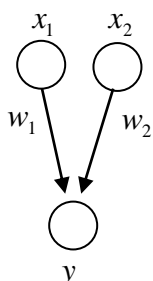


# תרגיל 3: פרספטרונים וטמפוטרו

## הוראות כלליות

1. **על כל סטודנט להעלות עותק נפרד של העבודה למערכת המודל, כדי שנוכל לתת לכם ציונים.**
2. **עבור החלק הראשון (האנליטי), יש להגיש פיתוח מתמטי מלא של התשובות.** ניתן להגיש פתרון מוקלד דרך מערכת המודל, או להגיש עותק פיזי **לתא של אביב** (בכניסה לבניין 93). נא לא להגיש פתרונות סרוקים.
  - i. למגישים **עותק פיזי**, יש להגיש **עותק אחד** בלבד עבור כל זוג סטודנטים, ולהקפיד **לרשום עליו את מספרי תעודות הזהות של שני בני הזוג** (ID1 ו-ID2).
  - ii. למגישים **פתרון מוקלד** דרך מערכת המודל, יש להגיש **עותק נפרד** לכל סטודנט. יש להגיש קובץ **docx** או **tex** ניתן **לעריכה** כך שנוכל להוסיף לו הערות (רצוי לצרף גם עותק ב-PDF). שם הקובץ (או הקבצים) יהיה **ex3\_part1\_ID1\_ID2**.
3. **עבור החלק השני (התכנותי), יש להגיש מסמך PDF יחיד (לכל סטודנט)** בשם **ex3\_ID1\_ID2.pdf** (ניתן להשתמש ב-word ולשמור כ-PDF), וכן קובץ MATLAB יחיד בשם **ex3\_ID1\_ID2.m**. הוראות הגשה נוספות מפורטות בהמשך.
4. שאלות בנוגע למטלה יש להעלות בפורום המתאים באתר הקורס במודל. שאלות שיופנו אלינו במייל **לא יענו** (פרט לשאלות ובקשות חריגות).

## חלק 1 – שאלות אנליטיות (20 נק' לכל שאלה)



1. רשת נוירונים לינארית בעלת שני נוירוני קלט ונוירון פלט יחיד, כמתואר בתרשים, לומדת באמצעות למידה מפוקחת.
 

מציגים לרשת את 3 הדוגמאות הבאות:

$$\left(\vec{x}^1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 4 \end{bmatrix}, y_0^1 = 8\right), \quad \left(\vec{x}^2 = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}, y_0^2 = -3\right), \quad \left(\vec{x}^3 = \begin{bmatrix} 4 \\ 4 \end{bmatrix}, y_0^3 = 4\right)$$
  - א. מצאו את מטריצת הקורלציה של הדוגמאות הנתונות,  $C$ .
  - ב. מצאו את וקטור הקורלציה בין הקלטים לבין הפלט,  $\vec{u}$ .
  - ג. מצאו את וקטור הקשרים אשר מבצע מינימיזציה לשגיאה הריבועית הממוצעת על הדוגמאות.
  - ד. מאמנים כעת את הרשת בלמידת אונליין בעזרת כלל הירידה במורד הגרדיינט עם קצב למידה של  $\eta = 0.2$ .
    - i. רשמו ביטוי מפורש לכלל הלמידה.
    - ii. בהנחה שוקטור הקשרים ההתחלתי הוא  $\vec{w} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ , מה יהיה ערכו של וקטור הקשרים לאחר שיוצגו 3 הדוגמאות בסדר הנתון?
2. פרספטרון לינארי עם נוירון קלט יחיד,  $y = wx$ , לומד אונליין באמצעות מורה עם חוק לינארי,  $y_0 = 2x$ . נתון כי  $\langle x^2 \rangle = 1$ . הפרספטרון לומד באמצעות כלל למידה של ירידה במורד הגרדיינט:
 
$$\Delta w = \eta(y_0 - wx)x$$

נבצע ניתוח של התכנסות במוצע, כלומר נניח כי מבצעים חזרות רבות על תהליך הלמידה עם סדרות קלטים שונות ואז ממצעים על החזרות.

  - א. חשבו את  $\langle y_0 x \rangle$  (יש להגיע למספר).
  - ב. רשמו ביטוי לכלל הלמידה הממוצע:  $w_{n+1} = w_n + \langle \Delta w \rangle$ .
  - ג. נגדיר  $z_n = w_n - 2$ . הראו כי מתקיים  $z_{n+1} = z_n(1 - \eta)$ .
  - ד. מהו פתרון המשוואה, כלומר מהו ערכו של  $z_n$  כתלות ב-  $z_0$  וב-  $n$ ?
  - ה. נתחו את ההתנהגות של כלל הלמידה בשלושת המקרים הבאים ושרטטו בכל אחד מהם תרשים איכותי של המשקל  $w_n$  כתלות בצעד הלמידה:
    - i.  $0 < \eta < 1$
    - ii.  $1 < \eta < 2$
    - iii.  $\eta > 2$

## 3. (אין קשר בין הסעיפים)

א. לנוירון נתונות 5 הדוגמאות המתויגות הבאות:

$$\vec{s}^1 = \begin{bmatrix} -2 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad \sigma_0^1 = -1$$

$$\vec{s}^2 = \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \sigma_0^2 = -1$$

$$\vec{s}^3 = \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \end{bmatrix}, \quad \sigma_0^3 = -1$$

$$\vec{s}^4 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \sigma_0^4 = +1$$

$$\vec{s}^5 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad \sigma_0^5 = +1$$

- i. ציירו תרשים של פרספטרון בינארי עם ארכיטקטורה מתאימה לפתרון הבעיה.
- ii. שרטטו תרשים של הדוגמאות עם התיג המתאים. בהנחה שמאמנים את הפרספטרון עם כלל הלמידה הפרספטרוני, האם תהליך הלמידה יתכנס?

iii. מה יקרה לתהליך הלמידה אם נוסיף את הדוגמא  $\vec{s}^6 = \begin{bmatrix} 0 \\ -2 \end{bmatrix}$ ,  $\sigma_0^6 = +1$  כמתואר בתרשים. הקלטים

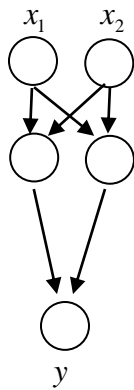
ב. נתונה רשת של נוירונים בינאריים בעלי מצבים 0 ו-1, כמתואר בתרשים. הקלטים לרשת הם נקודות במישור.

i. הציעו סט משקלות לרשת כך שעבור קלטים ברביע הראשון (כולל הראשית)

נוירון הפלט יהיה 1 ועבור שאר הקלטים הפלט יהיה 0.

ii. הציעו סט משקלות לרשת כך שעבור קלטים ברביעים הראשון, השני והרביעי (כולל הראשית) נוירון הפלט יהיה 1 ועבור קלטים ברביעי השלישי הפלט יהיה 0.

iii. מעוניינים כעת שהפלט יהיה 1 עבור קלטים ברביעים השני והרביעי, ו-0 אחרת. ניתן להוסיף לרשת עוד שני נוירונים בינאריים בכל דרך שרוצים. הציעו שני פתרונות שונים למימוש משימה זו.



## חלק II – סימולציה של טמפוטרון לומד (40 נק')

1. היעזרו בקבצי העזרה של Matlab (או בגוגל), ולמדו על הנושאים הבאים בלמידה עצמית:

- [Cell arrays](#)
- [Structures](#)
- הפונקציות [cellfun](#) ו-[arrayfun](#)
- [Anonymous Functions](#)
- הפקודה [continue](#)

הבהרה I: הקישורים לעיל הם נקודת פתיחה טובה, אך במידת הצורך כדאי לחפש מידע נוסף באינטרנט.

הבהרה II: אם במהלך התרגיל תיתקלו בפונקציות נוספות שאינכם מכירים, מומלץ לחפש עליהן מידע באינטרנט. אין לפנות אלינו בשאלות על פונקציות שאינכם מכירים לפני שניסיתם אפשרות זו.

2. הורידו את כל קבצי התרגיל למחשבכם. ודאו שכל הקבצים נמצאים באותה התיקיה.

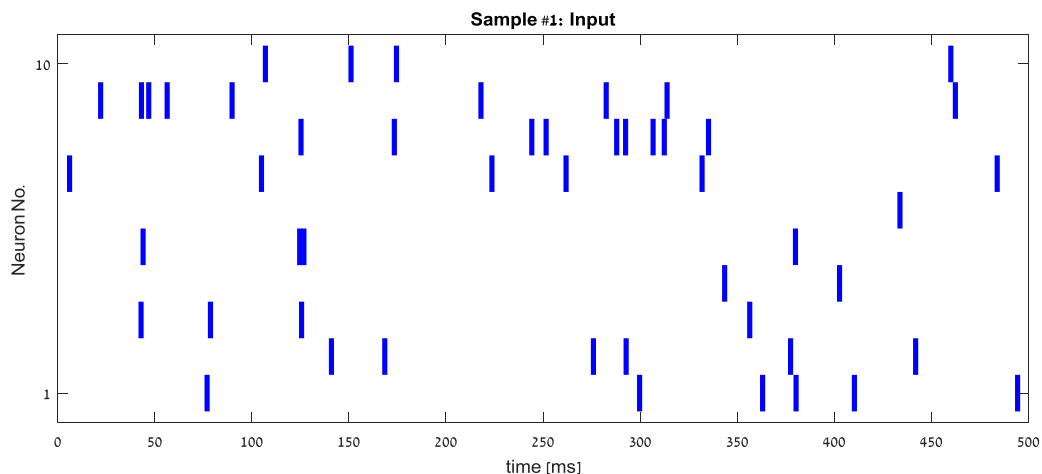
3. פתחו את הקובץ 'CompNCogUndergradEx3.m' בתוכנת ה-Matlab. זוהי סימולציה של טמפוטרון לומד. בתרגיל זה תבחנו את יכולתו של הטמפוטרון ללמוד דוגמאות מסוגים שונים.

4. בין קבצי התרגיל נמצאים חמישה קבצי '.mat' ששמן מתחיל באות 'x'. כל אחד מהם מכיל משתנה בשם 'x', המייצג סט דוגמאות לאימון הטמפוטרון.

- המשתנה 'x' מכיל cell array, שבו כל cell הוא דוגמה.
- כל דוגמה מורכבת מ-struct, המכיל את הקלט בשדה 'x' ואת הפלט של המורה בשדה 'y0'.
- כל קלט מורכב מ-cell array, שבו כל cell מייצג נוירון קלט.
- לכל נוירון קלט, ה-cell המתאים מכיל וקטור של זמני הספייקים של אותו נוירון קלט.

## המשימה שלכם

5. בכל מקום בקוד שבו מופיעה הערה המתחילה במילה **TODO**:
- אם אתם מתבקשים לכתוב קוד, עליכם להחליף ההערה בקוד שלכם בהתאם להוראות.
  - אם אתם מתבקשים לתאר פעולה מסוימת בקוד, עליכם לכתוב את התשובה בקובץ ה-PDF. בתשובתכם, **כתבו את מספר הערת ה-TODO**, כדי שנדע על איזו שאלה עניתם.
6. עליכם להריץ את הקוד על **כל אחד מקבצי הקלט** המצורפים. עבור כל אחד מקבצי קלט, עליכם להגיש בקובץ ה-PDF:
- את הגרפים שהתקבלו. היעזרו בתפריט 'Edit->Copy figure' כדי להעתיק את הגרפים למסמך שלכם.
  - האם לדעתכם הטמפוטרון הצליח ללמוד להפריד בין הקלטים שבאותו קובץ קלט.
  - אם לדעתכם הטמפוטרון נכשל בלמידה, הסבירו מדוע, לדעתכם, הוא נכשל.
7. **רק עבור הקובץ הקלט 'X\_PRND.mat'**, חזרו על השאלה הקודמת פעמיים נוספות:
- עם קצב למידה  $\eta = 10^{-2}$ .
  - עם קצב למידה  $\eta = 10^{-5}$ .
8. הנחיות להגשת קובץ הקוד:
- על כל ההערות שמתחילות ב-TODO להיות מוחלפות בקוד שלכם.
  - כאשר בהערה אתם מתבקשים להסביר את הקוד, הסבירו בהנחה שהקורא מבין Matlab, אך אינו מבין את אלגוריתם הלמידה של הטמפוטרון.
  - **ודאו שהקוד רץ** (בלחיצה על F5) עבור כל אחד מקבצי הקלט.
  - **ודאו שבקובץ שאתם מגישים, הקלט הוא הקובץ 'X\_2SDIW.mat'**. הטעינה של שאר קבצי הקלט צריכה להופיע בהערה.
  - **ודאו שבקובץ שאתם מגישים, קצב הלמידה הוא  $\eta = 10^{-3}$ .**
9. **בבונוס** (5 נק', עד למקסימום של 100 נק' בתרגיל):
- בקובץ 'plot\_input\_spikes.m', החליפו את הפקודה scatter בפקודת plot מתאימה כך שהגרפים של הקלטים יראו כך:



הנחיה: אם בחרתם לענות על שאלת הבבונוס, יש לצרף להגשה קובץ MATLAB נוסף בשם `ex3_BONUS_ID1_ID2.m`. הקובץ יכיל את הקוד מהקובץ 'plot\_input\_spikes.m' לאחר העריכה שלכם. בשורה הראשונה של הקובץ, יש לשנות את שם הפונקציה בהתאם.

בהצלחה!