

ارتقای تصاویر زیر آب با ایجاد تعادل رنگ‌ها و ادغام تصاویر

آرمان ملک‌زاده لشکریانی (شماره دانشجویی: ۹۹۳۰۰۰۷۷)

چکیده: کیفیت عکس‌های گرفته‌شده در زیر آب، به دلیل کاهش انرژی نور و ایجاد تغییرات در جهت انتشار آن، کاهش پیدا می‌کند. این کاهش کیفیت معمولاً به صورت وجود مه یا کنتراست پایین در تصاویر مشخص می‌شود. برای اصلاح این مشکل، از روشی استفاده می‌کنیم که روی هر عکس به تنهایی عمل می‌کند و نیازی به هیچ گونه سخت‌افزار خاص و یا دانشی از شرایط زیر آب و ساختار صحنه تصویربرداری ندارد. این روش بر مبنای ترکیب اطلاعات موجود در دو عکس عمل می‌کند که یکی از طریق اصلاح کانال‌های رنگی تصویر بدست آمده و دیگری از طریق تراز سفیدی (White-Balancing) آن حاصل شده است.

کلمات کلیدی: پردازش تصویر، تصاویر زیر آب، تراز سفیدی، تیزسازی

۱ مقدمه

در یک رسانه انتقال نور ایده‌آل، نور دریافتی عمدتاً متأثر از ویژگی‌های اشیاء موجود در صحنه و ویژگی‌های لنز دوربین است. اما در زیر آب، میزان این نور، به عوامل مختلفی بستگی دارد. یکی از این عوامل، زمانی از روز است که عکس گرفته می‌شود. این زمان بر زاویه برخورد نور خورشید به سطح دریا اثرگذار است. خط اتصال میان هوا و آب نیز در شرایط متفاوت آب دریا (مثلاً دریای آرام یا متلاطم) موثر است. مجموعه این تفاوت‌ها باعث تخریب تصاویر گرفته‌شده در زیر دریا می‌شود.

از تصاویر زیر آب می‌توان در بررسی زیرساخت‌ها و کابل‌های زیر دریا، تشخیص اجسام ساخت انسان از اجسام طبیعی موجود در زیر آب، زیست‌شناسی دریایی و باستان‌شناسی استفاده نمود. از آنجایی که تخریب این تصاویر با ترکیبی از عملیات جمع و ضرب مدل می‌شود، روش‌هایی مانند اصلاح گاما و تعدیل هیستوگرام به تنهایی برای ارتقاء آن‌ها کارساز نیستند. لذا در این نوشتار قصد داریم روندی ترکیبی برای ارتقاء این تصاویر را بررسی نماییم که توسط Ancuti و همکاران [۱] ارائه شده است. بخش ۲ راه حل پیشنهادی را بیان می‌کند. در بخش ۳ ارزیابی الگوریتم بر اساس آزمایش‌ها آورده شده و بخش ۴ نتیجه‌گیری را شامل می‌شود.

۲ راه حل پیشنهادی

برای اصلاح تصاویر مربوط به زیر آب، ما ابتدا عملیات تراز سفیدی را روی هر یک از آن‌ها انجام می‌دهیم؛ سپس یک بار عملیات اصلاح گاما و یک بار تیزسازی روی هر تصویر انجام می‌شود. نهایتاً این دو نسخه از تصویر با یکدیگر ادغام می‌شوند تا تصویر نهایی ارتقاء یافته حاصل شود. شکل ۱ روند کلی اصلاح هر تصویر را نشان می‌دهد.

شکل ۱: روند کلی ارتقای تصاویر



۱-۲ تراز سفیدی

برای اصلاح تخریب‌های صورت گرفته به دلیل تغییر جهت انتشار نور، از تراز سفیدی استفاده می‌کنیم که سایه‌ی رنگ‌هایی را که به صورت ناخواسته بخشی از تصویر را مورد تأثیر خود قرار داده‌اند، حذف کنیم. برای تراز سفیدی تصاویر، ما از الگوریتم Gray-World [۲] استفاده می‌کنیم. این الگوریتم بر مبنای فرضیه جهان خاکستری (Gray-World Assumption) عمل می‌کند که بر اساس آن، همه کانال‌های رنگی قبل از تخریب، میانگین یکسانی دارند. از آنجایی که به کارگیری این الگوریتم به تنهایی موجب ایجاد پیکسل‌های قرمز در تصویر می‌شود، پیش از اجرای آن، کانال قرمز را بر اساس رابطه ۱ اصلاح کنیم:

$$I_{rc}(x) = I_r(x) + \alpha(\bar{I}_g - \bar{I}_r)(1 - I_r(x))I_g(x) \quad (1)$$

که در آن x محل یک پیکسل، I_{rc} مقدار جدید شدت آن در کانال قرمز، I_r مقدار اولیه شدت در کانال قرمز، I_g مقدار شدت در کانال سبز و \bar{I}_r و \bar{I}_g به ترتیب میانگین شدت اولیه در کانال‌های سبز و قرمز را نشان می‌دهند. این رابطه بر اساس مشاهدات زیر طراحی شده است:

- کانال سبز تقریباً زیر آب به خوبی حفظ می‌شود.
- طبق نظریه رنگ‌های مخالف (Opponent Color Theory) از آنجایی که سبز و قرمز رنگ‌های متضاد هم هستند، به طور خاص می‌توان از سبز برای جبران تخریب قرمز استفاده نمود.

- طبق نظریه جهان خاکستری، میزان جبران کانال قرمز توسط کانال سبز باید متناسب با اختلاف میانگین سطح شدت آن‌ها باشد.
- جبران کانال قرمز فقط باید روی نواحی به شدت تخریب‌شده صورت گیرد.

۲-۲ اصلاح گاما

برای افزایش تفاوت میان نواحی روشن‌تر و تیره‌تر، از روند اصلاح گاما استفاده می‌کنیم. در طی این روند، مقداری از جزئیات در برخی نواحی از بین می‌روند. برای اصلاح گاما روی هر پیکسل دارای سطح شدت i از طریق رابطه ۲ عمل می‌کنیم:

$$i \leftarrow \alpha * i^\gamma \quad (2)$$

که در آن α و γ مقادیر ثابت هستند.

۳-۲ تیزسازی

برای جبران جزئیاتی که از طی فرآیند اصلاح گاما از بین می‌رود، ما یک نسخه تیزشده (Sharpened) از تصویر را نیز در نظر می‌گیریم. برای بدست آوردن این تصویر تیزشده، از روش Unsharp Masking پیروی می‌کنیم؛ بدین معنا که یک نسخه‌ی تار (Blurry) از تصویر را که به طور خاص از طریق اعمال فیلتر گوسی به دست آمده است، از تصویر اولیه کسر کرده و حاصل را به تصویر اولیه اضافه می‌کنیم. رابطه ۳ نحوه ترکیب این تصاویر را نشان می‌دهد:

$$S = (I + N\{I - G * I\})/2 \quad (3)$$

که در آن I تصویر اولیه، G یک فیلتر گوسی و N یک عملگر نرمال‌ساز خطی است که به نحوی تمام شدت‌های رنگی پیکسل‌های تصویر را مقیاس‌بندی کرده و انتقال می‌دهد که کل محدوده پویای موجود را پوشش دهند.

۴-۲ ادغام

برای ادغام تصویری که اصلاح گاما روی آن صورت گرفته و تصویر تیزشده، به هر کدام وزنی را نسبت می‌دهیم. به نحوی که پیکسل‌های دارای وزن بیشتر، در تصویر ادغام‌شده (نهایی) بیشتر نمایش داده شوند. این وزن‌ها بر مبنای سه معیار مبتنی بر کیفیت محلی تصاویر (Local Image Quality) و برجستگی (Saliency) تعریف می‌شوند.

۱-۴-۲ وزن مبتنی بر کنتراست لاپلاسی

این وزن با محاسبه قدر مطلق یک فیلتر لاپلاسی که روی هر کانال درخشندگی (Luminance) تصویر ورودی اعمال می‌شود، کنتراست سراسری را تخمین می‌زند. در نظر گرفتن این وزن به تنهایی کافی نیست. زیرا قادر به تشخیص تفاوت میان یک پله (Ramp) با نواحی صاف (Flat) نمی‌باشد.

۲-۴-۲ وزن مبتنی بر برجستگی

برای حل مشکل وزن مبتنی بر کنتراست لاپلاسی، این وزن سعی می‌کند بر اشیاء برجسته‌ای تأکید کند که در زیر آب، چیرگی خود در

تصویر را از دست می‌دهند و ممکن است به اندازه اصلی برجسته به نظر نرسند. برای محاسبه وزن متناظر هر پیکسل در این روش، ابتدا یک فیلتر گوسی روی تصویر ورودی اعمال می‌شود. اگر حاصل اعمال این فیلتر روی کانال c از تصویر I را با $G * I$ نشان دهیم، رابطه ۴ نحوه محاسبه مقدار جدید سطح شدت در پیکسل واقع در محل x را نشان می‌دهد:

$$W_S(x) = \bar{I}_c - (I * G)(x) \quad (4)$$

که در آن $W_S(x)$ وزن برجستگی پیکسل محل x و I_c میانگین سطوح شدت کانال c است. برای تعمیم این رابطه در حالتی که تصویر LAB باشد، بردار میانگین سطوح شدت برای هر سه کانال را در نظر گرفته و با \bar{I}_l ، \bar{I}_a و \bar{I}_b نشان می‌دهیم. بر این اساس، اگر $\{I * G\}_l(x)$ ، $\{I * G\}_a(x)$ و $\{I * G\}_b(x)$ مقادیر سطوح شدت تصویر تخریب‌شده با فیلتر گوسی در محل پیکسل x باشند، رابطه ۵ نحوه محاسبه وزن برجستگی را در این حالت نشان می‌دهد.

$$W_S(x) = \frac{\sqrt{(\bar{I}_l - \{I * G\}_l(x))^2 + (\bar{I}_a - \{I * G\}_a(x))^2 + (\bar{I}_b - \{I * G\}_b(x))^2}}{\sqrt{(\bar{I}_l - \{I * G\}_l(x))^2 + (\bar{I}_a - \{I * G\}_a(x))^2 + (\bar{I}_b - \{I * G\}_b(x))^2}} \quad (5)$$

۳-۴-۲ وزن مبتنی بر اشیاء

این وزن الگوریتم ادغام را قادر می‌سازد که با توجه به نواحی که به شدت اشیاء رنگی شده‌اند، خود را با اطلاعات رنگی موجود در تصویر وقف دهد. برای هر تصویر مانند I اگر R ، G و B سه کانال قرمز، سبز و آبی بوده و L درخشندگی تصویر باشد، رابطه ۶ نحوه محاسبه این وزن را نشان می‌دهد.

$$W_{sat} = \sqrt{\frac{1}{3}((R - L)^2 + (G - L)^2 + (B - L)^2)} \quad (6)$$

۴-۴-۲ ترکیب وزن‌ها

بر از محاسبه مقدار وزن‌ها برای k تصویر ورودی، با جمع‌زدن هر سه آن‌ها برای هر ورودی به یک وزن تجمیع‌شده مانند W_k می‌رسیم. سپس این وزن‌ها را با توجه به رابطه ۷ نرمال می‌کنیم:

$$\bar{W}_k = (W_k + \delta) / (\sum_{k=1}^K W_k + K \cdot \delta) \quad (7)$$

که در آن \bar{W}_k مقدار نرمال‌شده وزن‌های ورودی k -ام و δ یک مقدار کوچک است که باعث می‌شود اطمینان حاصل کنیم که هر ورودی، در تشکیل خروجی نهایی سهم می‌باشد. در این پژوهش، ورودی ما دو تصویر اصلاح‌شده گاما و تیزشده می‌باشند و δ برابر ۱.۰ در نظر گرفته می‌شود.

۵-۲ ساخت و ادغام هرم‌ها

هرم گوسی (Gaussian Pyramid) یک تصویر، مجموعه‌ای از نمایش‌های آن در مقیاس‌های متفاوت است؛ به طوری که سطح اول هرم، خود تصویر بوده، سطح دوم آن نمایش تصویر به اندازه نصف در هر دو جهت می‌باشد و هر سطح نسبت به سطح قبلی، دارای عرض و

ارتفاع نصف شده است.

هرم لاپلاسین (Laplacian Pyramid) از روی هرم گوسی ساخته می شود؛ بدین طریق که سطح آخر هرم لاپلاسین، همان سطح آخر هرم گوسی در نظر گرفته می شود و هر سطح دیگر، از طریق رابطه ۸ محاسبه می گردد:

$$LP_i = \text{double size}(GP_i) - GP_{i+1} \quad (8)$$

که در آن LP_i سطح i -ام هرم لاپلاسین، double size عملگر دو برابر کردن عرض و ارتفاع یک تصویر و GP_i سطح i -ام هرم گوسی است. پس از محاسبه وزن های نرمال شده برای هر یک از دو تصویر اصلاح شده گاما و تیز شده، هرم بازسازی شده نهایی در هر محل پیکسل x در هر سطح l از طریق رابطه ۹ بدست می آید:

(۹)

$$R_l(x) = GP_l(\bar{W}_{gc}(x)) * LP_l(I_{gc}(x)) + GP_l(\bar{W}_{sh}(x)) * LP_l(I_{sh}(x))$$

که در آن $R_l(x)$ مقدار پیکسل محل x در سطح l هرم بازسازی شده، $\bar{W}_{sh}(x)$ و $\bar{W}_{gc}(x)$ به ترتیب مقادیر متعلق به وزن نرمال شده در پیکسل همان محل برای تصاویر اصلاح شده گاما و تیز شده، GP_l و LP_l به ترتیب سطوح l -ام هرم های گوسی و لاپلاسین و I_{gc} و I_{sh} تصاویر اصلاح شده گاما و تیز شده هستند. تصویر نهایی بازسازی شده برابر با مجموع کلیه سطوح هرم بازسازی شده (پس از تغییر اندازه مناسب) خواهد بود.

۳ آزمایش ها

ما الگوریتم ذکر شده را روی تعدادی از تصاویر گرفته شده در زیر آب اجرا نمودیم. در این قسمت، مجموعه داده استفاده شده و ارزیابی عملکرد الگوریتم ذکر می گردد.

۱-۳ داده ها

برای انجام آزمایش ها، ما از مجموعه داده UIEB^۱ استفاده می کنیم که شامل ۸۹۰ تصویر گرفته شده در زیر آب است و توسط Li و همکاران [۳] منتشر شده است. تمامی تصاویر این مجموعه داده با کیفیت بالا گرفته شده و اصلاح ۶۰ مورد از آن ها بسیار چالش برانگیز است.

۲-۳ ارزیابی

جدول ۱ ارزیابی تصاویر اصلاح شده کانال قرمز (Red Compensated)، تراز شده از نظر سفیدی (White Balanced)، اصلاح شده گاما (Gamma Corrected) و تیز شده (Sharpened) را نشان می دهد. یک نمونه خروجی از ورودی و خروجی الگوریتم نیز در شکل ۲ آمده است.

جدول ۱: بررسی کیفیت تصاویر

OUT	SH	GC	WB	RC	
8.15	9.70	3.17	3.18	3.25	NIQE
0.36	0.34	0.41	0.42	0.48	UCIQE
19.37	20.07	17.06	16.91	3.36	CIE2000

شکل ۲: سمت چپ، تصویر ورودی و سمت راست، خروجی



۴ نتیجه گیری

با مشاهده خروجی های الگوریتم می توان نتیجه گرفت که روش ادغام مذکور، در اصلاح کنتراست تصاویر زیر آب بسیار موثر است. اما مقایسه تصاویر تراز شده از نظر سفیدی، اصلاح شده گاما و تیز شده با معیار میزان طبیعی بودن (Naturalness Image Quality Evaluation) و دو معیار CIE2000 [۴] و UCIQE [۵] نشان می دهد که احتمالاً در مورد برخی از تصاویر، انجام مراحل مانند تراز سفیدی کفایت می کند و نیازی به ادامه روند الگوریتم نمی باشد. همچنین، افزایش گاما و یا تعداد سطوح هرم ها باعث ایجاد مه در تصویر خروجی می شود. علاوه بر این، سرعت اجرای الگوریتم برای تصاویر با حجم بالا نسبتاً پایین است و باید به فکر راه های تقریب محاسبات برای افزایش سرعت آن بود.

مراجع

- [1] C. O. Ancuti, C. Ancuti, C. De Vleeschouwer, and P. Bekaert, "Color balance and fusion for underwater image enhancement," *IEEE Transactions on image processing*, vol.27, no.1, pp.379–393, 2018.
- [2] G. Buchsbaum, "A spatial processor model for object colour perception," *Journal of the Franklin institute*, vol.310, no.1, pp.1–26, 1980.
- [3] C. Li, C. Guo, W. Ren, R. Cong, J. Hou, S. Kwong, and D. Tao, "An underwater image enhancement benchmark dataset and beyond," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol.29, pp.4376–4389, 2019.
- [4] M. R. Luo, "Cie 2000 color difference formula: Ciede2000," in *9th Congress of the International Colour Association*, vol.4421, pp.554–559, International Society for Optics and Photonics, 2002.
- [5] M. Yang and A. Sowmya, "An underwater color image quality evaluation metric," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol.24, no.12, pp.6062–6071, 2015.