עמוד 1

שלום, שמי דניאל, אני סטודנט לתואר ראשון במחלקה להנדסת מכונות במכללה להנדסה ע"ש סמי שמעון באר שבע.

היום אני אציג לכם תוצאות ראשונות של עבודת הגמר שלי תחת הנחייה של ד"ר זיו ברנד וד"ר איתן פישר. העבודה היא בנושא פיתוח אלגוריתם בקרה מבוסס לימוד מכונה עבור ריסון אקטיבי של רעידות למערכת מכאנית עם גמישון.

העבודה המוצגת היא חלק מפעילות מחקרית המתבצעת במרכז לבקרה של מערכות מכאניות גמישות בהובלה של ד"ר זיו ברנד.

עמוד 2

המצגת כוללת: רקע כללית ומוטיבציה, מטרות העבודה, תוצאות סימולציה מסקנות ותוכנית המשך ולבסוף זמן לשאלות.

עמוד 3

קיימים יישומים רבים של מערכות מכאניות גמישות. להלן מספר דוגמאות שנלקחו מהספרות: גוף מטוס וצוללת, טילים, קנה תותח, מניפולטורים ושולחנות מיקרומטרים מדויקים בהן ניתן לראות שנעשה שימוש בגמישון המאפשר תנועה זוויתית ללא צורך במיסבים, גלגל תנופה במערכות לאגירת אנרגיה קינטית וחריטה של צילינדרים דקי דופן.

עמוד 4

מבנים מכנים גמישים הם רכיבים חיוניים הנמצאים במגוון רחב של יישומיים הנדסיים. ריסון רעידות במבנים מכאניים גמישים הוא רלוונטי בתכנון ולתפעול המערכות. מכיוון שרעידות מכאניות העלולות לגרום לבעיות רבות למשל: יציאה מיציבות, נזקי התעייפות, נזקי שחיקה ועוד, יש צורך לפתח יכולת לרסן אותם.

עמוד 5

שימוש בגישות של ריסון אקטיבי של רעידות נהפך להיות פופולרי. בריסון אקטיבי המטרה היא להפחית את הרעידות ולשמור על המערכת בנקודת שיווי משקל באמצעות מערכת בקרה בחוג סגור.

בגישה זאת ניתן גם לרסן את הרעידות גם בנוכחות של הפרעות חיצוניות, אי וודאות במודל ותוך שינויי פרמטרים בזמן התהליך.

שיטה נפוצה לדיכוי רעידות היא שימוש בבקרה אופטימאלית, באמצעותה ניתן למצוא חוק בקרת משוב אשר ממזער פונקצית מחיר נתונה ותוך התבססות על מודל מערכת ידוע.

לעיתים קיים ידע חלקי על מודל המערכת ולעיתים בכלל הוא לא ידוע, במקרים אלו שימוש בשיטת לימוד מכונה יכולה לעזור. שיטת לימוד מכונה יכולה למצוא פתרון קרוב לאופטימאלי בהתבסס על פונקצית מחיר נתונה וללא ידיעת מודל המערכת.

עמוד 6

לכן, מטרת עבודה זאת, היא לבחון בסימולציה ובניסוי את שיטת לימוד מכונה לצורך ריסון אקטיבי של רעידות למערכת מכאנית באמצעות מערכת בקרה בחוג סגור עבור מערכות שקיים קושי לרשום עבורן מודל דינאמי או שהמודל ידוע באופן חלקי.

עמוד 7

פיתוח אלגוריתם הבקרה מבוסס למידת מכונה ייבחן בעבודה זאת על מול מערכת מכאנית הכוללת מוט קשיח מחובר לגמישון מכאני, רעידות המוט נמדדות באמצעות חיישן קרבה ואלגוריתם בקרה מבוסס לימוד מכונה ימומש בבקר זמן אמת. אלגוריתם הבקרה ייקבע בכל רגע נתון את הכוחות המופעלים על המערכת המכאנית לצורך ריסון הרעידות. ארכיטקטורת המערכת מוצגת באיור לפניכם, ניתן לראות:....

עקרון הפעולה:........

עמוד 8

בתמונות לפניכם אתם יכולים להתרשם ממערכת הניסוי אשר תשמש אותנו בתקופה הקרובה לצורך ניסויי אימות.

עמוד 9

לצורך ביצוע סימולציות ותכנון בקר אופטימאלי, פותח מודל המערכת בהתבסס על החוק השני של ניוטון וחוק ביו-סבר וכוח לורנץ.

כאשר: m מסה איקוולנטית, k קשיחות הגמישון, c ריסון מבני, x תזוזת המסה, F1 ו- F2 כוחות אלקטרומגנטיים, - מקדם הפרמביליות בריק , - השטח היעיל של מרווח האוויר, – מספר הכריכות, I – הזרם העובר בסליל, S – המרחק בין הסליל לחומר הפרומגנטי.

עמוד 10

נשלב את מודל הכוח המגנטי במשוואת התנועה ונקבל את מודל המערכת המתואר כאן.

ניתן לראות כי המודל אינו ליניארי ואינו יציב. שימו לב שהכוחות תלויים ביחס הפוך למרחק, כלומר ככל שהמרחק קטן כך הכוח גדל (הפוך מקפיץ) לכן מדובר בתופעה הגורמת לחוסר יציבות.

עמוד 11

לצורך תכנון בקר אופטימאלי יש צורך בביצוע לינאריזציה למודל המערכת סביב נקודת שיווי משקל.

ניתן לתאר את המודל הזה במרחב המצב כפי שמוצג כאן. כאשר A,B,C ו D הם מטריצות, x הוא וקטור משתני המצב. ו-y הוא המדידות המתקבלות מהחיישן.

עמוד 12

בבקרה אופטימאלית, אמחנו מעוניינים למצוא בקר K אשר ממזער פונקצית מחיר נתונה j. במקרה של מערכת לינארית (בדומה למודל מרחב המצב שתואר בשקף הקודם), הבקר האופטימאלי יהיה מהצורה k=R-1BTP כאשר מטריצה P ניתנת לחישוב על ידי פתרון משוואת ריקאטי האלגברית. שימו לב, שהפתרון מצריך ידיעת המודל הדינאמי של המערכת.

עמוד 13

נדון כרגע, בשיטת לימוד מכונה עבור יישומי בקרה וללא צורך בידיעת המודל. השיטה בה עסקנו מבוססת על אלגוריתם גנטי. אלגוריתם זה מחקה את ההתנהגות של הגנים ומוצא את נקודת המינימום של פונקצית המחיר באמצעות פעולות גנטיות.

בצד ימין ניתן לראות פונקציה אינדיווידואלית אשר משמשת לקביעת האנרגיה הנכנסת למערכת, במקרה שלנו זרם חשמלי לצורך ריסון הרעידות. בשיטת MLC האינדיוודואל צריך להיות כזה אשר ממזער את פונקצית המחיר J.

עמוד 14

אלגוריתם ה MLC מתחיל עם פתרון של פונקציית אינדיוודואל, באמצעות הפונקציה האלגוריתם MLC המבוסס על GA מייצר בכל דור חישוב העתקה (אליטיזם), שכפול של הפונקציה, הצלבה ומוטציה של הפונקציה. בכל דור האלגוריתם מדרג את הפונקציות לפי ערך פונקציית המחיר וחוזר על אותה טכניקה בדור הבא. כאשר פונקצית המחיר מתכנסת לערך מוגדר החישוב מפסיק.

עמוד 15

האיור הבא, ממחיש את שילוב בקר מבוסס למידת מכונה בתכנון חוק בקרת משוב. ניתן לראות את שכבת המערכת הפיזיקאלית, שכבת אלגוריתם הבקרה ושכבת ה MLC לחיפוש פונקצית בקרה מבוססת מזעור פונקצית מחיר נתונה.

עמוד 16

כעת אציג סימולציות השוואתיות בין בקר אופטימאלי לבקר מבוסס לימוד מכונה לריסון אקטיבי של רעידות במערכת המכאנית הנתונה

עמוד 17

הסימולציה כאן מציגה את תזוזה מסת הקצה ללא בקרה. ניתן לראות כי למערכת לוקח זמן ממושך עד להתרסנות הודות לריסון מבני נמוך.

עמוד 18

כאן ניתן לראות תוצאות סימולציה של המערכת המכאנית בשילוב בקר אופטימאלי ובקר מבוסס לימוד מכונה אל מול מודל מערכת לינארי, ניתן לראות שתוצאות לימוד המכונה קרובות לאופטימאלי ע"פ הערך שך פונקצית המחיר ובנוסף ניתן לראות שהביצועים הדינאמיים דומים. שימו לב, שגם האלגוריתמי הבקרה שהתקבלו בחישוב דומים בצורתם ודיי דומים בערכם. זמן החישוב לבקר מבוסס זמן מכונה הוא כשעה.

עמוד 19

ההשוואה כאן היא אל מול מודל המערכת הלא ליניארית, במקרה זה ערך המחיר של בקרה מבוססת לימוד מכונה יוצר טוב במעט, גם כאן הביצועים דומים ומבנה הבקר זהה עם ערכים דיי דומים. זמן החישוב לבקר מבוסס זמן מכונה הוא כשעה.

עמוד 20

* תוצאות סימולציה שהתקבלו על ידי שימוש בחוק בקרה מבוסס למידת מכונה דומות לחוק בקרה מבוסס בקרה אופטימלית עבור המערכת המכנית הנתונה.
* נראה שקיים פוטנציאל בשימוש בבקרה מבוססת למידת מכונה עבור מערכות לא ליניאריות עם אי ודאות באמצעות מדידת נתוני כניסה ויציאה.

עמוד 21

* פיתוח סביבה ניסויית להרצת אלגוריתמי MLC עם מערכות פיזיקאליות.
* ביצוע ניסויי אימות במערכת פיזיקאלית הנתונה.
* השוואת תוצאות הניסוי מול תוצאות הסימולציה שהוצגו בעבודה זאת.
* תכנון משערך דינאמי מבוסס לימוד מכונה.