

# עיבוד אותות ביולוגיים

אליאו נעמה

הפקולטה להנדסת חשמל, טכניון

הפקולטה להנדסה ביו-רפואית, טכניון

21/02/2021

# מה בתכנית?

- אוטות ומערכות
- סוגים של אוטות
- קוונטיציה / דגימה
- יציג במשור התדר ע"י התמרת פורייה
- מסננים דיגיטליים
- שיעור סטטיסטי
- שיעור ממדיות רועשות
- שימושים של פונקציית הקורלציה
- התמורות משלבות של זמן-תדר
- דוגמה מסכמת

# מה בתכנית?

- **אותות ומערכות**

- **סוגים של אותות**

- **קונטיזיה / דגימה**

- **ייצוג במישור התדר ע"י התמרת פורייה**

- **מסננים דיגיטליים**

- **שיעור סטטיסטי**

- **שיעור מדידות רouseות**

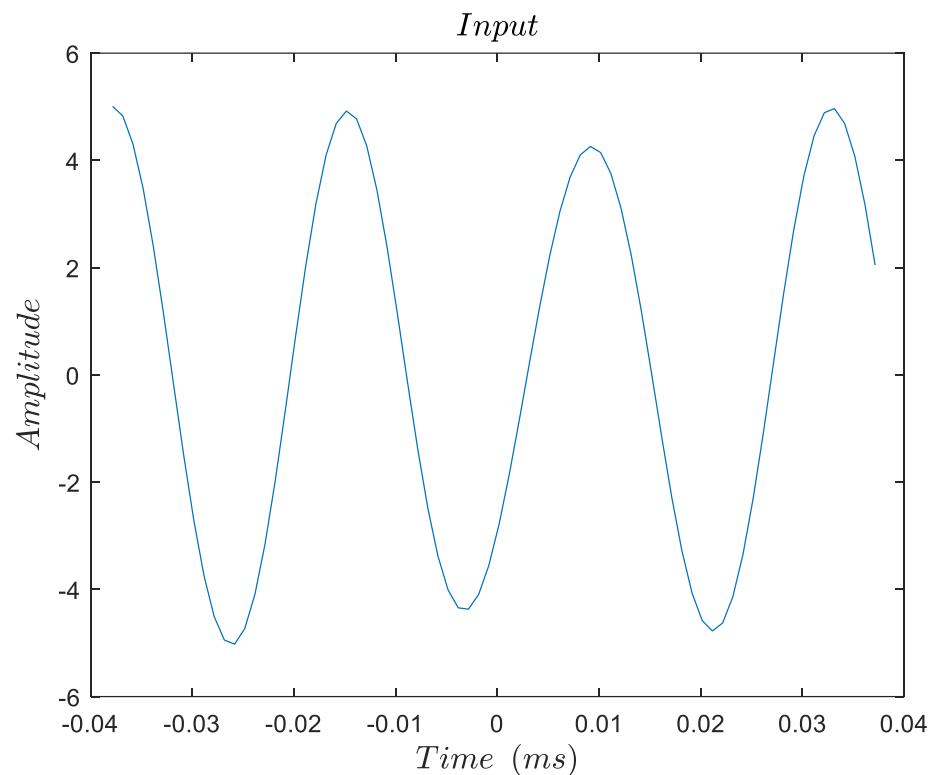
- **שימושים של פונקציית הקורלציה**

- **התמורות משולבות של זמן-תדר**

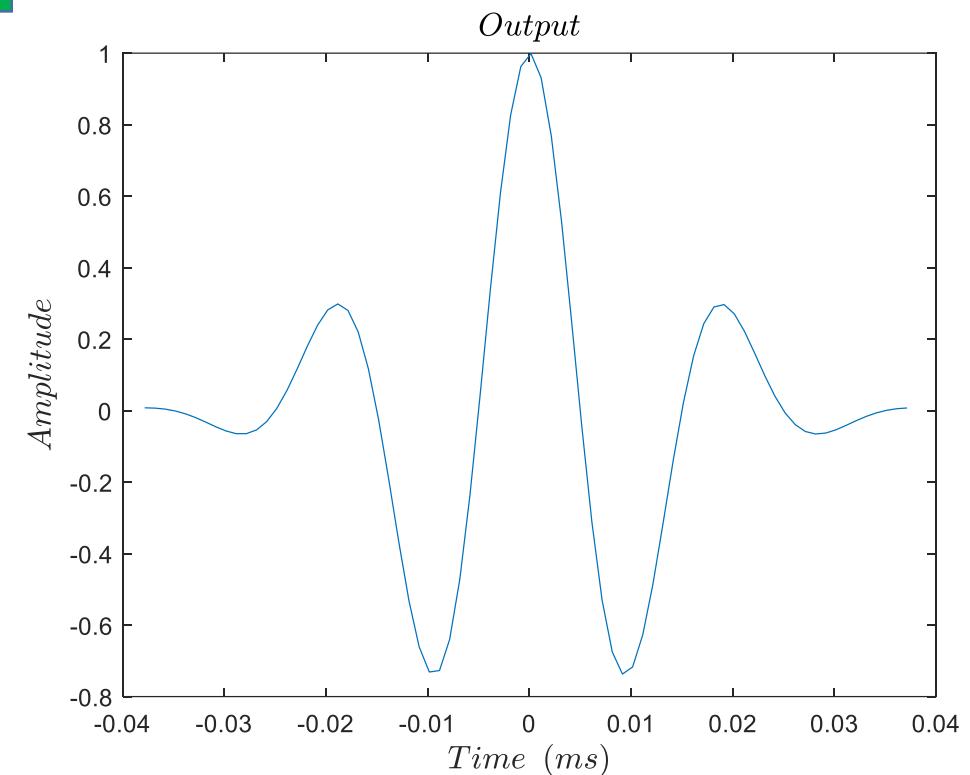
- **דוגמה מסכמת**

# אותות ומערכות: כללי המשחק

אות כניסה → **מערכת** → אות יציאה



מבצע עיבוד  
כלשהו על אות  
הכניסה כדי לייצר  
ממנו את אות  
היציאה



# אותות ומערכות: כללי המשחק

אות כניסה → **מערכת** → אות יציאה

*Two Dimensional Input*



מבצע עיבוד  
כלשהו על אות  
הכניסה כדי לייצר  
מןו את אות  
היציאה

*Output*



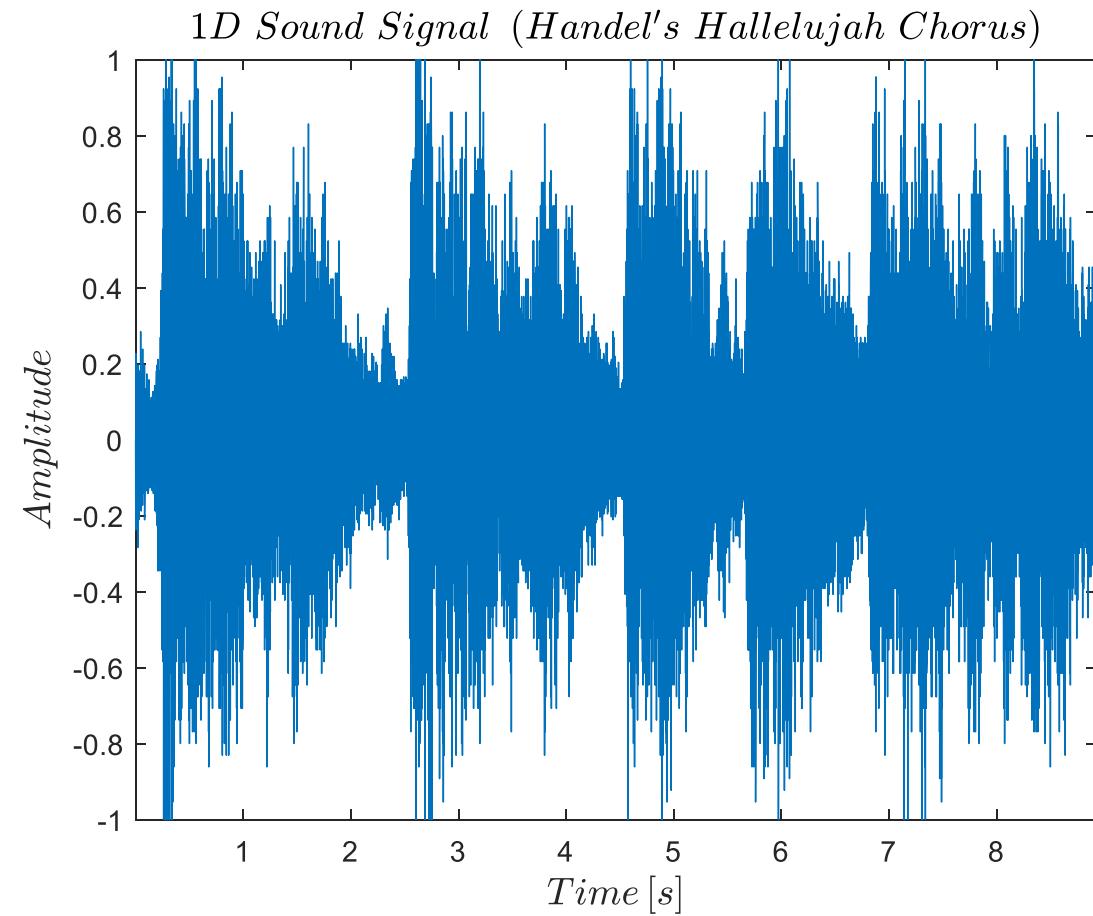
# מה בתכנית?

- **אותות ומערכות**
- **סוגים של אותות**
- קוונטיציה / דגימה
- ייצוג במישור התדר ע"י התמרת פורייה
- מסננים דיגיטליים
- **שיעור סטטיסטי**
- שיעור ממדידות רouseות
- שימושים של פונקציית הקורלציה
- התמורות משולבות של זמן-תדר
- דוגמה מסכמת

# מה ההגדרה של אות?

- אוט הוא אוסף של אינפורציה/נתונים המתאר תופעה כלשהי (בד"כ פיזיקלית).
  - דוגמאות?
- אוטות חד-מימדיים
  - אוטות שמע
  - אוטות רפואיים כגון EEG/ECG
  - אוטות רדאר
- אוטות דו-מימדיים
  - תМОנות
  - ICO'..

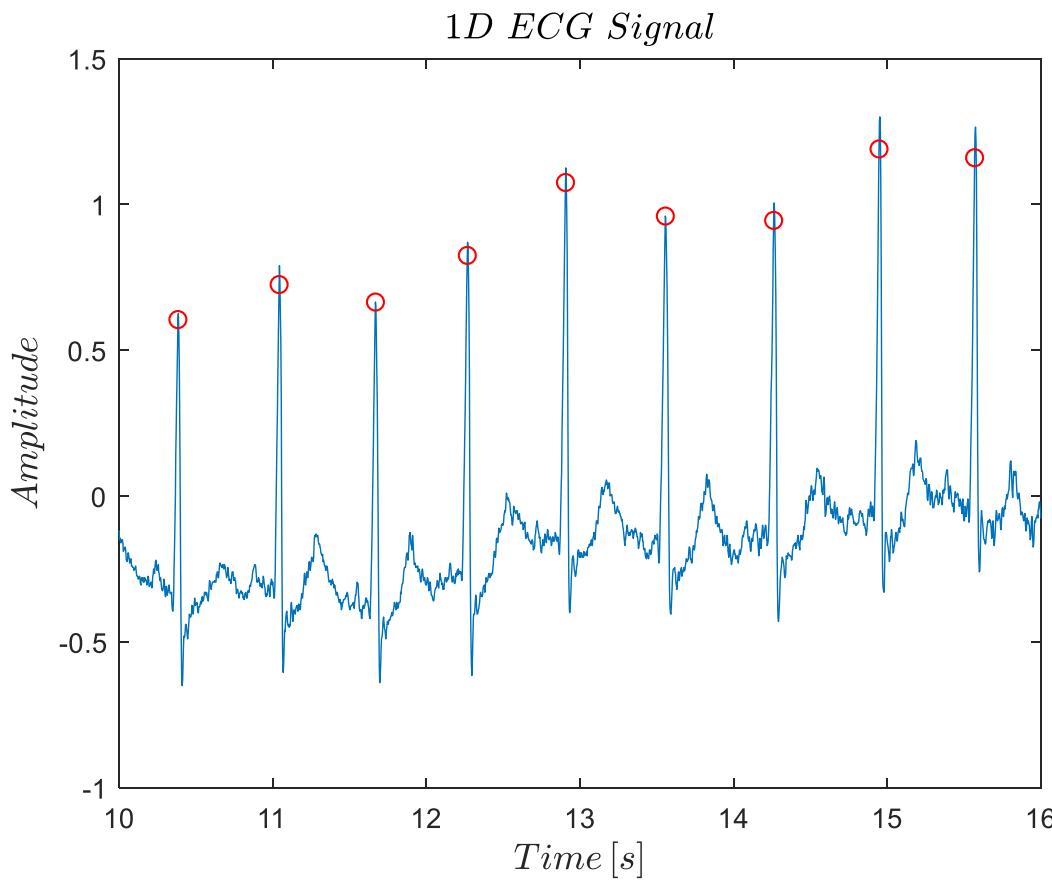
# סוגים של אותות: אותות **חד-מימדיים**



- **אות שמע:**



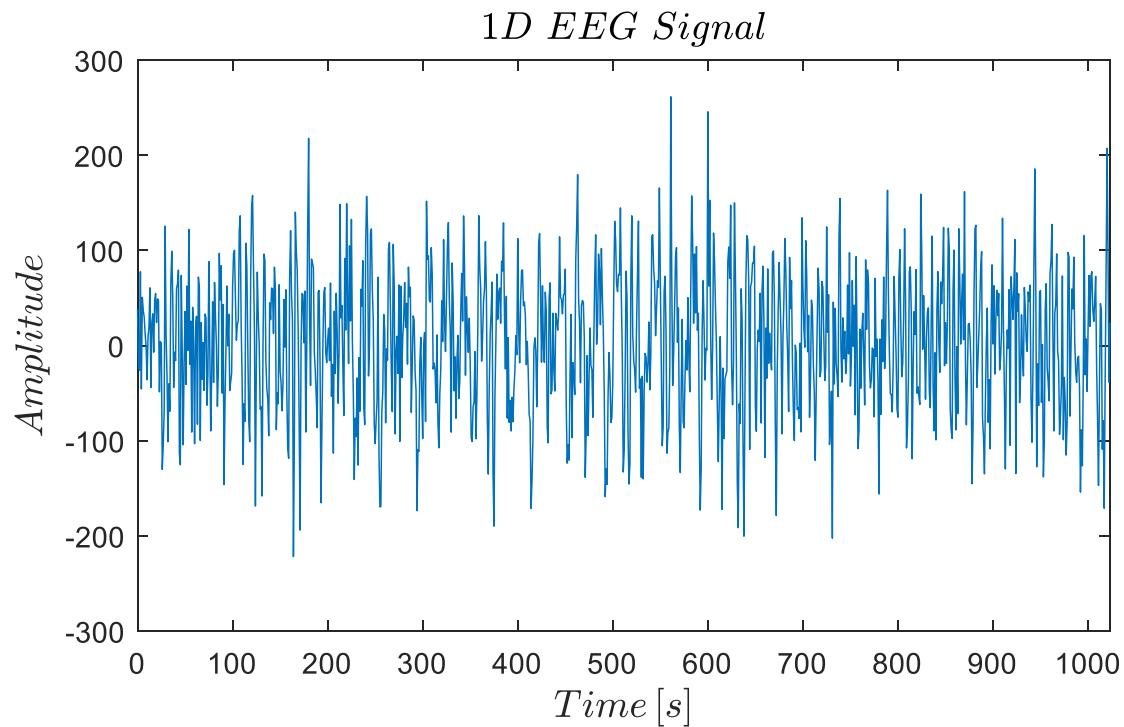
# סוגים של אותות: אותות **חד-מימדיים**



- **אות ECG:**

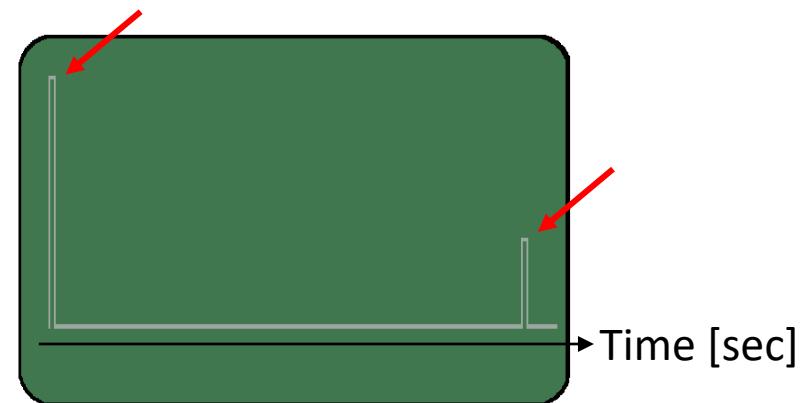
# סוגים של אותות: אותות **חד**-מימדיים

- **אות EEG:**



# סוגים של אוטות: אוטות **חד-מימדיים**

- אוט רדאר:



# סוגים של אותות: אותות 2D-מידיים

2D “Selfie” Signal



• תМОנות "רגיLoת":

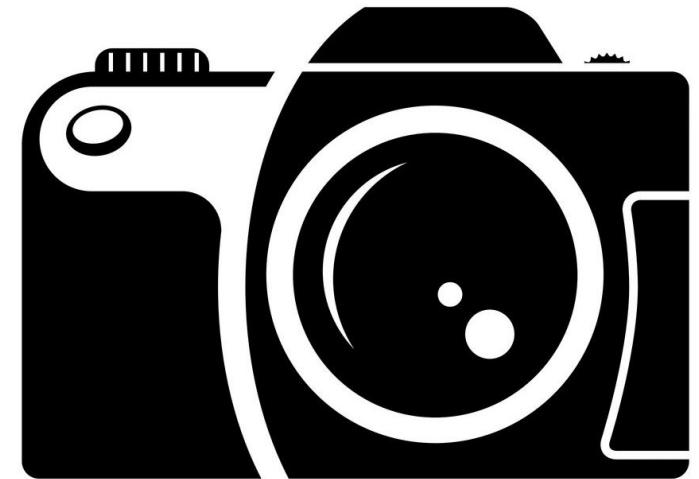


# סוגים של אותות: אותות **2D**-ממדיים

2D “Nature” Signal



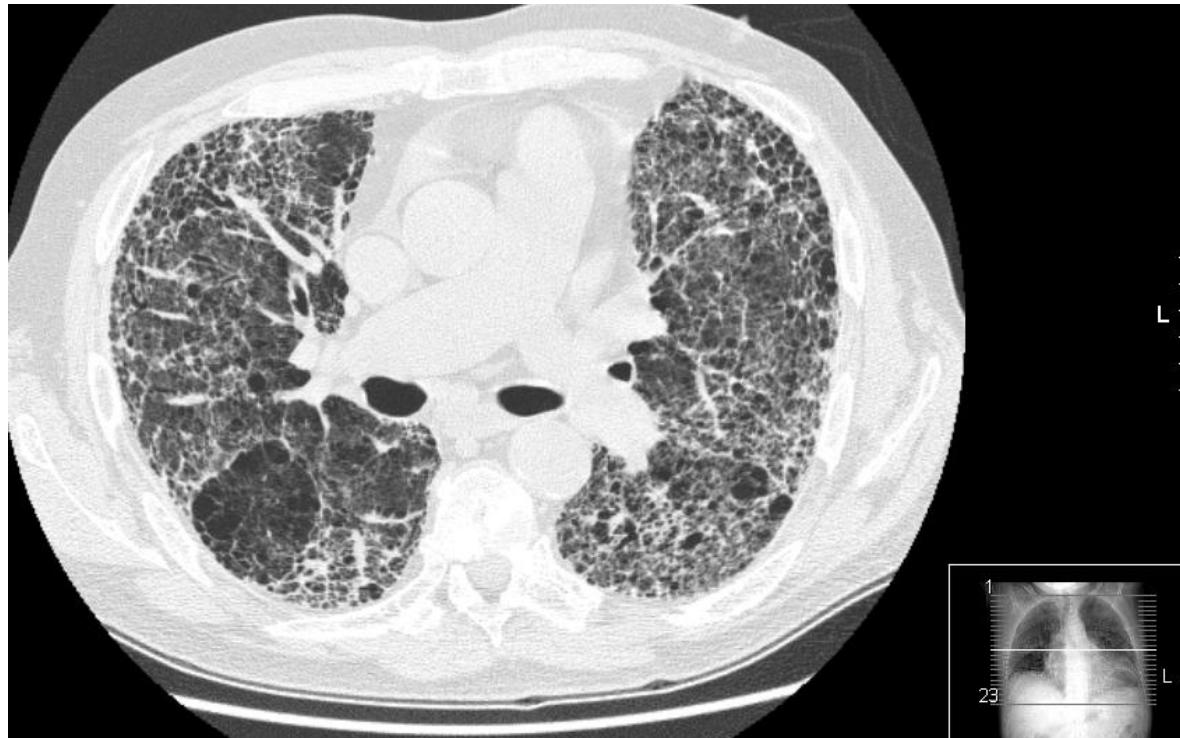
- תМОנות "רגילות":



# סוגים של אותות: אותות 2D-מידיים

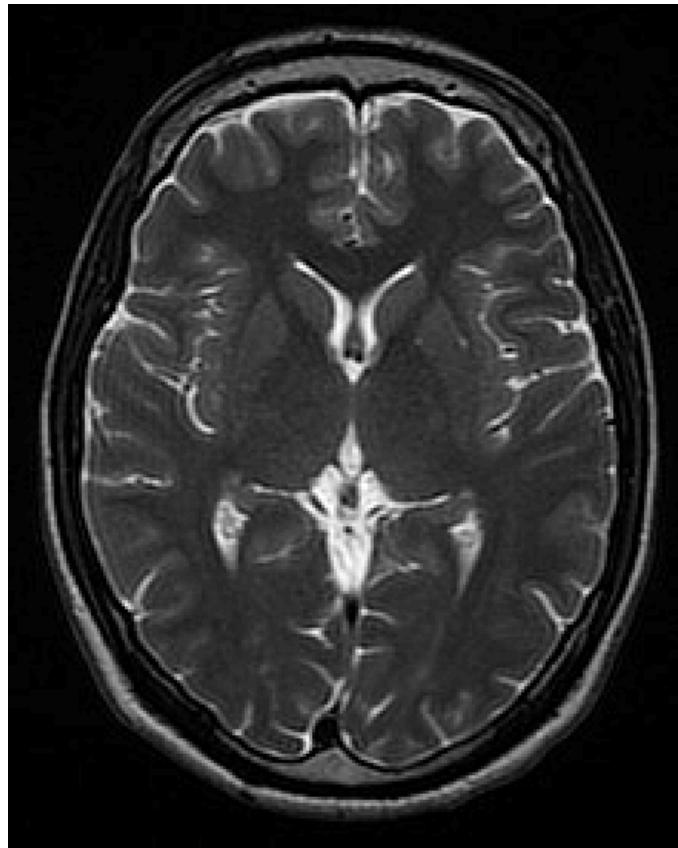
- **תמונות רפואיות - CT:**

2D CT signal



# סוגים של אותות: אותות **2D**-מידיים

*2D MRI Signal*



• **תמונה רפואיות - MRI:**



# סוגים של אותות 2D-מידים

2D Ultrasound signal



• תМОנות רפואיות - Ultrasound :



# למה צריך לLearn אתות ומערכות?

- מהנדסים בונים מערכות שמעבדות אותן. אז מה?
- ישנו צורך בהבנה מתמטית של איך המערכות האלה עובדות. למה?
- הבנה מתמטית חיונית לכך שמערכות מתוכננות יפלו באופן הרצוי. זה קרייטי?
- אם מערכת נכשלה לעמוד בדרישות שהוצבו מראש בד"כ זה מלאה בתוצאות שליליות (לפעמים קטסטרופות של ממש). לדוגמה:
  - תМОנות באיכות נמוכה מרגעים בלתי נשכחים
  - אבחן רפואי שגוי
  - פרצה במערכת הביטחון האוירית
  - וכו' ..

# מה בתכנית?

- **אותות ומערכות**

✓**סוגים של אותות**

- **קונטיזציה/דגימה**

• **ייצוג במישור התדר ע"י התמרת פורייה**

• **מסננים דיגיטליים**

- **שיעור סטטיסטי**

• **שיעור מדידות רouseות**

• **שימושים של פונקציית הקורלציה**

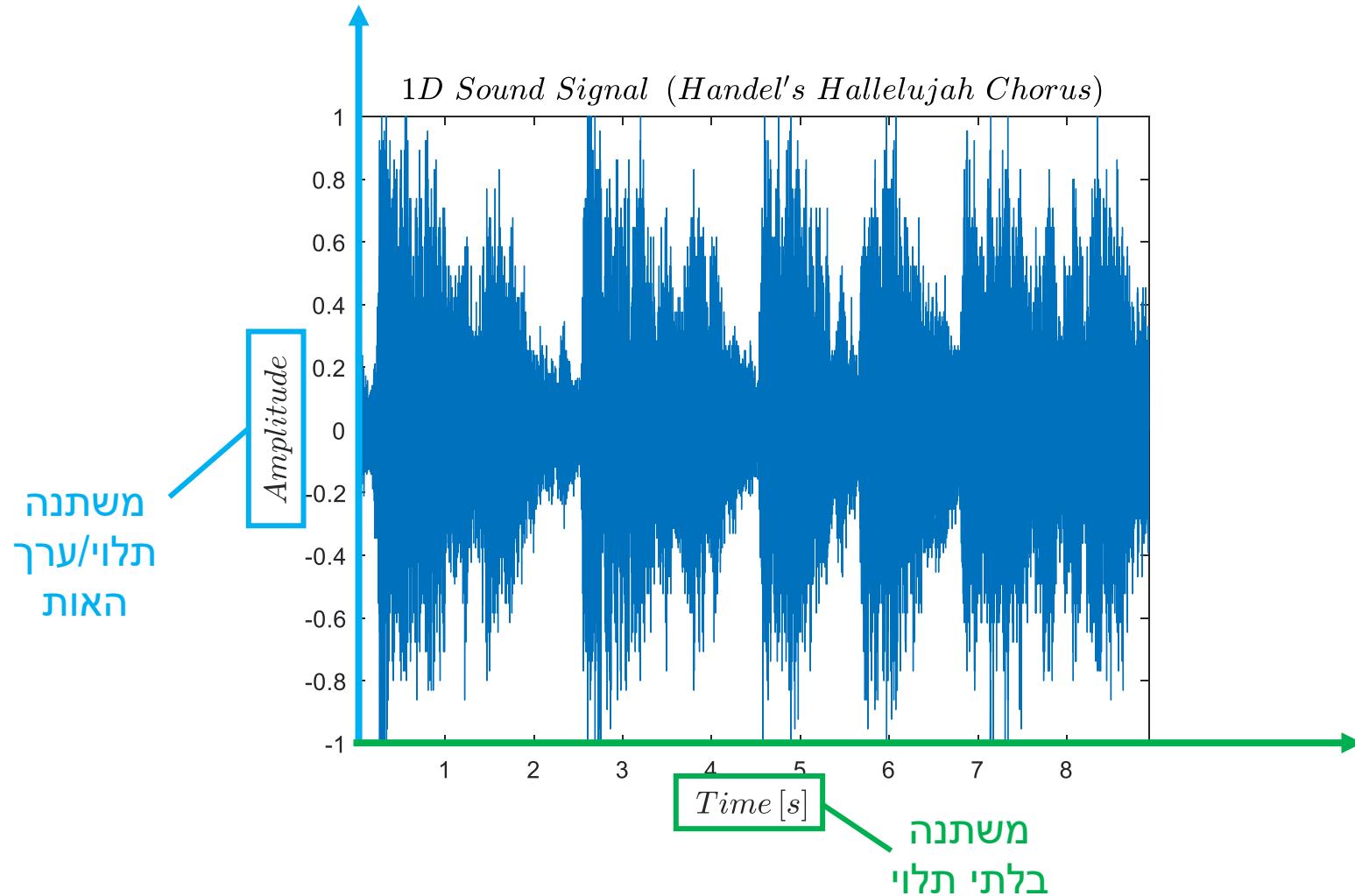
• **התמורות משולבות של זמן-תדר**

• **דוגמה מסכמת**

# איך עובדים עם אותן?

- על מנת לאפיין/לעבד אותן יש צורך במודל מתמטי שיתאר את אותן.
- נהוג ליחסן על אותן כעל **פונקציה** של משתנים **בלתי תלויים** (למשל זמן עבור אותן **חדר**-מידים, או מרחב עבור אותן **D<sub>0</sub>**-מידים), כאשר ערך הפונקציה הוא המשתנה **התלויה**/**האות**.
- אפשר לסוג אותן לתחתי-קטגוריות לפי סוג העריכים שמקבלים המשתנים **בלתי-תלויה** והמשתנה **התלויה**. ערכיהם אלה יכולים להיות **רצייפים** (**אנלוגיים/Analogs**) או **בדידים** (**דיגיטליים/Digital**).
- המעבר בין רציף לבדיד מתבצע על ידי רכיב הנקרא "דגם" (Analog to ) והוא מאפשר לנו לעבד אותן באמצעות מחשב.

# אותות **חדר**-מימדיים כפונקציות

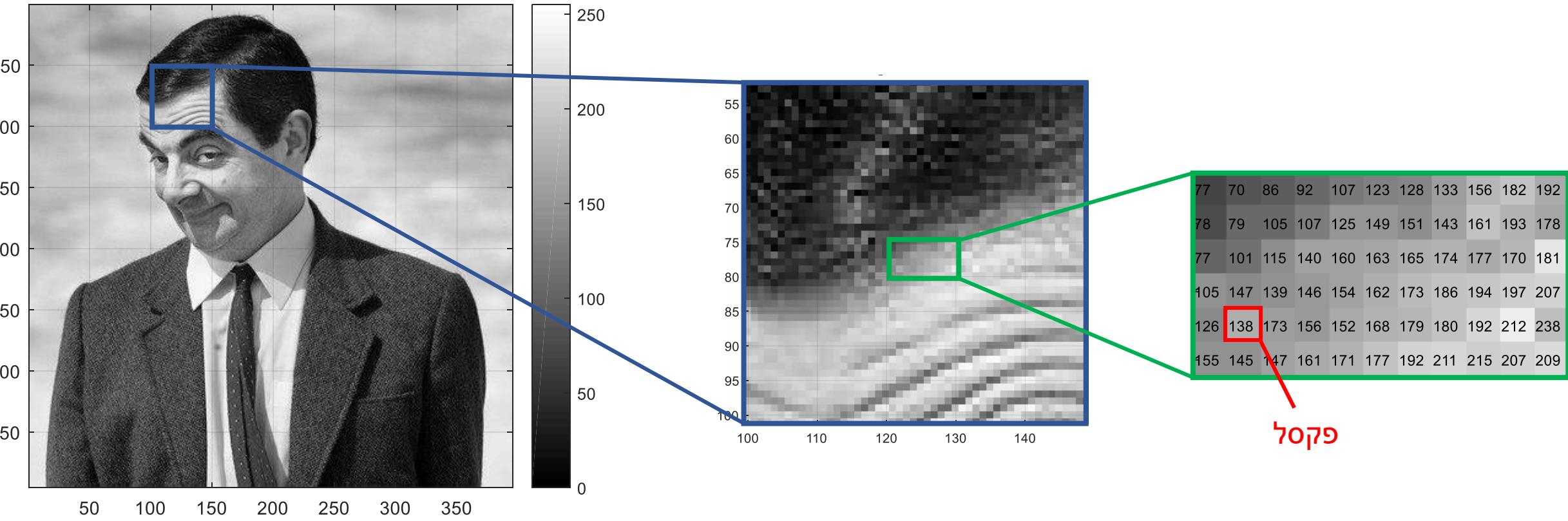


- **אותות חדר-מימדיים כפונקציה:**
- מה עם תמונות?

# תמונה = מטריצה

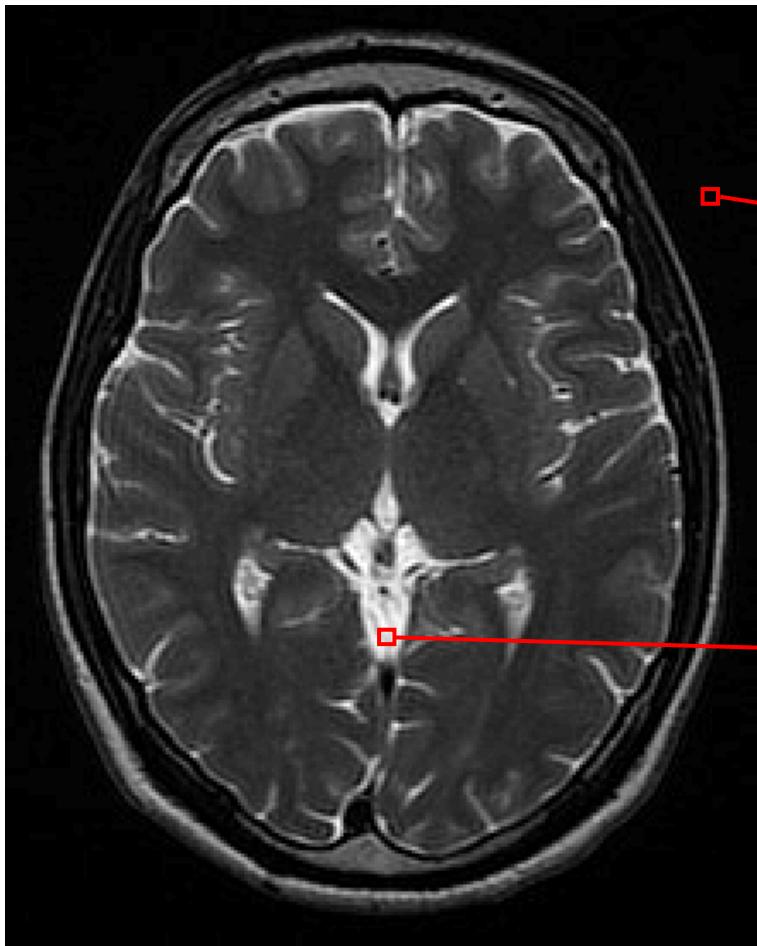
- **תמונה במחשב מוגדרת כמטריצה, כאשר כל איבר במטריצה נקרא פיקול.**

*Image = Matrix*



# תמונה = מטריצה

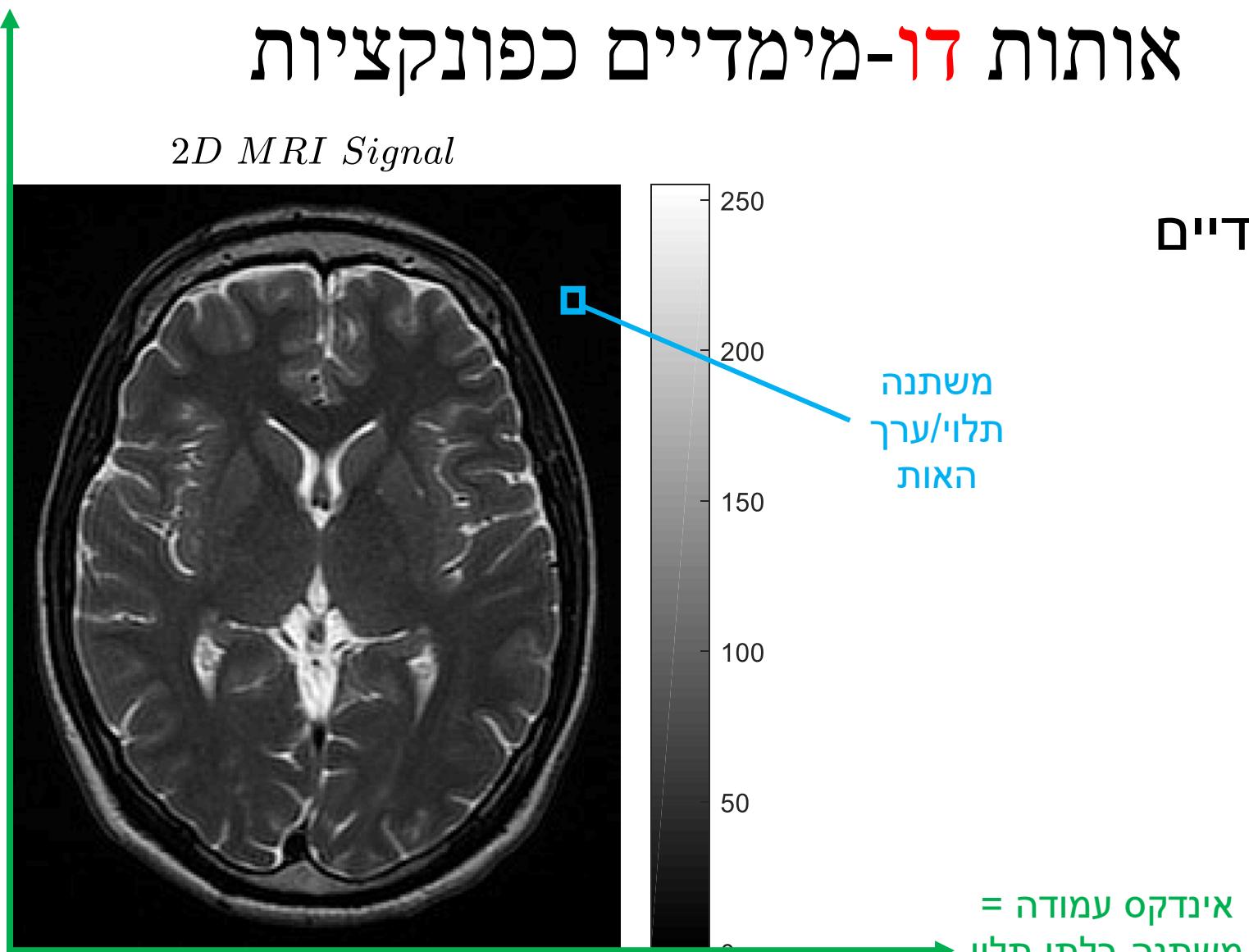
2D MRI Signal



- ערך האות בכל פיקסל נקרא רמת אפור.
- בתמונות צבע ישנו 3 ערוצים בכל פיקסל המתארים את עצמת הצבעים R-G-B.

אינדקס שורה =  
משתנה בלתי תלוי  
שני

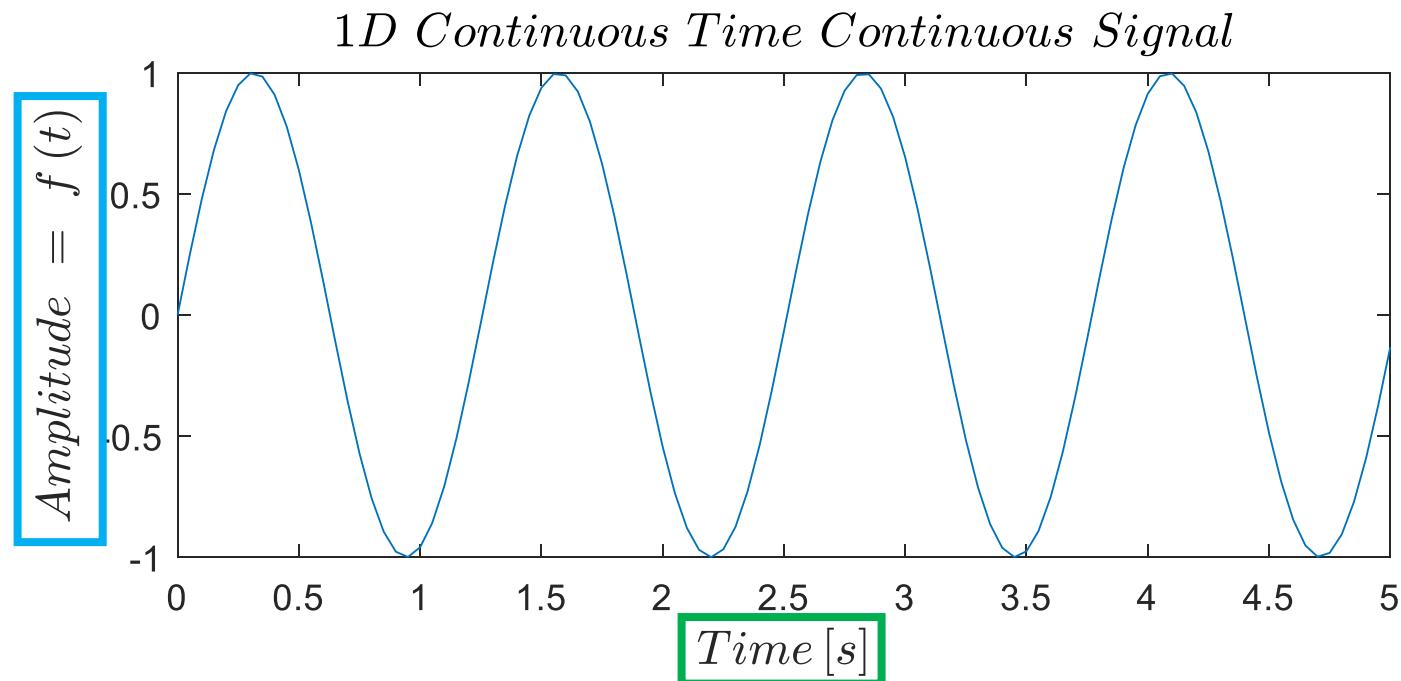
## אותות 2D-מימדיים כפונקציות



- **אותות 2D-מימדיים כפונקציה:**

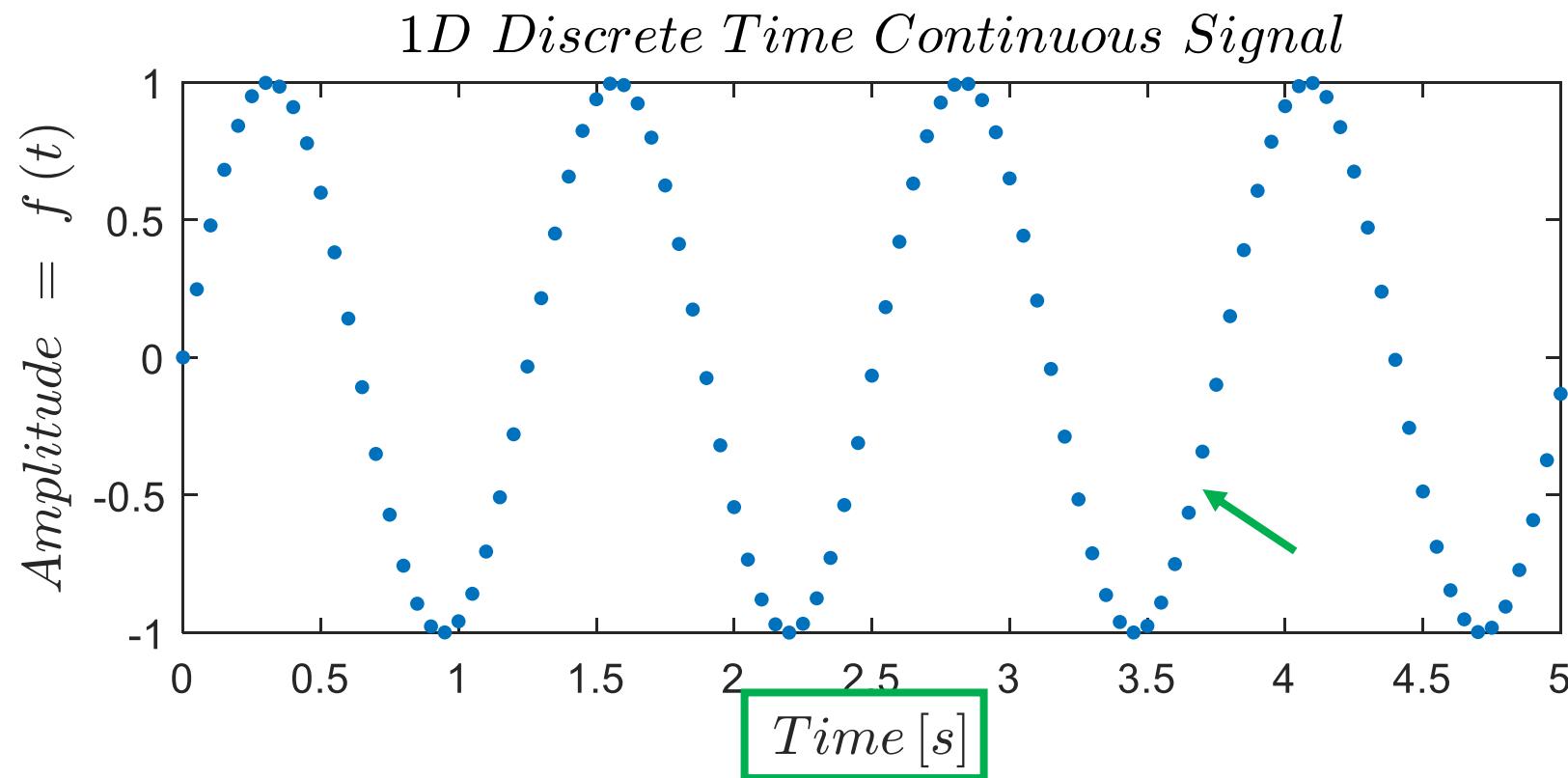
# סיווג אוטות לתחתי-קטגוריות

- אפשר לסיווג אוטות ל-4 תחתי-קטגוריות לפי סוג הערכים שמקבלים המשתנים **בלתי-תלויים** והמשתנה **התלוּי**. נדגים זאת בחד-מימד.
- סוג 1: משתנה **בלתי תלוי רציף** ומשתנה **תלוּי רציף**:



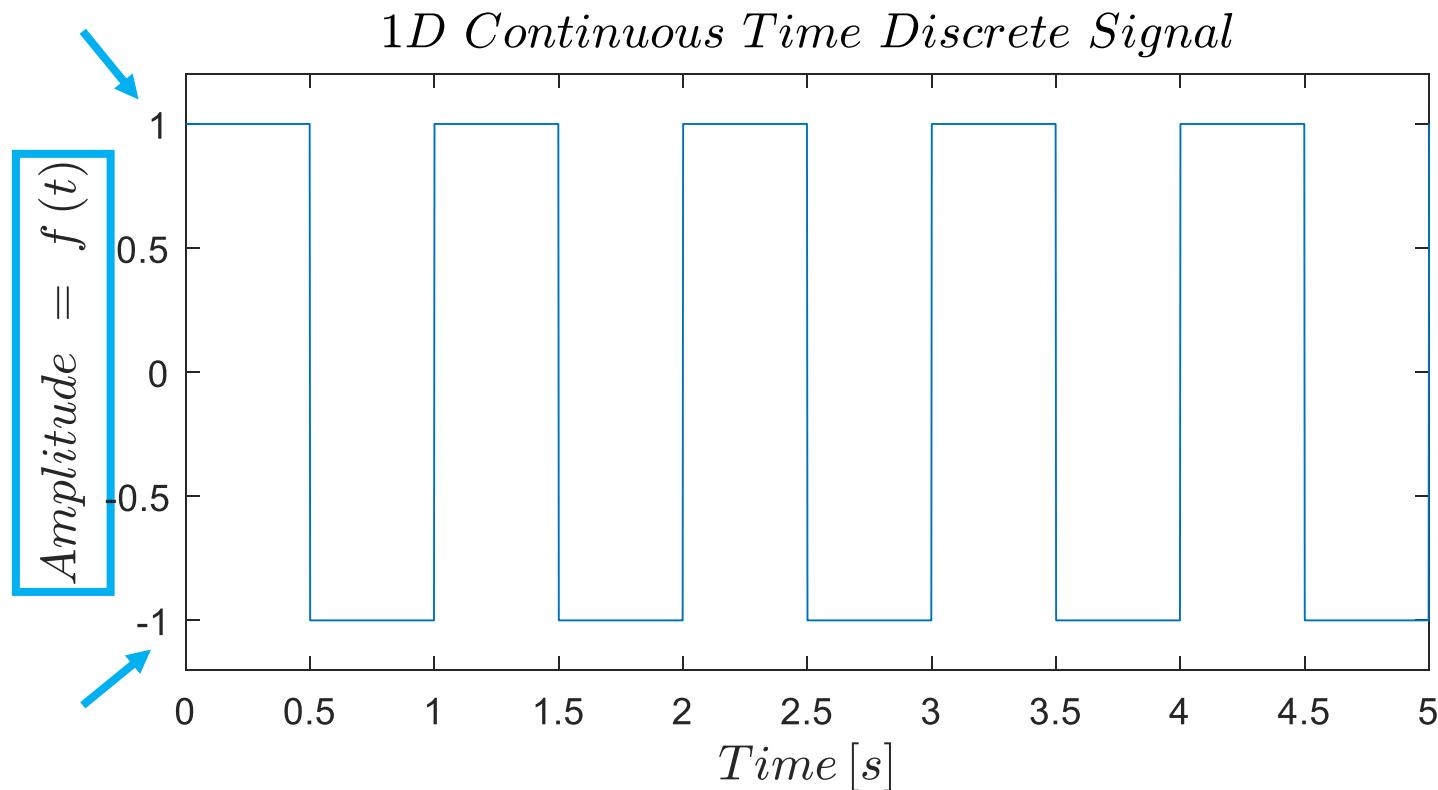
# סיווג אוטות לחת-קטגוריות

- אג 2: משתנה בלתי תלוי בדיד ומשתנה תלוי רציף:



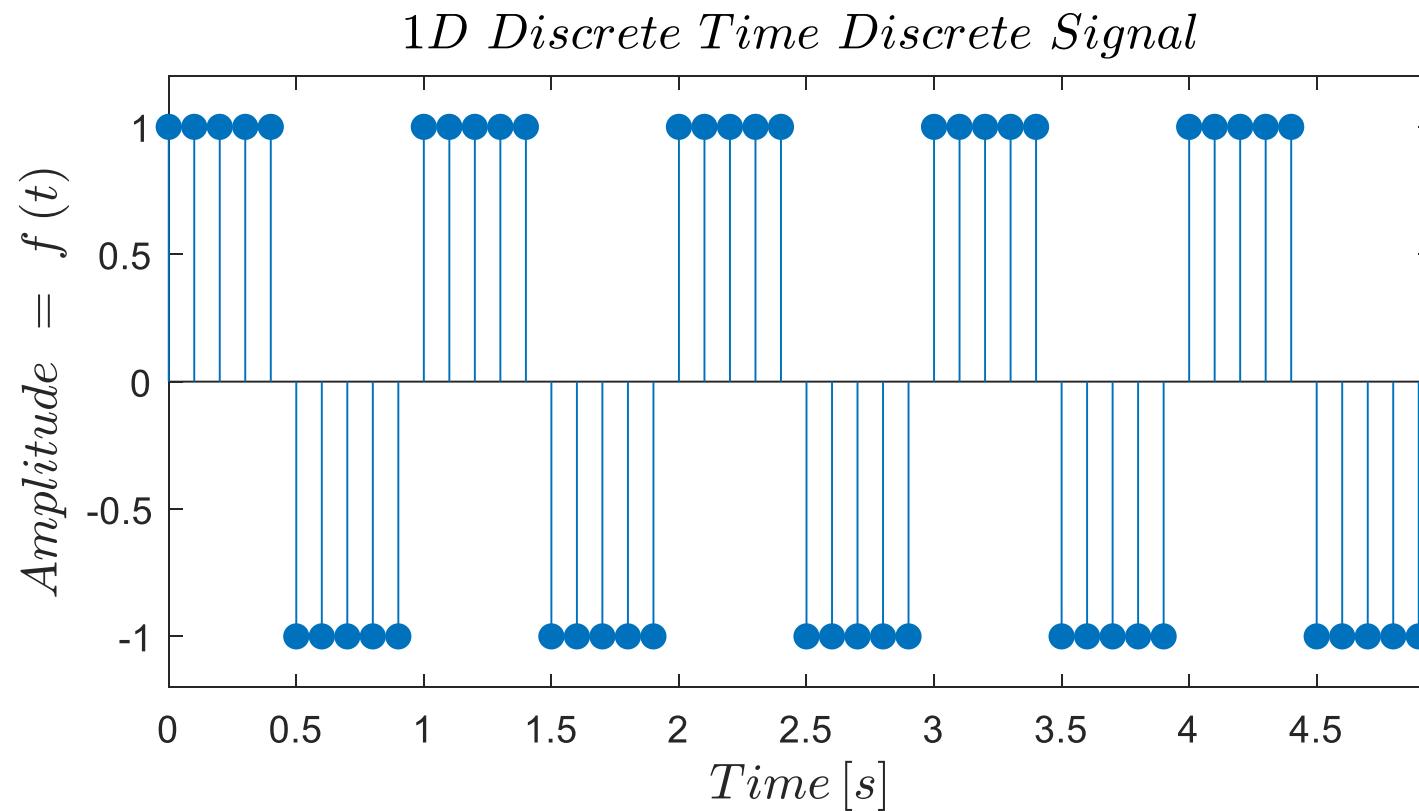
# סיווג אותות לתחתי-קטגוריות

- אוג 3: משתנה **בלתי תלוי** רציף ומשתנה **תלוי בדיד**:



# סיווג אוטות לחתתי-קטגוריות

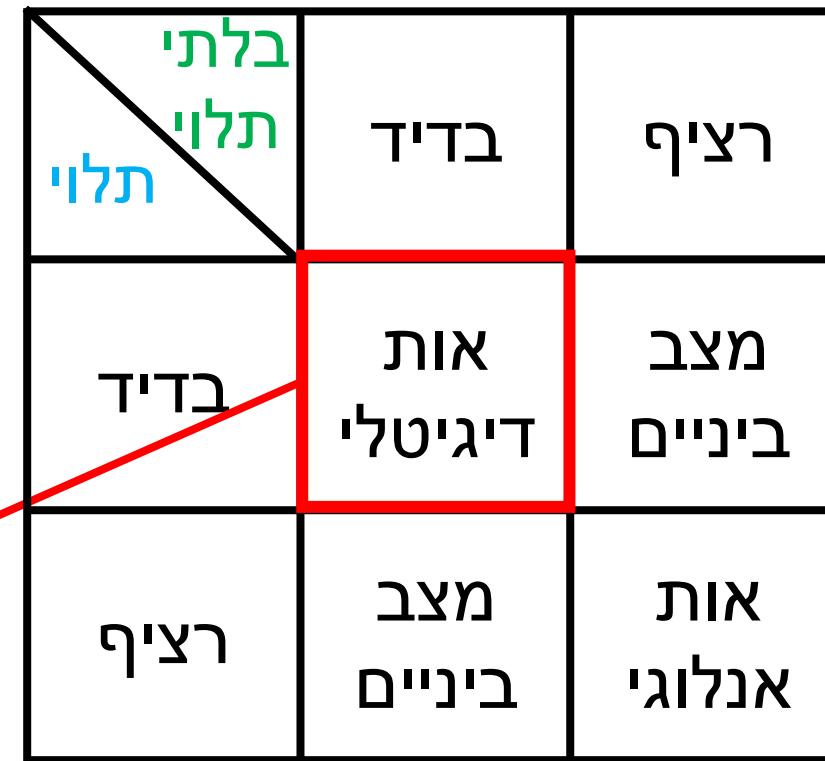
- אוג 4: משתנה בלתי תלוי בדיד ומשתנה טלוי בדיד:



אותות מסווג  
זה ניתן לעבד  
במחשב!

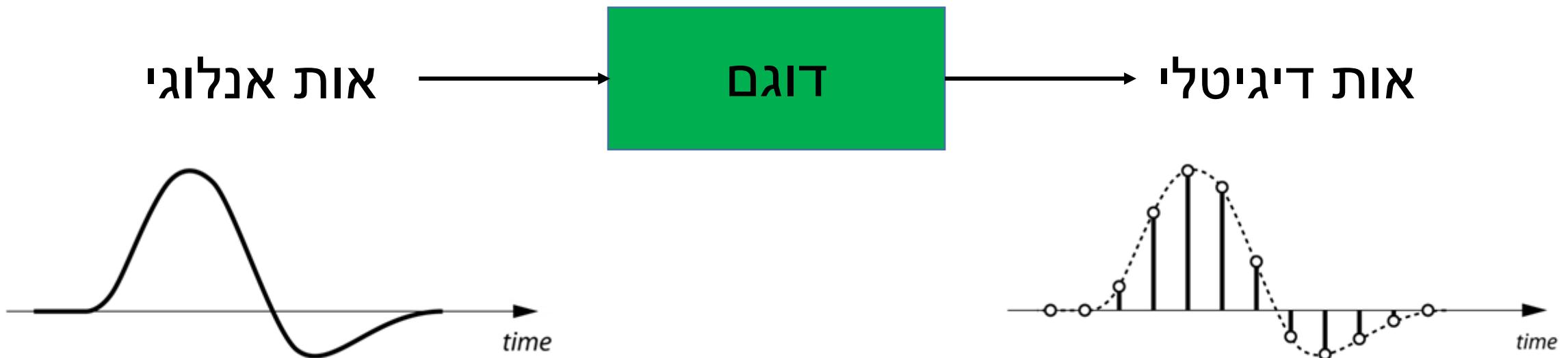
# סיכום סוגי אותות

אותות שניתן  
לעבך במחשב.



# לוגם / Analog-To-Digital Converter

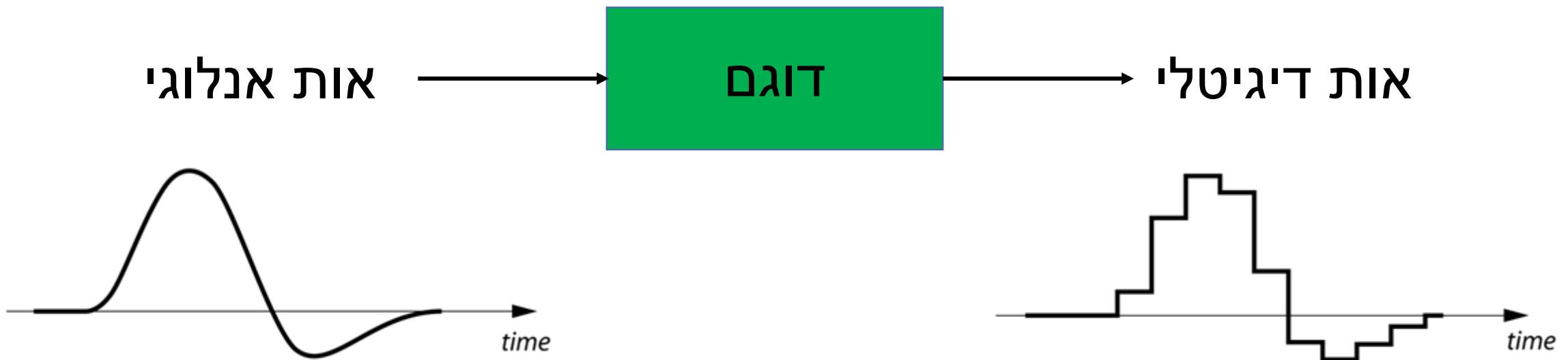
- כדי ליצג אות אנלוגי במחשב צריך להמיר אותו לאות דיגיטלי על ידי תהליך המכונה "דגימה".



- שאלה:** האם האירור לעיל מיצג נאמנה את האות במחשב?

# לוגם / Analog-To-Digital Converter

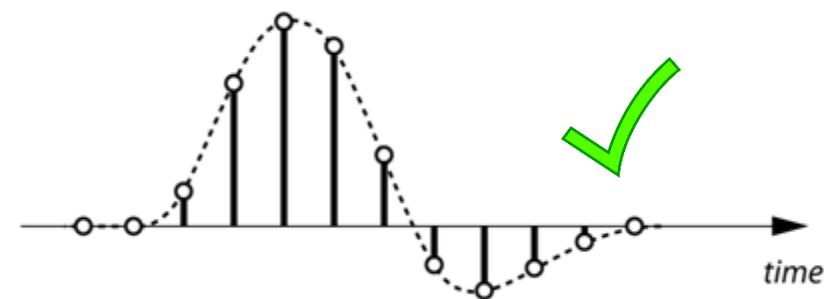
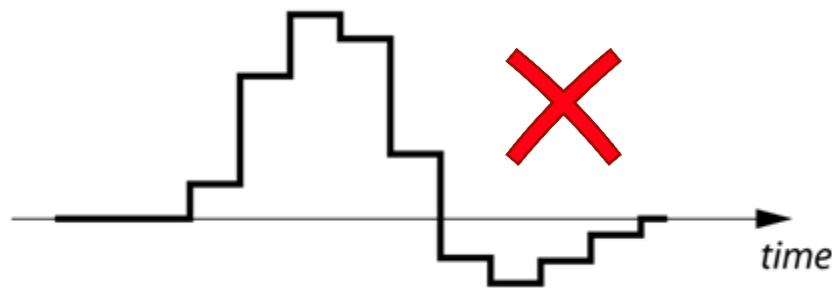
- תיאור יותר מדויק של המוצא:



- עם המחשב שיש היום הקפיצות נעשו כל כר קטנות שהפרש הוא זניח.

# לוגם / Analog-To-Digital Converter

- נניח שהדיגימה באmplיטודה היא זניחה, ונתמקד בדיגימה בזמן/מרחב.



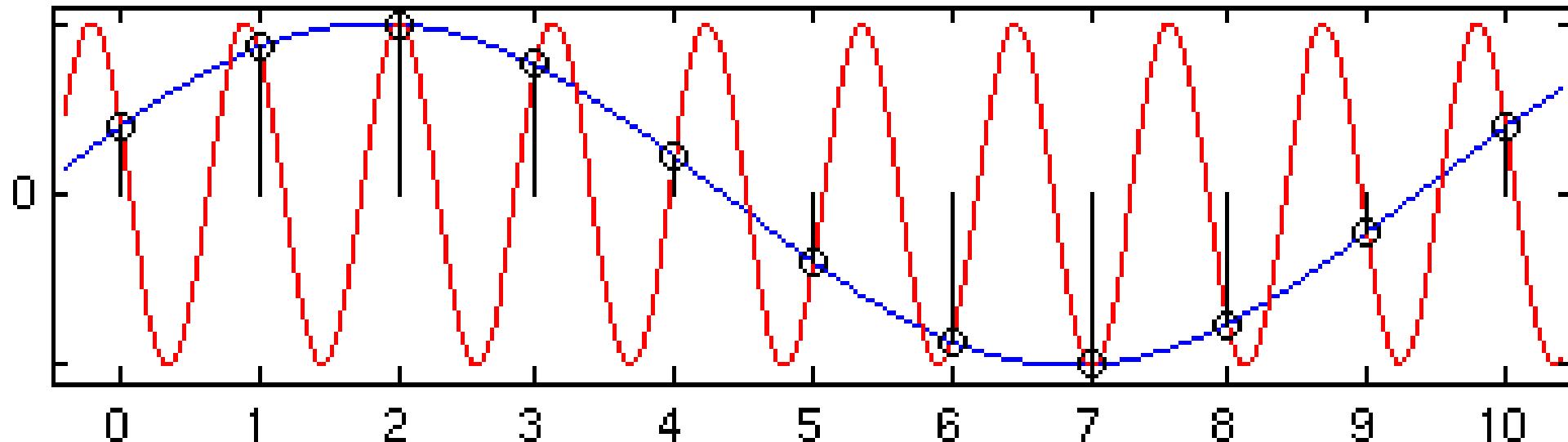
- כאשר אנחנו דוגמים חלק מהאינפורמציה הולך לאיבוד.
- שאלה: מה הוא המרווח המינימלי הנדרש בין שתי דגימות בזמן?

# מה היא כמות הדגימות המינימלית הנדרשת?

- שאלה: מה יקרה אם נלקח מעט מדי דגימות?

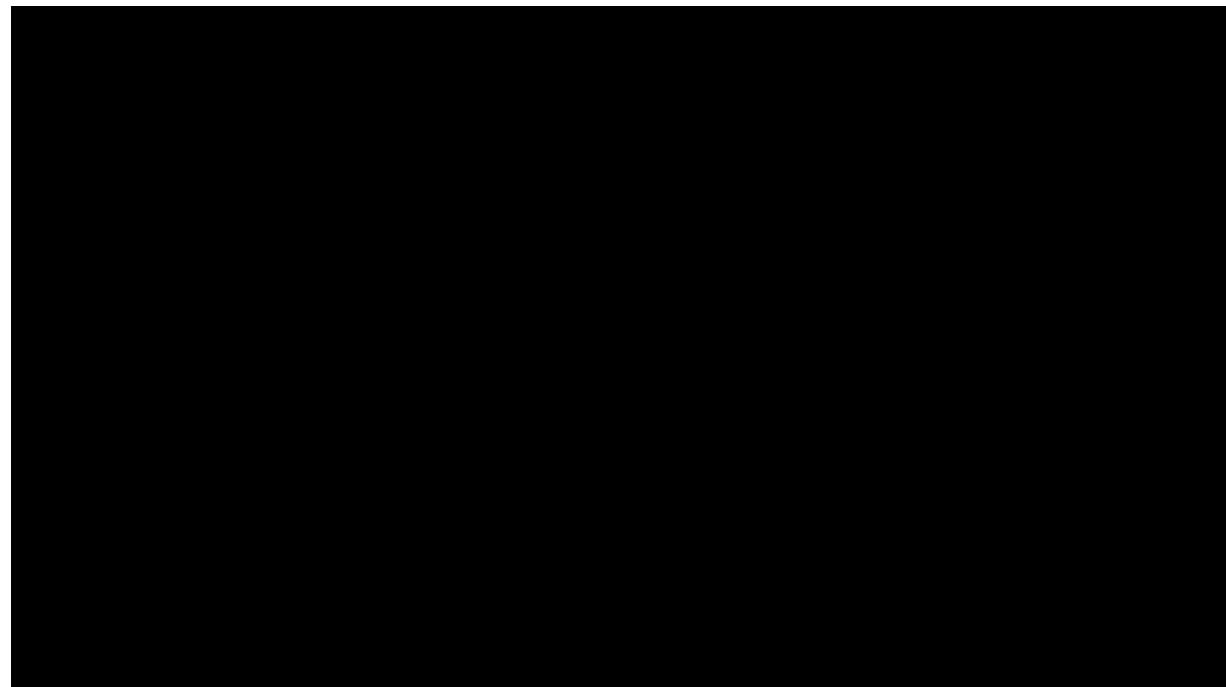


- תשובה: קצב נמוך מדי יכול לגרום לתופעת ההתחזות/Aliasing!
- דוגמה של אות סינוס:



# תופעת ה-Aliasing

- איפה רואים את התופעה בחיי היום-יום?



# תופעת ה-Aliasing

- איך רואים את התופעה בחיי היום-יום?



# תופעת ה-Aliasing

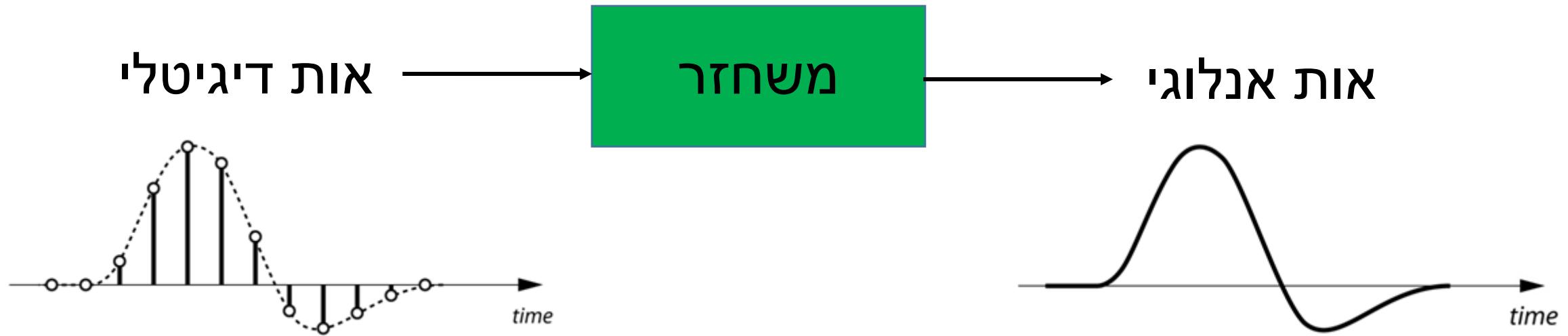
- ובכן, איך נדע מה התדר המינימלי שציריך לדגום בו על מנת שנמנע מטופעת Alias-ing?
- תשובה בפרק הבא.
- שאלה: למה לנו מלכתחילה לסביר את החיים ולדגם את אותן?



- תשובה: קל יותר לעבוד אותן במחשב! (למשל ב-Python/Matlab)
- שאלה: איך נחזיר למישור האנלוגי לאחר העיבוד?

# חזרה למישור האנלוגי

- ניתן להחזיר אותו להיות אנלוגי ע"י רכיב DAC :Digital-to-Analog Converter



- זהו רכיב שמבצע תהליכי "אינטרפולציה" / "מחבר" את הנקודות בחזרה.

# מה בתכנית?

- **אותות ומערכות**
  - ✓ סוגים של אותות
  - ✓ קוונטיציה/דגימה
- **ייצוג במישור התדר ע"י התמרת פורייה**
  - מסננים דיגיטליים
- **שיעור סטטיסטי**
  - שיעור ממדידות רouseות
  - שימושים של פונקציית הקורלציה
- **התמורות משולבות של זמן-תדר**
  - דוגמה מסכמת

## ייצוג במישור התדר

- כדי להבין איך למנוע את תופעת ה-Aliasing נרצה לייצג את האות במישור שנקרא **מישור התדר**.
- כמובן, נרצה לפרק את האות לסכום של סינוסים/קוסינוסים עם תדירותות שונות.
- ניתן לבצע זאת ע"י התמרת מתמטית הנקראת **התמרת פורייה**.
- הייצוג במישור התדר מקל על ההבנה של האות, ומאפשר במקרים רבים ניתוח אינטואיטיבי של אוטות מורכבים.

## התמרת פורייה: דוגמא עבר אוות **חד-מימדי**

- הנוסחה המתמטית שמתארת את ההתמרה נתונה ע"י:

$$\hat{f}(\psi) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-2\pi it\psi} dt$$

- שאלה: איך זה 쉬ול לפירוק לסכום קווינטנסים וסינוסים?

$$e^{it} = \cos(t) + i\sin(t)$$

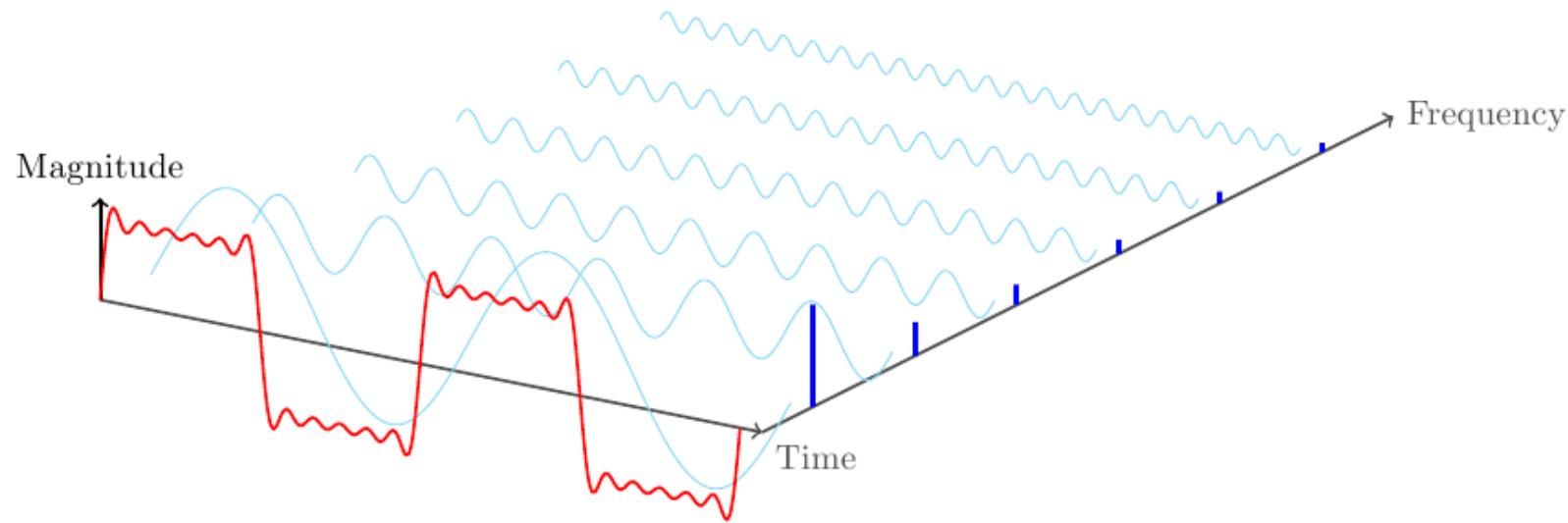
# התמרת פורייה: דוגמא עברות אות **חד-מימדי**

- פירוק לסכום של סינוסים/קוסינוסים:



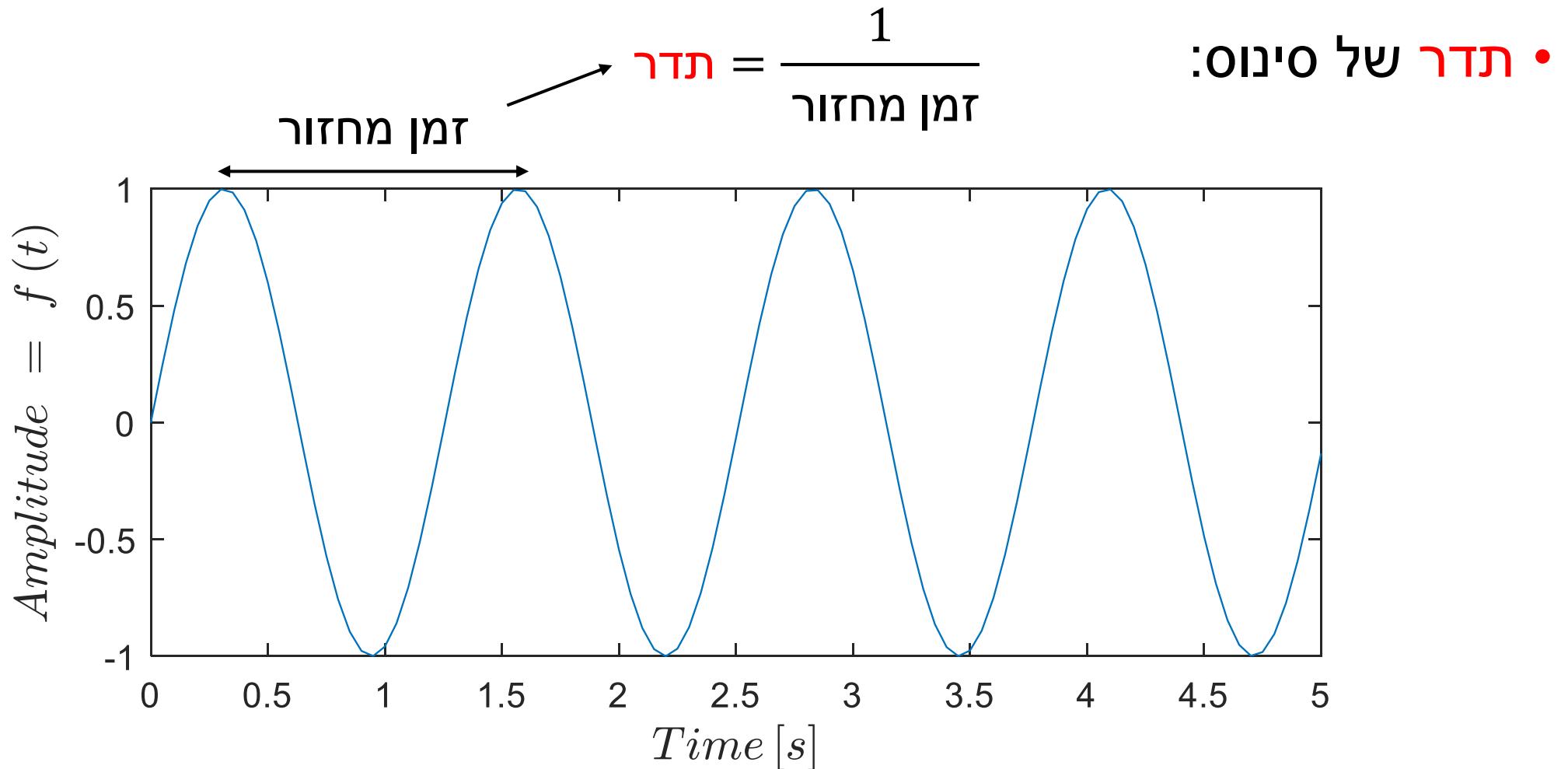
# ייצוג במישור התדר

- היצוג במישור התדר הוא שקול לייצוג במישור הזמן.



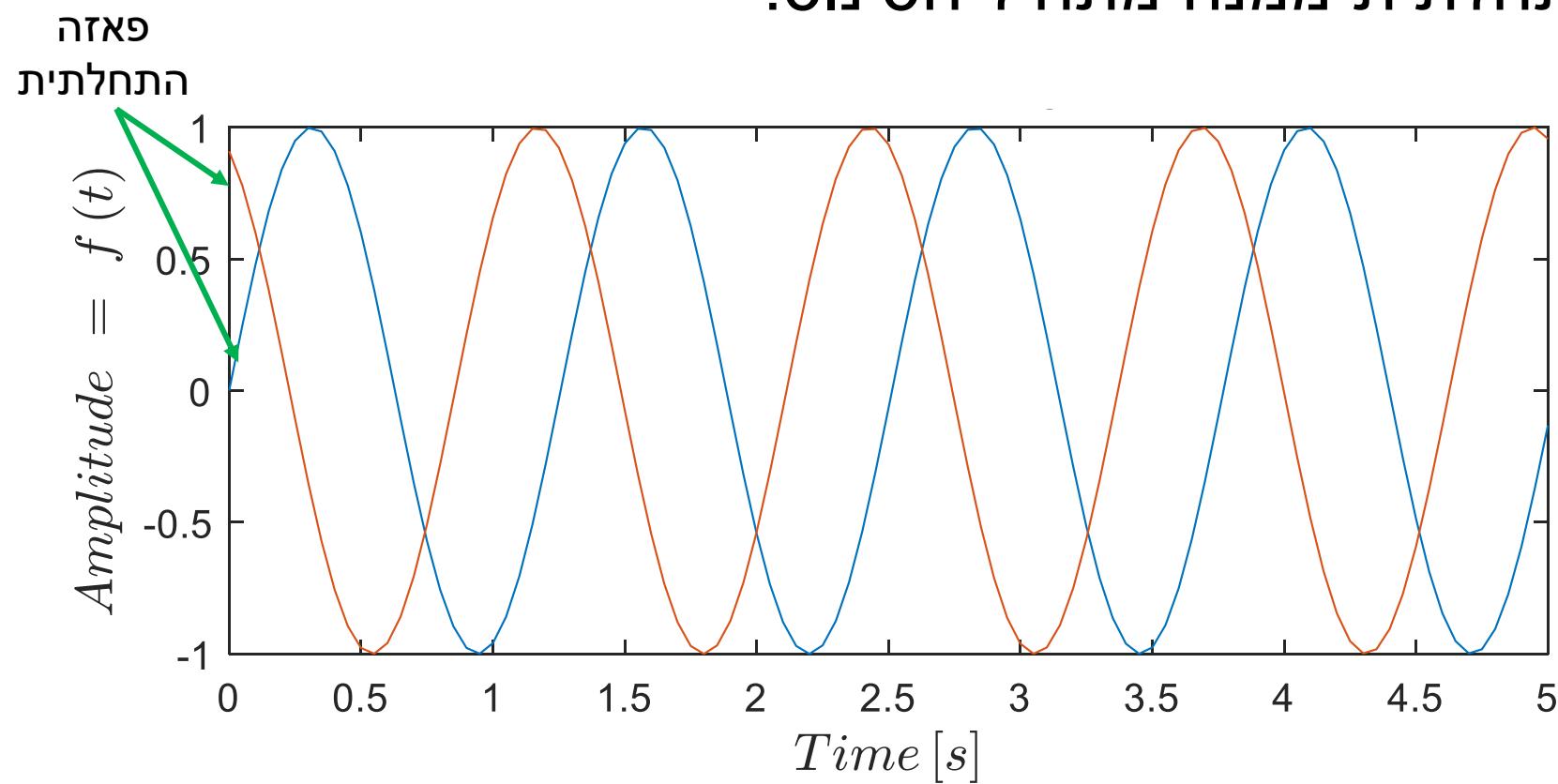
- בין היתר, ההטמרה מאפשרת לנו לנתח את קצב הדגימה המינימלי.

# תדר של סינוס



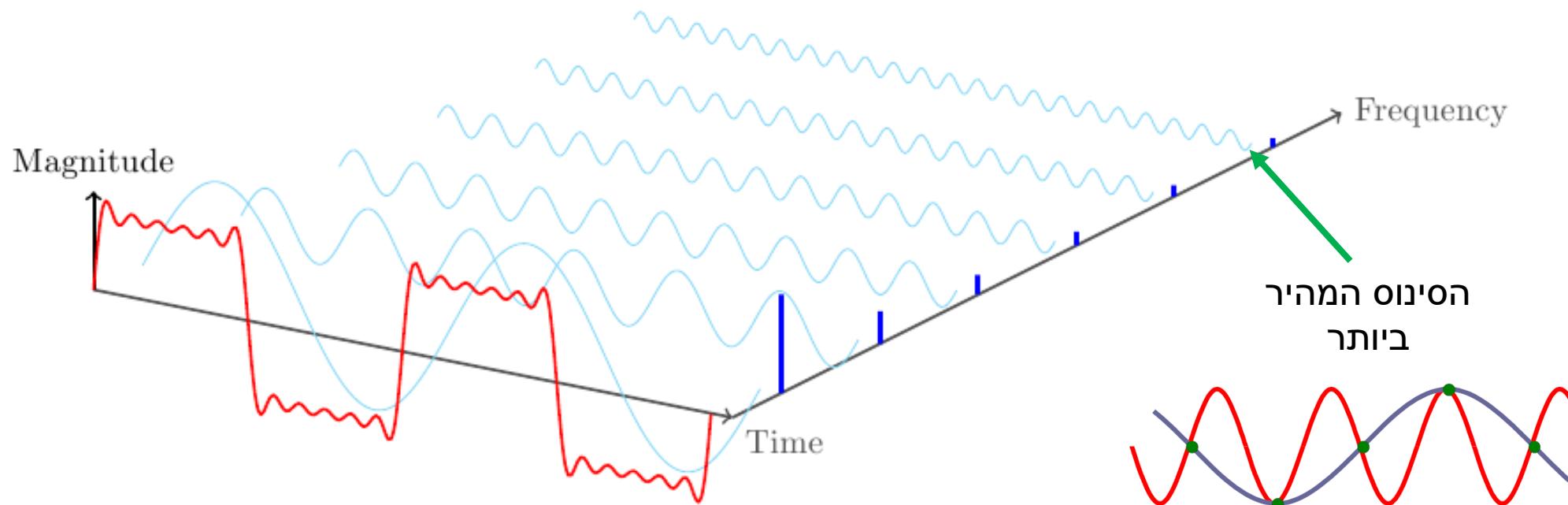
# פaza של סינוס

- פaza התחלתית ממנה מתחליל הסינוס:



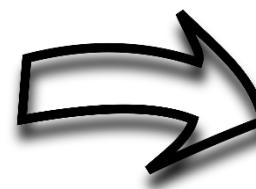
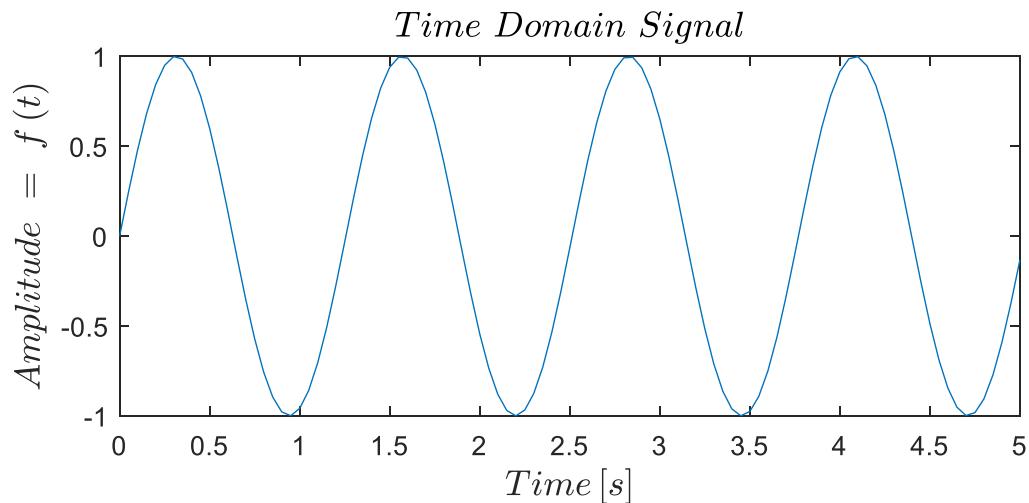
# תדר נייקויסט/Nyquist

- **משפט נייקויסט:** עברו אוטות "חסומי-סרט" אם מתקיים שתדר הדגימה הוא פי שניים מוגבר מהר מאשר בioter, ניתן לשחרר את האות מהדגימות שלו באופן מושלם.

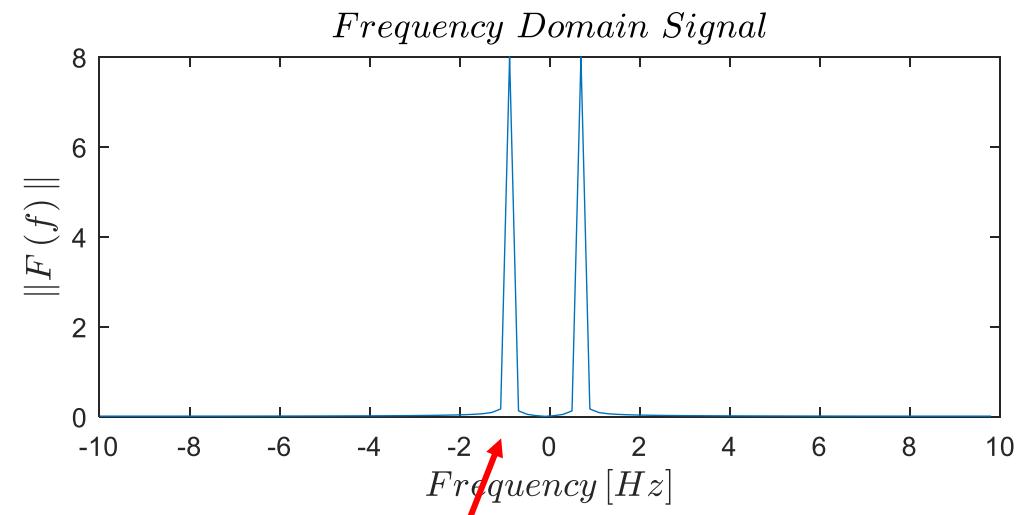


# ייצוג במישור התדר: דוגמא 1:

- אות סינוס חד-מימדי:



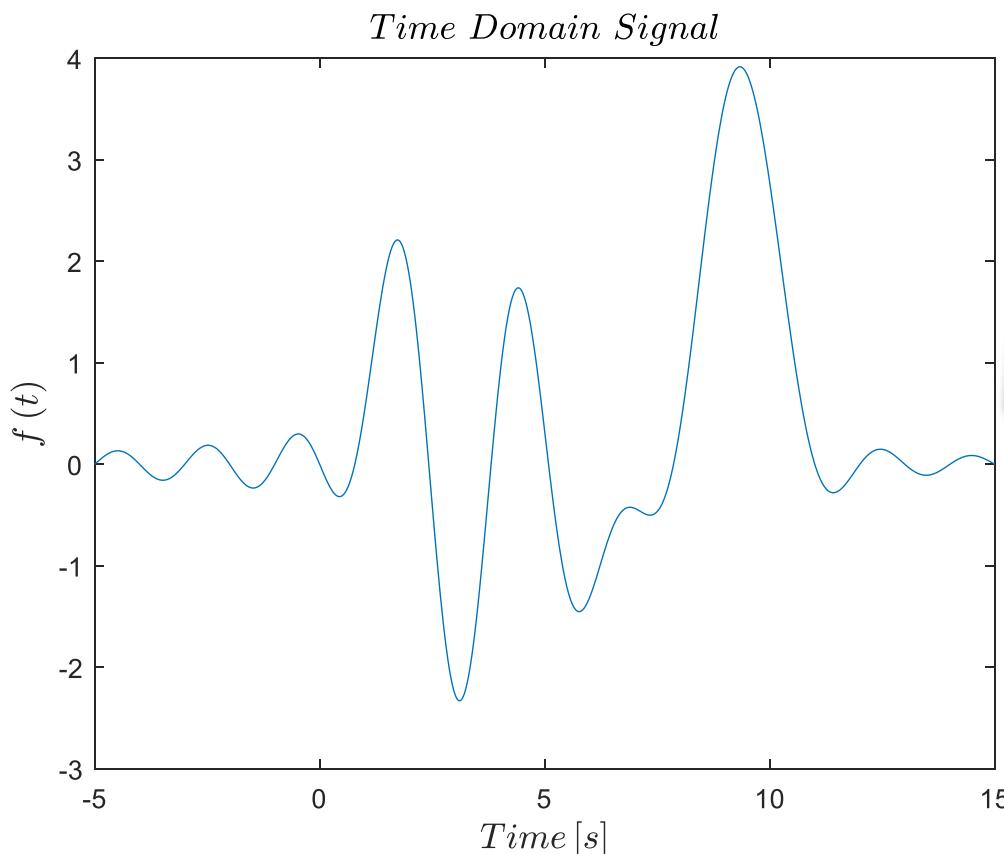
התמרת  
פורייה



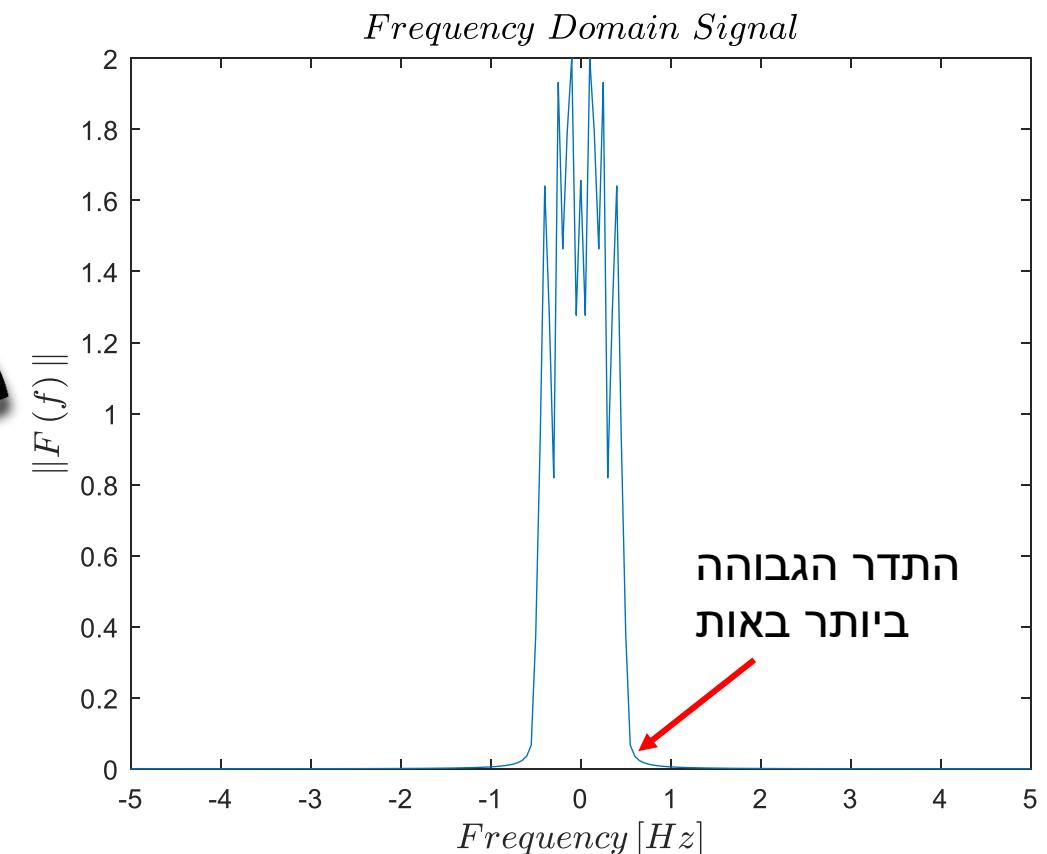
התיאור הופך  
להיות "קומפקטי"  
במישור התדר

## ייצוג במישור התדר: דוגמא 2:

- אות "מורכב" **חד-מימדי**:



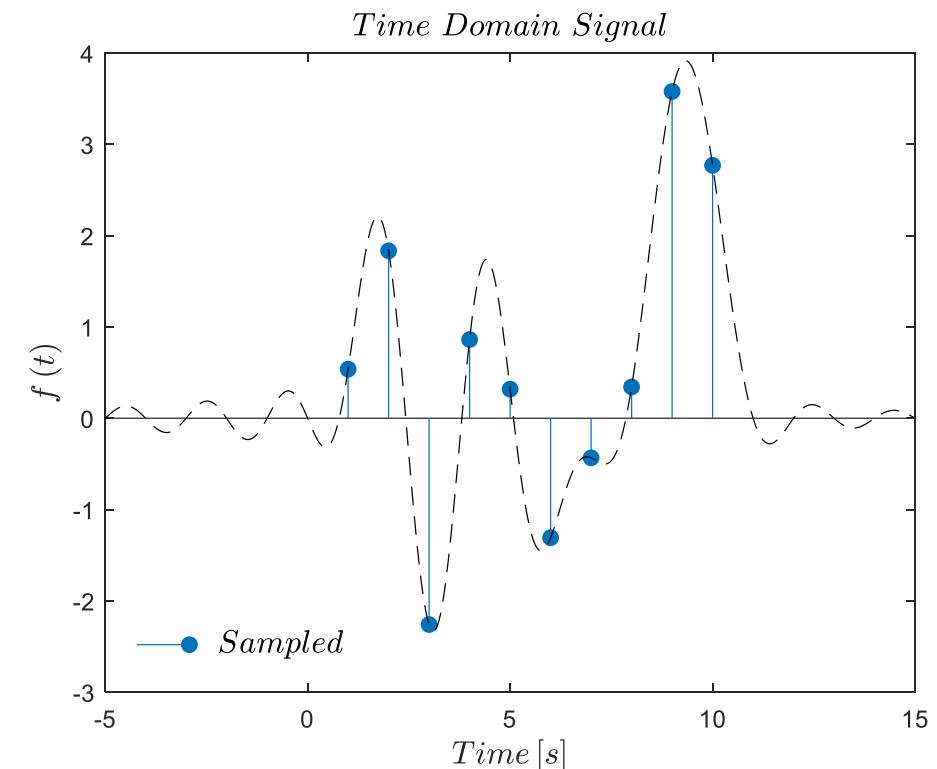
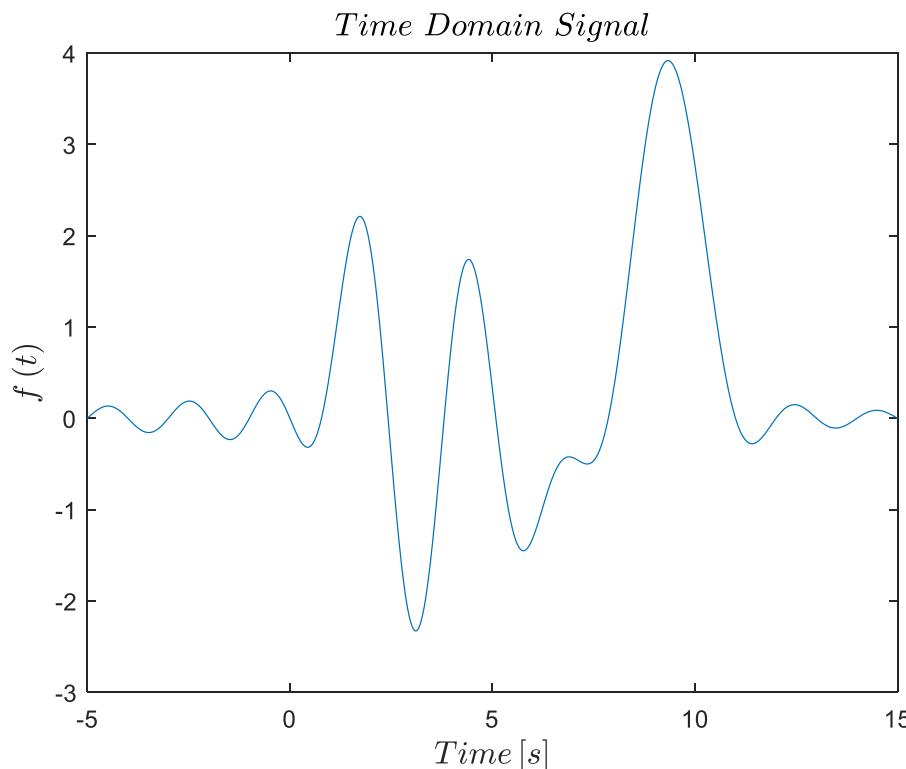
התרמת  
פורייה



התדר הגבוה  
ביותר באות

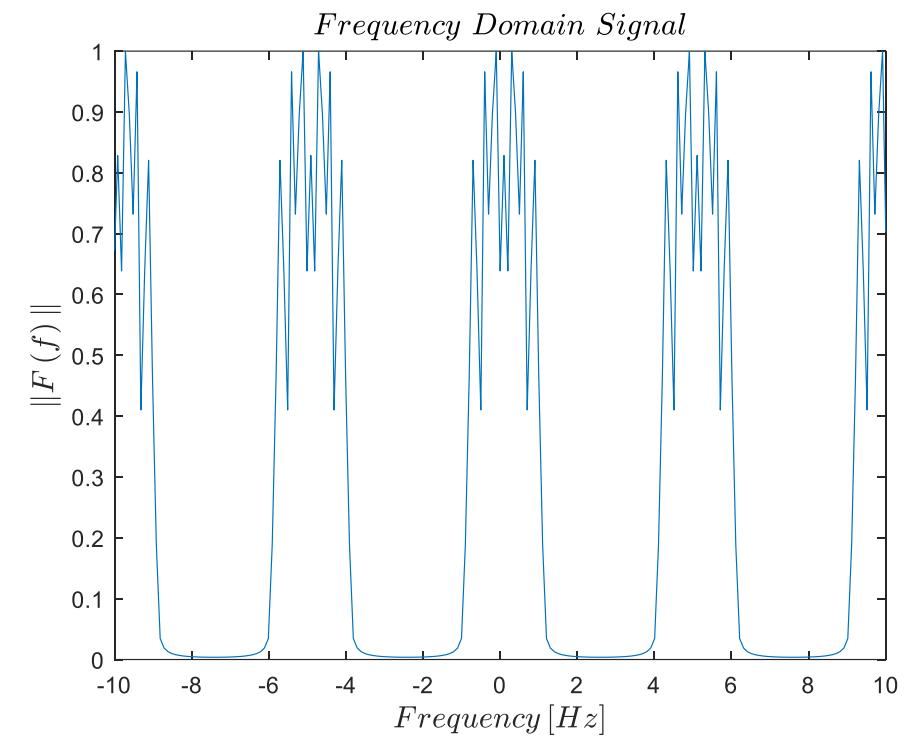
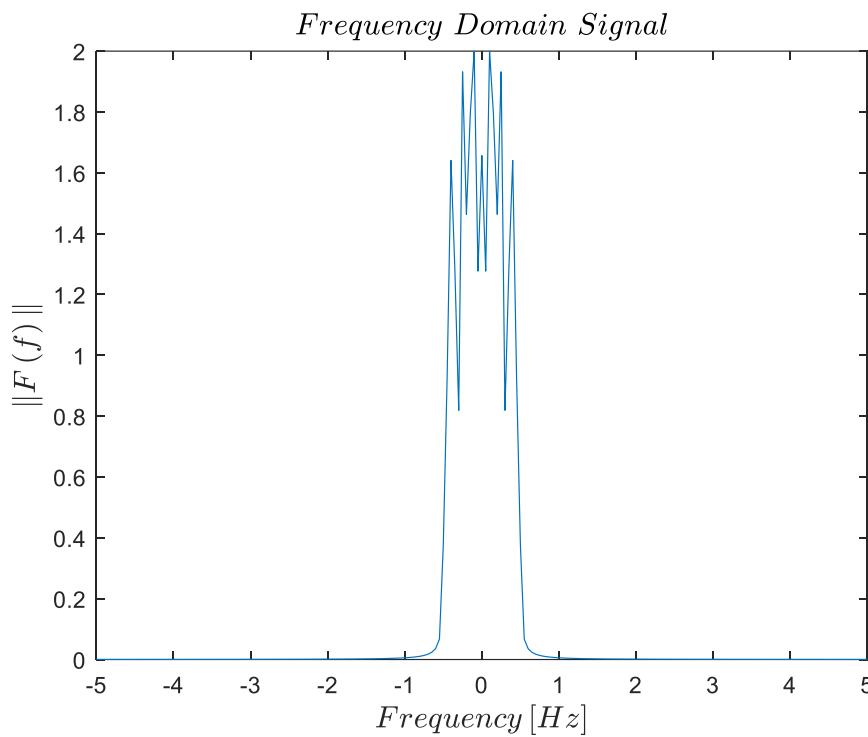
# משפט ניוקויסט במשור התדר

- דגימה במשור הזמן = שכפולים במשור התדר:



# משפט ניוקויסט במשור התדר

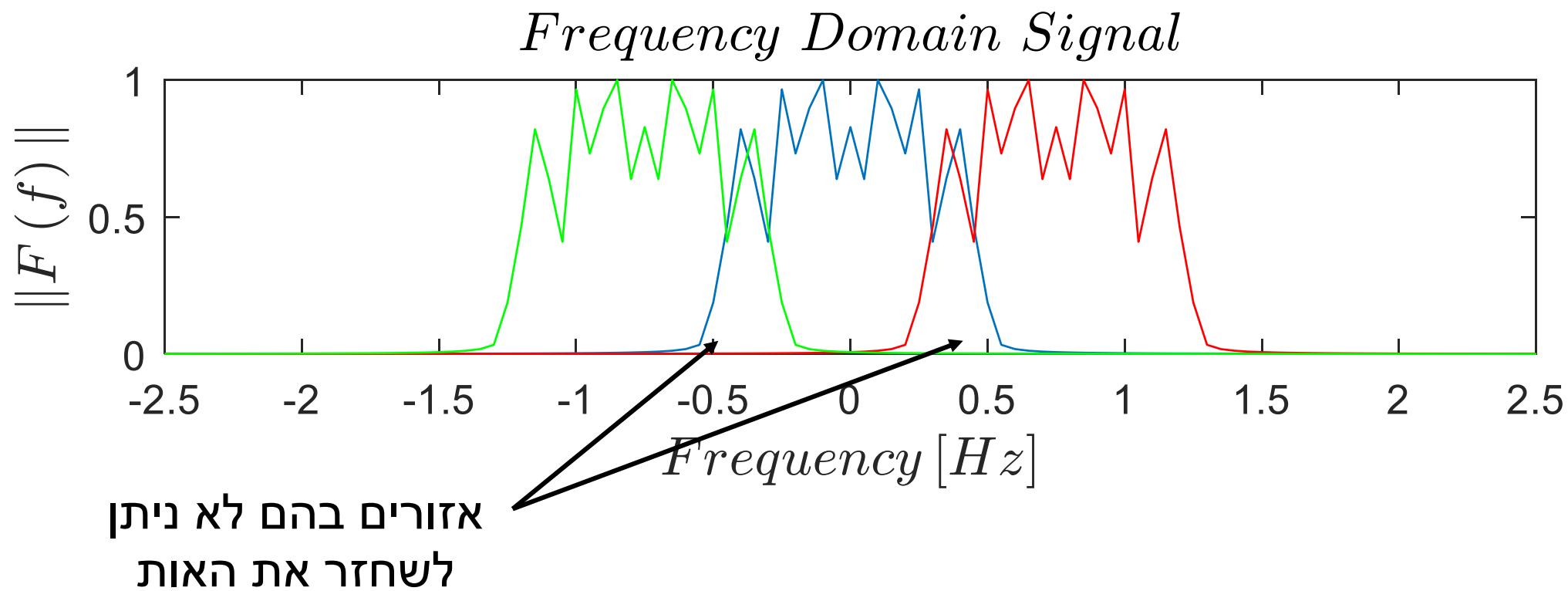
- דגימה במשור הזמן = שכפולים במשור התדר:



מרחך הZZה =  
תדר הדגימה

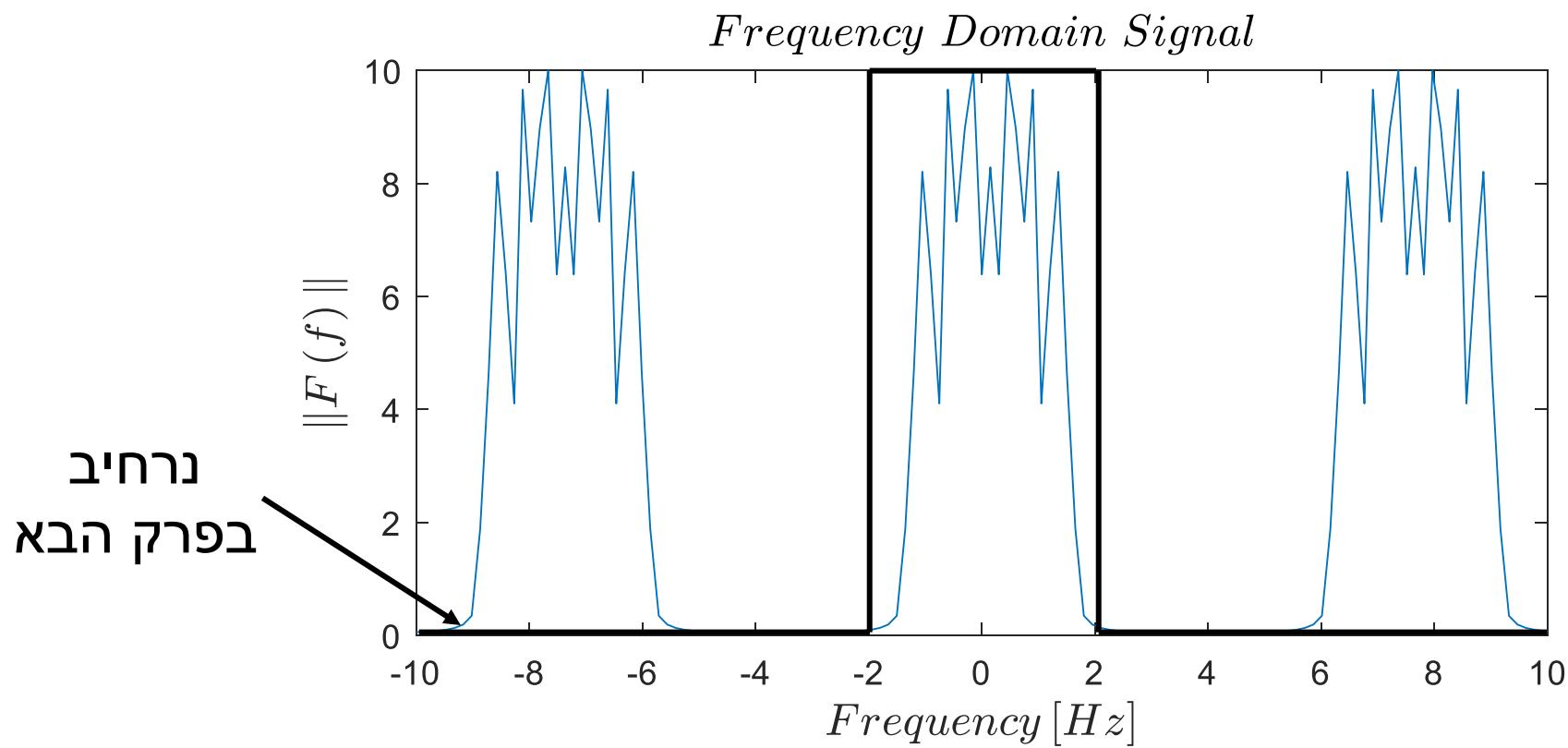
# משפט ניוקויסט במשור התדר

- תופעת ה-Aliasing = השכפולים עולים אחד על השני:



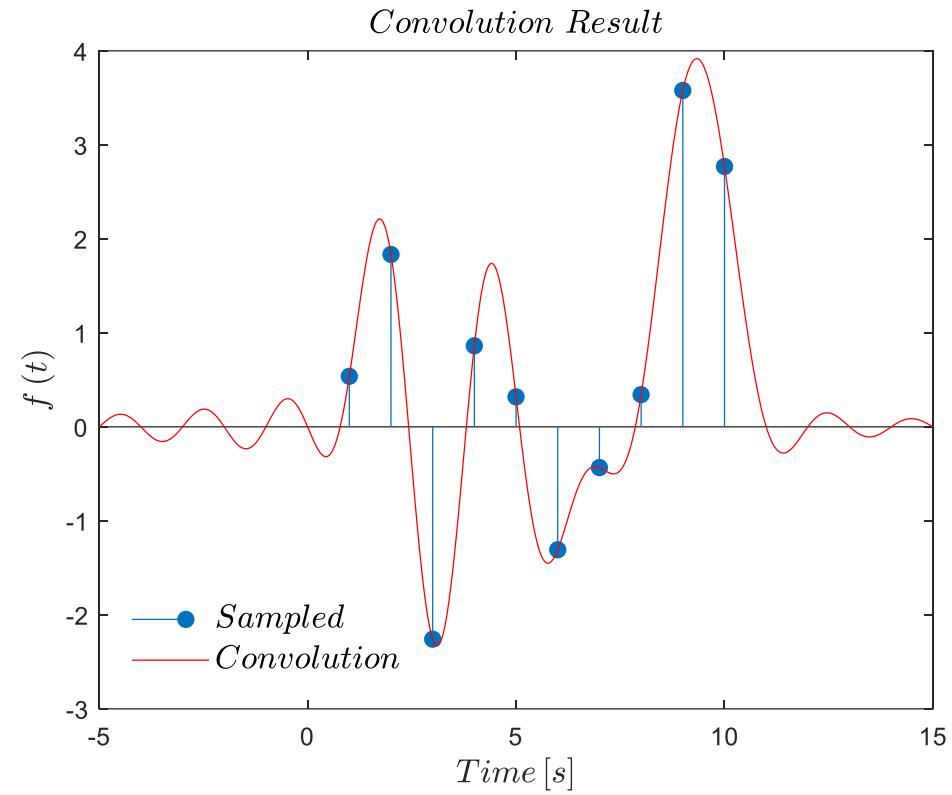
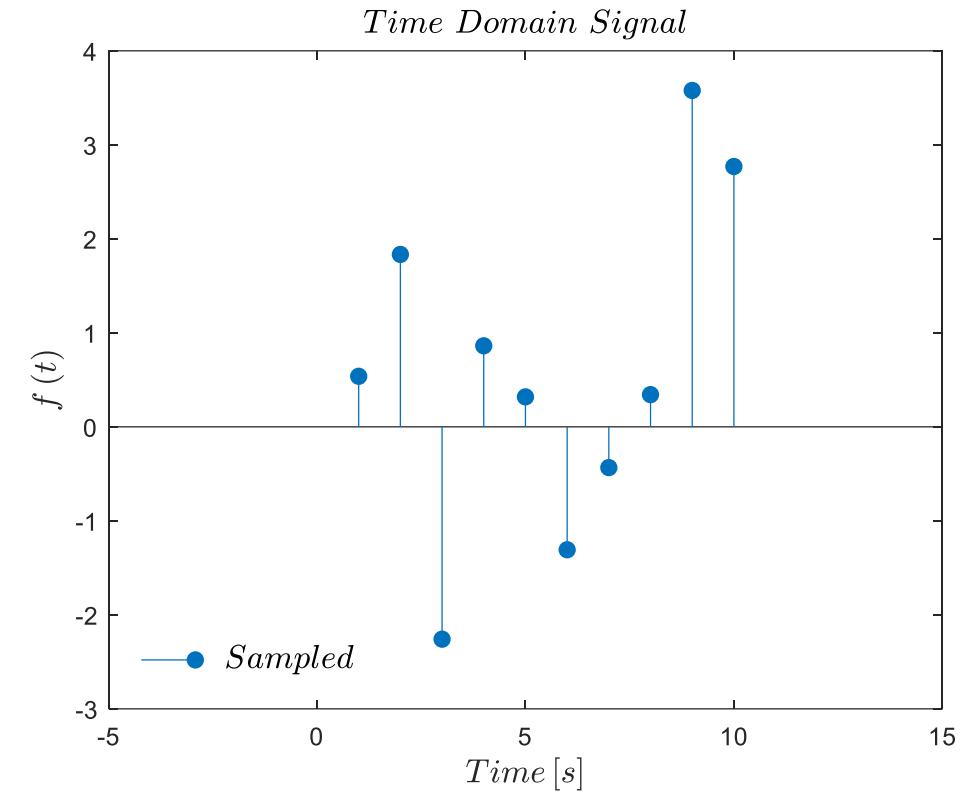
# שחזר במרחב התדר

- איך נשחזר במקרה של דגימה בתדר מסוים גובהה?



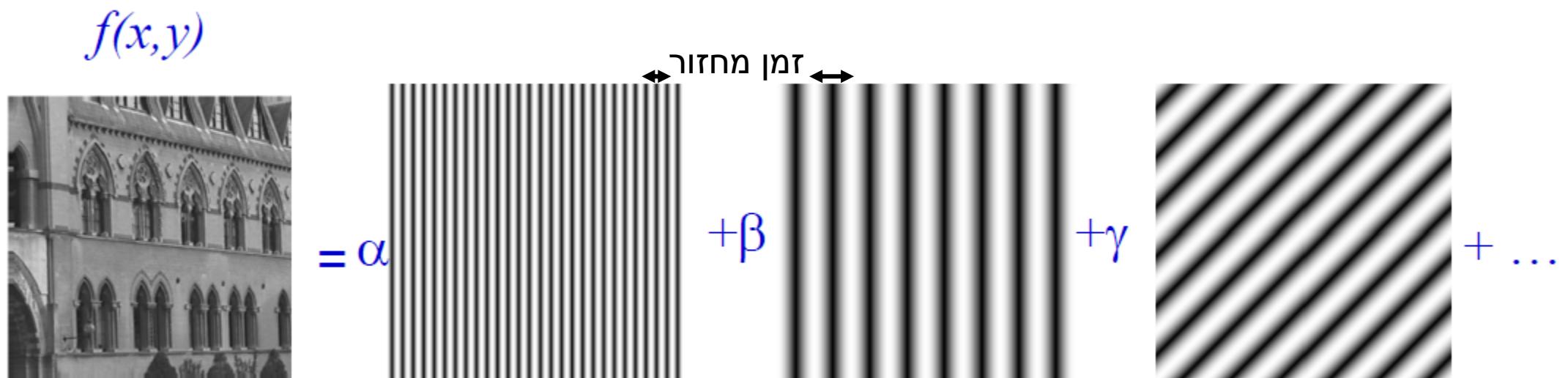
# כפל בתרן = קונבולוציה בזמן

- באופן שקויל ניתן לשחזר את האות על ידי קונבולוציה עם המסנן בזמן:



# התמרת פורייה עברota **דו-מימדי**

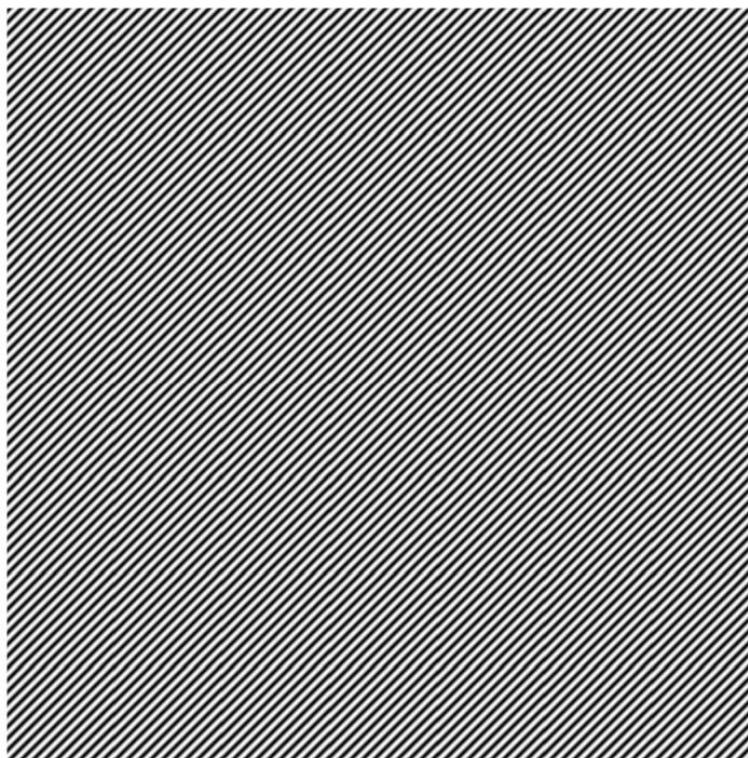
- ניתן לפרק תമונות לסכום של סינוסים/קווינוסים ב**דו-מימד**:



- במקרה זה המשמעות של זמן מחזור היא המרחק בין שני "קווים לבנים", והתדר הנידון הוא **מרחבית** ולא **זמן**.

# התמרת פורייה עברota 2D-מימדי

- תדר מרחבי:



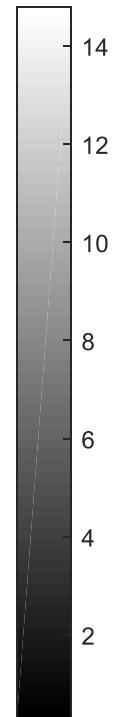
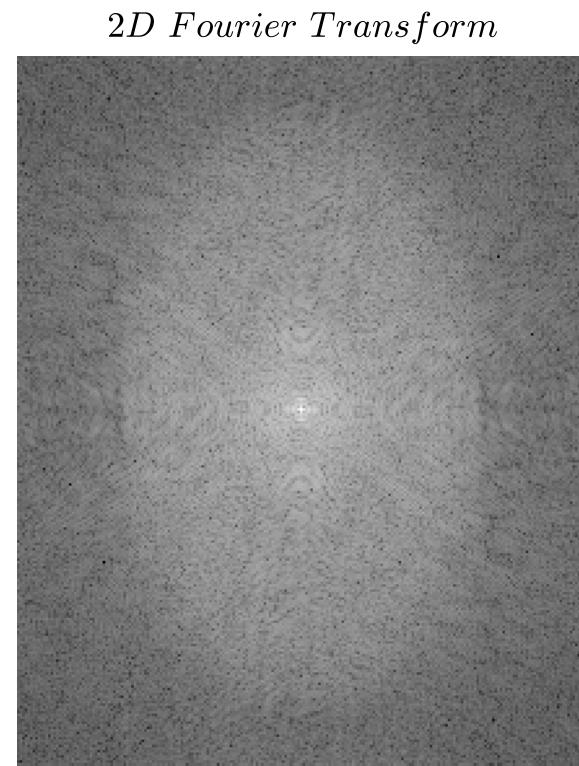
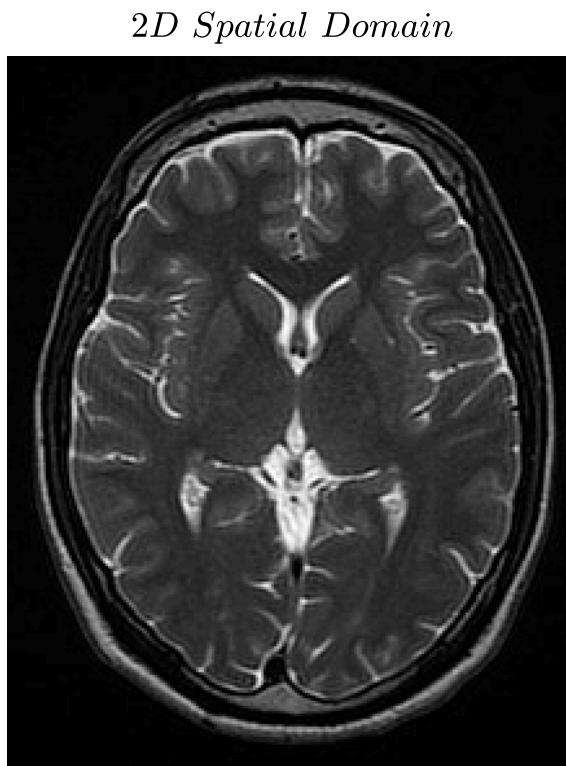
תדר מרחבי  
גבואה



תדר מרחבי  
נמוך

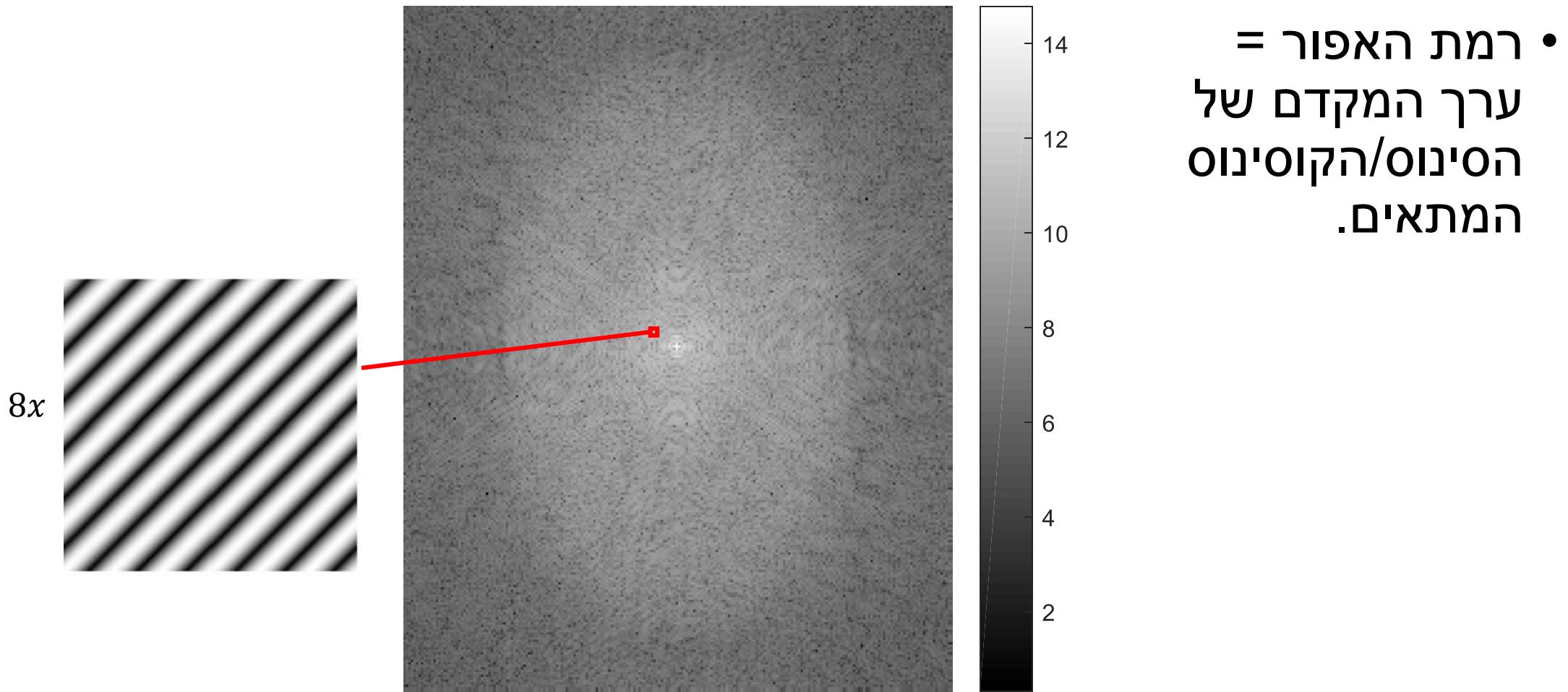
# ייצוג במישור התדר המרחבבי: דוגמא:

- התרמת פורייה **2D**-מימדית של תמונה MRI:



# מקדמי ההתמרה ב-**2D**-מימד:

*2D Fourier Transform*

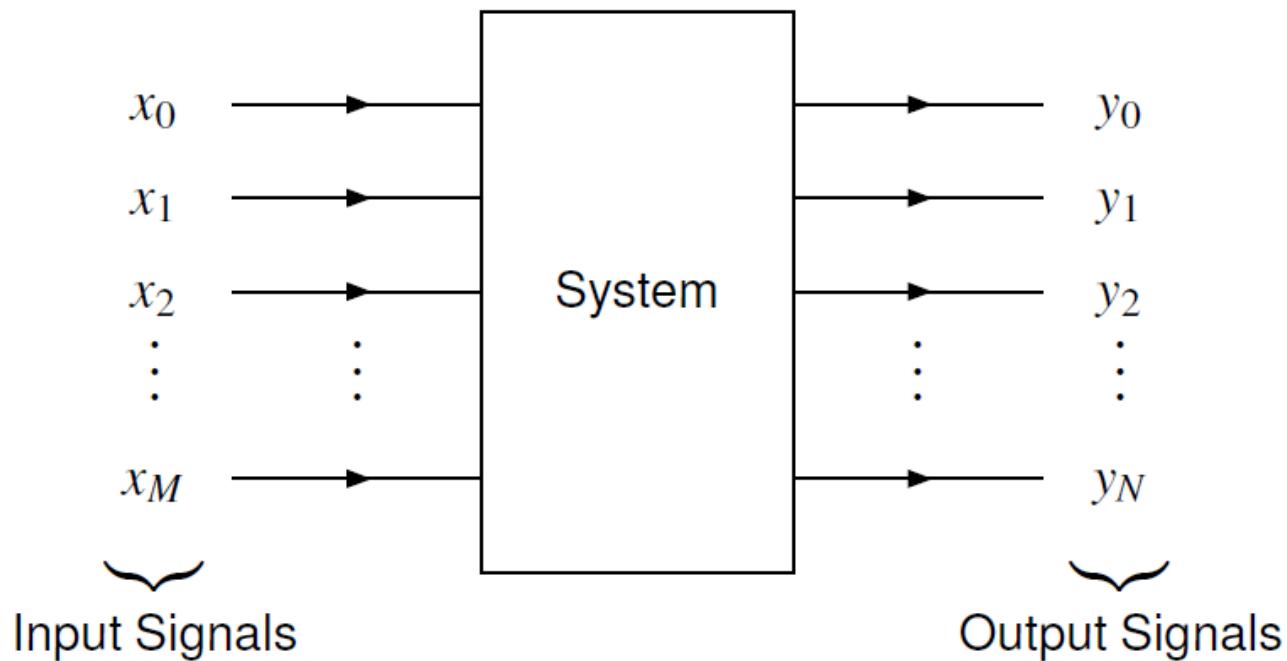


# מה בתכנית?

- **אותות ומערכות**
  - ✓ סוגים של אותות
  - ✓ קוונטיציה/דגימה
  - ✓ ייצוג במישור התדר ע"י התמרת פורייה
- **מסננים דיגיטליים**
- **שיעור סטטיוסטי**
- **שיעור מדידות רועשות**
- **שימושים של פונקציית הקורלציה**
- **התמורות משולבות של זמן-תדר**
- **דוגמה מסכמת**

# מה היא מערכת?

- **מערכת**: סט של פעולות (בד"כ מודל מתמטי) אשר מגדר את הקשר בין היציאה לכינוסה.
- מערכת יכולה להכיל מספר כניסה ומספר יציאות:

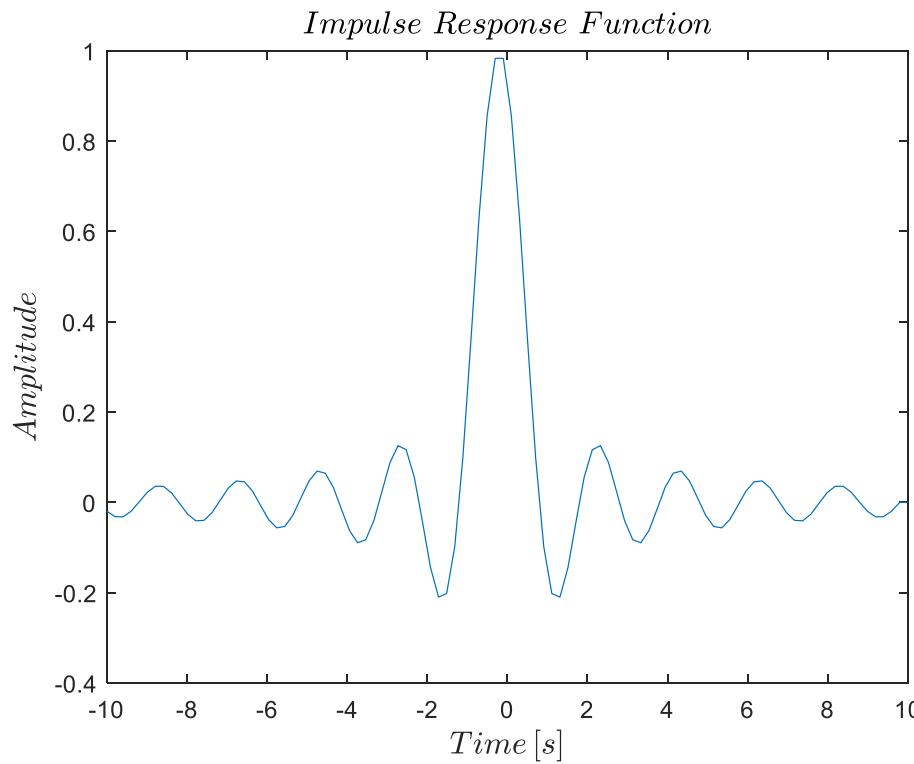


# מסננים דיגיטליים

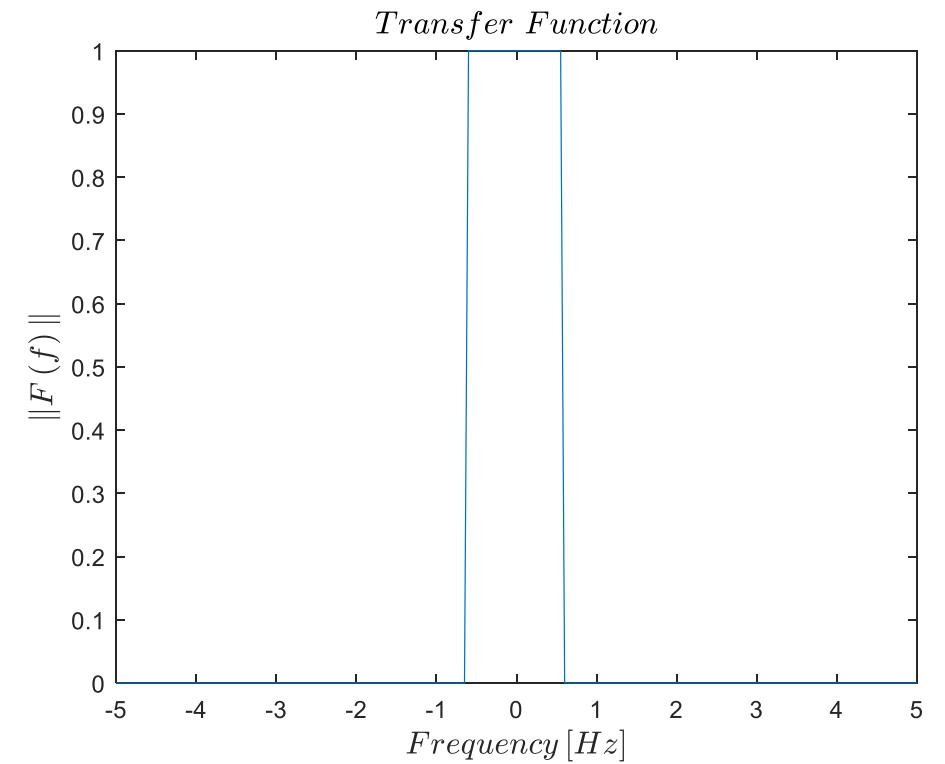
- במרקורים רבים נרצה לשנות את התכולה התדרית של האות, למשל להנחתה/להגברת תדרים מסוימים.
- תהליך זה של שינוי התכולה התדרית של האות נקרא **סינון/filtering**.
- מערכת שמבצעת תהליך סינון נקראת  **מסנן/filter**.
- מסננים סלקטיביים בתדרם הם מסננים המעבירים בתחום תדרים מסוימים כמעט ללא שינוי, תוך כדי הנחתת שאר התדרים משמעותית.
- ישנם שלושה סוגים בסיסיים של מסננים סלקטיביים:
  - מסנן מעביר נמוכים/Low Pass Filter (LPF)
  - מסנן מעביר גבוהים/High Pass Filter (HPF)
  - מסנן מעביר פס/Band Pass Filter (BPF)

# מסנן מעביר נמוכים LPF

- זהו המסנן שכבר רأינו:



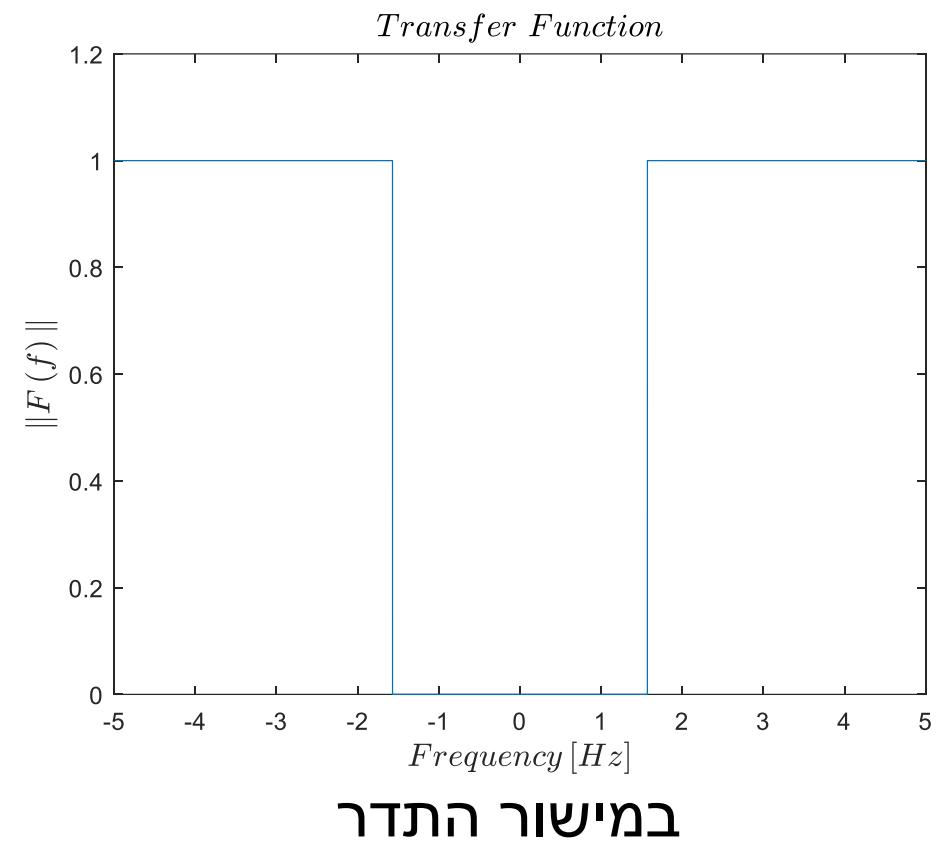
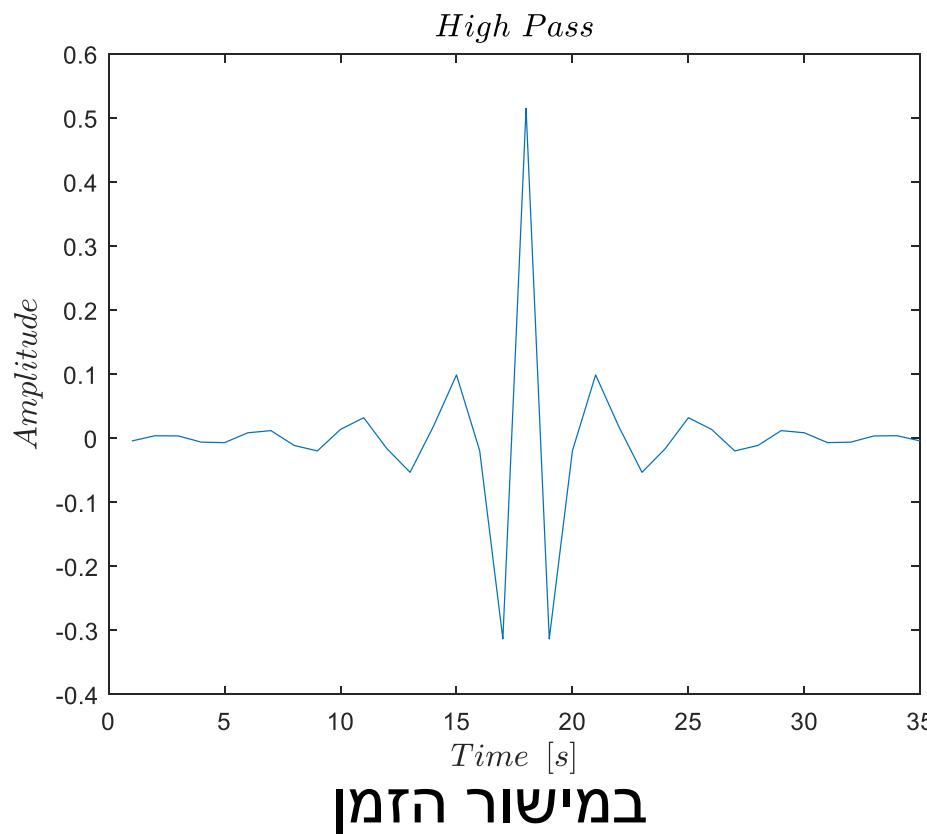
במישור הזמן



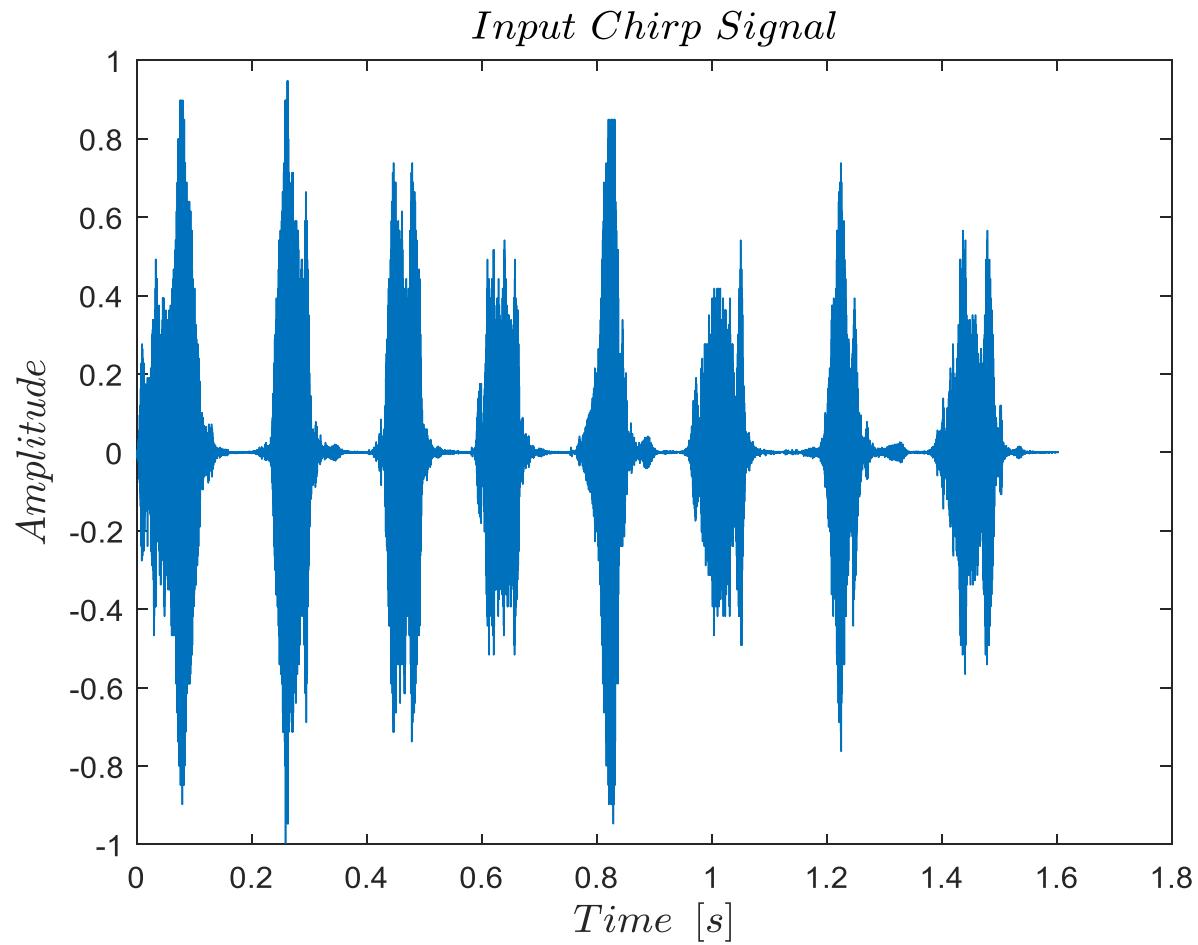
במישור התדר

# מסנן מעביר גבוהים HPF

- זהו מסנן שמנחית תדרים נמוכים:



# סינון חד-מימדי: דוגמא:

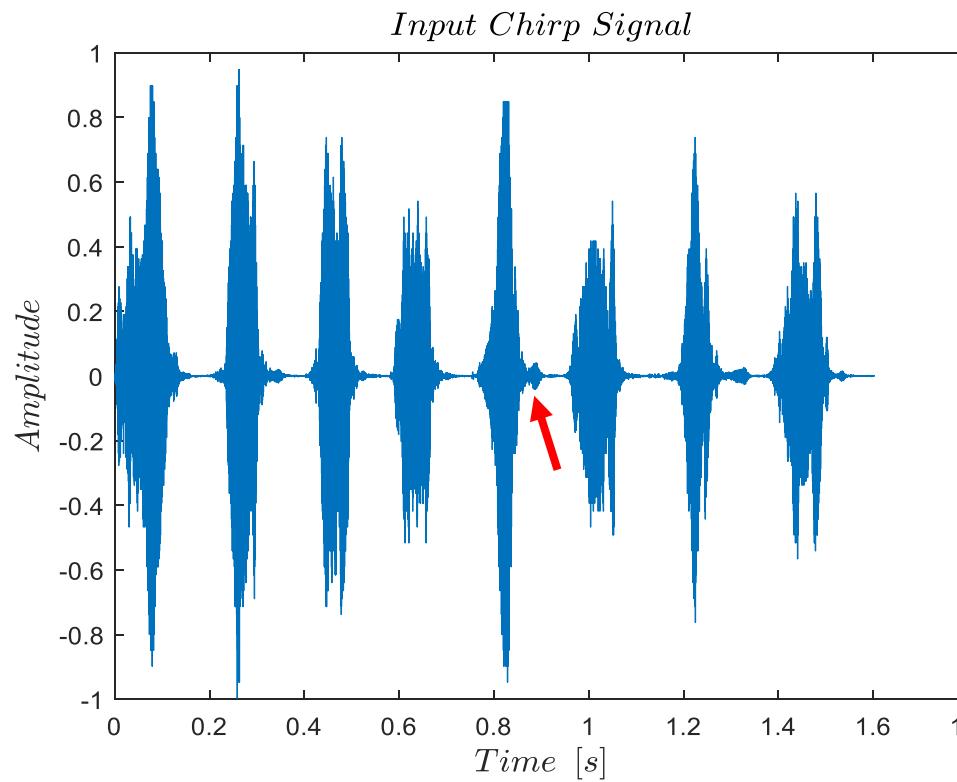


- נתון אות הבא:

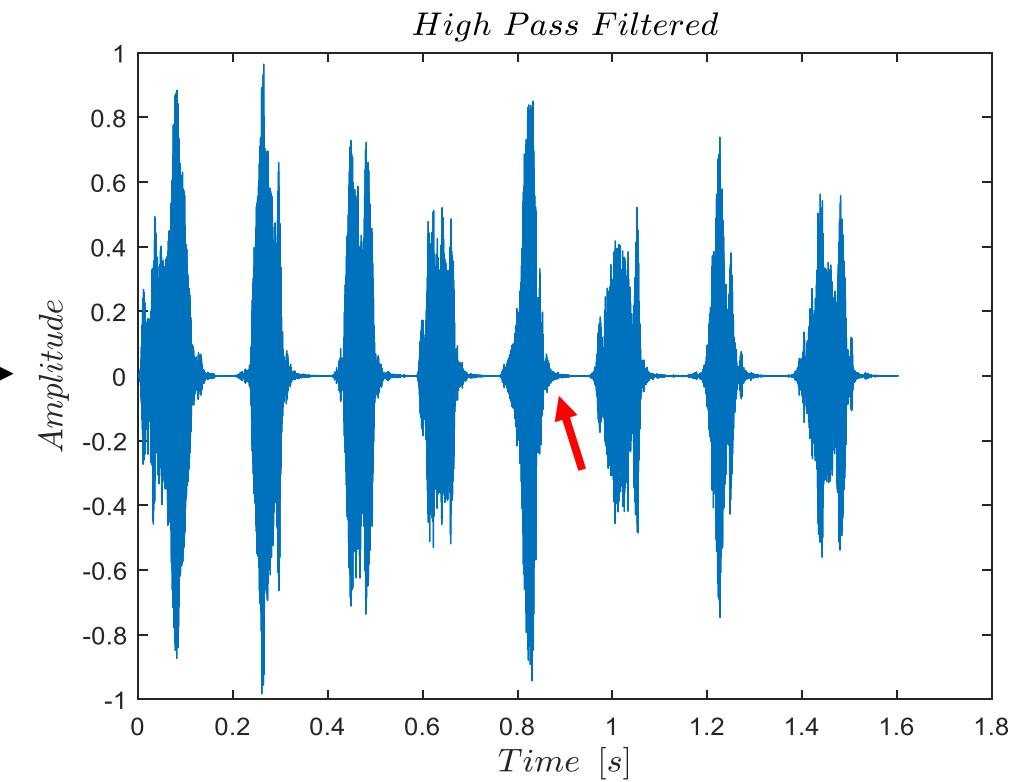


# סיבוז חד-מימדי: דוגמא:

• אינט:



HPF



## סינון **חד**-מימדי: דוגמא:

- שאלה: איך זה השפיע על הצליל?

אחרי

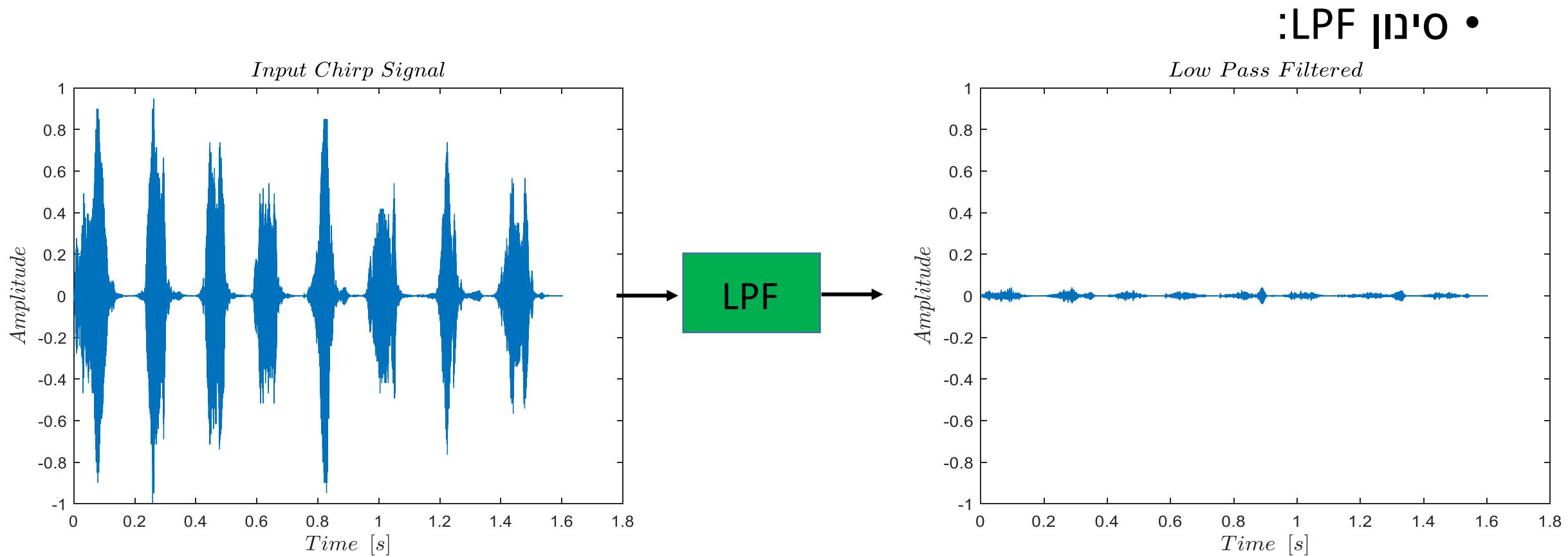


לפני



- מה עם סינון LF?

# סיבוז חד-מימדי: דוגמא:



## סינון **חד**-מימדי: דוגמא:

- שאלה: איך זה השפיע על הצליל?

אחרי



לפני



- שאלה: מה יקרה באוטות **DOI**-מימדיים לתמונה?

# סינון 2D-מידי: דוגמא 1:

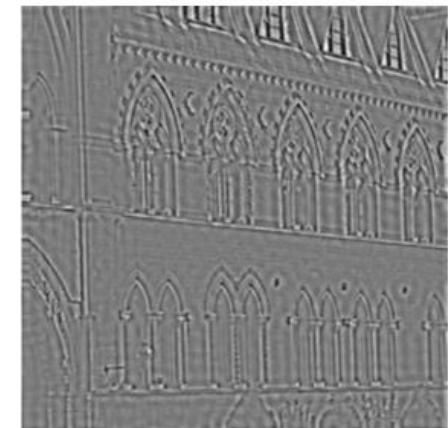
$f(x,y)$



original

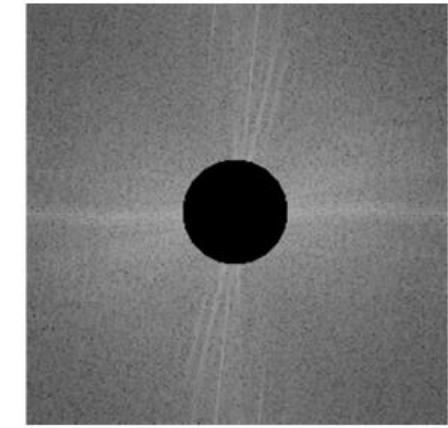
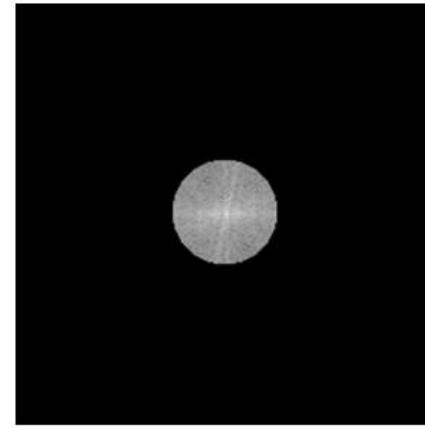
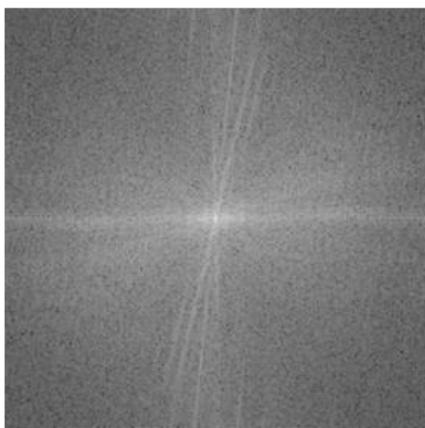


low pass

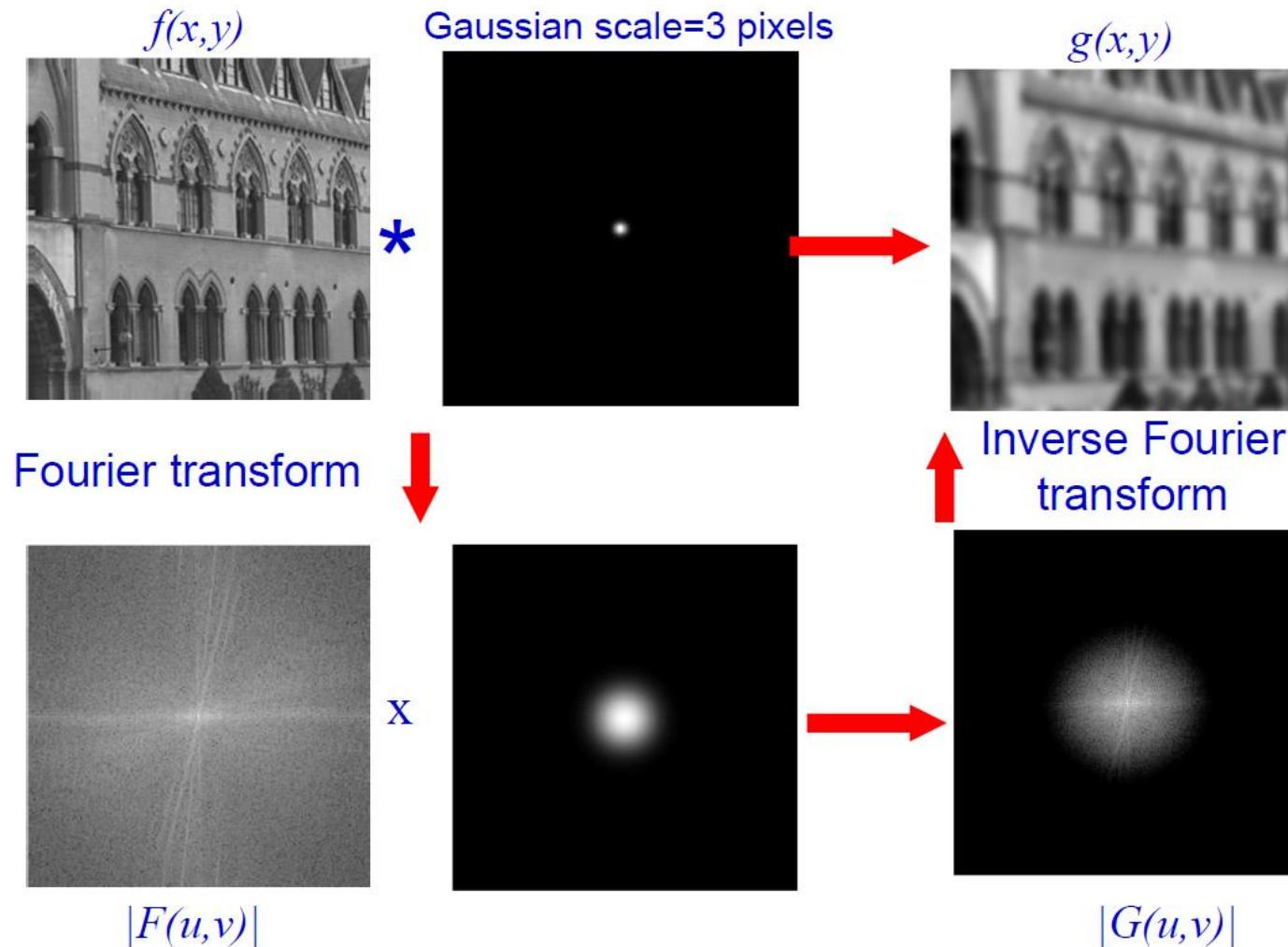


high pass

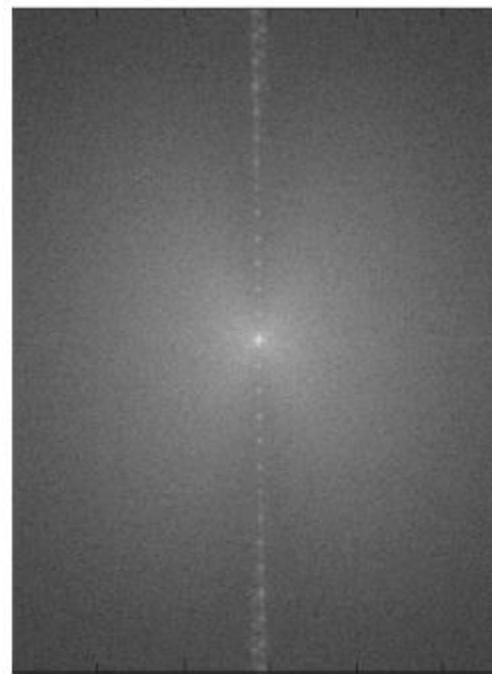
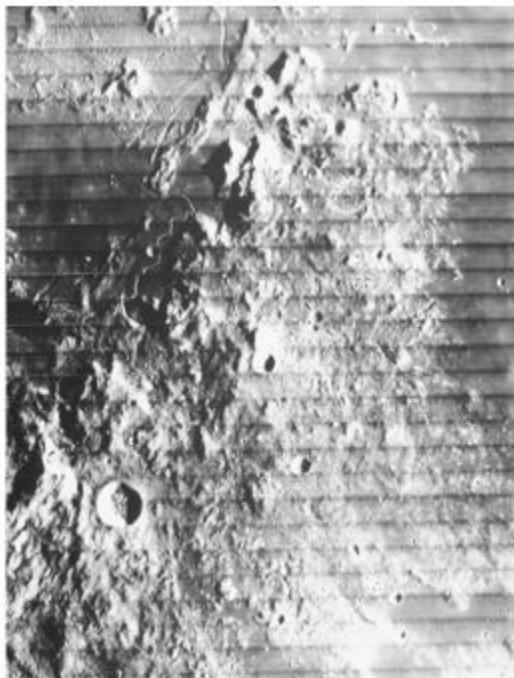
$|F(u,v)|$



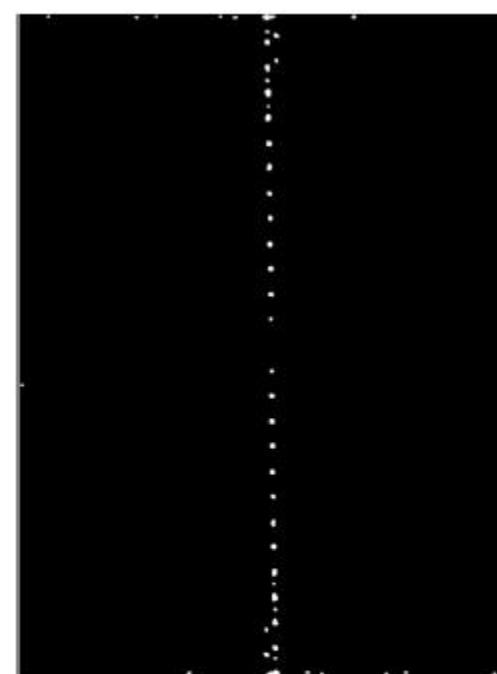
# סינון LPF בתמונות = טיטווש



## דוגמאות 2: החרשת סיגנון HPF בתמונות



$$|F(u,v)|$$



remove  
peaks

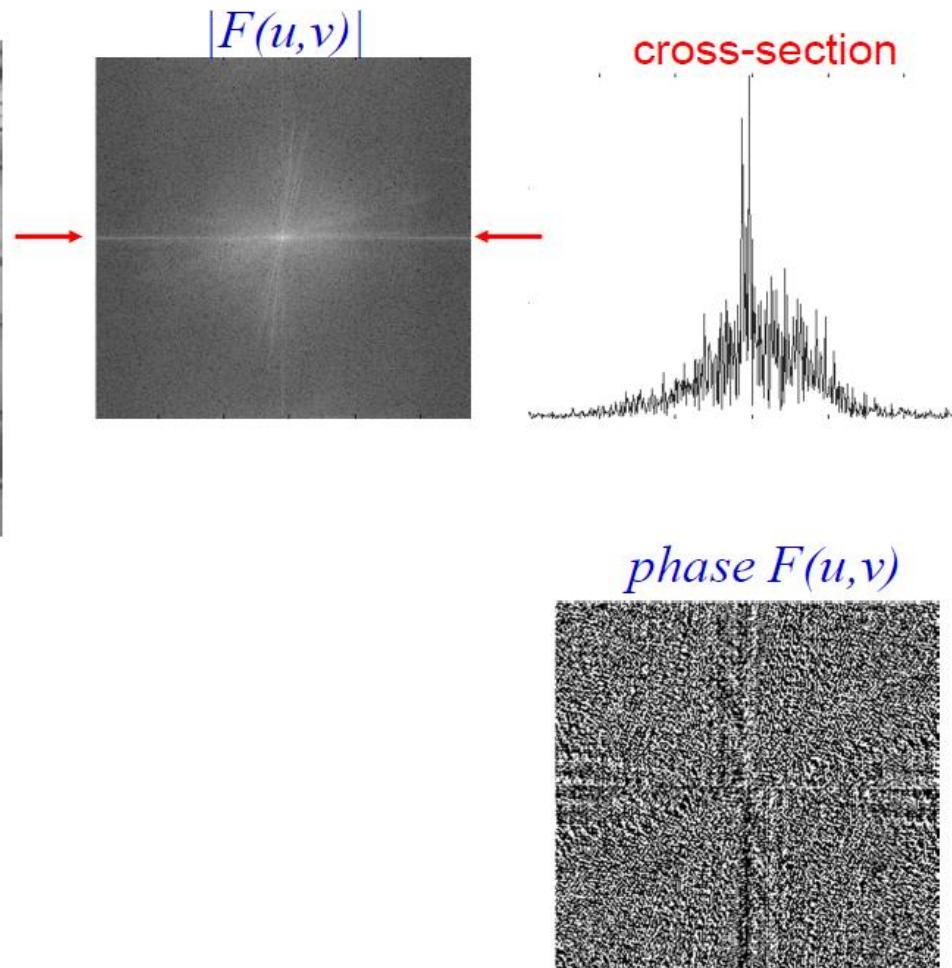


join lines  
removed

# חישבות הפאזה

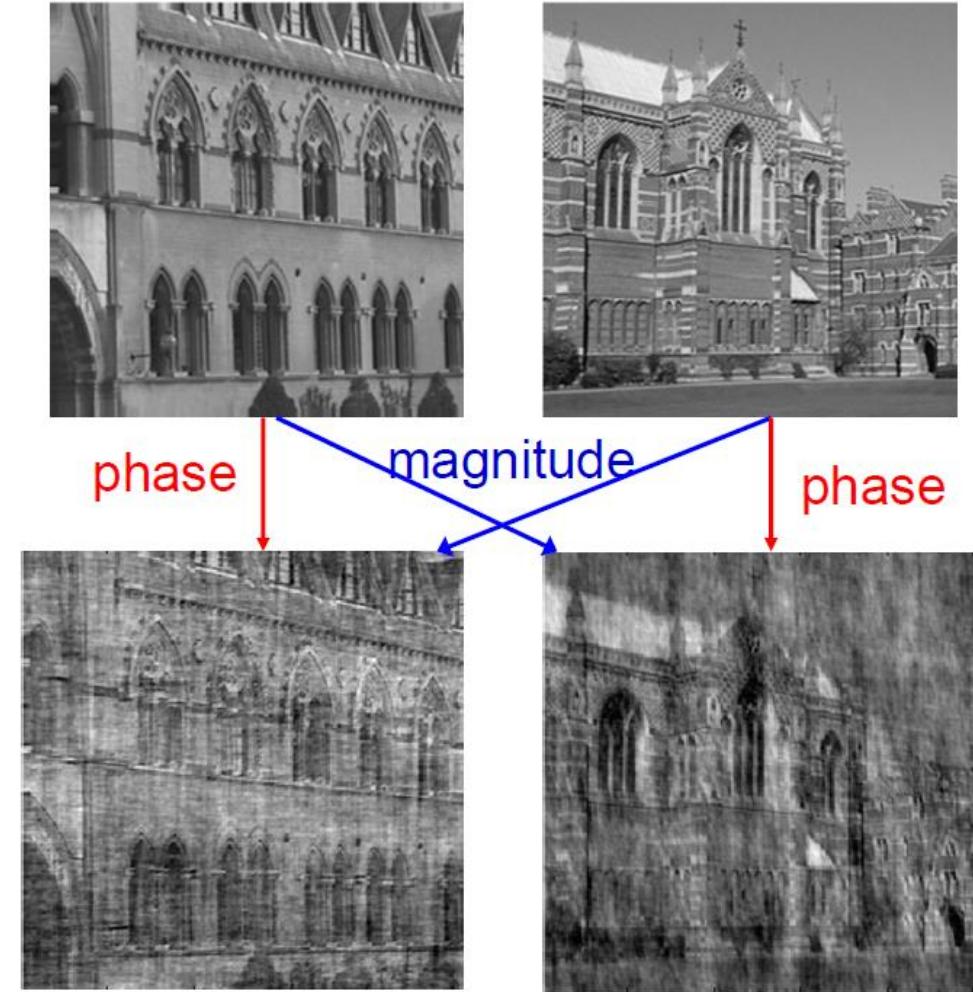


$f(x,y)$



- עד כה כל הניתוח שלנו במשור פורייה התייחס לאmplיטודה.
- לא התייחסנו לאינפורמציה המגולמת בפaza.
- **שאלה:** איז מה? כמה זה קרייטי להתייחס לפaza?

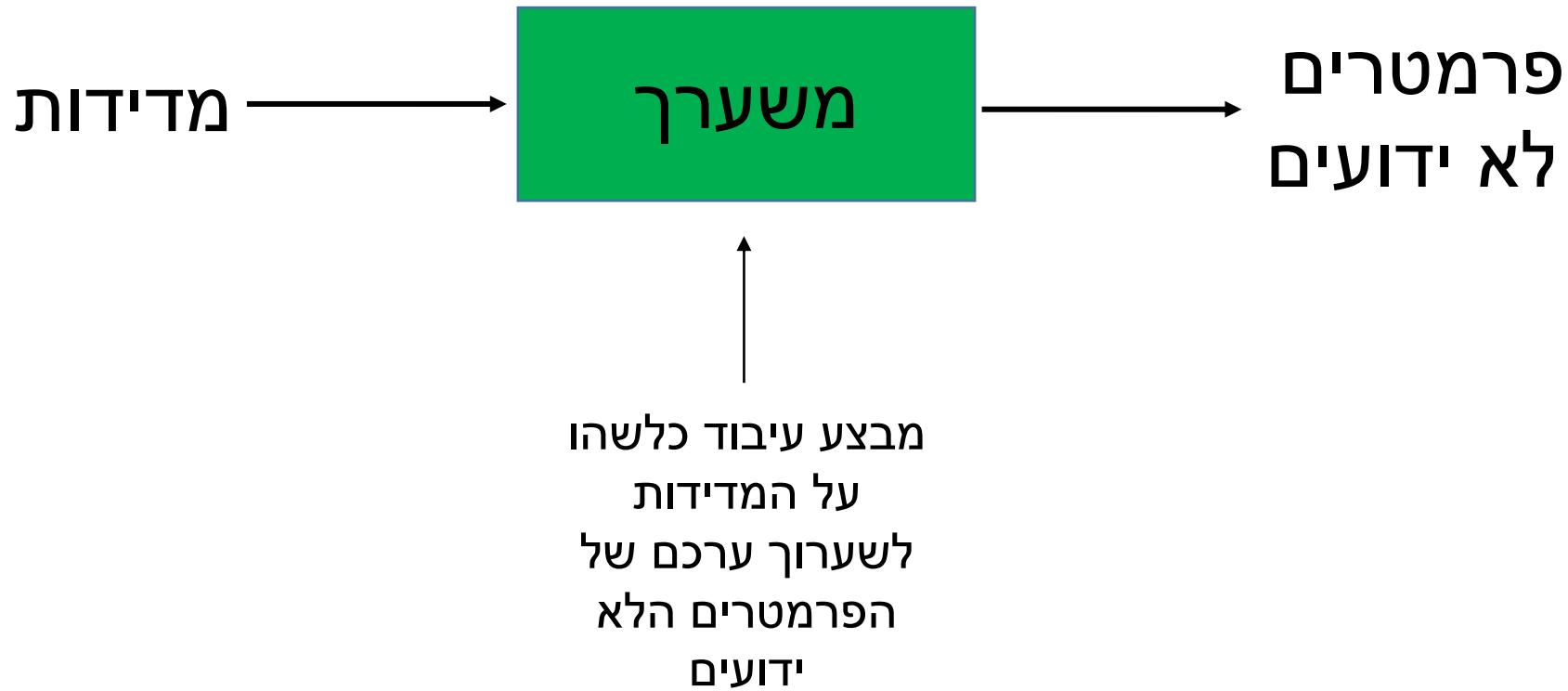
# חישובת הפאה בתמונות



# מה בתכנית?

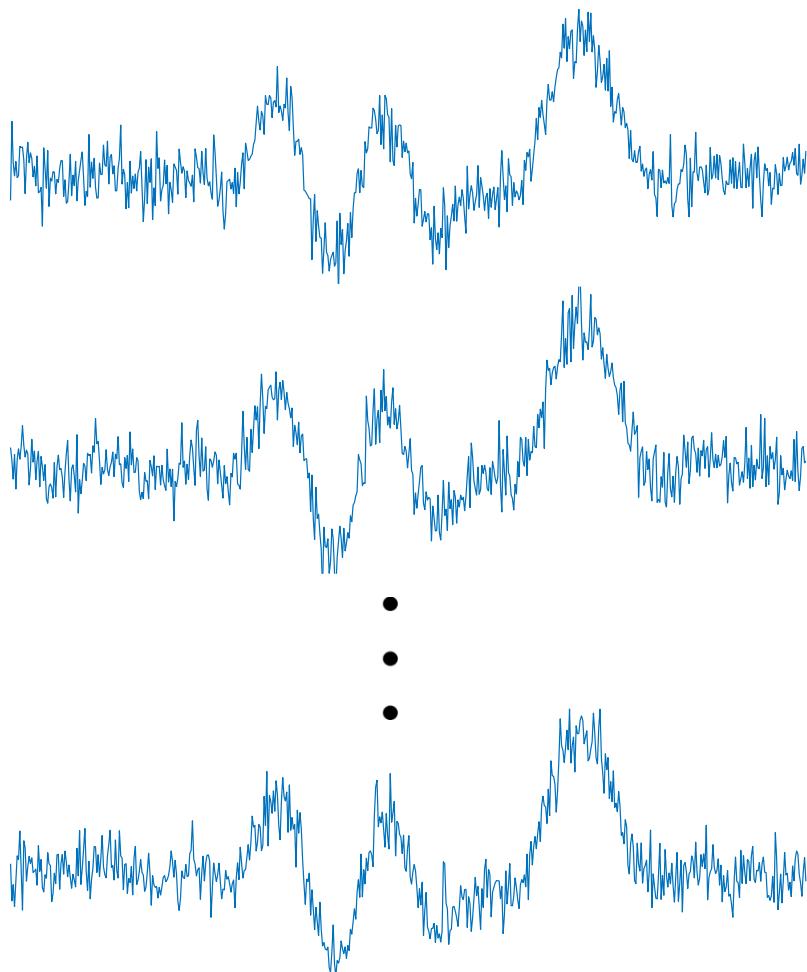
- ✓אותות ומערכות
- ✓סוגים של אותות
- ✓קוונטיזציה/דגימה
- ✓ייצוג במישור התדר ע"י התמרת פורייה
- ✓מסננים דיגיטליים
- **שיעור סטטיסטי**
  - שיעור ממדידות רouseות
  - שימושים של פונקציית הקורלציה
  - התמורות משולבות של זמן-תדר
  - דוגמה מסכמת

# שיעור סטטיסטי: כללי המשחק



# מוטיבציה 1: ניקוי רעש מדידה

*Measurements*



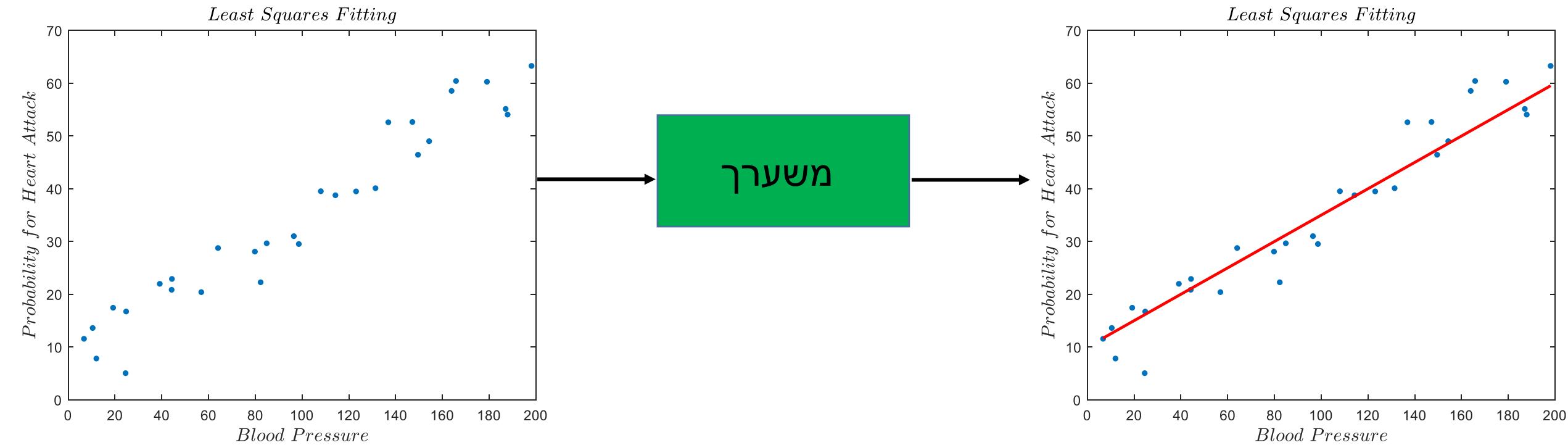
- שירוך אותן נקי מדידות חוזרות:



*Estimated Signal*

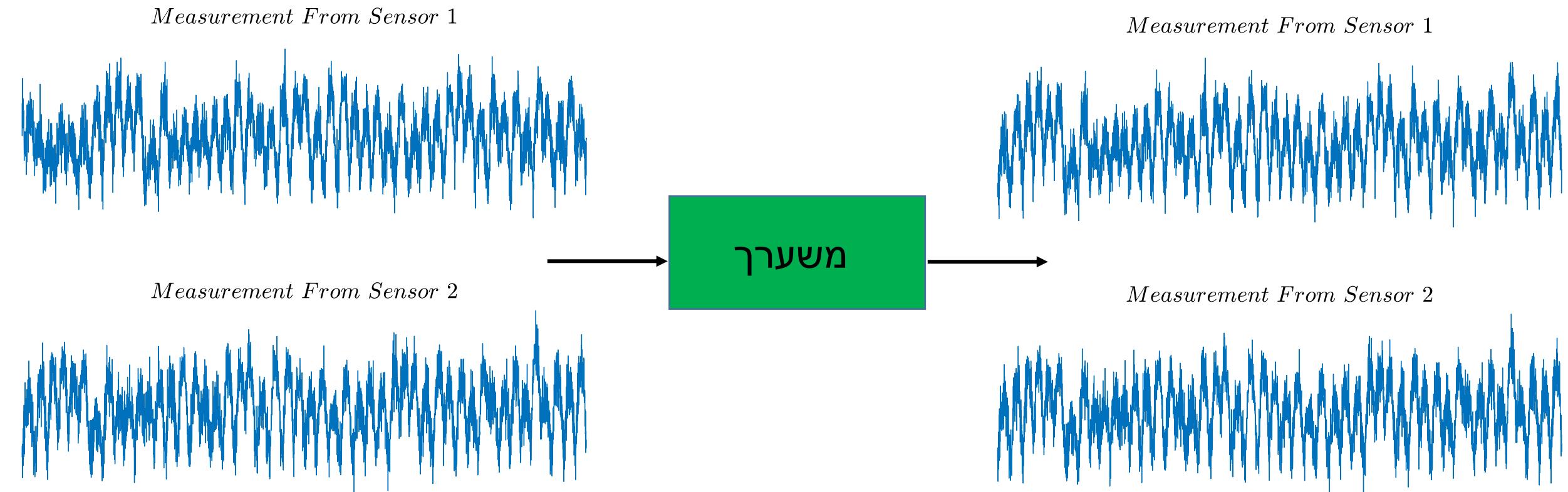
# מוטיבציה 2: מידול קשר בין מדידות

- שיעור קשר בין משתנים שונים:



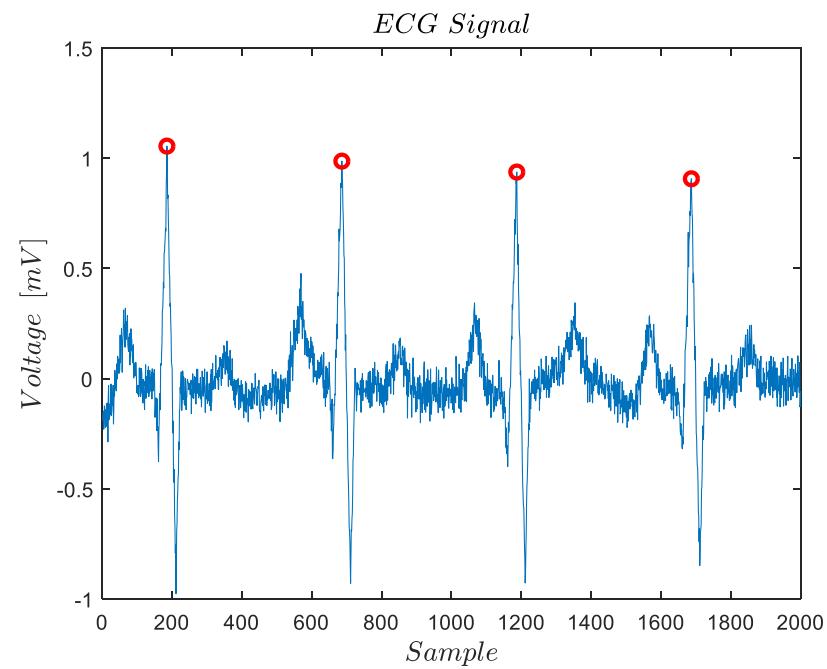
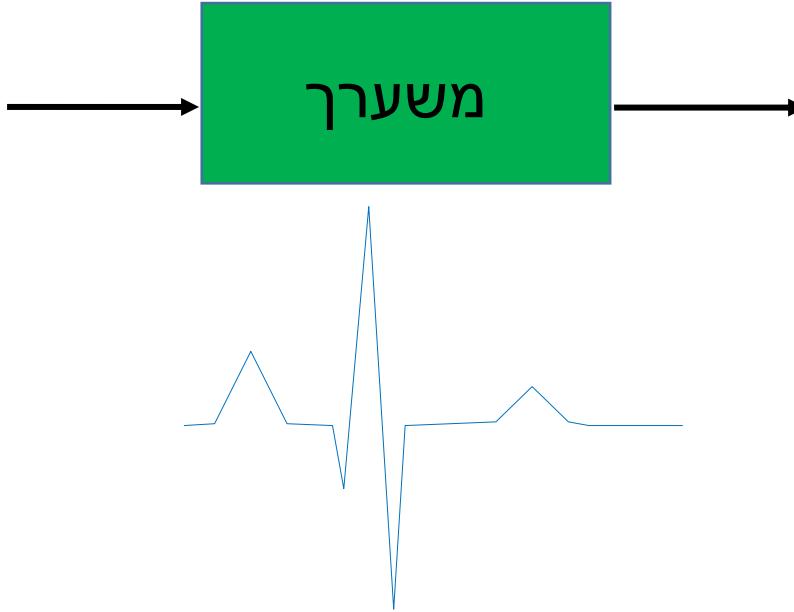
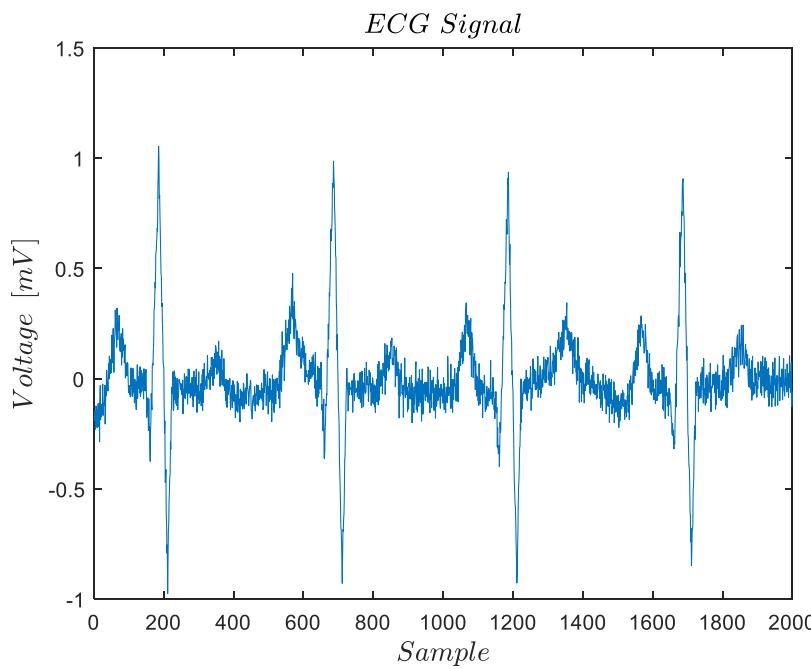
# מוטיבציה 3: שיעור השהייה בין ערוצים

- שיעור השהייה בין ערוצים:



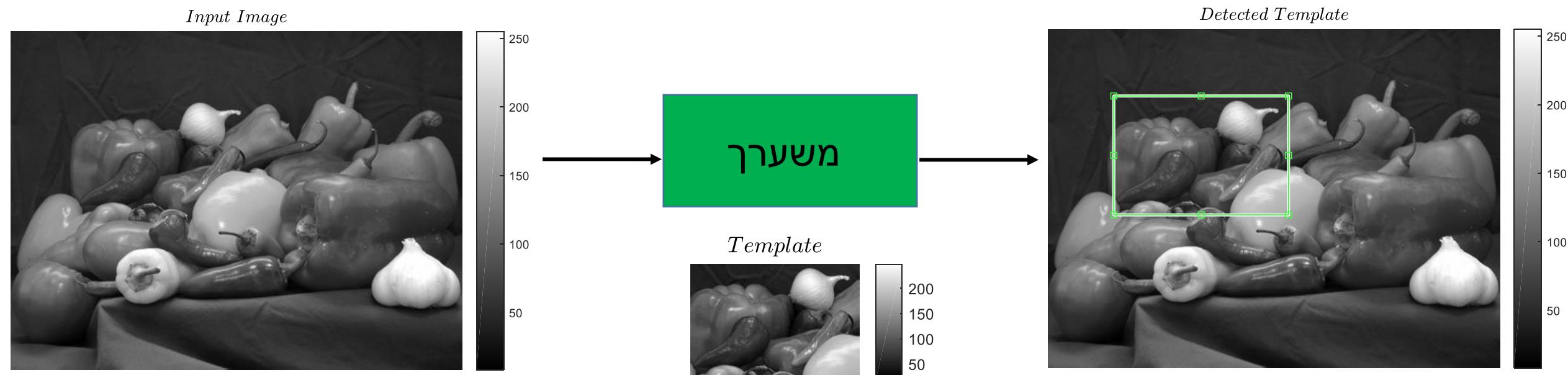
# מוטיבציה 4: זיהוי זמני התרחשות מאירוע

- **שיעור זמני מאירועים:**



# מוטיבציה 5: חיפוש אובייקטים בתמונות

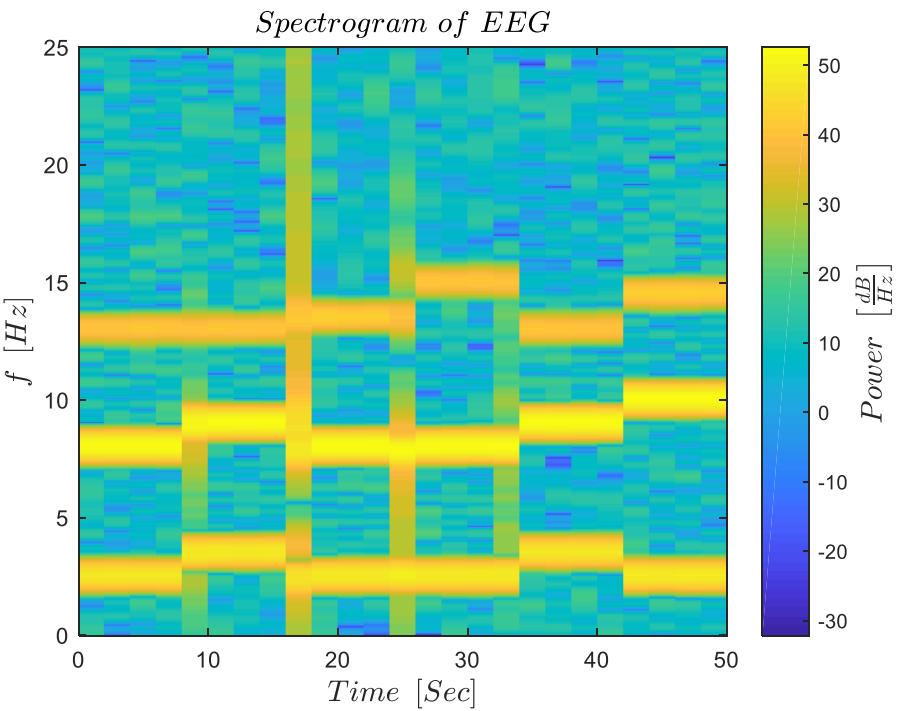
- שירור מקומי אובייקטים:



# מוטיבציה 6: ניתוח משתנים בזמן

- שירוך תכולה תדרית כפונקציה של הזמן:

EEG Signal

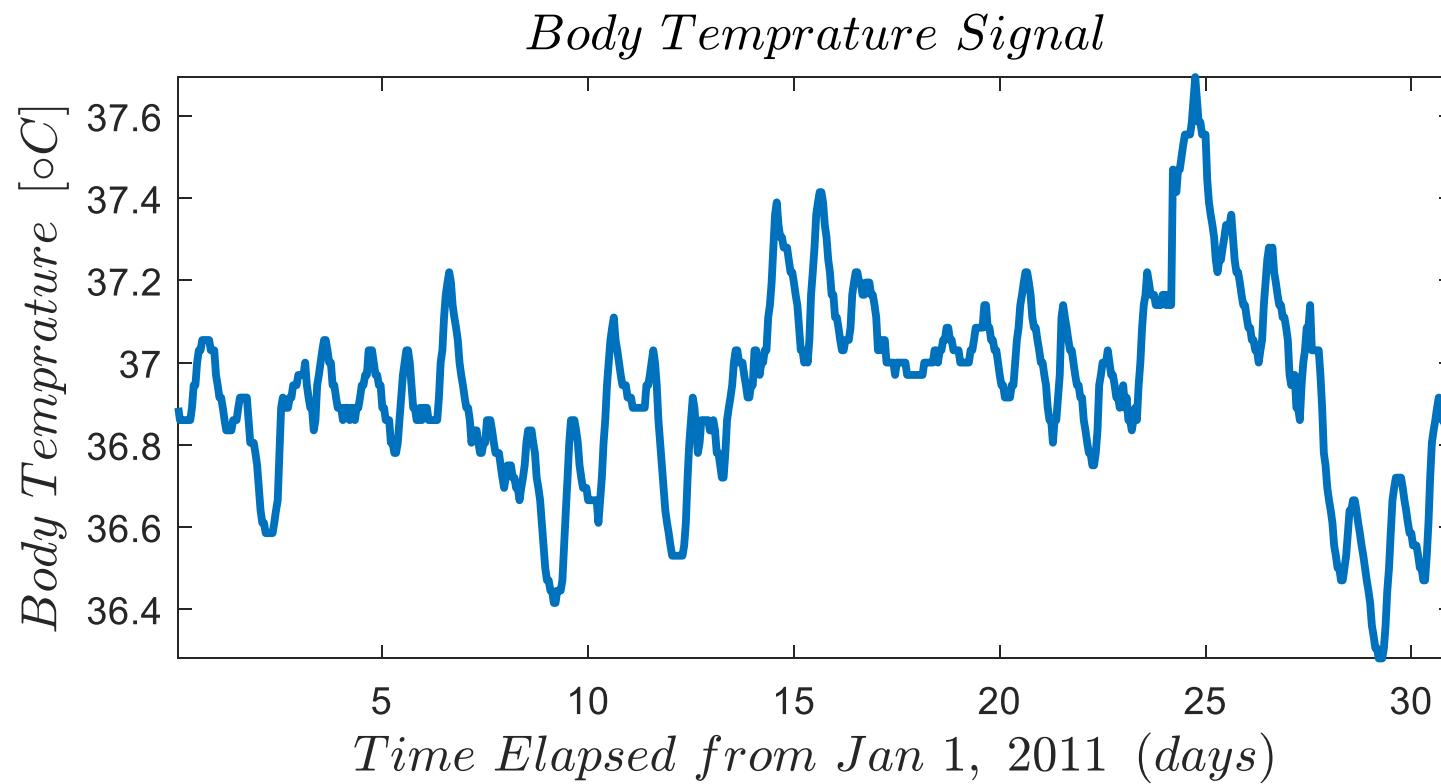


# מה בתכנית?

- ✓אותות ומערכות
- ✓סוגים של אותות
- ✓קונטיזציה/דגימה
- ✓ייצוג במישור התדר ע"י התמרת פורייה
- ✓מסננים דיגיטליים
- **שיעור סטטיסטי**
- **שיעור מדידות רouseות**
- שימושים של פונקציית הקורלציה
- התמורות משלבות של זמן-תדר
- דוגמה מסכמת

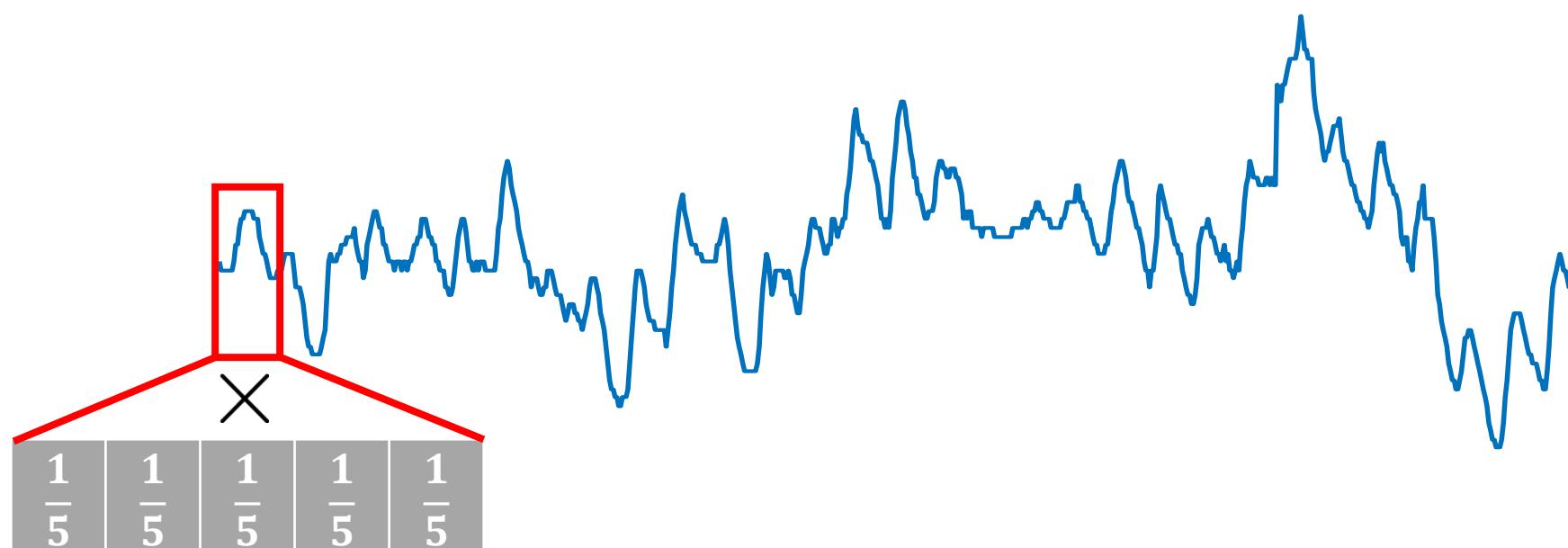
# מיצוע: מדידה בודדת

- **נתחיל מהמקרה הפשטן בווא ננתונה לנו מדידה בודדת של סיגナル רועש:**



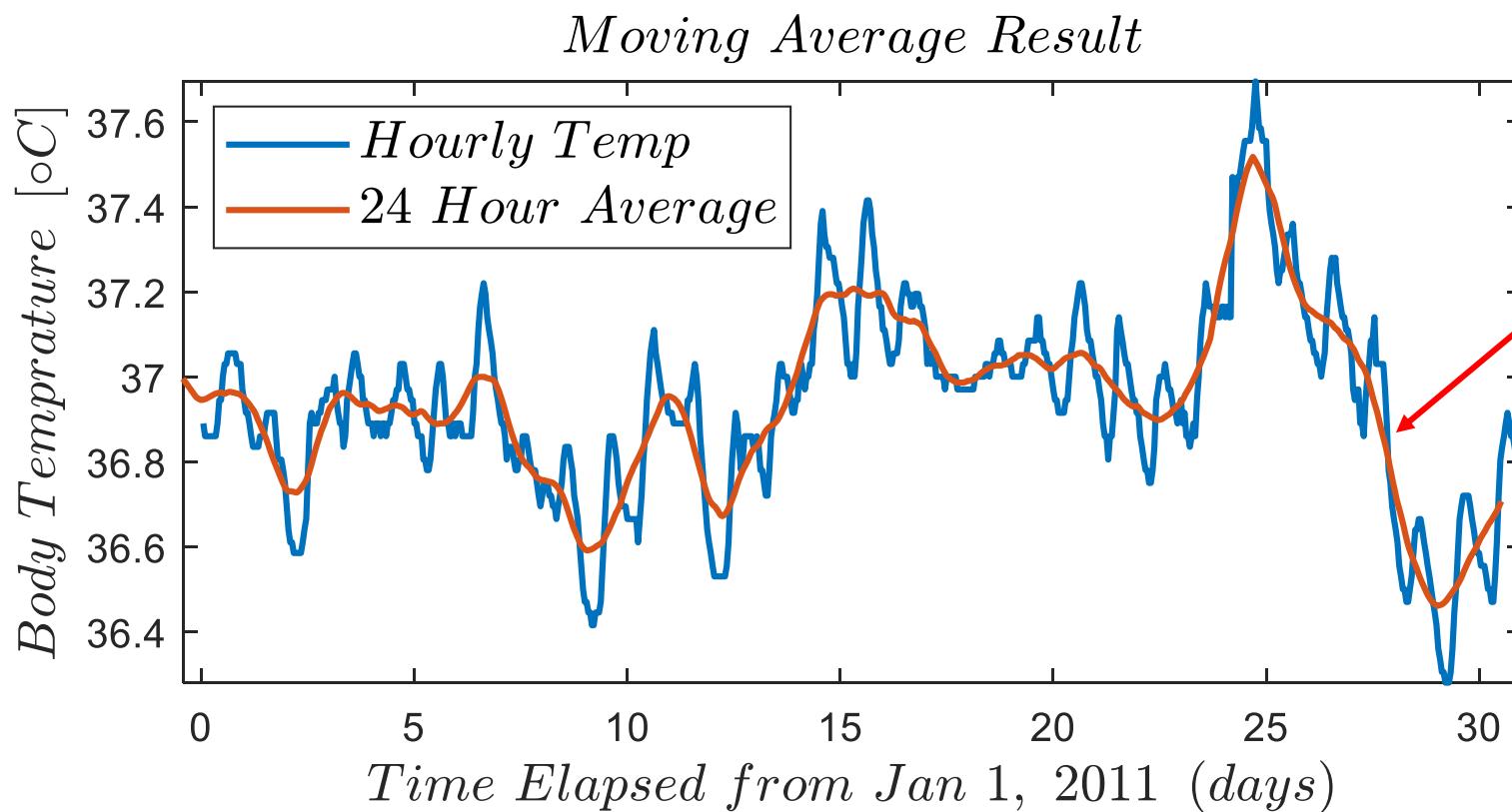
## מיצוע: מדידה בודדת

- נניח הרופא לא מתעניין בשינויים רגילים ובסה"כ מעוניין בערך הממוצע.
- שאלה: איך אפשר "לפשט" את האות שמדדנו?
- מסנן מסווג "ממוצע-נע" הוא דרך אחת לעשות זאת:



# מיצוע: מדידה בודדת

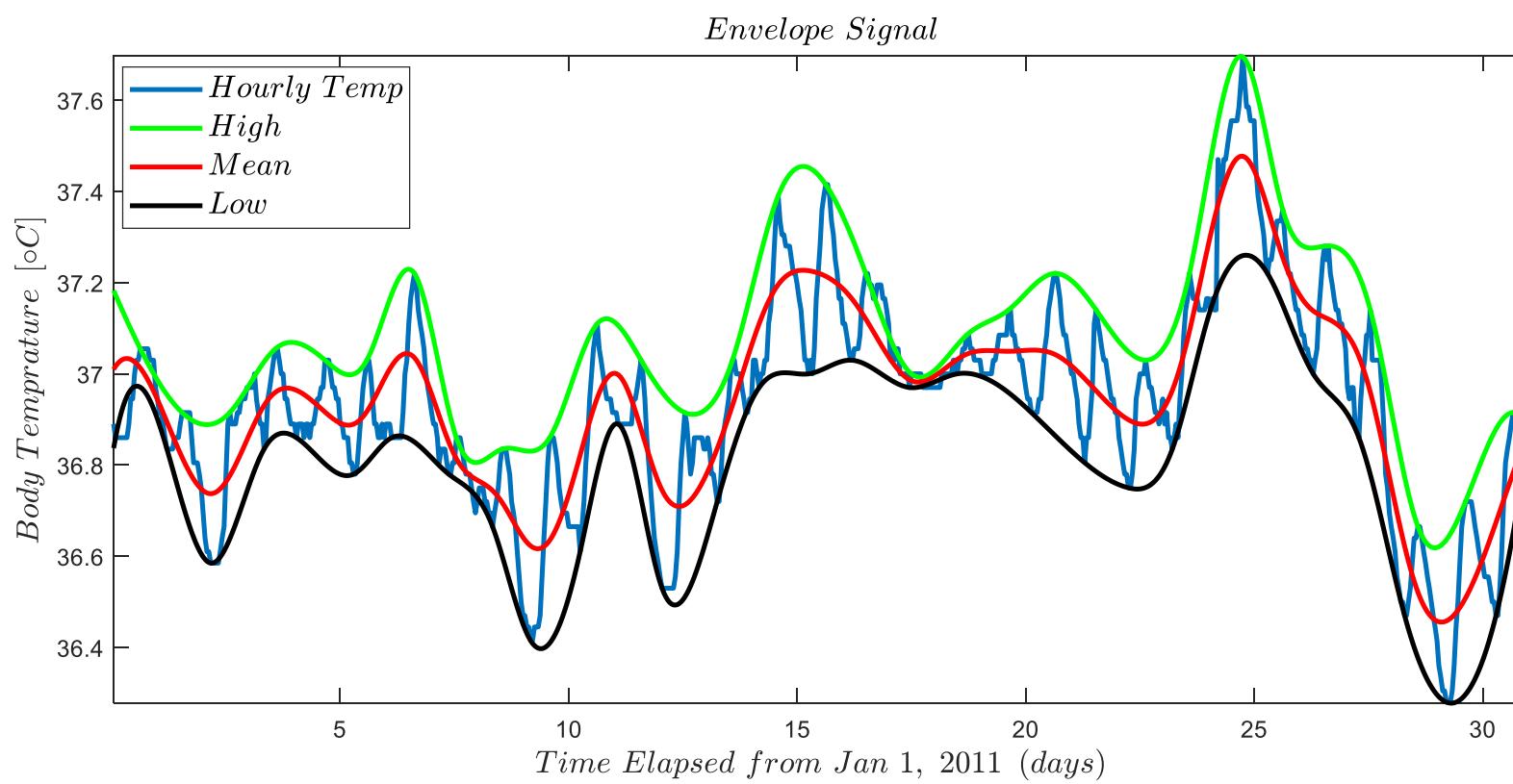
- התוצאה עברת את הטמפרטורה מהשאף הקודם:



שאלה: מזכיר  
לכמה מסויימים  
של מוטן?  
ככל PLT!

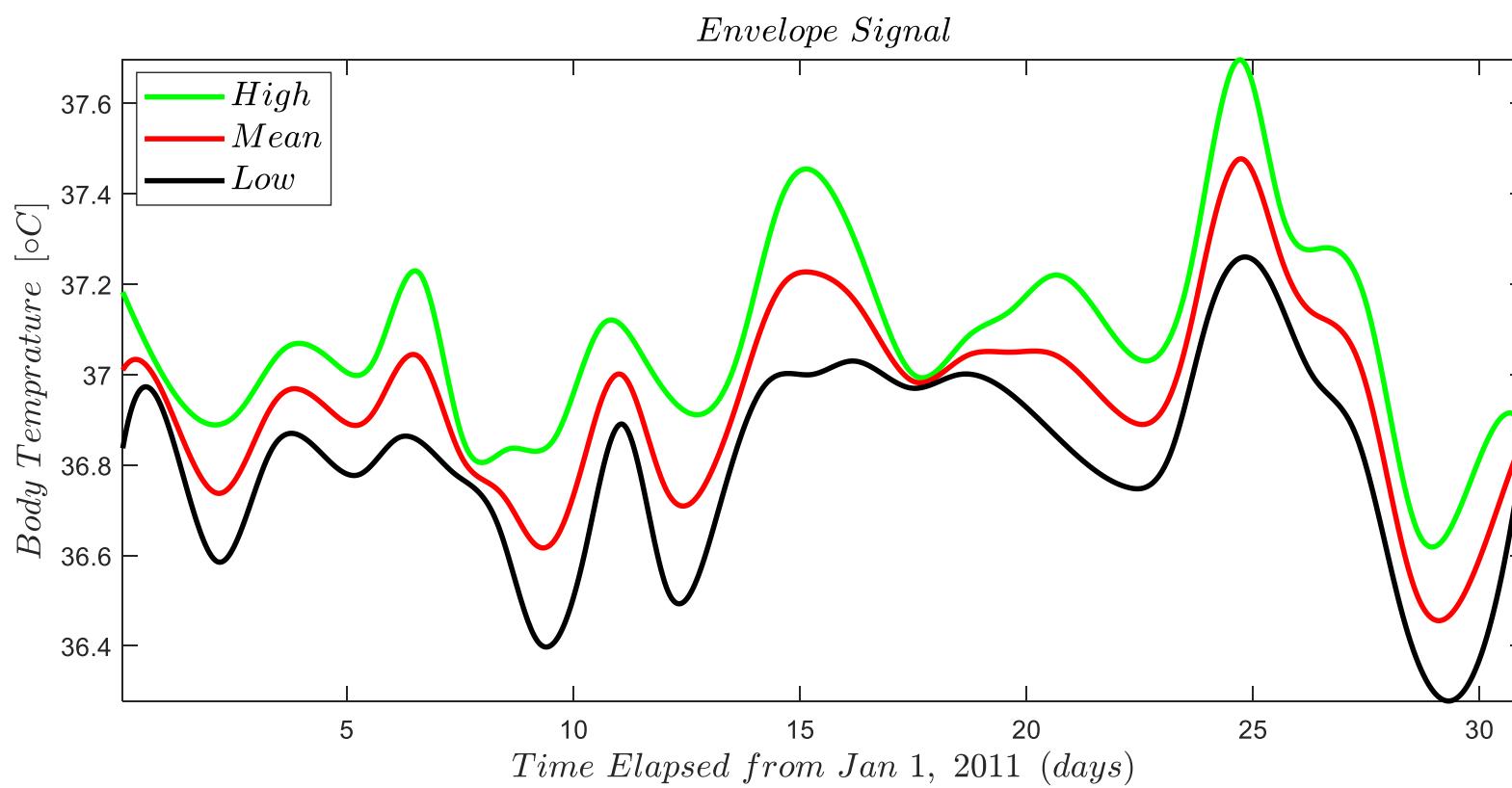
# מיצוע: מדידה בודדת

- תצוגה יותר נוחה של הנתונים עבור הרופא:



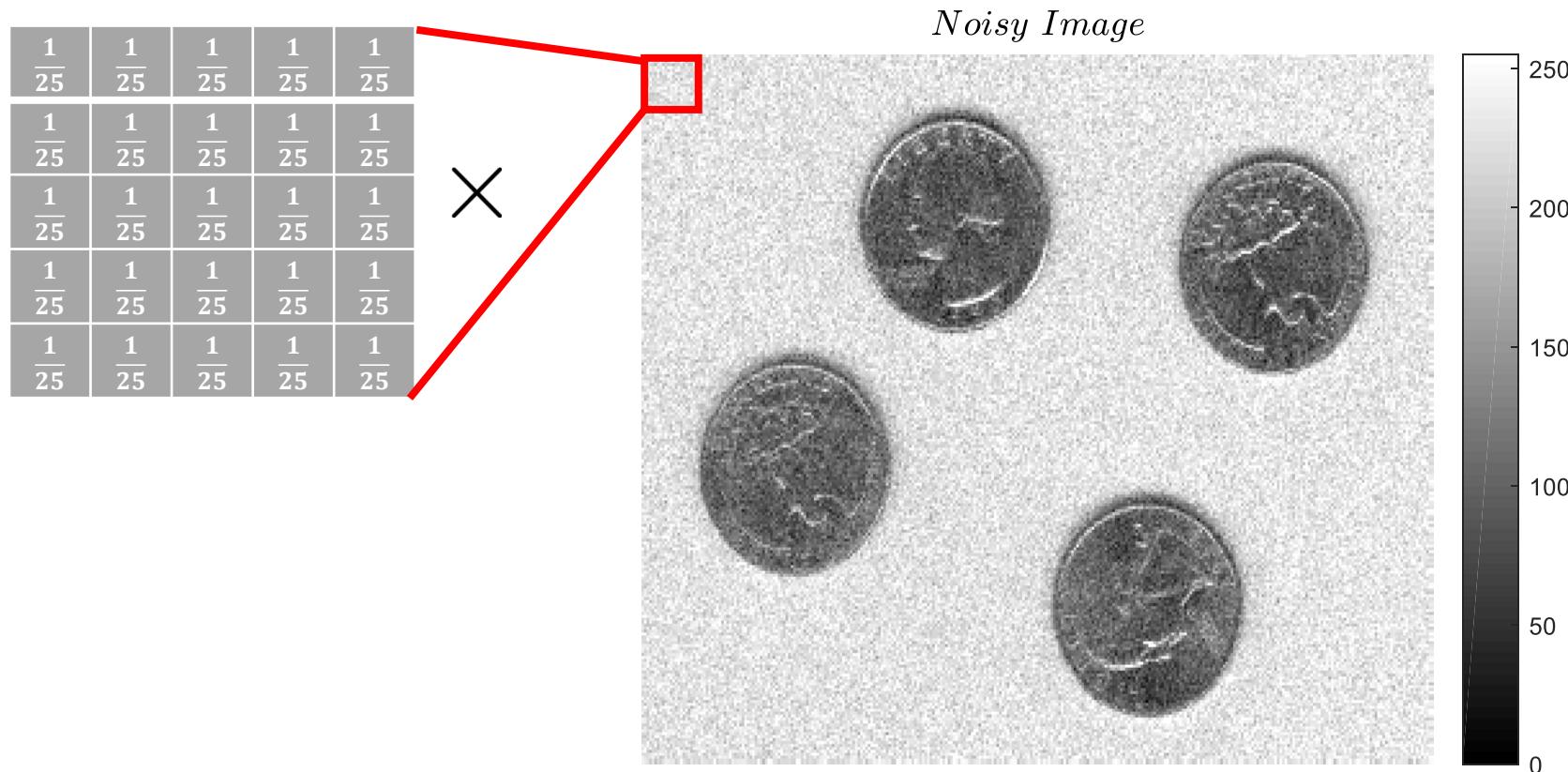
# מיצוע: מדידה בודדת

- תצוגה יותר נוחה של הנתונים עבור הרופא:



# מיצוע בלו-מייד: תמונה בודדת

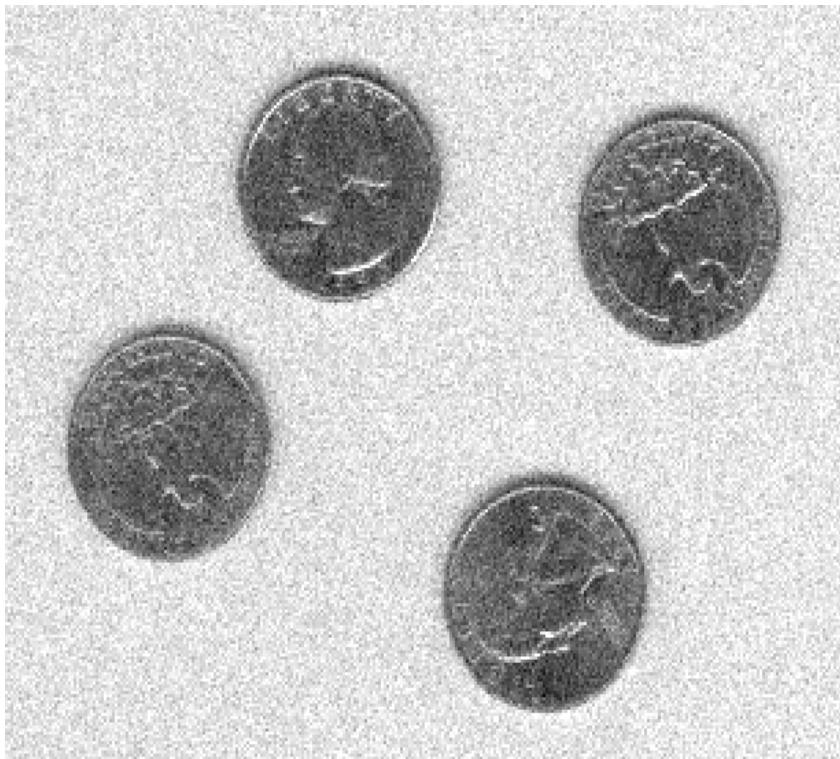
- אותו הגיון כמו בחד-מייד רק שהמסנן הוא מטריצה קטנה:



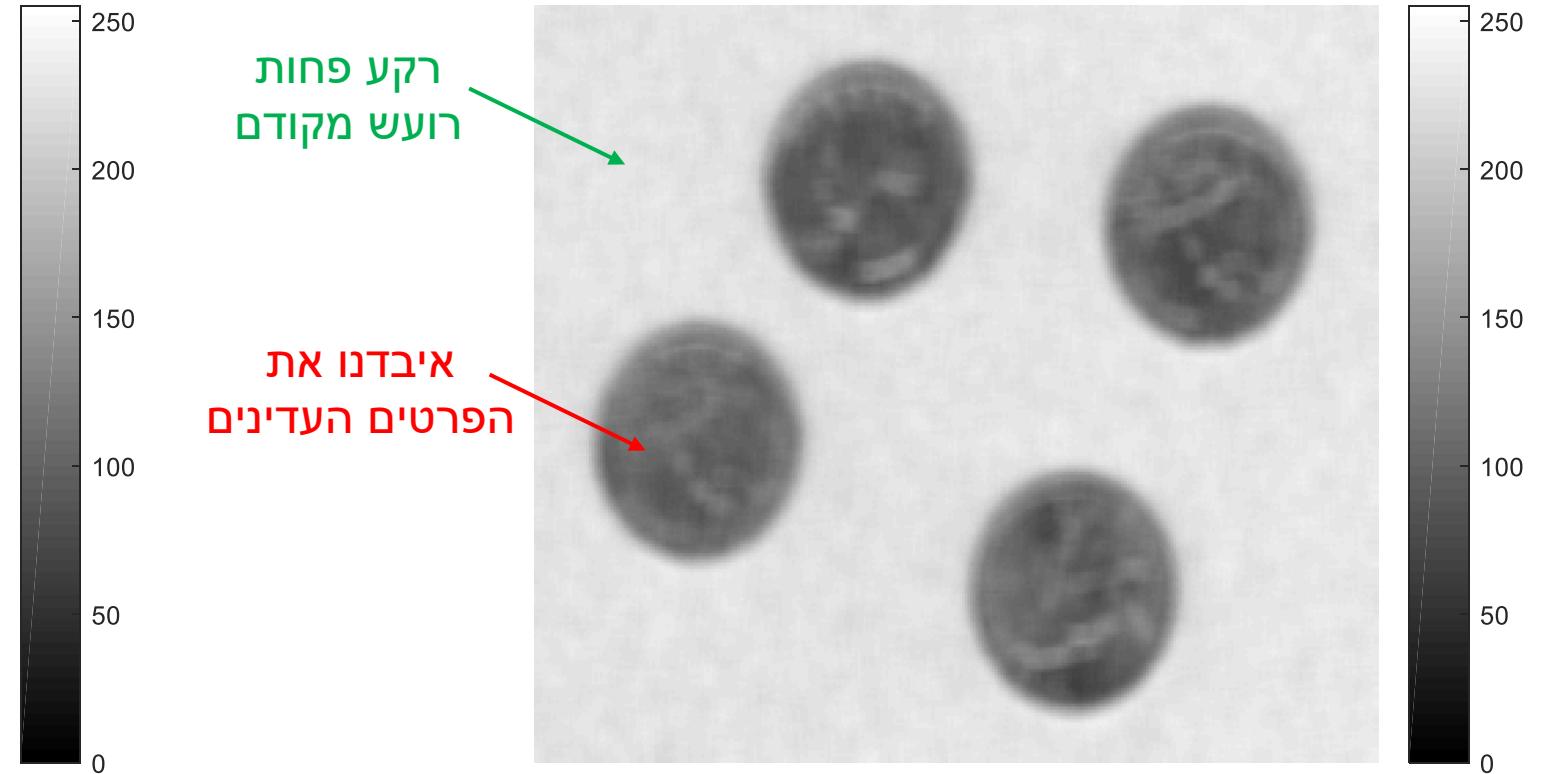
# מיצוע בלו-מייד: תמונה בודדת

- שאלה: איך תראה התוצאה?

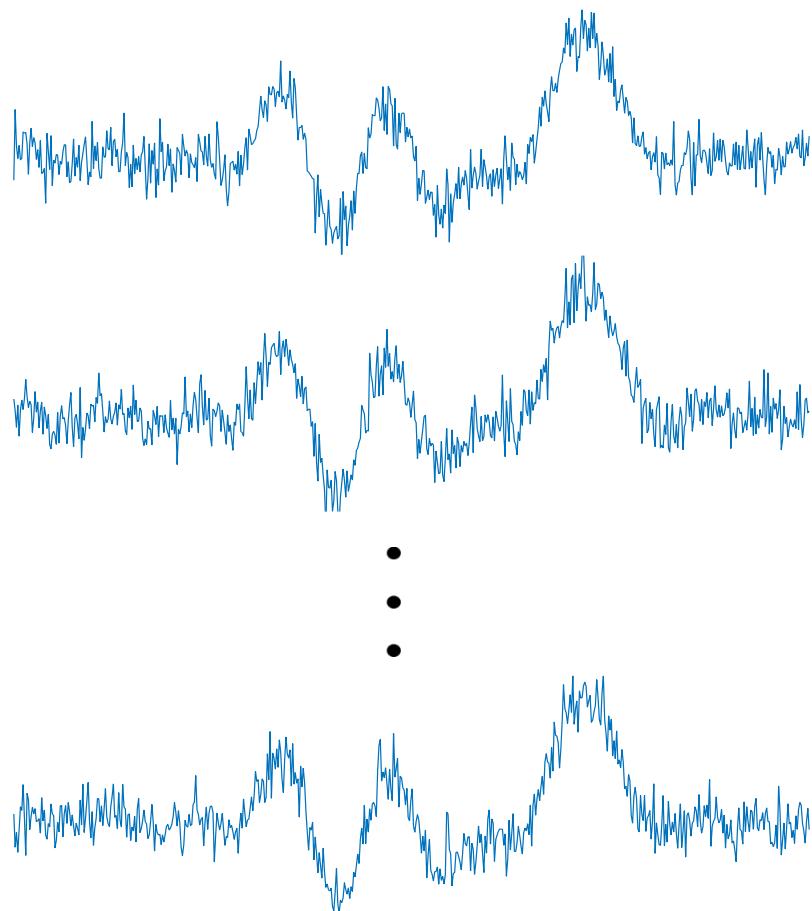
Noisy Image



Average Filter Result



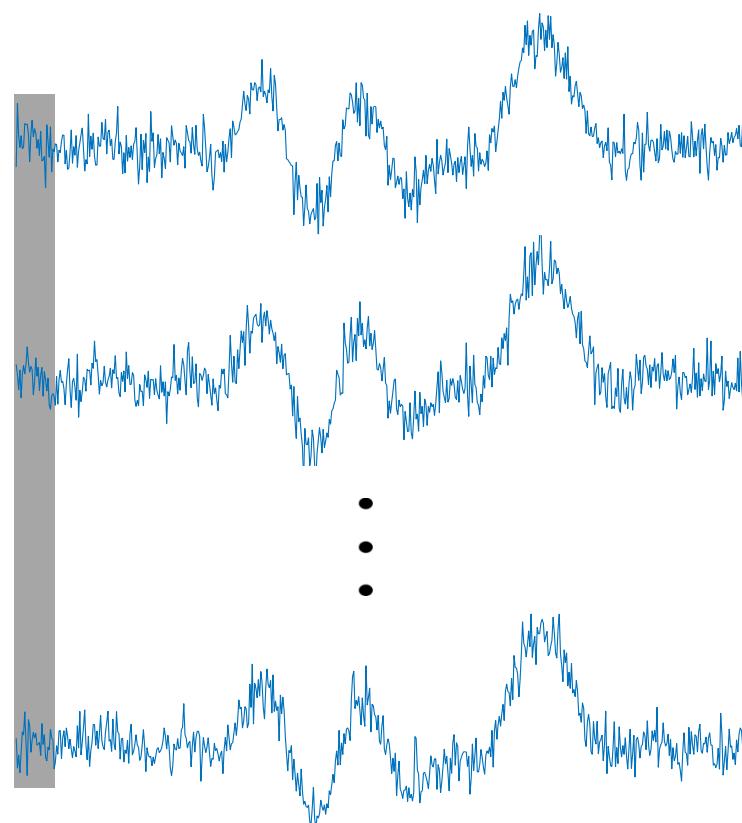
## מיצוע: מדידות חוזרות



- **כעת נניח שיש לנו מדידות חוזרות של רמת ריכוז הגלוקוז בדם של נבדק כפונקציה של הזמן.**
- **מכיוון שהסנסור לא מושלם לכל מדידה מתווסר רعش לבן.**

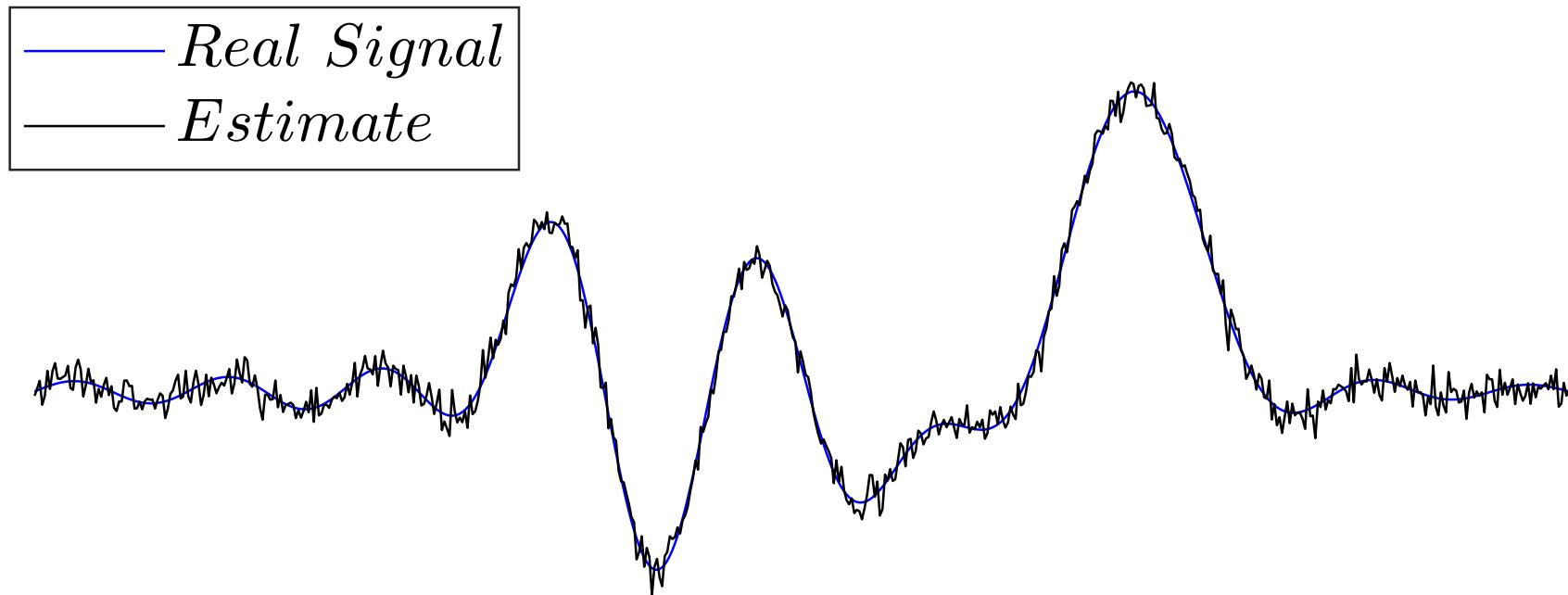
## מיצוע: מדידות חוזרות

- שאלה: איך נשרך את האות הנקי כדי להקל את האנליזה של הרופא?



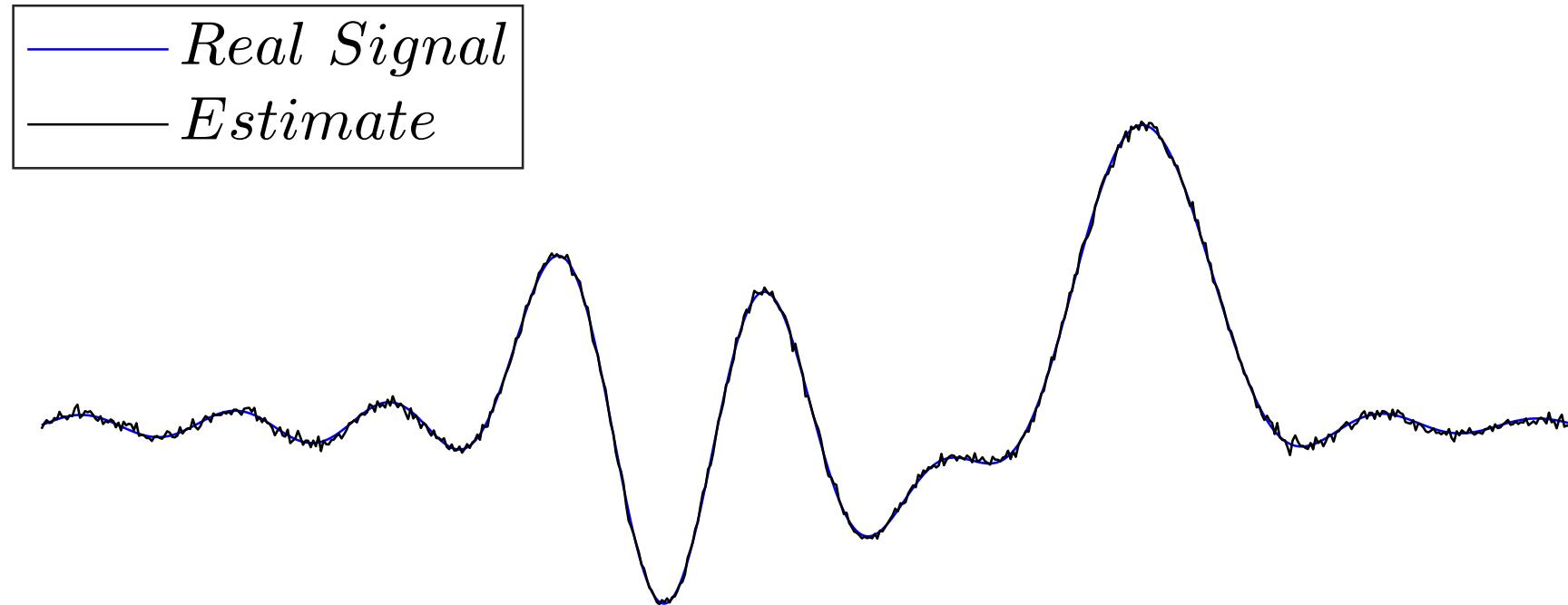
# מיצוע: מדידות חוזרות

- התוצאה עברו **10** מדידות חוזרות:



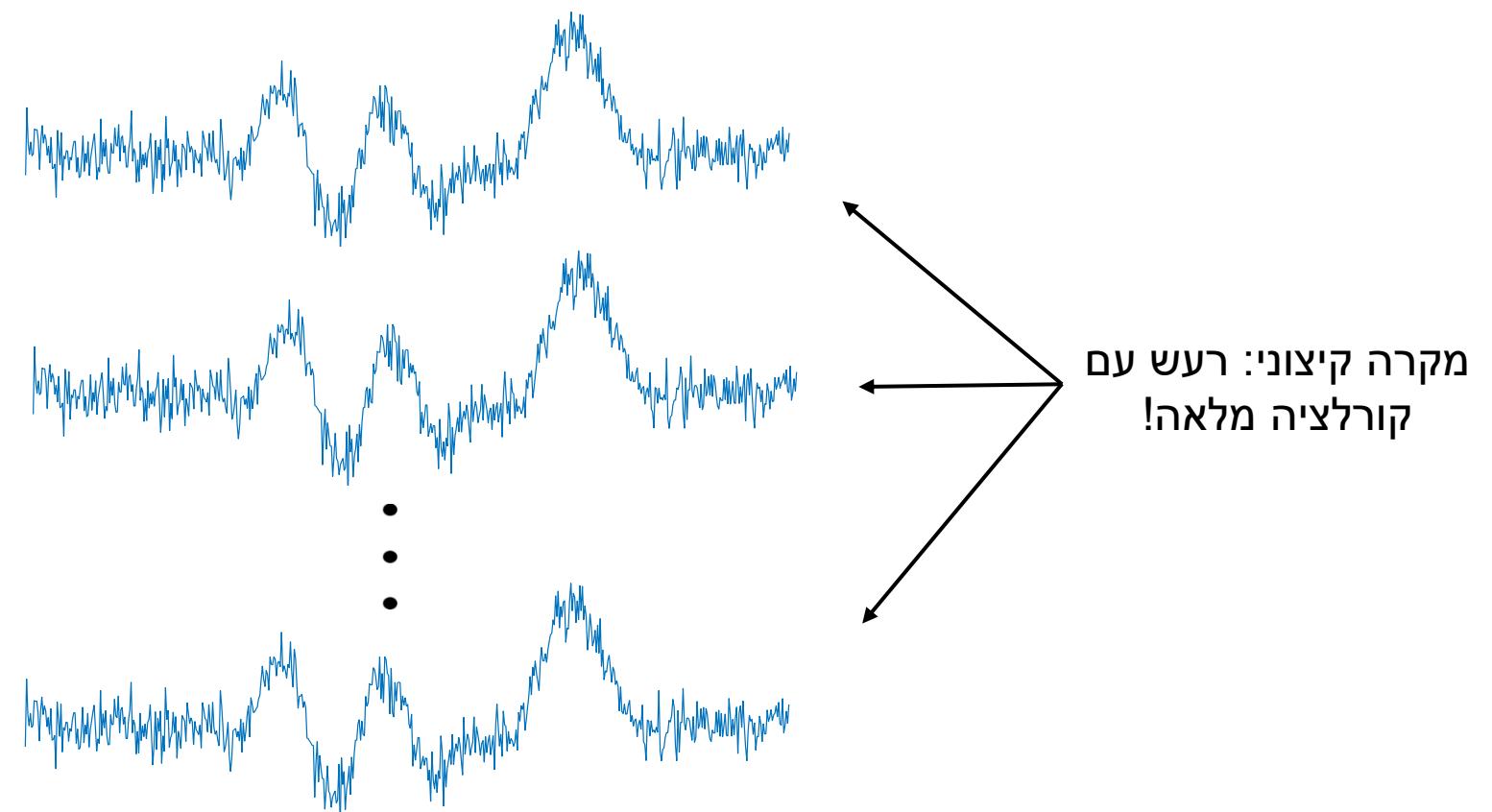
# מיצוע: מדידות חוזרות

- התוצאה עברו **100** מדידות חוזרות:



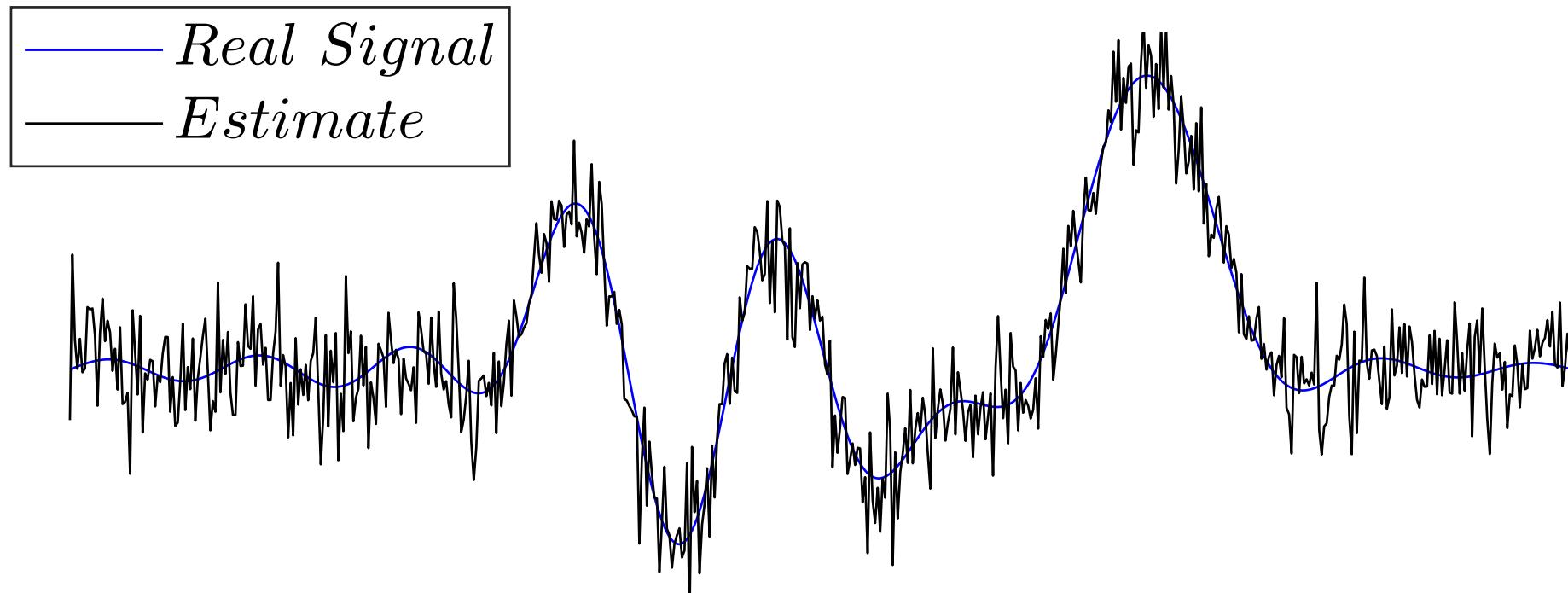
# מיצוע: מדידות חוזרות

- שאלה: תמיד שווה לנו לנקח יותר מדידות? מתי זה יכול להיות מיותר?



# מיצוע: מדידות חוזרות

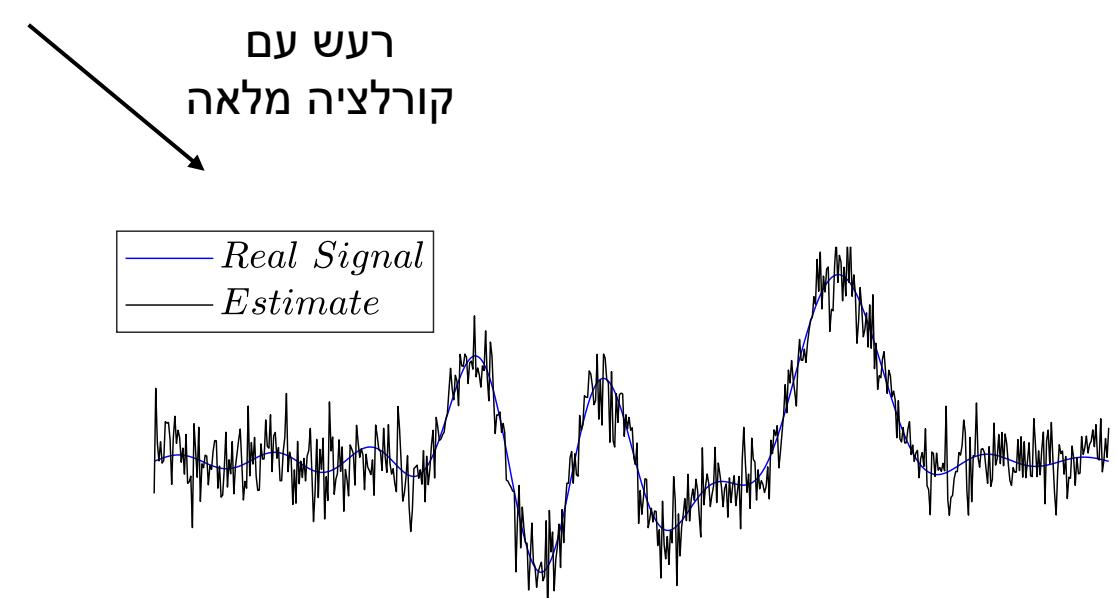
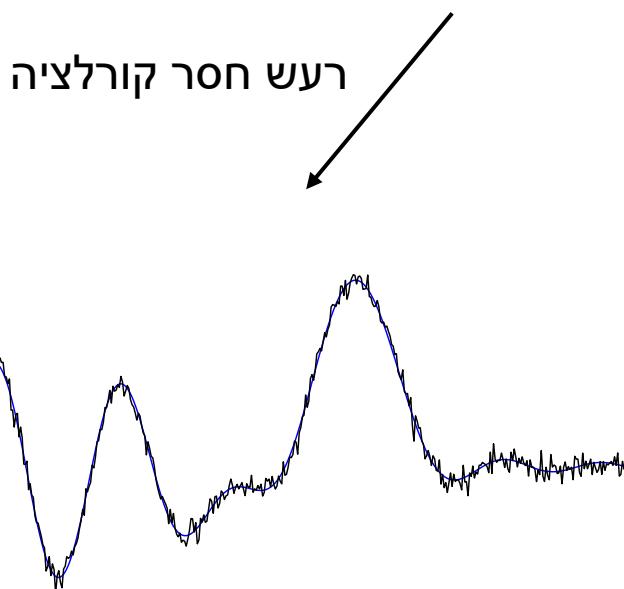
- התוצאה תהיה זהה עבור **10/100 מדידות**:



# תוחלת משערך הממוצע

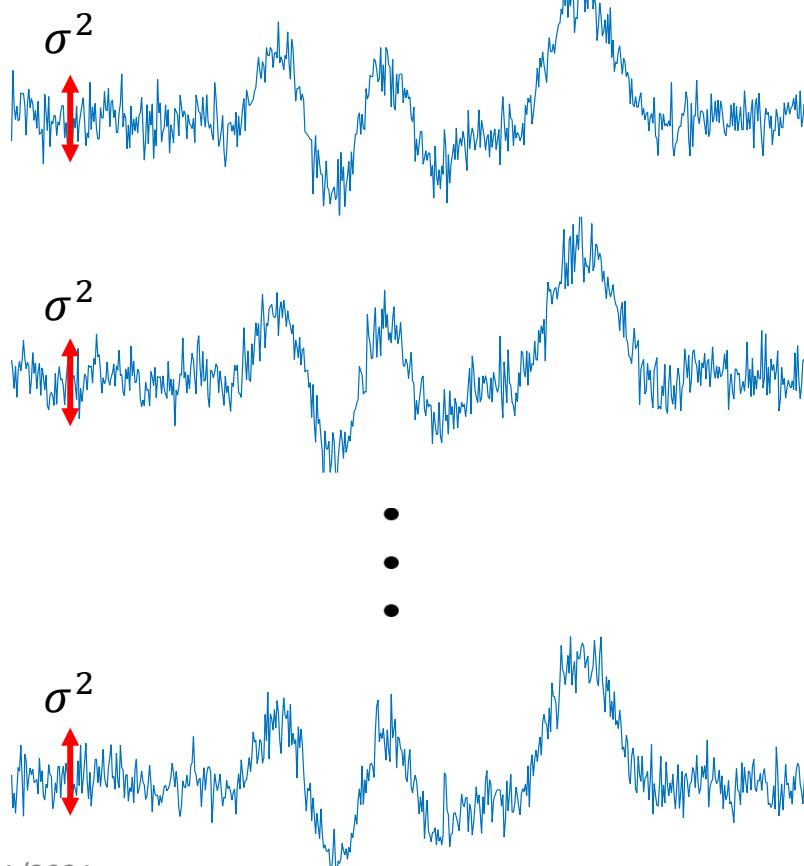
- תוחלת משערך הממוצע שווה לאות הנקי בהנחה רעש עם ממוצע אפס:

$$\text{משערך הממוצע} = \frac{\text{מדידה}_1 + \text{מדידה}_2 + \dots + \text{מדידה}_N}{\text{מספר המדידות}}$$

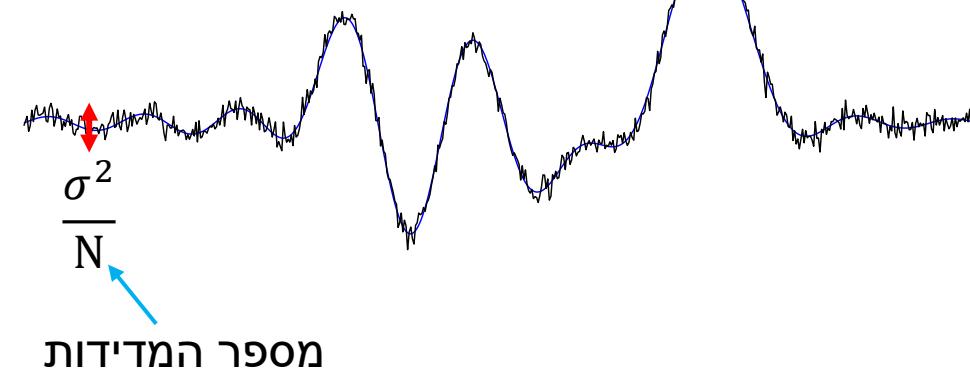


# שונות משערק הממוצע

- שונות משערק הממוצע עברו רעשים **חורי קורלציה**:

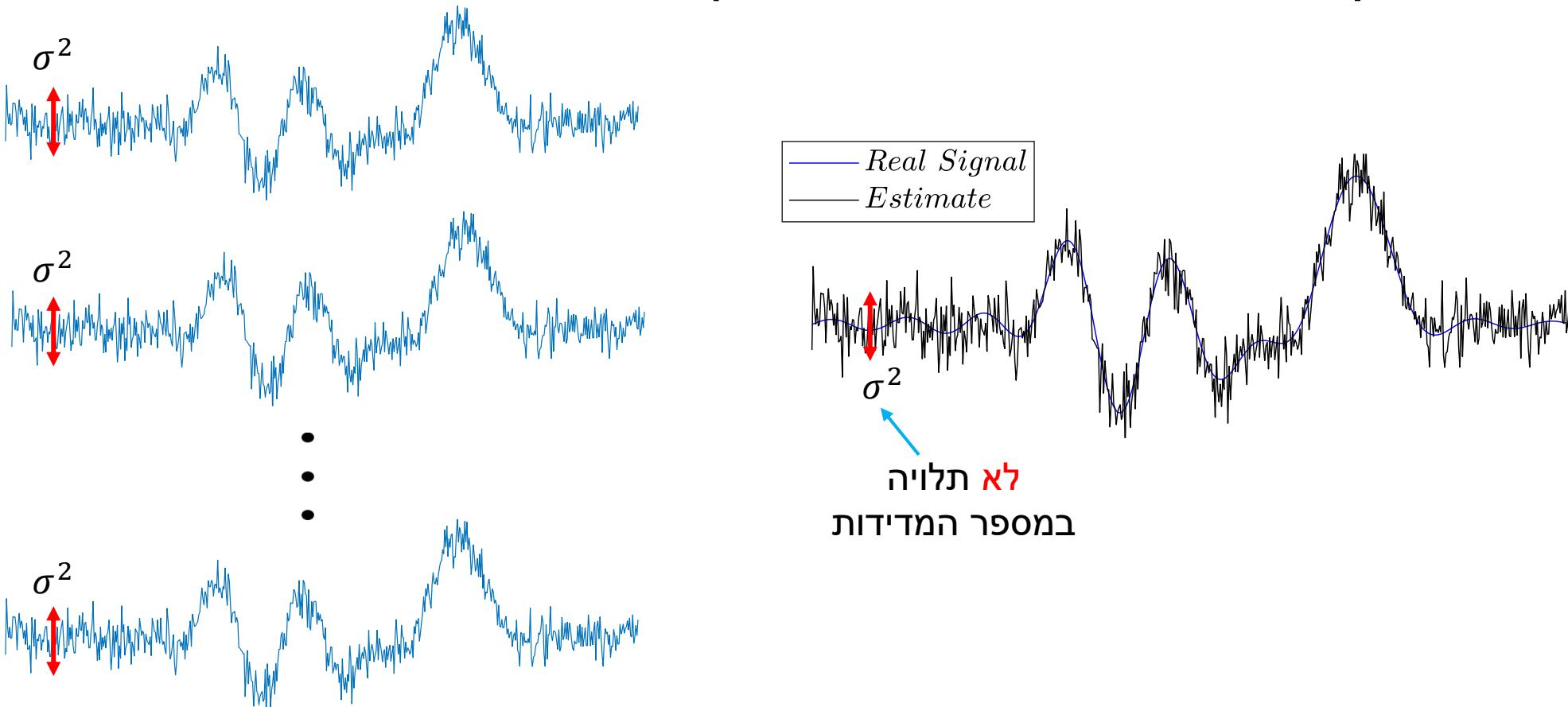


*Real Signal*  
*Estimate*



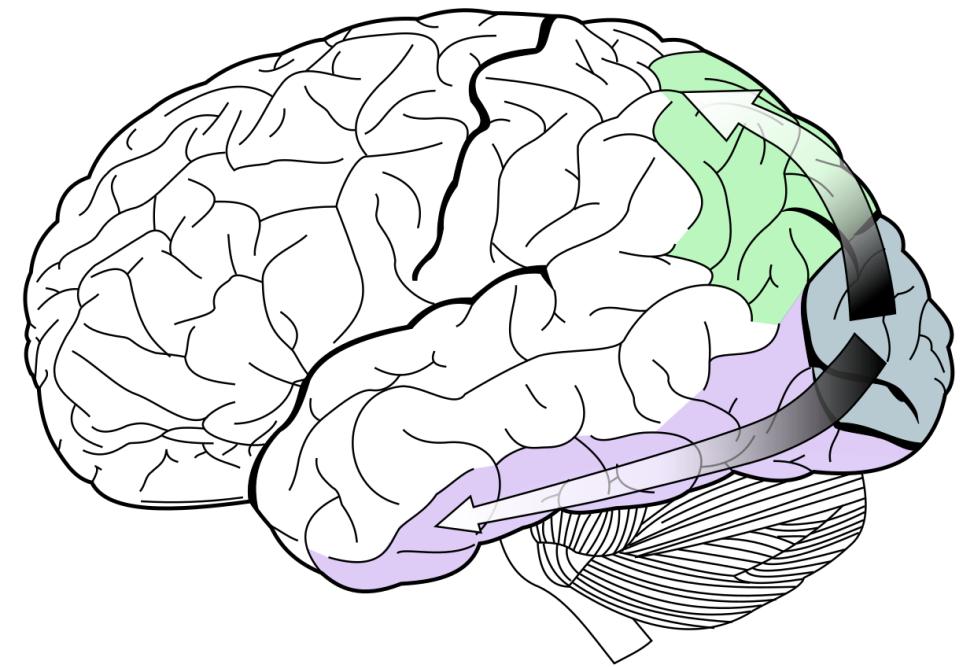
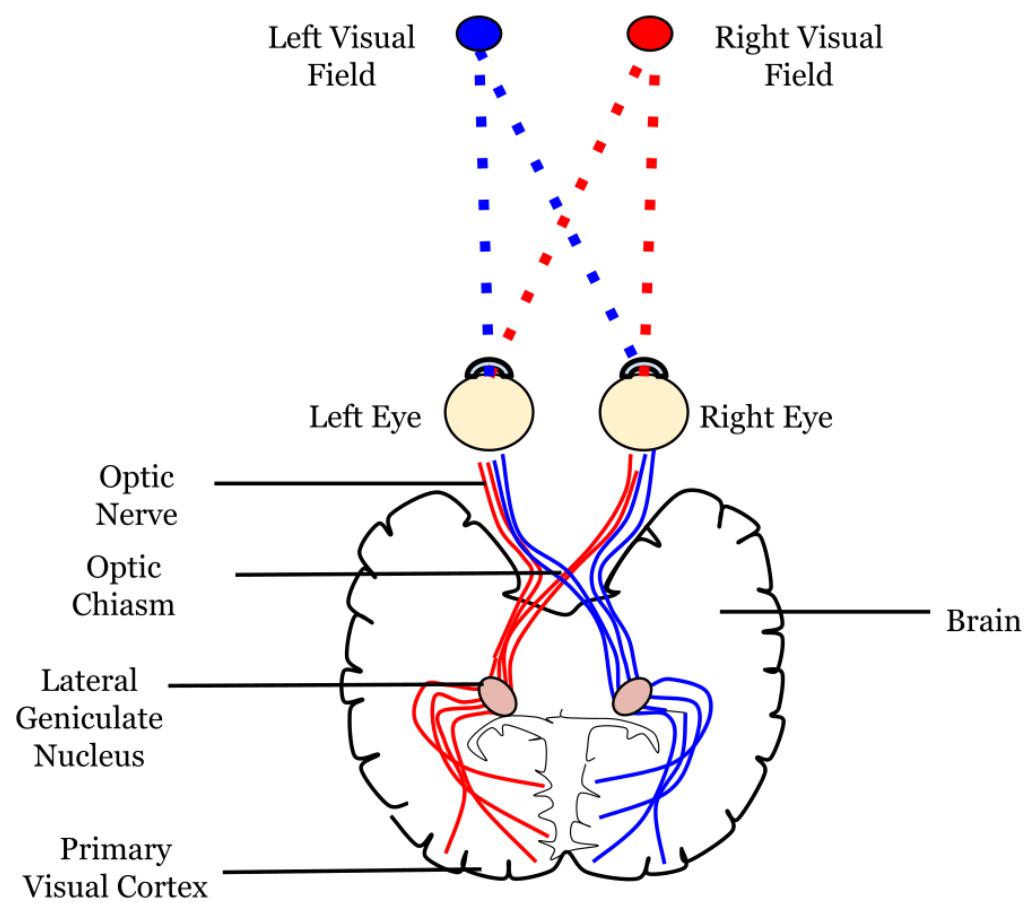
# שונות משערך הממוצע

- שונות משערך הממוצע עברו רעשים עם קורלציה מלאה:

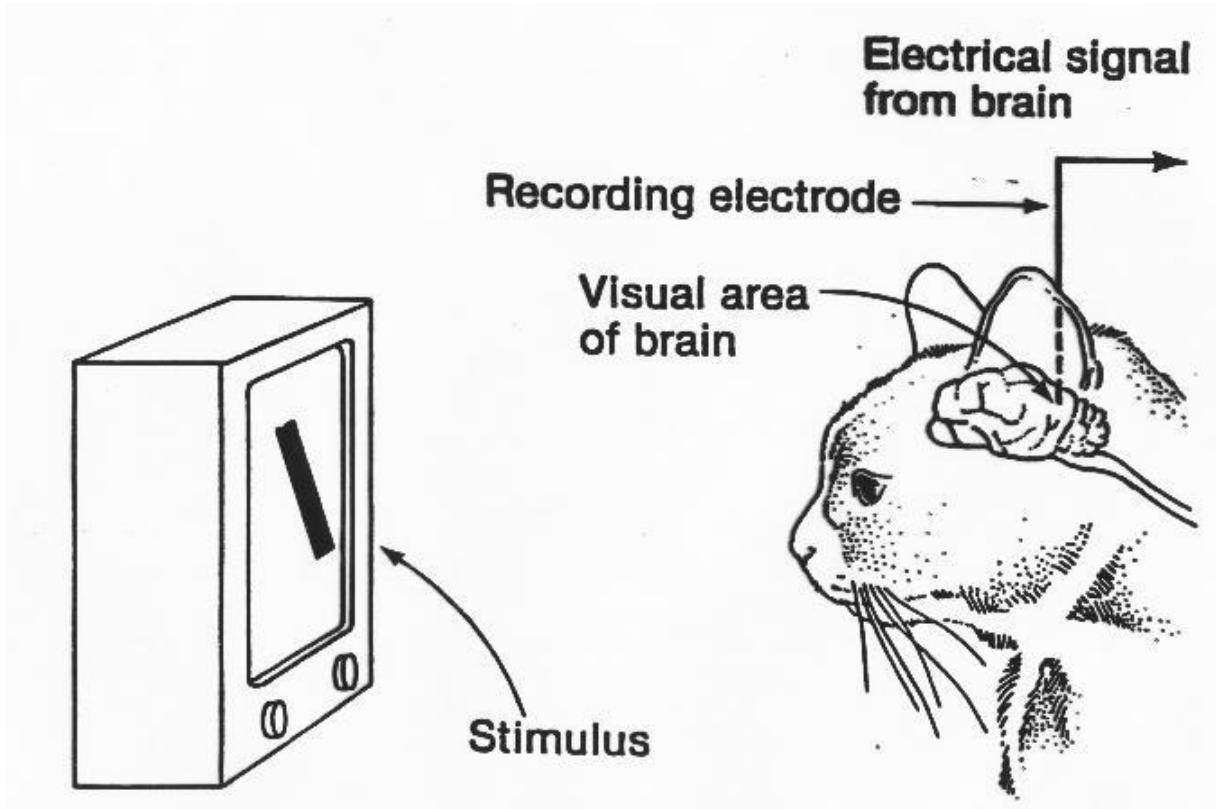


# דוגמה בלו-מימד: גילוי תגובה מועדף על נוירון

- נוירונים באזורי הראייה במוח:



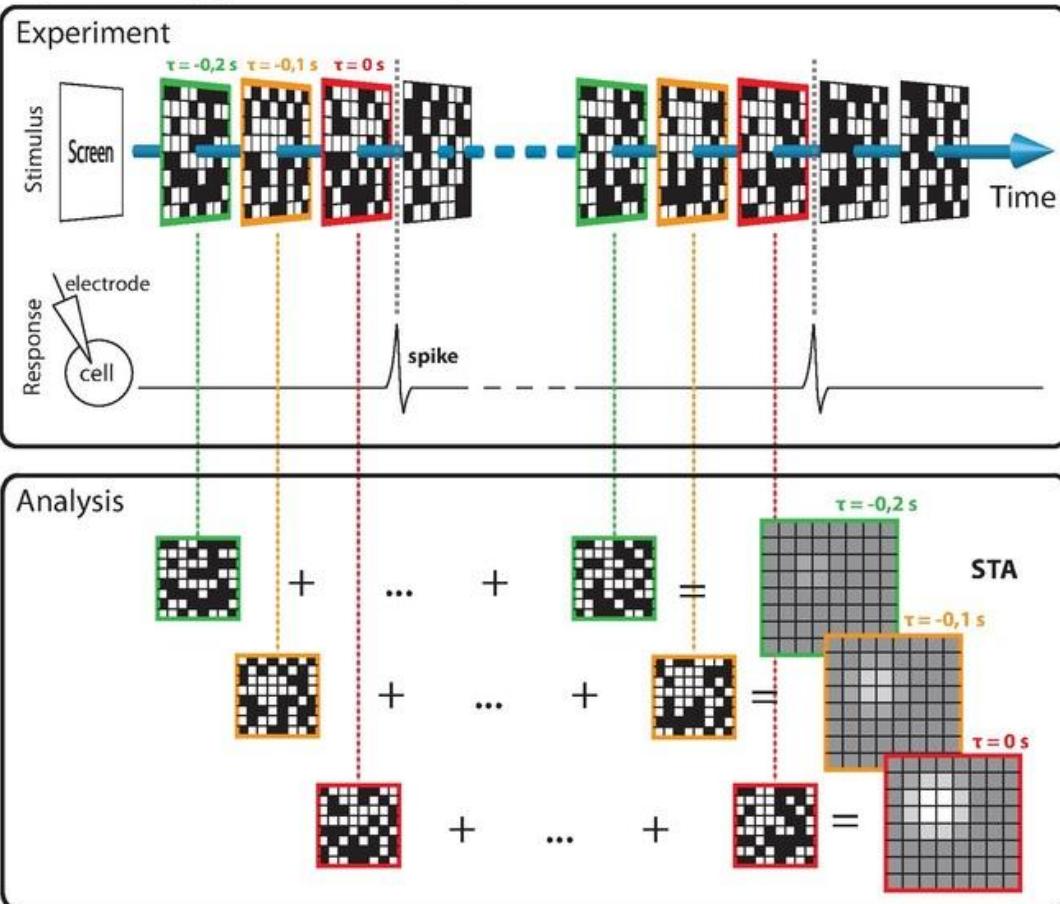
# דוגמה בל-מימד: גילוי תגובה מועדףת על נוירון



- **הנחה:** לנוירון יש גירוי אופטימלי אליו הוא "אוהב" להגיב. הנוירון מגיב כאשר הגירוי אליו הוא נחשף דומה לגירוי האופטימלי שלו.
- **שימוש:** אם נחשוף את הנוירון לגירוי כלשהו למשך זמן ונבדוק מה היה הגירוי בעת ירי פוטנציאל פועלה נוכל לשער את הגירוי האופטימלי.

# דוגמה בלו-מייד: גילוי תגובה מועדף על נוירון

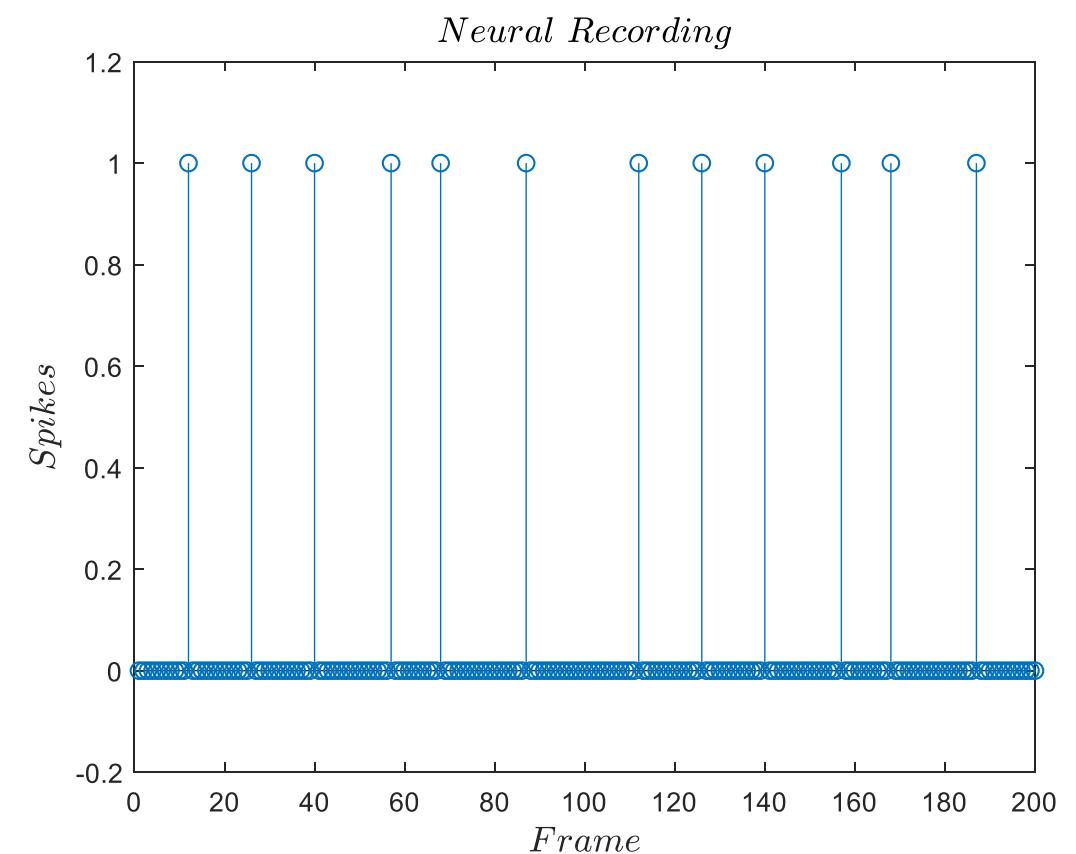
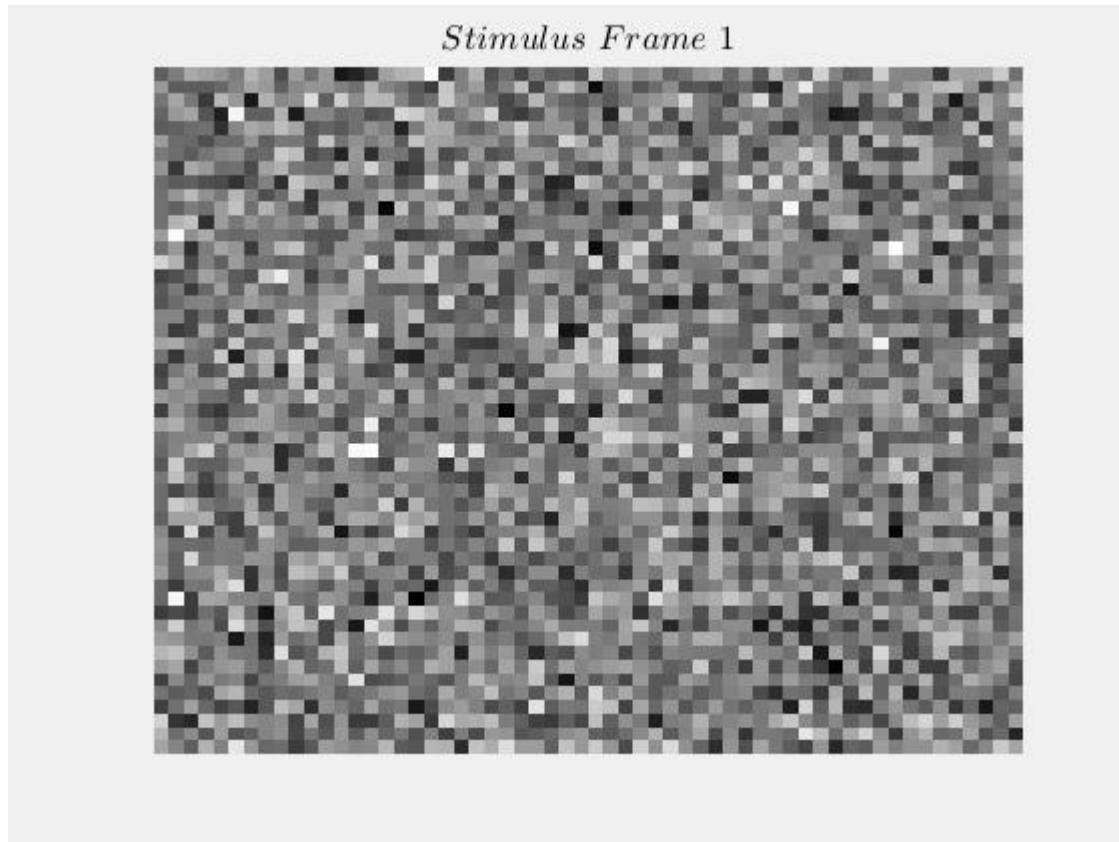
Spike-triggered average (STA)



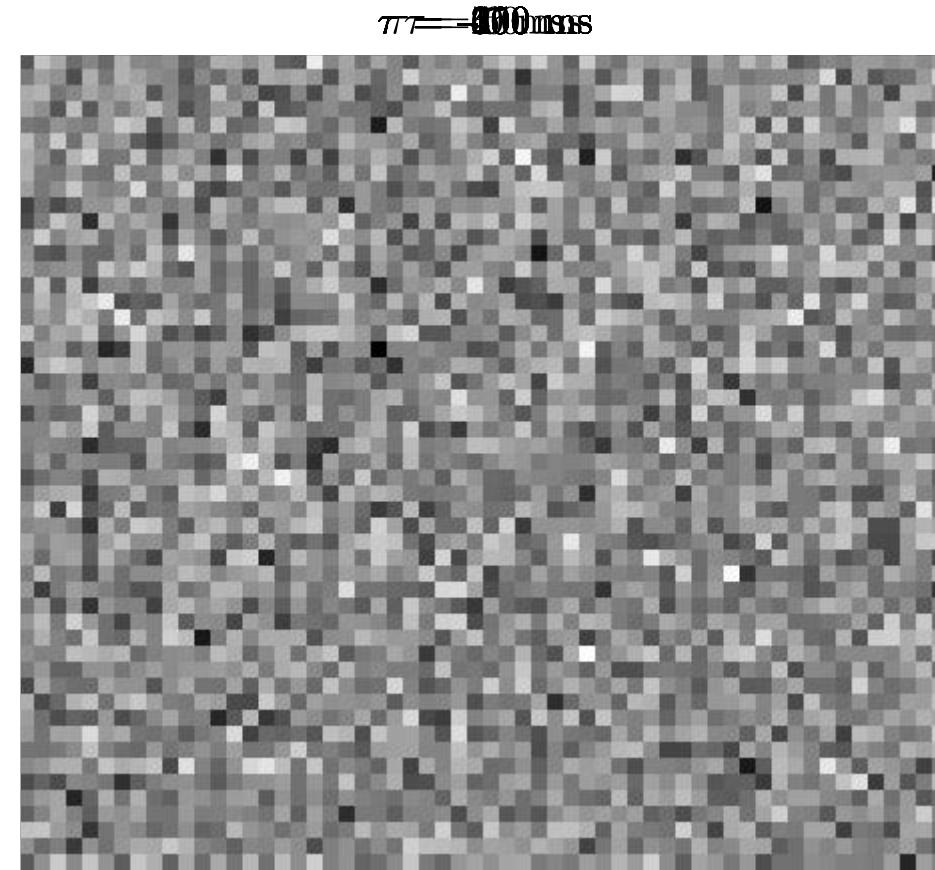
- **הweeney:** אם נמצא את התמונות אשר ברגע הקרןתם הנוירון "יראה" פוטנציאלי פעולה, נוכל לשער את התמונה הממוצעת שהוא מגיב אליה.

# דוגמה בLOW-מימד: גילוי תגובה מועדף על נוירון

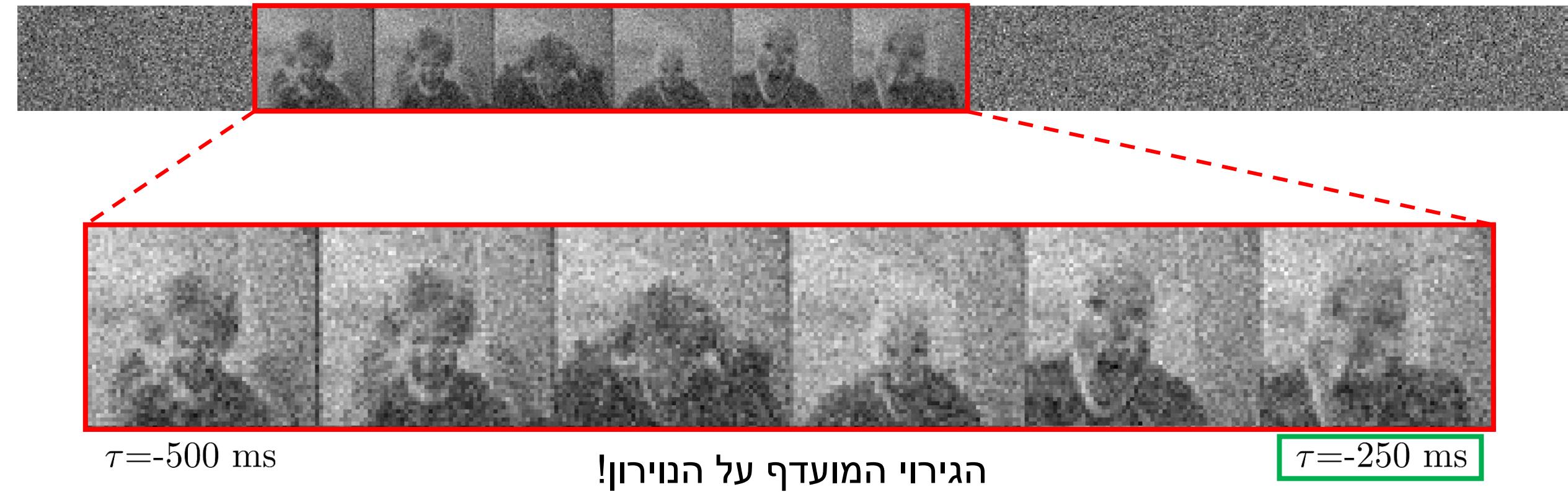
- נתן:



# דוגמה בLOW-מידה: גילוי תגובה מועדףת על נוירון



# דוגמה בל-מייד: גילוי תגובה מועדף על נוירון

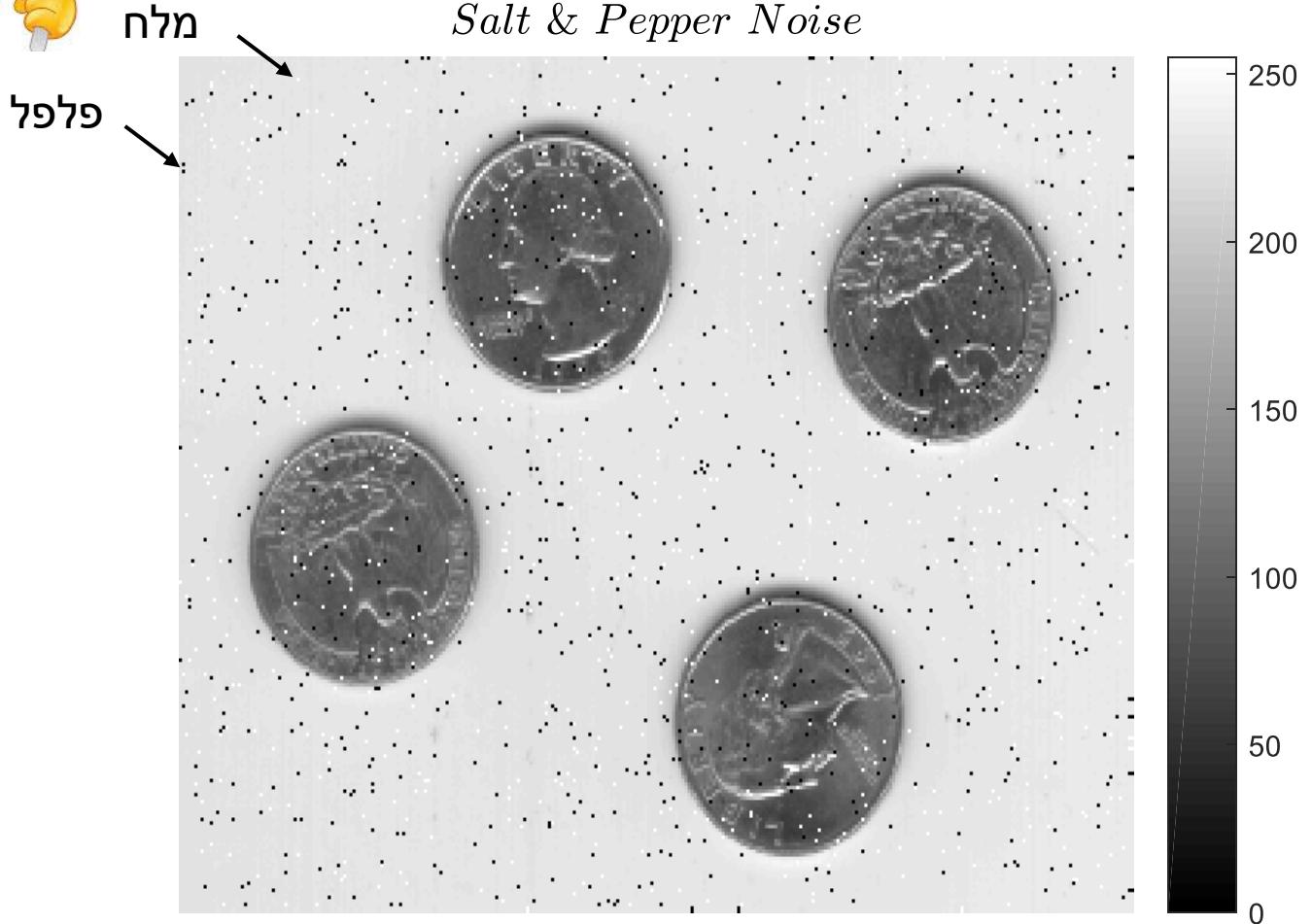


שאלה: מה זמן התגובה של הנירון?

## סוגי רعش בתמונות

- בכל הדוגמאות עד כה הוכחנו רعش לבן גאוסי שטוףLAG זהה בזמן/במרחב.
- בתמונות לעתים קרובות נתקלים בסוגים אחרים של רعش כגון:
  - רعش פואסון (בד"כ קריית פוטונים)
  - רعش קשתות (בד"כ בתמונות CT)
  - רعش "מלח ופלפל" (בד"כ פיקסלים תקולים בסנסור)
  - ועוד,
- לכל סוג רعش משתמשים במשערך אחר אשר מתאים לו.
- **למשל עבור רعش "מלח ופלפל" נהוג להשתמש במסנן ציון.**

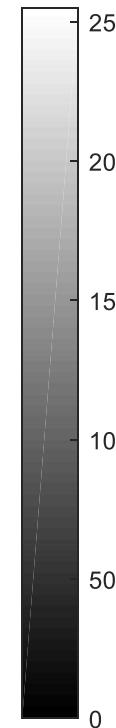
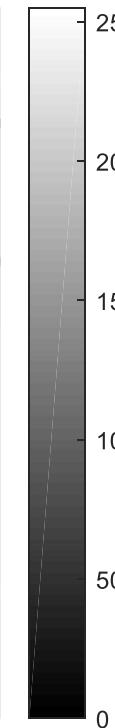
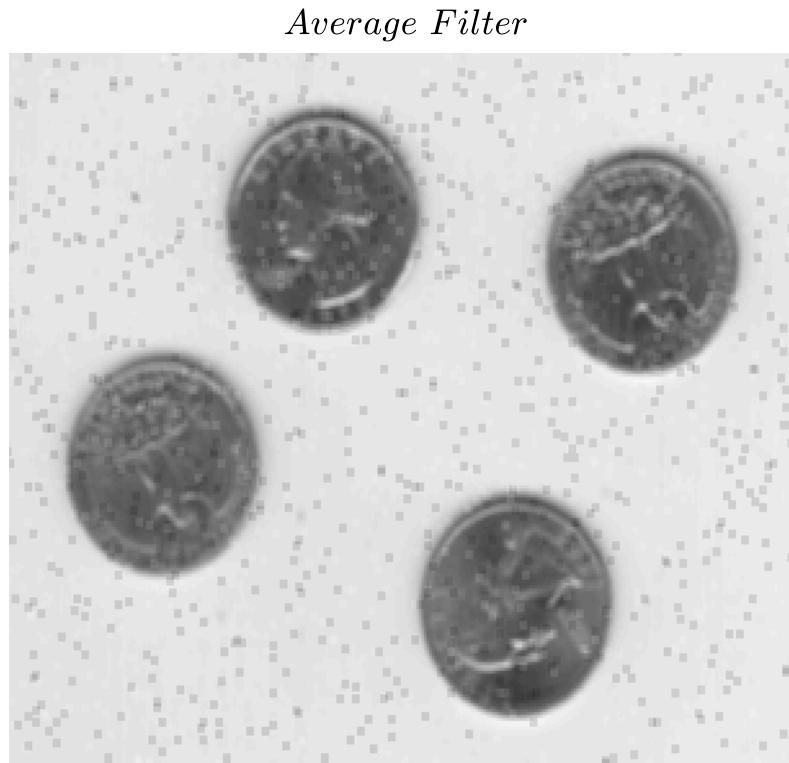
# רעש "מלח ופלפל" בדו-מימד



- רעש "מלח-ופלפל":

# רעיש "מלח ופלפל" בדו-מימד

- תוצאה סינון התמונה עם מסנן מיצוע ועם מסנן **חציון**:

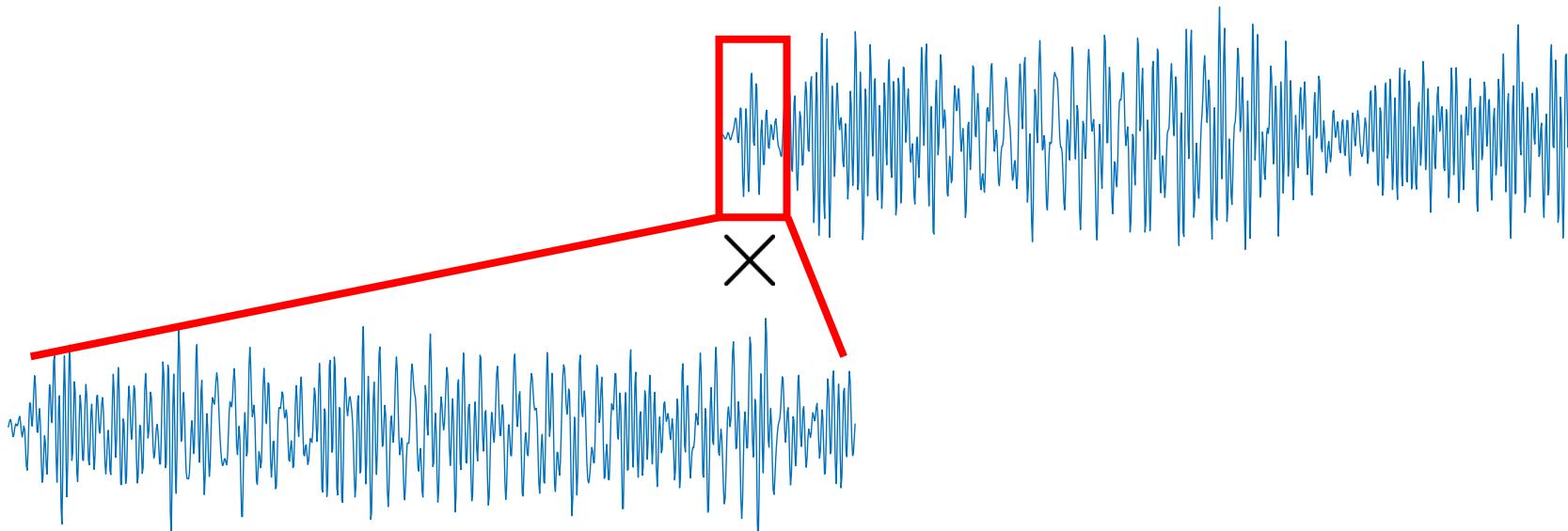


# מה בתכנית?

- ✓ אוטות ומערכות
- ✓ סוגים של אוטות
- ✓ קוונטיציה/דגימה
- ✓ ייצוג במישור התדר ע"י התמרת פורייה
- ✓ מסננים דיגיטליים
- **שיעור סטטיסטי**
  - ✓ שיעור ממדידות רouseות
- **שימושים של פונקציית הקורלציה**
- **התמורות משולבות של זמן-תדר**
- **דוגמה מסכמת**

# פונקציית קורלציה

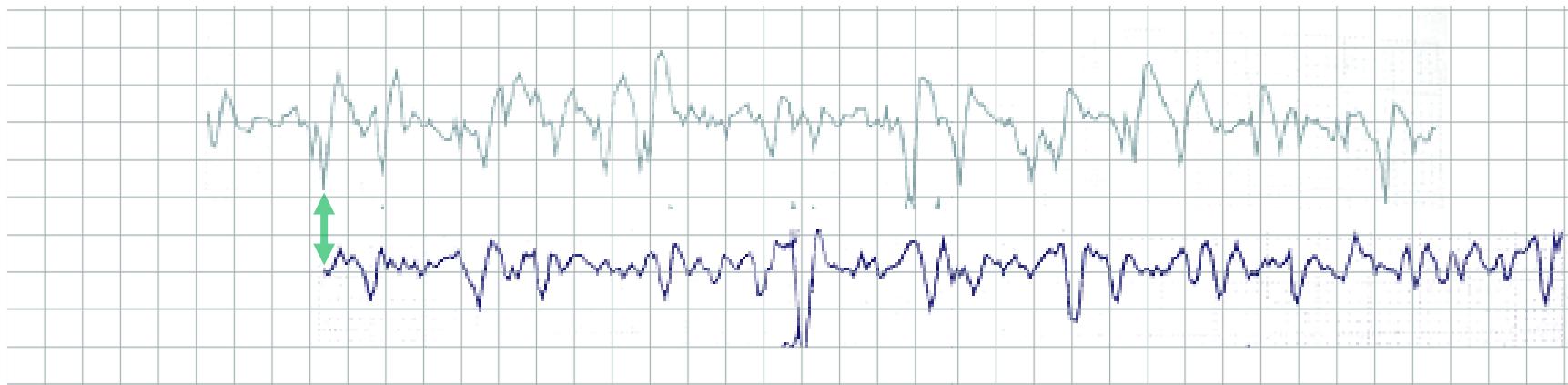
- **פעולה הקורלציה** מאד מזכירה את פעולה הקונבולוציה.
- ישנים שני הבדלים עיקריים בין **קורלציה** לkonvolוציה:
  - **בקורלציה** לא הופכים את המסנן לפני תחילת תהליך ה-"הזזה-כפל-סכום"
  - **בד"כ בקורסילציה** המסנן הוא בעצמו אות אחר.



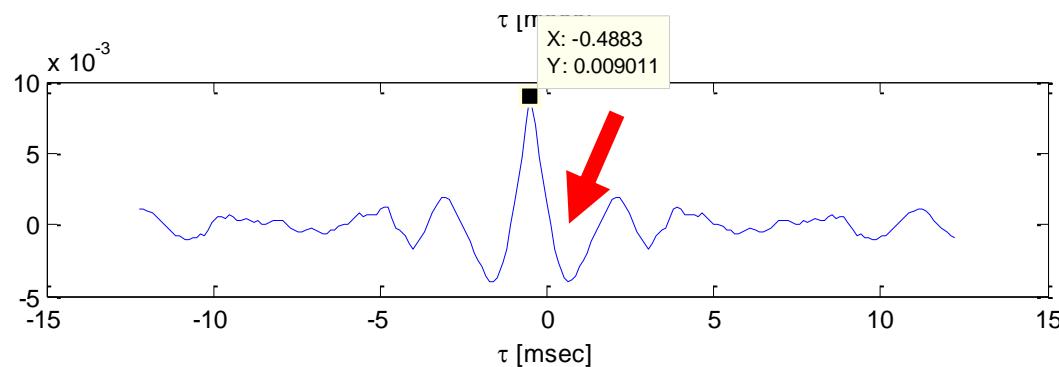
# שער ההשניה

- **כללי המשחק:**
  - נתונים שני אוטות שמקילים מידע זהה
  - האותות מושאים זה ביחס זהה
  - לכל אחד מהם התווסף רעש שונה
- **מטרה:**
  - נרצה לשערר את ההשניה בין האותות
- **שאלה: למה המשימה הזאת לא טריומיאלית?**
  - כי לכל אחת התווסף רעש **שונה!**

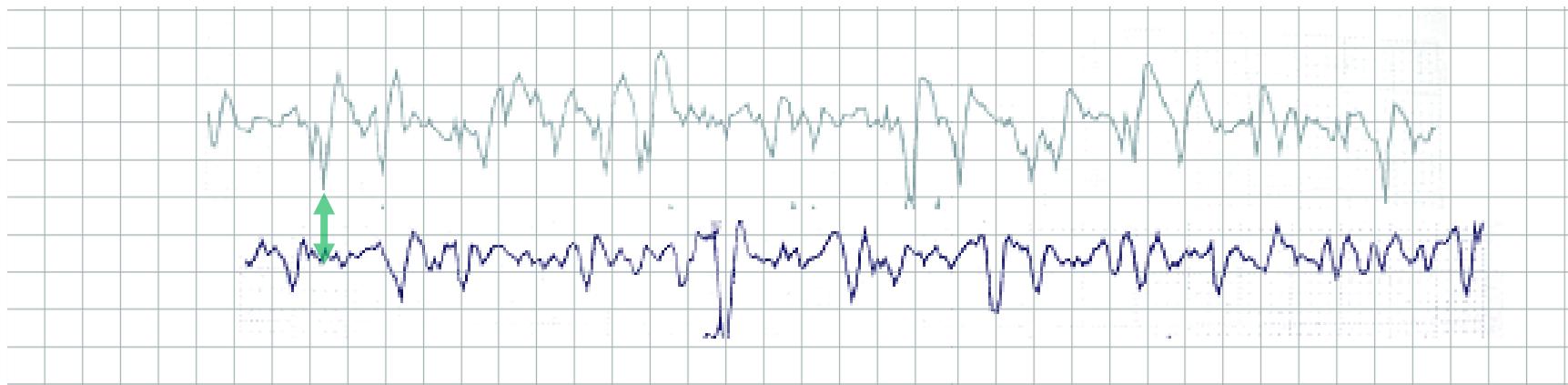
# שערור השהיה - המCHASE



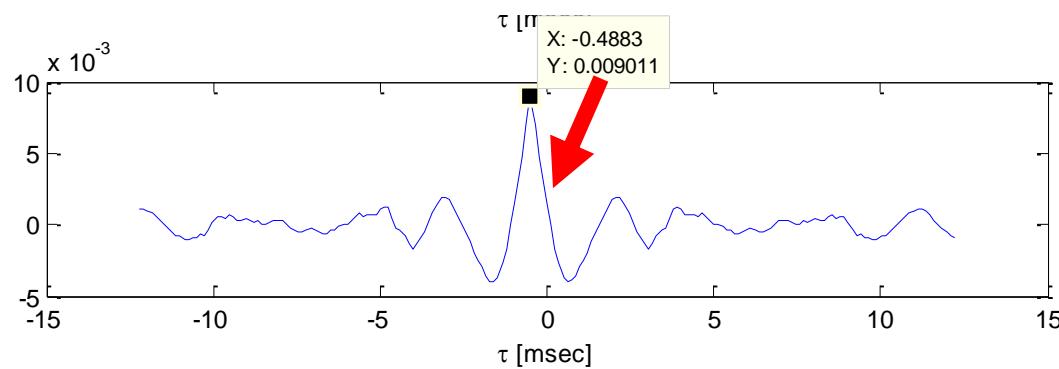
$$\tau = 0$$



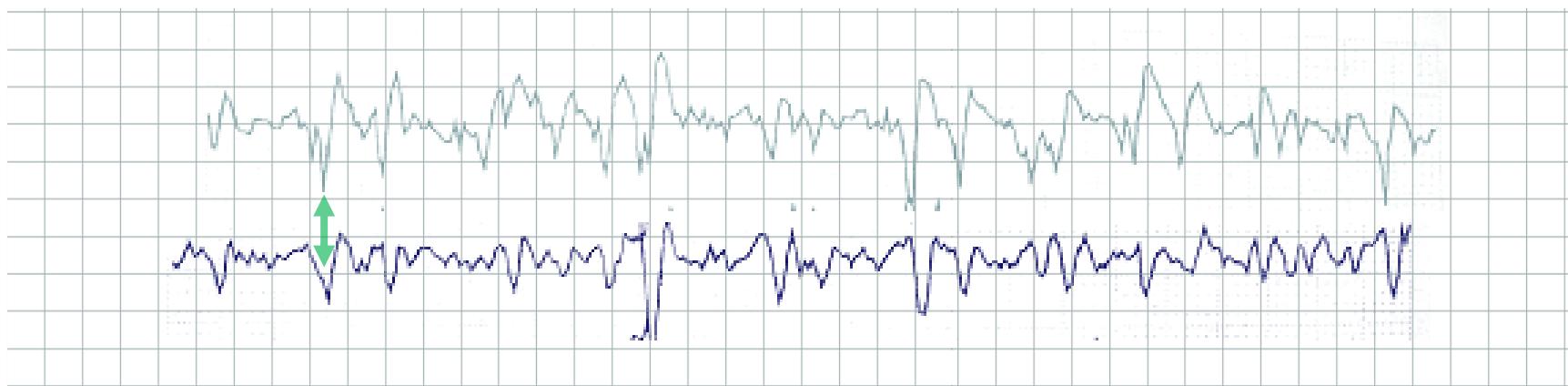
# שערור השהיה - המCHASE



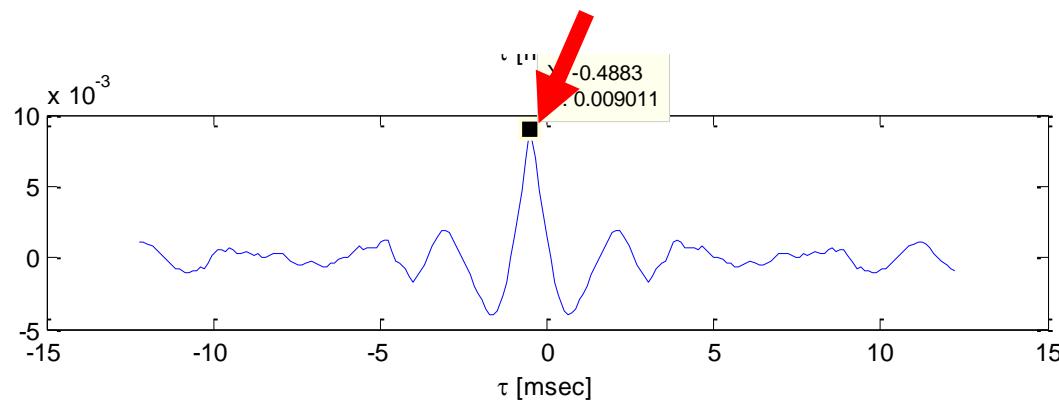
$$\tau = -0.2$$

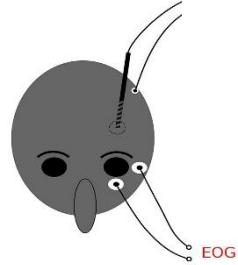


# שער הראה - המבנה



$$\tau = -0.49$$

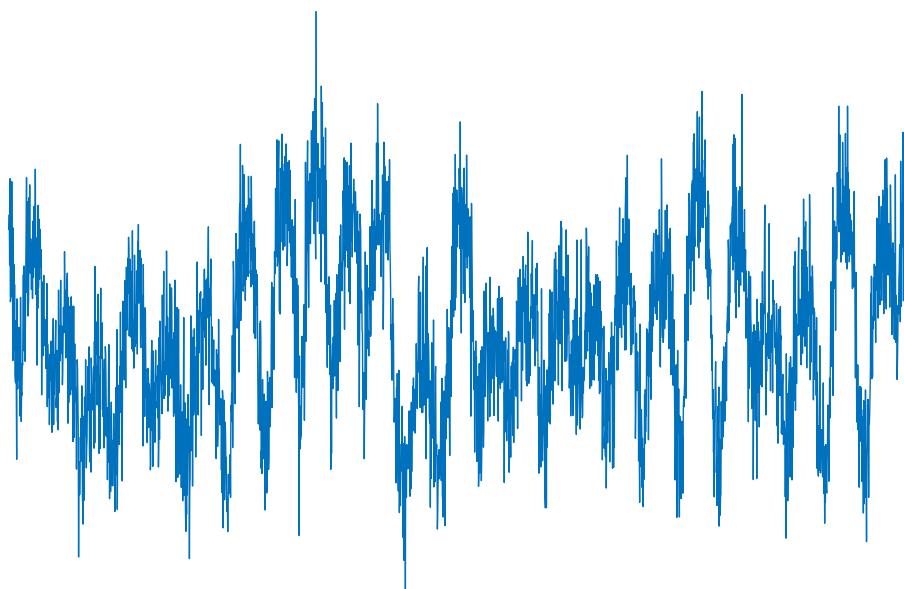




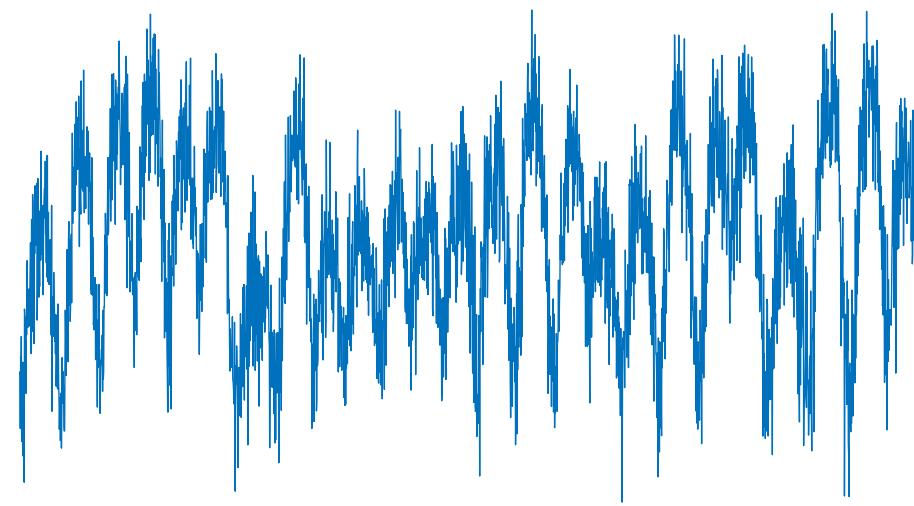
# שיעור השהייה בין אותן EOG

- למשל נתונות שתי מדידות של אותן עיניים:

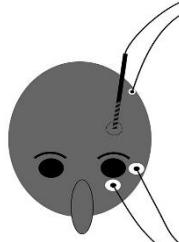
*Measurement From Sensor 1*



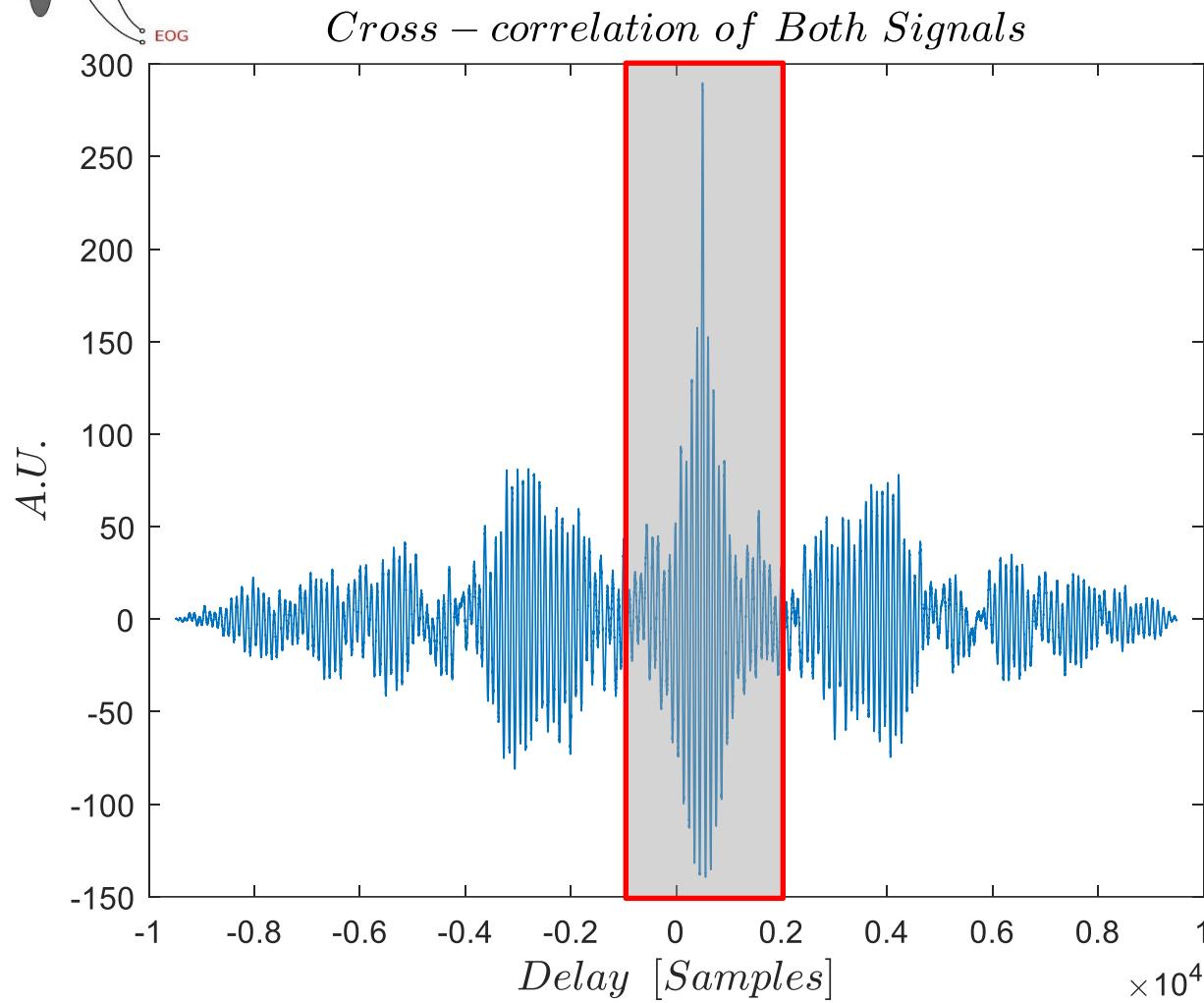
*Measurement From Sensor 2*



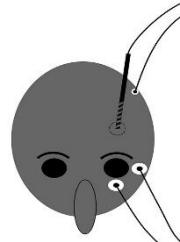
- שאלה:** איך נמזה את ההשויה בין שתי אותן?



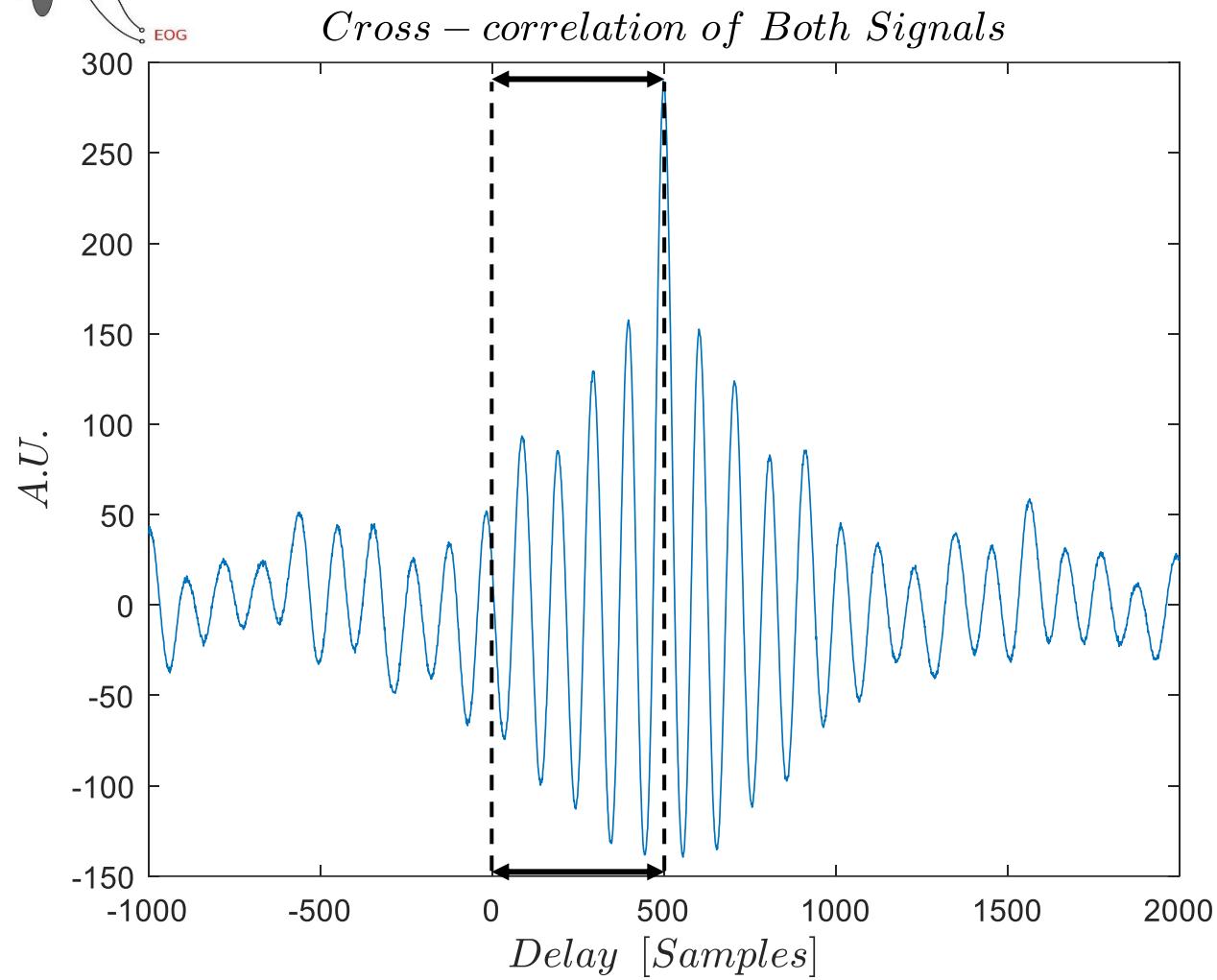
# שיעור השהייה בין אותן EOG



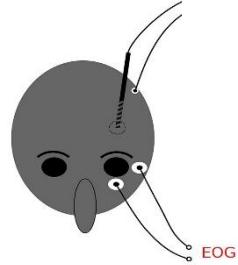
- **פתרון:** נחשב את פונקציית הקְרַחֵס-קורלציה:



# שיעור השהייה בין אוטות EOG



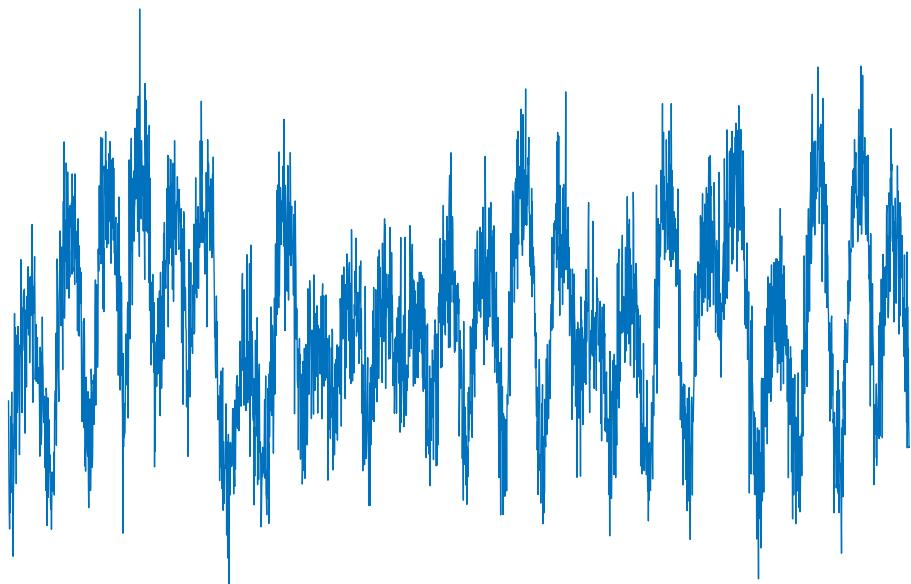
- פתרון: נבדוק כמה זו הפיק  
מ-0:



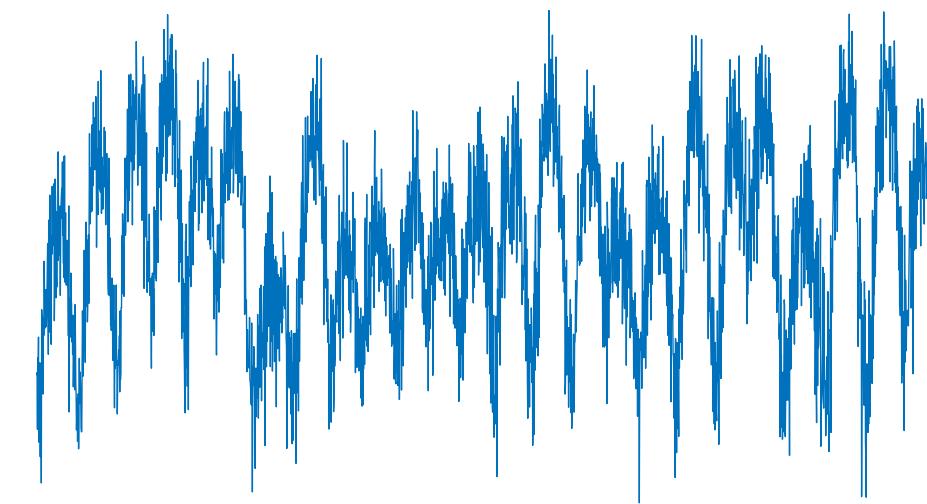
# שיעור השהייה בין אותן אותות EOG

- פתרונות: נציג את האות הראשון ב-500 דגימות אחריה ונקבל:

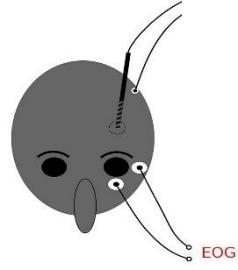
*Measurement From Sensor 1*



*Measurement From Sensor 2*

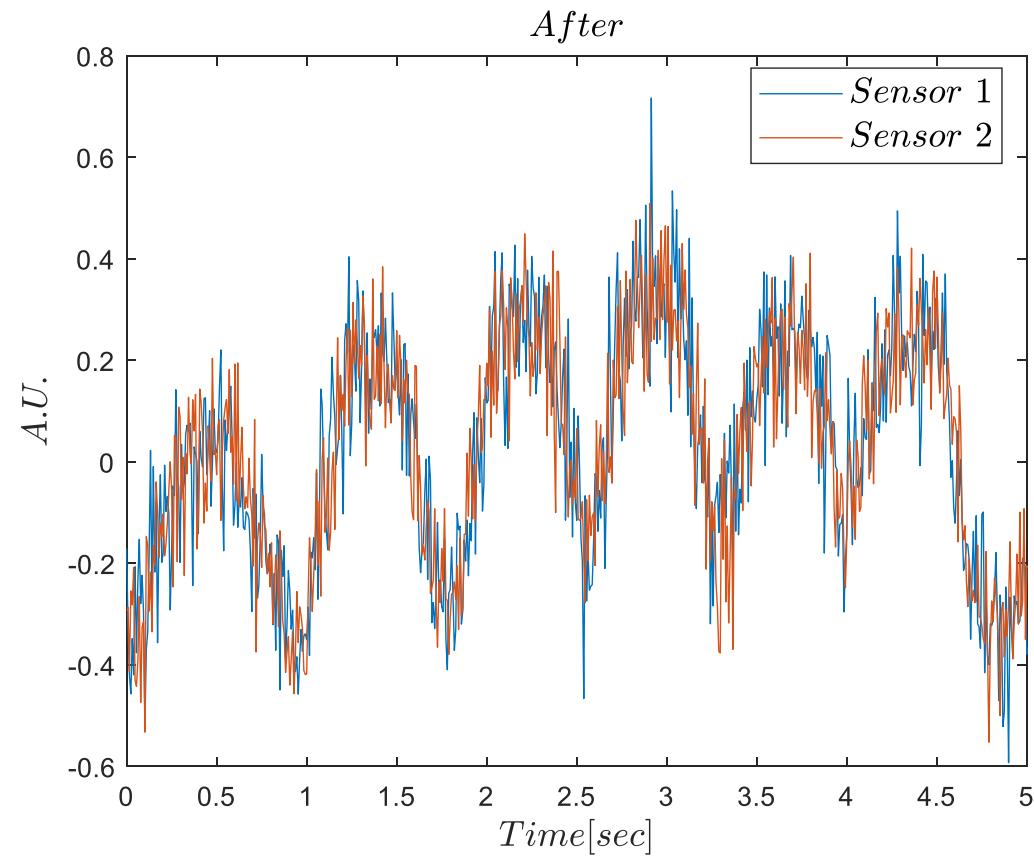
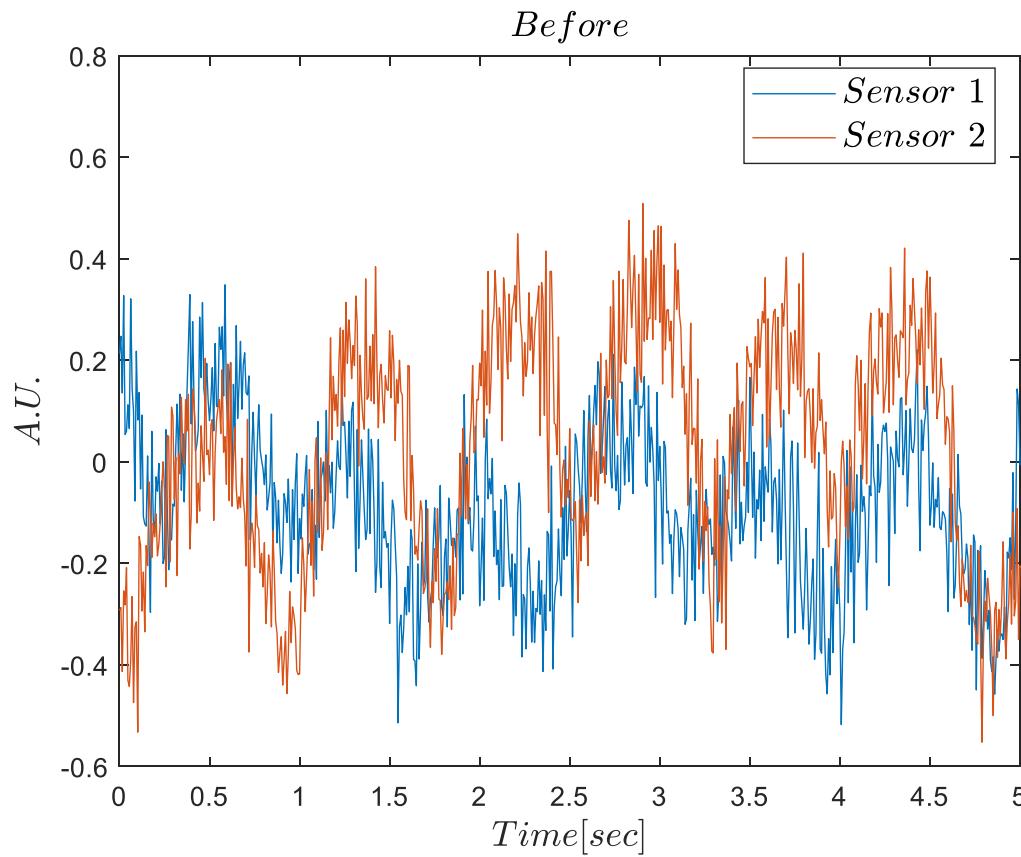


- אם אכן קיבלנו התאמה בין שני אותן אותות?



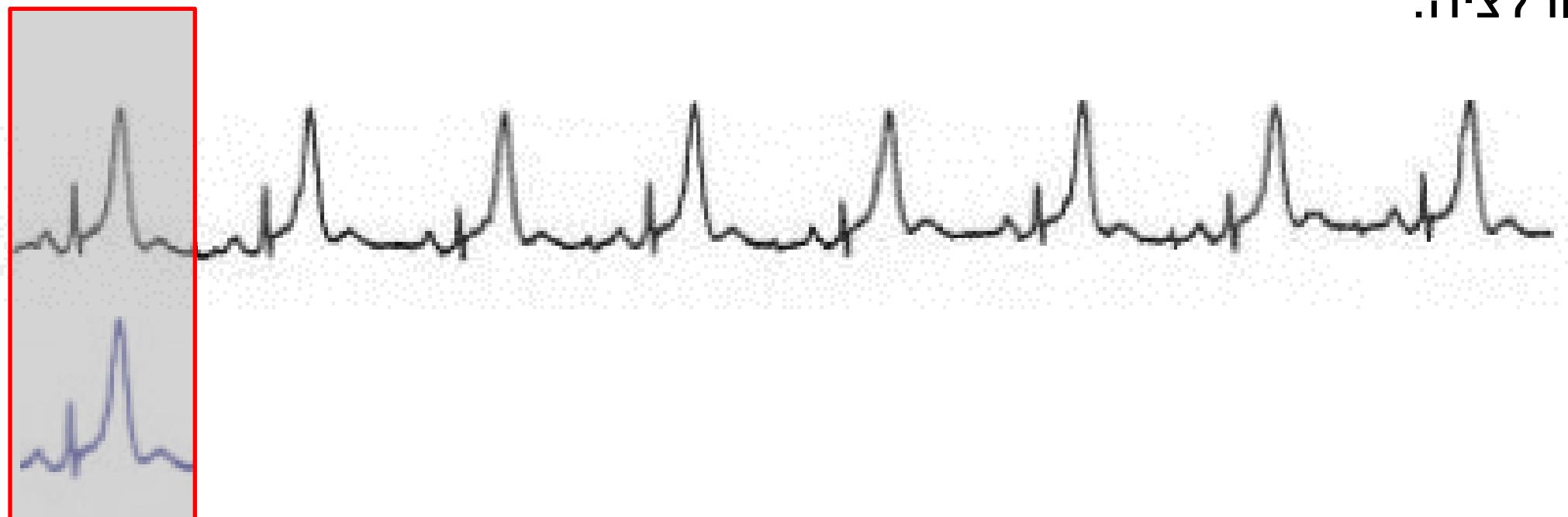
# שיעור השהייה בין אוטות EOG

- בדיקה מקרוב מראה שן:

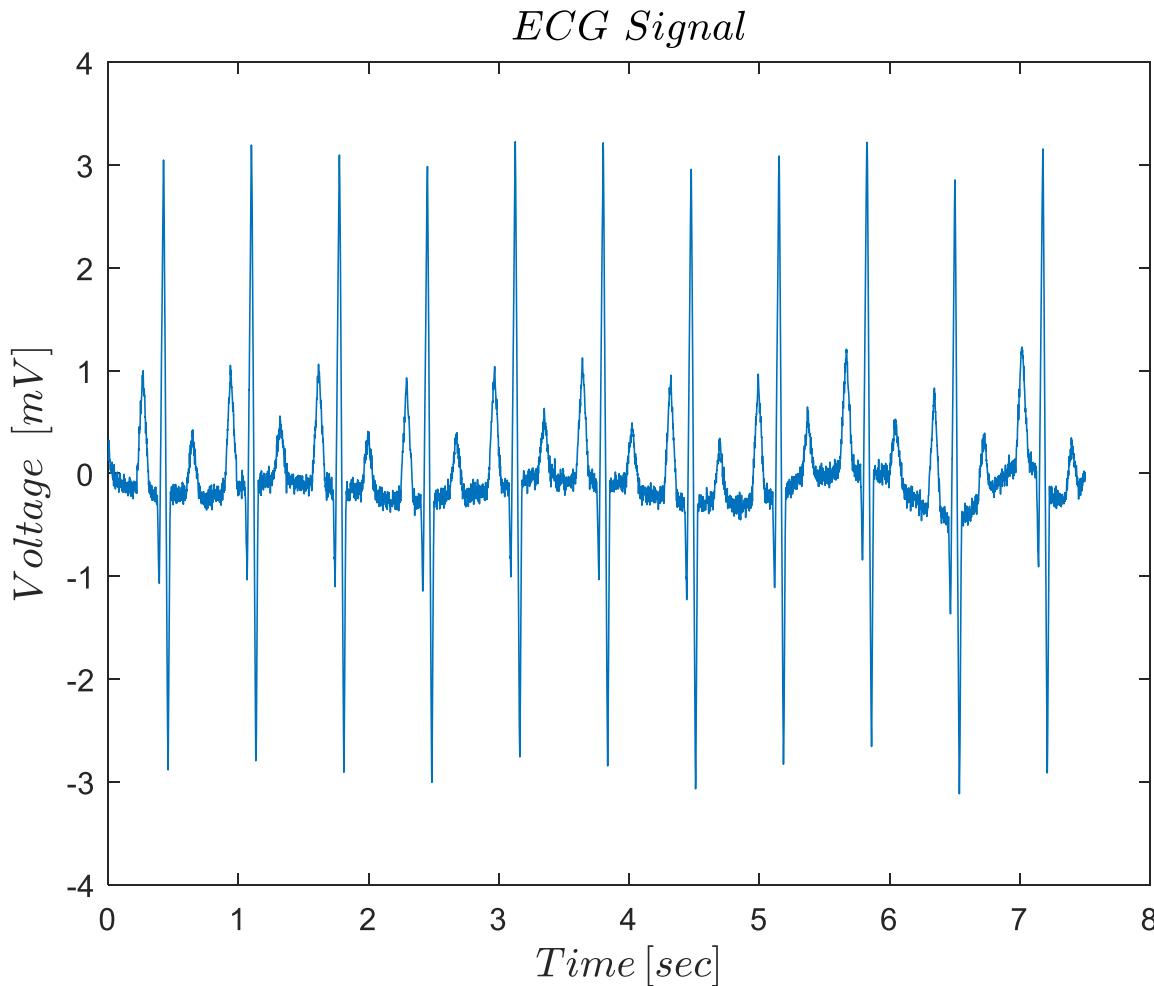


# זיהוי מאורעות / חיפוש תבניות

- אפליקציה אחרת בה משתמשים בקורסציה היא זיהוי מאורעות/אובייקטים.
- אם אנחנו יודעים מה " התבנית " שאנו מחפשים, ניתן למצוא אותה בעזרת קורסלציה:



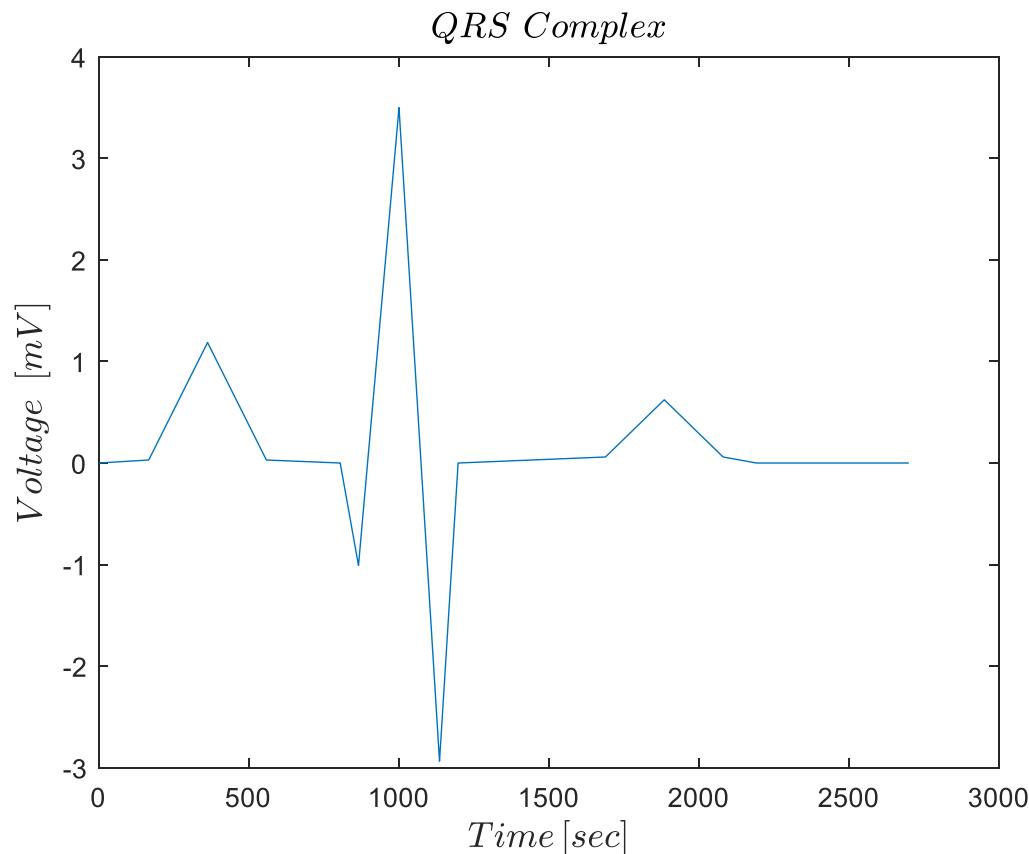
# דוגמה: מציאת קומפלקס QRS באוט ECG



- נתון: אות ECG ~מיישר (לאחר הסרת הריסט):
- המשימה: זיהוי מיקומי הפעימות לניטוח קצר הלב.
- שאלת: איך נעשה זאת?

# דוגמה: מציאת קומפלקס QRS באוט ECG

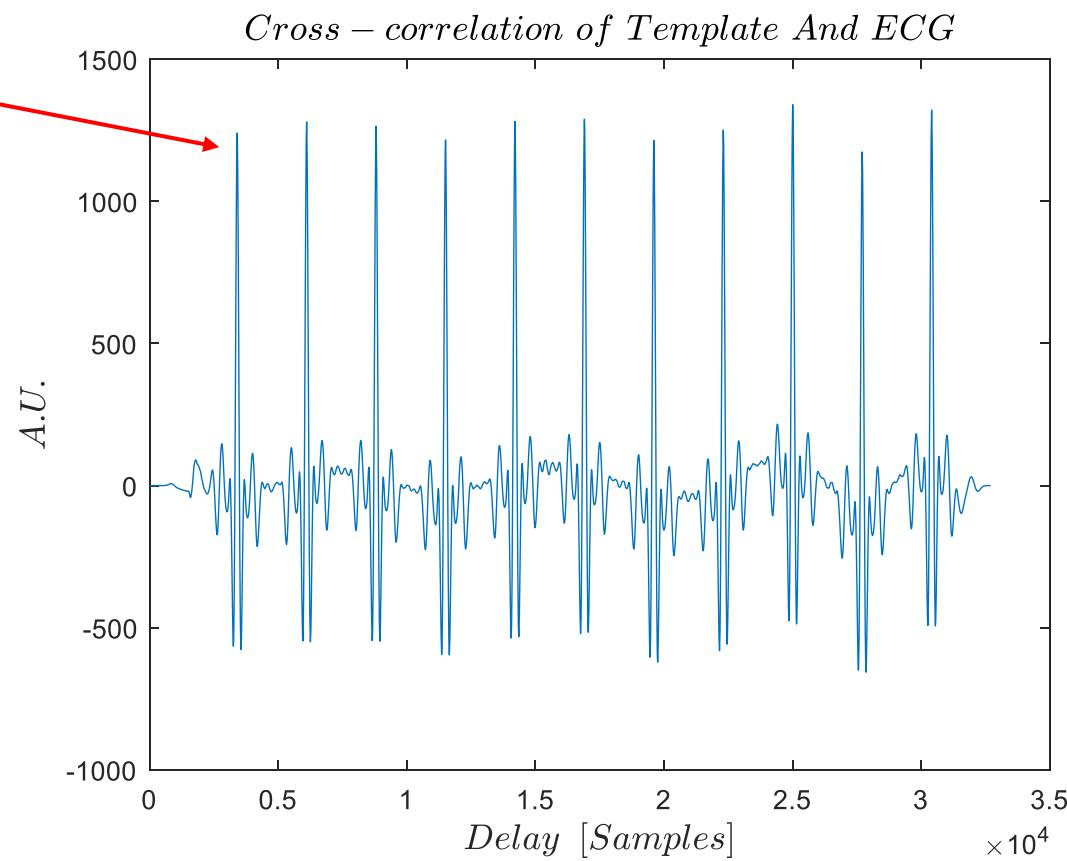
- אות ה-ECG מאופיין ע"י חוזרת של אותה תבנית הנקראת קומפלקס QRS:



# דוגמה: מציאת קומפלקס QRS באוט ה-ECG

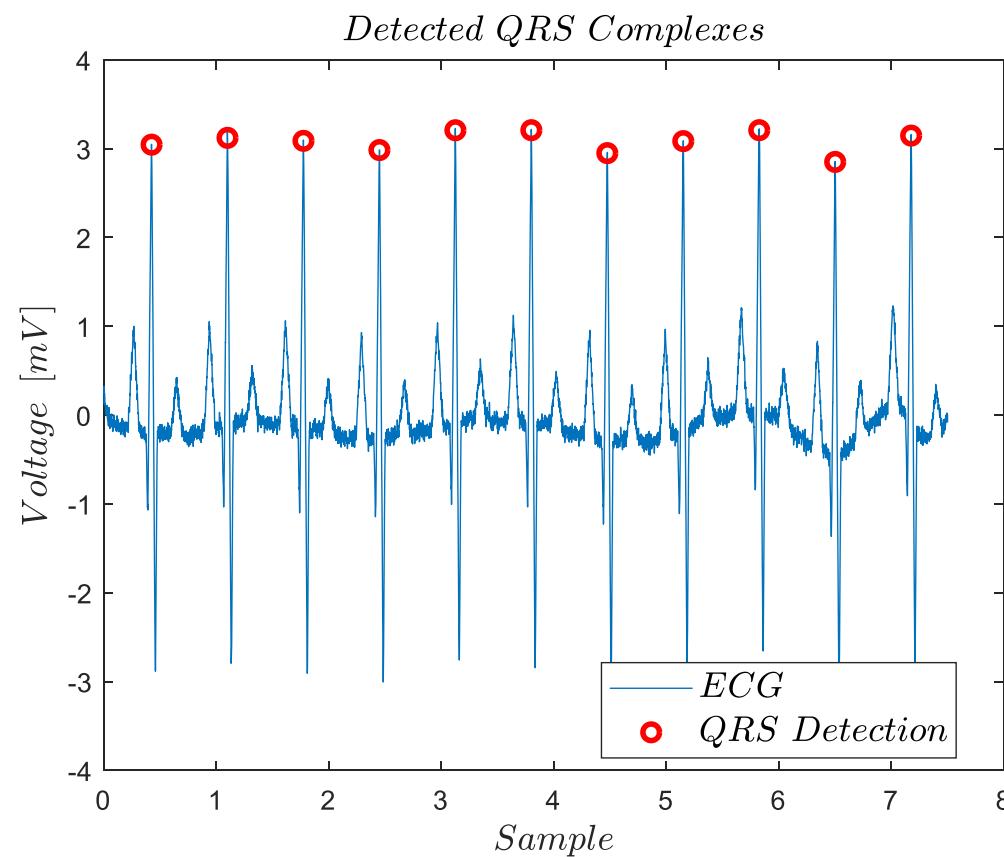
- פתרון: נחשב את **הקרוס-קורלציה** בין התבנית לאות ה-ECG:

הקרוס-קורלציה מקבלת  
מקסימום = במקומות זה  
ישנה התאמה טובה  
لتבנית



# דוגמה: מציאת קומפלקס QRS באוט ECG

- פתרון: להלן מיקומי המקסימות בQRS-קורלציה על גבי האות ECG:



# דוגמה ב**ב**D-מיד: זיהוי אובייקט בתמונה

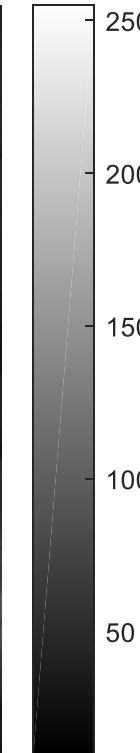
- אותו הגיון כמו ב**ח**C-מיד רק שunless המבנה היא מטריצה/תמונה קטנה:

*Template*

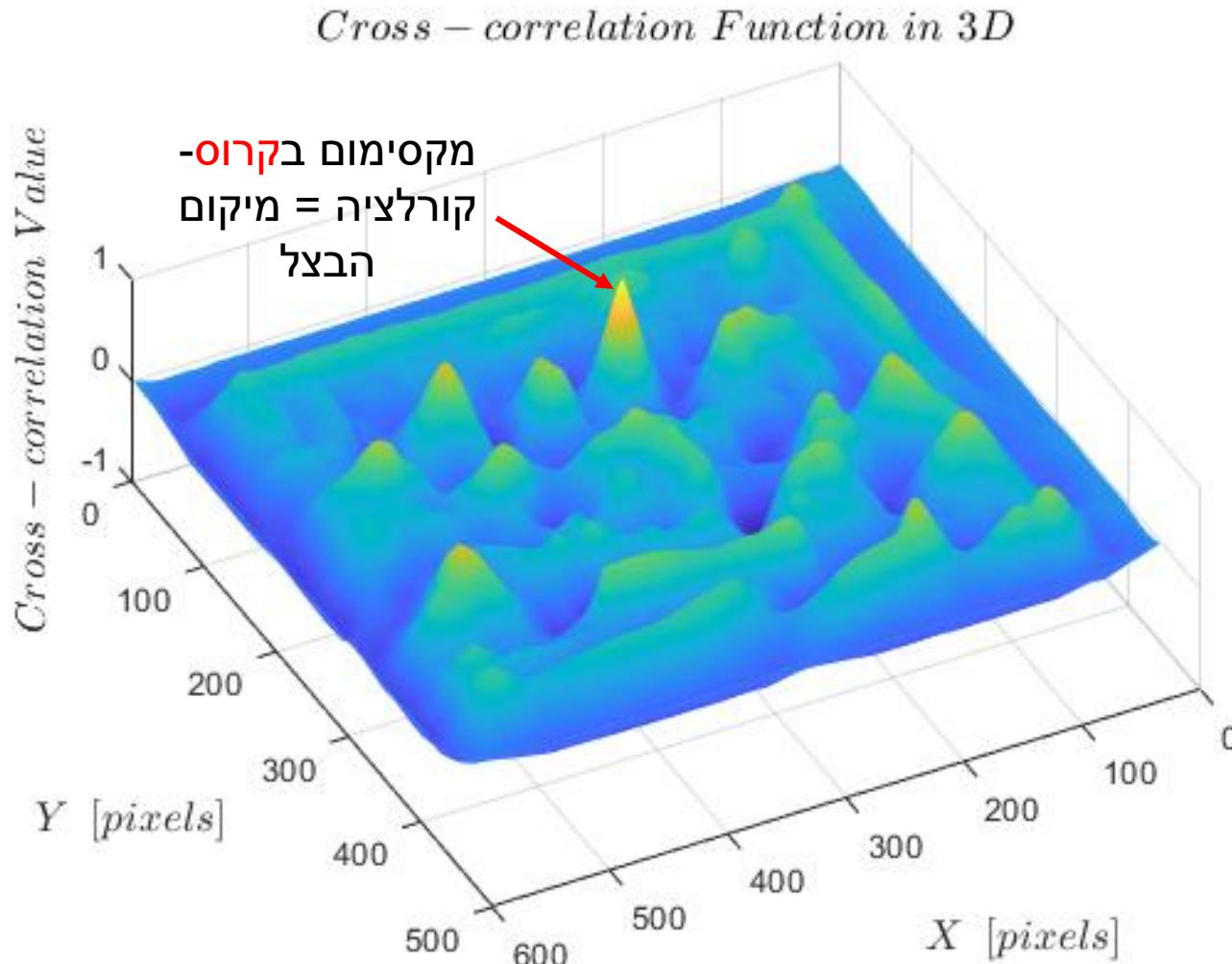


X

*Input Image*



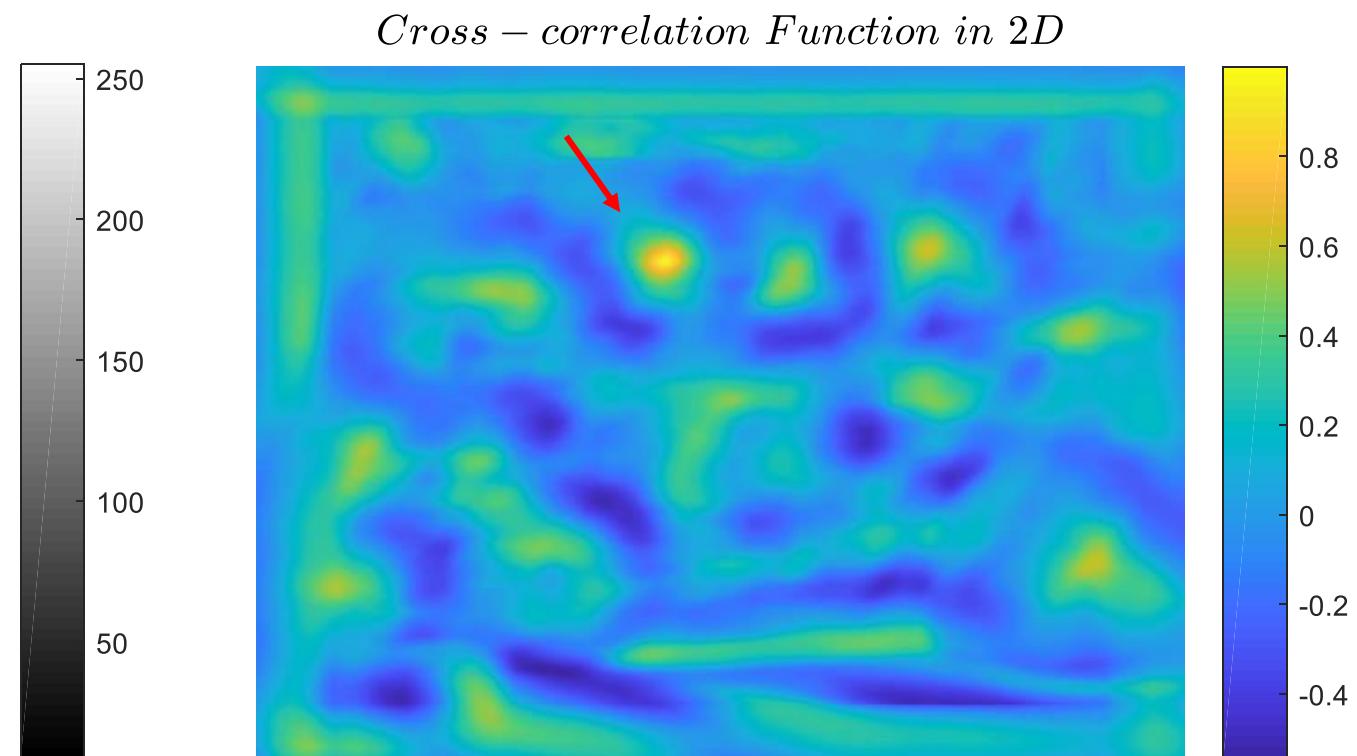
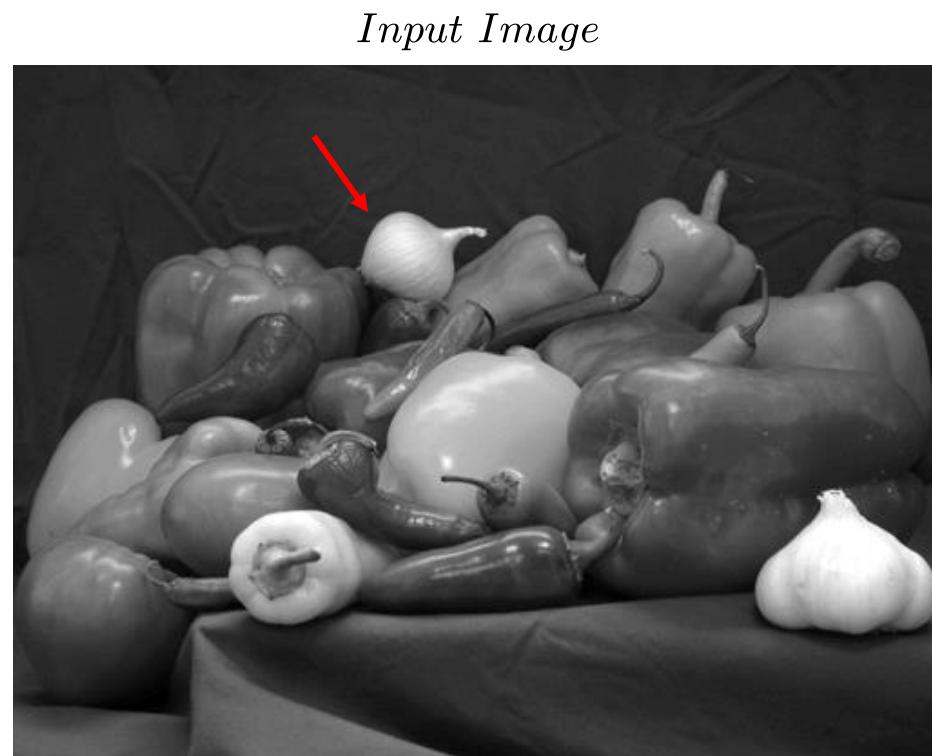
# דוגמה ב $\text{3D}$ -מידה: זיהוי אובייקט בתמונה



- פונקציית הקורלציה – קורלציה  $\text{3D}$ -מידית תראה כך:

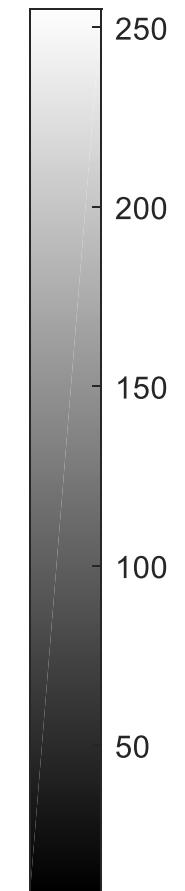
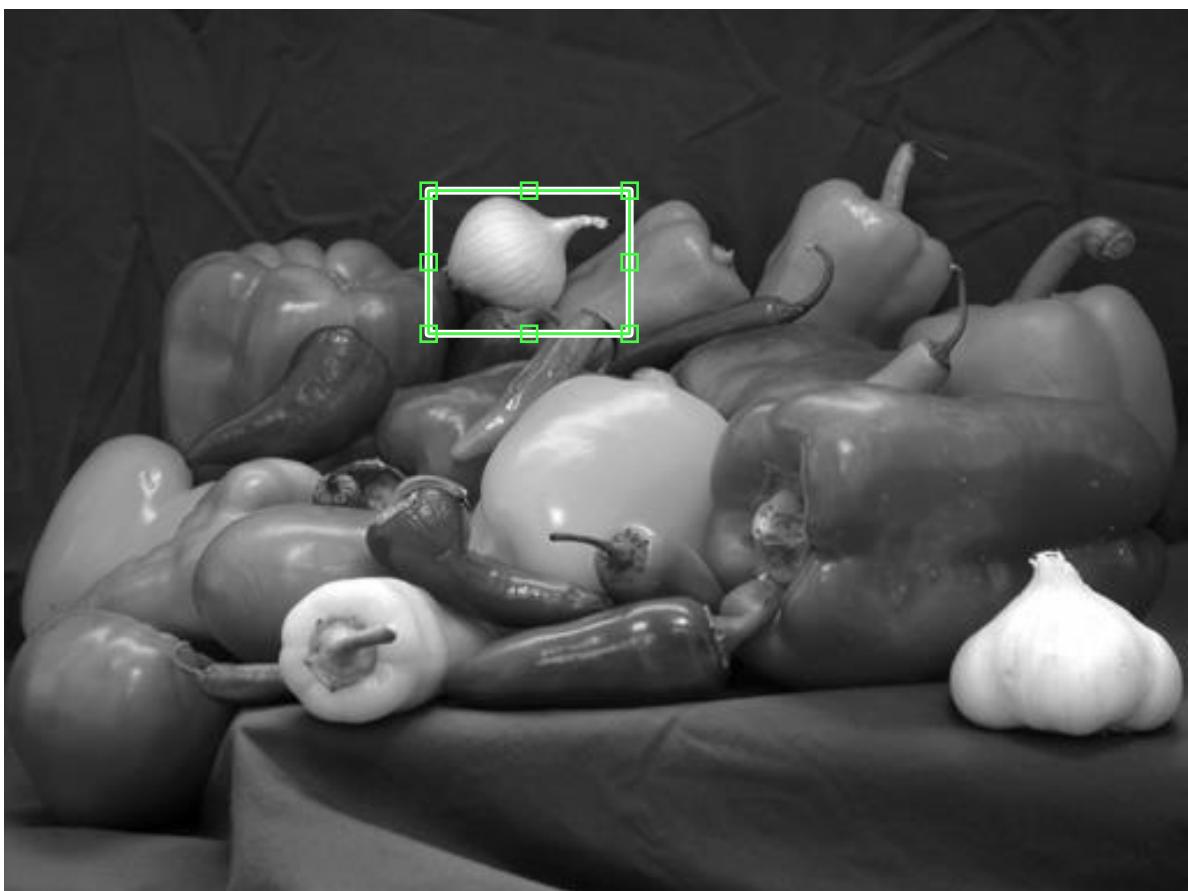
# דוגמה ב $2D$ -מיד: זיהוי אובייקט בתמונה

- מקסימום ב $2D$ -קורלציה = מיקום הצלל:



# דוגמה בD-מידה: זיהוי אובייקט בתמונה

*Detected Template*



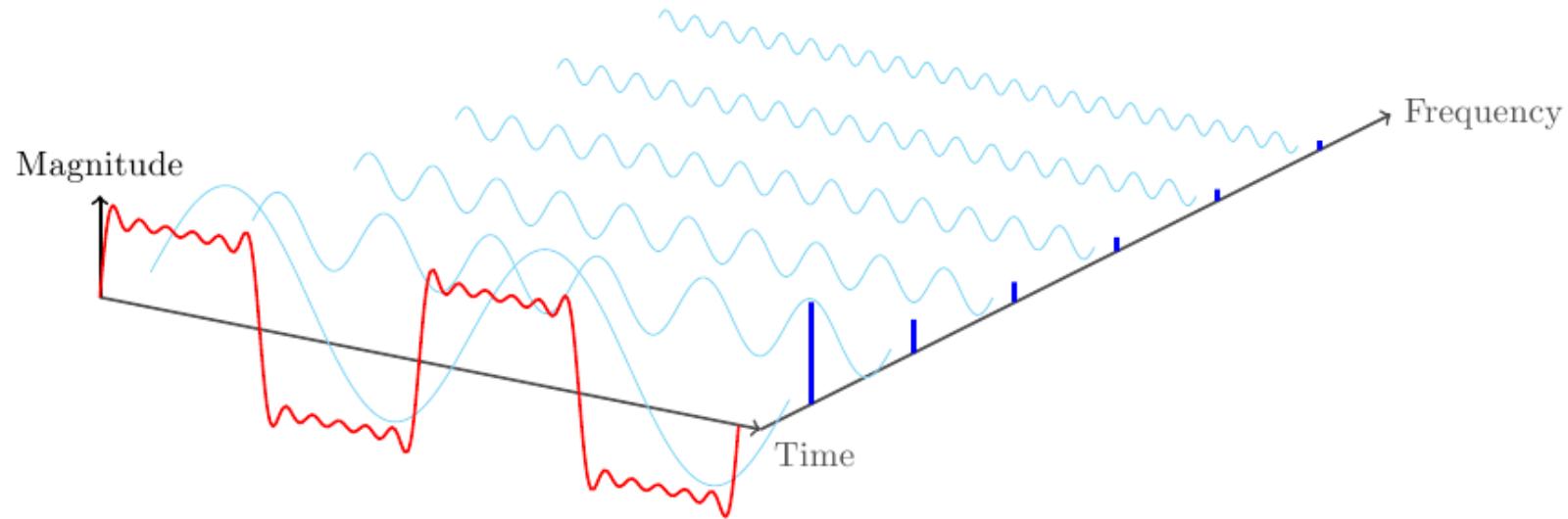
- התוצאה הסופית  
תראה קר:

# מה בתכנית?

- ✓ אוטות ומערכות
- ✓ סוגים של אוטות
- ✓ קוונטיציה/דגימה
- ✓ ייצוג במישור התדר ע"י התמרת פורייה
- ✓ מסננים דיגיטליים
- **שיעור סטטיסטי**
  - ✓ שיעור ממדידות רouseות
  - ✓ שימושים של פונקציית הקורלציה
- **התמורות משולבות של זמן-תדר**
- **דוגמה מסכמת**

# אותות משתנים בזמן / לא "סטציונריים"

- זיכרון: בחלק הראשון אמרנו של[Unit]ים קרובות נוח יותר לייצג אותן **במישור התדר**:



- שאלה: איך נא芬ן אותן שמשנים את התכולת התדרית בזמן?

## אותות משתנים בזמן: דוגמה

- למשל נתון אות ה-EEG הבא:



- ניתן לראות שהתคולה התדרית של האות משתנה כפונקציה של הזמן.
- התמרת פוריה לכל האות לא תשקף את האינפורמציה הזמןית הרגעית במדויק. מה אפשר לעשות?

# התמרת פורייה ל"זמן קצר"/ STFT

- נעבור על האות במקטעים ונחשב את התמרת פורייה של כל מקטע:

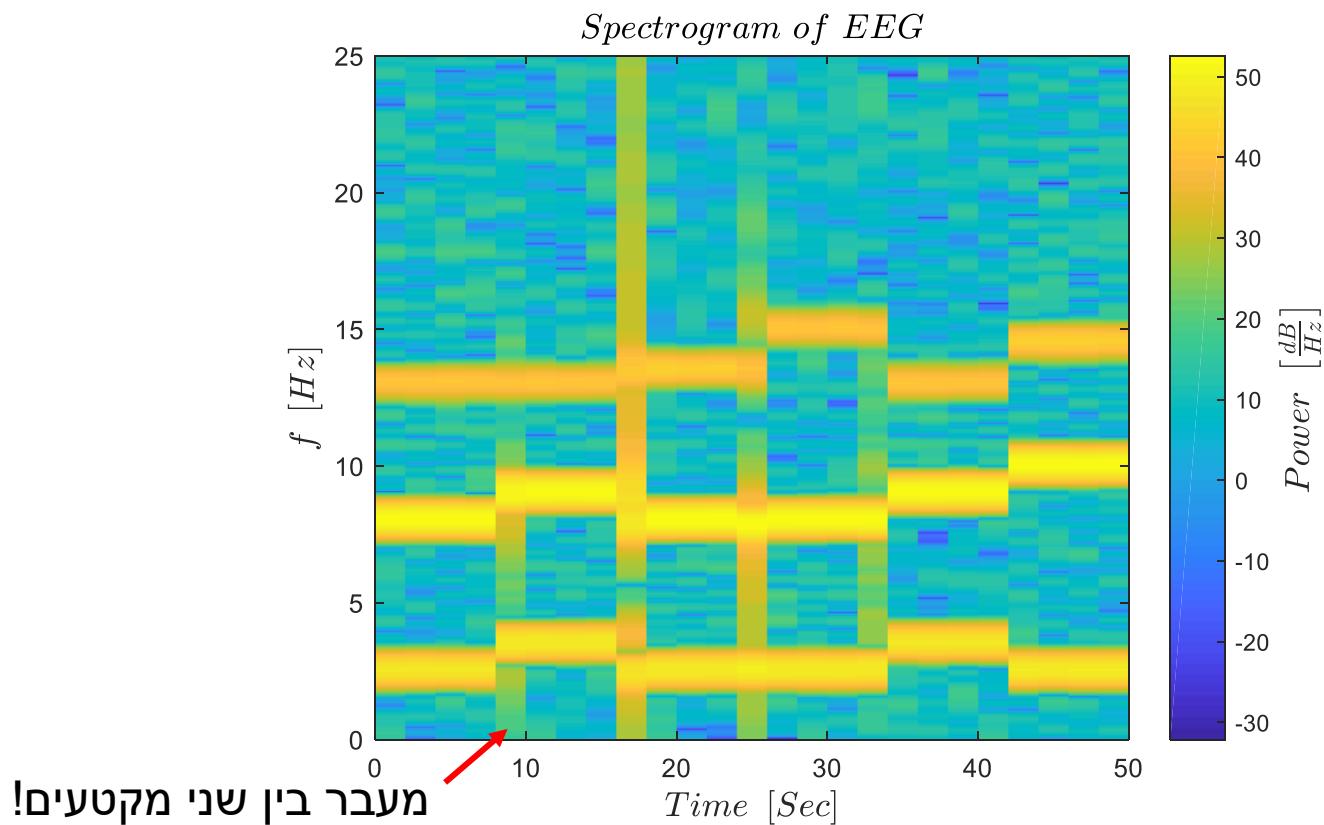


чисוב  
התמרת  
פוריה

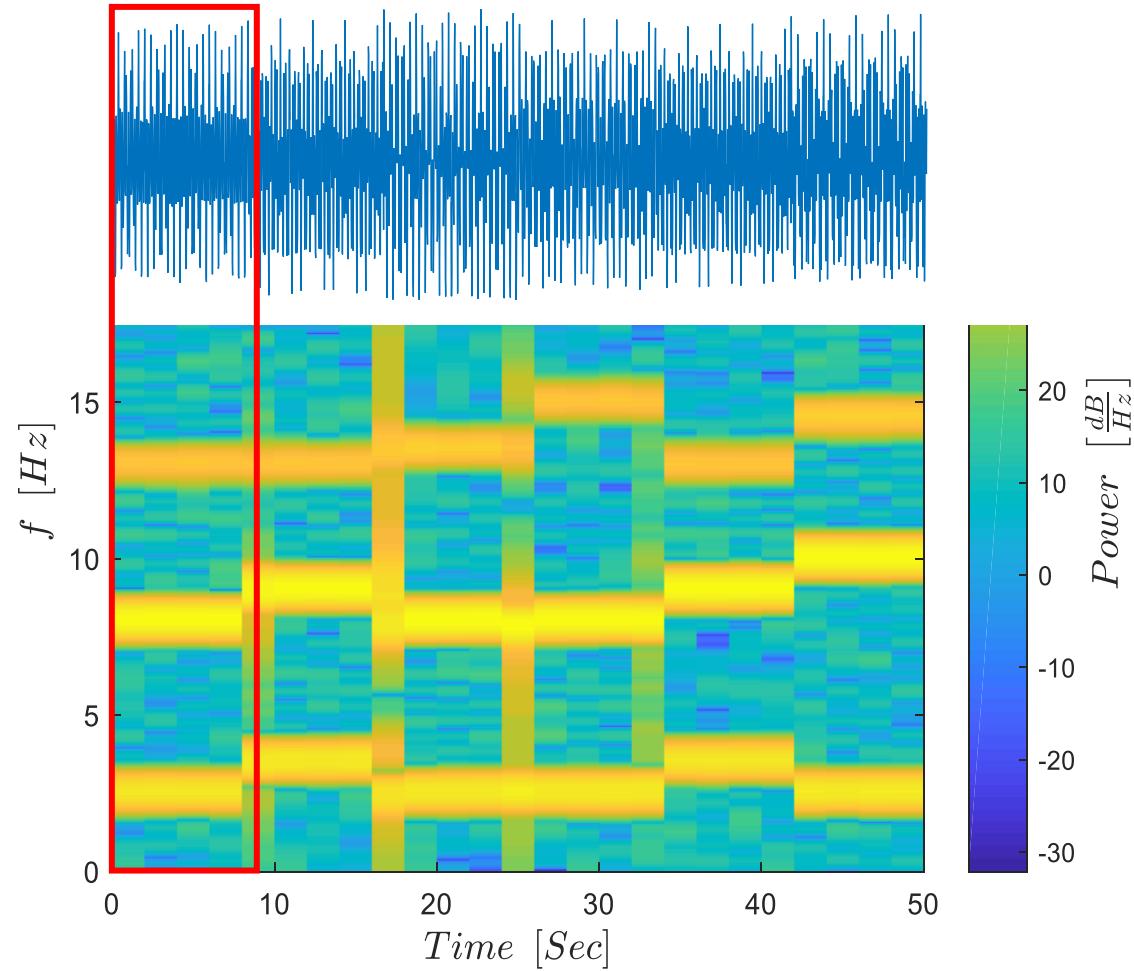
- נציג את התוצאה במטריצה (שქף הבא).

# התרמת פורייה ל"זמן קצר"/STFT

- התוצאה המתקבלת עברו האות מהשיקף הקודם:



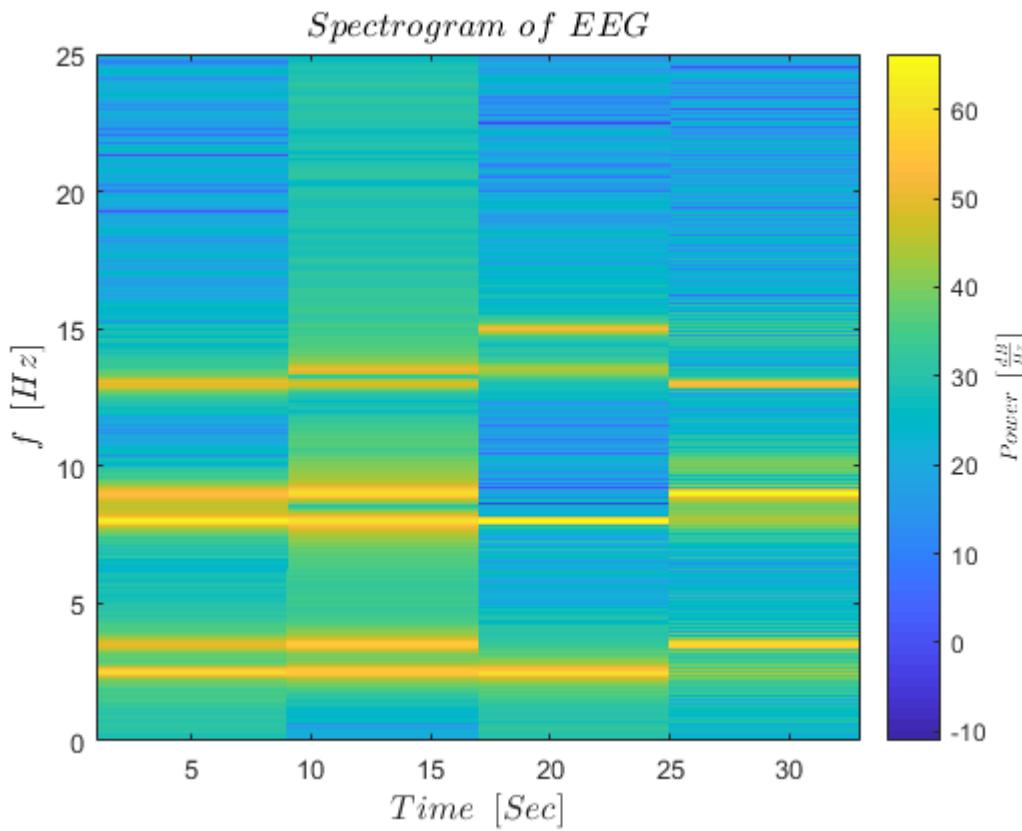
# התרמת פורייה ל"זמן קצר"/STFT



- **локלייזציה של המעברים בהתרמת על גבי האות:**

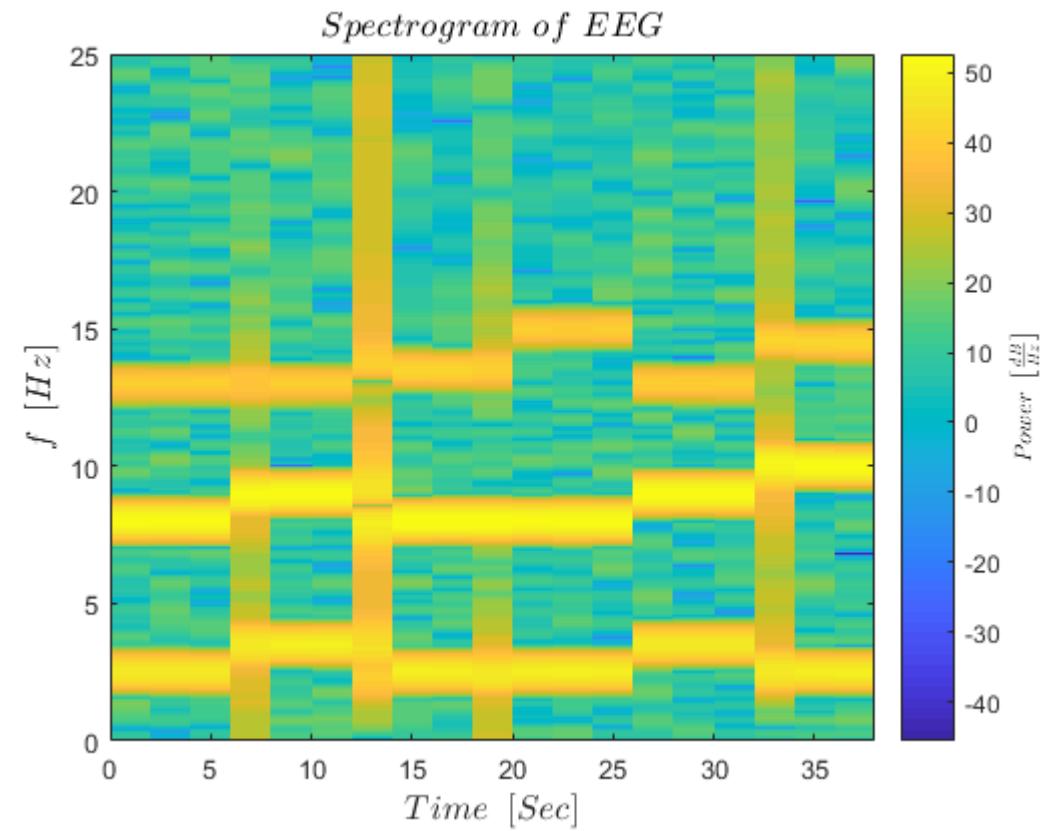
# רזולווציה בזמן-תדר

- עקרון האי-ודאות:



צץ בזמן = רחב בתדר

2/21/2021



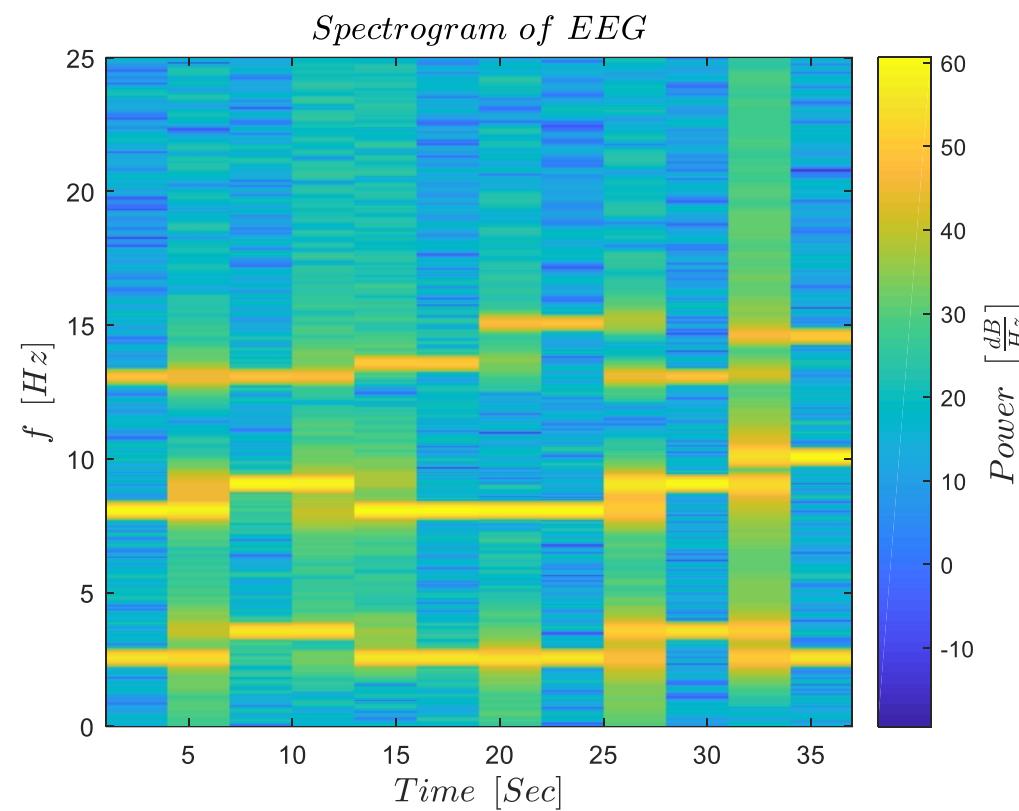
צץ בזמן = רחוב בתדר

אליאס געמה – הנדסת חשמל + הנדסה ביו-רפואית, טכניון

131

# רזולווציה בזמן-תדר

- בד"כ עושים פשרה בין השניים (או משתמשים בכלים יותר מתקדמים):

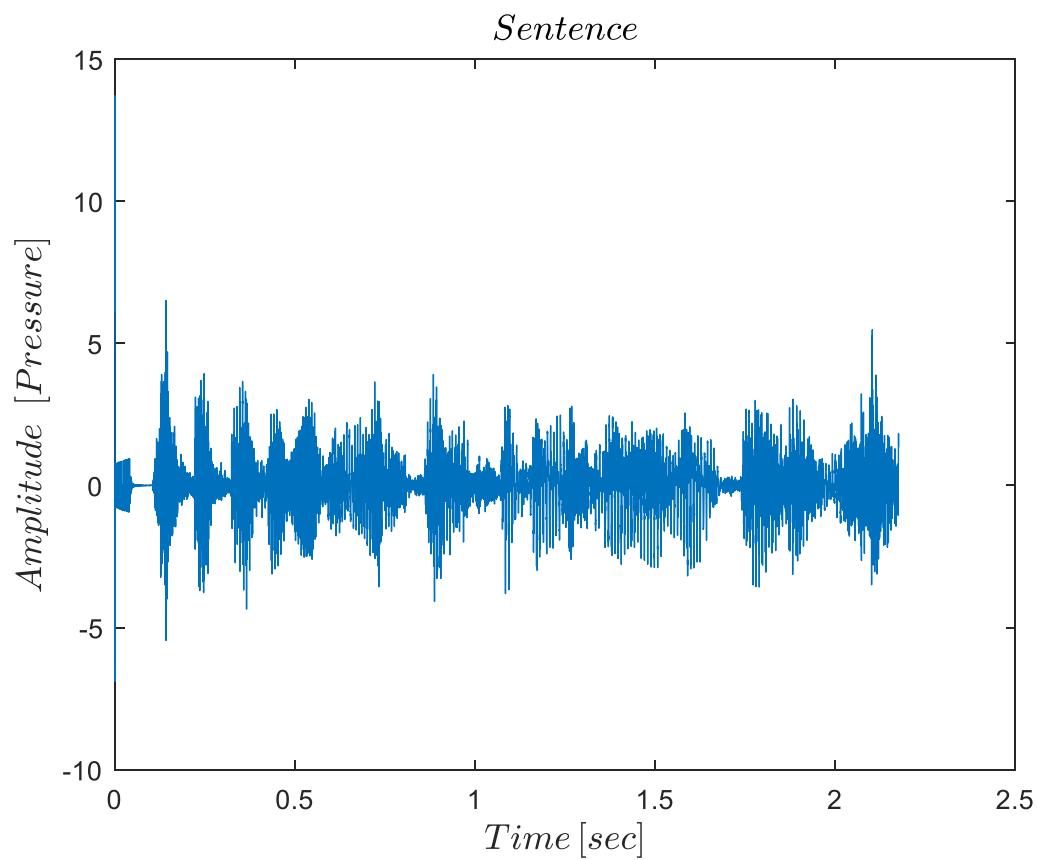


# מה בתכנית?

- ✓ אוטות ומערכות
- ✓ סוגים של אוטות
- ✓ קוונטיציה/דגימה
- ✓ ייצוג במישור התדר ע"י התמרת פורייה
- ✓ מסננים דיגיטליים
- **שיעור סטטיסטי**
  - ✓ שיעור ממדידות רouseות
  - ✓ שימושים של פונקציית הקורלציה
  - ✓ התמורות משולבות של זמן-תדר
- **דוגמה מסכמת**

# דוגמה מסכמת: זיהוי דיבור

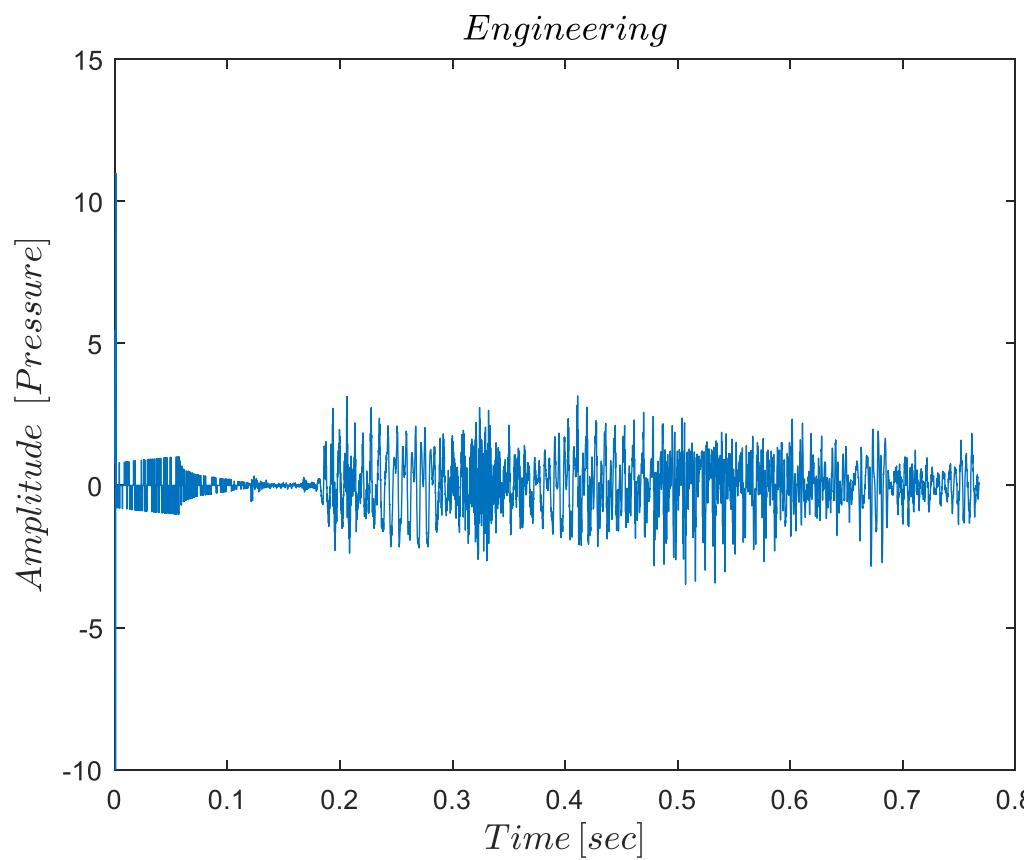
- נניח נתונים לנו המשפט הבא:



“en-GIN-eer-ing”

# דוגמה מסכמת: זיהוי דיבור

- ונתונה המילה "הנדסה":



"en-gin-EER-ing"

## דוגמה מסכמת: זיהוי דיבור

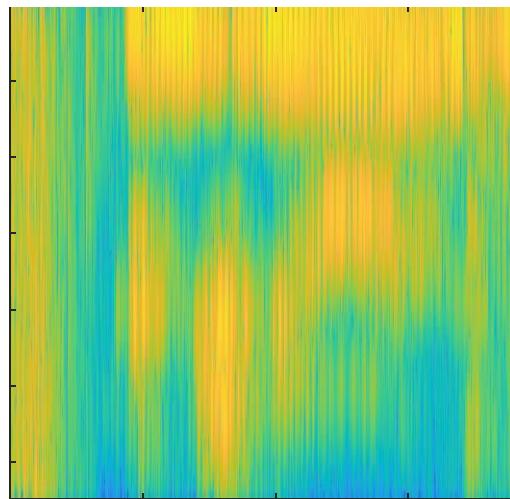
- אם ננסה להפיעיל זיהוי תבניות על אות הלחץ נתקשה למצוא את המילה "הנדסה" כיון שהדובר שינה את אופן הביטוי.



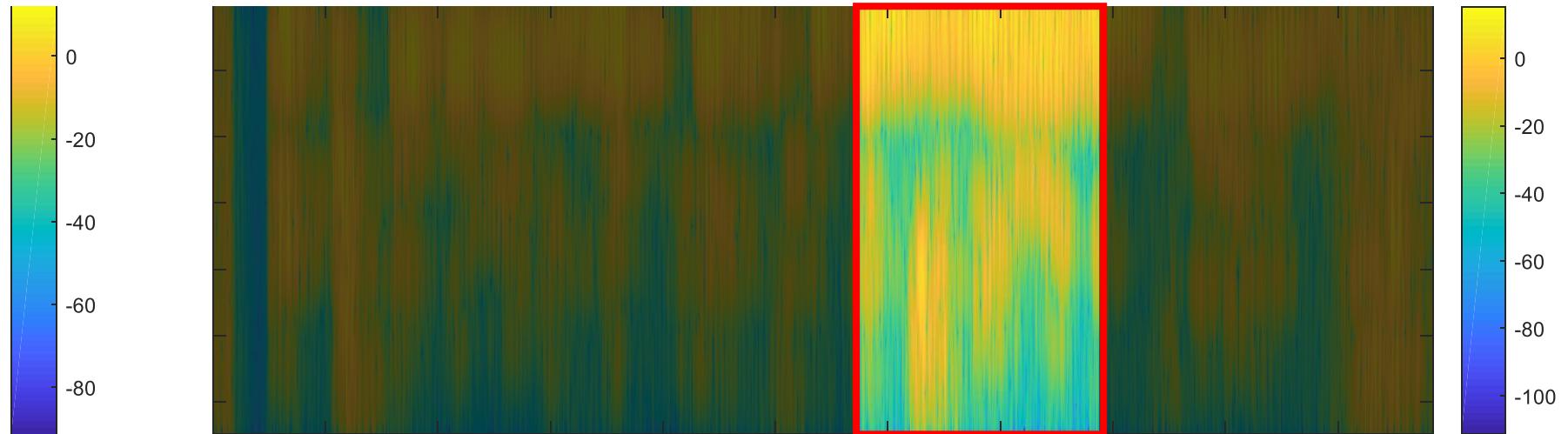
- שאלה:** אז מה עושים?

# דוגמה מסכמת: זיהוי דיבור

- פתרון: נשתמש בתמרת פורייה ל"זמן קצר" וננסה להשתמש בקורסיה למציאת התמרת המילה הנדסה בתוך התמרת המשפט!



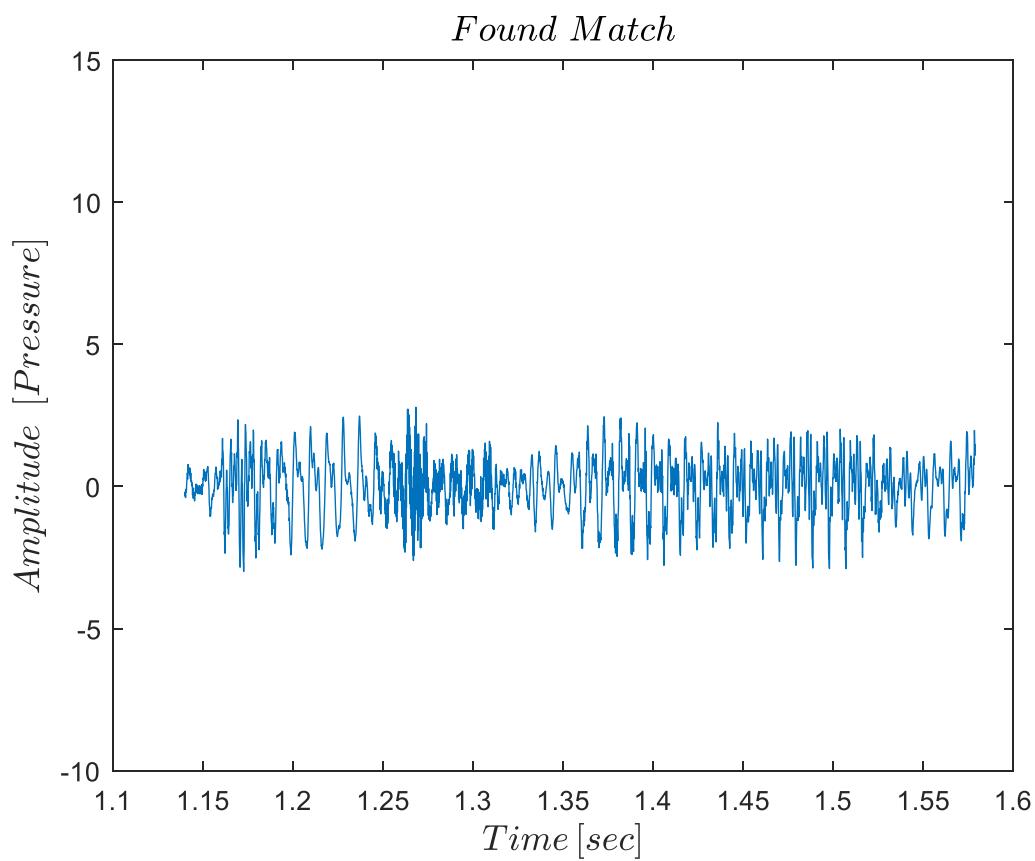
התמרת STFT של המילה "הנדסה"



התמרת STFT של כל המשפט

# דוגמה מסכמת: זיהוי דיבור

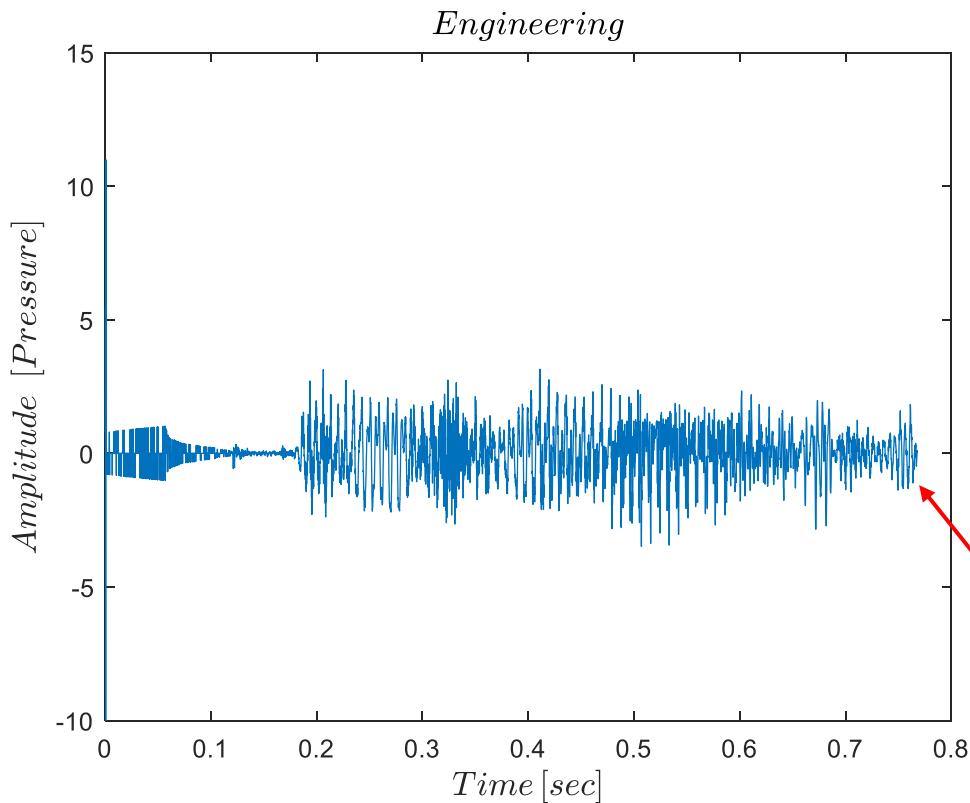
- בוא נשמע אם אכן צדקנו:



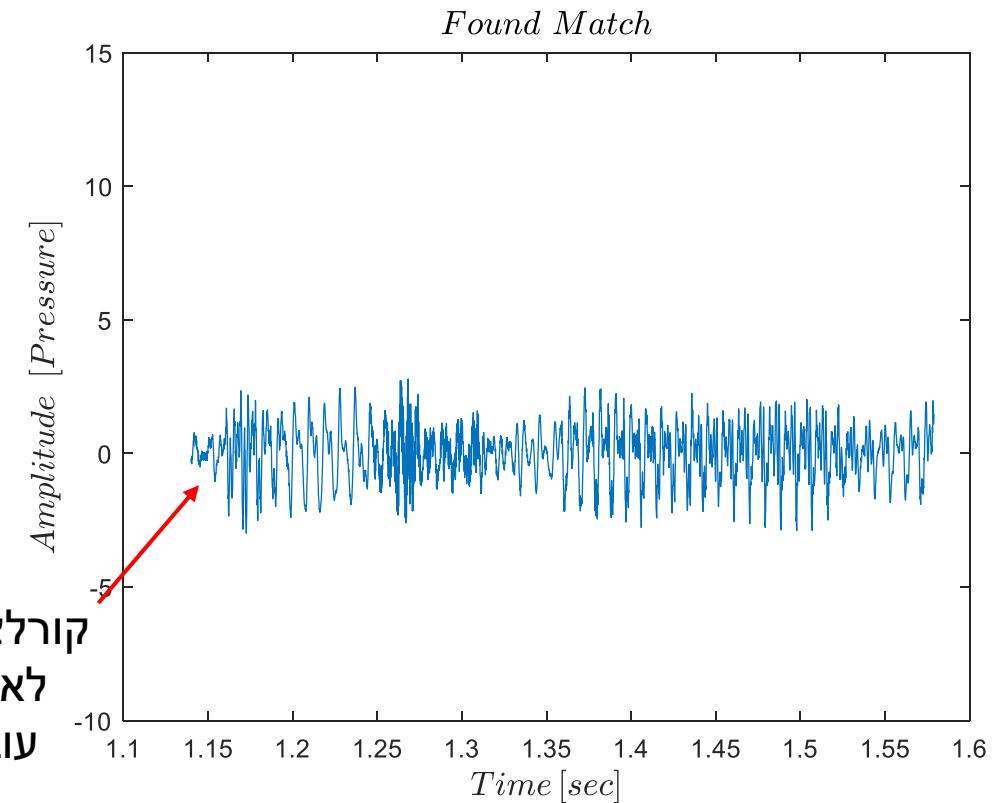
מילה שזוהתה

# דוגמה מסכמת: זיהוי דיבור

- המילה שזוהתה בהשווואה למבנה במרחב הזמן:



קורלציה בזמן  
לא היתה  
עובדת..



# מה בתכנית?

- ✓ אוטות ומערכות
- ✓ סוגים של אוטות
- ✓ קוונטיציה/דגימה
- ✓ ייצוג במישור התדר ע"י התמרת פורייה
- ✓ מסננים דיגיטליים
- ✓ שיעור סטטיסטי
- ✓ שיעור ממדידות רouseות
- ✓ שימושים של פונקציית הקורלציה
- ✓ התמורות משולבות של זמן-תדר
- ✓ דוגמה מסכמת

תודה על ההקשבה

