

# מעבדת ECG

## הערות כלליות

1. מעבדה זו איננה כוללת את המבנה הרגיל של כתיבת דו"ח מכין, וכתיבת דו"ח מסכם. מבנה הדוח וחלוקת הציון מפורטים במסמך "הנחיות לכתיבת דוחות למעבדות לא פרונטליות" הנמצא במודל.
2. יש לבצע את ההוראות המפורטות במסמך זה לצורך בניית המערכת. בנוסף, לאורך התהליך תפיקו דו"ח הכולל מענה לשאלות, מימוש אלגוריתמים והפקת גרפים. יש לשים דגש על פירוט במענה לשאלות, בתיעוד האלגוריתמים (פירוט מתחת לכותרות הפונקציות לגבי תפקידה, משתני קלט/פלט וכו') ובהצגת המידע הגרפי (כותרות, יחידות וכו').
3. בתאריך ה- 27.12.2021 יתקיימו שעות קבלה למענה על שאלות.
4. בתאריך ה- 11.01.2022 יתקיים מפגש בחינה בזום.
5. מומלץ לעבוד על פי סדר הסעיפים המוצגים במסמך זה, שכן רוב הסעיפים מבוססים על הקודמים להם.

## מטרות מעבדת ECG:

1. הכרת אות ה-ECG, תכונותיו בזמן ובתדר.
2. רעשים באות ה-ECG ושיטות לסנן אותם.
3. סיווג בין אות ECG בריא לאות ECG עם AF באמצעות למידת מכונה.
4. סיווג בין אות ECG בריא לאות ECG עם AF באמצעות למידה עמוקה.
5. יצירת GUI שמציג מידע בזמן אמת.

## רקע תאורטי:

עליכם לכתוב רקע תאורטי המורכב משני חלקים:

### חלק 1 – אות ECG

1. תארו את אות ה-ECG ואת המשמעות הפיזיולוגית של הגלים והמרווחים השונים.
2. תארו את סוגי הרעשים הקיימים באות ה-ECG (לפחות ארבעה סוגים). בתיאורכם התייחסו למקור הרעש, התנהגותו בציר הזמן ובציר התדר ופונקציית האוטו קורלציה של הרעש.

### חלק 2 – למידת מכונה ולמידה עמוקה

1. הגדירו מה זה supervised learning והביאו שתי דוגמאות.
2. תארו את שיטת gradient descent ואת השימוש של שיטה זו בלמידת מכונה ולמידה עמוקה.
3. מהו פונקציית loss?
4. הסבירו את שלבי הלמידה של מסווג linear SVM.
5. הסבירו את שלבי הלמידה של רשת נוירונים.
6. למה מחלקים את הדאטא לאימון ומבחן? מה מתאר השגיאה בכל אחד מהם?
7. למה נועדה דאטא ולידציה?
8. הגדירו את המושג overfitting, ומה עלול לגרום למצב זה?
9. כאשר יש דאטא לא מאוזן, כך שיש יותר דגימות של קבוצה אחת בדאטא ופחות מהקבוצה השנייה: איך זה עלול להשפיע על הלמידה של המסווג או הרשת?

הניקוד על כל חלק מפורט בכותרת החלק, סה"כ המענה לשאלות הינו 80% מציון הדוח.

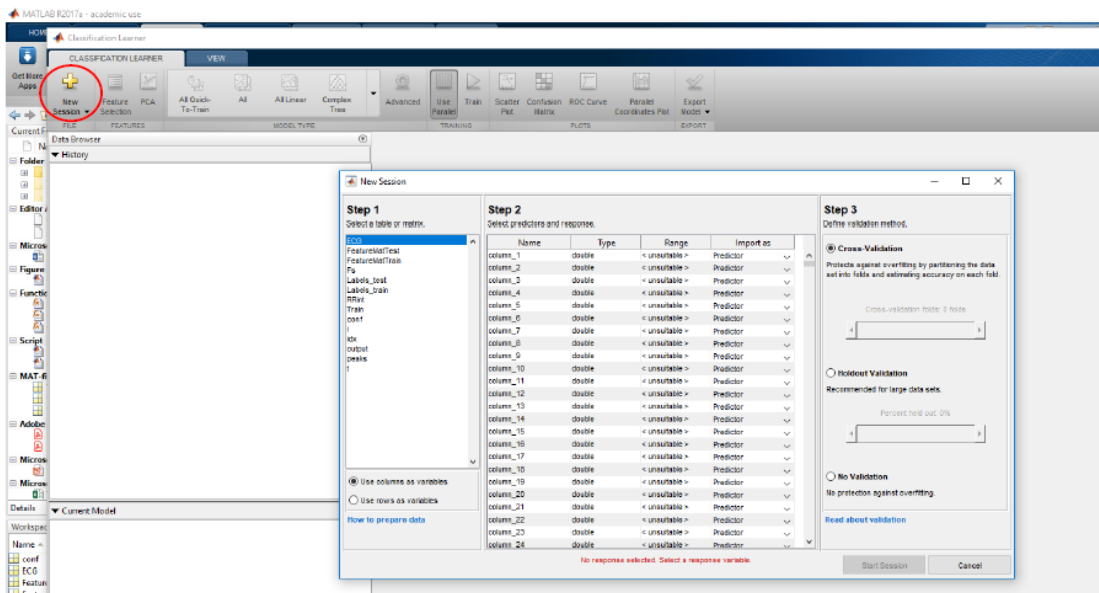
## **ניסוי 1 – רעשים באות ה-ECG (15)**

1. הציעו דרכים לסנן את הרעשים שציינתם ברקע התאורטי. תכננו את המסנן הרצוי במובנים של תדר קטעון, סוג המסנן (FIR/IIR), סדר המסנן ועוד. ממשן את המסנן/ים שתכננת בעזרת ה-Filter Design Toolbox.
  2. הציגו מקטע של חמש שניות מתוך אות ה-ECG המסוננת שהקלטנו במעבדה 1.
  3. הוסיפו לאות את הרעשים הבאים (בכל פעם הוסף רעש מסוג אחד בלבד):
    - רעש הנובע מקווי מתח.
    - רעש הנובע מפעולת שרירי השלד (EMG).
- הוסיפו את הרעשים כך שה-SNR=30, והסבירו את החישוב שביצעתם.
- הציגו את האותות המורעשים (בזמן ובתדר) לצד האות המקורי הנקי.
4. סננו את האותות הרועשים ע"י המסנן/ים שמימשנתם בסעיף 1 (על ידי שימוש בפקודה `filter()`).
- הציגו את האותות המסוננים לצד האות המקורי הנקי (בזמן ובתדר).
5. הוסיפו רעש פעולת נשימה לאות ה-ECG הנקי, וסננו אותו בשלושה אופנים:
  - באמצעות שימוש בפקודה `filter()`, בעזרת מסנן FIR.
  - באמצעות שימוש בפקודה `filter()`, בעזרת מסנן IIR.
  - באמצעות שימוש בפקודה `filtfilt()`, בעזרת מסנן IIR.
- מה מטרתה של הפקודה `filtfilt()`? מה היא מבצעת – פרטו את השלבים השונים. עמדו על ההבדלים בין שלושת הסינונים השונים. בין היתר התייחסו לזמן הריצה, סדר המסנן ותוצר הסינון.

## ניסוי 2 – Machine learning for AF classification (25)

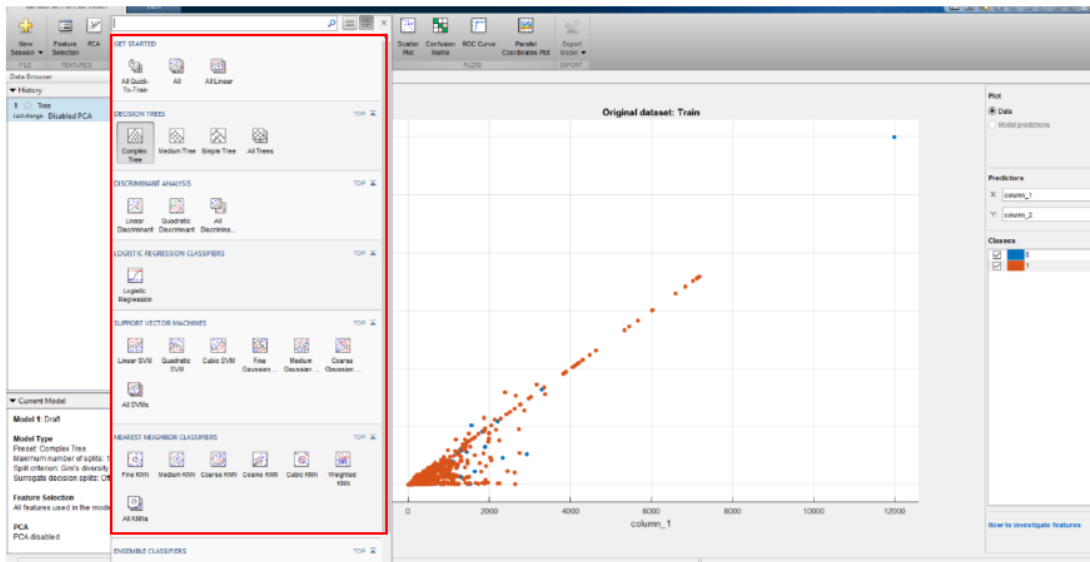
- במהלך העבודה יש להתחשב בכל סוגי הרעשים הקיימים בסיגנל.

- הגדירו את התופעה הבאה: AF (Atrial Fibrillation) ותארו את התכונות בציר הזמן והתדר של ECG המכיל תופעה זו.  
במעבדה זו, אתם נדרשים לבנות מערכת המבוססת machine learning אשר תדע לסווג בין אות ECG תקין לאות ECG עם AF.
- עליכם לשמור את תיקיות Train ו-Test אצלכם בתיקייה הראשית בה אתם עובדים.
- עליכם לקרוא את קבצי האקסל אשר מהווים את ה- true labels שלכם.
- בשלב הראשון, עליכם לבצע עיבוד מקדים לאותות הנתונים (לדוגמה: הסרת ה-DC). האותות נדגמו בתדר של 300Hz.
- עליכם ליצור לפחות חמישה מאפיינים אשר יאפיינו בצורה הכי טובה את הבעיה הרפואית. ניתן ליצור מאפיינים הן במישור הזמן והן במישור התדר. פרטו והסבירו את המאפיינים שבחרתם.
- יש לחשב מאפיינים אלו לקבוצת האימון ולקבוצת המבחן בנפרד.
- באמצעות האפליקציה Classification Learner במטלב יש לבנות מודל לאימון. ניתן לשחק עם הפרמטרים השונים ולבחור שני מסווגים שנותנים את הביצועים הטובים ביותר.
- ניתן באמצעות כפתור Export Model לייבא את המודל המאומן שלכם ל- Workspace. כמו כן, ניתן גם לייבא את קוד הפונקציה שיוצר את המודל.



- על מנת להתחיל באימון המסווג, יש ללחוץ על כפתור New Session, לבחור במטריצת המאפיינים שיצרתם על קבוצת האימון הכוללת עמודה אחרונה של True

Labels. את עמודות המאפיינים יש להגדיר כpredictors, את העמודה האחרונה יש להגדיר כresponse וללחוץ לבסוף על כפתור Start Session. במסך הבא עליכם לבחור במסווג הרצוי וללחוץ על כפתור Train. יש לנסות מספר מסווגים שונים מהסרגל הבא ולבצע השוואה ביניהם:



עליכם לשמור את המסווג שאימנתם לworkspace, באמצעותו לסווג את קבוצת המבחן ולהציג את התוצאות.

10. הסבירו בקצרה כיצד פועלים המסווגים שבחרתם.
11. הציגו מטריצות מבוכה לכל מסווג ודונו בביצועים של השניים.
12. נסו לבצע את הסיווג על הדאטא של האימון, האם התוצאות השתפרו? הסבירו מדוע.

שימו לב, הקבוצה אותה אתם מכניסים לאפליקציה היא אך ורק קבוצת האימון. קבוצת המבחן שלכם משמשת לבדיקת המסווג לאחר בחירה ואימון של המודל. במודל מצורף קישור המסביר את אופן השימוש באפליקציה.

### ניסוי 3 - Deep learning for AF classification (30)

בחלק זה נשתמש ברשת נוירונים על מנת לסווג בין אותות ECG תקינים לאותות ECG עם AF.

1. נשתמש באותות ה-Train וה-Test מניסוי 2, וב-True Labels שלהם.

עבור אותות ה-Train וה-Test:

2. סננו את האותות, כפי שעשיתם בניסוי 2.

אנחנו נשתמש ברשת על מנת לסווג בין אות תקין לאות עם AF. על מנת להכניס את האותות לרשת, הן יצטרכו להיות באורך אחיד. האותות בדאטא שלנו אינן באותו האורך, ולכן נחתוך אותם ונבצע אינטרפולציה.

3. עבור אותות באורך הגדול מ-3600 דגימות, בחרו את 3600 הדגימות האמצעיות של האות (השתמשו במרכז האות).

4. בצעו אינטרפולציה של האותות החתוכים לאורך של 600 דגימות.

5. חשבו את ממוצע וסטיית התקן של האות ונרמלו את האות שהתקבל באופן הבא:

$$x_{norm} = \frac{x_0 - \text{mean}(x_0)}{\text{std}(x_0)}$$

6. שמרו את כלל אותות האימון כמטריצה עם מספר שורות כמספר האותות, ומספר עמודות 600. חזרו על הפעולה עבור כל אותות המבחן.

קראו למטריצות אותות האימון והמבחן בשמות: ECGArrayTrain ו- ECGArrayTest.

7. שמרו את המטריצות בתיקיות שלכם באמצעות הפקודה save() במטלב עם השמות:

```
save('ECGArrayTrain.mat', ECGArrayTrain')
save('ECGArrayTest.mat', ECGArrayTest')
```

8. קראו את קבצי ה-true labels של excel.

9. יצרו וקטורים של true labels עבור דאטא ה-Train וה-Test.

ה-LabelsTrain ו-LabelsTest מסמן אות בריא, ו-'A' מסמן אות עם AF.

עבור אות בריא, הכניסו 0 לוקטור ה-True Labels שלכם, ועבור אות עם AF, הכניסו 1 לוקטור.

10. תשמרו את הוקטורים בוקטורי עמודה באורך מספר האותות, עם השמות: LabelsTrain ו-LabelsTest.

תשמרו את המטריצות בתיקיות שלכם באמצעות הפקודה save() במטלב עם השמות:

```
save('LabelsTrain.mat', LabelsTrain')
save('LabelsTest.mat', LabelsTest')
```

משלב זה, נעבור ל-python

11. תפתחו את ה-Spyder.

12. תורידו את הקוד ClassifyECG.py ושתמרו בתיקייה שלכם.

13. תפתחו את הקוד בspyder באמצעות file -> open -> ClassifyECG.py.
14. במשתנה path1 תדביקו את הpath לתיקייה בה אתם עובדים (לדוגמה:  

$$Path1 = r'D:\ Signal Processing Lab\LabECG'$$
כך ששורת קוד זו תראה באופן הבא:
15. תגדירו את הפרמטרים של הרשת כך שהרשת תהיה בעלת שתי שכבות LSTM:  
שכבה ראשונה עם 256 נוירונים ושכבה שניה עם 128 נוירונים.  
תגדירו ערך dropout של 0.2, וערך recurrent dropout של 0.0.  
תגדירו ערך רגולריזציה של 0.01.  
תגדירו learning rate של 0.0001 וdecay rate של 0.95.  
תגדירו batch size של 64.
16. תריצו את הרשת הראשונה.
17. תציגו את עקומת הלמידה של הרשת, ודונו בתוצאות.
18. תציגו את מטריצת המבוכה של הרשת על דאטא Test, הסבירו את המשמעות של המטריצה ודונו בתוצאות.
19. תריצו את הרשת השנייה, תציגו את עקומת הלמידה ואת מטריצת המבוכה על דאטא Test.
20. הסבירו מהו המשתנה class\_weight באימון של הרשת. הסבירו את המתמטיקה הקשורה לפונקציית הloss, ואת האופן שבו משתנה זה מסייע במצבים של דאטא לא מאוזן.
21. השוו בין הביצועים של שתי הרשתות, והציעו הסברים להבדלים בביצועים שלהם.
22. מה לדעתכם מתאים יותר למשימת סיווג אותות ECG תקינים מול אותות ECG עם AF, מסווג או רשת נוירונים? הסבירו.

## **ניסוי 4 – הצגה של אות ECG בעזרת ממשק GUI (10)**

יש ליצור ממשק GUI המאפשר עיבוד אונליין של אות ה-ECG כך שיוצג למשתמש האות בזמן אמת והמדדים הבאים:

1. קצב הלב של הנבדק.
2. מיקום גלי ה-R על גבי האות.
3. הפרעה בקצב הלב במידה וישנה: AF, כאשר עושים שימוש בתוצאת אחד המסווגים שבניתם בניסוי 2 (תשתמשו במסווג עם הביצועים הטובים ביותר).
4. יש ליצור וקטור אחד שמשרשר בין כל אותות ה-ECG שבתיקיית המבחן ועל גביו להציג את המידע הרצוי.