

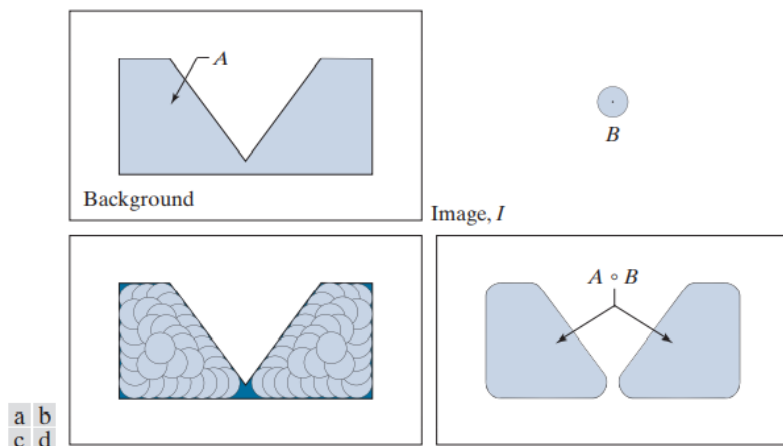
کتاب پردازش تصویر دیجیتال گونزالس
[برای دانلود کتاب کامل اینجا کلیک کنید](#)

در A موجود است ، و مجموعه نشان داده شده در شکل ۹.۸ (d) اتحاد همه تبدیل های ممکن است. توجه داشته باشید که در این مورد ، دهانه مجموعه ای است که از دو زیرمجموعه جداگانه تشکیل شده است ، ناشی از این واقعیت است که B نمی تواند در قسمت باریک در مرکز A قرار بگیرد. همانطور که به زودی خواهید دید ، توانایی حذف مناطق باریک تر از عنصر ساختار یکی از ویژگیهای کلیدی باز شدن شکل شناسی است. این تفسیر که باز کردن A توسط B اتحاد همه تبدیل های B است به طوری که B به طور کامل در A می تواند به صورت معادله به صورت زیر نوشته شود

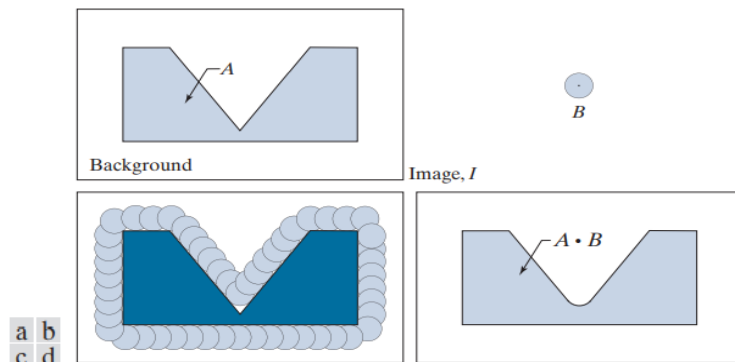
$$A \circ B = \bigcup \{ (B)_z \mid (B)_z \subseteq A \} \quad (9-12)$$

جایی که U اتحاد مجموعه ها را در داخل براکت هانشان می دهد.

هنگامی که از یک عنصر ساختار دایره ای برای باز کردن استفاده می شود ، قیاس اغلب به این صورت است که شکل دهانه توسط "توپ نورد" تعیین می شود و تا آنجا که می تواند به مرز داخلی یک مجموعه برسد. برای بستن شکل شناسی ، توپ به بیرون می غلتد و شکل بسته شدن با توجه به اینکه توپ تا چه حد می تواند به مرز برسد تعیین می شود.



شکل ۹.۸ (الف) شکل A ، متشکل از مجموعه (شی) A و پس زمینه. (ب) عنصر ساختار B . (ج) تبدیل B در حال بودن موجود در A . (د) باز شدن A توسط B .



شکل ۹.۹ (الف) شکل ۱، متشکل از مجموعه (شی) A و پس زمینه. (ب) عنصر ساختار B (ج) تبدیل های B به گونه ای که B هیچ قسمتی با هم تداخل نداشته باشد از A. (برای وضوح A تیره نشان داده شده است.) (د) بستن A توسط B.

بستن تفسیر هندسی مشابهی دارد، با این تفاوت که اکنون B را به خارج از A تبدیل می کنیم. بسته شدن سپس مکمل اتحاد همه تبدیل های B است که با A. همپوشانی ندارند. شکل ۹.۹ این مفهوم را نشان می دهد. توجه داشته باشید که محدوده بسته شدن با دورترین نقاطی که B می تواند بدون ورود به هیچ قسمتی از A به آن برسد تعیین می شود. بر اساس این تفسیر، می توانیم بسته شدن A را با B بنویسیم

$$A \bullet B = \left[\bigcup \{ (B)_z \mid (B)_z \cap A = \emptyset \} \right]^c \quad (9-13)$$

مثال ۹.۳: باز و بسته شدن شکل شناسی .

شکل ۹.۱۰ روند و خواص باز و بسته شدن را با جزئیات بیشتری نشان می دهد. برخلاف شکل ۹.۸ و ۹.۹، که اهداف اصلی آنها تفسیرهای کلی هندسی است، این فرایندهای فرایندهای فردی را نشان می دهد و همچنین به رابطه بین مقیاس نتایج نهایی و اندازه عناصر ساختاردهنده توجه بیشتری می کند. شکل ۹.۱۰ (a) شکل را نشان می دهد که حاوی یک شی واحد (مجموعه) A و یک عنصر ساختار دیسک است.

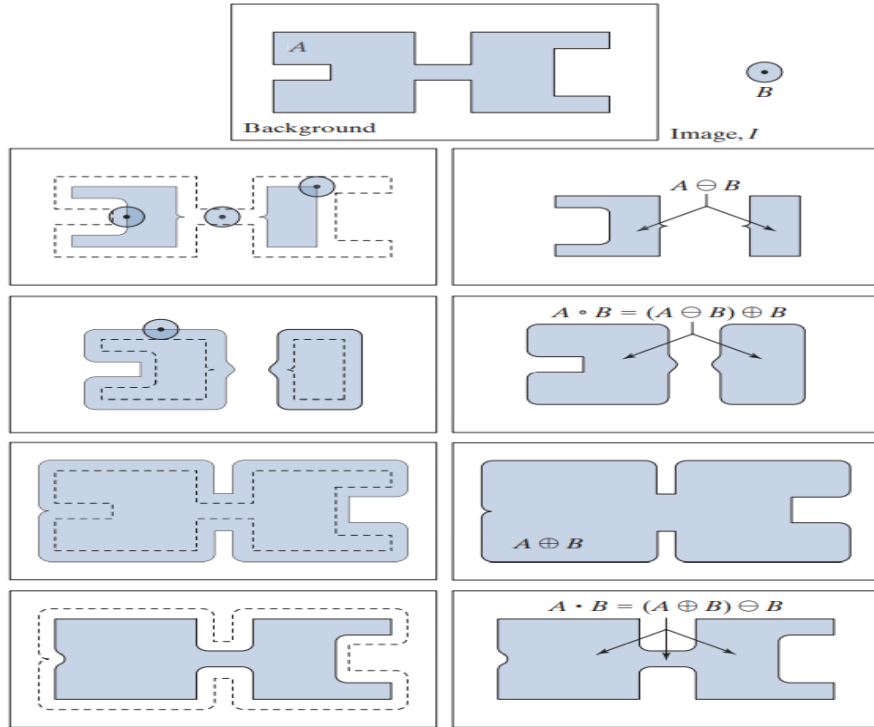
شکل ۹.۱۰ (ب) موقعیت های مختلف عنصر ساختار را در طول سایش نشان می دهد. این فرایند منجر به جدا شدن مجموعه شکل ۹.۱۰ (ج) شد. توجه داشته باشید که چگونه پل بین دو بخش اصلی حذف شده است. عرض آن نسبت به قطر عنصر ساختار بندی نازک است، که نمی توان آن را به طور کامل در این قسمت از مجموعه قرار داد، بنابراین تعریف سایش را نقض می کند. همین امر در مورد دو راست ترین عضو شی صادق بود. عناصر برآمده که دیسک در آن ضعیف نبود حذف شد. شکل ۹.۱۰ (د) روند اتساع مجموعه فرسوده را نشان می دهد، و شکل ۹.۱۰ (ه) نتیجه نهایی باز شدن را نشان می دهد. دهانه شکل شناسی مناطقی را که نمی توانند عنصر ساختار را شامل شوند حذف می کند، خطوط اجسام را صاف می کند، اتصالات نازک را می شکنند و برجستگی های نازک را حذف می کند.

شکل ۹.۱۰ (f) تا (i) نتایج بسته شدن A را با همان عنصر ساختار نشان می دهد. مانند باز شدن، بستن نیز خطوط اجسام را صاف می کند. با این حال، برخلاف باز شدن، بسته شدن تمایل به پیوستن به شکاف های باریک، پر کردن خلیج های نازک طولانی و پر کردن اجسام کوچکتر از عنصر ساختاردهنده دارد. در این مثال، نتیجه اصلی بسته شدن این بود که خلیج کوچک سمت چپ مجموعه A را پر کرد. همانطور که در مورد سایش و اتساع، باز و بسته شدن دوگانه از نظر مکمل و بازتاب مجموعه هستند:

$$(A \circ B)^c = (A^c \cdot \hat{B}) \quad (9-14)$$

$$(A \cdot B)^c = (A^c \circ \hat{B}) \quad (9-15)$$

ما اثبات این معادلات را به عنوان تمرین می گذاریم (به مسئله ۹.۲۰ مراجعه کنید).



شکل ۹.۱۰ باز و بسته شدن شکل شناسی . (الف) شکل ۱ ، متشکل از مجموعه (شیء) A و پس زمینه ؛ جامد و دایره ای عنصر ساختار نیز نشان داده شده است. (نقطه منبع است.) (ب) ساختار عنصر در موقعیت های مختلف. (ج) - (ا) شکل شناسی عملیات مورد استفاده برای به دست آوردن باز و بسته شدن دهانه شکل شناسی دارای ویژگی های زیر است:

- (a) $A \circ B$ is a subset of A .
- (b) If C is a subset of D , then $C \circ B$ is a subset of $D \circ B$.
- (c) $(A \circ B) \circ B = A \circ B$.

به طور مشابه ، بستن ویژگی های زیر را برآورده می کند:

- (a) A is a subset of $A \cdot B$.
- (b) If C is a subset of D , then $C \cdot B$ is a subset of $D \cdot B$.
- (c) $(A \cdot B) \cdot B = A \cdot B$.

از شرط (ج) در هر دو مورد توجه داشته باشید که چندین باز یا بسته شدن یک مجموعه پس از یکبار اعمال عملیات هیچ تاثیری ندارد.

مثال ۹.۴: استفاده از باز و بسته شدن برای فیلترهای شکل شناسی .

از عملیات شکل شناسی می توان برای ساخت فیلترهایی شبیه به مفهوم فیلترهای فضایی مورد بحث در فصل ۳ استفاده کرد. شکل دوتایی در شکل ۹.۱۱ (الف) قسمتی از یک اثر انگشت را نشان می دهد که توسط نویز خراب شده است. از نظر نماد قبلی ما ، A مجموعه ای از همه پیکسل های پیش زمینه (سفید) است که شامل اشیاء مورد علاقه (برجستگی های انگشت نگاری) و همچنین نقاط سفید نویز تصادفی است. پس زمینه مانند قبل سیاه است. این نویز به صورت لکه های سفید در زمینه تیره و لکه های تیره روی اجزای سفید اثر انگشت مشخص می شود.

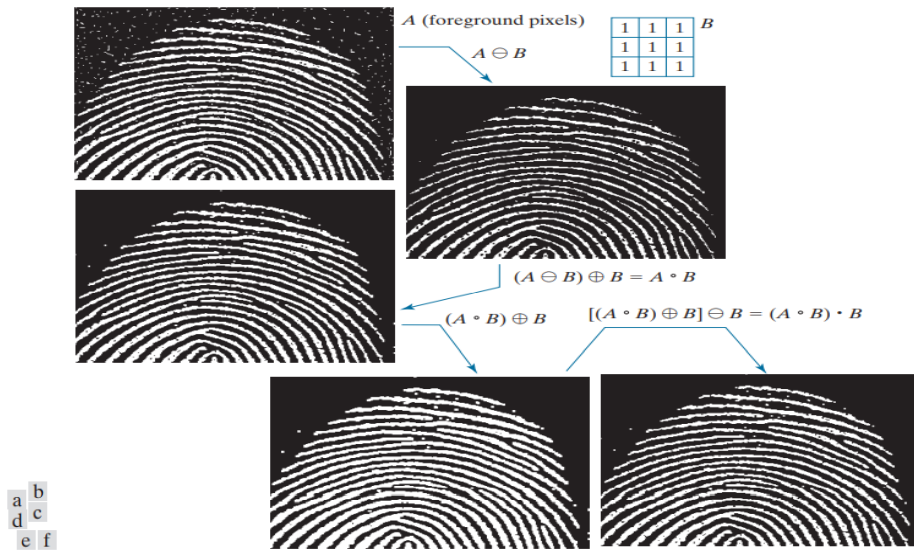
هدف حذف نویز و اثرات آن بر روی چاپ است ، در حالی که آن را تا حد ممکن مخدوش می کند. برای تحقق این هدف می توان از فیلتر شکل شناسی متشکل از دهانه و سپس بستن آن استفاده کرد.

شکل ۹.۱۱ (ب) عنصر ساختار بندی مورد استفاده ما را نشان می دهد. بقیه شکل ۹.۱۱ دنباله ای از مراحل فیلتر را نشان می دهد. شکل ۹.۱۱ (ج) نتیجه سایش A توسط B است. نویز خال سفید در پس زمینه در مرحله سایش باز شدن تقریباً به طور کامل حذف شد ، زیرا در این مورد اکثر اجزای نویز کوچکتر از عنصر ساختار هستند. اندازه عناصر نویز (لکه های تیره) موجود در اثر انگشت در واقع اندازه آنها افزایش یافته است. دلیل آن این است که این عناصر مرزهای درونی هستند که با سایش اجسام اندازه آنها افزایش می یابد. این بزرگ شدن با انجام اتساع در شکل ۹.۱۱ (ج) مقابله می شود. شکل ۹.۱۱ (د) نتیجه را نشان می دهد.

دو عملیاتی که به تازگی توضیح داده شد ، باز شدن A توسط B را تشکیل می دهند. ما در شکل ۹.۱۱ (د) توجه می کنیم که اثر خالص باز شدن ، کاهش همه اجزای نویز در پس زمینه و خود اثر انگشت است. با این حال ، شکاف های جدیدی بین خط الراس اثر انگشت ایجاد شد. برای مقابله با این اثر نامطلوب ، همانطور که در شکل ۹.۱۱ (e) نشان داده شده است ، باز شو را روی دهانه انجام می دهیم. بیشتر شکستگی ها ترمیم شد ، اما برجستگی ها ضخیم شد ، شرایطی که با سایش قابل رفع است. نتیجه نشان داده شده در شکل ۹.۱۱ (f) ، بستن دهانه شکل ۹.۱۱ (d) است. این نتیجه نهایی به طور قابل ملاحظه ای از لکه های نویز پاک است ، اما هنوز برخی از نویزها را که به صورت پیکسل تک ظاهر می شوند ، نشان می دهد. این موارد را می توان با روش هایی که بعداً در این فصل بحث خواهیم کرد حذف کرد.

۹.۴ تبدیل HIT-OR-MISS

تبدیل شکل شناسی ضربه یا از دست دادن (HMT) یک ابزار اساسی برای تشخیص شکل است. بگذارید من یک شکل دوتایی باشم که به ترتیب از پیکسل های پیش زمینه (A) و پس زمینه تشکیل شده است. بر خلاف روشهای شکل شناسی که تاکنون مورد بحث قرار گرفته است ، HMT از دو عنصر ساختاری استفاده می کند: B_1 ، برای تشخیص اشکال در پیش زمینه و B_2 ، برای تشخیص اشکال در پس زمینه. HMT شکل ۱ به صورت تعریف شده است.



شکل ۹.۱۱ الف) شکل پر نویز(ب) عنصر ساختار. ج) شکل فرسوده (د) اتساع سایش (باز شدن A). ه) اتساع دهانه. (و) بستن دهانه. (شکل اصلی از موسسه ملی استاندارد و فناوری تهیه شده است).

$$I \oplus B_{1,2} = \{z | (B_1)_z \subseteq A \text{ and } (B_2)_z \subseteq A^c\} \quad (9-16)$$

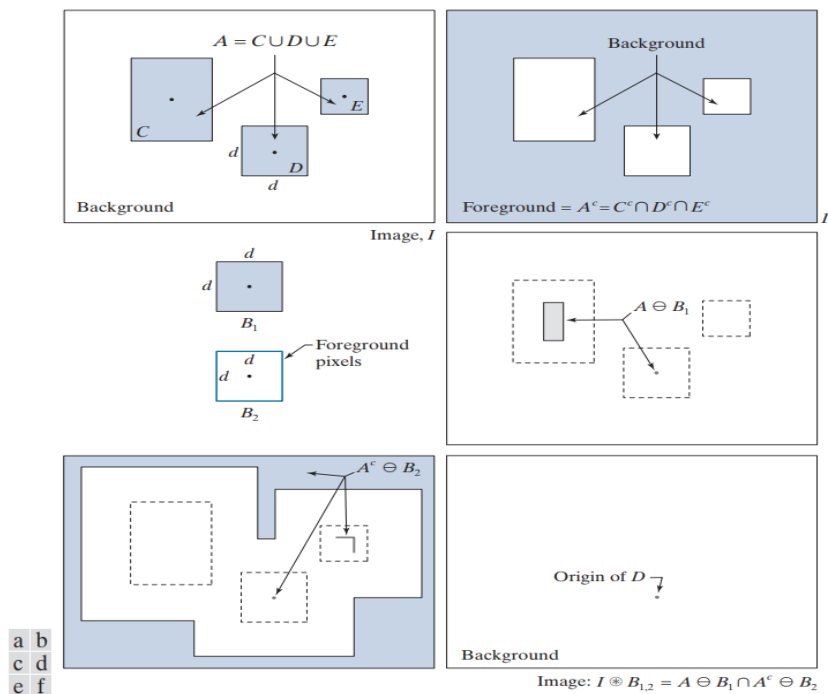
$$= (A \ominus B_1) \cap (A^c \ominus B_2)$$

جایی که خط دوم از تعریف سایش در معادله ناشی می شود. (۹-۳). به عبارت دیگر ، این معادله می گوید که HMT شکل شناسی مجموعه ای از تبدیل ها ، z ، ساختار عناصر B₁ و B₂ است که به طور همزمان ، B₁ در پیش زمینه (به عنوان مثال ، B₁ در A موجود است) و B₂ در پس زمینه یک مطابقت پیدا کرد (یعنی B₂ در AC موجود است). کلمه "همزمان" به این معنی است که Z همان تبدیل هر دو عنصر ساختار دهنده است. کلمه "miss" در HMT از این واقعیت ناشی می شود که B₂ مطابقت در AC را همان B₂ پیدا نکردن (از دست دادن) مطابقت در A نمی داند.

شکل ۹.۱۲ مفاهیم تازه معرفی شده را نشان می دهد. فرض کنید ما می خواهیم محل منشاء شی (مجموعه) D را در شکل ا. پیدا کنیم. در اینجا ، A اتحاد همه مجموعه های شیء است ، بنابراین D زیرمجموعه ای از A است. نیاز به دو عنصر ساختاربخش که قادر به تشخیص ویژگی ها هستند هم پیش زمینه و هم پیش زمینه فوراً آشکار می شود. هر سه شی از پیکسل های پیش زمینه تشکیل شده اند و یکی از راه های توضیح اینکه چرا آنها به شکل های مختلف به نظر می رسند این است که هریک مساحت متفاوتی از پس زمینه را اشغال کرده است. به عبارت دیگر ، ماهیت یک شکل با آرایش هندسی پیکسل های پیش زمینه و پس زمینه تعیین می شود.

شکل ۹.۱۲ (a) نشان می دهد که I از پیکسل های پیش زمینه (A) و پس زمینه تشکیل شده است. شکل ۹.۱۲ (ب) I C است ، مکمل I. پیش زمینه IC به عنوان مجموعه ای از پیکسل ها در AC تعریف شده است ، و پس زمینه اتحاد مکمل سه شیء است. شکل ۹.۱۲ (ج) دو عنصر ساختاربندی مورد نیاز برای تشخیص D. عنصر B₁ با خود

D برابر است. همانطور که در شکل ۹.۱۲ (d) نشان داده شده است ، سایش A توسط B۱ حاوی یک نقطه واحد است: منبع D ، به دلخواه ، اما همچنین شامل قسمتهایی از شی C است.



شکل ۹.۱۲ (الف) شکل متشکل از پیش زمینه (۱) برابر با اتحاد ، A ، مجموعه اشیاء ، و پس زمینه ۰. (ب) شکل با پیش زمینه آن به عنوان AC تعریف شده است. (ج) ساختار عناصر طراحی شده برای تشخیص شی D (د) سایش A مدار مجتمع شکل ، من B۱ توسط بی. (ه) سایش AC توسط B۲ (و) تقاطع از (d) و (e) ، محل مبدا D را به دلخواه نشان می دهد. نقطه ها منشاء اجزای مربوطه را نشان می دهند. هر نقطه یک پیکسل واحد است. عنصر ساختار B۲ برای تشخیص D در IC طراحی شده است. از آنجا که D از عناصر پس زمینه در C تشکیل شده است و سایش با عناصر پیش زمینه کار می کند ، B۲ باید برای تشخیص رمز D ، که از پیکسل های پیش زمینه در C تشکیل شده است ، طراحی شود. SE در شکل ۹.۱۲ (c) دقیقاً این کار را انجام می دهد. این شامل یک مستطیل از عناصر پیش زمینه به ضخامت یک پیکسل است. اندازه مستطیل به اندازه ای است که اندازه D را در بر می گیرد. شکل ۹.۱۲ (e) سایش پیش زمینه IC توسط B۲ (سایه) را نشان می دهد. این شامل منبع D است ، اما همچنین شامل قسمتهایی از مجموعه های AC و C است (ناحیه سایه دار بیرونی در شکل ۹.۱۲ (e) بزرگتر از آن است (به مسئله ۹.۲۵ مراجعه کنید) ؛ نتیجه به همان اندازه شکل بریده شد من برای سازگاری). تنها عناصری که در شکل ها مشترک است. ۹.۱۲ (d) و (e) منشاء D است ، بنابراین تقاطع این دو مجموعه عناصر ، مکان مورد نظر را به دلخواه نشان می دهد. شکل ۹.۱۲ (f) نتیجه نهایی را نشان می دهد. توضیح قبلی روش کلاسیک ارائه HMT با استفاده از سایش است که فقط برای پیکسل های پیش زمینه تعریف شده است. یک سوال خوب در این مرحله این است: چرا به جای گذراندن چنین فرآیند سختی ، سعی نکنید با استفاده از

یک عنصر ساختاربخش مستقیم D را در شکل ۱ تشخیص دهید؟ پاسخ این است که این کار امکان پذیر است ، اما نه در زمینه "سنتی" سایش به روشی که ما آن را در معادله تعریف کرده ایم. (۳-۹) و (۵-۹). برای تشخیص مستقیم D در شکل ۱ ، باید بتوانیم پیکسل های پیش زمینه و پس زمینه را به طور همزمان پردازش کنیم ، نه اینکه فقط پردازش کنیم

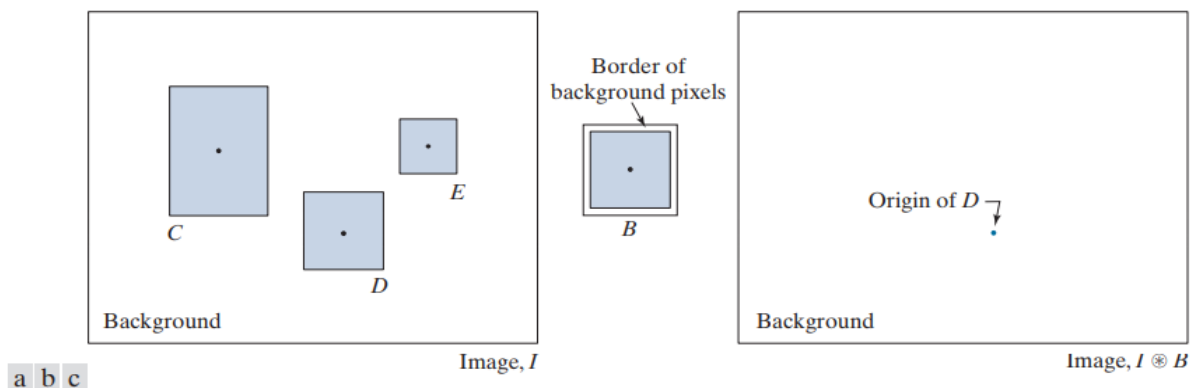
پیکسل های پیش زمینه ، مطابق با نیاز به تعریف سایش.

برای نشان دادن اینکه چگونه می توان این کار را در مثال ۹.۱۲ انجام داد ، ما یک عنصر ساختاربندی B ، یکسان با D را تعریف می کنیم ، اما علاوه بر این دارای حاشیه ای از عناصر پس زمینه با عرض یک پیکسل هستیم. ما می توانیم از یک عنصر ساختاربندی که به گونه ای شکل گرفته است برای بیان مجدد HMT استفاده کنیم

$$I \otimes B = \{z | (B)_z \subseteq I\} \quad (9-17)$$

فرم همان معادله است. (۳-۹) ، اما اکنون آزمایش می کنیم تا ببینیم آیا $Z(B)$ زیر مجموعه ای از شکل ۱ است که از پیکسل های پیش زمینه و پس زمینه تشکیل شده است. این فرمول کلی است ، به این معنا که B را می توان برای تشخیص هر نوع پیکسل در شکل ۱ ، مانند شکل ، ساختار داد. ۹.۱۳ و ۹.۱۴ نشان می دهد.

شکل ۹.۱۳ از لحاظ گرافیکی همان محلول شکل ۹.۱۲ (f) را نشان می دهد ، اما از عنصر ساختاربندی واحد مورد بحث در پاراگراف قبلی استفاده می کند. شکل ۹.۱۴ چندین مثال را بر اساس استفاده از معادله نشان می دهد. (۹-۱۷). ردیف اول نتیجه استفاده از یک SE کوچک را که از عناصر پیش زمینه (سایه دار) و پس زمینه تشکیل شده است نشان می دهد. این SE برای تشخیص حفره های یک پیکسلی (به عنوان مثال ، یک پیکسل پس زمینه احاطه شده توسط یک مرز متصل به پیکسل های پیش زمینه) موجود در شکل ۱. طراحی شده است. SE در ردیف دوم قادر به تشخیص پیکسل گوشه پیش زمینه بالا ، گوشه راست است از شی در ۱. استفاده از این SE در معادله (۹-۱۷) شکل سمت راست را نشان داد. همانطور که می بینید ، پیکسل صحیح مشخص شد. آخرین ردیف شکل ۹.۱۴ جالب تر است ، زیرا یک عنصر ساختاری متشکل از پیش زمینه ، پس زمینه و عناصر "اهمیتی نمی دهد" را نشان می دهد که ، همانطور که قبلاً ذکر شد ، با S^1 نشان می دهیم. می توانید به ارزش یک عنصر اهمیت ندهید که همیشه با پیکسل مربوطه در شکل مطابقت دارد. در این مثال ، وقتی SE روی پیکسل گوشه سمت راست بالا متمرکز است ، عناصر اهمیتی در بالای SE را می توان پس زمینه در نظر گرفت و عناصر بی اهمیت در ردیف پایین را به عنوان پیش زمینه در نظر گرفت. ایجاد یک مسابقه صحیح هنگامی که SE بر روی پیکسل پایین ، گوشه سمت راست متمرکز است ، نقش عناصر بی اهمیت معکوس دارد و دوباره نتیجه مطلوب را نشان می دهد. پیکسل های حاشیه دیگر بین دو گوشه به طور مشابه با در نظر گرفتن همه عناصر بی اهمیت به عنوان پیش زمینه تشخیص داده شدند. بنابراین ، استفاده از عناصر بی اهمیت ، انعطاف پذیری ساختار عناصر را برای انجام چندین نقش افزایش می دهد.



شکل ۹.۱۳ محلول مشابه شکل ۹.۱۲، اما با استفاده از معادله (۹-۱۷) با یک عنصر ساختار واحد.

۹.۵ برخی از الگوریتم های شکل شناسی اساسی

با بحث قبلی به عنوان پایه، ما اکنون آماده ایم که برخی کاربردهای کاربردی شکل شناسی را در نظر بگیریم. هنگام برخورد با تصاویر دوتایی، یکی از کاربردهای اصلی شکل شناسی در استخراج اجزای شکل است که در نمایش و توصیف شکل مفید هستند. به طور خاص، ما الگوریتم های شکل شناسی را برای استخراج مرزها، اجزای متصل، بدنه محدب و طرح یک منطقه در نظر می گیریم. ما همچنین چندین روش (برای پر کردن ناحیه، نازک شدن، ضخیم شدن و هرس) ایجاد می کنیم که اغلب برای پیش یا پس از پردازش استفاده می شود. ما در این بخش از "تصاویر کوچک" استفاده می کنیم، که برای روشن شدن مکانیک هر روش شکل شناسی هنگام معرفی آن طراحی شده است. این تصاویر باینری به صورت گرافیکی با پیش زمینه (۱) سایه دار و پس زمینه (۰) به رنگ سفید، مانند قبل نشان داده می شود.

استخراج محدوده

مرز مجموعه ای از پیکسل های پیش زمینه، که با $b(A)$ نشان داده می شود، می تواند ابتدا با سایش A توسط عنصر ساختار بندی مناسب B و سپس انجام تفاوت مجموعه بین A و سایش آن به دست آید. به این معنا که،

$$b(A) = A - (A \ominus B) \quad (9-18)$$

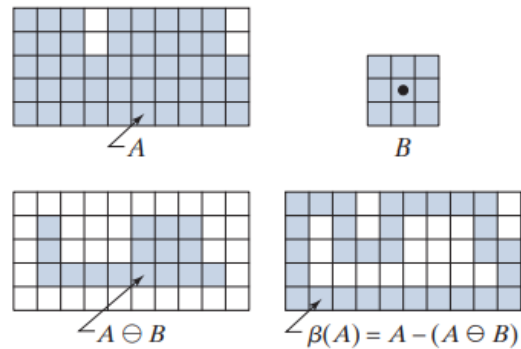
شکل ۹.۱۵ مکانیک استخراج مرز را نشان می دهد. این یک شی دوتایی ساده، یک عنصر ساختار بندی B و نتیجه استفاده از معادله را نشان می دهد. (۹-۱۸). عنصر ساختار دهی در شکل ۹.۱۵ (ب) از جمله مواردی است که اغلب مورد استفاده قرار می گیرد، اما منحصر به فرد نیست. به عنوان مثال، استفاده از یک عنصر ساختاری $5 * 5$ از ۱ منجر به ایجاد ضخامت بین ۲ تا ۳ پیکسل می شود. قابل درک است که شکل ۹.۱۵ (الف) با حاشیه ای از عناصر پس زمینه پر شده است و نتایج پس از اتمام عملیات شکل شناسی به اندازه اصلی بریده شده است.

مثال ۹.۵: استخراج محدوده.

شکل ۹.۱۶ استفاده از معادله را بیشتر نشان می دهد. (۹-۱۸) با استفاده از یک عنصر ساختار 3×3 از ۱. مانند قبل هنگام کار با تصاویر ، پیکسل های پیش زمینه (۱) را به رنگ سفید و پیکسل های پس زمینه (۰) را به رنگ سیاه نشان می دهیم. عناصر SE ، که ۱ هستند ، نیز به عنوان سفید رفتار می شوند. به دلیل اندازه عنصر ساختار بندی مورد استفاده ، مرز شکل ۹ (ب) یک پیکسل ضخامت دارد.

پر شدن حفره

همانطور که در بحث شکل ۹.۱۴ ذکر شد ، یک حفره ممکن است به عنوان یک منطقه پس زمینه که توسط یک مرز پیکسل های پیش زمینه احاطه شده است تعریف شود. در این بخش ، ما یک الگوریتم مبتنی بر اتساع ، مکمل و تقاطع برای ایجاد می کنیم



شکل ۹.۱۵ (الف) مجموعه A ، از پیکسل های پیش زمینه B (ب) عنصر ساختار. (ج) سایش توسط B . (د) مرز A .



شکل ۹.۱۶ (الف) یک شکل باینری. (ب) نتیجه استفاده از معادله (۹-۱۸) با عنصر ساختار در شکل ۹.۱۵ (ب)

پر کردن حفره در یک شکل اجازه دهید A مجموعه ای را مشخص کند که عناصر آن ۸ مرز متصل هستند و هر مرز یک ناحیه پس زمینه (یعنی یک حفره) را در بر می گیرد. با توجه به یک نقطه در هر حفره ، هدف این است که تمام حفره ها را با عناصر پیش زمینه (۱) پر کنید.

ما با تشکیل یک آرایه ، X_0 ، از 0 (همان اندازه 1 ، شکل حاوی A) ، به جز در مکانهایی در X_0 که مطابق با پیکسل هایی هستند که به عنوان حفره شناخته می شوند ، شروع می کنیم ، که آنها را روی 1 تنظیم می کنیم. سپس ، موارد زیر روش تمام حفره ها را با 1 تکمیل می کند:

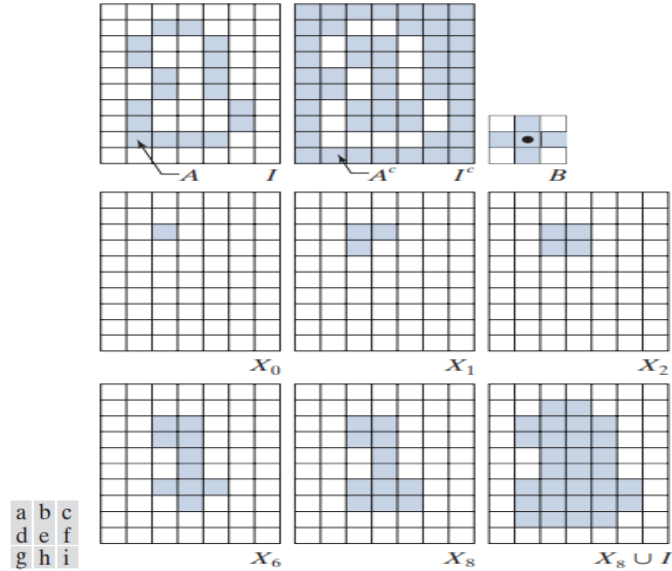
به یاد داشته باشید ، انبساط شکل X توسط B اتساع عناصر پیش زمینه X توسط B است.

$$X_k = (X_{k-1} \oplus B) \cap I^c \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (9-19)$$

جایی که B عنصر ساختار متقارن در شکل ۹.۱۷ (ج) است. اگر $X_k = X_{k-1}$ باشد ، الگوریتم در مرحله تکرار k به پایان می رسد. سپس ، X_k شامل تمام حفره های پر شده است. اتحاد مجموعه X_k و 1 شامل تمام حفره های پر شده و مرزهای آنها است. اتساع در معادله (۹-۱۹) در صورت عدم کنترل کل منطقه را شامل می شود ، اما تقاطع در هر مرحله با I^c نتیجه را به داخل منطقه مورد نظر محدود می کند. این اولین نمونه ما از نحوه مشروط شدن یک فرایند شکل شناسی برای برآوردن ویژگی مورد نظر است. در برنامه فعلی ، این فرآیند به طور مناسب اتساع شرطی نامیده می شود. بقیه شکل ۹.۱۷ مکانیک معادله (۹-۱۹) را بیشتر نشان می دهد. این مثال فقط یک حفره دارد ، اما این مفهوم در مورد تعداد نامحدود حفره ها فرض می کند که یک نقطه در داخل هر حفره داده شده است (ما این مورد را در بخش ۹.۶ حذف می کنیم).

مثال ۹.۶: پر شدن حفره شکل شناسی .

شکل ۹.۱۸ (الف) شکل از دایره های سفید با سیاه چاله ها را نشان می دهد. چنین شکل ممکن است از آستانه قرار دادن صحنه در دو سطح شامل کره های صیقلی (به عنوان مثال ، یاطاقان توپ) حاصل شود. مناطق دایره ای تیره در داخل کره ها ناشی از انفجار است. هدف از بین بردن انعکاس ها با پر کردن حفره های موجود در شکل است. شکل ۹.۱۸ (ب) نتیجه پر شدن تمام کره ها را نشان می دهد. از آنجا که باید مشخص شود که نقاط سیاه نقاط پس زمینه هستند یا نقاط داخلی کره (یعنی حفره ها) ، خودکارسازی کامل این روش مستلزم این است که "هوش" اضافی در الگوریتم ایجاد شود. ما روشی کاملاً خودکار را در بخش ۹.۶ بر اساس بازسازی شکل شناسی ارائه می دهیم (به مسأله ۹.۳۶ نیز مراجعه کنید).

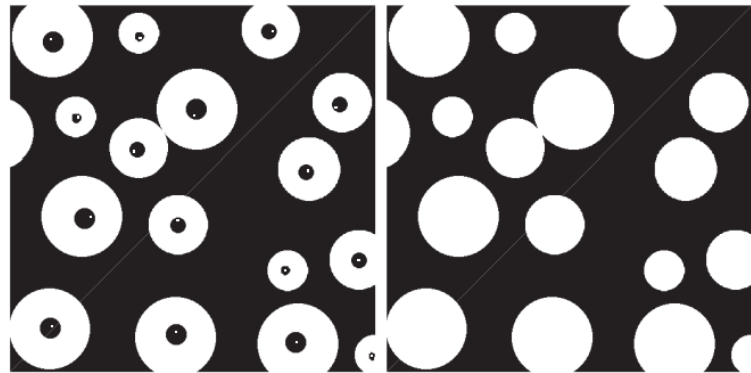


شکل ۹.۱۷ حفره چاله (الف) مجموعه A (نشان داده شده با سایه) موجود در شکل ۱. (ب) مکمل ۱. (ج) ساختار عنصر B . فقط عناصر پیش زمینه در محاسبات استفاده می شود (د) نقطه اولیه داخل حفره ، روی ۱ تنظیم شده است. (ه) - (ح) مراحل مختلف معادله (۹-۱۹). (i) نتیجه نهایی [اتحاد (a) و (h)].

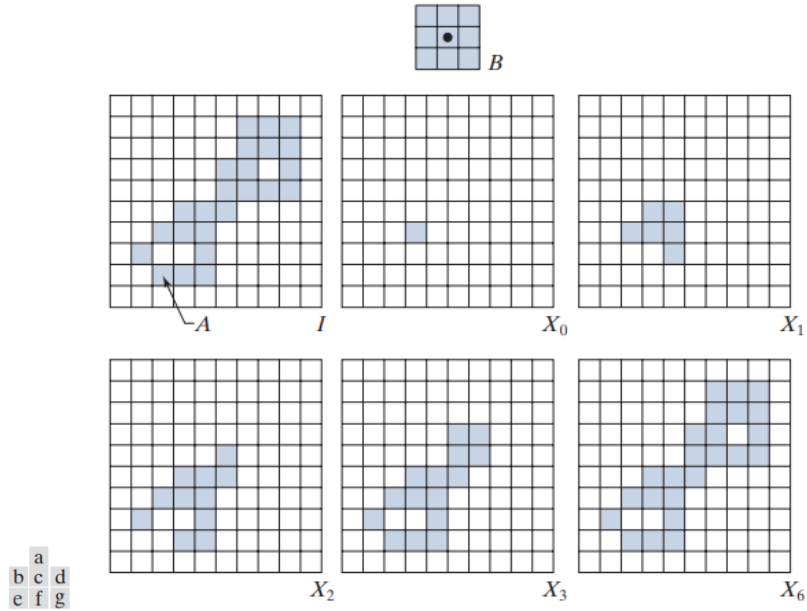
استخراج اجزای متصل

توانایی استخراج اجزای متصل از یک شکل باینری در بسیاری از برنامه های تجزیه و تحلیل خودکار شکل مرکزی است. اجازه دهید A مجموعه ای از پیکسل های پیش زمینه باشد که از یک یا چند جزء متصل به هم تشکیل شده است و یک شکل X_0 (با اندازه مشابه A ، شکل حاوی A) تشکیل می دهد که عناصر آن ۰ است (مقادیر پس زمینه) ، مگر در هر مکان شناخته شده مطابقت با یک نقطه در هر جزء متصل در A ،

اتصال و اجزای متصل در بخش ۲.۵ مورد بحث قرار گرفته است.



شکل ۹.۱۸ (الف) شکل دودویی نقاط سفید در داخل مناطق (برای وضوح بزرگتر نشان داده شده) نقاط شروع الگوریتم پرکن هستند. (ب) پرکردن همه حفره ها.



شکل ۹.۱۹ الف) عنصر سازه. ب) شکل حاوی مجموعه ای با یک جزء متصل. ج) آرایه اولیه حاوی ۱ در منطقه جزء متصل. د) - (ز) مراحل مختلف در تکرار معادل (۲۰-۹) که روی ۱ (مقدار پیش زمینه) تنظیم کرده ایم. هدف این است که با X_0 شروع کرده و تمام اجزای متصل شده را در I پیدا کنید. روش تکراری زیر این کار را انجام می دهد:

$$X_k = (X_{k-1} \oplus B) \cap I \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (9-20)$$

جایی که B در شکل ۹.۱۹ SE (a) است. این روش زمانی خاتمه می یابد که $X_k = X_{k-1}$ ، با X_k شامل تمام اجزای متصل پیکسل های پیش زمینه در شکل است. هر دو معادله (۹-۱۹) و (۲۰-۹) از اتساع شرطی برای محدود کردن رشد مجموعه - استفاده می کنند.

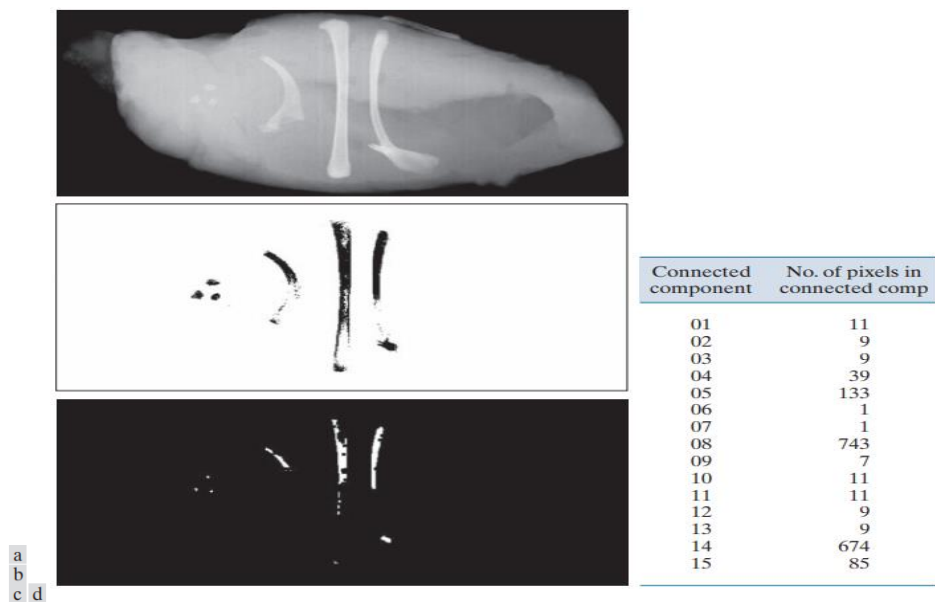
، اما معادله (۲۰-۹) از I به جای I_c استفاده می کند. این به این دلیل است که در اینجا ما به دنبال نقاط پیش زمینه هستیم ، در حالی که هدف (۹-۱۹) یافتن نقاط پس زمینه است. شکل ۹.۱۹ مکانیک معادله را نشان می دهد. (۲۰-۹) ، با همگرایی برای $6 \leq k$ به دست آمده است. توجه داشته باشید که شکل عنصر ساختار بندی مورد استفاده بر اساس ۸ اتصال بین پیکسل ها است. مانند الگوریتم پر کردن حفره ، معادله (۲۰-۹) برای هر تعداد محدود اجزای متصل موجود در I قابل اجرا است ، با این فرض که یک نقطه در هر یک مشخص است. برای یک روش کاملاً خودکار که این الزام را برطرف می کند ، به مسئله ۹.۳۷ مراجعه کنید.

مثال ۹.۷: استفاده از اجزای متصل برای تشخیص اجسام خارجی در غذای بسته بندی شده.

قطعات متصل اغلب برای بازرسی خودکار استفاده می شود. شکل ۹.۲۰ الف) شکل اشعه ایکس از سینه مرغ را نشان می دهد که حاوی تکه های استخوان است. مهم است که بتوانیم چنین اجسام خارجی را در غذاهای فرآوری شده قبل از حمل تشخیص دهیم. در این برنامه ، تراکم استخوان ها به حدی است که مقادیر شدت اسمی آنها به

طور قابل توجهی با پس زمینه متفاوت است. این امر استخراج استخوان ها از پس زمینه را با استفاده از یک آستانه ساده می سازد (آستانه در بخش ۳.۱ معرفی شد و ما در بخش ۱۰.۳ به تفصیل بیشتر بحث خواهیم کرد). نتیجه شکل دوتایی در شکل ۹.۲۰ (ب) است. مهمترین ویژگی در این شکل این واقعیت است که نقاطی که پس از آستانه باقی می ماند به جای پراکنده شدن در اجسام (استخوان ها) جمع می شوند. با سایش پیش زمینه آن می توانیم مطمئن شویم که فقط اشیاء با اندازه "قابل توجه" در شکل باینری موجود هستند.

در این مثال ، ما هر جسمی را که پس از سایش با $5 * 5$ SE از ۱ باقی بماند به عنوان معنی دار تعریف می کنیم. شکل ۹.۲۰ (ج) نتیجه سایش را نشان می دهد. مرحله بعدی تجزیه و تحلیل اندازه اجسام باقی مانده است. این اجسام را با استخراج اجزای متصل شده در شکل برچسب گذاری (شناسایی) می کنیم. جدول شکل ۹.۲۰ (د) نتایج استخراج را نشان می دهد. ۱۵ جزء متصل به هم وجود دارد که چهار مورد از نظر اندازه غالب هستند. این شواهد کافی برای نتیجه گیری است که اشیاء مهم و نامطلوب در شکل اصلی موجود است. در صورت نیاز ، توصیف بیشتر (مانند شکل) با استفاده از تکنیک های مورد بحث در فصل ۱۱ امکان پذیر است.



شکل ۹.۲۰ (الف) شکل اشعه ایکس از یک مرغ که با تکه های استخوان بگذارید. (ب) شکل آستانه دار (برای وضوح منفی نشان داده می شود). (ج) شکل با $5 * 5$ SE از بین می رود. (د) تعداد پیکسل ها در متصل ۰۱ اجزای (ج) ۰۲ (شکل (الف) ۰۴ با احترام از ۰۵ NTB ۰۶ Geraete GmbH Elektronische ۰۷ دیفولز ، ۰۸ آلمان ، ۰۹ www.ntbxray.com).

HULL محدب

مجموعه ای از نقاط S در صفحه اقلیدسی محدب است اگر و تنها در صورتی که یک قطعه خط مستقیم که به هر دو نقطه در S متصل می شود کاملاً در داخل S قرار گیرد. بدنه محدب S، H، کوچکترین مجموعه محدب حاوی

S است . کمبود محدب S به عنوان تفاوت مجموعه $H=S$. تعریف می شود. بر خلاف صفحه اقلیدسی ، صفحه شکل دیجیتالی (شکل ۲.۱۹ را ببینید) فقط به نقاط مختصات گسسته اجازه می دهد. بنابراین ، مجموعه هایی که با آنها کار می کنیم مجموعه های دیجیتالی هستند. مفاهیم مشابه محدب بودن برای مجموعه های دیجیتالی قابل استفاده است ، اما تعریف مجموعه دیجیتالی محدب کمی متفاوت است. گفته می شود که مجموعه دیجیتالی A محدب است اگر و فقط در صورتی که بدنه محدب اقلیدسی آن فقط دارای نقاط دیجیتالی متعلق به A باشد. یک روش ساده برای تجسم اگر مجموعه ای دیجیتالی از نقاط پیش زمینه مخروطی است این است که نقاط مرزی خود را با بخشهای مستقیم (پیوسته) خط اقلیدسی. اگر فقط نقاط پیش زمینه در مجموعه ای که توسط بخش های خط تشکیل شده است ، وجود داشته باشد ، آن مجموعه محدب است. وگرنه اینطور نیست تعاریف بدنه محدب و کمبود محدب که در بالا برای S ارائه شد ، مستقیماً به مجموعه های دیجیتالی گسترش می یابد. از الگوریتم شکل شناسی زیر می توان برای بدست آوردن تقریبی بدنه محدب مجموعه ای از پیکسل های پیش زمینه ، جاسازی شده در یک شکل باینری ، استفاده کرد. اجازه دهید $B^i, i = 1, 2, 3, 4$. چهار عنصر ساختاردهنده را در شکل ۹.۲۱ (a) نشان دهد. این روش شامل اجرای معادله شکل شناسی است

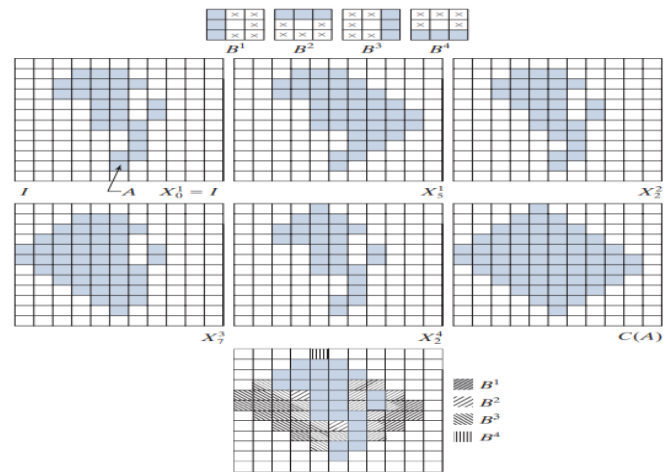
$$X_k^i = (X_{k-1}^i \otimes B^i) \cup X_{k-1}^i \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad \text{and} \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (9-21)$$

با $X_i = I$. هنگامی که روش با استفاده از عنصر i th ساختار (به عنوان مثال ، \cdot وقتی من i هستم $X_k^i = X_{k-1}^i$) ، به D اجازه می دهیم نتایج:

$$C(A) = \bigcup_{i=1}^4 D^i \quad (9-22)$$

بنابراین ، این روش شامل اعمال تکراری تبدیل ضربه یا از دست دادن به I با است B۱ تا همگرایی ، سپس اجازه دهید $D_1 = X_1$ ، جایی که k مرحله ای است که در آن همگرایی وجود دارد ک رخ داده است این روش با B۲ تکرار می شود (برای اعمال می شود) تا تبدیلات بیشتری ایجاد نشود رخ می دهد و غیره اتحاد چهار D_i حاصل بدنه محدب A را تشکیل می دهد. الگوریتم با $k = 0$ و $X_i = I$ هر بار که i (یعنی ساختار- عنصر) تبدیل می کند. شکل ۹.۲۱ استفاده از معادله را نشان می دهد. (۹-۲۱) و (۹-۲۲). شکل ۹.۲۱ (الف) عناصر ساختاری مورد استفاده برای استخراج بدنه محدب را نشان می دهد. منشاء هر عنصر در مرکز آن قرار دارد. مانند گذشته ، نوشته ها عناصر "اهمیت ندهید" را نشان می دهد. به یاد بیاورید که گفته می شود HMT تطبیقی از عنصر ساختار B_i را در یک ناحیه $3 * 3$ از I پیدا کرده است ، در صورتی که همه عناصر بی در آن منطبق باشند. همانطور که قبلاً ذکر شد ، هنگام محاسبه یک مسابقه ، عنصر "اهمیتی نمی دهم" را می توان تفسیر کرد که همیشه با مقدار عنصر مربوطه در شکل مطابقت دارد. در شکل ۹.۲۱ (الف) توجه کنید که B_i در جهت عقربه های ساعت $B_i=1$ در ۹۰ درجه است. شکل ۹.۲۱ (ب) مجموعه A را نشان می دهد که بدنه محدب برای آن

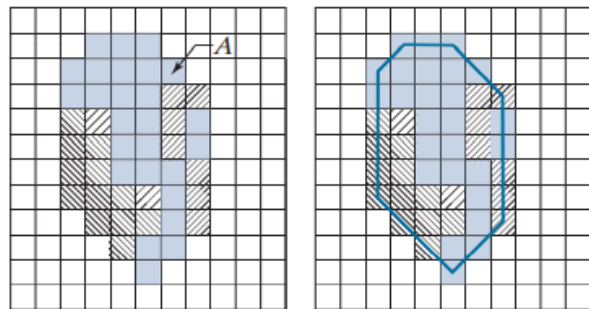
جستجو شده است. مانند قبل، مجموعه در آرایه ای از عناصر پس زمینه تعبیه شده است تا یک شکل را ایجاد کند. ا. با شروع از $X_1 = I$ ، مجموعه را در شکل ۹.۲۱ (c) بعد از پنج بار تکرار معادله (۹-۲۱) به دست آوردم. سپس، اجازه دادن ۲ - من و دوباره با استفاده از معادله (۹-۲۱) منجر به مجموعه ای در شکل ۹.۲۱ (d) شد (مطابق X_0 در این مورد تنها در دو مرحله به دست آمد). دو نتیجه بعدی بود. به همان شیوه به دست آمده در نهایت، ایجاد اتحاد مجموعه ها در شکل ها. ۹.۲۱ (c)، (d)، (e)، و (f) منجر به بدنه محدب در شکل ۹.۲۱ (g) شده است. سهم هر عنصر ساختار در مجموعه کامپوزیت نشان داده شده در شکل ۹.۲۱ (h) برجسته شده است. یکی از کمبودهای آشکار رویه ای که تازه مورد بحث قرار گرفت این است که بدنه محدب می تواند فراتر از حداقل ابعاد مورد نیاز برای تضمین محدبیت رشد کند، بنابراین تعریف بدنه محدب را نقض می کند. در حقیقت، این همان چیزی است که در این مورد اتفاق افتاد. یک رویکرد ساده برای کاهش این رشد، تعیین محدودیت ها به گونه ای است که از ابعاد عمودی و افقی مجموعه A فراتر نرود.



شکل ۹.۲۱ الف) ساختار عناصر. (ب) مجموعه A (ج) - (و) نتایج همگرایی با عناصر ساختاری نشان داده شده در الف). (ز) بدنه محدب. (ح) بدنه محدب که سهم هر عنصر ساختار را نشان می دهد.

محدودیت در مثال در شکل ۹.۲۱ منجر به شکل ۹.۲۲ الف) شد. پیوستن پیکسل های مرزی مجموعه کاهش یافته (به یاد داشته باشید، پیکسل ها نقاط مرکزی مربع ها هستند) نشان می دهد که هیچ نقطه مجموعه ای خارج از این خطوط قرار ندارد، این نشان می دهد که مجموعه محدب است. با بازرسی، می بینید که هیچ نقطه ای بدون از دست دادن محدبگی از این مجموعه حذف نمی شود، بنابراین مجموعه کاهش یافته بدنه محدب A است. البته، محدودیت هایی که ما برای تولید شکل ۹.۲۲ استفاده کردیم، یک رویکرد کلی برای به دست آوردن حداقل مجموعه محدب که مجموعه ای از سوال را در بر می گیرد، نیست. این به سادگی یک روش ابتکاری آسان برای پیاده سازی است. دلیل اینکه الگوریتم بدنه محدب تقریب بیشتری از بدنه محدب حقیقی به دست نیامد بخاطر ساختارهای مورد استفاده است. SE ها در شکل ۹.۲۱ (a) فقط در چهار جهت متعامد "نگاه" می کنند. ما

می توانیم با نگاه به جهات دیگر ، مانند قطرها ، به دقت بیشتری دست یابیم. هزینه پرداخت شده افزایش پیچیدگی الگوریتم و بار محاسباتی بیشتر است.



شکل ۹.۲۲ (الف) نتیجه محدود کردن رشد الگوریتم بدنه محدب. (ب) خطوط مستقیم که نقاط مرزی را به هم متصل می کند نشان می دهد که مجموعه جدید نیز محدب است.

نازک سازی

نازک شدن مجموعه ای از پیکسل های پیش زمینه با عنصر ساختار B ، که $A \ominus B$ مشخص شده است ، می تواند بر حسب تبدیل ضربه یا از دست دادن تعریف شود:

$$\begin{aligned} A \ominus B &= A - (A \otimes B) \\ &= A \cap (A \otimes B)^c \end{aligned} \quad (9-23)$$

جایی که خط دوم از تعریف تفاوت مجموعه در معادله (۲-۴۰) ناشی می شود. یک عبارت مفیدتر برای نازک شدن A به طور متقارن بر اساس توالی عناصر ساختاردهی است:

$$\{B\} = \{B^1, B^2, B^3, \dots, B^n\} \quad (9-24)$$

با استفاده از این مفهوم ، ما اکنون نازک شدن را با دنباله ای از عناصر ساختاردهنده به صورت زیر تعریف می کنیم

$$A \otimes \{B\} = \left(\left(\left(\left(A \otimes B^1 \right) \otimes B^2 \right) \dots \right) \otimes B^n \right) \quad (9-25)$$

این فرایند به این صورت است که A را با یک پاس با B^1 نازک کنید ، سپس نتیجه را با یک بار از B^2 نازک کنید و به همین ترتیب تا زمانی که A با یک بار B^n نازک شود. کل فرایند تکرار می شود تا اینکه پس از یک گذر کامل از تمام عناصر ساختاردهنده ، تبدیلات بیشتری رخ ندهد. هر پاس نازک شدن فردی با استفاده از معادله (۹-۲۳) انجام می شود.

شکل ۹.۲۳ (الف) مجموعه ای از عناصر ساختاری را نشان می دهد که بطور معمول برای نازک ی استفاده می شوند (توجه داشته باشید که $B_i = 1$ برابر $B_i = 1$ است که در جهت عقربه های ساعت ۴۵ درجه چرخانده شده است) و شکل ۹.۲۳ (ب) مجموعه A را که با استفاده از روش نازک می شود نشان می دهد. فقط بحث شد شکل ۹.۲۳

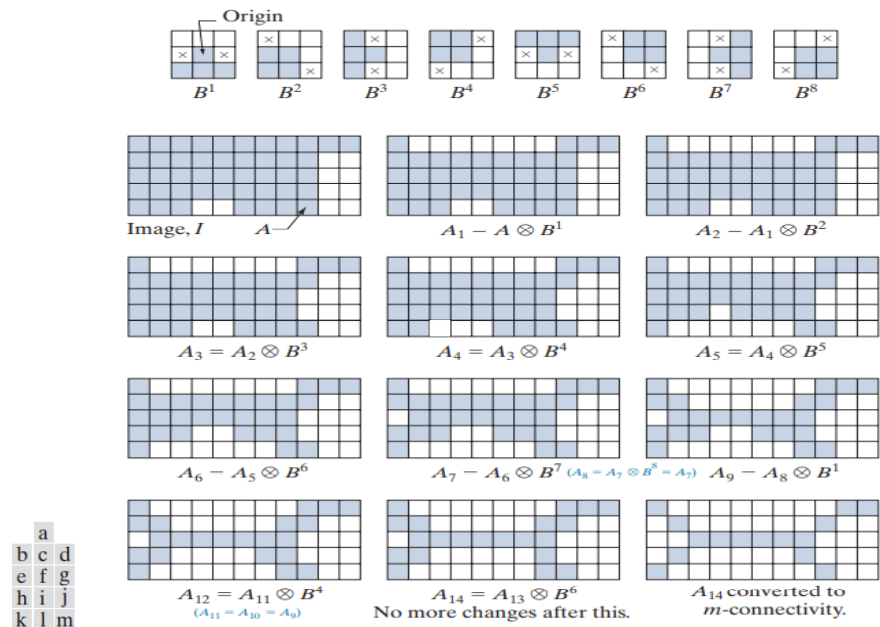
(ج) نتیجه نازک شدن A را با یک بار عبور B₁ برای بدست آوردن A₁ نشان می دهد. شکل ۹.۲۳ (ج) نتیجه نازک شدن A₁ با B₂ است و شکلها. ۹.۲۱ (e) تا (k) نتایج پاس ها را با سایر عناصر ساختاربخش نشان می دهد (هیچ تغییری از A₇ به A₈ یا از A₉ به A₁₁ وجود نداشت). همگرایی پس از گذر دوم B₆ به دست آمد. شکل ۹.۲۳ (ا) نتیجه نازک شده را نشان می دهد در نهایت ، شکل ۹.۲۳ (m) مجموعه نازک شده تبدیل شده به را نشان می دهد اتصال m-c (بخش ۲.۵ و مشکل ۹.۲۹ را ببینید) برای حذف چندین مسیر.

ضخیم سازی

ضخامت دوگانگی شکل شناسی نازک شدن است و با عبارت مشخص می شود

$$A \odot B = A \cup (A \otimes B) \quad (9-26)$$

مانند گذشته ، ما فرض می کنیم که شکل حاوی A برای انجام همه گشت ها پد شده بود. از B ، و این نتیجه بریده شد. ما برای سادگی فقط A را نشان می دهیم.

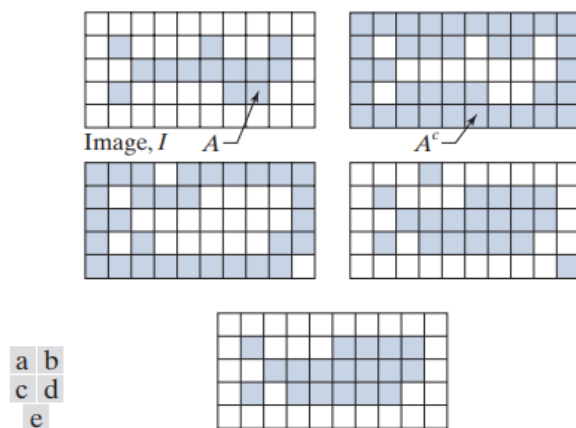


شکل ۹.۲۳ (الف) ساختار عناصر. (ب) مجموعه A (ج) نتیجه نازک شدن A با B₁ (سایه دار). (د) نتیجه نازک شدن A₁ با B₂. (e) - (i) نتایج از با شش SE بعدی رقیق می شود. (هیچ تبدیلی بین A₇ و A₈ وجود نداشت). (j) - (k) نتیجه استفاده مجدد از چهار عنصر اول. (ل) نتیجه پس از همگرایی. (m) نتیجه به m-اتصال تبدیل شد. جایی که B یک عنصر ساختاری مناسب برای ضخیم شدن است. همانطور که در مورد نازک شدن ، ضخیم شدن را می توان به عنوان یک عمل متوالی تعریف کرد:

$$A \odot \{B\} = \left(\left(\left(\left(A \odot B^1 \right) \odot B^2 \right) \dots \right) \odot B^n \right) \quad (9-27)$$

عناصر ساختاردهی مورد استفاده برای ضخیم شدن همان شکلی هستند که در شکل ۹.۲۳ (a) نشان داده شده است ، اما همه ۱ و ۰ آنها عوض شده اند. با این حال ، الگوریتم جداگانه ای برای ضخیم شدن به ندرت در عمل

استفاده می شود. در عوض ، روش معمول این است که پس زمینه مجموعه مورد نظر را نازک کرده ، سپس نتیجه را تکمیل کنید. به عبارت دیگر ، برای ضخیم شدن مجموعه A ، ما AC ، AC نازک را تشکیل می دهیم و سپس مجموعه نازک را تکمیل می کنیم تا ضخامت A . حاصل شود. شکل ۹.۲۴ این روش را نشان می دهد. مانند قبل ، ما فقط مجموعه A و شکل A را نشان می دهیم ، و نه نسخه پد شده A . بسته به ساختار A ، این روش می تواند منجر به نقاط قطع شده شود ، همانطور که شکل ۹.۲۴ (د) نشان می دهد. بنابراین ضخیم شدن با این روش معمولاً پس از پردازش برای حذف نقاط جدا شده دنبال می شود. از شکل ۹.۲۴ (ج) توجه داشته باشید که زمینه نازک شده مرزی برای فرآیند ضخیم شدن ایجاد می کند. این ویژگی مفید در اجرای مستقیم ضخیم شدن با استفاده از معادله (۹-۲۷) ، وجود ندارد. و یکی از دلایل اصلی استفاده از نازک کننده زمینه برای انجام ضخیم شدن است.



شکل ۹.۲۴ (الف) مجموعه A (ب) مکمل A (ج) نتیجه نازک شدن مکمل. (د) مجموعه ضخیم که با تکمیل (ج) به دست می آید. (ه) نتیجه نهایی ، بدون نقاط قطع شده.

ساختمان (طرح)

همانطور که در شکل ۹.۲۵ نشان داده شده است ، تصور ساختمان $S(A)$ از مجموعه A به طور شهودی ساده است. از این رقم نتیجه می گیریم که

(الف) اگر Z نقطه ای از $S(A)$ باشد و $(D)_z$ بزرگترین دیسکی است که در Z قرار گرفته و در A موجود است ، نمی توان دیسک بزرگتری (لزوماً در Z مرکز) یافت $(D)_z$ و همزمان در A . دیسک $(D)_z$ که این شرایط را برآورده می کند حداکثر دیسک نامیده می شود.

(ب) اگر $(D)_z$ حداکثر دیسک باشد ، مرز A را در دو یا چند مکان متفاوت لمس می کند. طرح A را می توان بر اساس سایش و دهانه ها بیان کرد. یعنی ، می توان نشان داد (Serra [۱۹۸۲]) که

$$S(A) = \bigcup_{k=0}^K S_k(A) \quad (9-28)$$

$$S_k(A) = (A \ominus kB) - (A \ominus kB) \circ B \quad (9-29)$$

ما در بخش ۱۱.۲ طرح‌ها را با جزئیات بیشتری بحث خواهیم کرد. جایی که B یک عنصر ساختار دهنده است و $(A \ominus kB)$ نشان می‌دهد که سایش پی در پی با A شروع می‌شود. یعنی A ابتدا توسط B فرسوده می‌شود، نتیجه توسط B فرسوده می‌شود و به همین ترتیب:

$$(A \ominus kB) = (((\dots((A \ominus B) \ominus B) \ominus \dots) \ominus B) \quad (9-30)$$

K بار K در معادله (۹-۲۸) آخرین مرحله تکراری قبل از سایش A به مجموعه تهی است. به عبارت دیگر،

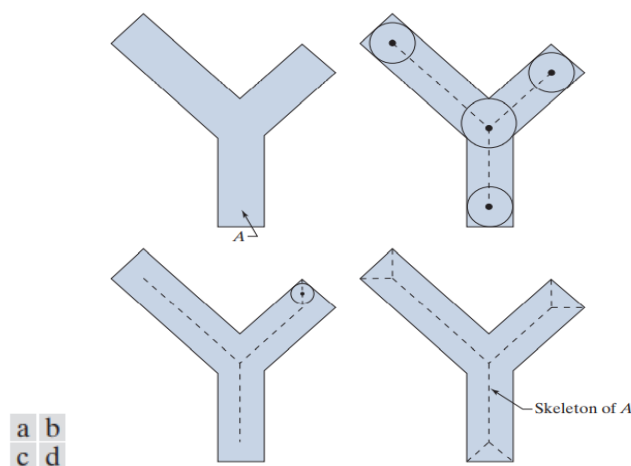
$$K = \max \{k \mid (A \ominus kB) \neq \emptyset\} \quad (9-31)$$

فرمول بندی در معادلات (۹-۲۸) و (۹-۲۹) نشان می‌دهد که $S(A)$ را می‌توان به عنوان اتحاد زیر مجموعه‌های ساختمانی $S_k(A)$, $k = 0, 1, 2, \dots, K$ بدست آورد. می‌توان نشان داد (Serra [۱۹۸۲]) که A را می‌توان از زیر مجموعه‌های زیر بازسازی کرد:

$$A = \bigcup_{k=0}^K (S_k(A) \oplus kB) \quad (9-32)$$

جایی که $S_k(A)$ نشان دهنده k اتساع متوالی است، با شروع از $(S_k(A) \oplus kB)$ ؛ به این معنا که،

$$(S_k(A) \oplus kB) = (((\dots((S_k(A) \oplus B) \oplus B) \oplus \dots) \oplus B) \quad (9-33)$$



شکل ۹.۲۵ (الف) مجموعه A (ب) موقعیت‌های مختلف حداکثر دیسک‌هایی که مرکز آنها تا حدی طرح A را مشخص می‌کند. (ج) حداکثر دیسک دیگر، که مرکز آن بخش متفاوتی از طرح A را مشخص می‌کند. (د) طرح کامل (خط تیره).

مثال ۹.۸: محاسبه ساختمان یک مجموعه ساده.

شکل ۹.۲۶ مفاهیمی را که مورد بحث قرار گرفته است نشان می دهد. ستون اول مجموعه اصلی (در بالا) و دو سایش توسط عنصر ساختار B نشان داده شده در شکل را نشان می دهد. توجه داشته باشید که یک سایش دیگر مجموعه تهی را ایجاد می کند ، بنابراین $K - 2$ در این مورد. ستون دوم باز شدن مجموعه ها در ستون اول را با B نشان می دهد.

این نتایج به راحتی با مشخصه بندی عملیات باز کردن که در ارتباط با شکل ۹.۸ بحث شده است ، توضیح داده می شود. ستون سوم شامل تفاوت مجموعه ای بین ستون های اول و دوم است. بنابراین ، سه مدخل در ستون سوم به ترتیب $S_0(A)$ ، $S_1(A)$ و $S_2(A)$ است.

ستون چهارم شامل دو طرح جزئی است و نتیجه نهایی در پایین ستون است. طرح نهایی نه تنها ضخیم تر از آن است که باید باشد ، بلکه مهمتر از آن ، متصل نیست. این نتیجه غیر منتظره نیست ، زیرا در فرمول قبلی طرح شکل شناسی اتصال را تضمین می کند. شکل شناسی از نظر سایش و باز شدن مجموعه داده شده ، فرمولاسیون زیبایی ایجاد می کند. با این حال ، اگر به طور معمول ، طرح باید حداکثر نازک ، متصل و حداقل فرسوده باشد ، فرمول های ابتکاری (بخش ۱۱.۲ را ببینید) مورد نیاز است.

k	$A \ominus kB$	$(A \ominus kB) \circ B$	$S_k(A)$	$\bigcup_{k=0}^K S_k(A)$	$S_k(A) \oplus kB$	$\bigcup_{k=0}^K S_k(A) \oplus kB$
0						
1						
2						

شکل ۹.۲۶ اجرای معادلات (۹-۲۸) از طریق (۹-۳۳). مجموعه اصلی در بالا سمت چپ و طرح شکل شناسی آن در پایین ستون چهارم قرار دارد. مجموعه بازسازی شده در انتهای ستون ششم قرار دارد. ورودی های ستون های پنجم و ششم به بازسازی مجموعه اصلی از زیر مجموعه های ساختمانی آن می پردازد. ستون پنجم اتساع $S_k(A)$ است. یعنی $S_0(A)$ ، $S_1(k) \oplus B$ ، and $S_2(A) \oplus 2B = (S_2(A) \oplus B) \oplus B$. نهایت ، ستون آخر بازسازی مجموعه A را نشان می دهد که ، با توجه به معادله (۹-۳۲) ، اتحاد زیر مجموعه های ساختمانی گشاد شده است که در ستون پنجم نشان داده شده است.

هرس کردن

روشهای هرس مکمل ضروری برای نازک شدن و طرح شدن الگوریتم ها است ، زیرا این روشها باعث ایجاد خار (اجزای "انگلی") می شوند که باید با پردازش پس از "پاکسازی" صورت گیرند. ما بحث را با یک مشکل هرس آغاز می کنیم ، سپس بر اساس مطالبی که در قسمت های قبل معرفی شد ، راه حلی ارائه می دهیم. بنابراین ، ما از این فرصت استفاده می کنیم تا نحوه حل یک مشکل را با ترکیب چندین تکنیک شکل شناسی مورد بحث تا این مرحله نشان دهیم. یک رویکرد رایج در تشخیص خودکار شخصیت های چاپ شده با دست ، تجزیه و تحلیل شکل طرح یک شخصیت است. این طرح ها اغلب دارای خارهایی هستند که در اثر سایش ناشی از نویز و عدم یکنواختی در ضربه های شخصیت ایجاد می شوند. در این بخش ما یک روش شکل شناسی برای رسیدگی به این مشکل ایجاد می کنیم ، با این فرض که طول یک جزء انگلی از تعداد مشخص شده پیکسل تجاوز نمی کند.

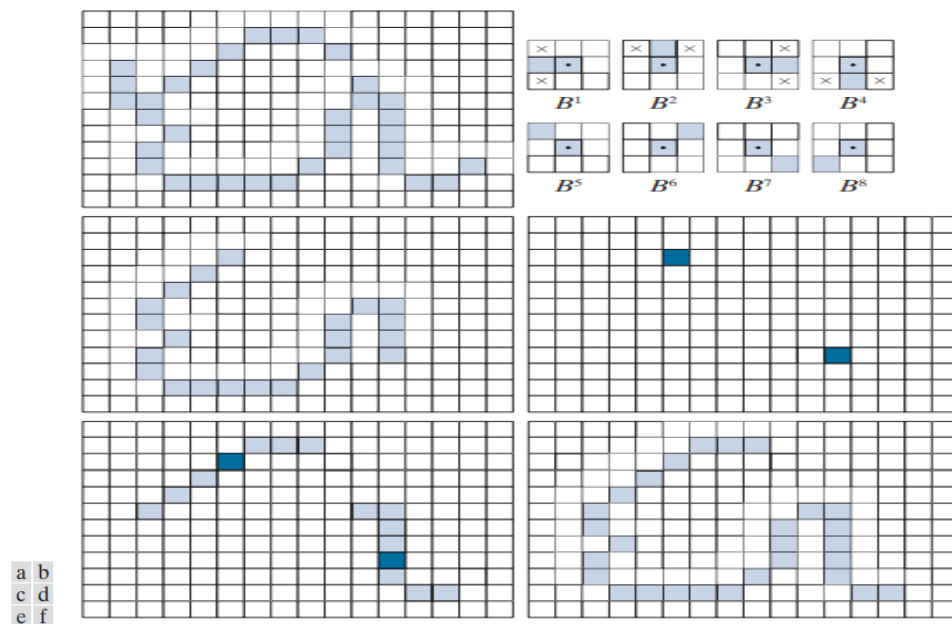
شکل ۹.۲۷ (الف) طرح حروف چاپ شده "a" را نشان می دهد. انگیزه در سمت چپ قسمت شخصیت نمونه ای از مواردی است که ما علاقه داریم حذف کنیم. راه حل مبتنی بر سرکوب شاخه خار با حذف پی در پی نقطه پایانی آن است.

البته ، این امر شاخه های دیگر را نیز کوتاه می کند (یا حذف می کند) ، اما در غیاب اطلاعات ساختاری دیگر ، فرض در این مثال این است که هر شاخه ای با سه یا کمتر پیکسل باید حذف شود. نازک شدن مجموعه A ، با دنباله ای از عناصر ساختاری که فقط برای تشخیص نقاط انتهایی طراحی شده اند ، به نتیجه دلخواه می رسد. یعنی اجازه دهید

$$X_1 = A \otimes \{B\} \quad (9-34)$$

ما ممکن است نقطه پایانی را به عنوان نقطه مرکزی منطقه $3 * 3$ تعریف کنیم که هر یک از ترتیبات موجود را برآورده می کند. شکل ۹.۲۷ (ب)

جایی که $\{B\}$ توالی عنصر مجموعه دهنده را در شکل ۹.۲۷ (b) نشان دهید می دهد [به معادله (۹-۲۴) مراجعه کنید. در مورد توالی عنصر ساختار]. توالی عناصر ساختاردهی شامل دو ترکیب مختلف است که هر یک از آنها در مجموع هشت عنصر ۹۰ درجه چرخانده شده است. شکل در شکل ۹.۲۷ (ب) نشان دهنده یک وضعیت "اهمیتی نمی دهد" است ، همانطور که کاملاً توضیح داده شد افزایش یافت. (توجه داشته باشید که هر SE یک آشکارساز برای نقطه پایانی در جهت مورد است.)



شکل ۹.۲۷ (الف) مجموعه ای از پیکسل های پیش زمینه (سایه دار). (ب) SE هایی که برای حذف نقاط پایانی استفاده می شوند. (ج) نتیجه سه چرخه نازک شدن. (د) نقاط پایانی (ج.ه) اتساع نقاط پایانی مشروط به (الف). (و) شکل هرس شده

اعمال معادله (۹-۳۴) تا A سه بار مجموعه X1 را در شکل ۹.۲۷ (ج) به دست آورد. گام بعدی این است که شخصیت را به شکل اولیه بازگردانیم، اما با حذف شاخه های انگلی. این امر مستلزم آن است که ما ابتدا یک مجموعه X2 که شامل تمام نقاط پایانی در X1 است تشکیل دهیم [شکل. ۹.۲۷ (ه)].:

$$X_2 = \bigcup_{k=1}^8 (X_1 \otimes B^k) \quad (9-35)$$

جایی که Bk آشکارسازهای نقطه پایانی در شکل ۹.۲۷ (b) هستند. مرحله بعدی اتساع نقاط پایانی است. به طور معمول، تعداد اتساع ها کمتر از تعداد برداشتن نقطه پایانی است تا احتمال "رشد" برخی از خارها کاهش یابد. در این مورد، ما با بازرسی می دانیم که خار جدیدی ایجاد نمی شود، بنابراین ما با استفاده از A به عنوان محدود کننده سه بار نقاط انتهایی را گشاد می کنیم. این همان تعداد پاس نازک کننده است:

$$X_3 = (X_2 \oplus H) \cap A \quad (9-36)$$

جایی که H یک عنصر ساختاری ۳ * ۳ از ۱ است و تقاطع با A بعد از هر مرحله اعمال می شود. همانطور که در مورد پر شدن ناحیه، این نوع اتساع مشروط مانع ایجاد عناصر با ارزش ۱ در خارج از منطقه مورد نظر می شود، همانطور که در نتیجه در شکل ۹.۲۷ (e) نشان داده شده است. در نهایت، اتحاد X1 و X3،

$$X_4 = X_1 \cup X_3 \quad (9-37)$$

نتیجه مطلوب را در شکل ۹.۲۷ (f) به دست می آورد.

در سناریوهای مختلط تر ، با استفاده از معادله (۹-۳۶) گاهی اوقات "راهنمایی" برخی از شاخه ها را برمی دارد. این می تواند زمانی رخ دهد که نقاط انتهایی این شاخه ها نزدیک طرح باشند. اگرچه معادله (۹-۳۶) ممکن است آنها را از بین ببرد ، می توان آنها را در حین اتساع مجدداً برداشت زیرا نقاط معتبر در A هستند. با این حال ، مگر اینکه کل عناصر انگلی دوباره انتخاب شوند (در موارد نادر اگر این عناصر نسبت به ضربه های معتبر کوتاه باشند) ، تشخیص و حذف عناصر بازسازی شده آسان است زیرا آنها مناطق جدا شده ای هستند.

یک فکر طبیعی در این مقطع این است که باید راه های ساده تری برای حل این مشکل وجود داشته باشد. به عنوان مثال ، ما فقط می توانیم تمام نقاط حذف شده را پیگیری کرده و به سادگی نقاط مناسب را به تمام نقاط پایانی پس از استفاده از معادله وصل کنیم. (۹-۳۴). این استدلال معتبر است ، اما مزیت فرمول ارائه شده این است که ما از ساختارهای شکل شناسی موجود برای حل مسئله استفاده کردیم. هنگامی که مجموعه ای از چنین ابزارهایی در دسترس است ، مزیت این است که هیچ الگوریتم جدیدی نباید نوشته شود. ما به سادگی توابع شکل شناسی لازم را در دنباله ای از عملیات ترکیب می کنیم. گاهی اوقات با آشکارسازهای نقطه پایانی مبتنی بر یک عنصر ساختار بندی مشابه ، شبیه به اولین SE در شکل ۹.۲۷ (ب) روبرو می شوید ، اما شرایط "اهمیتی نمی دهد" در طول کل ستون اول به جای داشتن یک عنصر پیش زمینه که گوشه را جدا می کند ، وجود دارد. S' این نادرست است. به عنوان مثال ، عنصر قبلی می تواند نقطه واقع در ردیف هشتم ، ستون چهارم شکل ۹.۲۷ (a) را به عنوان نقطه پایانی شناسایی کند ، بنابراین آن را حذف کرده و اتصال آن قسمت از ضربه را قطع می کند.

۹.۶ بازسازی شکل شناسی

مفاهیم شکل شناسی مورد بحث تا کنون شامل یک شکل واحد و یک یا چند عنصر ساختاری است. در این بخش ، ما در مورد یک تبدیل شکل شناسی قوی به نام بازسازی شکل شناسی که شامل دو شکل و یک عنصر ساختار بخش است بحث می کنیم. یک شکل ، نشانگر ، که ما با F نشان می دهیم ، شامل نقاط شروع بازسازی است. شکل دیگر ، ماسک ، نشان داده شده با G ، بازسازی را محدود می کند (شرایط). از عنصر ساختار برای تعریف اتصال استفاده می شود.

پراکندگی و سایش ژئودزیک

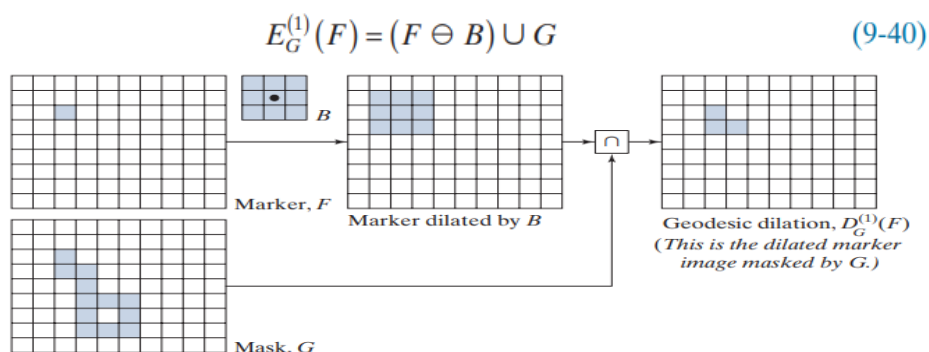
مفاهیم اتساع ژئودزیک و سایش ژئودزیک در بازسازی شکل شناسی نقش اساسی دارند. اجازه دهید F شکل نشانگر و G شکل ماسک را نشان دهد. ما در این بحث فرض می کنیم که هر دو شکل دوتایی هستند و $F \wedge G$. اندازه ۱ شکل نشانگر نسبت به ماسک ، نشان داده شده با $D_G^{(1)}(F)$ ، که تعریف میشود

$$D_G^{(1)}(F) = (F \oplus B) \cap G \quad (9-38)$$

در مورد اتصال به بخش ۲.۵ مراجعه کنید.

$$D_G^{(n)}(F) = D_G^{(1)}\left(D_G^{(n-1)}(F)\right) \quad (9-39)$$

جایی که طبق معمول، نشان دهنده تقاطع مجموعه است (در اینجا ممکن است به عنوان منطقی تفسیر شود و چون ما با مقادیر دوتایی سر و کار داریم). اتساع ژئودزیک اندازه n از F نسبت به G به صورت زیر تعریف شده است. جایی که $n \geq 1$ یک عدد صحیح است و $D_G^{(0)}(F) = F$. در این عبارت بازگشتی، بخش تنظیم مجموعه در معادله (۳۸-۹) نشان داده شده است. در هر مرحله انجام می شود. \ddagger توجه داشته باشید که عملیات تداخل تضمین می کند که ماسک G رشد (اتساع) نشانگر F را محدود می کند. شکل ۹.۲۸ یک مثال ساده از اتساع ژئودزیک اندازه ۱ را نشان می دهد. در شکل پیاده سازی مستقیم معادله (۳۸-۹) است. توجه داشته باشید که نشانگر F فقط از یک نقطه در جسم G تشکیل شده است. ایده این است که این نقطه را به طور متوالی بزرگ کنید (گشاد کنید)، ماسک زدن نتیجه در هر مرحله توسط G تحت تأثیر ساختار G در این مورد ساده، بازسازی در نهایت به شکل مشابه G منجر می شود (شکل ۹.۳۰ را ببینید). سایش ژئودزیک اندازه ۱ نشانگر F نسبت به ماسک G به عنوان تعریف شده است



شکل ۹.۲۸ از اتساع ژئودزیک از اندازه ۱. توجه داشته باشید که شکل نشانگر حاوی یک نقطه از شی است در G . اگر ادامه یابد، انقباضات و ماسک های بعدی در نهایت منجر به شیء موجود در G می شود. جایی که U نشان دهنده اتحاد مجموعه (یا عملیات منطقی OR) است. سایش زمین شناسی اندازه n از F نسبت به G به صورت تعریف شده است

$$E_G^{(n)}(F) = E_G^{(1)}\left(E_G^{(n-1)}(F)\right) \quad (9-41)$$

^{۴۴} جایی که $n \geq 1$ یک عدد صحیح است و $D_G^{(0)}(F) = F$. در این عبارت بازگشتی، بخش تنظیم مجموعه در معادله نشان داده شده است. (۳۸-۹) در هر مرحله انجام می شود. \ddagger توجه داشته باشید که عملیات تداخل تضمین می کند که ماسک G رشد (اتساع) نشانگر F را محدود می کند. شکل ۹.۲۸ یک مثال ساده از اتساع ژئودزیک اندازه ۱ را نشان می دهد. در شکل پیاده سازی مستقیم معادله (۳۸-۹) است. توجه داشته باشید که نشانگر F فقط از یک نقطه در جسم G تشکیل شده است. ایده این است که این نقطه را به طور متوالی بزرگ کنید (گشاد کنید)، ماسک زدن نتیجه در هر مرحله توسط G تحت تأثیر ساختار G در این مورد ساده، بازسازی در نهایت به تصویری مشابه G منجر می شود (شکل ۹.۳۰ را ببینید). سایش ژئودزیک اندازه ۱ نشانگر F نسبت به ماسک G به عنوان تعریف شده است

جایی که $n-1$ یک عدد صحیح است و $E_G^{(0)}(F) = F$. اتحاد مجموعه در معادله (۹-۴۰) در هر مرحله انجام می شود و تضمین می کند که سایش زمین شناسی یک شکل بیشتر یا مساوی شکل ماسک آن باقی بماند. همانطور که ممکن است از فرمهای معادله (۹-۳۸) و (۹-۴۰)، انتظار داشته باشید. اتساع و سایش ژئودزیکی نسبت به تکمیل مجموعه دوگانه هستند (به مسئله ۹.۴۱ مراجعه کنید). شکل ۹.۲۹ نمونه ای از سایش ژئودزیکی اندازه ۱ را نشان می دهد. مراحل شکل پیاده سازی مستقیم معادله (۹-۴۰) است. اتساع ژئودزیکی و سایش پس از تعداد نامحدودی مراحل تکراری به هم نزدیک می شوند، زیرا انتشار یا کوچک شدن شکل نشانگر توسط ماسک محدود می شود.

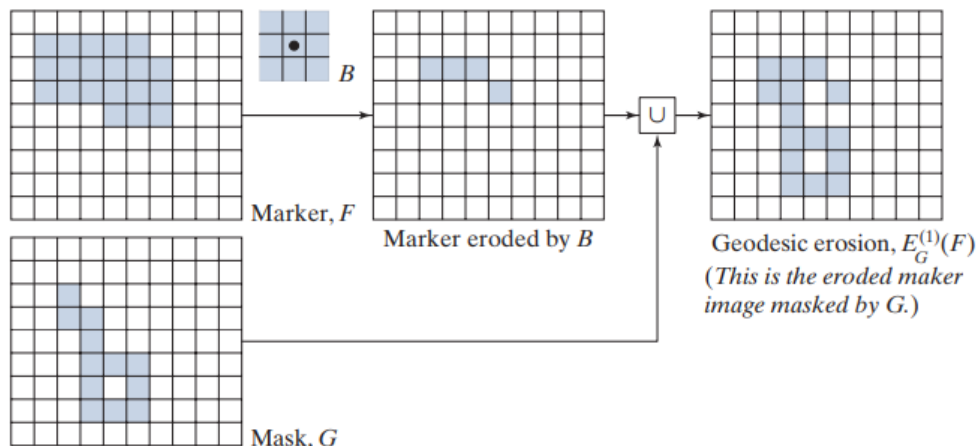
بازسازی شکل شناسی با استفاده از اتساع و فرسایش

بر اساس مفاهیم قبلی، بازسازی شکل شناسی با اتساع شکل نشانگر F با توجه به شکل ماسک G ، نشان دهنده $R_G^D(F)$ ، به عنوان اتساع ژئودزیکی F نسبت به G تعریف می شود، تا زمانی که ثبات حاصل نشود، تکرار می شود. به این معنا که،

$$R_G^D(F) = D_G^{(k)}(F) \quad (9-42)$$

$$D_G^{(k)}(F) = D_G^{(k+1)}(F).$$

شکل ۹.۳۰ بازسازی را با اتساع نشان می دهد. شکل ۹.۳۰ (الف) روند آغاز شده در شکل ۹.۲۸ را ادامه می دهد. گام بعدی در بازسازی پس از بدست آوردن $D_G^{(1)}(F)$ این است که این نتیجه را گشاد کنید، سپس AND را با ماسک G به دست آورید $D_G^{(2)}(F)$ ، همانطور که در شکل ۹.۳۰ (ب) نشان داده شده است. اتساع $D_G^{(2)}(F)$ و پوشاندن با G سپس $D_G^{(3)}(F)$ و غیره را به همراه دارد. این طرفدار-تا رسیدن به ثبات تکرار می شود. با انجام این مثال یک مرحله دیگر می توان $D_G^{(5)}(F) = D_G^{(6)}(F)$ داد، بنابراین شکل، که از نظر شکل شناسی با اتساع بازسازی شده است، توسط $R_G^D(F) = D_G^{(5)}(F)$ همانطور که در معادله (۹-۴۲) نشان داده شده است. بازسازی شده همانطور که انتظار می رفت شکل با ماسک یکسان است



شکل ۹.۲۹ ساییش ژئودزیکی اندازه ۱.

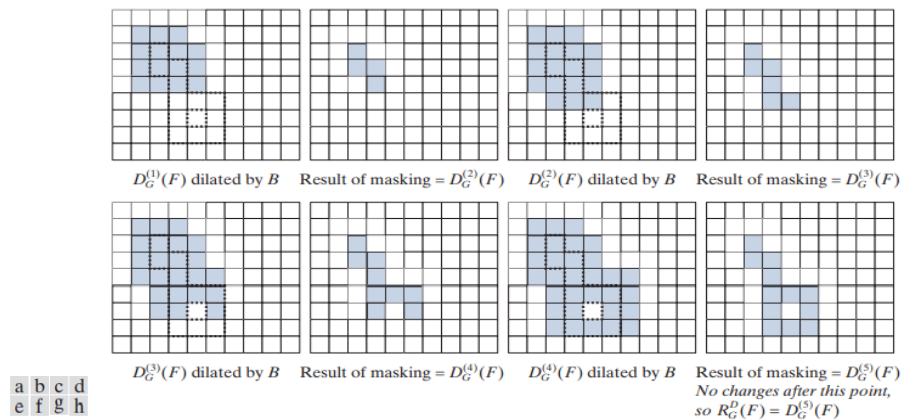
به طور مشابه ، بازسازی شکل شناسی با ساییش شکل نشانگر F با توجه به شکل ماسک G ، نشان دهنده $R_G^E(F)$ ، به عنوان ساییش ژئودزیکی F نسبت به G تعریف شده است ، تا ثبات تکرار می شود. به این معنا که،

$$R_G^E(F) = E_G^{(k)}(F) \quad (9-43)$$

با k به گونه ای که $E_G^{(k)}(F) = E_G^{(k+1)}(F)$ به عنوان یک تمرین ، یک شکل مشابه ایجاد کنید. شکل ۹.۳۰ برای بازسازی شکل شناسی توسط فرسایش. بازسازی با اتساع و ساییش نسبت به تکمیل مجموعه دوگانه است (به مسئله ۹.۴۲ مراجعه کنید).

برنامه های کاربردی نمونه

بازسازی شکل شناسی دارای طیف وسیعی از کاربردهای عملی است که هر یک با انتخاب نشانگر و تصاویر ماسک و با ساختار تعیین می شود.



شکل ۹.۳۰ شکل بازسازی شکل شناسی با اتساع مجموعه $D(1)(F)$ ، G ، B و F از شکل ۹.۲۸ است. ماسک (G) نقطه مرجع نشان داده شده است.

عناصر ، و ترکیبی از عملیات شکل شناسی تعریف شده در بحث قبل. مثالهای زیر مفید بودن این مفاهیم را نشان می دهد.

بازسازی با بازکردن

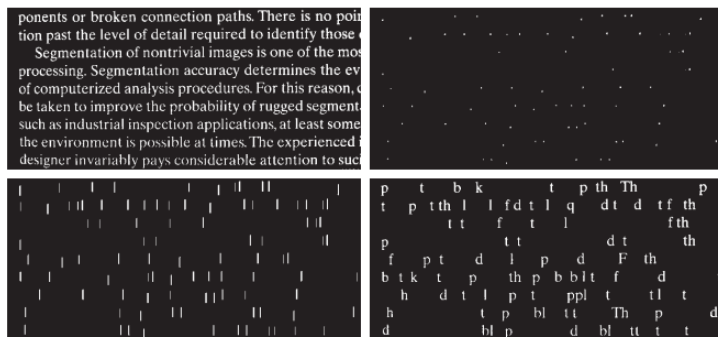
در باز شدن شکل شناسی ، ساییش اجسام کوچک را از بین می برد و سپس اتساع تلاش می کند تا شکل اجسام باقی مانده را بازیابی کند. دقت این ترمیم به شباهت شکلها و ساختار (عناصر) ساختار استفاده شده بستگی دارد. باز کردن با بازسازی دقیقاً شکل اجسامی را که پس از ساییش باقی مانده است ، باز می گرداند. باز شدن با بازسازی اندازه n یک شکل F به صورت تعریف می شود. بازسازی با اتساع ساییش اندازه n از F نسبت به F ؛ به این معنا که،

$$O_R^{(n)}(F) = R_F^D(F \ominus nB) \quad (9-44)$$

عبارتی شبیه به این معادله را می توان برای بستن با بازسازی نوشت (جدول ۹.۱ و. را ببینید مسئله ۹.۴۴). جایی که $F | nB$ سایش n را با B شروع با F نشان می دهد ، همانطور که در معادله (۹-۳۰) تعریف شده است. توجه داشته باشید که F خود به عنوان ماسک استفاده می شود. با مقایسه این معادله با معادله (۹-۴۲) ، می بینیم که معادله (۹-۴۴) نشان می دهد که باز شدن با بازسازی از یک نسخه فرسوده F به عنوان نشانگر در بازسازی با اتساع استفاده می کند.

همانطور که در شکل ۹.۳۱ مشاهده خواهید کرد ، معادله (۹-۴۴) می تواند به نتایج جالبی منجر شود. به طور معمول ، عنصر ساختاردهی ، B ، در معادله استفاده می شود. (۹-۴۴) برای استخراج برخی از ویژگی های مورد علاقه ، بر اساس سایش طراحی شده است. با این حال ، همانطور که در ابتدای این بخش ذکر شد ، عنصر ساختاربندی مورد استفاده در بازسازی (به عنوان مثال ، در اتساعی که برای بدست آوردن RD انجام می شود) برای تعیین اتصال طراحی شده است ، و برای ۲ بعدی ، ساختار عنصر به طور معمول یک آرایه $3 * 3$ از ۱. مهم است که این SE را با عنصر ساختار B که برای سایش در معادله استفاده می شود اشتباه نگیرید. (۹-۴۴). در نهایت ، ما اشاره می کنیم که این معادله بیشتر با $n \leq 1$ استفاده می شود. شکل ۹.۳۱ نمونه ای از باز شدن توسط بازسازی را نشان می دهد. ما علاقمند هستیم که از شکل ۹.۳۱ (الف) نویسه هایی را که دارای ضربات عمودی طولانی و طولانی هستند استخراج کنیم. این هدف ماهیت B را در معادله (۹-۴۴) تعیین می کند. متوسط قد شخصیت های بلند در شکل ۵۱ پیکسل است. با سایش شکل با یک عنصر ساختار نازک در اندازه $51 * 51$ ، باید بتوانیم این کاراکترها را جدا کنیم. شکل ۹.۳۱ (ب) یک سایش $n = 1$ در معادله را نشان می دهد. (۹-۴۴) [شکل ۹.۳۱ (الف) با عنصر ساختاری که ذکر شد. همانطور که می بینید ، مکان شخصیت های بلند به طور پی در پی استخراج شد. به منظور مقایسه ، ما باز کردن شکل (به یاد داشته باشید این سایش و سپس اتساع آن است) را با استفاده از همان ساختار ساختار محاسبه کردیم. شکل ۹.۳۱ (ج) نتیجه را نشان می دهد. همانطور که قبلاً ذکر شد ، بسط دادن یک شکل فرسوده همیشه باعث بازگرداندن شکل اصلی نمی شود. در نهایت ، شکل ۹.۳۱ (d) بازسازی با اتساع شکل اصلی با استفاده از آن شکل به عنوان ماسک و شکل فرسوده به عنوان نشانگر است. اتساع در بازسازی با استفاده از $3 * 3 SE$ انجام شد ، به این دلیل که قبلاً ذکر شد. از آنجا که ما فقط یک سایش ، مراحل را انجام دادیم به تازگی بازسازی با بازسازی (اندازه ۱) F [یعنی $O_R^{(1)}(F)$ داده شده در معادله (۹-۴۴). همانطور که در شکل نشان داده شده است ، کاراکترهای حاوی ضربه های عمودی طولانی با دقت از شکل فرسوده (یعنی نشانگر) بازیابی می شوند. همه شخصیت های دیگر حذف شد. عبارتی شبیه معادله (۹-۴۴) را می توان برای بسته شدن با بازسازی نوشت (جدول ۹.۱ و مسئله ۹.۴۴ را ببینید). تفاوت در این است که نشانگر مورد

استفاده برای بسته شدن با بازسازی ، اتساع F است و به جای RD ، از RE استفاده می کنیم. همانطور که دیدید ، با بازسازی با تصاویری باز می شود که پس زمینه آن سیاه (۰) و پیش زمینه سفید (۱) است. بسته شدن با بازسازی با سناریوی مخالف. به عنوان مثال ، اگر ما با مکمل شکل ۹.۳۱ (a) کار می کردیم ، پس زمینه سفید و پیش زمینه سیاه بود. برای حل مشکل مشابه استخراج شخصیت های بلند ، از باز کردن با بازسازی استفاده می کنیم. تمام تصاویر دیگر در شکل ۹.۳۱ یکسان خواهند بود ، با این تفاوت که روی سفید سیاه هستند. عنصر ساختار بندی مورد استفاده در هر دو مورد یکسان خواهد بود ، بنابراین عملیات بسته شدن با بازسازی بر روی پیکسل های پس زمینه انجام می شود.



a b
c d

شکل ۹.۳۱ (الف) شکل متن با اندازه $918 * 2018$ پیکسل. میانگین قد تقریبی شخصیت های بلند ۵۱ پیکسل است. (ب) سایش (الف) با یک عنصر ساختار بخش به اندازه $51 * 1$ عنصر (همه ۱). (ج) باز شدن (الف) با همان عنصر ساختاری ، برای مقایسه نشان داده شده است. (د) نتیجه باز شدن با بازسازی.

الگوریتم خودکار برای پر کردن حفره ها

در بخش ۹.۵ ، ما یک الگوریتم برای پر کردن حفره ها بر اساس دانستن نقطه شروع در هر حفره ایجاد کردیم. در اینجا ، ما یک روش کاملاً خودکار را بر اساس بازسازی شکل شناسی ایجاد می کنیم. اجازه دهید (x, y) ایک شکل دوتایی را نشان دهیم و فرض کنیم که ما یک شکل نشانگر F ایجاد می کنیم که در همه جا ۰ است ، مگر در حاشیه شکل ، جایی که روی $1 - I$ تنظیم شده است ، یعنی ،

$$F(x, y) = \begin{cases} 1 - I(x, y) & \text{if } (x, y) \text{ is on the border of } I \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9-45)$$

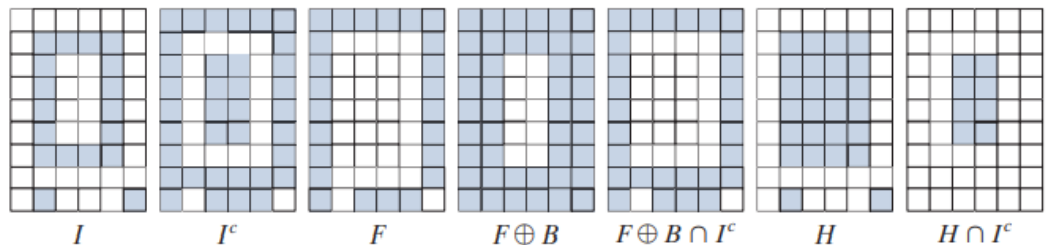
$$H = [R_F^D(F)]^c \quad (9-46)$$

یک شکل دوتایی برابر با I با همه حفره های پر شده است.

برای مشاهده میزان معادلات (۹-۴۵) و (۹-۴۶) باعث پر شدن حفره در یک شکل می شوند ، شکل ۹.۳۲ (a) و (b) ، را در نظر بگیرید. که به ترتیب یک شکل ، I ، حاوی یک حفره و مکمل شکل را نشان می دهند. مکمل

۱ تمام پیکسل های پیش زمینه (۱ ارزش) را روی پیکسل های پس زمینه (۰ ارزش) قرار می دهد و بالعکس. بر اساس تعریف ، یک حفره توسط پیکسل های پیش زمینه احاطه شده است. بنابراین ، این عملیات "دیوار" صفر را در اطراف حفره ایجاد می کند. از آنجا که IC به عنوان ماسک AND استفاده می شود ، کاری که ما انجام می دهیم محافظت از همه پیکسل های پیش زمینه از تبدیل در طول تکرار است. شکل ۹.۳۲ (c) آرایه F است که مطابق معادله (۹-۴۵) شکل گرفته است.

شکل ۹.۳۲ (d) ، با استفاده از $3 * 3$ SE از ۱ نشانگر F دارای مرز ۱ است (به جز در مکانهایی که ۱ است) ، بنابراین اتساع نقاط نشانگر از حاشیه شروع شده و به سمت داخل ادامه می یابد. شکل ۹.۳۲ (e) اتساع ژئودزیک F را با استفاده از IC به عنوان ماسک نشان می دهد. ما می بینیم که همه مکانهای این نتیجه که با پیکسل های پیش زمینه ۱ مطابقت دارند اکنون ۰ هستند ، و این در مورد پیکسل های حفره نیز صادق است. یک تکرار دیگر همان نتیجه را به همراه خواهد داشت که در صورت نیاز به معادله (۹-۴۶) ، تکمیل می شود. نتیجه را در شکل ۹.۳۲ (f) می دهد. حفره اکنون پر شده است و بقیه شکل بدون تبدیل است. عملیات IC H شکل حاوی پیکسل های ۱ ارزشمند را در مکان های مربوط به حفره های ۱ و ۰ در جاهای دیگر به دست می آورد ، همانطور که شکل ۹.۳۲ (g) نشان می دهد.



a b c d e f g

شکل ۹.۳۲ پر شدن با استفاده از بازسازی شکل شناسی

شکل ۹.۳۳ یک مثال کاربردی تر را نشان می دهد. شکل ۹.۳۳ (ب) مکمل شکل متن را در شکل ۹.۳۳ (الف) نشان می دهد و شکل ۹.۳۳ (ج) شکل نشانگر F است که با استفاده از معادله (۹-۴۵) ایجاد شده است. این شکل کاملاً سیاه و سفید با حاشیه سفید (۱) است ، مگر در مکان های مربوط به ۱ در مرز شکل اصلی (مقادیر حاشیه با بزرگنمایی نشان داده شده به راحتی قابل مشاهده نیستند و همچنین به این دلیل که صفحه تقریباً سفید است) به در نهایت ، شکل ۹.۳۳ (d) را با تمام حفره های پر شده نشان می دهد.

پاکسازی اشیاء محیطی

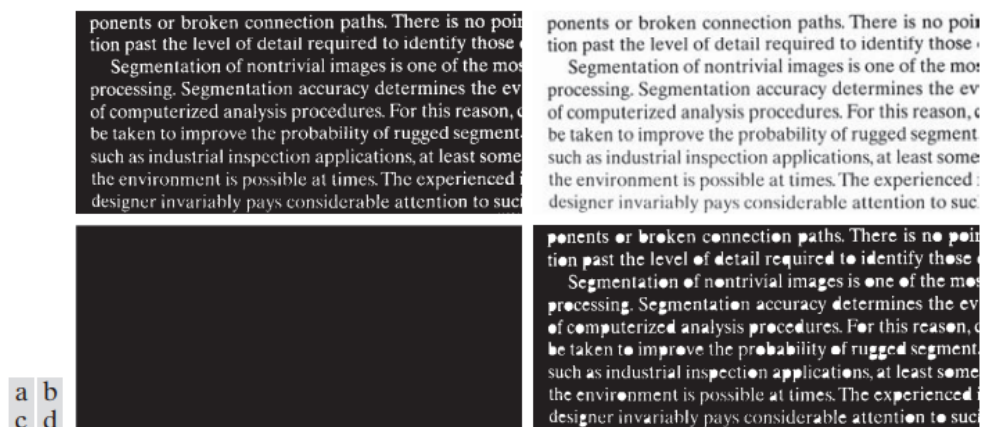
استخراج اشیاء از یک شکل برای تجزیه و تحلیل شکل بعدی یک کار اساسی در پردازش خودکار شکل است. یک الگوریتم برای تشخیص اجسامی که لبه را لمس می کنند (یعنی به آن متصل هستند) یک ابزار مفید است زیرا (۱) می توان از آن برای نمایش تصاویر استفاده کرد تا تنها اشیاء کامل برای پردازش بیشتر باقی بماند ، یا

(۲) می تواند به عنوان سیگنالی است که اجسام جزئی در میدان دید وجود دارد. به عنوان یک شکل نهایی از مفاهیم معرفی شده در این بخش ، ما یک روش پاکسازی اشیاء محیطی را بر اساس بازسازی شکل شناسی توسعه می دهیم. در این برنامه ، ما از شکل اصلی به عنوان ماسک و شکل نشانگر زیر استفاده می کنیم:

$$F(x,y) = \begin{cases} I(x,y) & \text{if } (x,y) \text{ is on the border of } I \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9-47)$$

الگوریتم پاکسازی مرز ابتدا بازسازی شکل شناسی $R^D(F)$ (که اجسام لمس کننده مرز را استخراج می کند) محاسبه می کند ، و سپس تفاوت زیر را محاسبه می کند:

$$X = I - R^D(F) \quad (9-48)$$



شکل ۹.۳۳ (الف) شکل متن با اندازه $۹۱۸ * ۲۰۱۸$ پیکسل. (ب) مکمل (الف) برای استفاده به عنوان شکل ماسک. (ج) شکل نشانگر. (د) نتیجه پر شدن با معادله (۹-۴۵) و (۹-۴۶).

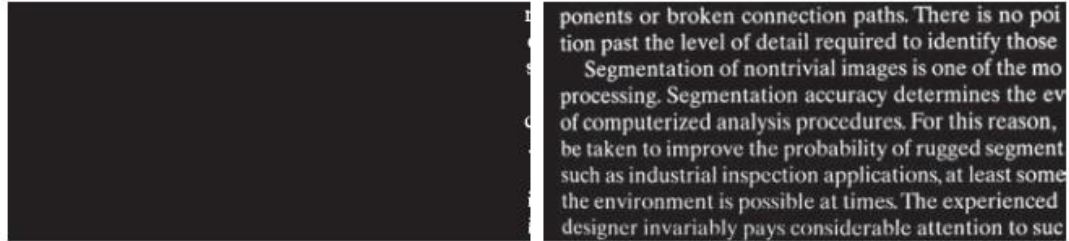
$$X = I - R^D(F) \quad (9-48)$$

برای به دست آوردن یک شکل X ، بدون هیچ گونه اشیایی که به حاشیه دست بزنند. به عنوان مثال ، شکل متنی اصلی شکل ۹.۳۱ (الف) را دوباره در نظر بگیرید. شکل ۹.۳۴ (الف) بازسازی $RD-F$ با ساختار $۳ * ۳$ بدست آمده را نشان می دهد

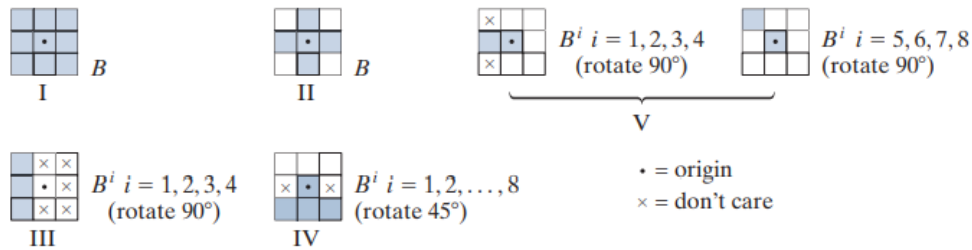
عنصر ۱ اشیایی که مرز شکل اصلی را لمس می کنند در سمت راست شکل ۹.۳۴ (الف) قابل مشاهده است. شکل ۹.۳۴ (ب) شکل X را نشان می دهد که با استفاده از معادله (۹-۴۸) محاسبه شده است. اگر کار مورد نظر به صورت خودکار تشخیص کاراکترها باشد ، داشتن شکل که هیچ کاراکتری در آن حاشیه را لمس نکند بسیار مفید است زیرا از مشکل تشخیص شخصیت های جزئی (در بهترین حالت یک کار دشوار) اجتناب می شود.

۹.۷ خلاصه عملیات شکل شناسی در تصاویر دوتایی

شکل ۹.۳۵ انواع عناصر ساختاردهی مورد استفاده در روشهای مختلف شکل شناسی دوتایی را که تاکنون مورد بحث قرار گرفته است، خلاصه می کند. عناصر سایه دار مقادیر پیش زمینه هستند (معمولاً با ۱ در آرایه های عددی نشان داده می شوند)، عناصر با رنگ سفید مقادیر پس زمینه (معمولاً با ۰)، و 'ها عناصر "اهمیتی نمی دهند" هستند. جدول ۹.۱ نتایج شکل شناسی دوتایی را که در بخشهای قبل ایجاد شده است، خلاصه می کند. اعداد رومی در ستون سوم جدول ۹.۱ به عناصر ساختاردهی در شکل ۹.۳۵ اشاره دارد.



شکل ۹.۳۴ (الف) بازسازی با اتساع شکل نشانگر. (ب) شکل که هیچ شیئی به حاشیه دست نزنند. شکل اصلی شکل ۹.۳۱ (a) است



شکل ۹.۳۵ پنج نوع اساسی از عناصر ساختاری که برای شکل شناسی دوتایی استفاده می شود.

۹.۸ شکل شناسی مقیاس خاکستری

در این بخش، عملیات اصلی اتساع، سایه، بازکردن و بسته شدن را برای تصاویر در مقیاس خاکستری گسترش می دهیم. سپس از این عملیات برای توسعه چندین الگوریتم شکل شناسی مقیاس خاکستری استفاده می کنیم. در طول بحث بعدی، ما به توابع دیجیتالی فرم $f(x, y)$ و $b(x, y)$ می پردازیم، جایی که $f(x, y)$ یک شکل مقیاس خاکستری و $b(x, y)$ یک عنصر ساختار دهنده است به فرض بر این است که این توابع گسسته به معنایی هستند که در بخش ۲.۴ تعریف شده است. یعنی اگر Z مجموعه اعداد صحیح حقیقی را نشان دهد، مختصات (y, x) اعداد صحیح از محصول دکارتی Z^2 هستند و $f(x, y)$ و $b(x, y)$ توابع هستند که مقدار شدت را تعیین می کنند (یک عدد حقیقی از مجموعه اعداد حقیقی، R) تا هر جفت مختصات گسسته (y, x) . اگر سطوح شدت نیز صحیح باشد، Z جایگزین R می شود.

عناصر ساختاردهی در شکل شناسی مقیاس خاکستری همان تابع های اصلی دوتایی خود را انجام می دهند: از آنها به عنوان "کاوشگر" برای بررسی یک شکل مشخص برای ویژگی های خاص استفاده می شود. عناصر

ساختاردهی در شکل شناسی مقیاس خاکستری متعلق به یکی از دو دسته هستند: غیر در و در. شکل ۹.۳۶ نمونه ای از هر یک را نشان می دهد. شکل ۹.۳۶ (a) یک نیمکره خاکستری نیم کره ای SE به صورت شکل نشان داده شده است ، و شکل ۹.۳۶ (c) یک پروفایل شدت افقی از مرکز آن است. شکل ۹.۳۴ (b) یک عنصر fl در ساختار به شکل یک دیسک را نشان می دهد ، و شکل ۹.۳۶ (d) پروفایل شدت مربوط به آن است. (شکل این پیش نویس منشاء کلمه "flat" را توضیح می دهد) عناصر شکل ۹.۳۶ به عنوان مقادیر پیوسته برای وضوح نشان داده شده است. پیاده سازی رایانه ای آنها بر اساس تقریب های دیجیتالی است.

به دلیل تعدادی از مشکلاتی که بعداً در این بخش مورد بحث قرار گرفتند ، مقیاس خاکستری در SE ها اغلب در عمل استفاده نمی شود. در نهایت ، ما اشاره می کنیم که ، مانند مورد دوتایی ، منشاء عناصر ساختار مقیاس خاکستری باید به وضوح مشخص شود. مگر اینکه موارد دیگری ذکر شود ، همه مثالهای این بخش بر اساس ساختار متقارن ، در ساختار عناصر ارتفاع واحد که مبداء آنها در مرکز قرار دارد ، ساخته شده اند. انعکاس SE در شکل شناسی مقیاس خاکستری همانطور که در آن تعریف شده است بخش ۹.۱ ؛ ما آن را در بحث زیر با $\hat{b}(x, y) = b(-x, -y)$ نشان می دهیم.

سایش خاکستری و اتساع

سایش مقیاس خاکستری f توسط یک عنصر ساختاری مسطح b در محل (x, y) به عنوان حداقل مقدار شکل در منطقه همزمان با (x, y) زمان b که مبدا b در (x, y) باشد ، تعریف می شود. به در شکل معادله ، سایش در (x, y) یک شکل f توسط یک ساختار ساختار b به صورت زیر ارائه شده است.

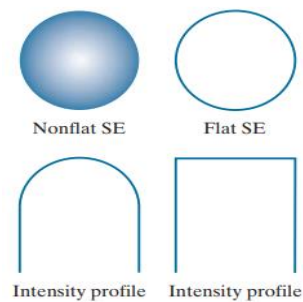
$$[f \ominus b](x, y) = \min_{(s, t) \in b} \{f(x + s, y + t)\} \quad (9-49)$$

جدول ۹.۱ خلاصه ای از عملیات شکل شناسی دوتایی و ویژگی های آنها. A مجموعه ای از پیکسل های پیش زمینه است که در شکل باینری I وجود دارد و B یک عنصر ساختاری است. I یک شکل باینری (حاوی A) است که ۱ مربوط به عناصر A و ۰ در جاهای دیگر است. اعداد رومی به عناصر ساختاردهی در اشاره دارند شکل ۹.۳۵

عملکرد	معادله	نظرات
انتقال	$(B)_z = \{c c = b + z, \text{ for } b \in B\}$	مبدأ B را به نقطه z ترجمه می کند.
بازتاب	$\hat{B} = \{w w = -b, \text{ for } b \in B\}$	B را در مورد منشأ آن منعکس می کند
متمم	$A^c = \{w w \notin A\}$	مجموعه نقاطی که در A نیستند
تفاوت	$A - B = \{w w \in A, w \notin B\}$ $= A \cap B^c$	مجموعه ای از نقاط در A ، اما نه در B.
فرسایش	$A \ominus B = \{z (B)_z \subseteq A\}$	سایش مرز (I).
Dilation	$A \oplus B = \{z (\hat{B})_z \cap A \neq \emptyset\}$	مرز A را گسترش می دهد (I)
بازکردن	$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B$	خطوط را صاف می کند ، استخوان های باریک را می شکند و جزایر کوچک و قله های تیز را از بین می برد. (I)
بسته شدن	$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B$	خطوط را صاف می کند ، شکاف های باریک و خلیج های باریک بلند را جوش می دهد و سوراخ های کوچک را از بین می برد. (i)
تبدیل Hit-or-miss	$I \oplus B = \{z (B)_z \subseteq I\}$	شامل B می یابد را در تصویر B موارد عناصر پیش زمینه و پس زمینه است
استخراج مرز	$\beta(A) = A - (A \ominus B)$	مجموعه نقاط در مرز مجموعه A.
پر کردن حفره	$X_k = (X_{k-1} \oplus B) \cap I^c$ $k = 1, 2, 3, \dots$	پر کننده سوراخ در X_0 از همان اندازه z ، با 1 در هر سوراخ و 0 در جاهای دیگر (II) .
اجزای متصل شده	$X_k = (X_{k-1} \oplus B) \cap I$ $k = 1, 2, 3, \dots$	اجزای متصل شده را در I پیدا می کند X_0 یک مجموعه است ، اندازه یک ، با 1 در هر جزء متصل و 0 در جاهای دیگر. (من)
بدنه محدب	$X_k^i = (X_{k-1}^i \oplus B^i) \cup X_{k-1}^i;$ $i = 1, 2, 3, 4 \quad k = 1, 2, 3, \dots$ $X_0^i = I; D^i = X_{conv}^i; C(A) = \bigcup_{i=1}^4 D^i$	بدنه محدب ، $C(A)$ ، یک مجموعه ، A ، از پیکسل های پیش زمینه موجود در تصویر I را پیدا می کند z به این معنی است (III) .

	عملکرد	معادله	نظرات
T	نازک کردن	$A \otimes B = A - (A \oplus B)$ $= A \cap (A \oplus B)^c$ $A \otimes \{B\} =$ $(((\dots((A \otimes B^1) \otimes B^2) \dots) \otimes B^n))$ $\{B\} = \{B^1, B^2, B^3, \dots, B^n\}$	<p>نازکها مجموعه A، دو معادله اول تعریف اولیه نازکی را ارائه می دهند. دو معادله آخر نشان دهنده نازک شدن توسط دنباله ای از عناصر ساختار دهنده است. این روش معمولاً در عمل استفاده می شود. (IV)</p>
T	ضخیم کردن	$A \odot B = A \cup (A \otimes B)$ $A \odot \{B\} =$ $(((\dots((A \odot B^1) \odot B^2) \dots) \odot B^n))$	<p>ضخیم مجموعه A را با استفاده از دنباله ای از عناصر ساختار بخش، مانند بالا، تنظیم می کند. استفاده (IV) با ۰ و ۱ معکوس.</p>
S	ساختمان (طرح)	$S(A) = \bigcup_{k=0}^K S_k(A)$ $S_k(A) = (A \ominus kB) - (A \ominus kB) \circ B$ <p>Reconstruction of A:</p> $A = \bigcup_{k=0}^K (S_k(A) \oplus kB)$	<p>اسکلت () SA مجموعه A را پیدا می کند. آخرین معادله نشان می دهد که A را می توان از زیر مجموعه های ساختمانی SA () k بازسازی کرد. مقدار K مرحله تکراری است که پس از آن مجموعه A به مجموعه خالی سایش می یابد. علامت (A) k نشان می دهد تکرار سایش پی در پی A توسط (I) B.</p>
I	هرس کردن	$X_1 = A \otimes \{B\}$ $X_2 = \bigcup_{k=1}^8 (X_1 \oplus B^k)$ $X_3 = (X_2 \oplus H) \cap A$ $X_4 = X_1 \cup X_3$	<p>X حاصل مجموعه هرس A است. تعداد دفعاتی که اولین معادله برای بدست آوردن X اعمال می شود باید مشخص شود. عناصر ساختار (V) برای دو معادله اول استفاده می شود. در معادله سوم H عنصر ساختار را نشان می دهد. (I)</p>
C	اتساع ژئودزیک - اندازه ۱	$D_G^{(1)}(F) = (F \oplus B) \cap G$	<p>F و G به ترتیب نشانگر و تصاویر ماسک نامیده می شوند. (i)</p>
C	اتساع ژئودزیک - اندازه n	$D_G^{(n)}(F) = D_G^{(1)}(D_G^{(n-1)}(F))$	همان کامنت بالا
C	سایش زمین شناسی - اندازه ۱	$E_G^{(1)}(F) = (F \ominus B) \cup G$	همان کامنت بالا
C	سایش زمین شناسی - اندازه n	$E_G^{(n)}(F) = E_G^{(1)}(E_G^{(n-1)}(F))$	همان کامنت بالا
M st	بازسازی شکل شناسی با اتساع	$R_G^D(F) = D_G^{(k)}(F)$	<p>با k به گونه ای است که</p> $D_G^{(k)}(F) = D_G^{(k+1)}(F).$

O	I	C
عملکرد	معادله	نظرات
بازسازی شکل شناسی با سایش	$R_G^E(F) = E_G^{(k)}(F)$	با k چنین است که $E_G^{(k)}(F) = E_G^{(k+1)}(F)$.
بازکردن با بازسازی	$R_R^{(n)}(F) = R_F^D(F \ominus nB)$	nB نشان می دهد n سایش پی در پی توسط B ، با F شروع می شود. شکل B به کاربرد وابسته است.
بسته شدن با بازسازی	$R_R^{(n)}(F) = R_F^E(F \oplus nB)$	{ nB نشان دهنده n انتساع متوالی توسط B است که با F شروع می شود. شکل B به برنامه وابسته است.
H پر کردن سوراخ	$H = [R_F^D(F)]^c$	H برابر با تصویر ورودی است ، اما همه حفره ها پر شده اند. به معادله مراجعه کنید (۹-۴۵) برای تعریف تصویر نشانگر F .
B پاکسازی اشیاء محیطی	$X = I - R_F^D(F)$	X برابر با تصویر ورودی است ، اما با همه اجسامی که لمس می کنند (به آن متصل هستند) مرز حذف شده است. به معادله مراجعه کنید (۹-۴۷) برای تعریف تصویر نشانگر F .



شکل ۹.۳۶ عناصر غیرمستقیم و در ساختار ، و پروژهای شدت افقی مربوطه از طریق مراکز آنها. همه مثالهای این بخش بر اساس flat SEs است.

جایی که ، به روشی شبیه به همبستگی فضایی (بخش ۳.۴ را ببینید) ، X و Y از طریق تمام مقادیر مورد نیاز افزایش می یابد ، به طوری که مبدأ b از هر پیکسل در f بازدید می کند. یعنی برای یافتن سایش f توسط b ، منشاء عنصر ساختار را در هر مکان پیکسلی در شکل قرار می دهیم. سایش در هر مکان با انتخاب حداقل مقدار f در منطقه همزمان با b تعیین می شود. به عنوان مثال ، اگر b یک عنصر ساختاری مربع با اندازه $۳ * ۳$ باشد ، بدست آوردن سایش در یک نقطه مستلزم یافتن حداقل ۹ مقدار f موجود در ناحیه $۳ * ۳$ است که توسط b در

زمانی که مبدا آن در آن نقطه است ، پیدا شود. به طور مشابه ، اتساع مقیاس خاکستری f توسط $a \oplus f$ در ساختار عنصر b در هر مکان (y, x) به عنوان حداکثر مقدار شکل در پنجره ای که توسط \hat{b} در زمانی که مبدا \hat{b} در (y, x) است ، تعریف می شود. به این معنا که،

$$[f \oplus b](x, y) = \max \{f(x - s, y - t)\} \quad (9-50)$$

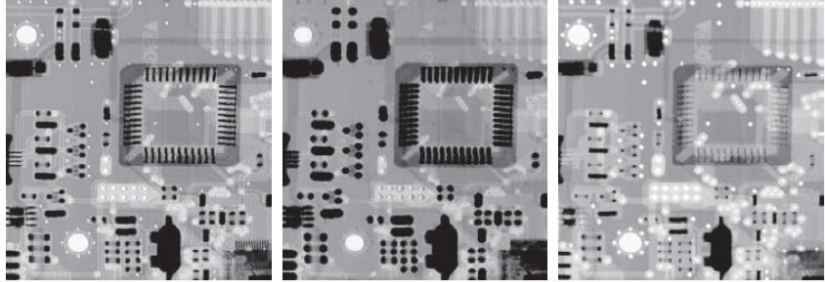
جایی که ما از حقیقی تی که قبلاً بیان شد استفاده کردیم که $\hat{b}(c, d) = b(-c, -d)$ توضیح این معادله با توضیحات پاراگراف قبلی یکسان است ، اما با استفاده از حداکثر و نه حداقل عملیات ، و در نظر داشته باشید که عنصر ساختاردهنده در مورد منشأ آن منعکس شده است ، که ما با استفاده از آن $(-t, -s)$ در آرگومان تابع این همانند پیچش فضایی است ، همانطور که در بخش ۳.۴ توضیح داده شده است.

مثال ۹.۹: سایش و اتساع در مقیاس خاکستری

از آنجا که سایش در مقیاس خاکستری با $f \oplus$ در SE حداقل مقدار شدت f را در هر همسایگی (y, x) همزمان با b محاسبه می کند ، ما به طور کلی انتظار داریم که یک شکل مقیاس خاکستری فرسوده تیره تر از شکل اصلی باشد ، یعنی اندازه (با توجه به اندازه SE) ویژگی های روشن کاهش می یابد و اندازه ویژگی های تیره افزایش می یابد. شکل ۹.۳۷ (ب) سایش شکل ۹.۳۷ (الف) را با استفاده از دیسک SE با ارتفاع واحد و شعاع ۲ پیکسل نشان می دهد. جلوه هایی که ذکر شد به وضوح در شکل فرسوده قابل مشاهده است. به عنوان مثال ، توجه داشته باشید که چگونه شدت نقاط کوچک روشن کاهش یافته است ، و در شکل ۹.۳۷ (ب) به سختی قابل مشاهده است ، در حالی که ضخامت ویژگی های تیره افزایش یافته است. پس زمینه کلی شکل فرسوده کمی تیره تر از پس زمینه شکل اصلی است.

به طور مشابه ، شکل ۹.۳۷ (ج) نتیجه اتساع با همان SE است. اثرات برعکس استفاده از سایش است. ویژگی های روشن ضخیم تر شده و شدت ویژگی های تیره تر کاهش می یابد. به طور خاص ، سیمهای باریک مشکی در قسمت چپ ، وسط و راست پایین شکل ۹.۳۷ (الف) به سختی در شکل ۹.۳۷ (ج) قابل مشاهده است. اندازه نقاط تیره در نتیجه اتساع کاهش یافت ، اما برخلاف نقاط سفید ساییده شده کوچک در شکل ۹.۳۷ (ب) ، هنوز هم به راحتی در شکل گشاد دیده می شوند. دلیل آن این است که نقاط سیاه از نظر اندازه SE در اصل بزرگتر از نقاط سفید بودند. در نهایت ، توجه داشته باشید که پس زمینه شکل گشاد شده کمی روشن تر از شکل ۹.۳۷ (الف) است. غیر SE ها دارای مقادیر خاکستری هستند که بر اساس دامنه تعریف آنها متفاوت است. سایش شکل f توسط عنصر بدون ساختار ، b_N ، به عنوان تعریف شده است

$$[f \ominus b_N](x, y) = \min_{(s, t) \in b_N} \{f(x + s, y + t) - b_N(s, t)\} \quad (9-51)$$



شکل ۹.۳۷ (الف) شکل اشعه ایکس در مقیاس خاکستری با اندازه $425 * 448$ پیکسل (ب) سایش با استفاده از a فل در دیسک SE با شعاع ۲ پیکسل. (ج) اتساع با استفاده از همان SE. (شکل اصلی از Lixi، Inc. گرفته شده است)

در اینجا، برای تعیین سایش در هر نقطه، مقادیر را از f کم می کنیم. برخلاف معادله (۹-۴۹)، سایش با استفاده از یک SE غیر مسطح به طور کلی با مقادیر f محدود نمی شود، که می تواند در تفسیر نتایج مشکل ساز باشد. SE های مقیاس خاکستری به ندرت در عمل استفاده می شوند، به همین دلیل، مشکلات احتمالی در انتخاب عناصر معنی دار برای b_N و بار محاسباتی اضافه شده در مقایسه با معادله (۹-۴۹). به روش مشابه، اتساع با استفاده از یک SE به عنوان تعریف شده است

$$[f \oplus b_N](x, y) = \max_{(s, t) \in b_N} \{f(x-s, y-t) + \hat{b}_N(s, t)\} \quad (9-52)$$

همان نظراتی که در پاراگراف قبلی بیان شد، در مورد اتساع با SE های غیر مسطح قابل اجرا است. هنگامی که همه عناصر b_N ثابت هستند (یعنی SE صاف است)، معادله (۹-۵۱) و (۹-۵۲) به معادله (۹-۴۹) و (۹-۵۰)، کاهش می یابد. به ترتیب، در یک ثابت مقیاس برابر با دامنه SE.

مانند مورد دوتایی، سایش و گشاد شدن خاکستری از نظر تکمیل و بازتاب دوگانه هستند. به این معنا که،

$$[f \ominus b]^c(x, y) = [f^c \oplus \hat{b}](x, y) \quad (9-53)$$

جایی که $f^c(x, y) = -f(x, y)$ and $\hat{b}(x, y) = b(-x, -y)$ همین عبارت برای عناصر ساختاردهی غیر مسطح صادق است. به جز مواردی که برای وضوح لازم است، ما در بحث زیر با سرکوب استدلال های همه توابع، علامت را ساده می کنیم، در این صورت معادله قبلی به صورت زیر نوشته می شود:

$$(f \ominus b)^c = f^c \oplus \hat{b} \quad (9-54)$$

$$(f \oplus b)^c = f^c \ominus \hat{b} \quad (9-55)$$

سایش و اتساع به خودی خود به ویژه در پردازش شکل در مقیاس خاکستری مفید نیستند. این عملیات مانند دیگر همتایان باینری خود هنگامی که برای ترکیب الگوریتم های سطح بالاتر استفاده شوند، قدرتمند می شوند.

باز و بسته شدن خاکستری

عبارات باز و بسته شدن تصاویر در مقیاس خاکستری همان شکل دوتایی خود را دارند. باز شدن مقیاس خاکستری شکل f با ساختار عنصر b ، نشان دهنده $f \circ b$ ، است.

اگرچه ما در بحث بعدی با fI در SES بحث می کنیم، اما مفاهیم مورد بحث برای عناصر ساختاردهی نشده نیز کاربرد دارد.

$$f \circ b = (f \ominus b) \oplus b \quad (9-56)$$

همانطور که قبلاً باز می شود، سایش f به b و به دنبال آن اتساع نتیجه توسط b است. به طور مشابه، بستن مقیاس خاکستری f با b ، نشان دهنده $f \bullet b$ ، است

$$f \bullet b = (f \oplus b) \ominus b \quad (9-57)$$

باز و بسته شدن تصاویر مقیاس خاکستری از نظر تکمیل و بازتاب SE دوگانه است:

$$(f \bullet b)^c = f^c \circ \hat{b} \quad (9-58)$$

$$(f \circ b)^c = f^c \bullet \hat{b} \quad (9-59)$$

چون $f^c = -f$ می توانیم معادله (۹-۵۸) بنویسیم. به عنوان $-(f \bullet b) = (-f \circ b)$ و به طور مشابه برای معادله (۹-۵۹). باز و بسته شدن تصاویر در مقیاس خاکستری دارای یک تفسیر هندسی ساده است. فرض کنید یک تابع شکل $f(x, y)$ به عنوان یک سطح سه بعدی در نظر گرفته شود. یعنی مقادیر شدت آن به عنوان مقادیر ارتفاع در سطح xy تفسیر می شود، مانند شکل ۲.۱۸ (a). سپس باز شدن f توسط b را می توان از نظر هندسی به عنوان فشار دادن ساختار ساختار از پایین به سطح زیرین f تفسیر کرد. در هر محل مبدأ b ، باز شدن بالاترین مقدار است که هر قسمت b به آن می رسد زیرا به سطح زیرین f فشار می آورد. سپس باز شدن کامل مجموعه ای از تمام مقادیر بدست آمده از مبدأ b بازدید از هر مختصات $f(x, y)$ است. شکل ۹.۳۸ مفهوم را در یک بعد نشان می دهد. فرض کنید منحنی شکل ۹.۳۸ (a) پروفایل شدت در امتداد یک ردیف شکل است. شکل ۹.۳۸ (ب) عنصر fI در ساختار را در چندین موقعیت نشان می دهد، که به پایین منحنی فشار داده شده است. منحنی سنگین در شکل ۹.۳۸ (ج) باز شدن کامل است. از آنجا که عنصر ساختار بسیار بزرگ است تا به طور کامل در داخل قله های رو به بالا منحنی قرار نگیرد، قله ها توسط دهانه بریده می شوند و مقدار حذف شده متناسب با مسافتی است که عنصر ساختار دهنده قادر به رسیدن به قله بوده است. به طور کلی، از دهانه ها برای حذف جزئیات کوچک و روشن استفاده می شود، در حالی که سطوح شدت کلی و ویژگی های روشن بزرگتر نسبتاً بدون مزاحمت باقی می ماند. شکل ۹.۳۸ (d) یک شکل گرافیکی از بسته شدن است. توجه داشته باشید که

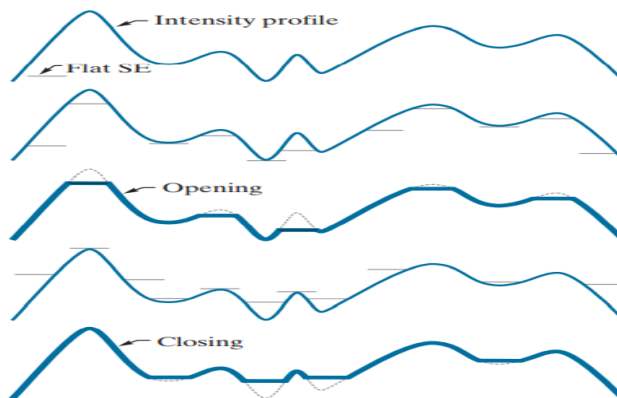
عنصر ساختاردهی در بالای منحنی در حالی که به همه مکانها تبدیل می شود ، به پایین رانده می شود. بسته شدن ، که در شکل ۹.۳۸ (e) نشان داده شده است ، با یافتن پایین ترین نقاطی که هر قسمت از عنصر ساختار به آن رسیده است در حالی که به سمت بالای منحنی می لغزد ، ساخته شده است. دهانه خاکستری خواص زیر را برآورده می کند:

- (a) $f \circ b \downarrow f$
- (b) If $f_1 \downarrow f_2$, then $(f_1 \circ b) \downarrow (f_2 \circ b)$
- (c) $(f \circ b) \circ b = f \circ b$

از علامت $q \downarrow r$ برای نشان دادن این که حوزه q زیرمجموعه ای از حوزه r است استفاده می شود و همچنین برای هر $q(x, y) \leq r(x, y)$ در حوزه به طور مشابه ، عملیات بسته شدن خواص زیر را برآورده می کند:

- (a) $f \downarrow f \circ b$
- (b) If $f_1 \downarrow f_2$, then $(f_1 \circ b) \downarrow (f_2 \circ b)$
- (c) $(f \circ b) \circ b = f \circ b$

مفید بودن این ویژگی ها مشابه با نمونه های دودویی آنها است.

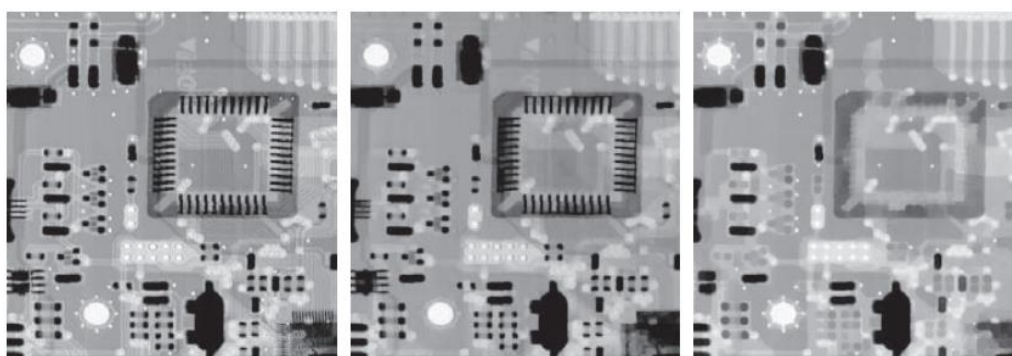


شکل ۹.۳۸ باز و بسته شدن مقیاس خاکستری در یک بعد. (الف) سیگنال ۱ بعدی اصلی (ب) عنصر ساختاری مسطح به زیر سیگنال فشار داده شده است. (ج) باز کردن (د) عنصر ساختار مسطح در امتداد بالای سیگنال به پایین رانده می شود. (ه) بستن

مثال ۹.۱۰: باز و بسته شدن مقیاس خاکستری

شکل ۹.۳۹ مفاهیم ۱ بعدی را که در شکل ۹.۳۸ نشان داده شده است به صورت دو بعدی گسترش می دهد. شکل ۹.۳۹ (الف) همان شکل است که ما در مثال ۹.۹ استفاده کردیم و شکل ۹.۳۹ (ب) دهانه ای است که با استفاده از یک عنصر ساختار دیسک با ارتفاع واحد و شعاع ۳ پیکسل به دست آمده است. همانطور که انتظار می رفت ، بسته به اندازه ویژگی ها نسبت به اندازه SE ، شدت همه ویژگی های روشن کاهش یافت. با مقایسه این شکل با شکل ۹.۳۷ (ب) ، می بینیم که برخلاف نتیجه سایش ، باز شدن روی ویژگی های تاریک شکل تأثیر

ناچیزی داشت و تأثیر آن در پس زمینه ناچیز بود. به طور مشابه ، شکل ۹.۳۹ (ج) بسته شدن شکل را با دیسکی با شعاع ۵ نشان می دهد (نقاط سیاه کوچک گرد بزرگتر از نقاط سفید کوچک هستند ، بنابراین برای رسیدن به نتایج قابل مقایسه با دهانه دیسک بزرگتری نیاز بود). در این شکل ، جزئیات روشن و پس زمینه نسبتاً تحت تأثیر قرار نگرفته اند ، اما ویژگی های تاریک ضعیف شده اند و میزان تضعیف به اندازه نسبی ویژگی ها نسبت به SE وابسته است.



شکل ۹.۳۹ (الف) یک شکل اشعه ایکس در مقیاس خاکستری با اندازه $448 * 250$ پیکسل. (ب) باز کردن با استفاده از دیسک SE با شعاع ۳ پیکسل. (ج) بستن با استفاده از SE شعاع ۵.

برخی از الگوریتم های شکل شناسی پایه خاکستری

تکنیک های شکل شناسی مقیاس خاکستری مبتنی بر مفاهیم شکل شناسی مقیاس خاکستری است که تاکنون معرفی شده است. ما برخی از این الگوریتم ها را در بحث زیر نشان می دهیم.

هموارسازی شکل شناسی

از آنجا که بازکردن جزئیات روشن کوچکتر از SE مشخص شده را متوقف می کند در حالی که جزئیات تیره را تقریباً تحت تأثیر قرار می دهد و بسته شدن عموماً عکس عکس را دارد ، این دو عملیات اغلب به صورت فیلترهای شکل شناسی برای هموارسازی شکل و حذف نویز به صورت ترکیبی استفاده می شوند. شکل ۹.۴۰ (الف) را در نظر بگیرید ، که شکل از ابرنواختر حلقه Cygnus را نشان می دهد که در نوار اشعه ایکس گرفته شده است (برای اطلاعات بیشتر در مورد این شکل به شکل ۱.۷ مراجعه کنید). برای اهداف بحث حاضر ، فرض کنید که منطقه نور مرکزی مورد توجه است و اجزای کوچکتر نویز هستند. هدف ما حذف نویز است. شکل ۹.۴۰ (ب) نتیجه بازکردن شکل اصلی را با یک دیسک مسطح با شعاع ۱ نشان می دهد ، سپس دهانه را با یک SE به همان اندازه می بندیم. شکل ۹.۴۰ (ج) و (د) نتایج یک عملیات را به ترتیب با استفاده از SE های شعاع ۳ و ۵ نشان می دهد. همانطور که انتظار می رفت ، این دنباله حذف تدریجی اجزای کوچک را به عنوان تابعی از اندازه SE نشان می دهد. در آخرین نتیجه ، می بینیم که نویز تقریباً حذف شده است. اجزای نویز در سمت راست پایین شکل را نمی توان به طور کامل حذف کرد زیرا اندازه آنها بزرگتر از سایر عناصر شکل است که با موفقیت حذف شده اند.

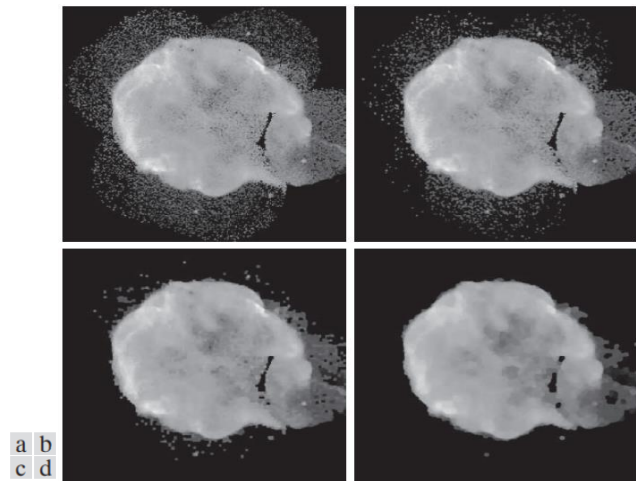
نتایج در شکل ۹.۴۰ بر اساس بازکردن شکل اصلی ، سپس بستن دهانه است. روشی که گاهی اوقات برای انجام فیلترهای متوالی متناوب استفاده می شود ، که در آن دنباله باز و بسته شدن با شکل اصلی شروع می شود ، اما مراحل بعدی باز و بسته شدن نتایج مرحله قبل را انجام می دهد. این نوع فیلتر در تجزیه و تحلیل خودکار شکل مفید است ، که در آن نتایج در هر مرحله با یک معیار مشخص مقایسه می شود. این رویکرد به طور کلی منجر به تار شدن بیشتر برای همان اندازه SE نسبت به روش نشان داده شده در شکل ۹.۴۰ می شود.

برای تعریف گرادیان شکل به بخش ۳.۶ مراجعه کنید.

گرادیان شکل شناسی

از اتساع و سایس می توان در ترکیب با تفریق شکل برای بدست آوردن گرادیان شکل شناسی g ، یک شکل در مقیاس خاکستری f ، به شرح زیر استفاده کرد:

$$g = (f \oplus b) - (f \ominus b) \quad (9-60)$$



شکل ۹.۴۰ (a) شکل $۵۶۶ * ۵۶۶$ از ابرنواختر حلقه Cygnus ، گرفته شده است. در نوار اشعه ایکس توسط تلسکوپ هابل ناسا. (ب) - (د) نتایج انجام توالی های باز و بسته روی شکل اصلی به ترتیب با عناصر ساختار دیسک شعاع ، ۱ ، ۳ ، و ۵. (شکل اصلی از ناسا گرفته شده است.)

جایی که b یک عنصر ساختاری مناسب است. اثر کلی که با استفاده از این معادله به دست می آید این است که اتساع مناطق را در یک شکل ضخیم می کند و سایس آنها را کوچک می کند. تفاوت آنها بر مرزهای بین مناطق تأکید می کند. مناطق همگن تحت تأثیر قرار نمی گیرند (به شرطی که SE نسبت به وضوح شکل خیلی بزرگ نباشد) بنابراین عملیات تفریق تمایل به حذف آنها دارد. نتیجه خالص شکل است که در آن لبه ها افزایش یافته و سهم مناطق همگن سرکوب می شود ، بنابراین یک اثر "مشتق" (گرادیان) ایجاد می کند.

شکل ۹.۴۱ نمونه ای را نشان می دهد. شکل ۹.۴۱ (a) یک سی تی اسکن سر است و دو شکل بعدی باز و بسته شدن با $۳ * ۳$ در $SE ۱$ از ۱ است. به ضخیم شدن و انقباض که به آن اشاره شد توجه کنید. شکل ۹.۴۱ (د)

گرایان شکل شناسی است که با استفاده از معادله به دست آمده است. (۹-۶۰). همانطور که می بینید ، همانطور که از شکل مشتق دو بعدی انتظار می رفت ، مرزهای بین مناطق به وضوح مشخص شده بود.

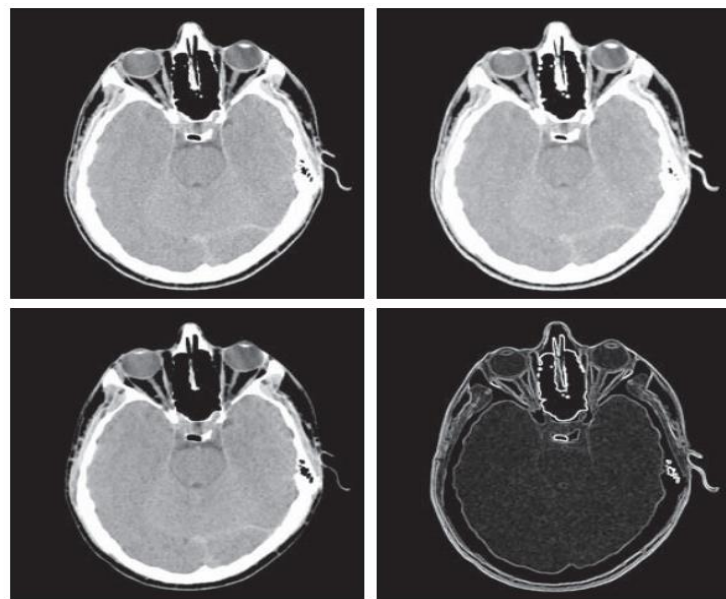
تبدیلات Top-Hat and Bottom-Hat

ترکیب تفریق شکل با باز و بسته شدن باعث تبدیل شکل به اصطلاح Top-Hat و Bottom-Hat می شود. تبدیل Top-Hat یک شکل در مقیاس خاکستری f به صورت f منهای باز شدن آن تعریف می شود:

$$T_{\text{hat}}(f) = f - (f \circ b) \quad (9-61)$$

به طور مشابه ، تبدیل Bottom-Hat به عنوان بستن f منهای f تعریف می شود:

$$B_{\text{hat}}(f) = (f \circ b) - f \quad (9-62)$$



شکل ۹.۴۱ (الف) ۵۱۲*۵۱۲ شکل سی تی اسکن سر (ب) اتساع. (ج) سایش (د) شیب شکل شناسی ، به عنوان تفاوت بین (ب) محاسبه می شود و سی). (شکل اصلی از دکتر دیوید آر پیکنز ، دانشگاه وندربیلت گرفته شده است.)

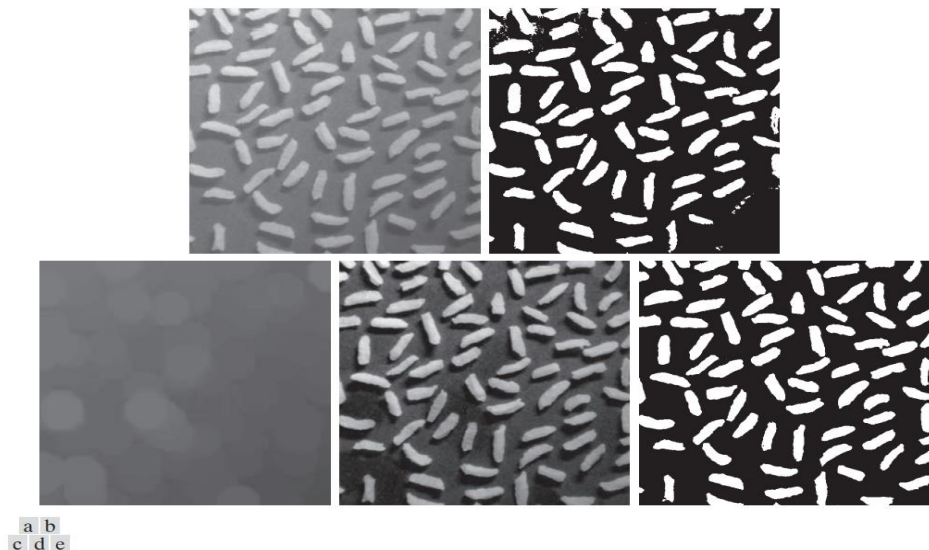
یکی از کاربردهای اصلی این تبدیلات حذف اشیاء از یک شکل با استفاده از یک عنصر ساختار بندی در عملیات باز یا بسته شدن است که با اشیاء حذف شده متناسب نیست. سپس عملیات تفاوت شکل را ایجاد می کند که در آن فقط اجزای حذف شده باقی می ماند. تبدیل Top-Hat برای اجسام روشن در زمینه تیره و تبدیل Bottom-Hat برای موقعیت مخالف استفاده می شود.

به همین دلیل ، نام Hat سفید بالا و Hat سیاه به ترتیب ، هنگام اشاره به این دو تبدیل ، به ترتیب استفاده می شود. استفاده مهم از تبدیل شکل Hat برای تصحیح اثرات روشنایی غیر یکنواخت است. همانطور که در فصل ۱۰ خواهید آموخت ، روشنایی مناسب (یکنواخت) نقشی اساسی در توانایی استخراج اشیاء از پس زمینه در شکل

دارد. این فرایند در تجزیه و تحلیل خودکار شکل اساسی است و اغلب در ارتباط با آن استفاده می شود. همانطور که در فصل ۱۰ یاد خواهید گرفت ، با آستانه مواجه شوید.

برای توضیح ، شکل ۹.۴۲ (الف) را در نظر بگیرید ، که شکل از دانه های برنج را نشان می دهد. این شکل تحت نور غیر یکنواخت به دست آمده است ، همانطور که توسط منطقه تیره تر در پایین سمت راست شکل نشان داده شده است. شکل ۹.۴۲ (ب) نتیجه آستانه گذاری با استفاده از روش اوتسو را نشان می دهد ، یک روش آستانه مطلوب که در بخش ۱۰.۳ مورد بحث قرار می گیرد. نتیجه خالص روشنایی یکنواخت این بود که در قسمت تاریک خطای تقسیم بندی ایجاد شود (چندین دانه برنج از پشت زمین استخراج نشد) ، و همچنین در قسمت بالا سمت چپ شکل ، جایی که قسمت هایی از پس زمینه به عنوان برنج. شکل ۹.۴۲ (c) باز شدن شکل با دیسک شعاع ۴۰ را نشان می دهد. این SE به اندازه کافی بزرگ بود به طوری که در هیچ یک از اجسام متغیر نبود. در نتیجه ، اجسام حذف شده و تنها تقریبی از پس زمینه باقی می ماند. الگوی سایه زنی در این شکل مشخص است. با تفریق این شکل از نسخه اصلی (یعنی با اعمال تبدیل شکل کلاه) ، پس زمینه باید یکنواخت تر شود. همانطور که در شکل ۹.۴۲ (د) نشان داده شده است ، این حقیقت دارد. پس زمینه کاملاً یکنواخت نیست ، اما تفاوت بین افراط روشن و تاریک کمتر است ، و این برای به دست آوردن نتیجه صحیح آستانه کافی بود ، که در آن تمام دانه های برنج به درستی با استفاده از روش اوتسو استخراج شد ، همانطور که در شکل ۹.۴۲ (e) نشان داده شده است.

به



شکل ۹.۴۲ استفاده از تبدیل Top-Hat برای اصلاح سایه. (الف) شکل اصلی با اندازه $600 * 600$ پیکسل. (ب) شکل آستانه دار. (ج) شکل با استفاده از دیسک SE با شعاع ۴۰ باز می شود. (د) تبدیل Hat (شکل منهای باز شدن آن). (ه) شکل Top-Hat آستانه دار.

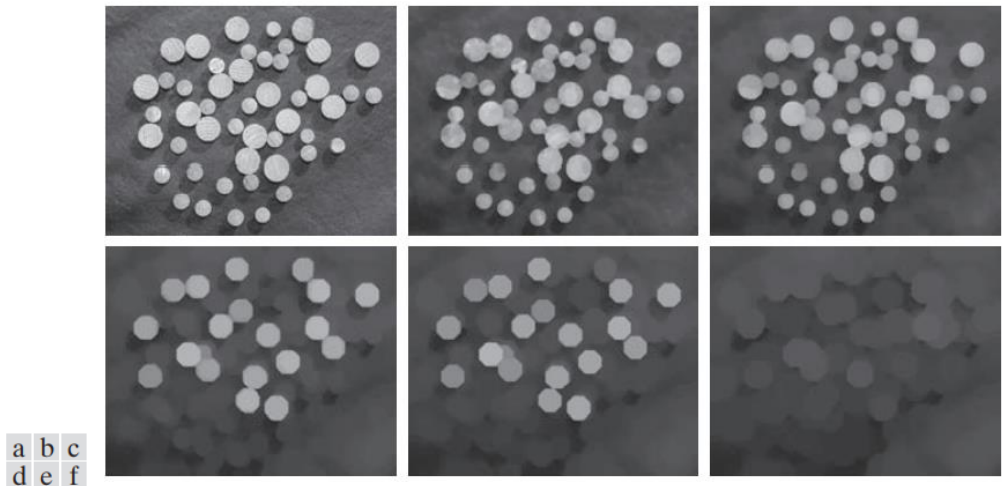
گرانولومتری

در زمینه این بحث، گرانولومتری زمینه ای است که با تعیین توزیع اندازه ذرات در یک شکل سروکار دارد. ذرات به ندرت به طور منظم از هم جدا می شوند، که شمارش بر اساس شناسایی ذرات فردی را کار دشواری می کند. از شکل شناسی می توان برای برآورد توزیع اندازه ذرات به صورت غیر مستقیم، بدون نیاز به شناسایی و اندازه گیری ذرات جداگانه استفاده کرد.

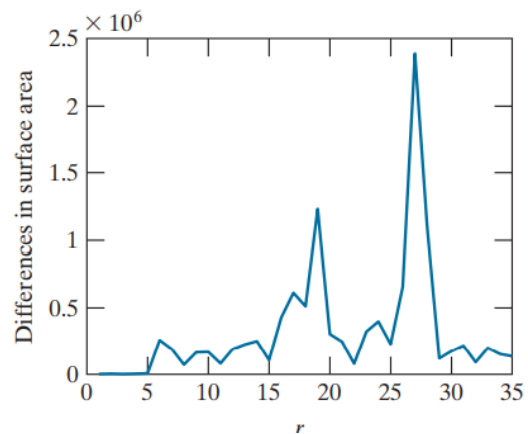
رویکرد ساده است. با توجه به اینکه ذرات دارای اشکال معمولی هستند که از پس زمینه سبک تر هستند، این روش شامل استفاده از دهانه هایی با اندازه های رو به افزایش است. ایده اصلی این است که عملیات باز کردن یک اندازه خاص باید بیشترین تأثیر را بر مناطقی از شکل ورودی داشته باشد که حاوی ذرات با اندازه مشابه است. برای هر شکل حاصل از باز شدن، مجموع مقادیر پیکسل را محاسبه می کنیم. این مجموع که مساحت سطح نامیده می شود، به عنوان تابعی از افزایش اندازه SE کاهش می یابد زیرا، همانطور که قبلاً بحث کردیم، دهانه ها شدت ویژگی های نور را در یک شکل کاهش می دهند. این روش یک آرایه ۱ بعدی می دهد که هر عنصر آن مجموع پیکسل های موجود در اندازه SE مربوط به آن مکان در آرایه است. برای تأکید بر تبدیلات بین دهانه های پی در پی، ما تفاوت بین عناصر مجاور آرایه ۱-D را محاسبه می کنیم. اگر تفاوت ها رسم شود، قله های نمودار نشان دهنده توزیع غالب اندازه ذرات موجود در شکل است.

به عنوان مثال، شکل دوشاخه های رولپلاک چوبی با دو اندازه اصلی را در شکل ۹.۴۳ (الف) در نظر بگیرید. دانه چوب در رولپلاک ها احتمالاً باعث ایجاد تبدیلات در دهانه ها می شود، بنابراین صاف کردن یک مرحله پیش پردازش معقول است. شکل ۹.۴۳ (ب) شکل صاف شده را با استفاده از فیلتر صاف کننده شکل شناسی که قبلاً مورد بحث قرار گرفت، با دیسک شعاع ۵ نشان می دهد. شکل ۹.۴۳ (ج) تا (و) دهانه های شکل را با دیسک های شعاع ۱۰، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ نشان می دهد. به ترتیب. در شکل ۹.۴۳ (د) توجه داشته باشید که میزان شدت ناشی از رولپلاک های کوچک تقریباً حذف شده است.

در شکل ۹.۴۳ (ه) سهم رولپلاک های بزرگ به طور قابل توجهی کاهش یافته است، و در شکل ۹.۴۳ (و) حتی بیشتر. در شکل ۹.۴۳ (ه) توجه داشته باشید که رولپلاک بزرگ نزدیک سمت راست شکل بسیار تیره تر از سایرین است زیرا اندازه آن کوچکتر از رولپلاک های دیگر است. اگر ما در تلاش برای تشخیص رولپلاک معیوب بودیم، این اطلاعات مفید خواهد بود. شکل ۹.۴۴ یک نمودار از آرایه تفاوت را نشان می دهد. همانطور که قبلاً ذکر شد، ما انتظار داریم تفاوت های قابل توجهی (قله های طرح) در اطراف شعاعی که SE در آن قرار دارد



شکل ۹.۴۳ (الف) شکل $۵۳۱ * ۶۷۵$ از رولپلاک چوبی. (ب) شکل صاف شده (ج) - (و) دهانه های (ب) با دیسک های شعاع برابر تا ۱۰، ۲۰، ۲۵، و به ترتیب ۳۰ پیکسل (شکل اصلی از دکتر استیو ادینز، MathWorks، Inc. گرفته شده است)



شکل ۹.۴۴ تفاوت در سطح به عنوان تابعی از شعاع دیسک SE، r . دو قله نشان می دهد که دو اندازه ذرات غالب در شکل وجود دارد.

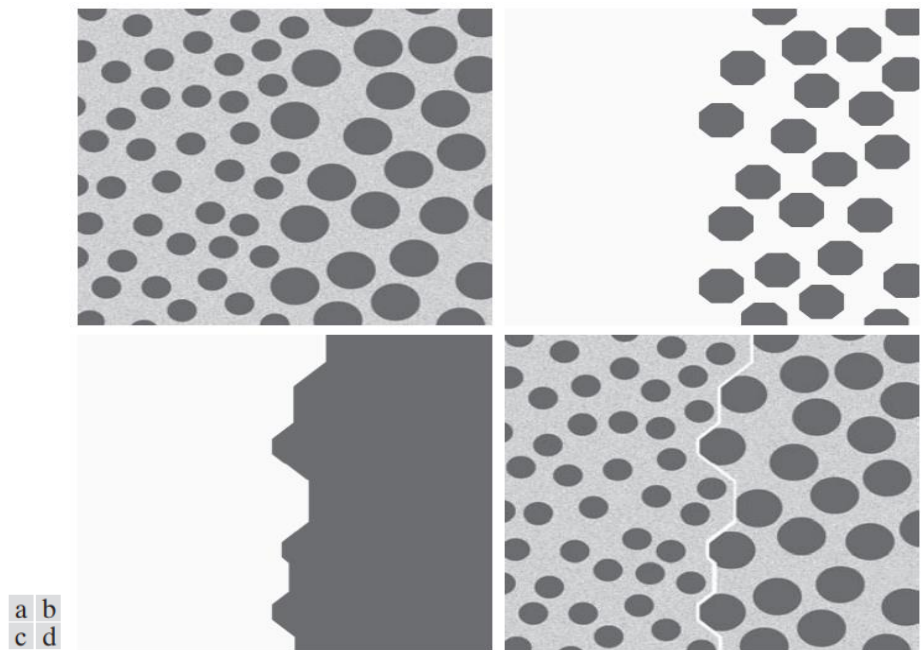
آنقدر بزرگ است که مجموعه ای از ذرات تقریباً یکسان را در بر می گیرد. نتیجه در شکل ۹.۴۴ دارای دو قله گسسته است که به وضوح نشان دهنده وجود دو اندازه شی غالب در شکل است.

تقسیم بندی بافتی

شکل ۹.۴۵ (الف) شکل پر نویز از لکه های تیره را نشان می دهد که بر روی یک نور پس زمینه قرار گرفته اند. شکل دارای دو ناحیه بافتی است: ناحیه ای که از حباب های بزرگ در سمت راست و ناحیه ای در سمت چپ از حباب های کوچکتر تشکیل شده است. هدف این است که بین دو منطقه بر اساس محتوای بافتی آنها حد و مرزی پیدا کنیم، که در این مورد با اندازه ها و توزیع فضایی حباب ها تعیین می شود (ما در فصل ۱۱ به بافت می پردازیم). فرایند تقسیم شکل به مناطق را تقسیم بندی می نامند که موضوع فصل ۱۰ است.

اشیاء مورد نظر تیره تر از پس زمینه هستند و می دانیم که اگر شکل را با یک عنصر ساختاری بزرگتر از حباب های کوچک ببندیم ، این لکه ها حذف می شوند. نتیجه در شکل ۹.۴۵ (ب) ، که با بستن شکل ورودی با استفاده از دیسک با شعاع ۳۰ پیکسل به دست آمده است ، نشان می دهد که واقعاً چنین است. (شعاع حباب های کوچکتر تقریباً ۲۵ پیکسل است.) بنابراین ، در این مرحله ، ما شکل با حباب های بزرگ و تیره در پس زمینه روشن داریم. اگر این شکل را با یک عنصر ساختاری بزرگ نسبت به فاصله بین این حباب ها باز کنیم ، نتیجه خالص باید شکل باشد که در آن لکه های روشن بین حباب ها برداشته می شود ، لکه های تیره و همچنین تاریک در حال حاضر باقی می ماند. تکه هایی بین این حباب ها شکل ۹.۴۵ (ج) نتیجه را نشان می دهد که با استفاده از دیسک شعاع ۶۰ به دست آمده است.

انجام شیب شکل شناسی بر روی این شکل با مثلاً $3 * 3$ از SE ، به ما مرز بین دو منطقه را می دهد. شکل ۹.۴۵ (د) مرز به دست آمده از عملیات گرادیان شکل شناسی را نشان می دهد که روی شکل اصلی چیده شده است. گفته می شود که همه پیکسل ها در سمت راست این مرز متعلق به ناحیه بافت هستند که با حباب های بزرگ مشخص می شود و برعکس برای پیکسل های سمت چپ مرز. کار با این مثال با جزئیات بیشتر با استفاده از قیاس گرافیکی برای باز و بسته شدن نشان داده شده در شکل ۹.۳۸ ، آموزنده خواهد بود.



شکل ۹.۴۵ تقسیم بندی بافتی (الف) $600 * 600$ شکل شامل دو نوع حباب است. (ب) شکل با حباب های کوچک با بستن (a) حذف شده است. (ج) شکل با تکه های سبک بین لکه های بزرگ با باز کردن (b) برداشته می شود. (د) شکل اصلی با مرز بین دو منطقه در (ج) روی هم قرار گرفته است. مرز با استفاده از یک گرادیان شکل شناسی

بازسازی شکل شناسی خاکستری

بازسازی شکل شناسی خاکستری به همان شیوه ای که در بخش ۹.۶ برای تصاویر دوتایی معرفی شده است ، تعریف شده است. f و g به ترتیب نشانگر و ماسک تصاویر را نشان می دهند. ما فرض می کنیم که هر دو شکل در مقیاس خاکستری با اندازه یکسان و $f \leq g$ هستند ، به این معنی که شدت f در هر نقطه از شکل کمتر از شدت مقدار g در آن نقطه اتساع ژئودزیک اندازه f نسبت به g تعریف شده است

$$D_g^{(1)}(f) = (f \oplus b) \wedge g \quad (9-63)$$

همانطور که قبلاً ذکر شد ، قابل درک است که f و g توابع X و Y هستند. ما مختصات را برای ساده سازی نماد حذف می کنیم.

که \wedge نشان دهنده عملگر حداقل نقطه ای است و b یک عنصر ساختار بندی مناسب است. ما می بینیم که اتساع ژئودزیک اندازه f با محاسبه اتساع f به b و سپس انتخاب حداقل بین نتیجه و g در هر نقطه (X, Y) بدست می آید. اتساع توسط معادله (۹-۵۰) داده می شود. اگر b مسطح SE باشد ، یا معادل آن (۹-۵۲) اگر نباشد. اتساع ژئودزیک اندازه f نسبت به g به صورت تعریف شده است

$$D_g^{(n)}(f) = D_g^{(1)}(D_g^{(n-1)}(f)) \quad (9-64)$$

$$D_g^{(0)}(f) = f.$$

به طور مشابه ، سایش زمین شناسی اندازه f نسبت به g به عنوان تعریف شده است

$$E_g^{(1)}(f) = (f \ominus b) \vee g \quad (9-65)$$

برای مشاهده لیست روابط دوگانه بین عبارات در این بخش ، به مسئله ۹.۳۳ مراجعه کنید. جایی که نشان دهنده حداکثر عملگر نقطه ای است. سایش زمین شناسی اندازه n به عنوان ... تعریف شده است

$$E_g^{(n)}(f) = E_g^{(1)}(E_g^{(n-1)}(f)) \quad (9-66)$$

$$E_g^{(0)}(f) = f.$$

بازسازی شکل شناسی با اتساع شکل ماسک در مقیاس خاکستری ، g ، با شکل نشانگر مقیاس خاکستری ، f ، که با $R_g^{(D)}(f)$ نشان داده می شود ، به عنوان اتساع ژئودزیک f نسبت به g تعریف شده است ، تا رسیدن به ثبات تکرار می شود. به این معنا که،

$$R_g^D(f) = D_g^{(k)}(f) \quad (9-67)$$

با k به گونه ای که $D_g^{(k)}(f) = D_g^{(k+1)}(f)$. بازسازی شکل شناسی با سایش g با f ، که با $R_g^E(f)$ مشخص می شود ، به صورت مشابه تعریف می شود

$$R_g^E(f) = E_g^{(k)}(f) \quad (9-68)$$

$$E_g^{(k)}(f) = E_g^{(k+1)}(f).$$

مانند مورد دوتایی، باز کردن با بازسازی تصاویر در مقیاس خاکستری، ابتدا شکل ورودی را خراب می کند و از آن به عنوان نشانگر استفاده می کند، و از خود شکل به عنوان ماسک استفاده می کند. باز شدن با بازسازی اندازه n یک شکل f به عنوان بازسازی با اتساع سایش اندازه n f نسبت به f تعریف می شود. به این معنا که،

$$O_R^{(n)}(f) = R_f^D(f \ominus nb) \quad (9-69)$$

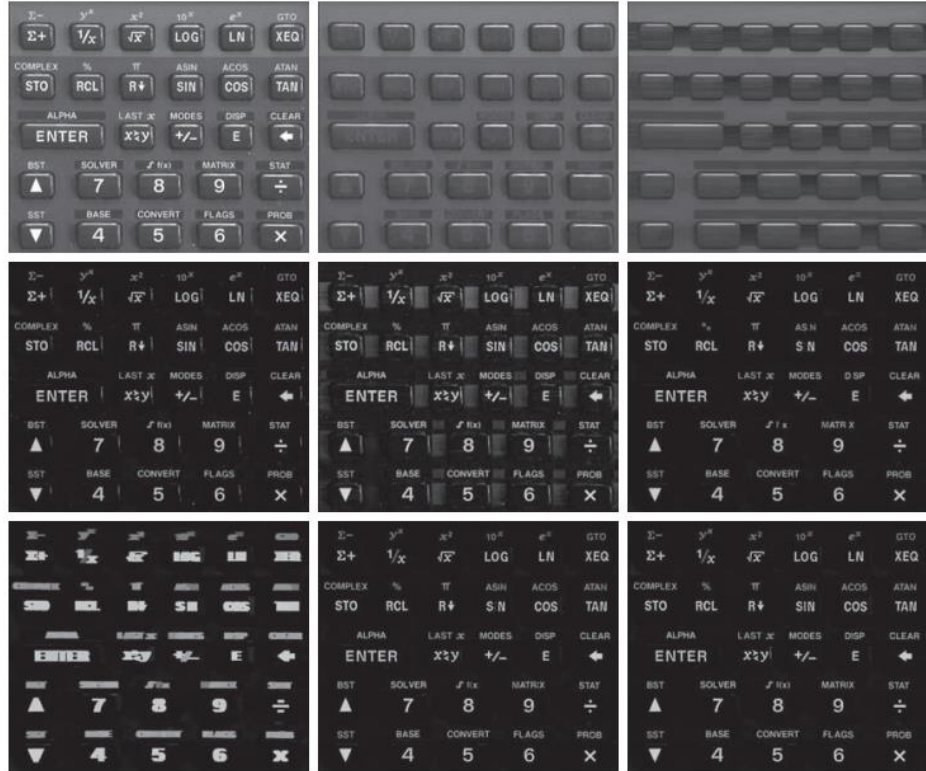
جایی که nb | f سایش های متوالی را با b نشان می دهد، که با f شروع می شود، همانطور که در رابطه با معادله (۹-۳۰) توضیح داده شده است. (توجه داشته باشید که f به عنوان ماسک استفاده می شود). همچنین از بحث معادله (۹-۴۴) یادآوری شود. برای تصاویر دوتایی که هدف باز شدن آنها با بازسازی، حفظ شکل اجزای شکل است که پس از سایش باقی می ماند. به طور مشابه، بسته شدن با بازسازی اندازه n یک شکل f به عنوان بازسازی با سایش اتساع اندازه n f نسبت به f تعریف می شود. به این معنا که،

$$C_R^{(n)}(f) = R_f^E(f \oplus nb) \quad (9-70)$$

جایی که $\{nb\}$ نشان دهنده n اتساع پی در پی با b است که با f شروع می شود. به دلیل دوگانگی، بسته شدن با بازسازی یک شکل را می توان با تکمیل شکل، به دست آوردن دهانه با بازسازی و تکمیل نتیجه بدست آورد. سرانجام، همانطور که مثال زیر نشان می دهد، یک تکنیک مفید به نام کلاه کلاه با بازسازی شامل این است که از یک شکل با بازسازی از شکل کم کنید.

مثال ۹.۱۱: استفاده از بازسازی شکل شناسی در مقیاس خاکستری برای تقویت زمینه مختلط.

در این مثال، ما استفاده از بازسازی مقیاس خاکستری را در چند مرحله نشان می دهیم. هدف عادی سازی پس زمینه نامنظم شکل در شکل ۹.۴۶ (الف) است و تنها متن را در پس زمینه با شدت ثابت باقی می گذارد. راه حل این مشکل، شکل خوبی از قدرت شکل شناسی مقیاس خاکستری است. ما با سرکوب بازتاب افقی در بالای کلیدها شروع می کنیم. بازتاب ها گسترده تر از هر کاراکتر واحد در شکل هستند، بنابراین ما باید بتوانیم آنها را با باز کردن بازسازی با استفاده از خط افقی طولانی در عملیات سایش سرکوب کنیم. این عملیات زمینه را برای کلیدها و بازتاب آنها نمایش می دهد. با حذف این شکل اصلی (به عنوان مثال، انجام Top-Hat با بازسازی)، بازتاب ها و تبدیلات افقی در پس زمینه از شکل اصلی حذف می شود.



a b c
d e f
g h i

شکل ۹.۴۶ (الف) شکل اصلی با اندازه $۱۱۳۴ * ۱۳۶۰$ پیکسل. (ب) با بازسازی (a) باز می شود ، با استفاده از یک عنصر سازه ای متشکل از یک خط افقی به طول ۷۱ پیکسل در فرسایش. (ج) باز کردن (الف) با استفاده از همان SE. (د) Hat با بازسازی. (ه) نتیجه اعمال فقط یک تبدیل Hat بالا. (و) باز شدن با بازسازی (د) ، با استفاده از یک خط افقی به طول ۱۱ پیکسل. (g) اتساع (f) با استفاده از یک خط افقی به طول ۲۱ پیکسل. (ح) حداقل (د) و (Hat بالا). (i) نتیجه بازسازی نهایی. (تصاویر از دکتر استیو ادینز ، MathWorks، Inc.)

شکل ۹.۴۶ (ب) نتیجه باز شدن با بازسازی شکل اصلی را با استفاده از یک خط افقی با اندازه $۱ * ۷۱$ پیکسل برای SE در عملیات سایش نشان می دهد. ما می توانیم از یک حفره برای حذف کاراکترها استفاده کنیم ، اما پس زمینه به دست آمده به همان اندازه یکنواخت نخواهد بود ، مانند شکل ۹.۴۶ (c) نشان می دهد (مناطق بین کلیدها در دو شکل را مقایسه کنید). شکل ۹.۴۶ (د) نتیجه تفریق شکل ۹.۴۶ (ب) از شکل ۹.۴۶ (الف) را نشان می دهد. همانطور که انتظار می رفت ، بازتاب های افقی و تبدیلات پس زمینه سرکوب شد.

برای مقایسه ، شکل ۹.۴۶ (e) نتیجه انجام فقط یک تبدیل Top-Hat را نشان می دهد (به عنوان مثال ، تفریق "استاندارد" از شکل). همانطور که از ویژگی های پس زمینه در شکل ۹.۴۶ (ج) انتظار می رود ، پس زمینه در شکل ۹.۴۶ (ه) تقریباً مانند شکل ۹.۴۶ (د) یکنواخت نیست. گام بعدی حذف عکس العمل های عمودی از لبه کلیدها است که در شکل ۹.۴۶ (d) قابل مشاهده است. ما می توانیم این کار را با بازکردن بازسازی با خط SE

انجام دهیم که عرض آن تقریباً برابر با بازتاب ها (در این مورد حدود ۱۱ پیکسل) است. شکل ۹.۴۶ (f) نتیجه انجام این عملیات را در شکل ۹.۴۶ (d) نشان می دهد. بازتاب عمودی سرکوب شد ، اما سگته مغزی نازک و عمودی که کاراکترهای معتبر هستند (به عنوان مثال ، ا در SIN) سرکوب شد ، بنابراین ما باید راهی برای بازگرداندن دومی پیدا کنیم.

شخصیت های سرکوب شده بسیار نزدیک به دیگر شخصیت ها هستند ، بنابراین اگر ما شخصیت های باقی مانده را به صورت افقی گشاد کنیم ، شخصیت های متسع با ناحیه ای که قبلاً توسط شخصیت های سرکوب شده اشغال شده بود همپوشانی خواهند داشت. شکل ۹.۴۶ (g) ، که از طریق گشاد شدن شکل ۹.۴۶ (f) با یک خط SE به اندازه ۱ ۱ ۲۱ عنصر بدست آمده است ، نشان می دهد که واقعاً چنین است.

تنها چیزی که در این مرحله باقی می ماند بازیابی شخصیت های سرکوب شده است. شکل را در نظر بگیرید که به عنوان حداقل نقطه بین شکل گشاد شده در شکل ۹.۴۶ (g) و Top-Hat با بازسازی در شکل ۹.۴۶ (d) تشکیل شده است. شکل ۹.۴۶ (h) حداقل شکل را نشان می دهد (اگرچه به نظر می رسد این نتیجه نزدیک به هدف ما باشد ، توجه داشته باشید که من در SIN هنوز وجود ندارد). با استفاده از این شکل به عنوان نشانگر و شکل گشاد شده به عنوان ماسک در بازسازی مقیاس خاکستری [معادله (۹-۶۷)] ، ما نتیجه نهایی را در شکل ۹.۴۶ (i) بدست آوردیم. این شکل نشان می دهد که همه نویسه ها به درستی از پس زمینه اصلی و نامنظم ، از جمله پس زمینه کلیدها استخراج شده اند. پس زمینه در شکل ۹.۴۶ (i) در سراسر یکنواخت است.

خلاصه ، منابع ، و خواندن بیشتر

مفاهیم و تکنیک های شکل شناسی معرفی شده در این فصل مجموعه ای قدرتمند از ابزارها را برای استخراج ویژگی های مورد علاقه در یک شکل تشکیل می دهد. یکی از جذاب ترین جنبه های پردازش شکل شناسی ، پایه نظری مجموعه گسترده ای است که تکنیک های شکل شناسی از آن تکامل یافته است. یک مزیت مهم از نظر اجرا این است که اتساع و سایش عملیات اولیه هستند ، که اساس طبقه وسیعی از الگوریتم های شکل شناسی هستند. همانطور که در فصل زیر نشان داده می شود ، شکل شناسی می تواند به عنوان پایه ای برای توسعه روش های تقسیم بندی شکل با کاربردهای متعدد مورد استفاده قرار گیرد. همانطور که در فصل ۱۱ بحث خواهیم کرد ، تکنیک های شکل شناسی نیز نقش مهمی در روشهای استخراج ویژگی شکل ایفا می کنند.

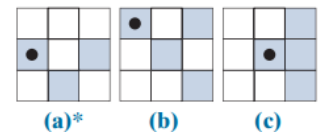
کتاب سرا [۱۹۸۲] یک مرجع اساسی در پردازش تصویر شکل شناسی است. همچنین به [Serra ۱۹۸۸]، Giardina and Dougherty [۱۹۸۸] و Haralick and Shapiro [۱۹۹۲] مراجعه کنید. برای مروری بر شکل شناسی مقیاس دوتایی و خاکستری ، Basart and Gonzalez [۱۹۹۲] و Basart et al [۱۹۹۲] این مجموعه منابع ، مقدمات اولیه کافی برای مطالبی را که در بخشهای ۹.۱ تا ۹.۴ ارائه شده است ، فراهم می کند. برای مرور کلی مطالب در بخشهای ۹.۵ و ۹.۶ ، کتاب Soille [۲۰۰۳] را ببینید.

مسائل مهم پیاده سازی الگوریتم های شکل شناسی مانند الگوریتم های ارائه شده در بخش ۹.۵ و ۹.۶ در مقالات [۱۹۹۴] Sussner, Jones and Svalbe و Ritter [۱۹۹۷] ، و Shaked و بروکشتاین [۱۹۹۸] مثال زده شده است. مقاله ای از وینسنت [۱۹۹۳] از نظر جزئیات عملی برای اجرای الگوریتم های شکل شناسی مقیاس خاکستری از اهمیت ویژه ای برخوردار است. برای مطالعه بیشتر در مورد تئوری و کاربردهای پردازش تصویر شکل شناسی ، کتابهای Goutsias و Bloomberg [۲۰۰۰] و Beyerer et al. [۲۰۱۶]. برای به دست آوردن ایده ای از هنر در پیاده سازی سریع کامپیوتر از الگوریتم های شکل شناسی ، تورلی و دانل [۲۰۱۲] را ببینید. برای جزئیات بیشتر در مورد جنبه های نرم افزاری بسیاری از مثال های این فصل ، به Woods, Gonzalez, Eddins and [۲۰۰۹] مراجعه کنید.

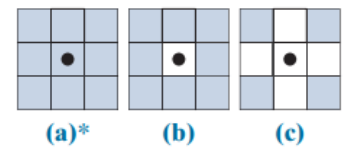
چالش ها و مسائل

راه حل مشکلاتی که با علامت (*) مشخص شده اند در بسته پشتیبانی دانشجویی DIP ξ E وجود دارد (به وب سایت کتاب مراجعه کنید: www.ImageProcessingPlace.com).

۹.۱ بازتاب ، \hat{B} ، هر یک از عناصر ساختار بندی زیر را بیابید. نقطه منشا SE را نشان می دهد



۹.۲ نتیجه سایش شکل ۹.۳ (الف) را با هر یک از عناصر ساختار بندی زیر ترسیم کنید



سایش مجموعه A با ساختار عنصر B زیرمجموعه ای از A است ، مشروط بر اینکه منشاء B در B قرار داشته باشد. مثال بزیند که در آن سایش $A | B$ در خارج ، یا تا حدی در خارج ، A قرار دارد.

۹.۴ اجازه دهید B یک عنصر ساختاری باشد که شامل یک نقطه واحد است و مقدار آن ۱ است ، و اجازه دهید A مجموعه ای از پیکسل های پیش زمینه باشد.

(الف) * فکر می کنید در صورت سایش چه اتفاقی می افتد A توسط B؟

(ب) فکر می کنید اگر افزایش داده شود چه اتفاقی می افتد A توسط B؟

۹.۵ به شما یک تابع "جعبه سیاه" داده می شود که سایش را محاسبه می کند. به شما گفته می شود که این تابع به طور خودکار شکل ورودی را با حاشیه ای که عرض آن نازک ترین حاشیه ممکن است قرار می دهد ، همانطور که توسط ابعاد عنصر ساختار تعیین می شود (به عنوان مثال ، برای یک عنصر ساختار 3×3 ، مرز یک

پیکسل خواهد بود). با این حال ، به شما نمی گویند که پد از مقادیر پس زمینه (۰) یا پیش زمینه (۱) تشکیل شده است. برای پاسخ به این سوال آزمایشی را پیشنهاد دهید.

۹.۶ موارد زیر را انجام دهید:

(الف) * شکل ۹.۳ (الف) را با استفاده از عنصر ساختار در شکل (الف) مسئله ۹.۲ گسترش دهید.

(a) را با استفاده از عنصر ساختاربخش در شکل (b) تکرار کنید.

(ج) با استفاده از عنصر ساختاربخش در شکل (a) (c) را تکرار کنید.

۹.۷ اتساع مجموعه A با ساختار عنصر B مجموعه ای از مکانهای منشاء B است به طوری که A شامل حداقل یک عنصر (پیش زمینه) B. می باشد مثالی ارائه دهید که در آن اتساع A توسط B کاملاً خارج از A قرار دارد . (نکته: بگذارید A و B دیسک هایی با شعاع های مختلف باشند).

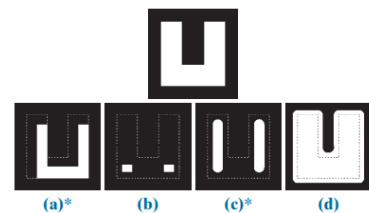
۹.۸ با اشاره به شکل بالای گلدان زیر نشان داده شده است ، به موارد زیر پاسخ دهید:

(الف) * عنصر ساختاردهی و عملیات (های) شکل شناسی (که) شکل (الف) را ایجاد کرده است را بیان کنید. منشاء عنصر ساختار را نشان دهید. خطوط تیره مرز شیء اصلی را نشان می دهد و برای مرجع نشان داده می شود. آنها بخشی از نتیجه نیستند (عناصر سفید پیکسل های پیش زمینه هستند).

(ب) قسمت (الف) را برای خروجی نشان داده شده در شکل (ب) تکرار کنید.

(ج) * قسمت (الف) را برای خروجی نشان داده شده در شکل (ج) تکرار کنید.

(د) قسمت (الف) را برای محلول نشان داده شده در (d) fi g تکرار کنید. توجه داشته باشید که در شکل (د) همه گوشه ها گرد هستند.

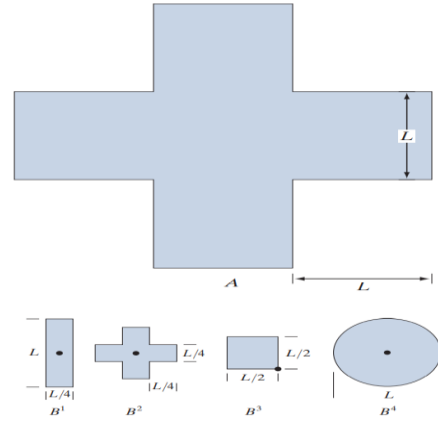


۹.۹ اجازه دهید A مجموعه ای را نشان دهد که در شکل زیر سایه گرفته شده است و به عناصر ساختاردهی شده نشان داده شود (نقاط سیاه نشان دهنده مبدا هستند). نتیجه عملیات زیر را ترسیم کنید:

$$(a) * (A \ominus B^4) \oplus B^2$$

$$(b) (A \ominus B^1) \oplus B^3$$

$$(c) (A \oplus B^1) \oplus B^3$$



۹.۱۰ در پاسخ به موارد زیر به طور خاص عمل کنید:

(الف) * اتساع مکرر مجموعه ای از پیکسل های پیش زمینه در یک شکل چیست؟ فرض کنید که یک عنصر ساختار بندی بی اهمیت (یک نقطه) استفاده نمی شود.

(ب) کوچکترین مجموعه ای که می توانید از آن شروع کنید تا پاسخ شما در (الف) حفظ شود، چیست؟

۹.۱۱ در پاسخ به موارد زیر به طور خاص عمل کنید:

(الف) سایش مکرر مجموعه ای از پیکسل های پیش زمینه در یک شکل چیست؟ فرض کنید که یک عنصر ساختار بندی بی اهمیت (یک نقطه) استفاده نمی شود.

(ب) کوچکترین مجموعه پیکسل های پیش زمینه که می توانید از آنها شروع کنید تا پاسخ شما در (الف) حفظ شود، چیست؟

۹.۱۲ * تعریف جایگزین سایش است

نشان دهید که این تعریف معادل تعریف در معادله (۳-۹) است.

۹.۱۳ موارد زیر را انجام دهید:

(الف) نشان دهید که تعریف سایش در مسئله ۹.۱۲ معادل یک تعریف دیگر از سایش است:

$$A \ominus B = \bigcap_{b \in B} (A)_{-b}$$

(اگر $\square b$ با b جایگزین شود، این عبارت تفریق مینکوفسکی دو مجموعه نامیده می شود.)

(ب) * نشان دهید که عبارت (a) معادل تعریف در معادله (۳-۹) است.

۹.۱۴ * تعریف جایگزین اتساع است

$$A \oplus B = \{w \in Z^2 \mid w = a + b, \text{ for some } a \in A \text{ and } b \in B\}$$

نشان دهید که این تعریف و تعریف در معادله (۶-۹) معادل هستند.

۹.۱۵ موارد زیر را انجام دهید:

(الف) نشان دهید که تعریف اتساع در مسئله ۹.۱۴ معادل یک تعریف دیگر از اتساع است:

$$A \oplus B = \bigcup_{b \in B} (A)_b$$

(این عبارت اضافه مینکوفسکی دو مجموعه نامیده می شود.)

(b) * نشان دهید که عبارت (a) نیز معادل تعریف در معادله (۹-۶) است.

۹.۱۶ اعتبار عبارت دوگانگی ارائه شده در معادله (۹-۹) را اثبات کنید.

۹.۱۷ به موارد زیر پاسخ دهید:

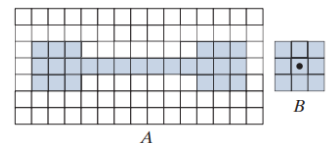
(الف) * قسمت های خمیده حاشیه سیاه شکل ۹.۸ (د) باز شدن مجموعه A را در شکل ۹.۸ (الف) ترسیم می کند ، اما آن بخشهای منحنی بخشی از مرز A نیستند. آیا سیاه خط مستقیم هستند بخشهایی در (د) قسمتی از مرز A؟ توضیح.

(ب) قسمتهای خمیده حاشیه سیاه شکل ۹.۹ (د) بسته شدن مجموعه A را در شکل ۹.۹ (الف) مشخص می کند ، اما آن بخشهای خمیده بخشی از مرز A نیستند. آیا قسمتهای خط مستقیم سیاه از مرز در (د) بخشی از مرز A؟ توضیح.

۹.۱۸ تمام مراحل میانی محاسبات خود را برای موارد زیر نشان دهید:

(a) * با استفاده از $SE^3 * 3$ از ۱ ، شکل زیر را بدست آورید. تمام عملیات را به صورت دستی انجام دهید.

(ب) برای عملیات بستن (الف) را تکرار کنید.



۹.۱۹ A یک مستطیل جامد به اندازه $M \times N$ با مرز ۱ پیکسل ۰ است و m و n زیر آن اعداد صحیح فرد هستند. بحث کنید که در هر مورد چه نتیجه ای خواهد داشت.

(a) * A با یک عنصر ساختاردهی ۱ به اندازه $m * n$ باز می شود.

(ب) A با یک عنصر ساختاردهی ۱ به اندازه $m * n$ بسته می شود.

۹.۲۰ اعتبار عبارات دوگانگی زیر را نشان دهید [آینها معادلات هستند. (۹-۱۴) و (۹-۱۵)]:

$$(a) * (A \circ B)^c = A^c \circ \hat{B}.$$

$$(b) (A \circ B)^c = A^c \circ \hat{B}.$$

۹.۲۱ اعتبار عبارات زیر را نشان دهید:

$A \circ B * (a)$ زیرمجموعه A است. ممکن است فرض کنید که معادله (۹-۱۲) معتبر است. (نکته: با این معادله و

شکل ۹.۸ شروع کنید.)

(ب) * اگر C زیرمجموعه D باشد ، $C \circ B$ زیرمجموعه ای از است

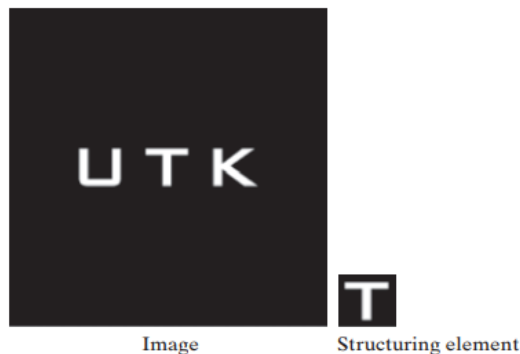
$D \circ B$ [نکته: با معادله (۹-۱۲) شروع کنید.]

(ج) $(A \circ B) \circ B = A \circ B$ [نکته: با تعریف باز کردن شروع کنید.]

۹.۲۳ به شکل و عنصر ساختار دیسک نشان داده شده در پایین سمت راست شکل مراجعه کنید. برای انجام عملیات زیر مجموعه C، D، E و F را ترسیم کنید: $C \supseteq A$ ؛ $D = C \oplus B$ ؛ $E = D \oplus B$ ؛ and $F = E \ominus B$. مجموعه A شامل همه پیکسل های پیش زمینه (سفید) است ، به جز عنصر ساختاردهی ، B ، که ممکن است فرض کنید آنقدر بزرگ است که هر یک از عناصر تصادفی در شکل را در بر می گیرد. توجه داشته باشید که دنباله عملیات بالا به سادگی باز شدن A توسط B و به دنبال آن بسته شدن نتیجه توسط B است.



۹.۲۴ * فرض کنید $B \circledast SE$ در شکل ۹.۱۲ دارای حاشیه ای از پیکسل های پیش زمینه است که بیش از یک پیکسل عرض دارد. با فرض اینکه هر چهار طرف مرز یکسان باشند ، حداکثر عرض حاشیه ای که می توانیم در اطراف $B \circledast$ استفاده کنیم چند است قبل از این که محلول نشان داده شده در شکل ۹.۱۲ (f) شکست بخورد؟
 ۹.۲۵ هنگام بحث در مورد شکل ۹.۱۲ (ه) اشاره کردیم که شکل برای قوام بریده شده است. فرض کنید که شکل ۹.۱۲ (ب) با حداقل حاشیه مورد نیاز برای پوشش حداکثر گردشهای $B \circledast$ ، پس از آن هیچ تغییر دیگری در سایش ایجاد نمی شود. شکل ۹.۱۲ (ه) قبل از بریده شدن چگونه بود؟
 ۹.۲۶ با استفاده از SE نشان داده شده ، نتیجه اعمال ضربه یا خطا را به شکل زیر ترسیم کنید. مبدا و مرز انتخابی خود را به وضوح مشخص کنید-برای عنصر ساختار بندی

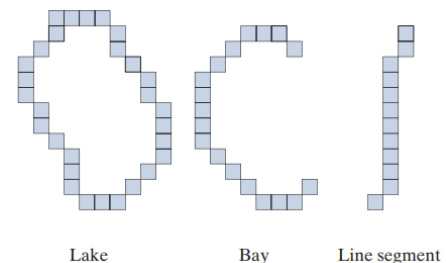


۹.۲۷ * پایه یک الگوریتم برای تبدیل منحنی ۸ متصل ، بسته به منحنی ۴ متصل (بخش ۲.۵ در مورد اتصال را ببینید). ورودی یک شکل باینری است ، ۱ ، که در آن منحنی شامل پیکسل های ۱ ارزش تعبیه شده در پشت زمینه ۰ است. خروجی باید یک شکل باینری نیز باشد که دارای منحنی جدید باشد. ممکن است فرض کنید که منحنی کاملاً متصل است ، ضخامت آن یک پیکسل است و هیچ شاخه ای ندارد. لازم نیست الگوریتم را به صورت گام به گام بیان کنید (اما ممکن است). یک طرح کلی که شامل تمام اطلاعات مورد نیاز برای پیاده سازی یک الگوریتم کار باشد ، کافی است.

۹.۲۸ الگوریتمی را برای تبدیل منحنی بسته متصل به ۴ به منحنی حاوی تنها ۸ پیکسل متصل ارائه دهید (بخش ۲.۵ در مورد اتصال را ببینید). ورودی یک شکل باینری است ، ۱ ، که در آن منحنی شامل پیکسل های ۱ ارزش تعبیه شده در پس زمینه ۰ می باشد. خروجی باید یک شکل باینری نیز باشد که دارای منحنی جدید باشد. ممکن است فرض کنید که منحنی کاملاً متصل است ، عرض آن یک پیکسل است و هیچ شاخه ای ندارد. لازم نیست الگوریتم را به صورت گام به گام (اما ممکن است) بیان کنید. یک برنامه کلی که شامل تمام اطلاعات مورد نیاز برای پیاده سازی یک الگوریتم کار باشد ، کافی است.

۹.۲۹ پایه یک الگوریتم برای تبدیل منحنی بسته ۸ متصل به منحنی متصل به m (به بخش ۲.۵ در مورد اتصال مراجعه کنید). ورودی یک شکل باینری است ، ۱ ، که در آن منحنی شامل پیکسل های ۱ ارزش تعبیه شده در پس زمینه ۰ می باشد. خروجی باید یک شکل باینری نیز باشد که دارای منحنی جدید باشد. ممکن است فرض کنید که منحنی کاملاً متصل است ، عرض آن یک پیکسل است و هیچ شاخه ای ندارد. لازم نیست الگوریتم را به صورت گام به گام (اما ممکن است) بیان کنید. یک طرح کلی که شامل تمام اطلاعات مورد نیاز برای پیاده سازی یک الگوریتم کاری باشد ، کافی است.

۹.۳۰ * سه نوع منحنی (دریاچه ، خلیج و قسمت خطی) که برای تمایز اجسام نازک در شکل مفید هستند در شکل زیر نشان داده شده است. یک الگوریتم شکل شناسی / منطقی برای تمایز بین این اشکال ایجاد کنید. ورودی الگوریتم شما یکی از این سه منحنی خواهد بود. خروجی باید نوع ورودی باشد. ممکن است فرض کنید که منحنی ها ۱ پیکسل ضخامت دارند و کاملاً به هم متصل شده اند. آنها می توانند در هر جهت ظاهر شوند.



۹.۳۱ معادله (۹-۱۸) را بنویسید از نظر اتساع ، به جای سایش ، A . (نکته: نگاهی به تعریف تفاوت مجموعه در معادله (۲-۴۰) بیندازید و سپس رابطه دوگانگی بین سایش و اتساع).

۹.۳۲ به موارد زیر پاسخ دهید:

(الف) * در مورد تأثیر استفاده از عنصر ساختاردهی در شکل ۹.۱۷ (ج) برای استخراج مرز ، به جای عنصر در شکل ۹.۱۵ (ب) بحث کنید.

(ب) استفاده از عنصر ساختار $3 * 3$ متشکل از همه ۱ در الگوریتم پرکننده معادله چه تأثیری خواهد داشت. (۹-۱۹) ، به جای عنصر ساختاردهی در شکل ۹.۱۷ (ج)؟

۹.۳۳ در مورد نتیجه ای که در هر یک از موارد زیر انتظار دارید نتیجه گیری کنید:

(الف) * نقطه شروع الگوریتم حفره ای معادله (۹-۱۹) نقطه ای در مرز خارجی جسم حاوی حفره است.

(ب) نقطه شروع در الگوریتم حفره دار خارج از مرز است (یعنی نقطه شروع پیکسل پس زمینه است).

۹.۳۴ بدنه محدب شکل بزرگ را در مسئله ۹.۹ ترسیم کنید. فرض کنید که $L = 3$ پیکسل است.

۹.۳۵ کمبود محدب مجموعه A را که در شکل ۹.۲۱ (ب) نشان داده شده است بدست آورید. از بدنه محدب در شکل ۹.۲۲ (a) استفاده کنید.

۹.۳۶ موارد زیر را انجام دهید:

(الف) * روشی را با استفاده از هر یک از روشهای ارائه شده در این فصل برای خودکارسازی مثال در شکل ۹.۱۸ پیشنهاد کنید. ممکن است فرض کنید که گوی ها یکدیگر را لمس نمی کنند و هیچ کدام مرز شکل را لمس نمی کنند.

(ب) (الف) را تکرار کنید ، اما به گوی ها اجازه دهید به شیوه های دلخواه ، از جمله مرز لمس کنند.

۹.۳۷ * الگوریتم استخراج اجزای متصل شده که در بخش ۹.۵ مورد بحث قرار گرفته است ، مستلزم این است که در هر جزء متصل یک نقطه مشخص شود تا همه آنها استخراج شود. فرض کنید شکل باینری به شما داده می شود که حاوی یک شکل دلخواه (ناشناخته) است. تعداد اجزای متصل شده یک روش کاملاً خودکار برای استخراج تمام اجزای متصل پیشنهاد دهید. فرض کنید نقاط متعلق به اجزای متصل شده دارای برچسب ۱ و نقاط پس زمینه برچسب ۰ هستند.

۹.۳۸ یک عبارت مبتنی بر بازسازی با اتساع قادر به استخراج تمام حفره های یک شکل باینری ارائه دهید

۹.۳۹ با اشاره به الگوریتم پر کردن حفره در معادلات (۹-۴۵) و (۹-۴۶):

(الف) * توضیح دهید اگر همه نقاط مرزی ۱ باشند (پیش زمینه) چه اتفاقی می افتد.

(ب) اگر نتیجه در (الف) نتیجه ای را که انتظارش را دارید داد ، دلیل آن را توضیح دهید. اگر اینطور نیست ، نحوه اصلاح الگوریتم را توضیح دهید تا مطابق انتظار کار کند.

۹.۴۰ * همانطور که در معادله (۹-۴۴) و (۹-۶۹) ، توضیح داده شده است. باز شدن با بازسازی ، شکل اجزای

شکل را که پس از سایش باقی می ماند ، حفظ می کند. بستن با بازسازی چه می کند؟

۹.۴۱ نشان دهید که سایش و اتساع زمین شناسی (بخش ۹.۶) نسبت به تکمیل مجموعه دوگانه هستند. بدین معنا که با فرض متقارن بودن عنصر ساختار در ریشه آن، نشان دهید که:

$$(a)^* E_G^{(n)}(F) = \left[D_{G^c}^{(1)} \left[D_{G^c}^{(n-1)}(F^c) \right] \right]^c$$

$$(b) D_G^{(n)}(F) = \left[E_{G^c}^{(1)} \left[E_{G^c}^{(n-1)}(F^c) \right] \right]^c.$$

۹.۴۲ نشان دهید که بازسازی با اتساع و بازسازی با سایش (بخش ۹.۶) از نظر تکمیل مجموعه دوگانه هستند. یعنی با فرض اینکه عنصر ساختار متقارن باشد. در مورد منشاء آن نشان دهید که $R_G^D(F) = \left[R_{G^c}^E(F^c) \right]^c$ و

$$R_G^E(F) = \left[R_{G^c}^D(F^c) \right]^c$$

۹.۴۳ نشان دهید که:

(a)* $(F \ominus nB)^c = F^c \oplus n\hat{B}$, where $F \ominus nB$ indicates n successive erosions, starting with B ; and similarly, that

$$(b) (F \oplus nB)^c = F^c \ominus n\hat{B}.$$

۹.۴۴ اعتبار عبارات منطقی شکل شناسی زیر را نشان دهید. ممکن است فرض کنید که عنصر ساختار از نظر منشأ متقارن است.

$$(a)^* O_R^{(n)}(F) = \left[C_R^{(n)}(F^c) \right]^c.$$

$$(b) C_R^{(n)}(F) = \left[O_R^{(n)}(F^c) \right]^c.$$

۹.۴۵ اعتبار عبارات شکل شناسی زیر مقیاس خاکستری را اثبات کنید. از بحث در بخش ۹.۸ به یاد بیاورید که $\hat{b}(x, y) = b(-x, -y)$ و $f^c(x, y) = -f(x, y)$

$$(a)^* (f \ominus b) = f^c \oplus b.$$

$$(b) (f \oplus b)^c = f^c \ominus \hat{b}$$

$$(c) (f \cdot b)^c = f^c \circ \hat{b}.$$

$$(d)^* (f \circ b)^c = f^c \cdot \hat{b}.$$

۹.۴۶ اعتبار عبارات شکل شناسی زیر در مقیاس خاکستری را اثبات کنید. به یاد بیاورید که $D_g^{(n)}(f) = \left[E_{g^c}^{(1)} \left[E_{g^c}^{(n-1)}(f^c) \right] \right]^c$ و $E_g^{(n)}(f) = \left[D_{g^c}^{(1)} \left[D_{g^c}^{(n-1)}(f^c) \right] \right]^c$ (نکته: از اثبات به روش استقرا استفاده کنید).

$$(a)^* D_g^{(n)}(f) = \left[E_{g^c}^{(1)} \left[E_{g^c}^{(n-1)}(f^c) \right] \right]^c.$$

$$(b) E_g^{(n)}(f) = \left[D_{g^c}^{(1)} \left[D_{g^c}^{(n-1)}(f^c) \right] \right]^c.$$

۹.۴۷ اعتبار عبارات شکل شناسی زیر مقیاس خاکستری را اثبات کنید.

$$(a)^* R_g^D(f) = \left[R_{g^c}^E(f^c) \right]^c.$$

$$(b) R_g^E(f) = \left[R_{g^c}^D(f^c) \right]^c.$$

۹.۴۸ اعتبار عبارات شکل شناسی زیر مقیاس خاکستری را اثبات کنید.

$$(a) * (f \ominus nb)^c = (f^c \oplus nb), \text{ where } (f \ominus nb)^c$$

$$(b) (f \oplus nb)^c = (f^c \ominus nb).$$

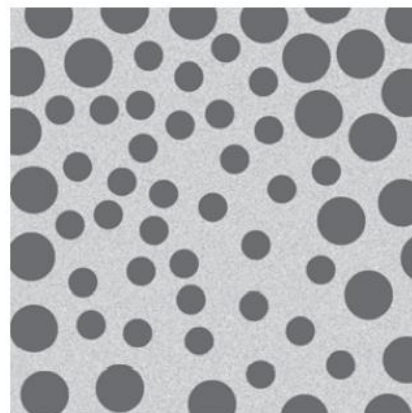
۹.۴۹ اعتبار عبارات شکل شناسی زیر در مقیاس خاکستری را اثبات کنید. به یاد بیاورید که $f^c(x, y) = -f(x, y)$ و $b(x, y) = b(-x, -y)$ یک عنصر ساختار متقارن را فرض کنید.

$$(a) * O_R^{(n)}(f) = [C_R^{(n)}(f^c)]^c.$$

$$(b) C_R^{(n)}(f) = [O_R^{(n)}(f^c)]^c.$$

۹.۵۰ شکل زیر را در نظر بگیرید ، که ناحیه ای از دایره های کوچک را نشان می دهد که توسط ناحیه ای از دایره های بزرگتر محصور شده است.

(الف) آیا انتظار دارید روشی که برای ایجاد شکل ۹.۴۵ (د) استفاده می شود با این شکل نیز کار کند؟ استدلال خود را توضیح دهید ، از جمله هرگونه فرضیه ای که برای کارآیی روش باید انجام دهید.
(ب) * اگر پاسخ شما به (الف) مثبت است ، ترسیم کنید که مرز چگونه خواهد بود.



۹.۵۱ یک مرحله پیش پردازش در کاربرد میکروسکوپ مربوط به مسئله جداسازی ذرات گرد جداگانه از ذرات مشابه است که در گروه های دو یا چند ذره روی هم قرار گرفته اند (شکل زیر را ببینید). با فرض اینکه همه ذرات یک اندازه هستند ، یک الگوریتم شکل شناسی ارائه دهید که به ترتیب سه شکل شامل موارد زیر را تولید می کند:

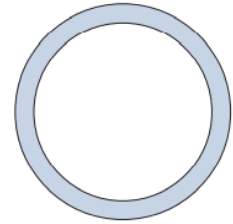
(الف) * فقط ذراتی که با مرز شکل ادغام شده اند.

(ب) فقط ذرات همپوشانی دارند.

(ج) فقط ذرات غیر همپوشانی.

۹.۵۲ یک کارخانه تولیدی با تکنولوژی بالا یک قرارداد دولتی برای تولید واشرهای با دقت بالا به شکل نشان داده شده است. شرایط قرارداد مستلزم این است که شکل همه ماشین های شستشو توسط یک سیستم شکل برداری بررسی شود. در این زمینه ، بازرسی شکل به انحراف از گرد در لبه های داخلی و خارجی لباسشویی ها اشاره دارد.

ممکن است موارد زیر را فرض کنید: (۱) یک شکل "طلایی" (مناسب با مشکل) از یک واشر قابل قبول موجود است. و (۲) قطعات شکل برداری و موقعیت یابی که در نهایت در سیستم استفاده می شوند دارای دقت کافی خواهند بود تا به شما این امکان را بدهد که خطاهای ناشی از دیجیتالی شدن و موقعیت یابی را نادیده بگیرید. شما به عنوان مشاور برای تعیین قسمت بازرسی بصری سیستم استخدام شده اید. راه حلی را بر اساس عملیات شکل شناسی / منطقی پیشنهاد دهید.



فصل دهم : قطعه بندی تصویر

کل برابر است با مجموعه اجزای آن (کل).

اقلیدس

کل از مجموع اجزای آن بزرگتر است.

ماکس ورتهایمر

پیش نمایش

موارد موجود در فصل قبل از روشهای پردازش تصویر که ورودی و خروجی آنها تصویر است ، به روشهایی که در آنها ورودیها تصویر هستند ، شروع به تغییر کرد ، اما خروجیها ویژگیهایی هستند که از آن تصاویر استخراج شده است. بیشتر الگوریتم های قطعه بندی در این فصل بر اساس یکی از دو ویژگی اصلی مقادیر شدت تصویر است: ناپیوستگی و شباهت. در دسته اول ، رویکرد این است که یک تصویر را بر اساس تغییرات شدید ناگهانی مانند لبه ها به مناطق تقسیم کنید. رویکردهای دسته دوم بر اساس تقسیم یک تصویر به مناطقی است که بر اساس مجموعه ای از معیارهای از پیش تعیین شده مشابه هستند. آستانه گذاری ، رشد منطقه و تقسیم و ادغام منطقه نمونه هایی از روش های این دسته هستند. ما نشان می دهیم که با ترکیب روش هایی از دسته های مجزا ، مانند تکنیک هایی که در آنها آشکارسازی لبه با آستانه ترکیب می شود ، می توان به بهبود عملکرد قطعه بندی دست یافت. ما همچنین قطعه بندی تصویر را با استفاده از خوشه بندی و ابر پیکسل مورد

بحث قرار می دهیم و مقدمه ای بر برش نمودارها ارائه می دهیم ، رویکردی که برای استخراج مناطق اصلی تصویر مناسب است. در ادامه بحث قطعه بندی تصویر بر اساس ریخت شناسی مطرح می شود ، رویکردی که چندین ویژگی قطعه بندی را بر اساس تکنیک های ارائه شده در قسمت اول فصل ترکیب می کند. ما فصل را با بحث کوتاهی در مورد استفاده از نشانه های حرکت برای قطعه بندی به پایان می بریم.

پس از اتمام این فصل ، خوانندگان باید:

ویژگیهای انواع مختلف لبه های موجود در عمل را درک کنید.
نحوه استفاده از فیلتر فضایی برای آشکارسازی لبه را بشناسید.
با انواع دیگر روش های آشکارسازی لبه که فراتر از فیلترینگ فضایی هستند آشنا شوید.
آستانه تصویر را با استفاده از چندین روش مختلف درک کنید.
نحوه ترکیب آستانه و فیلترینگ فضایی را برای بهبود قطعه بندی بدانید.
با قطعه بندی مبتنی بر منطقه ، از جمله خوشه بندی و سوپر پیکسل ، آشنا باشید.
درک کنید که چگونه از برش های نمودار و حوضه های ریخت شناسی برای قطعه بندی استفاده می شود.
با تکنیک های اساسی برای استفاده از حرکت در قطعه بندی تصاویر آشنا باشید.

۱۰.۱ مبانی

اجازه دهید R کل منطقه فضایی اشغال شده توسط یک تصویر را نشان دهد. ما ممکن است قطعه بندی تصویر را به عنوان فرایندی که R را به n زیر ناحیه ، R_1, R_2, \dots, R_n تقسیم می کند ، مشاهده کنیم.

- (a) $\bigcup_{i=1}^n R_i = R.$
- (b) R_i is a connected set, for $i = 0, 1, 2, \dots, n.$
- (c) $R_i \cap R_j = \emptyset$ for all i and $j, i \neq j.$
- (d) $Q(R_i) = \text{TRUE}$ for $i = 0, 1, 2, \dots, n.$
- (e) $Q(R_i \cup R_j) = \text{FALSE}$ for any adjacent regions R_i and $R_j.$

جایی که $Q(R_k)$ یک محمول منطقی است که بر روی نقاط مجموعه \emptyset تعریف شده است ، و مجموعه صفر است. نمادهای U و \cap به ترتیب نشان دهنده اتحاد و تقاطع مجموعه هستند ، همانطور که در بخش ۲.۶ تعریف شده است. گفته می شود که دو منطقه R_i و R_j مجاور هستند اگر اتحاد آنها مجموعه ای متصل باشد ، همانطور که در بخش ۲.۵ تعریف شده است. اگر مجموعه ای از اتحاد دو گانه تشکیل شود. مناطق به هم متصل نیستند ، گفته می شود که مناطق از هم جدا شده اند.

شرط (a) نشان می دهد که قطعه بندی باید کامل باشد ، به این معنا که هر پیکسل باید در یک منطقه باشد. شرط (ب) ایجاب می کند که نقاط یک منطقه به معنای از پیش تعیین شده به هم متصل شوند (به عنوان مثال ، نقاط باید ۸ متصل باشند). وضعیت (ج) می گوید که مناطق باید از هم جدا باشند. شرط (d) با ویژگی هایی که باید توسط پیکسل ها در یک ناحیه قطعه بندی شده ارضا شود - برای مثال ، $Q(R_i) = \text{TRUE}$ اگر همه پیکسل های R_i دارای شدت یکسانی باشند. در نهایت ، شرط (e) نشان می دهد که دو ناحیه مجاور R_i و R_j باید به معنای محمول $Q^{۴۵}$ متفاوت باشند.

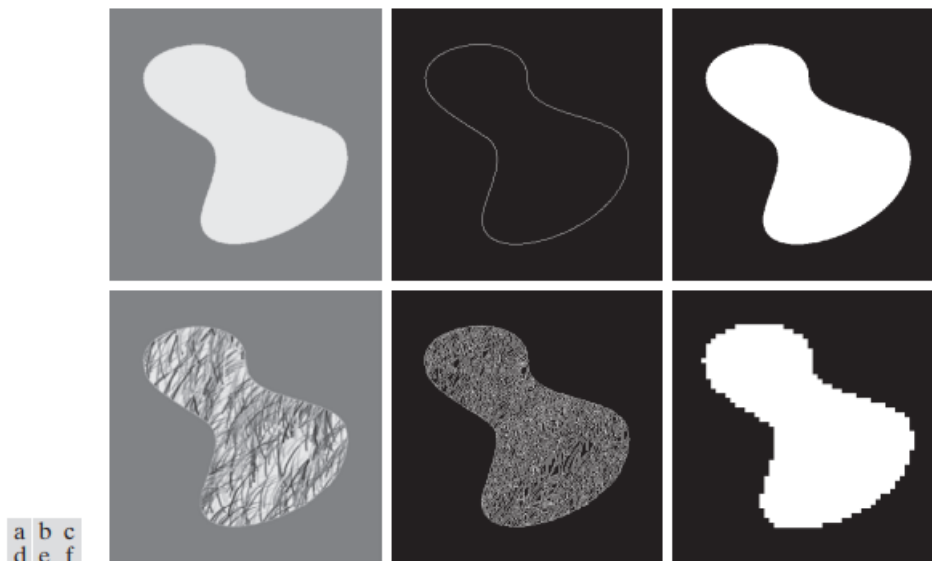
بنابراین ، می بینیم که مشکل اساسی در قطعه بندی ، پارتیشن بندی است. تصویر در مناطقی که شرایط قبلی را برآورده می کنند. الگوریتم های قطعه بندی برای تصاویر تک رنگ به طور کلی بر اساس یکی از دو دسته اصلی است که با ویژگیهای مقادیر شدت سروکار دارد: ناپیوستگی و شباهت. در دسته اول ، ما فرض می کنیم که مرزهای مناطق به طور کافی از یکدیگر متفاوت است و از پس زمینه ، اجازه می دهد تا تشخیص مرزها بر اساس ناپیوستگی های محلی در شدت انجام شود. قطعه بندی مبتنی بر لبه رویکرد اصلی مورد استفاده در این دسته است. رویکردهای قطعه بندی مبتنی

^{۴۵} general به طور کلی ، Q می تواند یک عبارت مرکب باشد مانند ، $Q(R_i) = \text{TRUE}$ اگر شدت متوسط پیکسل ها در ناحیه R_i کمتر از m_i باشد و اگر انحراف استاندارد شدت آنها بیشتر از s_i باشد" ، جایی که m_i و s_i ثابت های مشخص شده هستند

بر منطقه در دسته دوم بر اساس تقسیم یک تصویر به مناطقی است که بر اساس مجموعه ای از معیارهای از پیش تعیین شده مشابه هستند. شکل ۱۰.۱ مفاهیم قبلی را نشان می دهد. شکل ۱۰.۱ (الف) تصویری از ناحیه ای با شدت ثابت را نشان می دهد که روی زمینه تیره تری قرار گرفته است ، همچنین با شدت ثابت. این دو منطقه تصویر کلی را شامل می شوند. شکل ۱۰.۱ (ب) نتیجه محاسبه مرز ناحیه داخلی بر اساس ناپیوستگی های شدید را نشان می دهد. نقاط داخل و خارج مرز سیاه هستند (صفر) زیرا هیچ تداوم در شدت در آن مناطق وجود ندارد. برای قطعه بندی تصویر ، یک سطح (مثلاً سفید) را به پیکسل های داخل یا داخل مرز و یک سطح دیگر (به عنوان مثال سیاه) را به تمام نقاط خارج از مرز اختصاص می دهیم.

شکل ۱۰.۱ (ج) نتیجه چنین روشی را نشان می دهد. ما می بینیم که شرایط (الف) تا (ج) بیان شده در ابتدای این بخش از این نتیجه راضی است. محمول شرط (d) این است: اگر پیکسلی روی ، یا در داخل مرز باشد ، آن را سفید برچسب بزنید. در غیر این صورت ، برچسب آن را سیاه بزنید. ما می بینیم که این پیش بینی برای نقاطی که در شکل ۱۰.۱ (ج) برچسب سیاه یا سفید دارند ، درست است. به طور مشابه ، دو منطقه تقسیم شده (شی و پس زمینه) شرایط (e) را برآورده می کنند. سه تصویر بعدی قطعه بندی بر اساس منطقه را نشان می دهد. شکل ۱۰.۱ (د) مشابه شکل ۱۰.۱ (الف) است ، اما شدت ناحیه داخلی یک الگوی بافتی را تشکیل می دهد. شکل ۱۰.۱ (e) نتیجه ناپیوستگی شدت محاسبه را در این تصویر نشان می دهد. تغییرات متعدد جعلی در شدت ، تشخیص مرز منحصر به فرد برای تصویر اصلی را مشکل می کند زیرا بسیاری از تغییرات شدت غیر صفر به مرز متصل می شوند ، بنابراین قطعه بندی بر اساس لبه روش مناسبی نیست. با این حال ، ما توجه داریم که ناحیه بیرونی ثابت است ، بنابراین تنها چیزی که برای حل این مشکل تفکیک به آن نیاز داریم ، گزاره ای است که بین مناطق بافت دار و ثابت تمایز قائل می شود. انحراف استاندارد مقادیر پیکسل معیاری است که این کار را انجام می دهد زیرا در مناطق منطقه بافت صفر است و در غیر این صورت صفر است. شکل ۱۰.۱ (f) نتیجه تقسیم تصویر اصلی را به زیر ناحیه هایی با اندازه $8 * 8$ نشان می دهد. هر زیر ناحیه ای سفید در نظر گرفته می شود اگر انحراف استاندارد پیکسل های آن مثبت باشد (یعنی اگر محمول TRUE باشد) و صفر است. در غیر این صورت. نتیجه ظاهری "مسدود" در اطراف لبه منطقه دارد زیرا گروه های مربع $8 * 8$ با شدت

یکسان برچسب گذاری شده اند (مربع های کوچکتر مرز منطقه ای هموارتر را نشان می داد). در نهایت ، توجه داشته باشید که این نتایج همچنین شرایط قطعه بندی پنجگانه ای را که در ابتدای این بخش بیان شده است ، برآورده می کند.



شکل ۱۰.۱ الف) تصویر یک ناحیه با شدت ثابت. (ب) مرز بر اساس ناپیوستگی های شدید. (ج) نتیجه تقسیم بندی. (د) تصویر منطقه بافت. (ه) نتیجه محاسبات شدت ناپیوستگی (به تعداد زیاد لبه های کوچک توجه کنید). (و) نتیجه قطعه بندی بر اساس ویژگی های منطقه.

۱۰.۲ آشکارسازی نقطه ، خط و لبه

تمرکز این بخش بر روشهای قطعه بندی است که بر اساس تشخیص تغییرات شدید و موضعی در شدت است. سه نوع ویژگی تصویر که به آنها علاقه داریم نقاط جدا شده ، خطوط و لبه ها هستند. پیکسل های لبه پیکسل هایی هستند که در آنها شدت تصویر به طور ناگهانی تغییر می کند و لبه ها (یا قسمت های لبه) مجموعه ای از پیکسل های لبه متصل هستند (در مورد اتصال به بخش ۲.۵ مراجعه کنید). آشکارسازهای لبه ابزارهای پردازش تصویر محلی هستند که برای تشخیص پیکسل های لبه طراحی شده اند. یک خط ممکن است به عنوان یک قسمت (معمولاً) لبه نازک در نظر گرفته شود که در آن شدت پس زمینه در دو طرف خط بسیار بیشتر یا بسیار کمتر از شدت پیکسل های خط است. در حقیقت ، همانطور که بعداً بحث خواهیم کرد ، خطوط به اصطلاح "لبه های

سقف" ایجاد می شود. در نهایت ، یک نقطه جدا شده ممکن است به عنوان پیکسل پیش زمینه (پس زمینه) در نظر گرفته شود که توسط پیکسل های پس زمینه (پیش زمینه) احاطه شده است. وقتی به خطوط اشاره می کنیم ، به ساختارهای نازک اشاره می کنیم که معمولاً فقط چند پیکسل ضخامت دارند. چنین خطوطی ممکن است به عنوان مثال با عناصر یک طرح معماری دیجیتالی یا جاده هایی در تصویر ماهواره مطابقت داشته باشد.

زمینه

همانطور که در بخش ۳.۵ دیدیم ، میانگین محلی یک تصویر را هموار می کند. با توجه به اینکه میانگین گیری مشابه یکپارچه سازی است ، می توان تغییرات ناگهانی و شدید شدت را با استفاده از مشتقات تشخیص داد. به دلایلی که به زودی آشکار خواهد شد ، مشتقات مرتبه اول و دوم برای این منظور بسیار مناسب هستند.

مشتقات یک عملکرد دیجیتال از نظر تفاوت نامحدود تعریف شده است. روشهای مختلفی برای محاسبه این تفاوتها وجود دارد ، اما همانطور که در بخش ۳.۶ توضیح داده شد ، ما نیاز داریم که تقریبی که برای مشتقات اول (۱) استفاده می شود باید در مناطق با شدت ثابت صفر باشد. (۲) در شروع مرحله یا سطح شیب دار باید صفر باشد. و (۳) باید در نقاط امتداد سطح شیب دار غیر صفر باشد. به طور مشابه ، ما نیاز داریم که تقریبی که برای مشتقات دوم (۱) استفاده می شود باید در مناطق با شدت ثابت صفر باشد. (۲) باید در شروع و انتهای یک مرحله یا سطح شیب دار غیر صفر باشد. و (۳) باید در امتداد سطح شیب دار صفر باشد. از آنجا که ما با مقادیر دیجیتالی که مقادیر آنها نامحدود است سر و کار داریم ، حداکثر تغییر شدت ممکن نیز نامحدود است و کوتاهترین فاصله ای که ممکن است تغییر ایجاد کند بین پیکسل های مجاور است. با افزایش تابع $f(x + \Delta x)$ به سری تیلور در حدود x ، یک تقریب به مشتق مرتبه اول در نقطه دلخواه x یک تابع یک بعدی $f(x)$ بدست می آوریم.

$$f(x + \Delta x) = f(x) + \Delta x \frac{\partial f(x)}{\partial x} + \frac{(\Delta x)^2}{2!} \frac{\partial^2 f(x)}{\partial x^2} + \frac{(\Delta x)^3}{3!} \frac{\partial^3 f(x)}{\partial x^3} + \dots$$

$$= \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(\Delta x)^n}{n!} \frac{\partial^n f(x)}{\partial x^n} \quad (10-1)$$

جایی که Δx جدایی بین نمونه های f است. برای اهداف ما، این جداسازی در واحد پیکسل اندازه گیری می شود. بنابراین، پس از قرارداد در کتاب، $\Delta x = 1$ برای نمونه قبل از x و $\Delta x = 1$ برای نمونه زیر x . وقتی $\Delta x = 1$ ، معادل (10-1) می شود

$$f(x+1) = f(x) + \frac{\partial f(x)}{\partial x} + \frac{1}{2!} \frac{\partial^2 f(x)}{\partial x^2} + \frac{1}{3!} \frac{\partial^3 f(x)}{\partial x^3} + \dots$$

$$= \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{n!} \frac{\partial^n f(x)}{\partial x^n} \quad (10-2)$$

به یاد داشته باشید، نماد $n!$ به معنی " $n! = 1 \times 2 \times \dots \times n$ " اگرچه این فقط یک متغیر را بیان می کند، وقتی در مورد توابع دو متغیر بعداً در این بخش بحث می کنیم، از نشانه مشتقات جزئی برای قوام استفاده کردیم.

به طور مشابه، وقتی $\Delta x = -1$ ،

$$f(x-1) = f(x) - \frac{\partial f(x)}{\partial x} + \frac{1}{2!} \frac{\partial^2 f(x)}{\partial x^2} - \frac{1}{3!} \frac{\partial^3 f(x)}{\partial x^3} + \dots$$

$$= \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n!} \frac{\partial^n f(x)}{\partial x^n} \quad (10-3)$$

در ادامه، ما تفاوت شدت را تنها با استفاده از چند عبارت از مجموعه تیلور محاسبه می کنیم. برای مشتقات مرتبه اول ما فقط از اصطلاحات خطی استفاده می کنیم و می توانیم به یکی از سه روش تفاوت ایجاد کنیم. تفاوت جلو از معادله (10-2) به دست می آید:

$$\frac{\partial f(x)}{\partial x} = f'(x) = f(x+1) - f(x) \quad (10-4)$$

همانطور که می بینید، ما فقط اصطلاحات خطی را حفظ کردیم. تفاوت معکوس به طور مشابه با حفظ فقط شرایط خطی در معادله (10-3) بدست می آید:

$$\frac{\partial f(x)}{\partial x} = f'(x) = f(x) - f(x-1) \quad (10-5)$$

و تفاوت مرکزی با کم کردن معادله (10-3) به دست می آید. از معادله (10-2):

$$\frac{\partial f(x)}{\partial x} - f'(x) = \frac{f(x+1) - f(x-1)}{2} \quad (10-6)$$

اصطلاحات بالاتر سری که ما از آنها استفاده نکردیم نشان دهنده خطا بین بسط دقیق و تقریبی مشتق است. به طور کلی، هرچه اصطلاحات بیشتری از سری تیلور برای نشان دادن مشتق استفاده کنیم، تقریب دقیق تر خواهد بود. افزودن اصطلاحات بیشتر به این معناست که از نقاط بیشتری در تقریب استفاده می شود و خطای کمتری ایجاد می کند. با این حال، مشخص می شود که تفاوت‌های مرکزی خطای کمتری برای تعداد مشابه دارند (به مسئله ۱۰.۱ مراجعه کنید). به همین دلیل مشتقات معمولاً به صورت تفاوت‌های مرکزی بیان می شوند.

مشتق مرتبه دوم بر اساس تفاوت مرکزی، $\frac{\partial^2 f(x)}{\partial x^2}$ ، با افزودن معادلات (۱۰-۲) و (۱۰-۳) به دست می آید:

$$\frac{\partial^2 f(x)}{\partial x^2} = f''(x) = f(x+1) - 2f(x) + f(x-1) \quad (10-7)$$

برای بدست آوردن مرتبه سوم، مشتق مرکزی، به یک نقطه دیگر در هر دو طرف نیاز داریم. از x به این معنا که ما به بسط تیلور برای $f(x+2)$ و $f(x-2)$ نیاز داریم، که ما از معادله (۱۰-۲) و (۱۰-۳) بدست آورید به ترتیب با $\Delta x=2$ و $\Delta x=-2$ استراتژی این است که دو بسط تیلور را برای حذف همه مشتقات پایین تر از سوم ترکیب کند. نتیجه پس از نادیده گرفتن همه شرایط مرتبه بالاتر [به مسئله ۱۰.۲ (a) مراجعه کنید] است

$$\frac{\partial^3 f(x)}{\partial x^3} = f'''(x) = \frac{f(x+2) - 2f(x+1) + 0f(x) + 2f(x-1) - f(x-2)}{2} \quad (10-8)$$

به طور مشابه [به مسأله ۱۰.۲ (ب) مراجعه کنید]، چهارمین تفاوت متناهی (بالاترین که ما در کتاب استفاده می کنیم) پس از نادیده گرفتن همه اصطلاحات مرتبه بالاتر توسط

$$\frac{\partial^4 f(x)}{\partial x^4} = f''''(x) = f(x+2) - 4f(x+1) + 6f(x) - 4f(x-1) + f(x-2) \quad (10-9)$$

جدول ۱۰.۱ چهار مورد مشتقه اصلی را که به تازگی مورد بحث قرار گرفته است، خلاصه می کند. به تقارن ضرایب در مورد نقطه مرکزی توجه کنید. این تقارن ریشه این است که چرا تفاوت‌های

مرکزی خطای تقریبی کمتری برای تعداد نقاط مشابه نسبت به دو تفاوت دیگر دارند. برای دو متغیر ، نتایج جدول ۱۰.۱ را برای هر متغیر به طور مستقل اعمال می کنیم. مثلاً،

$$\frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x^2} = f(x+1,y) - 2f(x,y) + f(x-1,y) \quad (10-10)$$

$$\frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial y^2} = f(x,y+1) - 2f(x,y) + f(x,y-1) \quad (10-11)$$

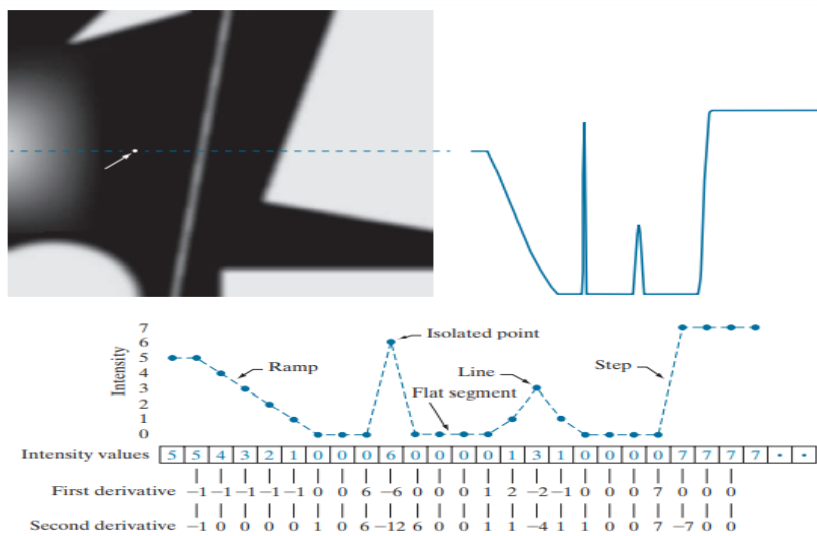
به راحتی تأیید می شود که مشتقات مرتبه اول و دوم در معادله (۱۰-۴) تا (۱۰-۷) شرایطی را که در ابتدای این بخش در مورد مشتقات مرتبه اول و دوم ذکر شده است ، برآورده می کنند. برای نشان دادن این موضوع ، شکل ۱۰.۲ را در نظر بگیرید. قسمت (الف) تصویری از اجسام مختلف ، یک خط و یک نقطه جدا شده را نشان می دهد.

شکل ۱۰.۲ (ب) یک پروفایل شدت افقی (خط اسکن) از طریق مرکز تصویر ، از جمله نقطه جدا شده را نشان می دهد. تغییرات شدید بین اجسام جامد و سطح پشتی در امتداد خط اسکن دو نوع لبه را نشان می دهد: لبه های شیب دار (در سمت چپ) و لبه های پله (در سمت راست). همانطور که بعداً بحث خواهیم کرد ، انتقال شدید شامل اجسام نازک مانند خطوط اغلب لبه های سقف نامیده می شود.

شکل ۱۰.۲ (ج) یک پروفایل ساده را نشان می دهد ، فقط با نکات کافی برای تجزیه و تحلیل دستی مشتقات مرتبه اول و دوم هنگام برخورد با یک نقطه ، یک خط و لبه های اشیاء برای ما امکان پذیر است. در این نمودار انتقال در سطح شیب دار چهار پیکسل را شامل می شود ، نقطه نویز یک پیکسل است ، ضخامت خط سه پیکسل است و انتقال لبه پله بین پیکسل های مجاور صورت می گیرد. تعداد سطوح شدت برای سادگی به هشت محدود شد.

جدول ۱۰.۱ مشتقات دیجیتالی (ite تفاوت) برای نمونه های گرفته شده به طور یکنواخت ، $\Delta x = 1$ = واحد از یکدیگر

	$f(x+2)$	$f(x+1)$	$f(x)$	$f(x-1)$	$f(x-2)$
$2f'(x)$		1	0	-1	
$f''(x)$		1	-2	1	
$2f'''(x)$	1	-2	0	2	-1
$f''''(x)$	1	-4	6	-4	1



شکل ۱۰.۲ (الف) تصویر (ب) پروفایل شدت افقی که شامل نقطه جدا شده نشان داده شده با پیکان است. (ج) نمونه زیر نمونه؛ خط تیره اضافه شد برای شفافیت. اعداد موجود در کادرها مقادیر شدت نقاطی هستند که در پروفایل نشان داده شده است. مشتقات با استفاده از به دست آمد

معادلات (۱۰-۴) برای مشتق اول و معادله (۱۰-۷) برای دوم. وقتی ما پروفایل را از چپ به راست می‌پیماییم، ویژگیهای مشتقات اول و دوم را در نظر بگیرید. در ابتدا، مشتق مرتبه اول در شروع و در سراسر سطح شیب دار غیر صفر است، در حالی که مشتق مرتبه دوم فقط در ابتدا و انتهای سطح شیب دار غیر صفر است. از آنجا که لبه‌های تصاویر دیجیتال شبیه این نوع انتقال است، نتیجه می‌گیریم که مشتقات مرتبه اول لبه‌های "ضخیم" و مشتقات مرتبه دوم بسیار نازک تر تولید می‌کنند. در مرحله بعد با نقطه نوپز جدا شده روبرو می‌شویم. در اینجا، میزان پاسخ در نقطه برای مشتق مرتبه دوم بسیار قوی تر است. این غیرمنتظره نیست، زیرا مشتق مرتبه دوم در افزایش تغییرات شدید بسیار تهاجمی تر از مشتق مرتبه اول است. بنابراین، می‌توان انتظار داشت که مشتقات مرتبه دوم جزئیات بیشتر (از جمله نوپز) را بسیار بیشتر از مشتقات مرتبه اول افزایش

دهند. خط در این مثال نسبتاً نازک است ، بنابراین جزئیات نیز وجود دارد و ما دوباره می بینیم که مشتق دوم از بزرگی بیشتری برخوردار است.

در نهایت ، در لبه های شیب دار و لبه پله توجه داشته باشید که مشتق دوم هنگام انتقال به لبه و خارج از آن دارای علائم مخالف (منفی به مثبت یا مثبت به منفی) است. این اثر "دو لبه" یک ویژگی مهم است که می توان از آن برای تعیین لبه ها استفاده کرد ، همانطور که بعداً در این بخش نشان خواهیم داد. وقتی به لبه حرکت می کنیم ، علامت مشتق دوم نیز برای تعیین اینکه آیا یک لبه از نور به تاریکی (مشتق منفی دوم) ، یا از تاریکی به روشن (مشتق مثبت دوم) استفاده می شود ، استفاده می شود.

به طور خلاصه ، به نتایج زیر می رسیم: (۱) مشتقات مرتبه اول عموماً لبه های ضخیم تری تولید می کنند. (۲) مشتقات مرتبه دوم پاسخ قوی تری به جزئیات دقیق مانند خطوط نازک ، نقاط جدا شده و نویز دارند. (۳) مشتقات مرتبه دوم در سطح شیب دار و گذارهای شدید ، پاسخ دو لبه تولید می کنند. (۴) از علامت مشتق دوم می توان برای تعیین اینکه آیا گذار به لبه از روشن به تاریک یا تاریک به روشن است استفاده کرد.

w_1	w_2	w_3
w_4	w_5	w_6
w_7	w_8	w_9

شکل ۱۰.۳ یک هسته کلی فیلتر 3×3 فضایی. W 's ضرایب هسته (وزن) هستند.

رویکرد انتخابی برای محاسبه مشتقات اول و دوم در هر مکان پیکسلی در یک تصویر ، استفاده از تراکم فضایی است. برای هسته 3×3 فیلتر در شکل ۱۰.۳ ، روش محاسبه مجموع محصولات ضرایب هسته با مقادیر شدت در ناحیه ای است که توسط هسته محاسبه شده است ، همانطور که در بخش ۳.۴ توضیح دادیم. یعنی ، پاسخ فیلتر در نقطه مرکزی هسته است

$$Z = w_1 z_1 + w_2 z_2 + \dots + w_9 z_9$$

$$= \sum_{k=1}^9 w_k z_k \quad (10-12)$$

جایی که z_k شدت پیکسل است که موقعیت مکانی آن مطابق با مکان ضریب هسته k است. این معادله بسط معادله است. (۳-۳۵) برای یک هسته 3×3 ، معتبر در یک نقطه، و با استفاده از نشانه نویسی ساده برای ضرایب هسته

آشکارسازی نقاط جدا شده

بر اساس نتایجی که در قسمت قبل به دست آمد، می دانیم که آشکارسازی نقطه باید بر مبنای مشتق دوم باشد که از بحث در بخش ۳.۶، به معنای استفاده از لاپلاسیان است:

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (10-13)$$

که در آن مشتقات جزئی با استفاده از اختلاف محدود مرتبه دوم در معادله (۱۰-۱۰) و (۱۰-۱۰) محاسبه می شود.

$$\nabla^2 f(x, y) = f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1) - 4f(x, y) \quad (10-14)$$

همانطور که در بخش ۳.۶ توضیح داده شد، این عبارت را می توان با استفاده از هسته لاپلاسیان در شکل ۱۰.۴ (الف) در مثال ۱۰.۱ پیاده سازی کرد. سپس می گوییم که نقطه ای در مکانی (x, y) شناسایی شده است که اگر مقدار مطلق پاسخ فیلتر در آن نقطه از آستانه مشخص شده بیشتر باشد، بر روی آن مرکز قرار دارد. چنین نقاطی دارای برجسب ۱ و بقیه برجسب ۰ در تصویر خروجی دارند، بنابراین تصویری باینری تولید می شود. به عبارت دیگر، ما از عبارت استفاده می کنیم:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } |Z(x, y)| > T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10-15)$$

جایی که (x, y) تصویر خروجی است، T یک آستانه غیر منفی است و Z با معادله (۱۰-۱۲) داده می شود. این فرمول به سادگی تفاوت های وزنی بین پیکسل و ۸ همسایه آن را اندازه گیری می کند. از نظر بصری، این ایده وجود دارد که شدت یک نقطه جدا شده کاملاً متفاوت از محیط اطراف

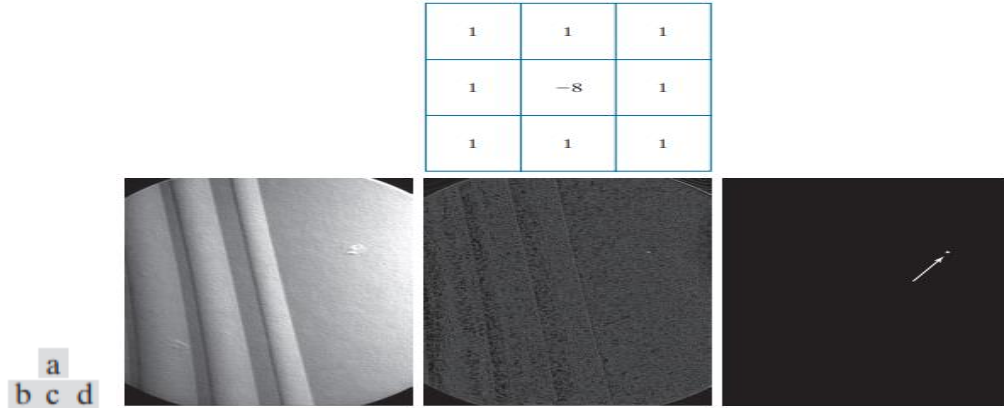
آن است و بنابراین توسط این نوع هسته به راحتی قابل تشخیص است. تفاوت در شدت که مورد توجه قرار می گیرد آنقدر بزرگ است (که توسط T تعیین می شود) تا نقاط جدا شده در نظر گرفته شوند. توجه داشته باشید که طبق معمول برای هسته مشتق ، ضرایب برابر صفر است ، نشان می دهد که پاسخ فیلتر در مناطق با شدت ثابت صفر خواهد بود.

مثال ۱۰.۱: آشکارسازی نقاط جدا شده در یک تصویر.

شکل ۱۰.۴ (ب) یک تصویر اشعه ایکس از پره توربین از موتور جت است. تیغه دارای یک تخلخل است که توسط یک پیکسل سیاه در قسمت چهارم سمت راست بالای تصویر نشان داده می شود. شکل ۱۰.۴ (ج) نتیجه فیلتر شدن تصویر با هسته لاپلاسیان است و شکل ۱۰.۴ (د) نتیجه معادله را نشان می دهد. (۱۵-۱۰) با T معادل ۹۰٪ بالاترین مقدار پیکسل مطلق تصویر در شکل ۱۰.۴ (C) پیکسل واحد در این تصویر در نوک پیکان به وضوح قابل مشاهده است (پیکسل برای افزایش دید آن بزرگ شده است). این نوع فرایند تشخیص تخصصی است زیرا بر اساس تغییرات شدید ناگهانی در مکانهای تک پیکسلی است که با زمینه ای همگن در ناحیه هسته آشکارساز احاطه شده است. هنگامی که این شرایط برآورده نمی شود ، سایر روشهای مورد بحث در این فصل برای تشخیص تغییرات شدت مناسب تر است.

آشکارسازی خط

سطح بعدی پیچیدگی آشکارسازی خط است. بر اساس بحث قبلی در این بخش ، ما می دانیم که برای آشکارسازی خط می توان انتظار داشت که مشتقات دوم منجر به پاسخ فیلتر قوی تری شوند و خطوط نازک تری نسبت به مشتقات اول تولید کنند. بنابراین ، ما می توانیم از هسته لاپلاسیان در شکل ۱۰.۴ (a) برای آشکارسازی خط نیز استفاده کنیم ، در نظر داشته باشید که اثر خط دوگانه مشتق دوم باید به درستی مورد استفاده قرار گیرد. مثال زیر روش کار را نشان می دهد.



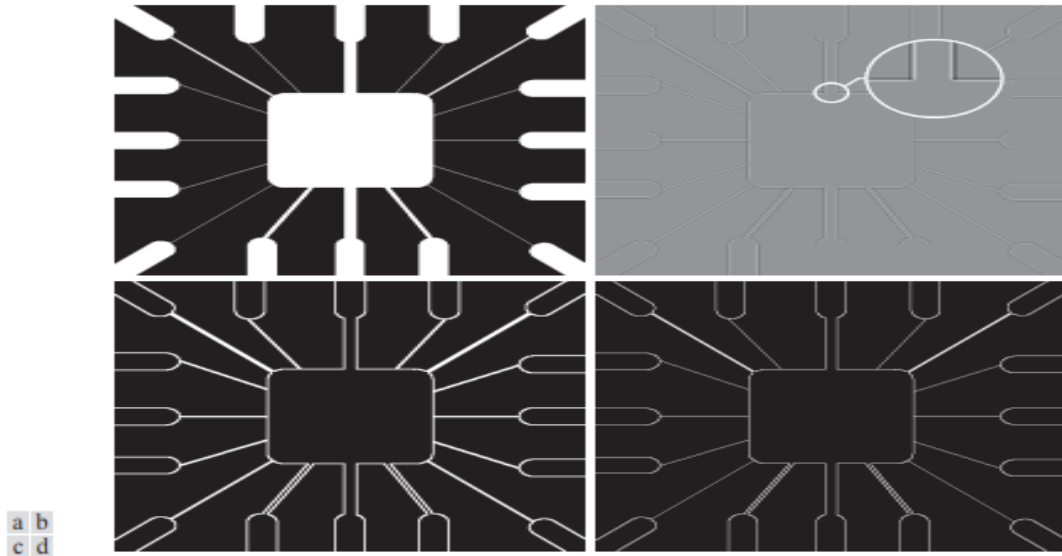
شکل ۱۰.۴ (الف) کارلن لاپلاسین ایی که برای آشکارسازی نقطه استفاده می شود. (ب) تصویر اشعه ایکس از پره توربین با تخلخل که با یک پیکسل مشکی واحد نمایان می شود. (ج) نتیجه مطابقت هسته با تصویر. (د) نتیجه استفاده از معادله (۱۰-۱۵) یک نقطه واحد بود (در انتهای پیکان بزرگ نشان داده شده است). (تصویر اصلی از X-TEK Systems, Ltd.)

مثال ۱۰.۲: استفاده از لاپلاسین برای آشکارسازی خط .

شکل ۱۰.۵ (الف) قسمت (۴۸۶* ۴۸۶ باینری) از ماسک سیم پیوندی برای مدار الکترونیکی را نشان می دهد ، و شکل ۱۰.۵ (ب) تصویر لاپلاسین ایی آن را نشان می دهد. از آنجا که تصویر لاپلاسین حاوی مقادیر منفی است (بحث را بعد از مثال ۳.۱۸ ببینید) ، مقیاس بندی برای نمایش لازم است. همانطور که در بخش بزرگنمایی نشان داده شده است ، خاکستری میانی صفر ، سایه های تیره رنگ خاکستری نشان دهنده مقادیر منفی و سایه های روشن تر مثبت هستند. اثر خط دوگانه به وضوح در منطقه بزرگ شده قابل مشاهده است.

در ابتدا ، ممکن است به نظر برسد که مقادیر منفی را می توان به سادگی با گرفتن مقدار مطلق تصویر لاپلاسین کنترل کرد. با این حال ، همانطور که شکل ۱۰.۵ (ج) نشان می دهد ، این روش ضخامت خطوط را دو برابر می کند. یک رویکرد مناسب تر این است که فقط از مقادیر مثبت لاپلاسین استفاده کنید (در شرایط پر نویز ما از مقادیری که بیش از یک آستانه مثبت است برای حذف تغییرات تصادفی صفر ناشی از نویز استفاده می کنیم). همانطور که شکل ۱۰.۵ (د) نشان می دهد ، این روش منجر به خطوط باریک تر می شود که عموماً مفیدتر هستند. توجه داشته باشید در

شکل ۱۰.۵ (ب) تا (د) زمانی که خطوط نسبت به اندازه هسته لاپلاسین گسترده هستند ، خطوط با یک "دره" صفر از هم جدا می شوند. این غیر منتظره نیست. به عنوان مثال ، هنگامی که هسته 3×3 بر روی یک خط با شدت ثابت ۵ پیکسل متمرکز شود ، پاسخ صفر خواهد بود ، بنابراین جلوه ای را که ذکر شد ایجاد می کند. وقتی در مورد آشکارسازی خط صحبت می کنیم ، فرض بر این است که خطوط نسبت به اندازه آشکارساز نازک هستند. خطوطی که این فرض را برآورده نمی کنند ، بهتر است به عنوان ناحیه در نظر گرفته شوند و با روشهای آشکارسازی لبه که در قسمت زیر مورد بحث قرار می گیرد ، اداره شوند. هسته آشکارساز لاپلاسین ایی در شکل ۱۰.۴ (a) ایزوتروپ است ، بنابراین پاسخ آن مستقل از جهت نیست (با توجه به چهار جهت هسته ۳: ۳ عمودی ، افقی و دو مورب). اغلب ، علاقه به آشکارسازی خطوط در جهت‌های مشخص است. هسته های شکل ۱۰.۶ را در نظر بگیرید. فرض کنید تصویری با پس زمینه ثابت و حاوی خطوط مختلف (جهت گیری در ۰ درجه ، -۴۵ درجه سانتیگراد و ۹۰ درجه) با هسته اول فیلتر شده است. حداکثر پاسخها در مکانهای تصویر رخ می دهد که در آنها یک خط افقی از ردیف وسط هسته عبور می کند. این امر با ترسیم یک آرایه ساده از ۱ با خطی با شدت متفاوت (مثلاً ۵ ثانیه) که به صورت افقی از طریق آرایه عبور می کند ، به راحتی تأیید می شود. یک آزمایش مشابه نشان می دهد که هسته دوم در شکل ۱۰.۶ بهترین پاسخ را به خطوط جهت -۴۵ درجه می دهد. هسته سوم تا خطوط عمودی ؛ و هسته چهارم به خطوط در جهت ± 45 . جهت ترجیحی هر هسته با ضریب ضخامت بزرگتر (یعنی ۲) نسبت به سایر جهات ممکن وزن می شود. ضرایب در هر هسته به صفر می رسند ، که نشان دهنده پاسخ صفر در مناطق با شدت ثابت است.



شکل ۱۰.۵ الف) تصویر اصلی (ب) تصویر لاپلاسین ؛ بخش بزرگنمایی شده مثبت/منفی را نشان می دهد اثر دو خطی مشخصه لاپلاسین (ج) مقدار مطلق لاپلاسین . (د) مقادیر مثبت لاپلاسین .

اجازه دهید Z_1, Z_2, Z_3 و Z_4 پاسخ هسته ها را در شکل ۱۰.۶ نشان دهند ، از چپ به راست ، جایی که Z با معادله (۱۰-۱۲) داده شده است. فرض کنید تصویری فیلتر شده است. با این چهار هسته ، یکی در یک زمان. اگر ، در نقطه مشخصی از تصویر ، $|Z_k| > |Z_j|$ ، برای همه $j \neq k$ ، گفته می شود که آن نقطه به احتمال زیاد با خطی در جهت ارتباط دارد. مقدار هسته k به عنوان مثال ، اگر در نقطه ای از تصویر ، $|Z_1| > |Z_j|$ ، برای $j = 2, 3, 4$ گفته می شود که آن نقطه به احتمال زیاد با یک خط افقی مرتبط است. اگر ما علاقه مند به تشخیص تمام خطوط یک تصویر در جهت مشخص شده توسط یک هسته هستیم ، به سادگی هسته را در تصویر اجرا کرده و مقدار مطلق نتیجه را مانند معادله (۱۰-۱۵) آستانه می کنیم.

نقاط غیر صفر باقی مانده پس از آستانه ، قوی ترین پاسخ هایی هستند که برای خطوط ضخامت یک پیکسل ، نزدیک ترین نقطه به جهت تعیین شده توسط هسته است. مثال زیر این روش را نشان می دهد.

-1	-1	-1	2	-1	-1	-1	2	-1	-1	-1	2
2	2	2	-1	2	-1	-1	2	-1	-1	2	-1
-1	-1	-1	-1	-1	2	-1	2	-1	2	-1	-1
Horizontal			+45°			Vertical			-45°		
a	b	c	d								

شکل ۱۰.۶ هسته آشکارسازی خط. زاویه های تشخیص با توجه به سیستم محور در شکل ۲.۱۹، با زاویه های مثبت در جهت خلاف جهت عقربه های ساعت با توجه به محور (عمودی) X اندازه گیری می شود.

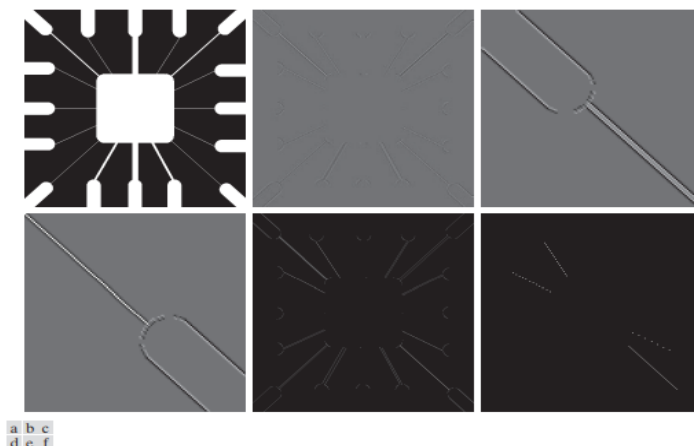
مثال ۱۰.۳: آشکارسازی خطوط در جهت های مشخص شده.

شکل ۱۰.۷ (الف) تصویر مورد استفاده در مثال قبلی را نشان می دهد. فرض کنید ما علاقه مند هستیم تمام خطوطی را که ضخامت یک پیکسل دارند و در $\pm 45^\circ$ جهت گیری کرده ایم، پیدا کنیم. برای این منظور، از هسته در شکل ۱۰.۶ (ب) استفاده می کنیم. شکل ۱۰.۷ (ب) نتیجه فیلتر کردن تصویر با آن هسته است. مانند قبل، سایه های تیره تر از زمینه خاکستری در شکل ۱۰.۷ (ب) با مقادیر منفی مطابقت دارد. دو بخش اصلی در تصویر وجود دارد که در جهت $\pm 45^\circ$ درجه قرار گرفته اند، یکی در بالا سمت چپ و دیگری در پایین سمت راست. در شکل های ۱۰.۷ (ج) و (د) بخش های بزرگنمایی شده در شکل ۱۰.۷ (ب) مربوط به این دو ناحیه نشان داده شده است. قطعه خط مستقیم در شکل ۱۰.۷ (د) روشن تر از بخش در شکل ۱۰.۷ (ج) است زیرا قسمت خط در سمت راست پایین شکل ۱۰.۷ (الف) ضخامت یک پیکسل دارد، در حالی که قسمت بالا سمت چپ نیست. هسته برای آشکارسازی خطوط با ضخامت یک پیکسل در جهت $\pm 45^\circ$ "تنظیم" شده است، بنابراین ما انتظار داریم واکنش آن هنگام تشخیص چنین خطوط قوی تر باشد. شکل ۱۰.۷ (e) مقادیر مثبت شکل ۱۰.۷ (b) را نشان می دهد. از آنجا که ما به قوی ترین پاسخ علاقه مند هستیم، اجازه می دهیم T برابر ۲۵۴ (حداکثر مقدار در شکل ۱۰.۷ (e) منهای یک) باشد. شکل ۱۰.۷ (f) نقاط سفید را نشان می دهد که مقادیر آنها شرایط $g > T$ را برآورده می کند، جایی که g در شکل ۱۰.۷ (e) است. نقاط جدا شده در تصویر نقاطی هستند که پاسخهای مشابهی به هسته نیز دارند. در تصویر اصلی، این نقاط و همسایگان نزدیک آنها به گونه ای جهت گیری شده اند که هسته

حداکثر پاسخ را در آن مکان ها ایجاد کرده است. این نقاط جدا شده را می توان با استفاده از هسته در شکل ۱۰.۴ (a) تشخیص داد و سپس حذف کرد ، یا می توان آنها را با استفاده از عملگرهای ریخت شناسی حذف کرد ، همانطور که در فصل گذشته توضیح داده شد.

مدل های لبه

آشکارسازی لبه روشی است که اغلب برای قطعه بندی تصاویر بر اساس تغییرات ناگهانی (محلی) در شدت استفاده می شود. ما با معرفی چندین روش برای مدل سازی لبه ها شروع می کنیم و سپس تعدادی از روش ها را برای آشکارسازی لبه ها مورد بحث قرار می دهیم.

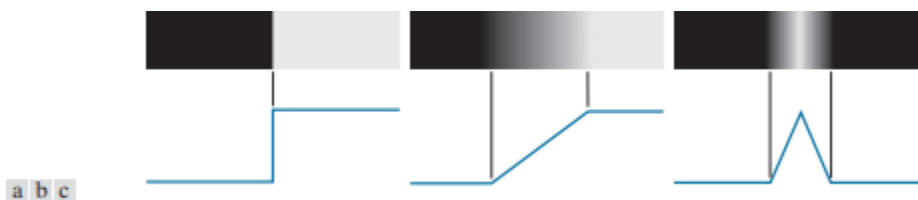


شکل ۱۰.۷ (الف) تصویری از الگوی سیم پیوندی. (ب) نتیجه پردازش با هسته آشکارساز خط ۴۵ \pm در شکل ۱۰.۶ (ج) نمای بزرگنمایی شده در قسمت بالا سمت چپ (ب). (د) نمای بزرگنمایی شده در قسمت پایین سمت راست (ب). (ه) تصویر در (ب) با تمام مقادیر منفی روی صفر تنظیم شده است. (و) همه نقاط (به رنگ سفید) که مقادیر آنها شرایط $g > T$ را برآورده می کند ، جایی که g تصویر در (e) و $T = 254$ حداکثر مقدار پیکسل در تصویر منهای ۱ است. (نقاط (f) بزرگتر شده اند تا راحت تر دیده شوند).

مدل های لبه با توجه به پروفایل شدت آنها طبقه بندی می شوند. یک لبه پله با گذار بین دو سطح شدت مشخص می شود که به طور ایده آل در فاصله یک پیکسل اتفاق می افتد. شکل ۱۰.۸ (الف) قسمتی از لبه پله عمودی و پروفایل شدت افقی را از لبه نشان می دهد. به عنوان مثال ، لبه های پله ای در تصاویر ایجاد شده توسط رایانه برای استفاده در مناطقی مانند مدل سازی جامد و متحرک

ظاهر می شوند. این لبه های تمیز و ایده آل می توانند در فاصله یک پیکسل ایجاد شوند ، به شرطی که از هیچ پردازش اضافی (مانند هموار کردن) برای واقعی جلوه دادن آنها استفاده نشود. لبه های گام دیجیتال اغلب به عنوان مدل های لبه در توسعه الگوریتم استفاده می شود. به عنوان مثال ، الگوریتم آشکارسازی لبه Canny که بعداً در این بخش مورد بحث قرار گرفت ، در اصل با استفاده از یک مدل لبه مرحله ای مشتق شده بود.

در عمل ، تصاویر دیجیتالی دارای لبه هایی مبهم و پر نویز هستند ، که میزان تار شدن آنها عمدتاً با محدودیت مکانیسم فوکوس (به عنوان مثال ، لنزها در مورد تصاویر نوری) و سطح نویز به طور عمده توسط اجزای الکترونیکی دستگاه تعیین می شود. سیستم تصویربرداری در چنین شرایطی ، لبه ها به عنوان پروفیل سطح شیب دار مدل سازی می شوند ، مانند لبه شکل ۱۰.۸ (ب). شیب سطح شیب دار با درجه تار شدن لبه نسبت عکس دارد. در این مدل ، ما دیگر یک "نقطه لبه" واحد در امتداد پروفایل نداریم. در عوض ، نقطه لبه اکنون هر نقطه ای است که در سطح شیب دار وجود دارد ، و یک قسمت لبه مجموعه ای از نقاطی است که به هم متصل شده اند.



شکل ۱۰.۸ از چپ به راست ، مدل‌های (نمایش ایده آل) یک پله ، یک سطح شیب دار ، و یک لبه سقف ، و متناظر آنها

پروفایل های شدت

نوع سوم لبه ها به اصطلاح لبه سقف است که دارای ویژگی هایی است که در شکل ۱۰.۸ (ج) نشان داده شده است. لبه های سقف مدل هایی از خطوط در یک منطقه هستند که پایه (عرض) لبه بر اساس ضخامت و وضوح خط تعیین می شود.

در محدوده زمانی که پایه آن یک پیکسل عرض داشته باشد ، لبه سقف چیزی بیشتر از یک خط ضخامت یک پیکسل نیست که از ناحیه ای در تصویر عبور می کند. لبه های سقف ، به عنوان مثال

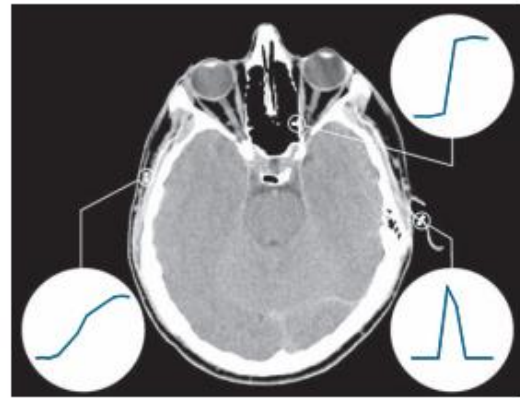
، در تصویربرداری از محدوده زمانی ظاهر می شوند که اجسام نازک (مانند لوله ها) به سنسور نسبت به پس زمینه (مانند دیوارها) نزدیکتر هستند. لوله ها روشن تر به نظر می رسند و بنابراین تصویری شبیه به مدل شکل ۱۰.۸ (ج) ایجاد می کنند. مناطق دیگری که لبه های سقف به طور معمول در آنها ظاهر می شود ، در دیجیتالی شدن خطوط و همچنین تصاویر ماهواره ای است ، جایی که ویژگی های نازک مانند جاده ها را می توان با این نوع لبه ها مدل سازی کرد.

یافتن تصاویری که حاوی هر سه نوع لبه هستند غیر معمول نیست. اگرچه تار شدن و نویز منجر به انحراف از اشکال ایده آل می شود ، اما لبه های تصاویر که به طور معقول واضح هستند و دارای نویزی متوسط هستند ، به ویژگی های مدل لبه در شکل ۱۰.۸ شباهت دارد ، همانطور که پروفایل در شکل ۱۰.۹ نشان می دهد. آنچه در شکل ۱۰.۸ به ما اجازه می دهد این است که در توسعه الگوریتم های پردازش تصویر ، عبارات ریاضی برای لبه ها بنویسیم. عملکرد این الگوریتم ها به تفاوت بین لبه های واقعی و مدل های مورد استفاده در توسعه الگوریتم ها بستگی دارد.

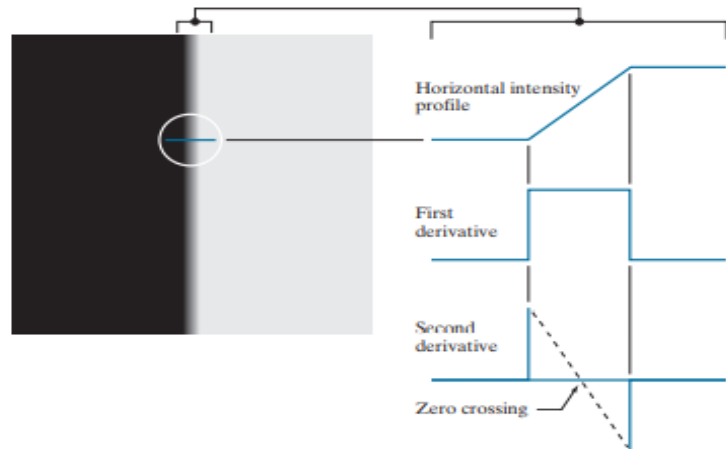
شکل ۱۰.۱۰ (الف) تصویری را نشان می دهد که قطعه در شکل ۱۰.۸ (ب) از آن استخراج شده است. شکل ۱۰.۱۰ (ب) یک پروفایل شدت افقی را نشان می دهد. این تصویر مشتقات اول و دوم پروفایل شدت را نیز نشان می دهد. با حرکت از چپ به راست در طول پروفایل شدت ، توجه می کنیم که اولین مشتق در شروع رمپ و نقاطی در سطح شیب دار مثبت است و در مناطق با شدت ثابت صفر است. مشتق دوم در ابتدای سطح شیب دار مثبت ، در انتهای سطح شیب منفی ، در نقاط روی سطح شیب دار صفر و در نقاط با شدت ثابت صفر است. نشانه های مشتقات تازه مورد بحث برای لبه ای که از روشنایی به تاریکی تغییر می کند معکوس است. تقاطع بین محور شدت صفر و خطی که بین اکسترم دو مشتق دوم امتداد می یابد ، نقطه ای را نشان می دهد که عبور صفر مشتق دوم نامیده می شود.

از این مشاهدات نتیجه می گیریم که از اندازه مشتق اول می توان برای تشخیص وجود لبه در نقطه ای از تصویر استفاده کرد. به طور مشابه ، می توان از علامت مشتق دوم برای تعیین اینکه آیا پیکسل لبه در سمت تاریک یا روشن لبه قرار دارد استفاده کرد. دو ویژگی اضافی مشتق دوم در اطراف یک لبه عبارتند از: (۱) برای هر لبه در یک تصویر دو مقدار تولید می کند. و (۲) صفرهای عبور آن می

تواند برای مکان یابی مراکز لبه های ضخیم استفاده شود ، همانطور که بعداً در این بخش نشان خواهیم داد. برخی از مدل‌های لبه از یک حرکت روان به داخل و خارج از سطح شیب دار استفاده می کنند (به مسئله ۱۰.۹ مراجعه کنید). با این حال ، نتایجی که با استفاده از آن مدل‌ها به دست می آید ، همانند یک سطح شیبدار ایده آل و کار با فرمول‌های ساده نظری اخیر است. سرانجام ، اگرچه تا کنون توجه به یک نمونه افقی یک بعدی محدود شده است ، استدلال مشابهی در مورد هر جهت تصویر اعمال می شود. ما به سادگی یک پروفایل عمود بر جهت لبه در هر نقطه دلخواه تعریف می کنیم و نتایج را به همان شیوه ای که برای لبه عمودی که مورد بحث قرار گرفت ، تفسیر می کنیم.



شکل ۱۰.۹ تصویر ۱۹۷۰ * ۱۵۰۸ نشان دهنده (بزرگنمایی) سطح شیب واقعی (پایین ، چپ) ، پله (بالا ، راست) ، و پروفیل‌های لبه سقف است. پروفایل‌ها از تاریکی تا روشن در مناطق محصور شده توسط دایره های کوچک هستند. پروفایل های سطح شیب دار و گام به ترتیب دارای ۹ پیکسل و ۲ پیکسل هستند. پایه لبه سقف ۳ پیکسل است. (تصویر اصلی از دکتر دیوید آر پیکنز ، دانشگاه وندربیلت گرفته شده است.)



شکل ۱۰.۱۰ الف) دو ناحیه ثابت شدت توسط یک لبه شیب ایده آل جدا شده است. (ب) جزئیات نزدیک به لبه، نشان دهنده یک پروفایل شدت افقی، و مشتقات اول و دوم آن.

مثال ۱۰.۴: رفتار مشتقات اول و دوم در منطقه حاشیه پر نویز.

مدلهای لبه در شکل ۱۰.۸ عاری از نویز هستند. بخش های تصویر در ستون اول در شکل ۱۰.۱۱ نمای نزدیک از چهار لبه سطح شیب دار را نشان می دهد که از یک منطقه سیاه در سمت چپ به یک منطقه سفید در سمت راست منتقل می شوند (به خاطر داشته باشید که کل انتقال از سیاه به سفید یک تک است حاشیه، غیرمتمرکز). بخش تصویر در بالا سمت چپ عاری از نویز است. سه تصویر دیگر در ستون اول توسط نویزی افزودنی گوسی با میانگین صفر و انحراف استاندارد به ترتیب ۰.۱، ۱.۰ و ۱۰.۰ شدت خراب شده است. نمودار زیر هر تصویر یک پروفایل شدت افقی است که از مرکز تصویر عبور می کند. همه تصاویر دارای ۸ بیت وضوح شدت هستند که ۰ و ۲۵۵ به ترتیب سیاه و سفید را نشان می دهند.

تصویر بالای ستون مرکزی را در نظر بگیرید. همانطور که در رابطه با شکل ۱۰.۱۰ (ب) بحث شد، مشتق خط اسکن در سمت چپ در مناطق ثابت صفر است. این دو نوار سیاه هستند که در تصویر مشتق نشان داده شده است. مشتقات نقاط روی سطح شیب دار ثابت و برابر با شیب سطح شیب دار است. این مقادیر ثابت در تصویر مشتق به رنگ خاکستری نشان داده شده است. با پایین آمدن ستون مرکز، مشتقات به طور فزاینده ای با حالت بدون نویز متفاوت می شوند. در واقع، مشکل است که آخرین پروفایل در ستون مرکزی را با اولین مشتق لبه سطح شیب دار مرتبط کنید. آنچه

این نتایج را جالب می کند این است که نویز در تصاویر ستون سمت چپ تقریباً بصری قابل تشخیص نیست. این مثالها تصاویر خوبی از حساسیت مشتقات به نویز هستند.

همانطور که انتظار می رفت ، مشتق دوم حتی بیشتر به نویز حساس است. دومین مشتق تصویر بدون نویز در بالای ستون سمت راست نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۱۰.۱۰ توضیح داده شده است ، خطوط عمودی نازک سفید و سیاه اجزای مثبت و منفی مشتق دوم هستند. رنگ خاکستری در این تصاویر نشان دهنده صفر است (همانطور که قبلاً بحث شد ، مقیاس بندی باعث می شود صفر به رنگ خاکستری نشان داده شود). تنها تصویر پر نویز دوم مشتق شده که به سختی شبیه حالت بدون نویز است ، با نویز با انحراف استاندارد ۰.۱ مطابقت دارد. تصاویر و پروفایل های مشتق دوم باقی مانده به وضوح نشان می دهد که تشخیص اجزای مثبت و منفی آنها که در واقع ویژگی های مفید مشتق دوم از نظر آشکارسازی لبه هستند ، واقعاً دشوار خواهد بود.

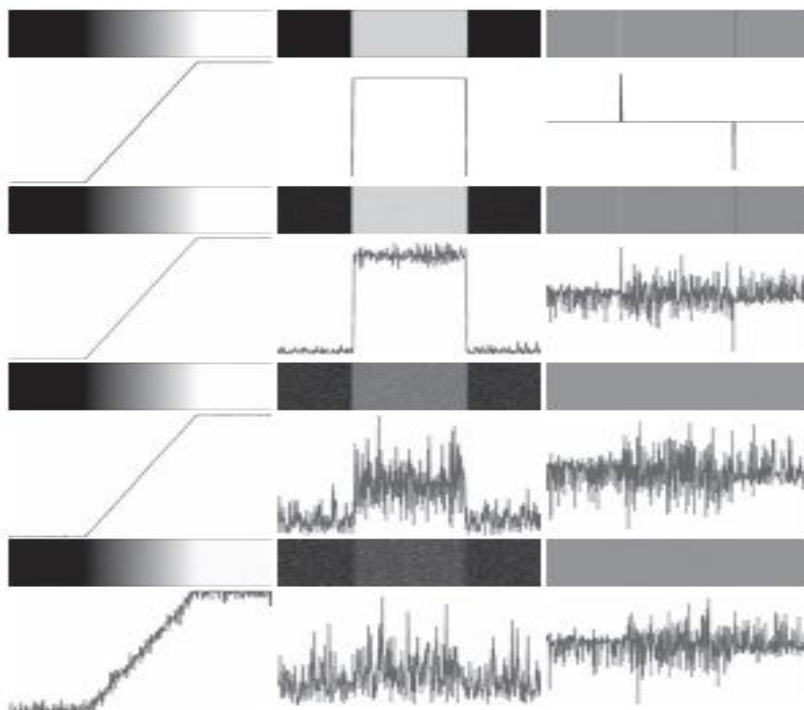
این واقعیت که چنین نویز بصری کمی می تواند چنین تأثیر مهمی بر دو مشتق اصلی مورد استفاده برای آشکارسازی لبه ها داشته باشد ، مسئله مهمی است که باید در نظر داشته باشید. به طور خاص ، هموارسازی تصویر باید قبل از استفاده از مشتقات در برنامه هایی که در آن نویز با سطوح مشابه مواردی که ما قبلاً بحث کردیم وجود داشته باشد ، یک ملاحظه جدی باشد.

به طور خلاصه ، سه مرحله ای که معمولاً برای آشکارسازی لبه انجام می شود عبارتند از:

۱. هموار کردن تصویر برای کاهش نویز. نیاز به این مرحله با نتایج در ستون های دوم و سوم شکل ۱۰.۱۱ نشان داده شده است.

۲. تشخیص نقاط لبه. همانطور که قبلاً ذکر شد ، این یک عملیات محلی است که تمام نقاطی را که از کاندیداهای احتمالی نقطه لبه هستند ، از یک تصویر استخراج می کند.

۳. محلی سازی لبه. هدف این مرحله این است که از بین نقاط کاندید فقط نقاطی را انتخاب کنید که از مجموعه نقاط شامل یک لبه تشکیل شده اند. بقیه این بخش به تکنیک های دستیابی به این اهداف می پردازد.



شکل ۱۰.۱۱ ستون اول: تصاویر ۸ بیتی با مقادیر در محدوده [۰ ، ۲۵۵] ، و پروفایل شدت لبه سطح شیب دار که توسط نویز گاوسی با میانگین صفر و انحراف استاندارد به ترتیب ۰.۰ ، ۰.۱ ، ۱.۰ و ۱۰.۰ شدت خراب شده است. به ستون دوم: تصاویر مشتق اول و پرونده های شدت. ستون سوم: تصاویر مشتق دوم و پروفایل شدت.

آشکارسازی لبه اساسی

همانطور که در بحث قبل نشان داده شد ، تشخیص تغییرات شدت برای هدف یافتن لبه ها می تواند با استفاده از مشتقات مرتبه اول یا دوم انجام شود. ما با مشتقات مرتبه اول شروع می کنیم و با مشتقات مرتبه دوم در زیر بخش زیر کار می کنیم.

گرادیان تصویر و خواص آن

ابزار انتخابی برای یافتن قدرت و جهت لبه در یک مکان دلخواه (x, y) یک تصویر f ، گرادیان است که با ∇f نشان داده شده و به عنوان بردار تعریف شده است.

$$\nabla f(x, y) \equiv \text{grad}[f(x, y)] \equiv \begin{bmatrix} g_x(x, y) \\ g_y(x, y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \\ \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (10-16)$$

برای راحتی، ما در اینجا برخی از مفاهیم گرادیان و معادلات معرفی شده در فصل ۳ را تکرار می کنیم.

این بردار دارای ویژگی شناخته شده ای است که در جهت حداکثر سرعت تغییر f در (x, y) نشان می دهد (به مسئله ۱۰.۱۰ مراجعه کنید). معادله (۱۰-۱۶) در یک نقطه دلخواه (اما تک) معتبر است (x, y) هنگامی که برای همه مقادیر قابل استفاده x و y ارزیابی می شود، $\nabla f(x, y)$ به یک تصویر بردار تبدیل می شود که هر عنصر آن بردار داده شده توسط معادله (۱۰-۱۶) است. مقدار $M(x, y)$ این بردار گرادیان در یک نقطه (x, y) داده شده است. با هنجار بردار اقلیدسی آن:

$$M(x, y) = \|\nabla f(x, y)\| = \sqrt{g_x^2(x, y) + g_y^2(x, y)} \quad (10-17)$$

این مقدار نرخ تغییر جهت بردار گرادیان در نقطه (x, y) است. توجه داشته باشید که $M(x, y)$ ، $\|\nabla f(x, y)\|$ ، $g_x(x, y)$ آرایه هایی با اندازه f هستند که زمانی ایجاد می شوند که x و y مجاز به تغییر بیش از همه مکانهای پیکسل در f معمولاً مرسوم است که از $M(x, y)$ و $\nabla f(x, y)$ به عنوان تصویر گرادیان، یا هنگامی که معنی واضح است، به عنوان گرادیان استفاده کرد. عملیات جمع بندی، مربع و ریشه مربع، عملیات عنصری هستند، همانطور که در بخش ۲.۶ مشخص شده است. جهت بردار گرادیان در یک نقطه (x, y) توسط

$$\alpha(x, y) = \tan^{-1} \left[\frac{g_y(x, y)}{g_x(x, y)} \right] \quad (10-18)$$

زاویه ها در جهت خلاف جهت عقربه های ساعت با توجه به محور x اندازه گیری می شوند (شکل ۲.۱۹ را ببینید). این نیز تصویری با اندازه f است که توسط تقسیم عنصری g_x و g_y بر روی تمام

مقادیر قابل استفاده x و y ایجاد شده است. مثال زیر نشان می دهد ، جهت یک لبه در یک نقطه (x, y) عمود بر جهت ، $a(x, y)$ بردار گرادیان در نقطه است.

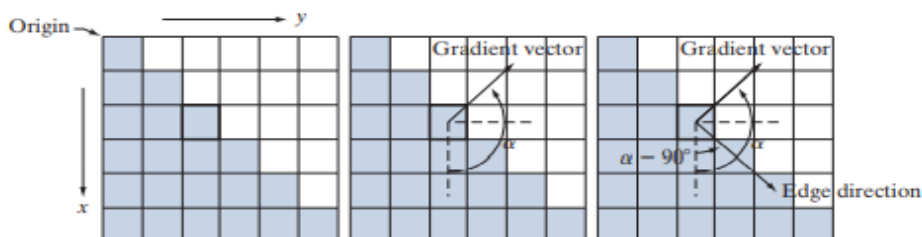
مثال ۱۰.۵: محاسبه گرادیان

شکل ۱۰.۱۲ (الف) یک قسمت بزرگنمایی شده از یک تصویر را که دارای یک قسمت لبه مستقیم است نشان می دهد. هر مربع مربوط به یک پیکسل است و ما علاقه مند هستیم که قدرت و جهت لبه را در نقطه ای که با یک جعبه برجسته شده است بدست آوریم. پیکسل های سایه دار در این تصویر دارای مقدار ۰ و پیکسل های سفید دارای ارزش ۱ هستند. ما بعد از این مثال روشی را برای محاسبه مشتقات در جهت x و y با استفاده از محله 3×3 در مرکز یک نقطه مورد بحث قرار می دهیم. به این روش شامل تفریق پیکسل های ردیف بالای محله از پیکسل های ردیف پایین برای بدست آوردن مشتق جزئی در جهت x است. به طور مشابه ، پیکسل های ستون سمت چپ را از پیکسل های ستون سمت راست محله کم می کنیم تا مشتق جزئی را در جهت y بدست آوریم. سپس با استفاده از این تفاوتها به عنوان برآورد ما از جزئیات ، $\partial f / \partial x = -2$ and $\partial f / \partial y = 2$ در نقطه مورد نظر به دست می آید. سپس،

$$\nabla f = \begin{bmatrix} g_x \\ g_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2 \\ 2 \end{bmatrix}$$

که از آن $\|\nabla f\| = 2\sqrt{2}$ در آن نقطه بدست می آوریم. به طور مشابه ، جهت بردار گرادیان در همان نقطه از معادله $(18-10)$ به دست می آید: $\alpha = \tan^{-1}(g_y/g_x) = -45^\circ$ که برابر با 135° درجه اندازه گیری شده در جهت مثبت (خلاف جهت عقربه های ساعت) نسبت به محور x در سیستم مختصات تصویر ما (شکل ۲.۱۹ را ببینید). شکل ۱۰.۱۲ (ب) بردار گرادیان و زاویه جهت آن را نشان می دهد. همانطور که قبلاً ذکر شد ، جهت یک لبه در یک نقطه متعلق به بردار گرادیان در آن نقطه است. بنابراین زاویه جهت لبه در این مثال $\alpha - 90^\circ = 135^\circ - 90^\circ = 45^\circ$ است ، همانطور که در شکل ۱۰.۱۲ (C) نشان داده شده است.

همه نقاط لبه در شکل ۱۰.۱۲ (a) دارای یک گرادیان یکسان هستند ، بنابراین کل قسمت لبه در یک جهت است. بردار شیب گاهی اوقات لبه نرمال نامیده می شود. هنگامی که بردار با تقسیم بر مقدار آن به طول واحد نرمال می شود ، بردار حاصله به عنوان لبه نرمال نامیده می شود.



a b c

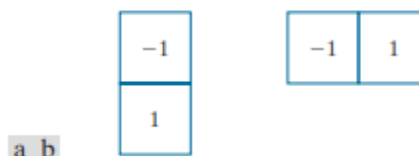
شکل ۱۰.۱۲ استفاده از شیب جهت تعیین قدرت و جهت لبه در یک نقطه. توجه داشته باشید که جهت لبه ها در جهت محاسبه گرادیان عمود بر جهت بردار گرادیان است. هر مربع نشان دهنده یک پیکسل است. (از شکل ۲.۱۹ به یاد بیاورید که مبدأ سیستم مختصات ما در بالا ، سمت چپ است.)

عملگرهای گرادیان

بدست آوردن شیب یک تصویر مستلزم محاسبه مشتقات جزئی $\frac{\partial f}{\partial x}$ و $\frac{\partial f}{\partial y}$ در هر مکان پیکسلی در تصویر است. برای گرادیان ، ما معمولاً از \mathbf{a} استفاده می کنیم. تفاوت محدود رو به جلو یا متمرکز (جدول ۱۰.۱ را ببینید). با استفاده از تفاوت های پیش رو به دست می آوریم

$$g_x(x, y) = \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} = f(x+1, y) - f(x, y) \quad (10-19)$$

$$g_y(x, y) = \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} = f(x, y+1) - f(x, y) \quad (10-20)$$



شکل ۱۰.۱۳ هسته های ۱ بعدی برای پیاده سازی معادلات (۱۰-۱۹) و (۱۰-۲۰) استفاده می شود.

این دو معادله را می توان برای همه مقادیر X و Y با فیلتر کردن $f(x, y)$ با هسته های ۱ بعدی در شکل ۱۰.۱۳ پیاده سازی کرد. وقتی جهت لبه مورب مورد توجه ما باشد، ما به هسته های دو بعدی نیاز داریم. عملگرهای گرادیان متقاطع رابرتز ([۱۹۶۵] Roberts) یکی از اولین تلاش ها برای استفاده از هسته های دو بعدی با ترجیح مورب هستند. ناحیه $3 * 3$ را در شکل ۱۰.۱۴ (الف) در نظر بگیرید. عملگرهای رابرتز بر اساس اجرای تفاوت های مورب هستند

$$g_x = \frac{\partial f}{\partial x} = (z_9 - z_5) \quad (10-21)$$

$$g_y = \frac{\partial f}{\partial y} = (z_8 - z_6) \quad (10-22)$$

هسته های فیلتر مورد استفاده برای محاسبه مشتقات مورد نیاز برای گرادیان را اغلب عملگرهای گرادیان، عملگرهای تفاوت، عملگرهای لبه یا آشکارسازهای لبه می نامند.

این مشتقات را می توان با فیلتر کردن یک تصویر با هسته های نشان داده شده در شکل ۱۰.۱۴ (ب) و (ج) پیاده سازی کرد. هسته های اندازه $2 * 2$ از نظر مفهومی ساده هستند، اما برای محاسبه مفید نیستند. قرار دادن جهت لبه به عنوان هسته های متقارن با مرکز خود، که کوچکترین آنها اندازه $3 * 3$ هستند. این هسته ها ماهیت داده ها را در طرفین نقطه مرکز در نظر می گیرند و بنابراین اطلاعات بیشتری در مورد جهت یک لبه ساده ترین تقریب های دیجیتالی به مشتقات جزئی با استفاده از هسته های اندازه $3 * 3$ توسط داده شده است

$$g_x = \frac{\partial f}{\partial x} = (z_7 + z_8 + z_9) - (z_1 + z_2 + z_3) \quad (10-23)$$

$$g_y = \frac{\partial f}{\partial y} = (z_3 + z_6 + z_9) - (z_1 + z_4 + z_7)$$

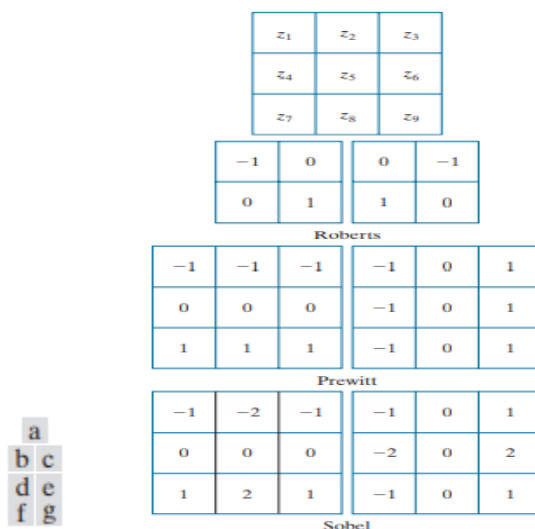
توجه داشته باشید که این دو معادله همانطور که در معادله (۱۰-۶)، ذکر شده است، تفاوت های مرکزی درجه اول هستند. اما ضرب در ۲.

در این فرمول بندی، تفاوت بین ردیف سوم و اول ناحیه $3 * 3$ مشتق را در جهت X نزدیک می کند و تفاوت بین ستون سوم و اول مشتق را در جهت Y تقریبی می داند. از نظر بصری، ما انتظار داریم که این تقریب ها دقیق تر از تقریب های بدست آمده با استفاده از عملگرهای روبرت باشند.

معادلات (۱۰-۲۲) و (۱۰-۲۳) را می توان در یک تصویر کامل با فیلتر کردن آن با دو هسته در شکل ها ۱۰.۱۴ (د) و (ه) پیاده سازی کرد. به این هسته ها عملگرهای Prewitt گفته می شود (Prewitt [۱۹۷۰]). تغییرات اندک دو معادله قبلی از وزن ۲ در ضرایب مرکزی استفاده می کند:

$$g_x = \frac{\partial f}{\partial x} = (z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3) \quad (10-24)$$

$$g_y = \frac{\partial f}{\partial y} = (z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7) \quad (10-25)$$



شکل ۱۰.۱۴ یک ناحیه ۳*۳ از یک تصویر (Z ها مقادیر شدت هستند) ، و هسته های مختلف برای محاسبه استفاده می شود شیب در نقطه با برچسب Z5.

می توان ثابت کرد (به مسأله ۱۰.۱۲ مراجعه کنید) که استفاده از عدد ۲ در مرکز ، هموار شدن تصویر را فراهم می کند. شکل ۱۰.۱۴ (f) و (g) هسته های مورد استفاده برای اجرای معادلات (۱۰-۲۴) و (۱۰-۲۵) را نشان می دهد. این هسته ها را عملگرهای Sobel می نامند (Sobel [۱۹۷۰]). پیاده سازی هسته های Prewitt ساده تر از هسته های Sobel است ، اما تفاوت محاسباتی جزئی بین آنها معمولاً مسئله ای نیست.

این واقعیت که هسته های Sobel دارای ویژگی های بهتر نویز (هموار کردن) هستند آنها را ترجیح می دهد زیرا ، همانطور که قبلاً در بحث شکل ۱۰.۱۱ ذکر شد ، سرکوب نویز مسئله مهمی در هنگام برخورد با مشتقات است. توجه داشته باشید که ضرایب همه هسته ها در شکل ۱۰.۱۴ برابر

صفر است ، بنابراین در مناطق با شدت ثابت ، همانطور که از عملگرهای مشتق انتظار می رود ، پاسخ صفر می دهد.

هر یک از جفت هسته ها از شکل ۱۰.۱۴ با یک تصویر ترکیب می شوند تا اجزای گرادیان g_x و g_y را در هر مکان پیکسل بدست آورند. سپس از این دو آرایه مشتق جزئی برای برآورد قدرت و جهت لبه استفاده می شود. بدست آوردن مقدار شیب نیاز به محاسبات در معادله (۱۰-۱۷) دارد. این پیاده سازی- ذکر همیشه بخاطر بار محاسباتی مورد نیاز مربعات و ریشه های مربع مطلوب نیست و روشی که اغلب مورد استفاده قرار می گیرد تقریب میزان شیب با مقادیر مطلق است:

$$M(x,y) = |g_x| + |g_y| \quad (10-26)$$

نتیجه مهم مسئله ۳.۳۲ را به خاطر بسپارید که با استفاده از هسته ای که ضرایب آن به صفر می رسد ، تصویری فیلتر شده ایجاد می شود که پیکسل های آن نیز به صفر می رسد. این به طور کلی نشان می دهد که برخی از پیکسل ها منفی خواهند بود. به طور مشابه ، اگر ضرایب هسته ۱ باشد ، مجموع پیکسل ها در تصاویر اصلی و فیلتر شده یکسان خواهد بود (به مسئله ۳.۳۱ مراجعه کنید) ، این معادله از نظر محاسباتی جذاب تر است و هنوز تغییرات نسبی در سطوح شدت را حفظ می کند. هزینه ای که برای این مزیت پرداخت می شود این است که فیلترهای حاصل به طور کلی ایزوتروپ (متغیر در چرخش) نخواهد بود. با این حال ، هنگامی که از هسته هایی مانند Prewitt و Sobel برای محاسبه g_x و g_y استفاده می شود ، این مسئله مطرح نیست زیرا این هسته ها فقط برای لبه های عمودی و افقی نتایج ایزوتروپیک می دهند. این بدان معناست که نتایج صرفاً برای لبه های آن دو جهت ، صرف نظر از اینکه از کدام دو معادله استفاده می شود ، ایزوتروپ است. یعنی معادله (۱۰-۱۷) و (۱۰-۲۶) هنگامی که از هسته Sobel یا Prewitt استفاده می شود نتایج یکسانی برای لبه های عمودی و افقی ارائه می دهند (به مسئله ۱۰.۱۱ مراجعه کنید).

هسته های 3×3 در شکل ۱۰.۱۴ قوی ترین پاسخ خود را عمدتاً برای لبه های عمودی و افقی نشان می دهد. هسته قطب نما (Kirsch [۱۹۷۱]) در شکل ۱۰.۱۵ ، برای تشخیص اندازه و جهت لبه (زاویه) در هر هشت جهت قطب نما طراحی شده است. به جای محاسبه مقدار با استفاده

از معادله (۱۷-۱۰) و زاویه با استفاده از معادله (۱۸-۱۰)، روش کرش این بود که اندازه لبه را با پیچاندن یک تصویر با هر هشت هسته تعیین کرده و قدر لبه را در نقطه ای به عنوان پاسخ هسته که قوی ترین مقدار حرکت را در آن نقطه می دهد، تعیین کند. سپس زاویه لبه در آن نقطه جهت مربوط به آن هسته است. به عنوان مثال، اگر قوی ترین مقدار در نقطه ای از تصویر ناشی از استفاده از هسته شمالی (N) باشد، مقدار لبه در آن نقطه به عنوان پاسخ آن هسته اختصاص داده می شود و جهت (زیرا هسته قطب نما جفت می شود) با چرخش ۱۸۰ درجه متفاوت است، اگر حداکثر پاسخ را انتخاب کنید، همیشه یک عدد مثبت ایجاد می شود. اگرچه هنگام کار با، مثلاً، هسته های سوبل، یک لبه شمالی یا جنوبی را عمودی می دانیم، اما هسته های قطب نما N و S بین این دو تفاوت قائل می شوند، تفاوت در جهت انتقال شدت است که لبه را مشخص می کند. به عنوان مثال، با فرض اینکه مقادیر شدت در محدوده [۰، ۱] هستند، لبه دوتایی در شکل ۱۰.۸ (الف) با سیاه (۰) در سمت چپ و سفید (۱) در سمت راست تعریف شده است. وقتی همه هسته های کرش به این لبه اعمال شوند، هسته N بالاترین مقدار را به دست می آورد، بنابراین نشان دهنده یک لبه جهت دار در جهت شمال (در نقطه محاسبه) است.

مثال ۱۰.۶: تصویر اندازه و زاویه گرادیان دو بعدی

شکل ۱۰.۱۶ پاسخ مقدار مطلق Sobel دو جزء گرادیان، g_x و g_y و همچنین تصویر گرادیان حاصل از مجموع این دو جزء را نشان می دهد. جهت گیری اجزای افقی و عمودی شیب در شکل ها ۱۰.۱۶ (ب) و (ج) مشهود است. برای مثال توجه داشته باشید که کاشی سقف، اتصالات افقی آجر و قطعات افقی پنجره ها در شکل ۱۰.۱۶ (ب) در مقایسه با سایر لبه ها چقدر قوی است. در مقابل، شکل ۱۰.۱۶ (ج) ویژگی هایی مانند اجزای عمودی نما و پنجره ها را ترجیح می دهد.

استفاده از اصطلاح نقشه لبه هنگام اشاره به تصویری که ویژگی های اصلی آن لبه ها است، مانند تصاویر با درجه گرادیان، اصطلاح رایج است. شدت تصویر در شکل ۱۰.۱۶ (a) تا محدوده [۰، ۱] افزایش یافته است. ما از مقادیر موجود در این محدوده برای ساده سازی انتخاب پارامترها در روشهای مختلف آشکارسازی لبه که در این بخش بحث شده است، استفاده می کنیم.

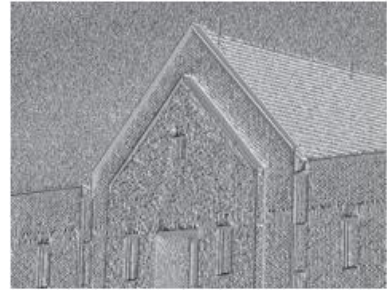
-3	-3	5	-3	5	5	5	5	5	5	5	-3
-3	0	5	-3	0	5	-3	0	-3	5	0	-3
-3	-3	5	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3
N			NW			W			SW		
5	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3
5	0	-3	5	0	-3	-3	0	-3	-3	0	5
5	-3	-3	5	5	-3	5	5	5	-3	5	5
S			SE			E			NE		

a	b	c	d
e	f	g	h

شکل ۱۰.۱۵ هسته های قطب نما Kirsch جهت لبه قوی ترین پاسخ هر هسته زیر آن برچسب گذاری شده است.



شکل ۱۰.۱۶ (الف) تصویر با اندازه $۸۳۴ * ۱۱۱۴$ پیکسل ، با مقادیر شدت در محدوده $[۰, ۱]$.
 (b) gx ، جزء شیب در جهت x ، با استفاده از هسته Sobel در شکل ۱۰.۱۴ (f) برای فیلتر کردن تصویر به دست آمده است. (c) gy ، با استفاده از هسته در شکل ۱۰.۱۴ (g) بدست آمده است. (د) شیب



شکل ۱۰.۱۷ تصویر زاویه گرادیان با استفاده از معادله (۱۰-۱۸) محاسبه می شود. مناطق با شدت ثابت در این تصویر نشان می دهد که جهت بردار گرادیان در تمام نقاط پیکسل در آن مناطق یکسان است.

شکل ۱۰.۱۷ تصویر زاویه شیب محاسبه شده با استفاده از معادله (۱۰-۱۸) را نشان می دهد. به طور کلی ، تصاویر زاویه ای به اندازه تصاویر بزرگنمایی برای آشکارسازی لبه ها مفید نیستند ، اما اطلاعات استخراج شده از یک تصویر را با استفاده از بزرگی شیب تکمیل می کنند. به عنوان مثال ، مناطق با شدت ثابت در شکل ۱۰.۱۶ (a) ، مانند لبه جلویی سقف شیب دار و نوارهای افقی بالای دیوار جلو ، در شکل ۱۰.۱۷ ثابت هستند ، که نشان می دهد جهت بردار گرادیان در تمام پیکسل ها مکانها در آن مناطق یکسان است همانطور که بعداً در این بخش نشان خواهیم داد ، اطلاعات زاویه ای نقش مهمی در اجرای الگوریتم آشکارسازی لبه Canny ، یک طرح آشکارسازی لبه به طور گسترده ای ایفا می کند.

تصویر اصلی در شکل ۱۰.۱۶ (a) دارای وضوح معقول بالایی است و در فاصله ای که تصویر به دست آمده است ، سهم آجرهای دیواری در جزئیات تصویر قابل توجه است. این سطح جزئیات اغلب در آشکارسازی لبه نامطلوب است زیرا تمایل دارد به عنوان نویز عمل کند ، که با محاسبات مشتق افزایش می یابد و بنابراین آشکارسازی لبه های اصلی را پیچیده می کند. یکی از راههای کاهش جزئیات ، هموار کردن تصویر قبل از محاسبه لبه ها است. شکل ۱۰.۱۸ همان توالی تصاویر را در شکل ۱۰.۱۶ نشان می دهد ، اما تصویر اصلی ابتدا با استفاده از فیلتر میانگین ۵*۵ هموار شده است (در مورد همواری فیلترها به بخش ۳.۵ مراجعه کنید). در حال حاضر پاسخ هر هسته به دلیل آجرها تقریباً هیچ سهمی را نشان نمی دهد ، و نتایج بیشتر تحت حاشیه های اصلی تصویر است.

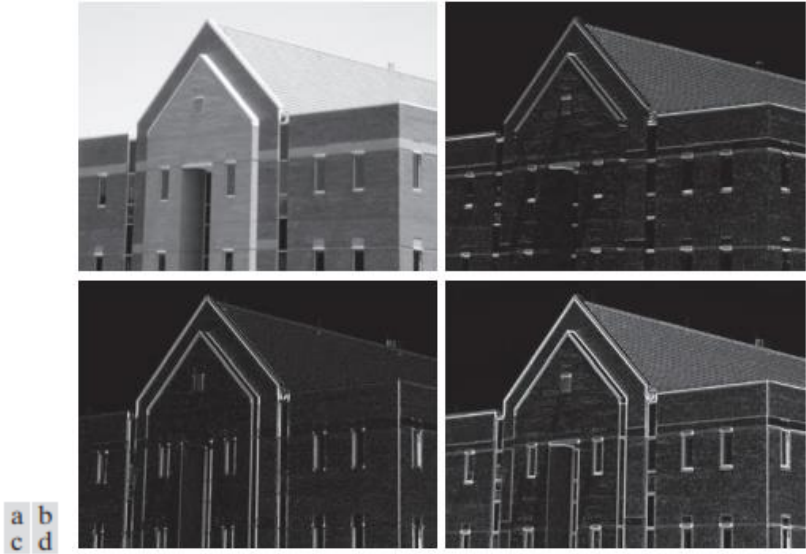
شکل های ۱۰.۱۶ و ۱۰.۱۸ نشان می دهد که هسته های افقی و عمودی سوبل بین لبه ها در جهت ± 45 تفاوت قائل نمی شوند. اگر تأکید بر لبه های اندازه گیری شده در جهت های مورب خاص مهم است ، باید از یکی از هسته های کرش در شکل ۱۰.۱۵ استفاده کرد. شکل های ۱۰.۱۹ (الف) و (ب) به ترتیب پاسخهای ۴۵ درجه (NW و -۴۵ SW) کرش را نشان می دهند. انتخاب مورب قوی تر این هسته ها در این تصاویر مشهود است. هر دو هسته پاسخ های مشابهی به لبه های افقی و عمودی دارند ، اما پاسخ در این جهات ضعیف تر است.

ترکیب گرادیان با آستانه

نتایج در شکل ۱۰.۱۸ نشان می دهد که آشکارسازی لبه را می توان با هموار کردن تصویر قبل از محاسبه شیب انتخابی تر کرد. رویکرد دیگری که هدف آن دستیابی به همان هدف است ، آستانه گذاری تصویر گرادیان است. به عنوان مثال ، شکل ۱۰.۲۰ (الف) تصویر گرادیان را از شکل ۱۰.۱۶ (د) نشان می دهد ، در آستانه ، به طوری که پیکسل هایی با مقادیر بزرگتر یا مساوی ۳۳ درصد از حداکثر مقدار تصویر گرادیان به رنگ سفید نشان داده می شوند. ، در حالی که پیکسل های زیر مقدار آستانه به رنگ سیاه نشان داده شده است. با مقایسه این تصویر با شکل ۱۰.۱۶ (d)، می بینیم که لبه های کمتری در تصویر آستانه وجود دارد و لبه های این تصویر بسیار واضح تر هستند (برای مثال ، لبه های کاشی سقف را ببینید). از سوی دیگر ، لبه های متعددی ، مانند خط شیب دار که لبه دور سقف را مشخص می کند (پیکان را ببینید) ، در تصویر آستانه شکسته شده است.

وقتی علاقه به برجسته سازی حاشیه های اصلی و حفظ ارتباط هرچه بیشتر نهفته است ، استفاده از هموارسازی و آستانه کاری متداول است. شکل ۱۰.۲۰ (ب) نتیجه آستانه را نشان می دهد شکل ۱۰.۱۸ (د) ، که شیب تصویر هموار شده است. این نتیجه کاهش تعداد لبه های شکسته را نشان می دهد. به عنوان مثال ، لبه های مربوطه را که با پیکان های شکل ۱۰.۲۰ (الف) و (ب) مشخص شده است ، مقایسه کنید.

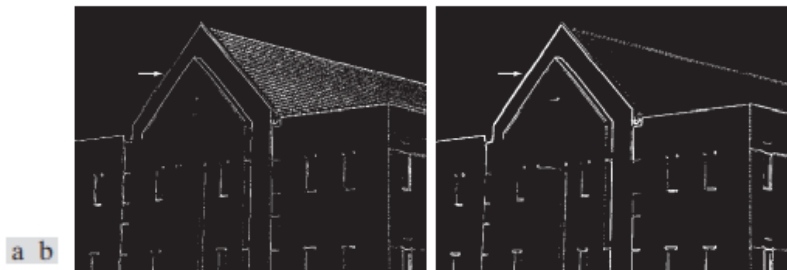
آستانه مورد استفاده برای ایجاد شکل ۱۰.۲۰ (a) به گونه ای انتخاب شد که بیشتر لبه های کوچک ناشی از آجر حذف شد. این همان هدف زمانی بود که تصویر شکل ۱۰.۱۶ (a) قبل از محاسبه گرادیان هموار شد.



شکل ۱۰.۱۸ همان ترتیب در شکل ۱۰.۱۶ ، اما با تصویر اصلی با استفاده از یک هسته میانگین 5×5 قبل از آشکارسازی لبه هموار شده است



شکل ۱۰.۱۹ آشکارسازی لبه مورب (الف) نتیجه استفاده از هسته کرش در شکل ۱۰.۱۵ (ج). (ب) نتیجه استفاده از هسته در شکل ۱۰.۱۵ (d) تصویر ورودی در هر دو مورد شکل ۱۰.۱۸ (a) بود.



تصویر ۱۰.۲۰ (الف) نتیجه آستانه شکل ۱۰.۱۶ (د) ، شیب تصویر اصلی. (ب) نتیجه آستانه شکل ۱۰.۱۸ (د) ، شیب آن تصویر هموار شده

تکنیک های پیشرفته تر برای آشکارسازی لبه

روشهای آشکارسازی لبه که در بخشهای قبلی مورد بحث قرار گرفت ، بر اساس فیلتر کردن یک تصویر با یک یا چند هسته ، بدون هیچ گونه پیش بینی برای ویژگیهای لبه و محتوای نویز است. در این بخش ، ما تکنیک های پیشرفته تری را بحث می کنیم که سعی می کنند با در نظر گرفتن عواملی مانند نویز تصویر و ماهیت خود لبه ها ، روش های ساده آشکارسازی لبه را بهبود بخشند.

آشکارساز لبه Marr-Hildreth

یکی از اولین تلاشهای موفق برای گنجاندن تجزیه و تحلیل‌های پیچیده تر در فرایند یافتن لبه ، به Marr و هیلدرت نسبت داده شده است [۱۹۸۰]. روشهای آشکارسازی لبه که در آن زمان استفاده می شد بر اساس عملگرهای کوچک مانند هسته Sobel بود که قبلاً مورد بحث قرار گرفت.

Marr و هیلدرت (۱) استدلال کردند که تغییرات شدت مستقل از مقیاس تصویر نیستند ، بدین معنی که تشخیص آنها مستلزم استفاده از عملگرهای اندازه های مختلف است. و (۲) که یک تغییر ناگهانی شدت منجر به ایجاد یک قله یا نهر در مشتق اول یا معادل آن با صفر در مشتق دوم می شود (همانطور که در شکل ۱۰.۱۰ دیدیم).

این ایده ها نشان می دهد که اپراتوری که برای آشکارسازی لبه استفاده می شود باید دارای دو ویژگی برجسته باشد. اول و مهمتر از همه ، باید یک اپراتور دیفرانسیل باشد که بتواند تقریبی دیجیتالی مشتق اول یا دوم را در هر نقطه از تصویر محاسبه کند. ثانیاً ، باید بتواند در هر مقیاس دلخواه "تنظیم" شود ، به طوری که از عملگرهای بزرگ برای آشکارسازی لبه های تار و عملگرهای کوچک برای تشخیص جزئیات دقیق متمرکز استفاده شود. Marr و هیلدرت پیشنهاد کردند که راضی کننده ترین عملگر که این شرایط را برآورده می کند ، فیلتر $\nabla^2 G$ است ، همانطور که در بخش ۳.۶ تعریف شده است ، ∇^2 لاپلاسیان است ، و G تابع گاوسی دو بعدی است.

$$G(x,y) = e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (10-27)$$

معادله (۱۰-۲۷) با تعریف یک تابع گاوسی با یک ثابت ضرب تفاوت دارد. [به معادله مراجعه کنید (۳-۴۵)]. در اینجا ، ما فقط به شکل کلی تابع گاوسی علاقه داریم

با انحراف استاندارد σ گاهی اوقات $\sqrt{2}\sigma$ در این زمینه ثابت فضا نامیده می شود). با به کار بردن لاپلاسیان ایی در معادله (۱۰-۲۷)، عبارتی برای $\nabla^2 G$ پیدا می کنیم:

$$\begin{aligned}\nabla^2 G(x,y) &= \frac{\partial^2 G(x,y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 G(x,y)}{\partial y^2} \\ &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{-x}{\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{-y}{\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \right) \\ &= \left(\frac{x^2}{\sigma^4} - \frac{1}{\sigma^2} \right) e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} + \left(\frac{y^2}{\sigma^4} - \frac{1}{\sigma^2} \right) e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}\end{aligned}\quad (10-28)$$

با جمع آوری شرایط ، به دست می آوریم

$$\nabla^2 G(x,y) = \left(\frac{x^2 + y^2 - 2\sigma^2}{\sigma^4} \right) e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (10-29)$$

این عبارت لاپلاسیان گوسی (LOG) نامیده می شود. شکل های ۱۰.۲۱ (الف) تا (ج) نمودار سه بعدی ، تصویر و مقطع منفی تابع LOG را نشان می دهند (توجه داشته باشید که صفر عبور از LOG در $x^2 + y^2 = 2\sigma^2$ رخ می دهد ، که یک دایره را تعریف می کند. شعاع ۵۲ با محوریت اوج تابع گوسی). به دلیل شکل نشان داده شده در شکل ۱۰.۲۱ (a)، عملکرد LOG را گاهی اپراتور کلاه مکزیکی می نامند. شکل ۱۰.۲۱ (د) یک هسته ۵*۵ را نشان می دهد که شکل آن را در شکل ۱۰.۲۱ (الف) تقریب می زند (به طور معمول ، ما از منفی این هسته استفاده می کنیم). این تقریب منحصر به فرد نیست. هدف آن گرفتن شکل اصلی عملکرد LOG است. از نظر شکل ۱۰.۲۱ (a)، این به معنای یک عبارت مثبت و مرکزی است که توسط یک ناحیه مجاور و منفی احاطه شده است که مقادیر آن به عنوان تابعی از فاصله از مبدا و یک ناحیه بیرونی صفر کاهش می یابد. ضرایب باید به صفر برسند به طوری که پاسخ هسته در مناطق با شدت ثابت صفر باشد. با نمونه برداری از معادله (۱۰-۲۹) می توان هسته های فیلتر با اندازه دلخواه (اما ثانیه ثانیه) ایجاد کرد. و مقیاس پذیری ضرایب به طوری که مجموع آنها به صفر برسد. یک روش موثرتر برای تولید هسته LOG نمونه برداری از معادله (۱۰-۲۷) است. به اندازه دلخواه ، سپس آرایه به دست آمده را با یک هسته لاپلاسیان مانند هسته در شکل ۱۰.۴ (الف) مخلوط کنید.

از آنجا که پیچاندن تصویری با هسته ای که ضرایب آن به صفر می رسد ، تصویری را که عناصر آن نیز صفر است به دست می آورد (به مسائل ۳.۳۲ و ۱۰.۱۶ مراجعه کنید) ، این رویکرد به طور خودکار این الزام را دارد که مجموع ضرایب هسته LOG صفر باشد. ما بعداً در این قسمت درباره انتخاب اندازه برای LOG فیلتر صحبت خواهیم کرد.

دو ایده اساسی پشت انتخاب اپراتور $\nabla^2 G$ وجود دارد. اول ، قسمت گوسی اپراتور تصویر را تار می کند ، بنابراین شدت ساختارها (از جمله نویز) را در مقیاس های بسیار کوچکتر از S کاهش می دهد. بر خلاف فیلتر میانگین استفاده شده در شکل ۱۰.۱۸ ، عملکرد گوسی در هر دو حوزه فضایی و فرکانسی یکنواخت است (بخش ۴.۸ را ببینید) ، و بنابراین احتمالاً مصنوعات (به عنوان مثال ، زنگ زدن) که در تصویر اصلی وجود ندارد را کمتر معرفی می کند. ایده دیگر مربوط به خواص مشتق دوم عملگر لاپلاسین ، ∇^2 است. اگرچه مشتقات اول می توانند برای تشخیص تغییرات ناگهانی در شدت مورد استفاده قرار گیرند ، اما آنها عملگرهای جهت دار هستند. از طرف دیگر ، لاپلاسین از مزیت مهم ایزوتروپ بودن (تغییرناپذیر در چرخش) برخوردار است ، که نه تنها با ویژگی های سیستم بینایی انسان مطابقت دارد (Marr [۱۹۸۲]) بلکه به تغییرات شدت در هر شرایطی به یک اندازه پاسخ می دهد. جهت هسته ، بنابراین از استفاده از چندین هسته برای محاسبه قوی ترین پاسخ در هر نقطه از تصویر اجتناب می شود. الگوریتم Marr-Hildreth شامل پیچاندن هسته LOG با یک تصویر ورودی است ،

$$g(x, y) = [\nabla^2 G(x, y)] * f(x, y) \quad (10-30)$$

و سپس صفر عبور $g(x, y)$ را برای تعیین محل لبه ها در $f(x, y)$ پیدا کنید. از آنجا که لاپلاسین و پیچیدگی فرآیندهای خطی هستند ، می توانیم معادله (۱۰-۳۰) را بنویسیم. به عنوان

$$g(x, y) = \nabla^2 [G(x, y) * f(x, y)] \quad (10-31)$$

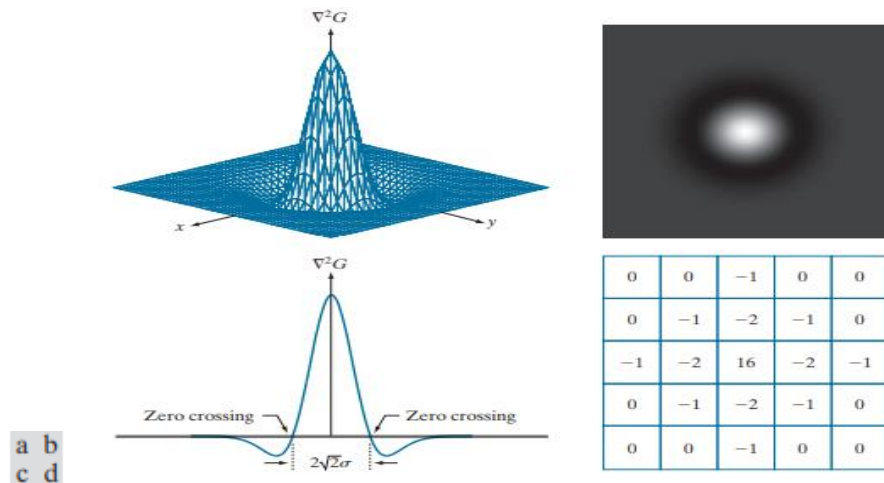
نشان می دهد که ما می توانیم ابتدا تصویر را با یک فیلتر گوسی هموار کرده و سپس لاپلاسین تیجه را محاسبه کنیم. این دو معادله نتایج یکسانی را ارائه می دهند.

الگوریتم آشکارسازی لبه Marr-Hildreth ممکن است به شرح زیر خلاصه شود:

۱. تصویر ورودی را با هسته $n \times n$ گوسی پایین گذر که با نمونه برداری از معادله (۱۰-۲۷) بدست آمده فیلتر کنید.

۲. لاپلاسین تصویر حاصل از مرحله ۱ را با استفاده از هسته کرنر 3×3 در شکل ۱۰.۴ (a) محاسبه کنید. [مراحل ۱ و ۲ پیاده سازی معادله (۱۰-۳۱).]

۳. صفرهای عبور تصویر را از مرحله ۲ پیدا کنید. این عبارت در حوزه فضایی با استفاده از معادله (۳-۳) پیاده سازی شده است. همچنین می تواند در حوزه فرکانس با استفاده از معادله (۴-۱۰۴) پیاده سازی شود.



شکل ۱۰.۲۱ (الف) نمودار سه بعدی منفی LOG. (ب) منفی LOG نمایش داده شده به عنوان یک تصویر. (ج) مقطع (الف) صفر عبور را نشان می دهد. (د) تقریب هسته 5×5 به شکل در (الف).

برای تعیین اندازه هسته گوس، از بحث ما در شکل ۳.۳۵ یادآوری کنید که مقادیر یک تابع گوسی در فاصله ای بزرگتر از ۳ ثانیه از میانگین به اندازه کافی کوچک است به طوری که می توان آنها را نادیده گرفت. همانطور که در بخش ۳.۵ مورد بحث قرار گرفت، این بدان معناست که از هسته گوسی با اندازه $[6\sigma] \times [6\sigma]$ استفاده می کنیم، جایی که $[6\sigma]$ سقف 6σ را نشان می دهد. یعنی کوچکترین عدد صحیح نه کمتر از ۶ ثانیه. از آنجا که ما با هسته های بعد فرد کار می کنیم.

بنابراین ، ما از کوچکترین عدد صحیح فرد استفاده می کنیم که این شرایط را برآورده می کند. استفاده از یک هسته کوچکتر از این ، عملکرد LOG را "کوتاه" می کند ، در حالی که میزان کوتاه شدن با اندازه هسته معکوس است. استفاده از هسته بزرگتر تفاوت کمی در نتیجه ایجاد می کند.

یک روش برای یافتن صفرهای عبور در هر پیکسل ، p ، از تصویر فیلتر شده ، $g(x, y)$ استفاده از محله $3 * 3$ با مرکزیت p است. عبور صفر در p نشان می دهد که علائم حداقل دو پیکسل مجاور مخالف آن باید متفاوت باشد. چهار مورد برای آزمایش وجود دارد: چپ/راست ، بالا/پایین و دو مورب. اگر مقادیر $g(x, y)$ در برابر آستانه (رویکرد متداول) مقایسه شود ، نه تنها باید نشانه های همسایگان مخالف متفاوت باشند ، بلکه مقدار مطلق تفاوت عددی آنها نیز باید از آستانه قبل فراتر رود. ما می توانیم پیکسل بدون صفر را نويز کنیم. ما این روش را در مثال ۱۰.۷ نشان می دهیم.

محاسبه صفر گذرها ویژگی اصلی روش آشکارسازی لبه Marr-Hildreth است. رویکردی که در پاراگراف قبل مورد بحث قرار گرفت ، به دلیل سادگی اجرا و به طور کلی نتایج خوبی دارد. اگر دقت مکانهای عبور صفر که با استفاده از این روش یافت می شود در یک برنامه خاص ناکافی است ، می توان از تکنیکی که توسط Huertas و Medioni [۱۹۸۶] برای پیدا کردن صفر گذر با دقت زیر پیکسل پیشنهاد شده است استفاده کرد.

همانطور که در بخش ۳.۵ توضیح داده شد [۰] and [۰]؛ عملکرد سقف و کف را نشان می دهد. یعنی توابع سقف و کف به ترتیب یک عدد واقعی را به کوچکترین عدد صحیح یا بزرگترین عدد صحیح قبلی ترسیم می کنند. تلاش برای یافتن صفر عبور با یافتن مختصات (x, y) که در آن $g(x, y) = 0$ به دلیل نويز و دیگر عدم دقت های محاسباتی غیر عملی است.

مثال ۱۰.۷: تصویری از روش آشکارسازی لبه Marr-Hildreth.

شکل ۱۰.۲۲ (الف) تصویر اسکلت مورد استفاده قبلی را نشان می دهد و شکل ۱۰.۲۲ (ب) نتیجه مراحل ۱ و ۲ الگوریتم Marr-Hildreth ، با استفاده از $s = 4$ (تقریباً ۰.۵٪ از ابعاد کوتاه تصویر) و $n = 25$ برای برآوردن شرایط اندازه ذکر شده در بالا. مانند شکل ۱۰.۵ ، رنگ های خاکستری در این تصویر به دلیل مقیاس بندی است.