

حذف نویز ضربه‌ای از تصاویر دیجیتالی مبتنی بر تخمین توزیع مکانی نویزها

اصغر زارع^۱ و علی محمدزاده^{۲*}

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>واژگان کلیدی: نویز ضربه‌ای، الگوریتم آشکارساز نویز، فیلترینگ دو عبوری میانه، فیلترینگ دو عبوری میانه توافقی، شاخص نسبت اوج سیگنال به نویز، شاخص صحت کلی.</p>	<p>هدف از این پژوهش ارائه روشی جهت شناسایی و حذف نویزهای ضربه‌ای روشن و تیره می‌باشد. در این پژوهش جهت شناسایی نویزهای ضربه‌ای در تصویر نویزدار دو الگوریتم آشکارساز معرفی شده است. روش پیشنهادی در این پژوهش یک پروسه تکراری می‌باشد که هر تکرار شامل سه مرحله است. روش ارائه شده می‌تواند بر مبنای هر دو الگوریتم آشکارساز معرفی شده جهت شناسایی نویزهای ضربه‌ای کار کند. در این تحقیق جهت بررسی روش پیشنهادی نویزهای ضربه‌ای با سه نوع توزیع متفاوت مدل‌سازی و به تصویر اصلی اضافه شده است و تصویر بازسازی شده با تصویر اصلی مورد مقایسه قرار گرفته است. جهت ارزیابی نویزهای شناسایی شده توسط الگوریتم‌های آشکارساز پیشنهادی و کیفیت تصاویر بازسازی شده به ترتیب از شاخص صحت کلی و شاخص نسبت اوج سیگنال به نویز استفاده شده است. نتایج ارزیابی‌ها نشان می‌دهند که روش پیشنهادی بر مبنای دو الگوریتم آشکارساز معرفی شده به مراتب بهتر از روش فیلترینگ دو عبوری میانه می‌باشد و نسبت به یکی از روش‌های معرفی شده قبلی یعنی فیلترینگ دو عبوری میانه توافقی نتایج بهتری ارائه داده است. کیفیت تصاویر بازسازی شده توسط روش پیشنهادی بیش‌تر از روش فیلترینگ دو عبوری میانه و دو عبوری میانه توافقی می‌باشد. این افزایش کیفیت به‌طور میانگین و به‌ترتیب معادل با افزایش ۵/۳۷ و ۴/۱۷ دسیبل در شاخص نسبت اوج سیگنال به نویز می‌باشد.</p>

۱- مقدمه

کانال‌های ارتباطاتی^۲ نویزدار انتقال داده می‌شوند یا توسط سنجنده‌های نویزدار ثبت می‌شوند [۱ و ۲]. نویزهای ایجاد شده در تصاویر تا حد زیادی بر کارایی عملیات پردازش تصاویر مثل طبقه‌بندی پوشش اراضی^۳ [۳]، تشخیص چهره و الگو^۴ [۴]، شناسایی عارضه^۵ و کشف

تصاویر اغلب اوقات توسط نویزهای ضربه‌ای^۱ تخریب می‌شوند مخصوصاً زمانی که تصاویر نرمال توسط

* پست الکترونیک نویسنده مسئول:

a_mohammadzadeh@kntu.ac.ir

۱. کارشناس ارشد سنجش از دور، دانشکده ژئودزی و ژئوماتیک،

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲. استادیار، دانشکده ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه

نصیرالدین طوسی

¹ Impulse Noises

² Communication Channels

³ Land Cover Classification

⁴ Pattern and Face Recognition

⁵ Object Detection

میانه تخمین زده می‌شود. در این فیلتر ابتدا نامنظمی‌های توزیع مکانی نویزهای ضربه‌ای کشف شده در زیر تصویر (ستون یا سطر) مشخص می‌شود و زمانی که نامنظمی در یک زیرتصویر مشخص شود برخی پیکسل‌های این زیرتصویر که به‌وسیله فیلترینگ میانه تغییر داده شده‌اند به مقدار اولیه خودشان بازگردانده می‌شوند، در نتیجه این پیکسل‌ها در طی مرحله دوم فیلترینگ تغییر داده نمی‌شوند [۲۸].

برخی روش‌های دیگر مبتنی بر آموزش قبلی هستند [۲۹]. بسیاری از روش‌های دیگر نیز از یک آشکارساز نویز استفاده می‌کنند تا پیکسل‌های تصویر را به دو دسته نویزی و غیرنویزی طبقه‌بندی کنند و سپس پروسه فیلترینگ تنها به پیکسل‌های نویزدار اعمال می‌شود، این تکنیک‌ها استراتژی راه‌گزینی^{۱۰} نام دارند [۵ و ۸]. این تکنیک‌ها نسبت به روش‌هایی که به‌طور یکنواخت اعمال می‌شوند، مثل فیلتر میانه، بسیار موثرتر هستند [۱۹]، [۲۷]، و جزئیات تصویر فقط در مکان‌هایی تخریب می‌شوند که نرخ نویز بیش‌تر باشد [۸].

نمونه‌ای از این فیلترها، فیلتر میانه مبتنی بر آنالیز اختلاف مرتبه دوم^{۱۱} [۲۹]، فیلتر میانه توافقی بر مبنای کشف نویز به‌صورت محلی-سراسری^{۱۲} [۳۰]، فیلتر ترتیبی انسداد-گشایش^{۱۳} [۳۱]، فیلتر میانه تعویضی سریع^{۱۴} [۳۲]، فیلتر موثر حفظ‌کننده لبه^{۱۵} [۳۳]، فیلتر میانگین وزن‌دار توافقی تعویضی^{۱۶} [۳۴] و فیلتر میانه تعویضی پیش‌رونده^{۱۷} [۳۵] می‌باشند.

لبه^۱ [۵] تاثیر می‌گذارند. در این راستا نیاز به حذف بخش عمده‌ی نویزها از تصاویر دیجیتالی می‌باشد. تاکنون در جهت حذف نویزهای ضربه‌ای الگوریتم‌های فراوانی پیشنهاد شده است با این حال هیچ روشی قادر نیست تمام نویزهای بوجود آمده را حذف کند [۶]. سنتی‌ترین این فیلترها، فیلتر میانه استاندارد^۲ می‌باشد که به‌طور وسیع مورد استفاده قرار می‌گیرد [۷] به این دلیل که نسبت به فیلترهای خطی مثل میانگین‌گیری بالایی در حذف نویز و حفظ لبه‌های تصویر دارد [۸]. با این حال، فیلتر میانه استاندارد بدون در نظر گرفتن پیکسل‌های حاوی نویز و پیکسل‌های سالم به کل تصویر اعمال می‌شود [۸-۱۰]، در نتیجه باعث ایجاد یک سری مصنوعات از قبیل حذف و مات شدن جزئیات تصویر و لبه [۸]، بی‌ثباتی و تغییر لبه [۱۱-۱۳] می‌شود. به‌همین دلیل جهت غلبه بر این مشکلات تکنیک‌های دیگری نیز برای حذف نویزهای ضربه‌ای ارائه شده است، از جمله فیلترهای میانه مرکز وزن‌دار توافقی^۳ [۱۴-۱۷]، فیلتر انتخاب رتبه^۴ [۱۸]، فیلترهای میانه حفظ‌کننده جزئیات^۵ [۱۹]، اپراتور لاپلاسیان^۶ [۲۰]، فیلتر بر مبنای تصمیم‌گیری نرم^۷ [۱ و ۲۱]، فیلترهای مبتنی بر تکنیک فازی^۸ [۲۲ و ۲۳]، فیلتر میانگین رتبه‌ترتیب [۲۴] و فیلترهای میانه توافقی مختلف [۱۷-۱۹ و ۲۴-۲۷] می‌باشند. نمونه‌ای از فیلترهای توافقی، فیلتر دو عبوری توافقی میانه (ATPMF)^۹ می‌باشد که جهت حذف نویزهای ضربه‌ای در تصاویر بسیار تخریب شده ارائه شده است [۲۸]. در فیلتر ATPMF توزیع مکانی نویزها با کم کردن تصویر نویزدار از تصویر فیلتر شده به‌وسیله فیلتر

¹⁰ Switching Strategy

¹¹ Second-Order Difference Analysis based Median Filter

¹² Global-Local Noise Detection-based Adaptive Median (GLAM) Filter

¹³ Opening Closing Sequence (OCS) Filter

¹⁴ Fast Switching Median (FSM) Filter

¹⁵ Efficient Edge- Preserving (EEP) Filter

¹⁶ Switching Adaptive Weighted Mean (SAWM) Filter

¹⁷ Progressive Switching Median (PSM) Filter

¹ Edge Detection

² Standard Median Filter

³ Center-Weighted Median Filters (CWMFs)

⁴ Rank Selection Filter

⁵ Detail-Preserving Median Filters

⁶ Laplacian Operator

⁷ Soft-Decision-based Filter

⁸ Fuzzy Technique

⁹ Adaptive Two-Pass Median Filter

است. تابع احتمال چگالی^۲ برای نویز ضربه‌ای یا ماتریس N به صورت رابطه (۲) می‌باشد [۳۶].

$$N(i, j) = \begin{cases} a_{ij} & \text{With } P_a \\ -b_{ij} & \text{With } P_b \\ 0 & \text{With } 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$i = 1, \dots, M_1 \quad j = 1, \dots, M_2$$

در رابطه فوق، P_a و P_b به ترتیب احتمال وجود نویز یا دانه‌های روشن (سفید) و تیره (سیاه) می‌باشد. در صورتی که دو احتمال P_a و P_b مخالف صفر باشند به عنوان نویز ضربه‌ای دو قطبی^۳ یاد می‌شود و در صورتی که یکی از دو احتمال مذکور برابر با صفر باشد به عنوان نویز ضربه‌ای تک قطبی^۴ یاد می‌شود [۳۶]. ماتریس نویز یا N را می‌توان به صورت حاصل ضرب دو ماتریس موقعیت (N_{POS}) و ماتریس دامنه (N_{AMP}) مطابق رابطه (۳) نشان داد [۲۸].

$$N = N_{POS} \square N_{AMP} \quad (3)$$

در رابطه فوق، هر دو ماتریس موقعیت و دامنه هم اندازه با ماتریس N می‌باشند، نماد \square نیز بیانگر ضرب پیکسل به پیکسل می‌باشد. ماتریس دامنه نویز (N_{AMP}) می‌تواند دارای توزیع نرمال با میانگین μ و انحراف معیار δ ، توزیع یکنواخت بین دو عدد ثابت یا توزیع عدد ثابت باشد. ماتریس موقعیت (N_{POS}) نیز یک ماتریس باینری می‌باشد که وجود و عدم وجود نویز را بیان می‌کند و احتمال وجود نویز در ماتریس موقعیت به صورت روابط (۴) و (۵) می‌باشد.

$$\text{Prob}\{N_{POS}(i, j) = 1\} = NR \quad (4)$$

$$\text{Prob}\{N_{POS}(i, j) = 0\} = 1 - NR \quad (5)$$

در رابطه فوق، NR نرخ نویز^۵ می‌باشد که عددی بین صفر و یک می‌باشد و مطابق رابطه (۶) وابسته به تعداد پیکسل‌های نویزدار (PN_{IN}) و ابعاد تصویر دارد [۲۸].

در این مقاله از دو استراتژی یا الگوریتم آشکارساز محلی جهت شناسایی نویزهای ضربه‌ای استفاده شده است. جهت حذف نویزها از یک روند تکراری یا چند عبوری^۱ استفاده شده است. در این روند تکراری، شناسایی پیکسل‌های نویزدار می‌تواند بر مبنای هر کدام از الگوریتم‌های آشکارساز پیشنهادی انجام گیرد و در هر تکرار از فیلتر رتبه‌ترتیب میانه استفاده می‌شود تا نویزهای شناسایی شده حذف شود. در این تحقیق نتایج به دست آمده از روش پیشنهادی بر مبنای دو الگوریتم آشکارساز با فیلتر دو عبوری میانه (TPMF) و فیلتر دو عبوری توافقی میانه (ATPMF) مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهند که روش پیشنهادی بر مبنای دو الگوریتم آشکارساز معرفی شده بهتر از دو روش دیگر می‌باشند، از طرفی روش پیشنهادی به دلیل چند عبوری بودن و دارا بودن تعداد تکرار متفاوت برای هر نرخ نویز، برای تصاویر با نرخ نویزهای کم، متوسط و زیاد مناسب می‌باشد.

در این مقاله در بخش دوم، مدل نویز ضربه‌ای شرح داده شده است. در بخش سوم، روش‌های پیشنهادی جهت حذف نویزهای ضربه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است و بخش چهارم، شامل نتایج عملی روش‌های پیشنهادی می‌باشد و در نهایت در بخش پنجم، نتیجه‌گیری‌ها ارائه شده است.

۲- مدل نویز ضربه‌ای

اگر ماتریس تصویر اصلی، تصویر مشاهده شده یا نویزدار و تصویر نویز ضربه‌ای را به ترتیب با X ، S و N نمایش دهیم، در این صورت تصویر مشاهده شده یا نویزدار از رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$X = S + N \quad (1)$$

در مدل فوق، هر سه ماتریس دارای ابعاد $M_1 \times M_2$ می‌باشند و نویز به سیگنال یا تصویر اصلی اضافه شده

¹ Multi-Pass

² Propability Density Function

³ BiPolar Impulse Noise

⁴ UniPolar Impulse Noise

⁵ Noise Ratio

شاخص انحراف معیار به‌دست آمده محاسبه می‌شود. در صورتی که نرخ کاهش محاسبه شده کمتر از حدآستانه موردنظر باشد خروجی فیلترینگ اول به‌عنوان تصویر بازسازی شده موقت مدنظر قرار می‌گیرد و این تصویر وارد تکرار دوم می‌شود. تعداد تکرارها تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که نرخ کاهش بیشتر یا مساوی حدآستانه موردنظر شود. در این صورت خروجی فیلترینگ اول از آخرین تکرار به‌عنوان تصویر بازسازی شده یا فیلتر شده نهایی مدنظر قرار می‌گیرد. در نهایت شباهت تصویر بازسازی شده بر مبنای دو الگوریتم آشکارساز پیشنهادی با تصویر اصلی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۳-۲- فیلتر رتبه‌ترتیب میانه

فیلتر میانه یکی از فیلترهای رتبه‌ترتیب می‌باشد که برای حذف نویزهای ضربه‌ای تک قطبی و دو قطبی مناسب می‌باشد [۳۶]. همان‌طور که از نام این فیلتر مشخص است در این فیلتر مقدار هر پیکسل با مقدار میانه درجات خاکستری همسایه آن پیکسل جای‌گزین می‌شود [۳۶]. در این فیلتر جهت تعیین همسایگی از یک کرنل با ابعاد فرد استفاده می‌شود. اگر کرنل دارای ابعاد $(2u+1, 2t+1)$ باشد و X و \hat{S} به‌ترتیب تصویر نویزدار و تصویر فیلترشده باشد آن‌گاه فیلتر میانه به‌صورت رابطه (۷) بیان می‌شود.

$$\hat{S}(i, j) = \text{median}\{X(i-u:i+u, j-t:t+j)\} \quad (7)$$

۳-۳- الگوریتم آشکارساز موقعیت مکانی نویز به

روش Scan Labeling

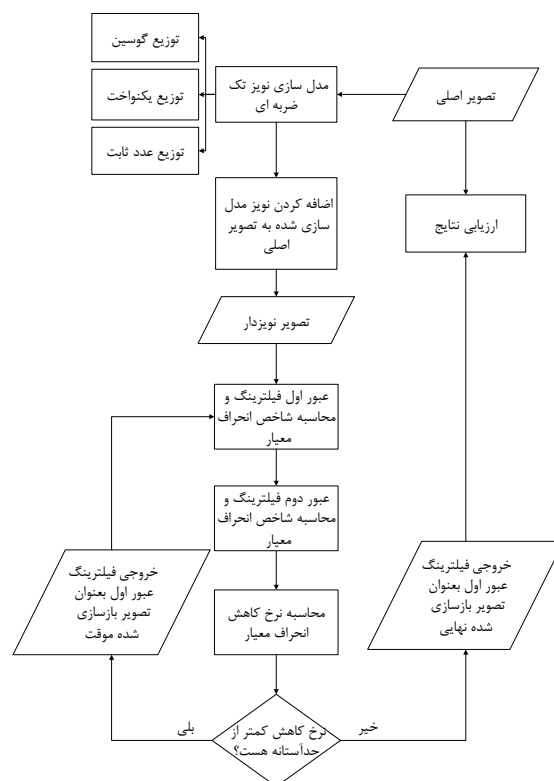
اولین الگوریتم آشکارساز جهت تخمین موقعیت مکانی نویز ضربه‌ای روشی بر پایه Scan Algorithm Labeling می‌باشد. این الگوریتم در سال ۲۰۰۴ برای جداسازی نقاط زمینی از غیرزمینی در داده‌های ابر نقاط لیدار توسط Shan و Sampath ارائه شد [۳۷ و ۳۸]. در این پژوهش الگوریتم Scan Labeling توسعه داده شده است و از آن جهت شناسایی موقعیت احتمالی نویزها

$$NR = \frac{PN_{IN}}{M_1 \times M_2} \quad (6)$$

۳- روش پیشنهادی

۳-۱- فلوجارت کلی تحقیق

فلوجارت کلی تحقیق در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- فلوجارت کلی تحقیق

در این تحقیق، ابتدا نویز ضربه‌ای با توزیع‌های متفاوت مدل‌سازی و به تصویر اصلی اضافه می‌شود تا تصویر نویزدار تولید شود. سپس در یک روند تکراری نویزها شناسایی و حذف می‌شوند. در این روند جهت شناسایی پیکسل‌های نویزدار (غیرسالم) از دو نوع الگوریتم آشکارساز محلی استفاده شده است به‌عبارت دیگر این روند تکراری بر مبنای دو الگوریتم آشکارساز نویز کار می‌کند. روند تکراری بدین صورت است که ابتدا عبور اول و دوم فیلترینگ بر روی تصویر نویزدار اعمال می‌شود و در هر عبور شاخص انحراف معیار برای تصویر به‌دست آمده محاسبه می‌شود. در مرحله بعدی نرخ کاهش بر اساس دو

موقت به عنوان نویز شناسایی می‌شود و برچسب موقتی صفر را می‌گیرد.

اگر اختلاف روشنایی پیکسل دوم از پیکسل اول کم‌تر از صفر باشد در آن صورت نقطه دوم بطور موقت به عنوان پیکسل سالم شناسایی می‌شود و برچسب موقتی یک را می‌گیرد.

بعد از برچسب‌گذاری موقت تمام پیکسل‌ها در چهار جهت اسکن، هر پیکسل یا نقطه دارای چهار برچسب موقت خواهد بود. پیکسل‌های سالم از طریق اشتراک مجموعه نقاط سالم برچسب‌گذاری شده در هر چهار مرحله اسکن (اسکن از بالا به پایین، پایین به بالا، راست به چپ و چپ به راست) به دست می‌آید و نقاط یا پیکسل‌های نویزدار یا غیرسالم از اجتماع مجموعه نقاط نویزدار برچسب‌گذاری شده در هر چهار مرحله اسکن به دست می‌آید. ماتریس موقعیت نویزهای ضربه‌ای تخمین زده شده (\hat{N}_{POS}) برای این الگوریتم به صورت معادله (۸) می‌باشد.

$$\hat{N}_{POS}(i, j) = \begin{cases} 0 & \text{if } v_{ij}^{DU} + v_{ij}^{UD} + v_{ij}^{RL} + v_{ij}^{LR} = 4 \\ 1 & \text{else} \end{cases} \quad (8)$$

در رابطه فوق، v_{ij}^{LR} ، v_{ij}^{RL} ، v_{ij}^{DU} ، v_{ij}^{UD} به ترتیب برچسب موقت نقطه v_{ij} در اسکن پایین به بالا، بالا به پایین، راست به چپ و چپ به راست می‌باشند.

انتظار می‌رود که در تصویر اصلی یا بدون نویز پیکسل‌های قرار گرفته در یک همسایگی نسبتاً کوچک دارای یکنواختی روشنایی باشند و در نتیجه انحراف معیار روشنایی پیکسل‌های همسایه کم‌تر باشد. اما در تصویر نویزدار به دلیل وجود نویز این یکنواختی روشنایی پیکسل‌های همسایه وجود ندارد و انحراف معیار روشنایی پیکسل‌های همسایه وابسته به شدت نویز می‌باشد بطوریکه اگر شدت نویز بیشتر باشد انحراف معیار روشنایی پیکسل‌های همسایه نیز بیشتر خواهد بود.

مقدار حدآستانه Th_1 مطرح شده در این الگوریتم باید شدت یا مقدار یکنواختی روشنایی در پیکسل‌های همسایه را مدنظر قرار دهد بدین منظور این حدآستانه می‌تواند به صورت ضربی از انحراف معیار روشنایی پیکسل‌های

استفاده شده است. در الگوریتم بسط داده شده Scan Labeling هر تصویر در چهار جهت اسکن می‌شود به عبارت دیگر زیر تصویرهای عمودی یا ستون‌های ماتریس تصویر در دو جهت بالا به پایین و پایین به بالا اسکن و بررسی می‌شوند و زیر تصویرهای افقی یا سطرهای ماتریس تصویر در دو جهت راست به چپ و چپ به راست اسکن می‌شوند و براساس ضوابط پیوستگی بین پیکسل‌های مجاور در هر اسکن یک برچسب موقت به نقطه یا پیکسل مورد نظر داده می‌شود و سپس برچسب نهایی نقاط از طریق برچسب موقت نقاط در چهار جهت اسکن به دست می‌آید. در این تحقیق معیار پیوستگی اختلاف بین درجات خاکستری (روشنایی) پیکسل‌های مجاور در نظر گرفته شده است.

در این بخش، الگوریتم شناسایی موقعیت مکانی برای نویزهای ضربه‌ای روشن (سفید) تشریح می‌شود و برای شناسایی موقعیت مکانی نویزهای ضربه‌ای تیره (سیاه) از همین الگوریتم استفاده می‌شود با این تفاوت که باید از حالت نگاتیو تصویر استفاده نمود.

همان‌طور که بیان شد الگوریتم شناسایی بر مبنای اسکن نقاط یا پیکسل‌های مجاور می‌باشد. اگر برچسب نقاط سالم (بدون نویز) و غیرسالم (نویزدار) را به ترتیب با یک و صفر تشریح کنیم در آن صورت فرض می‌شود که اولین نقطه در هر اسکن (اسکن در چهار جهت) پیکسل سالم باشد از این رو به آن برچسب موقتی یک تعلق می‌گیرد و نقطه دوم با نقطه اول مقایسه می‌شود در صورتی که آن‌ها ضوابط پیوستگی موردنظر را ارضاء کنند (اختلاف روشنایی پیکسل دوم از پیکسل اول در محدوده مجاز باشد یعنی بزرگ‌تر از صفر باشد و کم‌تر از حدآستانه، Th_1 ، موردنظر باشد) برچسب اولین نقطه به نقطه دوم انتقال داده می‌شود. در صورتی که آن‌ها ضابطه پیوستگی را رعایت نکرده باشند (اختلاف درجات خاکستری دو پیکسل در محدوده مجاز نباشد) دو حالت پیش می‌آید.

اگر اختلاف روشنایی پیکسل دوم از پیکسل اول بزرگ‌تر از حدآستانه موردنظر باشد در آن صورت نقطه دوم بطور

۳-۵- استراتژی پیشنهادی جهت حذف نویزهای ضربه‌ای

همان‌طور که پیش‌تر بیان گردید در این پژوهش از یک روند تکراری و فیلتر رتبه‌ترتیب میانه جهت حذف نویزهای ضربه‌ای استفاده شده است. روش کار شامل سه مرحله کلی می‌باشد که در این تحقیق به هر سه مرحله یک عبور فیلترینگ گفته می‌شود.

در مرحله اول، ابتدا در تصویر نویزدار پیکسل‌های سالم و غیرسالم (نویزدار) توسط یکی از الگوریتم‌های آشکارساز تشریح شده در بخش ۳-۳ و ۴-۳ شناسایی می‌شوند و فیلتر میانه تنها به نقاط یا پیکسل‌های غیرسالم تصویر نویزدار اعمال می‌شود و در انتها میانگین انحراف معیار تصویر خروجی ($STD1_{mean}$) مطابق با روش بلوک‌بندی تشریح شده در انتهای بخش ۳-۳ محاسبه می‌شود. تصویر خروجی از این مرحله به‌عنوان تصویر ورودی مرحله دوم می‌باشد.

در مرحله دوم، دوباره ابتدا در تصویر ورودی (تصویر خروجی مرحله اول) پیکسل‌های سالم و غیرسالم (نویزدار) توسط یکی از الگوریتم‌های آشکارساز (الگوریتم استفاده شده در مرحله اول) شناسایی می‌شوند و فیلتر میانه تنها به نقاط یا پیکسل‌های غیرسالم تصویر ورودی اعمال می‌شود و در انتها میانگین انحراف معیار تصویر خروجی ($STD2_{mean}$) همانند مرحله اول محاسبه می‌شود.

در مرحله سوم، ابتدا مطابق با رابطه (۱۲) نرخ کاهش (RR) برای دو انحراف معیار محاسبه شده در دو مرحله قبل محاسبه می‌شود.

$$RR = \frac{STD2_{mean}}{STD1_{mean}} \quad (12)$$

در صورتی که مقدار نرخ کاهش بیش‌تر از حدآستانه Th_4 باشد مراحل فیلترینگ تمام می‌شود و تصویر خروجی از مرحله اول به‌عنوان تصویر نهایی فیلتر شده می‌باشد در غیراین‌صورت مراحل اول تا سوم دوباره تکرار می‌شود به عبارت دیگر دوباره عبور فیلترینگ بر روی تصویر خروجی از مرحله اول انجام می‌گیرد. لازم به‌ذکر است که عبورهای

همسایه انتخاب شود. بدین منظور تصویر نویزدار بلوک‌بندی می‌شود و انحراف معیار روشنایی برای هر بلوک محاسبه می‌شود. سپس میانگین انحراف معیارهای محاسبه شده برای تمام بلوک‌ها محاسبه می‌شود (STD_{mean}) و مطابق رابطه (۹) ضریبی از این مقدار (c_1) به‌عنوان حدآستانه Th_1 انتخاب می‌شود.

$$Th_1 = c_1 \times STD_{mean} \quad (9)$$

۳-۴- الگوریتم آشکارساز موقعیت مکانی نویز به روش بلوک‌بندی

دومین الگوریتم آشکارساز جهت تخمین موقعیت مکانی نویز ضربه‌ای، روش بلوک‌بندی تصویر و شناسایی پیکسل‌های غیرنرمال (نویزدار) می‌باشد. در این روش، پیکسل‌های غیرنرمال به پیکسل‌هایی اطلاق می‌شود که نسبت به اکثر پیکسل‌های داخل بلوک مقادیر بسیار بالا یا پایینی داشته باشند. انتظار می‌رود که در تصویر بدون نویز پیکسل‌های داخل یک بلوک مقادیر نزدیک به هم داشته باشند اما در تصویر نویزدار، می‌توان پیکسل‌هایی داخل بلوک‌ها یافت که غیرنرمال هستند. بر این مبنا، جهت شناسایی پیکسل‌های غیرنرمال یا نویزدار، ابتدا تصویر نویزدار بلوک‌بندی می‌شود و داخل هر بلوک میانگین ($Block_{mean}$) و انحراف معیار ($Block_{std}$) پیکسل‌ها محاسبه می‌شود. پیکسل‌های داخل هر بلوک که دارای مقادیر بیش‌تر از حدآستانه Th_2 باشند به‌عنوان نویز ضربه‌ای روشن (سفید) طبقه‌بندی می‌شوند و پیکسل‌های داخل هر بلوک که دارای مقادیر کمتر از حدآستانه Th_3 باشند به‌عنوان نویز ضربه‌ای تیره (سیاه) طبقه‌بندی می‌شوند. مقادیر حدآستانه‌های Th_2 و Th_3 مطابق با روابط (۱۰) و (۱۱) به‌دست می‌آیند.

$$Th_2 = Block_{mean} + c_2 \times Block_{std} \quad (10)$$

$$Th_3 = Block_{mean} - c_2 \times Block_{std} \quad (11)$$

در روابط فوق، c_2 ضریبی ثابت می‌باشد که بزرگی و کوچکی حدآستانه‌های فوق را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

$$OA = \frac{TP+TN}{M_1 \times M_2} \times 100 \quad (۱۳)$$

در رابطه فوق، TP^2 تعداد پیکسل‌هایی از تصویر می‌باشد که نویزی بوده و توسط الگوریتم آشکارساز به درستی به‌عنوان نویز تشخیص داده شده است، TN^3 تعداد پیکسل‌هایی از تصویر می‌باشد که سالم بوده و توسط الگوریتم آشکارساز به‌درستی به‌عنوان پیکسل سالم تشخیص داده شده است، M_1 و M_2 هم ابعاد تصویر می‌باشند. از این شاخص جهت ارزیابی نویزهای کشف شده استفاده شده است که به‌صورت درصد بیان می‌شود و مقادیری بین صفر تا ۱۰۰ را دارا می‌باشد. در صورتی که تمام پیکسل‌های سالم و نویزدار کاملاً و به‌درستی شناسایی و تفکیک شوند مجموع TP و TN با $M_1 \times M_2$ برابر خواهد بود و مقدار OA برابر ۱۰۰ می‌شود در غیر این صورت وابسته به تعداد پیکسل‌های سالم و نویزی درست تشخیص داده شده، OA مقادیر کم‌تر از ۱۰۰ را خواهد داشت. بالا بودن این شاخص بیان‌گر صحت بالای نویزها کشف شده می‌باشد.

شاخص دوم جهت ارزیابی تصویر بازسازی شده می‌باشد که اوج نسبت سیگنال به نویز^۴ (PSNR) نام دارد و به‌صورت دسی‌بل^۵ بیان می‌شود و مطابق با روابط (۱۴) و (۱۵) به‌دست می‌آید [۴۰ و ۴۱].

$$MSE = \frac{1}{M_1 \times M_2} \sum_{i=1}^{M_1} \sum_{j=1}^{M_2} [s(i, j) - \hat{s}(i, j)]^2 \quad (۱۴)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{Max_s^2}{MSE} \right) \quad (۱۵)$$

در روابط فوق، S و \hat{S} به‌ترتیب تصویر اصلی (بدون نویز) و تصویر بازسازی شده می‌باشند، Max_s^2 نیز مقدار حداکثر پیکسل در تصویر اصلی می‌باشد. بالا بودن شاخص PSNR بیان‌گر کیفیت بالای تصویر بازسازی شده می‌باشد.

فیلترینگ تا زمانی تکرار می‌شود که نرخ کاهش بیش‌تر از حد‌آستانه Th_4 شود.

سه نکته در مورد انتخاب حد‌آستانه Th_4 وجود دارد: به هر میزان تعداد تکرارهای فیلترینگ بر روی تصویر بیش‌تر باشد تصویر بیش‌تر یکنواخت می‌شود و در نتیجه میانگین انحراف معیار تصویر کاهش پیدا می‌کند. پس طبیعی است که در تمام عبورهای فیلترینگ مقدار $STD2_{mean}$ همیشه کوچک‌تر از $STD1_{mean}$ باشد. به‌همین دلیل مقدار کران بالا برای حد‌آستانه Th_4 باید یک باشد.

نکته دوم این است زمانی که مقدار نرخ کاهش برای اولین بار به یک نزدیک می‌شود می‌تواند بیان‌گر همگرایی نرخ کاهش به مقدار یک باشد به‌عبارت دیگر نشان از شباهت دو فیلترینگ مرحله اول و دوم می‌باشد و می‌توان این را به‌عنوان نقطه‌ای برای پایان الگوریتم دانست. پس به‌نظر می‌رسد که انتخاب مقادیر نزدیک به یک و کم‌تر از یک برای حد‌آستانه Th_4 مناسب باشد.

نکته سوم این است که انتخاب مقادیر بسیار نزدیک به یک یا خود یک می‌تواند باعث افزونگی تعداد فیلترینگ شود و انتخاب مقادیر دورتر از یک (مثلاً ۰/۹) می‌تواند باعث کاهش تعداد فیلترینگ شود که در هر دو حالت کیفیت تصویر کاهش پیدا می‌کند.

۳-۶- روش ارزیابی نتایج

در این پژوهش، ارزیابی روش پیشنهادی با دو شاخص انجام گرفته است. شاخص اول برای ارزیابی نتایج نویزهای ضربه‌ای کشف شده یا همان تخمین توزیع مکانی نویزها می‌باشد که صحت کلی^۱ (OA) نام دارد و مطابق با رابطه (۱۳) تعریف می‌شود [۳۹].

² True Positive

³ True Negative

⁴ Peak Signal to Noise Ratio

⁵ Deci-Bel

¹ Overall Accuracy

۴- نتایج و ارزیابی روش پیشنهادی

در اکثر پژوهش‌های انجام شده در زمینه حذف نویز از تصویر lena با ابعاد 512×512 (شکل ۲) به‌عنوان تصویر استاندارد استفاده شده است. به‌همین دلیل، در این پژوهش نیز ابتدا آزمایشات بر روی تصویر مذکور انجام گرفته است و سپس نتایج بر روی تصویر دیگری نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند.



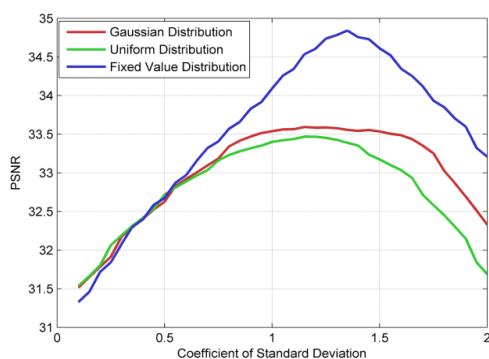
شکل ۲- تصویر استاندارد lena

ارزیابی‌ها شامل چهار بخش کلی می‌باشد. در بخش اول تاثیر ضریب‌های انحراف معیار C_1 و C_2 استفاده شده در الگوریتم‌های آشکارساز بر روی کیفیت تصاویر بازسازی شده مورد بررسی قرار می‌گیرد و محدوده بهینه برای این ضرایب معرفی می‌شود. در بخش دوم، تاثیر افزایش نرخ نویز بر صحت شناسایی توزیع مکانی نویز در هر دو الگوریتم آشکارساز پیشنهادی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش سوم، تاثیر افزایش نرخ نویز بر کیفیت تصاویر بازسازی شده توسط روش پیشنهادی بر مبنای الگوریتم‌های آشکارساز و فیلترهای دو عبوری میانه (TPMF) و دو عبوری توافقی میانه (ATPMF) مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش چهارم نیز نتایج فیلترینگ توسط روش پیشنهادی بر مبنای الگوریتم‌های آشکارساز و روش‌های TPMF و ATPMF به‌صورت بصری نشان داده شده است و مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. در سه بخش اول ارزیابی از تصویر lena جهت انجام آزمایشات استفاده

شده است و در بخش چهارم علاوه بر تصویر lena از تصویر دیگری جهت مقایسه نتایج استفاده شده است.

۴-۱- تاثیر ضریب‌های انحراف معیار C_1 و C_2 بر روی کیفیت تصاویر بازسازی شده

جهت بررسی تاثیر حدآستانه Th_1 بر روی کیفیت تصاویر بازسازی شده، به ازای مقادیر مختلف (بین $0/1$ تا 2) C_1 مذکور در رابطه (۳) در نرخ نویز و توزیع‌های متفاوت روش پیشنهادی بر مبنای الگوریتم آشکارساز اول (Scan Labeling) اجرا شده است. جهت بررسی کیفیت تصویر بازسازی شده از شاخص PSNR تشریح شده در بخش ۳-۶ استفاده شده است. نتایج این بررسی در شکل ۳ نشان داده شده است به‌طوری‌که در تمامی نمودارها محور افقی و عمودی به‌ترتیب بیان‌گر ضریب C_1 و شاخص PSNR بر حسب دسی‌بل می‌باشد. لازم به‌ذکر است که در تمامی حالات، ابعاد کرنل جهت انجام فیلتر میانه مذکور در الگوریتم پیشنهادی 5×5 و مقدار حدآستانه Th_4 برابر $0/95$ در نظر گرفته شده است. در این بررسی جهت محاسبه میانگین انحراف معیار تصویر نویزدار و تعیین حدآستانه Th_1 ابعاد بلوک 8×8 در نظر گرفته شده است و جهت تولید ماتریس دامنه نویز ضربه‌ای (N_{POS})، از توزیع گوسین با میانگین 65 و انحراف معیار 25 ، توزیع یکنواخت بین صفر تا 120 و توزیع عدد ثابت 100 استفاده شده است. در تمامی این نمودارها و نمودارهای بعدی توزیع گوسین، یکنواخت و عدد ثابت به‌ترتیب با رنگ‌های قرمز، سبز و آبی نمایش داده شده است.



(الف) نرخ نویز ۱۰٪ (ب) نرخ نویز ۲۰٪ (ج) نرخ نویز ۳۰٪ (د) نرخ نویز ۴۰٪ (ه) نرخ نویز ۵۰٪
جهت اطمینان بیش تر به نتایج به دست آمده، برای تمامی حالات (نرخ نویز و توزیع های متفاوت) الگوریتم فیلترینگ پیشنهادی ۱۰ بار اجرا شده است و از نتایج به دست آمده برای شاخص PSNR در این ۱۰ تکرار میانگین گیری شده است. در جدول ۱، به ازای نرخ نویز و توزیع های متفاوت، مقدار بهینه برای پارمتر c_1 و حدآستانه Th_1 مشخص شده است.

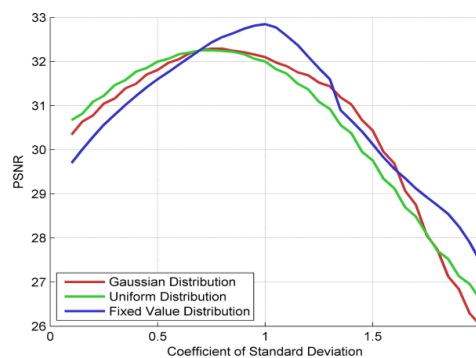
جدول ۱- مقدار بهینه برای پارمتر c_1 و حدآستانه Th_1 به ازای نرخ نویز و توزیع های متفاوت

توزیع عدد ثابت	توزیع یکنواخت		توزیع گوسین		NR
	Th_1	c_1	Th_1	c_1	
۲۹	۱/۳۵	۲۷	۱/۱۵	۲۷	۱۰٪
۲۴	۱	۲۲	۰/۷۵	۲۲	۲۰٪
۲۱	۰/۶۵	۲۰	۰/۶	۲۱	۳۰٪
۱۹	۰/۶۵	۱۹	۰/۴۵	۱۹	۴۰٪
۱۸	۰/۵۵	۱۸	۰/۳۵	۱۸	۵۰٪

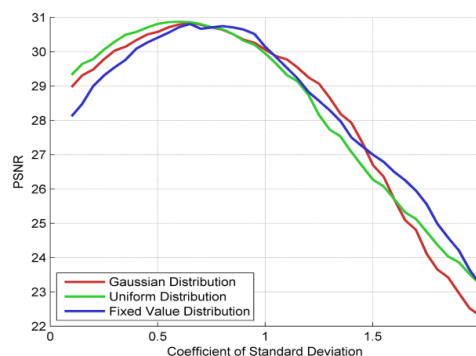
نتایج این آزمایشات (نمودارهای شکل ۳ و جدول ۱) نشان می دهند که :

- به ازای نرخ نویز ثابت، مقدار بهینه برای پارمتر c_1 برای هر سه نوع توزیع تقریباً یکسان می باشد (به ازای نرخ نویز ثابت، قله نمودارهای هر سه نوع توزیع تقریباً دارای یک مقدار c_1 می باشد).
- در تمامی حالات توزیع نویز، با افزایش نرخ نویز مقدار بهینه برای پارمتر c_1 کاهش پیدا می کند (با افزایش نرخ نویز قله نمودارهای نشان داده شده در شکل ۳ به سمت چپ یا مقادیر پایین c_1 حرکت می کند).
- از طرفی با افزایش نرخ نویز، طبیعی است که میانگین انحراف معیار تصویر (STD_{mean}) بیان شده در رابطه (۱۲) برای تمامی توزیع ها افزایش پیدا کند و با افزایش STD_{mean} و کاهش پارمتر c_1 ، پارمتر Th_1 تقریباً ثابت می ماند. به دلیل آن که طبق رابطه (۱۲) پارمتر Th_1 با هر دو پارمتر c_1 و STD_{mean} نسبت مستقیم دارد.

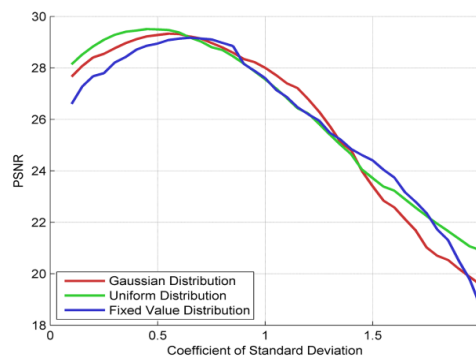
(الف)



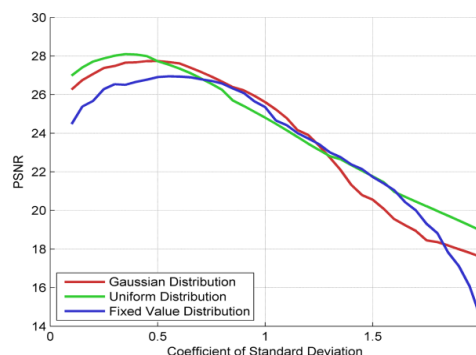
(ب)



(ج)

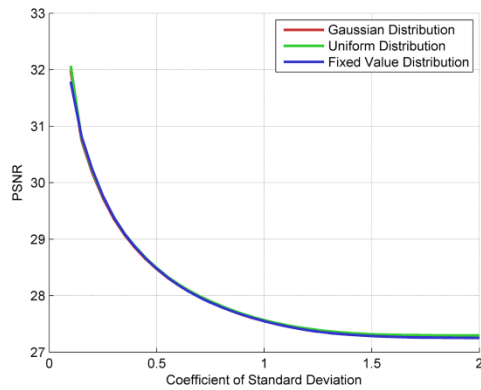


(د)

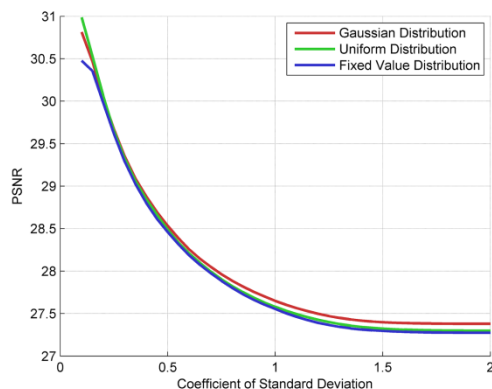


(ه)

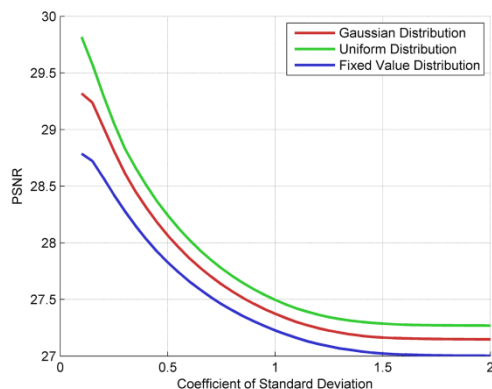
شکل ۳- تاثیر حدآستانه Th_1 (ضریب c_1) بر روی کیفیت تصاویر بازسازی شده در نرخ نویزهای متفاوت (ابعاد کرنل 5×5 و مقدار حدآستانه Th_4 برابر $0/95$ در نظر گرفته شده است).



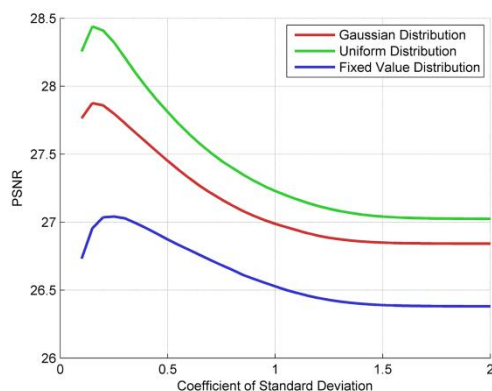
(ب)



(ج)



(د)

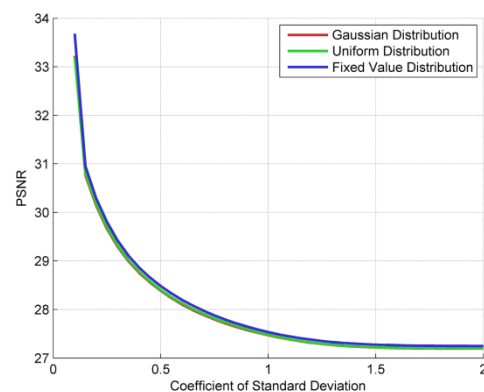


(ه)

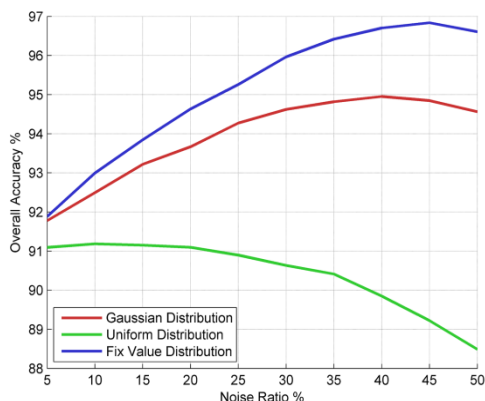
• به ازای نرخ نویز ثابت، مقدار بهینه برای پارامتر Th_1 تا حد بسیار زیادی ثابت می‌باشد. پس می‌توان چنین نتیجه گرفت که به ازای نرخ نویز ثابت، مقدار بهینه حدآستانه Th_1 حساسیت بسیار کمی نسبت به نوع توزیع دارد.

مقدار بهینه برای پارامتر c_1 می‌تواند مطابق با جدول ۱ برای تمامی توزیع‌ها و نرخ نویزهای بیان شده محاسبه شود و برای نرخ نویزهای دیگر در محدوده ۱۰ تا ۵۰ درصد می‌توان از روش درونیایی (تخمین مقدار یک پارامتر مجهول بین دو مقدار معلوم) استفاده نمود. در تمامی توزیع‌ها و نرخ نویزها، محدوده‌ی برای مقدار بهینه حدآستانه Th_1 بین ۱۸ تا ۲۹ می‌باشد. پس به شرط انتخاب یک مقدار کلی برای حدآستانه Th_1 در تمامی توزیع‌ها و نرخ نویزها، انتخاب مقدار میانگین این محدوده (مقدار ۲۴)، می‌تواند مناسب باشد.

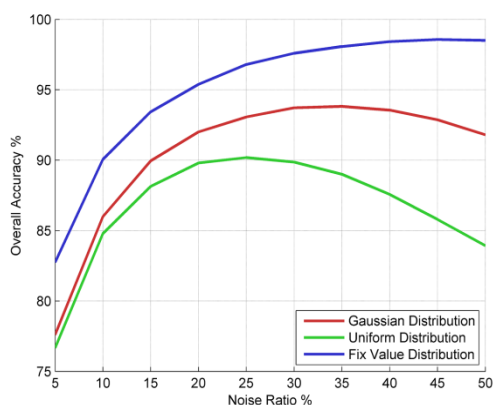
مطابق با بررسی حدآستانه Th_1 جهت بررسی تاثیر حدآستانه Th_2 یا Th_3 بر روی کیفیت تصاویر بازسازی شده، به ازای مقادیر مختلف (بین ۰/۱ تا ۲) c_2 مذکور در رابطه (۴) و (۵) در نرخ نویز و توزیع‌های متفاوت روش پیشنهادی بر مبنای الگوریتم آشکارساز دوم (روش بلوک‌بندی) اجرا شده است. نتایج این بررسی در شکل ۴ نشان داده شده است به طوری که در تمامی نمودارها محور افقی و عمودی به ترتیب بیان‌گر ضریب c_2 و شاخص PSNR بر حسب دسی‌بل می‌باشد.



(الف)



الف



ب

شکل ۵- تاثیر افزایش نرخ نویز با توزیع‌های متفاوت بر صحت کلی شناسایی توزیع مکانی نویز ضربه‌ای توسط الف) الگوریتم آشکارساز Scan Labeling بهبود داده شده ب) الگوریتم آشکارساز بلوک‌بندی به ازای نویز.

لازم بذکر است که در هر دو بررسی، ابعاد کرنل جهت انجام فیلتر میانه مذکور در الگوریتم پیشنهادی 5×5 و مقدار ضریب C_2 و حدآستانه‌های Th_1 و Th_4 به ترتیب برابر با 0.15 ، 24 و 0.95 در نظر گرفته شده است. در این بررسی‌ها، جهت تولید ماتریس دامنه نویز ضربه‌ای (N_{Pos}) ، از توزیع گوسین با میانگین و انحراف معیار 65 و 25 ، توزیع یکنواخت بین صفر تا 120 و توزیع عدد ثابت 100 استفاده شده است. از شکل ۵ مشهود است که تمامی نمودارها (در تمام توزیع‌ها و هر دو الگوریتم آشکارساز) یک نقطه اوج دارند به دلیل این‌که در تمام توزیع‌ها الگوریتم‌های آشکارساز در یک نرخ نویز متفاوت پیکسل‌های سالم و غیرسالم را در بهترین حالت شناسایی و تفکیک کرده‌اند. شناسایی و تفکیک بهتر پیکسل‌های

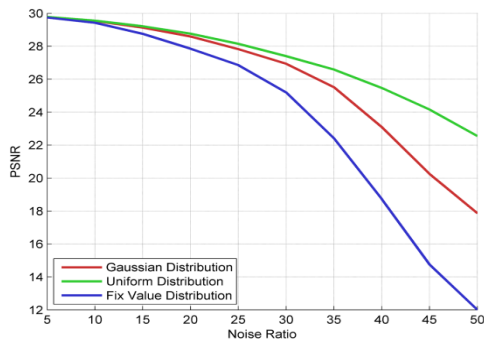
شکل ۴- تاثیر حدآستانه Th_2 یا Th_3 (ضریب C_2) بر روی کیفیت تصاویر بازسازی شده در نرخ نویزهای متفاوت (ابعاد کرنل 5×5 و مقدار حدآستانه Th_4 برابر 0.95 در نظر گرفته شده است). الف) نرخ نویز 0.1 ب) نرخ نویز 0.2 ج) نرخ نویز 0.3 د) نرخ نویز 0.4 ه) نرخ نویز 0.5

نتایج این آزمایشات (نمودارهای شکل ۴) نشان می‌دهند که:

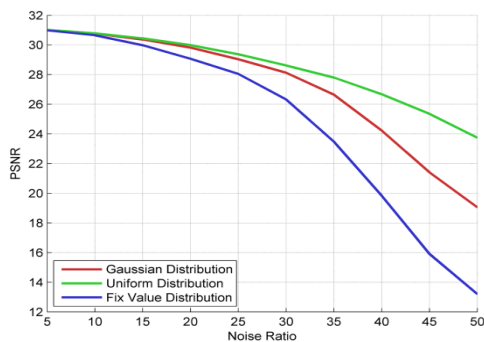
- به ازای نرخ نویزهای بالاتر از 0.3 ، توزیع یکنواخت بهتر از گوسین و توزیع گوسین بهتر از توزیع عدد ثابت می‌باشد.
- در تمامی توزیع‌ها و به ازای نرخ نویزهای 0.1 ، 0.2 ، 0.3 و 0.4 با افزایش ضریب C_2 (افزایش حدآستانه Th_2 و کاهش حدآستانه Th_3) کیفیت تصویر بازسازی شده کاهش پیدا می‌کند. هم چنین در تمامی توزیع‌ها و به ازای نرخ نویز 0.5 ، مقدار 0.2 به عنوان ضریب C_2 بهترین نتیجه را می‌دهد. پس در تمامی توزیع‌ها و نرخ نویزهای کمتر از 0.45 مقدار 0.1 برای ضریب C_2 مقدار بهینه‌ای می‌باشد و در تمامی توزیع‌ها و نرخ نویزهای بالاتر از 0.45 مقدار تقریباً 0.2 برای ضریب C_2 مقدار بهینه‌ای می‌باشد. پس به شرط انتخاب یک مقدار کلی برای ضریب C_2 در تمامی توزیع‌ها و نرخ نویزها، انتخاب مقدار متوسط 0.15 می‌تواند مناسب باشد.

۴-۲- تاثیر افزایش نرخ نویز بر صحت شناسایی توزیع مکانی نویز

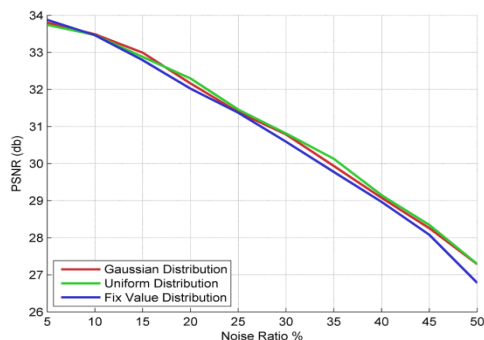
جهت بررسی تاثیر افزایش نرخ نویز بر صحت شناسایی یا تخمین توزیع مکانی نویز ضربه‌ای و کیفیت تصاویر بازسازی شده، به ازای نرخ نویزها و توزیع‌های متفاوت هر دو الگوریتم آشکارساز پیشنهادی اجرا شده است. نتایج این بررسی‌ها در شکل ۵ نشان داده شده است به طوری که در هر دو نمودار محور افقی و عمودی به ترتیب نرخ نویز و شاخص صحت کلی می‌باشد.



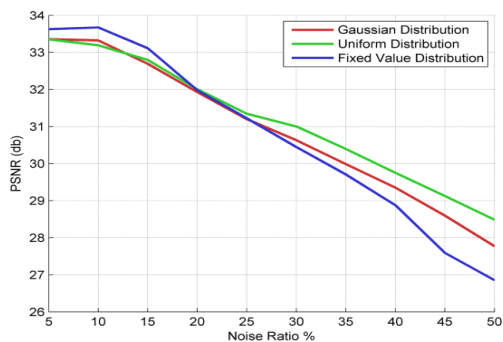
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل ۶- تاثیر افزایش نرخ نویز با توزیع‌های متفاوت بر کیفیت تصاویر بازسازی شده توسط الف) روش دو عبوری میانه (ATPMF) ب) توسط روش دو عبوری توافقی میانه (TPMF) ج) روش پیشنهادی بر مبنای الگوریتم آشکار ساز Scan

سالم و غیرسالم در یک نرخ نویز نسبت به سایر نرخ نویزها می‌تواند به پارامترهای انتخاب شده برای الگوریتم آشکار ساز و پارامترهای توزیع‌های نویز وابسته باشد. یعنی با انتخاب پارامترهای متفاوت برای الگوریتم آشکار ساز یا توزیع نویز، الگوریتم آشکار ساز می‌تواند در نرخ نویز دیگری بهترین شناسایی نویز یا نقطه اوج را داشته باشد.

نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهد که به ازای افزایش نرخ نویز، صحت شناسایی توزیع مکانی نویز ضربه‌ای توسط الگوریتم آشکار ساز Scan Labeling بهبود داده شده در توزیع‌های گوسین و عدد ثابت افزایش پیدا می‌کند و در توزیع یکنواخت کاهش پیدا می‌کند و همچنین صحت شناسایی توزیع مکانی نویز ضربه‌ای توسط الگوریتم آشکار ساز بلوک‌بندی در تمام توزیع‌ها ابتدا افزایش و سپس کاهش پیدا می‌کند. البته افزایش یا کاهش شاخص صحت کلی به معنای بهبود کیفیت تصویر بازسازی شده نیست بلکه به معنای بالا رفتن تعداد پیکسل‌های سالم و غیرسالم شناسایی شده صحیح به کل پیکسل‌های تصویر می‌باشد.

۴-۳- تاثیر افزایش نرخ نویز بر کیفیت تصاویر بازسازی

جهت بررسی تاثیر افزایش نرخ نویز بر کیفیت تصاویر بازسازی شده به ازای نرخ نویزها و توزیع‌های متفاوت، روش پیشنهادی بر مبنای هر دو الگوریتم آشکار ساز و روش‌های TPMF و ATPMF اجرا شده است. تمام پارامترهای انتخاب شده برای روش پیشنهادی مطابق با بررسی قبل می‌باشد. نتایج این بررسی‌ها در شکل ۶ نشان داده شده است به طوری که در تمام نمودارها محور افقی و عمودی به ترتیب نرخ نویز و شاخص نسبت اوج سیگنال به نویز (PSNR) می‌باشد.

۴-۴- مقایسه نتایج الگوریتم‌های پیشنهادی با روش‌های TPMF و ATPMF

در این بخش، مثال‌هایی از نتایج فیلترینگ روش پیشنهادی بر مبنای دو الگوریتم آشکارساز و روش‌های TPMF و ATPMF آورده شده است. در شکل‌های ۷ و ۸ نتایج فیلترینگ براساس این روش‌ها نشان داده شده است.



(الف)



(ب)



(ج)

Labeling بهبود داده شده (د) روش پیشنهادی بر مبنای الگوریتم آشکارساز بلوک‌بندی.

همان‌طور که در شکل ۶ نیز نشان داده شده است با افزایش نرخ نویز کیفیت تصویر بازسازی شده کاهش می‌یابد که این کاهش طبیعی است. نتایج نشان می‌دهد که به ازای تمام نرخ نویزهای مورد بررسی، روش پیشنهادی بر مبنای هر دو الگوریتم آشکارساز نویز، از دو روش TPMF و ATPMF بهتر می‌باشند. در این تحقیق، در نرخ نویز و توزیع‌های متناظر اختلاف PSNR تصاویر بازسازی شده توسط روش پیشنهادی بر مبنای هر دو الگوریتم آشکارساز با PSNR تصاویر بازسازی شده توسط روش TPMF و ATPMF محاسبه گردید. محاسبات نشان می‌دهد که PSNR تصاویر بازسازی شده توسط روش پیشنهادی به ترتیب به‌طور میانگین $4/17$ و $5/37$ دسیبل از PSNR تصاویر بازسازی شده توسط روش‌های ATPMF و TPMF بالاتر می‌باشند.

از سوی دیگر در روش پیشنهادی که بر مبنای الگوریتم آشکارساز Scan Labeling کار می‌کند شاخص PSNR تصویر بازسازی شده به ازای تمامی نرخ نویزها تا حد زیادی در هر سه نوع توزیع نویز یکسان می‌باشد اما در روشی که بر مبنای الگوریتم آشکارساز بلوک‌بندی کار می‌کند شاخص PSNR تصویر بازسازی شده در هر سه نوع توزیع کمی متفاوت از هم می‌باشند.

نکته دیگر این است که در روش پیشنهادی بر مبنای هر دو الگوریتم آشکارساز نویز، تغییرات شاخص PSNR تصویر بازسازی شده نسبت به نرخ نویز در هر سه نوع توزیع نویز تا حدود زیادی به صورت خطی می‌باشد. نمودارهای شکل ۶-الف و ۶-ب نشان می‌دهند که به‌طور کلی نمی‌توان بیان کرد که روش پیشنهادی بر مبنای کدام الگوریتم آشکارساز بهتر می‌باشد و وابسته بر نرخ نویز و نوع توزیع نویز هر کدام می‌تواند نتیجه کمی بهتری نسبت به دیگری داشته باشد.



(ب)



(ج)



(د)



(ه)



(د)



(ه)

شکل ۷- مقایسه بین الگوریتم‌های فیلترینگ الف) تصویر نویزدار (نویز ضربه‌ای روشن با نرخ ۰.۴۰٪ و توزیع گوسین با میانگین ۶۵ و انحراف معیار ۲۵) ب) فیلترینگ TPMF (PSNR برابر ۲۳/۰۹ دسیبل) ج) فیلترینگ ATPMF (PSNR برابر ۲۴/۴۲ دسیبل) د) فیلترینگ بر اساس روش پیشنهادی بر مبنای الگوریتم آشکارساز Scan Labeling توسعه داده شده (PSNR برابر ۲۹/۰۴ دسیبل، صحت کلی شناسایی نویز ۰.۹۵/۰۲، تعداد تکرار ۳ بار) ه) فیلترینگ بر اساس روش پیشنهادی بر مبنای الگوریتم آشکارساز بلوک‌بندی (PSNR برابر ۲۹/۳۵ دسیبل، صحت کلی شناسایی نویز ۰.۹۳/۶۶، تعداد تکرار ۳ بار).



(الف)

در روش پیشنهادی برای نرخ نویزهای پایین مثل ۱۰٪ تعداد یک تکرار انجام می‌گیرد و برای نرخ نویزهای متوسط مثل ۲۵٪ الگوریتم بعد از دو تکرار به پایان می‌رسد و برای نرخ نویزهای بالا مثل ۵۰٪، تعداد تکرارها بیش‌تر می‌باشد. در نتیجه روش پیشنهادی می‌تواند برای تصاویری با نرخ کمتر، متوسط و بالا به‌کار گرفته شود.

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش دو الگوریتم آشکارساز نویز ضربه‌ای معرفی گردید و یک روش چندعبوری جهت حذف نویزهای ضربه‌ای شناسایی شده توسط الگوریتم‌های آشکارساز مورد بررسی قرار گرفت. تاثیر پارامترهای استفاده شده در این روش به‌طور مفصل مورد بررسی قرار گرفت و محدوده بهینه برای این پارامترها معرفی گردید.

نتایج ارزیابی بر اساس شاخص صحت کلی نشان می‌دهد که هر دو الگوریتم آشکارساز در شناسایی نویزها بخوبی عمل می‌کند. نتایج ارزیابی بر اساس شاخص PSNR نشان می‌دهد که یکی از راه‌کارهای افزایش کیفیت تصاویر بازسازی شده در مرحله فیلترینگ این است که فیلتر موردنظر تنها به پیکسل‌های نویزدار (غیرسالم) اعمال گردد و مابقی پیکسل‌ها بدون دسترسی باقی بماند. از طرفی روش معرفی شده در این مقاله به‌دلیل چند عبوری بودن برای تمامی نرخ نویزهای پایین مثل پنج درصد و نرخ نویزهای متوسط مثل ۲۵ درصد و نرخ نویزهای بالا مثل ۵۰ درصد می‌تواند مناسب باشد. ارزیابی‌های انجام شده براساس شاخص PSNR بر روی تصویر مورد آزمایش نشان دادند که PSNR تصاویر بازسازی شده توسط روش پیشنهادی به‌طور میانگین و به‌ترتیب ۴/۱۷ و ۵/۳۷ دسیبل از PSNR تصاویر بازسازی شده توسط روش‌های ATPMF و TPMF بالاتر می‌باشند.



(و)

شکل ۸- مقایسه بین الگوریتم‌های فیلترینگ (الف) تصویر اصلی با ابعاد 512×512 (ب) تصویر نویزدار (نویز ضربه‌ای روشن با نرخ ۳۵٪ و توزیع یکنواخت بین صفر تا ۱۲۰) (ج) فیلترینگ TPMF (PSNR برابر ۲۴ دسیبل) (د) فیلترینگ ATPMF (PSNR برابر ۲۵/۱۰ دسیبل) (ه) فیلترینگ بر اساس روش پیشنهادی بر مبنای الگوریتم آشکارساز Scan Labeling توسعه داده شده (PSNR برابر ۲۷/۶۱ دسیبل، صحت کلی شناسایی نویز ۸۸/۲۸٪، تعداد تکرار ۲ بار) (و) فیلترینگ بر اساس روش پیشنهادی بر مبنای الگوریتم آشکارساز بلوک‌بندی (PSNR برابر ۲۸/۰۸ دسیبل، صحت کلی شناسایی نویز ۸۷/۶۲٪، تعداد تکرار ۳ بار).

در تمام فیلترینگ‌های هر دو مثال، ابعاد کرنل جهت فیلترینگ میانه 5×5 در نظر گرفته شده است و حدآستانه Th_1 ، ضریب c_2 (تعیین‌کننده حدآستانه‌های Th_2 و Th_3) و حدآستانه Th_4 به‌ترتیب ۲۴، ۰/۱۵ و ۰/۹۵ در نظر گرفته شده است. نتایج فیلترینگ می‌دهد که روش پیشنهادی بر مبنای هر دو الگوریتم آشکارساز پیشنهادی (حالت‌های (د) و (ه) از شکل ۷ و حالت‌های (ه) و (و) از شکل ۸) به مراتب بهتر از روش TPMF و ATPMF (حالت‌های (ب) و (ج) از شکل ۷ و حالت‌های (ج) و (د) از شکل ۸) می‌باشند. در نتیجه استفاده از روش‌های شناسایی نویز و حذف نویز در پیکسل‌های نویزدار (غیرسالم) می‌تواند نتایج را بهبود بخشد. از طرفی استفاده از روش‌های چند عبوری باعث حذف بهتر نویز در نرخ نویزهای بالاتر می‌شود به‌دلیل آن که با یک عبور فیلترینگ ممکن است تمام نویزهای موجود حذف نشوند.

مراجع

- [1] Eng, H.L., Ma, K.K. (2001). "Noise adaptive soft-switching median filter". *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 10, No. 2, pp. 2542-2551.
- [2] Astola, J. and Kuosmanen, P. (1977). "Fundamentals of Nonlinear Digital Filtering". CRC Press.
- [3] Gong, B., Im, J., Mountrakis, G. (2011). "An artificial immune network approach to multi-sensor land use/land cover classification". *Remote Sensing Environment*, Vol. 115, No. 2, pp. 600-614.
- [4] Naseem, I., Togneri, R., Bennamoun, M. (2012). "Robust regression for face recognition". *Pattern Recognition*, Vol. 45, No. 1, pp. 104-118.
- [5] Luo, W. (2006). "An Efficient Detail-Preserving Approach for Removing Impulse Noise in Images". *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 13, No. 7, pp. 413-416.
- [6] Hsieh, M.H., Cheng, F.Ch., ChauShie, M., JangRuan, Sh. (2013). "Fast and efficient median filter for removing 1-99% levels of salt-and-pepper noise in images". *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 26, No. 4, pp. 1333-1338.
- [7] Pitas, I., Venetsanopoulos, A.N. (1990). "Nonlinear Digital Filters: Principles and Applications". Kluwer, Norwell.
- [8] Zhang, X., Zhan, Y., Ding, M., Hou, W., Yin, Zh. (2013). "Decision-based non-local means filter for removing impulse noise from digital images". *Signal Processing*, Volume 93, No. 2, pp. 517-524.
- [9] Jain, A.K. (1989). "Fundamentals of Digital Image Processing". Prentice & Hall.
- [10] Arce, G.R., Foster, R.E. (1989). "Detail-preserving ranked-order based filters for image processing". *IEEE Transaction on Acoust., Speech, Signal Processing*, Vol. 37, No. 1, pp. 83-98.
- [11] Bovik, A.C., Huang T.S., Munson, D.C. (1985). "Edge-sensitive image restoration using order-constrained least squares methods". *IEEE Transaction on Acoustics Speech Signal Processing*, Vol. 33, No. 5, pp. 1253-1263.
- [12] Nodes, T.A., Gallagher, N.C. (1984). "The output distribution of median type filters". *IEEE Transaction on Communications*, Vol. 32, No. 5, pp. 532-541.
- [13] Bovik, A.C. (1985). "Streaking in median filtered images". *IEEE Transactions on Acoustics Speech Signal Processing*, Vol. 35, No. 4, pp. 493-503.
- [14] Yang, R., Lin, L., Gabbouj, M., Astola, J., Neuvo, Y. (1995). "Optimal weighted median filters under structural constraints". *IEEE Trans Signal Processing*, Vol. 43, No. , pp. 591-604.
- [15] Chen, T., Wu, H. (2001). "Adaptive impulse detection using center-weighted median filters". *Signal Processing Letters*, Vol. 8, No. 1, pp. 1-3.
- [16] Song, T., Gabbouj, M., Neuvo, Y. (1994). "Center weighted median filters: some properties and applications in image processing". *Signal Processing*, Vol. 35, No. 3, pp. 213-229.
- [17] Ko, S.J. and Lee, Y.H. (1991). "Center weighted median filters and their applications to image enhancement". *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, Vol. 38, No. 9, pp.984-993.
- [18] Hardie, R.C., Barner, K.E. (1994). "Rank conditioned rank selection filters for signal restoration". *IEEE Trans. Image Process.*, Vol. 3, No. 2, pp. 192-206.
- [19] Sun, T. and Neuvo, Y. (1994). "Detail-preserving median based filters in image processing". *Pattern Recognit. Letters*, Vol. 15, No. 4, pp. 341-347.
- [20] Zhang, S., and Karim, M.A. (2002). "A new impulse detector for switching median filters". *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 9, No. 11, pp. 360-363.
- [21] Florencio, D.A.F., Shafer, R.W. (1994). "Decision-based median filter using local signal statistics". *Visual Communication and Image Processing 94*, Chicago, Illinois, United States, 25 September.
- [22] Zhang, D. Wang, Z. (1997). "Impulse noise detection and removal using fuzzy techniques". *IEE Electronics Letters*, Vol. 33, No. 5, pp. 378-379.

- [23] 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.
- [24] Abreu, E., Lightstone, M., Mitra, S.K., Arakawa, K. (1996). "A new efficient approach for the removal of impulse noise from highly corrupted images". *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 5, No. 6, pp. 1012–1025.
- [25] Hwang, H., Haddad, R.A. (1995). "Adaptive median filters: New algorithms and results". *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 4, No. 4, pp. 499–502.
- [26] Lin, H., Willson, A.N. (1988). "Median filter with adaptive length". *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, Vol. 35, No. 6, pp. 675–690.
- [27] Chen, T., Ma, K., Chen, L. (1999). "Tri-state median filter for image denoising". *IEEE Transaction on Image Processing*, Vol. 8, No. 12, pp. 1834–1838.
- [28] Xu, X., Miller, E.L., Chen, D., Sarhadi, M. (2004). "Adaptive Two-Pass Rank Order Filter to Remove Impulse Noise in Highly Corrupted Images". *IEEE Transactions On Image Processing*, Vol. 13, No. 2.
- [29] Dang, D., Luo, W. (2007). "Impulse noise removal utilizing second-order difference analysis". *Signal Processing*, Vol. 87, No. 9, pp. 2017-2025.
- [30] Yuan, S.Q., Tan, Y.H. (2006). "Impulse noise removal by a global-local noise detector and adaptive median filter". *Signal Processing*, Vol. 86, No. 8, pp. 2123-2128.
- [31] Deng, Z.F., Yin, Z.P., Xiong, Y.L. (2007). "High probability impulse noise- removing algorithm based on mathematical morphology". *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 14, No. 1, pp. 31–34.
- [32] Srinivasan, K.S., Ebenezer, D. (2007). "A new fast and efficient decision-based algorithm for removal of high-density impulse noises". *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 14, No. 3, pp. 189-192.
- [33] Chen, P.Y., Lien, C.Y. (2008). "An efficient edge-preserving algorithm for removal of salt-and-pepper noise". *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 15, pp. 833-836.
- [34] Zhang, X.M., Xiong, Y.L. (2009). "Impulse noise removal using directional weighted noise detector and adaptive weighted mean filter". *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 16, No. 4, pp. 295-298.
- [35] Wang, Z., and Zhang, D. (1999). "Progressive switching median filter for removal of impulsive noise from highly corrupted image". *IEEE Transaction on Circuits and Systems II, Analog and Digital Signal Processing*, Vol. 46, No. 1, pp. 78-80.
- [36] Gonzalez, R.C., Woods, R.E. (2002). "Digital Image Processing". Second Edition, Prentice & Hall Inc.
- [37] Sampath, A., Shan, J. (2004). "Urban modelling based on segmentation and regularization of airborne lidar point clouds". *ISPRS Archives, Istanbul, Turkey*, 12-23 July.
- [38] Shan, J., Sampath, A. (2005). "Urban dem generation from raw lidar data: a labeling algorithm and its performance". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 71, No. 02, pp. 217–226.
- [39] Khoshelham, K., Nardinocchi, C., Frontoni, E., Mancini, A., Zingaretti, P. (2011). "Performance evaluation of automated approaches to building detection in multi-source aerial data". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol.65, No.1, pp.123-133.
- [40] Salamon, D. (2007). "Data Compression: The complete Reference". Fourth Edition, Springer-Verlag, London.
- [41] Salamon, D. (2005). "Coding for Data and Comuputer Communications". Springer.