

פרוייקט נחילים

תומר גן | גיא ינאי

מטרה סופית

רחפן מנהיג נשלט על ידי צוות הקורס, ורחפנים נוספים עוקבים אחרי תנועתו במרחב יחדיו בצורה של נחיל ציפורים.

תנאים והגבלות

- על גב כל רחפן יהיה מודבק Aruco Marker שבאמצעותו יוכלו הרחפנים לזהות אחד את השני, על ידי המצלמה שברחפן.
- הרחפנים ישאפו לנוע בגובה זהה על מנת לשקף בצורה טובה תנועת נחיל ציפורים.
- תנועת הרחפנים תתחיל במצב שבו הרחפנים מונחים על הרצפה בצורת א.

תמיכה במקרים מיוחדים

- אי זיהוי המרקר לאורך תנועה: במקרה של אי־זיהוי מרקר, הרחפן יפעיל אלגוריתם לניבוי המיקום הנוכחי של המנהיג, ויתקדם לקראת המיקום הזה בהתאם. במידה ועבר יותר מדי זמן והמנהיג לא נמצא, הרחפן יסיק כי המנהיג נפרד מהלהקה ויפעל בפרוצדורת הפרדה מהלהקה.
- הפרדה מהלהקה: במקרה שבו אחד מהרחפנים בקבוצה מופרד מהלהקה, לדוגמה נופל כתוצאה מכיבוי פתאומי, שאר הרחפנים ינחתו בביטחה עד ההגעה לקרקע.
- תנועה מעגלית: גם כאשר המנהיג ינוע בתנועה מעגלית, האלגוריתם אשר פיתחנו ידע להתמודד עם כך ויצליח לעקוב אחר המנהיג.

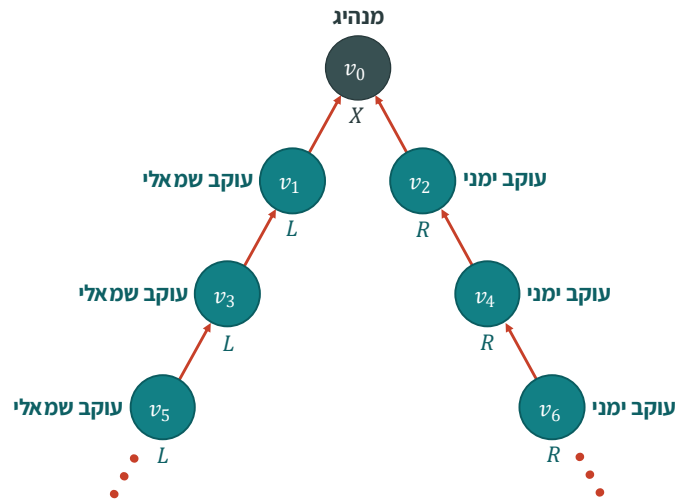
יכולות נוספות

- התראה על שינוי בזווית למרקר: כאשר רחפן מזהה שינוי בזווית למרקר שעומד מולו, הוא יוכל להתריע על כך וכמובן להתאים את כיוונו בהתאם על מנת לשמר את התנועה.
- הדפסת מרחק מהמרקר: לרחפן תהיה היכולת להדפיס את המרחק מהמרקר של הרחפן שעומד מלפניו בכל אחד מן הצירים.

מודל כללי

נרצה לנתח את תנועת הרחפנים באמצעות עץ $T = (V, E)$. לשם כך נסמן בתור D את קבוצת הרחפנים, ונאמר כי לכל רחפן $d_i \in D$ הצומת $v_i \in V$ תואם לרחפן d_i וכי ההורה של v_i בעץ, כלומר $p(v_i)$ הוא הצומת שנע מלפני v_i , ולכן v_i עוקב אחריו. נסמן את המנהיג בתור $d_0 = l$, כך שהצומת v_0 הוא שורש העץ.

למעשה נקבל עץ שמתאר את יחסי מעקב הרחפנים הנעים בצורת Λ :



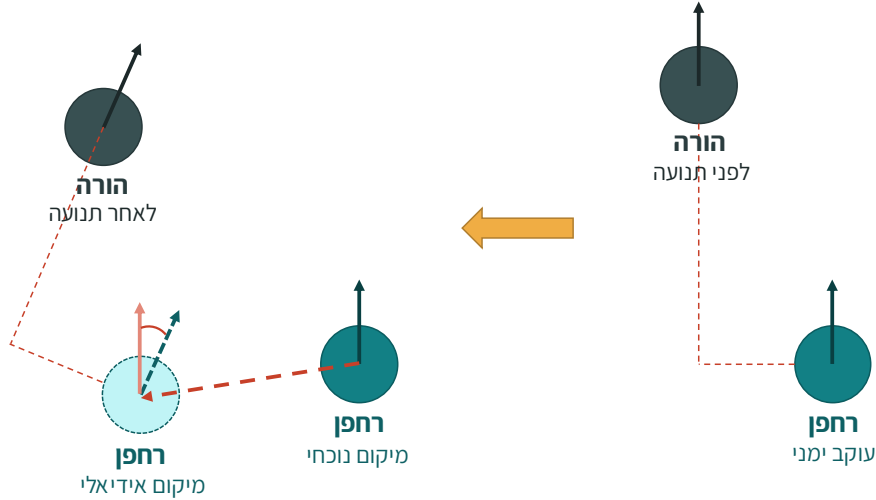
כפי שניתן לראות ישנם שלושה סוגים של תפקידים: עוקב ימני, עוקב שמאלי ומנהיג. חשוב להדגיש כי מספרי הרחפנים d_i נועדו רק לשם ניתוח האלגוריתם, אך בפועל הרחפנים ידעו לזהות את תפקידם באופן דינמי על פי האוריינטציה שהם מזוהים. בתחילת התנועה, כל רחפן יזהה את המרקר שמלפניו ובכך ידע אם תפקידו הוא עוקב ימני או עוקב שמאלי (על ידי חישוב הזווית θ מהמרקר של הרחפן ההורה בעץ).

כמו כן, בשביל להוסיף תמיכה לאלגוריתם במקרה של הפרדה מהלהקה, נחלק למקרים:

- במקרה שבו רחפן שאין לו בנים נפרד מהלהקה, הלהקה תמשיך כרגיל מכיוון שהוא שומרת על צורת ה- Λ התקינה של נחיל ציפורים.
- במקרה שבו המנהיג l נפרד מהלהקה, הבנים של המנהיג יזהו זאת וינחתו על הקרקע, ולאחר מכן הבנים שלהם וכך הלאה עד שכל הרחפנים ינחתו בביטחה על הקרקע.
- במקרה שבו רחפן שיש לו בן נפרד מהלהקה, האלגוריתם שרץ עבור הרחפן הבן יזהה מחדש את המרקר של הסבא שלו (האב של הרחפן שנפרד) וישנה את מבנה העץ כך שהוא יהווה את אביו החדש, וכתוצאה מכך יאיץ לקראתו על מנת לשמר את צורת הנחיל התקינה.

אלגוריתם חישוב התנועה

לכל רחפן יש מרחקים אידיאליים שאליהם שואף לפי שלושת הצירים x, y, z מההורה שלו, הנקבעים על ידי המשתמש ועל ידי האם הרחפן מהווה עוקב ימני או עוקב שמאלי. נסמן את המרחקים האידיאליים I_x, I_y, I_z . ברגע שבו ההורה זז והרחפן כבר אינו נמצא במרחקים האידיאליים ממנו, נרצה לחשב לאן לנוע בכדי להתקרב למיקום האידיאלי ביחס להורה.



באמצעות זיהוי ה-Arduino Marker על ידי ספריית OpenCV אנו מקבלים את מיקום הרחפן שלנו M_x, M_y, M_z ביחס לרחפן ההורה (אשר ממוקם ב- $(0,0,0)$) על פי מערכת הצירים הנקבעת על ידי הכיוון שאליו פונה ההורה, שנשמנה בתור p ואת הצירים שלה בתור x_p, z_p . כמו כן אנו מקבלים את הזווית θ בין הכיוון אליו פונה הרחפן לבין הכיוון אליו פונה ההורה.

כעת נרצה לומר לרחפן לנוע לקראת המיקום האידיאלי שלו ביחס להורה, אך חשוב לשים לב כי התנועה של הרחפן היא לפי מערכת הצירים שנקבעת על ידי הכיוון אליו פונה הרחפן הנוכחי, שאותה נסמן בתור c ואת הצירים שלה בתור x_c, z_c .

כעת נחשב את וקטור התנועה מהמיקום הנוכחי של הרחפן אל המיקום האידיאלי שאליו שואף במערכת הצירים p , על ידי חישוב ההפרש במיקומים כך שנקבל את הוקטור $(I_x - M_x, I_z - M_z)$, ולאחר מכן נמיר את וקטור תנועה זה למערכת הצירים c באמצעות הכפלת הוקטור במטריצת סיבוב עם הזווית θ .

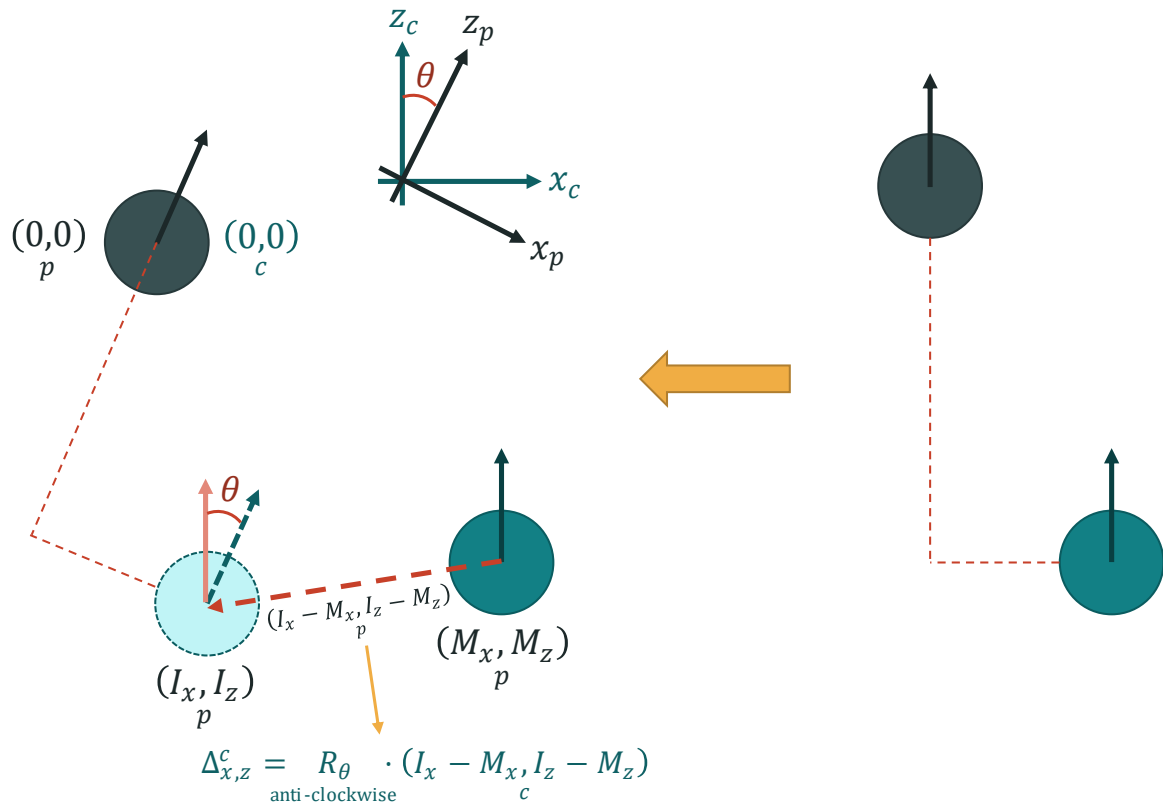
על ידי כך נקבל את וקטור הדלתא בין המיקום הנוכחי של הרחפן למיקום האידיאלי:

$$R_{\theta}^{\text{anti-clockwise}} = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix}$$

$$\Delta_{x,z}^p = \begin{pmatrix} I_x - M_x \\ I_z - M_z \end{pmatrix}$$

$$\Delta_{x,z}^c = R_{\theta}^{\text{anti-clockwise}} \cdot \Delta_{x,z}^p = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} I_x - M_x \\ I_z - M_z \end{pmatrix}$$

תרשים המתאר את חישוב הדלתא בצירים x, z על פי מערכת הצירים של הרחפן הנוכחי:



* וקטורי השורה המופיעים בתרשים הם למעשה וקטורי עמודה.

חישוב הדלתא בציר ה־ y יתבצע על ידי חישוב ההפרש בין המיקום האידיאלי לבין המיקום הנוכחי שכן ציר ה־ y נשאר זהה בין מערכות הצירים. בכך נקבל $\Delta_y = I_y - M_y$. סיימנו לחשב את וקטור הדלתא בין המיקום הנוכחי למיקום האידיאלי $\Delta^c = (\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z)$. מתוך וקטור הדלתא ומתוך הזווית θ נרצה לחשב את קצב וכיוון התנועה שיש לשדר לרחפן. את קצב התנועה בצירים x, y, z נשדר לרחפן, ולאחר שיבצע את תנועתו לקראת המיקום האידיאלי שאליו שואף הוא יסתובב בזווית שנקבעה על מנת לאזן את האוריינטציה שלו ביחס לרחפן ההורה.

נשים לב כי ככל שהרחפן נמצא במיקום יותר רחוק מההורה בציר ה־ z , נרצה שהרחפן ינוע יותר מהר בציר ה־ x ובציר הרדיאלי ביחס לדלתא של המיקום, בכדי שהרחפן העוקב לא יאבד את ה־Aruco Marker שעל ההורה. לשם כך נכפיל את הדלתא של המיקום בקבועים המאזנים את קצב התנועה, ואת קצבי התנועה בציר ה־ x ובציר הרדיאלי נכפיל גם בשורש המרחק בציר ה־ z של הרחפן מההורה.