



دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی برق

بینایی ماشین (Machine Vision)

Assignment 2

نگارش

علی دانشپور

محمد مهدی نجفی زاده

استاد درس

دکتر زهرا سادات شریعتمداری مرتضوی

آبان ۱۴۰۳

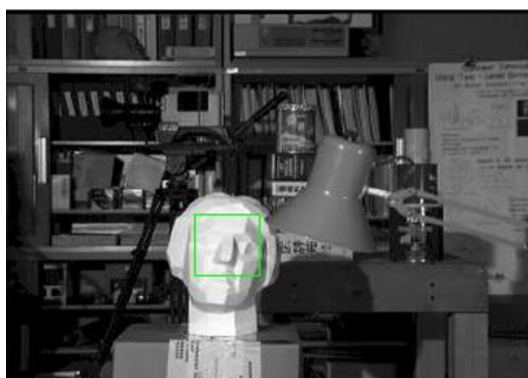
بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تمرین‌های برنامه نویسی

۱ - یکی از الگوریتم‌های بهبود کنتراست تصویر، الگوریتم CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization) است که کاربردهای زیادی در کنترل ترافیک، نجوم و تصویربرداری پزشکی دارد.

الف) این الگوریتم را بصورت مختصر توضیح دهید.

یکی از مشکلاتی که روش ¹ AHE داشت این بود که وقتی تصویر را ناحیه‌بندی (گریدبندی) می‌کردیم، در گریدهایی که اکثر پیکسل‌ها یک رنگ هستند، بسیار ضعیف عمل می‌کرد. علت آن این بود که وقتی از تبدیل ² HE برای هر گرید استفاده می‌کردیم، زمانی که اکثر پیکسل‌ها یک رنگ باشند، یک تبدیل شارپی به دست می‌آید. در واقع ناحیه‌ای که یک رنگ دیده می‌شود، حالت نویزی پیدا می‌کرد. مشکل اشاره شده، در گوشه‌ی سمت راست شکل ۱ به وضوح مشخص است.

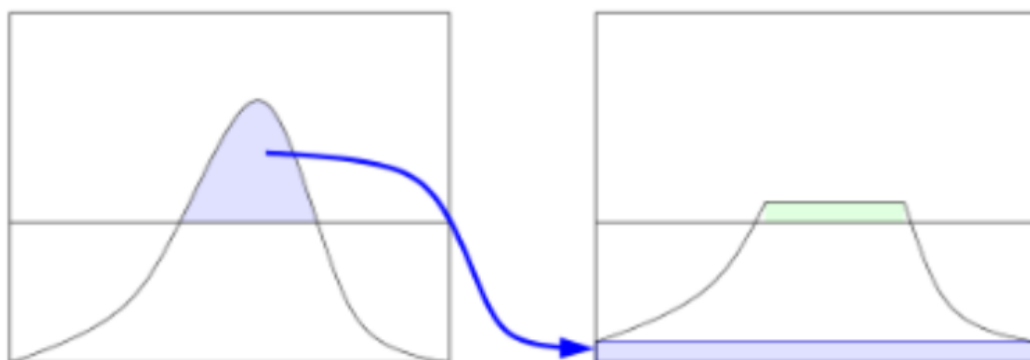


شکل ۱: الگوریتم AHE

¹Adaptive Histogram Equalization

²Histogram Equalization

برای رفع این مشکل از الگوریتم CLAHE استفاده می‌کنیم. در واقع این الگوریتم افزایش contrast را تا حدی کنترل می‌کند. به طور خلاصه این الگوریتم از افزایش بیش از حد contrast در نواحی که ذاتاً contrast بالایی نداشته و یک رنگ هستند، جلوگیری می‌کند. در واقع ایده اصلی الگوریتم CLAHE این است که اگر در ناحیه‌ای یک رنگ خیلی دیده می‌شود، مقدار آن را محدود کند. با تعیین یک مقدار به عنوان Limit، چنانچه تعداد تکرار یک رنگ بیش از آن باشد، آن را برش می‌زند. همچنین تعداد پیکسل‌هایی از آن رنگ که بیش از Limit تعیین شده بودند را، به صورت یکنواخت بین دیگر مقادیر توزیع می‌کند. توضیحات اشاره شده در شکل ۲ مشخص است.



شکل ۲: برش پیکسل‌های با تکرار بیش از آستانه تعیین شده و توزیع آن‌ها بین دیگر مقادیر

همانطور که از شکل ۲ مشخص است، مقادیر آبی رنگ که بیش از Limit تعیین شده هستند برش خورده و بین دیگر مقادیر توزیع شده‌اند.

شکل ۷ بعد از اعمال الگوریتم CLAHE می‌باشد. با توجه به شکل، این الگوریتم به وضوح مشکل الگوریتم AHE را در نواحی یک رنگ (گوشه سمت راست تصویر) حل کرده است. [۱]



Original Image



CLAHE output

شکل ۳: الگوریتم CLAHE

ب) کنتراست تصویر پیوست شده image1 را با هر سه روش متعادلسازی هیستوگرام، متعادلسازی هیستوگرام ادپتیو و نیز الگوریتم CLAHE بهبود دهید.

کد پایتون پیاده‌سازی شده برای این تمرین در فایل Question 1.ipynb قابل مشاهده می‌باشد. با هر سه الگوریتم اشاره شده اقدام به بهبود کیفیت تصویر نمودیم که نتایج به دست آمده به شرح زیر است.

- Histogram Equalization



شکل ۴: بهبود کنتراست با الگوریتم HE

همانطور که می‌دانیم الگوریتم Adaptive Histogram Equalization با دو رویکرد ناحیه‌بندی (گرید بندی) تصویر و در نظر گرفتن همسایگی‌های پیکسل قابل اجرا می‌باشد. هر دو رویکرد اشاره شده را پیاده‌سازی کرده و نتایج به دست آمده در ادامه قابل مشاهده می‌باشد.

- Adaptive Histogram Equalization - grid image



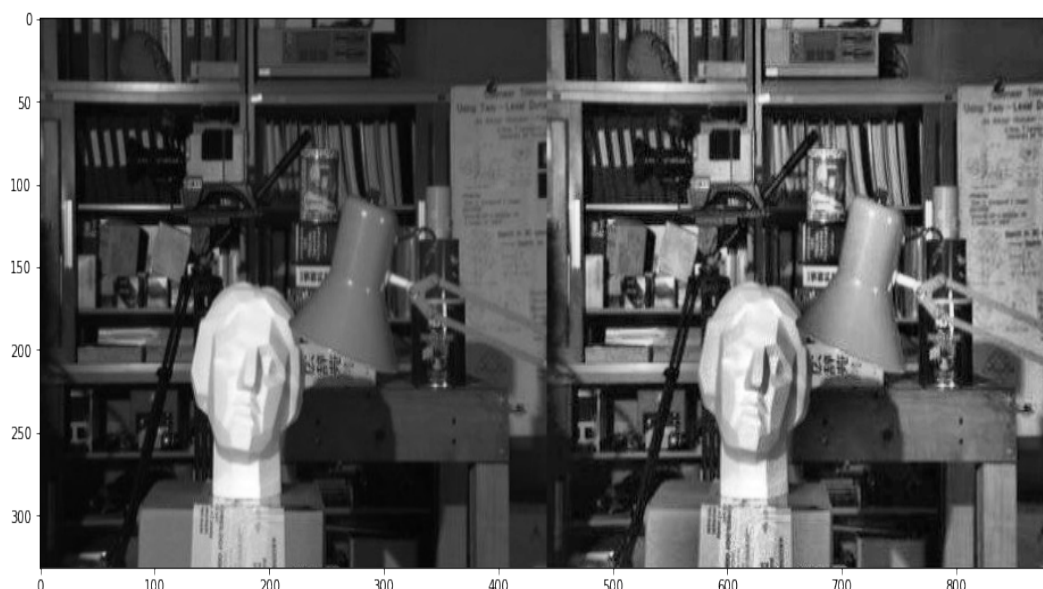
شکل ۵: بهبود کنتراست با الگوریتم AHE (گرید بندی)

- Adaptive Histogram Equalization - pixel wise



شکل ۶: بهبود کنتراست با الگوریتم AHE (همسایگی های پیکسل)

- CLAHE



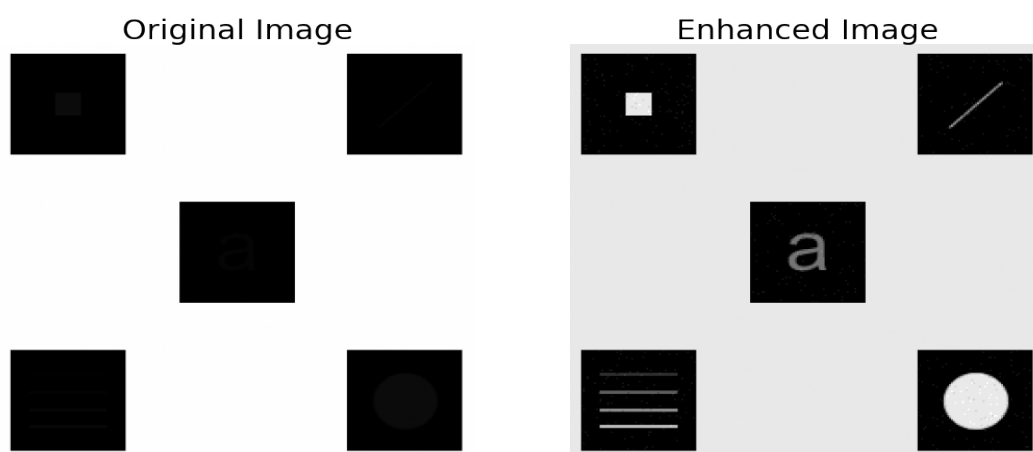
شکل ۷: بهبود کنتراست با الگوریتم CLAHE

۲ - برنامه‌ای بنویسید که اشیای موجود در مربع‌های سیاه موجود در تصویر image2 را مشخص سازد؟ فایل image2 پیوست شده است.

کد پایتون پیاده‌سازی شده برای این تمرین در فایل Question 2.ipynb قابل مشاهده می‌باشد. به منظور آشکارسازی اهداف در شکل ۸ از روش local statistics استفاده کردیم. ایده اصلی این است که کنتراست بخش‌های خاصی از تصویر را که بر اساس تغییرات محلی شدت روشنایی (با توجه به میانگین و انحراف معیار در همسایگی‌های کوچک) این بخش‌ها را تعیین می‌کنیم، بهبود دهیم. بعد از بهبود کنتراست با روش اشاره شده، اشیای موجود در تصویر قابل مشاهده می‌شوند.

ابتدا برای اینکه دید بهتری نسبت به روشنایی و کنتراست تصویر پیدا کنیم، اقدام به محاسبه میانگین و انحراف معیار کل تصویر نمودیم. در مرحله بعد با در نظر گرفتن یک فیلتر 3×3 اقدام به محاسبه ویژگی‌های محلی (میانگین و واریانس) برای هر پیکسل نمودیم. این روش امکان انجام تنظیمات پیکسل به پیکسل بر اساس شرایط محلی را فراهم می‌کند، بنابراین بهبود کنتراست می‌تواند به صورت محلی انجام شود و نه برای کل تصویر. برای شناسایی پیکسل‌هایی که احتیاج به بهبود کنتراست دارند، لازم است تا محدودیت‌هایی را در نظر بگیریم. برای این تمرین، چنانچه میانگین و واریانس یک پیکسل با در نظر گرفتن فیلتر 3×3 بین صفر و یک دهم مقدار میانگین و واریانس کلی تصویر بود، این پیکسل احتیاج به بهبود کنتراست دارد. با اعمال این شروط، تنها کنتراست پیکسل‌هایی که کاملاً تیره هستند

تغییر می‌کند و تغییری در دیگر نقاط تصویر ایجاد نمی‌شود. بعد از شناسایی پیکسل‌هایی که احتیاج به تغییر دارند، مقدار عددی تمامی این پیکسل‌ها در $22/8$ ضرب می‌کنیم. نتایج به دست آمده بعد از پیاده‌سازی الگوریتم اشاره‌شده، در شکل ۸ قابل مشاهده است. همانطور که از شکل مشخص است، رویکرد اشاره شده عملکردی کاملاً موفق از خود در آشکارسازی اشیا ارائه کرده است.



شکل ۸: آشکارسازی اشیا

تمرین‌های تشریحی

۱ - یک روش بهبود کیفیت تصویر مبتنی بر بیولوژیک انسان را توضیح دهید.

از سالیان گذشته تا به امروز، الگوریتم‌های زیادی از با الهام گرفتن از سیستم بینایی انسان به منظور بهبود کیفیت تصاویر ارائه شده‌اند. در این قسمت قصد داریم یکی از پایه‌ای‌ترین الگوریتم‌ها در این حوزه را معرفی کنیم. الگوریتم Retinex [۴] در سال ۱۹۷۱ توسط Edwin Herbert و John J. McCann مطرح شد. این الگوریتم یک مدل محاسباتی برای بهبود تصویر و تصحیح روشنایی می‌باشد که از سیستم بینایی انسان الهام گرفته شده است. نام این الگوریتم (Retinex) از ترکیب Retina (شبکیه چشم) و Cortex (قشر) گرفته شده است. این نامگذاری الهام گرفتن از سیستم بینایی انسان در طراحی این الگوریتم را، بیش از پیش مشخص می‌کند.

برای یک تصویر، چیزی که مشاهده می‌کنیم اغلب ترکیبی از دو عامل می‌باشد. اول نوری که روی جسم می‌افتد (روشنایی^۱) و دوم رنگ واقعی یا ویژگی‌های ذاتی شی جسم^۲ می‌باشد. الگوریتم Retina

^۱Illumination

^۲Reflectance

تلاش می‌کند تا Illumination و Reflectance از یک‌دیگر جدا کند. این الگوریتم سعی می‌کند تا امکان تجسم بهتر ویژگی‌های ذاتی اشیاء در یک تصویر را بدون توجه به شرایط نوری فراهم کند. این الگوریتم بر پایه نظریه‌ای توسعه یافته است که معتقد است حساسیت بینایی انسان به رنگ ذاتی جسم بیشتر از روشنایی مطلق است.

این الگوریتم فرض می‌کند که هر تصویر $I(x,y)$ حاصل ضرب روشنایی $L(x,y)$ و بازتاب $R(x,y)$ است ($OriginalImage = Illumination \times Reflectance$). مولفه روشنایی (Illumination) با استفاده از فیلتر گاوسی تخمین زده می‌شود. کرنل گاوسی به عنوان یک فیلتر پایین‌گذر^۱ عمل می‌کند. سائز کرنل و مقدار سیگما (σ) سطح هموارسازی^۲ را تعیین می‌کند. مقادیر بزرگ‌تر سیگما تغییرات گسترده در روشنایی را ثبت می‌کنند، در حالی که مقادیر کوچک‌تر سیگما بیشتر به ثبت تغییرات محلی در روشنایی می‌پردازند. همانطور که پیش‌تر اشاره کردیم، Reflectance نشان دهنده خواص ذاتی جسم است. مقدار آن از طریق تقسیم تصویر اصلی بر روشنایی تخمینی محاسبه می‌شود. با لگاریتم گرفتن، این تقسیم تبدیل به تفریق می‌شود ($\log(R) = \log(I) - \log(L)$). با توجه به الگوریتم اشاره شده، مقدار Reflectance محاسبه می‌شود. این مقدار رنگ واقعی سطح را نشان می‌دهد که مستقل از نور می‌باشد.

توسعه‌های مختلفی از الگوریتم Retinex ارائه شده است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به Single-Scale Retinex (SSR)، Multi-Scale Retinex (MSR)، MSR with Color Restoration (MSRCR) اشاره کرد. SSR از یک فیلتر گاوسی و MSR و MSRCR از چند فیلتر گاوسی (عموماً ۳ تا) استفاده می‌کنند.

از کاربردهای اصلی الگوریتم Retinex می‌توان به بهبود کیفیت تصاویر در شرایطی که نور کافی وجود ندارد، اشاره کرد. همچنین حذف اثرات روشنایی غیر یکنواخت در تصاویر از دیگر کاربردهای این الگوریتم می‌باشد. علاوه بر موارد اشاره شده، یکی از کاربردها و اهداف اصلی این الگوریتم دستیابی به ثبات رنگی می‌باشد. به این معنی که رنگ اجسام حتی زمانی که نور تغییر کند نسبتاً ثابت بماند. بینایی انسان توانایی تصحیح تغییرات نور در سراسر تصویر را دارد و هدف الگوریتم Retinex تقلید این مورد می‌باشد.

بهره‌مندی از الگوی بینایی انسان هنوز هم مورد توجه پژوهشگران می‌باشد و سالیانه الگوریتم‌های زیادی با الهام گرفتن از بیولوژیک انسان در حوزه بینایی ماشین ارائه می‌شوند. برخی از الگوریتم‌های این حوزه در مقالات [۳، ۵، ۶، ۷] مطرح شده‌اند.

¹Low-pass Filter

²Smoothing

۲ - الگوریتم‌های بهبود کنتراست تصویر چگونه ارزیابی می‌شوند؟ ۴ معیار ارزیابی را بصورت خلاصه بیان نمایید.

• Contrast Improvement Index (CII):

Contrast Improvement Index (CII) معیاری برای ارزیابی افزایش کنتراست در یک تصویر می‌باشد. این معیار کنتراست تصویر را قبل و بعد از اعمال تکنیک‌های بهبود کنتراست مقایسه می‌کند. این شاخص به طور کمی مشخص می‌کند که الگوریتم پیشنهادی تا چه اندازه به آشکارسازی ویژگی‌ها در تصویر کمک کرده است. این معیار با توجه به رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$CII = \frac{C_{Enhanced}}{C_{Original}} \quad (1)$$

$C_{Enhanced}$: کنتراست تصویر پس از بهبود است

$C_{Original}$: کنتراست تصویر اولیه است.

هر چه مقدار (CII) بیشتر باشد بیانگر این است که الگوریتم اجرا شده عملکرد موفق‌تری در بهبود کنتراست تصویر داشته است.

• Root Mean Square Contrast (RMS Contrast):

Root Mean Square Contrast (RMS Contrast) معیاری برای کنتراست کلی یک تصویر است که در واقع به کمی‌سازی مقدار کنتراست یک تصویر می‌پردازد. RMS Contrast یکی از مناسب‌ترین معیارها به منظور مقایسه کنتراست بین تصاویر مختلف می‌باشد. این معیار از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$C_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (I_i - \bar{I})^2} \quad (2)$$

N : تعداد پیکسل‌های تصویر

I_i : مقدار روشنایی پیکسل i ام

\bar{I} : متوسط میزان روشنایی در تمامی پیکسل‌های تصویر

همانطور که از رابطه ۲ مشخص است، هر چه گستردگی و فاصله‌ی مقادیر پیکسل‌ها از مقدار میانگین پیکسل‌ها بیشتر باشد، مقدار بزرگتری برای RMS Contrast ثبت می‌شود. به عنوان مثال اگر تمامی پیکسل‌های تصویر مقدار ۱۲۸ داشته باشند، میانگین آن‌ها نیز ۱۲۸ می‌شود و بنابراین مقدار RMS Contrast صفر به دست می‌آید. بنابراین مشخص می‌شود که این معیار به خوبی توانایی کمی‌سازی

مقدار Contrast تصویر را دارد. بعد از پیاده‌سازی الگوریتم موردنظر، چنانچه مقدار RMS Contrast نسبت به تصویر مرجع افزایش یافته باشد یعنی این الگوریتم موجب بهبود کنتراست در تصویر مرجع شده است.

- **Contrast-to-Noise Ratio (CNR):**

یکی دیگر از معیارهایی که به منظور ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های بهبود کنتراست تصاویر مورد استفاده قرار می‌گیرد، Contrast-to-Noise Ratio (CNR) می‌باشد. این مقدار با توجه به رابطه ۳ محاسبه می‌شود.

$$CNR = \frac{|S_A - S_B|}{\sigma_0} \quad (3)$$

S_A : میانگین مقدار پیکسل در محدوده مورد نظر (هدفی که می‌خواهیم به‌وضوح ببینیم)

S_B : میانگین مقدار پیکسل‌های پس‌زمینه اطراف هدف

σ_0 : مقدار انحراف معیار در نویز پس‌زمینه

افزایش مقدار CNR نشان‌دهنده‌ی کنتراست بهتر در تصاویر است. این معیار برای ارزیابی در شرایطی که یک هدف مشخص مانند تومور در تصاویر پزشکی داریم، بسیار پرکاربرد و مناسب است. تکنیک‌های افزایش کنتراست تصاویر باید تا جایی که می‌توانند بین تومور و تصویر پس‌زمینه تفکیک قائل شوند که معیار CNR به خوبی قابلیت ارزیابی عملکرد تکنیک‌ها در این شرایط را دارد.

- **Structural Similarity Index (SSIM):**

SSIM یک معیار پرکاربرد در پردازش تصویر برای ارزیابی شباهت بین دو تصویر است. بر خلاف معیارهای سنتی مانند میانگین مربعات خطا (MSE) که بر تفاوت‌های سطح پیکسل تمرکز می‌کند، SSIM برای درک کیفیت تصویر به‌گونه‌ای طراحی شده است که با ادراک بصری انسان هماهنگ‌تر شود. این معیار تصاویر را بر اساس سه جنبه اصلی Luminance، Contrast و Structure ارزیابی می‌کند که در مجموع به ارزیابی جامع‌تری از شباهت تصاویر کمک می‌کنند. SSIM با توجه به رابطه ۴ محاسبه می‌شود.

$$SSIM(x, y) = \frac{(\mu_x \mu_y + C_1)(\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)} \quad (4)$$

μ_x و μ_y : میانگین مقدار پیکسل‌های تصاویر

σ_x^2 و σ_y^2 : مقدار انحراف معیار تصاویر

σ_{xy} : کوواریانس بین تصاویر

C_1 و C_2 : ثابت‌های کوچکی برای جلوگیری از تقسیم بر صفر هستند که معمولاً بر اساس محدوده مقادیر پیکسل تعیین می‌شوند.

مقدار این معیار بین -1 تا 1 می‌باشد. در معیار SSIM کنتراست تصاویر به صورت ضمنی بر اساس دو مقدار σ_x و σ_y اندازه‌گیری می‌شود. مقادیر بالای انحراف معیار نشان‌دهنده کنتراست بالاتر در تصویر می‌باشد، زیرا در مقدار پیکسل‌ها گستردگی بیشتری وجود دارد.

علاوه بر معیارهای اشاره شده، معیارهای متعدد دیگری نیز وجود داشته و هر روز نیز بر شمار آن‌ها افزوده می‌شود. اما با توجه سوال مطرح شده، تنها به بیان پنج نمونه از معیارهای ارزیابی اکتفا کردیم. معیارهای مانند Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) و ... نیز می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. لازم به ذکر است که عموماً برای ارزیابی دقت یک الگوریتم از یک معیار استفاده نمی‌کنیم. گزارش چندین معیار در کنار یک دیگر شهود دقیق‌تری از قدرت الگوریتم ارائه شده به منظور بهبود کنتراست تصویر می‌دهد.

منابع و مراجع

- [1] Asamoah, Dominic, Oppong, Emmanuel, Oppong, Stephen, and Danso, Juliana. Measuring the performance of image contrast enhancement technique. *International Journal of Computer Applications*, 181:6–13, 10 2018.
- [2] He, Yifan, Zhang, Chunmin, and Mu, Tingkui. Polarized image enhancement based on biological vision. In She, Jiangbo, editor, *Fourth International Conference on Photonics and Optical Engineering*, volume 11761, page 117610Z. International Society for Optics and Photonics, SPIE, 2021.
- [3] Ji, T.-L., Sundareshan, M.K., and Roehrig, H. Adaptive image contrast enhancement based on human visual properties. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 13(4):573–586, 1994.
- [4] Land, Edwin Herbert and McCann, John J. Lightness and retinex theory. *Journal of the Optical Society of America*, 611:1–11, 1971.
- [5] Song, Gang and Qiao, Xiang-lei. Adaptive color image enhancement based on human visual properties. pages 1892 – 1895, 07 2008.
- [6] Wang, Dianwei, LIU, Wang, FANG, Jie, and XU, Zhijie. Enhancement algorithm of low illumination image for uav images inspired by biological vision. *Xibei Gongye Daxue Xuebao/Journal of Northwestern Polytechnical University*, 41:144–152, 06 2023.

- [7] Yang, Kai-Fu, Zhang, Xian-Shi, and Li, Yong-Jie. A biological vision inspired framework for image enhancement in poor visibility conditions. *IEEE Transactions on Image Processing*, 29:1493–1506, 2020.