Journal of Industry Parts Manufacturers
https://ghs.science-journals.ir
E ISSN: 2717-2767

مجله قطعه سازان صنعت
http://science-journals.ir
شاپا الکترونیکی: 2717-2767

دینامیک و کنترل یک ربات موازی فضایی جدید با سه درجه آزادی و شبیه‌سازی آن در نرم‌افزار MATLAB

علیرضا محمودی‌فرد[1*]، مهدیه رضازاده[2]

1- دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی دانشگاه شاهد (و مدرس دانشگاه‌ها در رشته‌های مختلف)، تهران، ایران، alireza10.m10@gmail.com

2- دانشجوی کارشناسی مهندسی برق دانشگاه ابرار، تهران، ایران، m.mahdiehrezazadeh@gmail.com

*نویسنده مسئول: alireza10.m10@gmail.com

سال 3، شماره 3 (پیاپی: 11)، پاییز 1401، ص 16-22

چکیده

سیستم کنترل فازی به‌عنوان یک ناظر برای کدگذاری مهارت‌های انسانی برای تنظیم مجدد دستاوردهای PID است؛ استفاده از این کنترل‌گر، عملکرد یک کنترل‌کننده PID را برای مدیریت تغییر در یک نقطه عملیاتی در سیستم‌های غیرخطی پیچیده، افزایش می‌دهد. در این مقاله، مدل‌سازی پویا و کنترل گشتاور محاسبه‌شده ساختار جدیدی از سیستم‌های دستی موازی فضایی با استفاده از نسخه اصلاح شده سیستم دستی موازی دلتا ارائه شده است؛ با توجه به نتایج به‌دست آمده از نمودارها و همچنین خطای حاصل از ردیابی مسیر، مشاهده می‌شود که در هر چهار روش کنترلی متغیرهای مفصلی، سرعت‌ها و شتاب‌های مفصلی مقادیر مطلوب را ردیابی می‌کنند و همچنین در همه روش‌ها خطا به‌صورت مجانبی به صفر همگرا می‌شود.

کلمات کلیدی: کنترل فازی، ربات موازی فضایی، سه درجه آزادی، کنترل‌کننده PID، شبیه‌سازی، MATLAB

Dynamics and control of a new spatial parallel robot with three degrees of freedom and its simulation in MATLAB software

Alireza Mahmoodi Fard [1*], Mahdieh Rezazadeh [2]

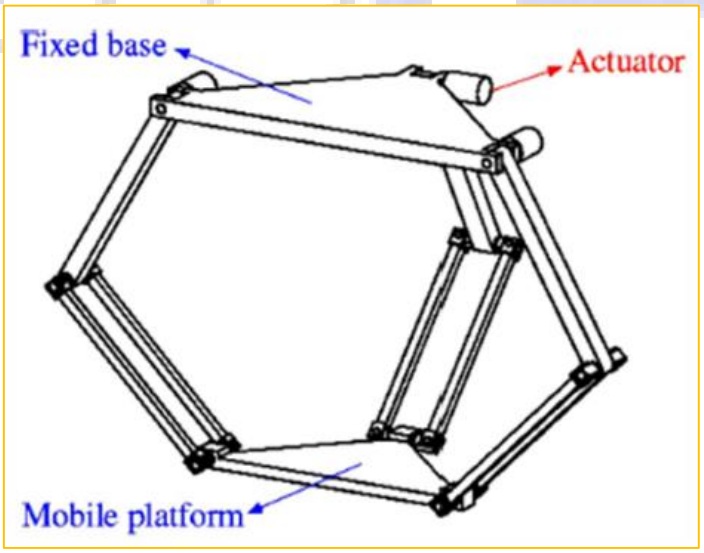
مقدمه

در دهه‌ای گذشته، ربات‌های موازی بیشتر توجه محققان را به خود جلب کرده‌اند و این به‌دلیل مزیت‌های ذاتی آن‌ها است؛ در سال‌های اخیر به‌سبب انعطاف‌پذیری این ربات‌ها در کاربردهای صنعتی و پزشکی، شاهد پیشرفت‌های بزرگ و مهمی بوده‌ایم؛ تجزیه و تحلیل دینامیکی دستی موازی، بسیار پیچیده‌تر از نوع سریال آن‌ها است؛ زیرا زنجیره‌های حلقه نزدیک زیادی وجود دارد؛ بسیاری از دینامیک‌های دستی موازی با نوع مشخص و روش‌های طراحی مکانیکی به‌طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته‌اند؛ راه‌حل کلی برای مدل‌سازی پویای ربات‌های موازی در مقالات قبلی ارائه شده است [1]. استایکو و همکاران، یک رویکرد مپویای جدید برای تحلیل مکانسیم‌های موازی با استفاده از ماتریس بازگشتی پیشنهاد داده‌اند. تحلیل سینماتیک و دینامیک معکوس برای مکانیزم موازی فضایی عمومی PRS-3[1] نیز ارائه شده است؛ تاکنون این روش با کنترل‌کننده‌های PID و PD اجرا شده است که یکی از کنترل‌کننده‌های پیشرو در سیستم‌های رباتیک است؛ سیستم کنترل فازی به‌عنوان یک ناظر برای کدگذاری مهارت‌های انسانی برای تنظیم مجدد دستاوردهای PID است؛ کنترل‌کننده PID فازی، عملکرد خوبی را برای کنترل سیستم‌های غیرخطی عمومی ارائه می‌دهد؛ استفاده از این کنترل‌گر، عملکرد یک کنترل‌کننده PID را برای مدیریت تغییر در یک نقطه عملیاتی در سیستم‌های غیرخطی پیچیده افزایش می‌دهد؛ سیستم‌های مختلف خطی و غیرخطی با مکانیزم استنتاج تنظیم بهره فازی تنظیم شده‌اند. در این مقاله، مدل‌سازی پویا و کنترل گشتاور محاسبه‌شده ساختار جدیدی از سیستم-های دستی موازی فضایی با استفاده از نسخه اصلاح شده سیستم دستی موازی دلتا، ارائه شده است [2].

متن اصلی

1- بررسی سیستم

نمودار شماتیک دستی موازی انتقال 3-RRPaR در شکل 1 نشان داده شده است؛ این مدل شامل یک پلتفرم متحرک، یک پایه ثابت و سه اندام از ساختار سینماتیکی RRPaR یکسان با اولین مفصل R است که توسط یک چرخش فعال می‌شود؛ فعال‌کننده R و Pa به‌ترتیب، مخفف مفصل چرخشی[2] و متوازی الاضلاع[3] هستند.



شکل 1- ربات موازی فضایی ۳ درجه آزادی[2]

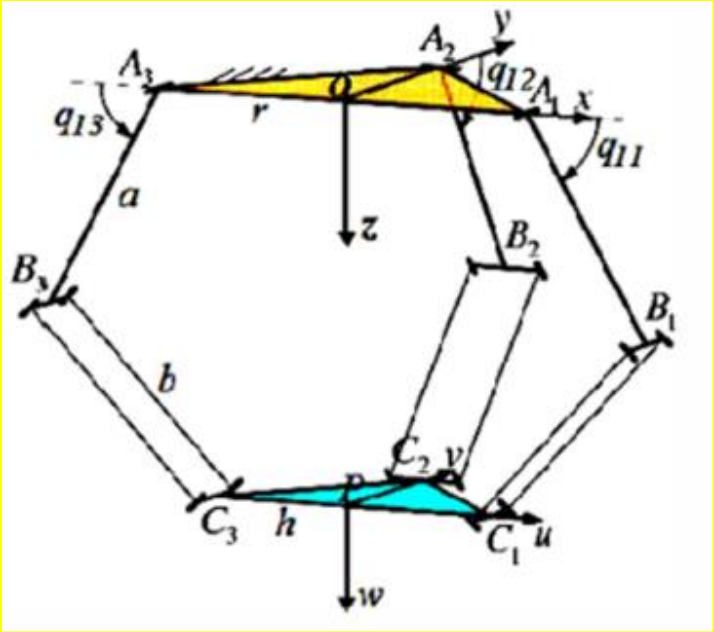
پارامترهای ربات در جدول 1 نشان داده شده است.

[1] Procedural Reasoning System
[2] Revolute
[3] Parallelogram Respectively

جدول 1- پارامترهای ربات مربوطه

پارامتر	مقدار	واحد
r	0.16	**m**
a	0.2	**m**
b	0.2	**m**
h	0.12	**m**
m_p	0.4	**kg**
m_a	0.3	**kg**
m_b	0.1	**kg**
g	9.8	$\mathbf{m/s^2}$

با توجه به پارامترهای جدول 1، شکل 1 را می‌توان بازسازی کرد که نتایج در شکل 2 نشان داده شده است.



شکل 2- شماتیک ربات موازی [2]

که در آن $r=OA_i$ ، $h=PC_i$ ، $a=A_iB_i$ ، $b=B_iC_i$ برای $i=1,2,3$ است. معادله سینماتیکی موقعیت، از رابطه 1 به‌دست می‌آید:

$$\overline{A_iB_i}+\overline{B_iC_i}=\overline{OP}+\overline{PC_i}-\overline{OA_i} \quad (1)$$

2- سینماتیک معکوس

در سینماتیک معکوس، هدف به‌دست آوردن متغیرهای مفصلی مانند q یا θ است.

$$q_{3i}=\cos^{-1}\frac{C_{yi}}{b} \quad (2)$$

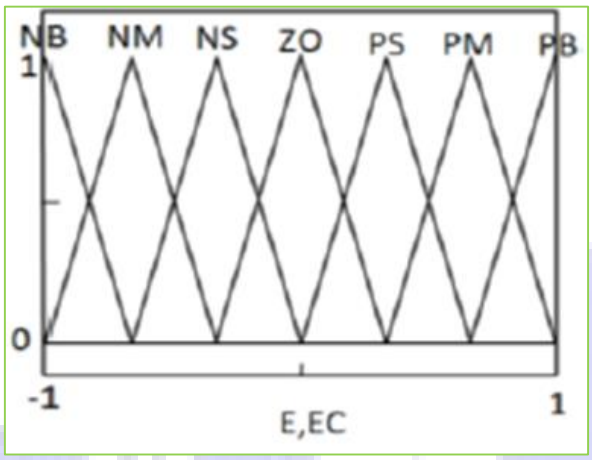
3- کنترل Fuzzy-PD و Fuzzy-PID

با توجه به جدول 2 و با داشتن دو ورودی $\dot{e}$ و e مقادیر پارامترهای K_p، K_D و K_I به‌دست می‌آید که به‌عنوان ورودی به کنترل‌کننده PD و PID وارد می‌شوند.

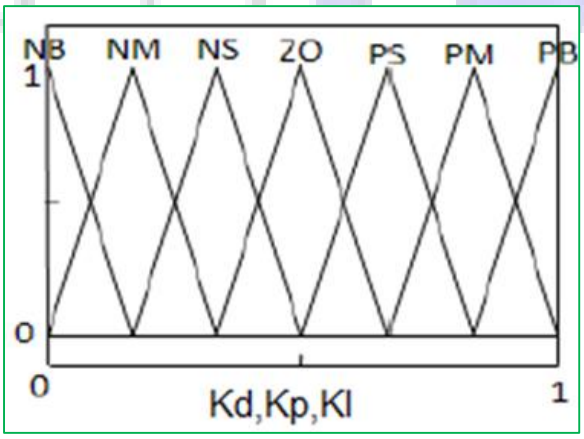
جدول 2- قوانین اگر-آنگاه فازی

$\dot{e}$ \ e	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
PB	ZO	PS	PM	PB	PB	PB	PB
PM	NS	ZO	PS	PM	PB	PB	PB
PS	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	PB
ZO	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NS	NB	NB	NM	NS	ZO	PS	PM
NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZO	PS
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZO

توابع عضویت برای ورودی‌ها به‌صورت شکل 3 و برای پارامترها به‌فرم شکل 4 درنظر گرفته شده‌اند.



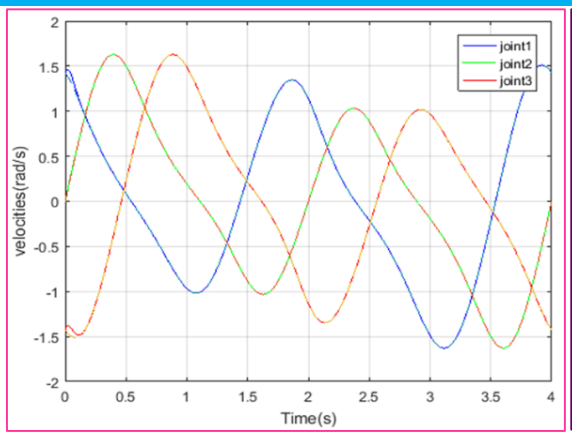
شکل 3- تابع عضویت برای $\dot{e}$ و e



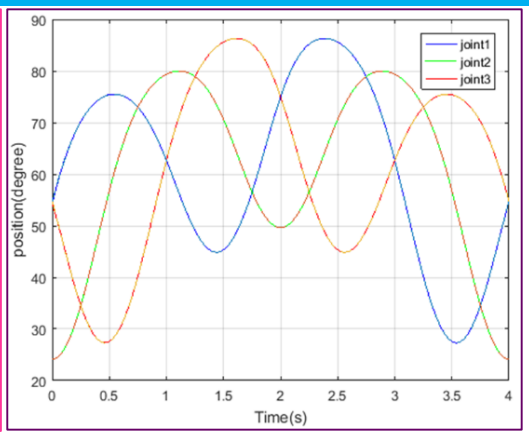
شکل 4- تابع عضویت برای بهره‌های کنترلی

4- کنترل PID

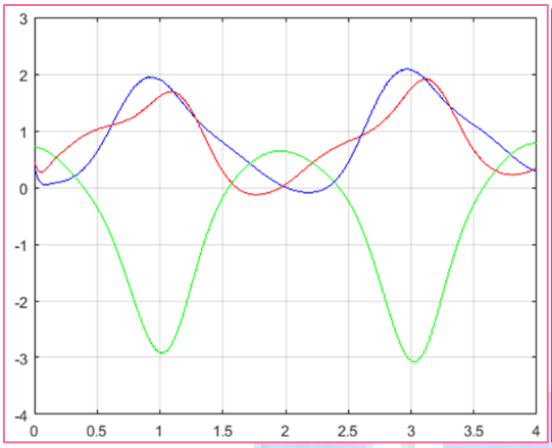
کنترل PID اِعمال شده است؛ نتایج حاصل از شبیه‌سازی برای موقعیت، سرعت و شتاب مفصلی و همچنین گشتاور موتورها در شکل 5 نشان داده شده است (خط‌چین نشان‌دهنده مقدار مطلوب آن پارامتر است.).



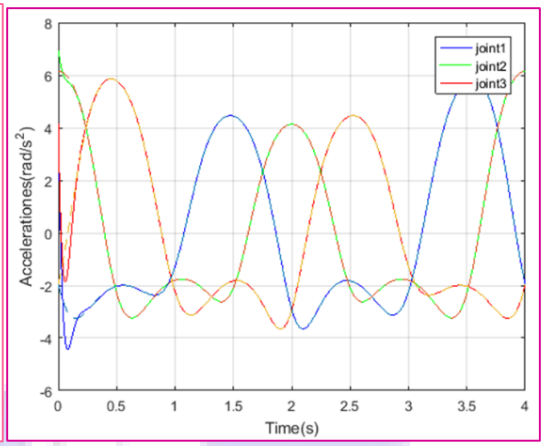
سرعت‌های مفصلی



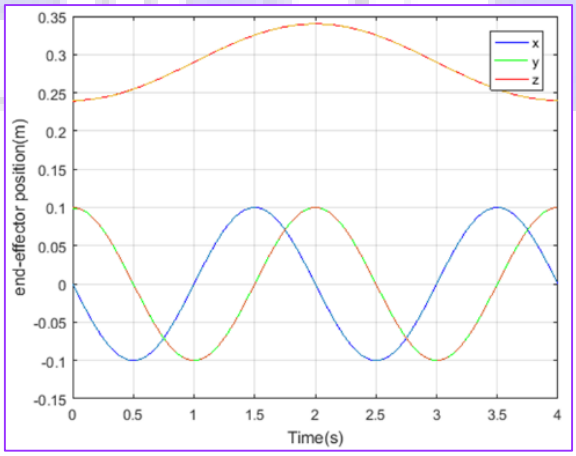
موقعیت مفصلی



گشتاور موتورها



شتاب‌های مفصلی

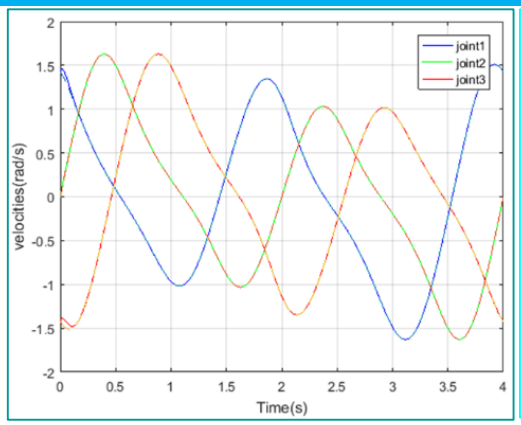


موقعیت مجری نهایی

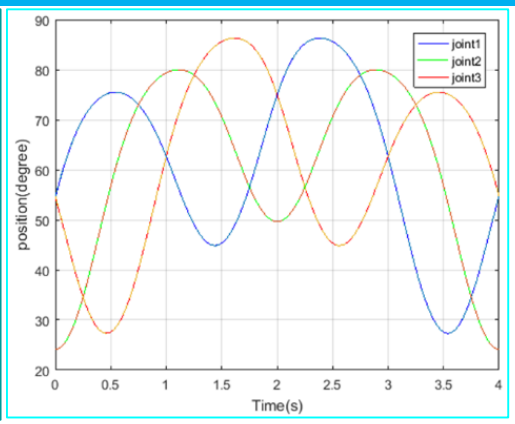
شکل 5- نتایج شبیه‌سازی کنترل PID

5- کنترل Fuzzy-PID

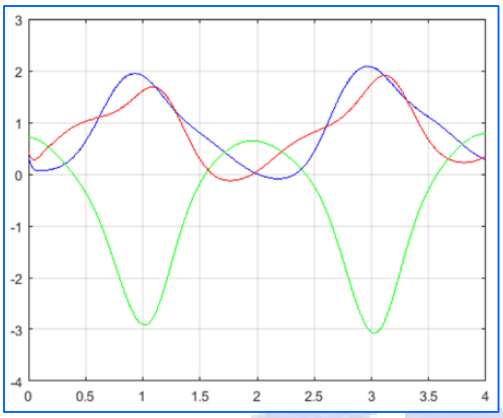
نتایج اِعمال کنترل‌گر Fuzzy-PID در شکل 6 نشان داده شده است.



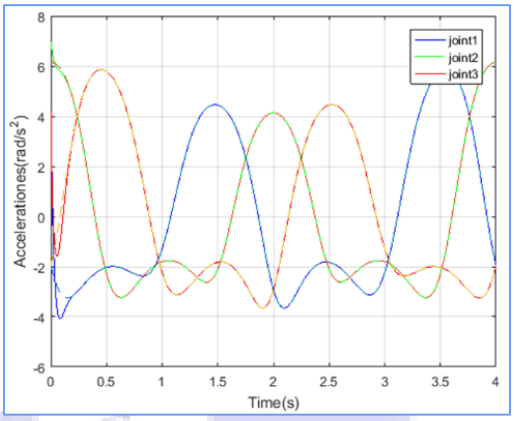
سرعت‌های مفصلی



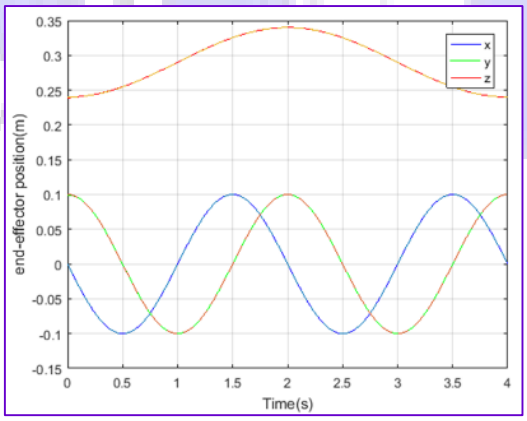
موقعیت مفصلی



گشتاور موتورها



شتاب‌های مفصلی



موقعیت مجری نهایی

شکل 6- نتایج کنترل Fuzzy-PID

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده از نمودارها و همچنین خطای حاصل از ردیابی مسیر، مشاهده می‌شود که در هر چهار روش کنترلی متغیرهای مفصلی، سرعت‌ها و شتاب‌های مفصلی مقادیر مطلوب را ردیابی می کنند و همین‌طور در همه روش‌ها، خطا به‌صورت مجانبی به صفر همگرا می‌شود؛ همچنین در مقایسه روش‌ها می‌توان بیان کرد که به‌ترتیب کنترل‌کننده‌های fuzzy PID، fuzzy PD، PID و عملکرد بهتری دارند و خطای کمتری در ردیابی مسیر وجود دارد که این موضوع در حالتی‌که به سیستم اغتشاش وارد می‌شود، نیز قابل مشاهده است. در مقاله‌های بعدی می‌توان روش‌های کنترلی دیگری را روی این سیستم پیاده کرده و روش‌های مختلف را با هم قیاس کرد.

منابع

[1] WU JianXin, YANG XiaoJun, Dynamic Analysis and Optimization of Parallel Manipulator, International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence, IEEE 2009.

[2] Mohsen Asgari, Mahdi Alinaghizadeh Ardestani, Mersad Asgari, Dynamics and Control of a Novel 3-DoF Spatial Parallel Robot, International Conference on Robotics and Mechatronics, 2013.

[3] Chanhun Park, Hyun Min Do, GwangJo-Jung, Byung-In Kim, Analysis of dynamical requirements for a high speed parallel manipulator, 10th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence, 2013.

[4] Abbas Fattah, Jorge Angeles, Arun I. Misra, Dynamics ofa 3-D F Spatial Parallel Manipulator with Flexible Links, IEEE lnternatlonal Conference on Robotlcs and Automatlon, 1995.

[5] Song Lu, Yangmin Li, Dynamic Dexterity Evaluation of a 3-DOF 3-PUU Parallel Manipulator Based on Generalized Inertia Matrix, IEEE Conference on Robotics and Biomimetics Zhuhai, 2015.

[6] Yongci Han, Xinhua Zhao, Guangzhu Meng, Kinematic and Dynamic Analysis of 2-RRC+SPS Parallel Manipulator, International Conference on Robotics and Biomimetics, IEEE 2010.

[7] N. Babu, Design and Analysis of Multipurpose Mobile Manipulator for Defence Application and Study the Dynamic Effects on Stability of an Unmanned Tracked Vehicle, International Conference on Robotics, Automation, Control and Embedded Systems, 2015.

[8] Liu Shanzeng, Zhu Zhencai, Liu Chusheng, Zhang Lianjie, Kinematic Constraint Conditions and Dynamic Equations of Spatial Flexible Parallel Manipulator, IEEE 2011.

[9] Faraz Abed Azad, Mohammad Reza Hairi Yazdi, Mehdi Tale Masouleh, Kinematic and Dynamic Analysis of 3-DOF Delta Parallel Robot Based on the Screw Theory and Principle of Virtual Work IEEE.

[10] Byeong-Soo Kiml, Seung-Han Yang2, Jin-Dae Kiml, Che-Seung Chol, Dynamic and Kinematic Analysis of 6-bar Parallel Robot, IEEE.

[11] Yong kyu Byun, Hyu ng suck Cho, Wheekuk Kim, Sangeun Baek, Heung-sung Chang, Kwang-choon Ro, Kinematic/Dynamic Analysis, of a 6 DOF Parallel Manipulator with 3-PPSP Serial Subchains and its Implementation, IEEE 1998.

[12] M. Farhadmanesh, Prof. S. Ali A. Moosavian, M. Ali Rastin, M. Taherynezhad, Design of a New Fuzzy Model-Based Controller for Complex Dynamical Systems with Application to a 3-RRR Spherical Parallel Manipulator, 13th Iranian Conference on Fuzzy Systems, IEEE 2013.

[13] Wang Lihua, Zhao Xinhua, Meng Guangzhu, Study of 3-RRRU Parallel Manipulatorfor its Dynamics Based on Kane's Method, Third International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, IEEE 2011.

[14] Zhang Yifeng, Yao Yu, Optimal Design of 6-DOF Parallel Robot Based on Output Frequency Response Function, International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, 2009.

[15] Li-Jie Zhang, Yong-Quan Li, Ya-Qing Guo, Dynamic Analysis ofSpherical 5R Parallel Manipulator, International Conference on Mechatronics and Automation, 2009.

[16] Junfeng Hu, Xianmin Zhang, Dynamic modeling and analysis of a rigid-flexible planar parallel manipulator, IEEE 2009.

[17] Ali A. Nazari, S. Ali A. Moosavian, Ayyub Hasani, Kinematics Analysis, Dynamic Modeling and Verification of a CRRR 3-DOF Spatial Parallel Robot, 2nd International Conference on Control, Instrumentation and Automation, IEEE 2011.

[18] Hao Ji, Weiwei Shang, Shuang Cong, Adaptive Control of a Spatial 3-Degree-of-Freedom Cable-Driven Parallel Robot with Kinematic and Dynamic Uncertainties, 5th International Conference on Advanced Robotics and Mechatronics, 2020.

[19] DONG Wei, DU Zhi Jiang, SUN Li Ning, A Simplified Dynamic Analysis Modeling on a Full Parallel Manipulator System with Flexure Hinges, IEEE 2006.

[20] Sungbok Kim, Sukhan Lee, Cartesian Space Dynamic Model of Serial-Parallel Manipulator Systems and Their Dynamic Performance Evaluation, IEEE 1992.