

# مقدمه‌ای بر پردازش ویدیو و تصویر

ساخت سامانه‌ها و برنامه‌های کاربردی واقعی

نویسنده:

توماس بی. موسلوند

ترجمه:

وجیهه ثابتی

استادیار دانشگاه الزهرا (س)

بهار ۱۴۰۲

سرشناسه: مونسولند، توماس بی.

Moeslund, Thomas B.

عنوان و نام پدیدآور: مقدمه‌ای بر پردازش ویدیو و تصویر: ساخت سامانه‌ها و برنامه‌های کاربردی واقعی / نویسنده توماس بی. مونسولند؛ ترجمه وجیهه ثابتی.

مشخصات نشر: تهران: دانشگاه الزهراء(س)، انتشارات، ۱۴۰۲.

مشخصات ظاهری: شانزده، ۲۹۳ ص: مصور، جلول، نمودار.

شابک: 978-622-6114-95-0

وضعیت فهرست نویسی: فیپا

یادداشت: عنوان اصلی: [2012]. Introduction to video and image processing: building real systems and applications.

یادداشت: کتابنامه: ص. [۲۸۱] - ۲۸۲.

یادداشت: نمایه

عنوان دیگر: ساخت سامانه‌ها و برنامه‌های کاربردی واقعی.

موضوع: عکس‌برداری -- روش‌های رقمی

Image processing -- Digital techniques

بینایی ماشین

Computer vision

سامانه‌های چندرسانه‌ای

Multimedia systems

شناسه افزوده: ثابتی، وجیهه، ۱۳۶۷-، مترجم

شناسه افزوده: دانشگاه الزهراء، انتشارات

شناسه افزوده: Alzahra University press

رده بندی کنگره: TA۱۶۳۷

رده بندی دیویی: ۶۲۱/۳۶۷

شماره کتابشناسی ملی: ۹۱۵۶۷۹۵

اطلاعات رکورد کتابشناسی: فیپا



## مقدمه‌ای بر پردازش ویدیو و تصویر ساخت سامانه‌ها و برنامه‌های کاربردی واقعی

ترجمه: وجیهه ثابتی استادیار دانشگاه الزهرا (س)

انتشارات: دانشگاه الزهرا (س)

کارگاه صفحه آرایی و طراحی جلد: لوگو گرافیکال

چاپ و صحافی: چاپ دیجیتال کسری

ویراستار ادبی: زهرا شهریاری

نوبت چاپ: اول

شمارگان: ۳۰۰ نسخه

شابک: 978-622-6114-95-0

قیمت: ۳۰۰۰۰۰ تومان

سال نشر: بهار ۱۴۰۲

شماره تماس واحد فروش: ۰۲۱-۸۸۰۴۸۹۳۴-۸۸-۲۱-۰۲۱-۸۵۶۹۲۸۳۹

سامانه فروش الکترونیکی: <https://book.alzahra.ac.ir>

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر برای دانشگاه الزهرا(س) محفوظ است.

پذیرش چاپ این اثر در جلسه ۱۷۱ شورای انتشارات دانشگاه مورخ ۱۴۰۱/۰۹/۲۹ به تصویب رسید.

موضوعات کارشناسی در علوم کامپیوتر (UTiCS)، محتوای آموزشی با کیفیت بالا را برای دانشجویان کارشناسی که در تمام زمینه‌های علم محاسبات و اطلاعات تحصیل می‌کنند، ارائه می‌دهد. از مطالب پایه و نظری اصلی گرفته تا موضوعات و برنامه‌های کاربردی سال آخر. کتاب‌های UTiCS رویکردی تازه، مختصر و پیشرفته دارند و برای مطالعه شخصی یا برای دوره‌های یک یا دو ترم ایده‌آل هستند. این متون همگی توسط متخصصان معتبر در زمینه خود نوشته شده‌اند، توسط یک هیات مشاوره بین‌المللی بررسی شده و حاوی مثال‌ها و مسائل متعددی هستند. بسیاری از آنها شامل راه‌حل‌های تجربه شده و عملی هستند.



## مقدمه مترجم

تصاویر جهان را نشان می‌دهند. هر تصویر داستان خاص خود را دارد و می‌تواند حاوی اطلاعات بسیار مهمی باشد که از بسیاری جهات مفید است. با پیشرفت فناوری امکان ثبت، پردازش و انتقال تصاویر به صورت دیجیتال میسر شده است. پردازش تصاویر، امروزه بیشتر به موضوع پردازش تصاویر دیجیتال گفته می‌شود و عبارت است از: استفاده از الگوریتم‌های کامپیوتری جهت انجام پردازش تصویر دیجیتالی. در واقع پردازش تصویر روشی است که تصویری را به عنوان ورودی دریافت کرده و با استفاده از تعدادی عملیات، یک تصویر یا ویژگی‌های مرتبط با آن تصویر را به عنوان خروجی تولید می‌کند. دو هدف اصلی این پردازش‌ها عبارت‌اند از: بهبود تصویر (افزایش کیفیت) و بینایی ماشین (درک معنا و محتوای تصویر).

امروزه می‌توان ردپای پردازش تصویر را در بسیاری از علوم و صنایع مشاهده نمود. بعضی از این کاربردها آن‌چنان به پردازش تصویر وابسته هستند که بدون آن اساساً قابل استفاده نیست. از مهم‌ترین کاربردهای پردازش تصویر می‌توان این موارد را نام برد: کاربردهای عکاسی، پزشکی، امنیتی، نظامی، سنجش از راه دور، صنعتی، کنترل ترافیک، هواشناسی و کشاورزی.

وسعت کاربردهای پردازش تصویر در طی سالیان اخیر، ضرورت فراگیری جامع چنین مبحثی را برای دانشجویان رشته‌های کامپیوتر و برق و حتی سایر رشته‌های مهندسی به طور جدی مطرح نموده است. به همین دلیل این مبحث به عنوان یک درس در مقطع تحصیلات تکمیلی تدریس می‌گردد و معمولاً از کتاب آقایان Woods و Gonzales به نام "Digital Image Processing" به عنوان منبع درسی استفاده می‌شود. این کتاب یک کتاب مرجع است و چندین نسخه مختلف ترجمه فارسی از این کتاب در بازار وجود دارد. در مقطع کارشناسی امکان بیان مباحث پردازش تصویر و ویدیو، در درس "محیط‌های چندرسانه‌ای" و یک درس اختیاری وجود دارد، اما پوشش تمام مطالب کتاب مرجع در یک درس دوره کارشناسی غیرممکن است. به علاوه با وجود تکیه زیاد به مبانی ریاضی مباحث و نحوه بیان مطالب، درک آن برای یک دانشجوی مبتدی در این حوزه سخت و سنگین است. با درک این نیاز مترجم به دنبال کتابی مناسب برای مقطع کارشناسی به عنوان منبع درسی در حوزه پردازش تصویر و ویدیو بود که با کتاب آقای Moeslund روبرو شد. این کتاب به نظر گزینه مناسبی برای رفع این نیاز است، زیرا همان‌گونه که در کتاب ذکر شده است، هدف این کتاب نیز دقیقاً بیان مباحث پردازش تصویر و ویدیو برای دانشجویان مقطع کارشناسی است.

به نظر مترجم، این کتاب به دلیل چند ویژگی بسیار مهمی که دارد می‌تواند به عنوان منبع مناسبی برای دانشجویان کارشناسی استفاده شود:

- متن بسیار روان و قابل فهم برای دانشجویان مبتدی در حوزه پردازش تصویر و ویدیو
- بیان معادلات ریاضی در موارد موردنیاز و ذکر مفاهیم پایه‌ای در قالب پیوست در انتهای کتاب

- وجود بخش "اطلاعات بیشتر" در انتهای هر فصل که در آن به مفاهیم، روش‌ها و جزئیات اضافه‌تر و پیشرفته‌تر پرداخته شده و دانشجویان را تشویق به مطالعه بیشتر مباحث مرتبط می‌کند.
  - بررسی دو مثال عملی و واقعی در دو فصل انتهایی کتاب
  - ارائه کدهای C برای پیاده‌سازی بعضی از مطالب و مثال‌ها
  - وجود تمرین در انتهای هر فصل
  - وجود تعدادی تمرین اضافه در انتهای هر فصل که در مورد مطالب مرتبط و مهمی است اما مستقیماً در فصل بحث نشده و ایده‌های خوبی برای مطالعه دانشجویان علاقمند ارائه می‌دهد.
  - اختصاص بخشی از مطالب کتاب به پردازش ویدیو که اطلاعات مناسبی را در این حوزه ارائه می‌کند.
- هدف اصلی این کتاب، آموزش روش‌های پایه در پردازش تصویر و ویدیو است. بنابراین اگرچه بیش از ۱۰ سال از چاپ این کتاب می‌گذرد، اما با توجه به بیان مناسب مطالب، این ترجمه می‌تواند به عنوان یک کتاب درسی برای دروس مرتبط با پردازش تصویر و ویدیو در مقطع کارشناسی برای دانشجویان رشته‌های کامپیوتر و برق استفاده شود. به علاوه حوزه پردازش تصویر و ویدیو یکی از حوزه‌های مهم پروژه‌های کارشناسی و تحصیلات تکمیلی است و حتی دانشجویان رشته‌های غیر از کامپیوتر نیز ممکن است برای انجام پروژه‌های خود نیاز به آشنایی با مبانی این حوزه داشته باشند. این کتاب برای شروع کار و یادگیری بسیاری از مباحث پایه‌ای قابل استفاده است، اما مترجم ذکر این نکته را نیز لازم می‌داند که در طول دهه اخیر تحولات بزرگی نظیر معرفی شبکه‌های عصبی و یادگیری عمیق بر این حوزه تاثیر گذاشته است. بنابراین لازم است خواننده برای فراگیری آنها به منابع جدیدتر مراجعه نماید.
- گرایش مترجم در این ترجمه اصالت دادن به حفظ امانت و وفاداری به متن اصلی بوده است. به موازات تلاش گردیده از کلمات متداول و جملات روان استفاده گردد. در خصوص کلمات و اصطلاحات خاص سعی شده است آنها را به معادل متداول یا نزدیکترین کلمه در زبان فارسی ترجمه نموده و معادل انگلیسی آنها نیز در پاورقی ذکر شده است، اما با وجود سعی فراوان برای حداقل شدن اشکالات، هنوز موارد زیادی برای بهبود آن یافت خواهد شد. لطفاً خوانندگان محترم در صورت مشاهده هر گونه اشکال با یادآوری آن مترجم را سپاسگزار خود نمایند.

**وجیهه ثابتی**

**زمستان ۱۴۰۱**

## پیشگفتار

نخستین باری که با پردازش تصویر ویدئو روبرو شدم سال چهارم تحصیلم و به هنگام اجرای پروژه ترم بود. هدف از این پروژه طراحی سیستمی بود که به طور خودکار مرکز و اندازه قارچ‌ها را در یک تصویر مشخص کند. با توجه به این اطلاعات، یک ربات باید قارچ‌ها را بچیند. من شیفته مفهوم "دیدن کامپیوتر" شدم. نمی‌دانستم که این تجربه، بیشترین بخش (تاکنون) زندگی حرفه‌ای من را شکل خواهد داد. تصمیم به مطالعه عمیق پردازش ویدئو و تصویر گرفتم و در یک درس کارشناسی ارشد با تمرکز بر این موضوعات ثبت‌نام کردم. خیلی زود متوجه شدم که انتخاب خوبی انجام داده‌ام، اما از این واقعیت که عجایب پردازش تصویر و ویدئو دیجیتال اغلب به شیوه دقیق ریاضی ارائه شده‌اند، متحیر شدم. اگرچه این نکته برای مهندسين محض (از جمله من) و دانشمندان کامپیوتر خوب است، اما بدون هیچ دلیلی پردازش ویدئو و تصویر را برای دیگران دشوار می‌کند. من واقعا احساس کردم که این مایه تاسف است و تصمیم گرفتم کاری در مورد آن انجام دهم.<sup>۱</sup>

در این کتاب، مفاهیم و روش‌ها با استفاده کمتر از بیان ریاضی توصیف شده و نحوه بیان به طور کلی راحت و خودمانی است. به منظور کمک به خواننده در مورد ریاضیاتی که در کتاب استفاده شده ضمیمه B اضافه شده است. از این رو، این کتاب درسی خودشمول و کامل است. برخی از الگوریتم‌های کلیدی در کدهای C مثال زده شده‌اند. لطفا توجه داشته باشید که کدها نه بهینه است و نه کامل و صرفا به عنوان ورودی اضافی برای درک الگوریتم‌ها عمل می‌کنند.

جنبه دیگری که من را به عنوان یک دانشجو متعجب می‌کرد این بود که کتاب‌های درسی همه در مورد پردازش تصویر بودند، در حالی که ما سیستم‌هایی ساختیم که با ویدئو کار می‌کردند. بسیاری از روش‌های توصیف شده برای پردازش تصویر به وضوح می‌توانند برای داده‌های ویدیویی نیز اعمال شوند، اما داده‌های ویدیویی بعد زمانی را نیز اضافه می‌کنند که اغلب کلید موفقیت در سیستم‌های پردازش ویدئو است. بنابراین هدف این کتاب نه تنها معرفی پردازش تصویر، بلکه پردازش ویدئو نیز است. علاوه بر این، دو فصل آخر کتاب، فرآیند طراحی و پیاده‌سازی سیستم‌های واقعی پردازش داده‌های ویدیویی را شرح می‌دهد. در وب‌سایت کتاب می‌توانید توضیحات مفصلی درباره سایر ویدیوهای پردازش سیستم‌های عملی پیدا کنید: <http://www.vip.aau.dk>

من سعی کردم تا حد امکان کتاب را مختصر بنویسم. به همین دلیل مجبور بودم جزئیات و موضوعاتی را که ممکن است برای برخی از خوانندگان جالب باشد کنار بگذارم. به عنوان یک جایگزین هر فصل با بخش «اطلاعات بیشتر» پایان می‌یابد که در آن اشاره‌هایی به مفاهیم، روش‌ها و جزئیات بیشتر ارائه می‌شود.

---

<sup>۱</sup> این رخدادهای مربوط به ۱۵ سال پیش است.

**برای مدرسان** هر فصل با تعدادی تمرین به پایان می‌رسد. اولین تمرین بعد از هر فصل ارزیابی می‌کند که دانشجویان تا چه حد مفاهیم اصلی را درک کرده‌اند. در صورت امکان، توصیه می‌شود که این تمرینات در گروه‌های کوچک مورد بحث قرار گیرد. تمرین‌های بعد روی مباحث عملی‌تر تمرکز دارند که در آن مسائل واقعی و ملموس باید با استفاده از روش‌ها/ الگوریتم‌های مختلف ارائه شده در فصل‌های مربوطه حل شوند. در نهایت یک یا چند تمرین اضافی وجود دارد. هدف از این تمرین‌ها، موضوعاتی است که مستقیماً در فصل‌ها مورد بحث قرار نگرفته‌اند. ایده پشت این تمرین‌ها این است که آنها می‌توانند به عنوان خودآموزی عمل کنند و در آن هر دانشجو (یا گروه کوچکی از دانشجوها) با بررسی منابع دیگر راه حل را پیدا می‌کنند. سپس آنها می‌توانند یافته‌های خود را برای سایر دانشجویان ارائه کنند.

علاوه بر تمرین‌های فهرست شده در کتاب، اکیدا توصیه می‌کنم آن‌ها را با مثال‌ها و تمرین‌هایی که در آن تصاویر/ فیلم‌های واقعی پردازش می‌شوند ترکیب کنید. من شخصا با ImageJ برای پردازش تصویر و EyesWeb برای پردازش ویدیو شروع می‌کنم. انگیزه اصلی استفاده از این برنامه‌ها این است که یادگیری آن‌ها آسان است، از این رو دانشجویان می‌توانند هنگام حل تمرین‌ها بر روی یادگیری پردازش ویدیو و تصویر به جای یک زبان برنامه‌نویسی خاص تمرکز کنند. با این حال، وقتی صحبت از ساختن سیستم‌های واقعی می‌شود، توصیه می‌کنم از OpenCV یا openFrameworks استفاده کنید (البته از EyesWeb یا موارد مشابه می‌توان برای ساخت سیستم‌ها نیز استفاده کرد، اما آنها قابل تعمیم نیستند). البته برای این منظور دانشجویان باید یک دوره آموزشی در مورد برنامه‌نویسی رویه‌ای قیل یا به موازات دوره پردازش تصویر داشته باشند. برای تغییر از ImageJ/Eyesweb به یک محیط سطح پایین‌تر مانند OpenCV، من معمولاً از هر دانشجویی می‌خواهم که یک تکلیفی را انجام دهد و در آن برنامه‌ای بنویسد که بتواند تصویری را دریافت کند، کمی پردازش تصویر انجام دهد و نتیجه را نمایش دهد. وقتی دانشجو بتواند این کار را انجام دهد، چارچوبی برای اجرای «همه» روش‌های پردازش تصویر دیگر دارد. البته زمان اختصاص داده شده برای این تکلیف بستگی به تجربیات برنامه‌نویسی دانشجویان دارد.

**قدردانی** این کتاب اغلب آخر هفته‌ها و اواخر شب نوشته شده است. من از خانواده‌ام برای درک و حمایت در آن مدت تشکر می‌کنم! همچنین می‌خواهم از افراد زیر تشکر کنم: Hans Ebert و Volker Krüger برای بحث‌های اولیه در مورد "پروژه کتاب". Moritz Störring برای ارائه شکل ۲-۳. Rasmus R. Paulsen برای ارائه شکل ۲-۲۲ (الف) و ۴-۵. Rikke Gade برای ارائه شکل ۲-۲۲ (ب). Tobias Thyrrestrup برای ارائه شکل ۲-۲۲ (ج). David Meredith، Rasmus R. Paulsen، Lars Reng و Kamal Nasrollahi برای نظرات ویراستاری خردمندانه و مفید و در نهایت تشکر ویژه از Lars Knudsen



و Andreas Møgelmoose که با ایجاد بسیاری از تصاویر استفاده شده در سراسر کتاب کمک ارزشمندی کردند.

لذت ببرید!

ویبورگ، دانمارک

Thomas B. Moeslund



## فهرست

۱۷	فصل ۱: مقدمه
۱۸	۱-۱ گونه‌های مختلف پردازش ویدیو و تصویر
۲۰	۲-۱ چارچوب کلی
۲۲	۳-۱ فصل‌های این کتاب
۲۳	۴-۱ تمرین
۲۵	فصل ۲: گردآوری تصویر
۲۵	۱-۲ انرژی
۲۷	۱-۱-۲ شدت روشنایی
۲۹	۲-۲ سیستم نوری
۳۰	۱-۲-۲ لنز یا عدسی
۳۶	۳-۲ حسگر تصویر
۴۰	۴-۲ تصویر دیجیتال
۴۱	۱-۴-۲ ناحیه مطلوب (ROI)
۴۴	۵-۲ اطلاعات بیشتر
۴۵	۶-۲ تمرینات
۴۷	فصل ۳: تصاویر رنگی
۴۷	۱-۳ رنگ چیست؟
۵۰	۲-۳ نمایش تصویر رنگی RGB
۵۴	۱-۲-۳ فضای رنگی RGB
۵۴	۲-۲-۳ تبدیل از RGB به سطح خاکستری
۵۶	۳-۲-۳ نمایش رنگ RGB نرمال شده
۶۱	۳-۳ نمایش‌های رنگی دیگر
۶۲	۱-۳-۳ نمایش رنگی HSI
۶۴	۲-۳-۳ نمایش رنگی HSV
۶۵	۳-۳-۳ نمایش رنگی YUV و $YCbCr$
۶۷	۴-۳ اطلاعات بیشتر
۶۸	۵-۳ تمرینات

**فصل ۴: پردازش نقطه‌ای..... ۷۱**

- ۷۲ ..... ۱-۴ نگاشت سطح خاکستری
- ۷۵ ..... ۲-۴ نگاشت غیرخطی سطح خاکستری
- ۷۵ ..... ۱-۲-۴ نگاشت گاما
- ۷۶ ..... ۲-۲-۴ نگاشت لگاریتمی
- ۷۸ ..... ۳-۲-۴ نگاشت نمایی
- ۷۸ ..... ۳-۴ هیستوگرام تصویر
- ۸۱ ..... ۱-۳-۴ کشش هیستوگرام
- ۸۳ ..... ۲-۳-۴ متعادل‌سازی هیستوگرام
- ۸۴ ..... ۴-۴ آستانه‌گذاری
- ۸۶ ..... ۱-۴-۴ آستانه‌گذاری رنگ
- ۸۹ ..... ۲-۴-۴ آستانه‌گذاری در ویدیو
- ۹۴ ..... ۵-۴ عملیات‌های منطقی روی تصاویر دودویی
- ۹۵ ..... ۶-۴ محاسبات تصویر
- ۹۹ ..... ۷-۴ برنامه‌نویسی عملیات‌های پردازش نقطه‌ای
- ۱۰۰ ..... ۸-۴ اطلاعات بیشتر
- ۱۰۱ ..... ۹-۴ تمرینات

**فصل ۵: پردازش همسایگی..... ۱۰۵**

- ۱۰۶ ..... ۱-۵ فیلتر میانه
- ۱۱۰ ..... ۱-۱-۵ فیلترهای رتبه
- ۱۱۰ ..... ۲-۵ همبستگی
- ۱۱۳ ..... ۱-۲-۵ تطبیق الگو
- ۱۱۶ ..... ۲-۲-۵ آشکارسازی لبه
- ۱۲۲ ..... ۳-۲-۵ واضح‌سازی تصویر
- ۱۲۴ ..... ۳-۵ اطلاعات بیشتر
- ۱۲۶ ..... ۴-۵ تمرینات

**فصل ۶: ریخت‌شناسی..... ۱۲۹**

- ۱۳۱ ..... ۱-۶ سطح ۱: ضربت و گنجاندن

۱۳۱	..... ۱-۱-۶ ضربت
۱۳۲	..... ۲-۱-۶ گنجیدن
۱۳۳	..... ۲-۶ سطح ۲: گسترش و فرسایش
۱۳۴	..... ۱-۲-۶ گسترش
۱۳۵	..... ۲-۲-۶ فرسایش
۱۳۶	..... ۳-۶ سطح ۳: عملیات‌های ترکیبی
۱۳۶	..... ۱-۳-۶ بستن
۱۳۷	..... ۲-۳-۶ گشودن
۱۳۸	..... ۳-۳-۶ ترکیب عملیات‌های گشودن و بستن
۱۳۹	..... ۴-۳-۶ آشکارسازی مرز
۱۴۰	..... ۴-۶ اطلاعات بیشتر
۱۴۱	..... ۵-۶ تمرینات
۱۴۳	<b>فصل ۷: تجزیه و تحلیل BLOB</b>
۱۴۴	..... ۱-۷ استخراج BLOB
۱۴۵	..... ۱-۱-۷ الگوریتم چمن-آتش بازگشتی
۱۴۷	..... ۲-۱-۷ الگوریتم چمن-آتش ترتیبی
۱۴۸	..... ۲-۷ ویژگیهای BLOB
۱۵۲	..... ۳-۷ دسته‌بندی BLOB
۱۵۶	..... ۴-۷ اطلاعات بیشتر
۱۵۸	..... ۵-۷ تمرینات
۱۶۱	<b>فصل ۸: ناحیه‌بندی در داده‌های ویدیویی</b>
۱۶۱	..... ۱-۸ گردآوری ویدیو
۱۶۵	..... ۲-۸ تشخیص تغییرات در ویدیو
۱۶۵	..... ۱-۲-۸ الگوریتم
۱۶۹	..... ۳-۸ حذف پس‌زمینه
۱۷۰	..... ۱-۳-۸ تعریف مقدار حد آستانه
۱۷۱	..... ۴-۸ تفاضل‌گیری تصویر
۱۷۳	..... ۵-۸ اطلاعات بیشتر

۱۷۴	۶-۸ تمرینات
<b>۱۷۷</b>	<b>فصل ۹: ردیابی</b>
۱۷۸	۱-۹ ردیابی با تشخیص
۱۷۹	۲-۹ پیشبینی
۱۸۲	۳-۹ ردیابی اشیا چندگانه
۱۸۶	۱-۳-۹ ویژگی‌های خوب برای ردیابی
۱۸۸	۴-۹ اطلاعات بیشتر
۱۸۹	۵-۹ تمرینات
<b>۱۹۱</b>	<b>فصل ۱۰: تبدیل‌های هندسی</b>
۱۹۲	۱-۱۰ تبدیل‌های همگر یا آفین
۱۹۲	۱-۱-۱۰ انتقال
۱۹۲	۲-۱-۱۰ مقیاس‌بندی
۱۹۴	۳-۱-۱۰ چرخش
۱۹۴	۴-۱-۱۰ اعوجاج
۱۹۴	۵-۱-۱۰ ترکیب تبدیل‌ها
۱۹۵	۲-۱۰ عملی کردن تبدیل همگر
۱۹۷	۱-۲-۱۰ نگاشت رو به عقب
۱۹۸	۲-۲-۱۰ درون‌یابی
۱۹۹	۳-۱۰ ابهام‌زدایی یا هموگرافی
۲۰۳	۴-۱۰ اطلاعات بیشتر
۲۰۴	۵-۱۰ تمرینات
<b>۲۰۷</b>	<b>فصل ۱۱: جلوه‌های بصری</b>
۲۰۷	۱-۱۱ جلوه‌های بصری بر اساس دستکاری پیکسل
۲۰۸	۱-۱-۱۱ پردازش نقطه‌ای
۲۰۹	۲-۱-۱۱ پردازش همسایگی
۲۰۹	۳-۱-۱۱ حرکت
۲۱۰	۴-۱-۱۱ کاهش رنگ
۲۱۱	۵-۱-۱۱ تصادفی بودن

۲۱۲	..... ۲-۱۱ جلوه‌های بصری مبتنی بر تبدیل‌های هندسی
۲۱۳	..... ۱-۲-۱۱ تبدیل قطبی
۲۱۵	..... ۲-۲-۱۱ تبدیل چرخشی
۲۱۶	..... ۳-۲-۱۱ تبدیل کروی
۲۱۷	..... ۴-۲-۱۱ تبدیل موجی
۲۱۸	..... ۵-۲-۱۱ تبدیل محلی
۲۱۸	..... ۳-۱۱ اطلاعات بیشتر
۲۲۱	..... ۴-۱۱ تمرینات
<b>۲۲۳</b>	<b>فصل ۱۲: مثال کاربردی: بازی سرگرمی-آموزشی</b>
۲۲۴	..... ۱-۱۲ ایده
۲۲۵	..... ۲-۱۲ چیدمان
۲۲۵	..... ۱-۲-۱۲ نورپردازی مادون قرمز
۲۲۸	..... ۲-۲-۱۲ واسنجی یا کالیبراسیون
۲۲۹	..... ۳-۱۲ ناحیه‌بندی
۲۳۰	..... ۴-۱۲ نمایش
۲۳۱	..... ۵-۱۲ یادداشت الحاقی
<b>۲۳۳</b>	<b>فصل ۱۳: مثال کاربردی: مرتب کردن سکه‌ها با استفاده از یک ربات</b>
۲۳۴	..... ۱-۱۳ ایده
۲۳۷	..... ۲-۱۳ گردآوری تصویر
۲۳۸	..... ۳-۱۳ پیش پردازش
۲۳۹	..... ۴-۱۳ ناحیه‌بندی
۲۳۹	..... ۵-۱۳ نمایش و دسته‌بندی
۲۴۴	..... ۶-۱۳ یادداشت الحاقی
<b>۲۴۵</b>	<b>پیوست A: بیت‌ها، بایت‌ها و عددهای دودویی</b>
۲۴۷	..... ۱-A تبدیل دهدهی به دودویی
<b>۲۴۹</b>	<b>پیوست B: تعاریف ریاضی</b>
۲۴۹	..... ۱-B قدرمطلق
۲۴۹	..... ۲-B $Max$ و $Min$

۲۵۰	۳-B تبدیل عدد کسری به عدد صحیح
۲۵۰	۴-B مجموع
۲۵۲	۵-B بردار
۲۵۴	۶-B ماتریس
۲۵۶	۷-B بکارگیری جبر خطی
۲۵۷	۸-B مثلث قائم الزاویه
۲۵۷	۹-B مثلث‌های متشابه
۲۵۹	<b>پیوست C: پارامترهای یادگیری در سیستم‌های پردازش تصویر و ویدیو</b>
۲۵۹	۱-C آموزش
۲۶۲	۲-C مقداردهی اولیه
۲۶۳	<b>پیوست D: تبدیل بین RGB و HSI</b>
۲۶۳	۱-D تبدیل از RGB به HSI
۲۶۶	۲-D تبدیل از HSI به RGB
۲۷۱	<b>پیوست E: تبدیل بین RGB و HSV</b>
۲۷۱	۱-E تبدیل از RGB به HSV
۲۷۲	۱-۱-E HSV: اشباع
۲۷۳	۲-۱-E HSV: فام
۲۷۵	۲-E تبدیل از HSV به RGB
۲۷۷	<b>پیوست F: تبدیل بین RGB و YUV/YCbCr</b>
۲۷۷	۱-F خروجی یک سیگنال بدون رنگ
۲۷۸	۲-F محدوده X1 و X2
۲۷۸	۳-F YUV
۲۷۹	۴-F YCbCr
۲۸۱	<b>مراجع</b>
۲۸۳	<b>نمایه موضوعی</b>