**פרויקט גמר**

**Peg-in-Hole**

**מנחה:**

ישראל שלהיים

**סטודנטים:**

סער ברקן, ימית גרון

תוכן עניינים

[מבוא 3](#_Toc22825643)

[רקע 3](#_Toc22825644)

[מטרות 3](#_Toc22825645)

[דרישות 3](#_Toc22825646)

[רקע תאורטי 4](#_Toc22825647)

[סיכום של מאמרים 4](#_Toc22825648)

[משוואות 4](#_Toc22825649)

[סימולציות בסיסות 4](#_Toc22825650)

[שיטות 4](#_Toc22825651)

[תיאור של נושאים טכניים 4](#_Toc22825652)

[תיאור של אלגוריתמים שפיתחנו 4](#_Toc22825653)

[תוצאות 4](#_Toc22825654)

[סימולציות 4](#_Toc22825655)

[ניסויים 4](#_Toc22825656)

[אנליזות 4](#_Toc22825657)

[סיכום 4](#_Toc22825658)

# מבוא

## רקע

הכנסה של פין לתוך קדח(Peg-in-Hole) היא יכולת בסיסית ואינטואיטיבית עבור בני אדם, היא נלמדת באמצעות התנסות על ידי ילדים כבר בגיל צעיר, אך לא כך הדבר עבור רובוטים אשר פועלים בסביבה בה קיימת אי וודאות.

פרויקט זה נועד לסייע למתן מענה עבור צורך גובר בתעשייה לשילוב של רובוטים בתפקידים שכיום מבוצעים על ידי בני אדם בלבד, הוא חלק ממאגד "רובוטיקה בתעשייה" של רשות החדשנות ומבוצע במעבדת SMILE בטכניון.

אחד התפקדים הוא הרכבה של חלקים וגופים בהם יש להתאים פיני מיקום לתוך קדחים, האתגר בפתרון בעיה זו נובע מכך ששיטות הבקרה הקלאסיות (מיקום או כוח) אינן נותנות מענה שלם, לפיכך נבחן שימוש בשיטת בקרה שתופסת תאוצה בשנים האחרונות והיא בקרת עכבה (אימפדנס).

## מטרות

1. יצירת סימולציה של Peg-in-Hole.
2. ביצוע Peg-in-Hole ע"י זרוע רובוטית תוך שימוש בבקרת אימפדנס בתנאים אידיאליים.

## דרישות

* הצגת היתרונות והחסרונות של שימוש בבקרת עכבה.
* ביצוע סימולציה של Peg-in-Hole באמצעות בקרת מיקום.
* ביצוע סימולציה של Peg-in-Hole באמצעות בקרת עכבה.
* שליטה ברובוט בסביבת ROS.
* ביצוע Peg-in-Hole עם זרוע רובוטית בבקרת עכבה.

## לו"ז

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| מס' | משימה | תיאור | משך (שבועות) |
| 1 | חומר תאורטי | קריאה וסיכום מאמרים | 3 |
| 2 | רקע תיאורטי | כתיבת רקע תיאורטי | 2 |
| 3 | סימולציה בסיסית בקרת מיקום | דרגת חופש אחת | 1 |
| 4 | סימולציה בקרת אימפדנס בסיסית | דרגת חופש אחת | 1 |
| 5 | חוג בקרה בסיסי |  | 1 |
| 6 | סימולציה 2 דרגות חופש |  | 2 |
| 7 | MuJoCo | לימוד סביבת עבודה | 2 |
| 8 | מערכת ניסוי | תכנון בנייה והתאמה לזרוע | 1 |
| 9 | סימולציה | בסביבת  MuJoCo | 2 |
| 10 | מודלים תיאורטיים | פיתוח משוואות תנועה ודינמיקה | 3 |
| 11 | חוג בקרה | יצירת חוג ואופן מימושו | 3 |
| 12 | סימולציה מלאה | בקרת אימפדנס | 4 |
| 13 | ROS | לימוד סביבת עבודה | 3 |
| 14 | הפעלת הזרוע | בקרת מיקום,  ממשק עם חיישנים | 2 |
| 15 | בקרת אימפדנס | ביצוע הניסוי בתנאים אידיאלים | 4 |
| 16 | סיכום ומסקנות, השלמת הדו"ח, הכנת פוסטר |  | 3 |

# רקע תאורטי

## סיכום של מאמרים

סיכום המאמר An introductory review of active compliant control:

נקודות עיקריות :

* סקירה של שיטות בקרת היענות אקטיביות המתמקדות במערכות קשיחות.
* עקב הופעה של יישומים חדשים רבים בתחום הרובוטיקה חל גידול משמעותי בכמות המאמרים בתחום, המאמר נועד לסקור את המאמרים ולסכמם באופן מסודר.
* המאמר מחלק ל - 4 שיטות עיקריות : אימפדנס ואדמיטנס , בקרת מיקום/כוח מקבילה או היברידית.
* המאמר מציע סכמת בחירת שיטת בקרה לפי אפליקציה ואילוצים.

גורמים להתפתחות הצורך בתחום:

* עלייה בכמות שיתוף פעולה בין רובוטים לאנשים.
* צרכים בתחום הרפואה למשל שלדים חיצוניים, פרוטזות ורובוטים לניתוחים.
* רובוטים הולכים.
* גידול בכמות הרובוטים התעשייתיים אשר מגיעים מזוודים עם חיישני כוח/מומנט.

בקרת היענות הינה תת תחום של בקרת כוח מתמשכת(משוב), היא מאפשרת ביצוע שינויים במאפייני ההיענות של מערכת הבקרה וכתוצאה מכך לשנות את התגובה הדינמית של המערכת.

תחום בקרת היענות התפתח מהגישה ההיברידית ומקבילית אל שיטת האדמיטנס והאימפדנס.

תכונת ההיענות ניתנת להשגה ושינויי בשתי דרכים

* פסיבי ע"י שינוי תכונות מובנות של המכניזם.
* אקטיבי ע"י בקרה.

בקרה ישירה –לולאת משוב הכוח נסגרת על ידי בקר כוח.

בקרה לא ישירה – שליטת הכוח מתממשת באמצעות בקרת תנועה. לולאת בקרת תנועה פנימית או חיצונית זו מאפשרת ליצור קשר רצוי בין תנועת המערכת לכוח.

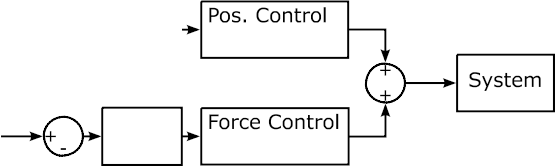
בקרת כוח מפורש ולא מפורש-בבקרת כוח מפורש השליטה מאופיינת על ידי משוב על הכוח בעזרת חיישן כוח, ואילו במקרה הלא מפורש המשוב מסופק על ידי בקרה בלולאה פתוחה ובאמצעות ההבדל בין המטרה לתזוזה המדודה.

בקרה לא מפורשת מתאימה רק למערכות בעלות Backdrivability וחיכוך זניח, כמו כן עקב מאפייני תגובת ההלם מומלצת למערכות איטיות ומשטחים רכים , חייבים מודל כדי להתגבר על החוסר נתונים מהחיישן.

**סוגי בקרת היענות:**

בקרת כוח/מיקום היברידית:

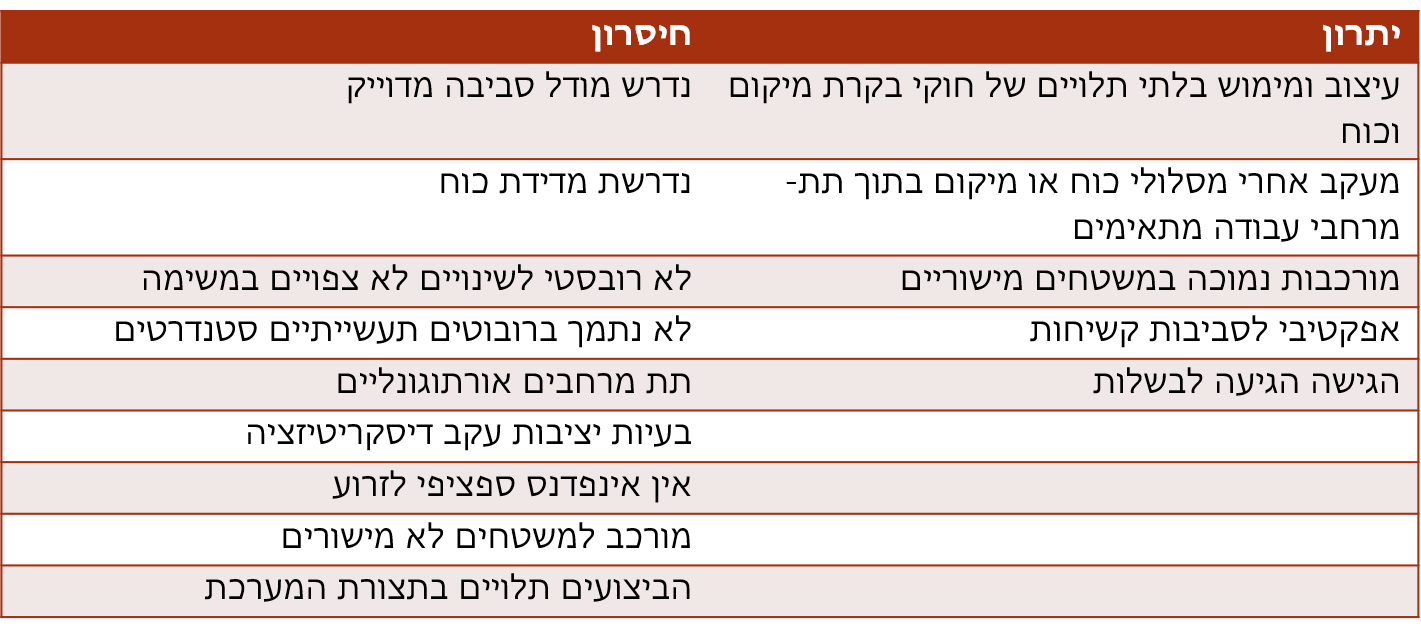
סכמת בקרה



חוק בקרה

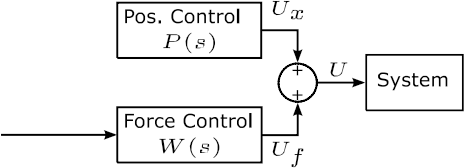
הסבר כללי

שיטה זו מחלקת את מרחב העבודה לתת-מרחבי עבודה אורתוגונליים משלימים, אשר בכל אחד מהם מתבצעת בקרת תנועה או בקרת כוח.



בקרת כוח/מיקום מקבילה:

סכמת בקרה



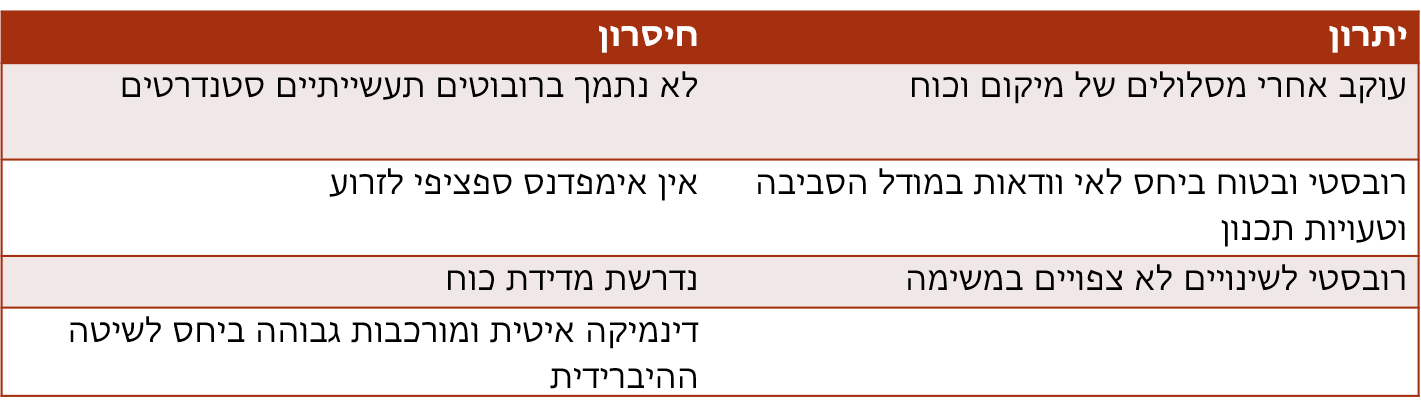
חוק בקרה

הסבר כללי

שיטה זו מנסה לעקוב אחרי מסלול תנועה נתון עבור כיוונים לא מאולצים ומנסה לשלוט בכוחות המגע אשר נובעים מכיוונים מאולצים.

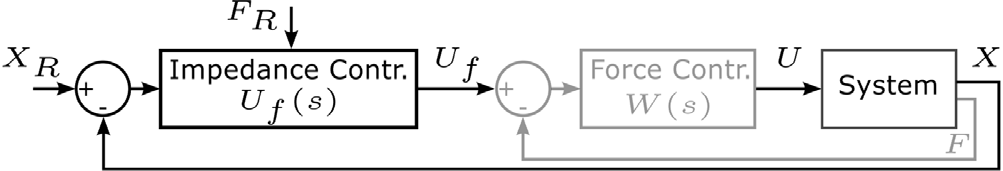
בניגוד לבקרה היברידית בבקרה מקבילה ניתן לבצע סופרפוזיציה בין היציאות של בקרי המיקום והכוח ובשל כך שניהם יכולים לפעול על אותו הכיוון

בשיטה זו קיימים שני בקרים במקביל כאשר ע"פ הספרות ממליצים על בקר PD עבור המיקום ו- PI עבור הכוח, בשל כך האינטגרטור בבקר הכוח גורם לכך ששגיאת הכוח תיסגר על חשבון שגיאת המיקום.



בקרת אימפדנס:

סכמת בקרה



\*בשחור הסכמה הבלתי-מפורשת, באפור ושחור הסכמה המפורשת.

חוק בקרה

האימפדנס מיוצג ע"י פולינום מסדר m.

הסבר כללי

שיטה זו מתמקדת במימוש יחס מטרה בין כוח לתנועה אך לא בהכרח עוקבת אחריהם במדויק.

כלומר יחס האימפדנס מגדיר פשרה בין דיוק במיקום לגודל הכוח המופעל.

השיטה לא דורשת מודל דינמי אך מודל כזה יכול לשפר את ביצועי המערכת.

במרחב החופשי מתנהגת כמו בקרת מיקום בעוד שבסביבה קשיחה מתנהגת בדומה לבקרת כוח מפורשת.

בתיאוריה הסדר של האימפדנס יכול להיות אך במאמרים שנסקרו לא הוזכרו מימושים פרקטיים מעל סדר זה.

סדר 0 –

בקר קשיחות, שקול לבקר מיקום P(במקרה הבלתי-מפורש).

יותר פשוט חישובית ויותר רגיש לאי וודאות אך יכול להקטין יציבות ודיוק במקרה המפורש.

המקרה הבלתי מפורש הינו פסיבי.

סדר 1 –

בקר ריסון, שקול לבקר מיקום PD(במקרה הבלתי-מפורש).

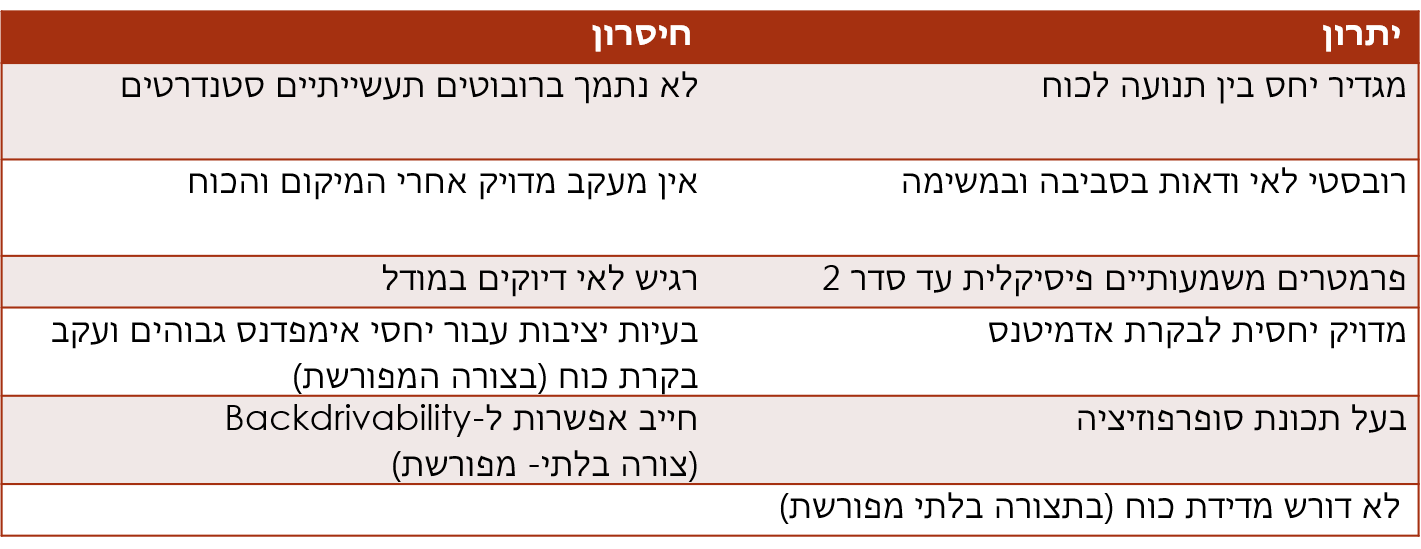
מקדם הריסון מפצה על ריסון אקטיבי טבעי.

סדר 2 –

ניתן לשנות את דינמיקת המסה(או האינרציה) של המערכת על מנת להשיג מסת מטרה .

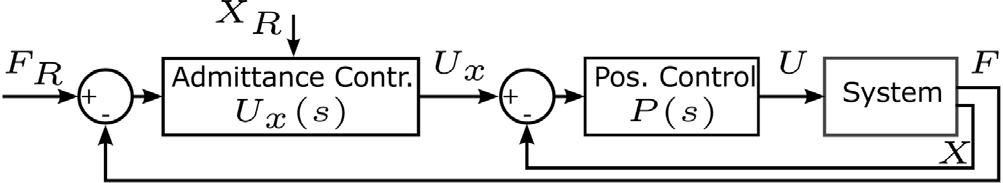
שקול לבקר מיקום PID(במקרה הבלתי-מפורש).

עד סדר זה יש משמעות לפרמטרים .



בקרת אדמיטנס:

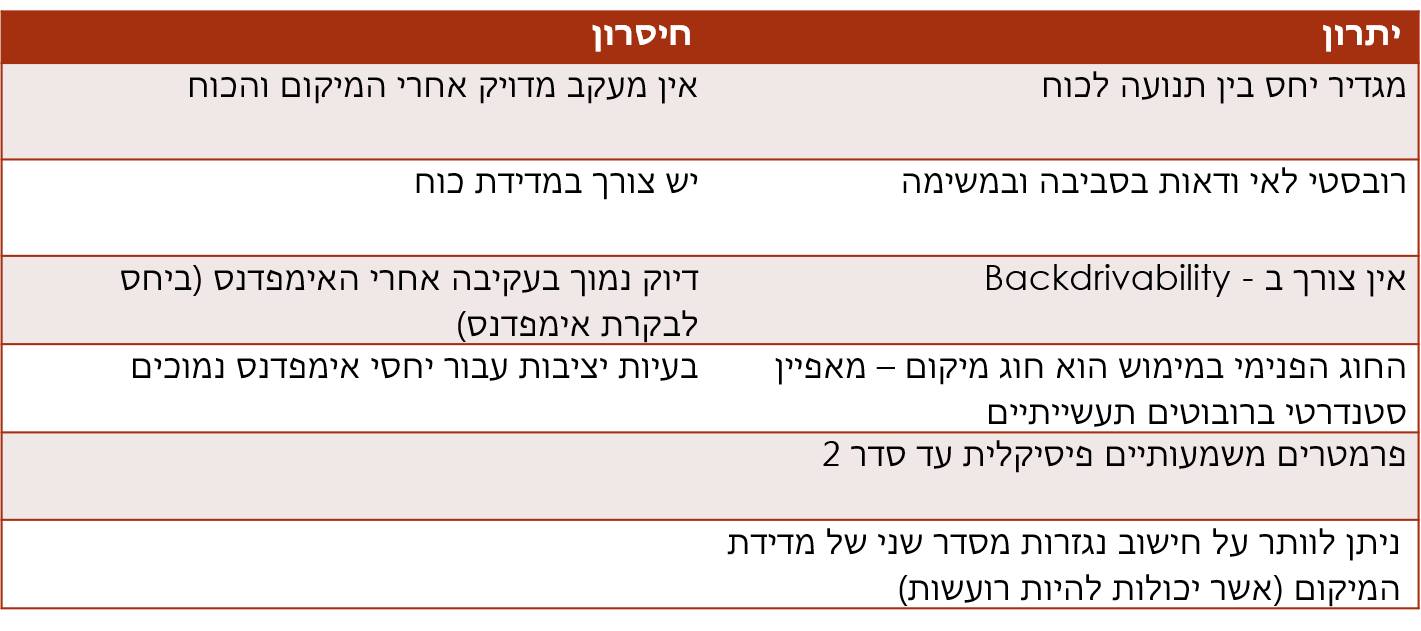
סכמת בקרה



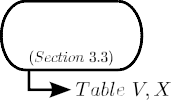
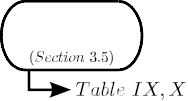
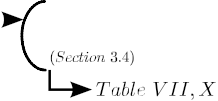
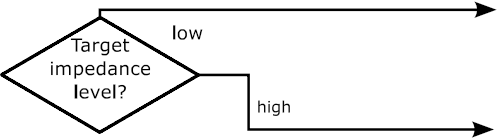
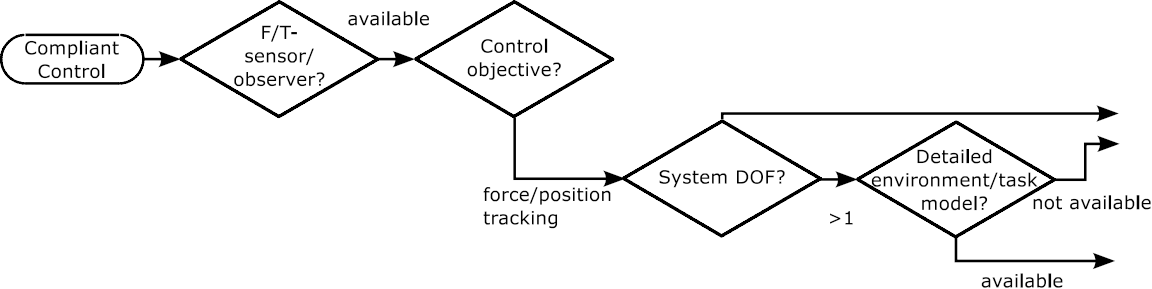
חוק בקרה

הסבר כללי

שיטה זו מממשת רעיון דומה לבקרת אימפדנס(לעיתים מכונה בקרת אימפדנס עם משוב כוח) אך שונה ממנה ביחסי המטרה בין הכוח לתנועה ובמאפייני מפתח במימוש בחוג הפנימי.



סכמת בחירה:



סיכום:

המאמר נותן לנו אפשרות נוחה לבחירת שיטת הבקרה לפי האפליקציה הרצויה.

מסכם ומתמצת את סוגי הבקרות ונותן הסברים נוספים על איך אפשר להתגבר על חלק מהחסרונות בשיטות ואיך ניתן לשלב ביניהם ליצירת מערכת אשר מתאימה לאפליקציות אחרות.

## משוואות

## סימולציות בסיסות

סימולציה פשוטה של רובוט 2 דרגות חופש ובקר PD + Inverse Dynamics:

בנינו תוכנית מטלאב אשר מקבלת 2 נקודות ובונה מסלול של קו ישר .

המרנו את המסלול שבנינו במערכת העולם בעזרת קינמטיקה הפוכה למסלול במערכת המפרקים.

לאחר מכאן הכנסנו את תנאי ההתחלה ואת הדינמיקה של הרובוט לפותרן נומרי (ode45) ביחד עם חוק הבקרה :



כיילנו את קבועי הבקרה עד לצמצום השגיאה במיקום וקבלת עקיבה טובה.

קבועי הבקרה אשר סיפקו ביצועים טובים אחרי כמה איטרצייות :



ניתן לראות את ביצועי הרובוט:

**מפרק 1**

תמונה שמכילה מפה, טקסט

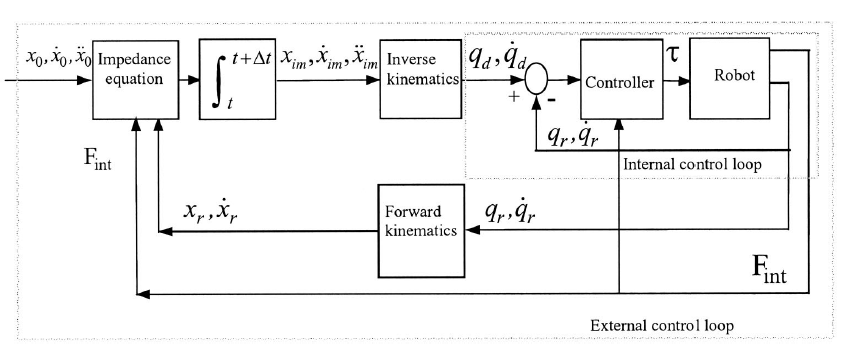
התיאור נוצר באופן אוטומטי

תמונה שמכילה טקסט, מפה

התיאור נוצר באופן אוטומטי**מפרק 2**

לאחר מכאן הוספנו חוג בקרה חיצוני אשר ממש בקרת אימפדנס , המכניס את הערכים המתקבלים על בקר המיקום אשר מימשנו .

בקרת האימפדנס בוצעה ע"פ הסכמה Instantaneous Model Impedance Control כפי שהוצע מאמר Accuracy/Robustness Dilemma in Impedance Control



חוק בקרה:



כאשר:



ביצענו מידול של קיר , הצבנו את יעד המטרה לאחר הקיר ובחנו את ביצועי הרובוט עם וללא הפרעת הקיר.

כיילנו את קבועי הבקרה עד לצמצום השגיאה במיקום וקבלת עקיבה טובה.

קבועי הבקרה אשר סיפקו ביצועים טובים אחרי כמה איטרצייות :



נבדק שני מצבים פעם אחד במצב חופשי ללא קיר:

מפרק 2

ומצב שני עם קיר:

מפרק 1

מפרק 2

# שיטות

## תיאור של נושאים טכניים

## תיאור של אלגוריתמים שפיתחנו

# תוצאות

## סימולציות

## ניסויים

## אנליזות

# סיכום