

استفاده از ضریب انتشار تطبیقی برای حذف نویز تصاویر با استفاده از معادلات مشتقات جزئی

حمید حسن پور و محسن نیک پور

بررسی، همانند مدل تغییرات دمای هوا در نظر گرفته می‌شود که در آن جریان هوا از محیط گرم‌تر به محیط سردتر انجام می‌شود تا جایی که دو محیط به دمای تعادل برسند. در [۵] نشان داده شده است که این تغییرات حرارت به صورت یک تابع گوسین می‌باشد.

در به کارگیری معادلات مشتقات جزئی در پردازش تصویر، مدل تغییرات روشنایی تصویر به صورت تابع گوسی در نظر گرفته می‌شود [۷]. بر این اساس هرگونه تغییرات ناگهانی در تصویر به عنوان نویز شناخته می‌شود. در استفاده از معادلات مشتقات جزئی، پارامتری به نام ضریب انتشار تعریف می‌شود که اندازه آن بیانگر شدت تغییرات نفوذ معادله از یک ناحیه به ناحیه دیگر می‌باشد. به عبارت دیگر این پارامتر نقش مهمی را در عمل حذف نویز ایفا می‌کند. تحقیقات نشان می‌دهد ضریب انتشار در یک تصویر اغلب به صورت یک تابع غیر خطی می‌باشد [۸]. بر همین اساس معادلات انتشار غیر خطی برای کاهش نویز تصاویر برای اولین بار توسط Perona و Malik [۵] و [۷] مطرح شده‌اند. اگرچه الگوریتم ارائه شده در این مقالات دارای نقایصی بوده است اما کاربرد مفید و جالب توجه آن در پردازش تصویر بسیاری از پژوهشگران را ترغیب نموده است که در پی بهبودی این روش باشند.

یکی از پارامترهای مهمی که در این معادلات انتشار موجود است، ضریب بازگشتی است. این ضریب به عنوان یک پارامتر بازدارنده و بازخورد در عمل انتشار پیش‌رونده در تصویر به حساب می‌آید. تحقیقات نشان می‌دهد که این پارامتر نقش مهمی را در حذف نویز تصاویر ایفا می‌کند. انتخاب مقدار پایین برای این پارامتر، سبب عدم حذف نویز به میزان مناسب در تصاویر و انتخاب مقدار بزرگ برای آن سبب از بین رفتن لبه‌های تصویر می‌شود. بررسی‌های ما نشان می‌دهد که در روش‌های موجود حذف نویز مبتنی بر معادلات مشتقات جزئی، این پارامتر بر حسب سعی و خطا بر روی چند تصویر به دست آمده و برای حذف نویز تصاویر دیگر نیز از آن استفاده می‌شود، در حالی که بافت تصاویر مختلف و نویز اعمال شده به آنها متفاوت می‌باشد و این محدودیت‌ها سبب می‌شود که چنین انتخابی نتواند باعث حذف نویز به صورت کارا شود. هدف ما در این مقاله این است که بتوانیم مقدار ضریب بازگشتی موجود در معادله انتشار را با توجه به بافت تصویر مورد بررسی به دست آوریم.

در بخش ۲ این مقاله معادلات انتشار و ضعف روش‌های قبلی را بررسی خواهیم کرد. در بخش ۳ روش پیشنهادی در این مقاله ارائه خواهد شد. در بخش ۴ معیارهای به کار رفته برای ارزیابی کارایی روش مطرح شده معرفی می‌شوند. در بخش ۵ گزارش نتایج آزمایشات و در نهایت در بخش ۶ نتیجه‌گیری مقاله مطرح شده‌اند.

۲- معادلات انتشار

ایده اصلی معادلات انتشار بر اساس تکرار می‌باشد. در استفاده از معادلات انتشار در پردازش تصویر، یکی از اصلی‌ترین پیش‌پردازش‌ها

چکیده: در این مقاله روش جدیدی برای حذف نویز تصاویر با استفاده از معادلات مشتقات جزئی ارائه شده است. در به کارگیری معادلات مشتقات جزئی برای حذف نویز تصاویر از پارامتری به نام ضریب انتشار استفاده می‌شود که انتخاب درست آن تأثیر زیادی بر روی حذف نویز و حفظ لبه‌های تصویر دارد. در مقالات موجود مقدار ضریب انتشار برای تصاویر مختلف بر اساس سعی و خطا به دست می‌آید. اما در این مقاله روشی ارائه می‌شود که مقدار این ضریب به صورت تطبیقی برای تصاویر در نظر گرفته می‌شود. روش ارائه شده در این مقاله بر روی چندین تصویر استاندارد آزمایش شده است. نتایج این آزمایشات نشان می‌دهند که روش ارائه شده در مقایسه با روش‌های موجود مبتنی بر معادلات مشتقات جزئی عملکرد بهتری دارد.

کلیدواژه: ضریب نفوذ، ضریب بازگشتی، معادلات مشتقات جزئی.

۱- مقدمه

علم پردازش تصویر یکی از علوم پرکاربرد در مهندسی است که در سال‌های اخیر پیشرفت قابل توجهی داشته است. یکی از مسائلی که در این علم وجود دارد، حذف اختلالات ناخواسته نظیر انواع نویزها و عوامل متعدد دیگر در تصاویر است که اغلب به عنوان مرحله پیش‌پردازش در پردازش تصویر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

یکی از مهم‌ترین نکاتی که در روش‌های مختلف بهبود تصویر از جمله حذف نویز مطرح می‌باشد، حفظ ساختار تصویر است. روش‌های متعددی برای حذف نویز تصاویر موجود است. از جمله آنها استفاده از فیلترهای ساده مانند فیلتر متوسط‌گیری، فیلتر میانه و فیلتر گوسین می‌باشند که در بسیاری از مقالات و کتاب‌ها از آنها استفاده شده است [۱] تا [۳]. این فیلترها اگرچه می‌توانند نویز تصویر را کاهش دهند اما معمولاً باعث تیره و هموارشدن تصویر و یا لبه‌های آن می‌شوند. برای مثال فیلتر میانه، دارای توانایی بالایی برای حذف نویزهای نمک و لفل می‌باشد اما برای نویزهای گوسین گزینه مناسبی نیست. همچنین دارای این مزیت است که بر خلاف فیلتر میانگین، مقدار پیکسل‌های هر سطح خاکستری را تغییر نمی‌دهد؛ اما بزرگ‌ترین عیب آن این است که لبه‌های تصویر را به اندازه یک یا چند پیکسل جابه‌جا می‌کند [۳].

برای حل مشکلات فوق استفاده از معادلات با مشتقات جزئی به عنوان یکی از روش‌ها مطرح می‌باشد [۲] و [۴] تا [۶]. در روش‌های مبتنی بر معادلات با مشتقات جزئی، تغییرات موجود در پیکسل‌های تصویر مورد

این مقاله در تاریخ ۱۰ آبان ماه ۱۳۸۶ دریافت و در تاریخ ۲۱ اسفند ماه ۱۳۸۶ بازنگری شد.

حمید حسن پور، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود (email: h_hassanpour@yahoo.com).
محسن نیک پور، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، خیابان شریعتی، بابل (email: mhnsnikpour@yahoo.com).

$$r(x, y, t) = \exp\left(-\frac{|\nabla p|^T}{\gamma k^T}\right) \quad (5)$$

البته برای ضریب انتشار، معادلات مختلفی مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۱]. از بین این معادلات، معادلات فوق که به معادلات Perona-Malik معروفند، دارای کاربرد گسترده‌تری در حذف نویز تصاویر بر اساس معادلات مشتقات جزئی می‌باشند.

در شکل ۱ تغییرات ضرایب انتشار مطرح شده نسبت به گرادیان تصویر آورده شده است. ملاحظه می‌شود که با افزایش گرادیان تصویر، مقدار این ضرایب کاهش می‌یابد. این کاهش ضریب نفوذ در گرادیان‌های بالا، نشان‌دهنده قابلیت این معادلات در غلبه بر مشکل هموارسازی لبه‌ها می‌باشد.

چنانچه بخواهیم برای یک تصویر، (۴) را به کار بگیریم به صورت زیر عمل می‌کنیم

$$p(x, y, t + \Delta t) = p(x, y, t) + \Delta t(d_n r_n + d_s r_s + d_e r_e + d_w r_w) \quad (6)$$

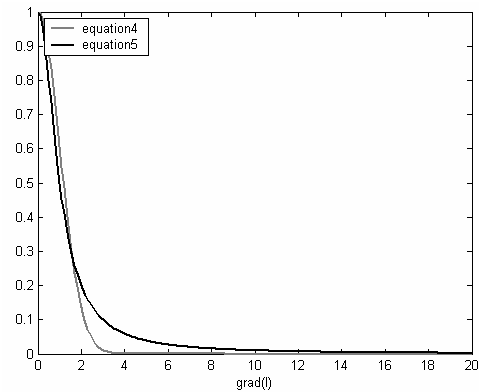
که در آن (۶) پارامترهای d_n ، d_s ، d_e و d_w به ترتیب مقادیر گرادیان تصویر در چهار جهت اصلی همسایگی پیکسل‌ها و r_n ، r_s ، r_e و r_w به ترتیب مقادیر ضریب انتشار در هر یک از این جهات می‌باشند. این پارامترها به صورت زیر قابل محاسبه هستند [۱۰]

$$\begin{aligned} d_n &= p(x, y - 1, t) - p(x, y, t) & r_n &= \frac{1}{1 + (d_n/k)^T} \\ d_s &= p(x, y + 1, t) - p(x, y, t) & r_s &= \frac{1}{1 + (d_s/k)^T} \\ d_e &= p(x + 1, y, t) - p(x, y, t) & r_e &= \frac{1}{1 + (d_e/k)^T} \\ d_w &= p(x - 1, y, t) - p(x, y, t) & r_w &= \frac{1}{1 + (d_w/k)^T} \end{aligned} \quad (7)$$

معمولاً مقدار Δt برابر ۰/۲۵ و مقدار k که به ضریب بازگشتی مشهور است بین ۵ و ۱۰۰ در نظر گرفته می‌شود [۱۰]. باید توجه داشت که انتخاب یک مقدار مناسب برای ضریب بازگشتی در فرایند حذف نویز تصویر بسیار اهمیت دارد. چرا که اگر مقدار ضریب بازگشتی k در یک تصویر از حد مورد نیاز بزرگ‌تر باشد باعث هموارشدن و در نتیجه از بین رفتن لبه‌ها می‌شود و اگر مقدار آن خیلی کوچک باشد، حذف نویز به خوبی صورت نمی‌گیرد. مقادیر اشاره شده فوق برای ضریب بازگشتی با انجام آزمایشات بر روی تعداد زیادی از تصاویر موجود در حوزه پردازش تصویر به دست آمده‌اند. در شکل ۲ تصویر فلفل^۱ با نویز گوسین (با میانگین صفر و واریانس ۰/۰۱) نویزی شده است و مقادیر مختلف ضریب بازگشتی برای حذف نویز آن به کار گرفته شدند. برای ارزیابی میزان حذف نویز در هر یک از این مقادیر ضریب بازگشتی، از رابطه زیر استفاده شده است

$$L = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M |P_{original}(i, j) - P_{denoised}(i, j)| \quad (8)$$

مقدار L در (۸) برابر با فاصله اقلیدسی بین تصویر اصلی و تصویر به دست آمده پس از حذف نویز است. واضح است که هر چقدر مقدار عدد به دست آمده کمتر باشد، نشان‌دهنده نزدیک‌تر بودن این دو تصویر به هم



شکل ۱: ضرایب انتشار مطرح شده توسط Perona و Malik.

استفاده از فیلتر دوبعدی گوسین است که در آن تصویر $p(x, y)$ با یک پنجره $K_\sigma(x, y)$ کانوالو می‌شود

$$K_\sigma(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma^T} \exp\left(-\frac{|x|^T + |y|^T}{2\sigma^T}\right) \quad (9)$$

که در آن $K_\sigma(x, y)$ فیلتر گوسین است و σ بیانگر انحراف استاندارد ضرایب فیلتر می‌باشد. با عملیات کانولوشن روی تصویر، یکی از مشکلات اساسی که به وجود خواهد آمد هموارشدن لبه‌ها می‌باشد. البته در [۹] نشان داده شده است که این مشکل را می‌توان با تلقی کردن تغییرات چگالی تصویر به عنوان جریان گرمایی برطرف کرد.

معادله انتشار برای یک تصویر $p(x, y)$ به صورت زیر تعریف می‌شود

$$\frac{\partial p(x, y, t)}{\partial t} = \nabla^T p(x, y, t) = \frac{\partial^T p(x, y, t)}{\partial x^T} + \frac{\partial^T p(x, y, t)}{\partial y^T} \quad (2)$$

در معادله فوق تصویر $p(x, y, 0) = p(x, y)$ ، تصویر اولیه (در $t = 0$) و $p(x, y, t)$ تصویر در لحظه $t = 0, 5\sigma^T$ می‌باشند. دلیل انتخاب تصویر در این لحظه این است که کانولوشن یک تصویر با فیلتر گوسی بیان شده در (۱) و با انحراف معیار σ معادل با حل معادله نفوذ در فضای دوبعدی در زمان $t = 0, 5\sigma^T$ است. معادلات فوق را به صورت زیر می‌توان خلاصه نمود [۱۰]

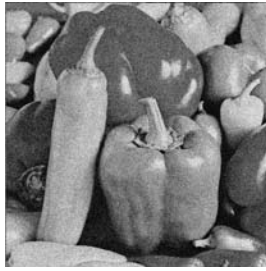
$$\frac{\partial p(x, y, t)}{\partial t} = \nabla \cdot (r(x, y, t) \nabla p(x, y, t)) \quad (3)$$

$$p(x, y, 0) = p(x, y)$$

در معادله فوق، ∇ اپراتور گرادیان، $r(x, y, t)$ فاکتور یا ضریب انتشار و $\nabla \cdot$ اپراتور دیورژانس هستند. اگر r یک مقدار ثابت و مستقل از x و y باشد، معادله فوق یک معادله انتشار با فاکتور انتشار همگن نامیده می‌شود. در این حالت، معادله فوق بین پیکسل‌های مربوط به لبه‌ها و سایر پیکسل‌های تصویر تفاوتی قائل نمی‌شود و همه پیکسل‌ها را به یک میزان هموار می‌کند. واضح است که چنین شرایطی ایده‌آل نمی‌باشد. برای حل این مشکل، می‌توانیم ضریب انتشار را به عنوان تابعی از x و y بررسی کنیم که در آن صورت معادله فوق تبدیل به یک معادله خطی و غیرهمگن می‌شود. در صورتی که ضریب انتشار وابسته به تصویر باشد، معادله خطی فوق تبدیل به یک معادله غیر خطی می‌شود. این ایده در [۵] مطرح شد که در آنها دو معادله مختلف برای ضریب انتشار مطرح شده است

$$r(x, y, t) = \frac{1}{1 + \frac{|\nabla p|^T}{k^T}} \quad (4)$$

۱. یکی از تصاویر استاندارد در پردازش تصویر



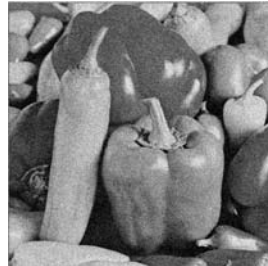
(ب)



(ف)



(د)



(ج)



(و)



(ه)

شکل ۳: بررسی اثر ضریب بازگشتی در حذف نویز به کمک معادلات با مشتقات جزئی، (الف) تصویر اصلی، (ب) تصویر نویزی شده با نویز گوسین با میانگین صفر و واریانس ۰.۰۱، (ج، د، ه) تصاویر حذف نویز شده با انتخاب k به ترتیب برابر با ۵، ۳۵ و ۵۰. از این تصاویر واضح است که با انتخاب k کوچک حذف نویز به خوبی انجام نشده و با انتخاب k بزرگ لبه‌های تصویر از بین رفته‌اند و (و) تصویر حذف نویز شده با $k = 25$.

همان‌گونه که اشاره شد هر چقدر گرادیان یک تصویر بیشتر باشد نشان‌دهنده تغییرات بیشتر آن تصویر است و گرادیان کمتر نشان‌دهنده تغییرات کمتر در پیکسل‌های آن می‌باشد. بنابراین می‌توانیم با یافتن رابطه‌ای بین میزان تغییرات گرادیان یک تصویر، مقدار مناسب را برای ضریب بازگشتی پیدا کنیم.

در این روش گرادیان‌های تمام پیکسل‌های یک تصویر را در چهار جهت اصلی همسایگی (شکل ۴) به دست می‌آوریم. سپس اختلاف بین گرادیان‌ها در راستای عمودی و افقی محاسبه می‌شود

$$\begin{aligned} d_{ns} &= d_n - d_s \\ d_{ew} &= d_e - d_w \end{aligned} \quad (9)$$

با محاسبه اختلاف گرادیان‌ها در این دو راستا، مقدار متوسط گرادیان در این دو جهت به صورت زیر حاصل می‌شود

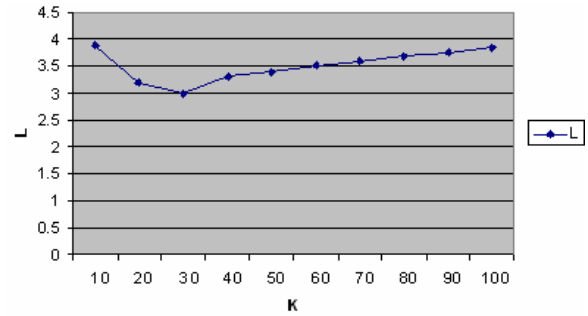
$$d = \sqrt{d_{ns}^2 + d_{ew}^2} \quad (10)$$

سپس برای به دست آوردن میزان تغییرات گرادیان در یک تصویر، انحراف واریانس گرادیان را به عنوان یک معیار مناسب مورد استفاده قرار می‌دهیم

$$v = \text{var}(d) \quad (11)$$

آزمایشات ما نشان داده‌اند که مقدار مناسبی که برای ضریب بازگشتی به دست خواهد آمد، با v رابطه مستقیمی دارد

$$k \propto v \Rightarrow k = \alpha \cdot v \quad (12)$$



شکل ۲: تغییرات L در برابر k بین تصویر اصلی و حذف نویز شده فلفل (مقادیر L در 10^4 ضرب شده‌اند).

NW	N	NE
W		E
SW	S	SE

شکل ۴: هشت همسایگی پیکسل.

است. به ازای مقادیر مختلف k ، تصویر فوق حذف نویز شده و فاصله اقلیدسی بین تصویر به دست آمده و تصویر اصلی محاسبه شده است. در نمودار شکل ۲ تغییرات فاصله اقلیدسی (L) نسبت به تغییرات k نشان داده شده است.

همان‌طور که از شکل فوق پیداست، عددی حدود ۲۵ برای k کمترین اختلاف را با تصویر اصلی نتیجه می‌دهد. نتیجه حذف نویز به ازای برخی از مقادیر k در شکل ۳ نشان داده شده است.

در روش‌های موجود مبتنی بر معادلات مشتقات جزئی [۱] و [۲] و [۸] برای حذف نویز تصاویر، مقدار ضریب بازگشتی مناسب با سعی و خطا بر روی چند تصویر به دست می‌آید و از مقدار به دست آمده با استفاده از (۱) تا (۷) برای حذف نویز تصاویر مختلف استفاده می‌شود. اشکال این روش این است که چون طبیعت تصاویر و یا نویزهای مختلف متفاوتند، استفاده از یک عدد ثابت به عنوان ضریب بازگشتی برای همه این تصاویر، می‌تواند مشکلاتی از قبیل حذف نشدن نویز و یا هموار شدن لبه‌ها را به وجود آورد. بنابراین پیشنهاد می‌شود که از یک ضریب بازگشتی استفاده شود که بتواند برای هر تصویر، مقدار ضریب بازگشتی را به صورت تطبیقی انتخاب کند و از آن برای حذف نویز استفاده کند.

۳- روش پیشنهادی

همان‌طور که اشاره شد، هدف ما در این مقاله محاسبه ضریب بازگشتی به صورت تطبیقی برای حذف نویز تصاویر است به طوری که نیازی به آزمون سعی و خطا برای به دست آوردن مقدار مناسب آن در تصاویر مختلف نباشد. همان‌طور که (۴) نشان می‌دهد، در به کارگیری معادلات انتشار هر چقدر مقدار ضریب بازگشتی در یک فرایند حذف نویز کوچک‌تر باشد، ضریب انتشار کوچک‌تر و در نتیجه نویز تصویر کمتر حذف می‌شود؛ و هر چقدر مقدار آن زیاد باشد تصویر به دست آمده همراه با حذف نویز دچار همواری بیشتری می‌شود. آزمایشات مختلفی که در این زمینه تحقیق شده‌اند نشان می‌دهند که گرادیان تصویر که نشان‌دهنده تغییرات موجود در تصویر می‌باشد می‌تواند معیار مناسبی برای انتخاب ضریب بازگشتی باشد. هر چقدر تصویر دارای جزئیات بیشتری باشد، مقدار مناسب ضریب بازگشتی برای حذف نویز بهینه این تصویر عدد بزرگ‌تری خواهد بود. ما از این خاصیت استفاده می‌کنیم تا مقدار مناسب را برای ضریب بازگشتی در تصاویر مختلف به صورت تطبیقی به دست آوریم.

یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده این است که لبه‌های به‌دست آمده به لبه‌های تصویر اصلی نزدیک‌ترند. ما از اپراتور Canny برای آشکارسازی لبه‌ها استفاده کرده‌ایم [۱۲]. این اپراتور با استفاده از مشتق فیلتر گوسین، گرادیان ماکزیمم را در قسمت‌های مختلف تصویر استخراج کرده و آنها را به‌عنوان لبه شناسایی می‌کند. در این روش از دو مقدار آستانه برای آشکارسازی لبه‌های ضعیف و شدید استفاده می‌شود. چنانچه لبه‌های ضعیف به لبه‌های شدید متصل باشند، به‌عنوان لبه تصویر انتخاب و در غیر این صورت این لبه‌ها حذف می‌شوند. بنابراین این اپراتور، اپراتور مناسبی برای آشکارسازی لبه‌های واقعی موجود در تصویر که نسبت به لبه اصلی تضعیف شده‌اند، می‌باشد.

۵- نتایج آزمایشات

آزمایشات بر روی ۱۵ نوع تصویر استاندارد برگرفته از [۱۳] انجام شده است. این تصاویر در شکل ۵ نشان داده شده‌اند. این تصاویر با نویز گوسین با میانگین صفر و واریانس ۰/۱ و به‌دنبال آن نویز نمک و لفل با چگالی ۰/۰۵ نویزی شدند. ابتدا با استفاده از روش مطرح‌شده مقدار ضریب α برای یک تصویر محاسبه شده است که مناسب‌ترین مقدار برای این پارامتر برابر با 2×10^{-6} به‌دست آمده است. مسلماً با تغییر مدل نویز، مقدار پارامتر فوق نیز تغییر خواهد کرد. پس از محاسبه مقدار α ، ضریب بازگشتی برای حذف نویز هر تصویر با استفاده از روش مطرح‌شده محاسبه و با ضریب به‌دست آمده، تمامی تصاویر حذف نویز شدند. در مرحله بعد روش به‌کارگیری شده در [۱]، [۲] و [۸] مورد بررسی قرار گرفته‌اند. از آنجا که مقالات فوق، جزو جدیدترین کارهای انجام‌شده در حوزه حذف نویز تصویر با استفاده از معادلات مشتقات جزئی می‌باشند و بهبودی قابل ملاحظه‌ای را در تصاویر نویزی ایجاد کرده‌اند، مقالات فوق مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در این مرحله، با استفاده از چند تصویر از بین همان تصویر، با سعی و خطا مقدار مناسبی برای ضریب بازگشتی به‌دست آمده و با استفاده از مقدار به‌دست آمده، سایر تصاویر نیز حذف نویز شدند. نتایج به‌دست آمده از هر یک از این روش‌ها، با استفاده از معیارهای MSE، SNR و FOM مورد ارزیابی قرار گرفتند. هر یک از این آزمایشات ۱۰۰ بار تکرار شده‌اند و نتایج این آزمایشات (شبیه‌سازی مونت کارلو) با متوسط‌گیری به‌دست آمده و در نمودار شکل ۶ خلاصه شده‌اند. مقادیر به‌دست آمده از معیارهای ارزیابی در این نمودارها نشان می‌دهند که روش مطرح‌شده نسبت به روش‌های موجود، به جز چند مورد، دارای کارایی بالایی می‌باشد. چند نمونه از تصاویر بررسی‌شده در شکل‌های ۷ تا ۹ به‌همراه منحنی هیستوگرام و نتایج نشان داده شده‌اند. با مقایسه منحنی‌های هیستوگرام این تصاویر که در شکل‌های فوق نشان داده شده‌اند نیز می‌توان بهبودی نسبی را در این تصاویر ملاحظه کرد.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله، روشی برای بهبود روش‌های موجود در حذف نویز تصاویر با استفاده از معادلات مشتقات جزئی ارائه شده است که در آن، مقدار ضریب بازگشتی موجود در ضریب انتشار، برای تصاویر مختلف عدد ثابتی نیست و برای تصاویر مختلف و با نویزهای مختلف به‌طور تطبیقی به‌دست می‌آید. این ضریب با استفاده از گرادیان تصویر به‌دست آمده است. گرادیان تصویر یکی از پارامترهایی است که بیانگر تغییرات پیکسل‌های تصویر می‌باشد. نتایج به‌دست آمده از آزمایشات با معیارهای مختلف

برای یک مدل نویز موجود در تصویر، می‌توان مقدار مناسبی را برای ضریب α به‌دست آورده و با اعمال آن به سایر تصاویری که نویز موجود در آنها نیز از همان مدل می‌باشد، می‌توان حذف نویز این تصاویر را به‌نحو مطلوبی انجام داد. البته باید توجه داشت که مقدار α با تغییر مدل نویز تغییر خواهد کرد.

۴- ارزیابی روش مطرح‌شده

در این قسمت روش پیشنهادی کاهش نویز تصاویر را بر روی چند تصویر استاندارد اعمال می‌کنیم تا کارایی عملکرد آن مورد ارزیابی قرار گیرد. در این ارزیابی از تعدادی معیار مناسب که در اغلب پردازش تصویر استفاده می‌شوند بهره می‌بریم. در بخش بعدی این معیارها به‌طور اجمالی معرفی می‌شوند.

۴-۱ نسبت سیگنال به نویز

نسبت سیگنال به نویز (SNR)، بیانگر میزان انرژی سیگنال اصلی در برابر انرژی نویز موجود در سیگنال است و به‌صورت زیر تعریف می‌شود

$$(SNR)_{db} = 10 \log \left(\frac{\sigma_{Denoised}^2}{\sigma_{original}^2} \right) \quad (14)$$

که $\sigma_{Denoised}^2$ نشان‌دهنده انحراف استاندارد سیگنال حذف نویز شده و $\sigma_{original}^2$ انحراف استاندارد سیگنال اصلی می‌باشد. واضح است که هرچه این معیار دارای عدد بزرگ‌تری باشد نشان‌دهنده کم‌تر بودن نویز موجود در سیگنال می‌باشد. در استفاده از این معیار یک تصویر به‌عنوان یک سیگنال دوبعدی در نظر گرفته می‌شود.

۴-۲ خطای میانگین مربعی

خطای میانگین مربعی^۱ کاربرد وسیعی در پردازش انواع سیگنال یک‌بعدی و دوبعدی (تصویر) برای ارزیابی سیگنال‌های حاصل شده دارد و مدل دوبعدی این معیار در پردازش تصویر به‌صورت زیر تعریف می‌شود

$$MSE = \frac{1}{NM} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (P_{original}(i, j) - P_{Denoised}(i, j))^2 \quad (15)$$

که در آن، N و M بیانگر ابعاد تصویر، $P_{original}$ تصویر مورد بررسی و $P_{Denoised}$ تصویر حذف نویز شده می‌باشد. واضح است که در این فرمول، مقدار کمتر به‌دست آمده برای MSE نشان‌دهنده نزدیک‌تر بودن تصویر حاصل شده به تصویر اصلی می‌باشد.

۴-۳ FOM

معیار FOM^۲، برای اندازه‌گیری لبه‌های حفظ‌شده موجود در تصویر مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۱]. فرمول آن به‌صورت زیر است

$$FOM = \frac{1}{\max\{\hat{N}, N_{ideal}\}} \sum_{i=1}^{\hat{N}} \frac{1}{1 + L_i^\lambda} \quad (16)$$

که در آن، \hat{N} و N_{ideal} به‌ترتیب تعداد پیکسل‌های لبه در تصویر به‌دست آمده و تصویر اصلی می‌باشند و L_i فاصله اقلیدسی بین i امین پیکسل لبه تصویر به‌دست آمده و نزدیک‌ترین پیکسل لبه تصویر اصلی به آن می‌باشد و λ یک مقدار ثابت برابر با ۱/۹ می‌باشد.

تغییرات FOM همواره بین ۰ و ۱ است. هر چقدر عدد به‌دست آمده به

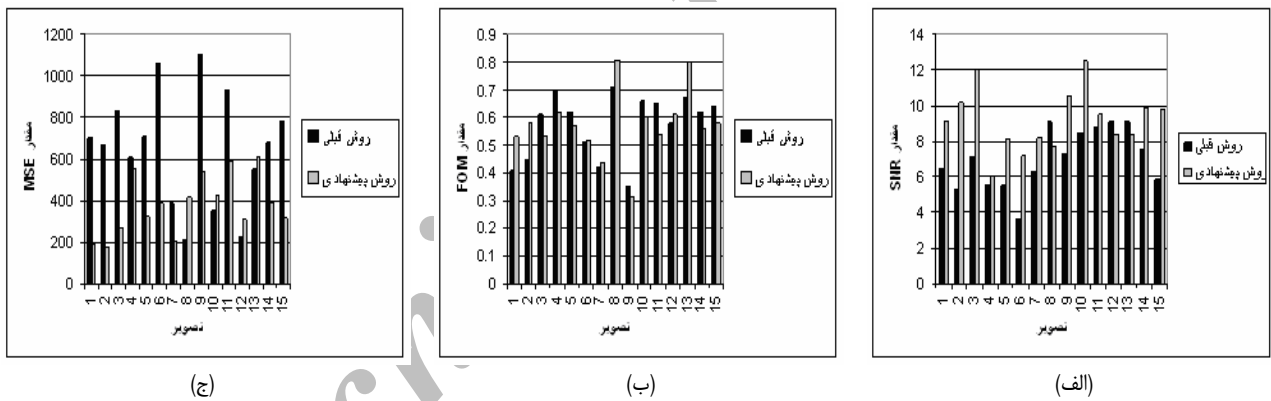
1. Mean Square Error

2. Figure of Merit

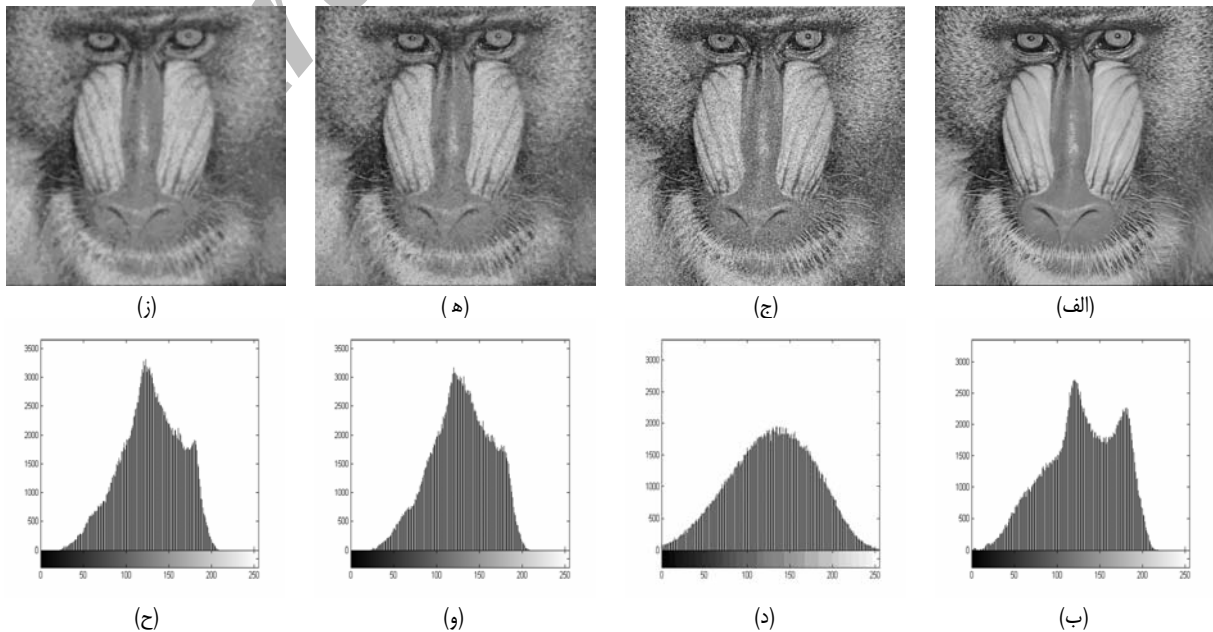
3. Monte Carlo Simulation



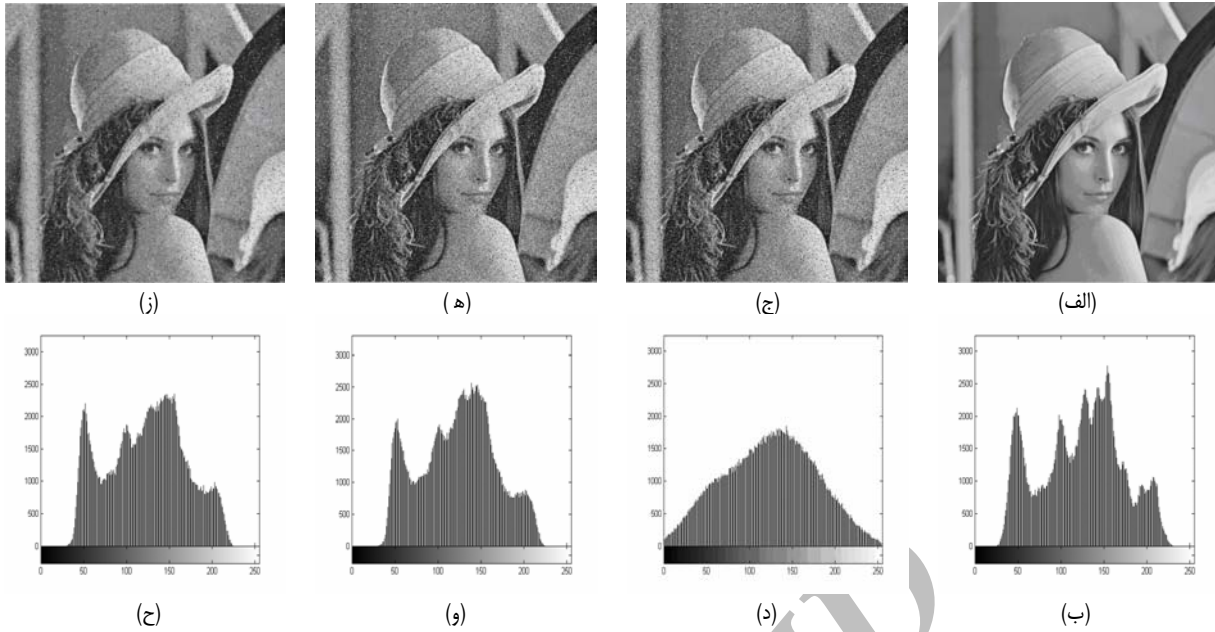
شکل ۵: تصاویر مورد آزمایش در این مقاله.



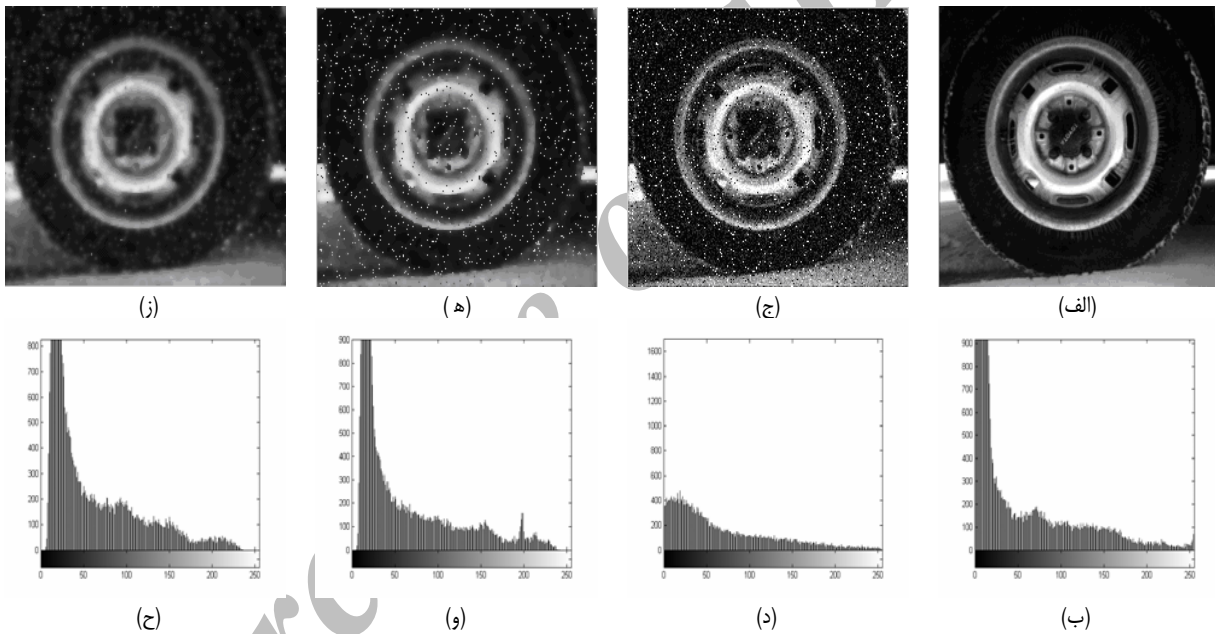
شکل ۶: مقایسه عملکرد روش موجود و روش پیشنهادی در حذف نویز از تصاویر موجود در شکل ۸، (الف) SNR، (ب) FOM و (ج) MSE.



شکل ۷: مقایسه روش پیشنهادی و روش موجود در حذف نویز از تصویر با بون.



شکل ۸: مقایسه روش پیشنهادی و روش موجود در حذف نویز از تصویر لنا.



شکل ۹: مقایسه روش پیشنهادی و روش موجود در حذف نویز از تصویر تایر.

[6] I. Pollak, A. S. Willsky, and H. Krim, "Image segmentation and edge enhancement with stabilized inverse diffusion equations," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 9, no. 2, pp. 256-266, Feb. 2000.

[7] P. Perona and J. Malik, "Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intel.*, vol. 12, no. 7, pp. 629-639, Jul. 1990.

[8] S. K. Weeratunga and C. Kamath, "A comparison of PDE-based non-linear anisotropic diffusion techniques for image denoising," *Image Processing: Algorithms and Systems II, SPIE Electronic Imaging*, Santa Clara, US, Jan. 2003.

[9] J. Weickert, B. M. ter Haar Romeny, and M. Viergever, "Efficient and reliable schemes for nonlinear diffusion filtering," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 7, no. 3, pp. 398-410, Mar. 1998.

[10] E. Nadernejad and H. hassanpour, "Evaluating diffusion-based image de-noising techniques," in *Proc. Int. Conf. on Intelligent & Advance Systems ICIAS*, pp. 565-570, Kuala Lumpur, Malaysia, 25-28 Nov. 2007.

[11] W. K. Pratt, *Digital Image Processing*, Wiley, New York, NY, USA, 1978.

[12] Y. Yu and S. Acton, "Speckle reducing anisotropic diffusion," *IEEE Trans Image Process*, vol. 11, no. 11, pp. 1260-1270, Nov. 2002.

[13] A. G. Weber, *The USC-SIPI Image Database*, <http://sipi.usc.edu/services/database/Database.html>, accessed in Nov. 2007.

ارزیابی شده‌اند. نتایج حاکی از بهبود قابل ملاحظه تصویر در برابر روش قبلی می‌باشد.

مراجع

[1] H. Hassanpour, E. Nadernejad, and H. Miar, "Image restoration using a PDE - based approach," *Int. J. of Engineering - Trans. B: Applications, Ar.*, vol. 20, no. 3, pp. 225-236, Dec. 2007.

[2] E. Nadernejad and H. Hassanpour, "A comparison and analysis of different PDE-based approaches for image enhancement," in *Proc. Int. Conf. on Signal Processing and Communication Systems ICSPCS*, Australia, Dec. 2007.

[3] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Prentice Hall, 2004.

[4] J. Weickert, B. M. ter Haar Romeny, and M. Viergever, "Efficient and reliable schemes for nonlinear diffusion filtering," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 7, no. 3, pp. 398-410, Mar. 1998.

[5] P. Perona and J. Malik, "Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion," in *Proc. IEEE Computer Society Workshop on Computer Vision*, pp. 16-27, 20 Dec. 1987.

محسن نیک پور تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی برق-الکترونیک بترتیب در سالهای ۱۳۸۳ و ۱۳۸۷ از دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل به پایان رسانده است. نامبرده در سالهای ۱۳۸۵ الی ۱۳۸۸ در دانشگاههای استان مازندران به تدریس دروس مختلفی مشغول بوده است. زمینههای تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: پردازش تصویر، پردازش سیگنال دیجیتال، پردازش صوت، معماری کامپیوتر، شبکههای بی سیم و Ad Hoc، و شبکههای عصبی.

حمید حسن پور تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی مهندسی کامپیوتر گرایش سخت افزار در سال ۱۳۷۲ از دانشگاه علم و صنعت ایران، مقطع کارشناسی ارشد گرایش هوش ماشین در سال ۱۳۷۵ از دانشگاه صنعتی امیرکبیر، و مقطع دکتری در گرایش پردازش سیگنال در سال ۱۳۸۳ از دانشگاه صنعتی کوینزلند استرالیا دریافت نمود و هم‌اکنون دانشیار دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. نامبرده در سالهای ۱۳۸۴ الی ۱۳۸۷ استادیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی بابل بوده است. زمینههای علمی مورد علاقه ایشان عبارتند از: پردازش سیگنال، پردازش تصویر، یادگیری ماشین، پردازش متن و معماری کامپیوتر می‌باشد.

Archive of SID