

רֹבוּטִים נִיְדִים – תְשִׁפָ"ה

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

בתרגיל זה תרchieבו את מה שהשגתם עד כה בקורס – תבנו רובוט בעל גלגלים מניעים וגלגלי היגוי (בדומה למכונית), תמשכו מודל אודומטריה המתאים לרובוט זה, ותמשכו אלגוריתם למיפוי וনיווט בו בזמןית - SLAM (Simultaneous localization and mapping), כל זאת עם שלושה מנועים, חישון מרחק, שני חישוני מגע, חישון תאורה ואולי גם מצלמה.

לזרה נספו נקודות עוגן כדי להקל על ביצוע תהליך ה-SLAM. אלה הם פסים שחורים אנכיים המודבקים על פס לבן לאורך הקיר כמו צג בתמונה:



המשימה העיקרית בתרגיל זה היא מיפוי ומציאת מקום בו זמית (SLAM).

תוכלו לבחור באחת מצורות ההנעה של רובוטים המתוארכות בהמשך. חלקן פשוטות וקלות יותר לביצוע ואחרות מתוגרות ומלמדות יותר.
בכל מבנה רובוט שתבחרו ובלי קשר לצורת ההנעה, יש לבצע את התרגיל על פי ההוראות 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 זווית המפגש ביניהם.
- ב. בתחילת המשימה הרובוט יונח בזירה מיקום וכיון שאין ידועים לכם מראש.
- ג. הרובוט ינוע במסלול ועל פי שיטה שתבחרו.
- ד. לרובוט יהיה חישון מרחק הפונה לכיוון על פי בחירתכם, ושני חישוני מגע – אחד בקצת הקדמי והשני בקצת האחוריו.
- ה. התנgesות קדמית או אחוריית תפעיל רצף הנעה מתאים על פי השיטה שתבחרו.
- ו. במהלך הנסעה על הרובוט למדוד את מיקומו בעזרת אודומטריה ושימוש בחישונים האחרים, ולחשב את המסלול המctrבר.
- ז. הרובוט יציג בזמן אמת את המיקום הנוכחי ואת המסלול המctrבר על מסך ה LCD שלו.
- ח. לאחר פרק זמן מסוים, ולא יותר מאשר דקות, הרובוט יעצור וידע על סיום שלב התנועה.
- ט. המידע יועבר למחשב (בעזרת USB או BT).
- י. בעזרת מידע זה תחשיב מפה שתוצג במחשב ועליה יוצג מסלול הנסעה.

icut יוצגו כמה אפשרויות לבנייה הרובוט ושיטת ההיגוי שלו.
האפשרויות שונות בדרגת הקושי, ומצוחות ב **ציוון מקסימלי** ו/או **תוספת בונוס**:

1. רובוט בעל היגוי דיפרנציאלי. ציוון מקסימלי 70.

אפשרות זו מורידה כמעט לגמרי את האתגר המכני ואתגר האודומטריה וכן מיעדת למי שבחור באתגר המינימלי שעדין מאפשר לסיים את הקורס בהצלחה.

2. רובוט עם היגוי מכוני. ציוון מקסימלי 90.

מנוע אחד מניע זוג גלגלים בזורה שווה, ומנווע שני מסובב הגה ששולט בכיוון הציר המחבר את הגלגלים האחרים (או גלגל יחיד אחר), וכך קובע את ציוון הנטיעה. ביצוע אפשרות זו יש לפתח (או למצוא ולהתאים) את משוואות האודומטריה.

3. כמו אפשרות 1 או 2 אך עם חישון מרחק מסתובב. בונוס עד 15 נקודות.
חישון 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 בשלט על ידי מנווע, המשנה את ציוון הרכב, וגם מנווע קדמי ומנווע אחורי. בונוס עד 15 נקודות.
חישבו ובידקו: באילו תנאים יש יתרונות לבנייה של הנעה קדמית \ אחוריות \ שתיהן?

5. כמו האפשרות הקודמת אבל עם מפרק המשנה את אורך הרכב (משולש עלי' או בוכנה). בונוס עד 15 נקודות.
מפרק זה משנה את ההיגוי ואת האודומטריה. חישבו ובידקו: באילו תנאים יש יתרונות לבנייה בעל אורך משתנה?

6. אחת מן האפשרויות הקודמות בתוספת שימוש במכשיר הצילמה. בונוס עד 40 נקודות. יש כפל בונוסים (למשל מבנה רובוט מאפשרות 5 וגם מצילמה כמתואר כאן).
באפשרות זו תשימושו מצילמה חיצונית שמבייטה על הזרה כל הזמן ומשמשת למשך אחר הרובוט בזמן אמת. מותר למחשב אליו מחוברת המצילמה לצלם את הזרה לפני שהרובוט מוכנס אליה כדי להכיר את הזרה ללא האובייקט הנע.
בעזרת עיבוד תמונה יחושו מיקומי הקירות של הזרה, אבל יש לשים לב שחייבים צזה יתן את מיקום הקירות בקואורדינטות של התמונה ולא של הזרה. הרו התמונה המתבקשת היא הטלה זו ממדית השונה מן הגיאומטריה האמיתית של הזרה.
הטלה שהיא מיופיע בין מישור בתלת ממד (כמו רצף הזרה) למישור אחר (למשל מישור התמונה) מכונה הומוגרפיה זו ממדית (homography 2D המיצגת על ידי מטריצה 3×3). אפשר להשתמש בהומוגרפיה כזו הקרוב להטלה של הזרה התלת ממדית אל מישור התמונה ציוון שהפרש הגובה בזרה קטנים ביחס למרחק של הזרה מן המצילמה, ולגודל הזרה. עקיבת הרכובות המתבצעת במישור התמונה מספקת מסלול בזמן, המוטל גם הוא בעזרת אותה הומוגרפיה. לאחר קבלת האודומטריה של הרובוט יש להשתמש במסלול הנכפה (מן התמונה) ובמסלול המוחושב על ידי הרובוט ולבצע ביניהם התאמה (matching). בעזרת התאמה אפשר למצוא את מטריצת ההומוגרפיה ולבצע חישוב של הזרה עם הטלה

האמיתית. התוצר הוא הצגת המפה בכל שלבים של החישובים, עליה המסלול, ברמת דיוק גבוהה (כך אנו מקוויים).

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

בדיקה במעבדה ביום שלישי ה 30.1.26. הגשת הדוח כתוב ביום שלישי שאחר כר.

להגשה:

1. דוח כתוב ובו:

- תיאור מפורט של הרובוט ושל תהליך הבניה והפיתוח.
- הסבר מפורט של שיטת חישוב האודומטריה.
- הסבר מפורט של אסטרטגיית פתרון ה SLAM.
- תיאור מפורט של התוצאות.
- דיוון ענייני וביקורתית בתוצאות.
- הפניה לתיקיות שיטוף ובה צילומים וסרטונים המתעדים את השלבי השוניים והתוצאות.
- סיכום: מסקנות והצעות להמשך.
- מקורות.

2. הקוד שלו, כולל קובץ readme.txt המסביר את התקנה וההפעלה של הקוד.

קישורים:

דוגמאות לרובוטי לגוי, ובهم 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](#)