

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه تربیت مدرس

اصول پردازش تصاویر دیجیتال

ترجمه و تألیف:

دکتر محمد شمس اسفند آبادی

مهندس ابو الفضل احمدی

۱۳۹۱

سر شناسه : شمس اسفند آبادی ، محمد ، ۱۳۵۷ /
عنوان و نام پدید آور : اصول پردازش تصاویر دیجیتال / ترجمه و تألیف محمد شمس
اسفند آبادی، ابوالفضل احمدی
مشخصات نشر : تهران : دانشگاه شهید رجائی، ۱۳۸۷.
شابک : 978 - 964 - 2651 - 16 - 0
مشخصات ظاهری : ۶۰۴ ص. : مصور (رنگی).
وضعیت فهرست نویسی : فیبا.
یادداشت : کتابنامه ص. ۵۷۱.
یادداشت : واژه نامه
موضوع : عکس پردازی - روش های رقمی
موضوع : احمدی، ابوالفضل، ۱۳۵۰ -
شناسنامه افزوده : دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی.
رده بندی کنگره : ۱۳۸۷ ۶ الف ۸ ش / ۱۶۳۲ TA
رده بندی دیویی : 63 / 2167
شماره کتابشناسی ملی : ۱۵۱۶۹۴۰



دانشگاه تربیت دبیر رجائی

عنوان : اصول پردازش تصاویر دیجیتال
تألیف : محمد شمس اسفند آبادی، ابوالفضل احمدی
چاپ اول : ۱۳۸۷
چاپ دوم : ۱۳۹۱
انتشارات : دانشگاه شهید رجائی
صحافی : گرنامی
چاپ : پایان
ناظر فنی : غلامرضا کارگریان مروستی
شمارگان : ۱۰۰۰ جلد
قیمت : ۱۵,۰۰۰ تومان
شابک : ۹۷۸ - ۹۶۴ - ۲۶۵۱ - ۱۶ - ۰ : ISBN: 978 - 964 - 2651 - 16 - 0

کلیه حقوق این اثر برای مؤلفین و دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی محفوظ است.

نشانی: تهران، لویزان - کد پستی ۱۶۷۸۸ - صندوق پستی ۱۶۳ - ۱۶۷۸۵ - تلفن: ۲۲۹۷۰۰۶۰ - ۹

نمبر: ۲۲۹۷۰۰۰۳ پست الکترونیکی: sru@srttu.edu

فهرست مطالب

۱	فصل اول : مقدمه
۲	۱-۱ پردازش تصویر و کاربردهای آن
۷	۲-۱ تولید یک تصویر
۱۲	۳-۱ نمونه برداری و کوانتیزاسیون
۱۶	۴-۱ تصاویر دیجیتال و مفاهیم اولیه
۱۹	۱-۴-۱ رزولوشن مکانی و سطح خاکستری
۲۴	۲-۴-۱ تصاویر باینری
۲۴	۳-۴-۱ رنگ
۲۴	۴-۴-۱ درون یابی تصویر
۲۷	۵-۱ روابط بین پیکسل ها
۲۷	۱-۵-۱ همسایه های یک پیکسل
۲۷	۲-۵-۱ مفهوم مجاورت، اتصال، ناحیه و مرز
۲۹	۶-۱ ابزارهای پردازش تصویر در MATLAB
۳۹	فصل دوم : ارتقای تصویر در حوزه ی مکان
۴۲	۱-۲ دستکاری سطوح روشنایی پیکسل ها
۴۸	۲-۲ معرفی برخی تبدیلات سطح روشنایی
۴۹	۱-۲-۲ تبدیل منفی
۴۹	۲-۲-۲ تبدیل لگاریتمی
۵۱	۳-۲-۲ تبدیل قانون - توان
۵۷	۴-۲-۲ توابع تبدیل تکه ای - خطی
۵۷	کشش کنتراست
۵۹	انتخاب قطعه ای از سطح روشنایی
۶۰	قطعه گزینی صفحه بیتی
۶۱	۳-۲ پردازش بر اساس هیستوگرام تصویر

۶۳	۱-۳-۲ کشش، فشردگی و جابجایی هیستوگرام
۷۱	۲-۳-۲ متعادل سازی هیستوگرام
۷۶	۳-۳-۲ تطبیق هیستوگرام
۸۵	۴-۳-۲ ارتقای محلی
۸۷	۵-۳-۲ استفاده از پارامترهای آماری
۹۴	۴-۲ عملگرهای حسابی و منطقی
۹۹	۵-۲ فیلتر در حوزه‌ی مکان
۱۰۳	۶-۲ کانولوشن و همبستگی
۱۰۵	۷-۲ تولید نقاب‌های حوزه‌ی مکان
۱۰۶	۸-۲ فیلترهای هموارساز
۱۰۶	۱-۸-۲ فیلترهای هموارساز خطی
۱۱۰	۲-۸-۲ فیلتر میانه
۱۱۱	۹-۲ فیلترهای تیز کننده
۱۱۳	۱-۹-۲ استفاده از مشتق دوم در ارتقای تصویر
۱۱۸	۲-۹-۲ استفاده از مشتق اول در ارتقای تصویر
۱۲۰	۱۰-۲ استفاده از روش‌های فازی در ارتقای تصویر
۱۲۱	۱-۱۰-۲ اصول نظریه‌ی مجموعه‌های فازی
۱۲۴	۲-۱۰-۲ برخی توابع عضویت
۱۲۵	۳-۱۰-۲ استفاده از مجموعه‌های فازی
۱۳۶	۴-۱۰-۲ استفاده از مجموعه‌های فازی در تبدیلات شدت روشنایی
۱۳۹	۵-۱۰-۲ فیلتر در حوزه‌ی مکان با استفاده از مجموعه‌های فازی
۱۴۲	۱۱-۲ معرفی توابع IPT برای الگوریتم‌های ارتقای تصویر
۱۵۹	فصل سوم : بازیابی تصویر در حوزه‌ی مکان
۱۶۱	۱-۳ مدل تخریب و فرایند بازیابی
۱۶۲	۲-۳ مدل‌های نویز
۱۶۳	۱-۲-۳ خواص مکانی و فرکانسی نویز
۱۶۳	۲-۲-۳ تابع چگالی احتمال نویز

۱۶۳	نویز یکنواخت
۱۶۶	نویز نمک و فلفل
۱۶۸	نویز نمایی منفی
۱۶۹	نویز گاما
۱۶۹	نویز متناوب ۳-۲-۳
۱۷۰	تخمین نویز ۴-۲-۳
۱۷۳	حذف نویز در حوزه‌ی مکان ۳-۳
۱۷۵	فیلترهای مرتبه آماری ۱-۳-۳
۱۸۰	فیلترهای متوسط گیر ۲-۳-۳
۱۸۲	فیلتر متوسط گیر هندسی ۴-۳-۳
۱۸۲	فیلتر متوسط گیر هارمونیک ۵-۳-۳
۱۸۴	فیلتر متوسط گیر Yp ۶-۳-۳
۱۸۶	فیلترهای سازگار ۴-۳
۱۹۲	تابع خرابی ۵-۳
۱۹۳	تابع گسترش نقطه
۱۹۵	توابع IPT برای پردازش‌های بازیابی تصویر ۶-۳
۲۱۱	فصل چهارم : تبدیلات تصویر
۲۱۷	تبدیل هادامارد ۱-۴
۲۲۱	تبدیل فوریه ۲-۴
۲۲۳	تبدیل فوریه‌ی گسسته برای توابع یک بعدی ۱-۲-۴
۲۲۵	تبدیل فوریه‌ی گسسته برای توابع دو بعدی ۲-۲-۴
۲۳۴	تبدیل کسینوسی ۳-۴
۲۳۹	تبدیل هاف ۴-۴
۲۴۱	تبدیل هار ۵-۴
۲۴۴	تبدیل اسلنت ۶-۴
۲۴۵	تبدیل هاتلینگ ۷-۴
۲۴۵	مقادیر ویژه و بردارهای ویژه ۱-۷-۴

۲۴۷	۲-۷-۴ ماتریس کواریانس
۲۴۹	۳-۷-۴ محاسبه‌ی تبدیل هاتلینگ
۲۵۱	۸-۴ محاسبه‌ی تبدیلات تصویر در MATLAB
۲۶۲	فصل پنجم : پردازش تصویر در حوزه‌ی فرکانس
۲۶۲	۱-۵ مفهوم فیلتر در حوزه‌ی فرکانس
۲۶۸	۲-۵ فیلترهای هموارساز در حوزه‌ی فرکانس
۲۷۰	۱-۲-۵ فیلترهای پایین گذر ایده‌آل
۲۷۷	۲-۲-۵ فیلتر پایین گذر باترورث
۲۷۸	۳-۲-۵ فیلترهای پایین گذر گاوسی
۲۸۲	۳-۵ فیلترهای تیز کننده‌ی تصویر در حوزه‌ی فرکانس
۲۸۵	۱-۳-۵ فیلتر بالاگذر ایده آل
۲۸۷	۲-۳-۵ فیلتر بالاگذر باترورث
۲۸۸	۳-۳-۵ فیلتر بالاگذر گاوسی
۲۸۹	۴-۳-۵ لاپلاس در حوزه‌ی فرکانس
۲۹۳	۵-۳-۵ فیلتر همومورفیک
۲۹۹	۴-۵ فیلترهای میان گذر و میان نگذر
۳۰۲	۵-۵ خواص تبدیل فوریه دوبعدی
۳۱۱	۶-۵ بازیابی تصاویر در حوزه‌ی فرکانس
۳۱۱	۱-۶-۵ تخمین تابع تبدیل خرابی
۳۱۷	۲-۶-۵ بازیابی توسط فیلترهای حوزه‌ی فرکانس
۳۱۹	۳-۶-۵ فیلتر معکوس
۳۲۱	۴-۶-۵ فیلتر وینر
۳۲۸	۵-۶-۵ فیلتر متوسط گیر هندسی
۳۲۹	۷-۵ فیلترهای سازگار در حوزه‌ی فرکانس
۳۳۰	۸-۵ حذف نویز متناوب
۳۳۶	۹-۵ معرفی توابع IPT در حوزه‌ی فرکانس
۳۵۱	فصل ششم : فشرده‌سازی تصویر

۳۵۳	۱-۶ روش‌های فشرده‌سازی بدون افت
۳۵۳	۱-۱-۶ کدگذاری آنتروپی
۳۵۸	کد هافمن
۳۶۱	کد حسابی
۳۶۴	۲-۱-۶ کد طول ردیف
۳۶۷	۲-۶ روش‌های فشرده‌سازی با افت
۳۷۰	کدگذاری پیشگویی تفاضلی
۳۷۸	استاندارد JPEG
۳۹۰	فصل هفتم : ناحیه‌بندی تصویر
۳۹۰	۱-۷ تشخیص لبه با استفاده از گرادیان و لاپلاس
۳۹۶	۱-۱-۷ گرادیان
۴۰۵	۲-۱-۷ لاپلاس
۴۱۱	۳-۱-۷ پیوندزنی لبه
۴۱۸	۲-۷ پردازش آستانه‌ای
۴۲۰	۱-۲-۷ نقش نویز در پردازش آستانه‌ای
۴۲۰	۲-۲-۷ نقش روشنایی در پردازش آستانه‌ای
۴۲۳	۳-۲-۷ پردازش آستانه‌ای سراسری
۴۲۵	استفاده از هموارسازی تصویر برای بهبود پردازش آستانه‌ای سراسری
۴۲۷	استفاده از لبه‌ها برای بهبود پردازش آستانه‌ای سراسری
۴۳۰	۴-۲-۷ استفاده از سطوح آستانه‌ای متغیر
۴۳۵	استفاده از خواص محلی در پردازش آستانه‌ای
۴۳۷	استفاده از متوسط‌های در حرکت
۴۳۹	۵-۲-۷ پردازش آستانه‌ای خودکار
۴۳۹	الگوریتم فیلتر گاوسی
۴۴۲	الگوریتم اتسو
۴۴۵	۳-۷ ناحیه بندی بر اساس یافتن نواحی در تصویر
۴۴۶	۱-۳-۷ رشد ناحیه
۴۴۹	۲-۳-۷ ادغام و جدا سازی نواحی

۴۵۱	ناحیه‌بندی تصویر توسط توابع IPT ۴-۷
۴۶۴	فصل هشتم : پردازش‌های مورفولوژی
۴۶۴	۱-۸ برخی مفاهیم اولیه در نظریه‌ی مجموعه‌ها
۴۶۷	۲-۸ تصاویر باینری و عملگرهای منطقی
۴۶۷	۳-۸ اتساع و سایش
۴۸۰	۴-۸ عملگرهای باز و بسته
۴۸۳	۵-۸ عملگر Hit-or-Miss
۴۸۷	۶-۸ استخراج مرز
۴۹۱	۷-۸ پر کردن حفره
۴۹۲	۸-۸ استخراج پیکسل‌های به هم پیوسته
۴۹۵	۹-۸ اسکلت یک ناحیه
۴۹۸	۱۰-۸ نازک‌سازی
۴۹۹	۱۱-۸ هرس
۵۰۱	۱۲-۸ روش‌های مورفولوژی در پردازش تصاویر سطح خاکستری
۵۰۶	تبدیلات Top-Hat و Bottom-Hat
۵۰۸	۱۳-۸ ناحیه‌بندی با استفاده از مفهوم آب‌پخشان
۵۱۲	۱۴-۸ پردازش‌های مورفولوژی توسط توابع موجود در IPT
۵۳۰	فصل نهم : پردازش تصاویر رنگی
۵۳۰	۱-۹ اصول اولیه‌ی رنگ
۵۳۴	۲-۹ مدل‌های رنگ
۵۴۲	۳-۹ تصاویر شبه رنگی
۵۴۸	۴-۹ پردازش تصاویر تمام رنگی
۵۵۰	۵-۹ تبدیلات رنگ
۵۵۴	۶-۹ هموارسازی و تیز کردن تصاویر رنگی
۵۵۷	۷-۹ ناحیه بندی تصاویر رنگی

۵۶۲	۸-۹	نویز در تصاویر رنگی
۵۶۳	۹-۹	پردازش تصاویر رنگی در MATLAB
۵۷۱		مراجع
۵۷۳		واژه نامه انگلیسی به فارسی
۵۸۱		تصاویر رنگی مربوط به فصل نهم

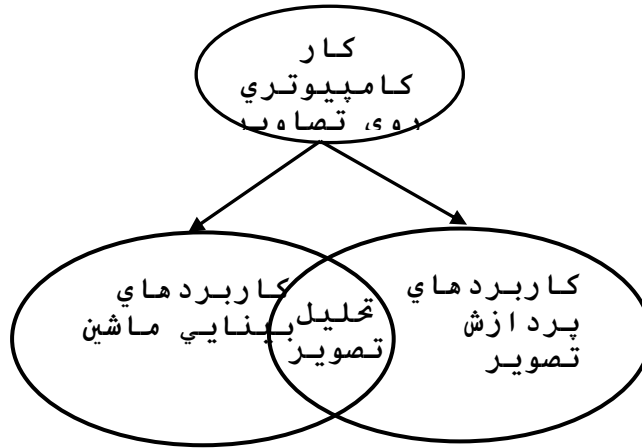
۱-۱ پردازش تصویر و کاربردهای آن

بخش بزرگی از اطلاعات دریافتی از محیط توسط حس بینایی انسان صورت می‌گیرد، از اینرو پردازش اطلاعات بینایی توسط کامپیوتر تلاش عمده‌ی محققان و دانشمندان در دهه‌های اخیر بوده است [۱]. تصویر نیز همانند بسیاری از سیگنال‌های دیگر در ابتدا آنالوگ است، لذا برای پردازش تصاویر دیجیتال، ابتدا بایستی آنرا با استفاده از یک مبدل آنالوگ به دیجیتال به اطلاعات دیجیتال تبدیل نمود. مجموعه‌ای از نقاط رنگی یا سیاه و سفید در کنار هم یک تصویر را می‌سازد. تقریباً تمام کاربران کامپیوتر کم و بیش با کاربردهای پردازش تصویر برخورد نموده‌اند. یک کاربر معمولی کامپیوتر می‌داند که برخی از فایل‌های تصویری دارای حجم زیاد و برخی دیگر حجم کمی دارند. این افراد با پسوند‌هایی مثل jpg یا bmp آشنا بوده و می‌دانند اگر یک فایل bmp به jpg تبدیل شود حجم آن به میزان زیادی کاسته می‌شود، البته با از دست دادن جزئیات تصویر اصلی. کاربرانی که کمی حرفه‌ای‌تر از کامپیوتر استفاده می‌نمایند برای بهبود کیفیت تصاویر خروجی یک دستگاه اسکنر از برنامه‌هایی نظیر فتوشاپ استفاده می‌کنند. بدیهی است که پردازش تصویر به کاربردهای بالا خلاصه نمی‌شود. کاربردهای دیگری از پردازش تصویر وجود دارد که اغلب با آنها مواجه بوده و هستیم: شناسایی اثر انگشت، کنترل ترافیک شهری، شناخت یک هدف از پیش تعریف شده برای یک موشک، کنترل بینایی روی خط تولید و ... همه کاربردهایی هستند که تفاوت عمده‌ای با کاربردهایی که در بالا بیان شد، دارند. مهم‌ترین تفاوت این دو دسته کاربرد، خروجی الگوریتم‌های مربوط به هر یک است. خروجی پردازش‌هایی که در ابتدا بیان شد یک تصویر است. یک تصویر فشرده شده پس از خوانده شدن از حافظه یا دریافت باید دوباره به یک تصویر تبدیل شود. این موضوع برای پردازش‌هایی که با هدف بهبود کیفیت تصویر صورت می‌گیرد نیز صادق است. اما خروجی پردازش‌هایی که در پاراگراف دوم بیان شد لزوماً یک تصویر نیست بلکه ویژگی‌هایی^۱ از تصویر ورودی است. از این رو کار کامپیوتری با تصاویر در یک تقسیم‌بندی در دو گروه قرار می‌گیرد [۲]:

^۱ attributes

- پردازش تصویر^۱
- بینایی ماشین^۲

شکل ۱-۱ نشان می‌دهد که بخش مشترک این دو حوزه، تحلیل تصویر^۳ نامیده می‌شود.

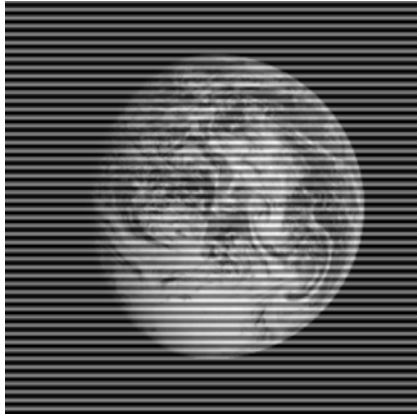


شکل ۱-۱: تقسیم‌بندی کار کامپیوتری روی تصاویر دیجیتال [۲]

تحلیل تصویر شامل الگوریتم‌های استخراج و بررسی اطلاعات موجود در تصویر است. سیستم‌های بینایی کامپیوتر کاربردهای مختلفی دارند، به عنوان مثال در یک سیستم ساخت و تولید می‌توان از این سیستم‌ها برای کنترل کیفیت استفاده نمود. در الگوریتم‌های پردازش تصویر معمولاً ارزیابی انسانی تعیین می‌کند که آیا یک الگوریتم مناسب است یا خیر، لذا شناخت سیستم بینایی انسان ضروری است. و از اینرو ارتقاء^۴ و بازیابی تصاویر^۵ مهمترین مباحث در پردازش تصویر می‌باشند. پردازش‌های بازیابی تصویر، تصویری را که توسط الگوی شناخته شده یا قابل تخمین، تخریب^۶ شده است، بازیابی می‌کند. برای این نوع پردازش لازم است تا حدی الگوی تخریب تصویر را

¹ image processing
² machine vision
³ image analysis
⁴ image enhancement
⁵ image restoration
⁶ degradation

بدانیم. اگر بتوان مدلی برای خرابی تصویر پیدا نمود، با یک پردازش معکوس می‌توان تصویر اولیه یا تقریبی از آن را بازیابی نمود. تصاویر شکل ۲-۱-الف و ۲-۱-ب نمونه‌هایی از پردازش بازیابی تصویر هستند. در شکل ۲-۱-الف یک تصویر که دچار اعوجاج شده است و در شکل ۲-۱-ب یک تصویر نویزی، بازیابی شده‌اند.



الف



ب

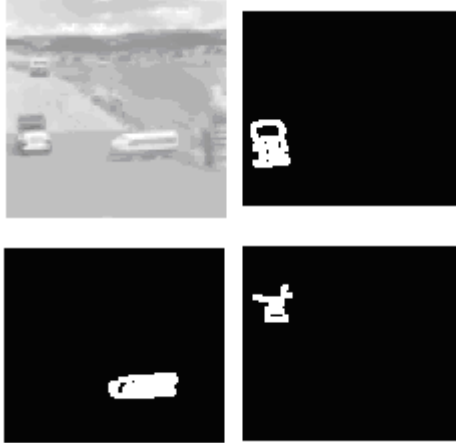
شکل ۲-۱: نمونه‌هایی از بازیابی تصویر [۲]

الف - بازیابی تصویر دارای اعوجاج ب - بازیابی یک تصویر نویزی

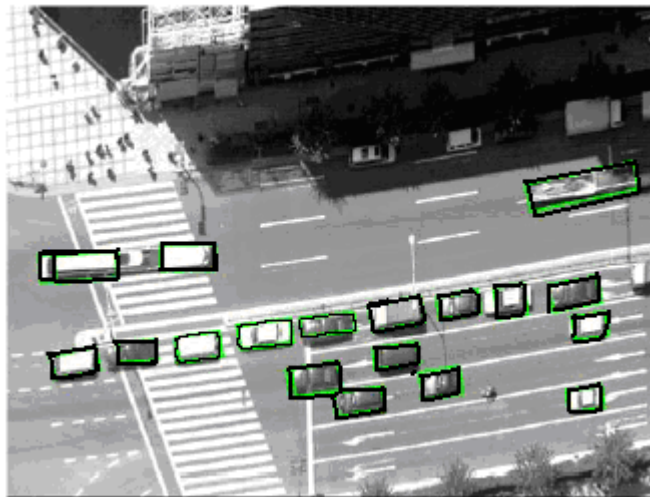
بینایی ماشین شاخه‌ای از هوش مصنوعی^۱ است که در آن بینایی انسان شبیه‌سازی می‌شود. نمونه‌هایی از کاربردهای بینایی ماشین در شکل ۳-۱-۱ ملاحظه می‌شود. در شکل ۳-۱-الف دیده می‌شود که سه خودروی موجود در یک تصویر تشخیص داده شده است. این تصاویر پس از مجموعه‌ای از پردازش‌هایی نظیر تشخیص لبه، تشخیص عناصر

^۱ Artificial Intelligence (AI)

به هم پیوسته و ... تولید شده‌اند. در شکل ۱-۳-ب ملاحظه می‌شود که اتومبیل‌های موجود در یک خیابان توسط یک تصویربرداری هوایی تشخیص داده شده‌اند. در شکل ۱-۳-ج ملاحظه می‌شود که اشیای متحرک در تصویر توسط یک دوربین تشخیص داده شده‌اند.



الف



ب

شکل ۱-۳: نمونه‌هایی از کاربردهای بینایی ماشین
الف و ب - تشخیص اتومبیل‌ها در تصویری از یک منظره



ج

شکل ۳-۱ (ادامه): نمونه‌هایی از کاربردهای بینایی ماشین ج - تشخیص اشیای متحرک

مرز مشخصی در زنجیره‌ای که پردازش تصویر در یک طرف و بینایی ماشین در طرف دیگر آن است وجود ندارد. با این وجود می‌توان سه مرحله برای این زنجیره در نظر گرفت: پردازش‌های سطح پایین که شامل پردازش‌های اولیه به منظور کاهش نویز، کم یا زیاد کردن کنتراست تصویر، عمل تیز کردن تصویر و ... است. ورودی و خروجی در این مرحله تصویر است. سپس پردازش سطح میانی که شامل عملیاتی نظیر ناحیه‌بندی^۱ تصویر به نواحی و اشیای کوچکتر، تعیین گسستگی‌های تصویر مثل لبه‌ها^۲ و ... هستند. خروجی در این مرحله، دیگر یک تصویر نیست بلکه ویژگی‌هایی از تصویر، مثل محل لبه‌ها است. در نهایت پردازش سطح بالا شامل برداشت حسی و شناخت مجموعه اشیای تشخیص داده شده در تصویر است.

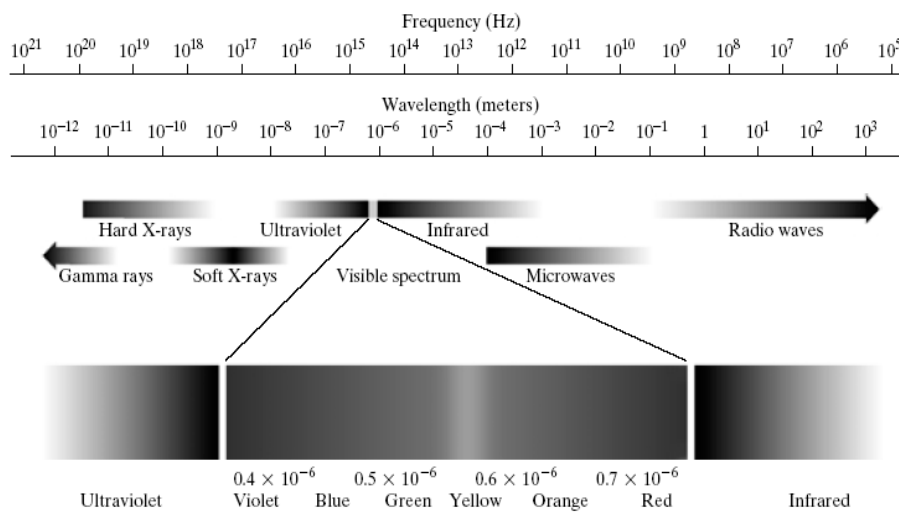
^۱ segmentation

^۲ edges

۲-۱ تولید یک تصویر

بر خلاف انسان که قادر است تنها بخش محدودی از طیف الکترومغناطیسی را ببیند، دستگاه‌های تصویربرداری می‌توانند تقریباً تمام طیف الکترومغناطیسی، از اشعه‌ی گاما گرفته تا امواج رادیویی را پوشش دهند.

طیف الکترومغناطیسی در شکل ۴-۱ نشان داده شده است. در این شکل محدوده‌ی طیفی که انسان می‌تواند به صورت نور (رنگ) ببیند بخش کوچکی از کل طیف الکترومغناطیسی است. در یک طرف طیف الکترومغناطیسی، امواج رادیویی قرار دارد که طول موج آن میلیاردها برابر بزرگتر از طول موج نور مرئی است. در سوی دیگر طیف، اشعه‌ی گاما با طول موجی میلیون‌ها برابر کوچکتر از طول موج نور مرئی، قرار گرفته است.



شکل ۴-۱: طیف الکترومغناطیسی [۱]

دریافت تصویر^۱ اولین مرحله از زنجیره‌ی پردازش تصویر است. دستگاه‌های مختلفی برای دریافت تصویر وجود دارد که هر یک مبتنی بر روش بخصوصی کار می‌کنند، از جمله: تصویربرداری توسط یک دوربین عکس‌برداری یا فیلم‌برداری، تصویربرداری با استفاده از اشعه‌ی X، تصویربرداری در باند مادون قرمز، تصویربرداری در باند میکروویو، تصویربرداری در باند رادیویی و

¹ image acquisition

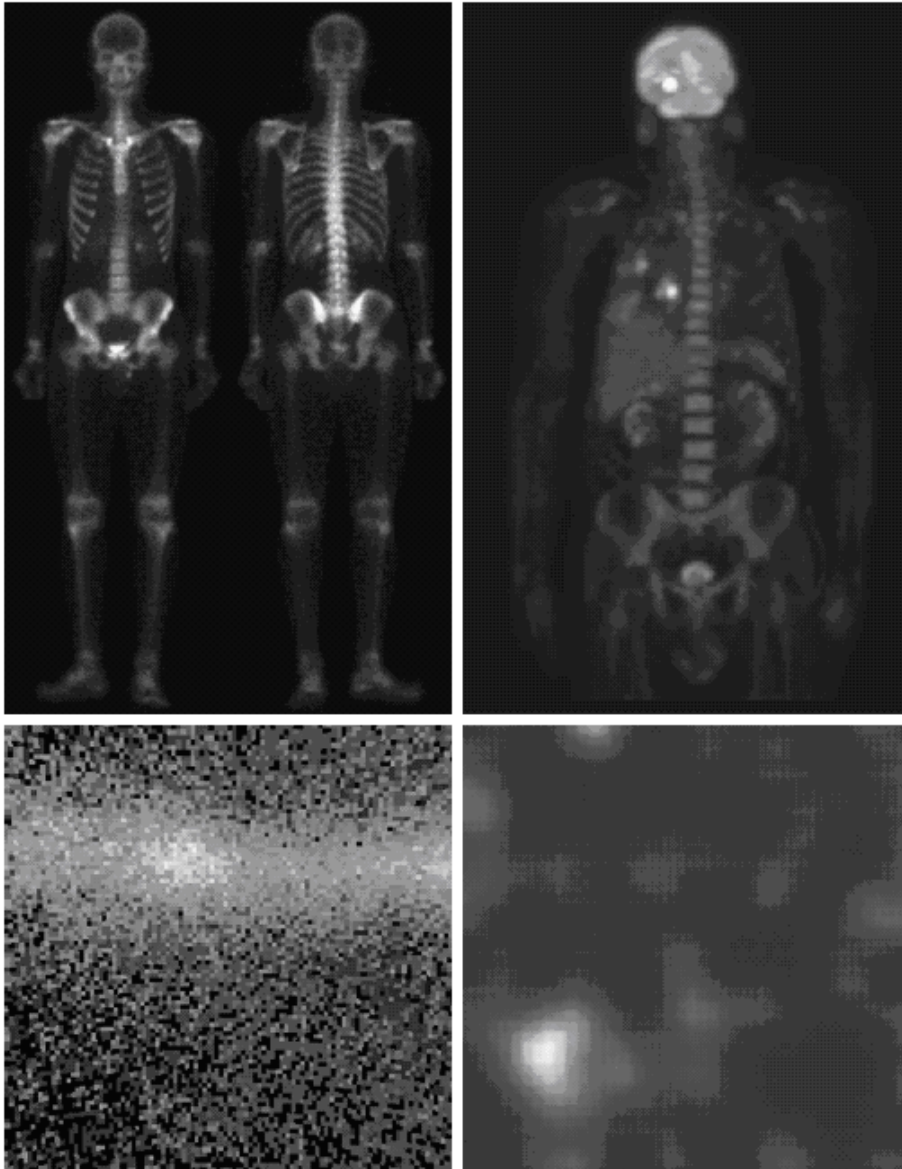
مهمترین کاربردهای تصویربرداری توسط اشعه‌ی گاما، در کاربردهای پزشکی - هسته‌ای و رصدهای نجومی است. در پزشکی هسته‌ای، یک ماده ایزوتوپ رادیواکتیو به بیمار تزریق می‌شود. این ماده اشعه گاما ساطع می‌کند و در زمان معینی از شدت آن کاسته خواهد شد. تصاویر به وسیله‌ی آشکار کننده‌های اشعه‌ی گاما با جمع‌آوری امواج ساطع شده تولید می‌شوند. شکل ۱-۵-الف یک تصویر کامل از استخوان‌های بدن انسان را نشان می‌دهد که به وسیله‌ی تصویربرداری اشعه‌ی گاما به دست آمده است. این نوع تصاویر می‌توانند برای تشخیص مکان‌هایی که دارای بیماری‌های استخوانی مانند عفونت یا تومور هستند استفاده شوند. شکل ۱-۵-ب یک نوع دیگری از تصویربرداری هسته‌ای را به نام *توموگرافی/انتشار پوزیترون*^۱ نشان می‌دهد که اصول آن همانند توموگرافی اشعه X است. ولی به جای استفاده از یک منبع خارجی انرژی اشعه‌ی X، یک ایزوتوپ رادیواکتیو به بیمار داده می‌شود که از خود پوزیترون ساطع می‌کند و در زمان معینی از شدت آن کاسته می‌شود. وقتی که پوزیترون به یک الکترون می‌رسد، هر دوی آنها از بین رفته و دو اشعه گاما حاصل می‌شود. این اشعه‌ها آشکار شده و یک تصویر توموگرافیک با استفاده از اصول پایه‌ای توموگرافی ایجاد می‌گردد. تصویر نشان داده شده در شکل ۱-۵-ب نمونه‌ای از این تصاویر بوده که شامل یک تفسیر سه بعدی از بیمار است. این تصویر به خوبی وجود یک تومور در مغز و یک تومور در شش را به صورت توده‌های کوچک نشان می‌دهد.

شکل ۱-۵-ج حلقه‌ی دجاجه^۲ است که در باند اشعه‌ی گاما تصویربرداری شده است. این تصویر با استفاده از تشعشع طبیعی شیبی تولید شده است. بالاخره شکل ۱-۵-د یک تصویر تشعشع گاما را از دریچه‌ی یک راکتور هسته‌ای نشان می‌دهد. در این شکل یک تشعشع قوی در پایین و سمت چپ تصویر دیده می‌شود.

اشعه‌ی X به عنوان یکی از قدیمی‌ترین منابع تشعشع الکترومغناطیسی بوده که در تصویربرداری استفاده می‌شود. شاید مشهورترین کاربرد اشعه X در پزشکی باشد. اما این اشعه در صنعت نیز کاربردهای زیادی دارد. شکل ۱-۶-الف یک تصویر اشعه‌ی X از قفسه‌ی سینه را نشان می‌دهد که در آن بیمار بین اشعه و یک فیلم حساس به انرژی اشعه‌ی X قرار گرفته است.

^۱ Positron Emission Tomography (PET)

^۲ cygnus loop



شکل ۱-۵: نمونه‌هایی از تصویربرداری اشعه‌ی گاما [۱]
 الف - تصویر استخوان‌های بدن ب - تصویربرداری PET ج - حلقه‌ی
 دجاجه د - تشعشع گاما از دریچه‌ی یک رآکتور هسته‌ای

ب	الف
---	-----

د	ج
---	---

آنژیوگرافی^۱ یکی دیگر از کاربردهای اصلی در این زمینه بوده که رادیوگرافی ارتقای کنتراست نامیده می‌شود. این شیوه برای به دست آوردن تصاویر رگ‌های خونی استفاده می‌شود. یک کاتتر^۲ (یک لوله‌ی توخالی کوچک و قابل انعطاف) به سرخرگ یا سیاهرگ وارد می‌شود. کاتتر به سمت محل مورد مطالعه هدایت می‌شود و هنگامی که به محل مورد نظر رسید یک واسط متمایز کننده‌ی اشعه X^۳ از طریق کاتتر تزریق می‌شود. این عمل باعث ارتقای کنتراست رگ‌های خونی شده و رادیولوژیست را قادر می‌سازد اختلالات را به خوبی مشاهده کند. شکل ۱-۶- ب نمونه‌ای از یک آنژیوگرام آئورت را نشان می‌دهد. کاتتر وارد شده به رگ خونی بزرگ در سمت چپ و پایین تصویر مشهود است.

شاید مشهورترین تصویربرداری پزشکی که از اشعه‌ی X استفاده می‌کند، توموگرافی محوری کامپیوتری^۴ باشد. به دلیل قدرت تفکیک و توانایی‌های سه بعدی، اسکن‌های CAT انقلابی را در تصویربرداری پزشکی به وجود آورده‌اند.

هر تصویر CAT یک مقطع گرفته شده به صورت عمودی از بیمار است. مقاطع مختلفی هنگام حرکت بیمار در جهت طولی تشکیل می‌شود. مجموعه‌ای از چنین تصاویری، یک تفسیر سه بعدی از داخل بدن بیمار را ارائه می‌دهند. شکل ۱-۶- ج یک نمونه از تصویر مقطعی CAT از سر را نشان می‌دهد.

اشعه X با انرژی بالاتر نیز در صنعت کاربرد فراوان دارد. شکل ۱-۶- د یک تصویر اشعه X را از یک صفحه‌ی مدار چاپی نشان می‌دهد. از این تصاویر برای رفع عیوبی مانند قسمت‌های شکسته شده، ترک خورده یا تشخیص قطعات مونتاژ نشده در مدار چاپی استفاده می‌شود.

تصاویر دیجیتال با اندازه‌گیری پاسخ اشیاء به یک انرژی تولید می‌شوند، به نحوی که به منظور تولید یک تصویر، این اندازه‌گیری‌ها در یک صفحه‌ی دو بعدی صورت می‌گیرد. دستگاه‌های اندازه‌گیر، حس‌گر^۵ نامیده می‌شوند. حس‌گرهای مختلف قادرند به بخش-های مختلف طیف الکترومغناطیسی پاسخ دهند. همانطور که در شکل ۱-۴ ملاحظه می‌شود طیف EM شامل نور مرئی، مادون قرمز (IR)، ماوراءبنفش، اشعه X، مایکروویو،

¹ angiography

² catheter

³ X-ray contrast medium

⁴ Computerized Axial Tomography (CAT)

⁵ sensor