بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده : برق و رباتیک

گروه: کنترل

کاهش لرزش کنترلی در کنترل مود لغزشی بازوی ماهر ربات با استفاده از فیلترها

دانشجو: فاطمه افشارنیا

استاد راهنما:

دکتر محمدمهدی فاتح

پایان‌نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور 90

شماره: ۸۸۶-آ/ب/ب
تاریخ: ۹۰/۶/۲۶
ویرایش: ------

بسمه تعالی

دفتر تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۶)

فرم صورتجلسه دفاع پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

بدینبات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای:

فاطمه افشار نیا رشته: **برق** گرایش: **کنترل**

تحت عنوان: **کاهش لرزش در کنترل مد لغزشی بازوهای ماهر ربات با استفاده از فیلترها**

که در تاریخ ۹۰/۰۶/۲۶ با حضور هیات محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح زیر است:

قبول (با درجه عالی امتیاز ۱۹٫۰۶۷۵) ☑ دفاع مجدد ☐ مردود ☐

۱ـ عالی (۲۰ ـ ۱۹)
۲ـ بسیار خوب (۱۸/۹۹ ـ ۱۸)
۳ـ خوب (۱۷/۹۹ ـ ۱۶)
۴ـ قابل قبول (۱۵/۹۹ ـ ۱۴)
۵ـ نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیات داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
۱ـ استاد راهنما	محمد مهدی فاتح	دانشیار	
۲ـ استاد مشاور	----	----	
۳ـ نماینده تحصیلات تکمیلی	[illegible]	استادیار	
۴ـ استاد ممتحن	علیرضا ظاهری	استادیار	
۵ـ استاد ممتحن	[illegible]	استادیار	

رئیس دانشکده:

نهال را باران باید

تا بشوید غبار نشسته بر برگهایش

و سیرابش کند از آب حیات

و آفتاب باید

تا بتاباند

نیرو را

و محکم کند

شاخه های تازه روییده را

به نام مادر

بوسه ای باید زد

دست هایی را

که می شویند غبار خستگی روزگار را

و سیراب می کنند روح تشنه را

به نام پدر

بوسه ای باید زد

دست هایی را

که می تابانند

نیرو را

و محکم می کنند

استواری پایه های زیستن را

تقدیم به دو عشق پاک زندگی ام

پدرم، مادرم

از استاد عزیز جناب آقای دکتر فاتح که در تمام مراحل انجام این پایان نامه با راهنمایی ها و زحمات بی دریغشان مرا یاری رساندند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

همچنین از اساتید محترم، آقایان دکتر ناظمی و دکتر قلی‌زاده که زحمت مطالعه و داوری این پایان نامه را عهده‌دار شدند و نماینده محترم تحصیلات تکمیلی جناب آقای دکتر معروضی تشکر می نمایم.

تعهد نامه

اینجانب **فاطمه افشارنیا** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **برق-کنترل** دانشکده **برق و رباتیک** دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **کاهش لرزش کنترلی در کنترل مودلغزشی بازوی ماهر ربات با استفاده از فیلترها** تحت راهنمائی **دکتر محمدمهدی فاتح** متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ ۹۵/۶/۲۷

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

* **متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد .**

چکیده

در رباتیک، خطی‌سازی فیدبکی به عنوان دینامیک وارون شناخته شده است. وقتی مدل دقیق در اختیار نباشد، خطی‌سازی فیدبکی روی مدل نامی سیستم اجرا می‌شود. با توجه به تفاوت مدل‌های نامی و دقیق باید به جبران اثر عدم قطعیت مدل درسیستم کنترل بپردازیم. در نتیجه، روش های کنترل مقاوم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌شوند. در این پایان نامه، کنترل مود لغزشی پیشنهادی به بازوی ماهر ربات دو- رابط اعمال می‌گردد. کنترل مود لغزشی به دلیل مقاوم بودن در مقابل عدم قطعیت های پارامتری، اغتشاش خارجی و دینامیک مدل نشده و پاسخ دینامیکی سریع و سادگی محاسباتی قابل توجه است. ولی کنترل مود لغزشی با پدیده لرزش مواجه است. لرزش باعث تحریک دینامیک‌های مدل‌نشده و در نتیجه عملکرد نامطلوب سیستم می‌شود. برای حذف لرزش در کنترل مود لغزشی بازوی ربات، روش‌های طراحی لایه مرزی و کنترل مود لغزشی مرتبه دوم پیشنهاد شده‌اند. روش طراحی لایه مرزی دقت پاسخ را کاهش می‌دهد و روش مود لغزشی مرتبه دوم نیاز به آشکارساز دارد. در این پایان‌نامه یک روش جدید برای کاهش لرزش کنترلی مود لغزشی بازوی ربات ارائه می‌شود. در این روش جدید از فیلتر پایین‌گذر، در کنترل‌کننده استفاده می‌شود. آنالیز فرکانسی، تحلیل پایداری و ارزیابی عملکرد سیستم انجام می‌شود. برای تحلیل پایداری سیستم، ربات و فیلتر را با هم یک سیستم جدید در نظر گرفته و برای این سیستم جدید، کنترل مود لغزشی اعمال می‌شود. این روش، حذف لرزش و حفظ دقت پاسخ را نتیجه می‌دهد. نتایج شبیه‌سازی مناسب بودن این روش را نشان می‌دهند.

کلمات کلیدی: کنترل مود لغزشی، خطی‌سازی فیدبکی، دینامیک وارون، طراحی لایه مرزی، لرزش، فیلتر پایین‌گذر، آنالیز فرکانسی

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه.....1

1-1 مقدمه 2

2-1 ساختار پایان نامه 6

فصل دوم: دینامیک ربات 8

2-1- مقدمه ای بر رباتیک 9

2-2 دینامیک 10

2-2-1 نمایش دناویت- هارتنبرگ 10

2-2-2 نیرو، اینرسی و انرژی 13

2-2-3 مکانیک لاگرانژ.....17

2-3 معادلات حرکت ربات.....19

فصل سوم: خطی سازی فیدبکی.....21

3-1 مقدمه ای بر خطی سازی فیدبکی 22

3-2 مبانی خطی سازی فیدبکی.....22

3-3 خطی سازی فید بکی معادلات دینامیکی بازوی ربات.....26

3-4 دینامیک وارون بازوی ربات 28

فصل چهارم: کنترل مود لغزشی و پدیده لرزش کنترلی.....35

4-1 مقدمه 36

4-2 تئوری مود لغزشی 36

3-4 لرزش کنترلی 38
4-4 روش های کاهش لرزش 40
1-4-4 روش طراحی لایه مرزی 40
2-4-4 روش مود لغزشی مرتبه دو 45
3-4-4 روش کنترل مود لغزشی دینامیکی 51

فصل پنجم: کنترل مود لغزشی بازوی ربات 57

1-5 مقدمه 58
2-5 کنترل مود لغزشی بازوی ربات 59
3-5 کاهش لرزش در کنترل مود لغزشی بازوی ربات با طراحی لایه مرزی 68

فصل ششم: آنالیز فرکانسی روش کاهش لرزش مود لغزشی بازوی ربات با استفاده از فیلتر 75

1-6 مقدمه 76
2-6 فیلترها 76
3-6 روش تابع توصیفی 78
4-6 آنالیز فرکانسی اثر فیلتر بر روی سیستم کنترلی بازوی ربات 81

فصل هفتم: تحلیل پایداری روش کاهش لرزش مودلغزشی بازوی ربات با استفاده از فیلتر 85

1-7 مقدمه 86
2-7 کاهش لرزش کنترلی در کنترل مودلغزشی بازوی ربات با استفاده از فیلتر 86
3-7 شبیه‌سازی 93

فصل هشتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات 100

1-8 نتیجه‌گیری و پیشنهادات 101

منابع و مراجع 103

فهرست شکل‌ها

فصل دوم

شکل 2-1 دستگاه های مختصات با برقراری فرض های دناویت- هارتنبرگ 13

شکل 2-2 نیروی گریز از مرکز 14

شکل 2-3 نیروی گریز از مرکز 14

شکل 2-4 جسم صلب به همراه مختصات مرکز جرم 15

فصل سوم

شکل 3-1 طرح کنترل حلقه داخلی- حلقه خارجی 30

شکل 3-2 خطای ردگیری لینک 1 32

شکل 3-3 خطای ردگیری لینک 2 32

شکل 3-4 سیگنال کنترلی لینک 1 33

شکل 3-5 سیگنال کنترلی لینک 2 33

شکل 3-6 مسیر و مسیر مطلوب لینک 1 34

شکل 3-7 مسیر و مسیر مطلوب لینک 2 34

فصل چهارم

شکل4- 1 مسیر های فاز سیستم در حالت کنترل مود لغزشی 37

شکل4-2سیگنال کنترلی u 39

شکل4-3 نمودار خطا e 40

شکل 4-4 سطح لغزش از $n-1$ فیلتر عبور می کند و خطا حاصل می شود. 41

شکل 4-5 لایه مرزی اطراف سطح لغزش 42
شکل4-6 سیگنال کنترلی u با $\Phi = 0.5$ 43
شکل4-7 سیگنال خطا با $\Phi = 0.5$ 44
شکل4-8 سیگنال کنترلی u با $\Phi = 5$ 44
شکل4-9 سیگنال خطا با $\Phi = 5$ 45
شکل4-10 خطای ردگیری لینک 2و1 با کنترل مود لغزشی مرتبه اول 49
شکل4-11 پدیده لرزش در کنترل مود لغزشی مرتبه اول 49
شکل4-12 خطای ردگیری لینک 2و1 با کنترل مود لغزشی مرتبه دوم 50
شکل4-13 قانون کنترل در کنترل مود لغزشی مرتبه دوم 50
شکل 4-14 سیستم گسترش یافته با کنترل مود لغزشی دینامیکی 51
شکل4-15 کنترل طراحی لایه مرزی بدون نویز 55
شکل4-16 کنترل طراحی لایه مرزی با نویز 55

فصل پنجم

شکل 5-1 قانون کنترل w_1 63
شکل 5-2 قانون کنترل w_2 63
شکل5-3 قانون کنترل t_1 64
شکل 5-4 قانون کنترل t_2 64
شکل5-5 خطای ردگیری لینک1 65
شکل 5-6 خطای ردگیری لینک2 65
شکل 5- 7 مسیر و مسیر مطلوب لینک1 66

شکل 5- 8 مسیر و مسیر مطلوب لینک 2 66
شکل 5-9 کنترل ربات بدون حضور فیلتر 67
شکل 5-10 نمودار تابع اشباع 68
شکل 5-11 قانون کنترل w_1 69
شکل 5-12 قانون کنترل w_2 69
شکل 5-13 قانون کنترل t_1 70
شکل 5-14 قانون کنترل t_2 70
شکل 5-15 خطای ردگیری لینک 1 71
شکل 5-16 خطای ردگیری لینک2 71
شکل 5-17 سیگنال کنترل w_1 با $\Phi = 0.01$ 72
شکل 5-18 سیگنال کنترل w_2 با $\Phi = 0.01$ 72
شکل 5-19 سیگنال کنترلی t_1 با $\Phi = 0.01$ 73
شکل 5-20 سیگنال کنترلی t_2 با $\Phi = 0.01$ 73
شکل 5-21 خطای ردگیری لینک 1با $\Phi = 0.01$ 74
شکل5-22 خطای ردگیری لینک 2 $\Phi = 0.01$ 74

فصل ششم

شکل 6-1 فیلتر بالاگذر 76
شکل 6-2 فیلتر پایین گذر 76
شکل 6-3 فیلتر میان گذر 77
شکل 6-4 فیلتر پایین گذر 77
شکل 6-5 فیلتر پایین گذر 78

شکل 6-6 یک سیستم غیرخطی..... 79

شکل 6-7 یک سیستم غیرخطی و تابع توصیفش..... 80

شکل 6-8 سیستم کنترلی بازوی ربات به همراه فیلتر..... 81

شکل 6-9 سیستم کنترلی بازوی ربات بدون فیلتر..... 82

شکل 6-10 سیستم کنترلی بازوی ربات بدون فیلتر..... 82

شکل 6-11 سیستم کنترلی بازوی ربات با فیلتر..... 83

شکل 6-12فیلتر پایین گذر $\frac{1}{as+1}$ 84

فصل هفتم

شکل 7-1 کنترل مود لغزشی فیلتر شده..... 87

شکل 7-2 کنترل ربات در حضور فیلتر..... 92

شکل7-3 ربات دو لینکی..... 93

شکل 7-4 سیگنال کنترلی t 95

شکل 7-5 نمودار خطای لینک 1 پس از قرار دادن فیلتر..... 96

شکل 7-6 نمودار خطای لینک 2 پس از قرار دادن فیلتر..... 96

شکل 7-7 سیگنال کنترلی w_1 97

شکل 7-8 سیگنال کنترلی w_2 97

شکل 7-9 الف- مسیر و مسیر مطلوب لینک 1 ب- نمای بزرگ شده قسمت الف..... 98

شکل 7-10 مسیر و مسیر مطلوب لینک 2..... 99

شکل 7-11 سیگنال کنترلی..... 99

شکل 7-11 سیگنال کنترلی v_2 100

فهرست جداول

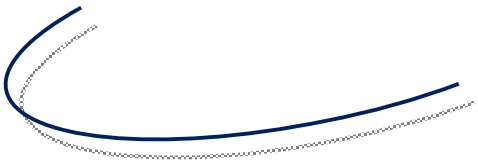
فصل پنجم

جدول 5-1 پارامترهای بازوی دو لینکی ربات 62

فصل هفتم

جدول 7-1 پارامتر های بازوی دو لینکی ربات 96

فصل اول



مقدمه

1-1 مقدمه

کنترل ردگیری کامل، زمانی که بازوهای ربات غیر خطی، با تزویج بالا، چند متغیره، چند ورودی- چند خروجی با عدم قطعیت ها هستند، یک هدف مطلوب در بسیاری از کاربردهای رباتیک است. تاکنون روش‌های زیادی برای کنترل حرکت بازوهای ربات ارئه شده، از آن جمله می‌توان به کنترل مقاوم ربات مفصل منعطف با استفاده از روش کنترل ولتاژ [1]، خطی‌سازی فیدبکی [2]، کنترل در فضای کار [3]، کنترل مقاوم بازوی ربات در فضای کار با خطی‌سازی فیدبکی، مود لغزشی و روش پس‌گام [4,5]، کنترل ساختار متغیر تطبیقی [6,7,8]، کنترل هوشمند [9]، کنترل مود لغزشی [10,11]، PID [12,13]، کنترل مود لغزشی با استفاده از یک سطح لغزش انتگرالی- تناسبی [14]، کنترل پیشخور [15]، شبکه عصبی [16]، کنترل فازی [17] و کنترل مود لغزشی فازی تطبیقی [18] اشاره کرد. روش کنترل خطی سازی فیدبکی برای تبدیل یک سیستم غیرخطی به یک سیستم خطی بر اساس مفاهیمی از تبدیل مختصات غیر خطی و فیدبک غیر خطی استوار است. در رباتیک، خطی سازی فیدبکی به عنوان کنترل دینامیک وارون شناخته شده است [19]، خطی سازی فیدبکی در مرحله اولیه، همهٔ غیرخطی‌های تزویجی مدل دینامیکی ربات را جبران می کند، آنچنانکه در مرحله دوم جبرانساز برای یک سیستم دکوپله شده و خطی طراحی می شود. خطی سازی فیدبکی مبتنی بر مدل است، بنابراین اگر مدل دقیق در اختیار نباشد، ناگزیریم از مدل تقریبی استفاده کنیم، با استفاده از مدل تقریبی با عدم قطعیت های پارامتری مواجه می شویم. عدم قطعیت های دینامیکی از اتصال و انعطاف مفصل، دینامیک های محرک، اصطکاک، نویز سنسور، بارهای ناشناخته و دینامیک های محیطی ناشناخته ناشی می شود. بنابراین تکمیل سیستم های کنترل دینامیکی برای بازوهای ماهر ربات به خاطر مشکلات ناشی از مدلینگ، هزینه محاسباتی سنگین و به طور کلی غیرقابل دسترس بودن پارامترهای مورد نیاز، دارای محدودیت است،

[1]بنابراین روش خطی سازی فیدبکی به تنهایی نسبت به اغتشاشات خارجی و خطاهای مدلینگ مقاوم نبوده و بایستی در ترکیب با روش های کنترل مقاوم به‌کار گرفته شود [20].

کنترل مقاوم سیستم‌های دینامیکی معمولاً با استفاده از یکی از دو روش ذیل به‌دست می‌آید. روش اول به طراحی یک کنترلر می‌پردازد که تا حد ممکن غیرحساس به عدم قطعیت مدل و ورودی‌های اغتشاش باشد. روش دوم، پارامترهای مدل یا گین‌های کنترلی را در زمان واقعی به منظور به‌دست آوردن ویژگی-های عملکردی مطلوب، بهنگام[1]می‌کند. روش های کنترل تطبیقی در این روش قرار می‌گیرند. این روش-های کنترلی می‌توانند برای مقاوم‌سازی در یک سیستم دینامیکی با عدم فطعیت‌ها، استفاده شوند که هر یک فواید و مضرات خود را دارند.

عدم قطعیت در یک سیستم دینامیکی ممکن شکل‌های زیادی داشته باشد، اما مهم‌ترین آنها عدم قطعیت اغتشاش- نویز و عدم قطعیت پارامتری- مدلینگ هستند. طراحی کنترلرهای مقاوم این گونه است که، یک قانون کنترل که شامل پاسخ‌های سیستم است و سیگنالهای خطا با تلرانس از پیش مشخص شده، در مقابل اثرات عدم قطعیت بر روی سیستم، ترکیب می‌شوند.

چندین تکنیک کنترل مقاوم برای سیتم‌های خطی به‌کار برده شده‌اند، مانند کنترلرهای H_∞ [21]. این روش‌ها بر پایه تجزیه مقدار ویژه با استفاده از توابع وزنی در فرکانس‌های متغیر برای ویژگی‌های حلقه بسته شامل حساسیت (اغتشاش)، مکمل حساسیت (اغتشاش) و نیازهای ورودی کنترلی است. کنترل سیستم‌های غیرخطی به‌طور ذاتی مشکل‌تر از سیستم‌های خطی است. کنترل ساختار متغیر[2] (مود لغزشی) یک روش ارزیابی برای کنترل مقاوم سیستم‌های غیرخطی است، که پایداری در مقابل عدم قطعیت‌های مدلینگ ایجاد می‌کند. کنترل ساختار متغیر نیاز دارد که حدود عدم‌قطعیت‌های مدلینگ به منظور ایجاد پایداری مقاوم مشخص باشند.

---

۱ Updating
۲ VSC

طبقه دیگری از کنترلرها برای سیستمهای خطی و غیرخطی، کنترل تطبیقی است. این روش‌ها به‌طور کلی به سیستم‌هایی با ساختار دینامیکی مدل شناخته شده، اما با پارامترهای ثابت ناشناخته، اعمال می-شوند.

از میان روش‌های کنترل مقاوم، کنترل مود لغزشی به دلیل مقاوم بودن در مقابل عدم قطعیت‌های پارامتری و اغتشاش بار، پاسخ دینامیکی سریع و سادگی محاسباتی نسبت به روش های دیگر کنترل مقاوم قابل توجه است.

در اکثر کاربردهای صنعتی، عدم قطعیت‌های بسیاری همانند نوسانات پارامتری، اغتشاشات خارجی، نیروی اصطحکاک و دینامیک‌های مدل‌نشده وجود دارد که بر روش عملکرد کنترل‌کننده اثر می‌گذارد. بنابراین وجود چنین مشکلاتی نیاز به یک کنترلر مقاوم برای غلبه بر مسائل مطرح شده را ایجاب می-نماید. روشهای بسیاری برای این منظور موجود هستند، همانند طراحی H_2 و طرح کنترل دو درجه آزادی [22-23]. خاصیت مشترک تمامی این روش‌ها این است که نیازمند یک مدل خطی‌شده از سیستم و دارای هزینه محاسباتی سنگین می‌باشند. به نحوی کاربرد چنین روش‌هایی، برای کنترل بلادرنگ یک مکانیسم شدیداً غیرخطی همانند بازوی ربات، مفید نخواهند بود.

برای اولین بار در دهه 60 میلادی محققین روسی تئوری کنترل لغزشی را با استفاده از کاربرد ریاضی فیلیپوف مطرح نمودند [24]. بعد از انتشار اولین مقالات در زمینه کنترل لغزشی، لیست کارهای مرتبط با آن به نحوی افزایش یافت که هم اکنون در جایگاه خاصی در هر دو کنترل خطی و غیر خطی برخوردار می باشد. مولفین بسیاری این طرح را به صورت پیوسته زمان و گسسته زمان بررسی کرده‌اند که اهداف تمامی این کارها کنترل مقاوم سیستم‌های غیرخطی مختلف ودر میان آنها ربات بوده است[25-27]. ریشه اصلی کنترل ساختار متغیر تئوری کنترل بنگ- بنگ بوده و به این علت ساختار متغیر نامیده می-

شود. که ساختار کنترلر به طور دلخواه و مطابق با یک سری قوانین، برای به دست آوردن رفتار مطلوب، سیستم تغییر داده می‌شود و همین امر باعث غیر خطی بودن قانون کنترل منتجه می‌گردد. قانونی که بر تغییر ساختار کنترلر نظارت می‌کند به وسیله توابعی از متغیرهای حالت، انتخاب شده به وسیله طراح، داده می‌شود. کنترل مود لغزشی، لرزش کنترلی ایجاد می‌کند. تغییرات ناپیوسته قانون کنترل در عبور از سطح لغزش، پدیده لرزش کنترلی را به همراه دارد. پدیده لرزش کنترلی آثار مخربی بر روی سیستم بر جا می‌گذارد، بنابراین باید به دنبال روشی برای حذف این پدیده بود.

برای حذف لرزش کنترلی تاکنون روش‌هایی بررسی شده است. متداول‌ترین این روش‌ها، طراحی لایه مرزی[28]است که در آن، یک لایه مرزی در اطراف سطح لغزش تعریف می‌شود و یک قانون کنترل پیوسته درون این لایه مرزی تقریب زده می‌شود [30-29]، در [31] یک روش برای انتخاب ضخامت لایه مرزی پیشنهاد شده است، در [32] یک کنترل مود لغزشی فازی پیشنهاد می‌شود که در آن لرزش، با استفاده از یک لایه مرزی فازی در اطراف سطح لغزش کاهش می‌یابد. روش کنترل مود لغزشی دینامیکی[33]، روش سیمپلکس که برای سیستمهای چند ورودی _ چند خروجی استفاده می‌شود، اساس این روش بر پایه روش های قبلی استوار است. روش کنترل مود لغزشی مرتبه دوم [34]، که از یک الگوریتم بنگ-بنگ استفاده می‌کند [35].

با توجه به مطالب فوق، در این پروژه از روش دینامیک وارون ترکیب شده با کنترل مود لغزشی برای کنترل یک بازوی دو لینکی ربات استفاده شده است. قبلاً در [34] از دینامیک وارون ترکیب شده با کنترل مود لغزشی استفاده شده و برای کاهش پدیده لرزش از روش کنترل مود لغزشی مرتبه دوم استفاده شده است. در این پایان‌نامه، برای کاهش لرزش ابتدا روش لایه مرزی را اعمال می‌کنیم و نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که این روش با افزایش خطا و کاهش دقت همراه است، پس از آن از روش پیشنهادی پایان‌نامه، قراردادن فیلتر قبل از بازوی ربات، استفاده می‌شود. آنالیز فرکانسی و تحلیل