

آمیختن بدون درز تصاویر، مبتنی بر هم‌رنگ‌سازی چند بانده و تبدیل موجک

ناصر مزینی
دانشگاه علم و صنعت ایران،
دانشکده مهندسی کامپیوتر
Mozayani@iust.ac.ir

محمود فتحی
دانشگاه علم و صنعت ایران،
دانشکده مهندسی کامپیوتر
mahFathy@iust.ac.ir

محمود امین طوسی
دانشگاه علم و صنعت ایران،
دانشکده مهندسی کامپیوتر
mAmintoosi@iust.ac.ir

برخی به آنها به عنوان سطوح پیکسلی، ویژگی و نمادین^۲ اشاره می‌کنند. متدهای مبتنی بر ویژگی معمولاً تصویر را به چند ناحیه قطعه‌بندی نموده و نواحی را با استفاده از خصوصیات مختلفشان ترکیب می‌کنند. این متدها معمولاً حساسیت کمتری به نویز دارند. متدهای سطح بالا، توصیف کننده‌های تصویر - مانند گرافهای رابطه‌ای^۳ - را آمیخته می‌کنند^{۵، ۷}.

یکی از مشهورترین آثار در حوزه‌ی ترکیب تصاویر را می‌توان تکنیک هم‌رنگ‌سازی چندبانده‌ی پرت و آدلسون^۴ دانست که از روشهای سطح پیکسلی به‌شمار می‌رود. در این روش از سطوح مختلف تفکیک‌پذیری^۵ برای آمیختن تصاویر در مسئله‌ی موزائیک تصاویر^۶ بهره گرفته شده است. تکنیک موزائیک روشی است برای ساخت تصویری با میدان دید وسیع‌تر یا جزئیات بیشتر از چیزی که از یک تصویر حاصل می‌شود. یکی از زیر مسائل این تکنیکها و تصاویر عریض^۷، ترکیب دو تصویر به نحوی است که لبه‌های تصاویر در ناحیه‌ی هم‌پوشان مشخص نباشد. حتی تفاوت سطح خاکستری در مرز ناحیه‌ی هم‌پوشان به خوبی قابل رؤیت می‌باشد. لذا نیازمند روشی برای ترکیب هستیم که انتقال از یک تصویر به تصویر دیگر به نرمی صورت پذیرفته، مرز دو تصویر دیده نشود و در عین حال اطلاعات تصاویر اصلی تا حد امکان محفوظ بماند. به چنین روش ترکیبی، ترکیب بدون درز^۸ گفته می‌شود.

ساده‌ترین راه حذف درز را می‌توان روش میانگین‌گیری وزن‌دار پیکسلهای دو تصویر در ناحیه‌ی هم‌پوشان دانست. فرض کنید تصویر A در سمت چپ و تصویر B در سمت راست بوده، $A(i)$ پیکسل i ام ناحیه‌ی هم‌پوشان در تصویر سمت چپ، $B(i)$ پیکسل متناظر از تصویر سمت راست و \hat{i} مختصات پیکسل روی مرز باشد. همچنین به فرض $H_l(i)$ تابع وزن‌دهی باشد که نزولی یکنوا از چپ به راست بوده و $H_r(i) = 1 - H_l(i)$

چکیده: آمیختن تصاویر عبارت است از ایجاد یک تصویر از ترکیب دو یا چند تصویر دیگر، به نحوی که اطلاعات مهم آنها محفوظ بماند. آمیختن تصاویر به نحوی که مرز تصاویر آشکار نباشد یکی از موضوعات مهم در مسائل وضوح برتر و تصاویر عریض می‌باشد. در این مقاله شیوه‌ای ترکیبی بر اساس روشهای هم‌رنگ‌سازی چند بانده، مبتنی بر هرم لاپلاسی و تبدیل موجک برای آمیختن بدون درز تصاویر ارائه شده است. در الگوریتم پیشنهادی ابتدا تصاویر مورد نظر با استفاده از روش آمیختن مبتنی بر موجک ترکیب شده، نتیجه‌ی این مرحله با روش هم‌رنگ‌سازی چند بانده و با استفاده از یک ماسک تولیدی، با تصویر اول آمیخته می‌گردد. شیوه‌ی پیشنهادی در حالتی خاص از مسئله‌ی وضوح برتر بکار گرفته شده است. هدف در مسئله‌ی موردنظر، افزایش وضوح یک ناحیه از تصویر ورودی با وضوح پایین با استفاده از یک تصویر آموزشی با وضوح بالاست. ابتدا مدل مناسب برای نگاشت تصویر آموزشی بر روی تصویر ورودی با استفاده از یک شیوه‌ی ثبت تصویر مبتنی بر ویژگی پیدا شده و سپس تصویر نگاشته شده با استفاده از الگوریتم پیشنهادی با تصویر ورودی آمیخته می‌گردد. نتایج پیاده‌سازی‌های انجام شده برتری شیوه‌ی پیشنهادی را در مقایسه با هر یک از دو روش هم‌رنگ‌سازی چندبانده و تبدیل موجک نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: آمیختن، هم‌رنگ‌سازی، ثبت تصویر، موجک، وضوح برتر.

۱- مقدمه

به فرآیند ترکیب اطلاعات دو یا چند تصویر از یک صحنه، جهت حصول یک تصویر که دارای اطلاعات بیشتری بوده و برای درک بصری یا پردازش کامپیوتری مناسب‌تر است «آمیختن»^۱ گفته می‌شود^۵. معمولاً تصاویر مورد ترکیب با استفاده از حسگرهای مختلف اخذ شده و با هم آمیخته می‌شوند؛ به عنوان مثال یک عکس معمولی و یک تصویر مادون قرمز. در این حالت یک شیء سرد یا گرم به راحتی در تصویر ترکیبی قابل شناسایی خواهد بود. آنچه که در این مقاله مدنظر است ترکیب تصاویری با وضوح رنگ و زاویه‌ی اخذ متفاوت از یک صحنه می‌باشد.

آمیختن تصویر به سه سطح: پایین، میانه و بالا تقسیم‌بندی می‌شود که

^۲Symbolic

^۳Relational graphs

^۴Peter Burt and Edward Adelson

^۵Resolution

^۶Photo mosaic

^۷Panorama

^۸Seamless

^۱Fusion

الگوریتم ۱ الگوریتم آمیختن تصاویر A و B با تکنیک هم‌رنگ‌سازی چندبانه [۴].

ورودی: تصاویر A و B .

خروجی: تصویر S حاصل از آمیختن نیمه‌ی سمت چپ A و نیمه‌ی سمت راست B

- ۱: هر مهای لاپلاسین LA, LB از تصاویر A, B ساخته می‌شوند.
- ۲: هرم لاپلاسین سومی به نام LS با کپی کردن نیمه‌های سمت چپ LA و سمت راست LB ساخته می‌شود. عناصر ستون وسط LS با میانگین‌گیری از عناصر نظیر آنها در LA, LB بدست می‌آیند.
- ۳: تصویر نهایی S با گسترش هر سطح هرم LS و جمع آن با سطح بعدی حاصل خواهد شد.

باشد. تصویر ترکیبی S به صورت زیر بدست خواهد آمد:

$$S(i) = H_l(i - \hat{i})A(i) + H_r(i - \hat{i})B(i) \quad (1)$$

انتخاب مناسب تابع H باعث خواهد شد که انتقالی نرم از یک تصویر به دیگری داشته باشیم. ولی ناپیدا بودن درز را تضمین نمی‌کند. فرض کنید T پهنای ناحیه‌ی هم‌پوشان باشد که در آن H_l از یک به صفر تغییر می‌نماید. اگر T در مقایسه با اندازه‌ی ویژگی‌های تصاویر کوچک باشد، درز قابل رؤیت خواهد بود. از طرف دیگر اگر T بزرگ باشد، دو تصویر شبیه به وضعیتی که دو عکس روی یک فیلم گرفته شده باشند، با هم ادغام می‌شوند. انتخاب T وابسته به پهنای باند فرکانس مکانی تصاویر می‌باشد. اما هنگامیکه تصاویر هم دارای فرکانس پایین و هم فرکانس بالا می‌باشند، این شیوه با مشکل مواجه خواهد شد. شیوه‌ای که در [۴] برای مواجهه با این مشکل بکار گرفته شده است عبارت است از تجزیه‌ی تصاویر به یک مجموعه از تصاویر میان‌گذر، ایجاد تصویر آمیخته با انتخاب T مناسب در هر باند و ترکیب نتایج در سطوح مختلف برای تولید تصویر موزائیک نهایی. این شیوه اسپلاین چند وضوحی^۹ نامیده شده است. برای تولید این تصاویر، یک مجموعه از فیلترهای پایین‌گذر روی تصاویر اعمال می‌شود. فرض کنید یک دنباله از تصاویر فیلتر شده G_0, G_1, \dots, G_N با اعمال یک فیلتر پایین‌گذر به صورت پی‌درپی از روی یک تصویر بدست آمده باشند:

$$G_l(i, j) = \sum_{m=1}^5 \sum_{n=1}^5 w(m, n) G_{l-1}(2i + m, 2j + n) \quad (2)$$

این مجموعه تصاویر بدست آمده با فیلتر پایین‌گذر، هرم گوسین^{۱۰} نامیده می‌شود. برای ساخت تصاویر فیلتر شده با یک فیلتر میان‌گذر، کافیست که هر سطح از هرم فوق‌الذکر از سطح پایینی خود کم شود. البته چون ابعاد دو سطح با هم متفاوت است، تصویر هر سطح قبل از تفریق به اندازه‌ی تصویر سطح بعدی گسترش داده می‌شود. تصاویر در این ساختار هرمی جدید را با L_0, L_1, \dots, L_N نمایش داده و هرم لاپلاسین^{۱۱} نامیده می‌شود.

^۹ Multi-resolution spline

^{۱۰} Gaussian pyramid

^{۱۱} Laplacian pyramid

الگوریتم ۲ الگوریتم آمیختن ناحیه‌ای خاص از تصاویر A و B با تکنیک هم‌رنگ‌سازی چندبانه [۴].

ورودی: تصاویر A و B و ماسک R .

خروجی: تصویر S حاصل از آمیختن ناحیه‌هایی از A متناظر با یک‌ها در ماسک R و ناحیه‌هایی از B متناظر با صفرهای R .

- ۱: هر مهای لاپلاسین LA, LB از تصاویر A, B ساخته می‌شوند.
- ۲: هرم گوسین GR از ماسک R ساخته می‌شود.
- ۳: هر سطح از هرم لاپلاسین LS از روی LA و LB و با استفاده از عناصر GR به عنوان ضریب به صورت زیر ساخته می‌شود:

$$LS_l(i, j) = GR_l(i, j)LA_l(i, j) + (1 - GR_l(i, j))LB_l(i, j)$$

- ۴: تصویر نهایی S با گسترش هر سطح هرم LS و جمع آن با سطح بعدی حاصل خواهد شد.

فرض کنید هدف آمیختن نیمه‌ی سمت چپ تصویر A و نیمه‌ی سمت راست تصویر B باشد. همچنین به فرض هر دو تصویر مربعی بوده و هر ضلع 2^N پیکسل داشته باشد. تصویر آمیخته نهایی با استفاده از الگوریتم ۱ ساخته می‌شود.

راهکار فوق برای حالتی که ترکیب یک ناحیه‌ی خاص از تصویر A با تصویر B مدنظر است با ایجاد یک ماسک متناظر با ناحیه‌ی موردنظر قابل تعمیم است. برای این منظور بر اساس ماسک مذکور یک ساختار هرمی دیگر ایجاد می‌شود که بیانگر آن خواهد بود که چه عناصری از LS باید از LA بیایند، کدام عناصر از LB و کدام یک از میانگین آن دو. الگوریتم ۲ این شیوه‌ی آمیختن را نشان می‌دهد [۴]. ماسک R در این الگوریتم به جز نقش فوق، وظیفه‌ی هموار کردن لبه‌ها با استفاده از یک فیلتر پایین‌گذر را نیز دارد.

یک دسته‌ی مشهور دیگر از تکنیک‌های آمیختن، روش‌های مبتنی بر تبدیل موجک می‌باشند [۶، ۱۰، ۸]. آمیختن با تبدیل موجک را می‌توان با w تبدیل موجک دو تصویر و قانون آمیختن ϕ بیان نمود. تصویر آمیخته $I(x)$ ، با استفاده از تبدیل موجک w معکوس آن w^{-1} و قانون ϕ به صورت زیر حاصل می‌شود:

$$I(x) = w^{-1}(\phi(w(I_1(x)), w(I_2(x)))) \quad (3)$$

شکل ۱ نمایش شماتیک این روش را نشان می‌دهد. از آنجا که ضرائب موجک با قدرمطلق بزرگ، حاوی اطلاعات نمایان و مهم تصویر همچون لبه‌ها و خطوط هستند، یک قانون آمیختن خوب می‌تواند انتخاب بیشینه‌ی ضرائب متناظر دو تصویر باشد.

از جمله کاربردهای آمیختن می‌توان به سیستم‌های مراقبت بینائی، سنجش از دور، تصاویر عریض و مسئله‌ی وضوح برتر^{۱۲} اشاره نمود. هدف در تکنیک‌های وضوح برتر، عبارت است از ترکیب یک دنباله از تصاویر

^{۱۲} Super-Resolution

متفاوت و از زوایای مختلف باشد. در این شیوه ابتدا تصویر با وضوح پایین به اندازه‌ی مطلوب بزرگ شده و سپس تبدیل مناسبی برای نگاشت هر یک از تصاویر آموزشی بر روی تصویر مورد نظر با استفاده از نقاط کلیدی SIFT^{۱۶} و الگوریتم RANSAC^{۱۷} در قالب ماتریس هموگرافی^{۱۸} پیدا می‌شود. در انتها تصویر با وضوح بالای نگاشت شده، با تصویر با وضوح پایین ورودی با تبدیل موجک آمیخته می‌شود.

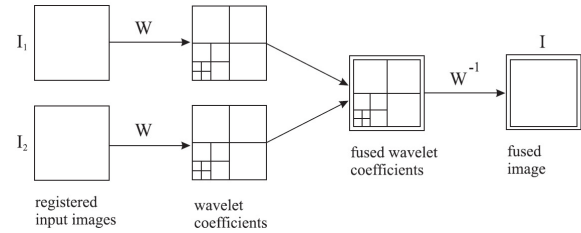
همان‌گونه که در مقدمه ذکر شد، تصویر آمیخته بدون درز نبوده است که برای رفع این مشکل در این‌جا از ترکیب دو شیوه‌ی هم‌رنگ‌سازی چندباند و مبتنی بر تبدیل موجک استفاده خواهد شد. در الگوریتم‌های ۱ و ۲ و رابطه‌ی (۳) فرض بر آن بود که دو تصویر نسبت به هم تنظیم شده‌اند. یک مرحله‌ی تنظیم یا ثبت تصویر لازمه‌ی هر الگوریتم آمیختن سطح پیکسلی است. این مرحله در واقع همان پیدا کردن ماتریس تبدیلی است که اشاره شد. برای لحاظ کردن مرحله‌ی ثبت تصویر، رابطه‌ی (۳) را با این فرض که A تصویر ورودی با وضوح پایین و B تصویر آموزشی با وضوح بالاست، به صورت زیر بازنویسی می‌کنیم:

$$S(\mathbf{x}) = \omega^{-1} \left(\phi \left(\omega(A(\mathbf{x})), \omega(B(W(\mathbf{x}; \mathbf{p})^{-1})) \right) \right) \quad (4)$$

که در آن $W(\mathbf{x}; \mathbf{p})$ بیانگر مدل تبدیل (در اینجا پروجکتیو)، $\mathbf{p} = (p_1, \dots, p_8)^T$ پارامترهای مدل تبدیل، $B(W(\mathbf{x}; \mathbf{p})^{-1})$ نگاشت تصویر آموزشی B بر روی مختصات تصویر ورودی A و $\mathbf{x} = (x, y)^T$ مختصات یک پیکسل می‌باشد.

ضمناً از آنجا که هدف در وضوح برتر تقویت اطلاعات با فرکانس بالای تصویر ورودی با استفاده از تصویر آموزشی است که به فرض اطلاعات مهم را بهتر از تصویر اول نشان می‌دهد، به عنوان قانون آمیختن در روش مبتنی بر تبدیل موجک، اطلاعات با فرکانس پایین تصویر ورودی و جزئیات با فرکانس بالای تصویر آموزشی مورد استفاده قرار گرفته است. شیوه‌ی آمیختن ترکیبی پیشنهادی، مبتنی بر هم‌رنگ‌سازی چند باند و تبدیل موجک در الگوریتم ۳ آمده است.

همانگونه که در الگوریتم پیشنهادی دیده می‌شود، ابتدا تصویر آموزشی با استفاده از مدل تبدیل مفروض بر روی مختصات تصویر ورودی نگاشت می‌شود. فرض بر آن است که تصویر نگاشت شده هم‌اندازه با تصویر ورودی می‌باشد. سپس با استفاده از روش آمیختن مبتنی بر تبدیل موجک، تصویر آموزشی نگاشت شده با تصویر ورودی آمیخته می‌گردد. از آنجا که در روش هم‌رنگ‌سازی چند باند فرض بر آن بود که اندازه‌ی هر ضلع توانی از ۲ است، در مرحله دوم ابعاد تصاویر مورد ترکیب به اندازه‌ی گسترش می‌یابند که هر یک توانی از ۲ گردند. در این مرحله تصویر تغییر پیدا نمی‌کند و فقط در صورت نیاز اطراف آن با صفر پر می‌شود.



شکل ۱: نمایش شماتیک آمیختن با تبدیل موجک [۸].

با وضوح پایین، نویزی و مات برای تولید یک تصویر یا یک دنباله از تصاویر با وضوح بالاتر. یک مرحله‌ی اصلی در این تکنیکها، تنظیم تصاویر ورودی بر روی یک شبکه‌ی مشترک و ترکیب مناسب آنهاست. پیدایش شیوه‌های وضوح برتر به بهبود کیفیت تصاویر ماهواره‌ای، برای حصول جزئیات بیشتر قابل تمایز در تصویر توسط تی‌سای و هوآنگ^{۱۳} برمی‌گردد [۱۱]. تکنیکهای وضوح برتر در کاربردهای متنوعی از مصارف خانگی و چندرسانه‌ای گرفته تا کاربردهای پزشکی و نظامی مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۹، ۳]. معمولاً تنظیم تصاویر نسبت به یک تصویر مرجع صورت می‌پذیرد.

اخیراً نویسندگان در [۱، ۲] شیوه‌ای مشتعل بر استفاده از تصاویر آموزشی با وضوح بالا را برای افزایش وضوح تصویر ورودی ارائه نموده‌اند؛ لیکن در آثار مذکور مرحله‌ی هم‌رنگ نمودن^{۱۴} تصاویر مورد ترکیب، بدون درز نبوده است. در این مقاله با استفاده از ترکیب روش هم‌رنگ‌سازی چند باند^{۱۵} (هرم لاپلاسین) و تبدیل موجک این نقیصه برطرف شده است.

هر یک از دو روش هم‌رنگ‌سازی چندباند و تبدیل موجک برای آمیختن مشکلاتی دارند. در آمیختن با هم‌رنگ‌سازی چندباند لبه‌ها محو می‌شوند، لیکن تفاوت تغییرات رنگی تصاویر نسبت به هم مشهود است؛ از طرفی با استفاده از تبدیل موجک، می‌توان رنگ را از یکی و اطلاعات با فرکانس بالا را از دیگری گرفت و مشکل اختلاف رنگ را نداریم ولی لبه‌ها کاملاً محو نمی‌شوند. مثال‌هایی برای هر یک از مشکلات گفته شده را در بخش نتایج شاهد خواهیم بود.

در بخش ۲ شیوه‌ی پیشنهادی، در بخش ۳ نتایج پیاده‌سازی‌ها و در انتها جمع‌بندی آورده شده است.

۲- شیوه‌ی پیشنهادی

در شیوه‌ی پیشنهادی برای وضوح برتر توسط نگارندگان در [۱، ۲]، هر یک از تصاویر با وضوح بالا، به عنوان تصویر آموزشی، متناظر با قسمتی از تصویر با وضوح پایین هستند. تصاویر آموزشی می‌توانند تفاوت‌هایی با تصویر اصلی از نقطه نظر شدت روشنایی یا زاویه‌ی اخذ داشته باشند. این تفاوت‌ها می‌توانند ناشی از برداشت عکسها در زمانهای متفاوت و یا با دوربینهای

^{۱۶}Scale Invariant Feature Transform (SIFT)

^{۱۷}RANdom SAmple Consensus (RANSAC)

^{۱۸}Homography matrix

^{۱۹}Align

^{۱۳}Tsai and Huang

^{۱۴}Blending

^{۱۵}Multi-band Blending

الگوریتم ۳ الگوریتم آمیختن ترکیبی پیشنهادی مبتنی بر هم‌رنگ‌سازی چند بانده و تبدیل موجک.

ورودی: تصاویر A و B و مدل تبدیل $W(x; p)$.

خروجی: تصویر S حاصل از آمیختن A و $B(W(x; p)^{-1})$

- ۱: بدست آوردن C ، حاصل از آمیختن تصاویر A و $B(W(x; p)^{-1})$ استفاده از رابطه (۴).
- ۲: گسترش ابعاد A و C ، به نحوی که اندازه‌ی هر ضلع هر یک توانی از ۲ باشد.
- ۳: ایجاد یک ماسک متناظر با $B(W(x; p)^{-1})$ با نام R .
- ۴: کوچک کردن R با عملیات مورفولوژی.
- ۵: تلفیق تصاویر A و C در ناحیه‌ی مشخص شده با ماسک R با روش هم‌رنگ‌سازی چند بانده در الگوریتم ۲ به منظور حصول به تصویر آمیخته S .
- ۶: حذف نواحی S ، متناظر با نواحی گسترش داده شده در مرحله‌ی دوم



(الف) تصویر ورودی (ب) تصویر آموزشی (ج) نتیجه نهایی

شکل ۲: مثال اول، تصاویری از سنگ‌نگاره‌ی بیستون. نتیجه نهایی افزایش وضوح تصویر با وضوح پایین ورودی (الف) با استفاده از تصویر با وضوح بالای آموزشی (ب) و با روش پیشنهادی در این مقاله در شکل (ج) نشان داده شده است. برای مقایسه‌ی بهتر تصویر ورودی و تصویر نهایی به شکل ۴ رجوع نمایید.

شکل ۳ (الف) نقاط کلیدی SIFT متناظر در دو تصویر را نشان می‌دهد که توسط الگوریتم RANSAC تصدیق شده و برای یافتن مدل نگاشت مورد استفاده قرار گرفته‌اند. شکل ۳ (ب) نگاشت تصویر آموزشی ۲ (ب) بر روی مختصات تصویر ۲ (الف) $(B(W(x; p)^{-1}))$ را نشان می‌دهد. تفاوت زاویه‌ی اخذ دو تصویر نیز در هنگام نگاشت پروجکتیو تصویر ۲ (ب) بر روی تصویر ۲ (الف) از شکل ۳ (ب) مشخص می‌باشد. ماسک مورد نظر در الگوریتم ۳ متناظر با نقاط سیاه این تصویر حاوی صفر و در باقی نقاط یک می‌باشد. در مرحله‌ی ۴ الگوریتم، ابعاد ناحیه‌ی شامل یک، از هر طرف به اندازه‌ی ۵ پیکسل کاهش یافته است.

در مسائل آمیختن تصاویر، اغلب تصویر نهایی دانسته نیست یا ساخت آن بسیار مشکل است. این نکته مقایسه‌ی تصاویر آمیخته شده با روشهای مختلف را غیرممکن ساخته است. در برخی کاربردها کرائی الگوریتم‌ها را می‌توان با روشهایی همچون شناسایی، ردگیری یا کلاسه‌بندی روی نتیجه‌ی نهایی اندازه‌گیری نمود [۵]. مقایسه‌ی بصری نتایج روشهای مختلف روی تصاویری که حاوی جزئیات قابل تمیز باشند یک روش معمول در این حوزه و همچنین حوزه‌ی وضوح برتر است.

برای مقایسه چند شیوه‌ی دیگر پیاده‌سازی شده‌اند و یک ناحیه از هر یک در شکل ۴ بزرگ شده است. مقایسه‌ی تصاویر شکل اخیر کیفیت برتر شیوه‌ی پیشنهادی را برای این مثال به خوبی نشان می‌دهد. به عنوان روش آمیختن در روش پیشنهادی در این مقاله و روش ارائه شده در [۱] از تبدیل موجک دوبینشو با ۳ سطح استفاده شده است. روش افزایش اندازه‌ی تصویر Bicubic در واقع جزو روشهای افزایش وضوح به حساب نمی‌آید و خروجی آن صرفاً برای مقایسه آمده است. ناپدید شدن

در کاربرد خاص ما فرض بر آن است که تصاویر آموزشی نمایانگر قسمتی از تصویر ورودی ولی با وضوح بالاتر هستند، فلذا کل تصویر آموزشی نگاشت شده در تصویر ورودی قرار می‌گیرد. مرزهای این تصویر نگاشت شده در خروجی مرحله‌ی آمیختن مبتنی بر موجک مشهود است و اگر آنرا به همین وضعیت در هم‌رنگ‌سازی چند بانده بکار ببریم، مرزها مشخص می‌باشند. برای استفاده از الگوریتم ۲ باید ماسکی متناظر با ناحیه‌ی مورد نظر از تصویر آموزشی نگاشته شده داشته باشیم. برای حذف مرزها، کفایت ماسک را به اندازه‌ی لازم کوچک نموده و سپس الگوریتم ۲ را بکار ببریم. از آنجا که الگوریتم ۲ روی تصاویر گسترش یافته اعمال می‌شود، تصویر S نتیجه نیز گسترش یافته است که نواحی اضافی آن باید حذف شوند. در بخش بعد همراه با ذکر دو مثال مراحل فوق را نشان خواهیم داد.

۳- نتایج پیاده‌سازی

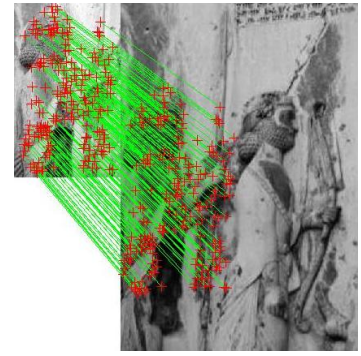
برای نمایش کارایی شیوه‌ی پیشنهادی دو مثال ذکر شده است. در هر مثال یک تصویر ورودی با وضوح پایین و یک تصویر با وضوح بالا داریم که نمایانگر قسمتی از تصویر ورودی است. دو تصویر از منظر رنگ‌بندی، وضوح و زاویه‌ی اخذ تفاوت‌هایی با یکدیگر دارند. هدف ما بالابردن وضوح قسمت متناظر با تصویر با وضوح بالا در تصویر ورودی است. ضریب بزرگ‌نمایی، ۲ در نظر گرفته شده است.

تصاویر مورد استفاده در مثال اول در شکل‌های ۲ (الف) و ۲ (ب) نشان داده شده‌اند. این تصاویر از یکی از سی‌دی‌های مربوط به نقش برجسته‌ی داریوش در بیستون اخذ شده‌اند. همانگونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود دو تصویر از نظر وضوح، شدت روشنایی و رنگ‌بندی با یکدیگر متفاوت هستند. شکل ۲ (ج) نتیجه نهایی افزایش وضوح تصویر ۲ (الف) با استفاده از تصویر آموزشی ۲ (ب) را نشان می‌دهد.



(ب) روش هم‌رنگ‌سازی چندباند [۴]

(الف) روش بزرگنمایی Bicubic



(ب) نگاشت تصویر آموزشی ۲ (ب) بر روی مختصات تصویر ۲ (الف)

(الف) نقاط کلیدی SIFT متناظر در دو تصویر که برای یافتن مدل نگاشت مورد استفاده قرار گرفته‌اند.



(د) روش پیشنهادی در این مقاله شده در [۱]

(ج) روش مبتنی بر تبدیل موجک استفاده شده در [۱]

شکل ۴: بزرگ شده‌ی قسمتی از نتیجه‌ی اجرای شیوه‌های مختلف برای افزایش وضوح شکل ۲ (الف) با استفاده از آمیختن تصویر آموزشی ۲ (ب). برای مقایسه‌ی بهتر، در نسخه‌ی الکترونیکی مقاله، تصاویر را بزرگ نمایید.

۴- جمع‌بندی

نویسندگان در [۱، ۲] شیوه‌ای جدید برای افزایش وضوح یک تصویر با استفاده از یک تصویر آموزشی ارائه نموده بودند که عمل آمیختن تصاویر در آن بدون درز نبوده است. در مقاله‌ی حاضر به رفع این مشکل از طریق ترکیب روشهای آمیختن هم‌رنگ‌سازی چند باند و روش مبتنی بر تبدیل موجک پرداخته شد. در آمیختن با هم‌رنگ‌سازی چندباند لبه‌ها محو می‌شوند، لیکن تفاوت تغییرات رنگی تصاویر نسبت به هم مشهود است؛ از طرفی با استفاده از تبدیل موجک، می‌توان رنگ را از یکی و اطلاعات با فرکانس بالا را از دیگری گرفت و مشکل اختلاف رنگ را نداریم ولی لبه‌ها کاملاً محو نمی‌شوند. ترکیب مناسب این دو الگوریتم در این مقاله به صورت ابتدا انجام ترکیب با شیوه‌ی مبتنی بر تبدیل موجک، ساخت یک ماسک مناسب و سپس استفاده از روش هم‌رنگ‌سازی چند باند بر روی نتیجه‌ی مرحله‌ی اول صورت پذیرفته است. نتایج پیاده‌سازی‌های انجام شده برتری شیوه‌ی پیشنهادی را در مقایسه با هر دو روش مذکور، در حوزه‌ی وضوح برتر نشان داده است.

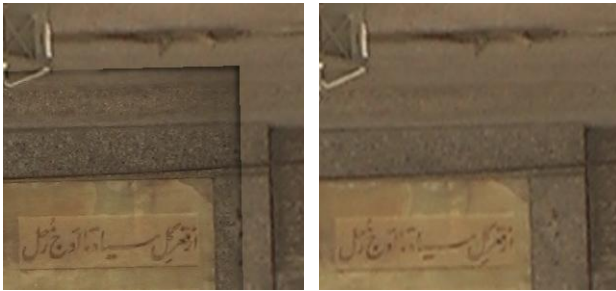
شکل ۳: برخی از مراحل میانی در وضوح برتر.

درز در نواحی مرزی در شیوه‌ی پیشنهادی مشخص است. همانگونه که دیده می‌شود در آمیختن با تکنیک هم‌رنگ‌سازی چندباند (شکل ۴ (ب)) تغییر رنگ کاملاً واضح است. در روش مبتنی بر موجک استفاده شده در [۱] (شکل ۴ (ج)) مرز تصویر ترکیب شده قابل رؤیت است. در شیوه‌ی پیشنهادی (شکل ۴ (د)) هم تغییر رنگ دیده نمی‌شود و هم انتقال بین دو تصویر به نرمی صورت پذیرفته و مرز تصویر آموزشی قابل رؤیت نیست.

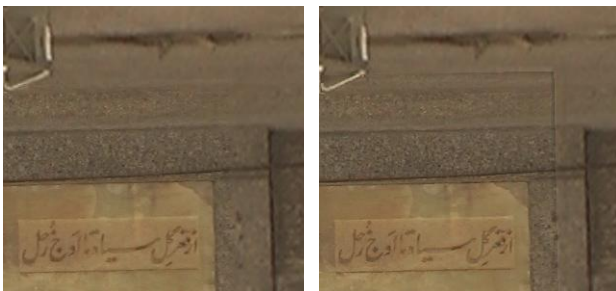
شکل ۵ مثال دوم را نشان می‌دهد که تصاویری با وضوح پایین و با وضوح بالا از آرامگاه ابوعلی سینا در همدان هستند. تصاویر با دوربین Panasonic NV-GS75 توسط نگارنده اخذ شده‌اند. تصویر با وضوح بالاتر (شکل ۵ (ب)) از سنگ‌نوشته‌ی حاوی قطعه شعری^{۲۰} از ابوعلی سینا با زووم کردن اپتیکال گرفته شده است. این قطعه شعر در تصویر ۵ (الف) حتی با بزرگ نمودن آن (تصویر ۶ (الف)) نیز کاملاً خوانا نیست. از آنجا که میزان نوردهی به صورت خودکار توسط دوربین مشخص می‌شود، تغییر شدت روشنایی و رنگ را بین دو تصویر شاهد هستیم. نتیجه‌ی نهایی ترکیب تصویر ۵ (ب) با بزرگ شده‌ی ۵ (الف) در شکل ۵ (ج) آمده است. مقایسه‌ی بهتر روشهای مختلف برای این مثال در شکل ۶ آورده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود ورودی و خروجی‌های ما تصاویر رنگی هستند. برخی از عملیات الزاماً روی فرم سطح خاکستری آنها انجام شده و نتیجه‌ی عملیات روی تمام باندهای RGB تصویر اعمال شده یا در فضای رنگ HSV عملیات تکمیل شده‌اند.

^{۲۰} متن این قطعه شعر در زیر آمده است:

از قرکل ساه تا اوج زل کردم به مشکلات عالم را حل
برون جتم ز قیام هر کس و حل عربند گوشه شد مگر بند ابل



(الف) روش بزرگنمایی Bicubic (ب) روش هم‌رنگ‌سازی چندباند [۴].
اختلاف رنگ مشهود است.



(ج) روش مبتنی بر تبدیل موجک استفاده (د) روش پیشنهادی در این مقاله، آمیختن شده در [۱]، لبه‌های تصویر آموزشی قابل به خوبی انجام شده و انتقال از یک تصویر به دیگری به نرمی انجام پذیرفته است که رؤیت هستند.
لبه‌ای دیده نمی‌شود.

شکل ۶: بزرگ شده‌ی قسمتی از نتیجه‌ی اجرای شیوه‌های مختلف برای افزایش وضوح شکل ۵ (الف) با استفاده از آمیختن تصویر آموزشی ۵ (ب).



(الف) تصویر ورودی (ب) تصویر آموزشی (ج) نتیجه نهایی

شکل ۵: مثال دوم، تصاویری از آرامگاه ابوعلی سینا. نتیجه نهایی افزایش وضوح تصویر با وضوح پایین ورودی (الف) با استفاده از تصویر با وضوح بالای آموزشی (ب) و با روش پیشنهادی در این مقاله در شکل (ج) نشان داده شده است. برای مقایسه‌ی بهتر تصویر ورودی و تصویر نهایی به شکل ۶ رجوع نمایید.

سپاس‌گزاری

مؤلفین وظیفه‌ی خود می‌دانند که از آقای دکتر Peter Kovsesi بابت توابع سودمند MATLAB^{۲۱} و آقایان وفا خلیقی، مصطفی واحدی و دکتر مهدی امیدعلی برای زحمات و راهنمایی‌های ارزنده‌ی آنها در زمینه‌ی زی‌پرشین^{۲۲} (که این مقاله با آن آماده شده است) تشکر به عمل آورند.

مراجع

- [5] A. A. Goshtasby and S. Nikolov. Image fusion: Advances in the state of the art. *Inf. Fusion*, 8(2):114–118, 2007.
- [6] P. Hill, N. Canagarajah, and D. Bull. Image fusion using complex wavelets. In *BMVC2002*, pages 487–496, 2002.
- [7] Z. hua Wang, Z. Qin, and Y. Liu. A framework of region-based dynamic image fusion. *Journal of Zhejiang University SCIENCE A*, 8(1):56–62, 2007.
- [8] S. Nikolov, P. Hill, D. Bull, and C. Canagarajah. Wavelets for image fusion. In *Wavelets in Signal and Image Analysis*, chapter Wavelets for image fusion, pages 213–244. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 2001.
- [9] T. Q. Pham. *Spatiotonal Adaptivity in Super-Resolution of Under-sampled Image Sequences*. PhD thesis, aan de Technische Universiteit Delft, 2006.
- [10] G. Piella. *Adaptive Wavelets and their Applications to Image Fusion and Compression*. PhD thesis, Centre for Mathematics and Computer Science, University of Amsterdam, 2003.
- [11] R. Tsai and T. Huang. Multiframe image restoration and registration. In R. Y. Tsai and T. S. Huang, editors, *Advances in Computer Vision and Image Processing*, volume 1, pages 317–339. JAI Press Inc, 1984.

- [1] M. Amintoosi, M. Fathy, and N. Mozayani. Reconstruction+synthesis: A hybrid method for multi-frame super-resolution. In *(MVIP08) 2008 Iranian Conference on Machine Vision and Image Processing*, pages 179–184, Tabriz, Iran, 2008. Tabriz University.
- [2] M. Amintoosi, M. Fathy, and N. Mozayani. Regional varying image super-resolution. In *IEEE International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization*, volume 1, pages 913–917, Sanya, China, April 23-26 2009.
- [3] S. Borman. *Topics in Multiframe Superresolution Restoration*. PhD thesis, University of Notre Dame, Notre Dame, IN, May 2004.
- [4] P. J. Burt and E. H. Adelson. A multiresolution spline with application to image mosaics. *ACM Trans. Graph.*, 2(4):217–236, 1983.

^{۲۱} School of Computer Science & Software Engineering, The University of Western Australia, <http://www.csse.uwa.edu.au/>

^{۲۲} زی‌پرشین با لوگوی X_۳Persian بسته‌ی حروف‌چینی رایگان فارسی مبتنی بر

LaTeX^۲ و تحت سیستم‌عامل‌های ویندوز، لینوکس و مک می‌باشد:

<http://www.parsilatex.com/>