

پروژه قطعه بندی تصویر مبتنی بر هیستوگرام رنگی تصویر

شرح الگوریتم، شکل‌ها، و پیاده‌سازی عملی

مدرس: دکتر هادی صدوقی یزدی

دانشجو: محسن ابولی نسب

دانشگاه فردوسی مشهد

فهرست مطالب

۱	بخش‌بندی تصویر مبتنی بر فضای رنگی RGB و قله‌های هیستوگرام	۱.۰
۱	مبانی و مفاهیم بخش‌بندی در فضای رنگی RGB	۱.۱.۰
۱	شرح گام‌به‌گام روند اجرای الگوریتم	۲.۱.۰
۳	نتایج بصری و تصاویر ماسک‌شده	۳.۱.۰

فهرست تصاویر

۱	توصیف گرافیکی از فرایند تطبیقی یافتن عرض متناظر با هر قله	۳
۳	نمونه ماسک‌های باینری استخراج‌شده از قله‌های مجزای هیستوگرام و ماسک حاصل از ادغام آن‌ها برای	
۳	کانال سبز	
۲	نتایج تفکیک و بخش‌بندی تصویر ورودی بر اساس کانال‌های رنگی غالب و ترکیب قله‌های هیستوگرام . .	۴
۴	هیستوگرام تصویر در فضای رنگی HSV	۵

فهرست جداول

۱	پارامترهای تنظیمی پیاده‌سازی الگوریتم بخش‌بندی	۳
---	--	---

۱.۰ بخش‌بندی تصویر مبتنی بر فضای رنگی RGB و قله‌های هیستوگرام

۱.۱.۰ مبانی و مفاهیم بخش‌بندی در فضای رنگی RGB

بخش‌بندی تصویر (Image Segmentation) فرآیند افراز یک تصویر دیجیتال به چندین ناحیه همگن، معنادار و متمایز بر اساس ویژگی‌هایی نظیر شدت روشنایی، رنگ، بافت یا مرزهای لبه است. در پردازش تصاویر رنگی، رنگ یکی از قدرتمندترین ویژگی‌های بصری برای تفکیک اشیاء از پس‌زمینه و دسته‌بندی ساختارهای درون صحنه به‌شمار می‌رود.

فضای رنگی RGB متداول‌ترین مدل نمایش تصاویر دیجیتال است که در آن هر پیکسل با بردار شدت رنگ سه مؤلفه‌ای $\mathbf{c}(x, y) = [R(x, y), G(x, y), B(x, y)]^T$ توصیف می‌گردد. با وجود این‌که در فضای RGB مؤلفه‌های رنگ و شدت روشنایی در هم تنیده بوده و همبستگی بالایی میان کانال‌ها وجود دارد، می‌توان با تکیه بر ویژگی «غلبه کانال رنگی» (Channel Dominance) و استخراج قله‌های محلی در هیستوگرام هر کانال، نواحی با تمایز طیفی بالا را به‌صورت تطبیقی و دقیق استخراج نمود.

در روش پیاده‌سازی‌شده در این برنامه، دو معیار مکمل برای استخراج هر ناحیه مدنظر قرار می‌گیرد:

۱. معیار غلبه رنگی (Color Dominance): مشخص می‌کند که در مختصات یک پیکسل، شدت کانال هدف نسبت به سایر کانال‌ها بیشینه است:

$$\mathcal{M}_{\text{dominant}}(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{اگر } \arg \max_{c \in \{R, G, B\}} c(x, y) = c_{\text{target}} \\ 0, & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (1)$$

۲. معیار بازه شدت روشنایی (Intensity Interval): با تحلیل هیستوگرام هموارشده و شناسایی قله‌ها و دره‌های مجاور، بازه تطبیقی [lower, upper] استخراج می‌شود تا پیکسل‌های متعلق به هر دسته از شدت روشنایی در کانال هدف غربال‌گری شوند.

۲.۱.۰ شرح گام‌به‌گام روند اجرای الگوریتم

روند گام‌به‌گام اجرای الگوریتم جهت پردازش تصویر و تولید خروجی‌ها به شرح زیر است:

۱. گام ۱: ورودی و مقداردهی اولیه (Input & Initialization)

- دریافت مسیر تصویر: مسیر فایل تصویر از کاربر دریافت شده و در صورت خالی بودن ورودی، مسیر پیش‌فرض مبنا قرار می‌گیرد.
- بارگذاری تصویر: تصویر با دستور `cv2.imread` در قالب BGR خوانده شده و بررسی عدم تهی بودن ماتریس ورودی انجام می‌شود.
- تبدیل فضای رنگی: تصویر با استفاده از `cv2.cvtColor` به فضای RGB تبدیل شده و پوشه خروجی‌ها ایجاد می‌گردد.
- تفکیک کانال‌ها: ماتریس سه‌بعدی تصویر به سه کانال دوبعدی مجزا برای رنگ‌های قرمز، سبز و آبی تجزیه می‌شود.

۲. گام ۲: ماسک گذاری کانال غالب و تشخیص قله ها (Dominance Masking & Peak Detection)

- تولید ماسک غالب: با دستور `np.argmax(image_rgb, axis=2)` پیکسل هایی که در آن ها کانال مورد نظر بیشترین شدت را دارد استخراج می شوند.
- محاسبه هیستوگرام: با تابع `cv2.calcHist`، هیستوگرام شدت روشنایی ۲۵۶ سطحی کانال محاسبه می گردد.
- هموارسازی گوسی: به کمک فیلتر گوسی یک بعدی (`gaussian_filter1d`) با پارامتر $\sigma = 2.0$ ، نویزهای فرکانس بالای هیستوگرام حذف می شوند.
- یافتن قله ها: با تابع `scipy.signal.find_peaks`، قله هایی با حداقل برجستگی نسبی ۲ درصد دامنه بیشینه و حداقل فاصله ۱۰ باین استخراج می شوند.

۳. گام ۳: تعیین بازه های تطبیقی شدت روشنایی (Adaptive Interval Determination)

- حالت تک قله (**Single Peak**): در صورت شناسایی تنها یک قله (p)، کران ها با ضریب ۶۰ درصد به صورت زیر محاسبه می شوند:
- $$\text{lower} = \max(0, p - 0.6 \times p), \quad \text{upper} = \min(255, p + 0.6 \times (255 - p)) \quad (۲)$$
- حالت چند قله ای (**Multiple Peaks**): برای هر قله، پنجره جستجو بر اساس فاصله تا قله های مجاور تشکیل شده و با دستور `np.argmin`، کمینه محلی (دره) به عنوان مرز آستانه گذاری تعیین می گردد.

۴. گام ۴: تولید و پالایش ریخت شناسی ماسک (Mask Generation & Morphological Cleaning)

- آستانه گذاری شدت: با تابع `cv2.inRange`، پیکسل های واقع در بازه `[lower, upper]` ماسک می شوند.
- عطف با ماسک غالب: با استفاده از عملگر عطف بیتی (`cv2.bitwise_and`)، تنها پیکسل های دارای رنگ غالب حفظ می گردند.
- پالایش مورفولوژیکی: به منظور حذف نویزها و ترمیم حفرات ریز، عملگرهای بازکردن (**Opening**) و بستن (**Closing**) با المان ساختاری بیضی 5×5 اعمال می شوند:

$$\mathcal{M}_{\text{clean}} = (\mathcal{M}_{\text{raw}} \circ B) \bullet B \quad (۳)$$

- تجمیع ماسک های کانال: ماسک هر قله با عملگر فصل بیتی (`cv2.bitwise_or`) به ماسک کلی کانال افزوده می شود.

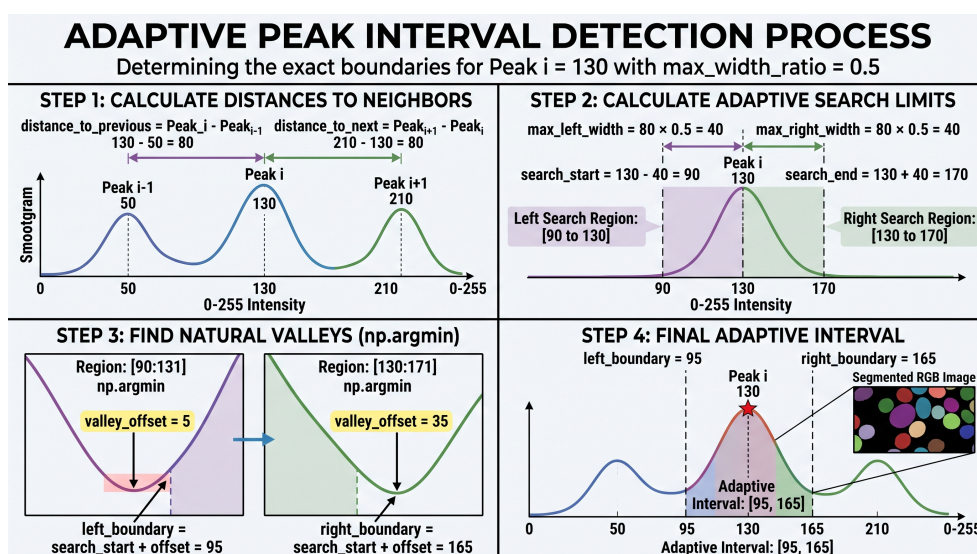
۵. گام ۵: استخراج و ذخیره سازی خروجی ها (Output Generation & File Storage)

- اعمال ماسک بر تصویر اصلی: ماسک پالایش شده با تصویر رنگی RGB از طریق `cv2.bitwise_and` ترکیب می شود.
- ذخیره سازی انفرادی: ماسک باینری و تصویر ماسک شده هر قله به صورت فایل های مجزای PNG در پوشه متناظر با کانال ذخیره می گردند.

□ ذخیره‌سازی تجمیعی: پس از اتمام تمامی قله‌ها، ماسک ترکیبی نهایی کل کانال و تصویر ماسک‌شده آن ذخیره می‌شوند.

جدول ۱: پارامترهای تنظیمی پیاده‌سازی الگوریتم بخش‌بندی

نام متغیر در کد	مقدار پیش‌فرض	نقش عملکردی در الگوریتم
GAUSSIAN_SIGMA	2.0	انحراف معیار فیلتر گوسی جهت هموارسازی منحنی هیستوگرام
MIN_PEAK_PROMINENCE_RATIO	0.02	حداقل برجستگی نسبی برای غربال‌گری قله‌های معتبر
MIN_PEAK_DISTANCE	10	حداقل فاصله مجاز بین دو قله برحسب سطوح شدت روشنایی
MAX_WIDTH_RATIO	0.6	نسبت تعیین پهنای پنجره جستجوی دره پیرامون قله‌ها
MORPH_KERNEL_SIZE	5	ابعاد المان ساختاری بیضوی در عملگرهای مورفولوژی



شکل ۱: توصیف گرافیکی از فرایند تطبیقی یافتن عرض متناظر با هر قله

۳.۱.۰ نتایج بصری و تصاویر ماسک‌شده

در شکل ۲ نتایج اعمال الگوریتم بر روی تصویر ورودی و تفکیک بر مبنای کانال‌های رنگی غالب (Blue و Green, Red) نشان داده شده است. همچنین در شکل ۳ روند تفکیک پله‌پله بر اساس قله‌های متمایز هیستوگرام برای یک کانال نمونه آورده شده است.



(ج) ماسک باینری قله سوم

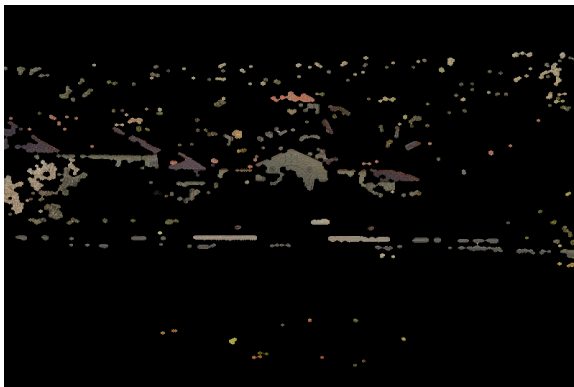
(ب) ماسک باینری قله دوم

(آ) ماسک باینری قله اول

شکل ۳: نمونه ماسک‌های باینری استخراج‌شده از قله‌های مجزای هیستوگرام و ماسک حاصل از ادغام آن‌ها برای کانال سبز



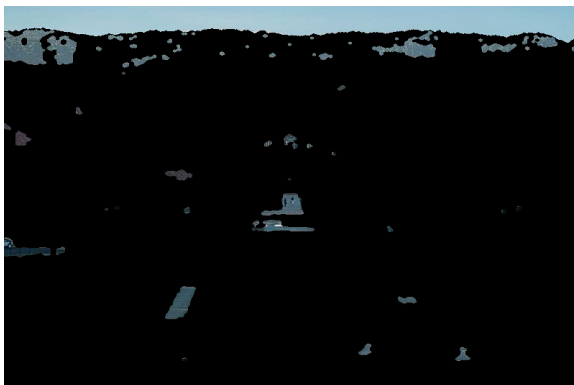
(آ) تصویر اصلی ورودی



(ب) نتیجه تفکیک کانال غالب قرمز (Red)



(ج) نتیجه تفکیک کانال غالب سبز (Green)

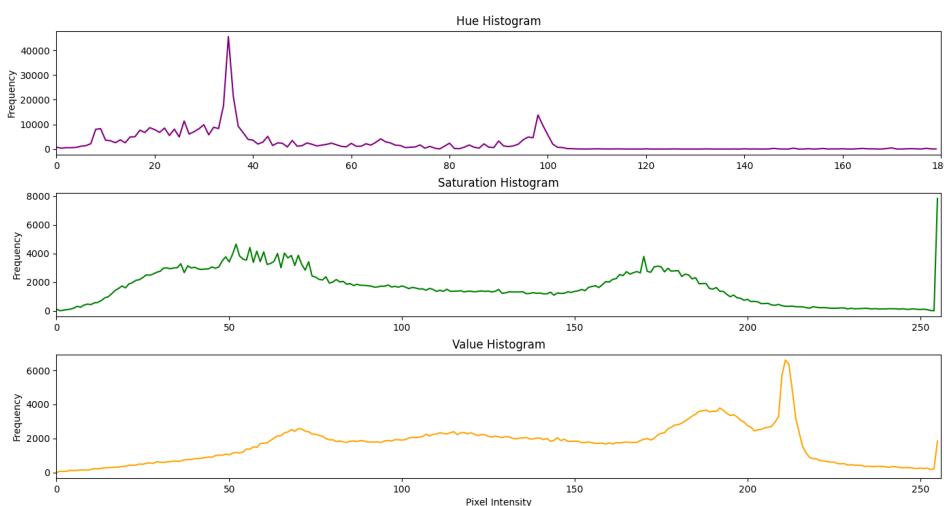


(د) نتیجه تفکیک کانال غالب آبی (Blue)

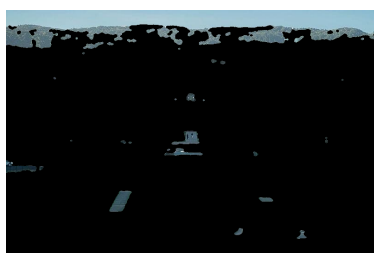
شکل ۲: نتایج تفکیک و بخش‌بندی تصویر ورودی بر اساس کانال‌های رنگی غالب و ترکیب قله‌های هیستوگرام

□ قطعه‌بندی تصویر مبتنی بر فضای رنگی HSV (HSV-based image segmentation): در این روش، ابتدا تصویر از فضای رنگی RGB به فضای رنگی HSV تبدیل می‌شود. این فضا شامل سه مؤلفه فام (Hue)، اشباع رنگ (Saturation) و مقدار روشنایی (Value) است. با تعیین بازه‌های مناسب برای این مؤلفه‌ها، می‌توان ماسکی دودویی ایجاد کرد که پیکسل‌های دارای ویژگی‌های رنگی موردنظر را از سایر بخش‌های تصویر جدا می‌کند. این روش به‌ویژه برای جداسازی اشیایی با رنگ مشخص، مانند پوشش گیاهی یا اجسام رنگی، کاربرد دارد.

□ تفاوت با قطعه‌بندی مبتنی بر فضای رنگی RGB (RGB-based image segmentation): در روش RGB، آستانه‌گذاری مستقیماً بر مؤلفه‌های قرمز، سبز و آبی انجام می‌شود؛ درحالی‌که در فضای HSV، مؤلفه فام از مؤلفه روشنایی متمایز است و تعریف بازه‌های رنگی معمولاً ساده‌تر انجام می‌شود. بنابراین، روش HSV اغلب برای قطعه‌بندی مبتنی بر رنگ مناسب‌تر است؛ باین‌حال، تغییرات نورپردازی و کاهش اشباع رنگ می‌تواند دقت آن را تحت تاثیر قرار دهند. هیچ‌یک از این دو روش به‌تنهایی تضمین نمی‌کند که نواحی استخراج‌شده دقیقاً با اشیای معنایی تصویر مطابقت داشته باشند.



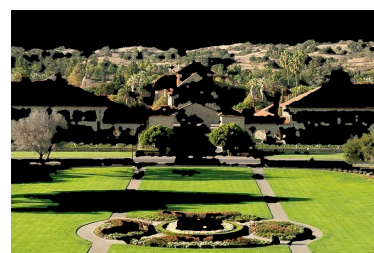
شکل ۴: هیستوگرام تصویر در فضای رنگی HSV



(آ) تصویر ماسک شده روی قله اول (۳۵) در هیستوگرام فام



(ب) تصویر ماسک شده روی قله اول (۶۶) در هیستوگرام فام



(ج) تصویر ماسک شده روی قله اول (۹۵) در هیستوگرام فام