بهسازی تصویر با کاهش اثر عوامل خرابی بر مؤلّفهٔ روشنایی و بازتابش تصویر

حمید حسن‌پور و عذرا رستمی قادی
دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده کامپیوتر و فناوری اطلاعات

چکیده

در این مقاله پیشنهاد جدیدی برای بهبود کیفیت تصویر ارائه شده است که در آن نگرش جدیدی در مورد چگونگی اعمال روش‌های بهسازی مطرح شده است. عملیات بهسازی تصویر ممکن است بر اساس روشنایی، وضوح و یا توزیع سطوح خاکستری انجام شود. هنگام تصویربرداری ویژگی‌هایی مانند شدّت روشنایی صحنه و قابلیت بازتاب اجسام بر تصویری که به‌دست می‌آید، تأثیر می‌گذارند. اثر هریک از این ویژگی‌ها بر تصویر حاصل را می‌توان به‌عنوان یک مؤلّفه یا تصویر جداگانه‌ای در نظر گرفت و به‌کمک فیلتر هوموفیک که در آن تصویر اصلی به مؤلّفهٔ روشنایی و مؤلّفهٔ بازتابش تجزیه می‌شود، مورد بررسی قرار داد. به‌طورکلی، پیکسل‌های یک تصویر به‌گونه‌ای مقدار می‌گیرند که متناسب با شدّت روشنایی نقطه مربوط در صحنه و قابلیت بازتابش آن نقطه از جسم هستند. بر این اساس خرابی یک تصویر ممکن است ناشی از هریک از مؤلّفه‌های شدّت روشنایی و یا قابلیت انعکاسی باشند. در این مقاله نشان داده می‌شود که انواع مختلف خرابی تصویر، روی مؤلّفهٔ شدّت روشنایی و مؤلّفهٔ بازتابش تصویر تأثیر متفاوتی می‌گذارند. بررسی‌ها نشان می‌دهند که تأثیر خرابی بر روی یک تصویر بسته به نوع خرابی روی یک مؤلّفه نسبت به مؤلّفهٔ دیگر متفاوت است. برخلاف روش‌های معمول که به‌ازای هر نوع خرابی، فرایند بهسازی و اصلاح را روی تصویر اصلی انجام می‌دهند، در این مقاله پیشنهاد می‌شود بعد از تجزیهٔ تصویر به دو مؤلّفهٔ شدّت روشنایی و قابلیت بازتاب، با توجّه به نوع خرابی، بر مؤلّفه مربوطه بهسازی انجام شود. سپس تصویر نهایی بهسازی‌شده با استفاده از مؤلّفه‌های تصویر که شامل مؤلّفهٔ بهسازی‌شده است، به‌دست آید. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که به‌منظور رفع خرابی یک تصویر، بهسازی مؤلّفه‌های تصویر نتایج مطلوب‌تری در مقایسه با بهسازی مستقیم بر روی تصویر اصلی دارد. در این مقاله برای تصاویر چهره از پایگاه داده Yale Face B و برای تصویر غیر چهره از تصاویر سطح خاکستری مختلفی استفاده می‌شود.

واژگان کلیدی- بهسازی تصویر، فیلتر هوموفیک، مؤلّفهٔ روشنایی، مؤلّفهٔ بازتابش.

۱- مقدّمه

تصاویری که تهیه می‌شوند، به‌خاطر شرایط متفاوت محیطی، محدودیت‌های دستگاه تصویربرداری و یا نمایشگرها دچار مشکلات و خرابی‌هایی در کیفیت تصویر می‌شوند. براین اساس، استفاده از روش‌های بهسازی تصویر برای افزایش کیفیت تصویر ضروری است و این ضرورت در کاربردهایی مانند تشخیص چهره (Shi et al, 2007 ؛ نادری و همکاران، ۱۳۹۰)، تشخیص اثر انگشت (Ye et al , 2012; and Saeed et al, 2011) و تصاویر پزشکی (Gorgel et al, 2010) مشهودتر هستند.

عوامل مختلفی در تشکیل یک تصویر مؤثرند که از آن جمله می‌توان به شدّت روشنایی صحنه و قابلیت بازتاب (انعکاس) اشاره کرد. خرابی قابل مشاهده در یک تصویر ممکن است ناشی از هریک از عوامل مذکور باشند؛ بنابراین بهتر است بهسازی یک تصویر، با توجّه به عامل خرابی صورت گیرد.

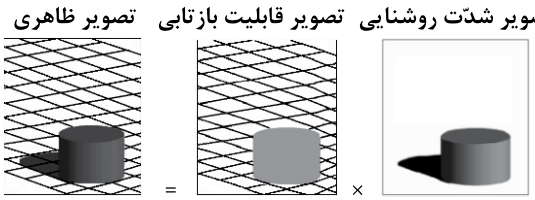
می‌توان تصویر را به‌کمک مؤلّفهٔ قابلیت بازتاب و شدّت روشنایی آن مدل کرد (شکل۱)(Shao et al, 2009). اگر تصویر ورودی را با I(x,y)، تصویر قابلیت انعکاس را با

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-07-05]

R(x, y) و تصویر شدّت روشنایی را با L(x, y) نشان دهیم، سه تصویر با معادله زیر با یکدیگر مرتبط هستند (Weiss, 2001).

$$I(x, y) = L(x, y) . R(x, y) \quad (1)$$

همان‌طور که در شکل یک مشاهده می‌شود، در تصویر شدّت روشنایی، سایه به تصویر کشیده می‌شود. با این ویژگی‌های مطرح‌شده، تجزیهٔ تصویر به مؤلّفه‌های آن نقش مهمی در پردازش تصویر ایفا می‌کند. در این تحقیق نشان داده می‌شود خرابی‌هایی که به‌طور فیزیکی بر روی یک تصویر مشاهده می‌شود، بسته به نوع خرابی، تمرکز اثر آن بر روی بخش انعکاس و یا روشنایی تصویر است.



شکل ۱ : تجزیه تصویر به دو مؤلّفهٔ شدّت روشنایی و قابلیت انعکاس، تصاویر به‌ترتیب از سمت چپ: تصویر اصلی، تصویر قابلیت بازتابش ، تصویر شدّت روشنایی.

عوامل مختلفی سبب خرابی تصاویر می‌شوند. شکل دو نمونه خرابی‌هایی را نشان می‌دهند که سبب کاهش کیفیت تصویر شده‌اند. در تصاویر شکل (۲-الف) و شکل (۲-ب)، تغییرات نور محیط، مشکلاتی در شناسایی چهره ایجاد می‌کند. این خرابی سبب شده است که قسمتی از تصویر مبهم و نامشخص باشد و نتوان به‌راحتی چهرهٔ فرد را شناسایی کرد . با بهسازی تصویر و به‌دست‌آوردن روشنایی مناسب، می‌توان کیفیت تصاویر را بهبود داد (Acharya et al, 2011; Rasheed et al, 2007). شکل‌های (۲-ج) و (۲-د) نمونه‌ای از خرابی‌هایی هستند که در اثر حرکت دوربین اتفاق افتاده است. از تأثیرات این خرابی روی تصویر، می‌توان به مات‌شدن تصویر[1] و ازدست‌رفتن جزئیات تصویر مانند لبه‌ها، اشاره کرد.

شکل۲ : نمونه‌هایی از خرابی ایجاد شده در تصاویر؛ (الف، ب) خرابی ناشی از شدّت نور در صحنه، (ج، د) خرابی ناشی از حرکت دستگاه تصویر برداری.

در تصویر یک صحنه، میزان نور و شدّت روشنایی به روشنایی محیط وابسته است. بنابراین در خرابی‌های مربوط به شدّت نور نامناسب، تغییر نور محیط بر مؤلّفهٔ شدّت روشنایی تصویر تأثیر می‌گذارد. در مقابل، خرابی‌هایی همچون حرکت دستگاه فیلم‌برداری و یا مات‌شدن تصویر سبب تغییر نور و شدّت روشنایی موجود در صحنه نمی‌شوند و فقط بر جزئیات و بافت تصویر تأثیر می‌گذارند. از آنجا که مؤلّفهٔ قابلیت بازتابش بیانگر جزئیات تصویر است، این نوع خرابی‌ها بر مؤلّفهٔ قابلیت بازتابش تصویر تأثیر متفاوتی می‌گذارند. درنتیجه عوامل مختلف خرابی ممکن است روی تصویر و درنتیجه روی اجزای تصویر (شدّت روشنایی و قابلیت بازتاب) تأثیر بگذارند. شناخت عامل خرابی بر روی مؤلّفه‌های تصویر و بهسازی فقط همان مؤلّفه به جای کل تصویر، پیشنهادی است که در این مقاله برای بهبود مناسب کیفیت تصویر، مطرح می‌شود. درواقع با توجه به نوع خرابی اعمالی روی هر مؤلّفه، بهسازی مناسب را برای رفع آن خرابی انجام داده و فقط مؤلّفهٔ متأثر اصلاح می‌شود. زیرا ممکن است با اصلاح مؤلّفه‌ای که عامل خرابی روی آن تأثیر ندارد، عامل خرابی جدید دیگری ایجاد شود. بنابراین بعد از تجزیه تصویر به دو مؤلّفهٔ شدّت روشنایی و قابلیت بازتاب، با توجّه به نوع خرابی تصویر و اثر آن بر مؤلّفه‌های تصویر، بر مؤلّفهٔ مربوطه بهسازی انجام می‌شود. سپس با استفاده از مؤلّفه‌های تصویر که شامل مؤلّفهٔ بهسازی‌شده است، تصویر نهایی بهسازی‌شده، به‌دست می‌آید.

به‌منظور جداسازی دو مؤلّفهٔ شدّت روشنایی و قابلیت بازتاب، بهتر است ویژگی‌های این دو مؤلّفه مورد بررسی قرار گیرند. در (Fan et al, 2011) بیان شده است که مؤلّفهٔ شدّت روشنایی تصویر به طور کلی، تغییرات آهسته‌ای دارد و اجزای فرکانس پایین تصویر را تشکیل می‌دهد و مؤلّفه قابلیت بازتاب تصویر شامل تغییرات سریع بوده و اجزای فرکانس بالای تصویر را تشکیل می‌دهد. بر همین اساس، جزء فرکانس پایین تصویر را می‌توان به‌عنوان مؤلّفهٔ شدّت روشنایی و جزء فرکانس بالای تصویر را به عنوان مؤلّفهٔ قابلیت بازتاب در نظر گرفت(Xie et al, 2010).

فیلتر هومومورفیک، یک فرایند فیلترکردن در دامنهٔ فرکانسی است که با انتخاب تابع فیلتر مناسب، هردو مؤلّفه فرکانس بالا و فرکانس پایین تبدیل فوریه را کنترل

[1] Motion blurring

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-07-05]

می‌کند(Fan et al , 2011). درنتیجه می‌توان کنترل خوبی روی مؤلّفه‌های روشنایی و انعکاسی داشته باشد. با توجّه به مراحل فیلتر هوموورفیک، این فیلتر قابلیت جداسازی دو مؤلّفه شدّت روشنایی و قابلیت انعکاسی را داشته و با تبدیل اپراتور ضرب به اپراتور جمع به‌کمک عمل لگاریتم، آنها را از هم جدا می‌کند. بنابراین می‌توان از فیلتر هوموورفیک برای جداسازی مؤلّفهٔ شدّت روشنایی و قابلیت انعکاسی تصویر، سپس بهبود و اصلاح خرابی مؤلّفه‌ها استفاده کرد.

در بهسازی تصویر، اغلب کارهای انجام شده برای برطرف کردن شدّت روشنایی غیر یکنواخت تصویر بوده که مبتنی بر مؤلّفهٔ شدّت روشنایی هستند (Xie et al, 2010; Ngo et al, 2008; Jie et al, 2009). در (Ngo et al, 2008) تکنیک بهسازی بر مبنای مدل شدّت روشنایی- قابلیت انعکاسی ارائه شده است. در این روش با درنظرگرفتن اطلاعات پیکسل‌های همسایه، کیفیت تصاویری را بهبود می‌دهد که تحت شرایط تاریکی شدید یا روشنایی غیریکنواخت گرفته شده است. درواقع، اساس کار، جداکردن دو مؤلّفهٔ شدّت روشنایی و قابلیت انعکاس به‌کمک فیلتر پایین‌گذر گوسی است و سپس با استفاده از فشرده‌سازی محدودهٔ پویا، کنتراست مؤلّفه شدّت روشنایی را بهبود داده و درنتیجه تصویر اصلی بهبود می‌یابد.

همان‌طور که در (Xie et al, 2010) مطرح شده است، شناسایی چهره تحت شرایط روشنایی مختلف، به‌خصوص تصاویر منفرد، مشکل است. استخراج ویژگی‌های ثابت شدّت روشنایی روشی مؤثّر برای حل این مسئله است که بر اساس مؤلّفه‌های شدّت روشنایی و قابلیت بازتابی تصویر انجام می‌شود. در این مرجع، از تبدیل لگاریتمی کانتورلتی نمونه‌برداری نشده(مستقل)[1] برای تخمین مؤلّفه شدّت روشنایی و مؤلّفه قابلیت بازتاب، استفاده می‌شود. سپس مؤلّفه قابلیت بازتابی به‌عنوان ویژگی‌های ذاتی چهره درنظر گرفته می‌شود که می‌توان به‌صورت مستقیم برای شناسایی چهره استفاده شود.

در (Jie et al, 2009) روشی برای بهسازی تصاویر رنگی براساس مؤلّفه شدّت روشنایی و قابلیت انعکاسی مطرح شده است. در این روش، ابتدا تصویر را از فضای رنگی RGB به فضای رنگی HSV منتقل می‌شود. سپس مؤلّفهٔ شدّت روشنایی و قابلیت بازتاب، به‌کمک تجزیه هوموورفیک بر مبنای مدل شدّت روشنایی- قابلیت بازتابی، جدا می‌شوند.

[1] Logarithmic nonsubsampled contourlet transform

پس از آن، جزئیات قابلیت بازتابی به‌کمک تبدیل موجک حفظ و محدودهٔ دینامیکی[2] قابلیت بازتاب با فیلتر باترورث فشرده می‌شود. درنهایت، تصویر رنگی بهسازی‌شده از فضای رنگی HSV به فضای رنگی RGB منتقل می‌شود.

به‌تازگی در (نادری و همکاران، ۱۳۹۰) روشی برای بهبود عملکرد تکنیک رتینکس[3] در بهسازی تصاویر چهره ارائه شده است. در این تحقیق برای افزایش دقت شناسایی چهره، کیفیت تصاویر با سایهٔ شدید را به‌صورت محلی بهبود می‌دهند و بعد از طی چند مرحله به استخراج و اصلاح الگوی سایه پرداخته و در نهایت با استفاده از معیار مبتنی بر گرادیان، بهترین الگوی سایه را برای تصویر مشخص می‌کند. نتایج ارائه شده در این تحقیق بیان‌گر افزایش دقت شناسایی تصاویر چهره در به‌کارگیری این روش است.

در این مقاله برای تصاویر چهره از پایگاه داده Yale Face B استفاده شده است که شامل تصاویر چهرهٔ افراد مختلف تحت شرایط نوری متفاوت است. با توجه به این‌که روش مطرح‌شده در این مقاله برای تصویر غیر چهره نیز مناسب است، سعی شده است از تصاویر سطح خاکستری مختلفی برای نشان دادن نتایج استفاده شود.

در ادامه و در بخش دو، با فیلتر هوموورفیک و جداسازی مؤلّفه‌های شدّت روشنایی و قابلیت بازتاب، آشنا می‌شوید. اثر خرابی‌ها بر مؤلّفه‌های تصویر را در بخش سه مطرح می‌نماییم. بخش چهار شامل نتایج بهسازی تصاویر با استفاده از بهسازی مؤلّفه‌ای تصاویر است. در انتها، به جمع‌بندی می‌پردازیم.

۲- فیلتر هوموورفیک

همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، فیلتر هوموورفیک مؤلّفه‌های شدّت روشنایی و قابلیت انعکاس تصویر را با اعمال تابع لگاریتم و تبدیل اپراتور ضرب به اپراتور جمع، از هم جدا می‌کند. بنابراین برای جداسازی این دو جزء مستقل، از رابطهٔ (۱) تبدیل لگاریتم گرفته می‌شود:

$$z(x, y)= \ln I(x, y)= \ln L(x, y) + \ln R(x,y) \qquad (۲)$$

اگر $z(x, y)$ با استفاده از تابع فیلتر h پردازش شود آن‌گاه داریم :

$$s(x, y)= h *z(x, y) =h* \ln L(x, y)+ h* \ln (x,y) \qquad (۳)$$

[2] dynamic range
[3] Retinex

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-07-05]

در اینجا "*" نشان‌دهنده کانوولوشن[1] دو تابع است. مطابق با تئوری کانوولوشن داریم(McAndrew, 2004) :

$$S(u, v) = H(u, v)\, Z(u, v) = H(u, v)\, F_L(u, v) + H(u, v)\, F_R(u, v) \quad (۴)$$

که در آن $S(u, v)$، $Z(u, v)$، $H(u, v)$، $F_L(u, v)$ و $F_R(u, v)$ به ترتیب تبدیل فوریه $s(x,y)$، $z(x, y)$، $h(x, y)$، $\ln L(x, y)$ و $\ln R(x, y)$ هستند. پس از آن، $s(x, y)$ با معکوس‌کردن تبدیل فوریه مانند رابطهٔ (۵) محاسبه می‌شود:

$$s(x, y) = \mathcal{F}^{-1}\{S(u, v)\} = \mathcal{F}^{-1}\{H(u, v)\, FL(u, v)\} + \mathcal{F}^{-1}\{H(u, v) F_R(u, v)\}, \quad (۵)$$

جایی که $\mathcal{F}^{-1}$ اپراتور معکوس تبدیل فوریه است، می‌توان عبارات رابطهٔ (۵) را به‌طور خلاصه با روابط (۶) و (۷) بیان کرد:

$$L'(x, y) = \mathcal{F}^{-1}\{H(u, v)\, F_L(u,v)\} \quad (۶)$$

$$R'(x, y) = \mathcal{F}^{-1}\{H(u, v)\, F_R(u,v)\} \quad (۷)$$

بنابراین رابطهٔ (۵) می‌تواند به شکل زیر بیان شود :

$$s(x, y) = L'(x, y) + R'(x,y) \quad (۸)$$

اگر $g(x,y)$ تصویر بهبودیافتهٔ مطلوب بعد از عمل فیلتر باشد، باتوجه به این‌که $z(x,y)$، لگاریتم $I(x, y)$ است، می‌توان $g(x,y)$ را با رابطه زیر به‌دست آورد :

$$g(x, y) = e^{s(x, y)} = e^{L'(x, y)}\, e^{R'(x, y)} \quad (۹)$$

$$L(x, y)R(x, y) =$$

که در آن $L(x,y)= e^{L'(x, y)}$ و $R(x,y)= e^{R'(x, y)}$ به‌ترتیب مؤلّفهٔ شدّت روشنایی و قابلیت بازیابی تصویر خروجی هستند (Fan et al, 2011).

درواقع تابع تبدیل $H(u,v)$ به‌عنوان تابع فیلتر هوموورفیک شناخته می‌شود که روی مؤلّفه‌های شدّت روشنایی و قابلیت انعکاس تصویر ورودی، به‌طور جداگانه عمل می‌کند. در ادامه نشان داده می‌شود که فیلتر هوموورفیک می‌تواند کنترل بهتری روی مؤلّفه‌های شدّت روشنایی و قابلیت انعکاس داشته باشد تا بتواند مؤلّفه‌های فرکانس بالا و پایین تبدیل فوریه تصویر را تحت تأثیر قرار دهد(Saeed et al, 2011).

۲-۱- تجزیهٔ تصویر به مؤلّفه‌های شدّت روشنایی و قابلیت بازتابی

همان‌طور که بیان شد، از فیلتر هوموورفیک به‌عنوان تکنیکی برای جداسازی دومؤلّفه‌ی شدّت روشنایی و قابلیت بازتاب استفاده می‌شود. یکی از روش‌های مطرح شده برای این‌کار، فیلتر موجک هوموورفیک[2] است (Zhichao et al, 2010; Han et al, 2008). در این روش، بعد از به‌دست‌آوردن تبدیل لگاریتم تصویر، فرایند تجزیه و تحلیل پنجره‌های موجک و فیلتر هوموورفیک روی تصاویر لگاریتمی اعمال می‌شود تا تخمینی از مؤلّفه شدّت روشنایی به‌دست آید. درنهایت به‌کمک مؤلّفه‌ی شدّت روشنایی به‌دست آمده و تصویر اصلی، مؤلّفهٔ قابلیت بازتاب نیز به‌دست خواهد آمد.

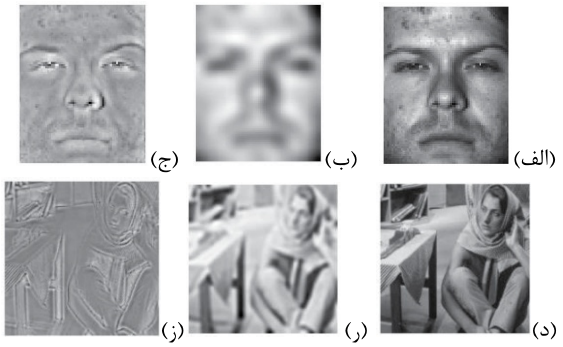
جداسازی تصویر ورودی به مؤلّفهٔ شدّت روشنایی و قابلیت بازتاب در دامنهٔ لگاریتم، به‌کمک فیلتر موجک هوموورفیک و با درنظرگرفتن رابطهٔ (۱) انجام می‌گیرد. فرآیند موجک فیلتر هوموورفیک روی تصاویر لگاریتمی اعمال می‌شود تا جزء شدّت روشنایی و جز قابلیت انعکاس از تصویر تخمین زده شود. در فرآیند تجزیه موجک، ضریب فرکانس پایین با cA و ضرایب فرکانس‌های بالا، با cD نشان داده می‌شوند. تبدیل موجک مجزّای دوبعدی، تصویر را در چهار باند جدا می‌کند که می‌توان با استفاده از مدل شدّت روشنایی- قابلیت بازتابش و تجزیه و تحلیل چندگانه[3] برمبنای موجک، مؤلّفه‌های شدّت روشنایی و قابلیت بازتابش را تا حدود زیادی از یکدیگر جدا کرد(Zheng Goh et al, 2011). اطلاعات مربوط به جزئیات تصویر در بخش‌های فرکانس بالای تبدیل موجک ذخیره می‌شود. بخش فرکانس پایین تبدیل موجک، محدودهٔ پویایی تصویر را مشخص می‌کند. بنابراین مؤلّفهٔ شدّت روشنایی در زیرباند فرکانسی پایین تبدیل موجک و مؤلّفه قابلیت بازتابش در زیرباندهای فرکانسی بالای تبدیل موجک ظاهر می‌شوند (Jie et al, 2009). با توجه به خصوصیات تبدیل موجک و خصوصیات بیان‌شدهٔ فیلتر هوموورفیک، ترکیب فیلتر هوموورفیک و تبدیل موجک، نتیجهٔ خوبی در جداسازی مؤلّفه‌های شدّت روشنایی و قابلیت بازتابش خواهد داشت.

در روش پیشنهادی، از روش جداسازی فیلتر موجک هوموورفیک (Han et al, 2008) برای بهسازی تصویر استفاده کردیم. در روش مطرح شده برای جداسازی دو مؤلّفه، طی فرایند تحلیل چندگانه برمبنای موجک، ضرایب تقریب cA در مقیاس بزرگ‌تر، تقریب خوبی از مؤلّفه شدّت روشنایی در تصویر اصلی ارائه می‌دهند. بنابراین، ضرایب تقریب cAn در مقیاس n به‌طورتقریبی شامل اطلاعات روشنایی تصویر اصلی است. از آنجا که تأثیر روشنایی در ضرایب جزئیات cDn نیز ظاهر می‌شوند، بنابراین فرایندی

[1] Convolution
[2] Homomorphic Wavelet Filtering
[3] Wavelet- based Multiresolution Analysis(MRA)

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-07-05]

برای بدست‌آوردن تخمین دقیقی از مؤلّفه شدّت روشنایی، نیاز است. با توجه به خصوصیات فیلتر هوموورفیک، فرآیند فیلتر هوموورفیک به‌کار می‌رود تا مقادیر کوچک مؤلّفه شدّت روشنایی توزیع‌شده در همهٔ ضرایب جزئیات cD را فیلتر کند. بنابراین فیلتر هوموورفیک برای جداکردن جزء روشنایی از cDn در همهٔ سطوح مقیاس، به‌کار می‌رود. سپس این دو قسمت از تبدیل موجک با یکدیگر ترکیب شده و معکوس تبدیل موجک مجزای دو بعدی[1] اجرا می‌شود تا تخمین نهایی مؤلّفه شدّت روشنایی و مؤلّفهٔ قابلیت بازتاب در تصویر اصلی به‌دست آید (Han et al, 2008). در شکل سه، دو نمونه از تجزیهٔ تصویر به مؤلّفه‌های شدّت روشنایی و قابلیت بازتاب، به‌کمک فیلتر هوموورفیک، نمایش داده شده است. همان‌طور که در تصاویر شکل سه مشخص است، مؤلّفهٔ قابلیت بازتاب بیان‌گر بیش‌ترین اطلاعات فرکانس بالای تصویر است که بیش‌ترین جزئیات یک تصویر را نشان می‌دهد. مؤلّفهٔ شدّت روشنایی نیز شامل اطلاعات فرکانس پایین تصویر است که تغییرات شدّت روشنایی را در تصویر نشان می‌دهد(Liu et al, 2010).



شکل ۳: جداسازی تصاویر اصلی به دو مؤلّفهٔ شدّت روشنایی و قابلیت بازتابش به کمک فیلتر هوموورفیک؛ الف، د) تصویر اصلی، ب، ر) مؤلّفه شدّت روشنایی تصویر، ج، ز) مؤلّفه قابلیت بازتابش تصویر

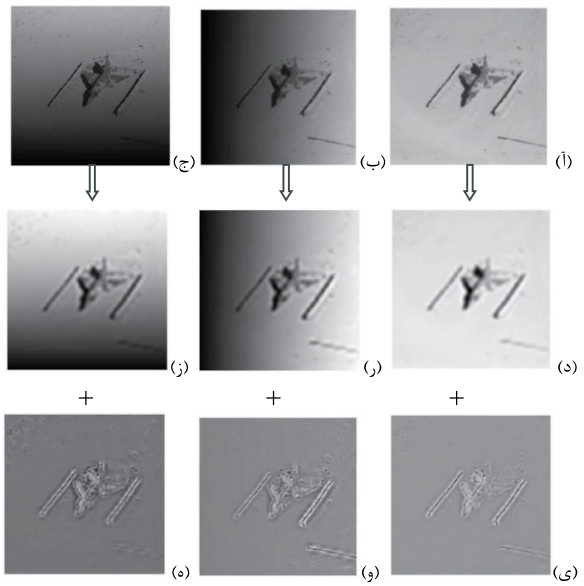
۳- اثر خرابی بر مؤلّفه‌های تصویر

همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، هر گونه خرابی و تغییراتی که روی یک تصویر اعمال می‌شود، روی مؤلّفه شدّت روشنایی و قابلیت انعکاسی تصویر نیز تأثیرگذار است. با توجه به تجزیهٔ تصاویر به دو مؤلّفه شدّت روشنایی و قابلیت بازتاب، هر خرابی و تغییری در تصویر اصلی با تغییر دو مؤلّفه شدّت روشنایی و قابلیت بازتابی در ارتباط است و اعمال یک خرابی روی تصویر ممکن است بر روی هریک از مؤلّفه‌های آن تأثیر متفاوتی بگذارند. بنابراین با شناخت نوع خرابی، می‌توان با تجزیهٔ آن به‌کمک فیلتر هوموورفیک، مؤلّفه‌های متأثر را بهسازی کرد تا درنهایت تصویری با کیفیت مطلوب داشته باشیم. نمونه‌هایی از انواع خرابی تصویر و تأثیر آن بر مؤلّفه‌های شدّت روشنایی و قابلیت بازتاب را در بخش زیر مشاهده و بررسی می‌کنیم.

۳-۱- اثر خرابی بر مؤلّفه شدّت روشنایی

یکی از تغییرات تأثیرگذار روی تصویر، تغییرات نور و شدّت روشنایی محیط است. روشنایی غیر یکنواخت، عامل خرابی است که ممکن است سبب تخریب تصویر و کاهش وضوح آن شود. با توجه به اینکه تغییرات روشنایی محیط، روی روشنایی تصویر بسیار تأثیرگذار است، این تغییرات با مؤلّفه شدّت روشنایی تصویر بیشترین ارتباط را داشته و بیش‌ترین اثر را بر روی آن می‌گذارند؛ زیرا نور و روشنایی نامناسب صحنه، سبب می‌شود جزئیات اشیای موجود در صحنه به هنگام تصویربرداری، به‌خوبی مشخص نباشد.

شکل ۴، تصویری را نشان می‌دهد که در آن دو الگوی متفاوت از شدّت روشنایی غیریکنواخت روی تصویر اصلی اعمال شده است. مؤلّفه‌های شدّت روشنایی و قابلیت بازتاب تصویر اصلی و تصاویر خراب‌شده، در این شکل قابل مشاهده است. همان‌طور که مشخّص است، شدّت روشنایی نامناسب روی مؤلّفهٔ شدّت روشنایی تصویر اصلی بیش‌ترین تأثیر را گذاشته است، به‌طوری‌که شدّت روشنایی تصاویر تخریب‌شده در مقایسه با شدّت روشنایی تصویر اصلی، بسیار متفاوتند. البته روشنایی محیط ممکن است روی مؤلّفهٔ قابلیت بازتاب تصویر نیز تأثیر گذارد؛ ولی این تأثیر نسبت به تأثیر مؤلّفه شدّت روشنایی اندک است.



[1] discrete wavelet transform (2D-IDWT)

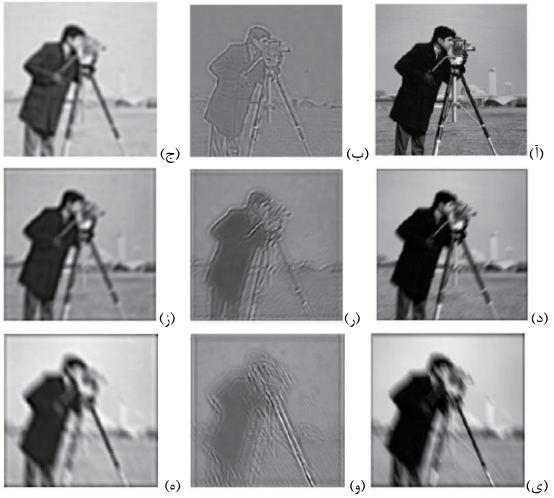
[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-07-05]

شکل ۴ : بررسی تأثیر تغییرات شدّت روشنایی محیط روی مؤلّفه‌های شدّت روشنایی و قابلیت انعکاسی تصویر ؛ آ)تصویر اصلی؛ (ب،ج) تصاویر خراب‌شده با الگوهای متفاوت شدّت روشنایی غیر یکنواخت؛ (د، ر، ز) مؤلّفه‌ی شدّت روشنایی تصاویر مربوطه؛ (ی، و ه) مؤلّفهٔ بازتابش تصاویر مربوطه.

با توجه به تصاویر شکل ۴، در مواردی که عامل خرابی، مؤلّفهٔ شدّت روشنایی را متأثر کرده باشد، می‌توان اثر آن را با به‌کارگیری روش مناسب برطرف و در نتیجه تصویر اصلی را بهسازی کرد.

۳-۲- اثر خرابی بر مؤلّفهٔ قابلیت بازتابی

بعضی عوامل خرابی تصویر بر مؤلّفه قابلیت بازتاب، تاثیر می‌گذارند. به‌عنوان مثال لغزش دوربین هنگام تصویربرداری سبب مات‌شدن تصویر و مخدوش‌شدن جزئیات آن می‌شود. مات‌شدن تصویر در واقع بیان‌گر جابه‌جایی پیکسل‌های تصویر و اشیای موجود در آن است و تأثیر زیادی بر روی بافت اشیای موجود در تصویر خواهد داشت. مات‌شدن تصویر، نوعی خرابی است که بیش‌ترین تأثیر را روی مؤلّفهٔ قابلیت بازتاب تصویر می‌گذارد. تصویری مانند شکل (۵-آ) را درنظر بگیرید که به دو مؤلّفه‌ی شدّت روشنایی و قابلیت بازتاب تجزیه شده است. روی این تصویر، خرابی motion blurring اعمال شده و بار دیگر مؤلّفه‌های شدّت روشنایی و قابلیت بازتاب آن، استخراج شده‌اند. با دقّت در این تصاویر و مقایسهٔ تصاویر شدّت روشنایی و قابلیت بازتاب مربوطه متوجه خواهیم شد که تصویر قابلیت بازتاب تصویر مات‌شده، تغییرات بیشتری در مقایسه با تصویر قابلیت بازتاب تصویر اصلی دارد، نسبت این تغییرات در برابر تغییرات شدّت روشنایی دو تصویر اصلی و مات‌شده به مراتب بیشتر است.



شکل ۵: بررسی تأثیر خرابی motion blurring روی مؤلّفه‌های شدّت روشنایی و قابلیت انعکاسی، آ) تصویر اصلی؛ (د، ی) تصویر اصلی مات‌شده؛ (ب) مؤلّفه قابلیت انعکاسی تصویر اصلی؛ (ج) مؤلّفه شدّت روشنایی تصویر اصلی؛ (ر، و) مؤلّفه قابلیت بازتابی تصاویر مات‌شدهٔ مربوطه؛ (ز، ه) مؤلّفه شدّت روشنایی تصاویر مات‌شدهٔ مربوطه.

درواقع می‌توان این‌گونه مطرح کرد که خرابی‌هایی مانند مات‌شدن تصویر که سبب تغییر ساختار بافت تصویر و جابه‌جایی پیکسل‌های آن می‌شود، بیشترین تأثیر را بر روی مؤلّفه قابلیت بازتابی دارد. بهبود تصویر قابلیت بازتاب سبب بهبود تصویر اصلی خواهد شد. همان‌گونه که در شکل ۵ مشخص است، این‌گونه خرابی بر روی مؤلّفه شدّت روشنایی نیز تأثیر اندکی دارد؛ زیرا شدّت روشنایی نیز هم‌زمان با حرکت جسم کمی جابه‌جا می‌شود، ولی این تأثیر در مقابل تأثیر مؤلّفهٔ قابلیت بازتاب اندک است.

۴- بهسازی مؤلّفه‌ای تصویر

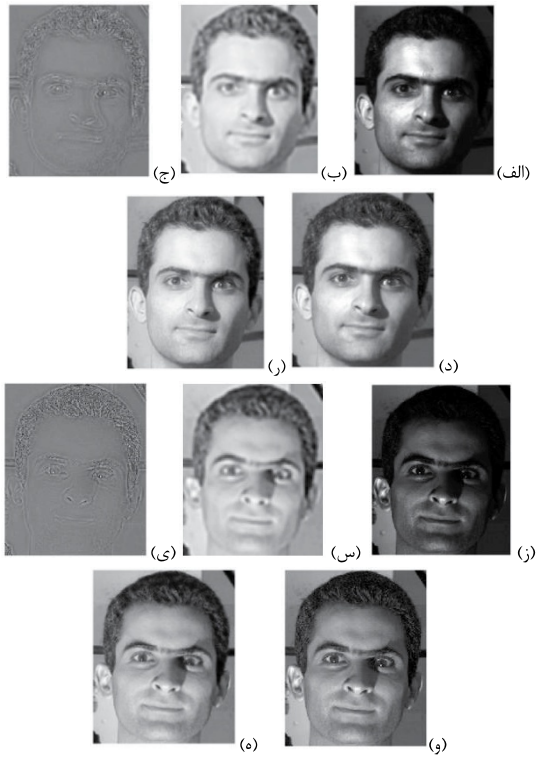
همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، بعضی از انواع مختلف خرابی، تأثیر متفاوتی بر روی مؤلّفه شدّت روشنایی و قابلیت بازتاب تصویر دارند. بنابراین بر اساس نوع خرابی، باید روش بهسازی مناسبی به‌کار گرفته شود. پس از جداسازی دو مؤلّفهٔ شدّت روشنایی و قابلیت بازتاب از تصویر اصلی، باید بررسی شود که چه نوع خرابی روی مؤلّفه‌ها تأثیر گذاشته است تا روش بهسازی مناسب برای اصلاح آن انتخاب شود. با توجه به بخش‌های قبلی، خرابی ناشی از تغییر شدّت روشنایی و لغزش، به‌ترتیب بر روی مؤلّفه‌های شدّت روشنایی و قابلیت بازتابی تأثیر می‌گذارند. در ادامه این بخش نشان داده می‌شود که با انتخاب روش بهسازی مناسب بر روی مؤلّفهٔ متأثر از خرابی، تصویر بهبودیافتهٔ مطلوب‌تری می‌توان داشت.

۴-۱- بهسازی مؤلّفه شدّت روشنایی تصویر

در مواردی که تصویر در اثر شرایط نامساعد نوری صحنه خراب شده باشد، می‌توان از روش‌هایی چون فشرده‌سازی محدوده پویا (Ngo et al, 2008) و بهسازی تصویر با تکیه بر اطلاعات گاما (*حسن‌پور و همکاران، ۱۳۹۰*) استفاده کرد. بنابراین در تصاویر با خرابی ناشی از شدّت روشنایی نامناسب، می‌توان از تکنیک‌های بهسازی موردنظر بر روی مؤلّفه شدّت روشنایی استفاده کرده و سپس تصویر نهایی مطلوب را به‌دست آورد. شکل‌های (۶- الف) و (۶- ز)، تصاویر

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-07-05]

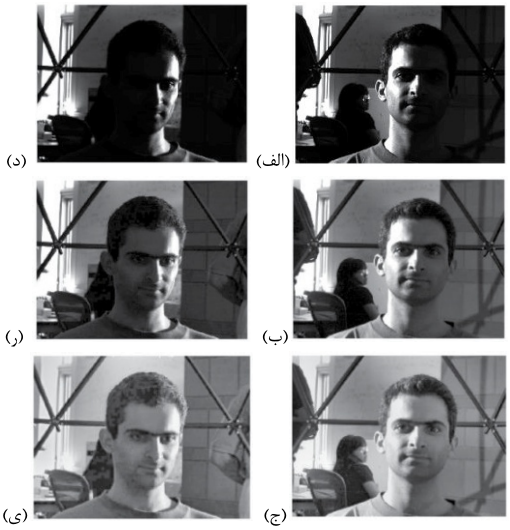
چهره با شدّت روشنایی غیریک‌نواخت را نشان می‌دهند که این خرابی روی مؤلّفه شدّت روشنایی تأثیر گذاشته است. همان‌طور که ذکر شد یکی از روش‌های بهسازی شدّت روشنایی نامناسب، استفاده از روش فشرده‌سازی محدوده پویاست که تصاویر (۶- د) و (۶- و) نتایج استفاده از این روش را نشان می‌دهند. حال اگر به جای استفاده از این تکنیک برای بهبود کل تصویر، از آن برای بهسازی مؤلّفه خرابی شدّت روشنایی استفاده شود، نتایج مطلوب‌تری به‌دست می‌آید. براین اساس، تصاویر (۶- ر) و (۶- ه) نتیجهٔ بهسازی مؤلّفه شدّت روشنایی بعد از جداسازی تصویر، به‌کمک روش فشرده‌سازی محدوده پویا را نشان می‌دهند.



شکل۶: بررسی و مقایسه‌ی بهسازی کلی تصویر با بهسازی مؤلّفه شدّت روشنایی در بهسازی خرابی تغییر شدّت روشنایی تصویر ؛ (الف، ز) تصویر اصلی؛ (ب،س) مؤلّفه تخمین‌زده‌شده شدّت روشنایی؛ (ج،ی)مؤلّفه قابلیت انعکاسی؛ (د،و) تصویر بهبودیافته بعد از بهسازی کلی تصویر؛ (ر، ه) تصویر بهبود یافته بعد از بهسازی مؤلّفه شدّت روشنایی تصویر

با توجه به تصاویر شکل ۶، با مقایسهٔ نتایج بهسازی تصاویر، اصلاح غیریکنواختی شدّت روشنایی و کیفیت مطلوب‌تر نتایج در روش پیشنهادی قابل مشاهده است.

در برخی تصاویر با خرابی ناشی از شدّت روشنایی غیر یک‌نواخت، نیاز است تکنیک بهسازی مناسب‌تری به‌کار گرفته شود. یکی از این تکنیک‌ها، بهسازی با تکیه بر اطلاعات گاما‌ی تصویر است (حسن‌پور و همکاران، ۱۳۹۰). در این روش، گاماهای مناسب را برای ناحیه‌های مختلف از یک تصویر با استفاده از شبکهٔ عصبی پرسپترون چندلایه تخمین می‌زنند. شکل ۷، دو نمونه از تصاویر با شدّت روشنایی غیریک‌نواخت و نامناسب را نشان می‌دهد. برای نشان‌دادن این موضوع که با اصلاح خرابی مؤلّفهٔ شدّت روشنایی، نتیجهٔ بهسازی مطلوب‌تری نسبت به بهسازی کل تصویر به‌دست می‌آید، یک‌بار کل تصویر اصلی را با روش بهسازی تکیه بر اطلاعات گاما بهسازی می‌شود. بار دیگر با تکیه بر بهسازی مؤلّفه‌ی شدّت روشنایی تصویر، فقط مؤلّفهٔ شدّت روشنایی را با روش بهسازی تکیه بر اطلاعات گاما، بهسازی می‌شود. با مقایسهٔ تصاویر و نتایج به‌دست آمده بر اساس روش‌های مطرح شده، عملکرد بهتر بهسازی تصاویر با تکیه بر مؤلّفهٔ اصلی خرابی (که در این قسمت مؤلّفه شدّت روشنایی است) نسبت به بهسازی کلّی تصویر، مشهود است.

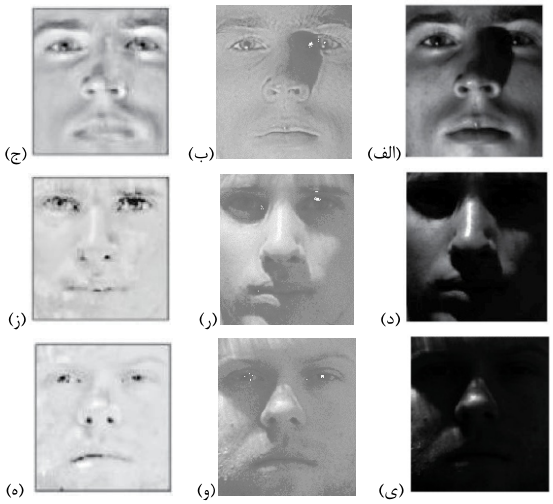


شکل ۷: مقایسه بهسازی کلّی تصاویر به‌کمک روش اصلاح گاما با بهسازی مؤلّفه شدّت روشنایی؛ (الف، د) تصاویر اصلی؛ (ب،ر) تصاویر بهسازی شده با بهسازی کلی به‌کمک روش اصلاح گاما؛ (ج، ی) تصاویر بهسازی شده با تکیه بر اصلاح مؤلّفه شدّت روشنایی

روش (نادری و همکاران، ۱۳۹۰) یکی از کارهایی است که به‌تازگی در زمینه بهبود کیفیت و روشنایی تصاویر ارائه شده است. جدا از کارهای شایسته‌ای که در این مقاله انجام شده است و به شناسایی بهتر چهره کمک می‌کند، باید گفت که روش ارائه‌شده، مختص تصاویر چهره بوده و نمی‌توان از آن انتظار داشت که بر روی تصاویر غیر چهره نیز جواب مطلوبی

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-07-05]

ارائه دهد. امّا، ایدهٔ ارائه‌شده در مقالهٔ حاضر برای بهسازی شدّت روشنایی تصاویر غیرچهره نیز مناسب است. در شکل ۸، می‌توان تصاویر بهبودیافته با روش مطرح‌شده در (نادری و همکاران ، ۱۳۹۰) را با تصاویر بهسازی‌شده با روش این مقاله، مقایسه کرد. نتایج موجود در شکل ۸ نشان می‌دهد که گرچه خرابی و سایه موجود در تصاویر با روش بهسازی (نادری و همکاران ، ۱۳۹۰) برطرف و اصلاح‌شده است ولی این خرابی به خرابی دیگری تبدیل شده است به‌گونه‌ای که سبب ازبین‌رفتن بافت تصویر شد، به‌خصوص در قسمت‌هایی که سایه در آنها حذف شده است. این درحالی است که بهسازی تصویر با تکیه بر مؤلّفه شدّت روشنایی، بافت تصویر را بهتر حفظ می‌کند.

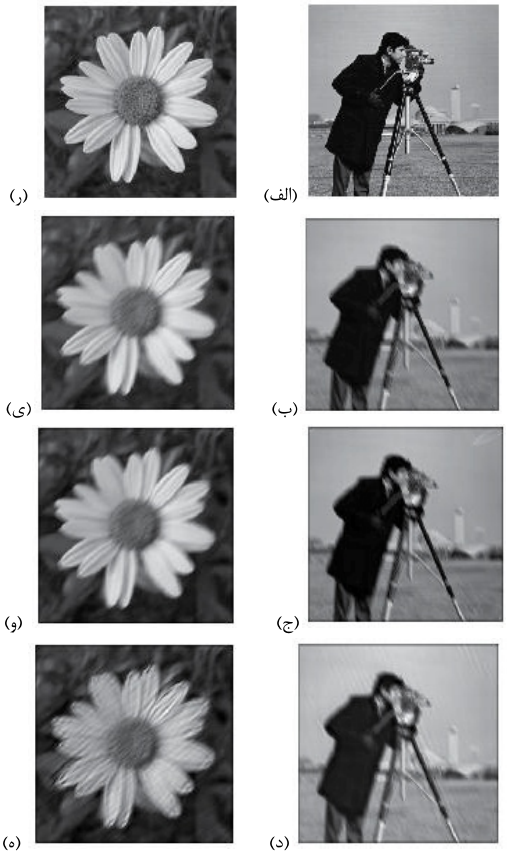


شکل ۸: مقایسه عملکرد روش رتینکس بهبود یافته در بهسازی تصاویر چهره و روش پیشنهادی این مقاله، (الف، د، ی) تصاویر اصلی؛ (ب، ر، و) تصاویر بهسازی‌شده با تکیه بر اصلاح مؤلّفه شدّت روشنایی؛ (ج، ز، ه) تصاویر بهسازی شده با روش رتینکس بهبود یافته در بهسازی تصاویر چهره (نادری و همکاران ، ۱۳۹۰)

۴-۲- بهسازی مؤلّفه قابلیت بازتابی تصویر

علاوه بر تأثیر برخی انواع خرابی بر مؤلّفه‌ی شدّت روشنایی، مؤلّفه‌ی قابلیت بازتاب نیز تحت تأثیر انواعی از خرابی‌ها قرار می‌گیرد. با توجه به بخش‌های قبلی، ماتشدن تصویر یکی از خرابی‌هایی است که بر مؤلّفه قابلیت بازتاب تأثیر گذاشته و سبب خرابی تصویر می‌شود. تصویری با خرابی ناشی از لغزش دوربین و ماتشدن تصویر، همانند شکل‌های (۹- ب) و (۹- ی) در نظر بگیرید. یک‌بار به‌صورت کلی، خرابی ماتشدن تصویر برطرف می‌شود[1] که تصاویر (۹- ج) و (۹- و) نتایج این بهسازی را نشان می‌دهند. سپس به جای بهسازی کلی تصویر، فقط مؤلّفه‌ی قابلیت بازتابی را که خرابی بر آن بیش‌ترین تأثیر را گذاشته است، بهسازی می‌شود و تصویر نهایی بهبودیافته در شکل (۹- د) و (۹- ه) نمایش داده شده‌اند.

با مقایسهٔ نتایج به‌دست آمده، تأثیر خرابی بر مؤلّفهٔ قابلیت بازتابی و نیز تأثیر اصلاح خرابی بر مؤلّفهٔ بازتاب مشخص است. اگر بتوان با روش‌های بهسازی مناسب‌تر مؤلّفهٔ قابلیت بازتاب را بهبود داد، به‌اطمینان نتایج مطلوب‌تری نیز در بهبود کیفیت تصویر به‌دست خواهد آمد.



شکل ۹: تاثیر بهسازی مؤلّفه قابلیت بازتابی تصویر ؛ (الف، ر) تصاویر اصلی؛ (ب، ی) تصاویر مات شده؛ (ج، و) تصاویر بدست‌آمده بعد از اصلاح کلی خرابی تصاویر اصلی؛ (د، ه) تصاویر بدست آمده بعد از اصلاح خرابی مؤلّفه قابلیت بازتاب

به‌طور کلی، با توجه به نتایج به‌دست آمده در این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که انواع خرابی روی دو مؤلّفه شدّت روشنایی و قابلیت بازتابی تصویر تأثیر می‌گذارند. خرابی‌هایی مانند تغییر شدّت روشنایی محیط، بیشترین تأثیر را روی مؤلّفه شدّت روشنایی تصویر اصلی و خرابی‌هایی مانند مات شدن تصویر، بیشترین تاثیر را بر مؤلّفه قابلیت بازتابی تصویر

[1] Deblur

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-07-05]

خواهند داشت. هرچند که مؤلّفهٔ دیگر نیز ممکن است کمی تحت تأثیر خرابی قرار گیرد، ولی شدّت تأثیر نسبت به مؤلّفه اصلی خرابی بسیار اندک است. می‌توان با انتخاب روش بهسازی مناسب برای اصلاح خرابی مؤلّفهٔ مورد نظر، خرابی و تغییرات اعمال‌شده روی مؤلّفه شدّت روشنایی و یا مؤلّفهٔ قابلیت بازتاب را بدون درنظر گرفتن مؤلّفهٔ دیگر تصویر، بهبود داده و تصویری بهسازی شده با کیفیت بهتر به‌دست آورد.

نتیجه گیری

در این مقاله، پیشنهاد جدیدی برای بهبود کیفیت تصاویر با تکیه بر اصلاح مؤلّفه‌های تشکیل‌دهنده تصویر ارائه شده است. در این تحقیق نشان داده شده است که خرابی تصویر بر مؤلّفه‌های آن نیز تأثیر می‌گذارد. برخی خرابی‌ها و تغییرات روی یک مؤلّفه بیشترین تأثیر را نسبت به مؤلّفهٔ دیگر دارد. در این روش با جداسازی مؤلّفه‌های تصویر به کمک فیلتر هوموورفیک، خرابی‌های هر مؤلّفه بررسی‌شده و با استفاده از یک تکنیک مناسب بهسازی تصویر، مؤلّفه متأثر از خرابی بهبود می‌یابد که نتیجهٔ آن بهبود کیفیت تصویر اصلی است. نتایج این تحقیق نشان داد که اعمال یک روش بهسازی تصویر بر روی مؤلّفهٔ متأثر از خرابی، نتیجه مطلوب‌تری از اعمال مستقیم آن روش بر روی تصویر اصلی دارد.

منابع

حسن‌پور، حمید و اسدی امیری، سکینه. "بهسازی تصاویر با تکیه بر اطلاعات گاما"، دو فصل‌نامه پردازش علائم و داده‌ها، ۱۳۹۰، شماره ۱، ۲۵-۳۲.

نادری، شقایق. مقدم چرکری، نصرالله و کبیر، احسان اله، "بهبود محلی کیفیت تصاویر چهره با سایه شدید به منظور ارتقای شناسایی"، دو فصل‌نامه پردازش علائم و داده‌ها، ۱۳۹۰. شماره ۱، ۵۵-۶۶.

Acharya, A., Mehra, R., Takher, V. S., 2011, "FPGA Based Non Uniform Illumination Correction in Image Processing Applications", Image Processing Applications, vol. 2, pp. 349-358.

Fan, Ch. N., Zhang, F. Y., 2011, "Homomorphic filt ering based illumination normalization method for face recognition", Elsevier Pattern Recognition Letters, vol. 32, pp. 1468 – 1479.

Gorgel, P., Sertbas, A., Ucan, O. N., 2010, "AWavelet-Based Mammographic Image Denoising and Enhancement with Homomorphic Filtering ", Springer, Journal of Medical Systems, vol. 34, pp. 993 - 1002.

Han, H., Shan, Sh., Chen, X., Gao, W., 2008, "Illumi nation Transfer Using Homomorphic Wavelet Filtering and It's Application to Light-Insensitive Face Recognition", IEEE Automatic Face & Gesture Recognition, pp. 1- 6.

Jie, X., Li-na, H., Guo hua, G., 2009, "Real Color Image Enhanced by Illumination— Reflectance Model and Wavelet Transfor mation", IEEE Information Technology and Comp uter Science, ITCS, vol. 1, pp. 351- 356.

Liu, Z., Yang, J., Liu, Ch., 2010, "Extracting Multiple Features in the CID Color Space for Face Recognition", IEEE Transactions on Image Processing, vol. 19, pp. 2502 - 2509.

McAndrew, A., "An Introduction to Digital Image Processing with Matlab Notes for SCM251", Image Processing, School of Computer Science and Mathematics Victoria University of Technolog, 2004.

Ngo, H. T., Asari, V. K., Zhang, M. Z., Tao, L., 2008, "Design of a systolic-pipelined architecture for real-time enhancement of color video stream based on an illuminance–reflectance model", Elsevier Integration, the VLSI journal, vol. 41, pp. 474 – 488.

Rasheed, T., Ahmed, B., Khan, M.A.U., Bettayeb, M., Lee, S., Kim, T.S, 2007, "Rib Suppression In Frontal Chest Radiographs: A Blind Source Sep aration Approach", IEEE Signal Processing and Its Application, ISSPA, pp. 1-4.

Saeed, A., Tariq, A., Jawaid, U., 2011, "Automated System For Fingerprint Image Enhancement Using Improved Segmentation And Gabor Wavelets", Elsevier Information and Communication Technologies (ICICT), pp. 1- 6.

Shao, M., Wang, Y., 2009, "Extracting Intrinsic Images from Multi-Spectral", IEEE Wavelet Analysis and Pattern Recognition, ICWAPR, pp. 241- 246.

Shi, Y., Yang, J., Wu, R., 2007, "Reducing illum ination based on nonlinear gamma correction", IEEE Image Processing, ICIP, vol. 1, pp. 529 - 539.

Sundaram, N. Homomorphic processing and its appli cation to image enhancement, Image Processing Project, 2011.

Weiss, Y., 2001, "Deriving intrinsic images from image sequences", IEEE Computer Vision Conferences, ICCV, vol. 2, pp. 68 - 75.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-07-05]

Xie, X., Lai, J., ShiZheng, W., 2010, "Extraction of illumination invariant facial features from a single image using nonsubsampled contourlet transform", Elsevier Pattern Recognition, vol. 43, pp. 4177 - 4189.

Ye, Q., Xiang, M., Cui, Z., 2012, "Fingerprint Image Enhancement Algorithm Based on Two Dimension EMD and Gabor Filter", Elsevier Procedia Engineering, vol. 29, pp. 1840 - 184.

Zheng Goh. Y., Jin Teoh. A. B., Ong Goh. M. K., 2011, "Wavelet local binary patterns fusion as illuminated facial image preprocessing for face verification", Expert Systems with Applications, Elsevier, vol. 38, pp. 3959–3972.

Zhichao, L., Joo, E. M., " Face Recognition under Varying Illumination", InTechOpen book chapter of New Trends in Technologies: Control, Management, Computational Intelligence and Network Systems , Nanyang Technological University ,Singapore, 2010.

حمید حسن‌پور در سال ۱۳۸۳ تحصیلات مقطع دکتری خود را در مهندسی کامپیوتر گرایش پردازش سیگنال در دانشگاه صنعتی کوئینزلند استرالیا به اتمام رساند. ایشان مدرک کارشناسی ارشد خود را سال ۱۳۷۵ در گرایش هوش مصنوعی از دانشگاه صنعتی امیرکبیر و مدرک کارشناسی خود را سال ۱۳۷۲ در رشته مهندسی کامپیوتر گرایش سخت‌افزار از دانشگاه علم و صنعت ایران دریافت کرده‌اند. ایشان در حال حاضر استاد دانشکدهٔ مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات دانشگاه صنعتی شاهرود هستند و زمینه‌های تحقیقاتی ایشان پردازش سیگنال، پردازش تصویر، داده‌کاوی، معماری کامپیوتر و پردازش متن است.

نشانی رایانامهٔ ایشان عبارت است از:

h.hassanpour@shahroodut.ac.ir

عذرا رستمی‌قادی مدرک کارشناسی ارشد خود را در سال ۱۳۹۱ در رشته مهندسی کامپیوتر گرایش هوش مصنوعی از دانشگاه صنعتی شاهرود و مدرک کارشناسی خود را در سال ۱۳۸۹ در رشته‌ی مهندسی کامپیوتر گرایش نرم‌افزار از دانشگاه صنعتی شاهرود اخذ نموده و زمینه‌های تحقیقاتی ایشان پردازش تصویر و معماری سیستم‌های کامپیوتری است.

نشانی رایانامهٔ ایشان عبارت است از :

rostami_o85@yahoo.com

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-07-05]