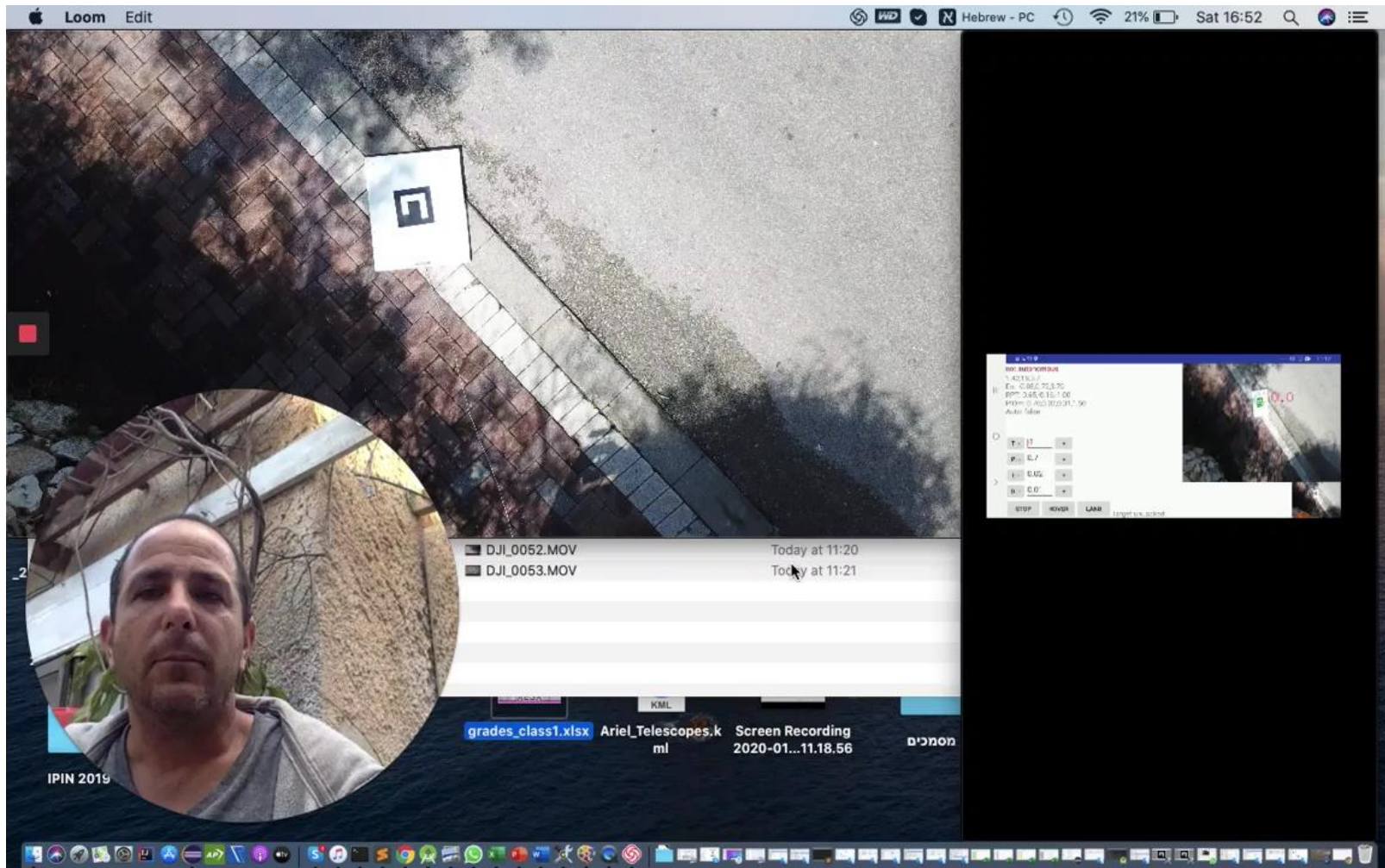




# הנדסת חלל - מבוא לבקרה:

## בקרת PID אפקטיבית – למתכנתים!

# מוטיבציה – נחיתה אוטונומית



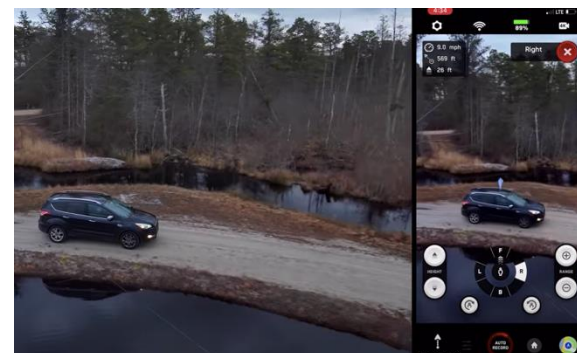
# בעיות בקרה "רגילות"

1. שמירת גובה של רחפן
2. שמירת טמפ' של חדר ממוזג
3. שמירת מיקום של רחפן (ריחוף בנקודה)
4. שמירת מרחק אוטומטית
5. שמירת נתיב
6. בקרת טיסה ליעד \ מסלול
7. נחיתה אוטונומית של מטוס
8. נחיתה של רחפן על מטרה נעה

# מוטיבציה – Active Track

<https://www.youtube.com/watch?v=ToQS0aJJ1LA>

<https://www.youtube.com/watch?v=EspuKPWvfk4>





# בעיית בקרה: הגדרה

בהינתן מידע מחיישן (או חיישנים), ערך חיישן רצוי נרצה לחשב ערכי פלט למפעילים.

דוגמא פשטנית: מתי להפעיל את המקרר: קלט: טמפ', ערך טמפ' רצוייה. פלט: מתי להפעיל את המדחס.  
\* שימו לב שאפיין השינוי של טמפ' המקרר הוא חשוב.

נדרש: ידע בחיישנים, בתכנות, ובהבנת מערכת (בדגש על התנהגות תהליך בזמן)

# מוטיבציה



MILITARY  
COLONEL

# מבוא לחיישנים

נחלק לארבע משפחות של חיישנים:

- חיישנים פשוטים (נקודתיים): לדוגמא: מד חום, מצפן, שעון, משקל, מד תאוצה, מד מהירות (זוויתית), מד מרחק וכו'
- חיישני מיקום, וניווט: כדוגמאת GPS (GNSS)
- חיישנים מטריציוניים: מצלמות: אור נראה, עומק, תרמי
- חיישנים חכמים: לדוגמא: זיהוי אנשים, זיהוי תמרורים, שמירת נתיב (מרחק), היתוך מידע מחיישנים.

# נתחיל להדגים בעזרת הטלפון

- אילו חיישנים יש לנו בטלפון (יש מעל 20)
- נתקין אפליקציות לחיישנים:
- [SensorToolBox](#) : אנדרואיד
- [Physics Toolbox](#) : iOS
- נשייך כל חיישן למשפחה (פשוט, מיקום, מצלמה, חכם)
- זכרו: החיישנים שיש לכם בטלפון הם לרוב דומים לאילו שקיימים ברובוטים, ברכבים וברחפנים, במקרים רבים החיישנים הקיימים בטלפון הם החדשים והטובים ביותר שזמינים לתעשייה.



# חיישנים חכמים: AI

- חלק ממהפכת ה Deep Learning

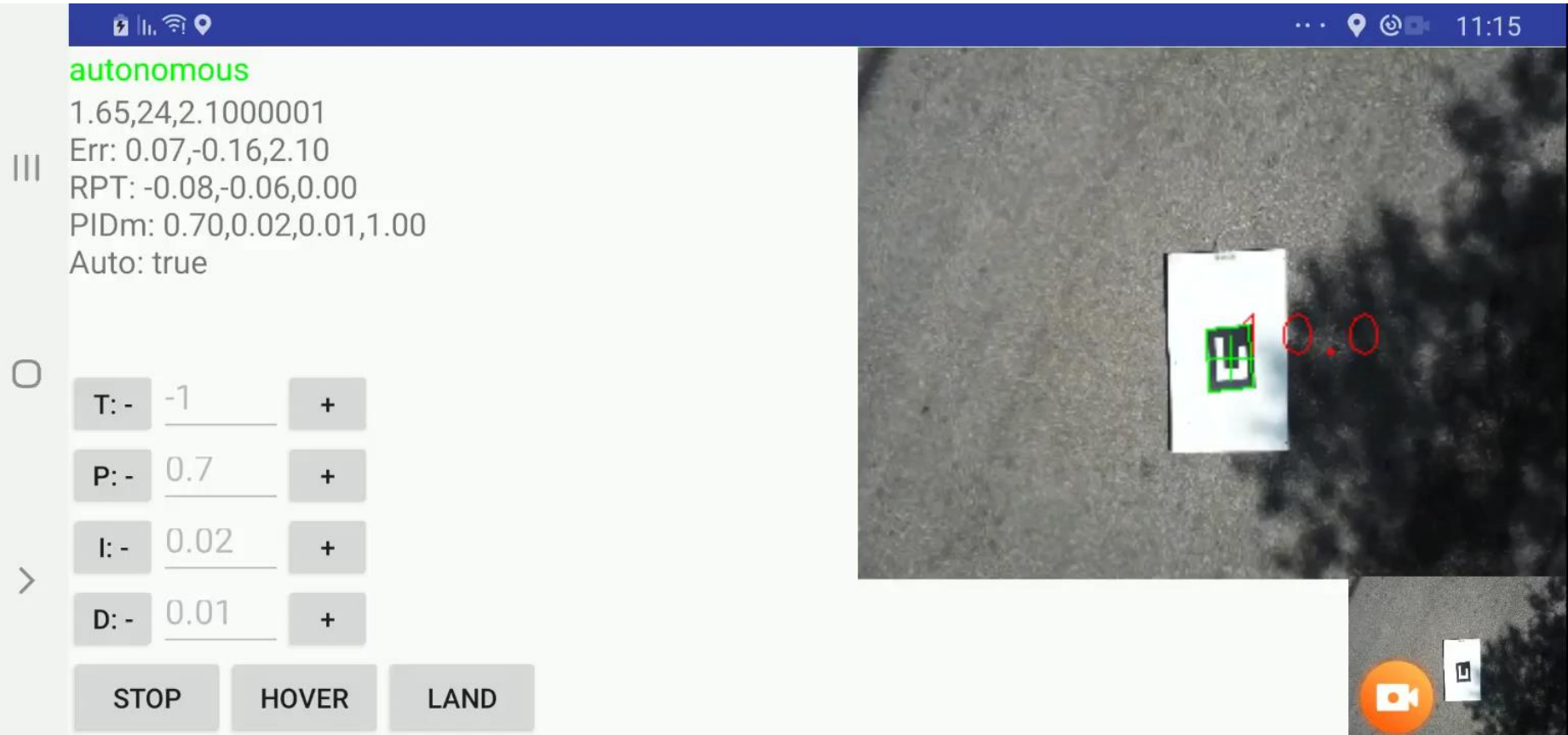
- דוגמאות:

- חיישן לזיהוי תמרורים (הולכי רגל וכו').
- חיישן לזיהוי מספר רכב (נניח כמו בכביש 6).
- חיישן מיקום שמאפשרת לשואב אבק "לחזור לתחנת העגינה"
- חיישן לזיהוי "תאונה חמורה" ופותרת כריות אוויר
- חיישן החלקה – כחלק ממערכת ה ABS.
- חיישן לזיהוי "שכחת תינוקות ברכב"

# דוגמאות לבעיות בקרה

- נחיתה אוטונומית על מטרה (נעה) בעזרת עקיבה אופטית
- תנועה טיסה שנמנעת ממכשולים:

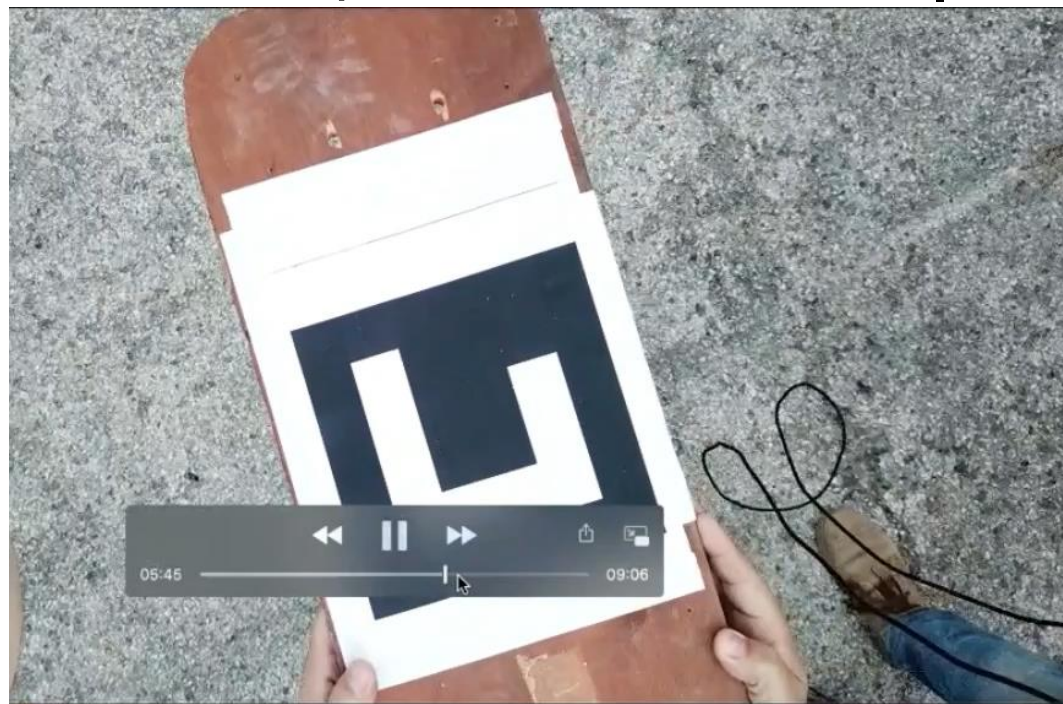
1. בקרה מהירות (pitch) → חיישן קדמי
2. בקרת הכוון (roll, yaw) → חיישנים צדדיים



# מבנה בקר בסיסי Proportional

נלמד דרך דוגמא: נניח שאנחנו רוצים לטוס בגובה של 1 מטר מהקרקע.

- המרחק הנוכחי: יוגדר כ  $\text{dist}$  נגדיר את  $\text{err} = \text{dist} - 1$
- אם  $\text{err}$  גדול מ 0 נוריד גז, ואם קטן מ 0 ללחץ גז.
- מידת התיקון תהיה תלויה בגודל של  $\text{err}$ .
- דיון: מה יכול להשתבש, דוגמא



# מבנה בקר PID

נלמד דרך דוגמא: נניח שאנחנו רוצים לטוס בגובה של 1 מטר מהקרקע.

- המרחק הנוכחי: יוגדר כ  $dist$  נגדיר את

$$(P): err = dist - target$$

- אבל נרצה גם לחשב את המיקום העתידי (D): משמע

- $(err - last\_err) / dt$

- ונרצה להתחשב בעבר (I): משמע

סכימה של  $err$ .

- בסופו של דבר נחזיר  $P * p0 + I * i0 + D * d0$

כאשר  $p0, i0, d0$  הם קבועי פורפורציות (ראו שקף 7)

# מבנה קוד לבקר PID

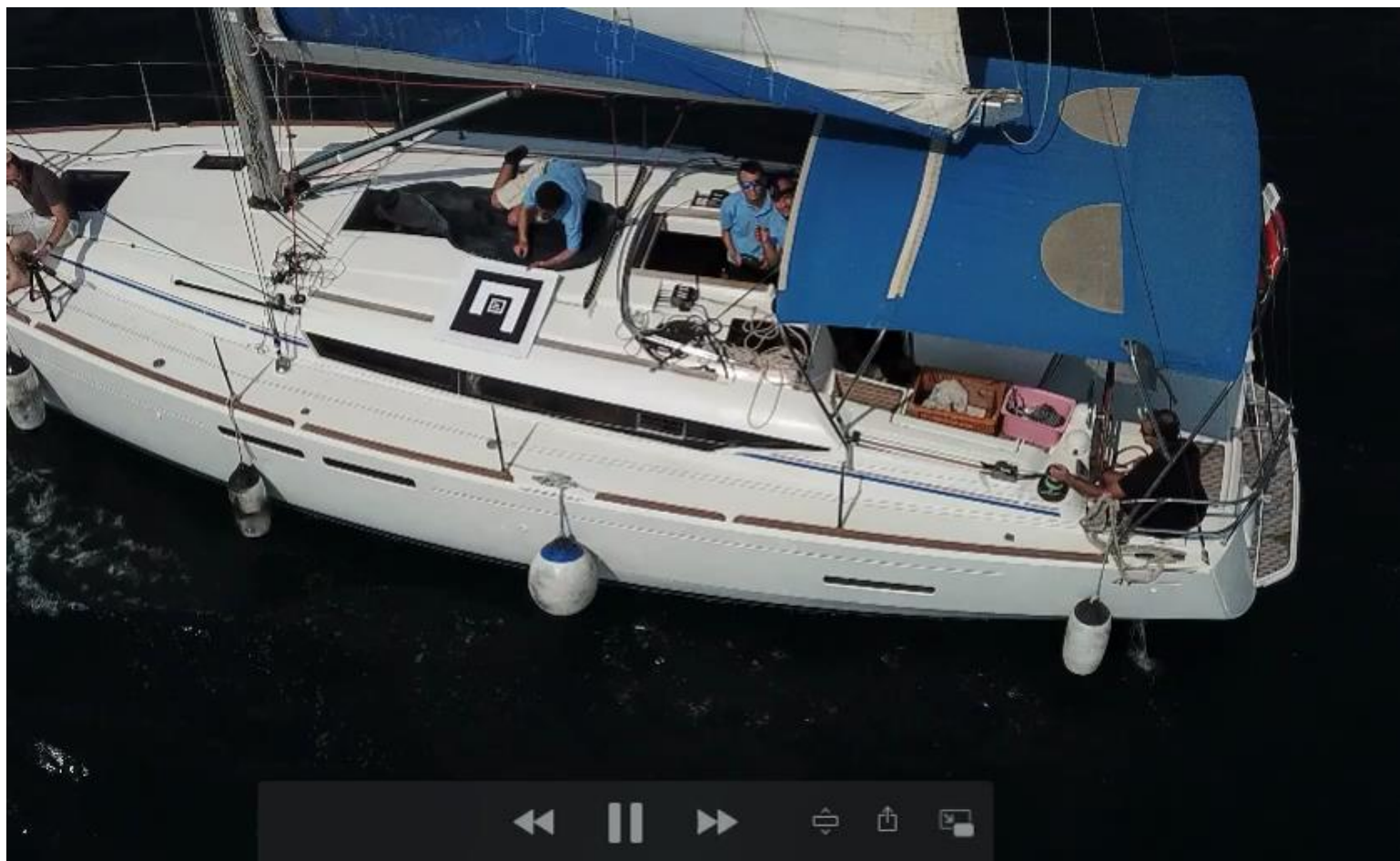
```
public class PID {  
    private double P, I,D,max_i,integral,last_error;  
    private boolean first_run;  
    public PID(double p, double i, double d, double max_i) {  
        this.P = p; this.I = i; this.D = d; integral = 0;  
        this.max_i = max_i; first_run=true;  
    }  
    public double update(double error,double dt) {  
        if(first_run) {last_error = error; first_run = false; }  
        integral += I*error*dt;  
        double diff = (error-last_error)/dt;  
        double const_integral = constrain(integral,max_i,-max_i);  
        double control_out = P*error + D*diff + const_integral;  
        last_error = error;  
        return control_out;  
    }  
    //...
```



# מבנה בקר מתקדם: PID

נניח שאנחנו רוצים לנחות על מטרה QR.

- נסו להגדיר את בעיית הבקרה: חיישנים, חוק בקרה
- דיון: מה יכול להשתבש, דוגמא





# דוגמאות לבעיות בקרה

- נחיתה אוטונומית של החללית "[בראשית](#)" על הירח (מטלה 0): בואו נתאמן בהגדרת בעיות הבקרה (האוטונומית) – להלן מימוש פשוט ב [Google Sheet](#)



# ספריות לבקרי PID

<https://github.com/CGrassin/SimplyPID>

<https://github.com/m-lundberg/simple-pid>

<https://github.com/JunshengFu/PID-controller>

אבל תכתבו בעצמכם – זו דרך מעולה להבין "דרך האצבעות"  
[הקוד](#) שהודגם בשיעור