تاریخ: ۱۴۰۱/۰۹/۲۶

شماره: ۳۴۵۷/ص

پیوست: دارد

بسمه تعالی

معاونان محترم پژوهش و فناوری دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزش عالی تحت پوشش وزارت عتف

با سلام و احترام

اخیراً کتاب «**بینایی ماشین یک رویکرد سخت‌افزاری/ نرم‌افزاری**» تألیف جناب آقای دکتر قادر کریمیان خسروشاهی و سرکار خانم دکتر مریم شعاران و ویرایش دوم کتاب «**زمین‌شناسی عمومی برای جغرافیا**» تألیف آقای دکتر محمدحسین رضائی مقدم و دکتر محسن مؤید، توسط انتشارات دانشگاه تبریز به زیور طبع آراسته شده است. به پیوست طرح روی جلد و صفحات مقدماتی این کتاب جهت اطلاع رسانی و بهره‌برداری لازم تقدیم می‌شود. امید است این اثر یاری‌رسان استادان، دانشجویان و پژوهشگران باشد.

لطفاً دستور فرمایید در صورت درخواست نسخه‌هایی از این عنوان، با شماره تلفن‌های ۰۴۱۳۳۳۴۲۵۶۲ و ۳۳۳۹۲۶۶۹ تماس حاصل شود. همچنین امکان خریداری کتاب بینایی ماشین از طریق وب سایت https://gkarimian.ir نیز فراهم می باشد.

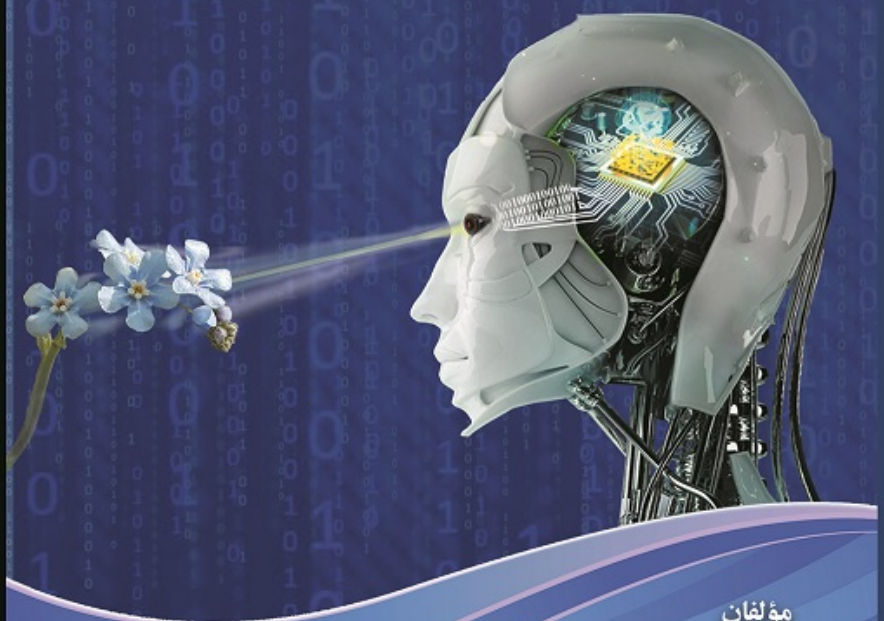
دکتر جلال شیری

معاون پژوهش و فناوری دانشگاه تبریز

آدرس : تبریز، بلوار ۲۹ بهمن، دانشگاه تبریز، حوزه ریاست
تلفن: ۶۳۰ ۹۳ ۳۳۳ - ۰۴۱ | نمابر: ۲۷۳ ۴۴ ۳۳۳ - ۰۴۱ | کدپستی: ۵۱۶۶۱۶۴۷۱
وبسایت: www.tabrizu.ac.ir ایمیل: chancellery@tabrizu.ac.ir

بینایی ماشین

یک رویکرد سخت‌افزاری / نرم‌افزاری



مؤلفان

دکتر قادر کریمیان خسروشاهی

دانشیار گروه مهندسی برق-الکترونیک دانشگاه تبریز

دکتر مریم شعاران

دانشیار گروه مندسی کامپیوتر دانشگاه تبریز

دانشگاه تبریز

۸۱۲

بینایی ماشین (یک رویکرد سخت‌افزاری/ نرم‌افزاری) دکتر قادر کریمیان خسروشاهی، دکتر مریم شعاران

Computer Vision:

A Hardware/Software Approach

University of Tabriz

این کتاب یک سیر صعودی را در زمینهٔ بینایی ماشین و با معرّفی سنسورهای تصویربرداری، شیوه های رایج پردازش تصاویر، روش‌های توصیف ویژگی سراسری- منطقه‌ای- محلّی، هندسهٔ اپیولار، تحلیل حرکت سه‌بعدی، تعیین موقعیّت دوربین در فضا و سرووبینایی، یادگیری ویژگی‌ها و یادگیری عمیق، روش‌های پیاده‌سازی الگوریتم‌های بینایی ماشین بر روی پردازنده‌های معمولی و پردازنده‌های گرافیکی طی می‌نماید و می‌تواند هم به عنوان یک کتاب درسی و هم یک کتاب مرجع در حوزهٔ بینایی ماشین، تلقّی و استفاده شود. علاوه بر تجربهٔ نویسندگان در تالیف این کتاب از منابع روز دنیا نیز استفاده شده است.

Dr. Ghader Karimian Khosroshahi

Associate Professor, Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Tabriz

Dr. Maryam Shoaran

Associate Professor, Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Tabriz

۹۷۸-۶۲۲-۷۷۱۱-۱۵-۸

9 786227 711158

بسم الله الرحمن الرحیم

بینایی ماشین

یک رویکرد سخت‌افزاری/نرم‌افزاری

مولفان:

دکتر قادر کریمیان خسروشاهی

دانشیار گروه مهندسی برق-الکترونیک دانشگاه تبریز

دکتر مریم شعاران

دانشیار گروه مهندسی کامپیوتر دانشگاه تبریز

انتشارات دانشگاه تبریز

تبریز–۱۴۰۱

سرشناسه : کریمیان خسروشاهی، قادر، ۱۳۵۵-
عنوان و نام پدیدآور : بینایی ماشین یک رویکرد سخت‌افزاری/نرم‌افزاری / تالیف قادر کریمیان خسروشاهی، مریم شعاران؛ ویراستار ادبی محمد طاهری خسروشاهی.
مشخصات نشر : تبریز: دانشگاه تبریز، انتشارات، ۱۴۰۱.
مشخصات ظاهری : ۸۳۱ص.: جدول
فروست : انتشارات دانشگاه تبریز؛ ۸۱۲
شابک : ۱۸۰۰۰۰۰ ریال ۸-۱۵-۷۷۱۱-۶۲۲-۹۷۸
وضعیت فهرست‌نویسی : فیپا
یادداشت : کتابنامه.
موضوع : بینایی ماشین
Computer vision
بینایی ماشین -- برنامه‌نویسی
Computer vision -- Programing
عکس‌پردازی
Image processing
عکس‌پردازی -- نرم‌افزار
Image processing -- Software
نرم‌افزار کاربردی
Application software
شناسه افزوده : شعاران، مریم، ۱۳۵۱-
شناسه افزوده : دانشگاه تبریز. انتشارات
رده بندی کنگره :TA ۱۶۳۲
رده بندی دیویی : ۶۲۱/۳۶۷
شماره کتابشناسی ملی : ۸۸۹۳۱۶۴
اطلاعات رکورد کتابشناسی : فیپا

بینایی ماشین: یک رویکرد سخت‌افزاری/ نرم‌افزاری

تألیف: دکتر قادر کریمیان خسروشاهی- دکتر مریم شعاران
ویراستاری ادبی: دکتر محمد طاهری خسروشاهی
ناشر و فروست: انتشارات دانشگاه تبریز؛ ۸۱۲
تاریخ و نوبت چاپ: خرداد ۱۴۰۱- اول
شمارگان: ۵۰۰ نسخه
شابک: ۸-۱۵-۷۷۱۱-۶۲۲-۹۷۸
قیمت: ۱۸۰۰۰۰۰ ریال
طراح جلد: فرهود پورنجف
سایت: https://pprs.tabrizu.ac.ir
لیتوگرافی، چاپ و صحافی: اداره چاپ دانشگاه تبریز

این اثر مشمول قانون حمایت از مؤلفان و مصنفان و هنرمنـــدان مصوب ۱۳۴۸ است. هر شخص حقیقی یا حقوقی که تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه ناشر منتشر، پخش، عرضه، تکثیر یا تجدید چاپ نماید مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

نشانی: تبریز ـ بلوار ۲۹ بهمن ـ دانشگاه تبریز ـ تلفن : ۰۴۱۳۳۳۹۵۰۰۱ و ۰۴۱۳۳۳۹۲۶۵۵
نمابر: ۰۴۱۳۳۲۹۴۱۱۹ آدرس پست الکترونیکی: publication@tabrizu.ac.ir

فهرست مطالب

پیشگفتار ص

فصل اول: تشکیل تصویر ۱

۱-۱ فرایند تشکیل تصویر ۱

۱-۱-۱ فرایند تشکیل تصویر در دوربین روزنه‌ای ۲

۱-۱-۲ فرایند تشکیل تصویر در دوربین متشکّل از عدسی ۴

۱-۲ مسائل موجود در سیستم‌های مبتنی بر عدسی ۱۱

۱-۲-۱ انواع عدسی ۱۱

۱-۲-۲ فوکوس یا واضح‌سازی دستی در عدسی‌ها ۱۲

۱-۲-۳ فوکوس یا واضح‌سازی خودکار ۱۴

۱-۲-۴ عمق میدان وضوح یا DoF ۱۵

۱-۲-۵ محدودهٔ دید دوربین یا FoV ۲۱

۱-۲-۶ اعوجاج عدسی ۲۳

۱-۲-۷ اعوجاج شعاعی ۲۳

۱-۲-۸ اعوجاج مُماسی ۲۶

۱-۲-۹ اعوجاج رنگی ۲۷

۱-۲-۱۰ توزیع غیریکنواخت نور در صفحهٔ تصویر ۲۷

۱-۲-۱۱ سرعت باز و بسته شدن مسدودکنندهٔ دوربین برحسب ثانیه ۲۸

۱-۲-۱۲ زمان نورپردازی ۲۹

۱-۲-۱۳ حسگر دوربین ۳۰

۱-۲-۱۴ دوربین CCD ۳۰

۱-۲-۱۵ مشکل اشباع پیکسل‌ها در دوربین‌های CCD ۳۷

۱-۲-۱۶ دوربین CMOS ۳۸

۱-۲-۱۷ مقایسهٔ دوربین‌های CCD و CMOS ۴۲

۱-۳ نمونه‌برداری از تصویر ۴۳

۱-۳-۱ رزولوشن مکانی ۴۴

۱-۳-۲ انتخاب نرخ نمونه‌برداری ۴۹

۱-۳-۳ رزولوشن زمانی ۵۰

۱-۳-۴ رزولوشن شدّت روشنایی ۵۱
۱-۴ انواع دوربین‌ها برحسب سیگنال خروجی ۵۳
۱-۴-۱ دوربین‌های با سیگنال خروجی آنالوگ ۵۳
۱-۴-۲ سیگنال ویدیویی متقاطع ۵۵
۱-۴-۳ محاسبه پهنای باند سیگنال ویدیویی با استاندارد NTSC ۵۶
۱-۴-۴ سیگنال ویدیویی تصاعدی ۵۷
۱-۴-۵ سیگنال ویدیویی مرکّب ۵۷
۱-۴-۶ سیگنال ویدیویی مؤلّفه‌ای ۵۷
۱-۴-۷ دوربین‌های با سیگنال خروجی دیجیتال ۵۸
۱-۵ ساختمان داخلی یک دوربین تک رنگ ۵۹
۱-۵-۱ بلوک کنترل بهرهٔ خوکار AGC ۶۰
۱-۵-۲ مدارات لازم برای افزودن پالس‌های هم‌زمانی افقی و عمودی به سیگنال ویدیویی ۶۰
۱-۵-۳ بلوک اصلاح گاما ۶۰
۱-۵-۴ بلوک فیلتر بالاگذر ۶۱
۱-۵-۵ تبدیل سیگنال آنالوگ تصویر به دیجیتال ۶۱
۱-۶ ساختمان داخلی یک دوربین رنگی ۶۱
۱-۶-۱ بلوک تراز سفیدی ۶۳
۱-۷ هندسهٔ سیستم تصویربرداری ۶۴
۱-۷-۱ تبدیل از دستگاه مختصات دوربین به دستگاه مختصات تصویری با وجود اعوجاج دوربین ۷۲
۱-۸ ارتباط بین دوربین آنالوگ و کامپیوتر ۷۷
۱-۹ انواع روش‌های اخذ تصویر در دستگاه‌های اخذ فریم ۸۲
۱-۹-۱ اخذ تصویر به صورت استاندارد ۸۲
۱-۹-۲ اخذ تصویر بدون تأخیر با استفاده از دوربین با قابلیت ریست آسنکرون ۸۴
۱-۹-۳ اخذ تصویر به روش volatile ۸۵
۱-۹-۴ اخذ تصویر به صورت بلادرنگ ۸۶
۱-۹-۵ اخذ تصویر به صورت پیوسته و پشت‌سرهم ۸۷
۱-۱۰ اخذ و پردازش بلادرنگ تصاویر ویدیویی در محیط‌های صنعتی ۸۹

۱-۱۰-۱ اخذ و پردازش تصاویر به صورت بلادرنگ در دستگاه‌های نهفته ۸۹
۱-۱۰-۲ ارتباط با دستگاه‌های ورودی/خروجی در سیستم عامل لینوکس ۹۰
۱-۱۰-۳ اخذ تصویر به صورت بلادرنگ از یک دستگاه دوربین ۹۲
۱-۱۰-۴ دریافت تک بافرهٔ فریم از دوربین به صورت سنکرون با استفاده از V4L2 ۹۲
۱-۱۰-۵ دریافت چند بافرهٔ فریم از دوربین با استفاده از امکانات چندبافره در V4L2 ۹۸
۱-۱۱ اخذ و پردازش تصاویر به صورت بلادرنگ در سخت افزارهای مبتنی بر FPGA ۱۰۶
۱-۱۱-۱ پردازش تصاویر ویدیویی در FPGA با روش بافر سطری تصویر ۱۱۳
۱-۱۲ اخذ و پردازش تصاویر به صورت بلادرنگ در سخت افزارهای مبتنی بر GPU ۱۱۴

فصل دوم: فیلتر کردن تصاویر ۱۱۷
۲-۱ فیلتر کردن تصاویر در حوزه مکان ۱۲۴
۲-۱-۱ کانولوشن خطی دو سیگنال ۱۲۴
۲-۱-۲ همبستگی خطی دو سیگنال ۱۲۵
۲-۱-۳ اعمال کلیشه به یک تصویر ۱۲۶
۲-۱-۴ نحوهٔ اعمال کلیشه بر روی پیکسل‌های مرزی تصویر ۱۲۸
۲-۱-۵ استفاده از معادلهٔ همبستگی برای محاسبهٔ کانولوشن ۱۳۰
۲-۲ فیلترهای رایج تصویری ۱۳۱
۲-۲-۱ فیلتر هموارساز و یا میانگین‌گیر ۱۳۱
۲-۲-۲ فیلتر هموارساز گوسین ۱۳۴
۲-۳ تطبیق الگو در حوزهٔ مکان ۱۳۷
۲-۴ فیلتر کردن تصاویر در حوزهٔ فرکانس ۱۳۹
۲-۴-۱ نمایش سیگنال در حوزهٔ فرکانس با استفاده از تحلیل فوریه ۱۴۰
۲-۴-۲ تبدیل فوریهٔ گسستهٔ دوبعدی ۱۵۵
۲-۴-۳ فیلتر کردن در حوزهٔ فرکانس با استفاده از تبدیل فوریهٔ دوبعدی ۱۵۷

۲-۵ فیلترهای مشتق‌گیر ۱۶۴
۲-۵-۱ نقطهٔ لبه ۱۶۴
۲-۵-۲ آشکارسازی لبه با استفاده از مشتق مرتبهٔ اوّل ۱۶۷
۲-۵-۳ آشکارسازی لبه با استفاده از مشتق مرتبهٔ دوّم ۱۷۹

فصل سوم: تبدیلات هندسی تصویر ۱۸۵
۳-۱ مختصات همگن ۱۸۶
۳-۲ عملگر هندسی ۱۹۰
۳-۲-۱ اعمال عملگر هندسی به روش نگاشت مستقیم ۱۹۱
۳-۲-۲ اعمال عملگر هندسی به روش نگاشت معکوس ۱۹۲
۳-۳ درون‌یابی ۱۹۴
۳-۳-۱ درون‌یابی نزدیکترین همسایگی ۱۹۵
۳-۳-۲ درون‌یابی مرتبهٔ اوّل ۱۹۶
۳-۴ برخی از تبدیلات هندسی رایج ۱۹۸
۳-۴-۱ تبدیل انتقال ۱۹۸
۳-۴-۲ تبدیل چرخش ۱۹۹
۳-۴-۳ تبدیل مقیاس ۱۹۹
۳-۴-۴ تبدیل چرخش با مقیاس ۲۰۰
۳-۴-۵ تبدیل صلب یا اقلیدسی ۲۰۰
۳-۴-۶ تبدیل همسان ۲۰۱
۳-۴-۷ تبدیل افاین ۲۰۱
۳-۴-۸ تبدیل پرسپکتیو یا افکنشی یا هموگرافی ۲۰۲

فصل چهارم: استخراج ویژگی‌ها در تصویر ۲۰۵
۴-۱ یافتن نقاط لبه با استفاده از الگوریتم کنی ۲۰۵
۴-۲ استخراج پاره‌خط‌های تصویر ۲۱۶
۴-۲-۱ استخراج پاره‌خط‌ها با استفاده از کانتور لبه‌ها ۲۱۶
۴-۳ تبدیل هاف ۲۱۸
۴-۳-۱ تعیین خطوط مستقیم با استفاده از تبدیل هاف در دستگاه مختصّات کارتزین ۲۱۹
۴-۳-۲ تعیین خطوط مستقیم با استفاده از تبدیل هاف در دستگاه ۲۲۱

مختصّات قطبی
۴-۳-۳ استخراج دایره با استفاده از تبدیل هاف در دستگاه مختصات کارتزین ۲۲۳
۴-۴ استخراج نقاط گوشه ۲۲۴
۴-۵ فضای مقیاس ۲۳۰
۴-۵-۱ نمایش تابع گوسین در حالت تک بعدی ۲۳۰
۴-۵-۲ نمایش تابع گوسین دو بعدی ۲۳۰
۴-۵-۳ فضای مقیاس گوسین ۲۳۱
۴-۵-۴ تشخیص نقاط لبه در فضای مقیاس با استفاده از مشتق مرتبهٔ اوّل ۲۳۱
۴-۵-۵ تشخیص نقاط لبه در فضای مقیاس با استفاده از مشتق مرتبهٔ دوّم ۲۳۳
۴-۵-۶ تشخیص نواحی جعبه مانند ۲۳۴
۴-۶ نقاط ویژگی گوشه در فضای مقیاس ۲۳۹
۴-۷ آشکارساز هریس-لاپلاس ۲۴۲
۴-۸ آشکارساز لاپلاسین گوسین و هسین-لاپلاس ۲۴۵
۴-۹ آشکارساز تفاضل گوسین ۲۴۷
۴-۱۰ ویژگی مقاوم در مقابل تغییرات مستوی ۲۵۱
۴-۱۱ توصیف نقاط ویژگی ۲۵۳
۴-۱۱-۱ پنجرهٔ پیرامون نقطهٔ ویژگی ۲۵۴
۴-۱۱-۲ تناظریابی نقاط ویژگی در تصویر ۲۵۵
۴-۱۲ ویژگی SIFT ۲۵۸
۴-۱۲-۱ فضای مقیاس گوسین پیوسته ۲۵۸
۴-۱۲-۲ فضای مقیاس گوسین گسسته ۲۵۹
۴-۱۲-۳ فضای مقیاس LoG/DoG ۲۶۲
۴-۱۲-۴ فضای مقیاس سلسله مراتبی ۲۶۴
۴-۱۲-۵ الگوریتم SIFT: تشکیل فضای مقیاس ۲۶۸
۴-۱۲-۶ الگوریتم SIFT: یافتن نقاط اکسترمم در فضای مقیاس DoG ۲۷۰
۴-۱۲-۷ الگوریتم SIFT: بهبود موقعیّت نقاط اکسترمم کاندید ۲۷۱
۴-۱۲-۸ الگوریتم SIFT: تعیین جهت به هر نقطهٔ اکسترمم ۲۷۴

۴-۱۲-۹ الگوریتم SIFT: محاسبه توصیف‌گر برای هر نقطه ویژگی ۲۷۸
۴-۱۲-۱۰ الگوریتم SIFT: بردار توصیف‌گر ۲۸۲
۴-۱۳ توصیف‌گر هیستوگرام گرادیان‌های جهت‌دار ۲۸۴
۴-۱۴ الگوریتم SURF ۲۸۵
۴-۱۴-۱ الگوریتم SURF: تشخیص نقاط ویژگی ۲۸۵
۴-۱۴-۲ الگوریتم SURF: تصاویر تجمّعی ۲۸۵
۴-۱۴-۳ الگوریتم SURF: نقاط ویژگی مبتنی بر ماتریس هسین ۲۸۶
۴-۱۴-۴ الگوریتم SURF: نمایش فضای مقیاس ۲۸۸
۴-۱۴-۵ الگوریتم SURF: تعیین مکان نقطهٔ ویژگی ۲۸۹
۴-۱۴-۶ الگوریتم SURF: تعیین جهت غالب ویژگی ۲۸۹
۴-۱۴-۷ الگوریتم SURF: تشکیل بردار ویژگی ۲۹۰

فصل پنجم: بینایی استریو ۲۹۳
۵-۱ سیستم بینایی استریوی ساده با دو دوربین ۲۹۳
۵-۲ سیستم بینایی استریوی با دو دوربین در حالت کلّی ۲۹۶
۵-۳ محدودیت‌های هندسی در تطابق استریو ۲۹۸
۵-۴ بخش‌های مختلف یک الگوریتم استریو ۳۰۰
۵-۵ انتخاب و استخراج اجزای تصاویر ۳۰۰
۵-۵-۱ الگوریتم‌های مبتنی بر ناحیه ۳۰۱
۵-۵-۲ الگوریتم‌های مبتنی بر ویژگی ۳۰۱
۵-۶ تطابق استریو ۳۰۲
۵-۶-۱ تطابق استریو مبتنی بر ناحیه ۳۰۲
۵-۶-۲ تطابق استریو مبتنی بر ویژگی ۳۰۴
۵-۷ مشکلات تطابق ۳۰۵

فصل ششم: بازسازی سه‌بعدی ۳۰۷
۶-۱ ماتریس ضروری ۳۰۷
۶-۲ ماتریس اساسی ۳۱۳
۶-۳ الگوریتمی برای محاسبهٔ ماتریس اساسی ۳۱۹
۶-۳-۱ انتخاب تعداد پیکسل‌های لازم برای محاسبهٔ ماتریس اساسی ۳۲۰

۶-۳-۲ نرمال‌سازی مختصات پیکسل‌ها در محاسبهٔ ماتریس اساسی ۳۲۱
۶-۳-۳ حذف پیکسل‌های اشتباه در محاسبهٔ ماتریس اساسی ۳۲۲
۶-۴ الگوریتمی برای محاسبهٔ ماتریس ضروری ۳۲۳
۶-۵ استخراج چرخش و انتقال بین دو دوربین با استفاده از ماتریس ضروری ۳۲۳
۶-۶ بازسازی سه‌بعدی به روش مثلث‌بندی ۳۲۶

فصل هفتم: تحلیل حرکت ۳۲۹
۷-۱ بردارهای حرکت سه‌بعدی ۳۳۱
۷-۲ مدل‌های حرکتی دوبعدی متناظر با حرکت‌های رایج دوربین ۳۳۶
۷-۲-۱ جابجایی دوربین در راستای محورهای X و Y ۳۳۷
۷-۲-۲ چرخش دوربین در راستای محورهای X و Y ۳۳۸
۷-۲-۳ زوم دوربین ۳۳۹
۷-۲-۴ چرخش دوربین در راستای محور Z ۳۳۹
۷-۲-۵ مدل حرکت با چهار پارامتر ۳۴۰
۷-۲-۶ مدل‌های حرکتی دو بعدی متناظر با حرکت کلّی دوربین ۳۴۰
۷-۲-۷ نگاشت افکنشی ۳۴۲
۷-۲-۸ مدل حرکت افاین ۳۴۳
۷-۳ تخمین بردارهای حرکت دو بعدی ۳۴۴
۷-۴ تخمین بردارهای حرکت دو بعدی با استفاده از روش شار نوری ۳۴۴
۷-۴-۱ مسألهٔ روزنه در محاسبهٔ شار نوری ۳۴۵
۷-۴-۲ محاسبهٔ شار نوری به روش لوکاس و کاناد ۳۴۶
۷-۴-۳ محاسبهٔ شار نوری به روش لوکاس و کاناد تکراری ۳۴۸
۷-۴-۴ الگوریتم لوکاس و کاناد تعمیم یافته ۳۵۳
۷-۴-۵ محاسبهٔ شار نوری به روش هورن و شانک ۳۵۶
۷-۴-۶ نقد روش‌های شار نوری ۳۵۷
۷-۵ استخراج بردارهای سرعت با استفاده از نقاط ویژگی در دو تصویر ۳۵۷
۷-۵-۱ استفاده از روش شار نوری ثابت برای دنبال کردن نقاط ویژگی در دو تصویر متوالی ۳۵۸
۷-۶ استخراج بردارهای سرعت با استفاده از دنبال کردن نقاط ویژگی در سلسله تصاویر متوالی ۳۵۹

۷-۶-۱ دنبال کردن نقاط ویژگی در سلسله تصویر متوالی با استفاده از فیلتر کالمن ۳۵۹
۷-۶-۲ دنبال کردن نقاط ویژگی در سلسله تصویر متوالی با استفاده از فیلتر ذرّه‌ای ۳۶۵
۷-۷ حرکت جسم صلب با استفاده از جبر لی ۳۷۲
۷-۷-۱ تعریف حرکت جسم صلب یا تبدیل اقلیدسی خاص ۳۷۳
۷-۷-۲ حرکت چرخشی و نمایش آن با ماتریس‌های متعامد ۳۷۵
۷-۷-۳ حرکت کلّی جسم صلب و نمایش آن ۳۸۲
۷-۷-۴ تخمین مستقیم حرکت دوربین با استفاده از جبر لی ۳۸۸
۷-۸ بخش‌بندی تصویر مبتنی بر حرکت ۳۹۱

فصل هشتم: تعیین موقعیّت دوربین در فضا ۴۰۱
۸-۱ تخمین موقعیّت با استفاده از مدل سه‌بعدی ۴۰۱
۸-۱-۱ تخمین موقعیّت با استفاده از مدل سه‌بعدی مشخص ۴۰۳
۸-۱-۲ الگوریتم P3P برای تخمین موقعیّت با استفاده از سه نقطه ۴۰۶
۸-۱-۳ الگوریتم PnP برای تخمین موقعیّت با استفاده از N نقطه ۴۰۶
۸-۱-۴ روش پرسپکتیو n نقطهٔ هندسی و ساده (GSPnP) ۴۱۰
۸-۱-۵ روش تکراری نیوتن- رافسن ۴۱۶
۸-۲ تخمین موقعیّت با استفاده از مدل از پیش تعیین شده: تعیین موقعیّت و ایجاد نقشهٔ همزمان ۴۱۸
۸-۳ تخمین موقعیّت در محیط‌های مسطّح ۴۲۳
۸-۳-۱ تخمین حرکت با استفاده از نقاط متناظر ۴۲۳
۸-۳-۲ تخمین حرکت با استفاده از تعریف زاویهٔ فضایی ۴۲۴

فصل نهم: سروبینایی ۴۲۹
۹-۱ معماری‌های مختلف سروبینایی ۴۳۰
۹-۲ کنترل سرو مبتنی بر مکان ۴۳۱
۹-۲-۱ طراحی کنترلر حرکت ۴۳۴
۹-۳ کنترل سرو مبتنی بر تصویر ۴۳۶
۹-۴ کنترل سروبینایی ۲/۵ بعدی ۴۴۲

فصل دهم: کالیبراسیون دوربین ۴۴۹
۱۰-۱ روش کالیبراسیون تسای ۴۵۲
۱۰-۲ روش کالیبراسیون ژانگ ۴۶۰
۱۰-۳ هموگرافی ۴۶۵

فصل یازدهم: تصویربرداری رنگی ۴۶۹
۱۱-۱ ادراک نور ۴۷۱
۱۱-۲ سیستم رنگ ۴۷۳
۱۱-۳ جزئیّات بیشتر آزمایش‌های تطبیق رنگ ۴۷۵
۱۱-۴ منحنی کروماتیسیتی ۴۷۶
۱۱-۵ مقایسهٔ رنگ‌ها ۴۷۸
۱۱-۶ انواع فضاهای رنگ ۴۷۹
۱۱-۷ فضای رنگ RGB ۴۷۹
۱۱-۸ فضای رنگ RGB نرمالیزه ۴۸۲
۱۱-۹ فضای رنگ sRGB ۴۸۳
۱۱-۱۰ فضاهای رنگ دیگر ۴۸۴
۱۱-۱۱ فضای رنگ HSI ۴۸۵
۱۱-۱۲ فضای رنگ HSV ۴۹۱
۱۱-۱۳ فضاهای رنگی از نظر ادراکی یکنواخت ۴۹۷
۱۱-۱۴ فضاهای رنگ به کار رفته در تلویزیون‌های رنگی ۴۹۹
۱۱-۱۵ سیگنال مرکّب ویدیویی ۵۰۳
۱۱-۱۶ سیگنال HDTV ۵۰۴

فصل دوازدهم: بخش‌بندی تصویر ۵۰۵
۱۲-۱ بخش‌بندی تصویر به روش آستانه‌ای نمودن تصویر ۵۰۷
۱۲-۱-۱ آستانه‌ای نمودن سراسری تصویر ۵۱۷
۱۲-۱-۲ آستانه‌ای نمودن تطبیقی ۵۲۰
۱۲-۱-۳ آستانه‌ای نمودن به روش پسماند ۵۲۱
۱۲-۱-۴ آستانه‌ای نمودن چندسطحی ۵۲۲
۱۲-۲ بخش‌بندی تصویر با استفاده از مدل‌های تغییر شکل دهنده ۵۲۲

۱۲-۲-۱ بخش‌بندی تصویر با استفاده از روش کانتور فعّال یا مارپیچ ۵۲۳
۱۲-۲-۲ بخش‌بندی تصویر با استفاده از روش سطح تراز ۵۲۸
۱۲-۳ بخش‌بندی تصویر مبتنی بر ناحیه ۵۳۱
۱۲-۳-۱ بخش‌بندی تصویر به روش رشد نواحی ۵۳۳
۱۲-۳-۲ بخش‌بندی تصویر به روش تقسیم و ادغام نواحی ۵۳۶
۱۲-۴ بخش‌بندی تصویر به روش خوشه‌بندی تصویر ۵۳۷
۱۲-۴-۱ بخش‌بندی تصویر با استفاده از الگوریتم میانگین K ۵۳۸
۱۲-۴-۲ بخش‌بندی تصویر با استفاده از الگوریتم جابه‌جایی میانگین ۵۴۰
۱۲-۵ بخش‌بندی تصویر مبتنی بر بافت ۵۴۵

فصل سیزدهم: دسته‌بندی تصویر ۵۴۹
۱۳-۱ مفاهیم پایه ۵۴۹
۱۳-۱-۱ تشخیص، شناسایی و اثبات ۵۴۹
۱۳-۱-۲ دسته‌بندی کننده‌ها، توابع متمایزگر و مرزهای تصمیم‌گیری ۵۵۱
۱۳-۱-۳ خطا، زیان و ریسک ۵۵۲
۱۳-۱-۴ خطای آموزش، خطای آزمون و خطای واقعی ۵۵۳
۱۳-۱-۵ موازنه بین بایاس و واریانس ۵۵۴
۱۳-۱-۶ روش مبتنی بر جدا گذاشتن نمونه‌ها و اعتبارسنجی متقابل ۵۵۶
۱۳-۱-۷ انتخاب و تنظیم مدل ۵۵۶
۱۳-۱-۸ ارزیابی خروجی دسته‌بندی کننده‌ها ۵۵۷
۱۳-۲ شناسایی آماری الگو ۵۶۱
۱۳-۲-۱ قانون بیز ۵۶۱
۱۳-۲-۲ قضیهٔ تصمیم‌گیری بیزین ۵۶۴
۱۳-۲-۳ نمایش پارامتری و بدون پارامتر ۵۶۸
۱۳-۲-۴ چگالی‌های گوسین ۵۷۳
۱۳-۳ دسته‌بندی با استفاده از مدل‌های مولّد ۵۷۵
۱۳-۳-۱ هیستوگرام ۵۷۶
۱۳-۳-۲ تخمین چگالی هسته ۵۷۸
۱۳-۳-۳ نزدیکترین همسایگی ۵۸۱
۱۳-۳-۴ روش بیز ساده ۵۸۱

۱۳-۳-۵ تجزیه به مؤلّفه‌های اصلی ۵۸۳
۱۳-۴ دسته‌بندی با استفاده از روش‌های افتراقی ۵۹۰
۱۳-۴-۱ توابع افتراقی خطی ۵۹۰
۱۳-۴-۲ تابع افتراقی خطی فیشر ۵۹۲
۱۳-۴-۳ پرسپترون ۵۹۴
۱۳-۴-۴ دسته‌بندی کننده‌های با حاشیهٔ بیشینه ۵۹۸
۱۳-۴-۵ ماشین بردار پشتیبان ۵۹۹
۱۳-۴-۶ شبکه‌های عصبی ۶۰۷
۱۳-۴-۷ جنگل‌های تصادفی ۶۱۱
۱۳-۴-۸ دسته‌بندهای آبشاری ۶۱۲
۱۳-۴-۹ مدل مبتنی بر اجزای تغییر شکل دهنده (DPM) ۶۱۳
۱۳-۴-۱۰ شبکه‌های عصبی عمیق ۶۱۵

فصل چهاردهم: پیاده‌سازی الگوریتم‌های بینایی ماشین بر روی پردازنده‌های گرافیکی ۶۱۹

۱۴-۱ چندپردازندهٔ جریانی ۶۱۹
۱۴-۲ مقدمه‌ای بر نرم‌افزار کودا ۶۳۰
۱۴-۲-۱ نحوهٔ پیاده‌سازی سخت‌افزاری برنامهٔ ضرب ۶۳۱
۱۴-۳ ساختار سلسله مراتبی حافظه ۶۳۴
۱۴-۳-۱ پیشوندهای توصیف‌گر توابع ۶۴۲
۱۴-۳-۲ توابع API زبان کودا برای کار با حافظه ۶۴۳
۱۴-۴ موانع موجود در راه موازی‌سازی و حالت‌های رقابت ۶۴۴
۱۴-۴-۱ خواندن، تغییر دادن و نوشتن ۶۴۶
۱۴-۴-۲ استفاده از موانع در سطح بلوک ۶۴۹
۱۴-۴-۳ دستورات اتمی ۶۵۱
۱۴-۴-۴ بانک‌های حافظهٔ موازی و تلاقی‌های مربوطه ۶۵۲
۱۴-۵ اصطلاحات پایه در نرم‌افزار کودا ۶۵۵
۱۴-۵-۱ اندیس‌دهی ماتریس در داخل بلوک‌ها و نخ‌ها ۶۵۹
۱۴-۶ ضرب ماتریس ۶۶۱
۱۴-۶-۱ استفاده از روش کاشی‌بندی حافظه برای کاهش ترافیک ۶۶۴

۱۴-۶-۲ تابع هسته ضرب ماتریس به روش کاشی‌بندی ۶۶۷
۱۴-۶-۳ استفاده از روش ائتلاف بین نخ‌ها برای دسترسی واحد به حافظهٔ سراسری ۶۷۱
۱۴-۶-۴ ضرب ماتریس با ائتلاف نخ‌ها برای دسترسی توده‌ای به حافظهٔ سراسری ۶۷۸
۱۴-۷ کانولوشن ۶۸۰
۱۴-۷-۱ استفاده از حافظهٔ ثابت و حافظهٔ کش در عملیات کانولوشن ۶۸۳
۱۴-۷-۲ کانولوشن یک‌بعدی به روش کاشی‌بندی و با استفاده از سلول‌های هاله‌ای ۶۸۵
۱۴-۷-۳ حافظهٔ کش در کانولوشن به روش کاشی‌بندی و با استفاده از سلول‌های هاله‌ای ۶۹۰
۱۴-۷-۴ کانولوشن دوبعدی به روش کاشی‌بندی و با استفاده از سلول‌های هاله‌ای ۶۹۲
۱۴-۸ پیاده‌سازی تبدیل هاف در پردازنده گرافیکی ۶۹۷
۱۴-۹ مثال کاربردی تشخیص لبه با استفاده از پردازنده گرافیکی ۷۰۱

فصل پانزدهم: دسته‌بندی تصویر، تشخیص و تعیین موقعیت جسم با استفاده از شبکهٔ عصبی عمیق ۷۰۵
۱۵-۱ لایه‌های مختلف یک شبکهٔ عصبی کانولوشنی ۷۰۶
۱۵-۱-۱ لایهٔ کانولوشنی ۷۰۷
۱۵-۱-۲ لایهٔ ادغام ۷۱۶
۱۵-۱-۳ لایه‌های تمام‌متصّل ۷۱۷
۱۵-۲ الگوهای مختلف طراحی یک شبکهٔ عصبی کانولوشنی ۷۱۸
۱۵-۲-۱ شبکهٔ عصبی کانولوشنی LeNet-5 ۷۱۹
۱۵-۲-۲ شبکهٔ عصبی کانولوشنی AlexNet ۷۲۰
۱۵-۲-۳ شبکهٔ عصبی کانولوشنی VGGNet ۷۲۵
۱۵-۲-۴ شبکهٔ عصبی کانولوشنی GoogLeNet و شبکه Inception ۷۲۶
۱۵-۲-۵ شبکهٔ عصبی کانولوشنی ResNet ۷۳۴
۱۵-۳ تشخیص اجسام با استفاده از شبکه‌های R-CNN، SSD و YOLO ۷۳۸
۱۵-۳-۱ ساختار عمومی یک سیستم تشخیص اجسام ۷۳۹

۱۵-۴ شبکه‌های عصبی کانولوشنی مبتنی بر ناحیه (R-CNNs) ۷۴۶
۱۵-۴-۱ شبکهٔ R-CNN ۷۴۷
۱۵-۴-۲ شبکهٔ Fast R-CNN ۷۵۰
۱۵-۴-۳ شبکهٔ Faster R-CNN ۷۵۳
۱۵-۵ شبکهٔ SSD ۷۶۰
۱۵-۶ شبکهٔ YOLO ۷۶۶
۱۵-۷ استفاده از شبکه‌های عصبی عمیق برای بخش‌بندی تصویر ۷۷۵
۱۵-۷-۱ شبکه‌های تمام‌کانولوشنی (FCNs) ۷۸۰
۱۵-۷-۲ شبکهٔ U-Net ۷۸۲
۱۵-۷-۳ استفاده از شبکه‌های رمزگذار-رمزگشا برای بخش‌بندی تصویر ۷۸۲
۱۵-۸ شبکه‌های عصبی بازگشتی (RNNs) ۷۸۴
۱۵-۸-۱ سلول‌های حافظهٔ طولانی کوتاه-مدت (LSTMs) ۷۸۷
۱۵-۸-۲ دسته‌بندی تصاویر ویدیویی ۷۸۹
مراجع ۷۹۳
نمایه ۸۰۵