

# רובוטים ניידים – תשפ"ו

## תרגיל 3 (אודומטריה של רובוט דמוי מכונית, SLAM) גרסה לא סופית

בתרגיל זה תרחיבו את מה שהשגתם עד כה בקורס – תבנו רובוט בעל גלגלים מניעים וגלגלי היגוי (בדומה למכונית), תממשו מודל אודומטריה המתאים לרובוט כזה, ותממשו אלגוריתם למיפוי וניווט בזמנית - Simultaneous localization and mapping (SLAM), כל זאת עם שלושה מנועים, חיישן מרחק, שני חיישני מגע, חיישן תאורה ואולי גם מצלמה.

לזירה נוספו נקודת עוגן כדי להקל על ביצוע תהליך ה-SLAM. אלה הם פסים שחורים אנכיים המודבקים על פס לבן לאורך הקיר כמוצג בתמונות:



המשימה העיקרית בתרגיל זה היא מיפוי ומציאת מיקום בזמנית (SLAM).

תוכלו לבחור באחת מצורות ההנעה של רובוטים המתוארות בהמשך. חלקן פשוטות וקלות יותר לביצוע ואחרות מאתגרות ומלמדות יותר. בכל מבנה רובוט שתבחרו ובלי קשר לצורת ההנעה, יש לבצע את התרגיל על פי ההנחיות האלה:

- א. ידוע שהזירה סגורה ואורך ההיקף שלה בין 6 ל 10 מטר, שהקירות שלה ישרים יחסית, ושיש בה סימונים כהים על פני רקע בהיר בגובה מסוים (אותו תוכלו למדוד). אין להניח ידע אחר על הקירות – מספר הקירות, אורכם, או זוויות המפגש ביניהם.
- ב. בתחילת המשימה הרובוט יונח בזירה מיקום וכיוון שאינם ידועים לכם מראש.
- ג. הרובוט ינוע במסלול ועל פי שיטה שתבחרו.
- ד. לרובוט יהיה חיישן מרחק הפונה לכיוון על פי בחירתכם, ושני חיישני מגע – אחד בקצה הקדמי והשני בקצה האחורי.
- ה. התנגשות קדמית או אחורית תפעיל רצף הנעה מתאים על פי השיטה שתבחרו.
- ו. במהלך הנסיעה על הרובוט למדוד את מיקומו בעזרת אודומטריה ושימוש בחיישנים האחרים, ולחשב את המסלול המצטבר.
- ז. הרובוט יציג בזמן אמת את המיקום הנוכחי ואת המסלול המצטבר על מסך ה-LCD שלו.
- ח. לאחר פרק זמן מספיק, ולא יותר מעשר דקות, הרובוט יעצור ויודיע על סיום שלב התנועה.
- ט. המידע יועבר למחשב (בעזרת USB או BT).
- י. בעזרת מידע זה תחושב מפה שתוצג במחשב ועליה יוצג מסלול הנסיעה.

כעת יוצגו כמה אפשרויות למבנה הרובוט ושיטת ההיגוי שלו.  
האפשרויות שונות בדרגת הקושי, ומזכות ב **ציון מקסימלי** ולא **תוספת בונוס**:

1. רובוט בעל היגוי דיפרנציאלי. **ציון מקסימלי 70**.  
אפשרות זו מורידה כמעט לגמרי את האתגר המכני ואתגר האודומטריה ולכן מיועדת למי שבוחר באתגר המינימלי שעדיין מאפשר לסיים את הקורס בהצלחה.
2. רובוט עם היגוי מכונית. **ציון מקסימלי 90**.  
מנוע אחד מניע זוג גלגלים בצורה שווה, ומנוע שני מסובב הגה ששולט בכיוון הציר המחבר את הגלגלים האחרים (או גלגל יחיד אחר), וכך קובע את כיוון הנסיעה. בביצוע אפשרות זו יש לפתח (או למצוא ולהתאים) את משוואות האודומטריה.
3. כמו אפשרות 1 או 2 אך עם חיישן מרחק מסתובב. **בונוס עד 15 נקודות**.  
חיישן מרחק מסתובב יכול לתת הרבה יותר מידע לצרכי המיפוי והמיקום, אך זה מוסיף אתגר של בניה, תוכנה, אינטגרציה וניתוח מידע.
4. כמו אפשרות 2 אבל עם מפרק מרכזי נשלט על ידי מנוע, המשנה את כיוון הרכב, וגם מנוע קדמי ומנוע אחורי. **בונוס עד 15 נקודות**.  
חישבו ובידקו: באילו תנאים יש יתרונות למבנה של הנעה קדמית \ אחורית \ שתיהן?
5. כמו האפשרות הקודמת אבל עם מפרק המשנה את אורך הרכב (משולש עילי או בוכנה). **בונוס עד 15 נקודות**.  
מפרק כזה משנה את ההיגוי ואת האודומטריה. חישבו ובידקו: באילו תנאים יש יתרון למבנה בעל אורך משתנה?
6. אחת מן האפשרויות הקודמות בתוספת שימוש במצלמה. **בונוס עד 40 נקודות**. יש כפל בונוסים (למשל מבנה רובוט מאפשרות 5 וגם מצלמה כמתואר כאן).  
באפשרות זו תשתמשו מצלמה חיצונית שמביטה על הזירה כל הזמן ומשמשת למעקב אחר הרובוט בזמן אמת. מותר למחשב אליו מחוברת המצלמה לצלם את הזירה לפני שהרובוט מוכנס אליה כדי להכיר את הזירה ללא האובייקט הנע. בעזרת עיבוד תמונה יחושבו מיקומי הקירות של הזירה, אבל יש לשים לב שחישוב כזה ייתן את מיקום הקירות בקואורדינטות של התמונה ולא של הזירה. הרי התמונה המתקבלת היא הטלה דו ממדית השונה מן הגיאומטריה האמיתית של הזירה. הטלה שהיא מיפוי בין מישור בתלת ממד (כמו רצפת הזירה) למישור אחר (למשל מישור התמונה) מכונה הומוגרפיה דו ממדית (2D homography) המיוצגת על ידי מטריצה  $3 \times 3$ ). אפשר להשתמש בהומוגרפיה כזו כקרוב להטלה של הזירה התלת ממדית אל מישור התמונה כיוון שהפרשי הגובה בזירה קטנים ביחס למרחק של הזירה מן המצלמה, ולגודל הזירה. עקיבה אחר הרובוט המתבצעת במישור התמונה מספקת מסלול בזמן, המוטל גם הוא בעזרת אותה הומוגרפיה. לאחר קבלת האודומטריה של הרובוט יש להשתמש במסלול הנצפה (מן התמונה) ובמסלול המחושב על ידי הרובוט ולבצע ביניהם התאמה (matching). בעזרת ההתאמה אפשר למצוא את מטריצת ההומוגרפיה ולבצע חישוב של הזירה עם ההטלה

האמיתית. התוצר הוא הצגת המפה בכל השלבים של החישובים, ועליה המסלול, ברמת דיוק גבוהה (כך אנו מקווים).

7. אפשרות הרחבה אחרת, לפי בחירתכם. זה דורש אישור המרצה שיקבע גם את גובה הבונוס.

בדיקה במעבדה ביום שישי ה 30.1.26. הגשת הדו"ח הכתוב ביום שלישי שאחר כך. להגשה:

1. דו"ח כתוב ובו:

- תיאור מפורט של הרובוט ושל תהליך הבניה והפיתוח.
- הסבר מפורט של שיטת חישוב האודומטריה.
- הסבר מפורט של אסטרטגית פתרון ה SLAM.
- תיאור מפורט של התוצאות.
- דיון ענייני וביקורתי בתוצאות.
- הפנייה לתיקיית שיתוף ובה צילומים וסרטונים המתעדים את השלבי השונים והתוצאות.
- סיכום: מסקנות והצעות להמשך.
- מקורות.

2. הקוד כולו, כולל קובץ readme.txt המסביר את ההתקנה וההפעלה של הקוד.

## קישורים:

### דוגמאות לרובוטי לגו, ובהם גם רובוט מכונית

- [MINDSTORMS EV3 Community | I am a teacher and transferred to a school with about 22 sets of barely used 9797 NXT sets | Facebook](#)

### מודלים של היגוי ואודומטריה

- [Ackermann steering geometry - Wikipedia](#)
- [Mobile Robot Kinematics Equations - MATLAB & Simulink](#)
- [ackermannKinematics - Car-like steering vehicle model - MATLAB](#)
- [How and why to use the Ackermann steering model](#)
- [Motion Control Lesson — MentorPi v2.0 documentation](#)
- [trigonometry - Calculate \(three wheeled\) mobile robot position and heading - Mathematics Stack Exchange](#)

- [Wheeled Mobile Robot Kinematics — ROS2\\_Control: Rolling Dec 2025 documentation](#)
- [13.4. Odometry – Modern Robotics](#)

### **SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)**

- [Simultaneous localization and mapping - Wikipedia](#)
- [What Is SLAM \(Simultaneous Localization and Mapping\)? - MATLAB & Simulink](#)
- [SLAM for Dummies](#)
- [\(PDF\) The Simultaneous Localization and Mapping \(SLAM\)-An Overview](#)

### **הומוגרפיה דו ממדית**

- [OpenCV: Basic concepts of the homography explained with code](#)
- [16\\_Homography-estimation-and-decomposition.key](#)