

۹۹۱۷۶



دانشگاه اصفهان

دانشکده فنی مهندسی

گروه کامپیوتر

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی کامپیوتر گرایش هوش مصنوعی

تبدیل تصاویر دو بُعدی رنگی به سه بُعدی با تکنیک استریو و برنامه‌نویسی پویا

استاد راهنما:

دکتر سید امیر حسن منجمی

استاد مشاور:

دکتر پیمان معلم

پژوهشگر:

هاجر صادقی سکه

اسفند ماه ۱۳۸۶

۱۳۸۷ / ۱۶ / ۱۱۱۰۵

۹۹۱۳۶

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات  
و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه  
متعلق به دانشگاه اصفهان است.

شبه کارشناس پایان نامه  
رعایت شده است.  
تحصیلات تکمیلی دانشگاه اصفهان



دانشگاه اصفهان  
دانشکده فنی مهندسی  
گروه کامپیوتر

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی کامپیوتر گرایش هوش مصنوعی  
خانم هاجر صادقی تحت عنوان

تبدیل تصاویر دو بُعدی رنگی به سه بُعدی با تکنیک استریو و برنامه‌نویسی پویا

در تاریخ ۱۳۸۶/۱۲/۸ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه‌ی عالی به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه: دکتر سید امیر حسن منجمی با مرتبه‌ی علمی استادیار امضاء

۲- استاد مشاور پایان‌نامه: دکتر پیمان معلم با مرتبه‌ی علمی استادیار امضاء

۲- استاد داور داخل گروه: دکتر احمد رضا نقش نیلچی با مرتبه‌ی علمی استادیار امضاء

۳- استاد داور خارج از گروه: دکتر مازیار پالهنگ با مرتبه‌ی علمی استادیار امضاء

رابطه‌ی مدیر گروه

۱۳۸۶/۱۲/۲۴

زمین از خدا سرشار است،

و هر بوته ای از مهر خدا سحله ور...

چگونه شکر نکویم خدای را، آنگاه که مابیان دریا تا مرغان آسمان، زبان به حمدش گشوده اند؟  
چگونه سپاس نکویمش، آنگاه که هستی ام، بخشد و آنگاه که خلقتش را در خطه بختی عمرم، نوبه نوزنده کرد؟  
و اگر زبان به شکرش گشودم، ناکزیرم از شکر شایسته ترین بندگانش، پرو مادرم،  
روشنایی راه های نیمه سوده ام.

نعمت بر من تمام می شود، آنگاه که در راه رسیدن، انسانهایی والا، راهبر و راهنمای رقتنم می شوند.

ستودنی است قدرشان، صبرشان و مهرشان:

آقای دکتر سید امیر حسن منجی

آقای دکتر پیمان معلم

برای خدای مهربانم،

او که مینهایت زیباست و در فاصله‌ی ازل تا ابدیت می‌ساییش، از آن زمان که نبوده ام مرا  
دوست داشته تا باشم و اینک که، ستم، پرتو مهرش تمام، هستی ام را در می‌نوردد.

برای پدرم،

کوه استواری که، همواره خورشید امیدم از پس آن طلوع می‌کند و خورشید گرما، بخشی که گل‌های  
کوچک وجودم به نورش زنده‌اند.

و برای مادرم،

آئینه‌ی زلال و شفاف‌ی که رویایم را، همواره در آن دیده ام و نسیم مهربانی که تمام دشت وجودم را به  
نوازش در نور دیده است و بودن و، ستمم را پس از خدای مهربان از او دارم.

## چکیده

مهمترین نکته در راستای بدست آوردن ساختار سه بُعدی اشیاء، بدست آوردن عمق هر نقطه یا فاصله‌ی آن از مبدا مختصات می‌باشد. اکثر کاربردهای بینایی استریو، به نگاشت چگال عمق تصاویر استریو احتیاج دارند. از طرفی دیگر، در کاربردهای بلادرنگ، سرعت اجرای الگوریتم بسیار اهمیت پیدا می‌کند و این در حالی است که الگوریتم‌هایی که سعی در ایجاد نگاشت‌های چگال عمق دارند، از سرعت نسبتاً پائینی برخوردارند. بنابراین الگوریتمی کاربرد بیشتری خواهد داشت که به نگاشت چگال عمق تصاویر، در کوتاهترین زمان اجرا دست یابد. ما در این پایان‌نامه سعی کرده‌ایم، به دقت و سرعت الگوریتم، توأمآ توجه کنیم.

در این پایان‌نامه، دو الگوریتم پیشنهاد می‌شود که اولی به بررسی تاثیر رنگ در تطابق می‌پردازد و دومی سعی در دستیابی سریع به نگاشت چگال عمق، دارد. الگوریتم اول، یک الگوریتم مبتنی بر ویژگی می‌باشد. در این الگوریتم به منظور افزایش سرعت اجرا، فضای جستجو را کاهش می‌دهیم و همچنین برای افزایش دقت، از رنگ نیز بهره می‌گیریم. خروجی الگوریتم پیشنهادی اول، یک نگاشت اختلاف مکانی با نقاط پراکنده است که ورودی به الگوریتم پیشنهادی دوم می‌باشد. در الگوریتم دوم، از این نگاشت استفاده کرده و به محاسبه‌ی یک نگاشت اختلاف مکانی چگال می‌پردازیم.

اولین الگوریتم پیشنهادی، شامل دو فاز است: استخراج نقاط ویژه و تطابق استریو. نقاط ویژه‌ی انتخابی، زنجیره‌هایی از نقاط لبه هستند. در واقع در این الگوریتم، ما به تطابق زنجیره نقاط لبه می‌پردازیم. در این الگوریتم، همچنین به منظور کاهش فضای جستجو، از قيود سیستم استریو، از جمله محدودیت خط اپی‌پولار، محدوده‌ی اختلاف مکانی، محدودیت ترتیب و حداکثر مشتق سوئی اختلاف مکانی، نیز استفاده شده است. در محدودیت حداکثر مشتق سوئی اختلاف مکانی، از شرط  $|\delta d_c| < 1.2$  به منظور کاهش فضای جستجوی اولین نقطه‌ی هر زنجیره استفاده می‌کنیم. در نقاطی که نتوانیم از این محدودیت استفاده کنیم، از روش تفکیک‌پذیری چندگانه استفاده کرده‌ایم. نتایج نشان دادند که استفاده از تصاویر استریوی رنگی در تطبیق استریو، دقت الگوریتم را تا حدود ۸۰٪ بهبود می‌دهد، در حالیکه زمان تطابق فقط ۱۰٪ افزایش می‌یابد.

در دومین الگوریتم پیشنهادی، به منظور محاسبه‌ی یک نگاشت چگال اختلاف مکانی، از برنامه نویسی پویا استفاده کرده‌ایم. در این الگوریتم، با کمک اختلاف مکانی نقاط لبه‌ی متوالی در یک خط اسکن، که در الگوریتم اول محاسبه شده است، اختلاف مکانی تمام نقاط تصویر که بین این دو نقطه لبه قرار گرفته‌اند، به کمک الگوریتم برنامه‌نویسی پویا بدست می‌آید. نتایج حاصل از مقایسه‌ی این الگوریتم با برنامه نویسی پویا، نشان دادند که به طور نسبی الگوریتم پیشنهادی از نظر سرعت ۷۰٪ افزایش یافته و از نظر دقت تطابق نیز دارای ۷۰٪ بهبود است.

**کلمات کلیدی.** الگوریتم‌های مبتنی بر ویژگی، بازسازی سه بُعدی، برنامه نویسی پویا، بینایی استریو، تطابق استریوی

رنگی، تطابق زنجیره‌ای، نگاشت اختلاف مکانی چگال.

## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

### فصل اول: مقدمه‌ای بر بینایی استریو

۱-۱	مقدمه	۱
۲-۱	سیستم تصویر برداری تصاویر استریو	۵
۱-۲-۱	نحوه‌ی قرارگیری دوربین‌های استریو	۵
۲-۲-۱	هندسه‌ی سیستم استریو	۷
۳-۱	تقسیم‌بندی کلی الگوریتم‌های بینایی استریو	۹
۴-۱	نقاط ویژه	۱۰
۵-۱	کاربردهای بینایی استریو	۱۱
۶-۱	معرفی فصول پایان‌نامه	۱۲

### فصل دوم: مروری بر کارهای انجام شده

۱-۲	مقدمه	۱۴
۲-۲	مروری بر الگوریتم‌های تطابق استریو	۱۵
۱-۲-۲	الگوریتم‌های مبتنی بر سطح	۱۷
۲-۲-۲	الگوریتم‌های مبتنی بر ویژگی	۱۸
۳-۲	کاهش فضای جستجو به کمک قيود سیستم استریو	۲۳
۱-۳-۲	محدودیت خط اپی‌پولار	۲۵
۲-۳-۲	مشتق جهت‌دار اختلاف مکانی	۲۶
۴-۲	معیارهای تطابق استریو	۳۰
۵-۲	الگوریتم‌هایی جهت افزایش سرعت و دقت	۳۴
۱-۵-۲	وضوح (تفکیک پذیری) چندگانه و سلسله مراتبی	۳۴
۲-۵-۲	تاثیر استفاده از رنگ در تطابق استریو	۳۶
۶-۲	الگوریتم‌هایی جهت محاسبه‌ی نگاشت اختلاف مکانی چگال	۳۷
۷-۲	نتیجه‌گیری	۴۳



## فصل سوم: الگوریتم‌های پیشنهادی

۴۵	۱-۳ مقدمه
۴۶	۲-۳ معیار شباهت مورد استفاده
۴۶	۱-۲-۳ معیار شباهت مورد استفاده در فضای RGB
۴۷	۲-۲-۳ معیار شباهت مورد استفاده در فضای $I_1I_2I_3$
۴۷	۳-۳ الگوریتم پیشنهادی اول، محاسبه‌ی نگاشت اختلاف مکانی با نقاط پراکنده
۴۸	۱-۳-۳ استخراج ویژگی‌ها
۴۸	۱-۱-۳-۳ استخراج لبه‌های غیرافقی
۵۱	۲-۱-۳-۳ زنجیره‌ای کردن نقاط ویژگی
۵۳	۲-۳-۳ تطابق ویژگی‌ها
۵۵	۴-۳ الگوریتم پیشنهادی دوم، محاسبه‌ی نگاشت اختلاف مکانی چگال
۶۳	۵-۳ نتیجه‌گیری

## فصل چهارم: نتایج پیاده‌سازی الگوریتم‌های پیشنهادی

۶۵	۱-۴ مقدمه
۶۶	۲-۴ الگوریتم‌های تطابق استریوی مورد مقایسه
۶۶	۳-۴ تصاویر استریوی رنگی مورد استفاده
۶۸	۴-۴ مقایسه‌ی نتایج پیاده‌سازی الگوریتم CCS در دو فضای رنگی RGB و $I_1I_2I_3$
۶۸	۵-۴ مقایسه‌ی نتایج پیاده‌سازی الگوریتم‌های CCS و GLCS
۷۹	۶-۴ مقایسه‌ی نتایج پیاده‌سازی الگوریتم‌های DP و CCSDP
۸۹	۷-۴ نتیجه‌گیری

## فصل پنجم: دستاوردها و پیشنهادات

۹۱	۱-۵ دستاوردها
۹۴	۲-۵ پیشنهادات
۹۶	واژه‌نامه
۱۰۰	منابع و مأخذ

## فهرست شکل‌ها

صفحه

عنوان

### فصل اول: مقدمه‌ای بر بینایی استریو

- شکل ۱-۱ نمایش میزان جابجاشدگی در دو تصویر استریو..... ۴
- شکل ۲-۱ نمونه‌ای از دوربین‌های استریو..... ۵
- شکل ۳-۱ سه نحوه‌ی قرارگیری سه دوربین استریو..... ۶
- شکل ۴-۱ نمونه‌هایی از نحوه‌ی قرارگیری دوربین‌های استریو..... ۷
- شکل ۵-۱ هندسه‌ی سیستم استریوی مبنا..... ۸

### فصل دوم: مروری بر کارهای انجام شده

- شکل ۱-۲ نمونه‌ای از تطابق استریو..... ۱۶
- شکل ۲-۲ نمونه‌ای از رویداد حالت گم‌شدگی در تطابق استریو..... ۱۶
- شکل ۳-۲ نمونه‌ای از ساختمان بینایی استریوی مبتنی بر ویژگی..... ۲۱
- شکل ۴-۲ نتایج پیاده‌سازی روش‌های مختلف آشکارسازی ویژگی‌ها..... ۲۳
- شکل ۵-۲ محدودیت ترتیب..... ۲۴
- شکل ۶-۲ محدودیت خط‌ابی پولار..... ۲۵
- شکل ۷-۲ یکسو سازی تصویر..... ۲۶
- شکل ۸-۲ نمایش دو بُعدی هندسه‌ی سیستم استریو برای معرفی مفهوم مشتق سوئی اختلاف مکانی..... ۲۷
- شکل ۹-۲ نمایش سه بُعدی هندسه‌ی سیستم استریو برای معرفی مفهوم مشتق سوئی اختلاف مکانی..... ۲۸
- شکل ۱۰-۲ فضای جستجوی  $R_k$  برای یافتن  $P'_k$  در تصویر راست..... ۲۹
- شکل ۱۱-۲ فضای جستجوی  $R_l$  برای یافتن مطابق  $A_l$  در تصویر راست..... ۲۹
- شکل ۱۲-۲ بررسی پنجره‌ی شباهت در ناپیوستگی‌های عمقی تصویر..... ۳۱
- شکل ۱۳-۲ ناسازگاری و ایجاد خطا در تطابق..... ۳۲
- شکل ۱۴-۲ تطبیق استریوی یک پیکسل روی خط‌ابی پولار با معیار شباهت MSE..... ۳۴
- شکل ۱۵-۲ نمونه‌ای از تفکیک‌پذیری چندگانه در سه سطح..... ۳۶
- شکل ۱۶-۲ یافتن کوتاهترین مسیر در یک گراف..... ۳۹
- شکل ۱۷-۲ سه حرکت مجاز در روند رو به جلوی برنامه‌نویسی پویا..... ۴۱

شکل ۲-۱۸ نمایشی از مسیر بهینه در الگوریتم برنامه‌نویسی پویا..... ۴۱

شکل ۲-۱۹ نمونه مثالی از نحوه‌ی عملکرد الگوریتم برنامه‌نویسی پویا..... ۴۲

### فصل سوم: الگوریتم‌های پیشنهادی

شکل ۳-۱ تصاویر چپ و راست صحنه‌ی barn1 به همراه لبه‌های غیر افقی آشکار شده..... ۵۰

شکل ۳-۲ نمونه‌ای از زنجیره‌های تصویر..... ۵۱

شکل ۳-۳ استراتژی تطابق زنجیره‌های نقاط ویژگی..... ۵۲

شکل ۳-۴ فضای جستجو برای یافتن مطابق  $A_1$ ..... ۵۳

شکل ۳-۵ فلوجارت الگوریتم پیشنهادی اول..... ۵۷

شکل ۳-۶ نمایش دو جایگاه مختلف برای انتخاب لبه در تصویر..... ۵۸

شکل ۳-۷ (الف). شبکه‌ی جستجو و یک دنباله‌ی تطابق (سلول‌های M)، (ب). سه حرکت مجاز بین هر دو

پیکسل در شبکه. (ج). تطابق‌های بلافاصله قبلی (د). تطابق‌های بلافاصله بعدی..... ۵۹

شکل ۳-۸ نمایش مسیر بهینه در ماتریس Side..... ۶۳

### فصل چهارم: نتایج پیاده‌سازی الگوریتم‌های پیشنهادی

شکل ۴-۱ نتایج پیاده‌سازی دو الگوریتم CCS و GLCS روی تصویر Ball..... ۷۰

شکل ۴-۲ نتایج پیاده‌سازی دو الگوریتم CCS و GLCS روی تصویر Barn1..... ۷۲

شکل ۴-۳ نتایج پیاده‌سازی دو الگوریتم CCS و GLCS روی تصویر Barn2..... ۷۴

شکل ۴-۴ نتایج پیاده‌سازی دو الگوریتم CCS و GLCS روی تصویر Poster..... ۷۶

شکل ۴-۵ نتایج پیاده‌سازی دو الگوریتم CCS و GLCS روی تصویر Venus..... ۷۸

شکل ۴-۶ نتایج پیاده‌سازی دو الگوریتم CCSDP و DP روی تصویر Ball..... ۸۰

شکل ۴-۷ نتایج پیاده‌سازی دو الگوریتم CCSDP و DP روی تصویر Barn1..... ۸۲

شکل ۴-۸ نتایج پیاده‌سازی دو الگوریتم CCSDP و DP روی تصویر Barn2..... ۸۴

شکل ۴-۹ نتایج پیاده‌سازی دو الگوریتم CCSDP و DP روی تصویر Poster..... ۸۶

شکل ۴-۱۰ نتایج پیاده‌سازی دو الگوریتم CCSDP و DP روی تصویر Venus..... ۸۸

## فهرست جدول‌ها

صفحه

عنوان

فصل دوم: مروری بر کارهای انجام شده

جدول ۱-۲ رابطه‌ی بین  $\Delta x_l$  و فضای جستجو، در شرایطی که  $|\delta d_c| < 1.2$ ،  $\Delta y = 0$  و  $\Delta x_l$  بین ۱ تا ۱۰ پیکسل باشد..... ۳۰

فصل چهارم: نتایج پیاده‌سازی الگوریتم‌های پیشنهادی

جدول ۱-۴ تصاویر استریوی مورد استفاده و شرح خصوصیات آنها..... ۶۷

جدول ۲-۴ مقایسه‌ی نتایج اجرای الگوریتم CCS در دو فضای رنگی RGB و  $I_1I_2I_3$ ..... ۶۸

جدول ۳-۴ نتایج اجرای الگوریتم‌های CCS و GLCS روی تصویر Ball..... ۶۹

جدول ۴-۴ نتایج اجرای الگوریتم‌های CCS و GLCS روی تصویر Barn1..... ۷۱

جدول ۵-۴ نتایج اجرای الگوریتم‌های CCS و GLCS روی تصویر Barn2..... ۷۳

جدول ۶-۴ نتایج اجرای الگوریتم‌های CCS و GLCS روی تصویر Poster..... ۷۵

جدول ۷-۴ نتایج اجرای الگوریتم‌های CCS و GLCS روی تصویر Venus..... ۷۷

جدول ۸-۴ نتایج اجرای الگوریتم‌های CCSDP و DP روی تصویر Ball..... ۸۱

جدول ۹-۴ نتایج اجرای الگوریتم‌های CCSDP و DP روی تصویر Barn1..... ۸۳

جدول ۱۰-۴ نتایج اجرای الگوریتم‌های CCSDP و DP روی تصویر Barn2..... ۸۵

جدول ۱۱-۴ اجرای الگوریتم‌های CCSDP و DP روی تصویر Poster..... ۸۷

جدول ۱۲-۴ اجرای الگوریتم‌های CCSDP و DP روی تصویر Venus..... ۸۹

## کوتاه‌نوشت‌ها

CCD	Charged Couple Device
CCS	Color Chain Stereo
CCSDP	Color Chain Stereo Dynamic Programming
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
CMU	Carnegie Mellon University
CT	Computed Tomography
DP	Dynamic Programming
GLCS	Gray Level Chain Stereo
GoG	Gradient of Gaussian
Log	Laplacian of Gaussian
LS	Line Segment
MSE	Mean Square Error
MRI	Magnetic Resonance Imaging
NCC	Normalized Cross Correlation
SAD	Sum of Absolute Difference
SSD	Sum of Squared Difference

## فصل اول

### مقدمه‌ای بر بینایی استریو

#### ۱-۱ مقدمه

بینایی استریو<sup>۱</sup>، بخش مهمی از سیستم بینایی انسان است. بر اساس تحقیقات زیادی که در زمینه بینایی ماشین روی ساختار سه بُعدی اشیاء انجام شده است [۱] مشخص شده که همانند انسان، دیدن اجسام به صورت سه بُعدی، کمک می‌کند که تصاویر ایجاد شده توسط کامپیوتر دارای واقعیت بصری بیشتری باشند [۲ و ۳ و ۴]. تکنیک‌های معمول استفاده‌ی 3D در بینایی ماشین، عملاً ۲/۵ بُعدی هستند، چرا که قسمت‌های دیده نشده‌ی اشیاء، نمی‌توانند با یک تک دید تجسم یابند [۵]. 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>۲</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 دوربین‌ها، مدل 3D صحنه را بازیابی کرد [۶ و ۷].

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

۱. شکل شیء سه بُعدی (اطلاعات هندسی)

<sup>1</sup> Stereo vision

<sup>2</sup> Edges

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

بازیابی نوع اول اطلاعات، یک مسئله‌ی نسبتاً پیچیده در بینایی ماشین است. تکنیک‌های معمول نوع اول عبارتند از: بازیابی شکل از سایه<sup>۱</sup>، بازیابی شکل از حرکت<sup>۲</sup> [۸]، بازیابی شکل از مرکز توجه<sup>۳</sup>، نمایش استریوی فتومتریکی<sup>۴</sup> و غیره [۹]. 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>۵</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>۶</sup> شناخته شده است [۱۰ و ۱۱ و ۱۲]. 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 دلایلی بر پیچیدگی مسئله‌ی تطابق استریو، می‌توان موارد زیر را نام برد:

۱. نویز<sup>۷</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.

<sup>۱</sup> Shape from shading

<sup>۲</sup> Shape from Motion

<sup>۳</sup> Shape from Focus

<sup>۴</sup> Photometric stereo

<sup>۵</sup> Depth

<sup>۶</sup> Stereo matching

<sup>۷</sup> Noise

۲. نواحی یکنواخت و فاقد بافت<sup>۱</sup>: این مشکل همچنین به عنوان مسئله‌ی شاتر یا دیافراگم<sup>۲</sup> معروف است. این شرط که نقاط متناظر باید از شدت روشنایی<sup>۳</sup> نسبتاً یکسانی 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 اشیاء 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 [۱۳]. 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 [۱۵ و ۱۶] از منبع نور اضافه و کنترل شده‌ای برای روشن کردن محیط کمک گرفته می‌شود، در حالیکه در روش‌های غیرفعال [۱۶] تنها از منبع نور موجود در محیط برای این منظور استفاده می‌شود. اگر چه

<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

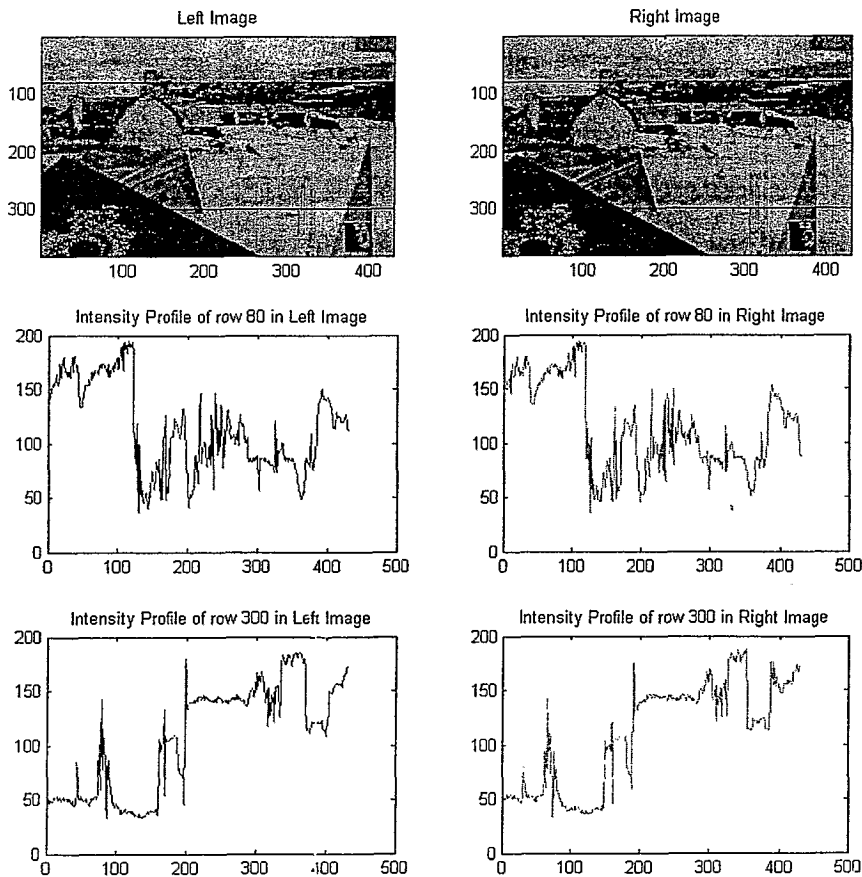
<sup>9</sup> Passive

<sup>10</sup> Active



روش فعال محاسبات ساختار صحنه را آسان می کند، ولی استفاده از آن همیشه عملی و امکان پذیر نیست، مخصوصاً برای اشیای دور و دارای حرکت سریع. علاوه بر این، تکنیک های رایج فعال مثل اسکن کردن لیزری محدوده، خیلی گران و پرهزینه هستند و نسبت به تکنیک های غیر فعال متناظرشان کندترند. با وجود این، بهترین روش های فعال معمولاً بازسازی دقیق تری نسبت به تکنیک های غیر فعال دارند. از مهمترین تکنیک های غیر فعال می توان 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 می دهد که در راستای افقی دارای مقداری جابجاشدگی هستند. با محاسبه ی این جابجاشدگی به ازای هر پیکسل این تصویر، می توان عمق آن پیکسل را بدست آورد. در این شکل، دو خط سیاه، سطرهای ۸۰ و ۳۰۰ را در هر دو تصویر استریو نشان می دهد. چهار تصویر بعدی که در زیر آن قرار گرفته اند، به ترتیب منحنی شدت روشنایی سطرهای ۸۰ و ۳۰۰ در هر دو تصویر را نشان می دهند.



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

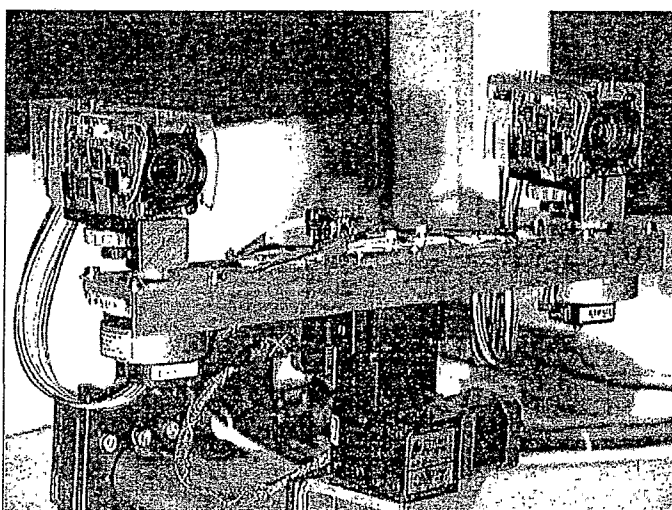
با توجه به منحنی شدت روشنایی، در هر یک از این خطوط تصویر، شدت روشنایی هر دو تصویر کاملاً به هم مشابه است ولی دارای میزانی جابجاشدگی است که در واقع همان اختلاف مکانی است.

## ۲-۱ 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.

### ۱-۲-۱ نحوه‌ی قرارگیری دوربین‌های استریو

تصویر برداری استریو معمولاً توسط دو دوربین کاملاً مشابه از لحاظ خواص لنز و سنسور تصویر برداری انجام می‌شود [۱۷]. نصب دو دوربین به گونه‌ای صورت می‌گیرد که صفحات تصویر برداری کاملاً 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 دوربین‌های 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

<sup>۱</sup> Calibration

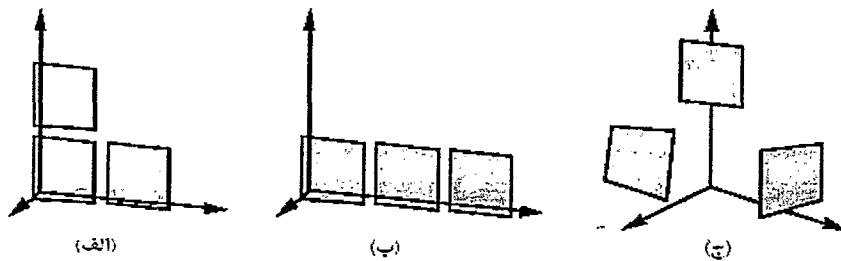
<sup>۲</sup> Aspect Ratio

<sup>۳</sup> Translation

از دوربین‌ها به طور مجزا لازم است، بلکه پارامترهایی که روابط هندسی بین دوربین‌ها را مشخص می‌کند نیز مطلوب هستند. تکنیک کالیبراسیون معرفی شده توسط یاکیموفسکی<sup>۱</sup> و کانینگام<sup>۲</sup> در سال ۱۹۷۸ [۱۸]، یکی از اولین روش‌های کالیبراسیون دوربین‌های استریو است.

در الگوریتم‌های تطابق استریو، گاهی ممکن است در تصویر دوم برای یک نقطه، چندین مطابق 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.

یک دیدگاه متفاوت برای از بین بردن ابهام در تطابق استریو، استفاده از بیش از دو تصویر استریو است. الگوریتم‌های استریویی وجود دارند که از سه تصویر<sup>۳</sup>، چهار تصویر<sup>۴</sup>، و حتی تا هشت تصویر، برای تطابق استفاده کرده‌اند [۱۹]، و تحت عنوان الگوریتم‌های چند هسته‌ای<sup>۵</sup> شناخته می‌شوند [۲۰]. معمولترین این الگوریتم‌ها، الگوریتم‌های استریو با سه تصویر استریو یا الگوریتم‌های trinocular است [۲۱]. در این روش‌ها، سه ترتیب قرار گیری مختلف برای دوربین‌ها وجود دارد که در شکل (۳-۱) آمده است.



شکل (۳-۱). سه نحوه‌ی قرارگیری سه دوربین استریو. (الف) روش مثلثی (ب) روش خطی (ج) روش غیرخطی "آزاد"

در ترتیب‌های قرارگیری مثلثی (الف) و خطی (ب)، هر سه تصویر استریو در یک صفحه قرار دارند و بردارهای نوری<sup>۶</sup> آنها با هم موازی است. اشکال اصلی ترتیب خطی دوربین‌های استریو، اینست که ابهاماتی که در تحلیل تطابق نتیجه می‌شوند، در حالت کلی قابل حل نیستند. بر خلاف آن، در ترتیب مثلثی لبه‌ها می‌توانند مستقل از جهتشان در تصویر، تطابق پیدا کنند و در این روش چنین ابهاماتی ایجاد نخواهد شد. یک تطابق استریوی ساده

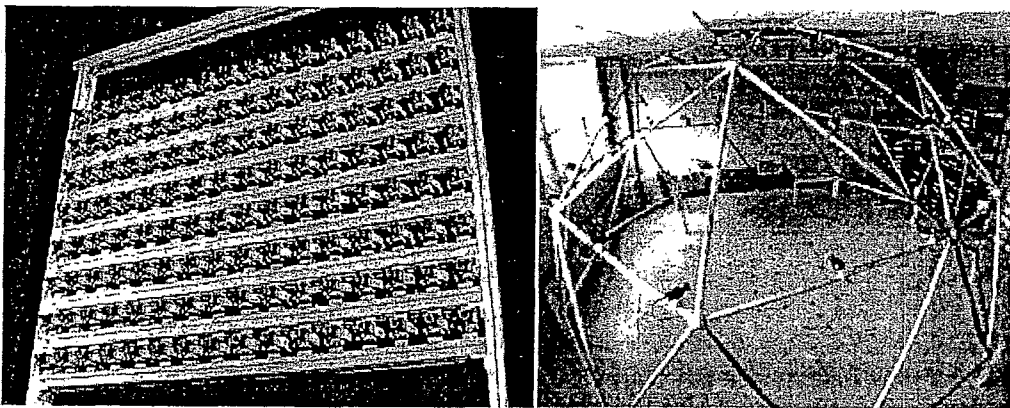
<sup>۱</sup> Yakimovsky  
<sup>۲</sup> Cunningham  
<sup>۳</sup> Trinocular  
<sup>۴</sup> Tetranocular  
<sup>۵</sup> Polynocular  
<sup>۶</sup> Optical

نیز، بر اساس پیکربندی (ج) امکان پذیر است که نحوه‌ی قرار گیری دوربین‌ها به صورت غیر خطی و نسبتاً آزادانه انتخاب می‌شود.

در حقیقت، وقتی از سه تصویر استریو استفاده می‌کنیم، فقط دو استراتژی در تحلیل تطابق تشخیص داده می‌شود. استراتژی اول اینست که فقط در صورتی پیکسل‌ها را مطابق در نظر می‌گیریم که در هر سه تصویر، مطابقتشان یافت شود. استراتژی دیگر اینست که پیکسل‌ها فقط در صورتی مطابق با همند که حداقل در دو تصویر مطابق هم باشند.

این روش‌ها هر چند دقت نتایج بدست آمده از الگوریتم را تا حدی افزایش می‌دهند، ولی سرعت محاسباتی را بسیار کم کرده و اجرای الگوریتم را بسیار کند می‌کنند، بنابراین در کاربردهای واقعی که سرعت اجرا اهمیت بسیار زیادی پیدا می‌کند، کاربرد زیادی نخواهند داشت.

در شکل (۴-۱) نمونه‌ای از سیستم‌های تصویر برداری استریو نشان داده شده است که از تعداد زیادی دوربین استریو، برای تصویر برداری استفاده می‌کنند. در قسمت (الف) این شکل، آرایه‌ای از ۱۲۸ دوربین CMOS قرار گرفته که متعلق به دانشگاه استنفورد<sup>۱</sup> می‌باشند. شکل (ب)، شامل ۵۱ دوربین ویدئویی است که بر روی گنبدی با ۵ متر قطر قرار گرفته و ساخت دانشگاه CMU می‌باشد.



(الف)

(ب)

شکل (۴-۱). نمونه‌هایی از نحوه‌ی قرار گیری دوربین‌های استریو

### ۲-۲-۱ 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

<sup>۱</sup> Stanford