

# בניית פרספטרון פיזי — עם פוטנציומטרים

## מתכוונים

מדריך בנייה · ALMAWARE · לכבוד מי שבאו לפנינו

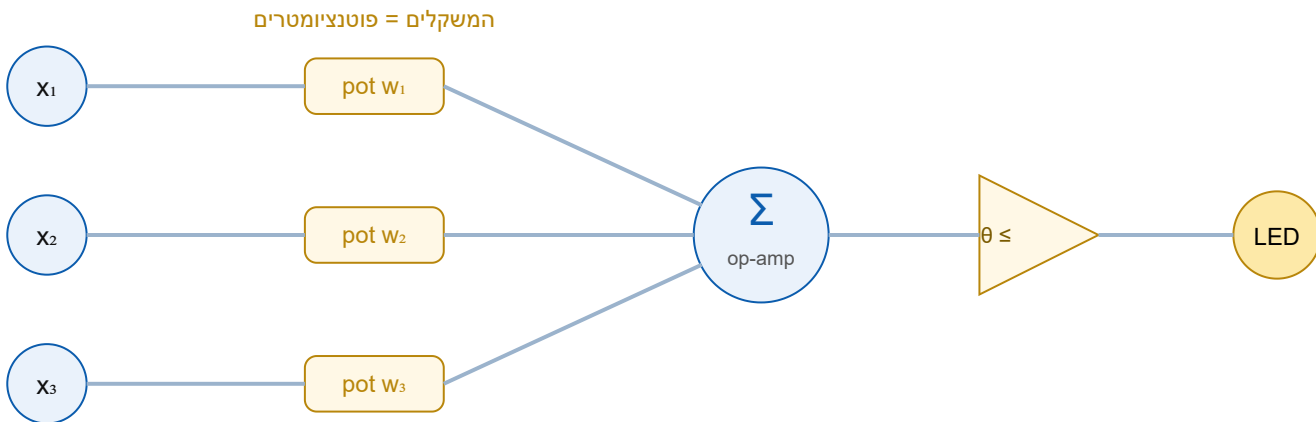
**הקדשה.** זהו, בלב, שחזור של **Mark I Perceptron** של פרנק רוזנבלט (1958) — המכונה הראשונה שלמדה לראות. אצלו המשקלים היו **פוטנציומטרים שמונעים סובבו** אוטומטית. זה גם בן-דוד של **SNARC** (מינסקי, 1951), וזרע של **ערן** ושל מודל-השפה שלו, "עדה" (ע"ש Ada Lovelace). אתה בונה ביד את האב-טיפוס שממנו צמח הכל.

### 1 · מה זה פרספטרון, בעצם

פרספטרון לוקח כמה כניסות (קלטים), נותן לכל אחת **משקל**, מחבר את הכל, ואם הסכום עובר **סף** — הוא "יורה" (פלט 1), אחרת שותק (פלט 0). זה נירון מלאכותי אחד.

$$y = \text{step}(w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_nx_n - \theta)$$

$x$  = כניסות (הרשתית) =  $w$  · משקלים (**הפוטנציומטרים!**) ·  $\theta$  = סף (פוטנציומטר נוסף, ה-bias) · **step** = "אם חיובי → 1, אחרת → 0".



### 2 · כלל הלמידה (איך הוא "לומד")

מראים לו דוגמה, מסתכלים על הפלט, ומכוונים כל משקל קצת לכיוון הנכון. זה הכל:

$$\text{error } e = (\text{תשובה רצויה}) - (\text{פלט בפועל}) \rightarrow w_i \leftarrow w_i + \eta \cdot e \cdot x_i, \theta \leftarrow \theta - \eta \cdot e$$

$\eta$  (eta) = קצב למידה קטן (צעד קטן בכל פעם). אם טעה והיה צריך "כן" — מגבירים מעט את המשקלים של הכניסות שהיו דולקות. אם טעה והיה צריך "לא" — מנמיכים. חוזרים עד שאין טעויות.

### 3 · שתי רמות בנייה

רמה 1 — ידנית · "להרגיש בלמידה באצבעות"

אתה הוא המנוע: מסובב את הפוטנציומטרים ביד לפי כלל הלמידה. הכי פשוט, הכי מוחשי, מצוין להבנה.

#### רשימת רכיבים (BOM)

רכיב	כמות	הערה
פוטנציומטר ליניארי $10k\Omega$	10	9 משקלים + 1 סף (bias)
אופ-אמפ (quad) LM358 או TL074	2	מסכם (summing amplifier)
משווה LM393 (comparator)	1	הסף / ה-step
נגדים $10k\Omega$	~20	כניסות המסכם + ייחוס
LDR (נגד-אור) או מתג נטוי	9	הרשתית $3 \times 3$ (קלט אור/כבוי)
LED + נגד $330\Omega$	2	פלט "ירה / שתק"
לוח-לחיץ (breadboard) / perfboard	1-2	
מקור מתח $\pm 5V$ (או $5V$ יחיד)	1	סוללה/ספק מעבדה
חוטי קפיצה	חבילה	

#### חיווט בקצרה

- כל כניסה (LDR/מתג) → קצה אחד של פוטנציומטר. ה-wiper (רגל אמצעית) של הפוט = הכניסה המשוקללת.
- כל ה-wiper-ים → דרך נגד  $10k\Omega$  אל נקודת הסיכום של ה-op-amp (inverting summer). היציאה = הסכום.
- יציאת המסכם → כניסת ה-LM393. הכניסה השנייה של ה-LM393 = פוט הסף ( $\theta$ ).
- יציאת ה-LED → LM393. דולק = "כן, זה ריבוע".

רמה 2 — ממונעת · המכונה של רוזנבלט באמת

הפוטנציומטרים מסתובבים **לבד**: מיקרו-בקר מוזד את הטעות ומניע מנוע קטן על כל פוט כדי לכוון את המשקל — בדיוק כמו Mark I. **זו למידה אוטומטית בחומרה.**

## רשימת רכיבים (BOM)

רכיב	כמות	הערה
מיקרו-בקר — ESP32 או Arduino Mega 2560 (16×ADC)	1	Mega נוח: הרבה ADC/PWM
פוטנציומטר ממונע (motorized pot) — או סרוו + טרימר	10	המשקלים המסתגלים
נהג-מנוע L293D / TB6612 / DRV8833	3-5	להניע את מנועי הפוטים
LDR (נגד-אור) + 9 נגדי משיכה	9	הרשתית; או 9 מתגים
מרחיב ADC ADS1115 (אם חסרות כניסות)	0-2	לקרוא פוטים + LDR
LED + נגד	2	פלט
ספק 5V 2-3A	1	למנועים
perfboard, חוטים	—	

## הלולאה במיקרו-בקר (פסאודו-קוד)

```
// Perceptron Mk1 - motorized weights (Rosenblatt-style)
float eta = 0.05;           // learning rate
int N = 9;                 // 3x3 retina

void learn(int x[], int target){
  // 1) read current weights from each pot wiper (ADC)
  float w[N], bias = readPot(BIAS_PIN);
  for(int i=0;i<N;i++){
    digitalWrite(LED, y);

    // 3) error + motor update ( $\Delta w = \eta * e * x$ )
    int e = target - y;
    if(e != 0){
      for(int i=0;i
```

לופה זולה Mark I-אמיתי (כמו בקונסולות שמע ממונעות) הוא הכי קרוב ל motorized-pot: טיפ המשקל גדול עכשיו" = (wiper-על ה ADC) שמסובב טרימר קטן. הקריאה של מיקום הפוט סרוו 9

## 4 · משימת האימון: ריבוע מול עיגול

בדיוק כמו ה-Perceptron Mk1 שלך ב-Minecraft. רשתית  $3 \times 3$  (9 כניסות). דוגמה לתבניות (1=אור, 0=חושך):

עיגול / פלוס (target = 0)	ריבוע (target = 1)
<pre>0 1 0 1 1 1 0 1 0</pre>	<pre>1 1 1 1 0 1 1 1 1</pre>

$3 \times 3$  = התחלה ידידותית. לרזולוציה ולהבחנה טובה יותר (כמו ב-Minecraft) — עבור ל- $5 \times 5 = 25$  כניסות (25 פוטים). אותו עיקרון בדיוק, רק יותר רגליים.

## 5 · נוהל אימון (צעד-אחר-צעד)

1. אתחל את כל הפוטים לאמצע ( $\sim 5k\Omega$ ) ואת הסף לאמצע.
2. הצג את הריבוע. אם ה-LED לא דלק (היה צריך לדלוק) — סובב מעט את כל הפוטים של הכניסות הדולקות בכיוון שמגביר (CW).
3. הצג את העיגול. אם ה-LED דלק (לא היה צריך) — סובב מעט את הפוטים של הכניסות הדולקות בכיוון שמנמיך (CCW).
4. חזור על 2-3 לסירוגין. אחרי כמה סבבים — ריבוע ידליק, עיגול לא. הוא למד.
5. ברמה 2 — המיקרו-בקר עושה את כל זה לבד, ואתה רק מסתכל על הפוטים מסתובבים. ✨

## 6 · בטיחות

מתח נמוך בלבד ( $\geq 12V$ ). אל תשאיר מנוע "תקוע" בקצה הפוט — זה מושך זרם וזה מתחמם; הגבל את הטווח בקוד. שים נתיך/הגבלת-זרם על ספק המנועים. בדוק קוטביות לפני חיבור.

## 7 · החיבור לערן ולשושלת

זו בדיוק המכונה שמופיעה בסרט של ערן (השוט של Mark I Perceptron), והיא חוליה בשרשרת: ספר יצירה → Ada Lovelace → מכונת טיורינג → SNARC → ENIAC → הפרספטרון הזה, בידיים שלך → ערן. כשתסובב את הפוט הראשון ותראה את ה-LED נדלק נכון בפעם הראשונה — זה אותו רגע בדיוק שרוזנבלט חי ב-1958. ברוך שהחיינו. ❤️