مجله مهندسی مکانیک مدرس، فروردین ۱۳۹۳، دوره ۱۴، شماره ۱، ص‌ص ۱۶۸-۱۷۴

ماهنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

طراحی کنترل‌کننده فازی بهینه یک پایدارساز سه‌پایه فعال با استفاده از نمونه‌سازی مجازی

مهدی سلیمانی[۱*]، ولی‌اله نکونام[۲]، علی اصغر قدیمی[۳]

۱- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه اراک، اراک

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه اراک، اراک

۳- استادیار، مهندسی برق، دانشگاه اراک، اراک

* اراک، صندوق پستی ۳۸۱۵۶۸۸۳۴۹، m-soleymani@araku.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: ۲۳ بهمن ۱۳۹۱

پذیرش: ۱۴ اردیبهشت ۱۳۹۲

ارائه در سایت: ۲۰ فروردین ۱۳۹۳

کلید واژگان:

پایدارساز سه‌پایه فعال

کنترل فازی

الگوریتم ژنتیک

نمونه‌سازی مجازی

چکیده

در این تحقیق، با استفاده از نمونه‌سازی مجازی، کنترل فازی بهینه یک پایدارساز سه‌پایه فعال مستقر بر روی عرشه یک شناور جهت کنترل حرکات رول، پیچ و هیو انجام شده است. برای این‌منظور، ابتدا بااستفاده از تکنیک نمونه‌سازی مجازی، یک نمونه مجازی از شناور و پایدارساز توسعه داده شده و سپس با شبیه‌سازی همزمان نرم‌افزارهای متلب و آدامز عملکرد کنترل‌کننده فازی در مواجهه با اغتشاشات امواج دریا بر روی نمونه مجازی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در ادامه برای افزایش کارایی کنترل‌کننده با به‌کارگیری روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک، کنترل‌کننده فازی بر روی نمونه مجازی بهینه می‌گردد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که کنترل‌کننده فازی بهینه باعث کاهش ۵۵ درصدی بیشینه دامنه هیو و کاهش ۹۰ درصدی بیشینه دامنه رول و پیچ پایدارساز فعال نسبت به پایدارساز غیر فعال می‌گردد.

Optimal fuzzy controller design for an active tripod stable platform using virtual prototyping

Mehdi Soleymani[1*], Valiollah Nekoonam[2], Ali Asghar Ghadimi[3]

1- Department of Mechanical Engineering, Arak University, Arak, Iran
2- Department of Mechanical Engineering, Arak University, Arak, Iran
3-Department of Electrical Engineering, Arak University, Arak, Iran
* P.O.B. 3815688349 Arak, m-soleymani@araku.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
Received 11 February 2013
Accepted 04 May 2013
Available Online 09 April 2014

Keywords:
Active Tripod Stable Platform
Fuzzy Control
Genetic Algorithm
Virtual Prototyping

ABSTRACT

A buoyant in sea is prone to undesirable translational and rotational motions initiated from sea wave and wind excitations. These transmitted motions may affect proper performance of high precision equipment placed on the buoyant. Stable platform is one of the solutions employed for attenuating the transmitted motions via stabilizing a platform. Design of an optimal fuzzy controller for a tripod stable platform placed on the deck of a medium boat is considered in this paper. For this purpose, a fuzzy controller is proposed for the stable platform control. Furthermore, a 3 dimensional virtual prototype is developed for the boat and stable platform and the fuzzy controller is applied to the virtual prototype using co-simulation technique of MATLAB and ADAMS software. The fuzzy controller is then optimized using the genetic algorithm technique. The controllers are then implemented in the virtual prototype and their performance in the presence of sea wave excitations is simulated. Simulation results reveal that the tripod stable platform controlled with the optimal fuzzy controller, in comparison with passive one, can reduce pitch and roll motions up to 90 percent and reduce heave motion up to 55 percent.

۱- مقدمه

شناورها و ادوات مستقر بر روی عرشه در معرض ارتعاشات مزاحمی چون باد و امواج دریا قرار دارند که از محیط پیرامون به آن‌ها وارد شده و عملکرد آن‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. برای مثال امواج دریا می‌تواند عملکرد یک آنتن رادار را که بر روی عرشه کشتی نصب شده است تحت تاثیر قرار دهد[۱]. در این حالت تحت تاثیر اغتشاشات امواج دریا، حرکت‌های انتقالی سرج، سوی و هیو و حرکت‌های دورانی رول، پیچ و یاو به آنتن رادار مستقر بر روی عرشه کشتی منتقل می‌شوند. یک راه‌حل مناسب برای کاهش دامنه حرکات ناشی از این اغتشاشات استفاده از پایدارسازها می‌باشد. پایدارسازها عموماً برای پایدارسازی موقعیت رادیوتلسکوپ[۲] دوربین‌های دید در شب[۳] و آنتن‌های رادار[۴] در برابر اغتشاشات باد و امواج دریا مورد استفاده قرار می‌گیرند.

پایدارسازها به‌طور کلی به سه دسته غیرفعال، نیمه فعال و فعال تقسیم‌بندی می‌شوند. پایدارسازهای فعال نیز عموماً شامل دو دسته کلی پایدارسازهای ژیروسکوپیک و روبات‌های موازی می‌باشند. در پایدارسازهای ژیروسکوپیک با کنترل گشتاور مقاوم ژیروسکوپیک در جهت‌های مختلف به پایدارسازی درجات آزادی دورانی جسم تحت تاثیر گشتاورهای خارجی وارد

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

M. Soleymani, V. Nekoonam, A.A. Ghadimi, Optimal fuzzy controller design for an active tripod stable platform using virtual prototyping, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 1, pp. 168-174, 2014 (In Persian)

بر جسم پرداخته می‌شود[۵]. پایدارسازهای ژیروسکوپی اگر چه می‌توانند در کنترل حرکت‌های دورانی موثر واقع شوند، ولی قادر به خنثی کردن حرکت‌های انتقالی نیستند. نوع دیگر پایدارساز فعال در واقع نوعی روبات موازی است[۴].

روبات موازی نوعاً شامل یک سکوی متحرک است که به‌وسیله چند اهرم‌بندی به یک پایه ثابت متصل می‌شود. به‌طور کلی تعداد اهرم‌بندی با تعداد درجات آزادی روبات موازی برابر است، به‌گونه‌ای که هرکدام از اهرم‌بندی‌های روبات موازی با یک عملگر مجزا کنترل می‌شود[۶]. در یک روبات موازی سه‌پایه با قرار دادن مفاصل گویی-کاسه‌ای میان سکو و اهرم‌بندی و قرار دادن مفاصل لولایی میان اهرم‌بندی و پایه روبات موازی، مکانیزم دارای سه درجه آزادی هیو، رول و پیچ می‌شود. در این تحقیق با طراحی کنترل‌کننده فازی برای یک روبات موازی سه‌درجه آزادی تلاش شده تاعلاوه بر حرکت‌های دورانی رول و پیچ، حرکت انتقالی هیو نیز کنترل شود. پایدارساز سه‌پایه ذکر شده از سه کنترل‌کننده فازی مستقل بهره می‌برد که دامنه حرکات هیو، رول و پیچ را به‌عنوان ورودی به‌صورت پس‌خوراند دریافت کرده و نیروی کنترلی را برای اعمال به پایه مربوطه محاسبه می‌نماید. کنترل‌کننده فازی طراحی شده از قانون‌های ویژه‌ای برای کنترل پایدارساز سه پایه استفاده می‌کند. این کنترل‌کننده فازی به عملگرهای خطی نصب شده در زیر پایه‌های پایدارساز فرمان می‌دهد تا نیروی خود را متناسب با موقعیت پایدارساز و مودهای دینامیکی پاسخ تصحیح کنند. تعداد کل قانون‌های درنظر گرفته شده برای هر کنترل‌کننده ۱۲۵ عدد است که با این تعداد، پایدارساز می‌تواند خود را درشرایط مختلف پایدار نگه دارد.

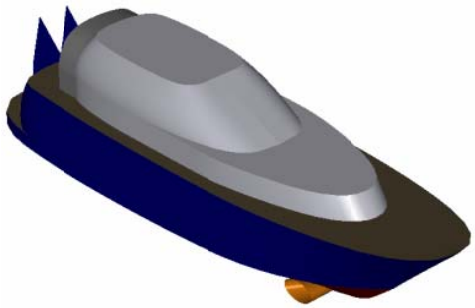
در این تحقیق از روش شبیه‌سازی مجازی برای توسعه پایدارساز استفاده شده است. شبیه‌سازی مجازی روشی سریع، کارآمد و ارزان است که علاوه بر کاهش زمان توسعه محصول از ریسک پایینی نسبت به تولید واقعی برخوردار است. این روش هزینه‌های مراحل طراحی، ساخت و تست محصول را کاهش می‌دهد. یکی از بسته‌های نرم‌افزاری کاربردی در زمینه نمونه‌سازی مجازی، تحلیل و کنترل سیستم‌های دینامیکی نرم‌افزار آدامز[1] است. این نرم‌افزار دارای ماژول‌های مختلفی می‌باشد که در این تحقیق از ماژول آدامز-ویو[2] برای ساخت نمونه مجازی و توسعه پایدارساز استفاده شده است.

برای ساخت مدل CAD پایدارساز از همین ماژول استفاده شده ولی برای طراحی پوسته قایق از نرم‌افزار مکسرف[3] که مخصوص شبیه‌سازی شناورهاست، استفاده شده است. در ادامه با استفاده از تکنیک اجرای همزمان متلب و آدامز و اعمال کنترل‌کننده فازی به نمونه مجازی، کنترل‌کننده در محیط مجازی تست می‌گردد. پس از اطمینان از صحت عملکرد کنترل‌کننده فازی اولیه در محیط مجازی، این کنترل‌کننده بااستفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک بهینه می‌گردد تا کنترل‌کننده فازی بهینه به‌دست آید.

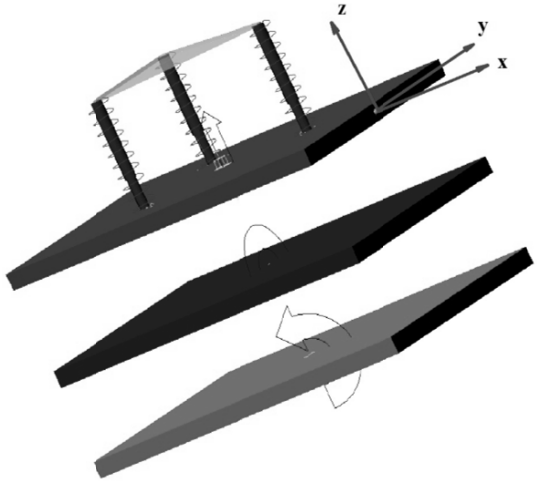
۲- نمونه‌سازی مجازی

نمونه‌سازی مجازی روشی ارزان، کارامد و سریع است که با بکار گیری آن می‌توان زمان و هزینه توسعه محصول را کاهش داد[۷-۹]. در ادامه کار از این روش برای ساخت نمونه شناور و پایدارساز استفاده می‌شود. برای نمونه‌سازی مجازی سیستم از نرم افزار آدامز استفاده می‌شود و کار مدلسازی و شبیه‌سازی پایدارساز در محیط این نرم‌فزار انجام می‌گیرد.

1- Adams
2- Adams/View
3- Maxsurf



شکل ۱ پوسته شناور طراحی شده در نرم‌افزار مکسرف



شکل ۲ پایدارساز ساخته شده در محیط مجازی به همراه مکانیزم تولید جابه‌جایی اغتشاشی امواج دریا

۲-۱- مدل‌سازی شناور

مدل CAD شناور به‌دلیل پیچیده بودن در نرم افزار مکسرف طراحی شده و به نرم‌افزار آدامز انتقال داده می‌شود. شکل ۱ تصویر مدل شناور را در محیط این نرم‌افزار نشان می‌دهد.

مدل فوق به‌عنوان پوسته شناور عمل می‌کند. در محیط آدامز با نصب یک شبیه‌ساز حرکت قایق در موج دریا بر روی پوسته، شناور به نوسان واداشته می‌شود.

۲-۲- مدل‌سازی امواج دریا

شکل ۲ تصویر پایدارساز مدل شده در نرم‌افزار آدامز به‌همراه مکانیزم شبیه‌ساز حرکت شناور در موج دریا را نشان می‌دهد. این مکانیزم از سه صفحه موازی با هم درست شده است.

در این مکانیزم یک عملگر خطی به صفحه بالایی نصب شده که به آن امکان حرکت در راستای z را می‌دهد. همچنین بر روی صفحات میانی و زیرین دو عملگر دورانی وصل شده که باعث می‌شود تا صفحه میانی حول محور x و صفحه زیرین حول محورy امکان نوسان داشته باشند. از طرفی این سه صفحه به هم مرتبط می‌باشند به‌گونه‌ای که صفحه زیرین تنها حرکت پیچ را تولید می‌کند، صفحه میانی علاوه بر حرکت پیچ حرکت رول را نیز انجام می‌دهد و صفحه بالایی هر سه حرکت رول، پیچ و هیو را دارا خواهد بود.

در نهایت پایدارسازی که متصل به صفحه بالایی است می‌تواند حرکت هیو را در راستای محور z، حرکت رول را حول محور x و حرکت پیچ را حول محور y داشته باشد. با اعمال داده‌های هیو، رول و پیچ به‌دست آمده از اندازه‌گیری‌های میدانی بر روی عرشه شناور به این عملگرها، اغتشاش خارجی

سیستم به درستی شبیه‌سازی می‌شود. این داده‌ها در نرم‌افزار آدامز از طریق اسپلاین به عملگرها اعمال می‌شود. شکل ۳ وضعیت مکانیزم شبیه‌ساز حرکت قایق را نشان می‌دهد.

۲-۳- مدل‌سازی پایدارساز

در شکل ۴ پایدارساز طراحی شده در نرم‌افزار آدامز نشان داده شده است.

مطابق شکل هر یک از پایه‌های پایدارساز دارای یک جفت فنر-میراگر به همراه یک عملگر نیرویی است که به موازات هم نصب می‌شوند. پایه‌ها از یک طرف با استفاده از مفاصل گویی-کاسه‌ای به میز و از سمت دیگر با استفاده از مفاصل لولایی به عرشه قایق متصل می‌شوند. پایدارساز نصب شده بر روی قایق به واسطه اتصالات گویی-کاسه‌ای گوشه میز و اتصالات لولایی در پایه و نیز استفاده از عملگر خطی در پایه‌ها، امکان ایجاد و تصحیح حرکت‌های هیو، رول و پیچ را تحت اثر نیروی کنترلی اعمال شده به پایه‌ها دارد. تحریک پایدارساز به‌وسیله مکانیزم شبیه‌ساز حرکت قایق صورت می‌گیرد.

پایدارساز پس از طراحی، بر روی مکانیزم شبیه‌ساز حرکت قایق نصب می‌شود و در آخر شبیه‌ساز حرکت قایق با پوسته قایقی که در نرم‌افزار مکسرف طراحی شده است پوشش داده می‌شود. شکل ۵ پایدارساز را به صورت نصب شده بر عرشه قایق نشان می‌دهد.

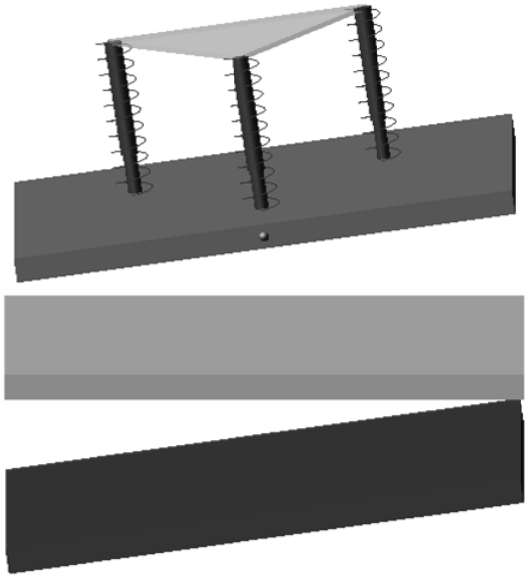
۳- طراحی کنترل‌کننده

برای کنترل پایدارساز سه پایه از سه کنترل‌کننده فازی مستقل استفاده می‌شود. کنترل‌کننده فازی به‌دلیل استفاده از قواعد زبانی، قابل فهم و ملموس‌تر بوده و امکان وارد کردن تجربه طراح را در کنترل‌کننده دارا می‌باشد. از طرف دیگر این کنترل از قابلیت تنظیم بسیار خوبی بهره برده و قابل کاربرد در سیستم‌های غیرخطی می‌باشد[۱۰]. کنترل کننده فازی دارای قوانینی است که باید با توجه به وضعیت سیستم از قبل نوشته شود. این قوانین برای پایدارساز سه پایه براساس وضعیت‌های مختلفی که با آن مواجه می‌شود، نوشته شده است. در ادامه تحقیق ابتدا کنترل‌کننده فازی برای پایدارساز طراحی می‌شود و با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک کارایی آن افزایش داده می‌شود.

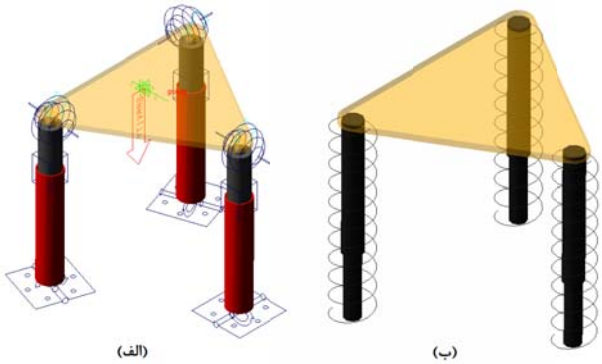
۱-۳- طراحی کنترل‌کننده فازی

برای پایدار ساز سه پایه، سه کنترل‌کننده فازی طراحی شده است که هر کدام از این کنترل‌کننده‌ها وضعیت یکی از گوشه‌های صفحه میز پایدارکننده را کنترل می‌کند. هر کدام از کنترل‌کننده‌های فازی به‌طور جداگانه حرکت‌های هیو، رول و پیچ را به‌ترتیب به‌عنوان ورودی‌های اول تا سوم از سنسورهای پایدارساز فیدبک می‌گیرد و نیروی کنترلی f_i را به پایه i ام اعمال می‌کند. در ورودی و خروجی کنترل‌کننده از توابع تعلق مثلثی برای فازی‌سازی و نافازی‌سازی مقادیر استفاده شده است. هر کدام از این فازی‌سازها و نافازی‌سازها دارای پنج تابع تعلق به نام‌های NB، NM، Z، PM، PB است، که به‌ترتیب نماینده بزرگ منفی، متوسط منفی، صفر، متوسط مثبت و بزرگ مثبت می‌باشد. شکل ۶ و شکل ۷ توابع تعلق را برای ورودی حرکت هیو و خروجی نیروی کنترلی نشان می‌دهد.

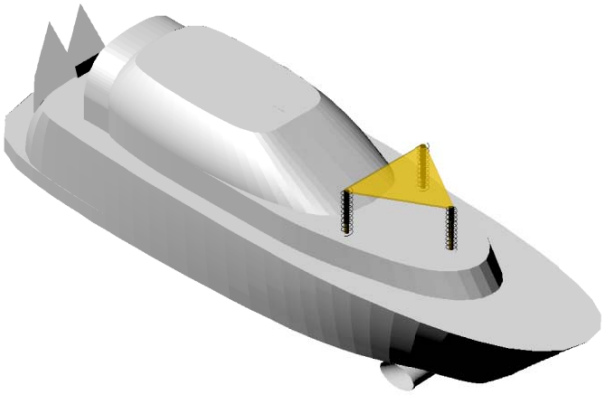
کنترل‌کننده فازی طراحی شده دارای ۱۲۵ قانون فازی است و به‌وسیله این قوانین براساس حالتی که سیستم در آن قرار دارد، تصمیم‌گیری می‌کند. برخی از این قوانین در جدول ۱ آورده شده است. به‌طور مثال طبق قانون ۱ این جدول اگر حرکت هیو (z)، رول (Φ) و پیچ (Ψ) هر سه منفی بزرگ باشد آنگاه نیروی محاسبه شده توسط کنترل‌کننده یک (F_1) صفر و نیروی محاسبه شده توسط کنترل‌کننده‌های دو (F_2) و سه (F_3) مثبت بزرگ خواهند بود. با توجه به این جدول، گزاره مقدم برای کنترل‌کننده‌های هر سه پایه مشترک است ولی گزاره تالی برای کنترل‌کننده پایه یک F_1، کنترل‌کننده پایه دو F_2 و کنترل‌کننده پایه سه F_3 می‌باشد. شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ سطوح کنترلی را برای کنترل‌کننده‌ای که نیروی کنترلی F_1 را تولید می‌کند نمایش می‌دهند. شکل ۸ مقدار نیروی کنترلی F_1 را برای تغییرات هیو-رول شکل ۹ برای هیو-پیچ و شکل ۱۰ برای رول-پیچ نمایش می‌دهد.



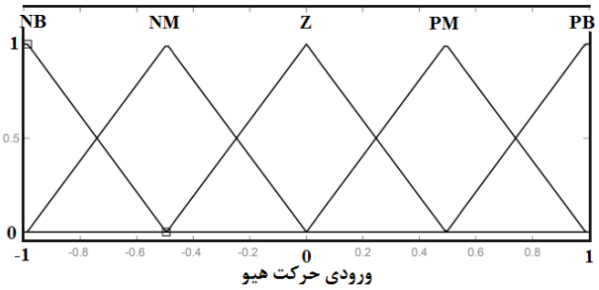
شکل ۳ اعمال داده‌های به‌دست آمده از تحلیل میدانی به پایدارساز توسط مکانیزم شبیه‌ساز حرکت قایق



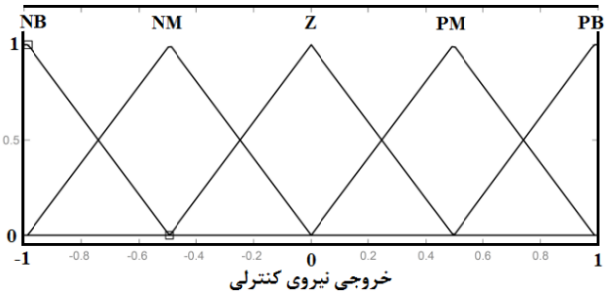
شکل ۴ پایدارساز طراحی شده در محیط آدامز



شکل ۵ پایدار ساز نصب شده بر روی قایق در محیط مجازی



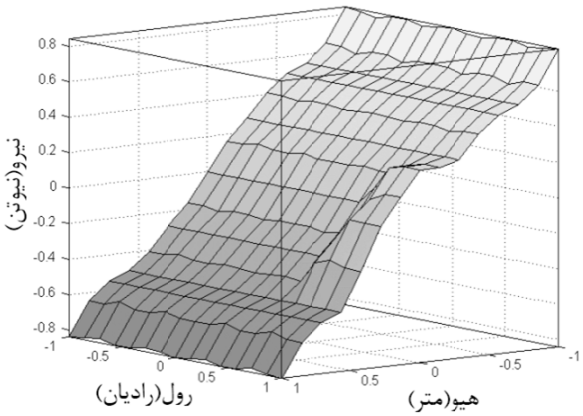
شکل ۶ توابع تعلق ورودی هیو



شکل ۷ توابع تعلق نیروی کنترلی

جدول ۱ برخی از قانون‌های کنترل‌کننده فازی پایدارساز سه پایه

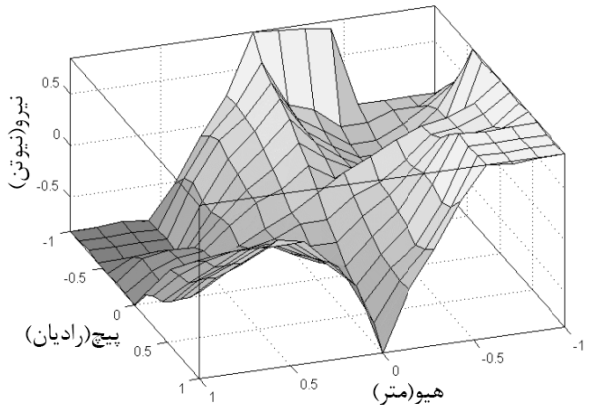
	F3	F2	F1	θ	Φ	Z
۱	PB	PB	Z	NB	NB	NB
۲	PM	PB	PM	NM	NB	NB
۳	Z	PB	PB	Z	NB	NB
۴	NM	PB	PB	PM	NB	NB
۵	NB	PB	PB	PB	NB	NB
۶	PB	PB	Z	NB	NM	NB
۷	PB	PB	PM	NM	NM	NB
۸	PM	PB	PB	Z	NM	NB
۹	Z	PB	PB	PM	NM	NB
۱۰	NM	PM	PB	PB	NM	NB



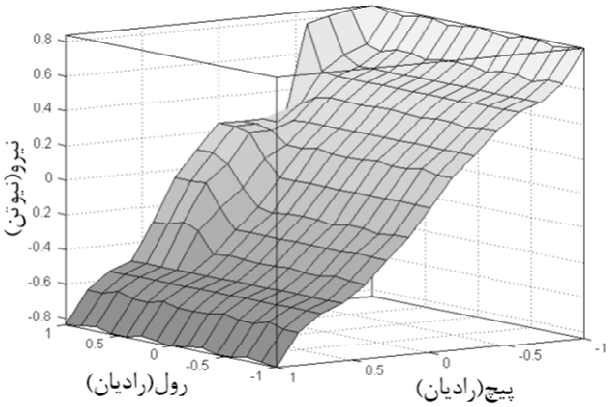
شکل ۸ سطوح کنترلی هیو-رول-نیروی کنترلی F_1

۳-۲- بهینه سازی کنترل‌کننده با الگوریتم ژنتیک

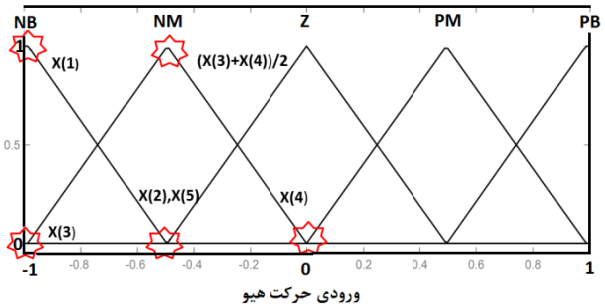
برای افزایش کارایی کنترل‌کننده فازی طراحی شده می‌توان از الگوریتم‌های بهینه‌سازی موجود استفاده کرد. در این تحقیق از روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک برای بهینه کردن توابع عضویت کنترل‌کننده استفاده شده است. بهینه-سازی انجام شده به این روش چند هدفه است. الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک مورد استفاده در این مقاله از نوع NSGA-II می‌باشد. در این نوع الگوریتم ژنتیک حتی به افرادی از جمعیت که مقدار برازندگی پایینی دارند توجه می‌شود تا جمعیت تشکیل شده در هر مرحله تنوع زیادی داشته باشد[۱۱]. توابع هدف در این بهینه‌سازی متناسب با آر.ام.اس[1] هیو، آر.ام.اس رول و آر.ام.اس پیچ درنظر گرفته شده است. در شکل ۱۱ متغیرهای مورد نیاز برای تشکیل توابع تعلق حرکت هیو نشان داده شده است. با درنظر گرفتن تقارن توابع عضویت، تعداد کل متغیرها برای هر کنترل‌کننده ۲۰ عدد می‌باشد.



شکل ۹ سطوح کنترلی هیو-پیچ-نیروی کنترلی F_1



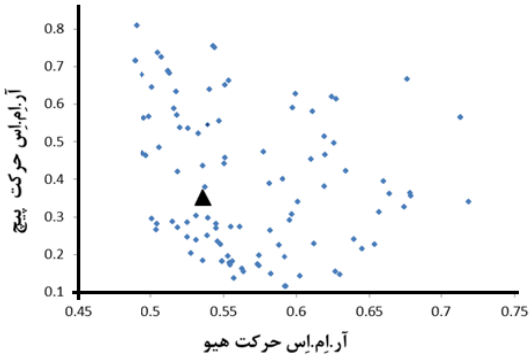
شکل ۱۰ سطوح کنترلی پیچ-رول- نیروی کنترلی F_1



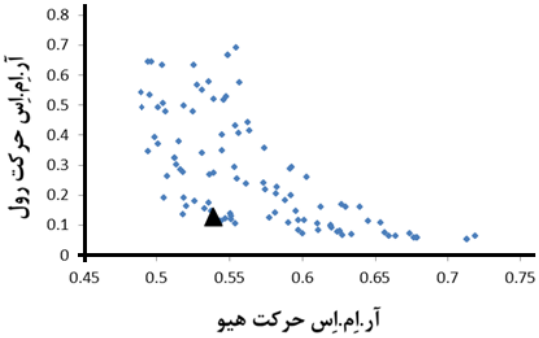
شکل ۱۱ متغیرهای بهینه‌سازی مربوط به توابع تعلق حرکت هیو

شکل ۱۲ نمودار پَرِتو توابع هدف آر.ام.اس هیو و پیچ را نشان می‌دهد. در شکل ۱۳ این نمودار برای توابع هدف آر.ام.اس هیو و رول و در شکل ۱۴برای توابع هدف آر.ام.اس رول و پیچ نشان داده شده است. این نتایج پس از ۲۰ نسل تکرار به‌دست آمده و تعداد جمعیت بهینه‌سازی ۳۰۰ درنظر گرفته شده است. همچنین، شیوه انتخاب به روش مسابقه‌ای بوده، روش تولید مثل دو نقطه‌ای و تابع جهش آداپتیو فیزیبل انتخاب شده است.

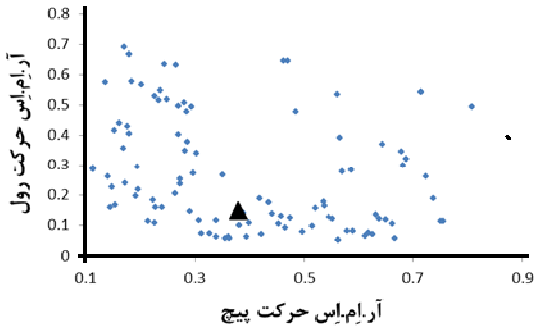
1- RMS: Root Mean Square



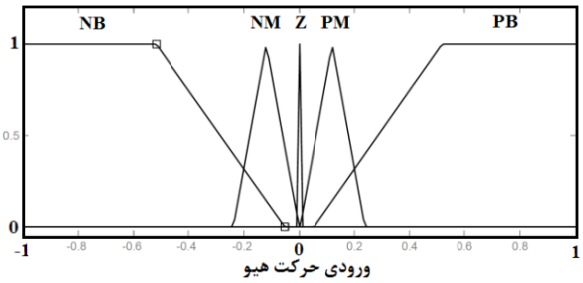
شکل ۱۲ نمودار پَرِتو مربوط به توابع هدف آر.ام.اس هیو و پیچ



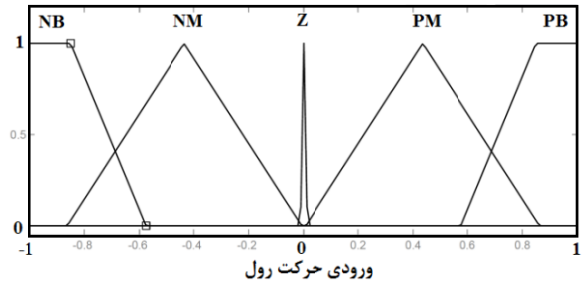
شکل ۱۳ نمودار پَرِتو مربوط به توابع هدف آر.ام.اس هیو و رول



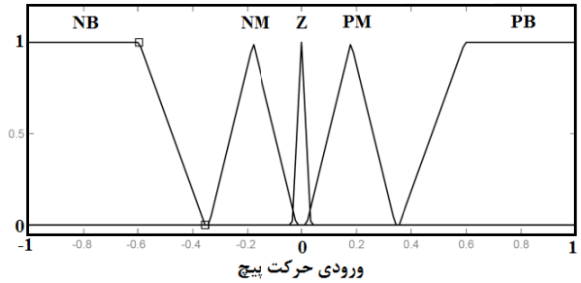
شکل ۱۴ نمودار پَرِتو مربوط به توابع هدف آر.ام.اس رول و پیچ



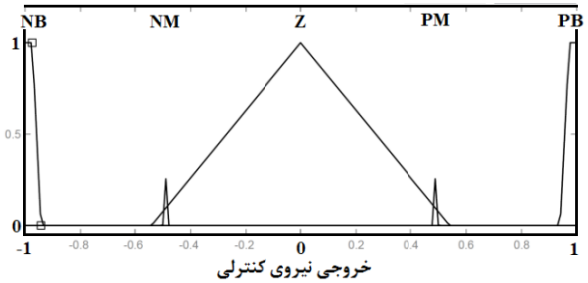
شکل ۱۵ توابع تعلق هیو کنترل‌کننده پایدارساز سه پایه بهینه شده با الگوریتم ژنتیک



شکل ۱۶ توابع تعلق رول کنترل‌کننده پایدارساز سه پایه بهینه شده با الگوریتم ژنتیک



شکل ۱۷ توابع تعلق پیچ کنترل‌کننده پایدارساز سه پایه بهینه شده با الگوریتم ژنتیک



شکل ۱۸ توابع تعلق نیروی کنترلی کنترل‌کننده پایدارساز سه پایه بهینه شده با الگوریتم ژنتیک

نقطه بهینه انتخاب شده در نمودارهای ۱۳ و ۱۴ با علامت مثلث مشخص شده است. سه نقطه نشان داده شده با مثلث معرف یک جواب هستند. دلیل انتخاب چنین نقطه‌ای برای جواب، رسیدن به جوابی است که به‌ازای آن دامنه هر سه حرکت هیو، پیچ و رول تواما کمینه شوند. در شکل ۱۵ تا شکل ۱۸ توابع تعلق بهینه شده با الگوریتم ژنتیک نمایش داده شده است.

۳-۳- پیاده‌سازی کنترل‌کننده بر روی نمونه مجازی

نرم‌افزار آدامز این قابلیت را دارد که به‌صورت همزمان با نرم‌افزار متلب اجرا شود. ارتباط میان متلب و آدامز به‌وسیله ماژول آدامز-کنترل[1] صورت می‌گیرد. انتقال اطلاعات میان نرم‌افزارهای متلب و آدامز به‌وسیله این ماژول صورت می‌گیرد. نرم‌افزار آدامز بلوکی حاوی معادلات غیر خطی سیستم تولید می‌کند. با انتقال این بلوک به محیط سیمولینک متلب، می‌توان کار کنترل پایدارساز را به‌وسیله کنترل‌کننده‌های فازی طراحی شده انجام داد. شکل ۱۹ مدل پایدارساز و شناور در محیط سیمولینک متلب را نشان می‌دهد. طبق این شکل مقادیر هیو، پیچ و رول با استفاده از ضرایب بهره‌ای که در ورودی کنترل‌کننده قرار داده شده (بهره ۱ و بهره ۲ و بهره ۳) به مقادیری بین منفی یک و یک نرمالایز شده‌اند. همچنین نیروی کنترلی در خروجی کنترل‌کننده بین همین دو مقدار قرار دارد که با قرار دادن ضرایب بهره در خروجی کنترل‌کننده (بهره ۴ و بهره ۵ و بهره ۶) به‌مقدار مناسب تبدیل می‌شود.

زیرسیستم آدامز در این شکل در بردارنده معادلات غیر خطی سیستم پایدارساز می‌باشد که از نرم‌افزار آدامز به محیط سیمولینک انتقال داده شده است. این زیر سیستم در شکل ۲۰ نشان داده شده است.

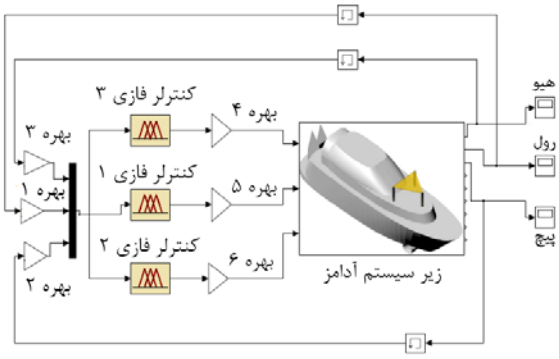
نحوه کار این مدل به این‌صورت است که نرم‌افزار آدامز با استفاده از سنسورهای نصب شده بر روی پایدارساز، حرکت‌های هیو، رول و پیچ را به‌عنوان خروجی ارسال می‌کند. این خروجی به ضرایب بهره‌ای که قبل از کنترل‌کننده‌های فازی قرار دارد فرستاده می‌شود تا مقادیر آن را به مقداری بین منفی یک و یک تبدیل کند و آن را به فازی ساز سیستم بفرستد. سپس فازی‌ساز براساس قوانینی که برخی از آن‌ها در جدول ۱ دیده می‌شود نیروی‌های کنترلی مناسب را به

1- Adams/Control

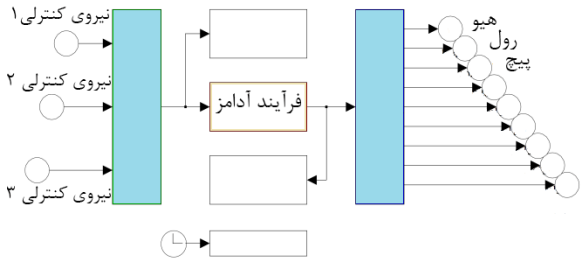
ورودی مدل آدامز می‌فرستد. این مقادیر به عملگرهای نصب شده در پایه‌های پایدارساز اعمال می‌شود تا سیستم را در حالت مطلوب نگه دارد. شکل ۲۱ نحوه ارتباط کنترل‌کننده با پایدارساز را نشان می‌دهد.

۴- شبیه سازی و تحلیل نتایج

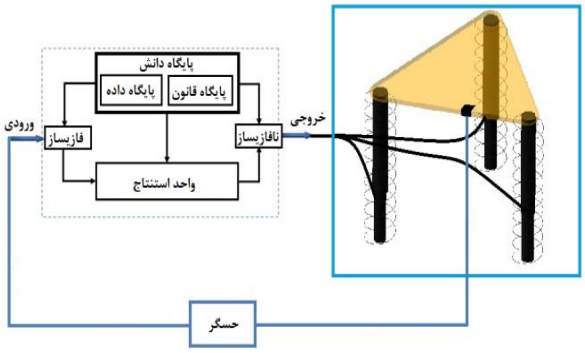
پاسخ حرکت هیو سیستم به ورودی اغتشاشی در شکل ۲۲ نشان داده شده است.



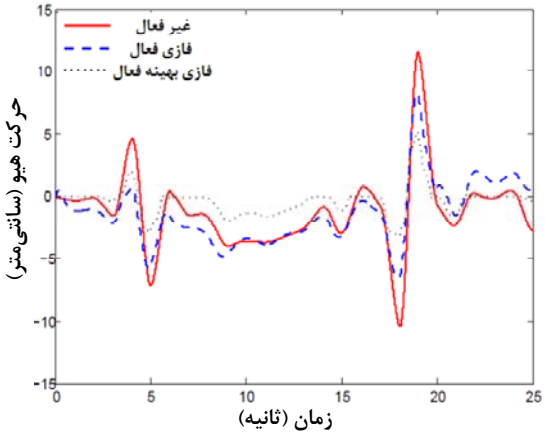
شکل ۱۹ بلوک کنترلی پایدارساز



شکل ۲۰ بلوک‌های ارتباط‌دهنده آدامز و متلب



شکل ۲۱ نحوه ارتباط مکانیزم پایدارساز با کنترل‌کننده فازی

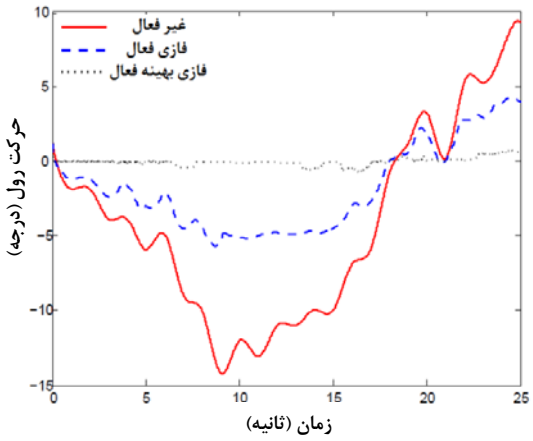


شکل ۲۲ پاسخ هیو کنترل‌کننده‌های مختلف اعمال شده به پایدار ساز

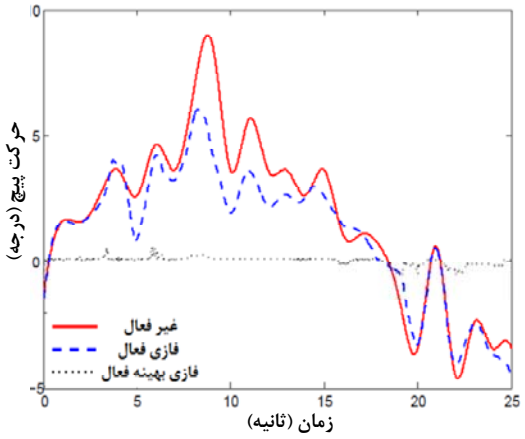
با توجه به این شکل مشخص است که کنترل‌کننده فازی بهینه شده با الگوریتم ژنتیک عملکرد بهتری نسبت به سایر کنترل‌کننده‌ها داشته است. در این شکل کنترل‌کننده فازی اولیه (FLC) بیشینه دامنه حرکت هیو را نسبت به حالت غیر فعال ۳۰/۹۷ درصد کاهش داده است. این مقدار برای کنترل‌کننده فازی بهینه شده با الگوریتم ژنتیک (FLC-GA) ۵۵/۵۵ درصد و برای کنترل‌کننده تنظیم‌کننده خطی (LQR) ۶۵/۶۶ درصد است. پاسخ‌های رول و پیچ نیز به‌ترتیب در شکل ۲۳ و شکل ۲۴ دیده می‌شود.

در شکل ۲۳ که حرکت رول را نشان می‌دهد درصد کاهش بیشینه دامنه نسبت حالت غیرفعال برای کنترل‌کننده فازی اولیه ۶۰/۰۴، کنترل‌کننده فازی بهینه شده با الگوریتم ژنتیک ۹۳/۷۳ درصد و کنترل‌کننده تنظیم‌کننده خطی ۸۴/۴۱ درصد می‌باشد. همچنین در حرکت پیچ، درصد کاهش بیشینه دامنه نسبت حالت غیرفعال برای کنترل‌کننده فازی اولیه ۳۳/۱۹، کنترل کننده فازی بهینه شده با الگوریتم ژنتیک ۹۲/۶۴ درصد و کنترل‌کننده تنظیم‌کننده خطی ۸۶/۱۷ درصد می‌باشد. در شکل ۲۵ آر.ام.اس حرکت‌های هیو، پیچ و رول برای کنترل‌کننده‌های مختلف مقایسه شده است. مطابق این نمودار عملکرد کنترل‌کننده فازی بهینه شده با الگوریتم ژنتیک در کاهش آر.ام.اس حرکت‌های هیو و پیچ بهتر از دیگر کنترل‌کننده‌ها بوده است.

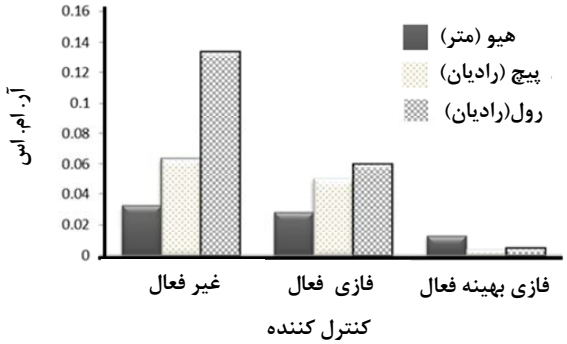
با توجه به نتایج به‌دست آمده از پاسخ‌های پایدارساز نسبت به ورودی اغتشاشی دیده می‌شود که پایدارساز طراحی شده توانسته است با استفاده از کنترل‌کننده فازی دامنه حرکت‌های هیو، رول و پیچ را به‌خوبی کاهش دهد. همچنین با به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک کارایی کنترل‌کننده در کاهش دامنه ارتعاشات افزایش پیدا کرده است.



شکل ۲۳ پاسخ رول کنترل‌کننده‌های مختلف اعمال شده به پایدارساز



شکل ۲۴ پاسخ پیچ کنترل‌کننده‌های مختلف اعمال شده به پایدارساز



شکل ۲۵ نمودار میله ای مقایسه آر.ام.اس حرکت های هیو و رول و پیچ برای کنترل‌کننده های مختلف اعمال شده به پایدارساز سه‌پایه

۵- مراجع

[1] C. Morgan, R. M. Peters, The Tilted Axes Stable Platform Mechanism: Kinematic And Kinetic Aspects, *Proc Instn Mech Engrs*, Vol. 191, pp. 277-289, 1977.

[2] L. Lei, W. Benli, Multi objective robust active vibration control for flexure jointed struts of stewart platforms via h∞ and μ synthesis, *Chinese Journal of Aeronautics,* Vol. 21, pp. 125-133, 2008.

[3] FLIR Systems, M-Series: Premium Multi-Sensor Maritime Thermal Night Vision System, Accessed 13 October 2012; http://www.flir.com/IR.

[4] D. K. Nikulin, Active stabilization of an antenna system, *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, Vol. 36, pp. 110-113, 2007.

[5] C. Ross, *Stabilization System for a Freely Rotatable Platform*, U. S. Patent 5,256,942 issued Oct 26, 1993.

[6] A. Arockia Selvakumar, R. Sivaramakrishnan, Simulation and workspace analysis of a tripod parallel manipulator, *World Academy of Science Engineering and Technology*, Vol. 33, pp. 583-588, 2009.

[7] M. Hajisoleimani, *Fuzzy Control of Active and Semi-active Suspension Systems Using ADAMS Software and Fuzzy Logic,* MS Thesis, University of Science and Technology, Tehran, 2006. (In Persian)

[8] J. Zhang, Ch. Lian, R. Gao, L. Shi, 3-Degree-of-freedom parallel robot control based fuzzy theory, *The 2nd International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC*), Nanjing, China, 2010.

[9] D. Zhang, Q. Shi, Novel design and analysis of a reconfigurable parallel manipulator using variable geometry approach, *Practical Applications of Intelligent Systems*, Vol. 124, pp. 447-457, 2012.

[10] J. Jantzen, *Foundations of Fuzzy Control*, Chippenham, Wiltshire:John Wiley & Sons, pp. 2-3, 2007.

[11] D. Kalyanmoy, *Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms*, Chichester:John Wiley & Sons, 2001.