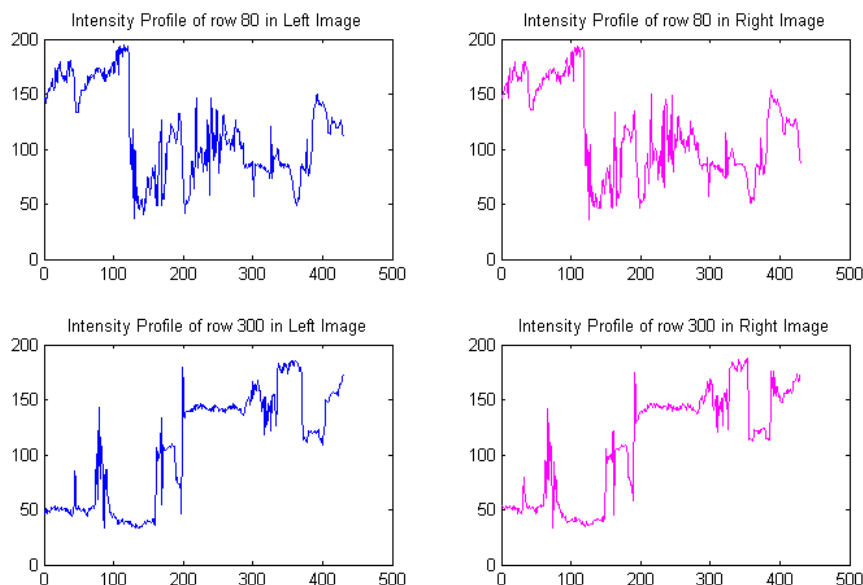
<sup>9</sup> Passive

<sup>10</sup> Active

کردن محیط کمک گرفته می‌شود، در حالیکه در روش‌های غیر فعال (۲۰) تنها از منبع نور موجود در محیط برای این منظور استفاده می‌شود. اگر چه روش فعال محاسبات ساختار صحنه را آسان می‌کند، ولی استفاده از آن همیشه عملی و امکان پذیر نیست، مخصوصاً برای اشیاء دور و دارای حرکت سریع. علاوه بر این، تکنیک‌های رایج فعال مثل اسکن کردن لیزری محدوده، خیلی گران و پرهزینه هستند و نسبت به تکنیک‌های غیر فعال متناظرشان کندترند. با وجود این، بهترین روش‌های فعال معمولاً بازسازی دقیق تری نسبت به تکنیک‌های غیر فعال دارند. از مهمترین تکنیک‌های غیر فعال می‌توان از تطبیق استریو، بازیابی ساختار شکل از حرکت، بازیابی شکل از سایه، و استریوی فتومتریک نام برد.

سطر اول شکل (۱-۱)، دو تصویر استریو را نشان می‌دهد که در راستای افقی دارای مقداری جابجاشدگی هستند. با محاسبه‌ی این جابجاشدگی به ازای هر پیکسل این تصویر، می‌توان عمق آن پیکسل را بدست آورد. در این شکل، دو خط سیاه، سطرهای ۸۰ و ۳۰۰ را در هر دو تصویر استریو نشان می‌دهد. چهار تصویر بعدی که در زیر آن قرار گرفته‌اند، به ترتیب منحنی شدت روشنایی سطرهای ۸۰ و ۳۰۰ در هر دو تصویر را نشان می‌دهند.





شکل (۱-۱). نمایش میزان جابجاشدگی در دو تصویر استریو

با توجه به منحنی شدت روشنایی، در هر یک از این خطوط تصویر، شدت روشنایی هر دو تصویر کاملا مشابه به هم است ولی دارای میزانی جابجاشدگی است که در واقع همان اختلاف مکانی است.

در الگوریتم‌های تطابق استریو، گاهی ممکن است در تصویر دوم برای یک نقطه، چندین تطابق یافت شود. چنین نقاطی در تطابق دارای ابهام هستند. با توجه به اینکه با از بین بردن ابهام می‌توان دقت الگوریتم را بالا برد، محققان بسیاری درصدد کاهش ابهام در تطابق هستند.

### ۳-۱- سیستم تصویر برداری تصاویر استریو

در این قسمت، به بررسی دوربین‌های استریو و نحوه‌ی قرارگیری آنها در صحنه می‌پردازیم. سپس هندسه‌ی سیستم استریو و معادلات مرتبط با آن را بیان می‌کنیم.

#### ۱-۳-۱- نحوه‌ی قرارگیری دوربین‌های استریو

تصویر برداری استریو معمولا توسط دو دوربین کاملا مشابه از لحاظ خواص لنز و سنسور تصویربرداری انجام می‌شود (۲۱). نصب دو دوربین به گونه‌ای صورت می‌گیرد که صفحات تصویر برداری کاملا موازی با هم باشند و حتی در صورت امکان، خطوط افقی نیز از لحاظ مکانی متناظر



باشند. شکل (۲-۱)، نمونه‌ای از دوربین‌های استریو و نحوه‌ی قرارگیری آنها نسبت به همدیگر را نشان می‌دهد که به منظور گرفتن دو تصویر استریو لازم است.



شکل (۲-۱). نمونه‌ای از سیستم استریو

کالیبراسیون<sup>۱</sup> دوربین، فرآیند بازیابی پارامترهای داخلی و خارجی دوربین است. از پارامترهای داخلی، طول موج، نسبت منظر<sup>۲</sup> و مرکز تصویر دوربین، و از پارامترهای خارجی، جهت و انتقال<sup>۳</sup> دوربین نسبت به مختصات فریم در صحنه‌ی سه بُعدی قابل ذکر هستند. در یک سیستم بینایی استریو، نه تنها کالیبراسیون هر یک از دوربین‌ها به طور مجزا لازم است، بلکه پارامترهایی که روابط هندسی بین دوربین‌ها را مشخص می‌کند نیز مطلوب هستند. در این پایان نامه از روش هارتلی<sup>۴</sup> استفاده شده است (۲۲). ما از معادلات هارتلی برای دستیابی به بهترین فاصله کانونی دوربین استفاده کرده ایم ماتریس اساسی و بنیادین به کار برده شده در معادله حاصل فواصل نقطه به نقطه می‌باشد که از روش *RANSAC* استفاده شده است.

برای انجام این پایان نامه نیاز به داشتن پایگاه داده واقعی و کامل شامل انواع موانع بود به دلیل عدم وجود پایگاه داده استاندارد با مشخصات مذکور اقدام به تهیه آن به صورت دستی گردید. به علت بکارگیری دو دوربین با فواصل کانونی متفاوت نیاز به کالیبراسیون دقیق و با سرعت با داشتیم در نتیجه از روش هارتلی بهره بردیم.

<sup>1</sup> Calibration

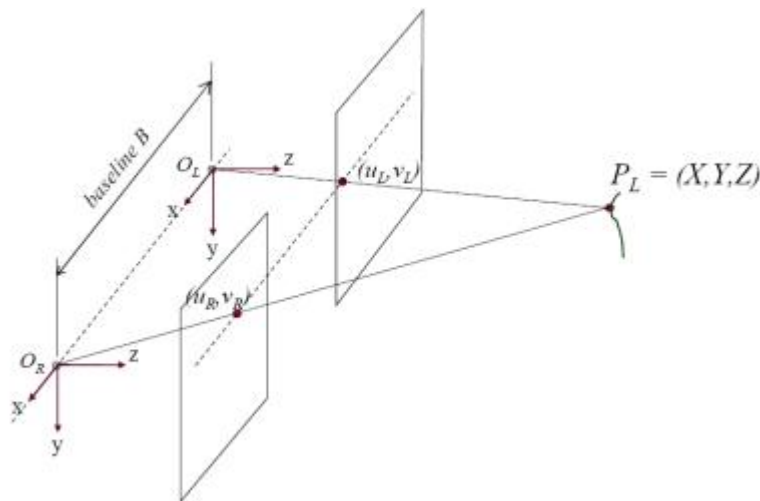
<sup>2</sup> Aspect Ratio

<sup>3</sup> Translation

<sup>4</sup> Hartley

### ۱-۳-۲- هندسه‌ی سیستم استریو

همان طور که پیش‌تر نیز ذکر شد، با دادن یک مجموعه از تصاویر از یک صحنه‌ی سه بُعدی، به منظور بدست آوردن بُعد سوم، یعنی عمق، ضروری است که رابطه‌ی بین تصاویر را به کمک تطابق محاسبه کنیم. در این میان هندسه‌ی قرار گیری دوربین‌ها نیز حائز اهمیت است. در شکل (۱-۵) نمونه‌ای از یک سیستم استریو و نحوه‌ی قرار گیری دوربین‌ها نشان داده شده است. با توجه به اینکه برای به دست آوردن اطلاعات عمق، به دو تصویر از یک صحنه احتیاج داریم، در این شکل نیز دو نقطه‌ی  $O_R$  و  $O_L$  جایگاه دو دوربین استریو با فواصل کانونی یکسان  $f$  در صحنه را نشان می‌دهد که نقش این دو دوربین، همانند دو چشم در سیستم بینایی بشر است. فاصله‌ی بین این دو نقطه، در سیستم‌های استریوی گوناگون، متفاوت است و تحت عنوان خط مبنا<sup>۱</sup> ( $B$ ) شناخته می‌شود.



شکل (۱-۳). هندسه‌ی سیستم استریوی مبنا

در شکل (۱-۳)، نقطه‌ی  $P_L$  در صحنه‌ی سه بُعدی است و اثر آن روی تصاویر چپ و راست تشکیل شده در دوربین‌ها،  $(u_L, v_L)$  و  $(u_R, v_R)$  است. در این شکل صفحات تصویر دو دوربین در راستای یکدیگرند و  $O_R$  و  $O_L$  مرکزهای مختصات دو دوربین چپ و راست هستند.

<sup>۱</sup> Base Line

$$(u_L, v_L) = \left( f \frac{X}{Z}, f \frac{Y}{Z} \right), \quad (u_R, v_R) = \left( f \frac{X-B}{Z}, f \frac{Y}{Z} \right) \quad (1-1)$$

طبق معادله‌ی (1-1)، مقدار  $v$  برای دو تصویر چپ و راست یکسان می‌باشد. برای بدست آوردن مقدار اختلاف مکانی می‌توان از معادله‌ی (2-1) استفاده کرد.

$$u_L - u_R = f \frac{B}{Z} \quad (2-1)$$

مقدار  $u_L - u_R$  اختلاف مکانی نامیده شده و با  $d$  نمایش داده می‌شود. می‌توان عمق هر نقطه را با توجه به مقدار اختلاف مکانی آن با توجه به معادله‌ی (3-1) بدست آورد:

$$d = u_L - u_R = f \frac{B}{Z} \Rightarrow Z = f \frac{B}{d} \quad (3-1)$$

بنابراین عمق نقطه متناسب با عکس اختلاف مکانی می‌باشد. در این روابط  $f$  فاصله کانونی لنز دوربین‌ها و  $B$  خط مبناست.

از دیدگاه محاسباتی، سیستم تحلیل‌گر تصاویر استریو باید بتواند دو مسئله را حل کند: تطابق استریو و بازسازی سه بُعدی<sup>1</sup> (23). تطابق به معنای مشخص کردن اجزا یا نقاط متناظر در دو تصویر چپ و راست بوده که بر اساس آن مقدار اختلاف مکانی مشخص می‌شود. برای بازسازی سه بُعدی، ابتدا مقدار عمق با توجه به مقدار اختلاف مکانی و پارامترهای هندسه‌ی تصویر برداری از جمله  $b$  و  $f$  و با در نظر گرفتن رابطه‌ی (3-1) مشخص می‌شود. سپس با در نظر گرفتن رابطه‌ی (1-1) می‌توان مقادیر  $X$  و  $Y$  را نیز محاسبه کرد. با توجه به این مطالب، محاسبه‌ی مختصات سه بُعدی به محاسبه‌ی اختلاف مکانی نیاز دارد. از اینرو در بسیاری از الگوریتم‌های استریو، تنها به محاسبه‌ی اختلاف مکانی اکتفا می‌شود. در واقع نتیجه‌ی تحلیل تصاویر استریو، یک تصویر اختلاف مکانی است که در آن برای هر نقطه و یا نقاطی خاص، مقدار اختلاف مکانی مشخص شده است.

---

<sup>1</sup> 3D reconstruction

## ۴-۱- تقسیم‌بندی کلی الگوریتم‌های بینایی استریو

در حالت کلی، الگوریتم‌های تطبیق استریو به سه گونه‌ی بر مبنای پیکسل<sup>۱</sup>، بر مبنای سطح<sup>۲</sup> و بر مبنای ویژگی<sup>۳</sup> تقسیم می‌شوند. در روش‌های بر مبنای پیکسل، سعی می‌شود از ابتدا مقدار اختلاف مکانی برای تمامی پیکسل‌ها محاسبه شود. برای این کار، معمولا یک تابع اختلاف مکانی برای تمام پیکسل‌ها تعریف و با اعمال محدودیت‌های سیستم استریو و انجام یک فرآیند بهینه‌سازی، اختلاف مکانی برای تمامی پیکسل‌های تصویر محاسبه می‌شود. این روش نسبت به دو روش بعدی، زمان اجرای طولانی‌تری دارد و لذا برای کاربردهایی که سرعت اجرا در آنها مهم است، مناسب نمی‌باشد.

در روش بر مبنای سطح، نقاط متناظر بر اساس شباهت نواحی یا سطوح خاکستری، در تصویر چپ و راست مشخص می‌گردند. این فرآیند معمولا شامل استخراج نقاط ویژه<sup>۴</sup> در یک تصویر مثلا تصویر چپ و یافتن نقاط متناظر در تصویر دیگر بر اساس معیارهای شباهت همسایگی خواهد بود.

نوعی از الگوریتم‌های برمبنای سطح، از یک تابع انرژی استفاده می‌کنند و به دنبال یافتن مسیری با مینیموم هزینه هستند. از جمله‌ی معروفترین این الگوریتم‌ها، الگوریتم برنامه‌نویسی پویا<sup>۵</sup> را می‌توان نام برد.

در الگوریتم‌های بر مبنای ویژگی (۲۴) و (۲۵)، در ابتدا از هر دو تصویر چپ و راست عناصر مورد تطابق استخراج می‌شوند. سپس در مرحله‌ی تطابق، شباهت آنها سنجیده شده و عناصر متناظر مشخص می‌گردند. ایجاد تطابق در روش‌های بر مبنای ویژگی سریعتر از تطابق بر مبنای سطح است، چرا که تعداد کاندیداهای مورد نظر برای نقاط مطابق، کمتر از تعداد آنها به روش بر مبنای سطح است. با توجه به اینکه در روش‌های بر مبنای ویژگی، معمولا ویژگی‌هایی برای تطابق انتخاب می‌شوند که کمتر به پارامترهای مختلف سیستم‌های تصویر برداری و مسائل

---

<sup>1</sup> Pixel based

<sup>2</sup> Area based

<sup>3</sup> Feature based

<sup>4</sup> Feature point extraction

<sup>5</sup> Dynamic Programming