

ترمیم تصویر به روش هندسی با استفاده از تبدیل موجک

معصومه جهانگرد، سعید سریزدی، حسین نظام آبادی پور و عصمت راشدی

قابل تشخیص نباشد - مد نظر است. ترمیم تصویر توسط انسان به سادگی انجام پذیر است. در واقع انسان همواره در تجربه دیداری خود با این مسأله مواجه است. در رؤیت، اشیای اطراف ما واضح و کامل نیستند در حالی که انسان دنیا را منظم و کامل تر از یک مجموعه نامرتب از قطعات منفصل می بیند. مغز انسان قادر است فضاهای خالی تصویر را پر کرده و اثر مناطق مخفی کننده را حذف کند [۳]. ریاضی دانان از لغت درون یابی تصویر^۲ برای تکمیل قسمت های حذف شده تصویر استفاده می کنند. از نقطه نظر ریاضی، ترمیم تصویر یک مسأله درون یابی است.

در ترمیم ساختاری تصویر ۴ اصل کلیدی وجود دارد: (الف) کل تصویر مشخص می کند که مناطق خالی چگونه پر شوند. (ب) کانتورهایی که به مرزها رسیده اند به داخل این مناطق ادامه می یابند. (ج) پیوستگی رنگ بین قسمت مخدوش و نواحی اطراف آن وجود دارد. (د) جزئیات تصویر باید اضافه شوند.

در یک تقسیم بندی کلی، روش های ترمیم تصویر به ۵ گروه اصلی تقسیم می شوند که عبارتند از روش های مبتنی بر جستجو در تصویر و جایگزینی نواحی مخدوش با قسمت های سالم تصویر [۴] و [۵]، روش های مبتنی بر معادلات با مشتقات جزئی^۳ (PDE) [۶] تا [۸]، روش های مبتنی بر کاهش تغییرات کلی^۴ [۲] و [۹]، روش های ترمیم هندسی [۱] و روش های ترمیم در حوزه فرکانس [۱۰] و [۱۱].

در روش های مبتنی بر جستجو، هر قسمت از نواحی مخدوش تصویر توسط سایر قسمت های سالم تصویر جایگزین می شود. این روش، خاصیت یک دست بودن تصویر و نیز بافت تصویر را حفظ می کند. در این روش ها برای جستجو و معیار شباهت از ابزارهای مختلفی استفاده می شود. در [۵] نواحی سالم تصویر برای پیدا کردن بیشترین شباهت با نواحی مخدوش جستجو شده و با تحلیل تصویر در مقیاس های مختلف درجه تفکیک، ویژگی ها و بافت های مشابه در جاهای تصویر با سرعت قابل قبولی پیدا می شوند. در [۴] هر قسمت از ناحیه مخدوش، با جستجوی قسمت های همسایه و سالم تصویر که بیشترین شباهت را به آن دارد، تکمیل می شود. از دیگر روش های ترمیم تصویر، استفاده از معادلات با مشتقات جزئی است. از معادلات با مشتقات جزئی برای درون یابی در یک سطح n بعدی می توان استفاده کرد. در روش های مبتنی بر کاهش تغییرات کلی نیز معادلات با مشتقات جزئی غیر خطی ظاهر می شوند که به کمک آنها و با استفاده از روش گرادیان نزولی، کمینه محلی یا فرامحلی یافته می شود. در مقایسه با سایر روش ها، روش تغییرات و معادلات با مشتقات جزئی فوایدی در تئوری و در محاسبات دارد. اولاً اجازه می دهد تا ویژگی های هندسی بصری مثل شیب ها، خطوط مماس، انحناها^۵ و غیره، مستقیماً به کار گرفته شده و پردازش شوند. همچنین می تواند به راحتی فرایندهای

چکیده: در ترمیم تصویر، قسمت های نامطلوب و مخدوش تصویر، حذف و با تصویر مناسب جایگزین می گردد. در این مقاله ترمیم تصویر با استفاده از اطلاعات فرکانسی تبدیل موجک انجام گرفته است. ترمیم با استفاده از انتشار مقدار پیکسل های سالم به داخل ناحیه مخدوش انجام می شود که از بیرونی ترین پیکسل ها شروع و به تدریج ناحیه مخدوش بازسازی می شود. برای تعیین جهت انتشار و میزان انتشار روش ترمیم مبتنی بر منحنی های هندسی، تعمیم یافته و از اطلاعات تبدیل موجک استفاده شده است. نتایج آزمایش ها، برتری روش موجود را به روش ترمیم منحنی های هندسی نشان می دهد.

کلید واژه: ترمیم تصویر، تبدیل موجک، روش ترمیم هندسی.

۱- مقدمه

هدف از ترمیم تصویر^۱ روتوش قسمت های مخدوش تصویر است. در ترمیم تصویر قسمت های نامطلوب و مخدوش بازسازی می شوند. این قسمت ها می تواند خرابی هایی باشد که در تصویر ایجاد شده اند یا اشیایی که لازم است از تصویر حذف شوند.

واژه ترمیم تصویر، اصطلاحی هنری است که در بین نقاشان برای بازسازی نقاشی های مخدوش و معیوب به کار می رود. این واژه در ابتدا بین هنرمندان ترمیم آثار باستانی در موزه ها که نقاشی های قدیمی را به صورت دستی ترمیم می کردند به کار گرفته شد [۱] و [۲]. ترمیم تصویر در مواردی نظیر روتوش تصاویر، حذف لوگو یا نوشته روی تصویر، پرکردن جاهای خالی تصویر و جلوه های ویژه کاربرد دارد. امروزه این کار در مورد تصاویر دیجیتال به صورت خودکار انجام می شود و کاربردهای وسیعی در زمینه های مختلف پردازش تصویر دارد.

مسأله اصلی در ترمیم تصویر توجه به مفهوم کلی تصویر است و این که چگونه به نحو مناسبی قسمت های گم شده تصویر جایگزین شوند. در ترمیم تصویر فرض بر این است که (الف) اطلاعات مربوط به مناطق مخدوش، قابل استخراج از بقیه تصویر است، (ب) قسمت حذف شده بافتی پیوسته با بقیه تصویر دارد و (ج) پیوستگی رنگ بین قسمت مخدوش و نواحی اطراف وجود دارد.

هدف از ترمیم تصویر رسیدن به تصویر اولیه نیست، بلکه دست یابی به تصویری کامل و یک دست به گونه ای که یک پارچگی اجزا در آن رعایت شده باشد - به نحوی که از دید ناظری که برای اولین بار تصویر را می بیند

این مقاله در تاریخ ۲۶ اسفند ماه ۱۳۸۷ دریافت و در تاریخ ۲۹ دی ماه ۱۳۸۸ بازنگری شد.

معصومه جهانگرد، گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران (email: masoumeh1360@yahoo.com).

سعید سریزدی، گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران (email: saryazdi@mail.uk.ac.ir).

حسین نظام آبادی پور، گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران (email: nezam@mail.uk.ac.ir).

عصمت راشدی، گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران (email: rashedi_es@yahoo.com).

1. Inpainting

2. Image Interpolation
3. Partial Differential Equations
4. Total Variation
5. Gradients
6. Tangents
7. Curvatures

نواحی اطراف تخمین زده می‌شوند. نکته مثبت این روش، امکان بازسازی مستقیم در حوزه فشرده JPEG۲۰۰۰ است. در تحقیقی دیگر [۲۲] روشی مبتنی بر معادلات با مشتقات جزئی مبتنی بر روش تغییرات کل، با انتخاب پایه‌های مناسب موجک پیاده‌سازی شده است. این روش به کیفیت بینایی بهتر با زمان محاسباتی تقریباً یکسان با روش اصلی دست می‌یابد.

تبدیل موجک^۴ یکی از ابزارهای قوی پردازش سیگنال است. از جمله کاربردهای این تبدیل می‌توان به حذف نویز سیگنال و فشرده‌سازی اشاره کرد [۲۳] تا [۲۵]. در این مقاله یک روش برای ترمیم تصویر مبتنی بر تبدیل موجک معرفی شده است. روش پیشنهادی تعمیمی بر روش ترمیم تصویر مبتنی بر مسیرهای هندسی است. بازسازی در این روش در حوزه مکان صورت می‌گیرد و از تبدیل موجک منحصرأ جهت تعیین مسیر هندسی مناسب استفاده می‌گردد.

در بخش دوم این مقاله ترمیم تصویر به روش مسیرهای هندسی یادآوری می‌شود. بخش سوم به معرفی روش پیشنهادی می‌پردازد و ارزیابی روش پیشنهادی و مقایسه با روش پایه (روش مسیرهای هندسی) در بخش چهارم صورت می‌گیرد. در نهایت بخش پنجم مربوط به جمع‌بندی مقاله خواهد بود.

۲- ترمیم تصویر به روش مسیرهای هندسی

پردازشگری که کار ترمیم تصویر را انجام می‌دهد، می‌تواند به صورت یک تبدیل خطی یا غیر خطی در نظر گرفته شود. در اغلب روش‌های ترمیم تصویر از روش انتشار مقدار پیکسل‌های سالم برای ترمیم نواحی مخدوش تصویر استفاده شده است. در هر کدام از این روش‌ها، ایده‌های مختلفی برای تعیین جهت انتشار استفاده شده است.

در [۱] تصویر به صورت رویه‌ای با مجموعه‌ای از خطوط هم‌تراز نمایش داده شده و ناحیه مخدوش با اطلاعات مرزها از بیرونی‌ترین تا درونی‌ترین قسمت در طول مسیرهای هم‌تراز ترمیم می‌شود. این مسیرها کوتاه‌ترین فاصله بین دو نقطه روی سطح هستند. ایده این روش از توانایی طبیعی انسان در امتداد دادن خطوط به نواحی مخفی گرفته شده است [۱۴].

یک مسیر هندسی روی سطح S ، یک منحنی پارامتری به صورت $S \rightarrow I: \alpha$ است که بردار شتاب آن $(\alpha''(t))$ بر سطح S در هر نقطه عمود است. در یک مسیر هندسی، همواره سرعت ثابت و $\alpha'(t)$ و $\alpha''(t)$ بر هم عمودند [۱] و [۱۴]. به عبارت دیگر داریم

$$\frac{d}{dt} \|\alpha'(t)\|^2 = 2\alpha'(t) \cdot \alpha''(t) = 0 \quad (1)$$

این منحنی مشخصات خوبی دارد که آن را بر سایر مسیرها ارجح می‌کند. اولین مشخصه این که برای هر دو نقطه دلخواه، این منحنی کوتاه‌ترین خط واصل بین آنها در روی رویه است. دومین مشخصه این است که در هر نقطه کمترین انحنای نسبت به سایر منحنی‌هایی که از این نقطه و با همین شیب می‌گذرند، دارد [۱] و [۱۴].

اگر $S \rightarrow [0, 1]: c$ یک منحنی باشد، انرژی آن با $E(c)$ نشان داده می‌شود که به صورت (۲) قابل محاسبه است

$$E(c) = \int_0^1 |c'(t)|^2 dt \quad (2)$$

اگر طول منحنی را با $l(c)$ نشان دهیم، برای $l(c)$ داریم

دینامیک مثل انتشار^۱ خطی و غیر خطی را به‌طور مؤثری شبیه‌سازی کند. ثانیاً از نقطه نظر محاسباتی کاملاً با روش‌های موجود آنالیز عددی و محاسبات معادلات دیفرانسیل قابل بیان هستند. اولین معادله PDE جهت مدل‌سازی تصویر در سال ۱۹۶۰ توسط گابور ارائه شد [۶]. پس از آن معادلات مختلفی برای ترمیم تصویر پیشنهاد شد که هر روزه رو به بهبود هستند [۶]، [۱۲] و [۱۳].

روش کاهش تغییرات کلی مشابه روش بیز است اما به جای تابع احتمال از انرژی استفاده می‌کند [۲] و [۱۱]. در این روش تخمین داده u با u اغلب به صورت $E(u, |u|)$ محاسبه می‌شود. روش تغییرات برای تصاویر منظم و هندسی، تصاویری که از مناظر درون خانه و بیرون خانه گرفته شده‌اند و نیز تصاویری که بافت‌های کمی دارند، مناسب است.

روش ترمیم هندسی در [۱] و [۱۴] معرفی شده است که در بخش دوم به تفصیل به آن پرداخته شده است. در این روش مدلی بر اساس مسیرهای هندسی ارائه شده است. تصویر با مجموعه‌ای از خطوط هم‌تراز^۲ نمایش داده می‌شود و ناحیه ترمیم با اطلاعات مرزها از بیرونی‌ترین تا درونی‌ترین قسمت در راستای مسیرهای هم‌تراز^۳ ترمیم می‌شود. این مسیرها کوتاه‌ترین فاصله بین دو نقطه روی سطح هستند.

در مباحث فشرده‌سازی و انتقال تصویر معمولاً از ضرایب حوزه فرکانس مانند ضرایب تبدیل کسینوسی، ضرایب موجک و غیره برای کدگذاری و ارسال اطلاعات استفاده می‌شود. گاهی در جریان ارسال اطلاعات به دلیل اعوجاج و نویز کانال، تعدادی از ضرایب فرکانسی از دست می‌رود. این امر باعث خرابی و پایین آمدن کیفیت تصویر دریافتی می‌شود. بازسازی این ضرایب نیز می‌تواند با استفاده از روش‌های ترمیم تصویر صورت پذیرد [۱۵].

دسته‌ای دیگر از روش‌های بازسازی از آنالیز بافت بهره می‌برند. در روشی که در سال ۱۹۹۹ توسط افروز و همکاران ارائه شد، ترمیم تصویر با استفاده از سنتز غیر پارامتری بافت انجام گرفت [۱۶]. در سال ۲۰۰۴ روش ترمیم بر اساس نمونه توسط کریسمینی و همکاران ارائه شد که به جای ترمیم یک پیکسل، گروهی از پیکسل‌ها را بازسازی می‌کرد [۱۷]. در روش ارائه‌شده توسط یامچی و همکاران در سال ۲۰۰۳، تصویر اصلی به اجزای متفاوت از نظر خصوصیت فرکانسی (ساختار-بافت) تجزیه شده، هر جزء به صورت جداگانه ترمیم می‌شود و تصویر اصلی از ترکیب دو تصویر ترمیم‌شده به دست می‌آید. در این روش، تجزیه تصویر به کمک تبدیل کسینوسی گسسته انجام می‌گیرد [۱۸]. در سال ۲۰۰۷ روش تجزیه تصویر به ساختار و بافت با استفاده از مینیمم کردن تغییرات کل، توسط شن و همکاران ارائه شد [۱۹]. در این روش، ساختارها با استفاده از توابع پایه شعاعی نرمالیزه و بافت‌ها بر اساس روش انطباق بافت وقتی ترمیم می‌شود.

در سال ۲۰۰۳ روش ترمیم با استفاده از موجک توسط پائوارثان و همکاران ارائه شد که از تبدیل موجک برای تعیین محتوای فرکانسی تصویر استفاده می‌کرد و بر اساس قیدهای حوزه فرکانس و مکان، اجزای ناحیه مخدوش تصویر با توجه به محتوای فرکانسی و مکانی نواحی همسایه آن ترمیم می‌شد [۲۰]. چان و همکاران [۲۱] در سال ۲۰۰۹ روشی سریع برای بازسازی تصویر در حوزه موجک ارائه دادند. در این روش ضرایب موجک در ناحیه مخدوش با استفاده از ضرایب موجک

1. Diffusion
2. Level Lines
3. Geodesic Pathes

$$\begin{aligned}
 w_1 &= u(i, j-1) - u(i, j-2) \\
 w_2 &= \frac{u(i+1, j-1) - u(i+2, j-2)}{\sqrt{2}} \\
 w_3 &= u(i+1, j) - u(i+2, j) \\
 w_4 &= \frac{u(i+1, j+1) - u(i+2, j+2)}{\sqrt{2}} \\
 w_5 &= u(i, j+1) - u(i, j+2) \\
 w_6 &= \frac{u(i-1, j+1) - u(i-2, j+2)}{\sqrt{2}} \\
 w_7 &= u(i-1, j) - u(i-2, j) \\
 w_8 &= \frac{u(i-1, j-1) - u(i-2, j-2)}{\sqrt{2}}
 \end{aligned} \tag{۸}$$

که در آن w_1 تا w_8 به ترتیب برابر مشتق‌های جهتی در جهات SE-NW, W-E, E-W, SW-NE, NE-SW, S-N, N-S و NW-SE و $u(i, j)$ تصویر ورودی می‌باشند [۱].

ب) اگر دو جهت مختلف وجود داشته باشد که شرط الف برای آنها یکسان باشد، جهتی انتخاب می‌شود که بزرگ‌ترین جریان را در جهت قائم بر خط هم‌تراز داشته باشد. برای محاسبه جریان در جهت قائم بر خط تراز از (۹) استفاده می‌شود

$$\begin{aligned}
 F_{w_1} &= \frac{u(i+1, j-2) - u(i-1, j-2)}{2} \\
 F_{w_2} &= \frac{u(i+2, j-1) - u(i+1, j-2)}{\sqrt{2}} \\
 F_{w_3} &= \frac{u(i+2, j+1) - u(i+2, j-1)}{2} \\
 F_{w_4} &= \frac{u(i+1, j+2) - u(i+2, j+1)}{\sqrt{2}} \\
 F_{w_5} &= \frac{u(i-1, j+2) - u(i+1, j+2)}{2} \\
 F_{w_6} &= \frac{u(i-2, j+1) - u(i-1, j+2)}{\sqrt{2}} \\
 F_{w_7} &= \frac{u(i-2, j-1) - u(i-2, j+1)}{2} \\
 F_{w_8} &= \frac{u(i-1, j-2) - u(i-2, j-1)}{\sqrt{2}}
 \end{aligned} \tag{۹}$$

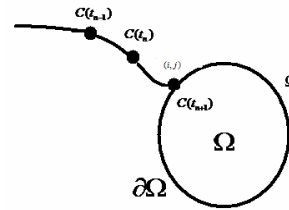
ج) اگر دو جهت داشته باشیم که هر دو شرط الف و ب برای آنها یکسان باشد، جهتی انتخاب می‌شود که کمترین فاصله اقلیدوسی بین $c(t_n)$ و $c(t_{n+1})$ را داشته باشد. $c(t_{n+1})$ و $c(t_n)$ به ترتیب برابر انحنا در نقاط t_n و t_{n+1} می‌باشند [۱].

د) مقداری که به پیکسل مخدوش که باید ترمیم شود انتقال می‌یابد برابر است با

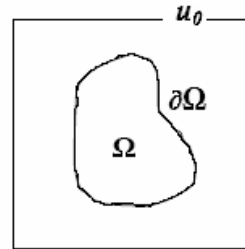
$$c(t_{n+1}) = c(t_n) + \Delta t \cdot c'(t_n) \tag{۱۰}$$

که در آن Δt فاصله اقلیدوسی بین $c(t_n)$ و $c(t_{n+1})$ می‌باشد. این مرحله تا زمانی که مقادیر پیکسل‌های مرزی تغییر نکند یا تا تعداد تکرارهای مشخصی (که به صورت تجربی به دست می‌آید) ادامه می‌یابد.

پس از بررسی مراحل الف تا د، پیکسل‌های مرزی و بازسازی شده از منطقه مخدوش حذف شده و مرز جدید به دست می‌آید. این کار تا تکمیل کل ناحیه Ω ادامه می‌یابد.



شکل ۱: منحنی c ، کوتاه‌ترین منحنی بین دو نقطه $c(t_n)$ و $c(t_{n+1})$ [۱].



شکل ۲: مجموعه Ω قسمتی از تصویر است که باید درون‌نگاری شود. $\partial\Omega$ مرز این ناحیه است.

$$l(c) = \int |c'(t)| dt \tag{۳}$$

از آنجا که

$$\left(\int |c'(t)| dt \right)^2 \leq \int |c'(t)|^2 dt \tag{۴}$$

می‌توان نتیجه گرفت که

$$(l(c))^2 \leq E(c) \tag{۵}$$

منحنی g با $g(0) = p$ و $g(1) = q$ را یک منحنی حداقل گوئیم چنانچه برای هر منحنی دیگر مثل c که p را به q وصل می‌کند داشته باشیم $E(g) \leq E(c)$. پس برای رسیدن به منحنی که کوتاه‌ترین مسیر بین p و q است، باید انرژی منحنی حداقل شود.

در روش پیشنهادی [۱] قسمت‌های مخدوش، بدون وابستگی به اندازه و مکان ناحیه آسیب‌دیده به گونه‌ای که امتداد خطوط حفظ شود، ترمیم می‌شوند. برای یافتن امتداد خطوط باید (۶) با حفظ محدودیت (۷) برقرار شود [۱]

$$\min_c l(c) = \int_c |c'(t)| dt \tag{۶}$$

$$c'(t) \cdot c''(t) = 0 \quad \forall t \tag{۷}$$

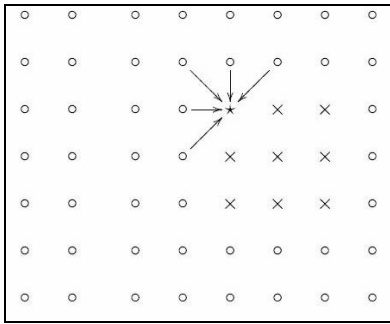
کوتاه‌ترین منحنی بین دو نقطه t_n و t_{n+1} که حداقل انرژی را دارد، در شکل ۱ نشان داده شده است.

روش پیشنهادی در [۱] مطابق الگوریتم زیر می‌باشد:

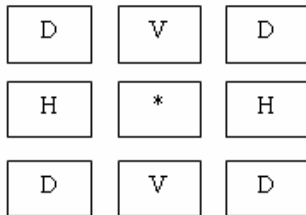
در ابتدا ناحیه مخدوش Ω مشخص شده و سپس مرزهای این ناحیه، $\partial\Omega$ ، به صورت خودکار مشخص می‌شود. یک ناحیه مخدوش فرضی و مرز آن در شکل ۲ نشان داده شده است.

این الگوریتم از نوع تکرارشونده است و در هر مرحله از الگوریتم، ترمیم از نواحی مرزی شروع و با روال زیر ادامه می‌یابد:

الف) تعیین جهت انتشار: برای هر پیکسل مرزی، خطوط هم‌تراز در جهات مختلف بررسی می‌شود (SW-NE, NE-SW, S-N, N-S, SE-NW, W-E, E-W, NW-SE). سپس، جهت با کمترین مشتق جهتی انتخاب می‌شود. برای محاسبه مشتق‌های جهتی از مجموعه روابط (۸) استفاده می‌شود



شکل ۴: نمایش تمام جهات کاندید انتشار به پیکسل ستاره‌دار. \circ پیکسل‌های نواحی سالم تصویر، \times پیکسل‌های نواحی مخدوش تصویر جهت ترمیم و $*$ پیکسل حاشیه جهت آنالیز است. خطوط \rightarrow نشان‌دهنده جهات کاندید برای انتشار است.



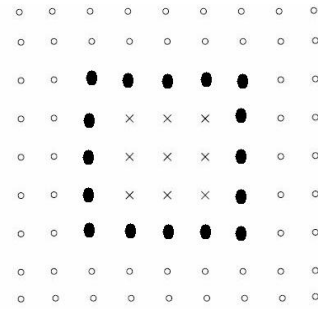
شکل ۵: ضرایب جزئیات در هر کدام از نقاط همسایگی پیکسل خراب (پیکسل ستاره‌دار) که برای تصمیم‌گیری در مورد جهت انتشار استفاده می‌شوند.

انجام می‌شود. برای تعیین جهت انتشار از ضرایب موجک تصویر استفاده شده است. بنابراین در هر مرحله لازم است تبدیل موجک تصویر محاسبه شود. پس از یک مرحله ترمیم کامل ناحیه مخدوش تصویر، تصویر به‌دست آمده جایگزین تصویر خراب قبلی می‌شود. با تکرار مناسب این فرآیند، تصویر اصلاح‌شده با کیفیت قابل قبولی به‌دست می‌آید. در بخش‌های بعد، روش پیشنهادی این مقاله برای تعیین جهت مناسب انتشار با استفاده از ضرایب موجک تصویر و روش انتشار به تفصیل شرح داده شده است.

۳-۱ تعیین جهت انتشار

در این روش برای ترمیم هر پیکسل مرزی، از روش انتشار مقدار پیکسل‌های سالم به پیکسل‌های خراب استفاده شده است. به این صورت که برای پیکسل مرزی مورد بررسی، تمام پیکسل‌های سالم که در همسایگی ۸ آن واقع شده‌اند، برای تعیین جهت مناسب انتشار بررسی می‌شوند. در شکل ۴ برای یک پیکسل نمونه، جهات نامزد انتشار نشان داده شده است.

برای ترمیم ناحیه خراب، ناحیه سالم اطراف به سمت داخل ناحیه مخدوش توسعه پیدا می‌کند و به عبارتی انتشار داده می‌شود. انتشار باید در جهتی که کمترین تغییرات را دارد، انجام شود. برای هر پیکسل، جهات نامزد انتشار، به سمت بالا و پایین (جهت عمودی)، چپ و راست (جهت افقی) و در جهت‌های قطری هستند که باید یکی از آنها برای انتشار انتخاب شود. مشخص است که باید جهتی که کمترین تغییرات تصویر به آن سمت است، انتخاب شود. یعنی انتشار از سمت ناحیه هموار تصویر انجام شود نه از سمت لبه‌ها و تغییرات شدید تصویر. زیرباند‌های جزئیات H ، V و D در ضرایب موجک، تغییرات شدید در هر کدام از جهات افقی، عمودی و قطری را نشان می‌دهند. بنابراین می‌توان از آنها برای تعیین جهت با کمترین تغییرات استفاده کرد. برای تعیین جهت مناسب در جهات افقی، ضرایب H تبدیل موجک تصویر ملاک قرار می‌گیرد. در جهات عمودی و قطری نیز به ترتیب ضرایب V و D ملاک قرار می‌گیرند. برای هر پیکسل خراب در ۸ جهت ممکن، ضرایب مورد بررسی در شکل ۵



شکل ۳: نمایش پیکسل‌های مرزی $\partial\Omega$ (پیکسل‌های توپر)، \circ پیکسل‌های نواحی سالم تصویر، \times پیکسل‌های نواحی مخدوش تصویر جهت ترمیم و \bullet پیکسل مرزی جهت شروع ترمیم است.

۳-۲ بهبود روش ترمیم هندسی با استفاده از اطلاعات فرکانسی تبدیل موجک

در این مقاله روشی برای ترمیم تصویر با استفاده از اطلاعات فرکانس حوزه موجک پیشنهاد شده است به نحوی که روش ترمیم هندسی بهبود یافته و به ترمیم خرابی‌های با عرض زیاد تعمیم داده می‌شود. ترمیم از خارجی‌ترین پیکسل‌های ناحیه خراب تصویر شروع شده و به تدریج ناحیه مخدوش ترمیم می‌شود. برای ترمیم هر کدام از پیکسل‌ها از روش انتشار مقدار پیکسل‌های سالم به داخل ناحیه مخدوش استفاده شده است. نوآوری روش فوق در این است که برای تعیین جهت انتشار از اطلاعات فرکانسی تبدیل موجک تصویر استفاده شده است.

در روش پیشنهادی، ترمیم در حوزه مکان انجام شده است در حالی که برای ترمیم اطلاعات محدوده Ω ، از اطلاعات فرکانسی ضرایب موجک استفاده شده است. در این روش، ترمیم از نقاط مرزی مجموعه $\partial\Omega$ شروع می‌شود. شبه‌کد ساده برای روش ترمیم تصویر پیشنهادی به صورت زیر است:

- ۱) تصویر مخدوش u دریافت و تبدیل موجک آن محاسبه می‌شود.
- ۲) محدوده Ω با استفاده از یک ماسک در تصویر مشخص می‌شود.
- ۳) ناحیه مرزی $\partial\Omega$ تعیین می‌شود.
- ۴) برای تمام پیکسل‌های $(X, Y) \in \partial\Omega$ ، پیکسل $(X, Y) \in \partial\Omega$ با استفاده از انتشار مقدار پیکسل‌های $(X, Y) \notin \partial\Omega$ که در همسایگی پیکسل فوق هستند، به این ناحیه ترمیم می‌شوند. یعنی ناحیه مخدوش با استفاده از انتشار دادن ناحیه سالم اطراف آن به سمت داخل بازسازی می‌شود. جهت انتشار و میزان انتشار با استفاده از اطلاعات ضرایب موجک تصویر در این نقاط تعیین می‌شود.
- ۵) محدوده Ω با حذف ناحیه $\partial\Omega$ کوچک می‌شود.
- ۶) در صورتی که $\Omega \neq \emptyset$ به مرحله سوم برگرد.
- ۷) تصویر ترمیم‌شده در u ذخیره می‌شود.
- ۸) در صورتی که شرایط توقف الگوریتم مشاهده نشده است، $u \rightarrow u$ و به مرحله ۱ برگرد.

۹) پایان.

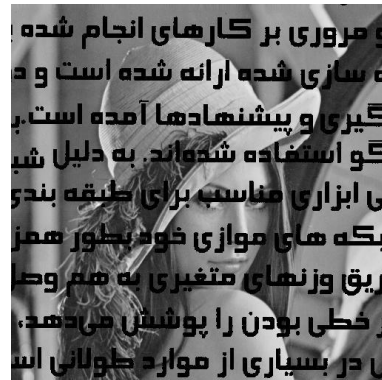
ترمیم از خارجی‌ترین پیکسل‌های مخدوش شروع شده و به مرور ترمیم تا نواحی درونی‌تر ادامه می‌یابد. در شکل ۳ پیکسل‌های ناحیه خراب تصویر و خارجی‌ترین پیکسل‌ها در ناحیه خراب نشان داده شده است. در هر مرحله پیکسل‌های مرزی ترمیم می‌شوند و ترمیم تا تکمیل کل ناحیه خراب ادامه می‌یابد. ترمیم بر مبنای انتشار مقدار پیکسل‌های سالم به پیکسل‌های خراب انجام می‌شود. به این صورت که برای هر پیکسل مرزی، جهت مناسب انتشار انتخاب شده و انتشار در آن جهت



(الف)



(ب)



(ج)

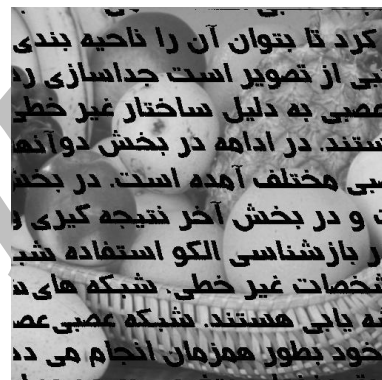
شکل ۶: (الف) تصویر خراب با متن، (ب) تصویر ترمیم‌شده به روش ترمیم هندسی [۱] و (ج) تصویر ترمیم‌شده به روش انتشار مبتنی بر موجک (روش پیشنهادی).



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۷: (الف) تصویر خراب با متن، (ب) تصویر ترمیم‌شده به روش ترمیم هندسی [۱] و (ج) تصویر ترمیم‌شده به روش انتشار مبتنی بر موجک (روش پیشنهادی).

برای ایجاد خرابی از خرابی متنی، از متون کامپیوتری با ۸ قلم مختلف استفاده شده است. متون از پایگاه داده قلم [۲۶] انتخاب شده‌اند. در کلیه روش‌ها تعداد کل تکرار الگوریتم‌ها برابر ۱۰ و پارامتر Δt در روش انتشار مبتنی بر موجک، برابر ۰/۶ در نظر گرفته شده است. در تبدیل موجک، از موجک مادر Haar استفاده شده است. از آنجا که در بازسازی، هدف پرکردن قسمت‌های گمشده تصویر با استفاده از اطلاعات سایر نواحی به نحوی است که یک پارچگی و هماهنگی بین قسمت‌های مختلف حفظ شود و هدف رسیدن به تصویر اصلی نیست، (به عبارت دیگر، ناظری که برای نخستین بار تصویر بازسازی شده را مشاهده می‌کند نباید متوجه عدم هماهنگی و ترمیم تصویر بشود) و هدف اینست که اثر بازسازی در تصویر احساس نگردد. به همین دلیل ارزیابی کیفیت روش‌های مختلف بازسازی تصویر، منحصراً بر اساس مقایسه شهودی صورت می‌گیرد. در شکل‌های ۶ تا ۸ تعدادی از نتایج ترمیم به روش‌های مختلف آورده شده است. مقایسه نتایج نشان می‌دهد که روش بازسازی پیشنهادی در بازسازی جزئیات و در بازسازی حاشیه ناحیه مخدوش و مرزها عملکرد بهتری دارد. چرا که از اطلاعات فرکانسی که دقیق‌تر است استفاده می‌کند.

۴-۱ مقایسه تأثیر استفاده از موجک‌های مادر مختلف در

ترمیم به روش انتشار مبتنی بر موجک

در زیربخش قبل برای ارائه نتایج از موجک مادر هار استفاده شد. در این بخش، نتایج تأثیر استفاده از موجک‌های مادر مختلف در نتایج روش انتشار مبتنی بر موجک بررسی شده است (شکل ۹). مقایسه نتایج نشان می‌دهد استفاده از انواع موجک‌های مادر، تأثیر چندانی بر کیفیت نتیجه حاصل ندارد.

نشان داده شده‌اند. سپس از میان این جهات، جهت با کمترین تغییرات که در ناحیه سالم تصویر واقع شده برای انتشار انتخاب می‌شود. در نتیجه انتشار قسمت‌های سالم به سمت داخل، از سمت ناحیه هموارتر تصویر انجام می‌شود نه از سمت لبه‌ها که محل اختلافات شدید در شدت رنگ تصویر هستند. در روش فوق تمام لبه‌های عمودی، افقی و قطری در نظر گرفته می‌شود که دقت کار را بالا می‌برد. پس از تعیین جهت مناسب، انتشار مطابق بخش بعدی انجام می‌شود.

۳-۲ میزان انتشار

اگر فرض کنیم پس از تعیین جهت انتشار، پیکسل (j_h, k_h) در همسایگی پیکسل خراب (j, k) در جهت تعیین شده برای انتشار قرار دارد، طبق (۱۱) مقدار پیکسل خراب به صورت حاصل جمع پیکسل همسایه با مقدار ضریب موجک در جهت فوق تعریف شده است

$$u^{n+1}(j, k) = u^n(j_h, k_h) + \Delta t \cdot c^n(j_h, k_h) \quad (11)$$

در (۱۱) مقدار ضریب موجک با c نشان داده شده است. همچنین اندیس n شماره تکرار و u تصویر ورودی است. نتایج نشان‌دهنده آن است که رابطه پیشنهادی، گزینه مناسبی است و نتایج خوبی به دست می‌دهد. Δt برابر ۰/۶ در نظر گرفته شده است.

۴- آزمایش‌ها و نتایج

در این بخش، روش معرفی شده در این مقاله با نام انتشار مبتنی بر موجک در ترمیم تصاویر مختلف آزموده شده است. به منظور مقایسه، نتایج ترمیم هندسی [۱] که از بهترین روش‌های معرفی شده تا کنون است، نیز آورده شده است.



شکل ۸: (الف) تصویر خراب با متن، (ب) تصویر ترمیم‌شده به روش ترمیم هندسی [۱] و (ج) تصویر ترمیم‌شده به روش انتشار مبتنی بر موجک (روش پیشنهادی).



شکل ۹: (الف) تصویر خراب، تصویر ترمیم‌شده به روش استفاده انتشار مبتنی بر موجک با استفاده از موجک مادر، (ب) Haar، (ج) db2، (د) db10، (ه) Bior1.1، (و) Coif1 و (ز) Sym2.



شکل ۱۰: (الف) تصویر خراب، تصویر ترمیم‌شده به روش استفاده انتشار مبتنی بر موجک با استفاده از موجک مادر، (ب) Haar، (ج) db2، (د) db10، (ه) Bior1.1، (و) Coif1 و (ز) Sym2.

۴-۲ بازسازی تصاویر مخدوش در حضور نویز

در این قسمت نتایج بازسازی تصاویر در حضور نویز بررسی شده است.

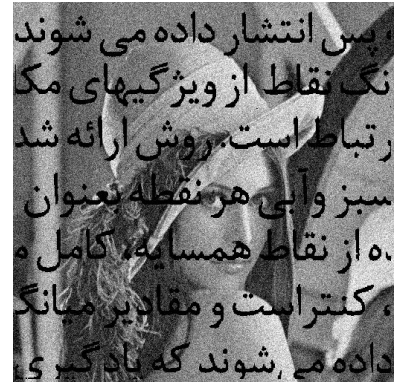
برای مقایسه روش‌ها یک تصویر آلوده به نویز گوسی با میانگین صفر و واریانس ۰/۰۱ به وسیله یک تصویر متن خراب شده و توسط هر یک از روش‌های بازسازی هندسی و روش بازسازی پیشنهادی ترمیم شده است.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۱۰: (الف) تصویر نویزی خراب با متن، (ب) تصویر ترمیم‌شده به روش ترمیم هندسی و (ج) تصویر ترمیم‌شده به روش انتشار مبتنی بر موجک.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۱۱: (الف) تصویر خراب با متن با عرض قلم ۳، (ب) تصویر ترمیم‌شده به روش ترمیم هندسی و (ج) تصویر ترمیم‌شده به روش انتشار مبتنی بر موجک.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۱۲: (الف) تصویر خراب با متن با عرض قلم ۱۸، (ب) تصویر ترمیم‌شده به روش ترمیم هندسی و (ج) تصویر ترمیم‌شده به روش انتشار مبتنی بر موجک.

مورد جزئیات، نتایج برای سطوح بیرونی‌تر ناحیه مخدوش شده قابل قبول است اما هرچه به سمت داخل ناحیه ترمیم‌شده می‌رویم، از دقت جزئیات کاسته می‌شود چرا که جزئیات فوق از سایر پیکسل‌های همسایگی قابل استخراج نیست و هرچه به سمت درون ناحیه خراب پیش می‌رویم، بازسازی ناقص‌تر است. بازسازی تصاویر خراب‌شده به وسیله متن با عرض قلم‌های ۳ و ۱۸ در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ آورده شده است. در عرض قلم‌های کم (شکل ۱۱ و شکل‌های ۶ تا ۸) هر دو روش نتایج قابل قبولی دارند و روش پیشنهادی بازسازی را در مرزها بهتر انجام می‌دهد. از شکل ۱۲ نیز مشخص است که در خرابی‌های با عرض زیاد، روش بازسازی مبتنی بر ویولت، کلیات تصویر را تا حد قابل قبولی ترمیم می‌کند اما جزئیات در عمق ناحیه خرابی دقیق نیستند. در حالی که روش بازسازی هندسی قادر به بازسازی تصاویر با خرابی وسیع نیست.

یک نمونه از نتایج در شکل ۱۰ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در حضور نویز نیز عملکرد قابل قبولی دارد. البته می‌توان روش فوق را جهت انجام حذف نویز و بازسازی به صورت هم‌زمان بهبود داد.

۴-۳ بازسازی تصاویر در خرابی‌های با عرض زیاد

در این قسمت بازسازی تصاویر با خرابی‌های با عرض مختلف بررسی شده است. در خرابی‌های کم‌سطح، بازسازی دو روش قابل قبول است. اما هرچه سطح خرابی بیشتر می‌شود، تفاوت دو روش نیز بیشتر می‌شود. نتایج نشان می‌دهد روش بازسازی هندسی در خرابی‌های با سطح زیاد مناسب نیست اما در روش پیشنهادی این ضعف بهبود یافته است. روش پیشنهادی در خرابی‌های با عرض زیاد، قادر به تشخیص مقادیر ناحیه مخدوش می‌باشد به حدی که کلیات تصویر قابل دریافت است. اما در

۴-۴ تحلیل نتایج

در این مقاله روشی برای ترمیم به کمک تبدیل موجک در جهت بهبود روش ترمیم هندسی پیشنهاد شده است. آزمایش‌ها نشان‌دهنده آن است که روش پیشنهادی نتایجی قابل مقایسه با روش ترمیم هندسی و در مواردی که ناحیه خرابی بزرگ است، نتایجی به مراتب بهتر ارائه می‌کند. از نظر تئوری هر دو روش از اطلاعات میزان تغییرات شدت رنگ در پیکسل‌های اطراف برای تعیین جهت انتشار و برای تعیین میزان انتشار استفاده کرده‌اند. در روش ترمیم هندسی، تغییرات با استفاده از اطلاعات حوزه مکان و به کمک تفاضل پیکسل‌ها محاسبه شده است ولی در روش پیشنهادی از اطلاعات حوزه فرکانس استفاده شده است. در واقع روش پیشنهادی در ترمیم نواحی خرابی با عرض زیاد بهتر عمل می‌کند، چرا که در تبدیل موجک نوع لبه‌ها مشخص‌تر می‌شود. روش ترمیم هندسی از تفاضل مقدار پیکسل‌ها استفاده می‌کند که ممکن است در بعضی لبه‌های پیچیده درست عمل نکند، در صورتی که اطلاعات حوزه فرکانس دقیق‌تر و کامل‌تر است.

همچنین مقایسه نتایج نشان داد که ترمیم به روش انتشار مبتنی بر موجک در تکرارهای کمتر (حدود ۳ تکرار) به نتیجه می‌رسد. ولی روش ترمیم هندسی در تکرارهای بیشتر الگوریتم به نتیجه می‌رسد. البته پیچیدگی روش بازسازی هندسی از روش پیشنهادی کمتر است، چرا که در روش بازسازی مبتنی بر موجک، لازم است که در هر مرحله، تبدیل موجک تصویر محاسبه شود که باعث پایین آمدن سرعت آن نیز می‌شود.

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

یکی از موضوعات مهم در بحث پردازش تصاویر دیجیتال، ترمیم تصاویر می‌باشد که به معنای ترمیم قسمت‌های مخدوش تصویر است. در این مقاله راهکاری برای ترمیم تصویر با استفاده از تبدیل موجک معرفی شد. در روش پیشنهادی، ترمیم در حوزه مکان و با استفاده از اطلاعات حوزه فرکانس انجام می‌شود و نتایج، عملکرد مناسب روش فوق را می‌رساند. مقایسه روش‌ها نشان داد روش انتشار مبتنی بر موجک نتایج قابل قبولی ارائه می‌کند. این نتایج با نتایج روش ترمیم هندسی قابل مقایسه بوده و در موارد خرابی‌های با عرض قلم زیاد، نتایج بهتری دارد.

مراجع

- [9] J. She, *Inpainting and the Fundamental Problem of Image Processing*, University of Minneapolis, 2002.
- [10] A. Rares, M. J. T. Reinders, J. Biemond, and R. L. Lagendijk, "Aspatiotemporal image sequence restoration algorithm," in *Proc. of Int. Conf. on Image Processing*, vol. 2, pp. 857-860, 24-28 Jun. 2002.
- [11] T. F. Chan and J. Shen, "Variational image inpainting," Research supported by NSF under DMS-0202565, 2001.
- [12] C. A. Z. Barcelos and M. A. Basteta, "Image inpainting by nonlinear partial differential equations," in *Proc. of the XVI Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing*, vol. 1, pp. 287-293, Oct. 2003.
- [13] M. Bertalimo, G. Spiro, V. Caselles, and C. Ballester, "Image inpainting," in *Proc. of Computational Graphic*, pp. 417-424, Jul. 2000.
- [14] C. A. Z. Barcelos, M. A. Basteta, A. M. Martins, and A. C. Nogueira, "Level lines continuation based digital inpainting," in *Proc. of the XVII Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing*, pp. 50-57, Oct. 2004.
- [15] M. Ranjbar and S. Kasaei, "Spatial error concealment: A novel exemplar-based approach using segmentation," *Computers and Electrical Engineering*, vol. 35, no. 4, pp. 536-548, Jul. 2009.
- [16] A. A. Efros and T. K. Leung, "Texture synthesis by non-parametric sampling," in *Proc. IEEE 7th Int. Conf. on Computer Vision*, vol. 2, pp. 1033-1038, 20-27 Sep. 1999.
- [17] A. Criminisi, P. Pérez, and K. Toyama, "Region filling and object removal by exemplar-based inpainting," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 13, no. 9, pp. 1200-1212, Sep. 2004.
- [18] H. Yamauchi, J. Haber, and H. P. Seidel, "Image restoration using multiresolution texture synthesis and image inpainting," in *Proc. Computer Graphics Int. Conf.*, pp. 120-125, 9-11 Jul. 2003.
- [19] M. Shen and B. Lil, "Structure and texture image inpainting based on region segmentation," in *Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech and Signal Processing*, vol. 1, pp. 701-704, 15-20 Apr. 2007.
- [20] K. A. Sapiro and G. Patwardhan, "Projection based image and video inpainting using wavelets," in *Proc. 2003 Int. Conf. on Image Processing, ICIP'03*, vol. 1, pp. 857-860, Nov. 2003.
- [21] R. H. Chan, Y. W. Wen, and A. M. Yip, "A fast optimization transfer algorithm for image inpainting in wavelet domains," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 18, no. 7, pp. 1467-1476, Jul. 2009.
- [22] J. A. Dobrosotskaya and A. L. Bertozzi, "A wavelet-Laplace variational technique for image deconvolution and inpainting," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 17, no. 5, pp. 657-663, May 2008.
- [۲۳] غ. عسگری همت، *آشنایی با موجک‌ها*، انتشارات آذرخش، ۱۳۷۹.
- [24] J. C. Goswami and A. K. Chan, *Fundamental of Wavelets, Theory, Algorithms and Applications*, Book, Wiley Series in Microwave and Optical Engineering, 1999.
- [25] K. P. Soman and K. I. Ramachandra, *Insight into Wavelets from Theory to Practice*, Prentice Hall of India, Second Edition, 2006.
- [۲۶] ح. نظام آبادی پور، س. سریزدی و ا. ابراهیمی، "بازشناسی قلم‌های فارسی بر پایه فیلترهای گابور"، *نهمین کنفرانس انجمن کامپیوتر ایران*، جلد ۱، صص. ۳۷۸-۳۷۱، اسفند ۱۳۸۲.
- [1] C. A. Z. Barcelos, M. A. Bastita, A. M. Martins, and A. C. Nogueira, "Geodesic path based digital inpainting," *Applied Mathematics and Computation*, vol. 189, no. 2, pp. 1662-1674, 15 Jun. 2007.
- [2] T. F. Chan, J. Shen, and L. Vese, *Variational PDE models in image processing*, Research is supported by NSF under DMS9973341, 2002.
- [3] S. Adolfsson, Algorithms Regarding Automatic Retouching of User Selected Regions in Digital Images, Master Degree Project, Stockholm, Sweden, 2004.
- [4] Y. Lin, "A hardware accelerated patch search engine for image completion," in *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Int. Conf. on Publication*, vol. 5, pp. 3949-3954, Oct. 2006.
- [5] R. J. Cant and C. S. Langensiepen, *A Multiscale Method for Automated Inpainting*, School of Computing and Mathematics, Nottingham Trent University, 2003, ducati.doc.ntu.ac.uk/uksim/ESM2003/Papers/Track-AI/AI-19/paper%20CR.pdf.
- [6] F. Guichard and J. M. Morel, *Image Analysis and P. D. E.'s*, Book, 2001.
- [7] X. Shao, Z. Liu, and H. Li, "An image inpainting approach based on the poisson equation," in *Proc. of the Second IEEE Int. Conf. on Document Image Analysis for Libraries*, 5 pp. 27-28 Apr. 2006.
- [8] D. Fishelov and N. Sochen, "Image inpainting via fluid equations," *IEEE Int. Conf on Information Technology: Research and Education*, pp. 23-25, 16-19 Oct. 2006.

عصمت راشدی کارشناسی خود را در مهندسی برق - مخابرات در سال ۱۳۸۳ از دانشگاه شهید باهنر کرمان اخذ کرد. او سپس موفق به دریافت کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق - مخابرات از همان دانشگاه در سال ۱۳۸۶ شد. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه او الگوریتم‌های ابتکاری، پردازش تصویر و بازشناسی الگو است.

Archive of SID