مقایسه شاخص دقت برتری جهتی در روباتهای صفحه ای 3RRP و 3RRR

حسین نوذری پور1، سید علی میر نجفی زاده2\*

1- دانشجو مقطع کارشناسی ارشد ساخت وتولید دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان.

2- مربی گروه مهندسی مکانیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان

کرمان، بلوار ولی عصر، کد پستی 7635131167 ، amirnajafi.z@gmail.com

چکیده

. امروزه روبات های موازی صفحه ای به دلیل ویژگی هایی از جمله دقت بالا، سختی مناسب و نسب وزن به بار حمل شده کاربرد فراوانی در صنابع مختلف از جمله صنایع خودرو سازی، صنایع نظامی، صنایع اکتشافی، صنایع نانوتکنولوژی، صنایع شبیه سازی پرواز و صنایع پزشکی دارند. تاکنون شاخص های مختلفی مثل چالاکی، سختی و همسانگردی در مورد روبات های موازی مورد بررسی قرار گرفته و همچنین شاخص دقت برتری در بعضی روبات های موازی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. شاخص دقت سینماتیکی با توجه به حرکت روبات تعریف شده که به اختصار به آن شاخص دقت برتری جهتی گفته می شود این شاخص به این صورت است که وقتی روبات در یک جهت خاص حرکت می کند، دقت در آن جهت ممکن است با دقت در جهات دیگر تفاوت داشته باشد یعنی در یک یا چند جهت خاص روبات دارای حداکثر مقدار خود باشد و در بقیه جهات اهمیتی نداشته باشد ، در این مقاله شاخص دقت برتری جهتی در دو نوع روبات موازی 3-RRR،3-RRPتحلیل کرده وبا هم دریک فضا کاری معین مورد بررسی قرارگرفته است.

**کلی**د‌واژگ**ان:** روبات موازی، دقت سینماتیکی ، شاخص دقت برتری جهتی

Comparison of Directional Task Accuracy Index in Planar Parallel Manipulators of 3RRR, 3RRP

Hossein Nozari Pour, Seyed Ali Mir Najafizadeh\*,

1-. Postgraduate Student in Manufacturing and Production of Islamic Azad University, Kerman Branch

2-- Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Kerman Branch.

amirnajafi.z@gmail.com

Abstract

Today, planar parallel manipulator robots are widely used in various industries including automotive, military, exploration, nanotechnology, flight simulation and medical industries due to their high accuracy, good stiffness and load-to-weight ratio. So far, various indices have been studied for parallel robots such as agility, hardness and isotropy and the accuracy index in some parallel robots has been analyzed. The kinematic accuracy index is applied to the robot's motion, which is called kinematic accuracy index referred as task directional (KAIT) of robot. This index is so that when the robot moves in a particular direction, the accuracy in the same direction may differ from the other directions, meaning that the robot has its maximum value in one or more particular directions. In this paper the KAIT index of 3RRR and 3RRP planar parallel manipulator were compared.

Keywords

Planar parallel manipulator, kinematic ccuracy, KAIT index

1. مقدمه

یک روبات وسیله ای با قابلیت برنامه ریزی مجدد و چند منظوره است که به منظور جا به جا کردن مواد قطعات، ابزار یا وسایل خاص از طریق حرکات برنامه ریزی شده برای استفاده در صنایع و مکان های مختلف طراحی می شود، در حالت کلی می توان روبات ها را به دو دسته ی روبات سریالی و موازی تقسیم نمود. که روبات سریالی دارای یک زنجیره سینماتیک باز هستند و روبات هایه دارای چند زنجیره بسته هستند. در دهه های اخیر روبات های موازی به دلیل مزیت هایی که دارند بیشتر مورد توجه محققات قرار گرفته و مطالعات فراوانی روی آن ها انجام شده. از جمله مزیت های روبات های موازی نسبت به روبات های سریالی می توان دقت زیاد، صلبیت بالا، سرعت عملکردی زیاد، سختی و نسبت حمل بار به وزن بیشتر اشاره کرد. مکانیزم استوارت اولین مکانیزم با شش درجه آزادی است که مشخصات آن در بسیاری از کتب و مراجع ذکر شده است. بعد از معرفی این نوع ربات در زمینه سینماتیک، دینامیک، فضای کاری، طراحی بهینه و طراحی ایزوتروپ انواع روباتهای موازی صفحه‌ای و فضایی تحقیقات وسیعی صورت گرفته است. آنجلس در زمینه سینماتیک و طراحی ایزوتروپ و بهینه روبات‌های سری و موازی کارهای وسیعی را انجام داده است [1-3]. کارهای گوسلین و همکارانش [2-5] درزمینه تحلیلهای سینماتیکی، دینامیکی، فضای کاری روباتها و همچنین تسای [6-7] در تحلیل سینماتیک وطراحی ایزوتروپ بوده است. مرلت [8] در زمینه معرفی، سینماتیک، فضای کاری و طراحی بهین انواع ربات‌های موازی مطالب درخور توجهی را بیان داشته است. همچنین می‌توان به کارهای چبلت و همکاران [9] نیز درزمینه سینماتیک و طراحی روباتهای موازی اشاره نمود. در زمینه طراحی روباتها پیشرفتهای گوناگونی بر اساس معیارهای مختلفی صورت گرفته است. اکثر این معیارها بر مبنای ماتریس ژاوبی روبات صورت می گیرد [8]. در این مقاله از شاخص تقریبا جدیدی برای بررسی دقت روبات استفاده می شود که دقت را با توجه به جهت حرکت روبات تحلیل می کند وتوسط کای [10] معرفی گردید. این شاخص برای تحلیل دو روبات 3RRR و 3RRP بکار رفته و بررسی نتایج مزیت روبات صفحه ای 3RRR را نشان می دهد.

2- معرفی روبات موازی صفحه ای 3-RRR

اولین روبات که مورد مطالعه قرار گرفته است روبات موازی صفحه ای 3 درجه آزادی 3-RRR می باشد. این روبات شامل یک صفحه( پلت فرم) متحرک و یک صفحه ثابت است که توسط سه بازوی محرک متصل شده و به حرکت در می آید.

هر بازو متصل به یک عملگر است سر دیگر بازو متصل به صفحه ی چرخشی می باشد. اتصال بین عملگر و بازو را رابط محرک و اتصال بین رابط محرک و صفحه ی متحرک را ارتباط دهنده می نامند. صفحه ی متحرک که به بازوها متصل است و به صورت مثلث متساوی الاضلاع که حامل مجری نهایی می باشد. کلیه اتصالات رابط ها به یک دیگر و به صفحه متحرک از نوع مفصلی می باشند. عملگرها در پایه ثابت قرار گرفته و عمل دوران رابط های محرک را جهت انتقال حرکت به صفحه متحرک انجام می دهد [3] شکل(1)



|  |
| --- |
| Fig. 1 The geometrical parameter of 3RRR robot |

شکل1- پارامترهای روبات 3RRR

پارامترهای هندسی مورد استفاده در روبات 3RRR

طول رابط های محرک: L1i

زاویه بازوی محرک با امتداد مثبت محور زاویه x ها : iѲ

طول رابط های ارتباط دهنده با صفحه متحرک طول : L2i

طول ضلع صفحه متحرک: d

زاویه چرخش صفحه متحرک : φ

بردار موقعیت مجری نهایی در نقطه p : p (x , y)

فاصله نقطه p تا هر راس مثلث صفحه متحرک : e

فرض میگیریم صفحه متحرک را بصورت مثلث متساوی الاضلاع با طول اضلاع C1 و C2 و C3 باشد.

برای ساده تر شدن مسئله طول بازوی تمامی لینکهای محرک را برابر L1 و طول لینکهای ارتباط دهنده را مساوی L2 در نظر می گیریم.

مرجع مختصات ثابت را در مرکز هندسی صفحه ثابت و مرجع متحرک مجری نهایی را در مرکز هندسی صفخه متحرک در نظر می گیریم.

2-1 تحلیل سینماتیک معکوس روبات موازی صفحه ای 3-RRR

با توجه به موقیت نقطه c در راس مثلث صفحه متحرک می توان نوشت

|  |  |
| --- | --- |
| (1) |  |

تحلیل را با استفاده از سینماتیک معکوس انجام می دهیم یعنی با معلوم بودن مجرای نهایی یعنی p= T زاویه دوران عملگرها را بدست می آوریم.

برای این کار ابتدا طول لینک L2=BiCi را برای هر کدام از 3 عضو در نظر گرفته :

|  |  |
| --- | --- |
| (2) |  |
| (3) |  |

از رابطه فوق زاویه لینک عملگر یعنی بدست می آید. این مقدار به عنوان متغیر مفصلی در نظر گرفته می شود.

2-2- محاسبه ماتریس ژاکوبی روبات موازی صفحه ای 3-RRR

ماتریس ژاکوبی ارتباط بین سرعت دکارتی مجری نهایی و بردار سرعت متغییرهای مفصلی را مشخص می سازد.

اگر از رابطه (3) نسبت به زمان مشتق گیری انجام شود و بردار سرعت مجری نهایی را بصورت : و بردار فضای سرعتهای مفصلی را بصورت نشان دهیم، بعد از ساده کردن و فاکتورگیری از عبارات مسئله بصورت زیر خلاصه می شود:

|  |  |
| --- | --- |
| (4) |  |
| (5) |  |
| (6) |  |

در رابطه فوق J ماتریس ژاوبی روبات می باشد.

از ماتریس ژاکوبی در ادامه برای ارزیابی شاخص برتری جهتی روبات استفاده می شود.

3- معرفی روبات موازی صفحه ای 3-RRP

روبات موازی صفحه ای 3 درجه آزادی 3RRP شامل یک صفحه ثابت و یک صفحه متحرک می باشد که یک عضو کشوئی و دو عضو دورانی دارد که توسط عضو محرک به پایه متصل شده اند. درشکل (2) پارامترهای هندسی این روبات را معرفی شده اند. لینهای عملگر Li گشتاور ورودی را از موتورها دریافت نموده و توسط عملگر کشویی غیر فعال di حرکت را به صفحه متحرک منتقل می سازند.



**Fig. 2 The geometrical parameter of 3RRP robot**

شکل2- پارامترهای روبات 3RRP

پارامترهای هندسی مورد استفاده در روبات 3RRP

طول رابط های محرک: Li

زاویه بازوی محرک با امتداد مثبت محور زاویه x ها : iѲ

طول رابط های کشویی ارتباط دهنده با صفحه متحرک :di

طول ضلع صفحه متحرک: d

زاویه چرخش صفحه متحرک : φ

بردار موقعیت مجری نهایی در نقطه p : p (x , y)

3-1 تحلیل سینماتیک معکوس روبات موازی صفحه ای 3-RRP

فرض میگیریم صفحه متحرک را بصورت مثلث متساوی الاضلاع با طول اضلاع C1 و C2 و C3 باشد.

برای ساده تر شدن مسئله طول بازوی تمامی لینکهای محرک را برابر L و طول لینکهای ارتباط دهنده را مساوی di در نظر می گیریم.

مرجع مختصات ثابت را در مرکز هندسی صفحه ثابت و مرجع متحرک مجری نهایی را در مرکز هندسی صفحه متحرک قرار می دهیم.

در تحلیل سینماتیکی برای اینه طول عضو کشویی غیر فعال در روابط ظاهر نشود روابط بر اساس مختصات دو انتهای عضو غیر فعال PBi  نوشته می شوند.

مختصات نقطه Bi بصورت زیر است:

|  |  |
| --- | --- |
| (7) |  |

همچنین اگر این مختصات را از نقطه P یعنی مجری نهایی بنویسیم خواهیم داشت:

|  |  |
| --- | --- |
| (8) |  |

با مساوی قرار دادن روابط فوق و حذف di مقادیر ها بدست می آید. معمولا در این گونه مسایل روابط نهایی بصورت یک معادله مثلثاتی مرتبه اول در می آیند.

|  |  |
| --- | --- |
| (9) |  |
| (10) |  |
| (11) |  |

به همین شکل عضو دوم و سوم محاسبه می شود.

2-3-محاسبه ماتریس ژاکوبین صفحه ای موازی 3-RRP

اگر از روابط (7) و (8) نسبت به زمان مشتق گیری انجام شود و بردار سرعت مجری نهایی را بصورت : و بردار فضای سرعتهای مفصلی را بصورت نشان دهیم، بعد از ساده کردن و فاکتورگیری از عبارات مسئله بصورت زیر خلاصه می شود:

|  |  |
| --- | --- |
| (12) |  |
| (13) |  |
| (14) |  |

در رابطه فوق J ماتریس ژاکوبی روبات می باشد.

از ماتریس ژاکوبی در ادامه برای ارزیابی شاخص برتری جهتی روبات استفاده می شود.

4-شاخص دقت برتری جهتی (KAIT)

گاهی کارایی روبات دریک نقطه ویا درتمام فضای کاری به گونه ای بررسی شده است که شاخص های مانند (چالاکی ،تحریک پذیری و...)دران به صورت همسانگرد ودر تمام جهات یکسان می باشد،ولی مواردی پیش می اید که ما فقط می خواهیم دریک یا چند جهتی خاص شاخص دارای حداکثر مقدار خود باشد ودر بقیه جهات اهمیت نداشته باشد مثلا روباتی که برای جابه جا کردن قطعات مورد استفاده قرار می گیرد ،نقاط اعمال نیرو در جهت جابه جایی عمود بران قابل اهمیت است،کای [10] نشان دادکه برای یک بازو سریالی دو درجه ازادی با در نظر گرفتن حرکت روبات دریک جهت معین ،که شاخص های مانند( عددشرط،تحریک پذیری چالاکی و...) مقدار معین نشان می دهند اگر ازشاخص KAIT استفاده ودقت سینماتیک را در جهات مختلف با هم مقایسه کنیم مقادیر مختلف به دست می اید،که این شاخص شاخص دقت برتری جهتی معرفی گردید.

اگر xd بردار سرعت مچ در یک راستای معین و ud بردار یکه در آن امتداد باشد و بخواهیم دقت روبات را در امتدادی معین تعیین کنیم با فر اینکه بردار یکه این امتداد را که هدف دقت روبات در این جهت است را با مشخص کنیم شاخص دقت برتری جهتی به صورت زیر تعریف می شود.

|  |  |
| --- | --- |
| (15) |  |
| (16) |  |
| (17) |  |

در این تحقیق بعد از تعیین ماتریس ژاکوبی در دو نوع روبات، شاخص فوق را با در نظر گرفتن حرکت در جهات x و y و بررسی دقت جهتی در راستای عمود بر آن و در راستای 45 درجه انجام داده ایم.

محدوده حرکتی روبات به ازای -50mm<x<50mm و -50mm<y<50mm لحاظ شده است.

همانگونه که در نمودارها مشاهده می شود این دو روبات در نقاط مختلف و در راستاهای گوناگون ،مقادیر مختلفی از شاخص را نشان می دهند.

**5- نتیجه گیری**

اگر از شاخصهای کلی که بصورت گلوبال تعریف می شوند برای محاسبه دقت روباتهای صفحه ای استفاده شود نمی توان آنرا برای جهات مختلف تعمیم داد در صورتی که با استفاده از شاخ KAIT که تاکنون در ارزیابی بسیاری از روباتها استفاده نشده، می توان نتایج قابل قبولتری بدست آورد. مقایسه این شاخص برای دونوع روبات 3RRR و 3RRP در مسیرهای یکسان و دقت برتری جهتی هر کدام محاسبه شد. نتایج برتری روبات 3RRR را در مسیرهای مستقیم با در نظر گرفتن دقت در راستای عمود بر حرکت را نشان می د هد.



**Fig.3Comparison of directional accuracy when moving along x and precision along y directions for two planar robots.**

شکل 3-مقایسه دقت جهتی در هنگام حرکت در راستای x و دقت درراستای y برای دو نوع روبات صفحه ای



**Fig.4 Comparison of directional accuracy when moving along y and precision along x directions for two planar robots.**

شکل 4-مقایسه دقت جهتی در هنگام حرکت در راستای y و دقت درراستای x برای دو نوع روبات صفحه ای



**Fig.5 Comparison of directional accuracy when moving along y and precision along 45 deg. for two planar robots.**

شکل 5-مقایسه دقت جهتی در هنگام حرکت در راستای y و دقت درراستای زاویه 45 نسبت به افق برای دو نوع روبات صفحه ای



**Fig.6 Comparison of directional accuracy when moving along x and precision along 45 deg. for two planar robots.**

شکل 6-مقایسه دقت جهتی در هنگام حرکت در راستای x و دقت درراستای زاویه 45 نسبت به افق برای دو نوع روبات صفحه ای

**6-مراجع**

1. Angeles, J. The Design of Isotropic Manipulator Architectures in the Presence of Redundancies. The international journal of Robotics Res. Vol 11, No.3, June1992.
2. Gosselin, C., Angeles, J., The Optimum Kinematic Design of a planar three -Degree-of- freedom. Parallel Manipulator. ASME J. Mech. Des, 110, pp.35-41.1999.
3. Gosselin, C., Angeles, J. The Optimum Kinematic Design of a Spherical three -Degree-of- freedom. Parallel Manipulator. ASME J. Mech. Des, 111, pp.202-207, 1999.
4. Kong, X, Gosselin, C.M. Forward displacement analysis of third-class analytic 3-RPR planar parallel manipulator. Mechanism. And machine theory. 36 pp 1009-1018, 2001.
5. Gosselin, C.M. Type Synthesis of Parallel Mechanisms. Springer. www.springer. Com., 2007.
6. Tsai, L.W., Kinematics and Optimization of a spatial 3-upu parallel Manipulator. ASME J. Mech, Des, 122, PP. 439-446.,2000.
7. Tsai, L. W, Mechanism Design, CRC Press. 2001.
8. Merlet, J.P, Parallel Robot, Springerwww.springer. Com. 2006.
9. Raxotomanga, N. Chablat, D. Caro, S. Kinetostatic Performance of a planar parallel Mechanism with variable Actuation, Springer, Advances in Robot Kinematic, Analysis and Des. PP 311-320, 2008.
10. Kai,Y, Evalution of manipulatora based on a kinematic accuracy index considering task-direction , Proc,of 5th int. conf. on Automation, Robotics and Applications, pp238-243, 2011.