

תרגיל 2 - Filters

התמונה המקורית:



(1) נוסף רעש לתמונה – רעש מסוג "פלפל ומלח" עם שונות 0.02

Noisy image



$$Filter = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \text{ נבחר בפילטר לינארי:}$$

הפעלת פ. גמא עם קבוע 0.5

הפעלת פ. גמא עם קבוע 2

Image before filtering after gamma



Image before filtering after gamma



**תמונה
אחרי
הפעלת
פ. גמא**

Image after filtering before gamma inverse



Image after filtering before gamma inverse



**תמונה
אחרי
פילטר**

Image after filtering



Image after filtering









תמונה
אחרי
פילטר
והפעלת
פ.גמא
הפוכה

כעת ניתן להשוות את שני השלבים:

בשלב השני כאשר אנחנו מבהירים קודם את התמונה, זה לא משפיע על פקסלים שחורים (פלפל) כיוון הם בעלי גוון 0. לכן נוצרים פערים יותר גדולים בתמונה – רעש חזק יותר וקשה לנקות אותו. אז ע"י הפעלת פ.גמא אנחנו מחמירים את המצב. לעומת זאת, אם אנחנו "משחירים" קודם את התמונה, זה גם לא משפיע על פקסלים שחורים (פלפל) כיוון הם בעלי גוון 0. אבל הפעם הפערים בגווני אפור מצטמצמים ולכן ניתן לנקות את הרעש בצורה יותר טובה.

שימוש בפילטרים במישור פוריה

<p>תמונה עם רעש Salt Pepper</p> <p>Noisy image</p> 	<p>תמונה עם רעש Gaussian</p> <p>Noisy image</p> 	<p>סוג הפילטר</p>
<p>Image after ideal filtering in Fourier space</p> 	<p>Image after ideal filtering in Fourier space</p> 	<p>Ideal low-pass filter</p> $H(u, v) = \begin{cases} 1, & \sqrt{u^2 + v^2} \leq 60 \\ 0, & \sqrt{u^2 + v^2} > 60 \end{cases}$
<p>Image after gaussian filtering in Fourier space</p> 	<p>Image after gaussian filtering in Fourier space</p> 	<p>Gaussian filter</p> $H(u, v) = e^{-\frac{u^2 + v^2}{2\sigma^2}}$ <p>with $\sigma = 60$</p>

פרמטר σ משפיע על רוחב של פעמון גאוס. ככל שיגדל נדגיש יותר תדרים (סביב 0 כמובן).

סוג הפילטר

תמונה עם רעש Gaussian

Butterworth filter

$$H(u, v) = \frac{1}{1 + \left(\frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{R} \right)^{2k}}$$

$$R = 80$$

$$k = 2$$



הערות

ניתן לראות איך הפרמטרים

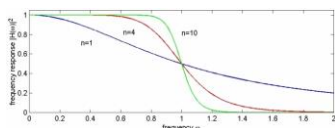
R, k

משפיעים על הפילטר:

ככל ש-R גדל – נשאר יותר תדרים

ככל ש-k משתנה –

השיפוע של הקו משתנה.



ככל שסדר (k) יותר גדול

– פילטר מתקרב להיות

"אידאלי" שכבר ראינו

שהשם לא באמת משקף

את המציאות.

Image after butterworth filtering in Fourier space



$$H(u, v) = \frac{1}{1 + \left(\frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{R} \right)^{2k}}$$

$$R = 60$$

$$k = 0.5$$

Image after butterworth filtering in Fourier space



$$H(u, v) = \frac{1}{1 + \left(\frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{R} \right)^{2k}}$$

$$R = 80$$

$$k = 0.5$$

כעת נעבור לפילטרים לא לינאריים

אחרי median filter

Image after applying median filter (without noise)



תמונה עם רעש גאוסיאני

Noisy image



סוג הפילטר

Median filter

אחרי median filter

Image after applying median filter (without noise)



תמונה עם "פלפל ומלח"

Noisy image



ניתן לראות כי median filter הרבה יותר טוב עובד עם רעש מסוג "פלפל ומלח" מכיוון שמשווה פקסלים שכנים והוא לא מורח את התמונה, הוא רק מחליף פקסלים בודדים בערך האמצעי "מוחשי" – ערך שבאמת קיים בתמונה ולא ערך מחושב ע"פ איזשהי נוסחא (בעצם באותו סגנון עובד גם "פלפל ומלח" עצמו)

Alpha trim filter אחרי

Image after applying trim median filter (without noise)



תמונה עם רעש גאוסיאני

Noisy image



סוג הפילטר

Alpha trim filter

$$\alpha - trim = \frac{1}{N^2 - 2T} \sum_{i=T+1}^{N^2-T} I_i$$

$$N = 3; T = 1$$

Alpha trim filter אחרי

Image after applying trim median filter (without noise)



תמונה עם "פלפל ומלח"

Noisy image



Alpha trim filter

$$\alpha - trim = \frac{1}{N^2 - 2T} \sum_{i=T+1}^{N^2-T} I_i$$

$$N = 3; T = 1$$

ניתן לראות כי פילטר מסוג alpha-trimmed mean עובד יותר טוב על תמונות עם רעש גאוסיאני ופחות טוב על תמונות עם רעש מסוג "פלפל ומלח" מכיוון שפילטר זה הוא משלב שתי שיטות mean filter & median filter שהוא ממצע את ערכים ואז הבדלים קטנים אבל עדיין נשארים גדולים. אם נקח את $T = 0$ אז נקבל פילטר ממוצע המקורי.

אחרי הפעלת הפילטר כ- 10 פעמים נקבל:

סוג הפילטר

Alpha trim filter

$$\alpha - trim = \frac{1}{N^2 - 2T} \sum_{i=T+1}^{N^2-T} I_i$$

$$N = 3; T = 1$$

תמונה עם רעש גאוסיאני



אחרי Alpha trim filter 10 פעמים



Alpha trim filter

$$\alpha - trim = \frac{1}{N^2 - 2T} \sum_{i=T+1}^{N^2-T} I_i$$

$$N = 3; T = 1$$

תמונה עם "פלפל ומלח"



אחרי Alpha trim filter 10 פעמים



הפעלת פילטר מסוג זה כ- 10 פעמים על התמונה עם רעש "פלפל ומלח" נותנת תמונה מרוחה. אם נשווה עם תמונה עם רעש גאוסיאני אז נראה כי הפעם קיבלנו בערך אותה תוצאה.

Weighted median filter אחרי

Image after applying trim median filter (without noise)



תמונה עם רעש גאוסיאני

Noisy image



סוג הפילטר

Weighted median filter

$$\begin{bmatrix} 1 & 3 & 1 \\ 3 & 5 & 3 \\ 1 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

Weighted median filter אחרי

Image after applying trim median filter (without noise)



תמונה עם "פלפל ומלח"

Noisy image



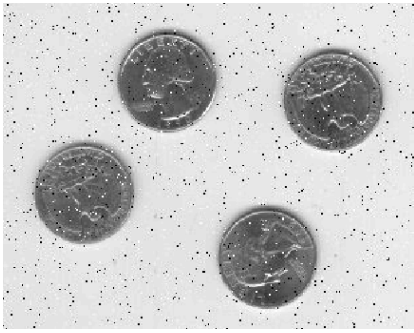
Weighted median filter

$$\begin{bmatrix} 1 & 3 & 1 \\ 3 & 5 & 3 \\ 1 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

פילטר עם משקלים מתמודד מצוין עם רעש מסוג "פלפל ומלח" ומנקה את תמונה לגמרי (כמו שדיברנו כבר על פילטר מסוג זה)

כמו שצפינו פילטרים לא לינארים מתמודדים הרבה יותר טוב עם ניקוי תמונה מרעשים. אבל כמובן אין שיטה שמתאימה לכל תמונה עם רעש מכל סוג, לכן נצטרך לבחון כל מקרה לגופו ולהחליט על בחירת פילטר מתאים.

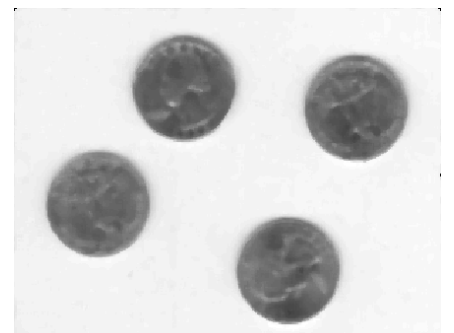
פילטרים לא לינאריים:



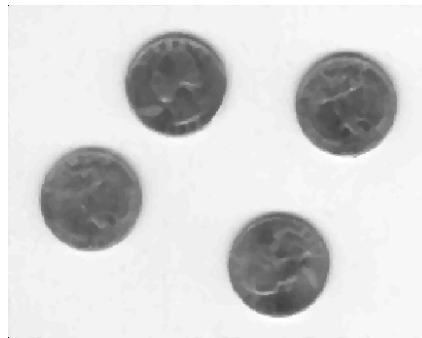
התמונה המקורית.



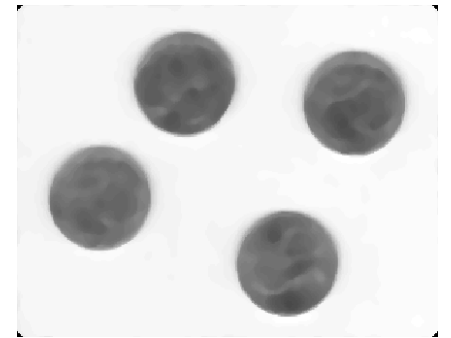
לאחר הפעלת חציון עם חלון 3*3



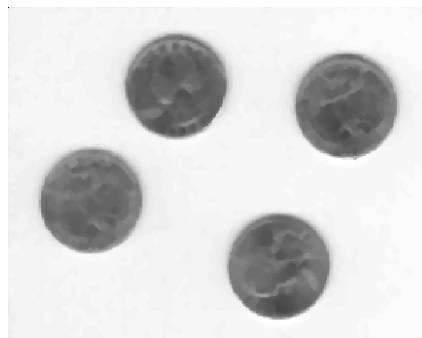
לאחר הפעלת חציון עם חלון 5*5



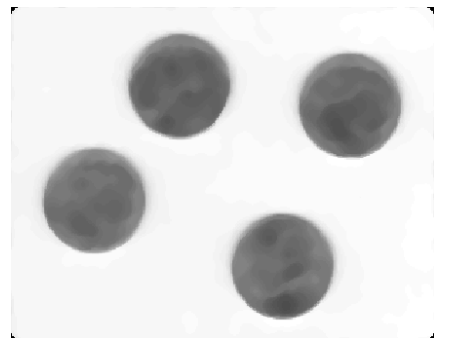
לאחר הפעלת חציון עם חלון 3*3 במשך 5 פעמים עוקבות



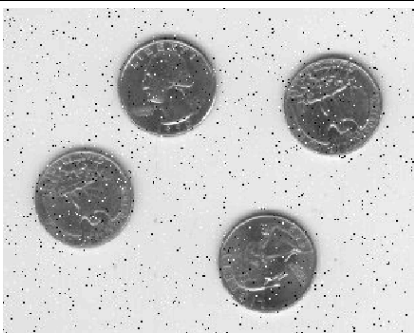
לאחר הפעלת חציון עם חלון 5*5 במשך 5 פעמים רצופות.



לאחר הפעלת חציון עם חלון 3*3 במשך 10 פעמים רצופות.



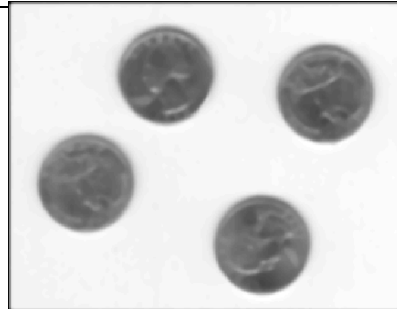
לאחר הפעלת חציון עם חלון 5*5 במשך 10 פעמים רצופות.



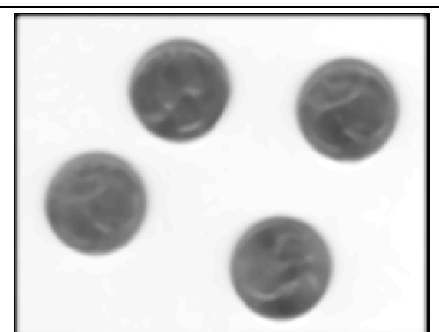
התמונה המקורית



לאחר הפעלת ALPHA TRIM עם t=2.



ALPHA TRIM 5 פעמים

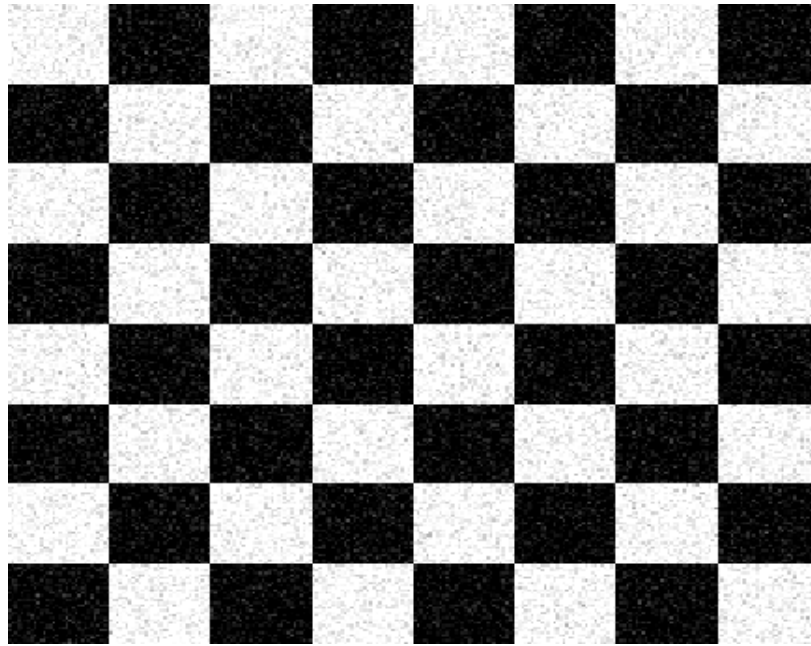


ALPHA TRIM 10 פעמים עוקבות.

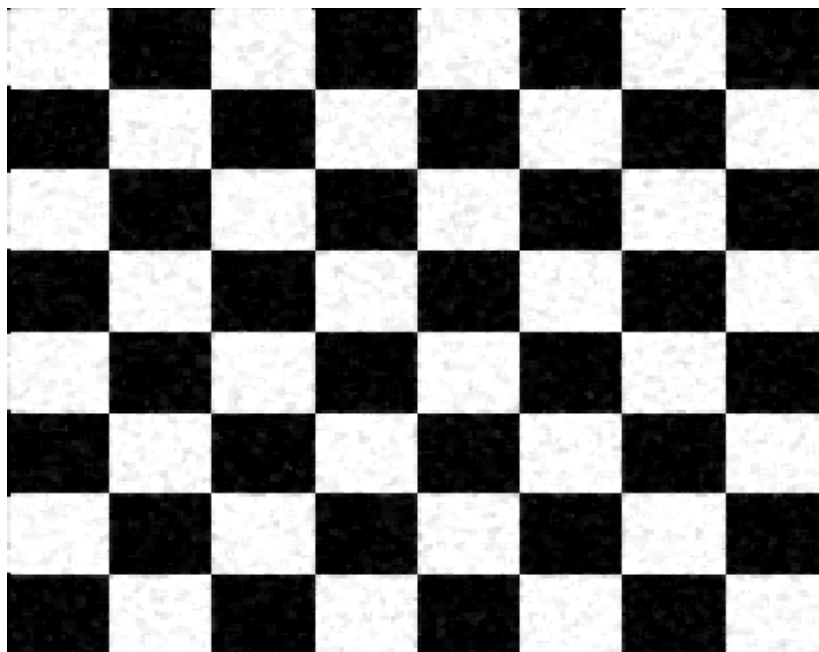
ניתן לראות שהחציון וה-ALPHA TRIM מורידים רעש של PEPPER & SALT בצורה מושלמת. אך כאשר מפעילים אותם כמה פעמים רצופות, נוצר מצב של טשטוש קצוות כבר, ולא ניתן להבחין בדמות ובכיתוב שעל המטבעות.

כמו כן, ככל שהחלון שבו מפעילים את החציון, גדול יותר (5×5 לעומת 3×3) – גם זה נראה כבר מטושטש יותר, המטבעות הופכים להיות סתם עיגולים אפורים, ולא ניתן להבחין במה שמצויר עליהם – זה קורה כבר לאחר 5 איטרציות בחלון של 5×5 בעוד שבחלון של 3×3 קורה רק לאחר 10 איטרציות.

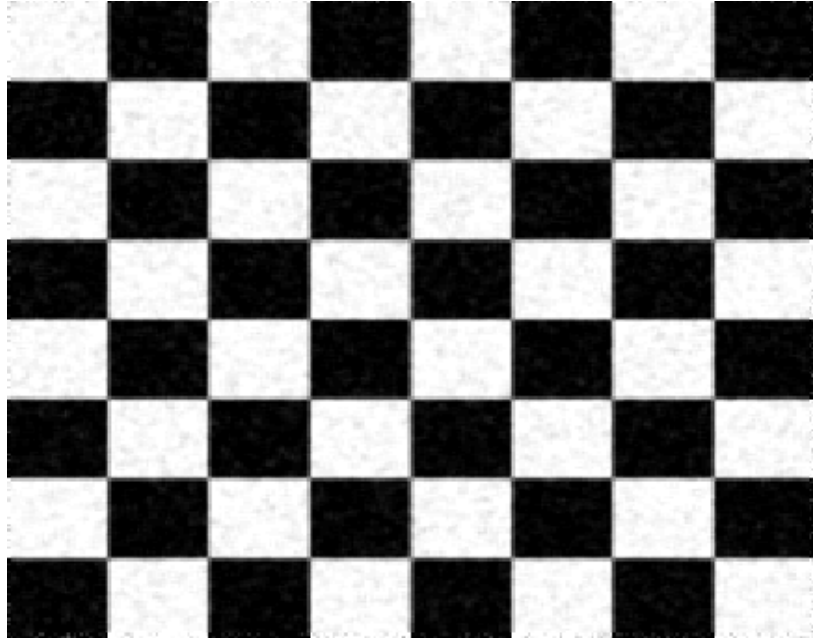
ניתן לראות שעבור רעש של גאוסיאן שני הפילטרים הנ"ל מטפלים פחות טוב מאשר מטפלים ב-PEPPRSALT.



תמונת השח לאחר הפעלת רעש גאוסיאן



התמונה לאחר הפעלת חציון (3×3)



לאחר הפעלת AT

ז"א עבור רעש "פלפל ומלח" הם מורידים ממש את כל הרעש, בעוד שעבור רעש גאוסיאני, לא מצליחים לטפל בכל הרעש.

נסתכל על פילטרים נוספים:

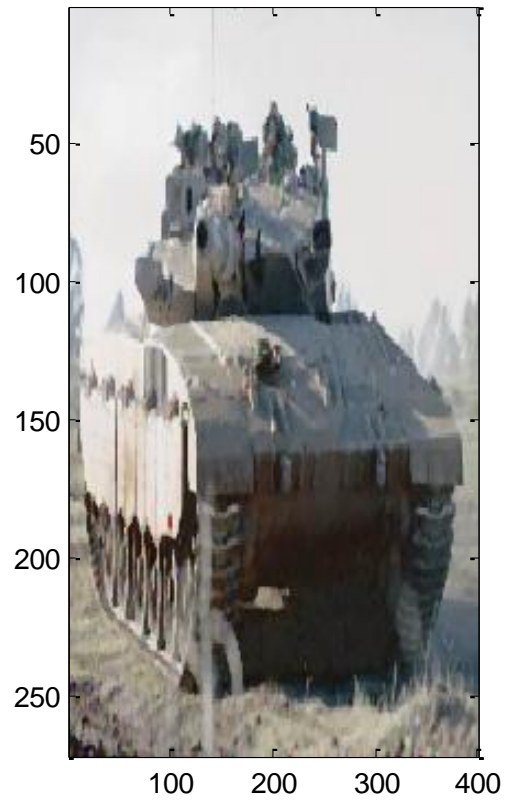
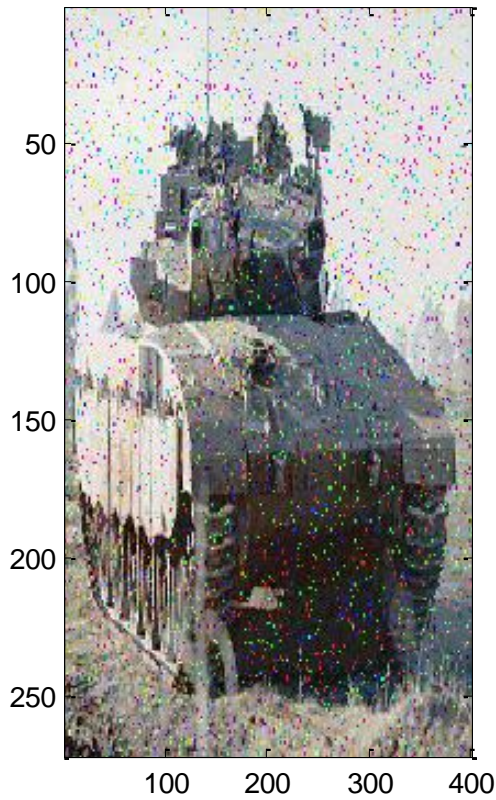


החציון עם המשקלים עובד טוב מאוד, מוריד את הרעשים, למעט אלה שבקצוות התמונה. ועדיין ניתן להבחין בפרטים ולא מטשטש קצוות.

פילטר KUWAHARA גם הוא מוריד את הרעשים, אך מכהה את התמונה כולה – ולכן משנה בה דברים.

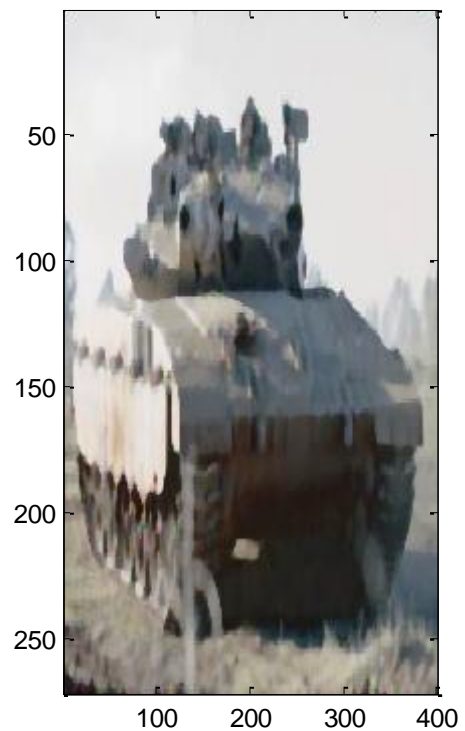
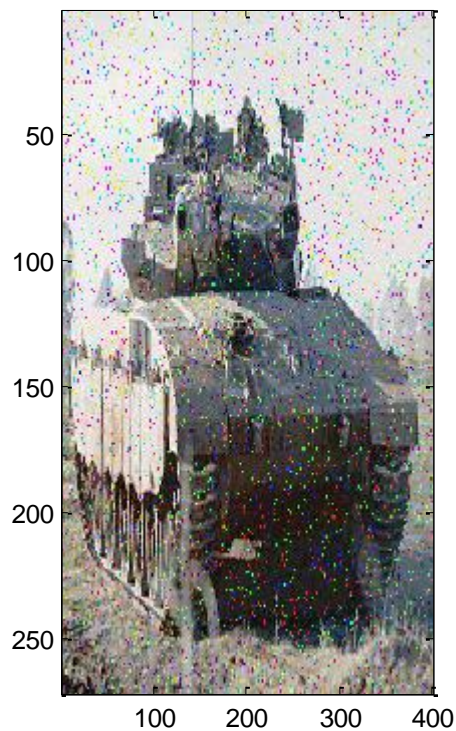
הפעלה על תמונות צבעים:

חציון עם חלון 3*3 המופעל על כל ערוץ צבע בנפרד:



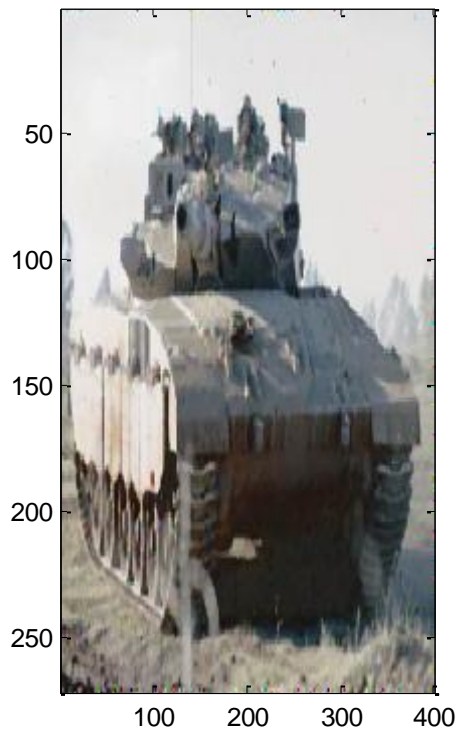
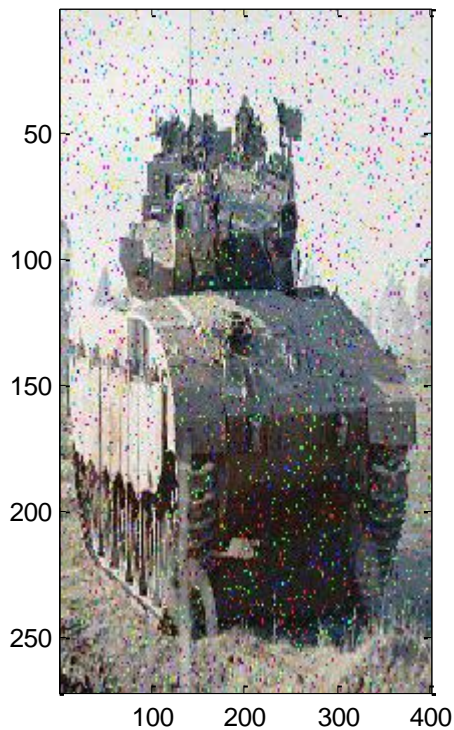
ניתן לראות מס' נקודות צבע שלא טופלו (יש נקודה אדומה בצדו של הטנק, ונקודות ירוקות בצריח ליד קסדות החיילים) אך באופן כללי פועל בצורה מאוד טובה. ומעלים את הרעש כמעט לגמרי.

חציון עם חלון 5*5 על כל צבע בנפרד:



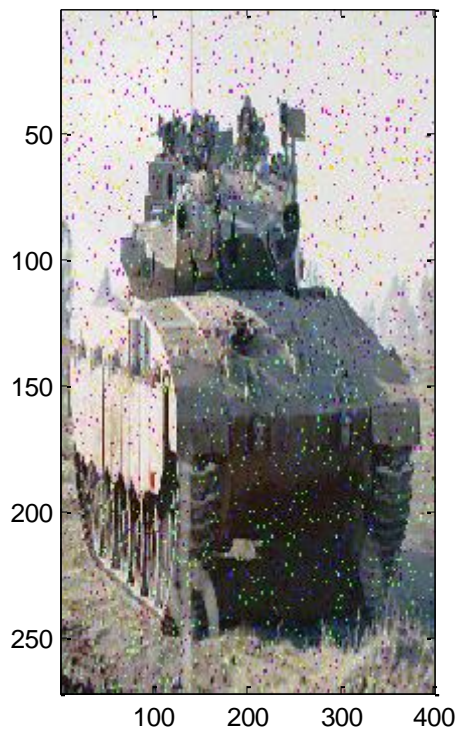
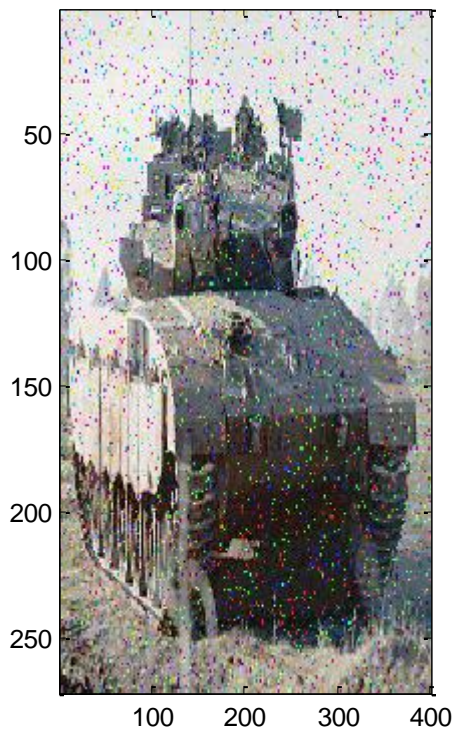
פה, מכיוון שהחלון גדול, כבר הופך להיות טשטוש של פרטים, קשה להבחין בפרטים ובחייילים על הצריח. ככל שנגדיל עוד את החלון עליו מחשבים את החציון, התמונה תהיה יותר מטושטשת. אך ישנם רעשים שלא יורדים בחלון קטן ולכן צריך חלון גדול יותר. (מצבורי רעש)

ALPHA TRIM על כל צבע בנפרד:



רוב הרעש יורד, חוץ מהרעש שבקצוות (למשל בתחתית התמונה) ולמעלה בשמיים – מעל ראשי החיילים.

נפעיל כרגע, למשל, חציון רק על הערוץ האדום:



Nonlocal Means

This is a filter proposed by Buades et al. in the paper “A non-local algorithm for Image denoising” which was published in 2005. Its a very simple filter which produces results that are still considered nearly state-of the art. Let us see how it compares to one of the frequency domain filters we have tried:

Original Image	Image with Gaussian noise
	
Nonlocal Means	Butterworth Filter
	

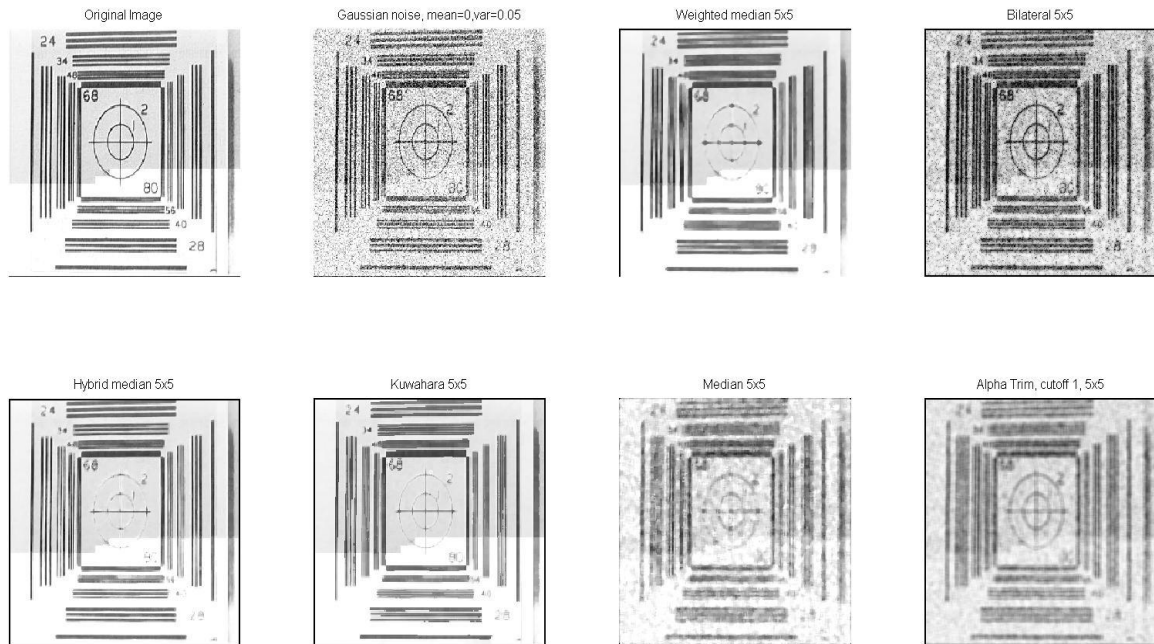
It can be seen that Nonlocal means produces a much more detailed image, thus mostly solving the high-

frequency information loss that the low-pass filters suffer from.

Color Images

The test done here is to compare a per-channel filtering of an RGB image to a filtering of only the Value channel of an HSV image. The filter being used is the Alpha Trim filter.

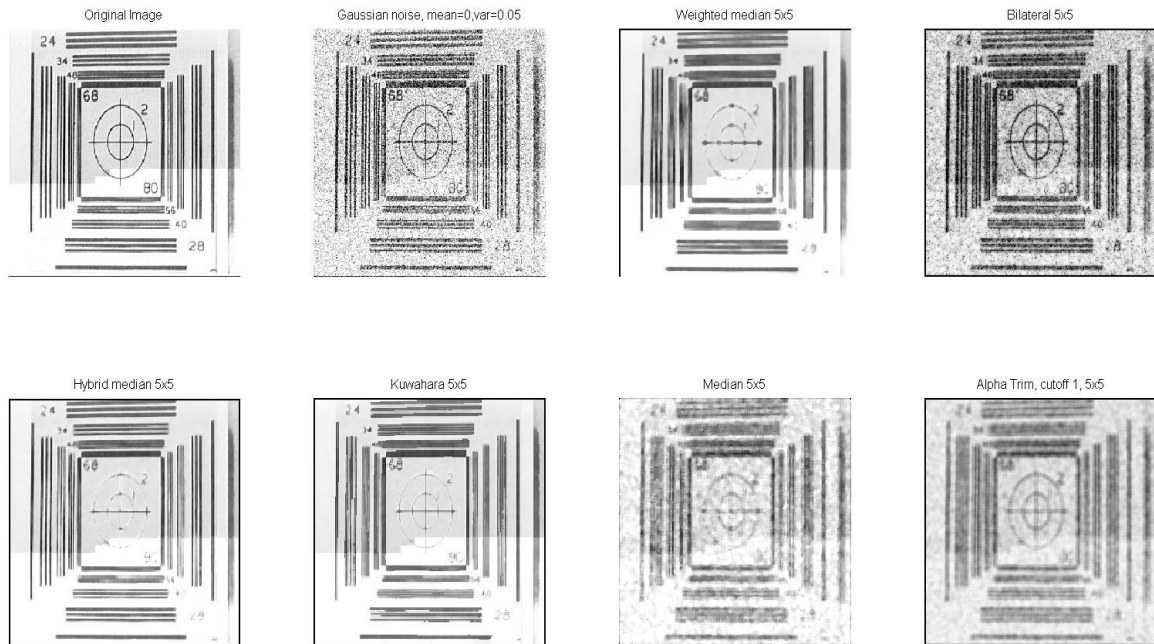
Original Image	Noisy Image
	
RGB Filtering	HSV Value Channel Filtering
	



מסקנות:

- ***Median filter***: לעומת האחרים נראה פחות טוב, הטישטוש גדול ולא מוריד את כל הרעש, מה שאפשר להגיד לזכותו זה מהירות הביצוע היחסית, שאר הפילטרים הם כבדים מאוד
- ***Alpha-trim filter***: יותר טוב במשהו מה-median, אך התמונה היא די מטושטשת. רעש יורד יותר מ-median אך עדיין נשאר.
- ***Bilateral filter***: שומר על קצוות יפה מאוד, אולי הכי טוב מבין כל הפילטרים, אך בנושא של רעש יש לאן להשתפר – הורדת רעש היא די גרועה
- ***Kuwahara filter***: מאוד דומה ל-hybrid median, הורדת רעש מצויינת, אין בכלל זכר לרעש. יש טישטוש קל של קצוות. פילטר מאוד כבד לביצוע ולכן הוא גם איטי
- ***Hybrid median***: כמו Kuwahara, הורדת רעש היא טובה ביותר, יש טישטוש קל. גם פילטר זה הוא כבד ואיטי
- ***Weighted median***: הורדת רעש היא טובה כמו של Kuwahara ו-Hybrid median, טישטוש הוא גדול יותר.

באופן כללי יש מגוון רחב של פילטרים, חלקם מורידים רעש בצורה טובה מעוד חלקם שומרים על קצוות, לפני שימוש בכ"א מהם יש לקחת בחשבון את היתרונות והחסרונות וגם מהירות הביצוע.



מסקנות:







- ***Median filter***: לעומת האחרים נראה פחות טוב, הטישטוש גדול ולא מוריד את כל הרעש, מה שאפשר להגיד לזכותו זה מהירות הביצוע היחסית, שאר הפילטרים הם כבדים מאוד
- ***Alpha-trim filter***: יותר טוב במשהו מה-median, אך התמונה היא די מטושטשת. רעש יורד יותר מ-median אך עדיין נשאר.
- ***Bilateral filter***: שומר על קצוות יפה מאוד, אולי הכי טוב מבין כל הפילטרים, אך בנושא של רעש יש לאן להשתפר – הורדת רעש היא די גרועה
- ***Kuwahara filter***: מאוד דומה ל-hybrid median, הורדת רעש מצויינת, אין בכלל זכר לרעש. יש טישטוש קל של קצוות. פילטר מאוד כבד לביצוע ולכן הוא גם איטי
- ***Hybrid median***: כמו Kuwahara, הורדת רעש היא טובה ביותר, יש טישטוש קל. גם פילטר זה הוא כבד ואיטי
- ***Weighted median***: הורדת רעש היא טובה כמו של Kuwahara ו-Hybrid median, טישטוש הוא גדול יותר.

באופן כללי יש מגוון רחב של פילטרים, חלקם מורידים רעש בצורה טובה מעוד חלקם שומרים על קצוות, לפני שימוש בכ"א מהם יש לקחת בחשבון את היתרונות והחסרונות וגם מהירות הביצוע.

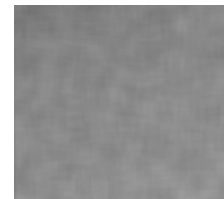
פילטר α -trim

יתרונו של פילטר זה הוא ביכולתו לסנן רעשים קיצוניים ולמצע את שאר האות. לכן, על פניו הוא יכול להתמודד גם עם רעש גאוסיאני וגם עם רעש מלח-פלפל.

נבחר חלון בגודל $7*7$ על מנת להתגבר בצורה טובה על הרעש הגאוסיאני. בחלון בגודל זה, נכנסים מספר פיקסלי מלח ופלפל שנדרש "לקצץ" (trim). בחירה בקיצוץ של 3 ערכים קיצוניים בכל חלון מניבה תוצאות טובות. זאת לעומת קיצוץ של ערך יחיד, אשר משאיר את רעש המלח והפלפל (אם כי מטושטש).

<p>חלון $7*7$ קיצוץ 3 ערכי קיצוץ – רעש גאוסיאני</p> <p>filtered (gaussian noise)</p>	<p>חלון $7*7$ קיצוץ ערך קיצוץ 1 – מלח פלפל</p> <p>filtered (salt & pepper)</p>	<p>חלון $7*7$ קיצוץ 3 ערכי קיצוץ – מלח פלפל</p> <p>filtered (salt & pepper)</p>
		
<p>[original pic - filtered pic] (gaussian noise). L2 Norm=39.7924</p>	<p>[original pic - filtered pic] (salt & pepper). L2 Norm=40.1501</p>	<p>[original pic - filtered pic] (salt & pepper). L2 Norm=38.8263</p>
		

כיוון שהמוצע הינו לא ממושקל, ניתן לראות כי ההתגברות על הרעש הגאוסיאני אינה טובה, ונוצר רעש נוסף ו-artifacts מהמיצוע של מספר רעשים סמוכים כמו בהגדלה להלן, הלקוחה מאזור חלק בתמונה המורעשת:



גם בפילטר של התמונה המקורית ניתן לראות artifacts כאלה, לדוגמה, בין שני הפסים על מכסה המנוע:

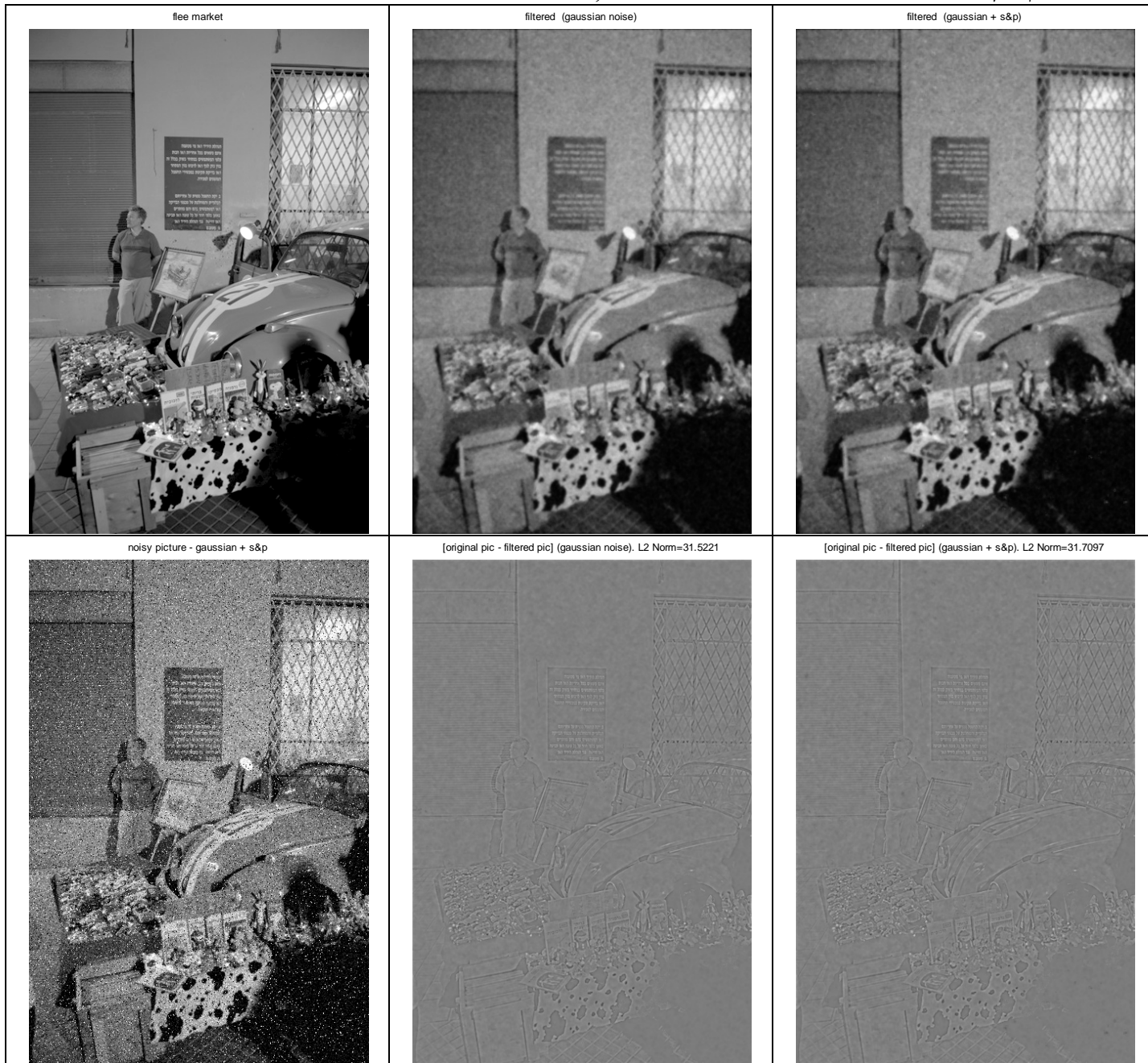


1	6	15	20	15	6	1
6	36	90	120	90	36	6
15	90	225	300	225	90	15
20	120	300	400	300	120	20
15	90	225	300	225	90	15
6	36	90	120	90	36	6
1	6	15	20	15	6	1

על מנת להתגבר על בעיה זו נפעיל את המיצוע באופן ממושקל. המשקלות יהיו (עבור חלון 7×7): /4096
ניתן לראות כי עבור התמונה הלא מורעשת, התוצאה השתפרה והוסרו ה-artifacts:



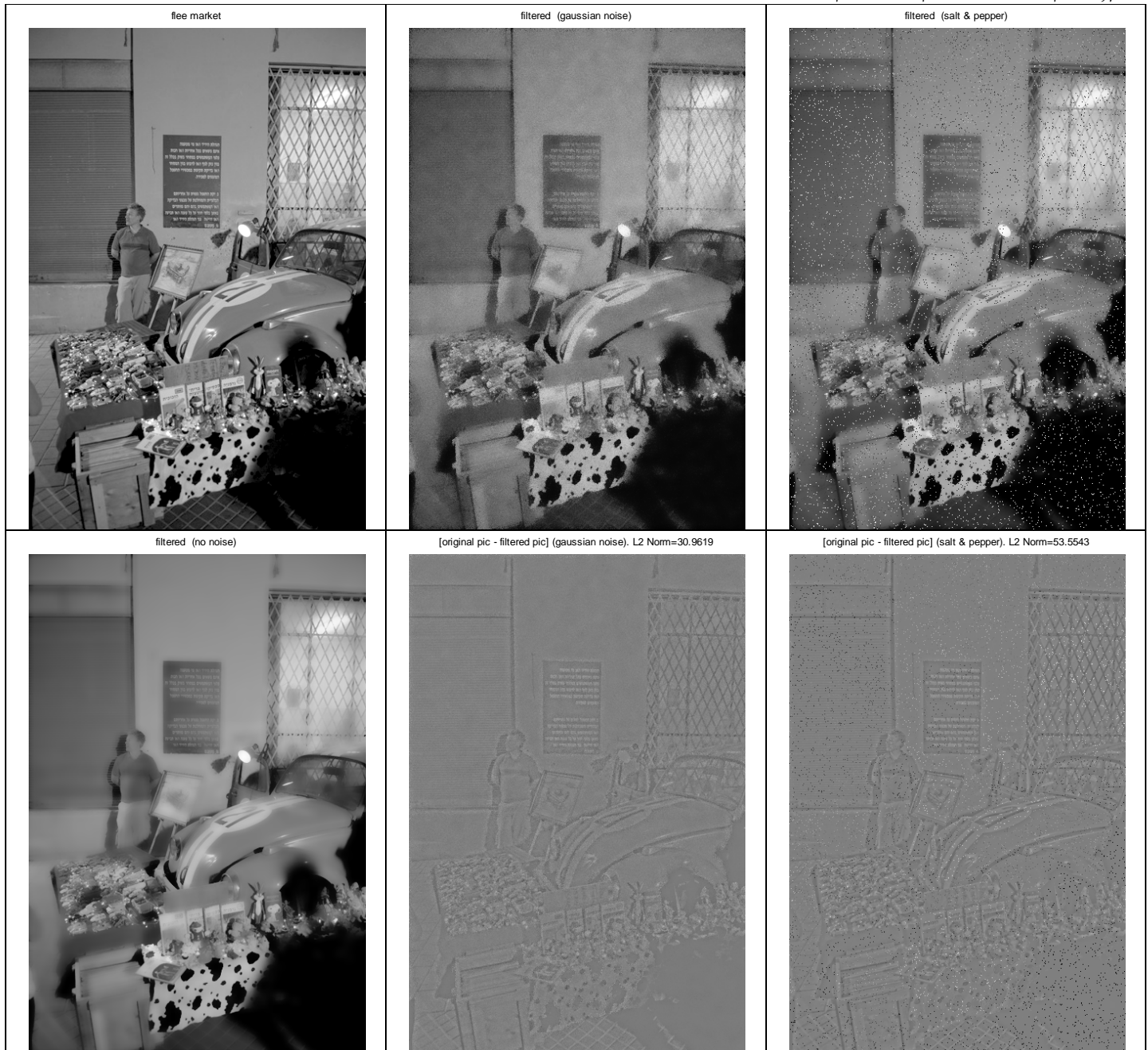
בתמונות המורעשות, ניתן לראות כי השימוש במשקולות הקטין את השגיאה עבור רעש גאוסיאני (39.8 ללא משקולות בעמוד הקודם, 31.5 עם משקולות כאן). ניתן לראות גם כי הפילטר מצליח להתמודד היטב עם תמונה הכוללת רעש גאוסיאני ומלח-פלפל. למעשה, השימוש ב-"קיצוץ" מצליח להביא את התמונה עם הרעש המשולב, לאותם התוצאות כמו עבור רעש גאוסיאני בלבד.



פילטר bilateral

נבחן הפעלת פילטר bilateral בעל $\sigma=7$ במרחב, ו- $\sigma=0.2$ בצבע.

ניתן לראות, כי הפילטר על התמונה המקורית מצליח לבצע טשטוש תוך כדי שמירה על קצוות חדים, זאת למרות ה- σ הגדולה במרחב. עדיין, קצוות שאינם חדים מיטשטשים (תווי הפנים של האיש, הציור והטקסטורות העדינות של הצעצועים). הדבר עוזר להפחית רעש גאוסיאני, אך אינו עוזר להתמודד עם מלח-פלפל. זאת כיוון שערכי הפיקסלים בהם יש מלח או פלפל רחוקים מערכי הפיקסלים סביבם. לכן, הפיקסלים סביבם מקבלים משקולות נמוכות ואינם משפיעים עליהם.



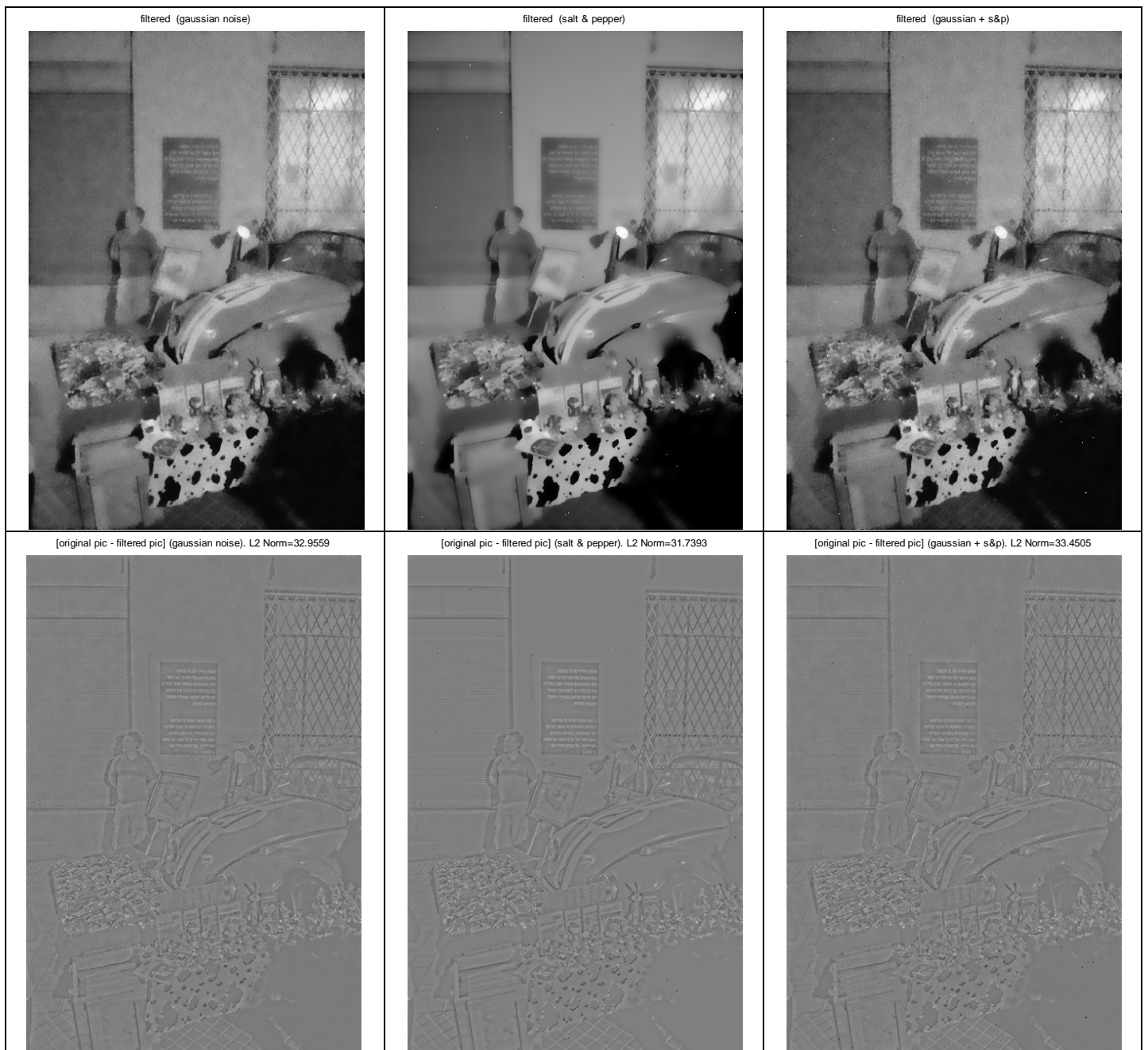
פילטר bilateral משופר

על מנת לשפר את ההתמודדות של פילטר bilateral עם רעש מלח-פלפל, נקצה את המשקולות עבור ערך רמת האפור, לא ע"פ מרחקם מהפיקסל המרכזי, אלא מרחקם מהחציון. במקרה זה נבחר חציון של סביבה קטנה יחסית – ארבעת הפיקסלים הצמודים לפיקסל המרכזי. הנוסחה עבור משקולות הערך $w_{k,n}^R$ (בהתאם לסימונים שהוצגו בכיתה) היא במקרה זה:

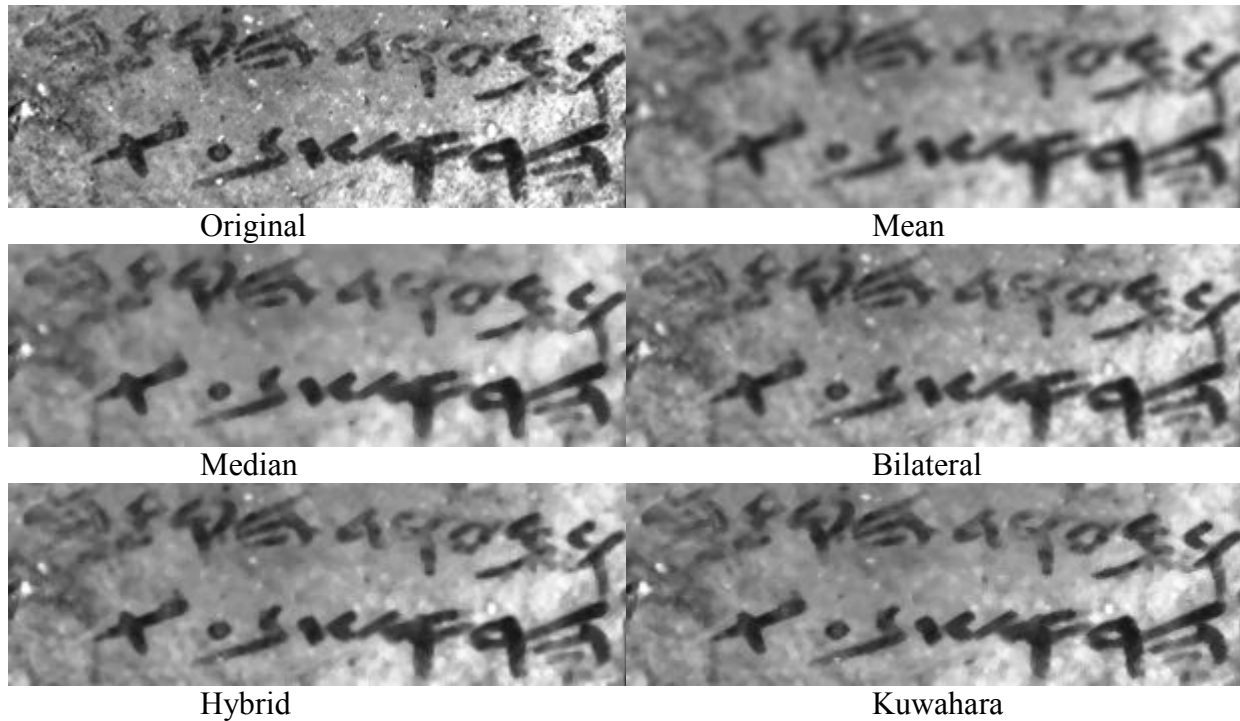
$$w_{k,n}^R = \exp\left(-\frac{\text{median}(\text{neighbours of } Y_k) - Y_{k-n}}{2\sigma^2}\right)$$

כפי שראינו, חציון של סביבה אינו מוטה מקיומם של רעשים קיצוניים ויחד עם זאת שומר על קצוות חדים בתמונה. לכן, שימוש במשקולות אלה יאפשר לתת משקל לסביבה של פיקסלי מלח/פלפל.

כפי שניתן להתרשם, שיפור זה מאפשר להפחית רעשים גאוסיינים ורעשי מלח פלפל, ונותן תוצאות טובות גם בתמונה מורעשת ברעש משולב.



Results:



We can see that except for the mean filter (which, as expected, produces a blurred image), all the median-based filters are roughly comparable. The Bilateral, Hybrid and Kuwahara Filters preserve more fine details than the standard Median Filter, yet it is difficult to judge between them. It is probably the case that out of these filters, the best one is Kuwahara, though by a very small margin.

Bottom lines:

- As expected, the Mean Filter produces a blurred image.
- The different median-based filters produce an image of better contrast (though still lacking behind the original!).
- The Kuwahara filter may be the best out of the median-based filters in this case, though judging and discriminating between their pros and cons is a very difficult task.