

ارائه روشی برای شناسایی پیکسل‌های مشکوک به وجود نوفه تغییر بیت در تصاویر ماهواره لندست

محمد رضا مباشری^۱، عرفان امرائی^{۲*}

^۱ استاد آزمایشگاه سنجش از دور - موسسه آموزش عالی خاوران
mohammadreza.mobasheri@khi.ac.ir

^۲ کارشناس ارشد مهندسی برق مخابرات - موسسه آموزش عالی خاوران
erfan.amraei7175@gmail.com

(تاریخ دریافت اردیبهشت ۱۳۹۵، تاریخ تصویب خرداد ۱۳۹۶)

چکیده

وجود انواع نوفه در تصاویر لندست، استخراج اطلاعات صحیح را دشوار و بعضاً غیر ممکن می‌سازد. یکی از این نوفه‌ها، نوفه ضربه‌ای تغییر بیت است که در حین انتقال داده‌ها به زمین با تغییر یکی از بیت‌های پیکسل به وجود می‌آید، به گونه‌ای که اگر این بیت در مراتب بالاتر باشد، تغییر ممکن است به دفعات از سیگنال اصلی نیز بزرگتر باشد. در این پژوهش یک روش نوین برای شناسایی و رفع نوفه تغییر بیت در تصاویر اخذ شده توسط ماهواره‌های لندست ارائه شده است. در این روش از یک آشکارساز فازی برای شناسایی پیکسل‌های آلوده به نوفه استفاده شده است. پس از شناسایی این پیکسل‌ها و مقایسه رقم دیجیتال آن با رقم دیجیتال پیکسل‌های مجاور، بیت‌های تغییر یافته شناسایی و اصلاح شده‌اند. بزرگترین مزیت این روش این است که فرایند رفع نوفه تنها بر روی پیکسل‌های آلوده تأثیر می‌گذارد. برای سنجش نتایج حاصل از اصلاح تصاویر واقعی و شبیه سازی شده برای نوفه تغییر بیت و همچنین مقایسه روش ارائه شده در این پژوهش با روش‌های پرکاربرد پیشین از پارامترهای آماری تصاویر و شاخص‌های میانگین مربعات خطا و شاخص اندازه گیری شباهت ساختاری استفاده شده است. بررسی بصری تصاویر اصلاح شده و کاهش در انحراف معیار پس از اصلاح تصاویر واقعی نشان دهنده کاهش نوفه می‌باشد. همچنین بیشترین مقدار به دست آمده برای شاخص شاخص اندازه گیری شباهت ساختاری برابر ۰/۹ می‌باشد که پس از اجرای روش پیشنهاد شده در این مقاله بر روی تصویر شبیه سازی شده به دست آمد. همچنین مقدار میانگین مربعات خطای به دست آمده برای روش پیشنهاد شده در این پژوهش برابر ۱۰۱/۸۲ می‌باشد که نشان دهنده عملکرد مناسب این روش نسبت به روش‌های پرکاربرد پیشین می‌باشد.

واژگان کلیدی: نوفه تغییر بیت، تصاویر ماهواره‌ای، لندست، سنجش از دور

۱- مقدمه

نوفه ضربه‌ای^۱ یک اصطلاح عمومی برای پیکسل‌های روشن یا تاریک منفرد است. معمولاً این پیکسل‌ها جزو داده‌های صحیح تصویربرداری شده نیستند. نوفه تغییر بیت^۲ یک نوع خاص از نوفه ضربه‌ای است که موجب تغییر رقم دیجیتال پیکسل‌ها به صورت مضرری از 2^n از مقدار واقعی خود می‌شود [۱]. این بدان معناست که نوفه تغییر بیت موجب تغییر مقدار یک یا چندبیت از ۱ به ۰ و یا برعکس می‌شود. لذا ممکن است یک پیکسل ۱۲۸، ۶۴، ۳۲، ... عدد از مقدار حقیقی خود بیشتر یا کمتر باشند [۱]. البته مقدار برخی از پیکسل‌ها ممکن است ۱۶، ۸، ۴ و یا حتی ۱ عدد با مقدار واقعی خود تفاوت داشته باشند که البته این پیکسل‌ها برای دیده شدن بسیار کوچک هستند. غالباً این نوفه هنگام انتقال داده‌ها از ماهواره به زمین و گذر سیگنال از یک کانال نوفه‌ای پدید می‌آید [۱]. این نوع نوفه در تصاویر اخذ شده توسط ماهواره‌های لندست دیده می‌شود. در سال‌های اخیر روش‌های متعددی برای اصلاح نوفه ضربه‌ای در تصاویر دیجیتال ارائه شده است. بسیاری از این روش‌ها مبتنی بر پالایش میانه می‌باشند. روش عمومی برای اصلاح نوفه ضربه‌ای استفاده از پالایه^۳ میانه می‌باشد. این روش هر چند در رفع نوفه ضربه‌ای موفق عمل می‌کند اما موجب تلفات رادیومتریکی نیز می‌شود. [۲] برای رفع نوفه ضربه‌ای از پالایه میانه انطباقی استفاده نموده است. در این روش پس از شناسایی پیکسل‌های آلوده، برای اصلاح آنها از مقدار میانه پیکسل‌های همسایه استفاده می‌شود. این روش زمانی که چگالی نوفه پایین باشد از عملکرد مناسبی برخوردار است. مشکلی که بر این روش وارد است این است که اگر چگالی نوفه بالا باشد، فرایند رفع نوفه بر لبه‌ها و مرزهای موجود در تصویر نیز تاثیر می‌گذارد. [۳] از پالایه میانه استاندارد برای حذف نوفه ضربه‌ای استفاده نموده است. در این روش برای حذف نوفه ضربه‌ای پیکسل موجود در مرکز پنجره با مقدار میانه پیکسل‌های موجود در پنجره جایگزین می‌شود. در این روش بر خلاف روش پالایش میانه انطباقی پیش از حذف نوفه، پیکسل‌های نوفه‌ای شناسایی نشده و پالایه به کل تصویر اعمال می‌شود که موجب از دست رفتن برخی اطلاعات رادیومتریکی تصویر می‌شود. هر چند در پالایش

میانه استاندارد نوفه ضربه‌ای حذف می‌شود اما این روش حذف خط‌های باریک موجود در تصویر را نیز به دنبال دارد. [۴] و [۵] از پالایه میانه وزن دار و پالایه میانه مرکز- وزن دار برای حذف نوفه ضربه‌ای استفاده نموده‌اند. این پالایه‌ها نسبت به پالایه میانه و پالایه میانه استاندارد عملکرد بهتری را در حذف نوفه و حفظ اطلاعات موجود در تصویر دارند.

برخی از روش‌ها ترکیبی از آشکارساز نوفه ضربه‌ای و پالایش میانه می‌باشند [۶، ۷، ۸، ۹]. در این روش‌ها اگر پیکسل مرکزی پنجره به عنوان پیکسل آلوده به نوفه شناسایی شود، مقدار بازیابی شده پیکسل مرکزی توسط پردازش پیکسل‌های موجود در پنجره پالایه توسط پالایه میانه به دست می‌آید. اگر پیکسل مرکزی به عنوان پیکسل سالم شناسایی شود، آن پیکسل بدون تغییر باقی می‌ماند. هر چند این روش بازدهی پالایش میانه را افزایش می‌دهد اما روش به شدت تحت تاثیر عملکرد آشکارساز ضربه می‌باشد.

علاوه بر روش‌های فوق، در برخی روش‌ها از پالایه‌های مبتنی بر محاسبات نرم برای اصلاح نوفه ضربه‌ای استفاده شده است [۱۰، ۱۱، ۱۲]. این پالایه‌ها به مراتب پیچیده‌تر از پالایه‌های میانه هستند، اما عملکرد آنها در حذف نوفه ضربه‌ای و حفظ محتویات اصلی تصویر از پالایه‌های میانه بهتر است.

در این پژوهش با توجه به خواص نوفه ضربه‌ای در تصاویر اخذ شده توسط ماهواره‌های لندست روشی جدید با نام آشکارسازی فازی نوفه تغییر بیت پیکسل^۴ (NOIDEFUD) برای آشکارسازی ضربه‌ها و حذف نوفه از تصاویر اخذ شده توسط ماهواره‌های لندست ارائه شده است. در این روش از یک آشکارساز فازی برای شناسایی پیکسل‌های نوفه‌ای استفاده شده است. سپس برای اصلاح پیکسل‌های نوفه‌ای نسبت به شناسایی و اصلاح بیت معکوس شده اقدام شده است. لازم به ذکر است که نوفه ضربه‌ای شکل‌های مختلفی مانند نوفه فلفل و نمک، نوفه تغییر بیت و ... دارد که در تصاویر ماهواره‌ای (مانند تصاویر اخذ شده توسط سنجنده TM و Hyperion) به چشم می‌خورند. لذا انجام این گونه مطالعات جهت رفع نوفه از تصاویر الزامی به نظر می‌رسد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- داده‌های مورد استفاده

داده مورد استفاده در این پژوهش، تصویر اخذ شده در باند ۳ سنجنده TM ماهواره لندست ۵ می‌باشد. این تصویر

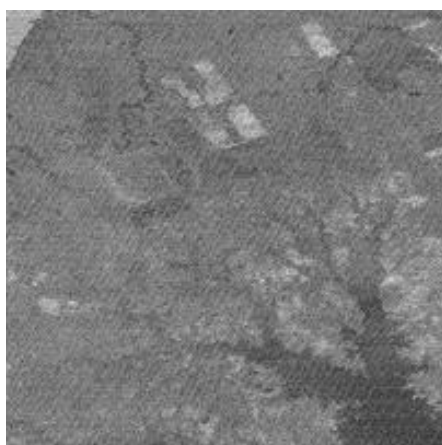
^۱ Impulse Noise^۲ Bit_Flip Noise^۳ Filter^۴ Pixel Bit_Flip Noise Detection Using Fuzzy Detector

در شکل (۱) الف نمایش داده شده است. همان طور که در این شکل دیده می‌شود نوفه تغییر بیت موجب پدیدار شدن پیکسل‌های روشن و تیره در تصویر شده است. علاوه بر این



(الف)

برای شبیه سازی نوفه تغییر بیت از یک نمونه تصویر اخذ شده در باند ۳ سنجنده MSS ماهواره لندست ۴ استفاده شده است. این تصویر در شکل (۱) ب نشان داده شده است.



(ب)

شکل ۱- (الف) یک نمونه تصویر اخذ شده در باند ۳ سنجنده TM ماهواره لندست ۵ شامل نوفه تغییر بیت، (ب) یک نمونه تصویر اخذ شده در باند ۳ سنجنده MSS ماهواره لندست ۴. اخذ شده از وبگاه USGS

۲-۲- روش پژوهش برای آشکارسازی پیکسل‌های آلوده به نوفه

هدف از روش NOIDEFUD در آشکارسازی فازی نوفه، ایجاد یک ماتریس پرچم^۱ می‌باشد. ابعاد این ماتریس برابر ابعاد تصویر اصلی است. هر درایه از این ماتریس نشان دهنده شباهت پیکسل متناظر با پیکسل نوفه‌ای می‌باشد. همچنین هر درایه این ماتریس عددی برابر صفر یا یک می‌باشد. فرض شود که I نشان دهنده تصویر نوفه‌ای با ابعاد m در n باشد که x_{ij} نشان دهنده رقم دیجیتالی پیکسل در موقعیت (i,j) باشد. با توجه به قدرت تفکیک مکانی بالای سنجنده TM احتمال دست یابی به یک منطقه همگن در یک پنجره ۳*۳ به منظور مقایسه پیکسل مرکزی پنجره با پیکسل‌های مجاور و تشخیص پیکسل نوفه‌ای بسیار بالا می‌باشد. علاوه بر پنجره ۳*۳ از پنجره‌های با ابعاد ۵*۵ و ۹*۹ نیز استفاده شده که بهترین نتایج برای شناسایی پیکسل‌های نوفه‌ای با استفاده از پنجره ۳*۳ به دست آمد. حال اگر x_{ij} پیکسل مرکزی پنجره w_{ij} با ابعاد ۳*۳ باشد، برای تعیین اینکه آیا x_{ij} یک پیکسل نوفه‌ای است یا خیر به صورت زیر عمل شده است:

مرحله اول) انتخاب یک پنجره ۳*۳ و حرکت این پنجره در سراسر تصویر.

مرحله دوم) محاسبه حداقل مقدار (M_{ij}) عبارت $|x_{ij} - S_{ij}|$ برای همه مقادیر $S_{ij} \in w_{ij}$ و $S_{ij} \neq x_{ij}$ یک معیار اندازه گیری مناسب را برای آشکارسازی نوفه فراهم می‌کند.

مرحله سوم) برای اختصاص دادن یک پرچم به x_{ij} به منظور نشان دادن پیکسل‌های نوفه‌ای از تابع عضویت زیر استفاده شده است:

$$f_{ij} = \begin{cases} 0 & M_{ij} \leq L \\ 1 & M_{ij} > L \end{cases} \quad (1)$$

این تابع عضویت از نوع مجموعه Crisp می‌باشد. در تئوری منطق فازی، توابع دو ظرفیتی کلاسیک Crisp نامیده می‌شوند [۱۳]. L یک مقدار از پیش تعیین شده می‌باشد. تعیین مقدار این کمیت از تصاویر شبیه سازی شده برای نوفه تغییر بیت استفاده شده است به این ترتیب که ابتدا نوفه تغییر بیت به چند تصویر سالم اضافه شده و سپس برای شناسایی پیکسل‌های از پیش آلوده شده از روش فوق استفاده شده است. در هر بار اجرای این روش یک مقدار برای L تعیین شده که کمترین میزان خطا در اصلاح تصاویر شبیه سازی شده زمانی به دست می‌آید که L برابر ۲۵ باشد. پیکسل‌هایی که به آنها پرچم ۱

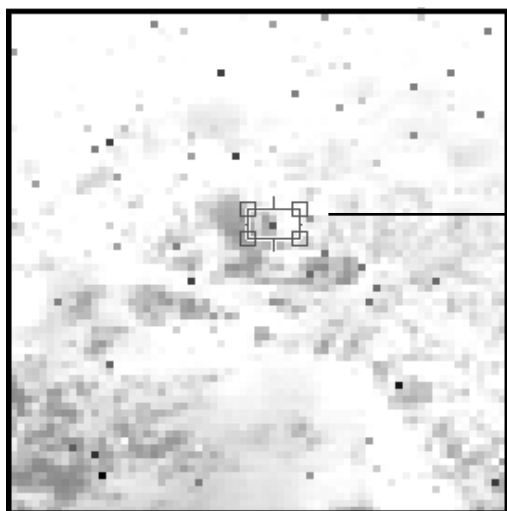
^۱ Flag

$$n_i = \sqrt{\frac{\sum_j (x_j - c_i)^2}{8}} \quad (2)$$

در این رابطه c نشان دهنده رقم دیجیتال پیکسل مرکزی و x_j بیانگر رقم دیجیتال پیکسل‌های همسایه پیکسل مرکزی می‌باشد. دلیل این کار شناسایی بیت‌های تغییر یافته می‌باشد. مقادیر به دست آمده در این مرحله با $n_i, i=1, \dots, 8$ نامگذاری شوند. i بیانگر شماره بیت می‌باشد. در این پژوهش کم ارزش‌ترین بیت با شماره ۱ و با ارزش‌ترین بیت با شماره ۸ مشخص شده است.

مرحله سوم) کوچکترین مقدار به دست آمده برای n_i بیانگر بیت تغییر یافته می‌باشد. این به این دلیل است که اگر بیت تغییر یافته (بیت i ام) به درستی شناسایی شده باشد، n_i رقمی کوچک خواهد بود.

مرحله چهارم) اصلاح بیت تغییر یافته و رفع نویز از تصویر. در شکل (۲) نحوه اصلاح خطا نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، روش اصلاح بیت خطا بر روی چهار بیت با ارزش‌تر پیاده‌سازی شده است.



163	197	248
172	87	254
180	187	242

$$(87)_{10} = (01010111)_2$$

تغییر بیت هشتم:

$$(215)_{10} = (11010111)_2 \rightarrow n_8 = 2.23$$

تغییر بیت هفتم:

$$(116)_{10} = (00010111)_2 \rightarrow n_7 = 63.03$$

تغییر بیت ششم:

$$(20)_{10} = (01110111)_2 \rightarrow n_6 = 159.01$$

تغییر بیت پنجم:

$$(36)_{10} = (01000111)_2 \rightarrow n_5 = 143.01$$

$$n_8 < n_7, n_6, n_5$$

شکل ۲- نحوه شناسایی و اصلاح بیت خطا. همان‌طور که از نتایج به دست آمده مشخص است، نوفه ضربه‌ای موجب تغییر در بیت با ارزش شده است که این خطا به درستی تشخیص داده شده است

استفاده شده است. در شکل (۳) الف تصویر اولیه و در شکل (۳) ب تصویر با نوفه شبیه سازی شده نشان داده شده است. چگالی نوفه در این تصویر برابر ۰/۱ می‌باشد. برای این منظور نوفه تغییر بیت به صورت از پیش تعیین شده به برخی از پیکسل‌های تصویر اعمال شده است. روش ارائه شده در این پژوهش (NOIDEFUD) به تصویر داده شده در شکل (۳) ب اعمال شد. نتیجه اصلاح این

اختصاص داده می‌شود به عنوان پیکسل نوفه‌ای شناخته شده و الگوریتم رفع نوفه به این پیکسل‌ها اعمال می‌شود.

۳-۲- الگوریتم NOIDEFUD

با توجه به اینکه رقم دیجیتال پیکسل‌های آلوده به نوفه ضربه‌ای تغییر بیت در تصاویر لندست ۱۲۸، ۶۴، ۳۲، ۱۶ و ... رقم از مقدار واقعی خود فاصله دارد می‌توان به این نتیجه رسید که خطا در یک یا دو بیت از داده‌های هر پیکسل موجب شیفت یافتن رقم دیجیتال آن پیکسل می‌شود. لذا می‌توان با شناسایی بیت خطا و اصلاح آن، مقدار صحیح رقم دیجیتال پیکسل معیوب را بازیابی نمود. در این پژوهش، برای شناسایی و تصحیح بیت نوفه‌ای به روش NOIDEFUD مطابق زیر عمل شده است:

مرحله اول) انتخاب یک پنجره 3×3 و قرار دادن پیکسل نوفه‌ای در مرکز آن.

مرحله دوم) تغییر تک تک بیت‌های پیکسل مرکزی پنجره و محاسبه ریشه میانگین مربعات تفاضل هر پیکسل با پیکسل مرکزی پنجره (رابطه ۲) در هربار تغییر بیت.

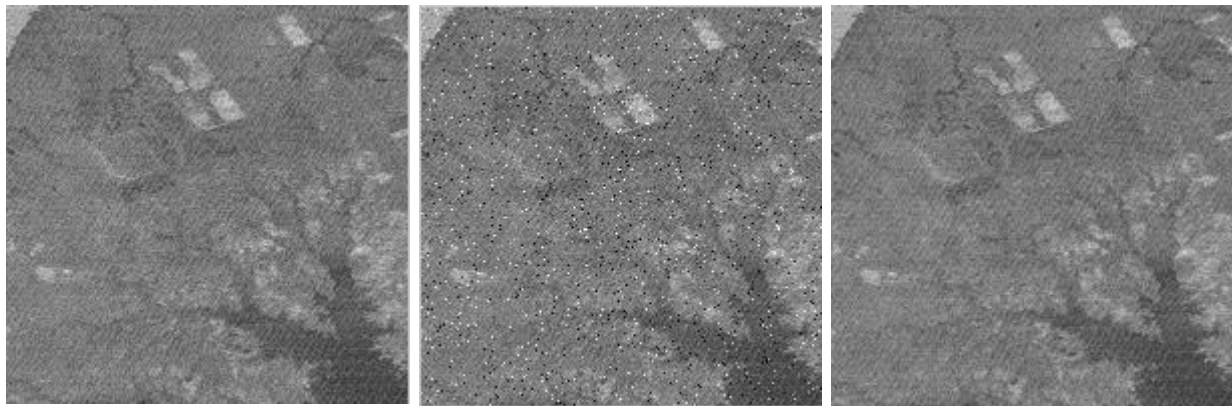
۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج حاصل از اصلاح تصویر شبیه سازی شده برای نوفه تغییر بیت

در این بخش برای نشان دادن میزان دقت روش در اصلاح نوفه ضربه‌ای تغییر بیت از داده‌های شبیه سازی شده برای نوفه

نشان دهنده بهبود تصویر و کاهش نوفه می باشد.

تصویر در شکل (۳) ج نشان داده شده است. بررسی های بصری



(ج)

(ب)

(الف)

شکل ۳- الف) تصویر اولیه با ابعاد ۲۰۰ پیکسل در ۲۰۰ پیکسل، ب) تصویر شبیه سازی شده برای نوفه Bit-flip با چگالی نوفه ۰/۱، ج) تصویر اصلاح شده با استفاده از روش NOIDEFUD

$$\text{Overall_accuracy} = \frac{3586+35529}{40000} \times 100\% = 97\%$$

همچنین میزان دقت کاربر در تشخیص پیکسل های نوفه ای برابر است با:

$$\text{User_accuracy} = \frac{3586}{4000} \times 100\% = 89\%$$

علاوه بر این، میزان دقت تولید کننده در تشخیص پیکسل های نوفه ای برابر است با:

$$\text{Producer_accuracy} = \frac{3586}{4057} \times 100\% = 88\%$$

علاوه بر ماتریس ابهام، برای سنجش این نتایج از شاخص سنجش شباهت ساختاری^۲ SSIM استفاده شده است [۱۴]، این شاخص میزان شباهت دو تصویر را به صورت کمی بیان می کند [۱۴، ۱۵]. فرض کنید که x و y دو سیگنال تصویر باشند که با یکدیگر هم تراز شده اند. اگر کیفیت سیگنال اول مناسب باشد، شاخص سنجش شباهت به عنوان یک معیار اندازه گیری کیفیت سیگنال دوم عمل می کند. این شاخص روند سنجش شباهت دو تصویر را به سه قسمت سنجش روشنایی، سنجش تباين^۳ و سنجش ساختار تقسیم می کند. نحوه محاسبه این شاخص در [۱۴، ۱۵] نشان داده شده است. اگر دو تصویر کاملاً مشابه باشند، شاخص SSIM برابر ۱ خواهد شد [۱۴، ۱۵]. بنابراین هنگام سنجش نتایج حاصل از اصلاح تصاویر شبیه سازی شده، هر چه این شاخص به ۱ نزدیکتر باشد نشان دهنده دقت بیشتر روش در حذف

البته برای نشان دادن دقت روش NOIDEFUD تنها بررسی بصری کافی نمی باشد. برای سنجش نتایج حاصل از اجرای الگوریتم NOIDEFUD در اصلاح تصاویر شبیه سازی شده از ماتریس ابهام^۱ استفاده شده است، چرا که ممکن است برخی پیکسل ها به اشتباه نوفه ای تشخیص داده شوند. تعداد پیکسل های تصویر فوق برابر با چهل هزار پیکسل می باشد که به چهار هزار پیکسل از تصویر نوفه تغییر بیت اعمال شده است. پس از اعمال روش NOIDEFUD به تصویر شکل (۳) ب ماتریس ابهام مورد بررسی قرار گرفت. در جدول (۱) ماتریس ابهام پس از اعمال الگوریتم NOIDEFUD به تصویر شکل (۳) ب نمایش داده شده است.

جدول ۱ - ماتریس ابهام روش NOIDEFUD

تعداد پیکسل های دسته بندی شده	کلاس پیش بینی شده			
	نوفه ای	غیر نوفه ای		
پیکسل های طبقه بندی شده به عنوان:	نوفه ای	۳۵۸۶	۴۱۴	۴۰۰
	غیر نوفه ای	۴۷۱	۳۵۵۲۹	۳۶۰۰
تعداد پیکسل های کلاس پیش بینی شده	۴۰۵۷	۳۵۹۴۳		۴۰۰۰

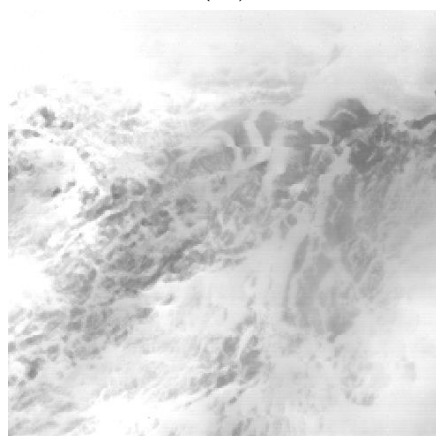
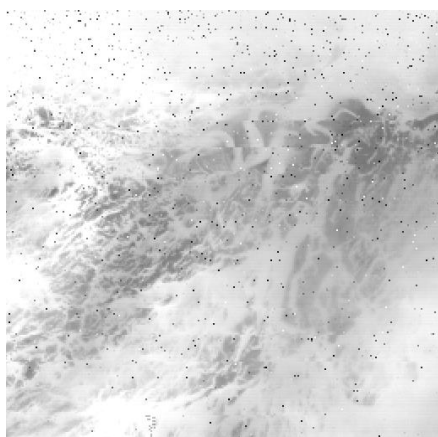
میزان دقت کلی روش NOIDEFUD که با استفاده از ماتریس ابهام به دست آمده برابر است با:

^۲ Structural Similarity Index Measure
^۳ Contrast

^۱ Confusion Matrix

۲-۳- نتایج حاصل از اصلاح تصویر واقعی

روش ارائه شده در این مطالعه (NOIDEFUD) به تصویر نشان داده شده در شکل (۶) الف اعمال شد. نتیجه اصلاح این تصویر در شکل (۶) ب نشان داده شده است. بررسی بصری نتایج بهبود تصویر و کاهش نوفه را نشان می‌دهد.



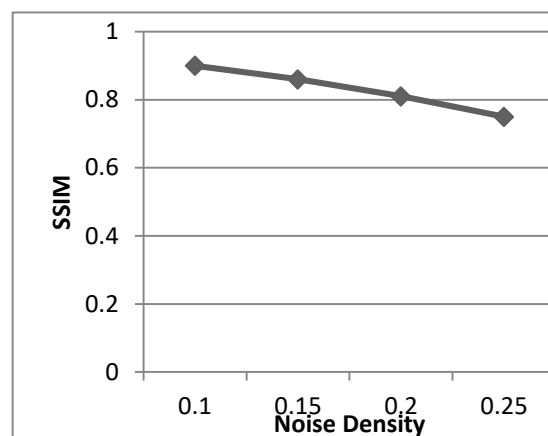
شکل ۶- الف) تصویر دریافت شده در باند ۳ سنجنده TM ماهواره لندست ۵. ب) نتیجه اصلاح تصویر اولیه با روش NOIDEFUD

در جدول (۲) نتیجه محاسبه پارامترهای آماری تصویر قبل و پس از اصلاح نشان داده شده است. وجود نوفه در تصویر موجب افزایش انحراف معیار می‌شود. کاهش در انحراف معیار پس از اصلاح تصویر نشان دهنده کاهش نوفه می‌باشد.

جدول ۲- پارامترهای آماری تصاویر شکل (۵) الف و ب

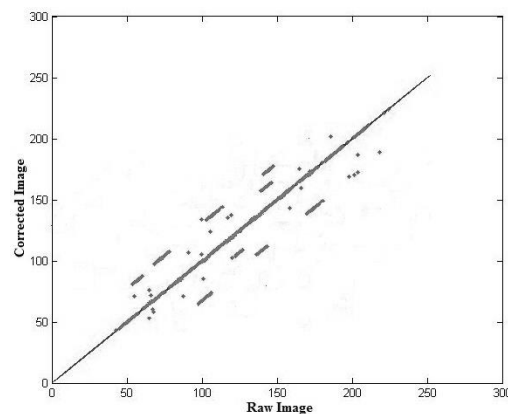
انحراف معیار		میانگین	
تصویر اصلاح شده با روش NOIDEFUD	تصویر اولیه	تصویر اصلاح شده با روش NOIDEFUD	تصویر اولیه
۳۱/۵۴	۳۳/۱۸	۲۱۱/۹	۲۱۱/۰۹

نوفه می‌باشد [۱۴، ۱۵]. شاخص SSIM به دست آمده برای مقایسه تصاویر شکل (۳) الف و ج برابر ۰/۹ می‌باشد. این به آن معناست که روش NOIDEFUD برای حذف نوفه تغییر بیت موفق به بازیابی ۹۰ درصدی تصویر اولیه پس از حذف نوفه شده است. همچنین در شکل (۴) نمودار تغییرات شاخص SSIM بر حسب چگالی نوفه نشان داده شده است. همان طور که در این نمودار دیده می‌شود، با افزایش چگالی نوفه دقت روش کاهش می‌یابد.



شکل ۴- نمودار تغییرات شاخص SSIM بر حسب تغییرات چگالی نوفه ضربه‌ای تغییر بیت

همچنین برای بررسی کیفی نتیجه به دست آمده پس از اصلاح تصویر شبیه سازی شده نمودار پراکنش تصویر اولیه (شکل (۳) الف) و تصویر اصلاح شده (شکل (۳) ج) در شکل (۵) نشان داده شده است. اگر دو تصویر کاملاً مشابه باشند پراکندگی نقاط دقیقاً روی نیمساز ربع اول قرار می‌گیرد. همان طور که در شکل (۵) دیده می‌شود پراکندگی نقاط حول نیمساز ربع اول صحت نتایج فوق را نشان می‌دهد.

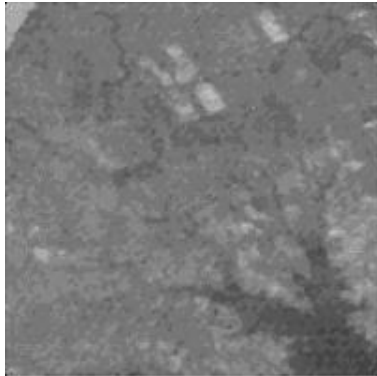


شکل ۵- نمودار پراکندگی ترسیم شده بین تصویر اولیه و تصویر اصلاح شده با روش NOIDEFUD

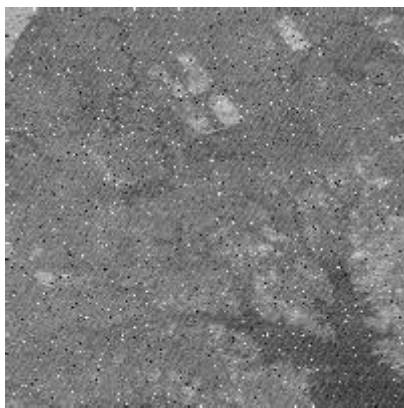
۳-۳- مقایسه روش NOIDEFUD با روش‌های پرکاربرد پیشین

در این بخش بین نتایج به دست آمده از اجرای الگوریتم NOIDEFUD و روش‌های پالایش میانه، پالایش میانه انطباقی [۱۵] و پالایش میانه فازی [۱۶] مقایسه‌هایی صورت گرفته است. در شکل (۷) نتیجه اصلاح تصویر شبیه سازی شده برای نوفه تغییر بیت نشان

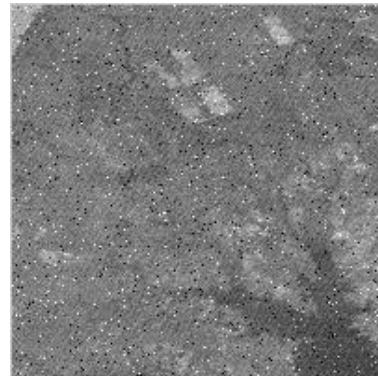
داده شده است. در شکل (۷) الف نتیجه اضافه شدن نوفه به تصویر شکل (۳) الف نشان داده شده است. همچنین در این شکل نتیجه اصلاح تصویر شکل (۷) الف با استفاده از پالایه میانه، پالایه میانه انطباقی و پالایه میانه فازی نشان داده شده است. همان طور که در شکل (۷) دیده می‌شود، روش‌های پالایش تصویر ضمن حذف ناکافی نوفه، محتویات اصلی تصویر را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهند.



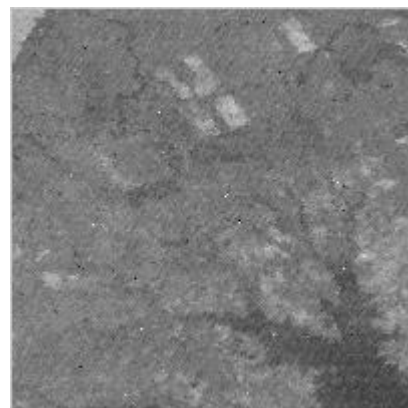
(ب)



(د)



(الف)



(ج)

شکل ۷- الف) تصویر شبیه سازی شده برای نوفه Bit-flip با چگالی ۰/۱ (ب) پالایش میانه، ج) پالایش میانه انطباقی، د) پالایش میانه فازی

جدول ۴- ماتریس ابهام روش پالایش میانه انطباقی

تعداد پیکسل‌های دسته بندی شده	کلاس پیش بینی شده			
	نوفه‌ای	غیر نوفه‌ای		
۴۰۰۰	۲۸۰۰	۱۲۰۰	نوفه‌ای	پیکسل‌های طبقه بندی شده به عنوان:
۳۶۰۰۰	۹۵۲۴	۲۶۴۷۶	غیر نوفه‌ای	
۴۰۰۰۰	۱۲۳۲۴	۲۷۶۷۶	تعداد پیکسل‌های کلاس پیش بینی شده	

ماتریس ابهام برای هریک از روش‌های فوق به صورت نشان داده شده در جداول زیر می‌باشد.

جدول ۳- ماتریس ابهام روش پالایش میانه

تعداد پیکسل‌های دسته بندی شده	کلاس پیش بینی شده			
	نوفه‌ای	غیر نوفه‌ای		
۴۰۰۰	۵۵۱	۳۴۴۹	نوفه‌ای	پیکسل‌های طبقه بندی شده به عنوان:
۳۶۰۰۰	۳۳۱۱۹	۲۸۸۱	غیر نوفه‌ای	
۴۰۰۰۰	۳۳۶۷۰	۶۳۳۰	تعداد پیکسل‌های کلاس پیش بینی شده	

جدول ۵- ماتریس ابهام روش پالایش میانه فازی

تعداد پیکسل‌های دسته بندی شده	کلاس پیش بینی شده			
	نوفه‌ای	غیر نوفه‌ای		
۴۰۰۰	۴۰۰	۰	نوفه‌ای	پیکسل‌های طبقه بندی شده به عنوان:
۳۶۰۰	۳۵۶۴	۳۳۶	غیر نوفه‌ای	
۴۰۰۰	۳۹۶۴	۳۳۶	تعداد پیکسل‌های کلاس پیش بینی شده	

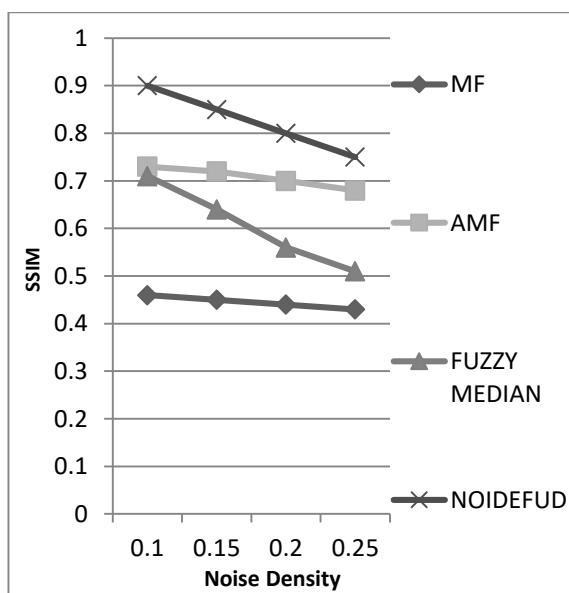
مقادیر به دست آمده دقت کلی، دقت کاربر و دقت تولید کننده در تشخیص پیکسل‌های نوفه‌ای برای هر یک از روش‌های فوق در جدول (۶) نمایش داده شده است.

جدول ۶- مقادیر به دست آمده دقت کلی، دقت کاربر و دقت تولید کننده در تشخیص پیکسل‌های نوفه‌ای برای روش‌های پالایش میانه، پالایش میانه انطباقی، پالایش میانه فازی

پالایش میانه	دقت کلی (%)	دقت کاربر (%)	دقت تولید کننده (%)
پالایش میانه	۸/۵	۱۳/۷	۱/۶۳
پالایش میانه انطباقی	۷۳/۱	۷۰	۲۲/۷۱
پالایش میانه فازی	۸۹/۱۶	۰	۱۰۰

همان طور که از مقادیر به دست آمده برای دقت کلی و دقت کاربر در تشخیص پیکسل نوفه‌ای پیداست، روش NOIDEFUD در شناسایی پیکسل‌های نوفه‌ای و حذف نوفه نسبت به روش‌های پرکاربرد پیشین از عملکرد بهتری برخوردار است. توجه داشته باشید که بهبود بصری تصاویر به تنهایی مبین افزایش کیفیت تصویر نبوده و این نتایج با نتایج حاصل از محاسبات آماری تکمیل می‌شوند. به لحاظ بصری روش پالایش میانه تصویر را بهبود داده (شکل ۹ الف)) اما نتایج آماری نشان می‌دهند که علاوه بر رفع نویز، پالایه میانه عدد دیجیتال پیکسل‌های تصویر را نیز تغییر داده است. با توجه به مقادیر نشان داده شده در جدول ۶ کمترین دقت در اصلاح تصویر مربوط به روش پالایش میانه می‌باشد. با توجه به ساختار پالایه میانه، می‌توان دریافت که علت پایین بودن دقت این روش تاثیر پالایه بر همه پیکسل‌های تصویر و تغییر در رقم دیجیتال پیکسل‌ها می‌باشد. لذا این روش علاوه بر حذف نوفه سایر اطلاعات رادیومتریکی تصویر را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد.

بیشترین میزان دقت کلی به دست آمده مربوط به روش پالایش میانه فازی می‌باشد که علت این امر میزان تاثیر گذاری کمتر این روش نسبت به روش پالایش میانه بر پیکسل‌های غیر نوفه‌ای می‌باشد. با توجه به نتایج حاصل از مشاهدات بصری (شکل ۹) می‌توان دریافت که روش پالایش میانه فازی در حذف نوفه تغییر بیت موفق نبوده که علت این عدم موفقیت ساختار تعریف شده برای این روش می‌باشد. پالایه میانه فازی برای حذف نوفه ضربه‌ای با دامنه صفر و ۲۵۵ طراحی شده است [۱۶]. همچنین در شکل (۸) نمودار تغییرات SSIM بر حسب چگالی نوفه نشان داده شده است. این شاخص بین تصویر اولیه (شکل (۳) الف) و تصاویر اصلاح شده محاسبه شده است. مقایسه نمودار SSIM روش‌های پیشین با نمودار SSIM روش NOIDEFUD عملکرد بهتر روش NOIDEFUD را در حذف نوفه تغییر بیت نشان می‌دهد.

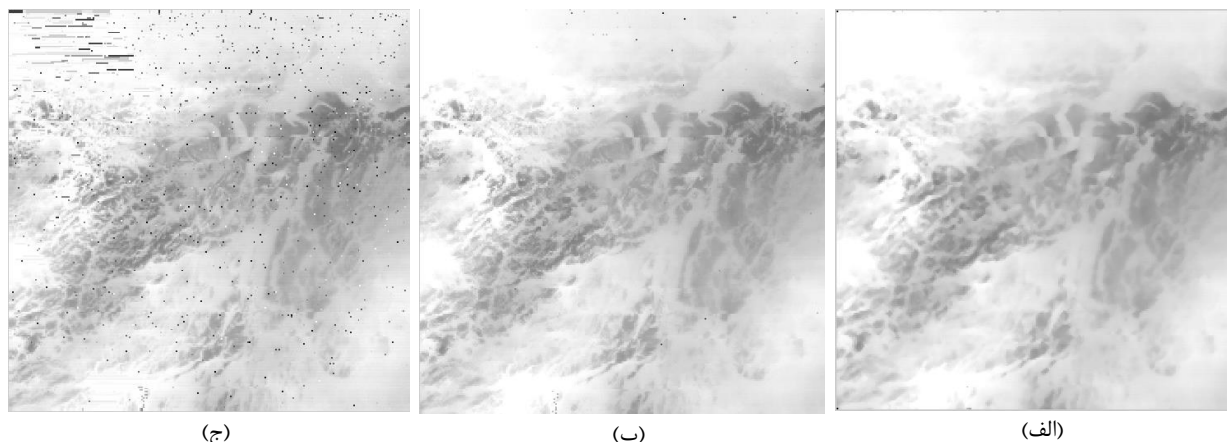


شکل ۸- نمودار تغییرات شاخص SSIM بر حسب تغییرات چگالی نوفه

در شکل (۹) نتیجه اصلاح تصویر واقعی به روش‌های ذکر شده نشان داده شده است. در شکل (۹) الف و ب نتیجه اصلاح تصویر شکل (۶) الف با استفاده از پالایه میانه و پالایه میانه انطباقی نشان داده شده است. همان طور که در این تصاویر دیده می‌شود، علاوه بر حذف نوفه لبه‌ها و مرزهای موجود در تصویر نیز هموار شده‌اند. همچنین در شکل (۹) ج نتیجه اصلاح تصویر شکل (۶) الف با استفاده از پالایه میانه فازی نشان داده شده است. همان طور که در این شکل دیده می‌شود، علاوه بر حذف ناکافی نوفه، برخی از اطلاعات موجود در تصویر نیز از

دست رفته‌اند. دلیل این امر این است که روش پالایش میانه فازی تنها پیکسل‌های با رقم دیجیتال صفر یا ۲۵۵ را به عنوان ضربه شناسایی می‌کند. این در حالی است که

حداکثر و حداقل دامنه نوفه تغییر بیت به ترتیب برابر با ۱۲۸ و ۱ رقم دیجیتال می‌باشد که این خاصیت موجب بروز خطا در نتایج می‌شود.



شکل ۹- الف) پالایش میانه، ب) پالایش میانه انطباقی، ج) پالایش میانه فازی

۴- نتیجه گیری

در مقاله حاضر یک روش جدید NOIDEFUD برای شناسایی نوفه ضربه‌ای تغییر بیت در تصاویر اخذ شده توسط ماهواره‌های لندست ارائه شد. در این روش یک آشکارساز فازی برای شناسایی پیکسل‌های نوفه‌ای مورد استفاده قرار گرفت. پس از شناسایی این پیکسل‌ها، برای شناسایی بیت خطا، بین مقدار عددی پیکسل نوفه‌ای و مقادیر عددی پیکسل‌های همسایه مقایسه‌هایی صورت گرفته و بیت خطا شناسایی شده است. همچنین برای رفع نوفه، بیت خطای شناسایی شده در مرحله قبل تغییر داده شده است. همان طور که در بخش نتایج مشاهده شد، روش پیشنهاد شده در این مقاله (NOIDEFUD) برای آشکارسازی نوفه تغییر بیت از بازدهی بالایی برخوردار می‌باشد. دلیل این امر این است که در روش NOIDEFUD ابتدا پیکسل‌های نوفه‌ای شناسایی شده که این کار مانع از تاثیرگذاری روش بر روی پیکسل‌های سالم می‌شود. پس از شناسایی پیکسل‌های آلوده به نوفه نسبت به شناسایی بیت تغییر یافته اقدام شده است. مهمترین نوآوری روش NOIDEFUD شناسایی بیت تغییر یافته می‌باشد چرا که عامل پیدایش نوفه تغییر در بیت‌های یک پیکسل می‌باشد. پس از شناسایی بیت تغییر یافته و معکوس کردن آن نوفه در پیکسل آلوده کاملاً برطرف می‌شود. در روش پالایش میانه و پالایش میانه انطباقی لبه‌ها و مرزهای تصویر هموار شده که این امر موجب از

برای بررسی کمی نتایج حاصل از اصلاح داده‌های واقعی و مقایسه روش NOIDEFUD با روش‌های پیشین از پارامتر MSE^1 شده است. این پارامتر میزان مربعات خطا را نشان می‌دهد لذا هر چه مقدار به دست آمده برای MSE کوچکتر باشد نشان دهنده عملکرد بهتر روش در حذف نوفه می‌باشد. رابطه استفاده شده برای محاسبه MSE به صورت نشان داده شده در زیر می‌باشد [۱۴]:

$$MSE = \frac{\sum_i (x_i - y_i)^2}{N - 1} \quad (3)$$

در این روابط x و y تصاویر اولیه و اصلاح شده و N تعداد کل پیکسل‌های تصویر را نشان می‌دهد. مقادیر به دست آمده برای MSE در جدول (۷) نشان داده شده است. مقادیر به دست آمده برای MSE دقت روش ارائه شده در این پژوهش را در حذف نوفه تغییر بیت نشان می‌دهد.

جدول ۷- مقادیر به دست آمده برای MSE

روش	MSE
روش NOIDEFUD	۱۰۱/۸۲
پالایش میانه	۱۷۶/۲۴
پالایش میانه انطباقی	۱۵۱
پالایش میانه فازی	۲۰۷/۳۲

^۱ Mean Square Error

دست رفتن اطلاعات رادیومتریکی تصویر می‌شود. علت این امر پالایش کور تصویر می‌باشد که علاوه بر پیکسل‌های نوفه‌ای، موجب تغییر در رقم دیجیتال پیکسل‌های سالم نیز می‌شوند. علاوه بر این، در روش پالایش میانه فازی، الگوریتم حذف نوفه تنها پیکسل‌های

با رقم دیجیتال صفر یا ۲۵۵ را به عنوان نوفه شناسایی می‌کند که این خاصیت موجب عدم حذف نوفه تغییر بیت از تصاویر می‌شود چرا که حداکثر و حداقل دامنه نوفه تغییر بیت به ترتیب برابر با ۱۲۸ و ۱ رقم دیجیتال می‌باشد.

مراجع

- [1] 15. Mar. 2015. [online]. Available: landsat.usgs.gov/science_an_impulsenoise.php
- [2] Zhang. S, Karim M.A, (2002), "A new impulse detector for switching median filters", IEEE Signal Processing Letters, vol 9, no 11, pp 360-363.
- [3] Gabbouj. M, Coyle. E. J, Gallager. N. C, (1992), "An overview of median and stack filtering", Circuit Syst. Signal Process., vol. 11, no. 1, pp. 7-45.
- [4] Yli-Harja. O, Astola. J, Neuvo. Y, (1991), "Analysis of the properties of median and weighted median filters using threshold logic and stack filter representation", IEEE Transaction on Signal Processing., vol. 39, no. 2, pp. 395-410.
- [5] Yin. L, Yang. R, Gabbouj. M, Neuvo. Y, (1996), "Weighted median filters: A tutorial", IEEE Transaction on Circuits and Systems, vol. 43, no. 3, pp. 157-192.
- [6] Wang. Z, Zhang. D, (1999), "Progressive switching median filter for the removal of impulse noise from highly corrupted images", IEEE Transaction on Circuits and Systems, vol. 46, no. 1, pp. 78-80.
- [7] Crnojevic. V, Senk. V, Trpovski. Z, (2004), "Advanced impulse detection based on pixel-wise MAD", IEEE Signal Processing Letters., vol. 11, no. 7, pp. 589-592, Jul. 2004.
- [8] Khryashchev. V, Apalkov. I. V, Priorov. A. L, Zovanarev. P. S, (2005), "Image denoising using adaptive switching median filter", IEEE International Conference on Image Processing. vol. 1, pp. 117- 120.
- [9] Chen. T, Ma. T. K, Chen. L. H, (1999), "Tri-state median filter for image denoising", IEEE Transaction on Image Processing, vol. 8, no. 12, pp. 1834-1838.
- [10] Russo. F, Ramponi. G, (1996), "A fuzzy filter for images corrupted by impulse noise", IEEE Signal Processing Letters., vol. 3, no. 6, pp. 168-170.
- [11] Choi. Y. S, Krishnapuram. R, (1997), "A robust approach to image enhancement based on fuzzy logic", IEEE Transaction on Image Processing, vol. 6, no. 6, pp. 808-825.
- [12] VanDeVille. D, Nachtegaal. M, VanderWeken. D, Kerre. E, Philips. W, Lemahieu. I, (2003), "Noise reduction by fuzzy image filtering", IEEE Transaction on Fuzzy Systems, vol. 11, no. 4, pp. 429-436.
- [13] D.Dubois, H. Prade, (1988), "Fuzzy sets and systems", Academic Press, New York.
- [14] Horé. A, Ziou. D, (2010), "Image quality metrics: PSNR vs. SSIM", IEEE International Conference on Pattern Recognition, Istanbul 2010.
- [15] Wang. Z, Bovik. A. C, Sheikh. H. R, Simoncelli. E. P, (2004), "Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity", IEEE Transaction on Image Processing, Vol. 13, No. 4, pp. 600-612.
- [16] Kenny. K. V. T, Nor. A. M. I, (2010), "Noise Adaptive Fuzzy Switching Median Filter for Salt-and-Pepper Noise Reduction", IEEE Signal Processing Letters, Vol. 17, No. 3, pp. 281-284.