



طراحی کنترل کننده فازی بهینه یک پایدارساز سه پایه فعال با استفاده از نمونه سازی مجازی

مهدی سلیمانی^{۱*}، ولی اله 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 ۲۸۱۵۶۸۳۴۹، araku.ac.ir@soleymani-m

چکیده

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: ۲۳ بهمن ۱۳۹۱

پذیرش: ۱۴ اردیبهشت ۱۳۹۲

ارائه در سایت: ۲۰ فروردین ۱۳۹۳

کلید واژگان:

پایدارساز سه پایه فعال

کنترل فازی

الگوریتم ژنتیک

نمونه سازی مجازی

در این تحقیق، با استفاده از نمونه سازی مجازی، کنترل فازی بهینه یک پایدارساز سه پایه فعال مستقر بر روی عرشه یک شناور جهت کنترل حرکات رول، پیچ و هیو انجام شده است. برای این منظور، ابتدا با استفاده از تکنیک نمونه سازی مجازی، یک نمونه مجازی از شناور و پایدارساز توسعه داده شده و سپس با شبیه سازی همزمان نرم افزارهای متلب و آدامز عملکرد کنترل کننده فازی در مواجهه با اغتشاشات امواج دریا بر روی نمونه مجازی مورد ارزیابی قرار می گیرد. در ادامه برای افزایش کارایی کنترل کننده با به کارگیری روش بهینه سازی الگوریتم ژنتیک، کنترل کننده فازی بر روی نمونه مجازی بهینه می گردد. نتایج به دست آمده نشان می دهد که کنترل کننده 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 می گردد.

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

Mehdi Soleymani^{1*}, Valiollah Nekoonam², Ali Asghar Ghadimi³

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

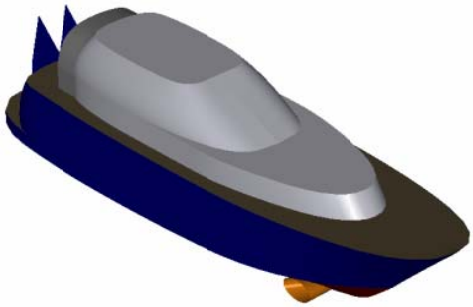
از این اغتشاشات استفاده از پایدارسازها می باشد. پایدارسازها عموماً برای پایدارسازی موقعیت رادیوتلسکوپ [۲] دوربین های دید در شب [۳] و آنتن های رادار [۴] در برابر اغتشاشات باد و امواج دریا مورد استفاده قرار می گیرند. پایدارسازها به طور کلی به سه دسته غیرفعال، نیمه فعال و فعال تقسیم بندی می شوند. پایدارسازهای فعال نیز عموماً شامل دو دسته کلی پایدارسازهای ژيروسکوپیک و روبات های موازی می باشند. در پایدارسازهای ژيروسکوپیک با کنترل گشتاور مقاوم ژيروسکوپیک در جهت های مختلف به پایدارسازی درجات آزادی دورانی جسم تحت تاثیر گشتاورهای خارجی وارد

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 می دهد. برای مثال امواج دریا می تواند 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، حرکت های انتقالی سرج، سوی و هیو و حرکت های دورانی رول، پیچ و باو به آنتن رادار مستقر بر روی عرشه کشتی منتقل می شوند. یک راه حل مناسب برای کاهش دامنه حرکات ناشی

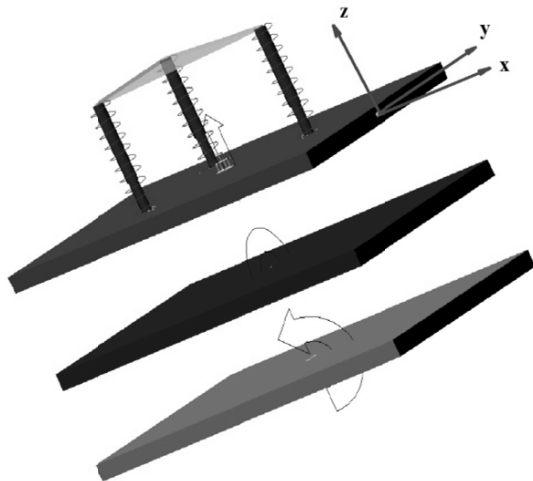
Please cite this article using:

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)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:



شکل ۱ پوسته شناور طراحی شده در نرم افزار مکسرف



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

۲-۱- مدل سازی شناور

مدل CAD شناور به دلیل پیچیده بودن در نرم افزار مکسرف طراحی شده و به نرم افزار آدامز انتقال داده می شود. شکل ۱ تصویر مدل شناور را در محیط این نرم افزار نشان می دهد.

مدل فوق به عنوان پوسته شناور عمل می کند. در محیط آدامز با نصب یک شبیه ساز حرکت قایق در موج دریا بر روی پوسته، شناور به نوسان واداشته می شود.

۲-۲- مدل سازی امواج دریا

شکل ۲ تصویر پایدارساز مدل شده در نرم افزار آدامز به همراه مکانیزم شبیه ساز حرکت شناور در موج دریا را نشان می دهد. 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 می دهد. همچنین بر روی صفحات میانی و زیرین دو عملگر دورانی وصل شده که باعث می شود تا صفحه میانی حول محور x و صفحه زیرین حول محور y امکان نوسان داشته باشند. از طرفی این سه صفحه به هم مرتبط می باشند به گونه ای که صفحه زیرین تنها حرکت پیچ را تولید می کند، صفحه میانی علاوه بر حرکت پیچ حرکت رول را نیز انجام می دهد و صفحه بالایی هر سه حرکت رول، پیچ و هیو را دارا خواهد بود.

در نهایت پایدارسازی که متصل به صفحه بالایی است می تواند حرکت هیو را در راستای محور z ، حرکت رول را حول محور x و حرکت پیچ را حول محور y داشته باشد. با اعمال داده های هیو، رول و پیچ به دست آمده از اندازه گیری های میدانی بر روی عرشه شناور به این عملگرها، اغتشاش خارجی

بر جسم پرداخته می شود [۵]. پایدارسازهای ژيروسکوپی اگر چه می توانند در کنترل حرکت های دورانی موثر واقع شوند، ولی قادر به خنثی کردن حرکت های انتقالی نیستند. نوع دیگر پایدارساز فعال در واقع نوعی روبات موازی است [۴].

روبات موازی نوعاً شامل یک سکوی متحرک است که به وسیله چند اهرم بندی به یک پایه ثابت متصل می شود. به طور کلی تعداد اهرم بندی با تعداد درجات آزادی روبات موازی برابر است، به گونه ای که هر کدام از اهرم بندی های روبات موازی با یک عملگر مجزا کنترل می شود [۶]. در یک روبات موازی سه پایه با قرار دادن مفاصل گوی-کاسه ای میان سکو و اهرم بندی و قرار دادن مفاصل لولایی میان اهرم بندی و پایه روبات موازی، مکانیزم دارای سه درجه آزادی هیو، رول و پیچ می شود. در این تحقیق با طراحی کنترل کننده فازی برای یک روبات موازی سه درجه آزادی تلاش شده تا علاوه بر حرکت های دورانی رول و پیچ، حرکت انتقالی هیو نیز کنترل شود. پایدارساز سه پایه ذکر شده از سه کنترل کننده فازی مستقل بهره می برد که دامنه حرکات هیو، رول و پیچ را به عنوان ورودی به صورت پس خوراند دریافت کرده و نیروی کنترلی را برای اعمال به پایه مربوطه محاسبه می نماید. کنترل کننده فازی طراحی شده از قانون های ویژه ای برای کنترل پایدارساز سه پایه استفاده می کند. این کنترل کننده فازی به عملگرهای خطی نصب شده در زیر پایه های پایدارساز فرمان می دهد تا نیروی خود را متناسب با موقعیت پایدارساز و مودهای دینامیکی پاسخ تصحیح کنند. تعداد کل قانون های در نظر گرفته شده برای هر کنترل کننده ۱۲۵ عدد است که با این تعداد، پایدارساز می تواند خود را در شرایط مختلف پایدار نگه دارد.

در این تحقیق از روش شبیه سازی مجازی برای توسعه پایدارساز استفاده شده است. شبیه سازی مجازی روشی سریع، کارآمد و ارزان است که علاوه بر کاهش زمان توسعه محصول از ریسک پایی نسبت به تولید واقعی برخوردار است. این روش هزینه های مراحل طراحی، ساخت و تست محصول را کاهش می دهد. یکی از بسته های نرم افزاری کاربردی در زمینه نمونه سازی مجازی، تحلیل و کنترل سیستم های دینامیکی نرم افزار آدامز^۱ است. این نرم افزار دارای ماژول های مختلفی می باشد که در این تحقیق از ماژول آدامز-ویو^۲ برای ساخت نمونه مجازی و توسعه پایدارساز استفاده شده است.

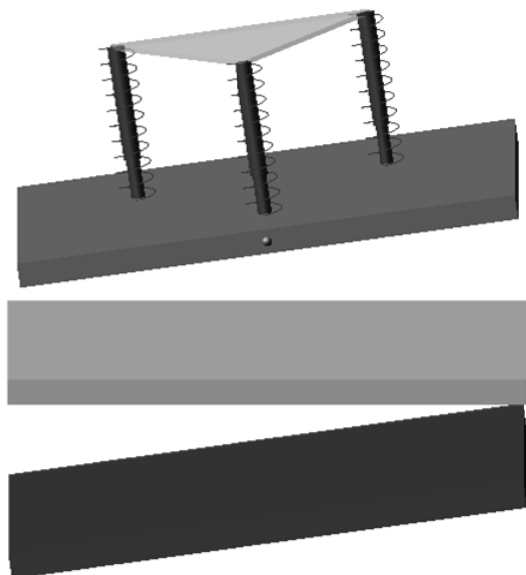
برای ساخت مدل CAD پایدارساز از همین ماژول استفاده شده ولی برای طراحی پوسته قایق از نرم افزار مکسرف^۳ که مخصوص شبیه سازی شناور هاست، استفاده شده است. در ادامه با استفاده از تکنیک اجرای همزمان متلب و آدامز و اعمال کنترل کننده فازی به نمونه مجازی، کنترل کننده در محیط مجازی تست می گردد. پس از اطمینان از صحت عملکرد کنترل کننده فازی اولیه در محیط مجازی، این کنترل کننده با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ژنتیک بهینه می گردد تا کنترل کننده فازی بهینه به دست آید.

۲- نمونه سازی مجازی

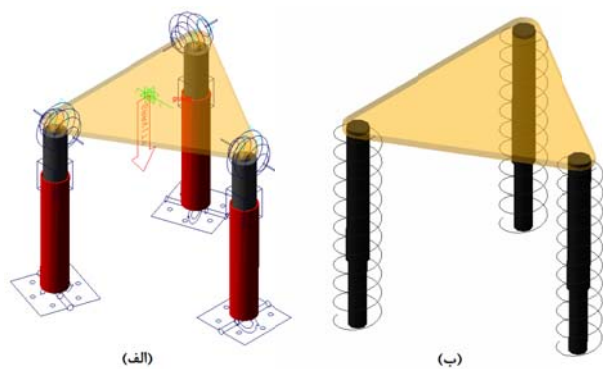
نمونه سازی مجازی روشی ارزان، کارآمد و سریع است که با بکارگیری آن می توان زمان و هزینه توسعه محصول را کاهش داد [۷-۹]. در ادامه کار از این روش برای ساخت نمونه شناور و پایدارساز استفاده می شود. برای نمونه سازی مجازی سیستم از نرم افزار آدامز استفاده می شود و کار مدل سازی و شبیه سازی پایدارساز در محیط این نرم افزار انجام می گیرد.

1- Adams
2- Adams/View
3- Maxsurf

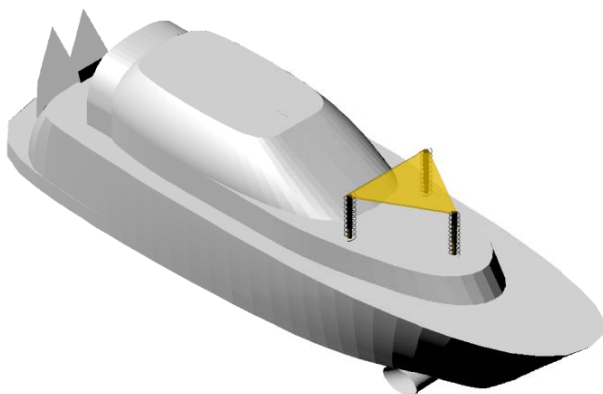
توسط کنترل کننده‌های دو (F_2) و سه (F_3) مثبت بزرگ خواهند بود. با توجه به این جدول، گزاره مقدم برای کنترل کننده‌های هر سه پایه مشترک است ولی گزاره تالی برای کنترل کننده پایه یک F_1 ، کنترل کننده پایه دو F_2 و کنترل کننده پایه سه F_3 می‌باشد. شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ سطوح کنترلی را برای کنترل کننده‌ای که نیروی 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 به دست آمده از تحلیل میدانی به پایدار ساز توسط مکانیزم شبیه ساز حرکت قایق



شکل ۴ پایدار ساز طراحی شده در محیط آدامز



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

سیستم به درستی شبیه سازی می‌شود. این داده‌ها در نرم افزار آدامز از طریق اسپلاین به عملگرها اعمال می‌شود. شکل ۳ وضعیت مکانیزم شبیه ساز حرکت قایق را نشان می‌دهد.

۲-۳- مدل سازی پایدار ساز

در شکل ۴ پایدار ساز طراحی شده در نرم افزار آدامز نشان داده شده است. مطابق شکل هر یک از پایه‌های پایدار ساز 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. پایدار ساز 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 پایدار ساز به وسیله مکانیزم شبیه ساز حرکت قایق صورت می‌گیرد. پایدار ساز پس از طراحی، بر روی مکانیزم شبیه ساز حرکت قایق نصب می‌شود و در آخر شبیه ساز حرکت قایق با پوسته قایقی که در نرم افزار مکسرف طراحی شده است پوشش داده می‌شود. شکل ۵ پایدار ساز را به صورت نصب شده بر عرشه قایق نشان می‌دهد.

۳- طراحی کنترل کننده

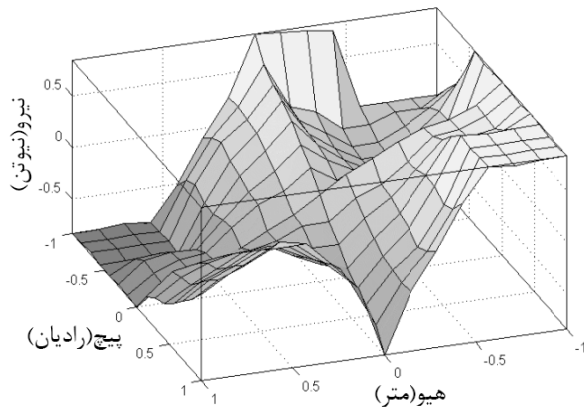
برای کنترل پایدار ساز سه پایه از سه کنترل کننده فازی مستقل استفاده می‌شود. کنترل کننده فازی به دلیل استفاده از قواعد زبانی، قابل فهم و ملموس تر بوده و امکان وارد کردن تجربه طراح را در کنترل کننده دارا می‌باشد. از طرف دیگر این کنترل از قابلیت تنظیم بسیار خوبی بهره برده و قابل کاربرد در سیستم‌های غیر خطی می‌باشد [۱۰]. کنترل کننده فازی دارای قوانینی است که باید با توجه به وضعیت سیستم از قبل نوشته شود. این قوانین برای پایدار ساز سه پایه بر اساس وضعیت‌های مختلفی که با آن مواجه می‌شود، نوشته شده است. در ادامه تحقیق ابتدا کنترل کننده فازی برای پایدار ساز طراحی می‌شود و با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ژنتیک کارایی آن افزایش داده می‌شود.

۳-۱- طراحی کنترل کننده فازی

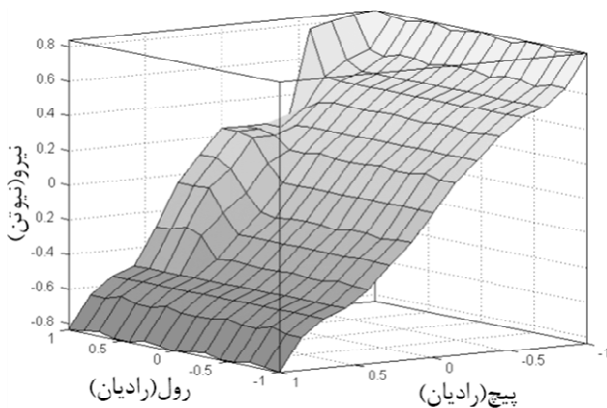
برای پایدار ساز سه پایه، سه کنترل کننده فازی طراحی شده است که هر کدام از این کنترل کننده‌ها وضعیت یکی از گوشه‌های صفحه میز پایدار کننده را کنترل می‌کند. هر کدام از کنترل کننده‌های فازی به طور جداگانه حرکت‌های هیو، رول و پیچ را به ترتیب به عنوان ورودی‌های اول تا سوم از سنسورهای پایدار ساز فیدبک می‌گیرد و نیروی کنترلی f_i را به پایه i اعمال می‌کند. در ورودی و خروجی کنترل کننده از توابع تعلق مثلثی برای فازی سازی و نافازی سازی مقادیر استفاده شده است. هر کدام از این فازی سازها و نافازی سازها دارای پنج تابع تعلق به نام‌های PM ، Z ، NM ، NB است، که به ترتیب 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.

کنترل کننده فازی طراحی شده دارای ۱۲۵ قانون فازی است و به وسیله این قوانین بر اساس حالتی که سیستم در آن قرار دارد، تصمیم گیری می‌کند. برخی از این قوانین در جدول ۱ آورده شده است. به طور مثال طبق قانون ۱ این جدول اگر حرکت هیو (Z)، رول (Φ) و پیچ (Θ) هر سه منفی بزرگ باشد آنگاه نیروی محاسبه شده توسط کنترل کننده یک (F_1) صفر و نیروی محاسبه شده

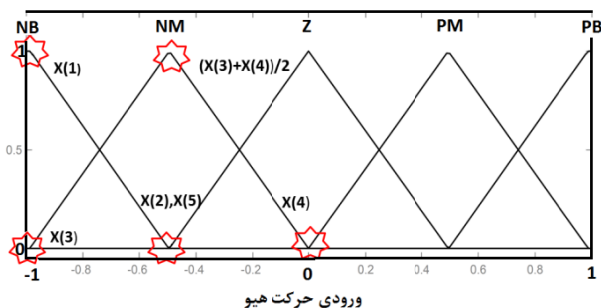
حتی به افرادی از جمعیت که مقدار برازندگی پایینی دارند توجه می شود تا جمعیت تشکیل شده در هر مرحله تنوع زیادی داشته باشد [۱۱]. توابع هدف در این بهینه سازی متناسب با آرام اس^۱ هیو، آرام اس رول و آرام اس پیچ در نظر گرفته شده است. در شکل ۱۱ متغیرهای مورد نیاز برای تشکیل توابع تعلق حرکت هیو نشان داده شده است. با در نظر گرفتن تقارن توابع عضویت، تعداد کل متغیرها برای هر کنترل کننده ۲۰ عدد می باشد.



شکل ۹ سطوح کنترلی هیو-پیچ-نیروی کنترلی F_1

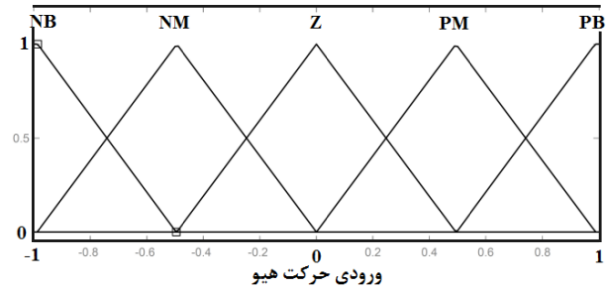


شکل ۱۰ سطوح کنترلی پیچ-رول-نیروی کنترلی F_1

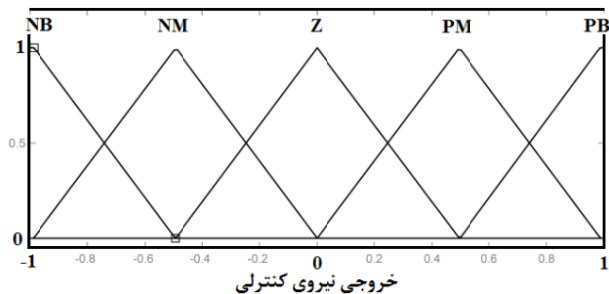


شکل ۱۱ متغیرهای بهینه سازی مربوط به توابع تعلق حرکت هیو

شکل ۱۲ نمودار پرتو توابع هدف آرام اس هیو و پیچ را نشان می دهد. در شکل ۱۳ این نمودار برای توابع هدف آرام اس هیو و رول و در شکل ۱۴ برای توابع هدف آرام اس رول و پیچ نشان داده شده است. این نتایج پس از ۲۰ نسل تکرار به دست آمده و تعداد جمعیت بهینه سازی ۳۰۰ در نظر گرفته شده است. همچنین، شیوه انتخاب به روش مسابقه ای بوده، روش تولید مثل دو نقطه ای و تابع جهش آداپتیو فیزیبل انتخاب شده است.



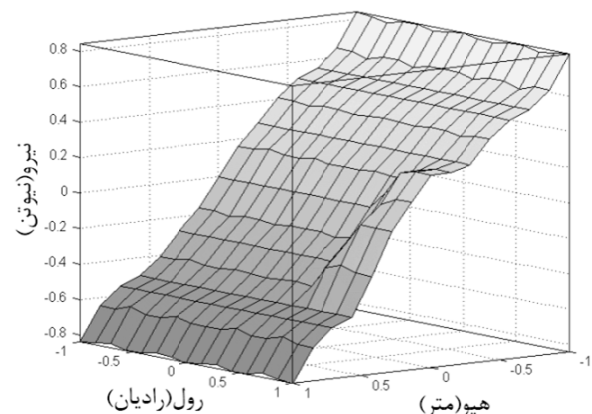
شکل ۶ توابع تعلق ورودی هیو



شکل ۷ توابع تعلق نیروی کنترلی

جدول ۱ برخی از قانون های کنترل کننده فازی پایدارساز سه پایه

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

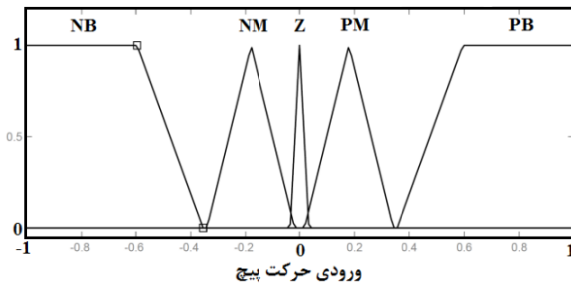


شکل ۸ سطوح کنترلی هیو-رول-نیروی کنترلی F_1

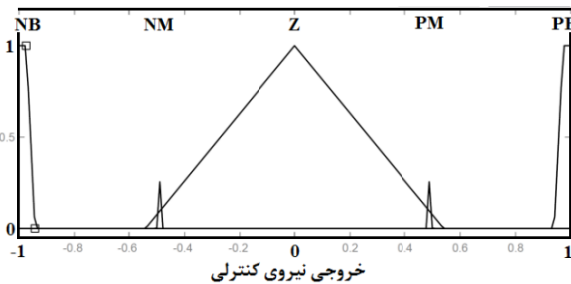
۳-۲- بهینه سازی کنترل کننده با الگوریتم ژنتیک

برای افزایش کارایی کنترل کننده فازی طراحی شده می توان از الگوریتم های بهینه سازی موجود استفاده کرد. در این تحقیق از روش بهینه سازی الگوریتم ژنتیک برای بهینه کردن توابع عضویت کنترل کننده استفاده شده است. بهینه سازی انجام شده به این روش چند هدفه است. الگوریتم بهینه سازی ژنتیک مورد استفاده در این مقاله از نوع NSGA-II می باشد. در این نوع الگوریتم ژنتیک

1- RMS: Root Mean Square



شکل ۱۷ توابع تعلق پیچ کنترل کننده پایدارساز سه پایه بیهیبه شده با الگوریتم ژنتیک



شکل ۱۸ توابع تعلق نیروی کنترلی کنترل کننده پایدارساز سه پایه بیهیبه شده با الگوریتم ژنتیک

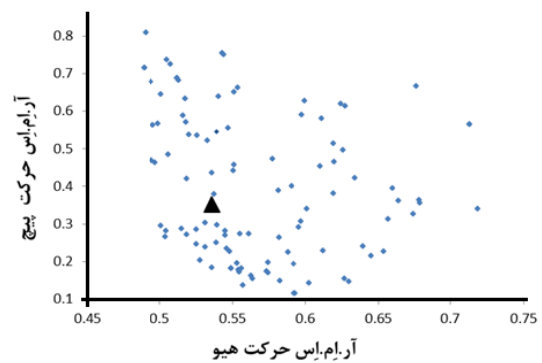
نقطه بیهیبه انتخاب شده در نمودارهای ۱۳ و ۱۴ با علامت مثلث مشخص شده است. سه نقطه نشان داده شده با مثلث معرف یک جواب هستند. دلیل انتخاب چنین نقطه‌ای برای جواب، رسیدن به جوابی است که به ازای آن دامنه هر سه حرکت هیو، پیچ و رول تواما کمینه شوند. در شکل ۱۵ تا شکل ۱۸ توابع تعلق بیهیبه شده با الگوریتم ژنتیک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

۳-۳- پیاده سازی کنترل کننده بر روی نمونه مجازی

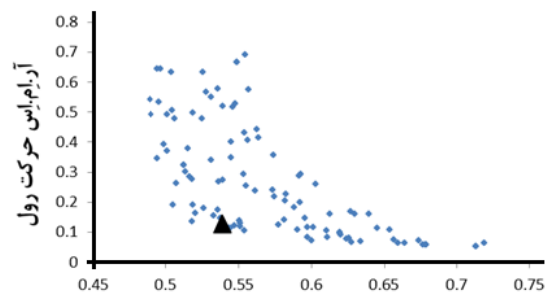
نرم افزار آدامز این قابلیت را دارد که به صورت همزمان با نرم افزار متلب اجرا شود. ارتباط میان متلب و آدامز به وسیله ماژول آدامز-کنترل^۱ صورت می گیرد. انتقال اطلاعات میان نرم افزارهای متلب و آدامز به وسیله این ماژول صورت می گیرد. نرم افزار آدامز بلوکی حاوی معادلات غیر خطی سیستم تولید می کند. با انتقال این بلوک به محیط سیمولینک متلب، می توان کار کنترل پایدارساز را به وسیله کنترل کننده های فازی طراحی شده انجام داد. شکل ۱۹ مدل پایدارساز و شناور در محیط سیمولینک متلب را نشان می دهد. طبق این شکل مقادیر هیو، پیچ و رول با استفاده از ضرایب بهره ای که در ورودی کنترل کننده قرار داده شده (بهره ۱ و بهره ۲ و بهره ۳) به مقادیری بین منفی یک و یک نرمالایز شده اند. همچنین نیروی کنترلی در خروجی کنترل کننده بین همین دو مقدار قرار دارد که با قرار دادن ضرایب بهره در خروجی کنترل کننده (بهره ۴ و بهره ۵ و بهره ۶) به مقدار مناسب تبدیل می شود.

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

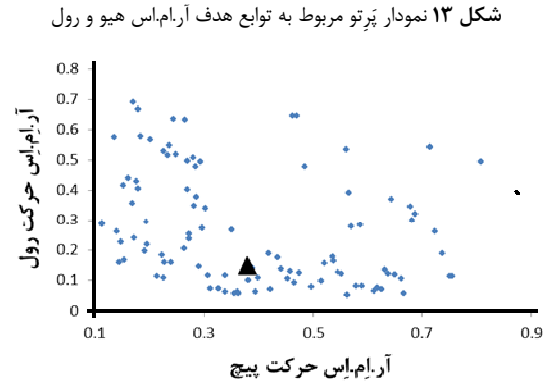
نحوه کار این مدل به این صورت است که نرم افزار آدامز با استفاده از سنسورهای نصب شده بر روی پایدارساز، حرکت های هیو، رول و پیچ را به عنوان خروجی ارسال می کند. این خروجی به ضرایب بهره ای که قبل از کنترل کننده های فازی قرار دارد فرستاده می شود تا مقادیر آن را به مقداری بین منفی یک و یک تبدیل کند و آن را به فازی ساز سیستم بفرستد. سپس فازی ساز براساس قوانینی که برخی از آن ها در جدول ۱ دیده می شود نیروی های کنترلی مناسب را به



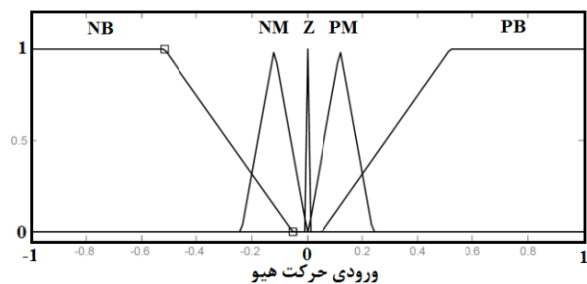
شکل ۱۲ نمودار پرتو مربوط به توابع هدف آر.ام.اس هیو و پیچ



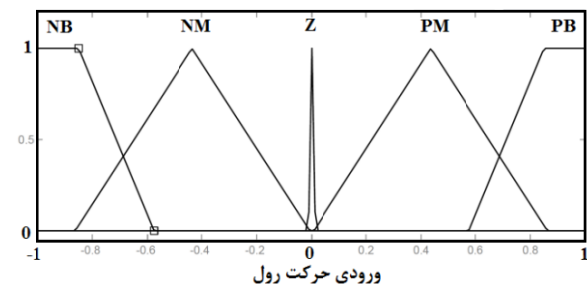
شکل ۱۳ نمودار پرتو مربوط به توابع هدف آر.ام.اس هیو و رول



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



شکل ۱۵ توابع تعلق هیو کنترل کننده پایدارساز سه پایه بیهیبه شده با الگوریتم ژنتیک



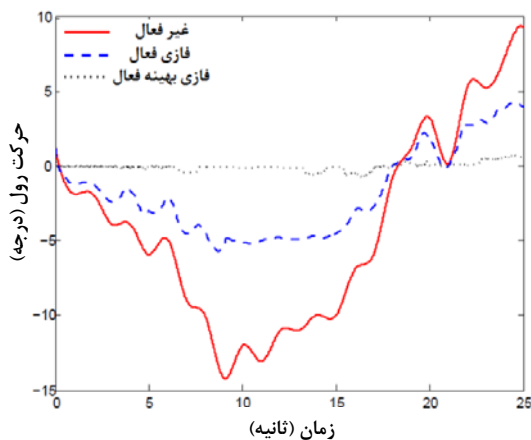
شکل ۱۶ توابع تعلق رول کنترل کننده پایدارساز سه پایه بیهیبه شده با الگوریتم ژنتیک

1- Adams/Control

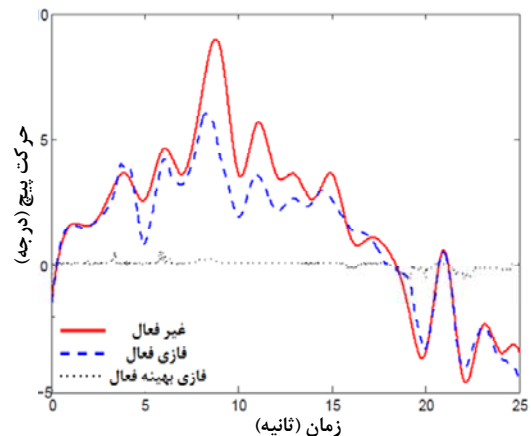
با توجه به این شکل مشخص است که کنترل کننده فازی بهینه شده با الگوریتم ژنتیک عملکرد بهتری نسبت به سایر کنترل کننده ها داشته است. در این شکل کنترل کننده فازی اولیه (FLC) بیشینه دامنه حرکت هیو را نسبت به حالت غیر فعال ۳۰/۹۷ درصد کاهش داده است. این مقدار برای کنترل کننده فازی بهینه شده با الگوریتم ژنتیک (FLC-GA) ۵۵/۵۵ درصد و برای کنترل کننده تنظیم کننده خطی (LQR) ۶۵/۶۶ درصد است. پاسخ های رول و پیچ نیز به ترتیب در شکل ۲۳ و شکل ۲۴ دیده می شود.

در شکل ۲۳ که حرکت رول را نشان می دهد درصد کاهش بیشینه دامنه نسبت حالت غیرفعال برای کنترل کننده فازی اولیه ۶۰/۰۴، کنترل کننده فازی بهینه شده با الگوریتم ژنتیک ۹۳/۷۳ درصد و کنترل کننده تنظیم کننده خطی ۸۴/۴۱ درصد می باشد. همچنین در حرکت پیچ، درصد کاهش بیشینه دامنه نسبت حالت غیرفعال برای کنترل کننده فازی اولیه ۳۳/۱۹، کنترل کننده فازی بهینه شده با الگوریتم ژنتیک ۹۲/۶۴ درصد و کنترل کننده تنظیم کننده خطی ۸۶/۱۷ درصد می باشد. در شکل ۲۵ آرام، اس حرکت های هیو، رول و پیچ برای کنترل کننده های مختلف مقایسه شده است. مطابق این نمودار عملکرد کنترل کننده فازی بهینه شده با الگوریتم ژنتیک در کاهش آرام، اس حرکت های هیو و پیچ بهتر از دیگر کنترل کننده ها بوده است.

با توجه به نتایج به دست آمده از پاسخ های پایدارساز نسبت به ورودی اغتشاشی دیده می شود که پایدارساز طراحی شده توانسته است با استفاده از کنترل کننده فازی دامنه حرکت های هیو، رول و پیچ را به خوبی کاهش دهد. همچنین با به کارگیری الگوریتم ژنتیک کارایی کنترل کننده در کاهش دامنه ارتعاشات افزایش پیدا کرده است.



شکل ۲۳ پاسخ رول کنترل کننده های مختلف اعمال شده به پایدارساز

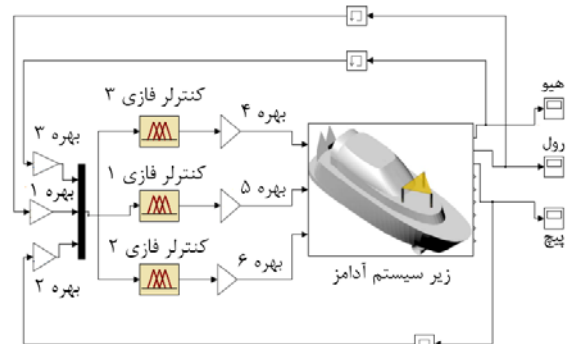


شکل ۲۴ پاسخ پیچ کنترل کننده های مختلف اعمال شده به پایدارساز

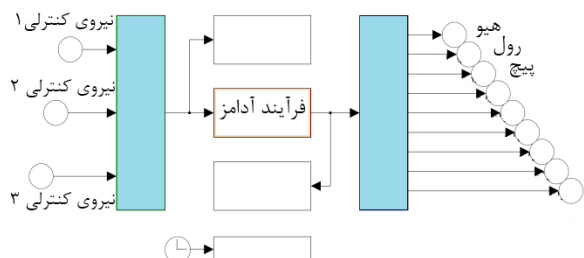
ورودی مدل آدامز می فرستد. این مقادیر به عملگرهای نصب شده در پایه های پایدارساز اعمال می شود تا سیستم را در حالت مطلوب نگه دارد. شکل ۲۱ نحوه ارتباط کنترل کننده با پایدارساز را نشان می دهد.

۴- شبیه سازی و تحلیل نتایج

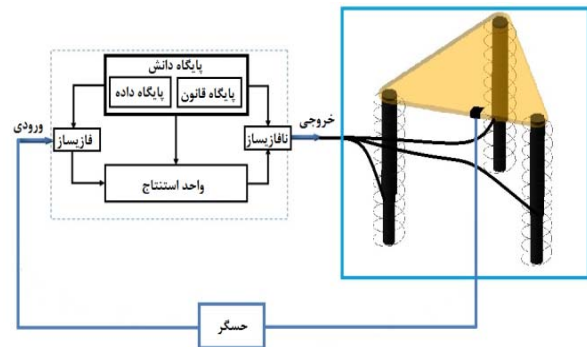
پاسخ حرکت هیو سیستم به ورودی اغتشاشی در شکل ۲۲ نشان داده شده است.



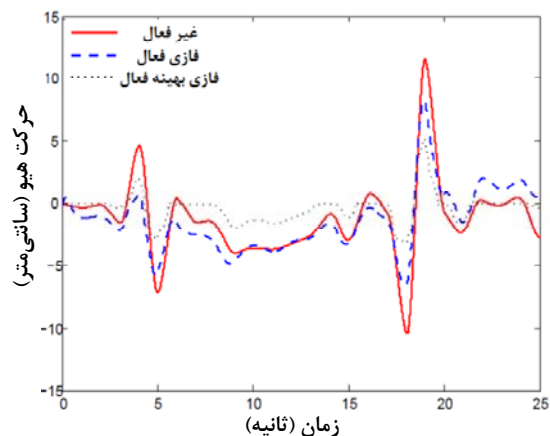
شکل ۱۹ بلوک کنترلی پایدارساز



شکل ۲۰ بلوک های ارتباط دهنده آدامز و متلب

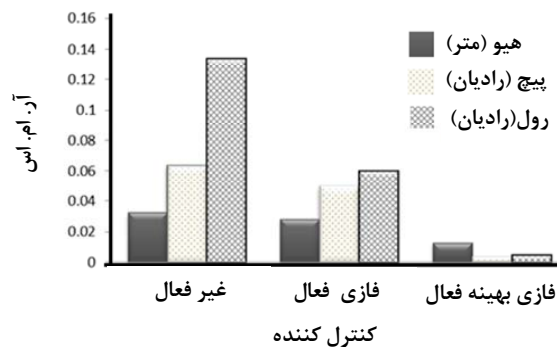


شکل ۲۱ نحوه ارتباط مکانیزم پایدارساز با کنترل کننده فازی



شکل ۲۲ پاسخ هیو کنترل کننده های مختلف اعمال شده به پایدارساز

- [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.



شکل ۲۵ نمودار میله ای مقایسه آر.ام.اس حرکت های هیو و رول و پیچ برای کنترل کننده های مختلف اعمال شده به پایدارساز سه پایه

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.