



הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל  
Technion – Israel Institute of Technology

## ספריות הטכניון

The Technion Libraries

בית הספר ללימודי מוסמכים ע"ש ארווין וויאן ג'ייקובס

Irwin and Joan Jacobs Graduate School

©

All rights reserved

*This work, in whole or in part, may not be copied (in any media), printed, translated, stored in a retrieval system, transmitted via the internet or other electronic means, except for "fair use" of brief quotations for academic instruction, criticism, or research purposes only.  
Commercial use of this material is completely prohibited.*

©

כל הזכויות שמורות

אין להעתיק (במדיה כלשהי), להדפיס, לתרגם, לאחסן במאגר מידע, להפיצו באינטרנט, חיבור זה או כל חלק ממנו, למעט "שימוש הוגן" בקטעים קצרים מן החיבור למטרות לימוד, הוראה, ביקורת או מחקר. שימוש מסחרי בחומר הכלול בחיבור זה אסור בהחלט.

algo מטרות נקודתיות באוטומ וידאו

חברו על מחקר  
לשם מלאי חלקו של הדרישות לקבלת התואר  
מגיסטר למדעים  
בהנדסת חשמל

מאת

אריאלה זעירא

787

הטכניון-כובו טכנולוגי לישראל  
הפקולטה להנדסת חשמל  
הפקולטה למדעי המחשב

ס פ ר י ה | 195502



000000051432

הוגש לפנוי הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל  
אלול תשמ"ד ח' י פ ה ספטמבר 1984

5.12.89

המחקר נעשה בהנחיית פרופ' דוד מלאר  
במעבדה לعبد אותם בפקולטה להנדסה חשמל

תודה העמוקה לפרופ' דוד מלאר על הנחייתו המועילה והמסורתה,  
ועל העידוד שנתן לי בכל שלבי המחקר.

כמו כן אני מודה למחנדס המעבדה מר יוזם אורחן,  
ולמחנדס התוכנה ציפי פורטנווי על עזרתם ותרומתם לפעולה שוטפת  
ותקינה של המעבדה.

תודה נתונה למשרד הבטחון על ייזום המחקר ומימון  
בתקופה אפריל 82 – מרץ 83.

הנני מודה למשרד הבטחון על מענק הלמוד,  
ועל האפשרות לקדם את נושא המחקר בטכניון במקביל לעבודתי.

**להורי תיקרים  
ולבעלי אלazz.**

## תוכן חנויות

---

1	תקציר . . . . .
3	רשימת סמלים וקצורים . . . . .
10	<b>פרק 1 : מבוא . . . . .</b>
19	<b>פרק 2 : תכונותאות הרקע . . . . .</b>
19	2.1.    תכונות זמניות וسطטיסטיות שלאות הרקע . . . . .
20	2.2.    ספקטורים ההשפק שלאות ה-clutter . . . . .
23	<b>פרק 3 : חסננים הלינאריים . . . . .</b>
23	3.1.    מנני WIENER . . . . .
24	3.1.1.    אזרת משוואות התכנון של מבן WIENER . . . . .
25	3.1.2.    תכנון מבן WIENER הפועל מבעדאות במערכתagaloi . . . . .
29	3.1.3.    חגבות התדר של מנני ה-WIENER . . . . .
31	3.2.    מסנן מתואמת בתנאי רעש צבוני . . . . .
31	3.3.    מסננים מעבירי אבוחים . . . . .
34	3.4.    מבנה SLM דטרמיניסטי . . . . .
37	<b>פרק 4 : אלגוריתם MSS: חילקה מדיאנית שלאות חכנית וחשתתאותה     חמולק מאות המקורי . . . . .</b>
38	4.1.    הادرת המנגן המדיאני . . . . .
39	4.2.    עבודות חשובות בנושא הסבון המדיאני . . . . .
40	4.3.    תכונות סטטיסטיות של המנגן המדיאני . . . . .
40	4.3.1.    דכו רושים . . . . .
42	4.3.2.    שזורה קצודות רזעים . . . . .
43	4.4.    תכונות דטרמיניסטיות של סבון מדיאני . . . . .
45	4.5.    תכונות אלגוריתם MSS . . . . .
46	4.6.    שיטת למומש סבון מדיאני וסבון מדיאני מקורב . . . . .
49	4.6.1.    סבון מדיאני ברמת הסיביות עם נשא . . . . .
51	4.6.2.    קדוד הסדרה באמצעות קוד GRAY . . . . .
52	<b>פרק 5 : הערכת בוצעי המעבדים באמצעות מודל של הרקע . . . . .</b>
52	5.1.    מבוא . . . . .
54	5.2.    חשיבות ההשתברויות על פי מודל אנליטי - המקרה הסטטיזוני . . . . .

## תוכן העניינים (המשך)

---

55	מנסנים לינאריים . . . . .	5.2.1
59	אלגוריתם ה-SSS . . . . .	5.2.2
67	חשיבות ההסתברויות על פי מודל אנלייטי - המקרה חלא טכטונרי.	5.3
69	הבזועים עפ"י מודל של אות הרקע בהשוואה לבזועים המשוערכים מהאותה המדודים . . . . .	5.4
70	שערון פרמטרי המודל מתוך אותן השמיים המדודים . . . . .	5.4.1
73	חשיבות ההסתברויות . . . . .	5.4.2
76	מצאות ההשוואה . . . . .	5.4.3
<b>פרק 6: הערכת הסתברויות באמצעות הפעלת מעבד אותן על אותן שמיים המדודים . . . . .</b>		
79	סימולציה מלאה של מערכתagaloi . . . . .	6.1
80	שערון באמצעות ההיסטוריה של תנועת השמיים המעובדת . . . . .	6.2
82	שערון הסתברותagaloi עבור מסנן לינאריאי . . . . .	6.2.1
83	שערון הסתברותagaloi עבור מעבד MSS . . . . .	6.2.2
86	מסקנות . . . . .	6.3
<b>פרק 7: בזועיהם של מעבדי אותן השוניים . . . . .</b>		
<b>7.1: הבזועים באזרוי ענקיים . . . . .</b>		
92	רוח העבודה של המנסנים הלינאריים באזרוי ענקיים . . . . .	7.1.1
93	בזועי מסנן ה-WIENER ומעבד MSS במלות גורם הקורלצייה של אותן ה-clutter . . . . .	7.1.2
95	בזועי מסנן ה-WIENER ומעבד MSS בתלות יחס הספק ה-clutter להספק המטרה . . . . .	7.1.3
97	הבזועים באזרוי שמיים כחולים . . . . .	7.2
97	רוח העבודה של מנסנים לינאריים שונים באזרוי שמיים כחולים . . . . .	7.2.1
99	עוקמי הסתברותagaloi בוגד ההיסטוריה להתראת שווא של מסנן WIENER ושל מעבד MSS הפעולים באזרוי שמיים כחולים . . . . .	7.2.2
99	בזועי המעבדים באזרויים מעורבים . . . . .	7.3
107	בזועי המעבדים על פי אותן הרקע המדודים . . . . .	7.4
107	בזועי המנסנים הלינאריים . . . . .	7.4.1
108	בזועי מעבד MSS בהשוואה לבזועי מסנן WIENER . . . . .	7.4.2
111	בזועי מעבד MSS המבצע סנון מדיאני ברמת השיביות . . . . .	7.4.3

## **חוכן העיניים (המשך)**

פרק 8: סכום ומקבוצות	112
נשפח א': שערור פונקציה האוטו-קורלצייה של ההפרעה	120
נשפח ב': חשוב התשברות לחדרת שוווא והשתברות האלווי עברו סוף ס' 2.	122
נשפח ג': הערצת פונקציה האוטו-קורלצייה של חילין clutter	129
רשימת מקורות	133

## חַקָּצִין

במחקר זה נבחנים בוצעי מעבדי את חד-מימדיים הפעויים במערכת פסיבית לאילו מטרות בקודתיות על רקע השמים. המערכת הפסיבית/aglovi מטרות בה הן דנים מבוססת על מערך אלאים הסורק את הרקע, ועל מעבדי את חד-מימדיים. מעבד האות חד מימי פועל בנפרד עלאות המופק מגלאי בודד, במטרה לשפר את יחס הספק המטרה להספק ההפרעה, ולאפשר גלוי ראשון של מטרות, תוך כדי בוצע הרזיקה.

המרכיב הדומיננטי באות ההפרעה הןאות הרקע. אותן הרקע איננו אחיד בתכונותיו הסטטיסטיות. אי האחדות בובעת מהעובדה שהרקע הנפרק כולל בדרך כלל אזורים השונים באופיים כגון: שמיים בחולים המוראים באופן אחד, או אזור עננים מוארי משמש כאשר עצמת ההארה באזורה אינה קבועה. המרכיב הדומיננטי באות ההפרעה באזורה עננים הן ה-*clutter*.

עצמתאות ה-*clutter* יכולה להיות גבוהה בסדרי גודל מ-sms ועש הרקע באזורה שמיים בחולים. עצמת מטרה אופיינית גדולה פי עשרה מ-sms ועש הרקע באזורה שמיים בחולים, והיא מיצגת באות הדגום על ידי דגימה בודדת.

מעבדי אותן אשר מקובל לשימוש בהם במערכות גלי מטוג זה הם המטנים הלינאריים הבאים: מסנן מעביר אבוחים, מסנן WIENER, ומסנן LMS דטרמיניסטי. במחקר זה נבחנים בוצעו של מעבד אותן לא לינארי, מעבד ה-SMS, בהשוואה לבוצע המטנים הלינאריים המקובלים.

מעבד ה-SMS מבצע סיכון מדיאני לאות הכבידה, ומחשיר אתאות המוחלך מן האות המקורי.

בחינת בוצעי מעבדי אותן השוניים בעשתה הן בניתוח מודל עיוני המתאר את רעש הרקע, זהן על ידי הפעלת מעבדי אותן על אותן רקע מודדים.

המודל העיוני הכללי המוצע בעבודה זו מייצג אתאות הרקע כסדרה של קטעים סטציונריים, כאשר כל קטע משתיין לתחלין אקראי אוטמי בעל ממוצע ופונקציה אוטוקורלציה נתוניות. השתרבותות האלי במערכת עם סף קבוע 2, והשתברות להתראות שווא, מחושבות בנפרד עבור כל תחلين, והשתברויות על פני אותן כלו, מחושבות בהנחה שנייתן להזניח את תרומה אזורי המעבר.

חשיבות ההסתברות להתראת שוווא והסתברות האלווי, עבור מטנן לינארית, בקטע סטציונרי, נעה בשיטות מקובלות וידועות. שיטה אלה אינה ישירה עבור מעבד MSS הלא לינארית.

במסגרת עבורה זו פותחה שיטה לחושב (T)PFA, ו-(T)PD עבור מעבד MSS.

לשם השוואת ביצועי המעבדים השובגים במחקר זה מיוצג אות הרקע על ידי סדרה של קטעים סטציונריים, כאשר כל קטע משתinx לאחד משני תהליכיים אקראיים גאוסיאניים - תהליך אקראי לבן המתאים לאזורי שמיטים כחולים, ותהליך אקראי צבעוני המתאים לאזורי עננים.

הכזוויות החזויות בהנחה מודל זה הושו לבזוויות המשוערכות באמצעות מעבד האות על אותן רקי מודדים. עבור מטנן WIENER התקבלה התאמה טובה למדוי, ועבור מעבד MSS התקבלה התאמה טובה מאד.

השיטה השרה לשערוך ההסתברויות מהויה למעשה שימושה של מערכת האלווי, ומחייבת זרימת מטרות בתמונה השמים המקורית. עבור המטננים הלינאריים קיימת שיטה יעילה ופושאה לשערוך ההסתברות לאלווי מטרה, זהה להסתברות להתראת שוווא, באמצעות היטוגרמיה של תמונה השמים המעובדת. במסגרת המחקר פותחה שיטה מקבילה, המתאימה למעבד MSS הלא לינארית.

המסקנות העיקריות אשר התקבלו מהשוואת ביצועי המעבדים השונים הן כדלקמן:

- א. ככל שగורם הקורלציה של אותן ה-clutter גובה יותר, ביצועי המעבדים שנבחנו (מטננים לינאריים ומעבד MSS) טובים יותר.
- ב. בתנאי clutter בעל גורם קורלציה גבוהה ( $0.96 \leq r \leq 1.0$ ) ביצועי מעבד MSS מסדר שלישי (עם חלון מדיאני באורך 3) טובים מבעדי מטנן WIENER.
- ב坦אי clutter בעל גורם קורלציה נמוך ( $0.90 < r < 0.96$ ), ביצועי מטנן WIENER טובים מבעדי מעבד MSS מסדר שלישי.
- ג. באזורי שמיטים כחולים ביצועי המעבדים שנבחנו טובים יותר מאשר באזורי עננים.
- ד. באזורי שמיטים כחולים ביצועי מטנן WIENER טובים מבעדי MSS מסדר שלישי.
- ה. באזוריים מעורבים, בהם ה-clutter הוא בעל גורם קורלציה גבוהה ( $0.96 \leq r \leq 1.0$ ) ביצועי מעבד MSS מסדר שלישי טובים מבעדי מטנן WIENER.
- ו. באזוריים מעורבים ביצועי מעבד MSS מסדר חמישי נחותים בהשוואה לבזוויות מטנן WIENER ובהתוואה לבזוויות מעבד MSS מסדר שלישי.

### רשימת סמלים

---

(m) - פונקציה האוטוקורלציה של מרכיב clutter באות ההפרעה  $A_{bb}$

(n) - פונקציה האוטוקורלציה של אות ההפרעה (n) (חדר-מידית)  $A_{ii}$

(j) - פונקציה האוטוקורלציה המשווערת של אות ההפרעה (n) (חדר-מידית)  $\hat{A}_{ii}^{(j)}$

(j) - פונקציה האוטוקורלציה הזמןית של אות ההפרעה (n) (חדר-מידית)  $A_{ii}^{(j)}$

(j) - מעין פונקציה אוטוקורלציה זמנית המוחשבת על פני תמונה לא סטטוגרפית (פונקציה חדר-מידית)  $\tilde{A}_i^{(j)}$

a - עוצמת המטרה

b - מרכיב clutter באות ההפרעה  $b(n)$

$\{b_i^n\}_{i=1}^L$  - ייצוג בינארי בן L סיביות של האבר ה-n בסדרה

$b_n$  - מקדמי הפולינום המיצג את אות ההפרעה במבנה SLM דטרמיניסטי

$c_{\gamma \delta}$  - הקבועים של פונקציה צפיפות הסתברות המוכפלת מטר  $\gamma$

D - יחס הספק clutter להספק ההפרעה באוצר שמים כחולים

$\hat{D}$  - המשער של D

$D_c$  - עומק הנשא בסנוון מדיאני ברמת הסיביות

(n) d - אות הרצוי במבנה WIENER

E - השגיאה רבובית הממוצעת במבנה WIENER

(n) e - אות השגיאה הרגעית במבנה WIENER

F - יחס הספק המטרה להספק ההפרעה באוצר שמים כחולים

$F(t_0)$  - השגיאה הממוצעת במבנה SLM דטרמיניסטי אנלוגי

$F_y(y)$  - פונקציה פלוג הסתברות של אות הייצאה ממעבד האות, (n) y

$F_{y|H_0}$  - פונקציה פלוג הסתברות של הדגם ה-n של אות הייצאה ממעבד האות, בהנחה שבדגם ה-n לא מופיעה מטרה ( $\Delta$  השהייה המעבד)

### רשימת סמנים (המשך)

- $F_{y|H_1}$  - פונקציית פלוג ההסתברות של הדגם ה- $\Delta$  של אות היציאה ממעבד האות, בהנחה שבדגם  $\Delta$ -ה מופיעה מטרה ( $\Delta$  השהייה המעבד)
- $f_a$  - פונקציית צפיפות ההסתברות של ערכי עוצמת המטרה
- $f_c$  - תדריות הקטעון של מסנן מעביר אבויים
- $f_k^{M(\alpha)}$  - פונקציית צפיפות ההסתברות של  $(\alpha)$
- $f_s$  - תדר הדגימות במערכת
- $f_y$  - פונקציית צפיפות ההסתברות של אות היציאה ממעבד האות,  $(\alpha)$
- $f_{y_a}$  - פונקציית צפיפות ההסתברות של ערכי עוצמת המטרה ביציאה ממעבד האות
- $f_{y_0}$  - פונקציית צפיפות ההסתברות של אות היציאה ממעבד האות כאשר בחלון הזמן כולל לא מופיעה מטרה
- $f_{y_1}$  - פונקציית צפיפות ההסתברות של אות היציאה ממעבד האות, כאשר אך ורק בדגם המרכזי בחלון הזמן מופיעה מטרה
- $f_{y|H_0}$  - פונקציית צפיפות ההסתברות של הדגם ה- $\Delta$  ביציאת מעבד האות, כאשר בדגם  $\Delta$ -ה לא מופיעה מטרה ( $\Delta$  השהייה המסלן)
- $f_{y|H_1}$  - פונקציית צפיפות ההסתברות של הדגם ה- $\Delta$  ביציאת מעבד האות כאשר בדגם  $\Delta$ -ה מופיעה מטרה ( $\Delta$ : השהייה המסלן)
- $\{\hat{f}_y(\ell)\}_{\ell=1}^L$  - היסטוגרמה של ערכי האות  $(\alpha)$
- $\{\hat{f}_{y_0}(\ell)\}_{\ell=1}^L$  - היסטוגרמה של ערכי האות  $(\alpha)_0$
- $\{\hat{f}_{y_1}(\ell)\}_{\ell=1}^L$  - היסטוגרמה של ערכי האות  $(\alpha)_1$
- $f_{\alpha_1 \alpha_2}^{(\alpha_1, \alpha_2)}$  - פונקציית צפיפות הסתברות אוטומטית דו-מימדית
- $f_{\alpha}^{(\alpha)}$  - פונקציית צפיפות הסתברות אוטומטית רב-מימדית
- $H_0$  - השערת האפס: אין מטרה בדגם ה- $\Delta$  של אות הכנישה
- $H_1$  - ההשערה כי קיימת מטרה בדגם ה- $\Delta$  של אות הכנישה
- ה - ההפרש בין שתי הרמות של אות קצה אידאלי

**רשימת סמלים (המשך)**

$a_t$  - חגורת ההלם של מנגן LMS דטרמייניסטי

(n)i - אות ההפרעה

>(n)i < - ממוצע זמני של אות ההפרעה

(n)is - אות ההפרעה באוצר שמות כחולים

(n)cd - אות ההפרעה באוצר עכניים

C - מספר התהליכיים האקראיים הסטציוונרים השונים באות ההפרעה

Cg - מספר השורות בתמונה השמיים

{(n)j} - סדרת הפרשיות הנגזרת מאות ההפרעה (n)i

$M(n)_k$  - האבר ה-M בסדרה המתקבלת מסדר  $\{(n)_j\}$  בטדר עוליה

m - הערך בו מתאפשרת לראשונה פונקציית האוטוקורלציה של התהליכיים המרקבוי

A - אורך חלון הסגנון של מעבד אותות

$c$  - מספר הדגימות בשורה של תמונה השמיים

$v$  - מספר הדגימות המשתתפות בשערוך השינויים

K - וקטור הקיטוע קורלציה בין אות הכניסה למנגן WIENER לבין האות הרצוי

PG - רוחם העבודה של מנגן לינארי

PD(T) - התקשורת האגלי במערכת עם סף T

$PD_{bs}(T)$  - התקשורת האגלי במערכת עם סף T הפעלה באוצר שמות כחולים

$PD_{cd}(T)$  - התקשורת האגלי במערכת עם סף T במערכת הפעלה באוצר עכניים

$PD_j(T)$  - התקשורת האגלי במערכת עם סף T הפעלה על אות כניסה שהוא חלק מהתהליכיים האקראיים ה- $j$  מבין C תהליכיים אקראיים

$\hat{PD}(T)$  - התקשורת האגלי המשוערת במערכת עם סף T

PFA(T) - התקשורת להתראה שווה במערכת עם סף T

### רשימת סמלים (המשך)

---

$PFA_{bs}(T)$  - הסתברות להתראת שווה במערכת עם ספְּ T הפעלת באוצר עננים כחולים

$PFA_{cd}(T)$  - הסתברות להתראת שווה במערכת עם ספְּ T הפעלת באוצר עננים  
 $PFA^j(T)$  - הסתברות להתראת שווה במערכת עם ספְּ T הפעלת על אות כניסה שהוא חלק מהתליך האקראי ה- $j$ , מבין  $J$  תהליכים אקראים

$\hat{P}FA(T)$  - הסתברות המשוערת להתראת שווה במערכת גלויה עם ספְּ T

$Q$  - המטריצה ההופכית למטריצת האוטוקורלציה של אות הכניסה

למבחן WIENER

$q$  - החלק היחסי של אזרוי העננים באות הרקע (או בתמונה השמימה)

$q_b$  - החלק היחסי של הדגימות באות הפרעה לא טזיזוני המשתייכות לתהליך האקראי ה- $j$

$R$  - מטריצת הקו-ווריאנס בפונקציית הצפיפות האoSית הרב-מימדית

$R_{bb}(\ell, j)$  - פונקציית האוטוקורלציה של אות ה- clutter (דו-מימדית)

$R_{ii}$  - מטריצת האוטוקורלציה של אות הפרעה

$R_{ii}(\ell, \ell)$  - פונקציית האוטוקורלציה של אות הפרעה (דו-מימדית)

$\hat{R}_{ii}(\ell, \ell)$  - פונקציית האוטוקורלציה המשוערת של אות הפרעה (דו-מימדית)

$R_{xx}$  - מטריצת האוטוקורלציה של האות  $(h)x$  (אות בכיבישת מעבד האות)

$R_{xx}^i(n, m)$  - פונקציית האוטוקורלציה הדמנית של האות  $(h)x$  (דו-מימדית)

$R_{xd}^i(n, m)$  - פונקציית האוטוקורלציה הדמנית בין אות הכניסה למבחן WIENER  
 $(h)x$ , לבין האות הרצוי,  $(h)d$

$r$  - גורם הקורלציה בפונקציית צפיפות אoSית דו-מימדית

$(n)r$  - מרכיב הרעש הלבן באות הפרעה

$S$  - הייצוג הווקטורי של דגימות אות המטרה

$S_j(\omega)$  - ספקטרום ההספק של אות הפרעה

רשימת סמלגים (המשך)

$S_1$  - קבוצת האיברים בווקטור  $\alpha$  המקיימים  $T_{\alpha} \geq T$

$S_1$  - קבוצת האיברים בווקטור  $\alpha$  המקיימים  $\alpha > T - a$

$S_2$  - קבוצת האיברים בווקטור  $\alpha$  המקיימים  $T_{\alpha} < T$

$S_2$  - קבוצת האיברים בווקטור  $\alpha$  המקיימים  $a < T - \alpha$

$SIR_{out}$  - יחס הספק המטרה להספק ההפרעה ביציאת מעבד האות

$SIR_{in}$  - יחס הספק המטרה להספק ההפרעה בכניסית מעבד האות

$s(t)$  - אות המטרה

$D$  - ערך הסף במערכתagal

$D$  - הסף במערכת galoi המשלבת שני ספים

$D_a$  - הסף המתחgal במערכת galoi המשלבת שני ספים

$D_p$  - משך הזמן בוagaloi חולף על פני מטרה נקודתית

$D_f$  - הסף הקבוע במערכת galoi המשלבת שני ספים

$(n)_t$  - האבר ה- $t$  בגודלו בסדרה באורן  $N$

$(t)_v$  - אות הצפוי במנון LMS דטרמיניסטי אנלוגי

$w$  - ווקטור מקדמי המנגן הלינארי

$e^{j\omega}w$  - תגובת התדר של המנגן הלינארי

$w(k)$  - המקדם ה- $k$  של המנגן הלינארי

$(n)_x$  - אות הבנייטה למעבד אות הספרתי

$|H_0|$   $x$  - דגם אות הבנייטה למעבד האות, כאשר בדגם זה לא מופיעה מטרה

$|H_1|$   $x$  - דגם אות הבנייטה למעבד האות כאשר בדגם זה מופיעה מטרה

$(t)_x$  - אות הבנייטה למעבד אות אנלוגי

$(t)_y$  - אות הייצאה ממעבד אות הספרתי

$|H_0|$   $y$  - הדגם ה- $y$  של אות הייצאה ממעבד האות, כאשר בדגם  $y$  לא

מופיעה מטרה ( $\Delta$  השהייה מעבד האות)

**רשימת סמלים (המשך)**

---

$H_1$  (n)γ - הדגם ה- $\gamma$  של אות הייציאה ממעבדאות, כאשר בדגם ה- $\Delta-\Delta$  מופיעה מטרה

(n)γ₀ - הדגם ה- $\gamma$  של אות הייציאה ממעבדאות, כאשר בחלון הסנוון כולם לא מופיעות מטרות

(n)γ₁ - הדגם ה- $\gamma$  של אות הייציאה ממעבדאות, כאשר רק בדגם המרכז' בחלון הסנוון מופיעות מטרות

(n)z - אות הייציאה ממסנן החלקה

z - המדיאן ברמת הטיביות של סדרה נתונה

α - הפרמטר על-פיו מתבצעת בחירת הספ במערכת גלו依 בעלה שניי ספריט

β - פרמטר המדיירות בפונקציית האוטוקורלציה של תהליך אקראי מركובי

β̂ - פרמטר התדריות המשוער בפונקציית האוטוקורלציה של תהליך אקראי מركובי

ζ - סדר פונקציית ציפויות התסתברות המוכללת

Δ - השהיית מעבדאות

ζ̂ - המוצע המשוער של אות הייציאה ממעבדאות

$b_{\mu}$  - מוצע אות  $h$ -clutter

$b_{\mu}$  - מוצע אות ההפרעה

$y_0$  - מוצע אות הייציאה ממעבדאות, כאשר לא מופיעות מטרות

ρ - גורם הקורלציה בפונקציית האוטוקורלציה של תהליך המركובי

ρ̂ - גורם הקורלציה המשוער בפונקציית האוטוקורלציה של תהליך מרקובי

σ - טויהת התקן (שורש השונות)

$b_{\sigma}$  - טויהת התקן של אות  $h$ -clutter

$b_{\sigma^2}$  - השונות המשוערת של אות  $h$ -clutter

$\sigma$  - טויהת התקן של אות ההפרעה

$r_{\sigma}$  - טויהת התקן של מרכיב הרעש הלבן באות ההפרעה ((n)r)

### רשימת סמלונים (המשך)

---

- $\sigma_r^2$  - השונות המשוערת של מרכיב הרעש הלבן באות ההפרעה
- $\sigma_x^2$  - סטיית התקן של אות הבנייה למבוד האות, (ח)א
- $\sigma_y^2$  - סטיית התקן של אות היציאה ממובד האות, (ח)ב
- $\sigma_y^2$  - השונות המשוערת של אות היציאה ממובד האות
- $\sigma_{y_0}^2$  - סטיית התקן של אות היציאה ממובד האות כאשר אין מטרה
- $\sigma_z^2$  - שונות אות היציאה ממבחן מדיאובי
- $\omega$  - תדר זווית
- $\omega_0$  - תדרות הברך של ספקטרום ההספק של אות ההפרעה
- $\omega_c$  - תדרות הקטוען הזוויתית של מסנן מעביר גבויים

### קצורים

---

Constant False Alarm Rate	- CFAR
Least Mean Square	- LMS
Maximum Likelihood	- ML
Mean Square Error	- MSE
Median Smoothing & Subtraction	- MSS
Mean Weighted Square Error	- MWSE
Processing Gain	- PG
Root Mean Square	- RMS
Signal to Interference Ratio	- SIR

## פרק 1 : מבוא

---

- מחקר זה עוסק בגלוי מטרות המופיעות על רקע שמיים, מתוך אותות ו/או המופקים על-ידי מערכת פסיבי של גלאים, הסורק את הרקיע. מערכת גלויה פסיבית אופיינית המורשת בטכניקות ספרתיות כוללת את ארבעת המרכיבים הבאים:
- א. מערכת גלאים הנורק איזור מסוים ברקיע ומתרמיר את השינויים המרחביים לאוותות חשליליות. השינויים המרחביים נגזרים הן על-ידי השינויות הרקע באזורי הנורק, והן על-ידי הופעת מטרה באזורי זה.
  - ב. מתMRI D/A המתמיר את האותות האנלוגיים המופקים על-ידי הגלאים לאותות ספרתיים.
  - ג. מעבד אשר נועד לשפר יחס אות המטרה לאות ההפרעה. אות ההפרעה היבנו האות המתתקבל כאשר הגלאי (או מערכת הגלאים) סורק איזור שמיים ללא מטרות. אות ההפרעה כולל את סוגי הרעשים הבאים: רעש הגלאים, רעש המוגלים האלקטרוניים, ורעש הרקע.
  - ד. מעבד ספר.

מטרת מחקר זה היא לבחון ולהשווות בוצעו מעבדי אות חד מימדיים לגלויה מטרות נקודתיות על רקע השמיים.

מטרה נקודתית היא מטרה אשר ממידה קטנים או שווים למימי שדה הראייה של גלאי בודד.  $T_d$  (Tdwell) הינו משך הזמן בו הגלאי חולף על-פני קטע אשר אורכו כימייד שדה הראייה בכיוון הסריקה. מחקר זה עוסק במערכת גלויה אשר קצב הדגימה הוא  $C/T_d$  (one sample per dwell), ואשר ההצעה על גלויה מטרה צריכה להעשה תוך כדי בוצעו הטריקה (detect while scan).

משמעות הדרישת לגלויה תוך כדי בוצעו הטריקה היא שההשיה מרגע הופעת המטרה עד להצורה על קיומה צריכה להיות בסדר גודל של דגימות אחדות.

אות ההפרעה (אות הרקע) אינו סטציונרי. אי הסטציונריות נובעת מהעובדת שהרקע הנורק כולל בדרך כלל אזורים השונים באופיים, כגון: שמיים כחולים מוארים באופן אחד או איזור עננים מואר שמש אשר עצמת ההארה (radiance) על-פני הארץ אינה קבועה.אות ההפרעה המתתקבל כאשר הרקע הנורק הוא איזור עננים מקובל לקרוא clutter.

בבית גלויה מטרות על רקע ה-clutter היא בעיה קשה, שכן השינויים המקומיים באוט ה-clutter הם בסדר גודל של השינוי הנגרם מהופעת מטרה, ולעתים אף גדולים יותר.

קושי נוסף בבעית האלווי נובע מהדרישה כי קצב התראות השווא יהיה קבוע בכל סוגי האזוריים הנדרקים (CFAR). אם כתואמת מההבדלים באופי האזוריים השונים, שוננות אותה הייצאה ממעבד האות שוננה לפחות לאזרור הרוי שבמערכת גלווי עם סף קבוע קצב התראות השווא השתנה אף הוא לפחות לאזרור.

תפקיד מעבד הסף הפועל על אותה הייצאה ממעבד האות הוא לקבוע סף מתחgal, המבטיח קצב התראות שווה קבוע בכל האזוריים.

בסעיף 1.1 נסקור בקצרה עבודות הבוחנות מעבדי אותן שוניות עבור מערכות גלווי דומות, בסעיף 1.2 נתאר מעבדי סף מקובלים במערכות מסווג זה, ובסעיף 1.3 יתואר המבנה של חברו זה.

#### 1.1 מעבדי אותן במערכות פסיביות לalgoי מטרות נקודתיות

מעבדי אותן אשר מקובל לשימוש בהם במערכות פסיביות לalgoי מטרות נקודתיות על רקע השימושם הם מנגנים ליניאריים קבועים בזמן, ומנגנים ליניאריים מתחgalים.

ב-[1] נבחנו בצוויי מסנן WIENER ומסגנת מתואמת (בתנאי רעש צבעוני) ספרתיים דו-ממדיים עבור מערכת פסיבית לalgoי מטרות נקודתיות. העבודה

ב-[1] בוצעה עבור מערכת גלווי אשר קצב הדגימה בה הוא C-P/1 (one sample per dwell), ולפיכך מערה נקודתית מיוצגת באותו על ידי דגימה בודדת. בצוויי מנגנים אלה נבחנו בהנחה שכינון לייצא את אותן ההפרעה באמצעות תהליך מרקובי דו-ממדי מסדר ראשון וסדר שני, בעל ממוצע אפס ופלוג אוציא.

בצוויי מנגנים אלה נבדקו על-פי המדרדים הבאים: רוחח-העובד (gain processing) והסתברות האלווי עבור ערך נתון של קצב התראות שווה.

רוחח העובד מוגדר כמגה של יחס הספק אותן להספק הפרעה ביציאת המשן ושל יחס זה בכניותו. הן לגבי מסנן WIENER והן לגבי המסגנת המתואמת בתנאי רעש צבעוני, התקבל כי רוחח העובד תלוי בצורה חזקה ביותר בגורם הקורלציה של מודל אותן ההפרעה. ככל שהקורסילציה גבוהה יותר מושג רוחח עובד גבוה יותר.

כמו כן התקבל כי בצוויי מסנן WIENER ומסגנת המתואמת בתנאי רעש צבעוני הן מבחינות הסתברות האלווי עבור ערך נתון של התראות שווה, והן מבחינות רוחח העובד כמעט דמיון. תוצאה זאת התקבלה עבור מערכות גלווי

בזה מטרת נקודתית מיוצגת על ידי דגימה בודדת. להערכת ממצאי המבחן לעיל, בוצעו המבנה המתואמת יהיו טובים ממצויי מסנן WIENER, במערכות אלו ביחס המטרת מיוצגת על ידי דגימות אחדות.

חרונם הבולט של מסנן WIENER והמבנה המתואמת בתנאי רוש צבעוני הוא בכך שתכונות מחיבב ידיעה אפריאורי של ספקטורים ההשפע של אורת הפעעה. בעיות אלו מטרות על רקע העמידה, ספקטורים ההפעעה אינם ידוע ומשתנה ברוחב. במספר מאמרם ודוחות [5,4,3,2] הוצע לשימוש במסנן ה-LMS הדטרמיניסטי במאובט האות במערכת הגלוי הפסיבית. מכון זה אינו דורש הגדרה מדויקת של ספקטורים ההפעעה, אלא רק הגדרת אותה המטרת.

מכון מסנן זה מבוסס על ההנחה שנייתן לייצא את אותה הפעעה באמצעות פולינום מסדר N. בהנחה זו האות הצפוי הינו סכום של הפולינום המציין את הפעעה, ושל אותה מטרת מגורמל המוכפל במקדמת המביטה את עצמה. מקדמי הפולינום ומקדמת אותה מטרת אינם ידועים. מוצא המבחן הוא המשער המשנה בזמן של מקדם אותה מטרת. שערור מקדם זה מתבצע על ידי מינימיזציה של השגיאה הרבועית הממוצעת בין אותה הצפוי לבין אותה המתקבל בפועל. המינימיזציה מתבצעת על פני המקדים הלא ידועים של הפולינום ושל אותה מטרת.

השגיאה בתהליך המינימיזציה לעיל מוגדרת באופן השונה מהמקובל בתרות WIENER-HOPF, ולפיכך שונות התכונות המתקבלות שונות ממשוואות מסנן ה-LMS המקבול.

ב-[2] נבחנו בוצעיהם של מסננים שונים במערכת פסיבית לגלי מטרות נקודתיות על רקע טמיים. העבודה ב-[2] נעשתה עבור מערכת אשר קצב הדגימה בה הוא C-Pt/3.5 (3.5 samples per dwell). המבננים אשר נבחנו הם המטוניים הבאים: מסנן LMS מסדר ראשון, מבנה המתואמת בתנאי רוש צבעוני, ומבנה מתואמת בתנאי רוש לבן. בוחינת הבוצעים נעשתה בהנחה כי הפעעה מרוכז ברובו בתדרים הנמוכים, וניתן לאפיין את ספקטורים ההפעעה של הפעעה באמצעות תדירות הברך שלו - ω₀.

כאשר  $0 \rightarrow \omega_0$  ספקטורים החפעק של אותה הפעעה הוא ספקטורים  $\omega^2/1$ . כאשר  $\infty \rightarrow \omega_0$  ספקטורים החפעק של הפעעה הוא שווים. המבנה המתואמת בתנאי רוש צבעוני תוכנה עבור ערך ביניים של  $0 \omega_0$ .

בוצעו מסנן ה-LMS היו הטוביים ביותר עבור  $0 = \omega_0$ . תוצאה זו צפואה שכן ניתן להראות [2] כי מסנן LMS מסדר ראשון אקויזיטיבי למבנה מתואמת

בתנאי רעש מטפס  $\omega_0^2$ . עבור  $\omega$  השווה לערך הבינוניים, על-פיו תוכנה המוכנה המתואמת, בצוועה היו הטוביים ביותר. אולם בעוד שבצועה מסנן ה-SMS היו טוביים למדי עבור כל ערכי  $\omega$ , הדגרציה בצוועה המוכנה המתואמת כאשר היא פועלת בהפרעה בעלת תדרות ברך נמוכה מהדר על-פיו תוכנה היא גדולה. ראה גם [3].

באלהות השמיים (שהם אותן הפרעה) ישנים אודורים בעלי אופי של רעש לבן, ואודורים בעלי ספקטרום הספק דומה באופיו לספקטרום ההספק לעיל. תדרות הברך אינה ידועה, ועשוי להשתנות מאזור לאזור. לכן טוביים clutter Takken ושותפיו [2], כי מסנן ה-SMS הינו המתאים ביותר לדיכוי למערכות גליות פסיביות מסווג זה.

יש להציג כי תוצאה זו התקבלה עבור מערכת גליות בה מערה נקודתית מיצגת על ידי דגימות אחדות. כפי שנראה בפרק 7 בצוועי מסנן SMS מסדר ראשון (או שני) במערכת בה מערה נקודתית מיצגת על ידי דגימה בודדת ייה דומים לבזועי מסנן מתואמת בתנאי רעש צבעוני.

הכון מסנן WIENER ומסנן מתואמת קבועים בזמן מחיבב האדרה מדוקיקת של התכוונות הسطיעניות של ההפרעה. ב-[1] מוצע להשתמש במסנן מסתgal כמעבד האות במערכת הגלי הפסיבית, וזאת כדי להתגבר על הביעות המתועරות כאשר התכוונות הسطיעניות של ההפרעה קבועות אך איין ידיעות אפריאורי, ועל הביעות במקרה בו אותן ההפרעה איינו סטציונירי, ותכונותיו הسطיעניות איין איחודות.

האלגוריתם המקובל ביותר לעכון מוקדם המסנן מסתgal הוא אלגוריתם ה-SMS של Widrow [6]. בזועי מסנן זה נבדקו ב-[1] עבור מערכת פסיבית לגליות מערות נקודתיות.

אותות הכניסה למערכת הגלי ב-[1] מהווים סדרה של תמונות דו-מימדיות (FRAMES). השימוש במסנן מסתgal נבחן באמצעות סימולציות מחשב על תמונות סינתיות עבור שני מקרים - במקרה בו התמונה סטציונרית, וה מקרה בו התמונה אינה סטציונרית. הפעלה מסננים מסתgalים על תמונות לא סטציונריות מאפשרת במקרים בהם ניתן לחלק את תמונה הרקע הלא סטציונרית לתת-תמונות סטציונריות.

במקרה הסטציונרי התמונה הניתנת מיוצרת בהנחה שאות הרקע הינו רעש אוטי קוורלטיבי המתואר על ידי תליך מרקובי דו מימדי מסדר גאשון או מסדר שני. במקרה הלא סטציונרי התמונה הניתנת כוללת מספר אודורים,

אשר כל אחד מהם מיוצר בהנחה המודל לעיל, ופרמטרי המודל שונים מאזור לאזור.

במקרה הסטציונרי מתבצע הסנון המסתגל בשלבים הבאים:

- א. האלגוריתם של Widrow מופעל על דגימות התמונה, כאשר אופן סיריקת התמונה בתחילת ההסתגלות מביך את רציפותו. סיריקת התמונה בשלב זה נשכחת עד שנקבע סיום תהליך ההסתגלות.
- ב. המאנן אשר התקבל בשלב א' מופעל על התמונה.

במקרה הלא סטציונרי מחלקים את התמונה לחת לתמונות, ומונחים שככל אחת מהן בתמונה היא סטציונרית.

שלב ההסתגלות מתבצע בנפרד על כל חת-תמונה ובסיומו מוקצה לכל אחת מתח-התמונות מסנן המתאים לה. המסננים אשר התקבלו בשלב ההסתגלות מופעלים בנפרד על כל אחת מתח התמונות.

#### המסקנות העיקריות ב-[1] הן:

- א. ההסתgalות בתמונות סטציונריות אשר הרקע בהן מאופיין על ידי תהליכי מרכיבי מסדר שני,アイテית יותר מאשר בתמונות אשר הרקע בהן מאופיין על ידי תהליכי מרכיבי מסדר ראשון.
- ב. ההסתgalות בתמונה סטציונרית נעשית מהירה יותר ככל שהורצלזה בתהליכי המרכיבי אבואה יותר.
- ג. ההסתgalות נעשיתアイテית יותר כאשר קינה התמונה אשר עליה מופעל תהליכי ההסתgalות. גודל התמונה המינימלי הדרוש להשגת הסתgalות היא  $6 \times 6$ . תכונה זו חשובה במקרה בו התמונה אינה סטציונרית, ונניתן להניב סטציונריות מתוך אזורים קעניים בלבד.
- ד. מהפעלת המסננים המשחאלים על התמונה הלא סטציונרית התקבל כי הביצועים תלויים בגודל חת-התמונה. כאשר גודל חת התמונה היה  $8 \times 8$ , ההסתברות להתראות שווא בתמונה עבור ערך סף נתון הייתה נמוכה פי-20 מההסתברות להתראות שווא שהתקבלה כאשר הופעל על התמונה הלא סטציונרית מסנן VIENER האופטימלי לאחת מתח התמונות הסטציונריות. כאשר גודל חת התמונה היה  $16 \times 16$ , יחס ההסתברויות להתראות שווא היה 5 בלבד.

הסתברות האלוֹי בתמונה הלא טציזונריה אשר הופעלו עליה המנגנים המסתגלים, היה אבואה במקצת המסתברות האלוֹי בתמונה הלא טציזונריה אשר הופעל עליה משנן WIENER האופטימלי לאחת מתחם התמונות.

בדרכ כל משנן מסתגן מופעל על אותן טציזונרי או קווזי טציזונריה, דהיינו אותן שמשך הזמן בו הוא טציזונרי גדול ביחס לזמן ההסתגלות של המשנן המסתגן, ואז הסתגלות המשנן נעשית תוך כדי פעולה הסבון.

לעתיתם קוובות, התנאי לעיל אינו מתקיים לגבי אותות דו-מידדיים המופקים ממערך גלאים הטורק איזור שמימיים, ולפיכך הפעלה המנגנים המסתגלים צריכה להישנות כמתואר קודם (לפי [1]). לבן, השימוש במנגנים מסתגלים במערכת המבצעת תנוון תוך כדי סריקה איננו מעשי, במיוחד במרקם הלא טציזונריה. משום כך לא נבדקו בצוויי משננים מסתגלים במסגרת מחקר זה.

## 1.2 מעבדי ספ

עתה נתיחס למעבד הספ במערכת פסיבית לאלוֹי מטרות נקודתיות. מוגרת הדלקציה הקלאסית [3] ידוע כי ספ T המקיים משווה (1.1) מבטיח קצב קבוע של התראות שווה, לכל פלוג של האות בכנית מעבד הספ (שהואאות הייצאה מעבד האות).

$$T = K \sigma_y \quad (1.1)$$

כאשר  $\sigma_y^2$  היא השונות (variance) של הייצאה מעבד האות, ו-  $K$  קבוע הבקבע לפי קצב התראות השווה המותר.

השיטה המקובלת להשגת CFAR היא לשערר את השונות המקומית, וליצור ספ מסתגן על פי משווה (1.1).

כאשר  $N$  הדגימות המשמשות לשערר השונות המקומית של מהליך אקראי (a), הם משתנים אקראיים בלתי תלויים בעלי פילוג אוטי עם ממוצע אפס ושונות קבועה, משערר L.M (Maximum Likelihood) של השונות נתון על ידי

$$\hat{\sigma}_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^{N_v} y^2(n) \quad (1.2)$$

אם רוצים לשערר את השונות בסביבה הדגימה (a), ודגימה זו עשויה לכלול

מטרה נקודתית, אין לכלול את דגימה (0) י' בשערור השוכנות אלה להשתמש  
במושואה הבאה

$$\hat{\sigma}_y^2 = \frac{1}{N_v} \sum_{n=1}^{N_v/2} ((y(n)-\hat{\eta})^2 + (y(-n)-\hat{\eta})^2) \quad (1.3)$$

שיטת ה-CFAR המבוססת באמצעות משווה (3) הורחבה ב-[3] עבור המקרים  
 הבאים:

- א. ממוצע אותן היציאה ממיעד אותן, (0) י', שונה מאפס. במקרה זה מתבצע  
שערור מקדים של הממוצע על ידי

$$\hat{\eta} = \frac{1}{N_v} \sum_{n=1}^{N_v/2} (y(n) + y(-n)) \quad (1.5)$$

והמערכת מצהירה על קיומם מטרת אם האורך  $T_2$  הנתון במושואה (1.6)

אדול מספּ מסויים.

$$T_2 = (y(0) - \hat{\eta}) / (1/N_v \sum_{n=1}^{N_v/2} [(y(n) - \hat{\eta})^2 + (y(-n) - \hat{\eta})^2])^{\frac{1}{2}} \quad (1.6)$$

- ב. פונקציית צפיפות ההסתברות של (a) י' הינה פונקציית הצפיפות המוכבלת  
הבאיה:

$$f_y(y) = (c_\gamma / \sigma_\gamma) \exp(-|y - \hat{\eta}|^\gamma / \sigma_\gamma^\gamma) \quad (1.7)$$

הקבועים  $c_\gamma$  ו-  $\sigma_\gamma$  נבחרים כך ששונות המשנה האקרוי י' המתואר על ידי  
פונקציית הצפיפות לעיל תהיה שווה  $L^{-2}$ , ויתקיים  $1 = \int_{-\infty}^{\infty} f_y(y) dy$ .

כאשר  $1 = \gamma$  מתקבלת פונקציית צפיפות אקספוננציאלית דו צדדית, וכאשר  $2 = \gamma$   
מקבלת פונקציית צפיפות גausית.

במקרה זה משערר LM של השונות נתון על-ידי

$$\hat{\sigma}_y^2 = (\gamma d_\gamma)^{2/\gamma} \left[ \frac{1}{N_v} \sum_{n=1}^{N_v} |y(n)|^\gamma \right]^{2/\gamma} \quad (1.8)$$

ב-[3] מוכח כי עבור  $1 < \gamma$  משערר זה מבצע מכסיימיזציה של ההסתברות האילו-  
רי PD עבור ערך נתון וקבע של ההסתברות להתראות שווא, PFA.

השגיאה בשערור השונות גורמת לירידה בהסתברות האילו-  
רי PD, ביחס לערך המתקבל במערכת גלו-  
רי בעל סף קבוע, המופעלת באוצר בעל שונות קבועה,

ועבור אותה הסתברות להתראות שווא. ירידה זו קרוייה YCFAR PENALTY והיא נמדדת ב-BP. ככל שמספר הדגימות הבלתי תלויות המשמשות לשערור השונות גדיל, קענה שגיאת השערור, ולפיכך גדילה הסתברות האלווי עברו ערך של הסתברות להתראת שווא.

מערכי השונות לעיל התקבלו בהנחה כי הדגימות המשמשות לשערור השונות אינן תלויות. כאשר תדר הדגימה במערכת גבוהה מרוחב הشرط של אותן דגימות אותן הכניטה למבוד אותן תלויות, ובדרך כלל גם דגימות אחרות היציאה ממבוד אותן תלויות.

בהנחה שתחום הדגימות המשמשות לשערור בשאר קבוע, תלות זו גורמת להגדלת השגיאה בשערור, ולפיכך לירידה בהסתברות האלווי, עבור אותה הסתברות להתראת שווא. במקרה זה מגזרים את המספר האפקטיבי של דגימות בלתי תלויות,  $N_e$ .  $N_e$  המוגדר ביחס למקרה בו הדגימות אינן תלויות, שווה למספר הדגימות הבלתי-טלויות שעבורו התקבלה המערכת האלווי בעלת קצב התראות שווא נתון, אותה הסתברות האלווי כבמקרה בו הדגימות תלויות. היחס בין המספר האפקטיבי של דגימות בתחום מסוים, למספר הדגימות הכלול בתחום זה, תלוי בפונקציה הקוו-וואריאנס של אותן.

כאמור הירידה ב-PD הקרויה YCFAR PENALTY קטנה עם עלית מספר הדגימות הבלתי תלויות המשמשות לשערור השונות,  $N_e$ . אולם עבור ערכי  $N_e$  גדולים, ההנחה כי השונות קבועה על פני כל הדגימות המשמשות לשערוכה נעשית בלתי סבירה. כאשר הנחה זו אינה מתקינה, קצב התראות השווא יסעה מהערך הקבוע המתוכנן בטדרי גודל, וכך, יש להשתמש במספר יחסית קטן של דגימות לשערור השונות, ובתוצאה לסתוג CFAR PENALTY גדול.

ב-[3] מוצעת ונבחנת שיטת גלווי הקרויה CFAR LOSS-LOW. שיטה זו מבוססת על הרפיה הדרישת לקבע התראות שווא קבוע על פני כל האזוריים. בשיטה המוצעת אפשרים לקבע התראות השווא לעלות במקצת באזורי clutter ביחס לקביע באזורי שמיים כחולמים. באזורי שמיים כחולמים הסף האופטימלי הינו סף קבוע, ובאזורים clutter חיווני להשתמש בסף משתgal. השיטה המוצעת משלבת שני סוגי ספים אלה. הסף י' בשיטה זו נתון על ידי

$$T' = T_f ; \quad T_a^{\alpha} < T_f$$

$$T = T_a ; \quad T_a^{\alpha} > T_f$$

כאשר  $T_f$  הוא ערך הסף הקבוע,  $T_a$  הינו ערך הסף המסתגל, ו- $\alpha$  הינו פרמטר תכנו.

כאשר  $\alpha = 0$  מתקבלת מערכת בעלת סף קבוע, וככאשר  $\alpha = \infty$  מתקבלת מערכת בעלת סף משתgal.

### 1.3 מבנה החבון

בUPI זה נציג את החדשושים במחקר זה, ובנואר את מבנה החבון. רב הבדיקות המדוזוחות בספרות והעוסקותמערכות גלויה פסיביות מסווג זה, מתרכזות בעבדי אותו ליגנאריים. במחקר זה מוצע להשתמש בעבדאות לא ליגנרי המבוסט על סנוון מדיאני, כבעד אותן במערכתagaloi הפסיבית. Median Smoothing ו-MSS - מעבד אותן המוצע ניתן בשם: MSS - Median Smoothing. מעבד MSS משערק את הרקע באמצעות חילקה מדיאנית של אותן הנקודות, ומחליט על נוכחות מערה על פי ההפרש בין אותן הנקודות להרקע המשוער. בוצעו מעבד MSS נבחנים בהשוואה לביצוע המבננים הליגנאריים המוקובלים.

בעוד שניתן לבצע הערכות אנליזיות של ביצוע המבננים הליגנאריים בשיטות ידועות ומקובלות, כדי שבסוגרת מחקר זה פותחו שיטות המאפשרות בוצעו הערכה אנליזית של הסתברויות להתראת שווא והסתברותagaloi במערכת galoi הכוולית מעבד MSS וסף קבוע.

מבנה החבון הוא כדלקמן:

פרק 2 דן בתכונות אחרות הרקע (שם אותן השמיים המהווים את אמות ההפרעה).

פרק 3 מציג את המבננים הליגנאריים אשר בוצעיהם נבחנו במסגרת המחקר.

פרק 4 דן בעבד MSS.

פרק 5 עוסק בשיטה להערכת בוצעו המעבדים באמצעות מודל תאורטי של אותן הרקע.

פרק 6 עוסק בשיטה להערכת הביצועים באמצעות הפעלת מעבדי אותן על אמות השמיים המדוזחים.

פרק 7 מטכם את תוצאות ההשוואות בין בוצעו המעבדים השונים.

פרק 8 מסכם את המחקר.

## פרק 2 : תכונות אותות הרקע

---

בפרק זה נדוע בתכונות אותות הרקע, המתפללים כאשר מערך אלאים סורק אזור כלשהו ברקיע. לפני תאורו הcompleteites של אותות הרקע, נקדים ונציגין כי מחקר זה מתבסס בחלוקת על אותות רקע אשר נמצאו ונרשמו באופן הבא: אותות האלאים במערכת הסורק הוגברו על ידי מגבר חום ס. ווהוקלו ברשם וידאו, כך שהאותות המוקלטים מהווים טרדה של תמונות (FRAMES), כאשר כל תמונה מתאימה לאזרור מסוימים ברקיע. המוניות הויזאו אשר שמשו במחקר זה, הן תמונות בזדדות, ללא רצף זמני ביןיהן. מספר התמונות הבזדדות הוא תשע והן מכובדות בשמות IMG1, IMG2, ..., IMG9.

ambil בין תשע התמונות שתיים אינן תקינות ואין אנו מתייחסים אליהן.

פרק זה עוסק הן באותות הרקע אשר שמשו במחקר זה והן בתוצאות המופיעות בדוחים על מחקרים דומים (למשל [5]).

**סעיף 2.1** עוסק בתכונות הזמן ו怛יטיטיות של אות הרקע ו**סעיף 2.2** עוסק בתכונותיו הפקטוריות.

### 2.1 תכונות זמן ו怛יטיטיות של אות הרקע

אות הרקע המתפלל במקור מגבר ה-AC כאשר אלאי בזדד סורק אזור רקיע אינו אחיד בתכונותיו. כאשר האלאי סורק אזור שמיים כחולים המוארים באופן אחיד, המרכיב הדומיננטי באות הרקע הוא הרעש הפוטוני הנגרם מפלקטואציות בדמבי פגיעה הפוטוניות באלאי. מקובל ליאץ רוש זה באמצעות תħallim akrai statiorari libn, בעל ממוצע אפס ופלוֹג אושא [7].

כאשר האלאי סורק אזור עננים מוארי שמש המרכיב הדומיננטי באות הרקע הוא ה-clutter הנגרם משלבים מרחביים במבנה שכבות העננים, ומשלבים מרחביים בעוצמת ההארה. בנגדוד לרעש הפוטוני, תħallim ה-clutter הינו תħallim korrelatiivi בעל ממוצע שונה מאפס, ומהשנה בזמן (במרחב).

עוצמת אות ה-clutter יכולה להיות גבוהה בסדרי גודל מ-sms רוש הרקע באזרור שמיים כחולים. ב-[5] נבדק ערך השיא של אות ה-clutter על פני סדרה של עשרים תמונות וידאו, והתקבל כי ערך השיא היה גבוהה פי-60 מ-sms רוש הרקע באזרור שמיים כחולים.

אי הסטציוונריות של אות ה-*gali* נובעת בכך מהבדלים בין רעש הרקע באזורי שמיים כחולים, לבין רעש ה-*clutter*, והן מייצגות את ה-*clutter* עצמו, הנובעת בעיקר משלבים איטיים ממוצע ה-*clutter*.  
שנויות אלו גורמים לכך שהממוצע המקומי של אות ה-*clutter* לא יהיה קבוע בتوزן תומנת הוידאו הבודד, ויתהנו מתמונה למינונה. החזרת הממוצע המקומי מכל שורה בתמונה (שורה בתמונה מתאימה לאות המוצע מגלי בודד), מקטינה במידה ניכרת את אי הסטציוונריות של אות ה-*clutter*, כפי שנראה בציור 1.2.

## 2.2

ספקטרום ההספק של אות ה-*clutter*

הדרך הישירה לשערוך ספקטרום ההספק של אות ה-*clutter*, בתמונה הכלולה באזורי שמיים כחולים ואזורי עננים, מחייבת בדוד אזורי העננים בתמונה זו. בדוד אזורי העננים מהוות בעיה קשה בפני עצמה, ולכן בוצע שערוך ספקטרום ההספק של אות ה-*clutter*, ללא בדוד אזורי העננים בתמונה.

שערוך ספקטרום ההספק של אות ה-*clutter* מתוך תמונה הכלולה באזורי שמיים כחולים ואזורי עננים, מtabס על העובדה שהנחה סטציוונריות וארגוודיות של אות ה-*clutter* (באזורי בהם הוא קיים), ניתן לקרב את פונקציית האוטוקורלציה של אות ה-*clutter*,  $\hat{A}_{bb}(m)$ , באמצעות הבטווי הבא:

$$\hat{A}_{bb}(m) = (\tilde{A}_i(m) - \sigma_r^2 \delta(m)) / q \quad (2.1)$$

$\sigma_r^2$  שונות הרעש באזורי שמיים כחולים.

$q$  חלק היחס של אזורי העננים בתמונה.

מעין פונקציה אוטוקורלציה זמנית, המוגדרת במשוואה (2.2).

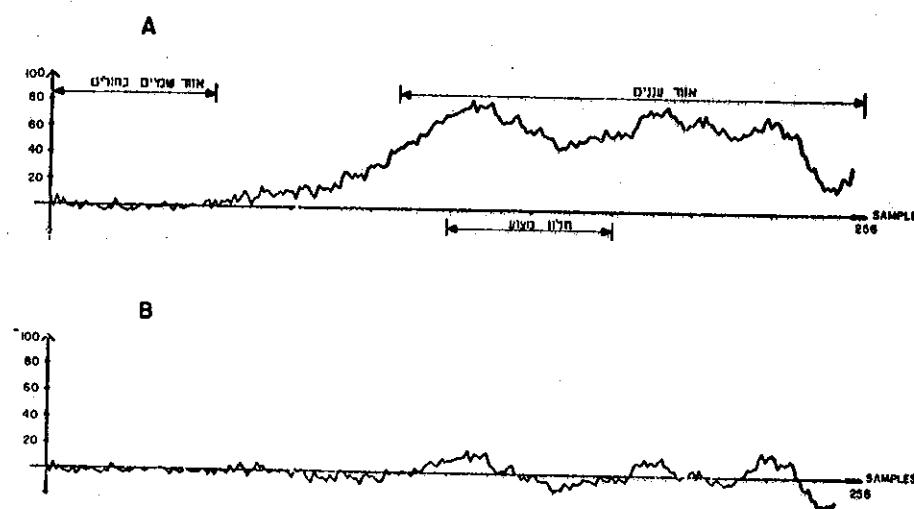
$$\tilde{A}_i(m) = \frac{1}{J N_c} \sum_{j=1}^{N_c} \sum_{n=0}^{|m|-1} j^{\alpha(n+m)} \quad (2.2)$$

$J$  מספר השורות בתמונה.

$N_c$  מספר הדגימות בשורה.

$(n)_j^{\alpha}$  הדגימה ה- $n$  בשורה ה- $j$ .

הקשר לעיל בין פונקציית האוטוקורלציה של ה-*clutter*,  $\hat{A}_{bb}(m)$ , לבין  $(n)_j^{\alpha}$ , מוכן בנספח א'.



ציור 2.1: אות ויזdeo אופייני. A - שורה מקורית בתמונה הויזdeo.  
B - אותה שורה לאחר חסרת הממוצע המקומי המחשב בחלון באורך 51.

Fig. 2.1: Typical video signal. A - original line of video frame.  
B - same line after local average subtraction.  
Averaging Window size=51.

שערור ספקטרום ההספק של אות ה-clutter מתוך תמונה IMG8 בוצע בשלבים

ה הבאים:

א. החסרת הממוצע המקומי מכל שורה בתמונה.

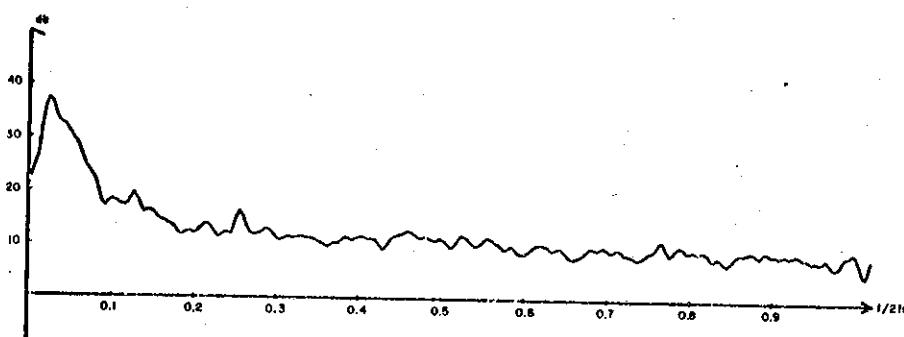
ב. חשוב  $(m)$   $\hat{A}_{bb}$  על-פי נוסחה (2.2).

ג. חשוב  $(m)$   $\hat{A}_{bb}$  על-פי נוסחה (2.1)  $Um = 5 \sigma_r^2 = 1$ ,  $q=0.33-1$ .

(כפי שנראה בסעיף 5.4, החלק הייחסי של אזורי העננים בתמונה IMG8 שווה בקרוב ל- $-33.0$ , ושוניותו אותה התפרעה באזורי שמיים נחלים שווה בקרוב ל- $-5$ ).

ד. בזע התרמת פוריה דיסקרטית ל- $(m)$   $\hat{A}_{bb}$ .

באיור 2.2 משורט ספקטרום ההספק המשוער של אות ה-clutter בתמונה IMG8. ניתן לראות כי הספק ה-clutter מרכיב כולו בתחום התדרים הנמוכים (עד כUSHIRIT מתדר הדגימה). לכן, כל מעבדאותה במערכת האלי הפסיבית, חייב להיות מפנן מעביר אבוחים.



איור 2.2: ספקטרום ההספק של אות ה-clutter.

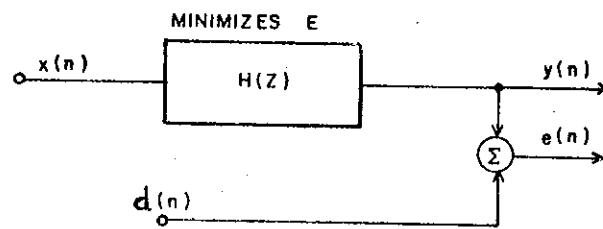
Fig. 2.2: Clutter power spectrum.

### פרק 3: המנגנים הליניאריים

בפרק זה יתוארו המנגנים הליניאריים אשר ב奏ויהם נבחנו במחקר זה.

#### 3.1 מנגן WIENER

מנגן WIENER הינו מנגן ליניארי קבוע בזמן הפעול על אות כניסה (a)x, כך שהשגיאה הרובעית הממוצעת, E, בין מוצא המנגן (a)y, לבין אות רצוי (a)d, המלווה ב-(a)x, תהיה מינימלית. המשותגים השונים מצוינים בציור 3.1.



ציור 3.1: תאור עקרוני של מנגן WIENER.

Fig. 3.1: WIENER Filter-Block Diagram.

כיתן להגדיר את השגיאה הרובעית הממוצעת, E, בשני האופנים הבאים:

א. E היא התוחלת של השגיאה הרובעית הממוצעת.

ב. E יחסוי לממוצע הזמן של השגיאה הרובעית הממוצעת.

כלומר:

$$E = \sum_n e^2(n) \quad (3.1)$$

כיוון שאות המטרה הוא דטרמיניסטי ב奏תו (מיוצג על ידי דגימה בודדת), בחרנו להשתמש בהגדירה הדטרמיניסטית של השגיאה E, המופיעה במשוואת (3.1).

## 3.1.1 גזירת משוואות המכון של מבן WIENER

בטעיף זה נגזר את משוואות המכון של מבן WIENER, על-פי [8].  
 כאמור, קרייטריון האופטימיזציה היא מינימיזציה של  $E$ , כאשר  $E$  מוגדר  
במשוואת (3.1).

$$E = \sum_n e^2(n)$$

וכאשר

$$\sum_n e^2(n) = \sum_n (d(n) - y(n))^2 = \sum_n (d(n) - \sum_{k=0}^{N-1} w(k)x(n-k))^2 \quad (3.2)$$

המינימיזציה מתבצעת על ידי הצבה

$$\frac{\partial E}{\partial w_j} = 0 \quad 0 \leq j \leq N-1 \quad (3.3)$$

מ-(3.2) ומ-(3.3) מקבלים את סט המשוואות הבא

$$\sum_{k=0}^{N-1} w(k) \sum_n x(n-k)x(n-j) = \sum_n d(n)x(n-j) \quad 0 \leq j \leq N-1 \quad (3.4)$$

ואלו הן המשוואות למכון המקדים של מבן WIENER.

מקובל לכנות משוואות אלה באופן הבא:

$$\sum_{k=0}^{N-1} w(k) R_{xx}^I(n-k, k-j) = R_{xd}^I(n-j) \quad (3.5)$$

כאשר

$R_{xx}^I(n,m)$  הינה פונקציית האוטוקורלציה הדמנית של האות  $(n)x$  וМОגדרת על-ידי

$$R_{xx}^I(n,m) = \sum_{n,m} x(n)x(n+m) \quad (3.6)$$

וכאשר  $R_{xd}^I(m)$  הינה פונקציית הקורוסקורלציה הדמנית של האותות  $(n)x$  ו- $(n)d$ , וМОגדרת על-ידי

$$R_{xd}^I(n,m) = \sum_{n,m} x(n)d(n+m) \quad (3.7)$$

3.1.2

תכונן מסנן WIENER הפעול כמעבד את מערכת תגלי?

בפועל זה יתואר תכונן מסנן WIENER הפעול כמעבד האות במערכת האלי הפסיבית. נתיחס למסנן WIENER חד-מימדי, סימטרי, סיבתי, בעל מספר איז-דווגי, של מקדים,  $N$ , המתוכנן כר שמתוך הדגם ה- $n$  של אות הייצאה המשנן, נימן יהיה קבוע אם הימה מטרה בדגם ה- $2/(N-1)$  שלאות הכנישה.

נסמן ב-(a)x את אות הכנישה למעבד האות, ב-(a)i את אות ההפרעה (אות הרקע) הנובע מגלאי בודד, וב-a את עוצמת המטרה, ונכתבו את משוואות תכונן המקדים המתאימות למקרה זה.

כאשר קיימת מטרה במרכז חלון הטנון נתנו את הכנישה על-ידי

$$x(n-k) = \begin{cases} i(n-k)+a & k=(N-1)/2 \\ i(n-k) & \text{אחרת} \end{cases} \quad (3.8) \quad k=0, \dots, (N-1)$$

ואלו האות הרצוי נתנו על-ידי

$$d(n-k) = \begin{cases} a & k=N-1 \\ 0 & \text{אחרת} \end{cases} \quad k=0, \dots, (N-1) \quad (3.9)$$

מהגדרת  $R_{xx}^i(m,n)$  במשוואת (3.6), ובהנחה שתהליכי ההפרעה (a)i הינו תהליכי אקראי סטציונירי מתקבלי

$$R_{xx}^i(n-k,k-j) = \sum_n x(n-k)x(n-j) = \quad (3.10)$$

$$= \begin{cases} A_{ij}^i(k-j) & k \neq (N-1)/2, j \neq (N-1)/2 \\ A_{ij}^i(k-j)+a < i(n) > & \begin{cases} k=(N-1)/2, j \neq (N-1)/2 \\ k \neq (N-1)/2, j=(N-1)/2 \\ k=j=(N-1)/2 \end{cases} \\ A_{ij}^i(k-j)+a^2+2a < i(n) > & \end{cases}$$

כאשר

(j)i A הינה פונקציה האוטוקורלציה הזמנית של תהליכי האקראי הסטציונירי (a)i, ומוגדרת על-ידי

$$A_{ij}^i(j) = \sum_n i(n)i(n+j) \quad (3.11)$$

וכאשר  $\langle i(n) \rangle$  יחמי ממוצע הזמן של תהליך  $\langle n \rangle$ , ומוגדר על-ידי

$$\langle i(n) \rangle = \sum_n i(n)$$

מהגדרת  $\langle n \rangle$  במשוואת (3.7) מתקבל

$$R_{xd}^i(n-j, n) = \begin{cases} a \langle i(n) \rangle & j \neq (N-1)/2 \\ a^2 + a \langle i(n) \rangle & j = (N-1)/2 \end{cases} \quad (3.12)$$

הכנו מסנן ה-WIENER מחיבב ידיעת פונקציית האוטוקורלציה הזמן של תהליך ההפרעה,  $\langle z(t) \rangle_A$ , וידיעת הממוצע הזמן של  $\langle n \rangle$ . ואכן, לצורך חכון מסנן ה-WIENER שוערבה פונקציית האוטוקורלציה הזמן של תהליך ההפרעה מתוך אותות ההפרעה המדודים (אותות הרקע, כלומר אותות השמיים).

ניתן להראות כי משוואות המכון למסנן WIENER מעביר אביהים  $\langle i(n) \rangle$ , כאשר  $R_{xx}^i$  ו-  $R_{xd}^i$  נתונים במשוואות (3.10) ו- (3.12), אקוויולנטיות (עד כדי קבוע המכפיל את כל מקדי המן) למשוואות המכון כאשר  $R_{xx}^i$  ו-  $R_{xd}^i$  נתונים במשוואות (3.13) ו- (3.14). מטעמי בוחות תוכנן מסנן ה-WIENER תוך שימוש ב-  $R_{xx}^i$  וב-  $R_{xd}^i$  הנתונים במשוואות (3.13) ו- (3.14).

$$R_{xx}^i(n-k, k-j) = \begin{cases} A_{ij}^i (k-j) + a^2 & k=j=(N-1)/2 \\ A_{ij}^i (k-j) & \text{אחר} \end{cases} \quad (3.13)$$

$$R_{xd}^i(n-j, j) = \begin{cases} 0 & j \neq (N-1)/2 \\ a^2 & j = (N-1)/2 \end{cases} \quad (3.14)$$

תהליך שערוך פונקציית האוטוקורלציה של ההפרעה. מובא בנספח א'.

בכתוב עתה את משוואות התכונן בצורה מטריצית

$$\underline{W} = \underline{R}_{xx}^{-1} \underline{P} \quad (3.15)$$

כאשר

$\underline{W}$  - הינו ווקטור באורך  $N$  המציג את מקדמי המבחן.

$\underline{R}_{xx}$  - הינה מטריצת האוטוקורלציה של אות הכניסה, בעל ממדים  $N \times N$   
והאלמנט ה-  $(j, k)$  בה,  $R_{xx}(k, j)$  מקיים

$$R_{xx}(k, j) = \begin{cases} A_{jj}^! (|k-j|) + a^2 & k=j=(N-1)/2 \\ A_{jj}^! (|k-j|) & 0 \leq k, j < (N-1)/2 \\ & (N-1)/2 < k, j \leq N-1 \end{cases} \quad (3.16)$$

וכאשר האבר ה-  $j$  בוקטור  $\underline{P}$  נתון על-ידי

$$P(j) = \begin{cases} a^2 & j=(N-1)/2 \\ 0 & 0 \leq j < (N-1)/2; \quad (N-1)/2 < j \leq N-1 \end{cases} \quad (3.17)$$

בפסקה הבאה נראה כי מסנן ה-WIENER המתוכנן על-פי משוואות (3.14)-(3.16)  
אקוויולנטי למサンן המשוראה המטריצית הבאה, עד כדי  
קבוע המכפיל את כל המקדים.

$$\underline{W} = \underline{R}_{ii}^{-1} \underline{P} \quad (3.18)$$

כאשר

$\underline{R}_{ii}$  היא מטריצת האוטוקורלציה הדמגית של אות ההפרעה,  $(n)$ . האלמנט ה-  
 $(j, k)$  במטריצה זו,  $R_{ii}(k, j)$  נתון על-ידי

$$R_{ii}^!(k, j) = A_{ii}^! (|k-j|) \quad (3.19)$$

הابر הייחיד השונה מאפ' בוקטור  $\underline{P}$  ( $P(j) = P^T(j)$ ;  $j=0, \dots, N-1$ ) הוא  
 $(N-1)/2$ . לכן, וקטור מקדי המサンן קבוע אך ורק לפי עמודה בודדת  
במטריצה  $\underline{R}_{xx}^{-1}$ . נסמן את המטריצת  $\underline{R}_{xx}^{-1}$  ב-  $Q$ .

מקדמי המסנן נקבעים אך ורק לפי העמודה  $(1-N \leq k \leq 0) ; (Q(k, (N-1)/2))$ .

ערכי עמודה זו אינדוריאניטים, עד כדי קבוע המכפיל את כולם, לערכיהם בשורה  $(1-N \leq j \leq 0) ; (j/(N-1), R_{xx})$ , ובפרט לאבר  $(2/(N-1), R_{xx})$ .

זהו האבר היחיד השונה במטריצות  $R_{xx}$  ו-  $R_{zz}$ .

ולפיכъ, משווהת התבונן של מסנן WIENER הפעול מעבד את מערכתagaloi הפסיבית היא משווהה (3.18). כפי שקרה בסעיף 3.2 משווהה זו זהה (עד כדי קבוע המכפיל את הווקטור  $\underline{x}$ ), לשווהת התבונן של מסנן מתואמת הפעולה במערכת לאלזוי מטרות נקודתיות (מסקנה זו נcona רק במקורה בו המטרה הנקודתית מיוצגת בדגם בודד).

העובדת שמשווהת התבונן היא משווהה (3.18) ( $P_{ii} = R_{ii}^{-1} W$ ) היא בעלת חשיבות, שכן המטריצה  $R_{ii}$  היא מטריצה טופלייז סימטרית, ועבור מקרה זה קיימים אלגוריתמים יעילים לפתרון משווהה זו, למשל לאלגוריתם אשר הוזג על-ידי PREIS ב-[9].

חשוב מקדמי המסנן נעשה באמצעות הסברוטינה TPLTZ, הקיימת במעבדה לבודד אותן, והמתבוססת על האלגוריתם של PREIS. טברוטינה זו מחשבת את הווקטור  $\underline{x}$  מתוך המשווהה.

$$P_{ii} = R_{ii}^{-1} W$$

כאשר  $R_{ii}$  היא מטריצה טופלייז סימטרית בגודל  $N \times N$ , ו-  $P$  הינו וקטור עםודה באורך  $N$ .

במטריצה טופלייז כל האברים השיכוכים באותו אלכסון שוים בערךם. עקב הטימטריה ניתן לקבוע את כל אבריו המטריצה מתוך שורה אחת (או עמודה אחת) בלבד.

חשוב הווקטור  $\underline{x}$  מחייב את הפוך המטריצה  $R_{ii}$ . הסברוטינה מנצלת את המבנה המיוחד של המטריצה  $R_{ii}$ , לצורך חישוב המטריצה ההופכית.

הסברוטינה מקבלת כקלט את השורה הראשונה של המטריצה  $R_{ii}$ , ואת הווקטור  $\underline{x}$ , ופותרת את משווהה (3.18).

מקדמי המסנן המתקבלים מהפעלה הסברוטינה TPLTZ אינם מנורמלים. שיטת הנרמול אשר נבחרה היא השיטה הבאה

$$w((N-1)/2) = 1$$

(3.20)

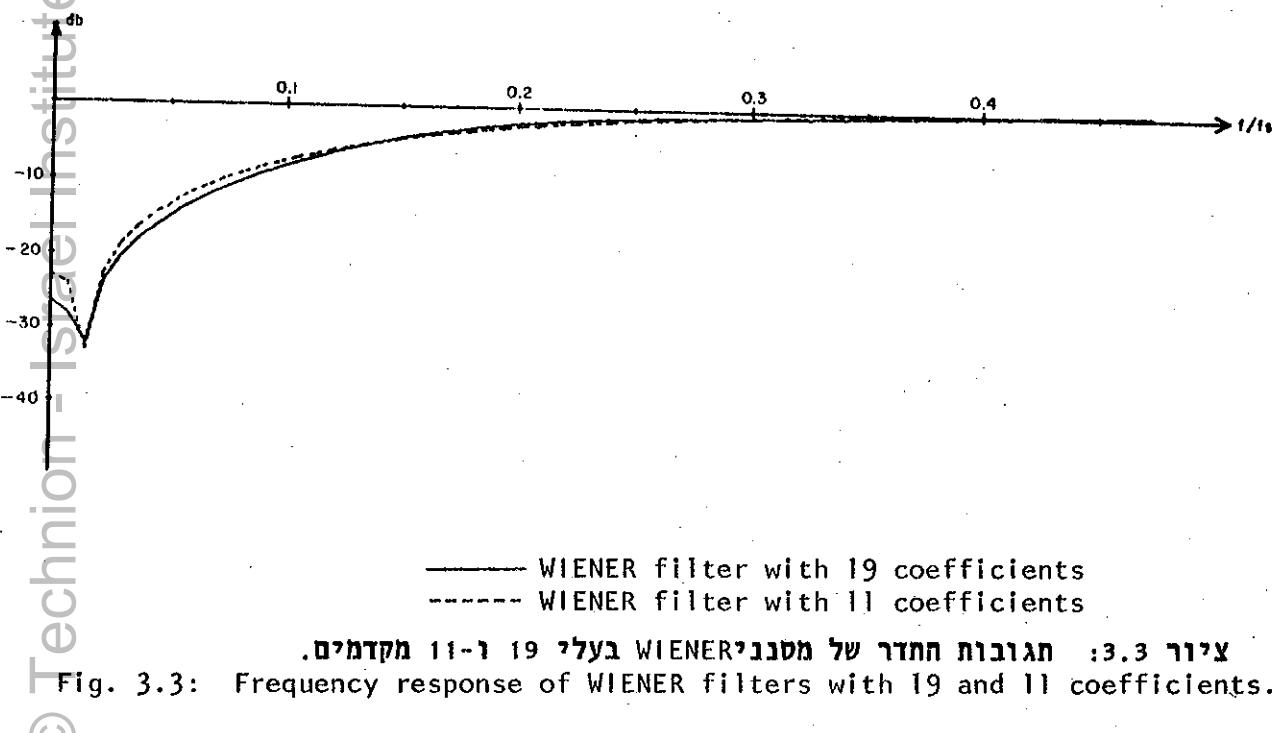
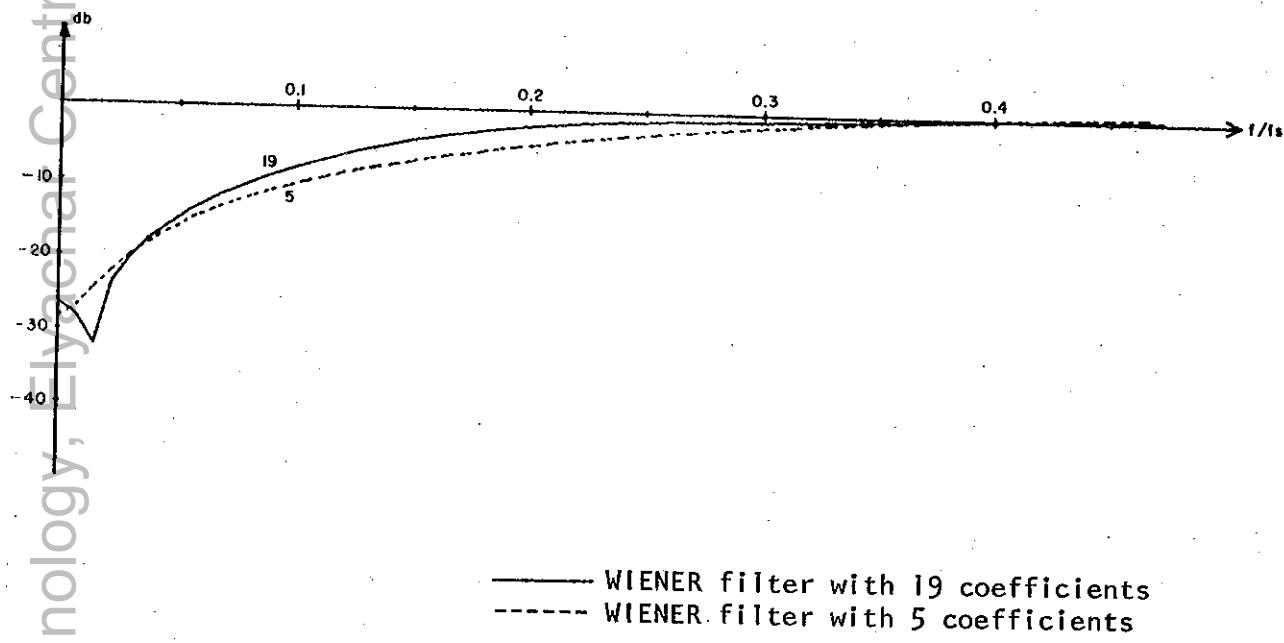
שיטת נרמול זו מבטיחה שיעוצמת המטרה לא תונחת כתוצאה מתהליכי הסנוון. יתרונה של שיטת נרמול זו היא בכך שרוחה העבוד שלבסיסן, המוגדר כמנת של יחס הספק אוות להספק ההפרעה ביציאת המשן ליחס זה בכוניותו, רוחה במקורה זה למנת של הספק ההפרעה ביציאת המשן ושל הספק ההפרעה בכוניותו.

יש לציין, עם זאת כי כאשר מודדים את בוצעי המשן באמצעות עוקם השתברות האגלי כנגד השתברות להתראת שרווא, אין חשיבות מעשית לשיטת נרמול המקדמים.

### 3.1.3 תగובות התדר של מסנני ה-WIENER

בציוור 3.2 משורטוטת>tagobot ha-tadar shel masnani WIENER be-ali 19 v-5 makdimim, ובציוור 3.3 משורטוטת>tagobot ha-tadar shel masnani WIENER be-ali 19 v-11 makdimim. מסננים אלה הם אופטימליים עבור אוסף של שוש תמונות (IMG3, IMG5, IMG6, IMG7, IMG8, IMG9).-tagobot ha-tadar shel masnani WIENER be-ali 11 makdimim, דומה במידה לתגובה התדר של מסנן WIENER be-ali 19 makdimim. לעומת זאת, יש שוני ניכר בין תגובה התדר של מסנן WIENER be-ali 5 makdimim, לבין תגובה התדר של המsnanim האחרים.

תוצאות אלה מצביעות על כך שלא ניתן להסתפק במשן בעל 5 makdimim, ואילו הגדלת מספר המקדמים מעל 11 אינה מועילה בהרבה.



**3.2 מיצג מתואמת בתבאי רוש צבעוני**

מטרת המיצג המתואמת היא לבצע מכשימיזציה של יחס הספק האות להספק ההפרעה ביציאת המיצג.

اذירה משווהות התכנון של מיצג מתואמת מופיעה בספרים ומאמרים רבים (ראה למשל [10]).

ט ט משווהות התכנון ניתן לבטו מטריצי

$$\underline{W} = \underline{R}_{ii}^{-1} \underline{S}^* \quad (3.21)$$

כאשר:

$\underline{R}_{ii}$  - מטריצת האוטוקורלציה של אות ההפרעה.

האלמנט ה- $(i,i)$  ב- $\underline{R}_{ii}$  נתון על ידי

$$R_{ii}(k,\ell) = E[i(n+k)i(n+\ell)]$$

ו- $E$  הוא אופרטור התוחלת.

$\underline{S}$  - הווקטור המציג את אות המטרה.

$\underline{W}$  - ווקטור המקדמים המבוקש.

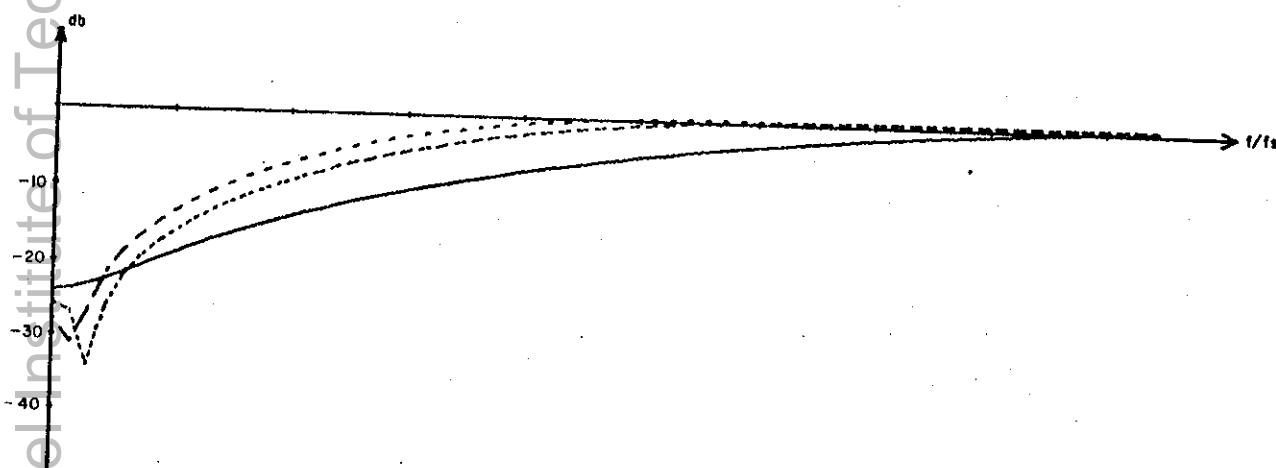
משווהות התכנון של מבנן ה-WIENER ומיצג מתואמת במקרה בו המטרה מיוצגת על ידי דגימה בודדת, הן שקולות עד כדי קבוע המכפיל את כל מקדמי המיצג. אמנם משווהות התכנון של מבנן WIENER דטרמיניסטי מתייחסת למטריצת האוטוקורלציה הדמנית, ואלו משווהות התכנון של המיצג המתואמת למטריצת האוטוקורלציה המוגדרת באמצעות אופרטור התוחלת, אך בפועל מבצע שערור מטריצת האוטוקורלציה מתוך אותן השמיים המדודים באופן זהה בשני המקרים, ולפיכך המנגנונים המתקבלים הם זרים (הזהות מתקבלת לאחר נרמול מקדמי המיצג לפי משווהה (3.20), או באופן אחר).

**3.3 מיצגים מעבירי גבויים**

כל מבנן לינארי המשמש כמעבד אות במערכת-הגלי המתוארת בפרק 2, הוא מבנן מעביר גבויים. גם מיצגי ה-WIENER אשר תיארו בסעיף הקודם הם מיצגים מעבירי גבויים. את הבדיקות אשר ברכנו היא להשווות את ביצועי

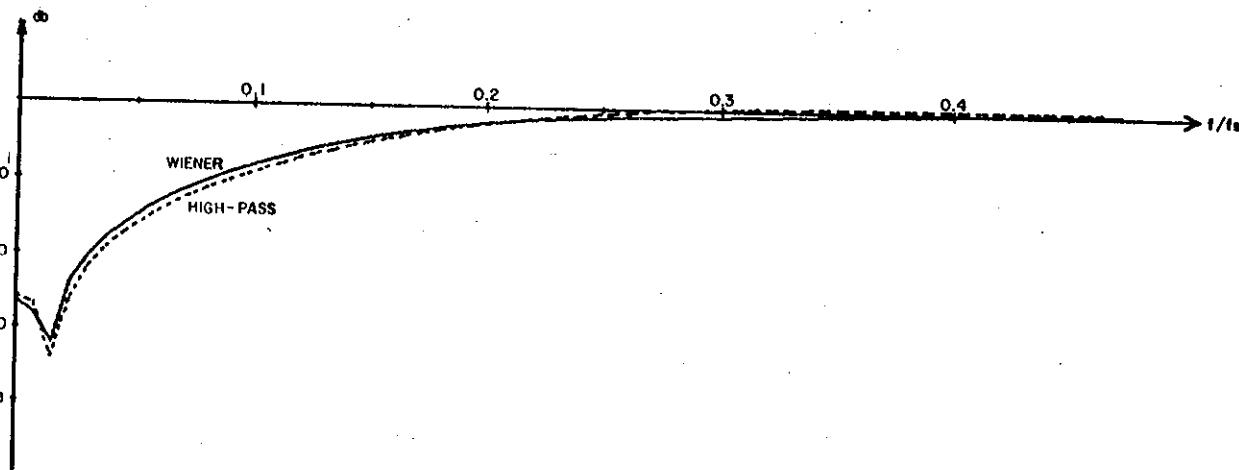
מבחן WIENER, לבוצועי מסננים מעבירי אבוחים בעלי תדרונות קטעון שונות. תוצאות בדיקות אלה יתוארו בפרק 7. בסעיף זה יתואר תהליך הוכנון של המסננים מעבירי האבוחים, ותכונותיהם (תగובה הלם ומגובה-תדר). הוכנון המסננים מעבירי האבוחים נעשה בשיטת החלון, באמצעות תוכנית המחשב WINWIN הקיימת במעבדה לעבוד אוטומטית. התוכנית מקבלת כקלט את הפרמטרים הבאים: תדרונות הקטעון, הנחות בפס הקטעון ומספר המקדים. תוכנו מסננים אחדים בעלי תדרונות קטעון שונות, ובעלי נחות קבוע (q29) באזור הקטעון. מספר המקדים של כל מסנן הוא המספר המינימלי שבעורו מתקיימות הדרישות לגביה תדרונות הקטעון, והנחות באזור הקטעון. בציור 3.4 משורטת תגובה התדר של מסננים אלה, ובצייר 3.5 משורטת תגובה התדר של אחד המסננים בהשוואה לתגובה התדר של מסנן WIENER בעל 11 מקדים האופטימי לאוסף של שש תמונות.

מציררים אלה למדים כי תגובה התדר של המבחן מעביר האבוחים עם תדרונות קטעון השווה לשירות תדר הדגימה עם 19 מקדים, דומה מאוד לתגובה התדר של מסנן WIENER עם 19 מקדים.



— cutoff frequency =  $0.18f_s$ , 11 coefficients  
 - - - cutoff frequency =  $0.1f_s$ , 19 coefficients  
 - - - cutoff frequency =  $0.8f_s$ , 23 coefficients

צייר 3.4: **תגובה התדר של מסננים מעבירי אבוחים בעלי תדרונות קטעון שונות.**  
 Fig. 3.4: Frequency response of high pass filters with different cutoff frequencies.



— WIENER filter with 19 coefficients.  
---- High pass filter with cutoff frequency of  $0.1f_s$  and 19 coefficients.

איור 3.5: תగובות חתדר של מסנן WIENER ומסנן מעביר אבוחיתם.

Fig. 3.5: Frequency response of WIENER filter and High Pass filter.

## 3.4 מסנן LMS דטרמיניסטי

בטעיף זה יתואר מסנן ה-LMS הדטרמיניסטי, אשר תכובנו איננו דורש הגדרה מדויקת של ספקטרום ההפרעה, אלא הגדרת אותה המטרה בלבד. מסנן ה-LMS הדטרמיניסטי האנלוגי מתואר בפרק ב-[2]. בטעיף זה נראה את הבסיסי העיוני לשימוש במסנן זה.

ידוע כי רוחב הסרט של ההפרעה הנובעת ממרכיב ה-clutter באוט הרקע, קטן בהרבה מרוחב הסרט שלאות המטרה. לכן מונחים כי ניתן לייצג אתאות ההפרעה באמצעות פונקציה זמנית המשתנה באיטיות.

שימוש במסנן ה-LMS הדטרמיניסטי מבוסס על ההנחה שבניתן לייצג את ההפרעה על ידי פולינום בעל מקדמים לא ידועים. על פי הנחה זו האות הצפוי הוא האות המוגדר במשוואה (3.22)

$$v(t) = a_s(t) + \sum_{n=0}^N b_n t^n \quad (3.22)$$

(t)s הינואות המטרה המנוורמל המשורטט בציור 3.6.  
T+t=t+z הינו הזמן הנמדד ממרכז (t)s.

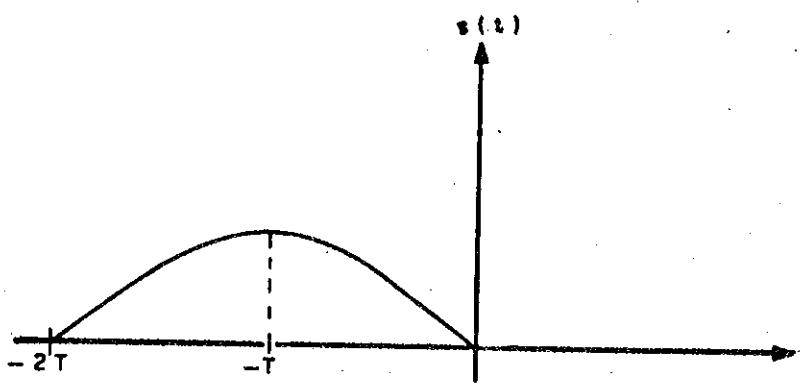


Fig. 3.6: Target signal.

ציור 3.6: אות המטרה.

כנich כי האות המתקבל בפועל הוא ( $x(t)$ ). הדריך המוצעת לבחון אם התקבל אות מטרה באינטראול  $[t_0, t_0 + 2T]$  היא לשער את המקדמים  $N_{b_0, b_1, \dots, b_M}$  במשווהה (3.22). שערוך המקדמים מתבצע על-ידי מינימיזציה של הבוטי ( $F(t_0)$ , המוגדר במשווהה הבאה, על-פי מקדמים אלה:

$$F(t_0) = \int_{-2T}^0 dt [v(t_0+t) - x(t)]^2 \quad (3.23)$$

המקדמים המשוערכים הם המקדמים המבאים למינימיזציה של ( $F(t_0)$ ). המקדמים המשוערכים הופכים למדדים משתנים בזמן 'יכמות' אותן, ויכמות ההפראה באות באינטראול  $[t_0, t_0 + 2T]$ , המקדם המשוער  $(t_0)$  מஹווה את מוצא מבחן ה-LMS הדטרמיניסטי.

ניתן להגדיר מבחן LMS דטרמיניסטי אם עבור אותות דגומים [6]. ניתן להראות [3] כי מבחן ה-LMS הדטרמיניסטי המתוכנן על פי ההנחה שההפרעה ניתנת לייצוג באמצעות פולינום מסדר  $N$ , אקווריילגמי למבחן המתkeletal על פי דרישת התכונן שפונקציית התמסורת של המבחן ו- $N$  נאזרותיה הראשונות יתאפסו בתדר אפס.

סדר מבחן ה-LMS הדיסקרט שווה לדדר הפולינום המיצג את תħaliħה ההפרעה. תגובהה ההלם של מבחן LMS דיסקרט מסדר ראשון, ובבבוחה שאות המטרה סימטרי נתון על ידי

$$h_a(t) = \begin{cases} s(-t) - \frac{1}{2T} \int_{-2T}^0 s(t') dt' & \text{אחרת} \\ 0 & \end{cases} \quad (3.24)$$

המבחן המתואר במשווהה (3.24), זהה למבחן מתואמת בתנאי רוש צבעוני בעל ספקטורום הספק ( $\omega$ )  $s(\omega)$  המקדים:

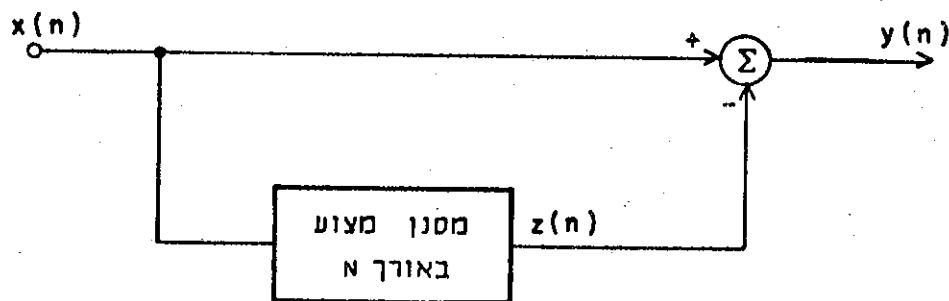
$$s_i(\omega) = K^2 / \omega^2 \quad (3.25)$$

ניתן להראות כי עבור אותות דגומים, כאשר המטרה מיוצגת על ידי דגימה בודדת, מקדמי מבחן ה-LMS הדטרמיניסטי מקיימים:

$$w(k) = \delta(k-M) - \frac{1}{2M+1} \quad (3.26)$$

כאשר  $M+1$  הוא מספר מקדמי המבחן.

מבחן זה מתואר בציור 3.7.



ציור 3.7: מבחן LMS דטרמיניסטי מסדר ראשון.

Fig. 3.7: First order deterministic LMS filter.

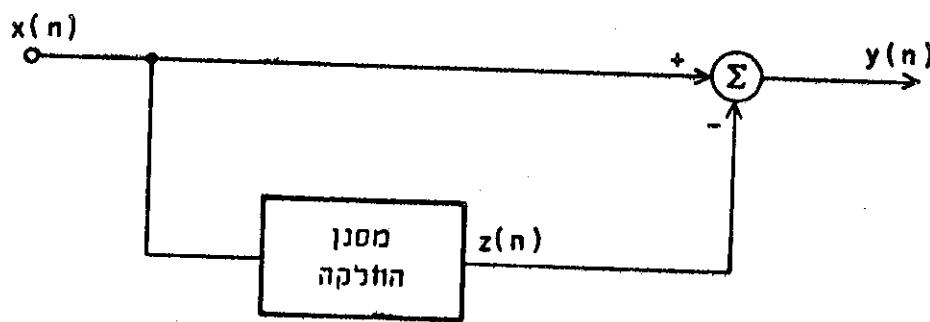
במסגרת מחקר זה נבחנו בוצעו המבחן המתואר בציור 3.7, עם חלונות מצועם

באורךים שונים, בהשוואה לוצעו מבחן WIENER.

**פרק 4: אלגוריתם ה-SMS: החלקה מדיאנית של אות הכניסה ומחירת האות המוחלק מן אות המקורי**

מעבד אותות הלא ליניארי המוצע בפרק זה שיקן למשפחת המעבדים המתוארת בציור

.4.1.



**ציור 4.1: מעבד אות חמחסיר מאות הכניסה את אות הכניסה המוחלק.**

Fig. 4.1: Signal Processor that subtracts from input signal its smoothed version.

ביהן לראות את מסנן ההחלקה כמשערך את ההפרעה. נזקחות מטרה נקבעת מתוך אות ההפרש המתתקבל מהחדרת אות ההפרעה המשוער מאות הכניסה.

מסנן ה-SMS ממוחשי מסדר N, הינו מעבד אות הליניארי האופטימלי, בהנחה שבניתן לתאר את ההפרעה באמצעות פולינום מסדר N.

כאשר מסנן ההחלקה בציור 4.1 הינו מצא ליניארי, מעבד האות המתתקבל אקוויילנטי למסנן SMS מרובי מסדר ראשון.

במקרים מסוימים, השימוש בחחלקה מדיאנית עדיף על פני השימוש בחחלקה ליניארית. אם זאת כולל מרכיבים דמייניים, סנוון מדיאני יכול לבטלם, מבלי לשנות באופן

משמעותי את מרכיבי אותן האחרים. לעומת זאת החלקה לינארית אינה יכולה לבטל לחלווטין מרכיבים כאלה.

אם אורך מכיל קצוות (EDGES) חדים, החלקה אותן באמצעות מסנן לינארית מעביר נזוכים, תגרום למריחת הקצוות. בנגדוד למסנן לינארית, מסנן מדיאני יכול לשמר אי רציפות קודות אחרות. מכובנות אלה, ותכונות נוספות של הסנוון המדיאני רלבנטיות לביעית ההחלקה של אות-אלאי הטורק גזרת רקע. אות האלאי עשוי להכיל קצוות חדים, ומטרה נקודתית מופיעה בהאות האלאי כהלים.

האמור לעיל מהוועת את המוטיבציה לביקורת בוצע מעבד אותן הלא לינארית, המתואר בצייר 4.1, כאשר מסנן ההחלקה הינו מסנן מדיאני. בהמשך החיבור נבנה מעבד אותו לא לינאריזה בשם MSS - Median Smoothing & Subtraction.

בהמשך יוגדר המסנן המדיאני. תובא סריקה קצרה על שימושים מקובלים של הסנוון המדיאני, ועובדות חשובות בנושא זה. לאחר מכן, ינוטחו באופן ממתייךונותיו החשובות של הסנוון המדיאני, ויתוארו תכונותיו של האלגוריתם הלא לינאריזה המוצע. לסייע נדון במושג סנוון מדיאני, ונציג אלגוריתם מהיר למושג סנוון מדיאני מקובל:

#### 4.1 הגדרת המסנן המדיאני

תהיה הסדרה הדיסקרטית  $\{x(n), n=0, 1, 2, \dots\}$

סדרת הבנייה למסנן המדיאני, ו-

$$\{z(n), n=0, 1, 2, \dots\}$$

סדרת היציאה.

יהיה  $N$  שלם חיובי המציין את אורך חלון המסנן.

אם  $N$  הינו אי זוגי, כלומר מקיימים  $N+2M+1$  אזי

$$z(n) = \text{Median}(x(n-M), x(n-M+1), \dots, x(n), \dots, x(n+M))$$

כלומר  $(n)z$  הינו האבר החזינווי בתת סדרה זו.

זאת אומרת, אם נסדר את הסדרה בסדר עולה, ונקבל סדרה חדשה

$$\{x_n^{(1)}, x_n^{(2)}, \dots, x_n^{(2M+1)}, \dots, x_n^{(1)}, \text{המקיימת } x_n^{(k)} \leq x_n^{(i)}, \text{ אם } k < i, \text{ אזי}$$

$$\text{Median}(x_{n-M}, \dots, x_{n+M}) = x_n^{(M+1)}$$

ניתן להגדיר מסנן מדיאני בעל אורך חלון זוגי. במקרה זה  $(n)z$  מתקיים למשל על ידי ממוצע שני האברים המרכזיים בסדרה המסודרת  $\{x_n^{(i)}\}$ .

## 4.2

עבודות חשובות בקשר הסנון המדיאני

הסנון המדיאני הוצע לראשונה על ידי Tukey [11], אשר השתמש בסנון המדיאני כשיטת חלוקה אנגליזת סדרות זמגיות.

Rabiner ושותפיו [12] ערכו מחקר איקומי אשר בועד להעריך את ביצועי המטבון המדיאני, וביצועי השלב הטורי של מסנון המדיאני עם מסנן לינארית, בהחלוקתאותות הנגזרים מאותות דבר. הם מצאו כי בדרך כלל המטבון המדיאני היה עדיף על מסנן לינארית שצורת התגובה להלט שלו היא חלון Hamming באורור דחה. המחליק המדיאני שמר אי רציפות באוטם, תוך כדי בטול הרושם בתדר גבואה, בוגוד למסנן הלינארית שגרם למrixת הקצוות החדים. השלב הטורי, סנון המדיאני - סנון לינארית, היה אף יותריעיל לאותות שנבדקו בעבודתם.

Pratt [10] ערך מחקר איקומי בו בדק יעילותם של מסננים מדיאניים חד-מידיים, ומסננים מדיאניים דו-מידיים עם חלונות בעלי צורות גיאומטריות שונות, שהזoor תמונות אשר הושתטו באמצעות רוש אימפולטי. הוא מצא כי המטבונים המדיאניים היו יעילים ביותר בדיכוי רוש אימפולטי, ורוש מסוג 'Salt and Pepper'.

Chin ו-Yeh [14] הציעו שיטת השוואה כמותית בין אלגוריתמים שונים להחלוקת תמונות, ובצעו באמצעות השוואה בין אלגוריתמים אחדים.

השוואה בוצעה על ידי הפעלת האלגוריתמים על משפחת תמונות הנגזרות מתמונה מבחן אידיאלית. תמונה המבחן האידיאלית כוללת אותן המכיל קצוות חדים (עגול כהה על רקע בהיר). לחמונה המבחן האידיאלית מושפעים רוש לבן אופסי. משפחת תמונות המבחן בוצרת על ידי שניי שפוע הקצוות באוטם, ושינוי יחס אותן לרוש. בוצעו האלגוריתמים נבחנים על פי המודדים הבאים: השגיאה הרבועית הממוצעת בין תמונה המבחן-המשובנת לבין תמונה המבחן האידיאלית באזוריים בעלי פעילות מרחבית נמוכה, והשגיאה הרבועית הממוצעת באזוריים בעלי פעילות מרחבית גבוהה (כלומר אזוריים המכילים קצוות חדים).

האלגוריתמים הייחודיים מבין כל האלגוריתמים הנבדקים, אשר היו יעילים על פי שני המודדים, הינם הסנון המדיאני, וסנון לא לינארית הקרוי: "מצוע K השכנים הקרובים בערכם". (nearest neignbour averaging - K).

באלגוריתם זה מחליקים חלון בגודל NxN על פני התמונה. הערך המוחלך במרכז החלון, מתקבל על ידי מצוע K התאים הקרובים ביותר בערכם לערך התא במרכז החלון.

בעבודתם של Chin ו-Yeh לא נבחנו האלגוריתמים בתמונות אשר הרושם בתהן הוא אימפולטי. להערכת ביצועי הסנון המדיאני בתמונות כאלה, יהיו

טובים יותר מאשר בוצעו האלגוריתם הלא לינארי הקרויה "מצוע K השכניםים הקרובים בערכט". המבנן המדיאני מדכו הלמים ביעילותות גבוהה יותר מאשר הממוצע הלינארי, ולעומת זאת ברור כי הממוצע הלינארי מדכו הלמים ביעילותות הרבה יותר מאשר האלגוריתם הקרויה "מצוע K השכניםים הקרובים בערכט" (בנich כי במרכז החלון מופיע הלם חיובי. במצוע רגיל יוחלף ההלם בממוצע כל האברים בחלון, ואילו בשיטה המוצעת "מצוע K השכניםים הקרובים בערכט", יוחלף ההלם בממוצע של K האברים האדוליטים בערכט בחלון). כמו כן נקרו התכונות הסטטיסטיות והדטרמיניסטיות של המבנן המדיאני. התכונות החשובות נスクרות ב- 4.3 ו- 4.4.

#### 4.3 **תכונות סטטיסטיות של המבנן המדיאני**

בטעיף זה נשווה את בוצעו המבנן המדיאני, לבוצעו הממוצע הלינארי בשתי בעיות. בעית דכו רעים, ובעית השזרה של אות קאה (EDGE) רועש. התוצאות בטעיף זה מבוססות על עבודהתו של Justusson [15].

##### 4.3.1 **דכו רעים**

מבנן מדיאני הינו מבנן לא לינארי. לכן, נתוח אנליטי של בוצעו מסובך. השוואת הביצועים עורך לקרה הקל ביותר - אותו קבוע והפרעה אסונית. נניח כי דגימות אותה הכניתה (ח) {x} הם משתנים אקראיים בלתי תלויים, בעלי אורתה פונקציית צפיפות הסתברות ומקימים (ח)  $\sum x_i = \bar{x}$ . ס הוא ערך האות הקבוע, ומהליך ההפרעה (ח) הינו תהליך אקראי אושן בעל ממוצע  $\sigma^2 = \sum (x_i - \bar{x})^2$ , ושותות  $\sum (x_i - \bar{x})^2 = N\sigma^2$ .

יהיה (ח) z אות הייצאה מהמבנה, ו-  $\sum (z_i - \bar{z})^2 = \frac{\sigma^2}{N}$  השונות של אות הייצאה. המדריך לטיב הביצועים הוא  $\frac{\sigma^2}{N}$ . ככל שונות אות הייצאה יותר קטנה, יכולת דכו רעם טובה יותר.

במשווה (4.1) מובא בטוי מוקרב לשונות אות הייצאה מבנן מדיאני, כאשר אותן הנקודות מקיימים ההנחה לעיל (ראה [15]).

$$\sigma_z^2(\text{MED}) \approx \frac{\sigma_x^2}{N + \frac{\pi}{2} - 1} \cdot \frac{\pi}{2} \quad (4.1)$$

כאשר:  $\sigma_x^2$  - שונות אות הנקיטה

N - אורך החלון בסבון המדיאני.

כיוון שאות ההפרעה (ח) הוא תהליך אקראי אוטי בעל שונות  $\sigma_x^2$ , אם (ח) הוא תהליך אקראי אוטי בעל שונות  $\sigma_i^2$ , ומתקיים

$$\sigma_x^2 = \sigma_i^2 \quad (4.2)$$

ולאז'

$$\frac{\sigma_z^2(\text{MED})}{\sigma_z^2(\text{AV})} \approx \frac{\sigma_i^2}{N + \frac{\pi}{2} - 1} \cdot \frac{\pi}{2} \quad (4.3)$$

במשוואת (4.4) מובה בטוי לשונותאות היציאה ממוצע לינארי כאשר אותה ההפרעה היא תהליך אקראי אוטי בעל שונות  $\sigma_i^2$ .

$$\frac{\sigma_z^2(\text{AV})}{\sigma_z^2(\text{MED})} = \frac{\sigma_i^2}{N} \quad (4.4)$$

משוואות (4.3)-(4.4) מוכיחו כי עבור אותה הפרעה שהוא תהליך אקראי אוטי, יכולת דיכוי ההפרעה של המוצע הלינארי טובה מזו של המבחן המדיאני. היחס בין שונותות תהליכי היציאה נתון על ידי

$$\frac{\sigma_z^2(\text{MED})}{\sigma_z^2(\text{AV})} \approx \frac{\pi}{2} \quad (4.5)$$

לעומת זאת כאשר אותה הוכניטה היא בעל פילוג אקספוננציאלי דו-צדדי, המבנה המדיאני ייעיל יותר מאשר המוצע הלינארי. במקרה זה, שונותות תהליכי היציאה ממבחן מדיאני, קטנה בערך ב-50% משונות תהליכי היציאה ממוצע לינארי. שונותות תהליכי היציאה ממבחן מדיאני עבור תהליכי כנתה בעל פילוג אקספוננציאלי דו-צדדי נתונה בקרוב על ידי משווה (4.6) (ראה [15]).

$$\frac{\sigma_z^2(\text{MED})}{\sigma_z^2(\text{AV})} = \frac{\sigma_i^2}{\frac{1}{2}(N-1)} \quad (4.6)$$

כאשר  $\sigma_i^2$  שונות תהליכי הוכניטה,  $N$  הוא אורך החלון.

שונותות תהליכי היציאה ממבחן לינארי נתונה על ידי משווה (4.4), אם עבור תהליכי כנתה בעל פילוג אקספוננציאלי דו-צדדי, ולכן כאמור

$$\frac{\sigma_z^2(\text{MED})}{\sigma_z^2(\text{AV})} \approx \frac{1}{2}$$

**4.3.2 שחזור קצוטות ורועשים**

בנייה כי אות הכנישה נTHON על ידי משואה (4.7)

$$x(n) = s(n) + i(n) \quad (4.7)$$

כאשר (a)s היבנו אותה דטרמיניזטי המיצג את אות הקצה. אות הקצה שווה ל-0 בצד אחד של הקצה, ושווה ל-1 בצד השני. (a)i הוא אות ההפרעה. בנייה כי אות ההפרעה הוא תהליך אקראי אושם לבן בעל ממוצע אפס וdispersion  $i^2$ . המדריך שנקבע לטיב השחזור מבוסס על השגיאה הרובעית הממוצעת ב-7 נקודות סמוכות לקצה,

$$MSE = \frac{1}{n} \sum E[(y(n) - s(n))^2] \quad (4.8)$$

כאשר: MSE - השגיאה הרובעית הממוצעת  
ל - מס' הנקודות בהן מחושבת השגיאה הרובעית הממוצעת

(a)y - אות הייצאה מהמנון

(a)s - אות הקצה הדטרמיניזטי.

ב-[15] מתקבל כי עבור  $\frac{1}{n} < 4$ , השגיאה הרובעית הממוצעת המתקבלת עבור סיכון מדיאני, קטנה בשעור ניכר מן השגיאה הרובעית הממוצעת המתקבלת עבור מצוע ליינארי.

בטבלה 4.1 מובאים ערכי השגיאה הרובעית הממוצעת המוחשבת בשתי נקודות הקצה, עבור סיכון מדיאני באורך 3 ומוצע ליינארי באורך 3, הפעלים על האות הנTHON במשואה (4.7), כאשר הטפק ההפרעה שווה ל-1. ערכי השגיאה מחושבים עבור ערכי  $i$  אחדים בתחום 1-5. טבלה זו מבוססת על התוצאות ב-[15].

**טבלה 4.1: השגיאה הרבועית הממוצעת בשחזור אות קצף.**

Table 4.1: Mean square error in edge-signal reconstruction.

$h$	MSE(AV)	MSE(MED)
1	0.49	0.64
2	0.81	0.81
3	0.9	1.3
4	1.0	1.96
5	1.0	2.9

**4.4 תכונות דטרמיניסטיות של סנון מדיאני**

[16] הגדרו והוכיחו תכונות דטרמיניסטיות חשובות של הסנון המדיאני. נסוח מתמטי של תכונות אלה מחייב הגדרת מושגי יסוד. תחילה יובאו הגדרות אלה, ובהמשך ינוסחו באמצעות התכונות הדטרמיניסטיות של הסנון המדיאני. כל החדרות מתיחסות לסנון מדיאני עם חלון באורך  $2M+1$ .

**טבינה קבועה** (Constand neighbourhood) היא טבינה שאורכה הוא לפחות  $M+1$  נקודות, וכל הנקודות בה בעלות ערך זהה. **קצה** (Edge) הינו איזור מוגטובי בין שתי טבינות קבועות שונות בערךן. האזור המוגטובי הקשר אינו יכול להכיל טבינה קבועה.

**דופק** (Impulse) הינו קבוצה נקודות אשר אורכה אינו עולה על  $M$ , והוא נתונה בין שתי טבינות קבועות שונות בערךן. שתי נקודות האבול של קבוצה בקודמת זו באורך  $M$  לכל היותר, שונות בערךן מערבי הטבינות קבועות. **תנוודת** (Oscillation) היא קבוצת נקודות שאינה חלק מטבינה קבועה, קצה או דופק.

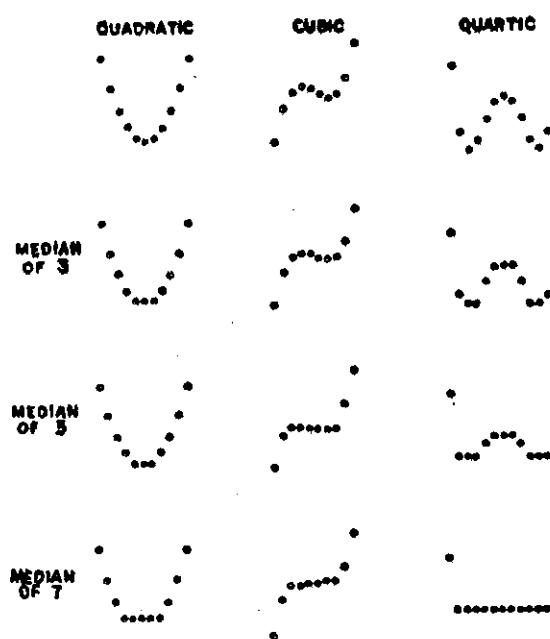
**שורש** (Root) של מנגן מדיאני עם חלון באורך  $2M+1$ , הוא אות אינטגריאנטי למנגן זה.

עתה ניתן לנתח את התכונות הבאות:

1. תנאי מספיק וחרכי לכך שאות יהיה אינטגריאנטי לסנון מדיאני, הוא שהאות יהיה מורכב מטבינות קבועות וקצנות בלבד.

2. מבחן מדיאני באורך  $1+M^2$  מבטל דפקים (הכוונה לדופק המוגדר קודם).
3. אם אותן מסויימות הינו איבנוריאנטי לסמן מדיאני עם חלון באורך  $1+M^2$ , הוא איבנוריאנטי לכל מבחן מדיאני עם חלון אי-זוגי קצר יותר.
4. כל אותן באורך 7 יהפוך לשורש של מבחן מדיאני באורך אי-זוגי כלשהו, לאחר  $2/(2-L)$  סנוונים עוקבים לכל היתר.

ב-[12] מודגמת יכולתו של המבחן המדיאני לעקוב בקרוב אחרי פולינומים מסדר נמוך. צייר 4.2 מראה 3 פולינומים - פולינומים מסדר שני, מסדר שלישי ומסדר רביעי, ותוצאות החלקה של פולינומים אלה באמצעות סנוון מדיאני עם חלונות באורך 3, 5 ו-7. רואים כי מבחן מדיאני עם חלון באורך 3 עוקב בקרוב טוב אחרי פולינומים אלה, בעוד שմבחן מדיאני עם חלון באורך 7 עוזרת נכרת את הפולינום מסדר רביעי.



צייר 4.2: החלקה סדיאנית של פולינומים מסדר נמוך.

Fig. 4.2: EFFECTS OF VARIOUS MEDIAN SMOOTHERS ON LOW ORDER POLYNOMIALS.

#### 4.5 תכובות אלגוריתם ה-MSS

תבילה בנטח תכובות דטרמיניסטיות אחדות של אלגוריתם ה-MSS. תכובות אלה נגזרות מתכובות המשן המדיאני המנושאות ב-(4.4). בהמשך נקשר בין תכובות אלה העוסקות באותות אידאליים לבין הבזועים הצפויים של האלגוריתם הפועל על אותות שמיים אופיניים. חלק זה, שהוא יוריסטי באופיו, לא בוצע להוכחה את עליונותו של אלגוריתם זה על פני אלגוריתמים אחרים, אלא רק למאר את המניעים לבדוק את בזועיו ביחס לאלגוריתמים האחרים. תוצאות ההשוואה בין בזועי האלגוריתמים השובבים יובאו בפרק 7.

לאלגוריתם MSS המבוסט על סנון מדיאני המכונאות הבאות:

1. אם אותן עליין מופעל האלגוריתם הבנו שורש של המשן המדיאני, תוצאה הפעלה האלגוריתם תהיה זהותית אפס.

2. אם אותן הכנישה כולל ידוף (ידוף מוגדר ב-(4.4), גובה הדוף לא ישנה כתוצאה מהפעלה האלגוריתם.

אות גלי הטרוק איזור מסוים בשםים עשוי לכלול קטעים בעלי אופי שונה. כאשר הגלי טרוק איזור עניים מוארים, ההפרעה הדומיננטית היא ה-clutter, וכשה הגלי טרוק איזור שמיים בחולים, ההפרעה הדומיננטית היא הרעש הפוטוני. לעיתים, המעבר מאזור אחד לשנהו הוא מהיר, ואז מקבל קצה EDGE) באות הגלי.

יכולתו של המשן המדיאני לשמור קצוזות חדים באות, גורמת לכך שהאנרגיה באות הייצאה, הנובעת מקיום קצוזות חדים באות הכנישה, תהיה קטנה יותר באלגוריתם המבוסט על סנון מדיאני, מאשר במשן WIENER (או כל משן LIINARI מעביר גבויים), ומאשר באלגוריתם המבוסט על החלקה לינארית של האות, והחזרת האות המוחלק מן האות המקורי.

משן מעביר גבויים לא ינחת את האנרגיה בתדריות גבואה של אותה הקצה. לכן, אותן הייצאה ממשן WIENER, מכיל אנרגיה הנובעת מקיום קצוזות חדים באות ההפרעה.

המחליק הלינארי בוטה לירוח קצוזות חדים באות לנן, האות המתתקבל מהחלוקת לינארית של האות, והחזרת האות המוחלק מן האות המקורי יכולן מרכיבים של הקצוזות (EDGES) באות הכנישה.

אות הרקע היא אות המשנה באטיות, ומקובל לקרב קטעים קצרים של האות באמצעות פולינומים מדר נמוך [5]. מהאמור ב-4.4 רואים כי מסנן מדיאני נועה לשמר פולינומים מדר נמוך. לכן צפוי כי מסנן מדיאני יעקוב בקרוב די טוב אחרי אות הרקע, והאלגוריתם המוצע יביא לדכוי ניכר של הפרעה זו.

כאשר המטרה מיוצגת על-ידי דופק, כלומר נתונה בין שתי שביבות קבועות שות-ערך, האלגוריתם המבוסס על סנן מדיאני אינו פוגע בעוצמתה, וזאת בניגוד לאלגוריתם הלינארי המקביל.

#### 4.6 שיטות למימוש סנן מדיאני וסנן מדיאני מקובל

בעית מציאת המדיאן של סדרה באורך  $N$ , הינה הבעה של מציאת האבר ה- $t$  בגודלו מtower הסדרה שאורכה  $N$ , כאשר  $\lceil \frac{N}{t} \rceil = t$ .

Knuth [17] מציג בספרו גישות שונות למציאת האבר ה- $t$  בגודלו מtower סדרה שאורכה  $N$ , הוא מציג שיטות המבוססות על השוואות, ושיטות Radix Radix שאורכה  $N$ . בהabilo עצמו לשיטות המבוססות על השוואות, שאינו מבצע השוואות כלל. בהabilo עצמו לשיטות המבוססות על השוואות, הוא מציג חסם עליון וחסם תחתון למספר ההשוואות המינימלי הדרוש למציאת האבר ה- $t$  בגודלו מtower סדרה שאורכה  $N$ . נסמן את המספר המינימלי של השוואות ב- $v_t(N)$ . Knuth מוכיח כי

$$N-t+(t-1) \lceil \lg \frac{N}{t-1} \rceil \leq v_t(N) \leq N+t-1 + \lceil \lg(N+2-t) \rceil, \quad N \geq t \quad (4.9)$$

כאשר:  $N$  אורך הסדרה

[c] השלים הקטן ביותר הגודל או שווה ל-0

וגם לוגריתם לפי בסיס 2.

כמו כן הוא מציג בטווי מדויק למספר ההשוואות המינימלי הדרוש עבור  $t=2$ .

$$v_2(N)=N-2+\lceil \lg \lceil \frac{N}{2} \rceil \rceil \quad N \geq 2 \quad (4.10)$$

כאשר:  $N$  הינו אורך הסדרה.

(N)  $\geq 2$  הינו מספר ההשוואות המינימלי הדרוש למציאת האבר ה-2 בגודלו בסדרה זו.  
[c]וגם כמפורט ב-(4.9).

מתוך משווהה (4.10) מתקבל כי מספר השוואות המינימלי למציאת המדיאן של סדרה בת 3 אברים הוא 3. בטבלה 4.1 מופיעים החסמים התחומיים והחסמים העליוניים הטוביים ביותר הידועים למספר השוואות הדרוש למציאת המדיאן של סדרות באורךים שונים.

**טבלה 4.2:** חסמים עליוניים הטוביים ביותר למספר השוואות הדרושות למציאת מדיאן של סדרה.

Table 4.2: Best upper bounds known for no'of comparisons needed for finding the median.

אורך הסדרה N	חסם תחתון למספר השוואות	חסם עליון למקי מינימלי של השוואות הדרושות למציאת המדיאן
3	3	3
5	6	6
7	9	10
9	12	14

Atman ושותפיו [18] הציעו אלגוריתם מהיר לבניון מדיאני. אלגוריתם זה מתבסס על שיטה מהירה למציאת מדיאן של סדרה, שיטה המתבססת על יצוג בינארי של האלמנטים בחלון. כמו כן מנצל אלגוריתם הבנוון את העבודה שככל צעד באלגוריתם מוזץ החלון ביחסה אחת, ו-N דגימות בשני חלונות עוקbijת משותפות. ( $N$  - אורך החלון). צעד אחד בתהליך הבנוון המדיאני המוצע, כולל  $N^2$  פעולות של בדיקת ערך טיבית,  $N$  פעולות על כתובות הוספה או חסרה של יחידת מעון),  $1-N$  פעולות השוואת. השימוש בשיטה זו כדי עברו לבניון עם חלונות באורך 7 או יותר.

בעובדה זו נבדקו בצוויו של אלגוריתם מהיר לבניון מדיאני מקובל. אם אלגוריתם זה מתבסס על יצוג בינארי של האברים בחלון והוא מהיר יותר מן האלגוריתם המקובל, עברו כל אורך החלון. להלן יוצג אלגוריתם מקובל זה.

תהיה  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  סדרת הכוניטה, ויהיה  $z$  המדיאן של סדרה זו. יהיה  $b_{1,1}, b_{1,2}, \dots, b_{1,n}$  היצוג הבינארי של האלמנט ה-1. יהיה  $e_{1,1}, e_{1,2}, \dots, e_{1,n}$  היצוג הבינארי של המדיאן  $z$ .

דוד מלאר [19] הציע תחילה את הדרך הבאה לחישוב הסיבית ה- $i$  של הייצוג הבינארי של המדיאן הקרוב  $z$ .

$$\tilde{z}_i = \text{Median}(b_1^1 b_1^2, \dots, b_i^N)$$

מציאת המדיאן של סדרה ביבינארית שකולה להשוואת מספר ה-10' ו-11'. אם מספר ה-11' גדול ממספר ה-10', סיבית התוצאה 1, ולהיפך. במקרים מסוימים שיטת הסגנון המדיאני ברמת הסיביות עובדת יפה, והתוצאות המתקבלות זהות או קרובות לתוצאות המתקבלות בסגנון מדיאני. בדוגמה הבאה יבוצע סגנון מדיאני ברמת הסיביות. כל ערך בסדרת הכביסה מוצג על ידי 4 סיביות ( $4=L$ ), גודל החלון 3 ( $3=N$ ) וסדרת הcabissa  $\{9, 4, 11\}$ .

$$\text{Median}\{9, 4, 11\} = 9$$

#### וברמת הסיביות

	9	4	11	bit level Median
$b_1$	1	0	1	1
$b_2$	0	1	0	0
$b_3$	0	0	1	0
$b_4$	1	0	1	1

התוצאה המתתקבלת, 1001, היא הייצוג הבינארי של 9.

אבל, ישנם מקרים בהם התוצאה המתתקבלת שונה לगמרי מתוצאתה המקורי המדיאני. מקרה כזה יובא בדוגמה הבאה.

אם בדוגמה זו כל ערך בסדרת הcabissa מוצג על ידי ארבע סיביות, ואורכו החלון 3. הפעם נתיחס לפדרת הcabissa 7,0,8

$$\text{Median}\{7, 0, 8\} = 7$$

## ברמת הסיביות

	7	0	8	bit level Median
$b_1$	0	0	1	0
$b_2$	1	0	0	0
$b_3$	1	0	0	0
$b_4$	1	0	0	0

התוצאה המתבקשת היא 0000, היצוג הבינארי של 0 (במקום 2).

התרופה שהודגמה לעלה היא אופיינית וניתן להכליל אותה.

נניח כי אורך החלון הוא 3 דגימות, ורוצים למצוא את המדיאן של סדרה

$(3 \times 2) \times (1) \times$  בשיטת הסיביות. תהיה סדרה  $(L, \dots, L_i, \dots, L_{i+1}, \dots, L_n)$ .

היצוג הבינארי של  $(a) \times (3, 1, 0)$ .

אם היצוג הבינארי של אחד האברים בסדרה זהה למשלים של היצוג הבינארי

שלابر אחר, אזי המדיאן של שלושת האברים זהה לאבר הנוסף בסדרה זו.

התרופה זו אינה רצiosa, שכן אם היצוג הבינארי הוא בן 7 סיביות, הרי

היצוג הבינארי של  $L_{i+1}^1 L_i^2$  הינו המשלים של היצוג הבינארי של  $L_{i-1}^1 L_i^2$ ,

ואלו הם מספרים עוקבים (כמו 7 ו-8 בדוגמה לעיל עם 4=L).

במשך יתארו שתי שיטות 'מושפרות' לבנון מדיאני ברמת הסיביות, אשר

morphon בחומרה פשוט יחסית. בשיטה הראשונה מנוטים להתגבר על התופעה הלא

רצiosa באמצעות 'גשאי'. בשיטה השנייה מנוטים להתגבר על התופעה זו באמצעות

שימוש ביצוג בינארי שונה.

## 4.6. סנון מדיאני ברמת הסיביות עם נשא

בסעיף זה יוצע האלגוריתם אשר הוצע על ידי דוד מלאר [6], לביצוע סנון

mdiани ברמת הסיביות עם נשא. מטרת האלגוריתם המוצע, היא לשפר את ביצועי

הסנון mdiани ברמת הסיביות אשר תואר לעיל.

כמפורט נטען ב- $\frac{1}{n}$  את הסיבית ה- $n$ -ה ביצוג הבינארי של האבר ה- $n$  בחולון

הנתון  $(L_{i-1}, L_i, L_{i+1})$ , וב- $\frac{1}{n}$  נטען את הסיבית ה- $n$ -ה ביצוג הבינארי של

הmdiאן ברמת הסיביות.

באלגוריתם לטבון מדיאני ברמת הסיביות ללא נשא,  $i=1 \dots n$  אם ורב הסיביות במליה  $N_{i=1}^{n-1}$  שווה ל-1, ו- $i=0$  אם רב הסיביות במיליה זו שווה לאפס. השגיאה במידיאן נובעת מכך שסיביות המועות במליה  $N_{i=1}^{n-1}$  אינן משפיעות על החזואה. האלגוריתם המוצע, לבזוע טבון מדיאני ברמת הסיביות עם נשא, מקטין שגיאה זו.

להלן יוצגו שלבי האלגוריתם לטבון מדיאני ברמת הסיביות עם נשא בעומק  $D_C$  (שלם).

יהיה  $L$  מספר הסיביות ביצוג הבינארי של האברים בחולון.

1.  $i=1 \dots L$ .

יהיה  $i=0$  מספר האברים בחולון הטבון אשר עברו  $i=0$ , וכייה  $i+1$  מספר האברים אשר עברו  $i=1$ .  $0 \leq i \leq N-1$ ,  $i=1 \leq z \leq i+1$ .  
יהיה  $(i-L, D_C)_{\min}=j$ . לכל  $a$  אשר עברו  $i \geq a \geq j$ , ולכל  $i \leq j \leq a$ :

$$b_{i+j}^n = b_i^n$$

2.  $i=i+1$ .

3. אם  $L \leq i$  חזר ל-2. אם  $L > i$  - סיום

תוצאות הפעלה האלגוריתם זה על טדרות כניטה שננוות, ועבור עומקி בשא שוניים מובאים בטבלה 4.2. בדוגמאות הקודמות כל ערך בסדרת הכניטה מיווצר על ידי ארבע סיביות, ואורור החולון - 3.

טבלה 4.3: תוצאות הפעלה טבון מדיאני ברמת הסיביות עם נשא בעומקים שונים.

Table 4.3: Results of bit level median filtering with different carry depths.

מדיאן מדויק	הmedian המקורב	עומק הנשא	סדרת הכניטה
9	9	3	9 4 11
9	9	2	9 4 11
9	9	1	9 4 11
9	9	0	9 4 11
7	7	3	7 0 8
7	6	2	7 0 8
7	4	1	7 0 8
7	0	0	7 0 8

עבור סדרת הכניפה {11, 4, 11} המדיין המקורב זהה תמיד למדיין המדויק, אבל עבור סדרת הכניפה {8, 0, 7} יש שווון בין המדיין המקורי המקורב למדיין המדויק רק עבור נשא בעומק מלא (3 במקורה זה). בדוגמה זו השגיאה גדולה ככל שעומק הנשא קטן.

#### קדוז הסדרה באמצעות קוד GRAY

ראינו כי אם מחשבים את המדיין ברמת הסיבית (לא נשא) של סדרה, שבה לפחות יש בין זוג בעל יצוג בינארי מושלם, פרט לאבר אחד, תוצאה הסנוון המקורי זהה לערך האבר הבוזד.

בניהם זוג במקרה מבוטלים זה את השפעתו של זה, וזויה הסיבה העיקרית לשגיאות בסנוון המקורי ברמת הסיביות ללא נשא. השיטה המוצעת בסעיף זה מנצלת את התכונה הבסיסית של קוד GRAY - היצוגים הבינאריים של מספרים ווקבים נבדלים זה מזה בסיבית אחת בלבד.

להלן יפורטו שלבי השיטה:

- א. לפני בוצע הסנוון המקורי מקדדים את הסדרה באמצעות קוד GRAY.
- ב. מפעילים את הסנוון המקורי ברמת הסיביות ללא נשא על הסדרה המקודדת.
- ג. מפונחים את סדרת התוצאות המקודדת באמצעות קוד GRAY ומתקבלים את סדרת התוצאה ביצוג הבינארי הרגיל.

אם שיטה זו הועתה על ידי דוד מלאר [19].

## פרק 5: הערכת ביצועי המעבדים באמצעות מודל של הרקע

ביצועי מערכת גלויה נמדדים על פי הסתברות האגלו המושגת עבור ערך נתון של ההסתברות להתראת שווה.

בפרק זה נציג מודל אנליטי לאות הרקע (שהוא אות ההפרעה), ובאמצעות מודל זה יוערכו הסתברויות אלה עבור מעבדי אותות שונים (ליינאריים ולא ליינאריים) הפועלים במערכת גילוי עם סף קבוע.

**סעיף 5.1** הינו מבוא קצר בו יוגדרו הרטमוניות ויבאו הבוטוים הכלליים לחישוב הסתברות.

**סעיף 5.2** יוצג מודל הרקע המתאים למקרה בו אות הרקע הינו טציזוני, על-פי מודל זה יחושבו הסתברות להתראת שווה והסתברות האגלו במערכת עם סף קבוע, הפועלת על אות רקע טציזוני.

**סעיף 5.3** יורחב המודל למקרה בו אות הרקע איינו טציזוני, ויחושבו הסתברויות עבור מקרה זה.

**סעיף 5.4** תבחן מידת ההתאמה של התוצאות המתתקבלות מהנחה המודל לאבי אות הרקע, לתוצאות המתתקבלות בשיטתה המתבססת על הפעלת מעבדי אותות על אותן רקי מודדים.

### 5.1 מבוא

הגדירות יהיו  $\Delta$  ההשניה של מעבד האות,  $(a)x$  אות הכניטה למשובץ האות  $- (a)y$  אות הייצאה.

נסמן  $b_{-H}$  את ההשערה שאין מטרה בדגם ה- $H$  של אות הכניטה, וב- $H$  את ההשערה שקיים מטרה בדגם זה.  $|H_0| (a)x$  יהיה הדגם ה- $H$  של אות הכניטה כאשר לא מופיעה מטרה בדגם זה, ו- $|H_1| (a)x$  יהיה הדגם ה- $H$  של אות הכניטה כאשר מופיעה מטרה בדגם זה.

כאשר אין מטרה, אות הכניטה בדגם ה- $H$  הוא אות הרקע בדגם זה. אות הרקע מהוות למעשה את אות ההפרעה, וכך נקבעו אותו בהמשך.

$$x(n)|H_0 = i(n)$$

(5.1)

(a) אות ההפרעה.

כאשר מופיעה מטרה נקודתית בדגם ה- $\Delta$

$$x(n)|H_1 = i(n) + a \quad (5.2)$$

א יכול להיות גודל דטרמיניסטי או משתנה אקראי בעל פונקציה צפיפות הסתברות  $f_a$ .

באופן דומה נסמן ב- $H_0|y$  את הדגם ה- $\Delta$  של אות היציאה, כאשר בדגם ה- $\Delta$ - $\Delta$  בכניסה לא קיימת מטרה, וב- $H_1|y$  כאשר בדגם ה- $\Delta$ - $\Delta$  בכניסה מופיעה מטרה נקודתית.

בניהם תחילתה כי (a), תחילה היציאה ממעבד אותן, הכווע מהפרעה בלבד הוא סטטionario. במקרה זה ניתן ליצא את  $H_0|y$  באמצעות פונקציה צפיפות קבועה  $f_{H_0|y}$ , ואות  $H_1|y$  באמצעות פונקציה צפיפות קבועה אחרת  $f_{H_1|y}$ . ההסתברות להתראות שווא והסתברות האלי מוחושבות באמצעות פונקציות צפיפות אלה.

$$PFA(T) = \int_T^\infty f_{y|H_0}(y|H_0) dy = 1 - F_{y|H_0}(T) \quad (5.3)$$

כאשר

T - ערך הסף במערכת

$PFA(T)$  - ההסתברות להתראות שווא במערכת עם סף T

$f_{y|H_0}(y|H_0)$  - פונקציה צפיפות ההסתברות של  $H_0|y$ .

$F_{y|H_0}(y|H_0)$  - פונקציית פלוגה ההסתברות של  $H_0|y$ .

$$PD(T) = \int_T^\infty f_{y|H_1}(y|H_1) dy = 1 - F_{y|H_1}(T) \quad (5.4)$$

כאשר

T - ערך הסף במערכת

$PD(T)$  - הסתברות האלי במערכת עם סף T

$f_{y|H_1}(y|H_1)$  - פונקציה צפיפות ההסתברות של  $H_1|y$ .

$F_{y|H_1}(y|H_1)$  - פונקציית פלוגה ההסתברות של  $H_1|y$ .

כאשר תהליך היציאה (a) y איננו סטציונרי לא ניתן ליצא אותו באמצעות פונקציה צפיפות הסתברות קבועה. לצורך חישוב המסתברויות ניתן להגדיר פונקציה פלוג שכייחות G<sub>y</sub>, (a) y מוגדר כחלק היחסי של דגימות התהילין (a), אשר קטנות או שווות בערךן ל-a. (a) y מקביל לפונקציה פלוג ההסתברות.

ואז

$$PFA(T) = 1 - G_{y|H_0}(T) \quad (5.5)$$

-1

$$PD(T) = 1 - G_{y|H_1}(T) \quad (5.6)$$

נניח למשל כי באוט היציאה ממעבד האות, (a), J קטעים שונים. האורך היחסי של קטע הוא  $\sum_{j=1}^J q_j F_y^j(y)$ . כל קטע הוא חלק מהתהילין אקראי סטציונרי במובן החזק, בעל פונקציה פלוג הסתברות (a) y במקורה זה מתקיים

$$G_y(y) = \sum_{j=1}^J q_j F_y^j(y) \quad (5.7)$$

כאשר  $1 \leq j \leq J$  הוא סטציונרי במובן החזק ו-

$$G_y(y) = F_y^1(y) = F_y(y)$$

## 5.2 חישוב המסתברויות על-פי מודל אנליטי - המקור הסטציונרי

נניח כי אוט ההפרעה (a), הינו סכום של שני אוטות בלתי תלויים.

$$i(n) = b(n) + r(n) \quad (5.8)$$

(a) הינו מרכיב clutter באוט ההפרעה, ו-(a) r הינו מרכיב הרעש הלבן.

עוד נניח כי (a) r הוא רעש לבן אוטוי בעל ממוצע אפס ושונות  $\sigma^2$ , ו-(a) b הינו תהליך אקראי אוטוי בעל ממוצע  $b_0$ , ופונקציה אוטוקורלצייה

(m). תהליך ההפרעה הוא תהליך אקראי אוטוי. בעל ממוצע  $b_0$ , ופונקציה אוטוקורלצייה (m).

$$\mu_i = \mu_r + \mu_b \quad (5.9)$$

$$A_{ii}(m) = A_{bb}(m) + \sigma_r^2 \delta(m) \quad (5.10)$$

- ב-5.2.1 יתוור תהליכי חישוב ההסתברויות עבור משן לנארוי.  
תהליכי זה מתחבש על תוצאות ידועות המופיעות בספרות [20, 21].  
ב-5.2.2 יוצג תהליכי חישוב ההסתברויות עבור אלגוריתם ה-MSS, תהליכי  
שפותח במסגרת מחקר זה.

הבעוים לחישוב ההסתברות יחברו תחיליה עבור פונקציית אוטוקורלציה כללית  
( $m$ ) $A_{bb}$ , ובהמשך נניח כי (a) הינו תהליכי מרקובי מסדר שני. ככלומר

$$A_{bb}(m) = \sigma_b^2 \rho^{|m|} \cos \beta m \quad (5.11)$$

כאשר

- $\rho^2$  - שוניות מרכיב ה-clutter
- $\rho$  - גורם הקורלציה בתהליכי המרковי
- $\beta$  - פרמטר התדריות בתהליכי המרковי.

כאשר  $0 = \beta$ , מתקיים תהליכי מרקובי מסדר ראשון.

### 5.2.1 מבנים לנארויים

המבנהים הליניאריים אשר בבחנו במחקר זה הם סיבתיים, סימטריים ובעלי-מספר אי זוגי של מקדים (ראה פרק 3). יציאת המשן בדגם ה- $\theta$  בתמונה על ידי

$$y(n) = x(n) * \omega(n) = \underline{w}^T \underline{x} \quad (5.12)$$

כאשר

$\underline{w}$  הינו וקטור השורה של מקדי המשן.

$$\underline{w}^T = (w(0), w(1), \dots, w(N-1))$$

ו- $\underline{x}$  הינו הייצוג הוקטורי של אות הכניסה.

$$\underline{x}^T = (x(n), x(n-1), x(n-2), \dots, x(n-(N-1)))$$

המשננים הלינאריים תוכנו בך של-פי יציאת המבנה בדגם ה-ח, ניתן יהיה לדעת אם הייתה מטרה בדגם ה- $(2/(N-1))$ -ה. (השיטת המשננים  $2/(N-1) = \Delta$ ).

נפמן ב-(ח) ע את זאת הייצאה מהמבנה כאשר לא מופיעה מטרה בתחום  $[n, \dots, n-(N-1)]$ . במקרה זה מתקאים

$$x(k) = i(k) \quad k = n-(N-1), \dots, n$$

כאשר  $(k)$  הוא הבנו אותה ההפרעה.  
ולפי (5.12)

$$y_0(n) = i(n) * w(n) = \sum_{k=0}^{N-1} \omega(k) i(n-k) \quad (5.13)$$

כיוון שההיליך הכניטה למבחן, (ח), הוא תהליך אקראי סטציונרי, גם תהליכי הייצאה  $(h)_0$  ע הינו תהליכי אקראי סטציונרי, בעל ממוצע  $\mu_{y_0}$  ושויבות  $\sigma_{y_0}^2$ , ומתקיים:

$$\mu_{y_0} = \left[ \sum_{i=0}^{N-1} \omega(i) \right] \mu_i \quad (5.14)$$

$$\sigma_{y_0}^2 = \underline{w}^T R_{ii} \underline{w} \quad (5.15)$$

כאשר

$$\mu_i = E[i(n)]$$

$R_{ii}(\ell, j) = A_{ii}(|\ell - j|)$  מטריצת האוטוקורלציה של אותה ההפרעה  $i$  ו- $A$  וקטור מקדמי המבנה.

בhzבנה (5.9) ב-(5.14) מתקבל

$$\mu_{y_0} = \left[ \sum_{i=0}^{N-1} \omega(i) \right] \mu_b \quad (5.16)$$

ובhzבנה (5.10) ב-(5.15) מתקבל

$$\sigma_{y_0} = \underline{W}^T (\underline{R}_{bb} + \sigma_r^2 I) \underline{W} \quad (5.17)$$

כאשר

$\underline{y}_0$  - תוחלת מרכיב ה-clutter באות ההפרעה

$\underline{R}_{bb}$  - מטריצת האוטוקורלציה של מרכיב ה-clutter באות ההפרעה

$$\underline{R}_{bb}(\ell, j) = A_{bb}(|\ell-j|)$$

$\sigma_r^2$  - שוניות מרכיב הרעש הלבן באות ההפרעה.

במשוואה (5.3) נקבעה הנוסחה לחישוב (T)PFA. לשם הבבירה נחזר על נוסחה זו.

$$(T)PFA = \int_T^{\infty} f_{y|H_0}(y|H_0) dy$$

פונקציית הצפיפות של  $H_0$  ( $y|H_0$ ,  $(n)y$ ) לא ניתן לחישוב פשוט, שכן השערת  $H_0$  מנicha שאין מטרה בדגם  $n/(N-1)-n$ , אך לא מביאה כל הנחתה ל.cgiי שאר הדגימות בחלון הסיבון.

להלן נראה כי בחישוב (T)PFA ניתן להמיר את הנחתה כי השערת  $H_0$  מתקיימת בדגם  $n/(N-1)-n$  בהנחה כי השערת  $H_0$  מתקיימת בכל דגמי חלון הסיבון ( $n, \dots, N-1-n$ ).

כאשר מופיעיה מטרה בחלון הסיבון, אין חשבות לערך הסתברות להתראה שווה בדגימות הסמוכות. לכן, מספיק ואף רצוי לחשב את (T)PFA, בהנחה שלא מופיעיה מטרה בחלון הסיבון כולם.

לכן נחשב את הסתברות להתראה שווה, (T)PFA, על פי הנוסחה הבאה

$$(T)PFA = \int_T^{\infty} f_{y_0}(y_0) dy_0 \quad (5.18)$$

כאשר ( $y_0$ )  $f$  היא פונקציית צפיפות הסתברות של  $y_0$ . ( $y_0$ )  $y$  הינו הדגם ה- $n$  של אותן היציאות מהמבחן כאשר לא מופיעיה מטרה בתחום  $[n, N-1-n]$ .

בדכוון, תהיין היציאה ( $y_0$ )  $y$  הינו תהליך אקראי אוטרי, בעל ממוצע  $y_0$  ושונות

$\sigma_{y_0}^2$  הנתוגנים במשוואות (5.16) ו-(5.17).

פונקציית הצפיפות של  $(n)_0$  גתונה על-ידי

$$f_{y_0}(y_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left[ -\frac{(y_0 - \mu)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (5.19)$$

עה בראה את הדרך לחושב  $P(D(T))$ .

נסמן ב- $(n)_1$  את אות היציאה מהמנון כאשר קיימת מטרה בדגם  $\frac{1}{2}(N-1)-n$ , אך לא קיימת מטרה באף אחת מן הדגימות האחרות של חלון הסנוון. דהיינו  $x^T$  הוקטור המיצג את דגימות אות הכניטה, נתון על ידי:

$$x^T = (1(n-(N-1)), 1(n-(N-2)), \dots, 1(n-(N-1)/2) + a, \dots, 1(n))$$

כיוון שהמנון לינארי מתקיים

$$y_1(n) = y_0(n) + y_a(n) \quad (5.20)$$

כאשר

$$- (n)_0 \text{ גודר ב-} (5.13).$$

$$\underbrace{[0, 0, \dots, a, \dots, 0, 0]}_a \text{ הינו תוגבות המןן לאות המטרה}$$

נניח כי עוצמת המטרה בכניטה המןן,  $a$ , הוא משתנה אקראי בעל פונקציה צפיפות הסתברות  $f_a$ . נסמן קודם  $f_a$  את אות היציאה מן המןן כאשר אות הכניטה הינו אותה המטרה. מניה  $f_{y_a}(y_a)$  פונקציית צפיפות ההסתברות של  $y_a$ .

$$f_{y_a}(y_a) = \frac{1}{\Gamma((N-1)/2)} f_a\left(\frac{y_a}{\sqrt{\Gamma((N-1)/2)}}\right) \quad (5.21)$$

$$y_1(n) = y_0(n) + y_a(n) \quad \text{זיכרון}$$

כיוון ש- $(n)_0$  ו- $(n)_a$  אינם תלויים (אות הפרעה אינו תלוי בערך אותו המטרה) אז

$$f_{y_1}(y_1) = f_{y_0}(y_0) * f_{y_a}(y_a) \quad (5.22)$$

כasher: \* מסמן את אופרטורו הקונבולוציה הרציפה.

כיוון שהופעת מטרה היא מאורע נדייר אזי לא סביר שיפיעו שתי מטרות בחלון הסנוון. ולפיכך נניח  $(a)_1 H_1(a)_1 y$ , ו אז ניתן לחשב את  $(T)PD$  על פ' נסחה (5.4), כלומר

$$PD(T) = \int_T^{\infty} f_{y_1}(y_1) dy_1 \quad (5.23)$$

המקרה שבו עוצמת המטרה היא גודל דטרמיניסטי  $a$  הינו מקרה פרטי של עוצמת מטרה בעלת פונקציה צפיפות  $f_a(\alpha)$ , שכן במקרה זה

$$f_a(\alpha) = \delta(\alpha - a) \quad (5.24)$$

### 5.2.2 אלגוריתם MSS

נסמן ב- $(a)_0 y$  את אות היציאה ממעבד MSS כאשר בחלון הסנוון לא מופיעה מטרה. כלומר כאשר מתקיים

$$\underline{x}^T = (i(n-M), \dots, i(n), \dots, i(n+M)) \quad (5.25)$$

כאשר  $\underline{x}^T$  הינו הוקטור של דגימות אוט חכימה למועד (k) או דגימות אוט ההפרעה.

נסמן ב- $(a)_1 y$  את אות היציאה ממעבד MSS כאשר בדגם המרכז בחלון הסנוון, ורק בדגם זה מופיעה מטרה, כלומר כאשר מתקיים

$$\underline{x}^T = (i(M+n), \dots, i(n+a), \dots, i(n)) \quad (5.26)$$

במערכת הכוללת מעבד לינארי ההסתברויות  $(T)P$  ו- $(T)PFA$  מחושבות באמצעות פונקציות הצפיפות של  $(a)_0 y$  ו- $(a)_1 y$ . חשוב פונקציות צפיפות אלה אינן פשוט כבקרה הלינארי. בכלל אי-לינאריות האלגוריתם לא ניתן לקבל מתוך  $(a)_0 y$  את  $f_1$  כבקרה הלינארי.

כמו כן התכונות הטעיטיסטיות של אות היציאה מושנן מדייני, ידועות רק במקרים פרטיים. למשל ב-[22] חושב פילוג היציאה לכל סדר מושנן מדייני, כאשר פלוג הchnisha נתון, וכאשר דגימות אוט היציאה הן בלתי-תלוויות. ב-[23] חושבה פונקציית הקו-זוריאנס ביציאת מושן מדייני אשר אורכו שואף

לאינסוף, והפועל על רוש צבעוני. מקרים פרטיים אלה שוגרים מתנאי הבעיה בה מופעל מטען מדיאני בעל חלון קצר (ב-7) על אות הפרעה צבעוני. להלן תוצאת השיטה לשערור (T)PFA ו-(T)PD במערכת גליות הכוללת מעבד MSS, אשר פותחה במסגרת עבודה דתת.

כברearlier, ומאותם נזקים נחשב את ההסתברות להתראת שוווא בדגם ה- $\alpha$ , בהנחה שבחלון הסנוון כו"ו לא מופיעה מטרה, ואת ההסתברות לגליות מטרה בדגם ה- $\alpha$ , בהנחה כי בדgesיות האחרות בחלון לא מופיעה מטרה.

אמיר דמבו [24] גזר בטויים לחושב ההסתברות להתראת שוווא (T)PFA, ולהושב הסתברות הגליות (T)PD עבור מערכת גליות הכוללת מעבד MSS עם חלון מדיאני באורך 3 וスペץ 0<T.

במסגרת עבודה זו הורחבה העבודה של אמיר דמבו עבור המקרה הכללי יותר - מערכת גליות הכוללת מעבד MSS עם חלון מדיאני באורך אי-זוגי כלשהו. הבטויים לחושב ההסתברות יפותחו ויוכחו במשפט 5.1.

### משפט 5.1

- נניח כי מערכת הגליות כוללת מעבד MSS מסדר 1  $M+1$  וスペץ גליות 0<T.
- תהיה (T)PFA(T) ההסתברות להתראת שוווא בדגם ה- $\alpha$ , בהנחה שבחלון הסנוון כו"ו  $[M+\alpha, M-\alpha]$  אין אותן מטרות.
- תהיה (T)PD(T) ההסתברות לגליות מטרה בדגם ה- $\alpha$ , בהנחה כי בדgesיות האחרות בחלון הסנוון לא מופיעה מטרה.
- תהיה  $\sum_{j=1}^M \{k_j\}$  הסדרה באורך  $M$  הבאה:

$$k_j(n) \triangleq i(n) - i(n-j) \quad 1 \leq j \leq M \quad (5.27)$$

- יהא  $(n)_k^M$  האבר ה- $M$  בטדרה המתבקשת כאשר מדדרים את הטדרה

$\{k_j(n)\}_{j=1}^M$  בסדר עוללה.

- נסמן ב- $(\alpha)_k^M$  את פונקציית הצפיפות של המשתנה האקראי  $(n)_k^M$ . וב- $(\alpha)_a^M$  את פונקציית צפיפות ההסתברות של ערכי אותה מטרה  $a$  איזו:

$$PFA(T) = PROB\{k^M(n) \geq T\} = \quad (5.28)$$

$$= \int_T^\infty f_k^M(\alpha) d\alpha$$

$$PD(T) = PROB\{k^M(n) + a \geq T\} = \quad (5.29)$$

$$= \int_T^\infty [f_k^M(\alpha) * f_a(\alpha)] d\alpha$$

### הוכחת משפט 1.5

נטען ב-(a) לעצם את היציאה ממעבד MSS, כאשר בחלון הסבון, יכולו לא מופיעיה מטרה, כלומר ככלומר כאשר מתקיימים

$$\underline{x}^T = (i(n-M), \dots, i(n), \dots, i(n+M))$$

נטען ב-(b) לעצם את היציאה ממעבד MSS, כאשר רק בדגם ה- $\bar{x}$  מופיעיה מטרה ככלומר כאשר מתקיימים

$$\underline{x}^T = (i(n-M), \dots, i(n)+a, \dots, i(n+M))$$

### הagation אלגוריתם MSS מתקובל

$$y_0(n) = i(n) - \text{MEDIAN}(\{i(n-j)\}_{1 \leq |j| \leq M})$$

$$= \text{MEDIAN}(0, \{i(n) - i(n-j)\}_{1 \leq |j| \leq M})$$

ולכן, מתוך ההagation

$$y_0(n) = \text{MEDIAN}(0, \{k_j(n)\}_{1 \leq |j| \leq M}) \quad (5.30)$$

וכמו כן

$$y_1(n) = i(n) + a - \text{MEDIAN}(i(n) + a, \{i(n-j)\}_{1 \leq |j| \leq M}) = \quad (5.31)$$

$$= \text{MEDIAN}(0, \{i(n) + i(n-j) + a\}_{1 \leq |j| \leq M}) =$$

$$= \text{MEDIAN}(0, \{k_j(n) + a\}_{1 \leq |j| \leq M})$$

לפי (5.30) מתקובל

$$PFA(T) = \text{PROB}\{y_0(n) \geq T\} = \text{PROB}\{\text{MEDIAN}(0, \{k_j(n)\}_{1 \leq j \leq M}) \geq T\} \quad (5.32)$$

כדי שיתקיים  $T \geq \text{MEDIAN}(0, \{k_j(n)\}_{1 \leq j \leq M})$  עבור  $0 \leq T$ , לפחות  $M+1$  אברים בסדרה  $\{k_j(n)\}_{1 \leq j \leq M}$  צריכים להיות גדולים או שווים ל- $T$ . לכן, אם נסדר סדרה זו בסדר עולה, האבר ה- $M$  בסדרה המסדרת צריכה להיות גדול או שווה ל- $T$ . נסמן את האבר ה- $M$  בסדרה המסדרת ב- $(n)_M$ .

מכאן, עבור  $0 \leq T$ ,

$$PFA(T) = \text{PROB}\{y_0(n) \geq T\} = \text{PROB}\{k_M(n) \geq T\} = \int_T^\infty f_k^M(\alpha) d\alpha$$

כמו כן

$$PD(T) = \text{PROB}\{y_1(n) \geq T\} = \text{PROB}\{\text{MEDIAN}(0, \{k_j(n)+a\}_{1 \leq j \leq M}) \geq T\}$$

הابر ה- $M$  בסדרה המתkelig מסדר  $\{k_j(n)+a\}_{1 \leq j \leq M}$  בסדר עולה הוא  $a + (n)_M$ . מכיוון ש- $(n)_M$  ו- $a$  הם משתנים בלתי תלויים, מתקובל:

$$PD(T) = \text{PROB}\{k_M(n) + a \geq T\} = \int_T^\infty [f_k^M(\alpha) * f_a(\alpha)] d\alpha \quad \text{QED}$$

הערה: באופן דומה ניתן לחשב את השתרונות האלטivi וההסתברות להתראות שווא במערכת גלי עם מעבד MSS וסף  $0 \leq T$ . פטוח והוכחת הבוטויים לחישוב  $PFA(T)$  ו- $PD(T)$  עבור  $0 \leq T$  יובא בנפקח ב'. כמו כן נראה בנספח זה כי  $0 \leq T$  אינו ערך סף שימושי.

להלן נציג במשוואות (5.28), (5.29), (5.30), ונקבל במקרה פרטי את המשוואות עבור מעבד MSS עם חלון מדיאני באורך 3.

$$PFA(T) = \text{PROB}\{k^1(n) \geq T\} = \int_T^\infty f_k^1(\alpha) d\alpha \quad (5.33)$$

$$PD(T) = \text{PROB}\{k^1(n) + a \geq T\} = \int_T^\infty [f_k^1(\alpha) * f_a(\alpha)] d\alpha \quad (5.34)$$

$$= \int_T^\infty [f_k^1(\alpha) * f_a(\alpha)] d\alpha$$

חומרה: לפי הסימוניים של משפט 5.1, (a)<sup>1</sup> הינו האבר ה-1 בסדרה המתקבלת מפדרו  $\{(a)_1, (a)_2, \dots, (a)_k\}$  בסדר עולה, ולפיכך

$$k^1(n) = \min\{k_{-1}(n), k_1(n)\}$$

התוצאות לעיל, עבור מבן MSS עם חלון מדיאני באורך 3, מתחדשות עם התוצאות אשר התקבלו על ידי אמיר דמבי [24].

משפט 5.1, המתאים לאות הפרעה בלבדו (a) מראה את הבסיס לשיטת שערון החטבוריות מתוך היחסוגרמה של תומנות השמיים המותמרות עבור מערכת גלויה עם מעבד MSS. שיטה זו מוארת בפרק 6. כמו כן נתייע במשפט זה, כדי לחשב את החטבוריות להתראת שואה, והשתברותagaloi במערכת גלויה עם מעבד MSS באורך  $1+2M$ , כאשר אות ההפרעה (a) מקיים את ההנחות הקודמות, כולם:

- אות ההפרעה (a) הוא סכום של שני תהליכי תלויים  
 $i(n) = b(n) + r(n)$

- (a) הוא רעש לבן אושי בעל ממוצע אפס ושונות  $\sigma^2$ .

- (a) הינו תהליך אקראי אושי בעל ממוצע  $b_n$  ומטריצת אוטוקורלציה  $R_{bb}$ .

בשלב ראשון נציג את הבטווי לפונקציית הצפיפות המשותפת של המשתנים האקראיים  $(M_j | j \leq 1, (a)_j)$ , ובהמשך נראה כיצד ניתן מתוך פונקציית צפיפות זו לחשב את החטבוריות להתראת שואה והשתברותagaloi עבור מערכת גלויה עם מעבד MSS באורך  $1+2M$ , תוך נצול התוצאות במשפט 5.1.

תחילה נראה כי פונקציית הצפיפות המשותפת של משתנים אקראיים אלה היא אושית במשותף.

הגדרה (a)  $k_j$  (5.27)

$$k_j(n) = i(n-j) - i(n-j-1) \quad 1 \leq j \leq M$$

התהליך (a) הינו תהליך אקראי אושי בהיותו סכום של שני תהליכי תלויים אקראיים אושיים לפחות דגימות (a) הן אושיות במשותף. כמו כן, כיוון שלכל  $j$ ,  $(a)_j$  הינו צrhoף ליבארי של דגימות (a), הרי (סעיף 8.4 ב-[20]), המשתנים האקראיים  $(a)_j, M \leq j \leq 1$ , גם הם אושיים במשותף, ובعلي פונקציית הצפיפות המשותפת הבאה:

$$f_{\underline{\alpha}}(\underline{\alpha}) = \text{EXP}[-\frac{1}{2}\underline{\alpha}^T R^{-1} \underline{\alpha}] / ((2\pi)^{2M} |R|)^{\frac{1}{2}} \quad (5.35)$$

כאשר

(5.36)

$$\underline{\alpha} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{2M}) = (k_{-M}(n), \dots, k_{-1}(n), k_1(n), \dots, k_M(n))$$

והאלמנט  $(j, \ell) R$  במטריצה  $R$  נתון על ידי

$$R(j, \ell) = E[\alpha_j \alpha_\ell]$$

(וזאת כיוון שאברי הווקטור  $\underline{\alpha}$  בעלי ממוצע אפס).  
ואלו

$$E[k_\ell(n) k_j(n)] = E(i(n) - i(n-\ell))(i(n) - i(n-j))] = \quad (5.37)$$

$$= A_{ii}(0) - A_{ii}(\ell) - A_{ii}(j) + A_{ii}(\ell-j)$$

כאשר  $(m)_{ii}$  היא פונקציה האוטוקורלציה של ההפרעה.

מתוך משווהה (5.10) נובע

$$A_{ii}(m) = \begin{cases} A_{bb}(0) + \sigma_r^2 & m=0 \\ A_{bb}(m) & m \neq 0 \end{cases} \quad (5.38)$$

נציב משווהה (5.38) במשווהה (5.37) ונקבל

$$E[k_\ell(n) k_j(n)] = \begin{cases} A_{bb}(0) - A_{bb}(\ell) - A_{bb}(j) + A_{bb}(\ell-j) + \sigma_r^2 & \ell \neq j \\ 2[A_{bb}(0) - A_{bb}(\ell) + \sigma_r^2] & \ell = j \end{cases} \quad (5.39)$$

מתוך משווהות (5.35)-(5.38) ניתן לראות כי עבור מעבד MSS עם חלון  
מדיאני באורך  $3 (M=1)$  פונקציה הצפיפות המשוחפת היא פונקציה  
צפיפות אומסית דו-מידנית ונתונה על-ידי

$$f_{\alpha_1 \alpha_2}(\alpha_1, \alpha_2) = \frac{1}{2\pi\sigma^2\sqrt{1-r^2}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2(1-r^2)} (\alpha_1^2 - 2r\alpha_1\alpha_2 + \alpha_2^2)\right] \quad (5.40)$$

כאשר

$$\sigma^2 = 2[A_{bb}(0) - A_{bb}(1) + \sigma_r^2]$$

$$r = (A_{bb}(0) - 2A_{bb}(1) + A_{bb}(2) + \sigma_r^2) / \sigma^2$$

נחשב תחילה את  $PFA(T > 0)$

לפי (5.28)

$$PFA(T) = \text{PROB}\{K^M(n) \geq T\}$$

כדי שיתקיים  $T \geq (n)^M$ , לפחות  $M+1$  אברים בוקטור  $\alpha$  המוגדר במשוואה (5.36), צריכים להיות אדולים או שווים ל- $T$ .

נסמן ב- $S_1$  את קבוצת כל האברים ב- $\alpha$  המקיימים  $T \leq \alpha_i$ .

וב- $S_2$  את קבוצת כל האברים ב- $\alpha$  המקיימים  $T > \alpha_i$ .

נסמן  $|S_1|$ , וב- $|S_2|$  את מספר האברים ב- $S_1$  וב- $S_2$  בהתאם.

$$PFA(T) = \sum_{\delta=1}^M \text{PROB}(|S_1|=M+\delta, |S_2|=M-\delta) \quad (5.41)$$

ואלו

$$\text{PROB}(|S_1|=M+\delta, |S_2|=M-\delta) = \quad \delta=1, \dots, M \quad (5.42)$$

$$= \sum_{\substack{H_1 \\ |S_1|=M+\delta}} \int_{L_1}^{H_1} d\alpha_1 \dots \int_{L_i}^{H_i} d\alpha_i \dots \int_{L_{2M}}^{H_{2M}} d\alpha_{2M} f_{\alpha}(\alpha) \quad \text{כל האפשרויות}$$

$$\begin{cases} T & \alpha_i \in S_1 \\ -\infty & \alpha_i \in S_2 \end{cases}$$

כאשר  $f_{\alpha}$  נutorה במשוואה (5.35)

$$L_i = \begin{cases} T & \alpha_i \in S_1 \\ -\infty & \alpha_i \in S_2 \end{cases}$$

$$H_i = \begin{cases} \infty & \alpha_i \in S_1 \\ T & \alpha_i \in S_2 \end{cases} \quad (5.43)$$

באופן דומה ניתן עתה לחשב את  $(T)PD$ : בניית כי  $0 < T$  וכי  $a$  (עוצמת המטרה) הוא גודל דטרמיניסטי.

$\alpha_1 > T-a$  נסמן ב- $S_1$  את קבוצת כל האברים בטדרה המקומיים  
 $\alpha_2 < T-a$  וב- $S_2$  את קבוצת כל האברים בטדרה המקומיים  
 נסמן  $b_1|S_1$  וב- $b_2|S_2$  את מספר האברים ב- $S_1$  ו- $S_2$  בהתחלה.

$$PD(T) = \sum_{\delta=1}^M PROB(|S_1|=M+\delta, |S_2|=M-\delta) \quad (5.44)$$

ואלו

$$PROB(|S_1|=M+\delta, |S_2|=M-\delta) = \quad (5.45)$$

$$= \sum_{\delta=1}^M \int_{L_1}^{H_1} \int_{L_i}^{H_i} \dots \int_{L_{2M}}^{H_{2M}} d\alpha_1 \dots d\alpha_{2M} f_{\alpha}(\alpha) \quad \delta=1, \dots, M$$

$|S_1|=M+\delta$   
 $|S_2|=M-\delta$

כאשר

$$L_i = \begin{cases} T-a & \alpha_i \in S_1 \\ -\infty & \alpha_i \in S_2 \end{cases} \quad (5.46)$$

$$H_i = \begin{cases} \infty & \alpha_i \in S_1 \\ T-a & \alpha_i \in S_2 \end{cases}$$

ובו ר מסקן MSS עם חלון מדיאני באורך 3 מתקיים

$$PFA(T) = PROB(\alpha_1 \geq T, \alpha_2 \geq T) = \quad (5.47)$$

$$= \int_T^{\infty} d\alpha_1 \int_T^{\infty} d\alpha_2 f_{\alpha_1 \alpha_2}(\alpha_1, \alpha_2)$$

$$PD(T) = PROB(\alpha_1 \geq T-a, \alpha_2 \geq T-a) = \quad (5.48)$$

$$= \int_{T-a}^{\infty} d\alpha_1 \int_{T-a}^{\infty} d\alpha_2 f_{\alpha_1 \alpha_2}(\alpha_1, \alpha_2)$$

**חשיבות ההסתברויות על פי מודל אбелאי - המקרה חלא טציזונרי** 5.3

בנימוח כי אורך הפרעה במבנה בכוניותה מעבד האות איננו טציזונרי, אך ניתן לחלק אותו למספר קטעים טציזוניים, כל קטע טציזוני משתרע לתחיליך אקראי אוטוסי בעל ממוצע  $\bar{A}_m$  ופונקציה אוטוקורלצייה  $(\rho_{ij})_{i,j=1}^J$ , כאשר  $J$  הוא מספר סוגי התחיליכים השונים). מספר הקטעים השונים באורך יכול להיות גדול ממספר סוגי התחיליכים, אבל בני קטעים סמוכים אינם יכולים להשתתף לאוותה תחיליך אקראי.

עבור מסנן לינארי, ניתן לחשב עבור כל אחד מהתחיליכים, את פונקציות הצפיפות של התחילכי היציאה,  $f_{y|f}(y|f)$  ו-  $f_{y|f}(y|f)$ , באמצעות נוסחאות (5.19) ו- (5.22), ולהשאבתם להתראות שווא  $(T)_{j=1}^J PFA_j$ , ואת הסתברות הגלוי  $(T)_{j=1}^J PD_j$ , באמצעות נוסחאות (5.18) ו- (5.23) בהתאם.

עבור מעבד MSS עם חלון מדיאני באורך  $1+M^2$ , ניתן לחשב עבור כל תחיליך, את פונקציית הצפיפות המשווחפת  $-M^2$  מימדיית המוגדרת במסווהה (5.35), ולחשב באמצעותה את  $(T)_{j=1}^J PFA_j$ , ואת  $(T)_{j=1}^J PD_j$  לפי נוסחאות (5.41) ו- (5.45).

בנימוח כי אורך אזור המעבר בין כל זוג קטעים סמוכים הוא קטן ביחס לאורך הקטעים, ונניח להזניח אותו בחישוב ההסתברות, בהנחה אלה מתקיימים

$$PFA(T) = \sum_{j=1}^J q_j PFA_j(T) \quad (5.49)$$

$$PD(T) = \sum_{j=1}^J q_j PD_j(T) \quad (5.50)$$

כאשר

$(T)_{j=1}^J PFA_j$  - ההסתברות להתראות שווא במערכת גליים עם סף  $J$ , כאשר אותן הפרעה הבנו תחיליך אקראי אוטוסי עם ממוצע  $\bar{A}_m$  ופונקציה אוטוקורלצייה  $(\rho_{ij})_{i,j=1}^J$ .

$(T)_{j=1}^J PD_j$  - ההסתברות לגליים מטרה במערכת גליים עם סף  $J$ , כאשר אותן הפרעה הבנו תחיליך אקראי אוטוסי עם ממוצע  $\bar{A}_m$  ופונקציה אוטוקורלצייה  $(\rho_{ij})_{i,j=1}^J$ .

ב הינו חלק היחסי של הקטועים המשתייכים לתהlixir ה- $j$  ומתקיים

$$\sum_{j=1}^J q_j = 1$$

5.4 הביצועים עפ"י מודל של אות הרקע בהשוואה לביצועים המשוערכים מהאותות

#### המדווזים

בסעיף זה יוצג מודל עיוני לאות הרקע. מידת התאמתו של מודל זה תבחן על-ידי השוואת הביצועים המתקבלים מהמודל, לביצועים המתקבלים בשיטתה הסימולטיביות המתווארות בפרק 6.

בגלל אי הסטציזונריות של אות ה-clutter, הගרמת בעיקר עקב שינויים איטיים במוצע של אות זה (ראה פרק 2), לא ניתן לייצגו באמצעות תהליך אקראי סטציזוני. החזרת הממוצע המקומי מאות הרקע, מתקינה בשעור ניכר את אי האחדות של אות הרקע באזורי עננים, ומאפשרת להניח כי ניתן לייצגו באמצעות תהליך אקראי סטציזוני.

כיוון שלכל מעבד אות הנבחנים אופי של מסנן מעביר גבויים, סביר להניח כי בוצע מעבד אות הפועל על אות רקע בלבדו, יהיו קרובים ביותר לביצוע מעבד אות הפועל על האות המתkeletal לאחר החזרת הממוצע המקומי מאות הרקע המקורי, בתנאי שהلون המוצע אורך מספיק. טענה זו אומתת על-ידי הפעלת השיטה הסימולטיבית להערכת הביצועים המתוארת בסעיף 6.2, על תמונה שמייד מקורית, ועל התמונה המתkeletal לאחר החזרת הממוצע המקומי מכל שורה בתמונה זו. מעבור מסנן WIENER ומעבד MSS מסדר שלישי (חלון מדיאני באורך שלוש), התקבל כי בוצע המעבדים בתמונה המקורית, ובתמונה המתkeletal לאחר החזרת הממוצע המקומי בחלון מצוע באורך 51, היו כמעט זהים.

בנוגוד לאות הרקע המקורי, האות המתkeletal לאחר החזרת הממוצע המקומי מאות הרקע המקורי, ניתן לייצוג באמצעות מודל עיוני פשוט יחסית. כמו כן בוצע מעבד אות הפועל על אות הרקע, ועל האות המתkeletal לאחר החזרת הממוצע המקומי קרובים ביותר. לפיכך המודל אשר יוצר מתאר את האות המתkeletal מהחזרת הממוצע המקומי מאות הרקע המקורי.

נניח כי האות המתkeletal על-ידי החזרת הממוצע המקומי מאות הרקע המקורי מזיהה מודל הבא:

- האות המתkeletal באזור שמייד כחולית הינו תהליכי אקראי אוציא לבן, בעל ממוצע אפס ושונות  $\sigma^2$ .

- האות המתkeletal באזור שמייד מעוננת הינו סכום של שני תהליכי אקראים (ח) b ו-(ח) c. (ח) b, תהליכי המציג את ה-clutter, הינו תהליכי אקראי אוציא בעונני בעל ממוצע אפס ופונקציה אוטוקורלציה (m) <sub>bb</sub>, ו-(ח) c הינו תהליכי אקראי אוציא לבן בעל ממוצע אפס ושונות  $\sigma^2$ . (ח) b הינו תהליכי מרקובי מסדר שני, ולפיכך (m) <sub>bb</sub> נמונה על ידי:

$$A_{bb}(m) = \sigma_b^2 \rho^{|m|} \cos(\beta m) \quad (5.51)$$

כאשר:  $\rho$  - גורם הקורלציה בתהליכי המרקבובי.

$\beta$  - פרמטר התדריות בתהליכי המרקבובי.

$\sigma_b^2$  - הספק בתהליכי המרקבובי.

- חלק היחסי של האזוריים המעוגנים הוא  $\rho$ , והחלק היחסי של אזורי השמיים הכהולים הוא  $1-\rho$ .

פרמטרים  $\rho, \sigma_b^2, \beta$  מגדירים את המודל העיוני לאות הרקע.

כדי להשווות את הבזועים המתקיים בהנחה המודל העיוני, לבזועים המוערכים באמצעות ביצוע פעולות מתאימות על אותן השמיים המדודים, יש לשערך תחילה מtower אותן השמיים המדודים את פרמטרי המודל. ב-5.4.1 יתואר שערון פרמטרים אלה, ב-5.4.2 נראה את האופן בו חושבו הסתברות לאילוי מערה, והסתברות להתראת שווא, בהנחה המודל העיוני וtower שמושת בתוצאות שבטייפים 5.2 ו-5.3, וב-5.4.3 יובאו תוצאות השוואה.

#### 5.4.1 שערון פרמטרי המודל מtower אותן השמיים המדודים

שערון פרמטרי המודל בוצע מtower את ממוצעות השמיים (IMG8).

תמונה זו היא תמונה אופיינית הכוללת אזורי שמיים כהולים ואזוריים מעוגנים. כדי לשערך את שונות ההפרעה באזורי שמיים כהולים בודדה ממונעת השמיים תම תמונה אשר אינה כוללת אזורי עגומים. שונות ההפרעה במת לתמונה,  $\hat{\sigma}_r^2$ , שוערכה באופן הבא:

$$\hat{\sigma}_r^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N i_{bs}^2(n) \quad (5.52)$$

כאשר:  $(n)_{bs}$  הדגימות במת לתמונה

N מספר הדגימות במת לתמונה.

התתקבל כי  $\hat{\sigma}_r^2 = \sigma_r^2$ .

ב. שערון פרמטרי בתהליכי המרקבובי.

פרמטרי בתהליכי המרקבובי שוערכו מtower התמונה אשר התקבלה, על ידי החדרת הממוצע המקומי מכל שורה בתמונה השמיים IMG8.

יהי  $\hat{A}_{bb}(m)$  מספר השורה בתרומה  $Z_0$ ,  $C$  מספר הדגימות בכל שורה, ומזהה  $(n)_j$  הדגימה ה- $j$  בשורה ה- $j$ . בנספח ג' נראה כי בהנחה ארגודיות וסטציונריות אחת ה- $n$ - $clutter$  בתרומה, ניתן לקרב את פונקציית האוטוקורלציה של אותה  $n$ - $clutter$ , באמצעות הבוטי הבא:

$$\hat{A}_{bb}(m) = (\tilde{A}_i(m) - \sigma^2 \delta(m)) / q \quad (5.53)$$

כאשר:  $\sigma^2$  שונות הרעש באוצר שמיים כחולים.  
בחלוקת היחסית של אוצר העננים בתרומה.

$\tilde{A}_i(m)$  מוגדרת במשוואה (5.54)

$$\tilde{A}_i(m) = \frac{1}{J_N} \sum_{j=1}^{J_N} N_c - \sum_{n=0}^{|m|-1} (n)_i (n+m) \quad (5.54)$$

הבוטי  $(n)_i$  חושב כמתואר בנספח א'.

האיisha הנכונה להעיר את  $\alpha$  ו- $\beta$  מתוך  $(m)_i$ , היא לחפש ערכי  $\alpha$  ו- $\beta$ , שיביאו להתקינה הטובה ביותר בינו ערכי  $\hat{A}_{bb}(m)$  המוחשבים על-פי נוסחה (5.53), לבין הבוטי  $\cos(\beta m)$ . ניתן להציג מידי עיבן אחדים למידה ההתקינה, כగון השגיאה הרובעת המשוקלתת המוגדרת MWSE:

$$MWSE = \sum_m \xi_m (u_0 |m| \cos(\beta m) - q \hat{A}_{bb}(m))^2 \quad (5.55)$$

מטרת השקלול היא לחתם בוטוי לעובדה כי השגיאה ב- $(m)_i$  נמוכה יותר עבור ערכי  $\alpha$  קטבים.

פרוץ בעית אופטימיזציה זו חורג מסגרת מחקר זה, ואנו הסתפקנו בהערכת מקומית של  $\alpha$  ו- $\beta$  כמתואר לעיל:

את פרמטר התדריות  $\beta$  של התהלייך המרקבובי ניתן לחשב על פי הערך של  $\alpha$  בו מתאפשרת פונקציית האוטוקורלציה של התהלייך  $(m)_i$ , שכן  $A_{bb}(m)$

$$A_{bb}(m) = A_{bb}(m) \rho^{|m|} \cos(\beta m) = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \beta m = \pi/2$$

מכאן ניתן לחשב את פרמטר התדריות המרחבית  $\beta$  על ידי:

$$\beta = \frac{\pi}{2m_0} \quad (5.56)$$

כאשר  $m_0$  הינו ערך בו מתאפסת  $A_{bb}(m_0) = 0$ .  
 מtower משווה (5.53) רואים כי הערך בו מתאפסת  $A_{bb}(m)$  שווה בקרוב לערך בו מתאפס הבוטוי  $\tilde{A}_i(m_0)$ . לפיכך הערכנו את  $\beta$ , פרמטר התדריות המרחבית באופק הבא:

$$\hat{\beta} = \frac{\pi}{2m_0}$$

$$\text{כאשר } m_0 \text{ הינו ערך בו מתקיים } \tilde{A}_i(m_0) = 0.$$

עבור תמונה 8MG8 התקבל כי

$$\hat{\beta} = 5.62^\circ$$

גורם הקורלציה  $\rho$  של התדריך המركובי מקיים:

$$\frac{A_{bb}(m+1)}{A_{bb}(m)} = \rho \frac{\cos \beta(m+1)}{\cos \beta m} \quad m \neq 0 \quad (5.57)$$

tower משווה (5.53)

$$\frac{\tilde{A}_{bb}(m+1)}{\tilde{A}_{bb}(m)} = \begin{cases} \frac{\tilde{A}_i(1)}{\tilde{A}_i(0) - \sigma_r^2} & m=0 \\ \frac{\tilde{A}_i(m+1)}{\tilde{A}_i(m)} & m>0 \end{cases} \quad (5.58)$$

על-ידי השוואת האגפים הימניים של משוואות (5.57) ו- (5.58) ובhzבת  $\hat{\beta} = 5.62^\circ$  עבור ערכי  $m$  אחדים ( $m=0, \dots, 5$ ), התקבלו מספר ערכים עבור  $\rho$ , אשר כולם נעו בתחום  $0.95 < \rho < 0.97$ , ולפיכך קבענו כי  $\hat{\rho} = 0.96$ .

כדי להעריך את  $\hat{\sigma}_{bb}^2(0) = \hat{A}_{bb}$  יש לדעת את גודלו של  $b$ , החלק היחסי של הדגימות בתמונה המשתייכות לאזור עננים.

בגלל הקושי בהערכת  $b$  הנחנו מספר ערכיות עבור  $b$  בתחום  $1 \leq b \leq 0.25$ . בכלל אחד מערבי  $b$  שערךנו את הביצועים בהנחה המודל העיוני, הן עבור מסנן WIENER והן עבור מעבד MSS. שורוך הביצועים נעשה באמצעות השיטה שתוארה בסעיפים 5.2 ו-5.3. עוקמי ההסתברות אשר התקבלו בהנחה במודל העיוני הושוו לעוקמי ההסתברות אשר התקבלו עבור IMG8 בשיטה הסימולטיבית, המבוססת על ההיסטוגרמה של תומנת השמים המעובדת (או המומרטה), המתוරת בסעיף 6.2.  $b$  נקבע כערך שהביא להתחמת החזותית הטובה ביותר ביזור בין עוקמי ההסתברות אשר התקבלו בשתי השיטות. חשוב לציין כי מבין ערכי  $b$  אשר נבדקו, הערך שנתקן את ההתחמת הטובה ביותר ביזור עבור מסנן WIENER, שווה לערך אשר נתן את ההתחמת הטובה ביותר ביזור עבור מעבד MSS, ערך זה הוא 33.5.

עהה כאשר  $b$  ידוע, ניתן לשערך את  $\hat{\sigma}_b^2$  על ידי

$$\hat{\sigma}_b^2 = \hat{A}_{bb}(0) = (\hat{A}_f(0) - \hat{\sigma}_r^2) / b \quad (5.59)$$

עבור תמונה IMG8 התקבל כי  $\hat{\sigma}_b^2 = 300$ . נגידיר את  $S$  כיחס הספק ה-clutter להספק ההפרעה באזורי שמים כחולים  $\hat{\sigma}_r^2 / \hat{\sigma}_b^2 = D$ . בתמונה IMG8  $D = 5$  ולפיכך  $S$ , היחס המשוער של הספק ה-clutter להספק ההפרעה באזורי שמים כחולים, שווה ל-60.

בזאת מפתיעים תאור האופן בו שעורכו פרמטרי המודל העיוני לאות הרקע.

#### 5.4.2 חישוב הסתברויות

נסמן ב- $(T)_{cd}^{PFA_{bs}}$ , וב- $(T)_{cd}^{PFA_{bs}}$  את ההסתברויות להתראת שווא באזורי שמים מעוננים, ובאזור שמים כחולים בהתאם, וב- $(a)_{cd}^{PD_{bs}}$  וב- $(a)_{cd}^{PD_{bs}}$  את ההסתברויות לגלי מטרה שעוצמתה היא גודל דטרמיניסטי השווה לא- $a$ . בסעיף זה נחשב את ההסתברות להתראת שווא, ואת ההסתברות לגלי מטרה בעוצמה  $a$ , בתמונה ש- $b$  מדגימותיה משתיכות לאזורי שמים מעוננים, וב-(q-1) מדגימותיה משתיכות לאזורי שמים כחולים. החשוב הוא באמצעות משוואות (5.49) ו-(5.50), כולם:

$$PFA(T) = qPFA_{cd}(T) + (1-q)PFA_{bs}(T) \quad (5.60)$$

$$PD(T,a) = qPD_{cd}(T,a) + (1-q)PD_{bs}(T,a) \quad (5.61)$$

ובזר המבנן הלינארי מחושבות באמצעות משוואות  $PFA_{bs}(T) = 1 - PFA_{cd}(T)$  ו- (5.19)-1 (5.18). לשם הבחרות בזר ונכמוג משוואות אלה

$$PFA(T) = \int_T^{\infty} f_{Y_0}(y_0) dy_0$$

$$f_{Y_0}(y_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left[-\frac{(y_0 - \mu_{Y_0})^2}{2\sigma^2}\right]$$

כזכור, (a) הינו הדגם ה- $n$  של אוט היציאה ממבנן לינארי באורך  $N$ , הפועל על תחlijך אקראי גאוסי סטציונרי, כאשר לא מופיעה מערה בתחום  $[n, N-1]$ .

$\sigma^2$  מחושב באמצעות משואה (5.14), מתקיים כי  $0 = \mu_{Y_0}$ , הן באזרויים שמיים כחולים והן באזרוי עכניים, שכן המבננים הלינאריים הנבחנים הינם מלבנים מעבירי גבוקים ומקדמים (a) מקיימים:

$$\sum_0^{N-1} w(n) = 0$$

כאשר  $N$  הוא מספר מקדמי המבנן.

$$\sigma^2_{Y_0} = W^T R_{Y_0} W \quad (5.15)$$

על פי המודל לאות הרקע, פונקציית האוטוקורלציה של אות הרקע באזרוי עכניים נתונה על ידי משואה (5.62), ופונקציית האוטוקורלציה של אות הרקע באזרוי שמיים כחולים נתונה על ידי משואה (5.63)

$$A_{ii}(m) = \sigma_b^2 |m| \cos(\beta m) + \sigma_r^2 \delta(m) \quad (5.62)$$

$$A_{ii}(m) = \sigma_r^2 \delta(m) \quad (5.63)$$

לכן, כדי לחשב את  $\sigma^2_{Y_0}$  באזרוי עכניים, מציבים באמצעות (5.15) את המטריצה  $R_{Y_0}$ , אשר האלמנט ה- $(j,k)$  בה נתון על ידי:

$$\hat{R}_{ii}(\ell, j) = \hat{A}_{ii}(|\ell-j|) \quad (5.64)$$

$$\hat{A}_{ii}(m) = \hat{\sigma}_b^2 \rho^{|m|} \cos(\hat{\beta}m) + \hat{\sigma}_r^2 \delta(m) \quad (5.65)$$

וכאשר  $\hat{\sigma}_b^2, \hat{\beta}, \hat{\rho}, \hat{\sigma}_r^2$  הם פרמטרי המודל המשוערכנים באופן המתואר בסעיף 1.

כדי לחשב את  $\sigma^2$  באזורי שמיים כחולים מציבים במשוואת (5.15)  $R_{ii} = \hat{\sigma}_r^2$ .

( $T, a$ ), ו- ( $T, b_s$ ) PD<sub>cd</sub> עבור המשנן הלינארי חושבו באמצעות המשוואת (5.66).

המתבבלת כמקרה פרטי של משוואות (5.21)-(5.23) עבור המקרה בו עוצמת המטריה היא גודל סטטמינויסטי.

$$PD(T, a) = \int_{T-a}^{\infty} f_{y_0}(y_0) dy_0 \quad (5.66)$$

PFA<sub>bs</sub>(T)-1 PFA<sub>cd</sub>(T) עבור מעבד ה-MSS עם חלון באורך 3 מחושבות באמצעות דהיננו: (5.47)

$$PFA(T) = \int_T^{\infty} d\alpha_1 \int_T^{\infty} d\alpha_2 f_{\alpha_1 \alpha_2}(\alpha_1, \alpha_2)$$

$f_{\alpha_1 \alpha_2}$  המוגדרת במשוואת (5.40) נתונה על ידי:

$$f_{\alpha_1 \alpha_2}(\alpha_1, \alpha_2) = \frac{1}{2\pi\sigma^2\sqrt{1-r^2}} \text{EXP} \left[ -\frac{1}{2\sigma^2(1-r^2)} (\alpha_1^2 - 2r\alpha_1\alpha_2 + \alpha_2^2) \right]$$

בනחת המודל לאות הרקע באזורי עננים מתקיים:

$$\sigma^2 = 2[\sigma_b^2(1-\rho\cos\beta) + \sigma_r^2] \quad (5.67)$$

$$r = \frac{\sigma_b^2(1-2\rho\cos\beta+\rho^2\cos2\beta) + \sigma_r^2}{\sigma^2} \quad (5.68)$$

בනחת המודל לאות הרקע באזורי שמיים כחולים מתקיים:

$$\sigma^2 = 2\sigma_r^2 \quad (5.69)$$

$$r=0.5$$

$\sigma^2$  ו- $a$  מחושבים על ידי הצבת  $\hat{\beta} = \hat{\beta}$ ,  $\hat{\rho} = \hat{\rho}$ ,  $\hat{\sigma}_b^2 = \hat{\sigma}_r^2$  במשוואות  $(5.67)$ , כאשר  $\hat{\sigma}_b^2, \hat{\sigma}_r^2, \hat{\beta}, \hat{\rho}$  הנם פרמטרי המודל המשוערכים.

עבור מעבד MSS עם חלון באורך  $3$ , מחושבות  $PD_{bs}(T,a)$ ,  $PD_{cd}(T,a)$  באמצעות משואה  $(5.48)$ , דהיינו:

$$PD(T) = \int_{T-a}^{\infty} d\alpha_1 \int_{T-a}^{\infty} d\alpha_2 f_{\alpha_1 \alpha_2}(\alpha_1, \alpha_2)$$

#### 5.4.3 תוצאות המשוואה

$PD(T,a)$  חושבו באורך המתואר בסעיף  $5.4.2$ , ועבור  $PFA(T)$

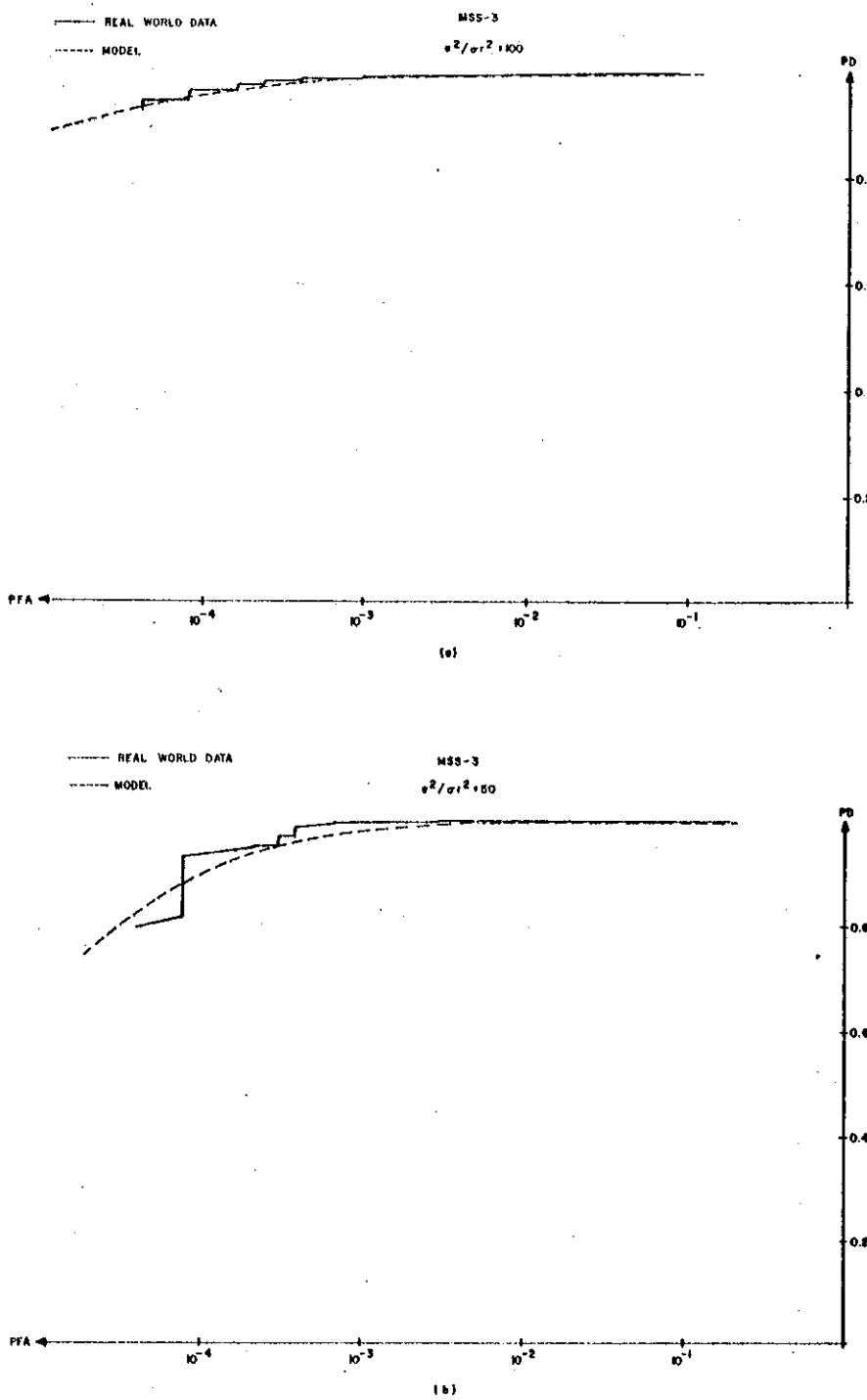
פרמטרי אותו הרקע שוערכו מתוך תמונה  $IMG8$ , כמתואר בסעיף  $5.4.1$ . קלומר עבורו:

$$\hat{D} = \frac{\hat{\sigma}_b^2}{\hat{\sigma}_r^2} = 60, \quad \hat{\rho} = 0.96, \quad \hat{\beta} = 5.62$$

$PFA(T)$  ו-  $PD(T,a)$  חושבו עבור  $25$  ערכי  $a$  בתחום  $[a^2 / 15 \sigma_r^2, a^2]$  ערכי  $(a,T)$   $PD$  חושבו עבור היחסים הבאים של הספק המטרה להספק רעש הרקע באזור שמיים כחולים:  $100, 50, a^2 / \sigma_r^2$ .

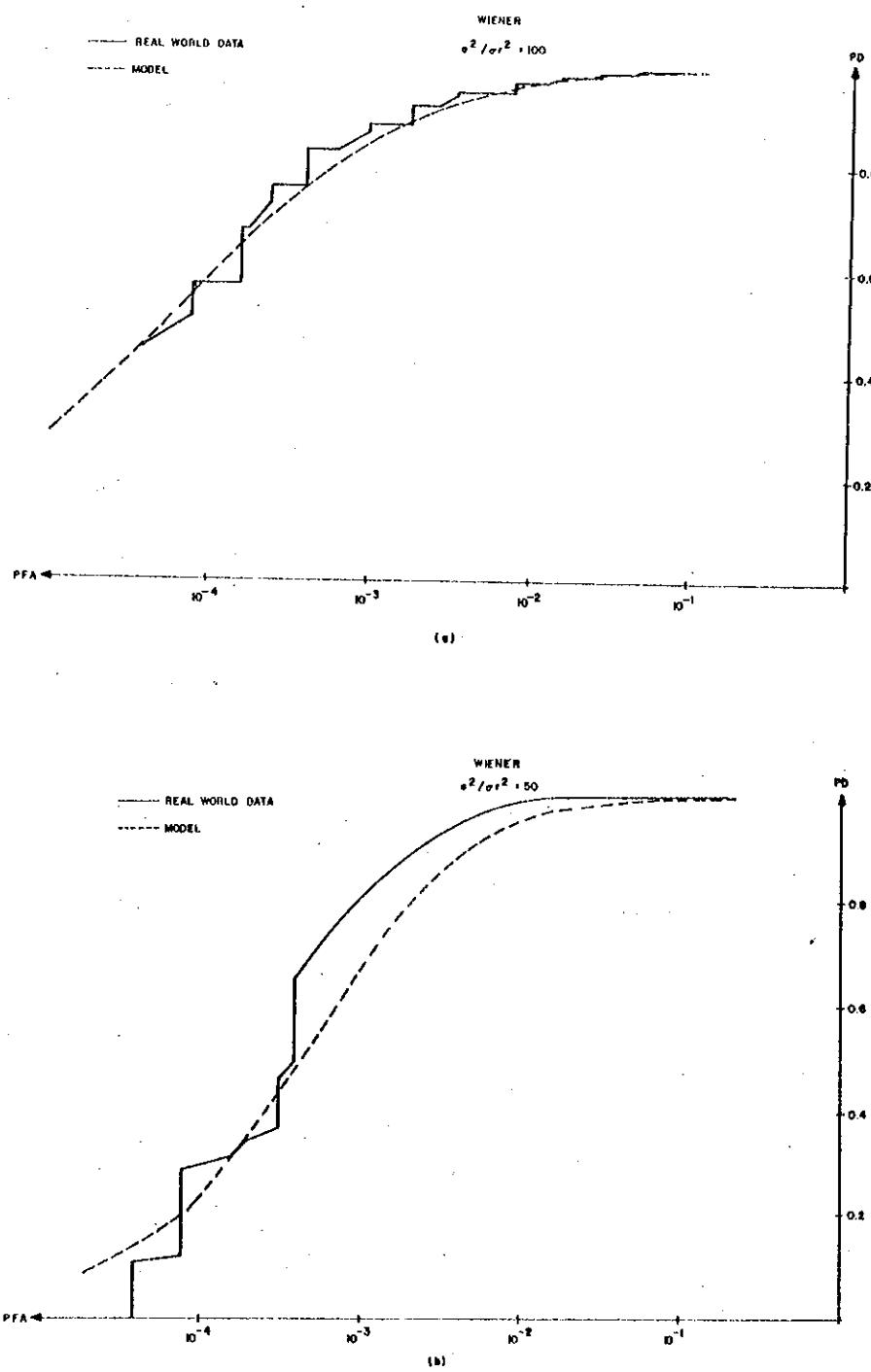
בכל אחד מהציורים הבאים משורטטים עוקומי הסתברות האליי כנגד הסתברות להתראות שווא אשר התקבלו בשתי איסות שונות: בשיטה הסימולטיבית המתוארת בסעיף  $6.2$ , ובשיטה המתבססת על המודל העיוני לאות הרקע. בצייר  $5.1$  משורטטים עוקומי הסתברות עבור מעבד MSS עם חלון באורך  $3$ , ועבור WIENER באורך  $11$  האופטימלי לאוסף של התמונות  $(IMG8, IMG7, IMG6, IMG5, IMG3, IMG1)$ , ועבור  $90, 50, a^2 / \sigma_r^2$ . בצייר  $5.2$  משורטטים עוקומי הסתברות עבור מסנן

עבור מסנן WIENER מתקבלת התאמה סבירה, ועבור מעבד MSS מתקבלת התאמה טובה מאד. לגבי שני המעבדים, התאמת העוקומים טובה יותר, כאשר יחס הספק המטרה להספק רעש באזור שמיים כחולים  $(a^2 / \sigma_r^2)$  גבוהה יותר.



ציור 5.1: עיקומי PD כנגד PFA על פי מודל ועל פי אותות רקע מדוזים עבור MSS מסדר שלישי. א.  $a^2/\sigma_r^2 = 100$ . ב.  $a^2/\sigma_r^2 = 50$ .

Fig. 5.1: PD v.s. PFA curves by model and by real world data for third order MSS processor. a)  $a^2/\sigma_r^2=100$ . b)  $a^2/\sigma_r^2=50$ .



**ציור 5.2:** עקומת PD כנגד PFA על-פי מודל ועל פי אותות רקע מדודים עבור  
מאנך  $a^2/\sigma_r^2 = 50$ . ב.  $a^2/\sigma_r^2 = 100$ . נ. WIENER

Fig. 5.2: PD v.s. FPA curves by model and by real world data for  
WIENER filter. a)  $a^2/\sigma_r^2=100$ . b)  $a^2/\sigma_r^2=50$ .

## פרק 6: הערכת החסתברויות באמצעות הפעלה מעבד האות על אותות השמיים המדודים

השיטות המתוארות בפרק זה משערכות את החסתברות להתראת שוווא, וחסתברותagaloi.  
באמצעות הפעלה מעבד האות על אותות השמיים המדודים (REAL WORLD DATA).

כמפורט בפרק 2, אותות השמיים הדגומים מאורגנים בסדרה של תמונות, כאשר אין רצף זמני בין תמונה למונה. השיטה אשר תוצג בסעיף 6.1 היא סימולציה מלאה של מערכתagaloi, ומחייבת זריעה מלאכותית של מטרות בתמונות השמיים האגומות. השיטה השבילה אשר תוצג בסעיף 6.2 מתחבשת על ביצוע התמורה מתאימה של תמונות השמיים, וחשבוב ההistogram של התמונות המותמרות. חשוב PD מתחבצע עד לא הצורה בזריעת מטרות. בסעיף 6.3 נשווה את עוקומי (T) PFA כגד (T) PD המתקבלים בשתי שיטות אלה, ונראה כי מתකבלת התאמת טובہ ביותר.

### 6.1 סימולציה מלאה של מערכתagaloi

בשיטת זו, החסתברות להתראת שוווא במערכת עם ספ T, משוערת על-ידי הפעלה מעבד האות על תמונות השמיים (ההפרעה).

כיוון שמעבדי האות הנבחנים הם חד-מידדיים, מופעל מעבד האות באופן נפרד על כל שורה בתמונה (שורה בתמונה מתאימה לאלאי בודד). שורת התוצאה המתקבלות מהוות את תמונה התוצאה. החסתברות המשוערת להתראת שוווא בתמונה מסוימת (T) PFA נשווה למספר היחסי של הדגימות בתמונה התוצאה, אשר גודלות או שווות לערך הספ T. החסתברות להתראת שוווא בקבוצת תמונות מתקבלת על ידי מצוע החסתברויות בכל אחת מן התמונות בקבוצה.

שערוך החסתברותagaloi נעשה באמצעות מטרות סינטטיות. שלב ראשון בתחום השערוך הוא הוספת מטרות סינטטיות לתמונה השמיים. בשלב השני מופעל מעבד האות על כל שורה בתמונה זרעת המטרות. החסתברותagaloi המשוערת בתמונה מסוימת, (T) PD, נשווה למספר היחסי של המטרות אשר גרמו למעבר הספ T. החסתברותagaloi בקבוצת תמונות מתקבלת על ידי מצוע החסתברויותagaloi המשוערכות בתמונות אשר בקבוצה.

כדי שעරוך החסתברותagaloi יהיה אמיתי, מספר המטרות הנזרעות צריך להיות גדול ככל האפשר. לעומת זאת, המרווח המינימלי בין כל זוג מטרות בשורה תמונה קבוע כך שלא תהיה השפעה הדדית בין שתי מטרות סמוכות.

ההלייך זריעת המטרות בתמונה שמיים נעשה בשלושה שלבים:

- א. **שלב יצירה המטרות:** בשלב זה נוצרות מטרות בתמונה אשר כל תאיה שווים לאפס ואשר מימדי הם כימידי תמונה השמיים. מספר המטרות בשלב זה הוא כ-30% מספּר הדגימות בתמונה השמיים. הקוואורדייבוטה של כל מטרה הם משתנים אקראיים בלתי תלויים, המפלגים באופן אחיד על פנֵי כל התמונה. לצורך מושך שלב זה נכתבת תוכנית המחשב CRITRG. תוכנית זו מתאימה גם לקרה בו עוצמת המטרה היא גודל דטרמיניסטי וגם לקרה בו היא משתנה אקראי אosoī בעל ממוצע ושונות נזוכניים.
- ב. **שלב ביטול מטרות:** בשלב זה בוטלו חלק מהמטרות, כך שתתקיים הדרישה כי המרוזוח המינימלי המותר בין מטרות בשורה אחת הוא 1-N. (N אורך החלון המכטימלי של מעבדי האות הנבחנים). לצורך מושך שלב זה נכתבת תוכנית המחשב TCNL, ובטיומו נוצרת מפה המטרות הרצוייה מבחינה גודל המטרות ומיקומן.
- ג. **שלב זרימת המטרות:** בשלב זה נוצרות המטרות בתמונה השמיים, על ידי סכום אלגברי של ערך התא בתמונה השמיים עם ערך התא המתאים במפה המטרות. לצורך מושך שלב זה נכתבת תוכנית המחשב SINS. תדפיי תוכניות אלה כוללים בחוברת הנמצאת במעבדה לעבודאות. לצורך שערוך השתרבות האגלווי וההשתברות להתראות שווה בתמונה שמיים בודדת, נכתבת תוכנית המחשב MTHCRN. תוכנית זו מחשבת את ההשתברויות עבור חום נתון של ספי גלווי. תדפיס תוכנית זו מובה אף הוא בחוברת הנמצאת במעבדה לעבודאות.

שערוך השתברויות אלה באמצעות התחליכים המתוארים לעיל עבור מספר פלאגיים אפשריים של עוצמת המטרה, עבור מספר מעבדי אותן נבחנים, ועל פני קבוצת מנותות הוא מייגע ביחס. בטיעוף 6.2 יתואר הערך שערוך עבור יתר.

## 6.2

### שערוך באמצעות היחסוגרמה של תמונה השמיים המעובדת

היחסוגרמה של אותן (או תמונה) מתבלט על-ידי חלוקת חום ערכי דגימות אותן (תמונה) למספר泰安ים שווים בגודלם. לכל תא היחסוגרמה, מוחשב החלק היחסי של דגימות אותן (תמונה), אשר ערכיה נמצאות בתחום המוגדר על ידי תא זה.

למעשה, היחסוגרמה של אותן סטטיזונרי מהוות משערוך דיסקרטי של פונקציה צפיפות ההשתברות של אותן זה.

בניהם כי תחום ערכי האות  $(\chi)$  הוא  $(-A, A)$  ומספר תאי ההיסטוגרמה היא  $L$ ,

אזי

$$\hat{f}_y(\ell) = \frac{\text{no of samples in } y(n) \text{ such that } | -A + \frac{2A}{L} (\ell-1) \leq y(n) < -A + \frac{2A}{L} \ell |}{\text{total no of samples in } y(n)} \quad (6.1)$$

$\hat{f}_y(\ell)$  היא ההיסטוגרמה של האות  $(\chi)$ .

אם ההיסטוגרמה של אות לא סטציונרי היא ברת שמעוות במקורה זה ערך ההיסטוגרמה  $\hat{f}_y(\ell)$  מחרוה קרוב להפרש

$$G_y\left(\frac{2A}{L}\ell\right) - G_y\left(\frac{2A}{L}(\ell-1)\right)$$

כאשר  $(\chi)_y$  היא פונקציה פילוג השכיחות המוגדרת בסעיף 6.1.

שעורך השתירות להתראות שווא במערכת גליי עם מעבד כלשהו (לינארי או לא לינארי) יכול לבצע באמצעות ההיסטוגרמה של אות השמיים המעובד (האות בМОצא המעבד, כאשר אות הכניטה היבנו אותו הפעלה ללא מטרות).

יהיה  $(\chi)_0$  את היציאה ממעבד האות כאשר אות הכניטה היבנו אותו הפעלה, ותהיה  $\hat{f}_{y_0}(\ell)$  ההיסטוגרמה של אות זה.

אזי על ידי קרוב דיסקרטי של משווהה (5.5) (או קרוב דיסקרטי של משווהה (5.5) במקרה חלא סטציונרי) מקבלים

$$\hat{PFA}(T) = \sum_{\ell=L_0}^L \hat{f}_{y_0}(\ell) \quad (6.2)$$

$$L_0 = \lceil 1 + \frac{T+A}{2A/L} \rceil$$

כאשר

ו-  $[X]$  הינו השלים האגדול ביותר,  $I$ , המקיימים  $[X] \leq I$ .

בממשק נראה איך ניתן להרחב שיטה זו לשעורך השתירות הגליי. הרחבה

למקרה בו מעבד האות הינו לינארי היא מיידית ואילו הרחבה למקרה בו

מעבד האות הינו מעבד ה-SM מתחבשת על משפט 5.1.

### 6.2.1 שערון הסתברות הגלוי עבור מבחן ליגנاري

נניח כב-6.2.5 כי המבחן הליגנاري הינו סימטרי, בעל מספר אי זוגי של מקדמים-N, ובבעל השתייה 2/(1-N).

כמוקודם נחשב את ההסתברות הגלוי מטרה בדגם 2/(1-N)-a, כאשר בשאר דגימות חלוץ הסנוון לא קיימת מטרה, וננסן ב-(a) וע' אותן היציאה כאשר התנאי לעיל מתקיים.

**כיוון שהמבחן ליגנاري, מתקיים**

$$y_1(n) = y_0(n) + y_a(n)$$

כאשר (a) וע' תగות המבחן לאות ההפרעה (מנוגדר ב-(6.12)) ו-(a) וע' הינו  
תגות המבחן לאות מטרה בקודתית

$$\underbrace{[0, 0, \dots, a, \dots, 0, 0]}_N$$

נסמן ב-(a) וע' את ההיסטוגרמה של (a) וע', וב-(a) וע' את ההיסטוגרמה  
המקרבת את פונקציית האפיפות של (a) וע' (בשימוש נבהיר מושג זה).

אזי קל לראות כי ניתן לקבל את ההיסטוגרמה של וע', (a) וע' באופן הבא:

$$\hat{f}_{y_1}(\ell) = \sum_{\theta=-\infty}^{\theta} \hat{f}_{y_0}(\theta) \hat{f}_{y_a}(\ell-\theta) \quad (6.3) \quad \theta \text{ שלם}$$

ובניתן לשערך את (T)PD גם כאשר (a) וע' איננו סטציאונרי, על פי

$$\hat{P}_D(T) = \sum_{\ell=L_0}^{2L} \hat{f}_{y_1}(\ell) \quad (6.4)$$

$$L_0 = \lfloor 1 + \frac{T+(A+B)}{(A+B)/L} \rfloor \quad \text{כאשר}$$

ו-(A,B) הינו תחום ערכי (a) וע'.

(a,B) הינו התחום בו בוצעה הדיסקרטיזציה של (a) וע' . $f_{y_a}$

L - מספר התאים בכל אחת מההיסטוגрамות (a), ו-(a) וע' . $\hat{f}_{y_0}$

עהה נבחין אם המושג ההיסטוגרמה המייצגת את  $(y_a^f)$ .  
 במקרה כי מתח המטרה  $a$  הוא משתנה אקראי בעל פונקציה צפיפות הסתברות,  $(a_f)$ .  
 פונקציה צפיפות הסתברות של דגם המטרה בモץ המסנן  $(y_a^f)$  ניתנת לחישוב באמצעות משואה (5.21). ההיסטוגרמה המייצגת את  $(y_a^f)$  מתבלת על ידי  
 דיסקרטיזציה של פונקציה הצפיפות הרצופה, בתחום  $(B-B, B]$  ( $B$  נבחר כך ש-  
 $\int_{-B}^B f_y(a) da \approx$  קרוב מאוד ל-1), דהיינו:

$$\hat{f}_{y_a}(x) = \begin{cases} 0 & y_a \geq B, y_a < -B \\ f_y(-B + \frac{2B}{L}(x-1)) & -B \leq y_a < B \end{cases} \quad (6.5)$$

התוצאות לעיל מתחימות גם במקרה בו מתח המטרה  $a$  הינו גודל דטרמיניסטי,  
 אם נזכיר כי במקרה זה מתקיים  $(a-a)=\delta$ .

אולם במקרה הדטרמיניסטי יותר פשוט לחשב את  $\hat{P}_D(T)$  על-ידי

$$\hat{P}_D(T) = \hat{P}_{FA}(T-a)$$

### 6.2.2

שעון הסתברות האלי עבון מעבד MSS  
 נחיש שוב את הסתברות לאלי מטרה נקודתית בהנחה שהאגימות בחלון  
 לא מופיעה מטרה.

במקרה הלינארי ניתן להפעיל את עקרון הסופרפויזציה, לחישב בנפרד את  
 תగובת המסנן לאוזן ההפרעה, את תגובת המסנן לדגם המטרה, ולקבל את  
 התגובה הכלולית כסכום התגבותות הפרדרות. הפרדה זו מאפשרת חישוב נפרד  
 של ההיסטוגרמה של  $(a)_0$ , שוב נפרד של ההיסטוגרמת ערכיו המטרה ביציאת  
 המסנן, וshaweb ההיסטוגרמה של  $(a)_1$  על ידי קובולוציה דיסקרטית של  
 ההיסטוגרמות אלה. כאשר מבודד אותן לינארי לא ניתן לבצע הפרדה  
 כזו.

השיטה אשר תוכז במשך אפשרות חישוב הסתברויות באמצעות ההיסטוגרמות,  
 למורום הקושי הנובע מאי-הLINARITY. שיטה זו מבוססת על משואה (5.29).  
 במושואה זו מחושבת הסתברות האלי במערכת גלי, הכוללת מעבד MSS עם  
 חלון מדיאני באורך  $1+2M$  וטף גלי  $\sigma$ . לשם הבאהירות נחזר ונכתב  
 משואה זו:

$$PD(T) = \int_T^{\infty} f_k^M(\alpha) * f_a(\alpha) d\alpha$$

כאשר

-  $(\alpha)$  הינה פונקציה צפיפות הסתברות של האבר ה-M בסדרה המתקבלת מסדרה הסדרה  $\{(\alpha)_j | j \leq 1\}$  ( $\alpha_j$  מסדר עולה). ( $j-h$ )  $i$   $\hat{=} (\alpha)_j$ , ( $\alpha_i$ )  $\hat{=} (\alpha)_j$  הפעעה).

-  $f_a$  - פונקציה צפיפות ערבי המערה.

להלן מפורטים שלבי השיטה לחישוב הסתברות האלו במערכת עם מעבד MSS, עם חלון מדיאני באורך  $1+2M$ , וסף גלי  $0 > T$ :

בתוכה תמונה השמיים.

1. בצע על כל שורה  $\{(\alpha)_i\}$  בתמונה את התחמרה הבאה:  
 $(\alpha)_i \leftarrow (\alpha)_k$ . ( $\alpha_k$  הינו האבר ה-M בסדרה המתקבלת מסדרה הסדרה  $\{(\alpha)_j | j \leq 1\}$  מסדר עולה).
2. חשב את ההיסטוגרמה של התמונה המתקבלת לאחר בוצע התחמרה לעיל.
3. בצע קובולוציה דיסקרטית של ההיסטוגרמה אשר התקבלה בשלב 2, עם היסטוגרמת ערבי המטרות  $(\hat{f})_a$ .
4. חשב את הסתברות האלו על-פי הנוסחה

$$PD(T) = \sum_{\ell=L_0}^{2L} \hat{f}(\ell)$$

כאשר:  $\{(\hat{f})_\ell\}$  הינה ההיסטוגרמה שהתקבלה בשלב 4.

וכאשר:  $L_0 = \frac{T(A+B)}{(A+B)/L}$  מוגדר על ידי:

$L$  - מספר תאי ההיסטוגרמה.

$[-A, A]$  - תחום ערבי התמונה המותמרת.

$(B, -B)$  - התחום בו מתבצעת דיסקרטיזציה של פונקציה צפיפות ערבי המערה.

הערה: אם משתמשים בשיטה לעיל לשערוך הסתברות האלו במערכת עם מעבד MSS, עיל יותר לשערוך את הסתברות להתראות-שווא באופן הבא:

נתונה תמונה של שמיים:

1. בצע על כל שורה  $\{(n)\}$  בתמונה את החתימה הבאה:  $(n) \rightarrow (n)^M$ .
2. חשב את ההיסטוגרמָה של התמונה המתבקשת לאחר בוצע החתימה לעיל.
3. חשב את החסתברות להתראת שווה על פי הנוסחה:

$$PFA(T) = \sum_{\ell=L_0}^L \hat{f}(\ell)$$

כאשר:

$L$  - מספר תאי ההיסטוגרמָה  
 $\hat{f}(\ell)$  - הינה ההיסטוגרמָה אשר התקבלה בשלב 2 וכאשר  $L_0$  מוגדר על ידי

$$L_0 = [1 + \frac{T+A}{2A/L}]$$

L - מספר תאי ההיסטוגרמָה

$A,A$  - תחום ערכי התמונה המותאמת (אשר התקבלה בשלב 1).

להלן פירוט תוכניות המחשב אשר באמצעותן בוצעו תהליכי בשערור המתווארים לעיל.

1. HISTFLT - תוכנית קיימת במעבדה ומחשבת היסטוגרמָה של קובץ קלט.
2. IMTR - תוכנית שפותחה במסגרת מחקר. תוכנית זו מבצעת את הטרנספורמציה חד-מידית המוגדרת בשלב 1 של תהליך השערור עבור מעבד MSS עם חלון באורך איזוגאי.
3. MPROB - תוכנית אשר פותחה במסגרת מחקר. תוכנית זו מחשבת את הסתברות הgalioי או את החסתברות להתראת שווה על פי הנוסחה הבאה

$$P(T) = \sum_{n=L_0}^L hist(n)$$

כאשר:  $hist(n)$  - הינו מערך ההיסטוגרמָה המשמש כקלט לתוכנית.

- L מספר תאי ההיסטוגרמָה.

-  $L_0$  מוגדר על ידי

$$L_0 = [1 + \frac{T+A}{2A/L}]$$

ואילו  $(A,A)$  הינו תחום בו חושב ההיסטוגרמָה ו-T הינו ערך הסף המשמש כקלט לתוכנית.

תධיסי תוכניות אלה כוללים בחוגרת הנמצאת במעבדה לעבד אזהות.

### 6.3 סכום

שיטה שערוך הסתברויות באמצעות ההיסטוגרמה של תמונה השמיים המעובדת (במקרה הלינארי), או המותמתה (מעבד MSS), ייעילה יותר משיטת השערוך המבוססת על סימולציה מלאה של מערכתagaloi.

יעילות זו מוגנת במיוחד במקרה שבו נדרש לבצע את תהליך השערוך עבור מספר פילוגים שונים של עוצמת המטרה, או פרמטרים שונים של אותו פילוג (למשל ממוצעים שונים של עוצמת המטרה). במקרה כי תהליך השערוך בוצע כבר עבור פילוג נתון, ועתה רוצים לבצע את השערוך עבור פילוג אחר, או פרמטרים אחרים של אותו פילוג.

בשיטת הסימולציה המלאה יש ליצור מחדש מפת מטרות המתאימה לפילוג החדש (או לוקטור הפרמטרים החדש). יש לזרוע מטרות בכל אחת מהתמונה בקבואה, להפעיל מחדש את מעבד האות על תמונה אלה, ולבסוף יש להפעיל את תוכנית חשוב הסתברות, על כל אחת מהתמונה המעובדות, ולמצע את התוצאות המתתקבלות.

לעומת זאת בשיטה המבוצעת את שערוך הסתברויות באמצעות ההיסטוגרמה של תמונה השמיים המעובדת (או המותמתה), יש לבצע רק את הפעולות הבאות: ליצור את ההיסטוגרמה המייצגת את הפילוג הנוכחי עם וקטור הפרמטרים הנוכחי, לבצע קובולוציה דיסקרטית של ההיסטוגרמה של תמונה השמיים המעובדת (או המותמתה), וההיסטוגרמה המייצגת את הפילוג הנוכחי, ולהפעיל את תוכנית חשוב הסתברות פעם אחת בלבד על ההיסטוגרמה המתתקבלת.

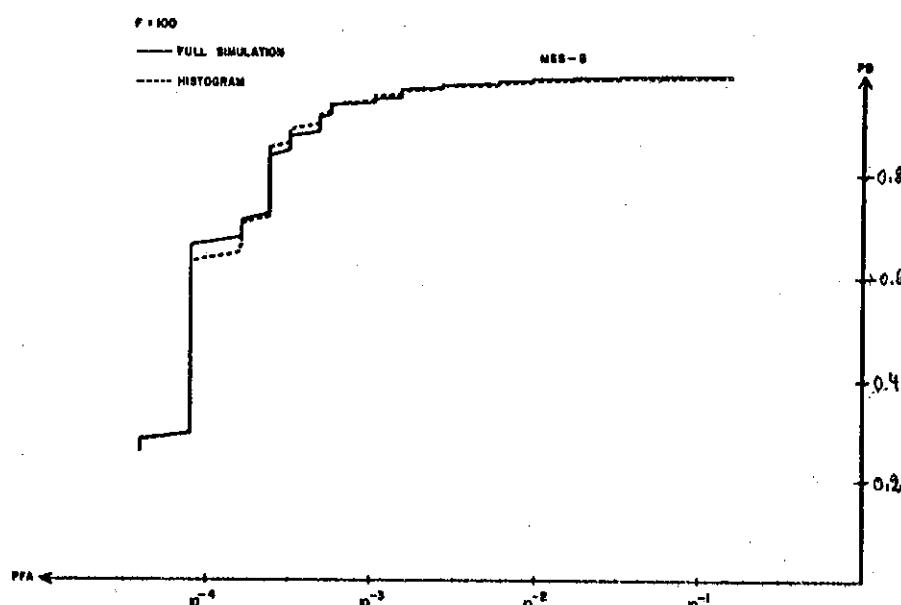
במשך נראה כי התוצאות המתתקבלות בשתי השיטות קרובות ביותר. בציורים הבאים מושרטים עוקמי הסתברותagaloi כנגדי הסתברות להתראות שווא אשר התקבלו בשיטת אלה. בציור 6.1 מושרטים עוקמי PD כנגדי PFA עבור תמונה IMG1, מעבד MSS מסדר חמישי, ופילוג אוציא של עוצמת המטרה. שרטוט זה מתייחס למטרה שמוצע עוצמתה הוא פי 10 מ-msr הספק ההפרעה באזורי שמיים כחולים, וטיעת התקן של עוצמת המטרה היא פי-2 מ-msr הספק ההפרעה באזורי שמיים כחולים.

בציור 6.2 מושרטים עוקמי PD כנגדי FPA עבור תמונה IMG3, מסנן WIENER באורך 11, ופילוג אוציא של עוצמת המטרה. פרמטרי פילוג עוצמת המטרה הם כמפורט קודם הקודם.

מידת ההתאמנה של עוקם PD כנגדי PFA המתkeletal מתוך ההיסטוגרמה של תמונה השמיים המעובדת (או המותמתה), לעוקם המתkeletal על-ידי סימולציה מלאה של מערכתagaloi, תלויות במספר תאי ההיסטוגרמה.

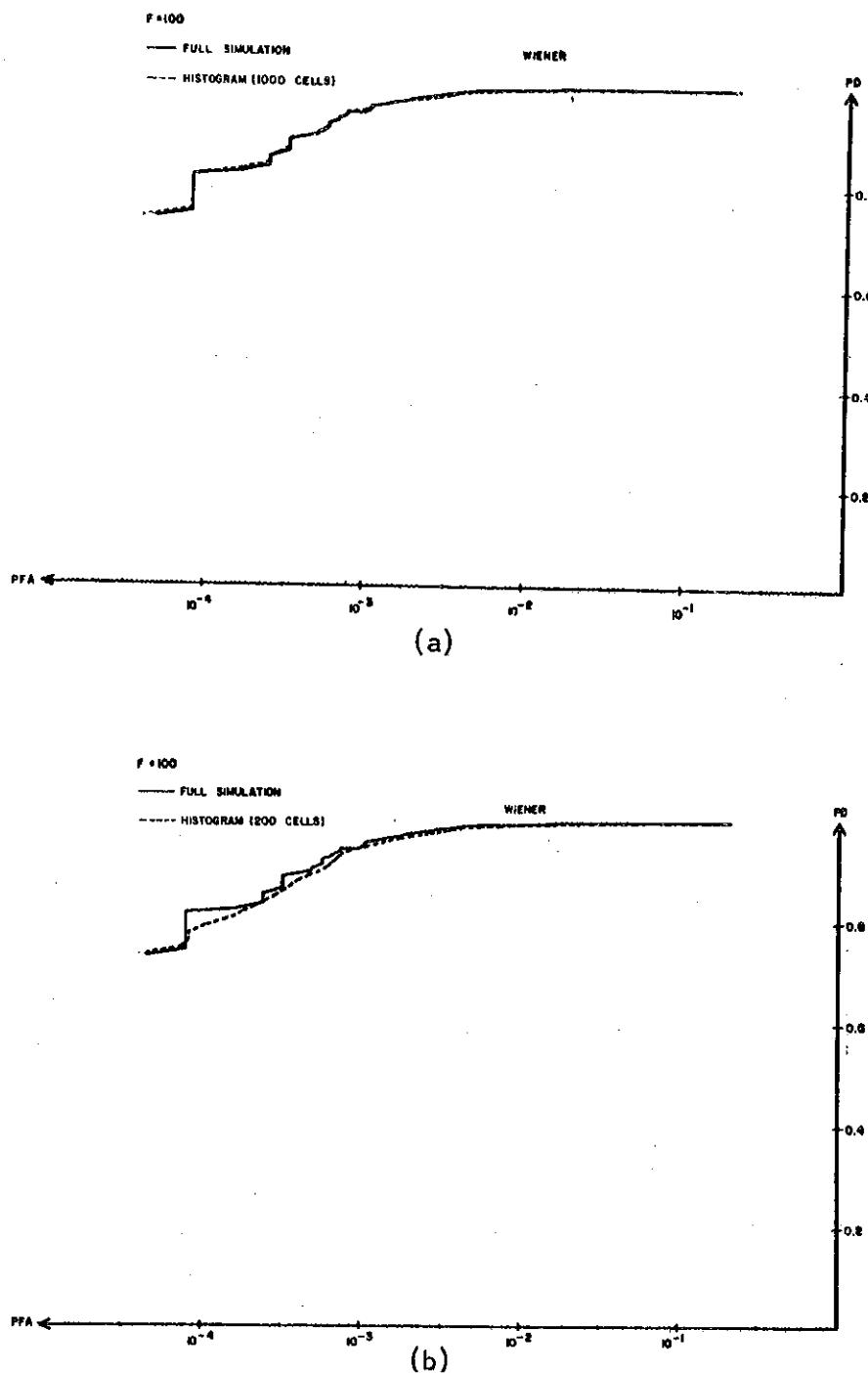
כאשר מעבד האות הינו מעבד MSS, דגמי את היציאה הינה מספרים שלמים בתחום (50,50-) ולכן דרושים לכל היתר 100 תאי היסטוגרמה לקבלת התאמה טובה, ואין טעם להגדיל ערך זה.

לא כר הדבר כאשר מעבד האות הינו משנן לינארי, ודגמי את היציאה הינה מספרים ממשיים בתחום (50,50-). מספר תאי היסטוגרמה של תמונה השמיים המעובדת אשר שמשה לקבלת עקום PD בצד PFA בציור 6.2a, הוא 1000. בציור 6.2b רואים כי עבור היסטוגרמה של תמונה ממשיים בעלת 200 תאים מתבלת התאמה סבירה, אך אינה כה טובה כבמקרה הקודם.



ציור 6.1: עקומיו הסתברות蟄גלי כנגד החסתברות לחדרת שווא בשיטת מסימולציה מלאה, ובשיטה המשמשת בחישוב המתונה המומחרת, עבור מעבד MSS מסדר חמישי, ופלוֹג גאוסי של עוצמת המטרה -  $a:N(10\sigma_r, 2\sigma_r)$

Fig. 6.1: PD v.s. PFA curves by full simulation method, and by the method using the transformed image histogram, for fifth order MSS processor, and normally distributed target intensity -  $a:N(10\sigma_r, 2\sigma_r)$ .



ציור 6.2: עקומי סטברות הgaloi כנגד החטברות לחדרת שווה בשיטת הסימולציה המלאה, ובשיטה המשמשת בהיסטוגרמה חתמונה המוחדרת, עבור מסנן WIENER באורך 11, ופלוא אוטי של ווצמת חדרה -  
ב. 200 תא היסטוגרמה. ג. 1000 תא היסטוגרמה.

Fig. 6.2: PD v.s. PFA curves by full simulation method,  
and by the method using the transformed image histogram,  
for WIENER filter with 11 coefficients, and normally  
distributed target intensity -  $a:N(10\sigma_r, 2\sigma_r)$ . a) 1000  
histogram cells. b) 200 histogram cells.

## פרק 7. ביצועיהם של מעבדי האות השוניים

פרק זה מסכם את ביצועיהם של מעבדי האות השוניים. מקובל להעריך את הביצועים באמצעות המדרידים הבאים:

א. רוחם העבודה (Processing Gain, PG)

$$PG = \frac{SIR_{out}}{SIR_{in}} \quad (7.1)$$

כasher :

$SIR_{out}$  הינו יחס הספק המטרה להספק ההפרעה ביציאת מעבד האות (SIR - Signal to interference ratio)

ו-  $SIR_{in}$  הינו יחס הספק המטרה להספק ההפרעה בכניסית מעבד האות.

ב. עקומת הסתברותagaloi כנגד הסתברות למתארת שוויה.

רוחם העבודה PG מחושב רק עבור המנגנים הלינאריים, בכלל אי היכולת להפריד בין תרומת המטרה לתרומת ההפרעה באוטה הייצאה ממעבד MSS הלא לינארי, ובכלל הקושי בחישוב יחס הספקים ביציאה ממעבד MSS (ראה 5.2.2). לבן, PG ישמש כאמצעי להשוואה בין המנגנים הלינאריים השונים בלבד.

רוחם העבודה של מבנן לינארי בעל וקטור מקדמים  $\underline{w}$  נתון ע"י

$$\begin{aligned} PG &= \frac{SIR_{out}}{SIR_{in}} = \frac{a^2 w^2 ((N-1)/2) / \underline{w}^T \underline{R}_{ii} \underline{w}}{a^2 / \sigma_i^2} = \\ &= \frac{w^2 ((N-1)/2) \sigma_i^2}{\underline{w}^T \underline{R}_{ii} \underline{w}} \quad (7.2) \end{aligned}$$

כasher:  $\underline{w}^T \underline{w}$  הינו וקטור השורה של מקדמי המנגן  $(2/2)$

$N$  מספר מקדמי המנגן

$\sigma_i^2$  הספק ההפרעה בכניסית המנגן

$\underline{R}_{ii}$  מטריצת האוטוקורלציה של אות ההפרעה בכניסית המנגן.

עוקומי הסתороות האלווי והסתורהות להתראת שרווא יוערכו בשיטת המתוארות בפרק 5 ו-6.

בטעיף 7.1 נסכם את בצוויי מudy האות השונות באזורי עננים, בהם המרכיב הדומיננטי של אות ההפרעה הוא ה-clutter, ובטעיף 7.2, נסכם את בצוויי המudy באזורי שמיים כחולים. בטעיף 7.3 נדוזן בצוויי המudy השונים באזוריים מעורבים הכוללים גם אזורים שמיים כחולים וגם אזוריים מעוננים, ובטעיף 7.4 נסכם את בצוויי המudy השונים עבור אותן הרקע המדוודים.

בטעיפים 7.3-7.1 הערכת הבצועים נעשית על-פי מודלים עיוניים לאות הרקע, ובאמצעות השיטה המתוארת בפרק 5, ובטעיף 7.4 הערכת הבצועים נעשית תוך ביצוע פעולות מתחייבות על אותן השמיים המדוודים, באמצעות השיטה המתוארת בטעיף 6.2. המנגנים אשר בצווייהם מסוכמים בפרק 7 הם המנגנים הבאים: מעד MSS עם חלונות סנוון באורך 3 ו-5, מנגני WIENER בעלי 11 ו-19 מקדים. מנגנים מעברי אבועהים בעלי תדריות קטועות שונות, ומנגני SLM דיסקרטיים עם חלונות מצוע באורךים שונים.

לפני שניאש לסקום הבצועים, נחזר ונתאר את המודלים העיוניים המייצגים אתאות הרקע באזורי שמיים כחולים ובאזור עננים, וכן כן תובא הקדמה המתיאחת למנגני WIENER אשר בצווייהם מסוכמים בפרק זה.

באזור שמיים כחולים זאת ההפרעה הדומיננטי הוא הרעש הפוטוני הנגרם על ידי פלקטוואציות בזמן, פגיעה הפוטוניים בגלאי. רעש פוטוני זה הבנו תהליכי טציזונר לבן ובעל פלוג אוציאי.

לצורך הערכת הבצועים באזורי עננים ניתן ליצא את אות הרקע (ח)ז (אות ההפרעה) בסכום של שני תהליכי: (ח)ב התהליכי הקורלטיבי המייצג את ה-clutter, ו-(ח)r התהליכי המייצג את הרעש הפוטוני.

$$i(n) = b(n) + r(n) \quad (7.3)$$

(ח)z - הבנו רעש לבן אוציאי בעל ממוצע אפס ושותפה  $r^2$ . (ח)r זהה לאות ההפרעה באזורי שמיים כחולים.

(ח)b - הבנו תהליכי מركובי מפולג אוציאית בעל ממוצע אפס, ופונקציה אוטוקורלציית  $A_{bb}(m) = A_{bb}(0) e^{-|m|} \cos(\beta m)$ .

$$A_{bb}(m) = A_{bb}(0) e^{-|m|} \cos(\beta m) \quad (7.4)$$

כasher:  $\sigma_a^2$  גורם הקורלציה של התהיליך המרקבובי.  
ו- $\sigma_b^2$  גורם פרמטרים תמדירות בתהיליך המרקבובי.

כזכור (סעיף 5.4) ( $\sigma_{bb}^2$ )  $A$  היא פונקציה האוטוקורלציה של מרכיב  $a$ -clutter באות המתקבל על החסורת ממוצע המיקומי מאות הרקע המקורי.

בצوعי המעבדים מוערכימים עבור פרמטרים שונים של אות ההפרעה ואות המטרה, כגון:  
א. גורם הקורלציה בתהיליך המרקבובי.  
ב. יחס הספק המטרה להספק ההפרעה בכנית מתבדת אותה באוצר שמים כחולים.

בשנות יחס זה באות F

$$F \triangleq \frac{a^2}{\sigma_r^2} \quad (7.5)$$

כasher:  $a$  עוצמת המטרה.  
 $\sigma_r^2$  הספק ההפרעה בכנית מתבדת אותה באוצר שמים כחולים.  
ג. יחס הספק מרכיב clutter  $b$  באות ההפרעה, להספק ההפרעה באוצר שמים כחולים.

בשנות יחס זה באות D.

$$D \triangleq \frac{A_{bb}(0)}{\sigma_r^2} = \frac{\sigma_b^2}{\sigma_r^2} \quad (7.6)$$

כאמור לעיל, הערכת הבזועים בטעיפים 7.3-7.4 נעשית על פי מודלים עיוגניים המתארים תנאי רקע שונים. מבחן WIENER הוא מסנן המתוכנן לפי תנאי הרקע, ולכן כדי לבדוק בזועי מסנן WIENER בתנאי רקע מסוימים, יש לתוכנן מסנן WIENER המתאים לתנאי רקע אלה, ולבדוק את בזועיו בתנאי רקע אלה.

כasher נבדקו בזועי מסנן WIENER באיזור עננים המיוצג על ידי המודל בשווואות (7.4-7.3) עם פרמטרים ( $D, \sigma_r^2, \beta, \varphi$ ), נבחן מסנן ה-WIENER המתוכנן בהנחה שאות ההפרעה מציאות למודל מעורב, נבחן מסנן ה-WIENER המתוכנן בהנחה שאות ההפרעה מציאות למודל באיזור מעורב, נבחן מסנן ה-WIENER המתוכנן בהנחה שאות ההפרעה מציאות למודל המיציג את חלק המעורב באיזור. כאשר נבדקו בזועיו של מסנן WIENER באיזור שמים כחולים, נבחן מסנן ה-WIENER המתוכנן בהנחה שאות ההפרעה מציאות למודל המתואר בשווואות (7.4-7.3), עם פרמטרים ( $D, \sigma_r^2, \beta, \varphi$ ) אופיניים.

ב-5.4.1 שורערכו הפרמטרים של המודל המיציג את תהיליך ההפרעה באיזור עננים, עבור אחת מתמונות השמיים הדגומות (8IMG8).

התקובל כי:

$$\rho = 0.96$$

$$\beta = 5.62^\circ$$

(7.7)

$$D = \frac{A_{bb}(0)}{\sigma^2} = 60$$

הפרמטרים ( $D, \beta, \rho$ ) במשוואת (7.7) נקבעו כפרמטרים האופייניים, אשר על-פיהם תוכנן מטען ה-WIENER הנבחן באוצר שמיים כחולים.

ערכת הביצועים בסעיף 7.4 נעשית על פי אותות השמים המדוודים, ולפיכך מטען ה-WIENER אשר בוצעיו מסוימים בסעיף 7.4, תוכנן לשירות על-פי אותות השמים המדוודים, כמוואר בסעיף 3.1.

#### 7. הביצועים באוצר עניים

##### 7.1.1 רוח העבודה של המנגנים הלינאריים באוצר עניים

روح העבודה של המנגנים הלינאריים באוצר עניים חשוב בהנחתה שאורת הרקע באוצר זה מצית למודל הנתון במשוואות (7.4, 7.3), עם הפרמטרים ( $D, \beta, \rho, \sigma^2$ ) הנחותים במשוואת (7.7). תוצאות החשובים מובאות בטבלה 1.

#### מקנות:

- רוח העבודה של מטען WIENER באוצר עניים, לא גדול עם הגדרת מספר המקדים מ-11 ל-19.
- למטען מעביר אבוהים תזרירות קטיען מסוימת בה רוח העבודה של המטען הוא האבורה ביותר. תוצאה זו צפואה, שכן כאשר תזרירות הקטיען של המטען נמוכה מרוחב הטרט של ה-clutter, חלק מהספק ה-clutter אינו מונחת על-ידי המטען. במקרה זה, ככל שתזרירות הקטיען נמוכה יותר, החלק היחסי של הספק ה-clutter אשר איינגן מונחת על-ידי המטען גבולה יותר, ועוד רוח העבודה קטן.

לעומת זאת, ככל שתזרירות הקטיען גבורה יותר, הפגיעה בהספק המטרה (למטרה המיוצגת על-ידי דגימה בודדת ספקטרום הספק שטוח) גדולה יותר, וכן עבור תזרירות קטיען גבורה ביחס לרוחב הטרט של ה-clutter, רוח העבודה קטן, ככל שתזרירות הקטיען גבורה יותר.  
תזרירות הקטיען, מבין תזרירויות הקטיען שנבחנו, שעבורה רוחה העבודה הוא האבורה ביותר היא  $f_s = 0.18f_s$  ( $f_s$  - חדר הדגימות בכניסת המטען).

- רוח העבודה של מסנן SMLS דיסקרטי באורך עכניים קטן ככל שהлон המצווע נעשה ארוך יותר.
- רוח העבודה של מסנן WIENER, מסנן מעביר אבוהים עם  $f_c/f_s = 0.18$  ומסנן SMLS דיסקרטי עם חلون מצוע באורך 3, שווים בקרוב.

טבלה 7.1: רוח העבודה של המנסננים הליניאריים.

Table 7.1: Linear filters processing Gain.

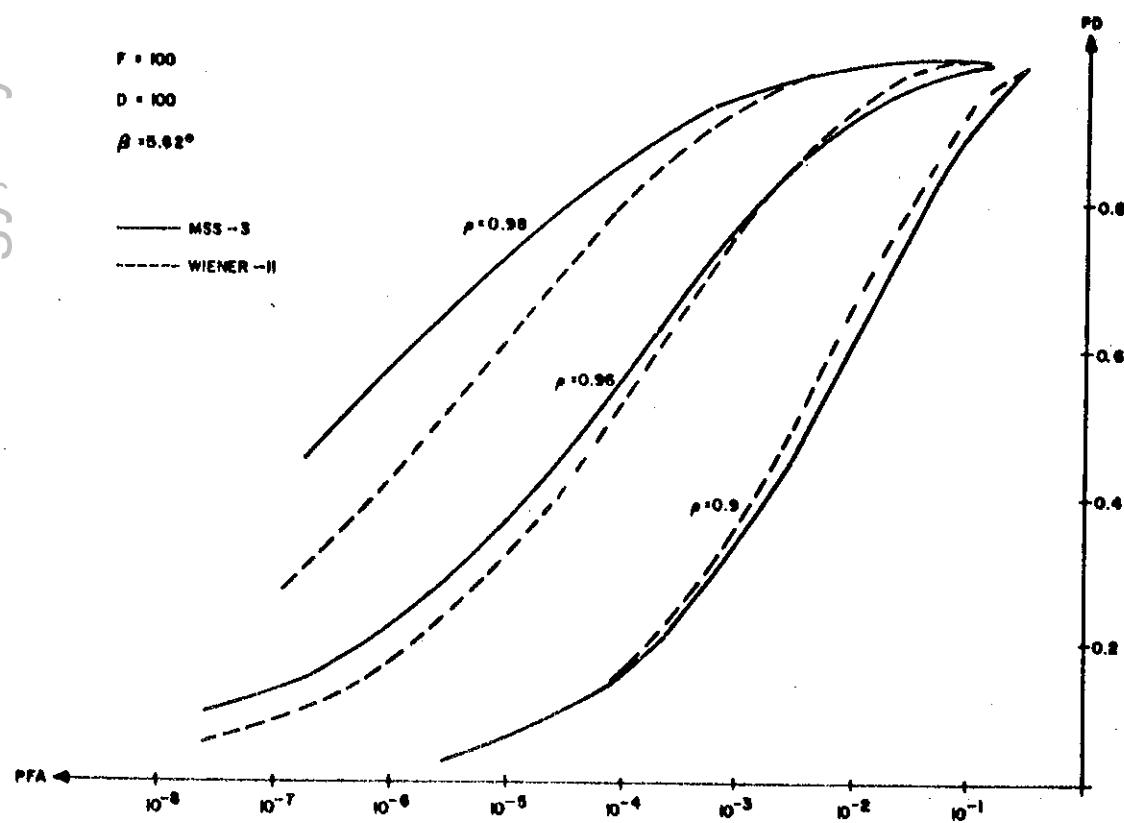
ה מס נ ז	PG
מסנן WIENER באורך 19, המתוכנן על פי המודל.	15.612
מסנן WIENER באורך 11, המתוכנן על פי המודל.	15.608
* מסנן מעביר אבוהים עם $f_c/f_s = 0.25$	14.21
* מסנן מעביר אבוהים עם $f_c/f_s = 0.18$	15.44
* מסנן מעביר אבוהים עם $f_c/f_s = 0.1$	13.29
* מסנן מעביר אבוהים עם $f_c/f_s = 0.08$	11.87
מסנן SMLS דיסקרטי מסדר ראשון עם חلون מצוע באורך 3.	15.35
מסנן SMLS דיסקרטי מסדר ראשון עם חلون מצוע באורך 5.	13.9
מסנן SMLS דיסקרטי מסדר ראשון עם חلون מצוע באורך 7.	11.81

\*  $f_c$  - תדיות הקטעון של המסנן,  $f_s$  - תדיות הדגימה.

### 7.1.2 בזויי מסנן WIENER ומעבד MSS בתלות גורם הקורלציה של אות ה-clutter

בסעיף זה ייבחנו בזויי מסנן WIENER באורך 11 ומעבד MSS עם חلون מדיאני באורך 3, עבור תנאי רקע שונים. בכל תנאי הרקע הנבחנים מיציתאות הורקע למודל במשוואות (3.7.4-7.3), כאשר גורם הקורלציה של התהילין המרקבובי  $\rho$  מהויה פרמטר,  $D=100$ ,  $\theta=5.62^\circ$ ,  $\beta=8^\circ$ .

בצייר 7.1 משורטים עוקמי הסתברות האליי כנגד הסתברות להתראת שווה של מעבד MSS עם חلون באורך 3, ושל מסנן WIENER באורך 11, עבור ערכי  $\rho$  הבאים: 0.98, 0.96, 0.9, 0.0. לכל ערך  $\rho$  משורט עיקום הסתברות של מסנן WIENER האופטימלי למודל במשוואות (3.7.4, 7.3) עם  $D=100$ ,  $\theta=5.62^\circ$ ,  $\beta=8^\circ$ .  
ו- $\rho$  מתאים.



ציור 7.1: עקומת PD כנגד PFA עבור מסנן WIENER ומעבד MSS השלישי  
בהתלות גורם הקורלציה של ה-clutter. MSS processor ———, WIENER filter -----.

Fig. 7.1: PD vs PFA curves for WIENER filter and third order MSS processor as function of clutter correlation factor.  
——— MSS processor, ----- WIENER filter.

**מסקנות:**

- ככל ש- $\sigma$  גבוהה יותר מהבכזועים טובים יותר, זו עברו מסנן ה-WIENER והן עברו מעבד ה-MSS. תוצאה זו צפואה, שכן ככל שההלוות בין דגימות אותן הרקע גבוה יותר, יכולת מעבד האות לדכא אותו טוב יותר.
- עברו ערכי  $\rho$  גבוהים ( $\rho=0.96, 0.98$ ), בוצעו מעבד ה-MSS טובים יותר מבכזועי מסנן ה-WIENER המתאימים. ככל ש- $\sigma$  גבוהה יותר, עליזותם של מעבד ה-MSS על פני מסנן ה-WIENER ניכרת יותר.
- עוזר גורם קודלאיה נמוך יותר ( $\rho=0.9$ ), בוצעו מסנן ה-WIENER עלוליתם בעש על בוצעו מעבד ה-MSS.

**7.1.3 בוצעו מסנן ה-WIENER ומעבד ה-MSS בתלות יחס הספק clutter להספק**

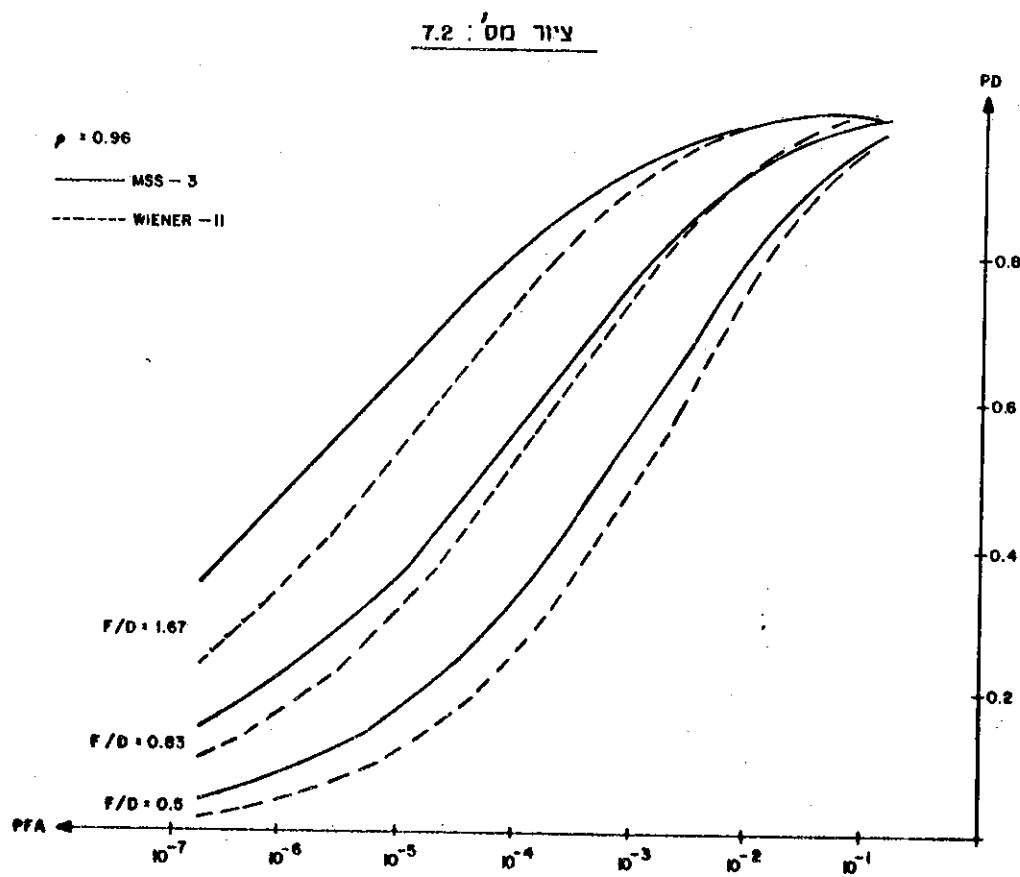
**המטרה**

בטעיף זה ייבחנו בוצעו מסנן WIENER באורך 11, ומעבד ה-MSS עם חלון מדיאני באורך 3, עברו אוח רקע המצוי למודל במשוואות (7.4, 7.3), כאשר  $\rho=0.96$ ,  $\theta=5.62^\circ$  ו- $D/F=5.62^\circ$  הננו פרטרא. כזכור ד מוגדר על ידי  $D=\sigma^2_b/a^2$ , כאשר  $b^2$  הוא הספק מרכיב ה-clutter בתוות המתקבל מהחזרת הממוצע המקומי מאות הרקע, ו- $a^2$  הננו הספק הרעש באוצר שמיים כחולים. F הננו יחס הספק המשטרת להספק הרעש באוצר שמיים כחולים ומוגדר על ידי  $F=a^2/\sigma^2$ , כאשר a הבנה ווצמת המטרת. D/F הננו יחס הספק המטרת להספק ה-clutter.

בاقיו 2.7, משורטטים עוקומי השתרבות האליי כנגד ההשתברות להתראת שוווא של מסנן ה-WIENER המתאים למודל עם הפרמטרים לעיל, ומעבד ה-MSS, ועבור  $F/D=1.0, 0.83, 0.5$ .

**מסקנות:**

- ככל שייחס הספק המטרת להספק clutter ( $F/D$ ) גבוהה יותר, בוצעו המעבדים טובים יותר.
- עבור  $\rho=0.96$ ,  $\theta=5.62^\circ$ , וערך ( $F/D$ ) לעיל, בוצעו מעבד ה-MSS טובים יותר מבוצעו מסנן ה-WIENER המתאים.



איור 7.2: עקומי PD כנגד PFA עבור מטנן MSS ומעבד WIENER מסדר שלישי  
בתלויות יחס הפק המטרה להפק ה-clutter. — MSS processor, ----- WIENER processor.

Fig. 7.2: PD vs PFA curves for WIENER filter and third order MSS processor as function of target to clutter ratio.  
— MSS processor, ----- WIENER filter.

## 7.2 הגזועים באזרור שמים כחולים

באזרור שמים כחולים אותה ההפרעה הדומיננטי הוא הרעש הפוטוני הנגרם על ידי פלקטואציות בזמןי פגיעה הפוטוניים בגלאי. רעש פוטוני זה הנוי מהלייר (PG) סטציונרי לבן ובעל פלוג אושם. בסעיף 7.2.1 נושא את רוח העבוד (PG) המתקבל עבור המנגנים הלינאריים השוניים, ובסעיף 7.2.2 נושא את בוצעי מסנן WIENER בעל 19 מקדים, האופטימלי לאות רקע אופייני, לבוצעי מעבד MSS עם חלון מדיאני באורך 3, על פי עוקומי השתירות הגלוי כנגד השתירות להתראת שואה.

### 7.2.1 רוח העבוד של מנגנים לינאריים שונים באזרור שמים כחולים

כאשר מהלייר ההפרעה הנוי רעש לבן,  $(\hat{a})^2 = \sum_{n=0}^{N-1} w_n^2 R_{nn}$ , אז PG מחושב על פי הנוסחה הבאה:

$$PG = \frac{w^2((N-1)/2)}{\sum_{n=0}^{N-1} w^2(n)} \quad (7.8)$$

כאשר:

$w = a(n)$  הנום מקדמי המサンן.  
 $w = a(1-N/2)$  הנום המקדם המרכזי בתגובה ההלם של המサンן.

רוח העבוד PG חושב עבור המנגנים הבאים:

- א. מסנני WIENER האופטימליים לאות הרקע המתווך על ידי המודל במשוואות (7.4-7.3), עם פרמטרים אופייניים (מושואה (7.7)).
- ב. מסננים מעברי גבויים בעלי תדריזיות הקטעון  $f_c$  הבאות:  $f_s = 0.08f, f_s = 0.18f, f_s = 0.25f$ .
- ג. מסנני SLM דיסקרטיים עם חלונות מצוע באורךים 3, 5, 7.

ערבי PG עבור המנגנים השוגים מובאים בטבלה 7.2.

### מסקנות:

- א. באזרור שמים כחולים, רוח העבוד קטן מ-1 עבור כל המעבדים הנבחנים. ככלומר מעבדי האות הנבחנים אינם משפרים יחס הספק המערה להספק ההפרעה באזרור שמים כחולים, אלא מקטינים אותו.
- ב. רוח העבוד של מסנני WIENER הפעולים באזרור שמים כחולים כמעט ואיןו משתנה עם הגדרת מספר המקדים מ-11 ל-19.

## טבלה 7.2: רוחה העבודה של המנגנים חלינאריים באזורי שמיים כחולים.

Table 7.2: Linear filters' processing gain at blue sky regions.

ה מס נ ז	PG
מנגן WIENER באורך 19 המתוכנן על-פי המודל.	0.7230
מנגן WIENER באורך 11 המתוכנן על פי המודל.	0.7226
• $f_c/f_s = 0.25$	0.592
• $f_c/f_s = 0.18$	0.732
• $f_c/f_s = 0.1$	0.8456
• $f_c/f_s = 0.08$	0.8768
מנגן SLM דיסקרטי מסדר ראשון עם חלון מצוע באורך 3.	0.667
מנגן SLM דיסקרטי מסדר ראשון עם חלון מצוע באורך 5.	0.8
מנגן SLM דיסקרטי מסדר ראשון עם חלון מצוע באורך 7.	0.857
ג. רוחה העבודה של מנגני SLM דיסקרטיים הפועלים באזורי שמיים כחולים אדל ככל חלון המצוע ארוך יותר. תוצאה זו צפוייה שכן ככל חלון המצוע ארוך יותר, שערור הממוצע של אות ההפרעה באזורי שמיים כחולים מדויק יותר.	
ד. רוחה העבודה של מנגן מעביר גבויים הפועל באזורי שמיים כחולים, אדל ככל שתדיירות הקטוען של המנגן נמוכה יותר. גם תוצאה זו צפוייה, שכן תగות התדר של המנגנת האופטימלית (מנגנה מתואמת) LAGLOI מטרה המיעצת על-ידי דגימה בודדת בתנאי ריש לבן נתונה על ידי: $\omega_a = 1/(e^{\omega_a})$ , וمبין כל המנגנים החלינאריים, המנגן בעל תדיירות הקטוען הנמוכה ביותר, הוא הקרוב ביותר למנגנת האופטימלית.	

**7.2.2 עיקומי הסתברות האליי כנגד ההסתברות להתראת שווה של מסנן WIENER  
ושל מעבד MSS הפעילים באזרור שמים כחולים**

בצירור 3.7 מופיעים עיקומי הסתברות האליי כנגד ההסתברות להתראת שווה עבור מסנן WIENER בעל 19 מקדים, ומעבד MSS עם חלון מדיאני באורך 3 הפועלים באזרור שמים כחולים. מסנן WIENER תוכנן בהנחה כי אותן הפרעה מתואר על ידי המודל לאות הרקע באזרור עגנים אופייני (משוואות (7.7, 7.4, 7.3)). לשם ייחוס מצורפים בשרטוט זה גם עיקומי ההסתברויות עבור מעבדים אלה הפעילים באזרור עגנים אופייני (מציאות למודל במשוואות (7.4-7.3) עם הפרמטרים הנתונים במשוואה (7.7)).

**מסקנות:**

- א. בוצעו מעבד MSS ובוצעו מסנן WIENER טובים יותר באזרור שמים כחולים, מאשר באזרורי עגנים.
- ב. באזרור שמים כחולים בוצעו מסנן WIENER עולמים על בוצעו מעבד MSS. תוצאה זו אינה מפתיעה. בסעיף 1.7 קבלנו, כי רק עבור ערבי  $\alpha$  גבויים מ-0.96 (0.96< $\alpha$ ) בוצעו מעבד MSS עולמים על בוצעו מסנן WIENER. כבר עבור  $\alpha=0.9$ , התקבל כי בוצעו מסנן WIENER עולמים במקצת על בוצעו מעבד MSS מסדר שלישי. באזרור שמים כחולים, הדגימות אינן תלויות כלל, ו-0-< $\alpha$ .

**7.3 בוצעו המעבדים השונים באזרורים מעורבים**

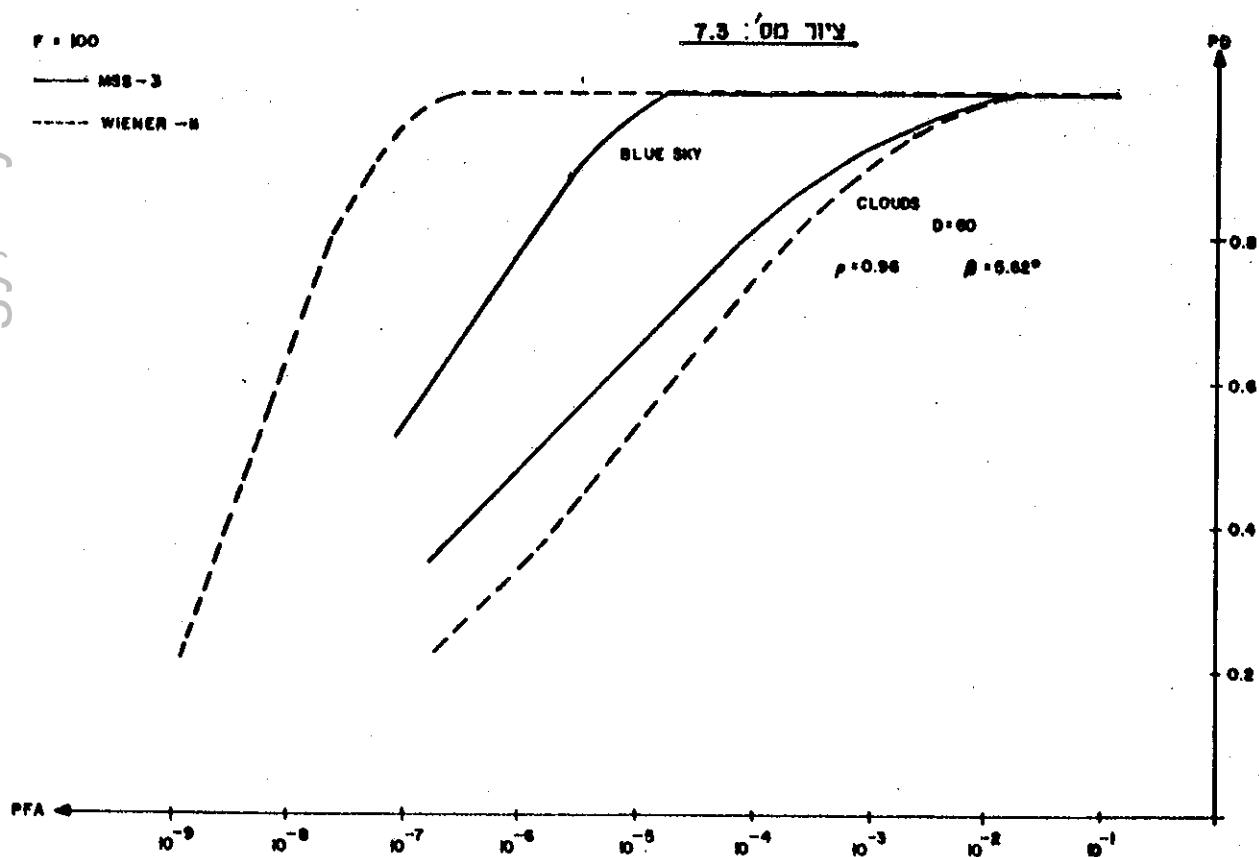
סעיף זה עוסק במקרה בו החלק היחסי של אזרורי העוגנים באות הרקע הוא  $\beta$ , והחלק היחסי של אזרורי השמים הכהולים הוא  $1-\beta$ . בוצעו מסנן WIENER ומעבד MSS באזרור שמים כחולים נבחנים עבור ערבי  $\alpha$  שונים, ובנחה כי אותן הרקע באזרורי עגנים מציאות למודל במשוואות (3.4-3.3) עם הפרמטרים הבאים:  $\alpha=0.96$ ,  $\beta=5.62^\circ$ ,  $\theta=100^\circ$ .

הסתברות להתראת שווה באזרור מעורב נתונה על ידי משוואה (5.60)

**זהינו:**

$$PFA(T) = PFA_{cd}(T)q + PFA_{bs}(T)(1-q)$$

**כאשר:**



ציור 7.3: אקומי PD כנגד FPA עבור מנגנון WIENER ומעבד MSS באזורי שמיים כחולים. ————— מעבד MSS, —— מנגנון WIENER.

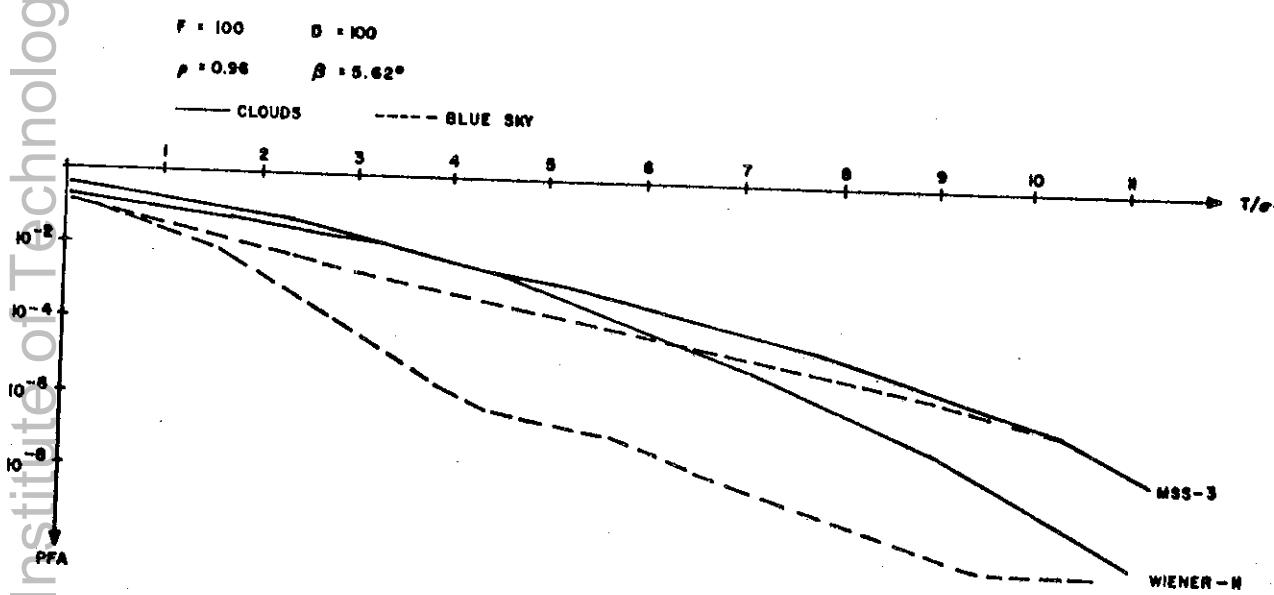
Fig. 7.3: PD vs PFA curves for WIENER filter and MSS processor at blue sky regions. ——— MSS processor, —— WIENER filter.

(T)  $PFA_{cd}$  היא ההסתברות להתראות שווא באזורי עננים.

(T)  $PFA_{bs}$  היא ההסתברות להתראות שווא באזורי שמיים כחולים.

q - החלק היחסני של אזורי העננים.

מצור 7.4, בו משורטעים עקומיו ההסתברות להתראות שווא בתלות ערך הסף, עבור מעבד MSS מסדר שלישג ומבחן WIENER, באזורי עננים ובאזור שמיים כחולים, למדים כי עבור מבחן WIENER, מתקיימים



ציור 7.4: ההסתברות להתראות שווא בתלות ערך הסף  
באזור עננים, ————— באזורי שמיים כחולים.

Fig. 7.4: False alarm probability vs. threshold value  
— clouds region, - - - blue sky region.

$$PFA_{bs}(T) \ll PFA_{cd}(T) \quad PFA(T) > 10^{-8}$$

לכן, עבור ערכי q לא נמוכים מדי, מתקיימים

$$PFA_{bs}(T)(1-q) \ll PFA_{cd}(T)q$$

לכן, עבור ערכי  $q$  לא נמוכים מדי, ההסתברות להתראה שווה באזור מעורב נקבעת על-פי ההסתברות להתראה שווה באזור עבניים, זאת אומרת:

$$PFA(T) \approx PFA_{cd}(q)q \quad (7.8)$$

להלן ביריך את  $q$  המינימלי אשר עבורו מתקיימת משווהה (7.8) נדוץש כי

$$\frac{PFA_{cd}(T)q}{PFA_{bs}(T)(1-q)} > 10 \quad (7.9)$$

עבור תחום נרחב של ערכי  $T$  (ראה ציור 7.4) מתקיימים

$$\frac{PFA_{cd}(T)}{PFA_{bs}(T)} \approx 10^3 \quad (7.10)$$

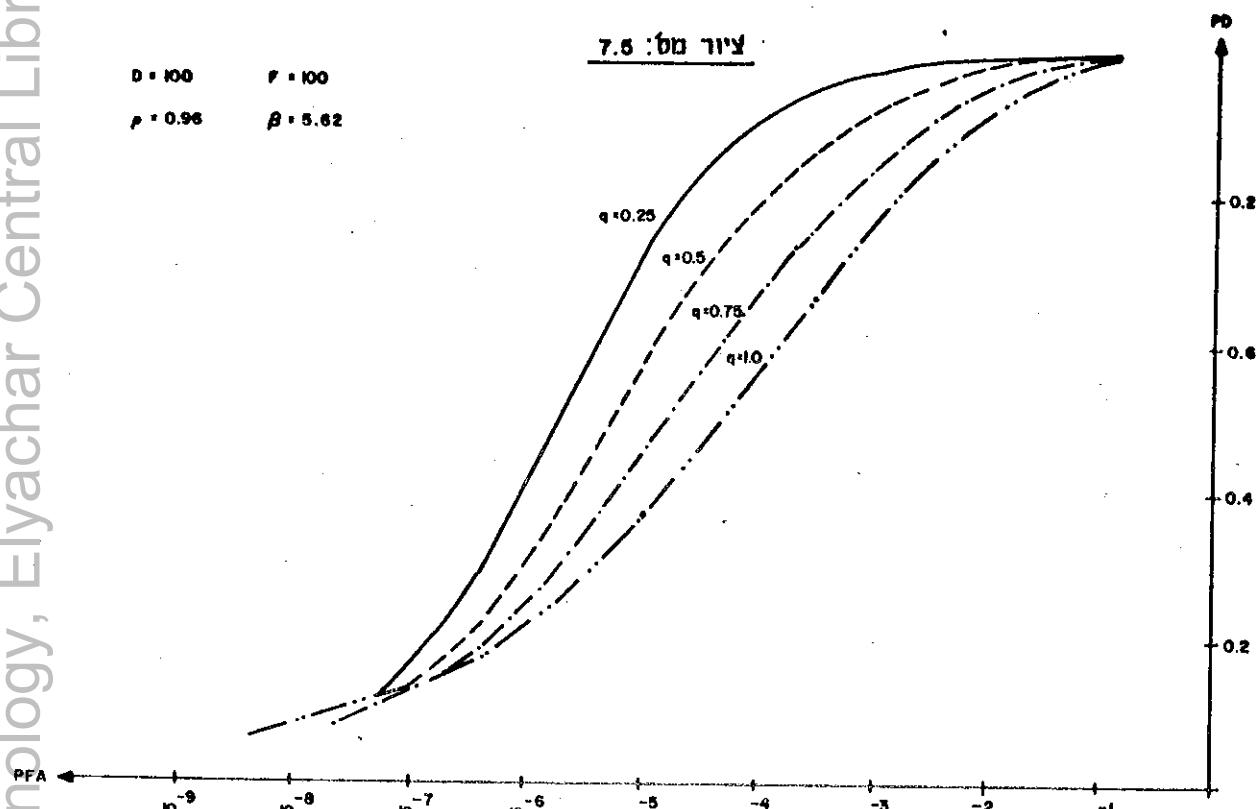
מהצבת (7.10) ב-(7.9), ופתרון אי השוויון מתקבל:

$$q > 10^{-2}$$

משמעותה זו היא שבכל אזור מעורב, בו החלק היחסי של אזורי העגנים גדול מ- $10^{-2}$  (!), ההסתברות להתראה שווה עבור מסנן WIENER נקבעת על פי ההסתברות להתראה שווה באזור עבניים (מתקיימת משווהה (7.8)). לעומת זאת, עבור מעבד MSS מסדר שלישי, ההסתברות להתראה שווה באזור עבניים, היא בסדר גודל של ההסתברות להתראה שווה באזור שמיים כחולים (ציור 7.4), ושתייהן ייחדיו קוביעותם של ההסתברות להתראה שווה באזור מעורב.

בציור 7.5 מושרטמים עקומיו ההסתברות של מעבד MSS עבור  $q=0.25, 0.5, 0.75, 1$ . בציור 7.6 מושרטמים עקומיו ההסתברות של מסנן WIENER באורך 11, המתוכנן בהנחה שאות ההפרעה מצויה למודל לעיל, עבור אותו ערך  $q$ .

בציור 7.7 מושרטמים עקומיו ההסתברות של זוג המעבדים עבור  $q=0.75$ , ובציור 7.8 מושרטם עקוםי ההסתברות של זוג המעבדים עבור  $q=0.25$ .



איור 7.5: עקומיו PD vs. PFA כפניהם עבור מעבד MSS שלישי בתלות החלק היחסי של אזרוי העננים (q).

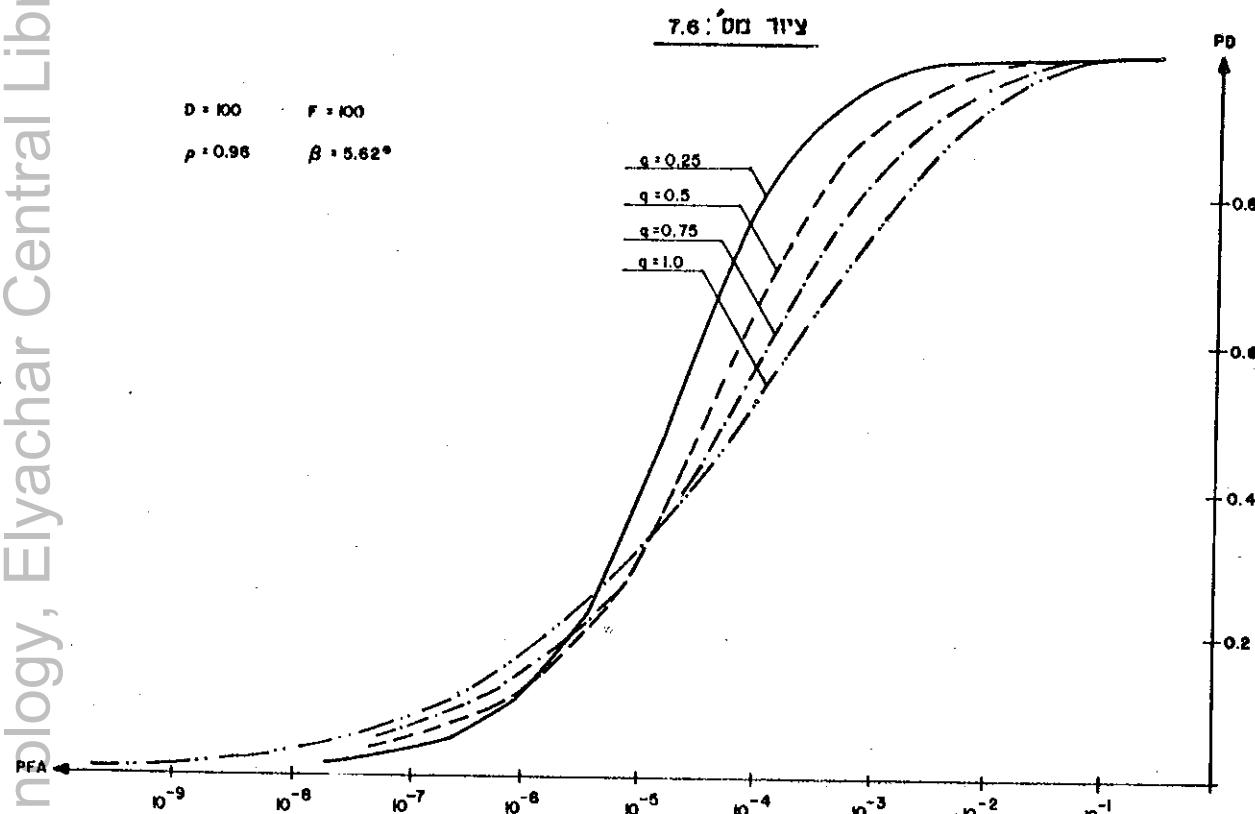
Fig. 7.5: PD vs. PFA curves for third order MSS processor as function of the relative clouds coverage (q).

משמעותו:

א. ככל שהחלק היחסי של אזרוי העננים, q, קטן יותר, ביצועי מעבד MSS טובים יותר (עבור  $PFA \geq 10^{-7}$ ).

ב. עבור ערכיהם הנוכחיים של ההסתברות להתראות שווה ( $PFA \geq 10^{-4}$ ), ביצועי מסנן WIENER טובים יותר מאשר מסנן MSS טוביים יתור ( $PFA \geq 10^{-6}$ ) מנגנון ההסתברות להתראות שווה.

הופעה זו מוסברת על-ידי כך שעבור ערכי סף המקייםים ( $T < aw(N-1)/2$ ) עוצמת המטרה,  $-(N-1)/2$ , המקודם המרכזי של המנגנון, ההסתברות לalgoי מטרה גבוהה יותר באזורי שמיים כחולים מאשר באזורי עננים, ועבור ערכי סף המקייםים ( $T > aw(N-1)/2$ ), ההסתברות לalgoי מטרה גבוהה יותר באזורי עננים מאשר באזורי שמיים כחולים. אמנם, כאשר q קטן ההסתברות להתראות שווה קטנה,  $PFA_{cd} \approx PFA(T)$  (משווה 7.8), אבל עבור



ציור 7.6: עקומת PD כפונקציה של PFA עבור מסנן WIENER בתלות חלקי היחס של אזורי העננים (q).

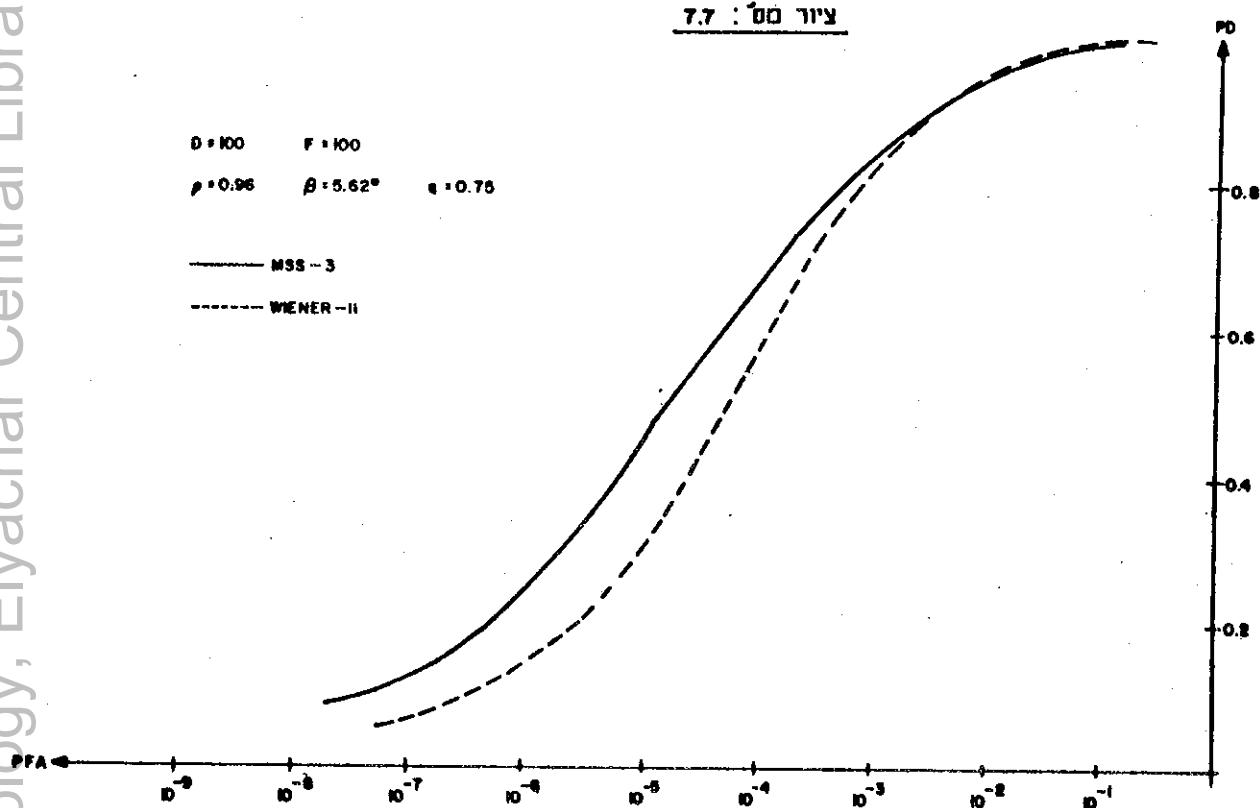
Fig. 7.6: PD vs PFA curves for WIENER filter as function of the relative clouds coverage (q)..

ערכי  $D$  מספיק גבוהים, ( $D$ ) PD באזורי עננים גבוה בהרבה מ-(T) PD באזורי שמיים כחולים, ועובדה זו מפיצה על ריצף (T) PFA עם ריצף  $q$ .

ג. עבור כל ערך  $q$  בצעדי מעבד MSS טוביים מבוצעו מסנן WIENER. ככל ש- $q$  קטן יותר, עלילונותו של מעבד MSS ניכרת יותר.

הופעה זו עלולה להראות תמורה במבט ראשון, שכן ראיינו כי באזורי שמיים כחולים, בצעדי מסנן WIENER טוביים באופן שימושי מבוצעים מעבד MSS. אך, עלילונות זו של מסנן WIENER נובעת מכך שבמערכת אלוי עף טה היכולת מסנן WIENER, ההסתברות להתראות שווא באזורי שמיים כחולים, נמוכה בסדרי גדול מההסתברות להתראות שווא המושגת במערכת אלוי הכוללת מעבד MSS, עבור כל ערך  $D$  (ראה ציור 7.4).

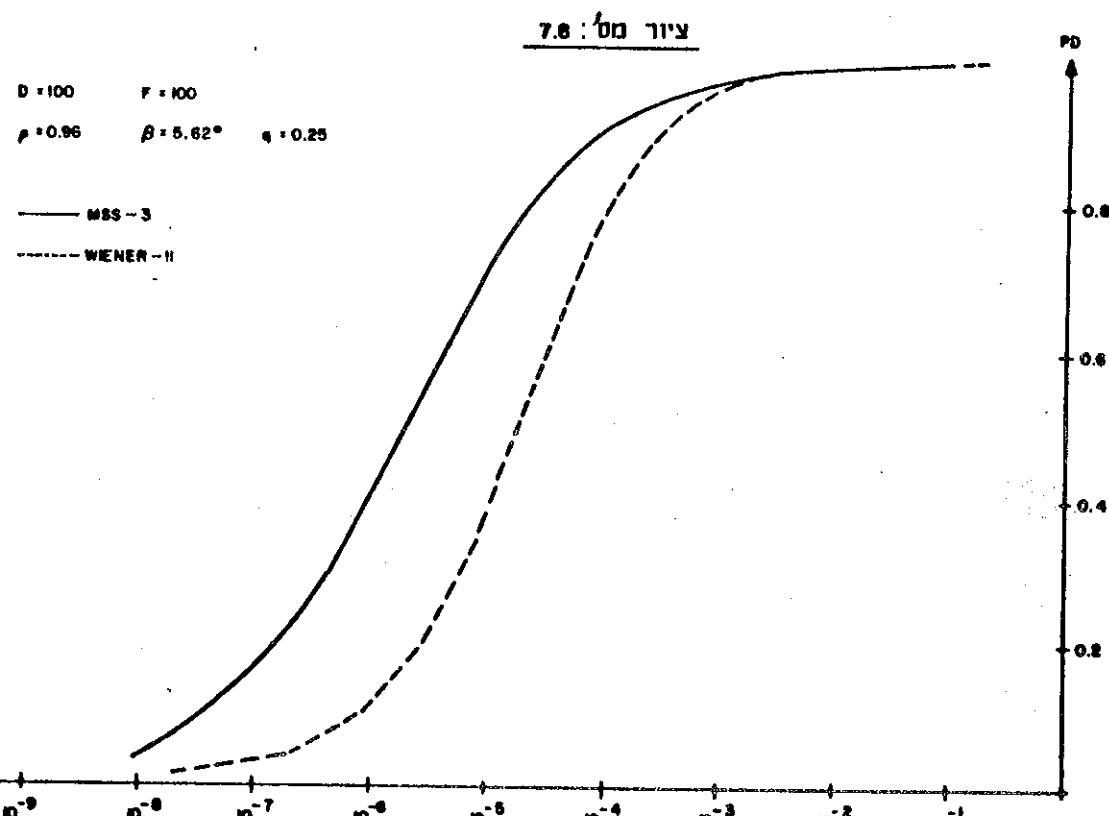
באזורי מעורב, נקבעת ההסתברות להתראות שווא על-פי ההסתברות להתראות שווא באזורי עננים ( $q(T) = PFA_{cd}$ ), כך שעלילונותו של מסנן WIENER מוגבל מערך של מעריכים.



איור 7.7: עיקומי PD כפונקציה של PFA עבור מעבד MSS מסדר שלישי ומעבד WIENER מעורב עם  $q=0.75$ . ————— מעבד MSS, ----- מעבד WIENER.

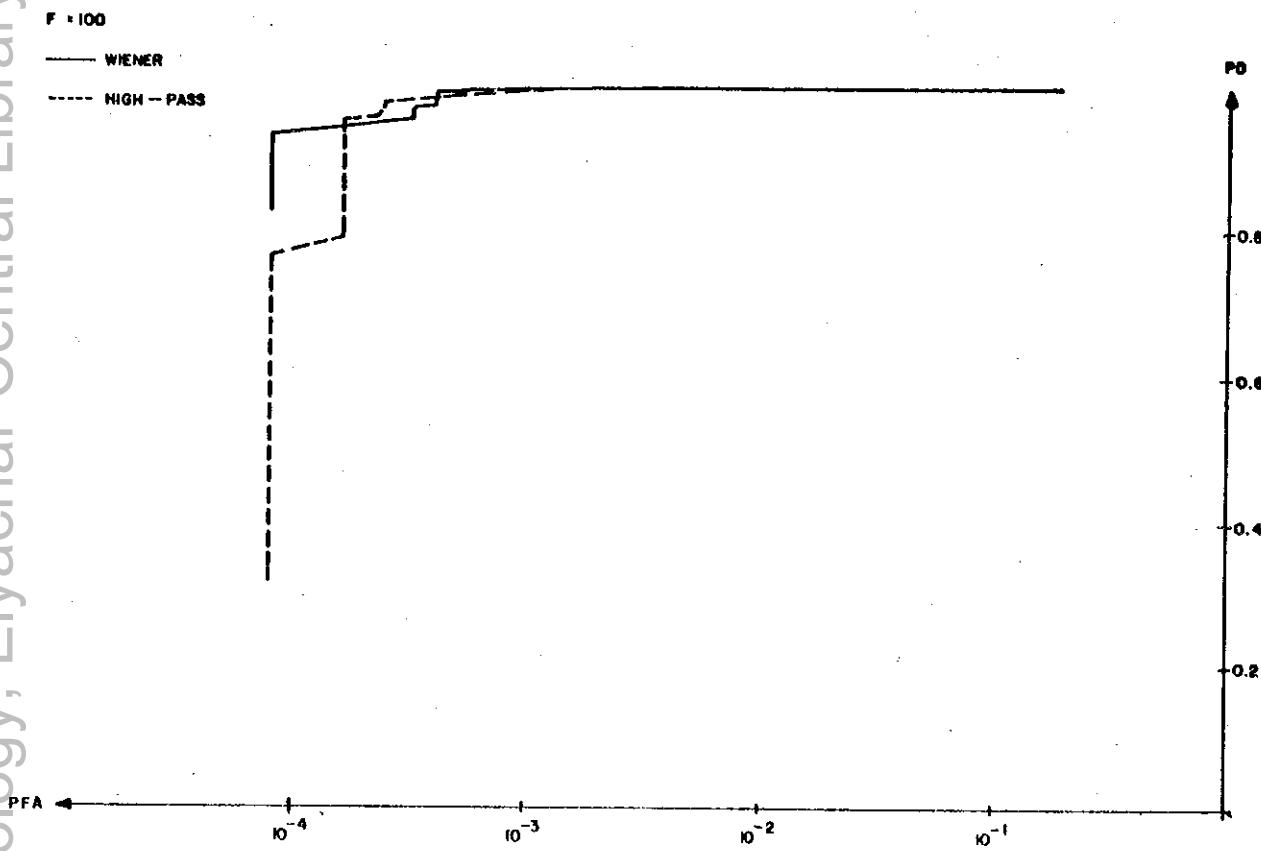
Fig. 7.7: PD vs PFA curves for third order MSS processor and WIENER filter at mixed region with  $q=0.75$ . ————— MSS processor, ----- WIENER filter.

WIENER על-פני מעבד MSS מבחינת הסתברות להתראות שווה איננה באח לידי ביטוי. לעומת זאת הסתברות האליי באזורי שמיים כחולים המושגת במערכת אליי עם ספ"ד הכלולת מנגנון WIENER, נמוכה יותר מהסתברות האליי באזורי שמיים כחולים במערכת אליי הכלולת מעבד MSS.



ציור 7.8: עקומת DP כפונקציה של PFA עבור מעבד MSS מסדר שלישי וומשנה WIENER. באזור מעורב עם  $q=0.25$ . ————— מעבד MSS, —— מעבד WIENER.

Fig. 7.8: PD vs PFA curves for third order MSS processor and WIENER filter at mixed region with  $q=0.25$ . ————— MSS processor,  
——— WIENER filter.



**איור 7.9:** עקומת PD כנגד PFA עבור מסנן מעביר גבויים ומסנן WIENER.  
— מסנן WIENER, - - - מסנן מעביר גבויים.

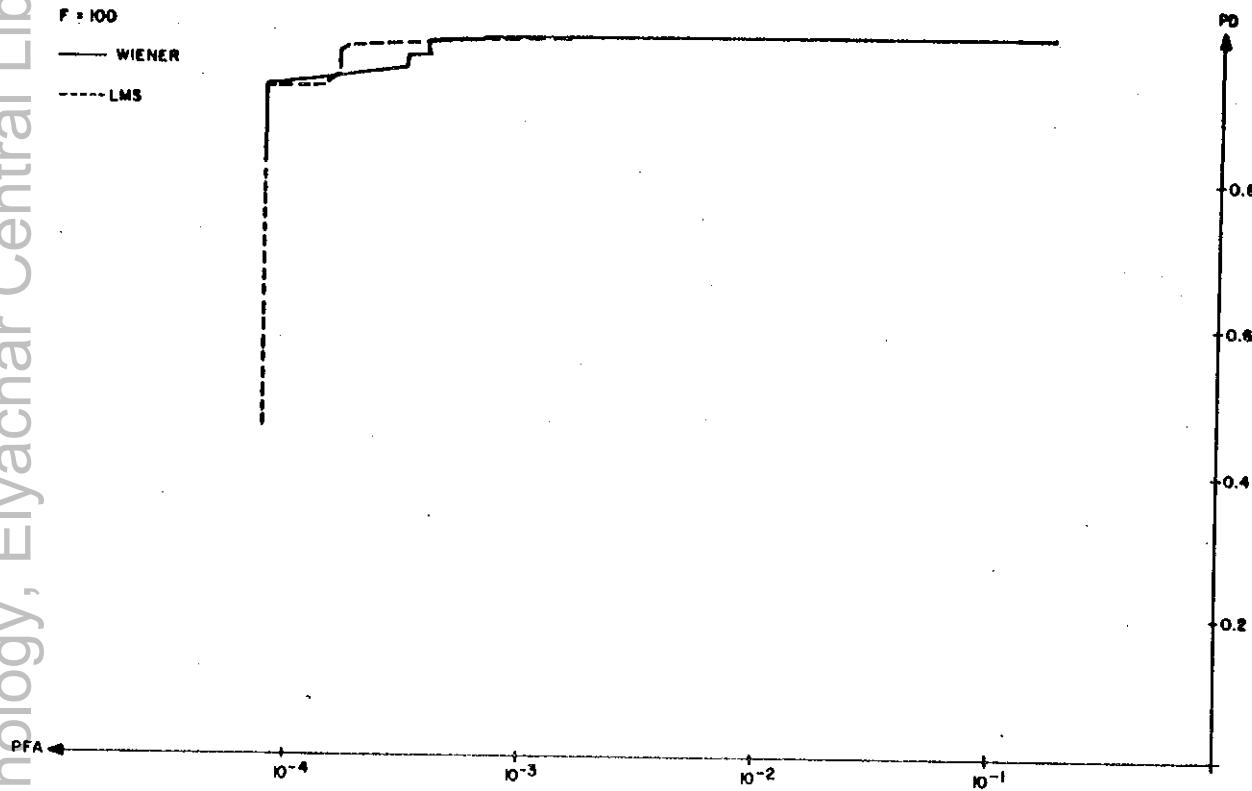
Fig. 7.9: PD vs PFA curves for high pass filter and WIENER filter.  
— WIENER filter, - - - high pass filter.

#### 7.4 ביצועי המבקרים על-פי אותותן הרקע המדודדים

##### 7.4.1 ביצועי המבקרים הלינאריים

בציור 7.9 משורטוטים עקומת ההסתברות, PD כנגד PFA, של מסנן מעביר גבויים ושל מסנן WIENER. המסנן מעביר הגבויים הוא בעל תדריות קטעון  $f_c$  מקיימת  $s_c = 0.18f_s$  ( $f_s$  תדר הדגימה). בציור 7.10 משורטוטים עקומת PD כנגד PFA של מסנן LMS דטרמיניסטי מסדר ראשון ושל מסנן WIENER. מסנן ה-WIENER מתוכנן לפי אוטף שהתמורות הבאות (IMG3, IMG5, IMG6, IMG7, IMG8, IMG9). עקומת ההסתברות אלה שוערכו עבור תמונה IMG8, ובבור יחס הספק מטרה להספק רעש בשמיים כחולים השווה ל-100. ( $F = a^2/\sigma^2 = 100$ ).

מצביעים אלה ניתן לראות שאין שוני רב בין ביצועי מסננים אלה. תוצאה זו נמצאת בהתאם עם התוצאות בסעיף 7.1, בו התקבל כי עבור אותו רקע באזור עננים המיזוג על ידי המודל העיגוני, ערכי רוחם העבוד של מסננים אלה שוויים בקרוב.



**ציור 7.10:** עקומת PD כנגד PFA עבור מסנן LMS דטרמיניסטי מסדר ראשון  
ומסנן WIENER, ————— מסנן WIENER, ----- מסנן LMS

Fig. 7.10: PD vs PFA curves for first order deterministic LMS filter and WIENER filter, ——— WIENER filter, ----- LMS filter.

#### בצוויג מעבד ה-SMS בהשווואה לביצועי מסנן WIENER 7.4.2

בציורים 7.11, 7.12, 7.13 מושרתוים עקומת ההסתברות, PD כנגד PFA, של מסנן

WIENER ומעבד MSS עם חלונות באורךים 3 ו-5.

כזכור, F הינו יחס הספק המטרה להספק הרעש באזורי שמיים כחולים

( $F = a^2 / \sigma_r^2$ ). בציור 7.11,  $F=100$ , ובציור 7.12,

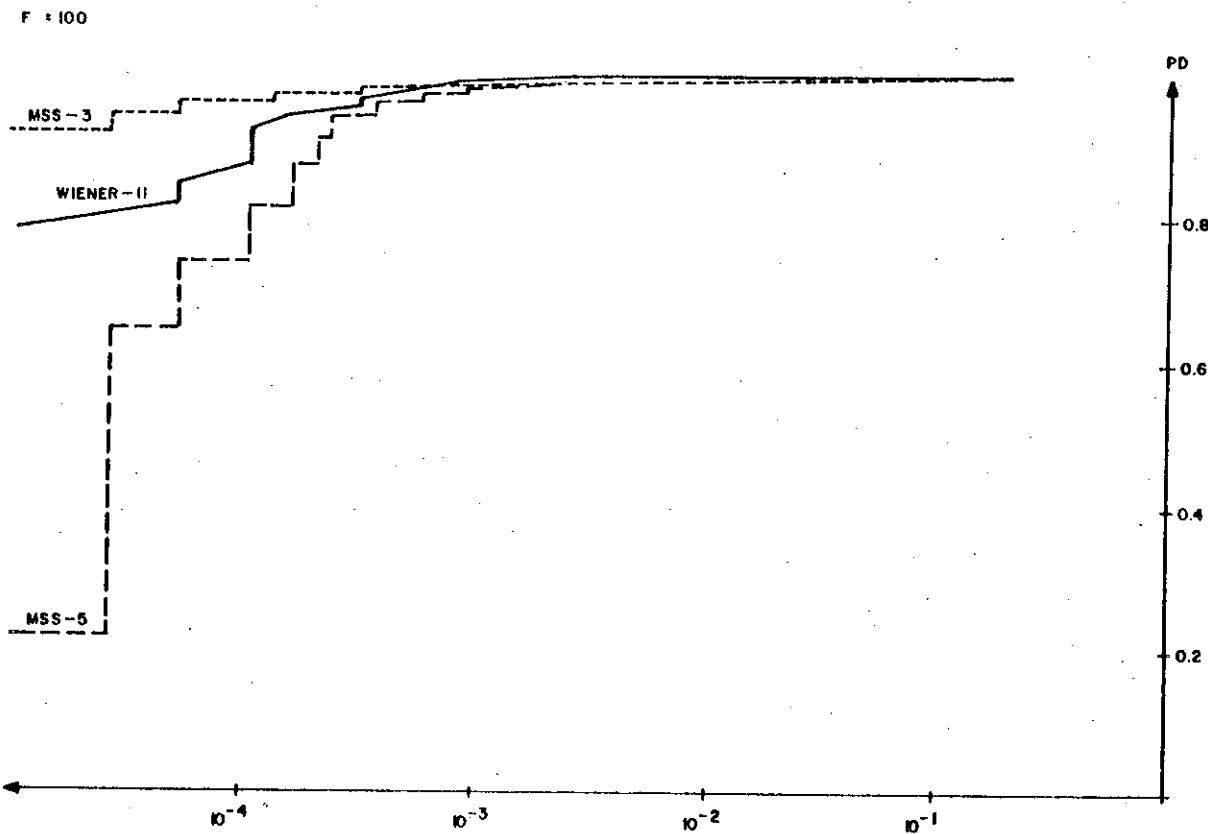
מסנן ה-WIENER מתוכנן לפי אוקט שהתמונות הבאות (IMG5, IMG3),

IMG9,IMG8,IMG7,IMG6,IMG5,IMG3), ועוקומי ההסתברות משוערכים על פניו: אוסף של

שלוש תמונות (IMG9,IMG8,IMG3).

עוקומי ההסתברות המתוקbzלים על-פי אותן הרקע הם עוקומים מודולרים.

קיום המדרגות באותו אלה צובע משנה האגורמים השונים הבאים:

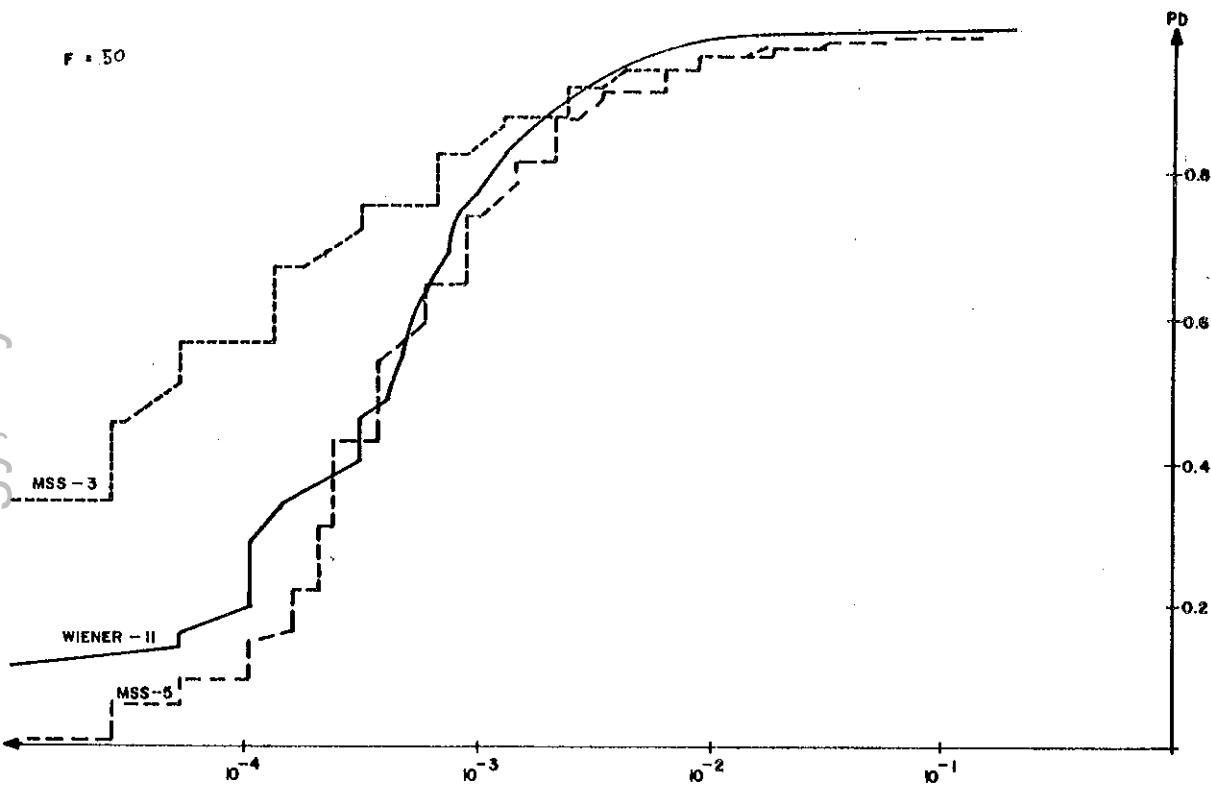


איור 7.11: עקומי PD כבגד PFA עבור מנגן WIENER ומעבד MSS מסדר שלישי ו חמישי ( $F=a^2/\sigma_r^2=100$ )  
—— מנגן WIENER  
- - - מסדר שלישי MSS מעבד,  
— מסדר חמישי MSS.

Fig. 7.11: PD vs. PFA curves for WIENER filter and MSS processors of third and fifth order ( $F=a^2/\sigma_r^2=100$ ). — WIENER filter,  
- - - third order MSS processor, — — fifth order MSS processor.

א. דוגמאות היציאה מעבד MSS כאשר אותו הרקע אינו מכיל טרורות, הנם מספריים שלמים, ולא כל שבניו בערך הסף גורם לשינוי בערך ההסתברות להתראה שווה. עקום ההסתברות להתראה שווה כבגד ערך הסף הבנו עקום מדורג, ולפיכך גם עקום השתבות האלוני, PD, כבגד ההסתברות להתראה שווה, PFA, הינו עקום מדורג. גורם זה מבביר את קיומם המודרגות בעקבותיהם המתאימים למעבד MSS בלבד, ובכל חומר ערבי PFA.

ב. עבור ערבים נמכרים של ההסתברות להתראה שווה, נקבעת השתבות זו על-פי דגימות בזדדות. עובדה זו גורמת לקיומם מדורגות בעקבותיהם ההסתברות להתראה שווה כבגד ערך הסף (ולפיכך גם בעקבות PD כבגדי PFA), באזרה בהם ערבי ההסתברות להתראה שווה נמכרים, הן עבור מעבד MSS והן עבור המנגנים הלינאריים.



**ציור 7.12 :** עקומת PD כפונקציה של PFA עבור מסנן WIENER ומעבד MSS מסדר שלישי ו חמישי ( $F=a^2/\sigma^2=50$ ). ————— מסנן WIENER, ----- מעבד MSS מסדר שלישי, - - - - - מעבד MSS מסדר חמישי.

Fig. 7.12: PD vs. PFA curves for WIENER filter and MSS processors of third and fifth order ( $F=a^2/\sigma^2=50$ ), — WIENER filter, ----- third order MSS processor, - - - - fifth order MSS processor.

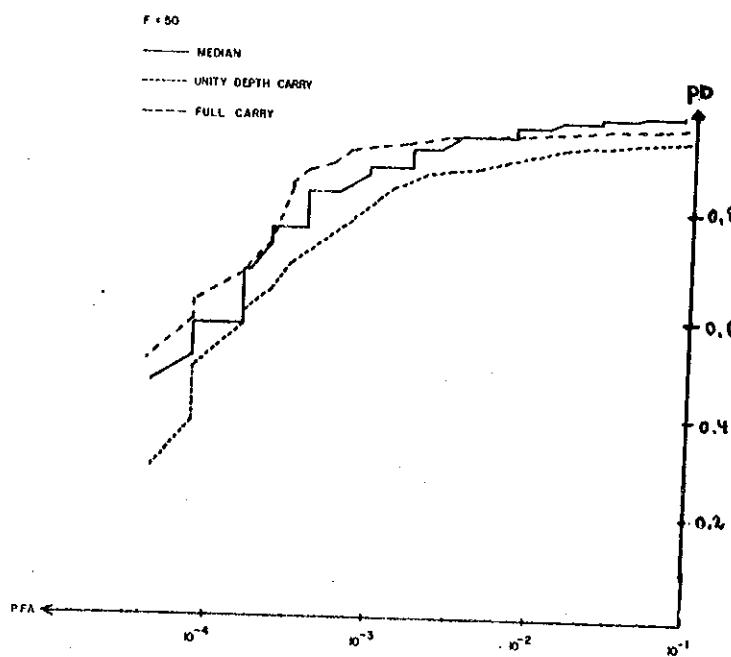
עבור ערכיהם הגבוהים של הסתברות להתראה שווה ( $10^{-3} \leq PFA \leq 10^{-1}$ ), עקומת WIENER ההסתברות של המעבדים לעיל קרובים זה לזה, כאשר בזווית מסנן ה-WIENER הם הטוביים ביותר. עבור ערכיהם נמוכים של הסתברות להתראה שווה העקומים מתרחקים זה מזה. בזווית מעבד MSS עם חלון באורך 3 הם הטוביים ביותר, ובזווית מסנן ה-WIENER גרוועים מבצעי מעבד MSS מסדר שלישי אך טוביים מבצעי מעבד MSS מסדר חמישי.

תוצאות סימולטיביות אלה לאבי מעבד MSS עם חלון באורך 3 ומSENAN WIENER מהאיומות לתוצאות אשר התקבלו בהנחה המודל העיגוני לאות הרקע (ראה למשל ציור 7.1).

### 7.4.3 ביצועי מעבד MSS המבצעים סנוון מדיאני ברמת הסיביות

בסעיף 4.6 הוצע אלגוריתם מהיר למושן סנוון מדיאני מוקורב. באלגוריתם לעיל מתבצע הסנוון המדיאני ברמת הסיביות עם נשא. בסעיף זה יבחן ביצועי מעבד MSS המבצעים סנוון מדיאני ברמת הסיביות, בהשוואה לביצועי מעבד MSS רגיל (סנוון מדיאני מדויק).

בציור 7.13 משורטטים עיקומי ההסתברות של מעבד MSS מסדר שלישי המבצעים סנוון מדיאני מדויק, סנוון מדיאני ברמת הסיביות עם נשא בעומק יחידה וסנוון מדיאני ברמת הסיביות עם נשא בעומק מלא. עיקומים אלה משוערכים עבור תמונה IMG8, ועבור יחס הספק מטרה להספק הרעש בשמיים כחולים השווה ל- $-50$  ( $F = a^2/\sigma^2 = 50$ ). ביצועי מעבד MSS המבצע סנוון מדיאני ברמת הסיביות עם נשא בעומק יחידה נחותים במקצת מביצועי מעבד MSS המבצע סנוון מדיאני מדויק. ביצועי מעבד MSS המבצע סנוון מדיאני עם נשא בעומק מלא (7 סיביות), קרוביים מאוד לביצועי מעבד MSS המבצע סנוון מדיאני מדויק, ואך עלולים עליהם. מהשווות ציורים 7.12 ו-7.13 מתרór כי אם ביצועי מעבד MSS מסדר שלישי המבצע סנוון מדיאני עם נשא בעומק יחידה, עלולים על ביצועי מסנן WIENER.



ציור 7.13: ביצועי מעבד MSS המבצעים סנוון מדיאני ברמת הסיביות. — סנוון מדיאני, - - - סנוון מדיאני ברמת הסיביות עם נשא בעומק יחידה, - - - סנוון מדיאני ברמת הסיביות עם נשא בעומק מלא.

Fig. 7.13: Performance of MSS processors using bit level median filtering.  
— median filtering, - - - unity depth carry bit level median filtering, - - - full depth carry bit level median filtering.

## פרק 8: סכום וمسקנות

---

במחקר זה נבחנו בצוויי מעבדי את חד-מימדיים הפעולים במערכת פסיבית לagnostic מטרות נקודתיות על רקע השמיים.

המערכת הפסיבית לagnostic מטרות אשר נדונה בעברודה זו מבוססת על מערךagalais ומעבדי את חד-מימדיים. כאשר מערךagalais סורק אזור מסוים ברקיע, מותמרים השינויים המרחביים לאותות חלליים. השינויים בכוון הבדיקה מותמרים לאותות חלליים משתנים בזמן, ואלו השינויים בניצוב לכובן הבדיקה מתבצעים בהבדלים בין אותן הгалאים השונים במרחב. השינויים המרחביים נגזרים הן על ידי השינויות הרקע באזורי הנspark, והן על ידי הופעת מטרה באזורי זה. מעבדאות החד-מימדי פועל בנפרד על אותן המופק מגלאי בודד, במטרה לשפר את יחס הספק המטvla להספק ההפרעה, ולאפשר galai ראשון של מטרות, תוך כדי ביצוע הבדיקה (detect while scan).

אות ההפרעה כולל את סוגי הרעשים הבאים: רעשים אלקטרוניים של הгалאים והמעגליים האלקטרוניים, ואות הרקע. הרעשים האלקטרוניים זמינים ביחס לאות הרקע.

אות הרקע איינו אחיד בתכונותיו. כאשר galai סורק אזור שמיים כחולים המוארים באופן אחיד, נגרם אות הרקע מתוךה מפלקטואציות בזמן פגיעה הפוטוניים galai. מקובל ליאציג רעש זה כתהיליך אקרואי לבן בעל ממוצע אפס ופלווג אושמי. כאשר galai סורק אזור עננים מוארי שמש, המרכיב הדומיננטי באות הרקע הוא clutter הנגרם משינויים מרחביים במבנה שכבת העננים ומשינויים מרחביים בעוצמת החארה. בangstrom לרעש הפוטוני, תהיליך clutter ה- clutter היבנו תהליך קוילטי בעל ממוצע שונה מאשר ומשתנה בזמן (במרחבי).

עווצמת אות clutter יכולה להיות גובהה בסדרי גודל מ-msm רעש הרקע באזורי שמיים כחולים. הספקאות clutter מרווח כולו בתחום התדרים הנמוכים (עד כישיריות ומתרד הדגימה).

על פי הנתונים שבידינו עווצמת מטרה אופיינית גובהה בדרך כלל פי עשרה מ-msm רעש הרקע באזורי שמיים כחולים, והיא מיוצגת באות הדגום על ידי דגימה בודדת. מעבדי אותן אשר מקובל להשתמש בהםמערכות galai מסווגות אלה המשגננים הליניאריים הבאים:

- משן מעביר אבויים המנצל את העובדה שספקטrome המטרת הוא לבן ואילו ספקטrome ה-clutter מורכב בתדרים הנמנוכיים.

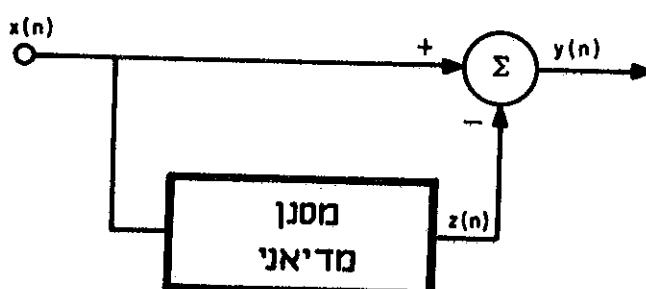
- משן WIENER אשר אם הוא משן מעביר אבויים, אלא שתగות התדר שלו אופטימלית לצורה טפקטrome ההפראה.

- מסנן מתואמת בתנאי רעש צבעוני. אם המנסנת המתואמת היא מסנן מעבירת אבויים, המתוכננת כך שייחס אותה לרעש ביציאה יהיה מכפילי.

- משן LMS דיסקרטי המבוסס על ההנחה שביתן ליצא את אות ההפראה באמצעות פולינום מדר גמור.

כאשר המטרת מיוצגת על-ידי דגימה בודדת המנסנת המתואמת אקוויולנטית למשן WIENER.

בחבור זה מוצע מעבדאות אלו לינארית המבצע סנוּן מודיאני לאות הכניטה, ומחסיר את אות המוחלך מהאות המקורי. מעבד זה, המכונה בשם מעבד MSS (Median Smoothing and Subtraction)



ציור 8.1: מעבד ה-MSS.

Fig. 8.1: MSS Processor.

בציפוי מעבד ה-MSS עם חלונות מדיאניים באורךים שונים מושווים לבזועי המנסנים הלינאריים המקבילים, ובמיוחד לבזועי משן WIENER.

בחינת בזועי מעבדים האות השונים נעשה הן בהנחה מודל עיוני המתאר את אות הרקע והן על-ידי הפעלת מעבדים האות על אותן רקע מדודים. אותן הרקע המדודים מהווים סדרה של תמוניות (FRAMES), כאשר כל תמונה מתאימה לאזור מסוים ברקיע.

המודל העיוני הכללי המוצע בעבודה זו מייצג את אות הרקע כסדרה של קטעים סטציונריים, כאשר כל קטע סטציונרי משתיין לתהיליך אקראי אוטובי בעל ממוצע  $\bar{z}_n$  ופונקציה אוטוקורלציה  $(z_i, z_j) = \rho$ , ו- $J$  הוא מספר סוגים התהיליכים

השוניים. מספר הקטעים השונים באוטו יכול להיות גדול ממספר סוגים תחilibים, אך שני קטעים סמוכים אינם יכולים להשתיק לאותו תחיליך אקראי.

הסתברותagaloi במערכת עם ספ' קבוע T, (T)PD, והסתברות להתראת שוויה, (T)PFA, מחושבות בנפרד עבור כל תחיליך, והסתברויות על פני אותן כולם מחושבות בהנחה שניתן להזניח את תרומת אזרוי המעבר בין הקטעיםسطיעוניים, דהיינו:

$$PFA(T) = \sum_{j=1}^J q_j PFA^j(T) \quad (8.1)$$

$$PD(T) = \sum_{j=1}^J q_j PD^j(T) \quad (8.2)$$

כאשר  $\sum_j q_j$  הינו חלק היחסי של הקטעים המשתייכים לתחיליך ה- $j$ , ומתקיים  $\sum_j q_j = 1$ .

חשוב הסתברות להתראת שוויה והסתברותagaloi בקטעسطיעוני נחותן, עבור מסנן לינארי נעשה בשיטות מקובלות וידועות. כיוון שאות הרקע הינו תחיליך אקראי אוציאי, הרי אם דגם היציאה מהמסנן כאשר בחלון הסנוון לא מופיעה מטרה, (a)יע, וגם דגם היציאה מהמסנן כאשר במרכז חלון הסנוון מופיעה מטרה, (a)�יע, מפולגים אוציאית. בדעת פלוג עצמת המטרה, מוצע פונקציית האוטוקורלציה של אות הרקע, ניתן לחשב את הממוצע והשונות של המשתנים האקראים (a)�יע ו-(a)יע, ולהשבע את הסתברות להתראת שוויה ואת הסתברותagaloi באמצעות הנוסחאות הבאות:

$$PFA(T) = \int_T^\infty f(y_0) dy_0 \quad (8.3)$$

$$PD(T) = \int_T^\infty f(y_1) dy_1 \quad (8.4)$$

חשוב פונקציות הצפיפות (a) f<sub>0</sub> ו-(a) f<sub>1</sub> עבור מעבד MSS איןנו פשוט במקרה הלינארי. בכלל אי לינאריות האלגוריתם לא ניתן לקבל מתוך (a) f<sub>0</sub> את (a) f<sub>1</sub> במקרה הלינארי. כמו כן התכונות השטיעניות של אות היציאה ממנסן מדיאני ידועות רק במקרים פרטיים. כתוצאה לכך שיטה לחישוב (T) PFA ו-(T) PD, עבור מעבד MSS, שיטה שאינה מחייבת חשוב הצפיפות  $f_{y_1}(y_1) \text{ ו- } f_{y_0}(y_0)$ .

אות הרקע באזרור שמיים כחולים הינו את טציזוני, ולכן ניתן לייצגו באמצעות תחליך טציזוני בודד. לעומת זאת לא ניתן לייצג את אות הרקע באזרור עננים באמצעות תחליך טציזוני אחד, בעיקר בגלל העובדה שהמוצע של אות זה משתנה בזמן.

הוכיחו כי ניתן לייצג את האות המתתקבל על ידי החסרת הממוצע המקומי מאות הרקע כתחליך טציזוני בודד. הוכחנו באופן נסוי כי החסרה זו של הממוצע המקומי, אינה מושפעה על ביצועי המעבדים, כלומר ביצועי המעבד הפועל על אות רקע אשר הוחסר ממנו הממוצע המקומי, הם קרובים ביותר לביצועי מעבד זה הפועל על אות הרקע המקורי. לפיכך, המודל העיוני לאות הרקע, מייצג את האות המתתקבל על ידי החסרת הממוצע המקומי מאות הרקע המקורי, וביצועים המושגים בהנחה מודל זה הינם הביצועים החזויים של מעבד האות הפועל על אות הרקע המקורי.

בעובדה זו מיצג אות הרקע (a) על ידי המודל הבא:  
**בازור שמיים כחולים** ( $a_1 = a_2 = \dots = a_r$ ), ( $a_1$  הינו תחליך המייצג את הרעש הפטוני).  
 תחליך זה הינו תחליך אקראי אוציא בעל ממוצע אפס וdispersion.  
**בازור עננים** ( $a_1 + a_2 + \dots + a_r = 0$ ). ( $a_1$  מוגדר לעיל, ו- ( $a_1$ ) הינו תחליך המייצג את אות *clutter*. זה תחליך אקראי מركובי בעל פלוג אוציא, וממוצע אפס.  
 פונקציית האוטוקורלציה של תחליך אקראי מרכובי נתונה על ידי:

$$A_{bb}(m) = A_{bb}(0) e^{-\frac{|m|}{\rho}} \cos(\beta m) \quad (8.5)$$

- א - גורם הקורלציה של תחליך המרקובי.
- ב - פרמטר התדריות בתחליך המרקובי.

כלומר, אות הרקע מיצג על ידי סדרה של קטעים טציזוניים, כאשר כל קטע משתיין לאחד משני התחליכים האקראים המתוארים לעיל.

כדי לבחון את מידת ההתאמה של הביצועים החזויים בהנחה המודל, לביצועים המשוערכים באמצעות ביצוע פועלות על אותן הרקע המדודים, שוערכו פרמטרי המודל מתוך אחת מתמונות השמיים, וחושבו הסתברויותagaloi והסתברויות להתראה שווה בתלות ערך הספ, בהנחה המודל עם פרמטרים אלה, עבור מעבד MSS מסדר שלישי ועבור מסנן WIENER. עקומת הסתברויותagaloi כנגד ההסתברות להתראה שווה החזויים על פי המודל, הושוו לעקומת ההסתברות המשוערכים ישירות מתוך תמונה השמיים. עבור מסנן ה-WIENER התקבלה התאמה טובגה למדי, ועבור מעבד ה-MSS התקבלה התאמת טובגה מאד.

בחיבור זה מוצגות שתי שיטות לשערוך השטבות האלוי והשתברות להתראת שואה מתוך תמונות השמים המדודות.

השיטה הישירה מבין השתיים הינה סימולציה מלאה של מערכת האלוי. הסימולציה מתבצעת על תמונות שמים מדודות ותמונה שמיים זרעות מטרות. חסרונה העיקרי של שיטה זו הוא בכך שעבור כל שניי בפלוג עצמת המטרה (שניי צורת הפלוג, או שניי הפרטרים), יש לחזור על תהליך זריעת המטרות ושערוך השטבות האלוי מבראשית.

חשוב השתברות להתראת שואה, (T)PFA, יכול להעשות גם על ידי פעולה מעבד האות על תמונות השמיים, חשב ההיסטוגרמה של התמונות המעובדות, וחשוב השיטה אשר מימין לסקט 2.

אות היציאה ממבחן לינארי, כאשר אות הכנישה הוא אות רקע עם מטרה (המופיעה במרכז חלון הסנוון), שווה לסכום אות היציאה כאשר אות הכנישה הינו אות רקע ללא מטרות, ואות היציאה כאשר אות הכנישה הוא אות המטרה. כיוון שאותות אלה אינן תלויות, ניתן לחשב את הההיסטוגרמה של ערכי תగובה המבחן לאות רקע עם מטרה, על ידי קובבולדוץיה לינארית של ההיסטוגרמה תמונה השמים המעובדת, ושל ההיסטוגרמת ערכי תגובה המבחן לאות מטרה, ולהשכיב את (T)P על ידי חשב השיטה מימין לסקט 2 בהיסטוגרמה זו.

במסגרת מחקר זה הורחבה שיטה זו גם עבור מעבד MSS הלא לינארי. חשוב השתברות להתראת שואה מתבצע באמצעות המטרה לא לינארית על השורות בחמון השמיים, חשב ההיסטוגרמה של התמונות המותמרות, וחשוב השיטה אשר מימין לסקט 2 הההיסטוגרמה לחשב השטבות האלוי מתתקבל כבקרה הלינארי על ידי בוצע קובבולדוץיה לינארית של היטוגרמת תמונה השמים המותמרה, וההיסטוגרמת ערכי המטרות.

שיטה זו המבוססת על ההיסטוגרמה של תמונה השמים המעובדת או המותמרה, ויעילה יותר מן השיטה הישירה.

בצوعי המעבדים השונים חושבו בהנחה מודלים עיוניים למגוון רחב של תנאים רקע והתקבלו המסקנות הבאות:

א. רוחם העבד של מבחן WIENER איינו עולה כתוצאה מהagation מספר המקדים מ-11 ל-19, הן באזרחי עננים והן באזרחי שמיים כחולים.

ב. ככל שאורם הקורולציה של אות ה-clutter clutter גבוהה יותר, בצועי המעבדים טובים יותר.

ג. בתנאי clutter בעל גודל קורולציה גבוהה מ-0.96, בצועי מעבד MSS מסדר שלישית טובים מבודים מסנן WIENER. בתנאי clutter בעל גודם

קורלציה גבוהה פחותה ( $0.9 < \rho$ ), בצוותי מסנן WIENER טוביים מבוצעים מעבד MSS מסדר שלישי.

ד. באזרור שמיים כחולים, בצוותי המעבדים טוביים יותר מאשר באזרורי ענןיהם.

ה. באזרור שמיים כחולים בצוותי מסנן WIENER טוביים מבוצעים מעבד MSS מסדר שלישי.

ו. באזרורים מעורבים, הכוללים אזרורי שמיים כחולים ואזרורי ענןאים בהם ה- clutter הינו בעל גורם קורלציה גבוהה, בצוותי מעבד MSS טוביים מבוצעים מסנן WIENER. ככל שהחלק היחסי האזרורים המעורבניים, ב, קטן יותר (אם לא קטן מדי;  $2^{\text{nd}}$  order), עלילונזתו של מעבד MSS ניכרת יותר.

בציור 2.8 משורטטים עוקומי הסתברות האלוי כנגד ההסתברות להתראת שוווא עבור מעבד MSS ומסנן WIENER, ובאזור תנאי רקע שונים. עוקומיים אלה מבטאים בצורה ציורית את מסקנות ד-ו.

בציור 2.8 משורטטים עוקומי הסתברות להתראת שוווא בתלות ערך הסף, באזרור ענןאים ובאזור שמיים כחולים, עבור מעבד MSS מסדר שלישי, ובאזור מסנן WIENER.

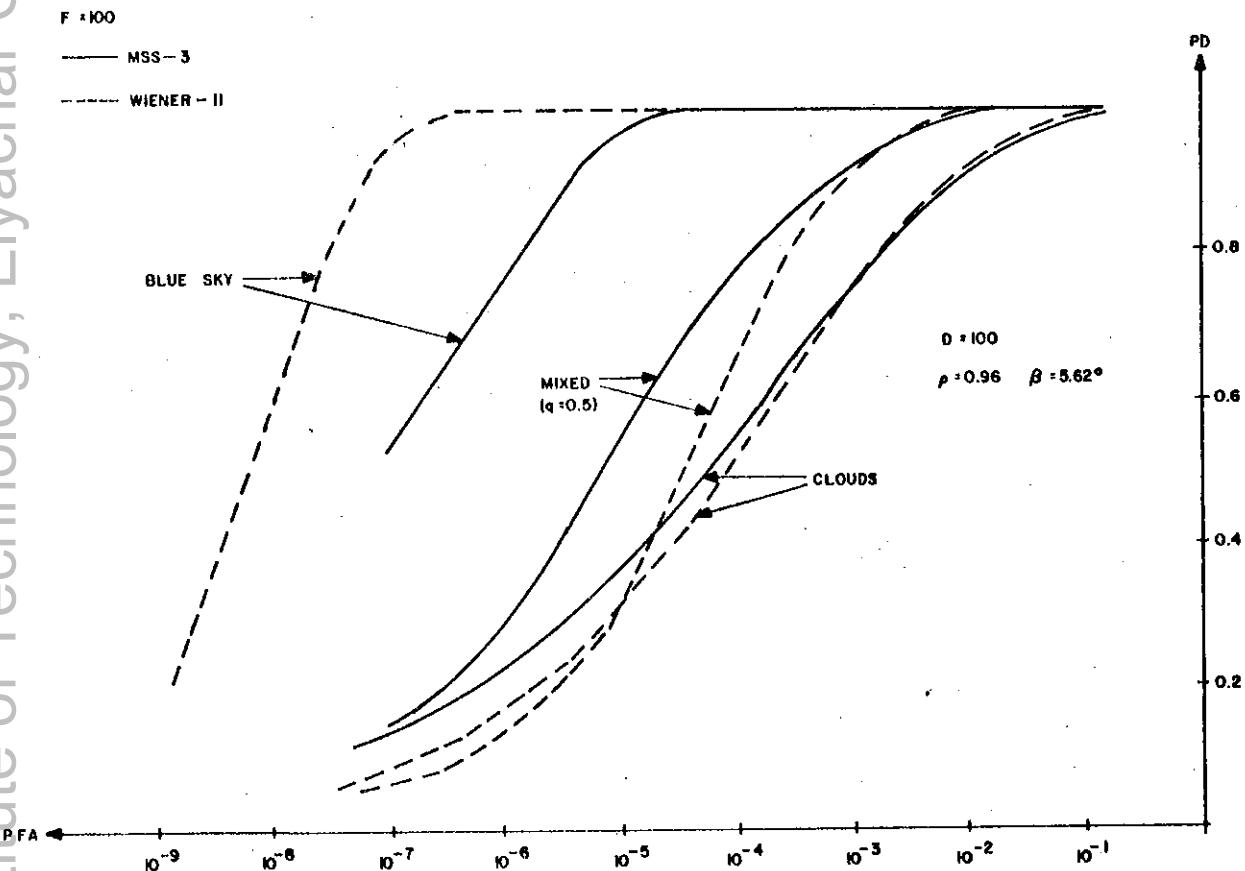
ניתן לראות כי מערכת אלוי הכוללת מעבד MSS מושג מצב הקרוב ל-CRAF (Constant False Alarm Rate), ואין טעם לשלב המערכת כזו סף אלוי מסתגל. לעומת זאת במערכת אלוי הכוללת מסנן WIENER, ההסתברות להתראת שוווא באזרור שמיים כחולים נמוכה בסדרי גודל מההסתברות להתראת שוווא באזרורי ענןאים, ושלוב סף מסתגל במערכת האלוי עשוי להביא לשיפור ניכר בaczoutya.

בצוותי מסנן WIENER, מעבד MSS מסדר שלישי, ומעבד MSS מסדר חמישי שוערכו על פני אוסף של שלוש תמנונות שמיים מדומות. התקבל כי בצוותי מעבד MSS מסדר שלישי היו טוביים מבוצעים מעבד MSS מסדר חמישי. תוצאות אלה מתאימות לתוצאות אשר התקבלו בהנחת המודל העיוני לאות הרקע.

מושע להמשיך את המבחן בכווניות הבאים:

א. לבחון בצוותי מערכת אלוי הכוללת מסנן WIENER ומעבד הסף המוצע על ידי Nitzberg [3]. מעבד סף זה משלב סף קבוע וסף מסתגל. באזרורי שמיים כחולים מופעל הסף הקבוע, ובאזור ענןאים מופעל הסף המסתגל (ראה סעיף 1.2).

ב. לבחון בצוותי מערכת אלוי הכוללת שני סוגי מעבדים ושני ספים קבועים באזרור שמיים כחולים מופעל מסנן WIENER עם סף אלוי  $T_{bs}$ , ובאזור ענןאים מופעל מסנן מדיאני עם סף אלוי  $T_{cd}$  ( $T_{bs} < T_{cd}$ ). נבחרים כוначת הסתברות להתראת שוווא בכל אחד מהאזורים תהיה שווה לערך הרצוי.



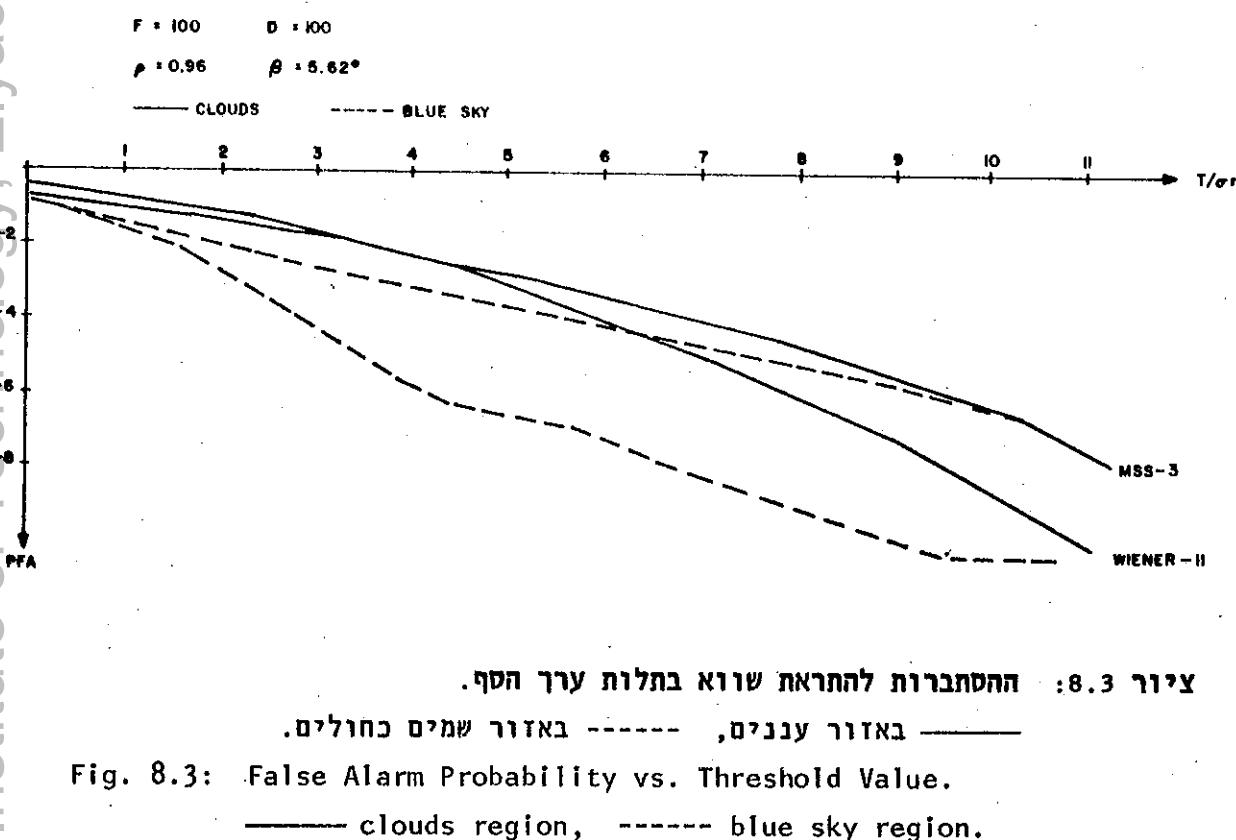
ציור 8.2: עקומת החסתירות האגלי כנגד החסתירות להתראות שווא עבור מעבד MSS מסדר שלישי ומאנן WIENER, בתנאי רקע שונים.

מעבד MSS, ----- מאנן WIENER.

Fig. 8.2: Detection Probability vs. False Alarm Probability for Third Order MSS Processor and WIENER Filter at Various Background Conditions.

MSS Processor, ----- WIENER Filter.

ג). לבחון בצוות מעבדי אותן דו-מימדיות, הפעולים בו זמינות על אותן המופקים ממספר גלאים.



ציור 8.3: החטבות להתראות שווא כתלות ערך הסף.

— באזורי עננים, - - - באזורי שמיים כחולים.

Fig. 8.3: False Alarm Probability vs. Threshold Value.

— clouds region, - - - blue sky region.

### נספח א' - שערור פונקציית האוטוקורלציה של ההפרעה

---

בנוסף זה יתואר שערור פונקציית האוטוקורלציה של ההפרעה, לצורכי תכנון מנגנון WIENER.

תכנון מנגנון WIENER קבוע בזמן מבוסס על הבדיקה שאות ההפרעה הבנו שטיזונר. תמונה השם אינה שטיזונרית, ומכליה אזוריים שונים באופיים: אזורי שמיים כחולים ואזורי ענקיים. מבני ה-WIENER בעבודה זו מוכבבו בהבנה שאות ההפרעה הבנו אותה הרקע באזורי ענקיים. (בעוצם מוגנים ככל טוביים גם באזורי שמיים כחולים).

תכנון מנגנון WIENER מחייב את הגדרת פונקציית האוטוקורלציה של ההפרעה. בנוסף גי נראה כי ניתן להעריך את פונקציית האוטוקורלציה של אותה הרקע באזורי ענקיים, מתוך מעין פונקציית אוטוקורלציה זמנית,  $(\hat{A}_j(m))$ , המוחשבת על פני כל המונגה, כמפורט בנוסחה (A.1)

$$\hat{A}_j(m) = \frac{1}{N_c J_\ell} \sum_{j=1}^{J_\ell} \sum_{n=0}^{|m|-1} i_j(n) i_j(n+m) \quad (A.1)$$

כאשר:  $J_\ell$  מספר השורות בתמונה  
 $N_c$  מספר העמודות בתמונה  
 $i_j(n)$  הדגימה ה- $n$  בשורה ה- $j$ .

חשוב  $(\hat{A}_j(m))$  בעשה באמצעות התמרת פורייה הדיסקרטית.  
 השימוש בתמסורת פורייה הדיסקרטית מחייב על כרך שהבטוו

הנו קובולוציה לינארית של הסדרות  $\{i_j(n)\}_{n=0}^{N-1}$  ו-  $\{i_j(-n)\}_{n=0}^{N-1}$ .

זהא  $(K_j)$  התמסורת פורייה דיסקרטית של הסדרה  $\{i_j(n)\}_{n=0}^{N-1} = \{i_j(n) e^{-j2\pi kn/M}\}_{n=0}^{N-1}$ .

יחסוי קובולוציה חציקלית של הסדרות  $\{i_j(n)\}_{n=0}^{N-1}$  ו-  $\{i_j(-n)\}_{n=0}^{N-1}$ .

ערבי הקובולוציה החציקלית המתפללים על ידי הוספה  $N$  אפשרים ( $-M < n < N$ ) לסדרה  $(i_j(n))$  וחשבות התמסורת פורייה דיסקרטית של הסדרה באורך  $N+M$ , יהיו זהים לערכי האוטוקורלציה המבוקשים בתחום  $-M < n < 0$ .

חשוב הבטוו  $\{i_j(n+m)\}_{n=0}^{|m|-1}$  בוצע בשלבים הבאים:

1. הסדרה  $\sum_{n=0}^{N-1} \{z(n)\}_j$  אשר אורך המקורי N הורחבה לאורך N על ידי הוספה N

אפאיים.

2. חישובהתמרת פורייה דיסקרטית, של הסדרה המורחבת.

$$\sum_{n=0}^{N-|m|-1} z_j(n) z_j(n+m) = \frac{1}{2N} \sum_{n=0}^{2N-1} |z_j(k)|^2 e^{j(2\pi/N)km} .3$$

שלבים 2 ו-3 בוצעו באמצעות אלגוריתם FFT.

הערה: השיטה לעיל לחושב  $\sum_{n=0}^{N-|m|-1} z_j(n)$  מתוארת בפרק 11 ב-[21].

**נספח ב' - חשוב היחסברות להתראת שווה ויחסברות גלוי עבור ספ  $\leq T$**

בחלק הראשון של נספח זה נוכיח את המשפט המקביל למשפט 1.5 עבור ספ  $\leq T$ , ונחשב את היחסברות להתראת שווה ואת היחסברות הגלוי, במערכות גלוי היכולת מעבד MSS וספ  $\leq T$ , על-פי המודל העיוני לאוט רקע טציונרי. בחלק השני נראה כי לנתח בוצעו מערכת גלוי עם ספ  $\leq T$ , אין חשיבות מעשית.

### ג.1 משפט 1.6

נניח כי מערכת הגלוי כולה היכולת מעבד MSS מסדר  $1+2M$ , וספ גלוי  $\leq T$ .  
ההיה  $PFA(T)$  היחסברות להתראת שווה בדגם ה-ח, בהנחה שבחלון הסגנון כולל  $[M+n, M-n]$  אין אותן מטרה. תהיה  $PD(T)$  היחסברות לגלוי מטרה בדגם ה-ח,  
בהנחה כי בדגימות החלון האחרות לא מופיעה מטרה.

תהייה  $\{k_j(n)\}_{1 \leq j \leq M}$  הסדרה באורך  $M$  הבאה

$$k_j(n) = i(n) - i(n-j) \quad 1 \leq j \leq M$$

יהא  $(\alpha)_k^{M+1}$  האבר ה- $1+M$  בטדרה המתקיים מסדר  
בטדר עולה.

נטען ב-  $(\alpha)_k^{M+1} f$  את פונקציית הצפיפות של המשתנה האקראי  $(\alpha)_k^{M+1}$ , וב-  
 $(\alpha)_a f$  את פונקציית הצפיפות של ערכי המטרה  $a$ .

אזי:

$$PFA(T) = 1 - PROB\{k^{M+1}(n) < T\} = 1 - \int_{-\infty}^T f_k^{M+1}(\alpha) d\alpha \quad (B.1)$$

$$PD(T) = 1 - PROB\{k^{M+1}(n) + a < T\} = 1 - \int_{-\infty}^T [f_k^{M+1}(\alpha) * f_a(\alpha)] d\alpha \quad (B.2)$$

הוכחה:

נטען ב-  $(\alpha)_0$  את אוט היציאה ממעבד MSS, כאשר בחalon הסגנון כולל לא  
מורפיה מטרה, כלומר כאשר מתקיים :

$$\underline{x}^T = (i(n-M), \dots, i(n), \dots, i(n+M))$$

נאמן ב-(a) לעאת את היציאה ממעבד ה-MSS, כאשר רק בדגם ה- $\bar{x}$  מופיעה  
מטרה כלומר, כאשר מתקיים:

$$\underline{x}^T = (i(n-M), \dots, i(n)+a, \dots, i(n+M))$$

מהגדרת אלגוריתם ה-MSS מתקבל

$$y_0(n) = i(n) - \text{MEDIAN}(\{i(n-j)\}_{1 \leq |j| \leq M}) =$$

$$= \text{MEDIAN}(0, \{i(n) - i(n-j)\}_{1 \leq |j| \leq M})$$

נשתמש בהגדרת  $k_j(n)$ , ונקבל

$$y_0(n) = \text{MEDIAN}(0, \{k_j(n)\}_{1 \leq |j| \leq M}) \quad (B.3)$$

ובאופן דומה

$$y_1(n) = i(n) + a - \text{MEDIAN}(i(n) + a, \{i(n-j)\}_{1 \leq |j| \leq M}) = \quad (B.4)$$

$$= \text{MEDIAN}(0, \{i(n) - i(n-j) + a\}_{1 \leq |j| \leq M}) =$$

$$= \text{MEDIAN}(0, \{k_j(n) + a\}_{1 \leq |j| \leq M})$$

$$PFA(T) = \text{PROB}\{y_0(n) \geq T\} = 1 - \text{PROB}\{y_0(n) < T\} \quad (B.5)$$

מזהבת (e) ב-(B.3) מתקבל

$$PFA(T) = 1 - \text{PROB}\{\text{MEDIAN}(0, \{k_j(n)\}_{1 \leq |j| \leq M}) < T\}$$

$$\text{MEDIAN}(0, \{k_j(n)\}_{1 \leq |j| \leq M}) < T \quad \text{כדי שיתקיים}$$

לפחות  $1+M$  אברים בסדרה זו צריים להיות קטנים או שווים ל- $T$ . כאשר  $0 < T < 1+M$  אברים בסדרה  $\{k_j(n)\}_{1 \leq |j| \leq M}$  צריים להיות קטנים או שווים ל- $T$ .

כלומר, אם נסדר את הסדרה  $\{k_j(n)\}_{1 \leq |j| \leq M}$  בסדרה עולה, האבר ה- $1+M$

בסדרה המסודרת,  $(a_j^{M+1})$ , צריך להיות קטן מ-T.  
מכאן, עבור  $0 < T$

$$PFA(T) = 1 - \text{PROB}\{k^{M+1}(n) < T\} =$$

$$= 1 - \int_{-\infty}^T f_k^{M+1}(\alpha) d\alpha$$

כמו כן

$$PD(T) = 1 - \text{PROB}\{y_1(n) < T\} \quad (B.6)$$

מהצבת (B.4) ב-(B.6) מתקבל

$$PD(T) = 1 - \text{PROB} \text{ MEDIAN}(0, \{k_j(n) + a_j\}_{1 \leq j \leq M}) < T$$

כדי שיתקיים  $T < (a_j(n) + a_j)_{1 \leq j \leq M}$  לפחות  $M+1$  אברים בסדרה זו צריכים להיות קטנים או שווים ל-T. כאשר  $0 < T$ ,  $M+1$  אברים בסדרה  $a_j(n) + a_j$  צריכים להיות קטנים או שווים ל-T. ככלומר אם נסדר את הסדרה  $a_j(n) + a_j$  בדומה לעלה, האבר ה- $M+1$  בסדרה המסודרת,  $a^{M+1}(n)$ , צריך להיות קטן מ-T. מכאן עבור  $0 < T$

$$PD(T) = 1 - \text{PROB}\{k^{M+1}(n) + a < T\} =$$

$$= 1 - \int_{-\infty}^T [f_k^{M+1}(\alpha) * f_a(\alpha)] d\alpha \quad \text{QED}$$

## ב.2. חשיבות PD ו-PFA

תהי  $f(\alpha)$  פונקציה הצפיפות האואונית במשותף של המשתנים האקראיים  $\{a_j(n)\}_{1 \leq j \leq M}$ , המוגדרת במשוואות  $(5.37 \div 5.35)$ .

$$PFA(T) = 1 - \text{PROB}\{k^{M+1}(n) < T\}$$

כדי שיתקיים  $T < (a_j^{M+1})_{1 \leq j \leq M}$  לפחות  $M+1$  אברים בווקטור  $\alpha$  (באורץ  $M^2$ ) המוגדר במשוואת  $(5.36)$  צריכים להיות קטנים מ-T.

כמפורט, נטען ב- $S_1$  את קבוצת כל האברים ב- $\alpha$  המקיימים  $T \geq \alpha$ .

נטען ב- $S_2$  את קבוצת כל האברים ב- $\alpha$  המקיימים  $T < \alpha$ .

נטען ב- $|S_1|$  וב- $|S_2|$  את מספר האברים ב- $S_1$  וב- $S_2$  בהתאם.

במשמעותם אלה

$$PFA(T) = 1 - \sum_{\delta=1}^M PROB(|S_1| = M-\delta, |S_2| = M+\delta) \quad (B.7)$$

ואלו

$$PROB(|S_1| = M-\delta, |S_2| = M+\delta) =$$

$$\int_{|S_1|=M-\delta}^{H_1} \int_{|S_2|=M+\delta}^{H_2} \dots \int_{L_1}^{H_i} \dots \int_{L_{2M}}^{H_{2M}} d\alpha_1 \dots d\alpha_i \dots d\alpha_{2M} f_{\alpha}(\alpha) \quad \text{כל האפשרויות}$$

כasher

$$L_i = \begin{cases} T & \alpha_i \in S_1 \\ -\infty & \alpha_i \in S_2 \end{cases}$$

$$H_i = \begin{cases} \infty & \alpha_i \in S_1 \\ T & \alpha_i \in S_2 \end{cases}$$

(T) PD עבור ערכת מטרה (a) דטרמיניטית מחושב באופן דומה.

נטען ב- $S_1$  את קבוצת כל האברים בוקטור  $\alpha$  המקיימים  $a - T \geq \alpha$ , וב- $S_2$  את

קבוצת כל האברים ב- $\alpha$  המקיימים  $a - T < \alpha$ .

נטען ב- $|S_1|$  וב- $|S_2|$  את מספר האברים ב- $S_1$  וב- $S_2$  בהתאם.

במשמעותם אלה

$$PD(T) = 1 - \sum_{\delta=1}^M PROB(|S_1| = M-\delta, |S_2| = M+\delta) \quad (B.8)$$

וAIL

$$\text{PROB}(|S_1'| = M - \delta, |S_2'| = M + \delta) =$$

$$\sum_{\substack{H_1 \\ L_1 \\ |S_1| = M - \delta}}^{\substack{H_i \\ L_i \\ |S_2| = M + \delta}} \int_{L_1}^{H_1} d\alpha_1 \dots \int_{L_i}^{H_i} d\alpha_i \dots \int_{L_{2M}}^{H_{2M}} d\alpha_{2M} f_{\underline{\alpha}}(\underline{\alpha})$$

כasher

$$L_i = \begin{cases} T-a & \alpha_i \in S_1 \\ -\infty & \alpha_i \in S_2 \end{cases}$$

$$H_i = \begin{cases} \infty & \alpha_i \in S_1 \\ T-a & \alpha_i \in S_2 \end{cases}$$

b.3 הערכת  $(T)$  PFA עבור מערכת גלויה עם מעבד MSS מסדר שלישי וסף גלויה  $0 < T < T$ . הערכת  $(T)$  PFA כבב במערכת גלויה הכוללת מעבד MSS מסדר שלישי וסף גלויה  $0 < T < T$ , ערך אבוחה ביותר של הסתברות להתראות שווה, ולפיכך שימוש בסף  $0 < T$  אינו מעשי, ולנוכח באזעיה של מערכת גלויה הכוללת מעבד MSS וסף  $0 < T$  אין חשיבות מעשית.

### משפט 2

יהיה  $(n)_0$  אחת היציאות ממעבד MSS מסדר שלישי כאשר בחלון הסבון כולל לא מופיעה מטרה. דמיינו

$$y_0(n) = i(n) - \text{MEDIAN}(i(n-1), i(n), i(n+1))$$

על פי התמונוגים המקובלים

$$k_{-1}(n) = i(n) - i(n-1)$$

$$k_1(n) = i(n) - i(n+1)$$

אם פונקציית הצפיפות המשותפת של  $(\alpha_1, \alpha_2)$  היא סימטרית כך שמתקיים

$$f_{k_{-1}(n) k_1(n)}(\alpha, \beta) = f_{k_{-1}(n) k_1(n)}(-\alpha, -\beta) \quad \forall \alpha\beta = |\alpha\beta|$$

אזי עבור  $T \leq 0$

$$PFA(T) = PROB\{y_0(n) \geq T\} > 0.5$$

הוכחה:

עבור  $T \leq 0$  נובע משפט B.1 ב' כי

$$PROB\{y_0(n) \geq T\} = 1 - PROB\{ \max[k_{-1}(n), k_1(n)] < T\} =$$

$$1 - \int_{-\infty}^T \int_{-\infty}^T f_{\alpha_1 \alpha_2}(\alpha_1, \alpha_2) d\alpha_1 d\alpha_2$$

כאשר  $\alpha_1 = k_{-1}(n)$

$\alpha_2 = k_1(n)$

עבור  $T \leq 0$  (B.9)

$$\int_{-\infty}^T \int_{-\infty}^T f_{\alpha_1 \alpha_2}(\alpha_1, \alpha_2) d\alpha_1 d\alpha_2 \leq \int_{-\infty}^0 \int_{-\infty}^0 f_{\alpha_1 \alpha_2}(\alpha_1, \alpha_2) d\alpha_1 d\alpha_2$$

על פי הנחת הסימטריה

$$\int_{-\infty}^0 \int_{-\infty}^0 f_{\alpha_1 \alpha_2}(\alpha_1, \alpha_2) d\alpha_1 d\alpha_2 = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f_{\alpha_1 \alpha_2}(\alpha_1, \alpha_2) d\alpha_1 d\alpha_2 \quad (B.10)$$

כמו כן

$$\int_{-\infty}^0 \int_{-\infty}^0 f_{\alpha_1 \alpha_2}(\alpha_1, \alpha_2) d\alpha_1 d\alpha_2 + \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f_{\alpha_1 \alpha_2}(\alpha_1, \alpha_2) d\alpha_1 d\alpha_2 < 1 \quad (B.11)$$

ולפיכך

$$\int_{-\infty}^0 \int_{-\infty}^0 f_{\alpha_1 \alpha_2}(\alpha_1, \alpha_2) d\alpha_1 d\alpha_2 < 0.5 \quad (B.12)$$

ת-ג (B.9) ות (B.12) מ�גנְבָּע :

$$PFA(T) = 1 - \int_{-\infty}^T \int_{-\infty}^T f_{\alpha_1 \alpha_2}(\alpha_1, \alpha_2) d\alpha_1 d\alpha_2 > 0.5 \quad Q.E.D.$$

### נספח ג' - הערכת פונקציית האוטוקורלציה של תחליך ה-clutter

בנשפט זה נוכיח כי ניתן להעריך את פונקציית האוטוקורלציה של מרכיב ה-clutter בתמונה וידאו הכוולות אדורי שמים כחולים, ואדורי עגניות מתוך מעין פונקציית אוטוקורלציה זמנית המוחשבת על פני כל התמונה.

נניח כי האות המתkeletal על-ידי החסרת הממוצע המקומי מאותו הרקע מציה למודל הבא:

- האות המתkeletal באזורי שמים כחולים הננו תחליך אקרויאי אושאי לבן, בעל ממוצע אפס ושוונות  $\sigma^2$ .
- האות המתkeletal באזורי שמים מעובנים הננו סכום של שני מהליכים אקרויאים (a), b, ו-(c). (a) b הינו תחליך אקרויאי אושאי צבעוני בעל ממוצע אפס ופונקציית אוטוקורלציה  $(m)_{bb}$ , ו-(a) c הינו תחליך אקרויאי אושאי לבן בעל ממוצע אפס ושוונות  $\sigma^2$  ( $\sigma^2_{bb} > (0)$ ).

יהיה  $\hat{A}_i(m)$  מספר השורות בתמונה המתkeletal על ידי החסרת הממוצע המקומי מכל שורה בתמונה השמים, ו-  $N_c$  מספר הדגימות בכל שורה. נראה כי אם הדגימות  $\{a\}_{j=1}^{N_c}$  מ齊יתות למודל לעיל, אזי ניתן להעריך את פונקציית האוטוקורלציה של התחליך המרקבוי,  $(m)_{bb}$ , מתוך  $(m)_i \hat{A}_i$  המוגדרת במשוואה (C.1).

$$\hat{A}_i(m) = \frac{1}{N_c} \sum_{j=1}^{N_c} \sum_{n=0}^{|m|-1} i_j(n) i_{j+(n+m)} \quad (C.1)$$

$\hat{A}_i(m)$  - היא מעין פונקציית אוטוקורלציה זמנית המוחשבת על פני שורות התמונה. נסמן ב-  $s_{bs}$  את קבוצת הדגימות הכלולות באזורי שמים כחולים, וב-  $s_{cd}$  את קבוצת הדגימות הכלולות באזורי עגניות. נתבונן בביטוי  $(m)_{j+i} \hat{A}_i(m)$ . קיימות האפשרויות הבאות:

א.  $(j, n), (j, n+m) \in s_{bs}$

ב.  $(j, n), (j, n+m) \in s_{cd}$

ג.  $(j, n) \in s_{bs}, (j, n+m) \in s_{cd}$

ד.  $(j, n) \in s_{cd}, (j, n+m) \in s_{bs}$

ניתן לכתוב את הבוטוי ל-  $\tilde{A}_i(m)$  בצורה הבאה:

$$\tilde{A}_i(m) = \frac{1}{J_\ell N_c} \sum_{j=1}^{J_\ell} [\sum_n i_j(n) i_j(n+m) + \sum_n i_j(n) i_j(n+m) + \dots] \quad (C.2)$$

$$(j,n), (j,n+m) \in s_{bs} \quad (j,n), (j,n+m) \in s_{cd}$$

$$\sum_n i_j(n) i_j(n+m) + \sum_n i_j(n) i_j(n+m)]$$

$$(j,n) \in s_{bs}, (j,n+m) \in s_{cd} \quad (j,n) \in s_{cd}, (j,n+m) \in s_{bs}$$

על פי המודל:

$$\frac{1}{J_\ell} \sum_{j=1}^{J_\ell} \sum_n i_j(n) i_j(n+m) = \frac{1}{J_\ell} \sum_{j=1}^{J_\ell} \sum_n r(n) r(n+m) \quad (C.3)$$

$$(j,n), (j,n+m) \in s_{bs} \quad (j,n), (j,n+m) \in s_{bs}$$

$$\frac{1}{J_\ell} \sum_{j=1}^{J_\ell} \sum_n i_j(n) i_j(n+m) = \frac{1}{J_\ell} \sum_{j=1}^{J_\ell} \sum_n (b(n) + r(n)) (b(n+m) + r(n+m)) \quad (C.4)$$

$$(j,n), (j,n+m) \in s_{cd} \quad (j,n), (j,n+m) \in s_{cd}$$

$$\sum_n i_j(n) i_j(n+m)$$

נתיחה לסקום:

$$(j,n) \in s_{bs}, (j,n+m) \in s_{cd}$$

$$\sum_n r(n) (r(n+m) + b(n+m)) \quad \text{על-פי המודל סקום זה שווה ל-}$$

$$(j,n) \in s_{bs}, (j,n+m) \in s_{cd}$$

הסקום  $(r(n)b(n+m))^2$  ייחדי למשער של  $[r(n)r(n+m)]^2$ .

$r(n)$  ו- $b(n)$  הם תהליכי אקראיים בלתי תלויים בעלי ממוצע אפס, ולפיכך  $0 = [r(n)b(n+m)]^2$ . ולפיכך סקום כיב מתקיים:

$$\sum_n r(n) (r(n+m) + b(n+m)) = \sum_n r(n) r(n+m) \quad (C.5)$$

1.4.2:

$$\frac{1}{J_\ell} \sum_{j=1}^{J_\ell} \sum_n i_j(n) i_j(n+m) = \frac{1}{J_\ell} \sum_{j=1}^{J_\ell} r(n) r(n+m) \quad (C.6)$$

$(j,n) \in s_{bs}, (j,n+m) \in s_{cd}$      $(j,n) \in s_{bs}, (j,n+m) \in s_{cd}$

באופן דומה ניתן להראות כי

$$\frac{1}{J_\ell} \sum_{j=1}^{J_\ell} \sum_n i_j(n) i_j(n+m) = \frac{1}{J_\ell} \sum_{j=1}^{J_\ell} \sum_n r(n) r(n+m) \quad (C.7)$$

$(j,n) \in s_{cd}, (j,n+m) \in s_{bs}$      $(j,n) \in s_{cd}, (j,n+m) \in s_{bs}$

נסמן ב-  $\hat{q}_{cd}^j$  את החלק היחסי של הדגימות בשורה ה- $j$  המקיימות  $s_{cd}(n, n+m, j)$ . בהנחה ארגודיות ואי תלות ( $n$ )  $b$  ו- $(n)$   $r$  מתקבלות משוואות (C.9)-(C.8)

$$\frac{1}{J_\ell} \sum_{j=1}^{J_\ell} \frac{1}{N q_{cd}^j(m)} \sum_n (r(n) + b(n)) (r(n+m) + b(n+m)) = A_{bb}(m) + \sigma_r^2 \delta(m) \quad (C.8)$$

$$\frac{1}{J_\ell} \sum_{j=1}^{J_\ell} \frac{1}{N(1-q_{cd}^j(m))} \sum_n r(n) r(n+m) = \sigma_r^2 \delta(m) \quad (C.9)$$

נסמן ב-  $\hat{q}_j$  את החלק היחסי של הדגימות בשורה ה- $j$ ,  $(j,n)$  המקיימות  $s_{cd}$  נניח כי

$$q_{cd}^j(m) \approx q_j$$

הנחה זו סבירה ביותר עבור ערכי  $m$  קטנים.

עתה ניתן לכתוב את הבטווי המקורי עבור  $(m)$

$$\tilde{A}_i(m) \approx \frac{1}{J_\ell} \left[ \sum_{j=1}^{J_\ell} [q_j \delta(m) + \sigma_r^2 \delta(m)] + (1-q_j) \sigma_r^2 \delta(m) \right] \quad (C.10)$$

יהיה  $\sum_{j=1}^{J_\ell} q_j = q$  - חלק היחסי של אזרחי העננים בתמונה, ועוד:

$$\tilde{A}_i(m) \approx q A_{bb}(m) + \sigma_r^2 \delta(m) \quad (C.11)$$

מתוך (C.11) מתקבל

$$A_{bb}(m) \approx (\tilde{A}_i(m) - \sigma_r^2 \delta(m)) / q \quad Q.E.D.$$

## REFERENCES

- [1] Baruch Even-Or, "Statistical Nonrecursive Spatial-Temporal Focal Plane Processing for Background Clutter Suppression and Target Detection". Ph.D. Thesis, Naval Postgraduate School, Monterey, California, 1979.
- [2] E.H. Takken, D. Friedman, A.F. Milton and R. Nitzberg, "Least-Mean-Square Spatial Filter for IR Sensors". Applied Optics, Vol. 18, No. 24, December 1979.
- [3] Ramon Nitzberg, "Signal Processors for IR Sensors", Office of Naval Research, Arlington, Virginia, 1978.
- [4] M.S. Longmire, A.F. Milton, and E.H. Takken, "Simulation of Mid-Infrared Clutter Rejection I: One Dimensional LMS Spatial Filter and Adaptive Threshold Algorithms". Applied Optics, Vol. 21, No. 21, November 1982.
- [5] David M. Wilcox, "Peak Detection Methods for Scanning Optical Sensor Systems". Optical Engineering, Vol. 18, No. 3, May-June 1979.
- [6] B. Widrow et al, "A Comparison of Adaptive Algorithms Based on the Methods of Steepest Descent and Random Search", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. AP-24, No. 5, September 1976.
- [7] Richard A. Steinberg, "Quantum-Noise-Limited Signal Processors for Infrared Surveillance". Optical Engineering, Vol. 20, No. 5, September-October 1981.
- [8] John Makhoul, "Linear Prediction: A Tutorial Review", Proceedings of the IEEE, Vol. 63, No. 4, April 1975.
- [9] D.H. Preis, "The Toeplitz Matrix: Its Occurrence in Antenna Problems and a Rapid Inversion Algorithm", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, March 1972.
- [10] William K. Pratt, "Digital Image Processing", Wiley, New-York, 1978.
- [11] J.W. Tukey, "Exploratory Data Analysis", Addison-Wesley, Reading Mass., 1977.

REFERENCES (Cont.)  
-----

- [12] L.R. Rabiner, M.R. Sambur, C.E. Schmidt, "Applications of a Nonlinear Smoothing Algorithm to Speech Processing", IEEE Transactions on Acoustics Speech and Signal Processing, Vol. ASSP-23, Dec 1975.
- [13] H.A. David, "Order Statistics", Wiley, New-York, 1970.
- [14] Roland T. Chin and Chia-Lung Yeh, "Quantitative Evaluation of Some Edge-Preserving Noise-Smoothing Techniques", Computer Vision, Graphics and Image Processing-23, 1983. (pp 67-91)
- [15] B.I. Justusson, "Median Filtering Statistical Properties", Topics in Applied Physics, Two-Dimensional Digital Signal Processing II, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1981.
- [16] N.C. Gallagher and G.L. Wise, "A Theoretical Analysis of the Properties of Median Filters", IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol. ASSP-29, October 1981.
- [17] D.L. Knuth, Sorting and Searching. Reading MA: Addison-Wesley 1975.
- [18] E. Ataman, V.K. Aatre, and K.M. Wong, "A Fast Method for Real Time Median Filtering", IEEE Transaction on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Vol. ASSP-28, August 1980.
- [19] David Malah, Private Communication.
- [20] Athanasios Papoulis, "Probability, Random Variables and Stochastic Processes", McGrawHill, Tokyo 1965.
- [21] Alan V. Oppenheim, Ronald W. Schafer, "Digital Signal Processing", Prentice-Hall, New Jersey, 1975.
- [22] F. Kuhlman and G.L. Wise, "On Spectral Characteristics of Median Filtered Independent Data". IEEE Transactions on Communications, Vol. COM-29, September 1981.
- [23] B. Justusson, "Order Statistics on Stationary Random Processes with Application to Moving Medians", Tech. Rpt. TRITA-MAT-1, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 1979.
- [24] Amir Dembo - Private Communication.

## DETECTION OF POINT TARGETS IN VIDEO SIGNAL

Research Thesis  
Submitted in partial fulfillment of the requirements  
for the degree of Master of Science  
in  
Electrical Engineering

by  
ARIELA ZEIRA

Submitted to the Senate of the Technion - Israel Institute of Technology  
Elul 5744 Haifa September 1984

This research was carried out in the Signal Processing Laboratory of the Faculty of Electrical Engineering under the supervision of Prof. David Malah.

I am greatly indebted to Prof. David Malah for his invaluable guidance and devoted supervision, and for his encouragement at all stages of this work.

I am also grateful to the laboratory engineer Mr. Yoram Or-Cehn and to the software engineer Miss Zippy Portnoy for their help.

I am thankful to the Ministry of Defence for the initiation and financing of this research between April 82 ÷ March 83.

My deep gratitude to the Ministry of Defence for allowing me the time to advance this research.

CONTENTS  
-----

ABSTRACT . . . . .	1
GLOSSARY . . . . .	3
CHAPTER 1: INTRODUCTION . . . . .	10
CHAPTER 2: BACKGROUND SIGNAL CHARACTERISTIC . . . . .	19
2.1 Temporal and statistical properties of background signal . . . . .	19
2.2 Clutter Power Spectrum . . . . .	20
CHAPTER 3: Linear Filters . . . . .	23
3.1 WIENER filters . . . . .	23
3.1.1 Derivation of the WIENER filter design equation . . . . .	24
3.1.2 Design of a WIENER filter operating as the detection system signal processor . . . . .	25
3.1.3 WIENER filters frequency response . . . . .	29
3.2 Matched filter in colour noise . . . . .	31
3.3 High-pass filters . . . . .	31
3.4 Deterministic LMS filter . . . . .	34
CHAPTER 4: THE MSS ALGORITHM: MEDIAN SMOOTHING OF THE INPUT SIGNALS SUBTRACTION FROM THE ORIGINAL . . . . .	37
4.1 Definition of the Median filter . . . . .	38
4.2 Important works on Median filtering . . . . .	39
4.3 Statistical properties of the Median filter . . . . .	40
4.3.1 Noise suppression . . . . .	40
4.3.2 Reconstruction of noisy edges . . . . .	42
4.4 Deterministic properties of Median filtering . . . . .	43
4.5 The MSS algorithm properties . . . . .	45
4.6 Realization of Median and approximate Median filters . . . . .	46
4.6.1 Bit level Median filtering (with carry) . . . . .	49
4.6.2 Sequence coding by Gray code . . . . .	51
CHAPTER 5: PROCESSORS PERFORMANCE EVALUATION BY BACKGROUND MODEL	52
5.1 Introduction . . . . .	52

**CONTENTS (Cont.)**

5.2	Probability calculation by analytic model - stationary case . . . . .	54
	5.2.1 Linear filters . . . . .	55
	5.2.2 The MSS Algorithm . . . . .	59
5.3	Probability calculation by analytic model - Non Stationary case . . . . .	67
5.4	Performance evaluated by the background signal model compared to that estimated from real world data . . . . .	69
	5.4.1 Model parameters estimation from measured sky signals . . . . .	70
	5.4.2 Probabilities computation . . . . .	73
	5.4.3 Results of comparison . . . . .	76
CHAPTER 6:	PROBABILITIES EVALUATION FROM REAL WORLD DATA . . . . .	79
6.1	Full simulation of Detection System . . . . .	79
6.2	Estimation using the processed sky image histogram . . . . .	80
	6.2.1 Detection probability estimation for a linear filter . . . . .	82
	6.2.2 Detection probability estimation for the MSS processor . . . . .	83
6.3	Conclusions . . . . .	86
CHAPTER 7:	SIGNAL PROCESSORS PERFORMANCE . . . . .	89
7.1	Performance at clouds regions . . . . .	92
	7.1.1 Processing Gain of the linear filters at clouds regions . . . . .	92
	7.1.2 WIENER filter and MSS processor performance as function of clutter correlation factor . . . . .	93
	7.1.3 WIENER filter and MSS processor performance as function of Signal to clutter ratio . . . . .	95
7.2	Performance at Blue Sky regions . . . . .	97
	7.2.1 Processing Gain of various linear filters at Blue Sky regions . . . . .	97
	7.2.2 WIENER filter and MSS processor Blue Sky probability curves . . . . .	99

## CONTENTS (Cont.)

---

7.3	The processors performance at mixed regions . . . . .	
7.4	The processors performance by real world data . . . . .	107
7.4.1	The linear filters' performance . . . . .	107
7.4.2	MSS processors performance as compared to WIENER filter performance . . . . .	108
7.4.3	Performance of bit level MSS processor . . . . .	111
CHAPTER 8:	SUMMARY AND CONCLUSIONS . . . . .	112
APPENDIX A:	Interference auto-correlation function estimation.	120
APPENDIX B:	False Alarm and Detection Probability calculation for threshold $T \leq 0$ . . . . .	122
APPENDIX C:	Clutter process auto-correlation function estimation . . . . .	129
REFERENCES	. . . . .	133

## A B S T R A C T

---

A passive system for detection of point targets against sky background, can be based on scanning sky regions by a linear array of sensors, and independent processing of each sensor output by a one-dimensional signal processor. The signal processor improves the signal to interference ratio, enabling tentative detection of targets while scanning.

The purpose of this research is to examine the performance of various one dimensional signal processors for such detection system.

The scanned sky background generally consists of regions which can drastically differ in their statistical properties. Some regions show blue sky in which the interference signal is dominated by the photonic noise, caused by arrival time fluctuations. In others, clouds non-uniformly illuminated by the sun, can cause clutter signal, orders of magnitude stronger than the blue sky interference. The intensity of a typical point target is ten times the rms of the blue sky interference, and it is represented in the sampled signal by a single sample.

High-pass, WIENER and deterministic LMS filters have all found wide use in such detection systems. A non-linear MSS processor, which subtracts the median-smoothed input signal from the original signal is introduced here in order to compare its performance to these linear filters.

Two ways of estimating the signal processors' performance were taken. One was by assuming a model for the background noise, and the other by processing real world data.

The general model suggested in this work, represents the background signal by a sequence of stationary segments. Each segment is a part of a normal random process with given average and auto-correlation function.

For each process, the false alarm and detection probabilities are calculated. Assuming the transition regions can be neglected, the overall probabilities can now be estimated.

False-alarm and detection probabilities calculation for the linear filters, is done by common and known methods. These methods cannot be applied for the non-linear MSS processor. Such a method was developed as a part of this research.

An idealized background signal, incorporating a series of stationary segments, each sampled from one of two random processes, was assumed for comparison of processors performance. A white normal random process was used to model the blue sky regions, while a coloured one was used for clouds regions.

Estimated performance, using this model, was compared to that obtained by processing real-world background signals. A fairly good fit was demonstrated for the WIENER filter, and an even better one for MSS processor.

The direct method for estimating the probabilities, is no more than a full simulation of the detection system, necessitating seeding targets in the original sky picture. A simple and efficient method using the processed-signal histogram, can be used for the linear filters. An analog procedure, suitable of the non-linear MSS processor, was developed here.

Principal results are:

- a) All the processors (linear, MSS) perform better for a higher clutter correlation factor.
- b) For high ( $\rho \geq 0.96$ ) clutter correlation factor, the third order (with median window of length three) MSS processor, performs better than the WIENER filter. The situation is reversed for lower ( $\rho \leq 0.9$ ) correlation factor.
- c) All the processors performs better at blue sky regions.
- d) At blue sky regions, the WIENER filter performs better than the third order MSS processor.
- e) For mixed regions of high clutter correlation fadot, the third order MSS processor performs better than the WIENER filter.
- f) At mixed regions, the fifth-order MSS processor performance is inferior compared to the WIENER or the third order MSS processor.