

۱۳۴۵۳۶

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

پردازش تصاویر رقومی

شامل مواردی از قبیل محیط تصاویر رقومی، عملیات نقطه‌ای، عملیات همسایگی
تبدیل، خیمه‌تصویر و عملیات مورفولوژی و...

● قابل استفاده برای رشته نقشه برداری و علوم وابسته

از سری کتاب‌های دانش‌های ویژه تخصصی ژئوماتیک ماهواره و رنال



www.farbook.ir

ابوالفضل رنجبر
مجتبی جنتی

سرشناسه	رنجبر، ابوالفضل، ۱۳۵۷ -
عنوان و نام پدیدآور	پردازش تصاویر رقومی/تالیف ابوالفضل رنجبر، مجتبی جنتی.
مشخصات نشر	تهران : انتشارات ماهواره، ۱۳۹۴.
مشخصات ظاهری	۲۲۲ ص.
فروست	... کتاب‌های دانشگاهی گروه تخصصی ژنوماتیک ماهواره - ورنال.
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۶۸۵۷-۶۰-۲
وضعیت فهرست نویسی	فیا
موضوع	عکس‌برداری -- روش‌های رقمی
شناسه افزوده	جنتی، مجتبی، ۱۳۶۵ -
رده بندی کنگره	۱۳۹۴ ۴پ۹/۱۶۳۲/۴
رده بندی دیویی	۶۲۱/۳۶۷
شماره کتابشناسی ملی	۳۸۹۵۷۹۵



م. ک. ب. پردازش تصاویر رقومی

نشر : ماهواره

ناشر همکار: دانشگاهی فرهنگمند

مولفان: ابوالفضل رنجبر و مجتبی جنتی

سال چاپ : اول ۱۳۹۴

شمارگان : ۵۰۰ نسخه

بها : ۱۵۰۰۰۰ ریال

شابک : ۹۷۸-۶۰۰-۶۸۵۷-۶۰-۲

نشر دانشگاهی فرهنگمند : تهران، خیابان انقلاب، ساختمان ۱۳۹۱ طبقه زیرین

تلفن : ۶۶۴۱۰۶۸۸-۶۶۹۵۳۷۷۴

حق چاپ برای انتشارات محفوظ می باشد. هرگونه کپی برداری، تکثیر بدون اجازه کتبی از ناشر ممنوع بوده و پیگرد قانونی دارد.

www.mahvarehgroup.ir

www.farbook.ir

farbook.pub@gmail.com

منت خدای را عز و جل، که طاعتش موجب قربت است و به شکر اندرش مزید نعمت.

شیخ اجل، سعدی شیرازی (قرن هفتم هجری شمسی)

پیشگفتار

نخستین کاربرد تصاویر رقومی به سال ۱۹۲۰ و صنعت نشر روزنامه باز می‌گردد. در آن زمان برای نخستین بار تصاویر توسط کابل‌های زیردریایی از لندن به نیویورک ارسال گردید، و به این ترتیب، زمان ارسال تصاویر از بیش از یک هفته به کمتر از سه ساعت کاهش یافت. این سیستم‌های نخستین توانایی کدگذاری تنها ۵ سطح خاکستری را داشتند و تقریباً ۹ سال به طول انجامید تا در اواخر سال ۱۹۲۹، این قابلیت به ۱۵ سطح خاکستری ارتقا یافت.

با این وجود، هنوز که بود، یک جزء دیگر برای پردازش تصاویر رقومی به چشم می‌خورد، زیرا در آن زمان، هنوز رایانه‌ای ساخته نشده بود. چنانچه ایده اصلی رایانه‌ها به ۵۰۰۰ سال پیش و اختراع چرتکه در ایران و آسیای صغیر می‌رسد، اما اساس رایانه‌های رقومی مدرن امروزی تنها به سال ۱۹۴۰ باز می‌گردد. البته ۲۰ سال دیگر هم نیاز بود تا این رایانه‌های ابتدایی به اندازه کافی برای پردازش تصاویر رقومی نیرومند شوند. تولد آنچه امروزه پردازش تصویر رقومی خوانده می‌شود، بدین توسعه این رایانه‌ها و شروع هم‌زمان فعالیت‌های فضایی بود. نخستین استفاده عملی از رایانه‌ها برای پردازش تصاویر رقومی به سال ۱۹۶۴ باز می‌گردد. در این سال، نخستین تصویری که توسط فضایی‌های رنجر ۷ ارسال شد، ماه گرفته شده بود، توسط رایانه‌ها پردازش گردید؛ و این آغازی برای توسعه روز افزون و همه‌جانبه کاربرد روش‌های پردازش تصاویر در عرصه‌های مختلف علم و فن‌آوری بود، به طوریکه در اواخر دهه ۱۹۶۰ و اوایل دهه ۱۹۷۰ این شاخه نوظهور در رشته‌های پزشکی، سنجش از دور منابع طبیعی، و نجوم به کار بسته شد. امروزه، به یاری دانشجویان، مهندسان، و محققین در تمامی رشته‌های علوم طبیعی، با مسائلی روبرو هستند که پاسخ به آنها تاحدی نیازمند اطلاع از روش‌های پردازش تصاویر رقومی است.

به طور معمول، یافتن راه‌حل مسائل پیش‌رو در پردازش تصاویر رقومی مستلزم کار تجربی فراوان، شامل شبیه‌سازی و پیاده‌سازی نرم‌افزاری و آزمون فرضیات با مجموعه وسیعی از تصاویر نمونه است. گرچه توسعه الگوریتم‌های جدید نیازمند زیربنای تئوری مناسب است، اما پیاده‌سازی واقعی این الگوریتم‌ها تقریباً همیشه نیازمند تخمین پارامترهای جدید، بازبینی چندباره الگوریتم پیشنهادی، و مقایسه جواب‌های کاندید با یکدیگر است. از این روی، انتخاب یک بستر نرم‌افزاری انعطاف‌پذیر، غنی و کارآمد، نقش کلیدی و مهمی در هزینه، زمان پیاده‌سازی، و قابلیت استفاده مجدد نرم‌افزار پردازش تصویر توسعه‌یافته دارد. علی‌رغم اهمیت این موضوع، متأسفانه کتب اندکی به آن پرداخته‌اند و به سختی می‌توان مرجعی را یافت که هم‌گام با ارائه اصول تئوری، نحوه پیاده‌سازی مفاهیم مختلف پردازش تصاویر رقومی را هم مورد توجه قرار داده باشد.

کتاب حاضر تلاشی است برای این مهم، و هدف اصلی آن آموزش هم‌زمان مفاهیم تئوری و پیاده‌سازی نرم‌افزاری آنها، به منظور ایجاد زیربنایی برای پیاده‌سازی مفاهیم پردازش تصویر با استفاده از نرم‌افزارهای مدرن رایانه‌ای است، تا به این ترتیب برای تمامی مخاطبین این شاخه، اعم از دانشجویان، مهندسان، و محققین رشته‌های مختلف علمی سودمند باشد. برای تحقق این هدف، لازم بود تا افزون بر انتخاب یک

محیط نرم‌افزاری مناسب و کارا، مفاهیم پردازش تصویر نیز متناسب با سرفصل معمول دروس دانشگاهی انتخاب شود. نرم‌افزار متلب به عنوان بستر نرم‌افزاری مورد نیاز انتخاب شد، که هم در محیط‌های دانشگاهی و هم در صنعت جایگاه برجسته‌ای دارد. برای تصمیم‌گیری در خصوص مفاهیم تئوری مورد بحث نیز، سرفصل چندین رشته مختلف دانشگاهی مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت، مطالب در پنج فصل سازماندهی شد. در **فصل اول** ماهیت تصاویر رقومی بررسی گردید و در **فصل دوم**، عملیات نقطه‌ای شامل طیف وسیعی از عملگرها نظیر عملگرهای جبری، عملگرهای منطقی، عملگرهای قیاسی، پردازش هیستوگرام، آستانه‌بندی تصویر، و تبدیلات رادیومتریکی تصویر ارائه شد. در **فصل سوم**، عملیات همسایگی شامل فیلترگذاری‌های خطی و غیرخطی در حیطه مکان، تبدیلات هندسی، و استخراج لبه تصاویر به بحث گذاشته شد. در **فصل چهارم**، تبدیلات حیطه تصویر شامل تبدیل فوریه، تبدیل کسینوسی گسسته، و تبدیل رادن، به همراه چندین کاربرد از هر تبدیل نظیر اعمال فیلترهای بالاگذر و پائین‌گذر، کاهش نویز، و فشرده‌سازی تصویر مورد بررسی قرار گرفت. و در نهایت، عملیات مختلف مورفولوژی شامل فرسایش و افزون‌سازی، بازکردن و بستن تصویر، اسکالاسیون، ترسیم مرز اشیاء، بازسازی مورفولوژی، پُرکردن و بتونه‌کاری تصویر، تبدیل مسافت، برچسب‌گذاری اشیاء تصویف کار با جداول مراجعه‌ای در **فصل پنجم** مورد بررسی قرار گرفت. در هر بخش، نخست مفاهیم تئوری را جزئیات کامل بررسی شد و سپس، این مفاهیم در نرم‌افزار متلب پیاده‌سازی گردید. افزون بر این، برای اینک مطالب کتاب به صورت مستقل و بدون نیاز به منابع دیگر قابل استفاده باشد.

سازمان نظام مهندسی سازمان اسان آذربایجان شرقی با تاکید بر نقش منابع انسانی کارآمد در حفظ و گسترش و توسعه مهارت‌های علمی، تهیه ویرهای به امر آموزش مهندسیین دارد. این کتاب با همکاری سازمان نظام مهندسی ساختمان استان آذربایجان شرقی چاپ شده است. ضمن تقدیر و تشکر از سازمان نظام مهندسی استان آذربایجان شرقی، امید است این سازمان با اقداماتی از این دست بتواند نقش خود را در اعتلای روز افزون فناوری های نوین و نرم افزارها، م بهبود هر چه بهتر ایفاء نماید.

لازم به ذکر می باشد که این کتاب علی‌رغم تمام دقتی که در تدوین و نگارش مطالب به کار بسته شد، مطمئنا محتوای کتاب عاری از خطا و اشکال نیست. لذا از تمامی اساتید، کارشناسان و دانشجویان عزیز تقاضا داریم ما را از نظرات سازنده خود محروم نسازند.

eng.jannati@gmail.com ranjbar57@yahoo.com

ابوالفضل رنجبر - مجتبی جنتی

فهرست مطالب

فصل اول: ماهیت تصاویر رقومی

صفحه

عنوان

۱۵

مقدمه

۱۶

انواع تصاویر

۱۶

تصاویر بگوگ

۱۶

تصاویر رقمی

۱۷

تصاویر برداری یا گرافیک کامپیوتری

۱۷

نقاط

۱۷

خطوط

۱۷

چندضلعی‌ها

۱۷

تصاویر رستری

۱۸

کار با تصویر رستری به صورت یک ماتریس

۱۹

سیستم مختصات تصویر

۱۹

سیستم مختصات پیکسلی

۱۹

سیستم مختصات مکانی

۲۰

انواع تصاویر رستری

۲۱

تصویر رنگی

۲۱

فضاهای رنگی

۲۲

فضای رنگی قرمز، سبز، آبی

۲۳

فضای رنگی فیروزه‌ای، بنفش، زرد

۲۴

فضای رنگی رنگ، اشباع، شدت روشنایی

۲۴

تصاویر اندیس‌دار

۲۶

تصاویر درجات خاکستری

۲۶

تصاویر سیاه سفید یا باینری

۲۷

کلاس‌های داده

۲۸

کارگاه عملی

۲۸

تمرین ۱: ایجاد یک تصویر رنگی

۲۹

تمرین ۲: ایجاد یک تصویر اندیس‌دار

۳۱

۳۲	تمرین ۳: ایجاد یک تصویر درجات خاکستری
۳۲	تمرین ۴: ایجاد یک تصویر باینری
۳۴	تبدیل انواع تصاویر و کلاس‌های داده
۳۴	تبدیل کلاس‌های داده به یکدیگر
۳۶	تبدیل کلاس و نوع تصاویر
۳۸	کارگاه عملی
۳۸	تمرین ۱: تبدیل یک آرایه double به کلاس logical
۳۹	تمرین ۲: تبدیل یک تصویر logical به کلاس double
۴۰	توابع IPT برای کار با تصاویر رنگی و اندیس‌دار
۴۳	تبدیل به سایر فضاهای رنگی
۴۳	تبدیل فضای رنگی RGB و YIQ به یکدیگر
۴۴	تبدیل فضای رنگی CMYK به یکدیگر
۴۴	تبدیل فضای رنگی RGB و HSI به یکدیگر
۴۴	تابعی برای تبدیل RGB به P.S
۴۶	تابعی برای تبدیل HIS به RGB
۴۷	خواندن تصاویر
۴۹	نمایش تصاویر
۵۰	ذخیره‌سازی تصاویر
۵۱	کارگاه عملی
۵۱	تمرین ۱: تبدیل فضای رنگی HIS به RGB
۵۲	تمرین ۲: نمایش تصاویر اندیس‌دار
۳۵	تمرین ۳: ذخیره‌سازی تصاویر

۶۰	مقدمه
۶۰	عملیات جبری
۶۰	عملگر جمع
۶۰	عملگر تفریق
۶۱	عملگر ضرب
۶۲	عملگر تقسیم
۶۲	ترکیب خطی تصاویر
۶۳	کارگاه عملی

- ۶۳ تمرین ۱: جمع دو آرایه از کلاس uint8
- ۶۳ تمرین ۲: جمع دو تصویر و تعیین کلاس تصویر خروجی
- ۶۴ تمرین ۳: اضافه نمودن یک مقدار ثابت به یک تصویر
- ۶۴ تمرین ۴: تفریق دو آرایه از کلاس uint8
- ۶۵ تمرین ۵: حذف پس‌زمینه یک تصویر
- ۶۵ تمرین ۶: تفریق یک مقدار ثابت از یک تصویر
- ۶۶ تمرین ۷: محاسبه قدر مطلق اختلاف دو آرایه از کلاس uint8
- ۶۶ تمرین ۸: مایش قدر مطلق اختلاف یک تصویر فیلتر شده و تصویر اصلی
- ۶۷ تمرین ۹: ضرب یک تصویر در خودش
- ۶۸ تمرین ۱۰: مقیاس‌گذاری مقادیر درجات خاکستری یک تصویر
- ۶۹ تمرین ۱۱: نسبی دو آرایه از کلاس uint8
- ۶۹ تمرین ۱۲: تغییر روش‌های یک تصویر به کمک عملگر تقسیم
- ۷۰ تمرین ۱۳: مقایسه دقیق عملگرهای جبری ترکیبی و تابع imlincomb
- ۷۰ عملیات منطقی
- ۷۳ عملگر منطقی NAND/AND
- ۷۴ عملگر منطقی NOR/OR
- ۷۵ عملگر منطقی XOR
- ۷۵ عملگر منطقی NOT
- ۷۶ کارگاه عملی
- ۷۶ تمرین ۱: مقایسه عملکرد توابع bitand و and
- ۷۶ تمرین ۲: بررسی جدول صحت عملیات منطقی AND
- ۷۷ تمرین ۳: آشکارسازی عناصر ثابت تصویر
- ۷۷ تمرین ۴: مقایسه عملکرد توابع bitor و or
- ۷۸ تمرین ۵: بررسی جدول صحت عملیات منطقی bitor
- ۷۸ تمرین ۶: ادغام دو تصویر به کمک تابع bitor
- ۷۹ تمرین ۷: مقایسه عملکرد توابع bitxor و xor
- ۷۹ تمرین ۸: بررسی جدول صحت عملیات منطقی XOR
- ۷۹ تمرین ۹: آشکارسازی اشیاء متحرک یک صحنه
- ۸۰ تمرین ۱۰: معکوس نمودن یک تصویر درجات خاکستری
- ۸۱ تمرین ۱۱: جمع دو تصویر به چند روش مختلف
- ۸۱ معرفی چند عملگر بیتی مفید
- ۸۲ عملگر bitshift

۸۲	عملگر bitget
۸۳	عملگر bitset
۸۳	کارگاه عملی
۸۳	تمرین ۱: شیفت رشته باینری یک عدد صحیح
۸۳	تمرین ۲: کاهش روشنایی یک تصویر به کمک تابع bitshift
۸۴	پردازش هیستوگرام تصویر
۸۴	ترسیم هیستوگرام تصویر
۸۵	بسط هیستوگرام تصویر
۸۷	یکنواخت سازی هیستوگرام
۸۷	انطباق هیستوگرام
۸۹	کارگاه عملی
۸۹	تمرین ۱: ترسیم هیستوگرام تصویر
۸۹	تمرین ۲: بسط هیستوگرام تصویر
۹۱	تمرین ۳: بسط هیستوگرام یک تصویر رنگی
۹۲	تمرین ۴: ایجاد یک تصویر منفی با کمک تابع imadjust
۹۲	تمرین ۵: یکنواخت سازی هیستوگرام تصویر
۹۳	تمرین ۶: انطباق هیستوگرام
۹۴	تمرین ۷: تغییر پارامتر تابع توزیع و انطباق هیستوگرام
۹۵	آستانه بندی تصویر
۹۶	کارگاه عملی
۹۶	تمرین ۱: آستانه بندی یک تصویر اندیس دار
۹۷	تمرین ۲: تعیین مقدار حد آستانه به کمک تابع graythresh
۹۸	تبدیلات رادیومتریکی
۹۸	عملگر لگاریتمی
۹۹	ایجاد یک تابع برای پیاده سازی عملگر لگاریتمی
۹۹	عملگر نمایی
۹۹	ایجاد یک تابع برای پیاده سازی عملگر نمایی
۱۰۰	تصحیح گاما
۱۰۱	کارگاه عملی
۱۰۱	تمرین ۱: استفاده از عملگر لگاریتمی
۱۰۱	تمرین ۲: استفاده از عملگر نمایی
۱۰۲	تمرین ۳: تصحیح گاهی تصویر

- ۱۰۶ مقدمه
- ۱۰۷ تعیین پیکسل مرکزی
- ۱۰۸ همسایگی پیکسل‌های حاشیه‌ای
- ۱۰۹ فیلترگذاری در حیطه مکان
- ۱۰۹ فیلترگذاری مکانی خطی
- ۱۱۰ کرولیشن
- ۱۱۱ کانولوشن
- ۱۱۲ فیلترکردن تصاویر
- ۱۱۲ فیلترگذاری با استفاده از تابع `imfilter`
- ۱۱۴ فیلترگذاری با استفاده از تابع متلب
- ۱۱۵ فیلترهای خطی استاندارد `IPT`
- ۱۱۷ کارگاه عملی
- ۱۱۷ تمرین ۱: تبدیل کلاس داده‌ها به هنگام فیلتر کردن
- ۱۱۸ تمرین ۲: مقایسه فیلترگذاری با استفاده از کرولیشن و کانولوشن
- ۱۱۹ تمرین ۳: تعیین همسایگی پیکسل مرکزی تصویر
- ۱۲۱ تمرین ۴: فیلترنمودن تصاویر رنگی
- ۱۲۱ تمرین ۵: مقایسه عملکرد تابع `imfilter` و `filter2`
- ۱۲۲ تمرین ۶: مقایسه عملکرد تابع `conv2` و `imfilter`
- ۱۲۳ تمرین ۷: استفاده از فیلترهای استاندارد جعبه‌ایزار
- ۱۲۴ تمرین ۸: کار با چند فیلتر استاندارد دیگر
- ۱۲۵ فیلترگذاری مکانی غیرخطی
- ۱۲۶ فیلترهای غیرخطی استاندارد `IPT`
- ۱۳۰ کارگاه عملی
- ۱۳۰ تمرین ۱: پیاده‌سازی چند فیلتر آماری
- ۱۳۲ تمرین ۲: حذف نویز به کمک فیلتر میانه
- ۱۳۳ فیلترگذاری غیر خطی با استفاده از توابع عمومی نرم‌افزار
- ۱۳۳ فیلترگذاری با استفاده از تابع `nlfilter`
- ۱۳۴ فیلترگذاری با استفاده از تابع `colfilt`
- ۱۳۶ کارگاه عملی
- ۱۳۶ تمرین ۱: ایجاد یک تابع مستعار
- ۱۳۷ تمرین ۲: پیاده‌سازی فیلتر میانه با استفاده از تابع `nlfilter`

۱۳۷	تمرین ۳: پیاده‌سازی فیلتر میانگین به صورت ستونی
۱۳۸	تمرین ۴: پیاده‌سازی فیلتر میانگین به صورت بلوکی
۱۳۹	تبدیلات هندسی
۱۳۹	میانابایی
۱۴۰	روش‌های میانابایی
۱۴۱	مقیاس‌گذاری یک تصویر
۱۴۲	دوران تصویر
۱۴۳	برش تصویر
۱۴۳	پیاده‌سازی چند تبدیل هندسی متداول
۱۴۴	مراحل پیاده‌سازی
۱۴۴	تولید ساختار تبدیل
۱۴۵	معرفی اطلاعات تبدیل استفاده از یک ماتریس
۱۴۶	معرفی اطلاعات تبدیل به کمک مجموعه‌ای از نقاط
۱۴۶	پیاده‌سازی تبدیل
۱۴۷	کارگاه عملی
۱۴۷	تمرین ۱: بزرگ کردن تصویر با استفاده از یک بریب مقیاس
۱۴۷	تمرین ۲: تعیین ابعاد تصویر خروجی
۱۴۸	تمرین ۳: دوران یک تصویر
۱۴۹	تمرین ۴: بریدن بخشی از یک تصویر
۱۵۰	تمرین ۵: پیاده‌سازی تبدیل آفاین به کمک یک ماتریس تبدیل
۱۵۱	تمرین ۶: پیاده‌سازی تبدیل آفاین به کمک مجموعه‌ای از نقاط
۱۵۱	استخراج لبه
۱۵۳	کارگاه عملی
۱۵۳	تمرین ۱: استخراج لبه‌های تصویر به روش سوبل
۱۵۴	تمرین ۲: مقایسه چند روش استخراج لبه

۱۵۸	مقدمه
۱۵۸	تبدیل فوریه
۱۵۹	بصری‌سازی تبدیل فوریه
۱۶۱	تبدیل فوریه گسسته
۱۶۲	کارگاه عملی

- ۱۶۲ تمرین ۱: ایجاد و نمایش تابع مستطیل شکل گسسته
- ۱۶۲ تمرین ۲: محاسبه و نمایش تبدیل فوریه گسسته تابع مستطیل شکل
- ۱۶۳ تمرین ۳: تبدیل فوریه گسسته با نمونه‌برداری نرم‌تر
- ۱۶۴ تمرین ۴: انتقال فرکانس صفر به مرکز تصویر
- ۱۶۴ کاربردهای تبدیل فوریه
- ۱۶۴ کارگاه عملی
- ۱۶۴ تمرین ۱: پاسخ فرکانسی فیلترهای خطی
- ۱۶۵ تمرین ۲: فیلتر باند پهنای سریع
- ۱۶۶ تمرین ۳: استخراج ویژگی‌های تصویر
- ۱۶۸ تبدیل کسینوسی گسسته
- ۱۶۹ ماتریس تبدیل DCT
- ۱۷۰ فشرده‌سازی تصویر
- ۱۷۰ کارگاه عملی
- ۱۷۰ تمرین ۱: فشرده‌سازی تصویر بر اساس الگو، بتم JPEG
- ۱۷۱ تبدیل رادن
- ۱۷۳ ترسیم تبدیل رادن
- ۱۷۳ کارگاه عملی
- ۱۷۳ تمرین ۱: محاسبه و ترسیم تبدیل رادن
- ۱۷۴ تمرین ۲: مشاهده تبدیل رادن به صورت یک تصویر
- ۱۷۴ تمرین ۳: آشکارسازی عوارض خطی

۱۷۷

فصل پنجم: عملیات مورفولوژی

- ۱۷۸ مقدمه
- ۱۷۸ افزون‌سازی و فرسایش
- ۱۷۹ تعیین همسایگی پیکسل‌های مرزی
- ۱۸۰ الگوی ساختاری
- ۱۸۱ مبدا الگوی ساختاری
- ۱۸۱ ایجاد یک الگوی ساختاری
- ۱۸۲ ایجاد یک الگوی ساختاری با شکل دلخواه
- ۱۸۲ ایجاد یک الگوی ساختاری لوزی شکل
- ۱۸۳ ایجاد یک الگوی ساختاری دایره شکل
- ۱۸۳ ایجاد یک الگوی ساختاری خطی

۱۸۴	ایجاد یک الگوی ساختاری هشت ضلعی
۱۸۴	ایجاد یک الگوی ساختاری متشکل از یک زوج نقطه
۱۸۴	ایجاد یک الگوی ساختاری متشکل از یک سری خطوط پریودیک
۱۸۵	ایجاد یک الگوی ساختاری مستطیل شکل
۱۸۵	ایجاد یک الگوی ساختاری مربعی
۱۸۶	تجزیه الگوی ساختاری
۱۸۷	افزون سازی یک تصویر
۱۸۹	فرسایش یک تصویر باینری
۱۹۰	کارگاه عملی
۱۹۰	تمرین ۱: ایجاد یک الگوی ساختاری لوزی شکل
۱۹۰	تمرین ۲: افزون سازی یک تصویر
۱۹۱	تمرین ۳: فرسایش یک تصویر
۱۹۲	ترکیب افزون سازی و فرسایش
۱۹۲	باز کردن تصویر
۱۹۳	بستن تصویر
۱۹۳	عملیات مبتنی بر افزون سازی و فرسایش
۱۹۳	تبدیل خطا-یا-هدف
۱۹۴	فیلتر Bottom-Hat
۱۹۴	اسکلت سازی
۱۹۵	ترسیم مرز اشیاء تصویر
۱۹۶	کارگاه عملی
۱۹۶	تمرین ۱: باز کردن تصویر
۱۹۶	تمرین ۲: بستن تصویر
۱۹۷	تمرین ۳: پیاده سازی عملیات هدف-یا-خطا
۱۹۹	تمرین ۴: اسکلت سازی
۱۹۹	تمرین ۵: ترسیم مرز اشیاء تصویر
۲۰۰	بازسازی مورفولوژی
۲۰۰	مارکر و ماسک
۲۰۰	مفهوم بازسازی
۲۰۳	اتصال پیکسل ها
۲۰۵	کارگاه عملی
۲۰۵	تمرین ۱: باز کردن تصویر به کمک تکنیک بازسازی

۲۰۵	تمرین ۲: قطعه‌بندی تصویر به کمک تکنیک بازسازی
۲۰۶	پُر کردن تصویر
۲۰۷	بتونه‌کاری تصویر
۲۰۷	کارگاه عملی
۲۰۷	تمرین ۱: پُر کردن تصویر
۲۰۸	تمرین ۲: بتونه‌کاری تصویر
۲۰۹	یافتن قله‌ها و دره‌های تصویر
۲۱۰	یافتن بیش‌به/کمینه‌های نسبی یک تصویر
۲۱۲	کارگاه عملی
۲۱۲	تمرین ۱: شن قله‌های تصویر
۲۱۳	تمرین ۲: صاف کردن دره‌ها - کم عمق تصویر
۲۱۳	تبدیل مسافت
۲۱۵	کارگاه عملی
۲۱۵	تمرین ۱: پیاده‌سازی تبدیل مسافت
۲۱۵	شمارش تعداد و محاسبه مساحت اشیاء تصویر
۲۱۵	برچسب‌گذاری اشیاء تصویر
۲۱۶	نمایش ماتریس برچسب
۲۱۷	انتخاب اشیاء در یک تصویر باینری
۲۱۷	یافتن مساحت یک تصویر باینری
۲۱۸	کارگاه عملی
۲۱۸	تمرین ۱: برچسب‌گذاری اشیاء تصویر
۲۱۸	تمرین ۲: انتخاب چند شیء از یک تصویر
۲۱۹	تمرین ۳: محاسبه مساحت یک تصویر باینری
۲۲۰	جداول مراجعه‌ای
۲۲۰	ایجاد یک جدول مراجعه‌ای
۲۲۱	استفاده از جداول مراجعه‌ای
۲۲۱	کارگاه عملی
۲۲۱	تمرین ۱: ایجاد یک جدول مراجعه‌ای
۲۲۱	تمرین ۲: فرسایش یک تصویر باینری با استفاده از جدول مراجعه‌ای