

# פרויקט סיום בקורס עיבוד תמונה: סגמנטציה מורפולוגית לדנדriticים SEM

## 1. רקע מדעי:

דנדriticים (Dendrites) בסוללות ליתיום מהווים אחד החסמיים הטכנולוגיים המשמעותיים ביותר בפיתוח הדור הבא של טוללות עתירות אנרגיה. אלו הם מבנים מתקתים מיקרוסקופיים, בעלי גאומטריה פרקטלית המזכירה ענפים, הציגים על האנודה במהלך הטעינה.

### עלונות המנגנון הפיזיקלי

כדי להבין את האתגר ההנדסי בזיהוי, יש להבין את אופן היוצרות:

1. **תהליך השיקוע Deposition** במהלך הטעינה, יוניליטים נודדים מהקתוה לאנודה. בתנאים אידיאליים, הIONS משתבטים (Intercalation) בצורה אחידה וocabilitiy.
2. **היוצרות אי-סדירות:** תחת תנאי קיצון (כגון צפיפות זרם גבוהה או טמפרטורה גבוהה), נוצרת הצבירות לא אחידה של IONS על פני השטח. יוני הליתיום מצטברים נקודתי ויוצרים גביש מחייבי הצומח אנטית לפני השטח.
3. **כשל דיאלקטרי:** הסכנה המרכזיית טמונה בחוזות המבנה. דנדritic שגדל יתר על המידה עשוי לנתק את המمبرנה המפרידה (Separator), ליצור קוצר חשמלי פנימי, ולהוביל לביריה תרמית (Thermal Runaway).

**מטרת הפרויקט:** פיתוח מערכת לסגמנטציה אוטומטית של דנדriticים מתחומות מיקרוסקופ אלקטרוני (SEM) לצורכי חיזוי ומונעת כשלים.

## 2. הגדרת המשימה: סגמנטציה בסביבה רועשת

היעד המרכזי הוא ביצוע סגמנטציה סמנטיט Semantic Segmentation: סיווג ברמת הפייקסל (Pixel-wise classification) להפרדת מבנה הדנדritic מהרקע.

האתגר הטכני: תמונות SEM מאופיינות ביחס אות-לרעש (SNR) נמוך. הן כוללות ארטיפקטים כגון אזרוי רזיה ("שרופים"), טשטוש הנובע מטעינת השטח (Charging Effect) ומעברם רכים (Soft Gradients). רעיון זה רק רעיון אחד מהצאות רבות אפשרויות) היא להתייחס לתמונה כאלו מיפוי טופוגרפי, בו ערכי העוצמה (Intensity) מייצגים גובה, ולא להסתמך על סף (Threshold) גלובלי בלבד.

**תוצרים נדרשים:**

1. מסיכה בינארית Binary Mask הפרדה בין הדנדritic לרקע.

2. **Pre-processing וניהז:** הסרת אלמנטים זרים (כיתוב טכני, סקאלות) ורשי חישון.
3. **שלד Skeletonization** מיצוי המבנה הטופולוגי לקו בעובי פיקסל בודד (Centerline) לטופת חישובים גאומטריים Extraction.

### 3. מетодולוגיה: ניתוח השוואתי (Deep Learning vs. Classic CV)

בפרויקט זה תדרשו לישם ולהשוו שתי גישות משלימות לפתרון הבעיה:

קריטריון	גישה א': למידה عمוקה (YOLO-Seg)	גישה ב': עיבוד תמונה קלאסי
ארQUITקטורה	שימוש ב- <b>sota Models</b> SOTA כגון v8YOLOv11.	פיתוח Pipeline דטרמיניסטי מבוסס מורפולוגיה מתמטית.
עיקנון פעולה	אימון רשת (Transfer Learning) ויזיה תבניות לא-לינאריות.	בידוד אובייקטים על בסיס חוקיות גאומטרית וסטטיסטיות.
תלות בנתונים	גבואה ? מחייב דטה-סט מותpig ומודיק (Supervised).	נמוכה ? ניתן לישום על מדגם מצומצם ללא אימון.
רוביוטיות	עמידות גבואה לשינויים טקסטורה מורכבים.	رجשות לשינוי תאורה; דרש ציול פרמטרים (Fine-tuning).

### 4. הכנת הנתונים

aicoot המודל תליה יישירות באיכות הנתונים והתויג.

עבור גישה ב' אותה יש לממש, אימון מודל SOTA, אפשר להשתמש מאחד מה הכלים הבאים:

- **Roboflow:** מומלץ לשימוש בשל יכולות Auto-labeling ויצוא טבעי לפורמט YOLO Segmentation. מתאים לפרויקטים שאינם מסובכים.
- **CVAT (Computer Vision Annotation Tool):** הстанדарт התעשייתי לפרויקטים הדורשים פרטיות מידע (On-premise).

- שיטת התיאוג: חובה להשתמש ב-Polygons בלבד.

## 5. מימוש הגישה הקלואסית

לצורך ה证实 הדומות עם תכונות רועשות ללא שימוש ברשומות ניירונים, יש למשתמש את שרשרת העבודה (Pipeline) - המכלה ראשונית למימוש ויש עוד

- .1. **CLAHE (Contrast Limited Adaptive Contrast Enhancement):** שימוש ב-Histogram Equalization לשיפור הניגודיות המקומית והדגשת פרטים באזוריים מוצלים.
- .2. **Bilateral Filter Denoising:** בחירה זו קריטית לשימורה על חודות השפota (Edge Preserving) תוך החלקת רעשים表面 במשטחים אחידים.
- .3. **Morphological Reconstruction:** טכניקה מתקדמת המבוססת על Geodesic Dilation: ■ ביצוע (Erosion) אגרסיבית לייצור "זרעים" (Seeds/Markers) ■ ו dilation.
- .4. **Separation Algorithms:** שימוש ב-Distance Transform בשילוב עם אלגוריתם Watershed להפרדת ענפים המשיקים זה לזה.

## 6. מדדי הערכה (Evaluation Metrics).

aicot הפתרון תבחן על בסיס קритריונים הנדסיים:

- .1. **Dice Score / IoU** מדידת החפיפה בין תוצאות האלגוריתם לבין ה-Ground Truth הידני.
- .2. **Robustness:** בחינת יציבות האלגוריתם תחת תנומות שונות.
- .3. **Failure Analysis:** דיוון עמוק במקרים בהם המערכת כולה, תוך אפיון הסיבות (כגון: רזולוציה גבולית, ארטיפיקטים ייחודיים).

## 7. הוראות הגשה (Submission Guidelines)

הגשת הפרויקט תתבצע בתיקייה אחת (.zip) הכוללת את הרכיבים הבאים:

### א. דוח מסכם (PDF)

מבנה הדוח יהיה כשל מאמר טכני ויכלול:

1. **תקציר:** הגדרת הבעיה, הפתרון הנבחר והפתרונות העיקריים.
2. **מתודולוגיה:** הסבר מפורט על שני ה-Pipelines (קלסטי-NDL), כולל בחירת הפרמטרים.
3. **තוציאות ודיון:** הצגת מדדי הדיוון (Precision/Recall/U/O), טבלאות השוואה, וניתוח ויזואלי של הצלחות וכשלונות.
4. **מסקנות:** באיזו שיטה כדאי להשתמש באיזה תרחיש.

### ב. קוד מקור (Source Code)

- קוד מסודר ומתווד (Docstrings + Comments).
- קובץ requirements.txt להתקינה.
- קובץ README.md עם הוראות הרצה ברורות (איך להריץ אימון, איך להריץ Inference).
- ניתן למכש 2cv או sikit-image.

### ג. תיקיית תוצאות (Artifacts)

- **דוגמאות ויזואליות:** לפחות 5 תמונות המציגות: תמונה מקור -> מסיכה (קלסטי) -> מסיכה (YOLO) -> שלד (Skeleton).
- **קבצי משקלות Weights** קובץ .pt של המודל המאמון הטוב ביותר (Best Model).
- אפשר להגיש קישור לשיתף בGoogle Drive.

### ד. הצגה

מצגת בת 5 דקות הכוללת הדגמה חיה עם סרטון מוקלט של ריצת האלגוריתם על סט נתונים חדש.

בהצלחה!

על מנת לקבל את הנתונים לתרגיל יש להירשם בקישור הבא

<https://forms.gle/zeTSoa78uBNgLrMM7>

נספח - הצעה מעט יותר מורחבת לעיבוד תמונה \*\* זה רק הצעה \*\* אפשר למסח כל גישה אחרת.

## שלב א': עיבוד מוקדים (Pre-processing)

תמונות מיקרוסקופיה אלקטרונית (SEM) סובלות לרוב מרעש "גרעיני" (Shot Noise), חוסר אחידות בתאורה (Vignetting) וקונטרסט נמוך בקצוות הדקים של הדנדריטים. מטרת שלב זה היא לנរמל את המידע הגולמי ולמקסם את ההפרדה בין האובייקט לרקע לפני שהאלגוריתם מתחילה לקבל החלטות.

### 1. נרמול היסטוגרמה (Histogram Normalization):

- לפני כל פעולה מורכבת, חובה לבצע מתייה ליניארית של ערכי הפיקסלים לטווח המלא
- **הרצינול:** פעולה זו מבטיחה "בסיס משותף" לכל התמונות, קר שערכי הסוף (Threshold) שיקבעו בהמשך יהיו יציבים גם אם תמונה אחת צולמה בחשיפה שונה מחברתה.

### 2. שיפור ניגודיות מקומי (CLAHE):

שימוש ב-Histogram Equalization רגיל (גלובלי) הוא טעות נפוצה בתמונות אלו, שכן הוא נוטה "לשறף" אזורים בהירים ולהגביר רעש באזורי חשוכים. הפתרון הוא CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization):

- **איך זה עובד:** האלגוריתם מחלק את התמונה (Tiles) ומחساب היסטוגרמה נפרדת לכל אזור, תוך הגבלת ההגברה (Clipping) כדי למנוע מרעש רקע להפוך לאובייקט.
- **התוצאה:** שיפור דרמטי בדיזיינו ענפים דקים ועדיינים, גם אם הם נמצאים באזור מוצל של האלקטרודה.

## שלב ב': סגמנטציה וסינון רעשים (Segmentation & Denoising)

הمرة של תמונה רציפה בגווני אפור (Grayscale) למפה בינארית (שחור/לבן), תוך מאבק מתמיד בין הסרת רעש לבין שמירה על פרטים.

### 1. סינון רעשים משמר-שפה (Edge-Preserving Filter):

פילטרים נפוצים כמו Blur Gaussian מבצעים ממוצע מרחבית ולכן מטשטשים את קצות הדנדריטים. טשטוש זה גורם לאיבוד מידע קריטי על עובי הענף האמתי.

#### הפתרון המומלץ: Bilateral Filter

- **מנגנון הפעולה:** הפילטר מחליק משטחים (Denoising), אך הוא כולל רכיב נוספת המודד את הפרש עצמת הצבע. אם הוא מזהה "קפיצה" חדה (Edge), הוא מפסיק את החלוקת באותה נקודה. קר נשמרת החודות (Sharpness) של דפנות הדנדריט בעוד הרעש הפנימי והחיצוני מוסר.

### 2. אסטרטגיות סף (Thresholding):

בחירה השיטה תלויות באיכות התמונה:

- **Adaptive Thresholding (המומלץ לרוב):** השיטה המועדף לתמונות SEM. האלגוריתם מחשב סף DINM לכל פיקסל בנפרד בהתאם על ממוצע השכנים שלו
- **Otsu's Binarization:** מתאים רק אם התאורה אחידה לחלוון (לא הצללות). שיטה זו

היא סטטיסטיית-גלובלית ומוצאת את הסף האופטימלי המצביע את השונות בתוך שתי המחלקות (רקע וובייקט).

## שלב ג': עיבוד מורפולוגי (Post-Processing)

לאחר הבינאריזציה, התוצאה הגלומית אינה מושלמת. היא מכילה לרוב "חורים" בתוך גוף הענפים, קיטועים בענפים דקים ו"איס" של רעש אקראי ברקע. שלב זה נועד לתunken פגמים אלו באמצעות לוגיקה גיאומטרית.

### 1. שחזור מורפולוגי (Morphological Reconstruction):

- זהו טכניקה מתקדמת לנקיי רעש ללא פגעה במבנה הדנדרייט (בניגוד לפעולות Opening רגילות שעולות למחוק ענפים דקים). השיטה פועלת על בסיס שתי תמונות:
- **המסכה Mask** התמונה הבינארית המקורית (המכילה את הדנדרייט המלא + הרעש).
  - **הסמן Marker** תמונה שעברה (Erosion) אגרסיבי, כר שנותרו בה רק "גרעינים הווודאיות והabayות ביותר של הענפים המרכזיים (לא רעש רקע כלל).
  - **התהילך:** מבצעים הרחבה (Dilation) איטרטיבית של ה-Marker אל תוך ה-Mask.
- הגרעינים גדלים עד שהן פוגשות את גבולות הדנדרייט המקורי במסכה,

### ניקוי סופי (Cleaning Artifacts):

- **Closing** פעולה מורפולוגית לסגירת חורים לייצור רצף מלא.
- **סינון רכיבי קשריות Connected Components Analysis** כל אובייקט ששתוח קטע מסך מסוים (למשל, מתחת ל-50 פיקסלים) מסווג כרעש ומוסר, תחת ההנחה הפיזיקלית שדנדרייט הוא מבנה רציף וגדול.