

## מטלה 2

תמיר שילוני - 313328924

עופר אבין - 204517924

### הקדמה

מטרת העבודה: התמודדות וניתוח סיגנלים נירונאליים מה V1.

לנוירונים שונים ב V1 רגישות שונה עבור גירויים שונים בזוויות שונות. רגישות זאת בא לידי בטוי בכמות הספייקים שהנוירון יורה פרק זמן מסויים כתגובה לגירוי.

בחלקה הראשון של העבודה הצגנו את הנתונים בשיטת PSTH, בשיטה זו אני ממצעים את כמות הספייקים מעבר לכמות החזרות עבור כל מקטע זמן באורך קבוע מראש. את הנתונים מציגים בצורת גרף מלבנים בו כל מלבן מייצג את קצב הירי עבור מקטע הזמן. עבור כל גירוי (זוית) יצרנו גרף PSTH.

בחלקה השני של העבודה אנו מחפשים פונקציה שתתאם את הנתונים. אנו רוצים למצוא מודל שיוכל לנבא את פעולת הנוירון כתלות בגירוי. הפונקציה בה השתמשנו היא פונקציית Von Mises שלה 3 פרמטרים ומשתנה בלתי תלוי אחד. את הפונקציה הכנסנו ל fit יחד עם ערכים התחלתיים והנתונים שנמדדו על מנת שתחזיר פרמטרים שיתאימו לנתונים בצורה מיטבית. את טיב ההתאמה של הפונקציה לנתונים מדדנו באמצעות rmse (שורש ממוצע הסטיות הריבועיות) נמוך יותר.

### שיטות:

#### חלק 1

בחלק זה יצרנו גרף PSTH עבור נוירון נבחר המציג את ממוצע תדר הירי מעבר לכל החזרות עבור כל מקטע זמן. על מנת ליצור גרף כזה, יש לספור את כמות הספייקים שהתרחשו בכל מקטע זמן ולחלק במספר החזרות ובאורך המקטע:

#### Part 1

```
%creating a 4dim array
for unit_idx = 1:num_of_neurons
    for j = 1:num_of_degs
        for k = 1:num_of_rep
            mat(unit_idx,j,k,:) = ... %counting spikes for each repetition for each
time bin
                                histcounts(SpikesX10U12D(unit_idx,j,k).TimeList,times_bins_vec);
        end
    end
%calculating rate for each degree for a chosen neuron
    if unit_idx == chosen_neuron
        rep_bin_mat = squeeze(mat(chosen_neuron,j,:,:));
        %extracting a 2dim mat-[rep, time bin]
        sum_of_spike_for_bin = onesVec*rep_bin_mat;
        %summerizing all spikes for each time bin
        rate(j,:) = sum_of_spike_for_bin/(bin_duration*num_of_rep); %calculating
firing rate
    end
end
end
```

על מנת לארגן את הנתונים יצרנו מטריצה 4 מימדית כאשר המימד הראשון מיצג את הנוירונים השונים (10) המימד השני מיצג את זווית הגירוי שנעה בין 0 ל 330 מעלות בקפיצות של 30 מעלות (12) המימד השלישי מיצג את מספר החזרות על הניסוי (200) והמימד הרביעי את מקטע הזמן במהלך הניסוי (אורך מקטע הזמן ניתן לשינוי, אנו קבענו אותו על 0.02 שניות).

לדוגמה: בתא שמיקומו (1,2,3,4) מוחזקת כמות הספייקים שנמדדו עבור הנוירון הראשון בזווית של 30 מעלות (הזווית השנייה שבה מדדו) בחזרה השלישית במקטע הזמן הרביעי.

על מנת לסכום את כמות הספייקים עבור כל מקטע זמן השתמשנו בפונקציה histcount. פונקציה זו מקבלת את רשימת זמני הספייקים בכל חזרה ואת וקטור המקטעים שיצרנו אשר לפיו היא סוכמת את כמות הספייקים. על מנת לעשות פעולה זאת עבור כל נוירון עבור כל זווית ועבור כל חזרה יצרנו סדרת לולאות מקוננות, לולאה עבור כל אחת מהרמות.

כעת עבור נוירון נבחר עבור כל זווית (בתוך הלולאה אשר עוברת על מספר הזוויות) אנו מחליצים את המטריצה הדו מימדית המתאימה מתוך המטריצה הארבע מימדית. על מנת לסכום את כמות הספייקים במקטע זמן על כל החזרות נכפיל את המטריצה המחולצת בוקטור אחדות באורך מתאים. תוצאת ההכפלה היא וקטור באורך מספר המקטעים אשר בכל תא שלו מוחזק סכום הספייקים באותו מקטע.

כעת על מנת חשב את התדר בכל מקטע יש לחלק את הסכום במספר החזרות ובאורך המקטע.

## חלק 2

בחלק זה אנו מחפשים פונקציה שתציג בצורה הטובה ביותר את פעילות הנוירון כתגובה לגירוי על פי הנתונים. על מנת למצוא פונקציה כזאת השתמשנו בפונקציה fit:

### Part 2

```
UnitsData.responseMean = zeros(num_of_neurons,num_of_degs); %creating a struct to hold all data needed
UnitsData.responseSD = zeros(num_of_neurons,num_of_degs);
UnitsData.VMfit = cell(num_of_neurons,1);
UnitsData.selectivity = strings([num_of_neurons,1]);

VM_drct = 'A * exp (k * cos (x - PO))'; %creating VM func for direction
FitDeff_drct = fittype(VM_drct, ...
    'coefficients', {'A','k', 'PO'}, ...
    'independent', 'x');
VM_ornt = 'A * exp (k * cos (2*(x- PO)))'; %creating VM func for orientaion
FitDeff_ornt = fittype(VM_ornt, ...
    'coefficients', {'A','k', 'PO'}, ...
    'independent', 'x');
```

בתחילה יצרנו מבנה UnitData שיכיל בתוכו את כל הנתונים הנחוצים לפעולת הפונקציה fit

**responseMean** בשדה זה תוחזק מטריצה דו מימדית המחזיקה בכל תא את ממוצע הספייקים עבור כל נוירון בכל זווית (בתא שמיקומו (1,2) יוחזק ממוצע תדר הספייקים עבור ענוירון הראשון בזווית שנייה).

**responseSD** בשדה זה תוחזק מטריצה דו מימדית המחזיקה בכל תא את סטיית התקן עבור כל נוירון בכל זווית.

**VMfit** לשדה זה יוכנסו תוצאות הפונקציה fit עבור כל נוירון

**Selectivity** בשדה זה נכניס האם כל נוירון פועל על פי direction או על פי orientation (על פי תוצאת הפונקציה fit)

על מנת לעבוד עם fit יש לבחור פונקציה שצפויה להלוך את הנתונים. בעבודה זו השתמשנו בפונקציה Von Mises :  $A * \exp(k * \cos(2 * (\theta - \theta_{po})))$ . על מנת להתאים את הפונקציה לנוירון direction – אנו רוצים להתחשב בכל ה 360 מעלות ולכן נוריד את ה 2 בתוך cos. עבור כל פונקציה יש להגדיר לפונקציה fit מהו המשתנה הבלתי תלוי - זווית הגירוי ומהם הפרמטרים שאותם הפונקציה צריכה להתאים -  $A$   $k$   $\theta_{po}$ .

### calculating mean and SD for the unit i

```
for unit_idx = 1:num_of_neurons
    for j = 1:num_of_degs
        num_spikes_per_rep = sum(squeeze(mat(unit_idx,j,:,:),2)/experiment_duration;
        %creating an array of sums of spikes of each repetition for each degree
        UnitsData.responseMean(unit_idx,j) = mean(num_spikes_per_rep); %calculating
        mean of all repetitions
        UnitsData.responseSD(unit_idx,j) = std(num_spikes_per_rep); %calculating SD
        of all repetitions
    end
end
```

על מנת לסכום את כמות הספייקים עבור כל חזרה על פני כל אורך הניסוי עבור זווית ונוירון ספציפיים. נחליץ את המטריצה הדו מימדית ונחשב את ממוצע הספייקים עבור כל חזרה. כלומר נקבל וקטור באורך מספר החזרות ובכל תא יוחזק ממוצע הספייקים לאורך הניסוי.

אל responseMean נכניס את הממוצע מעבר לכל החזרות. ובאותה צורה נכניס לresponseSD את סטיית התקן.

### calculating VM fit for unit i

```
[deg_max, idx_max] = max(UnitsData.responseMean(unit_idx,:));%finding the max degree
to initialize fit with
start_deg = deg2rad(deg_vec(idx_max)); %extracting max degree
fitopt_ornt = fitoptions (FitDeff_ornt); %determining start values for fit_ornt
fitopt_ornt.Lower = [0 ,0 , -pi ];
fitopt_ornt.Upper = [inf , inf , pi ];
fitopt_ornt.Startpoint = [deg_max , 2 , deg2rad(start_deg)];
fitopt_drct = fitoptions (FitDeff_drct); %determining start values for fit_ornt
fitopt_drct.Lower = [0 ,0 , -pi ];
fitopt_drct.Upper = [inf , inf , pi ];
fitopt_drct.Startpoint = [deg_max , 2 , deg2rad(start_deg)];
[fitResult_drct, GoF_drct] = fit(deg2rad(deg_vec)',... %aplying fit for direction
function
UnitsData.responseMean(unit_idx,:)', FitDeff_drct, fitopt);
[fitResult_ornt, GoF_ornt] = fit(deg2rad(deg_vec)',... %aplying fit for
orientation function
UnitsData.responseMean(unit_idx,:)', FitDeff_ornt, fitopt);
if GoF_drct.rmse < GoF_ornt.rmse
    %save the result with lower rmse indicating best result
    UnitsData.VMfit{unit_idx} = fitResult_drct;
    UnitsData.selctivity{unit_idx} = 'Direction';
else
    UnitsData.VMfit{unit_idx} = fitResult_ornt;
    UnitsData.selctivity{unit_idx} = 'Orientation';
end
end
```

על מנת ש  $\text{fit}$  תתן תוצאה אופטימלית ניתן להכניס אליה ערכי התחלה והגבלות עבור הפרמטרים הנלמדים. ערכי ההתחלה שאותם קבענו:  $A$  – ערך התדר המקסימלי המתקבל עי אותו נוירון.  $k$  – 2 על ידי ניסוי ותהיה ראינו שהתוצאה המתקבלת טובה.  $p0$  – ערך הזווית שעבורה קיבלנו את התדר המקסימלי ברדיאנים.

עבור כל נוירון הופעלה הפונקציה  $\text{fit}$  עם שתי הפונקציות השונות המתאימות ל  $\text{orientation}$  ו  $\text{direction}$ . לכל אחת מהפונקציות הותאמו פרמטרים וטיב ההתאמה מוחזר מ  $\text{fit}$  במשתנה  $\text{GoF}$ . המדד אליו התייחסנו הוא  $\text{rsme}$  – שורש ממוצע הסטיות הריבועיות. מבין שתי התוצאות שהוחזרו בחרנו בתוצאה בעלת ה  $\text{rsme}$  הנמוך יותר והיא הוכנסה לשדה  $\text{VMfit}$  ואת אופן הפעולה ( $\text{direction/orientation}$ ) לשדה  $\text{selectivity}$ .

## דיון ומסקנות:

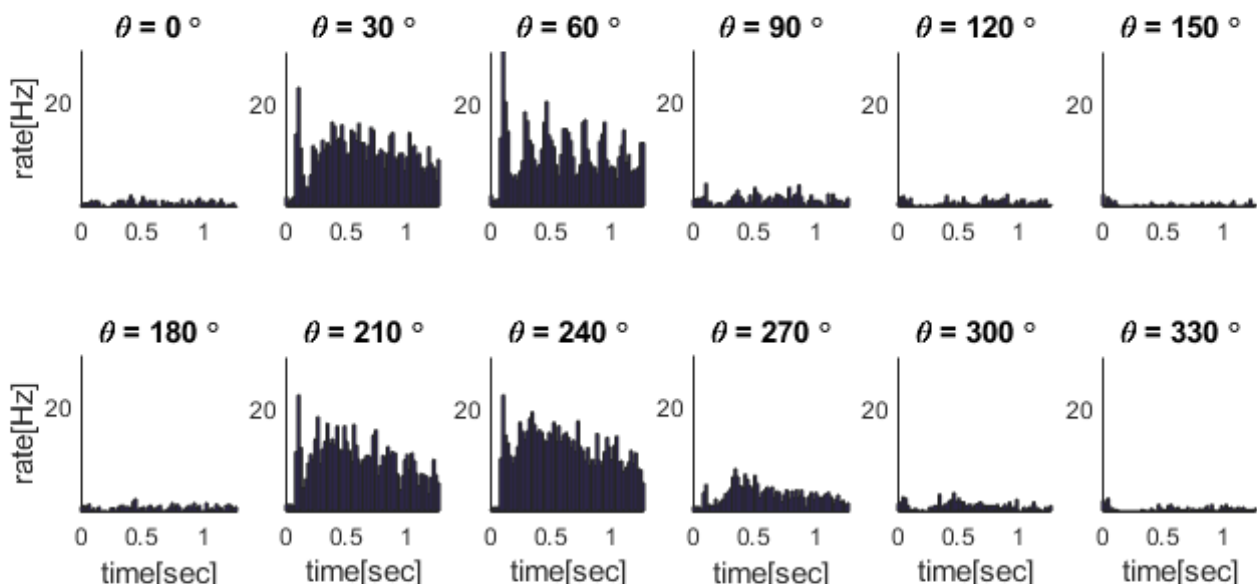
הנוירונים שנמדדו הם נוירונים המצויים ב  $V1$ . אנו יודעים שנוירונים שונים ב  $V1$  מגיבים לגירויים בזוויות שונות. בחלק הראשון של הניסוי אנו מצפים לראות בגרף  $\text{PSTH}$  התנהגות שונה של הנוירון עבור זוויות שונות המתבטאת בתדרי ירי שונים ובפרט זוויות מסוימות בהן תדר הירי יהיה גבוה הרבה יותר מבזוויות אחרות. התנהגות זאת תצביע על כך שבזוויות אילו בהן התדר גבוה הן הזוויות ה"מועדפות" על הנוירון.

מתוצאות החלק השני של הניתוח אנו מצפים למצוא פונקציה המתארת בצורה טובה את פעילות הנוירון. כלומר שהפונקציה שתותאם על ידי  $\text{fit}$  (העקומה האדומה בציור) תשקף את התוצאות שנמדדו מהנוירונים (ה error bar). נוכל לצפות שכאשר תותאם פונקציה אוריאנטציה נראה סימטריה של גרף הפונקציה ביחס לציר  $x=180$ . ואילו כאשר תבחר פונקציה כיוון נראה נקודת מקסימום אחת בזווית ספציפית.

בגרף הראשון ניתן לראות את ה  $\text{PSTH}$  עבור כל זווית של נוירון 3. ניתן לראות שנוירון זה מגיב לגירויים בזוויות של 30 60 210 ו 240 מעלות בתדר גבוה ביחס לזוויות אחרות. נשים לב שההתנהגות בגירויים 30 ו 210 ובגירויים 60 ו 240 דומים מאוד. אלו זוויות שההפרש בניהן הוא 180 מעלות כלומר ניתן לחשוב שנוירון זה אינו רגיש לכיוון הגירוי ( $\text{direction}$ ) אלא רגיש לנטיית הגירוי ( $\text{orientation}$ ). דבר זה מתחזק כאשר מביטים בגרף ה 2 בגרף המתאים לנוירון 3 ניתן לראות כי הפונקציה  $\text{fit}$  באמת בחרה בפונקציה המתאימה ל  $\text{orientation}$  ואת שתי נקודות השיא של תדר הירי המתאימים סביב אותן זוויות.

בגרף השני ניתן לראות שהפונקציה שהתאימה  $\text{fit}$  תואמת בצורה יחסית טובה את הנתונים שנמדדו. בנוסף בהתאם לצפייה בנוירונים ש  $\text{fit}$  התאימה להם פונקציית אוריאנטציה קיימת סימטריה סביב  $x=180$ . ואילו בנוירונים שלהם הותאמה פונקציית כיוון (נוירונים 4 ו 5) קיימת נקודת מקסימום אחת ובשאר התחום הערכים המתקבלים נמוכים.

## Unit #3 PSTH per direction



## Direction/Orientation selectivity - Von Mises fit per unit

