

بهینه‌وزن ربات با فضای کاری مشخص

مهندس داود نادری

مربی گروه مهندسی مکانیک دانشگاه بوعلی سینا

دکتر حسن ظهور

دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شریف

چکیده:

یک ربات شش درجه آزادی در نظر گرفته شده و به وسیله کامپیوتر و ترسیم، فضای کاری این ربات تعیین می‌گردد و با مشخص کردن متغیرهای موثر در حجم فضای کاری و برحسب متغیرهای موجود حجم این فضا محاسبه می‌شود. با تعیین مقطع بهینه برای باز و بدنه ربات و با ثابت نگه داشتن حجم فضای کاری، وزن ربات توسط یک روش بهینه‌یابی، بهینه می‌گردد. در این مطالعه وزن اتصالات ثابت و سرعت و شتاب ربات ناچیز فرض شده به قسمتی که در تحلیل نیروها، از اثر نیروهای دینامیکی صرف‌نظر شده است.

Weight Optimization of a Six-Degree Freedom Robot for a Given Working Space

D. Naderi, M.Sc.

Mech. Eng. Dept. of Boualisina Univ., Hamedan, IRAN

&

H. Zohoor, Ph.D

Mech. Eng. Dept. of Sharif Univ. of Tech., Tehran, IRAN

ABSTRACT

Working space of a six-degree freedom robot has been obtained as a function of arm and body dimensions. Cross sections of arm and body of the mentioned robot for a constant working space has been optimized, and the optimum weight of that robot has also been obtained.

In this original manuscript, weights of all joints have been assumed as constant numbers and the inertia forces in force analysis are neglected.

۱- مقدمه:

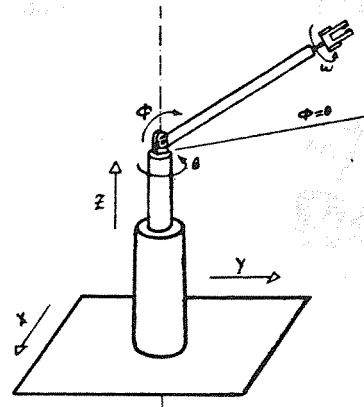
ربات به منظور کاستن از توان مصرفی برای حرکت ربات مورد توجه است. بنا بر این بهینه کردن وزن ربات در فضای کاری مشخص پاسخگوی هر دو مورد فوق بوده و تلفیقی از دو زمینه جدید بهینه‌یابی و صنعت رباتها می‌باشد.

۲- روش حل:

بدست آوردن شکل فضای کاری و تعیین وجود دو نوع حفره‌های

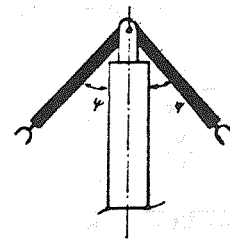
با توجه به کاربرد موفق رباتها در صنعت، آنها از اهمیت خاص برخوردار شده‌اند و در نتیجه پرداختن به موضوع‌هایی از قبیل طرح، ساخت، نصب و بهره‌برداری از رباتها از موضوعات جدید و پر دامنه علم و تکنولوژی می‌باشد. یکی از مسائل مهمی که در طرح و ساخت و همچنین در نصب و بهره‌برداری از رباتها باید در نظر گرفته شود فضای عملکرد یا فضای کاری ربات است. فضای کاری ربات مکان هندسی مرکز پنجه در کلیه حالات ممکن است. همچنین کاهش وزن

مرکزی: ربات مورد نظر دارای شش درجه آزادی، مطابق شکل (۱) می باشد.



شکل (۱)

در چرخش در حول محوری است که از مرکز پنجه ربات می گذرد و در نتیجه با تغییرات زاویه θ موقعیت مرکز پنجه تغییر نخواهد کرد و با توجه به این که فضای کاری به صورت مکان هندسی مرکز پنجه در کلیه حالات ممکن تعریف شده است، می توان نتیجه گرفت که درجه آزادی دورانی θ در فضای کاری موثر نیست. همچنین حدود تغییرات درجه آزادی θ به هر میزان که باشد ایجاب می کند که بدنه ربات از تقارن کامل برخوردار باشد. در نتیجه درجه آزادی θ تاثیری در تابع وزن ندارد و چون طرح مقطع بازو به ازای مقادیر متفاوت ϕ مستلزم صرف وقت کامپیوتری بسیار زیادی است، مقطع بازو در $\phi = 0$ طرح شده و با تغییرات ϕ شکل مقطع ثابت در نظر گرفته خواهد شد. با این روش تابع وزن مستقل از متغیر ϕ می گردد. در نتیجه حدود درجات آزادی θ و ϕ به صورتی انتخاب می شود که بتوان بزرگترین فضای کاری ممکن را به دست آورد. محدوده تغییرات θ بین صفر تا 360 درجه و محدوده تغییرات ϕ با توجه به محدودیت های ساخت مطابق شکل (۲) انتخاب گردیده است، به عبارت دیگر زاویه ϕ از $(90 - \Psi)$ تا 90 درجه تغییر می کند.



شکل (۲)

متغیرهای موثر در تعیین فضای کاری ربات سه متغیر \bar{x} و \bar{y} و \bar{z} و طول بازوی ربات L می باشد که \bar{x} و \bar{y} و \bar{z} کورس حرکتی درجات آزادی x و y و z هستند. جهت تعیین شکل فضای کاری، ابتدا در مقاطع مختلف فضای کاری، ربات بصورت یک مکانیزم صفحه ای فرض می گردد. سپس در این حالت نقطه ای که مرکز پنجه می تواند اشغال کند توسط کامپیوتر بدست می آید. به این نکته باید توجه داشت، نقطه ای را که مرکز پنجه در یک مقطع نتوانسته است اشغال کند ممکن است ربات در مقاطع دیگر به آن دسترسی پیدا کند. نتایج بدست آمده توسط کامپیوتر با اشکال ترسیم شده مطابقت داده شده و در نتیجه چهار حالت زیر مشخص گردید.

$$\begin{cases} 1) \text{ اگر } M/2 < L \sin \Psi : \bar{z} > \sqrt{L^2 - (M/2)^2} + L \cos \Psi \\ 2) \text{ اگر } M/2 > L \sin \Psi : \bar{z} > 2\sqrt{L^2 - (M/2)^2}, 2L > \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} > 2L \sin \Psi \\ \bar{z} > \sqrt{L^2 - (M/2)^2} + L \cos \Psi, \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} < 2L \sin \Psi \end{cases}$$

$$\begin{cases} 3) \text{ اگر } M/2 < L \sin \Psi : \bar{z} < \sqrt{L^2 - (M/2)^2} + L \cos \Psi \\ 4) \text{ اگر } M/2 > L \sin \Psi : \bar{z} < \sqrt{L^2 - (M/2)^2}, 2L > \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} > 2L \sin \Psi \\ \bar{z} < \sqrt{L^2 - (M/2)^2} + L \cos \Psi, \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} < 2L \sin \Psi \end{cases}$$

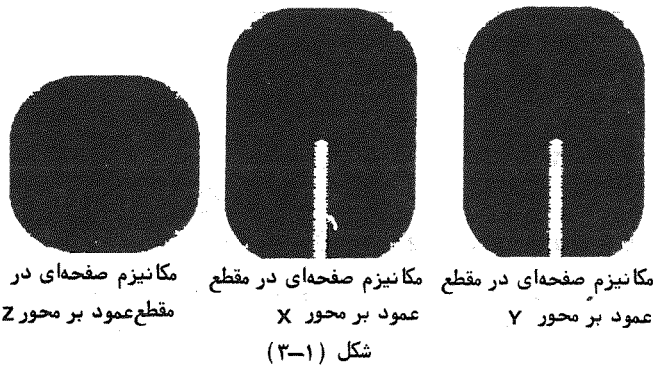
و در حالات فوق M بصورت زیر تعریف شده است.

$$\begin{aligned} \text{IF } \bar{x} > \bar{y} : M &= \bar{x} \\ \text{IF } \bar{x} < \bar{y} : M &= \bar{y} \end{aligned}$$

اگر $\sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} > 2L$ باشد بدون این که شرطی برای \bar{z} قائل شویم، فضای کاری بدون حفره مرکزی خواهد بود.

توضیحات:

- حالت ۱- در فضای کاری هیچ حفره ای وجود ندارد.
 - حالت ۲- در فضای کاری یک حفره مرکزی باز وجود خواهد داشت.
 - حالت ۳- در فضای کاری یک حفره مرکزی بسته وجود خواهد داشت.
 - حالت ۴- فضای کاری دارای دو حفره^۹ در حالات ۲ و ۳ خواهد بود.
- در شکل های (۳-۱)، (۳-۲)، (۳-۳) و (۳-۴) مقاطع مختلف فضای کاری در چهار حالت فوق نشان داده شده است.



شکل (۳-۱)

قطر داخلی آن بهینه‌یابی می‌شود. در این برنامه کمانش موضعی توسط رابطه زیر بررسی می‌گردد:

$$\sigma_{cr} = 1/h (N_0 + N_1) = Eh / (a\sqrt{3(1-\nu^2)})$$

a = شعاع استوانه

N_1/h = حداکثر تنش بر اثر خمش

N_0/h = تنش محوری

h = ضخامت جداره

در انتهای برنامه با توجه به \bar{Z} مشخص شده، وزن بدنه ربات تعیین می‌گردد.

۶- نتیجه‌گیری، بهینه‌یابی وزن ربات:

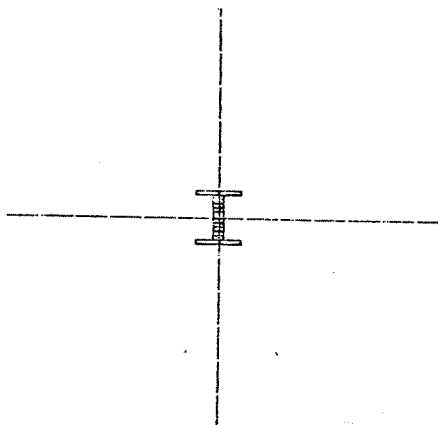
با استفاده از برنامه بهینه‌یابی پی‌کن (PCon) (۳) و برنامه‌های نوشته شده به صورت برنامه‌های فرعی، وزن ربات بهینه گردید و مقاطع بازو و بدنه ربات توسط کامپیوتر رسم شد. در شکل‌های (۱-۶)، (۲-۶)، (۳-۶) و (۴-۶) دو مقطع بازو و بدنه ربات نشان داده شده است.

$$L_1 = 5 \text{ Cm} \quad T = 1 \text{ Cm}$$

$$L_2 = L_3 = L_4 = L_5 = L_6 = 1 \text{ Cm}$$

$$1/\beta = 13.817$$

$$I_{min} = 0.0036 \text{ Cm}^4 \quad I_{max} = 0.0211$$



WEIGHT OPTIMAL CROSS SECTION AT THE TIP OF THE ARM OF ROBOT

مقطع بهینه شده از نظر وزن، مربوط است به سر بازوی ربات

شکل (۱-۶)

به‌سادگی می‌توان ثابت کرد که مقطعی با ضریب تشابه B نسبت

$$B = \sqrt[3]{M'/M_{max}}$$

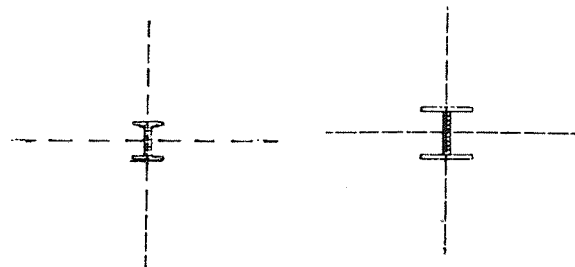
به مقطع به‌دست‌آمده می‌تواند گشتاور M' را تحمل کند و تنش حداکثر در مقطع مساوی با σ_{a11} است. بدین ترتیب کلیه مقاطعی که I/C ثابت دارند مشخص می‌شود. با مقایسه مساحت این مقاطع می‌توان مقطع بهینه را انتخاب کرد.

برای تعیین مقاطع مختلف بازو به ترتیب زیر عمل می‌شود.

- ۴-۱. با گشتاور $M = (W_E + W_M) \cdot A$ مقطع ابتدای بازو ربات به‌دست می‌آید (وزن پنجه W_E ، بار حداکثر W_M).
- ۴-۲. با همین مقطع در طول ΔL وزن بازو در طول ΔL محاسبه شده و گشتاور وزن M_{W1} در مقطع ΔL به‌دست می‌آید.
- ۴-۳. با گشتاور $M_2 = M + M_{W1}$ مقطع بازو در ΔL بهینه می‌شود (M گشتاور حاصل از وزن پنجه و بار حداکثر است).

۴-۴. سپس با مقطع به‌دست‌آمده مجدداً "وزن بازو در طول ΔL محاسبه می‌شود و با مشخص شدن M_{W2} در این حالت مقطع بازو در ΔL بهینه می‌شود. این عمل تکرار می‌شود تا خطای دو مقطع به‌دست آمده متوالی کمتر از $46/1000$ گردد (برای تعیین خطا، مساحت مقاطع با هم مقایسه می‌شود).

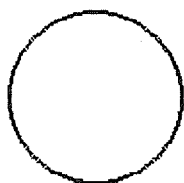
بر این اساس برنامه‌های نوشته شده است که مقاطع مختلف بازو را طرح و رسم می‌نماید و در انتها به‌ازای طول داده شده برای بازو، وزن بازو را مشخص می‌سازد. شکل (۵) مقاطع رسم شده توسط کامپیوتر را نشان می‌دهد.



شکل (۵)

۵- مشخص کردن بهینه وزنی بدنه ربات:

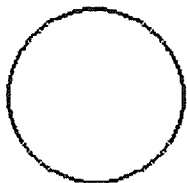
بازوی ربات با زاویه‌های معادل 360° درجه حول محور مرکزی بدنه می‌چرخد (بدنه باید تقارن محوری کامل داشته باشد) و بدنه به صورت دو استوانه در نظر گرفته شده که به صورت تلسکوپی داخل یکدیگر کار می‌کند. اگر حداکثر درگیری دو استوانه ME باشد طول کل بدنه معادل $H = 2\bar{Z} + ME$ خواهد بود. برای به‌دست‌آوردن مقطع بهینه وزنی بدنه ربات برنامه کامپیوتری نوشته شد که اشکال مختلف را ایجاد می‌کند و با بررسی تنش و کمانش، مقطع قطعه بزرگتر را مشخص می‌نماید. با مشخص شدن مقطع قطعه بزرگتر، قطر خارجی قطعه کوچکتر تعیین و



1- WEIGHT OPTIMAL CROSS SECTION OF BODY OF THE ROBOT SMALL PART

مقطع بهینه شده از نظر وزن و مربوط است به قطعه کوچک بدنه ربات .

شکل (۶-۳)



2- WEIGHT OPTIMAL CROSS SECTION OF BODY OF THE ROBOT LARGE PART

مقطع بهینه شده از نظر وزن و مربوط است به قطعه بزرگ بدنه ربات .

شکل (۶-۴)

1- RO = 14.209 mm RI = 13.909 mm

2- RO = 14.608 mm RI = 14.209 mm

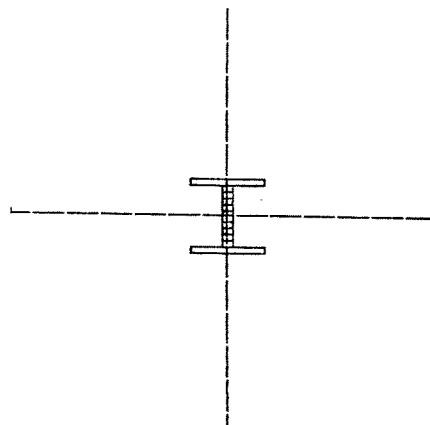
$$L1 = 6 \text{ Cm} \quad T = 1 \text{ Cm}$$

$$L2 = L3 = L4 = L5 = L6 = 1 \text{ Cm}$$

$$1/\beta = 9.9007$$

$$I_{\min} = 0.023 \text{ cm}^4$$

$$I_{\max} = 0.0927 \text{ cm}^4$$



WEIGHT OPTIMAL CROSS SECTION AT THE END OF THE ARM OF THE ROBOT

مقطع بهینه شده از نظر وزن مربوط است به انتهای بازوی ربات .

شکل (۶-۲)

منابع :

1. Aleksander, Igor; "Computing Techniques" London, 1985.
2. Dundy, Alan; "Catalogue of Artificial Intelligence Tools" Springer Verlag, 1986.
3. C.H.Suh; C.W. Radcliffe; "Kinematics and Mechanisms Design" John Wiley & Sons, 1978.
4. Cutkosky, Mark R. ; "Robotic Grasping and Fine Manipulation" Boston, Kluwer, 1985.
5. Engineering Index 74, . . . , 85.
6. E.P. Popov; "Modern Robot Engineering" Moscow, Mir, 1982.
7. Engelberger, Joseph; "Robotic in Practice, Management and Applications of Industrial Robots".
8. Erik, Oberg; Franklin, D. Jones; Holbrook, L. Horton; "Machinery's Handbook" Industrial Press INC. New-York, 1984.
9. Hartley, John; "Robot at Work" Amsterdam, Northland Pub., 1983.
10. The Japan Industrial Robot Association; "Robot Industry".
11. Kuester, James L. ; "Optimization Techniques with Fortran".
12. Koren, Yorm; "Industrial Robots" London, McGraw-Hill, 1983.
13. Micheal, Parent & Claude, Laugeau; "Robot Technology" Hermes Publishing.
Vol - 1: "Robot Components and Systems"
Vol - 2: "Theory and Practice of Robots and Manipulators"
Vol - 3: "An Introduction Robot Technology"
Vol - 4: "Decision and Intelligence"
Vol - 5: "Modelling and Control"
14. Synder, Wesley; "Industrial Robots" Prentice Hall, 1985.
15. Stephen, P. Timoshenko; "Theory of Elastic Stability".
16. Young, John Frederick; "Robotic".
17. YU. Kozyrev; "Industrial Robots Handbook" Mir Publishers, Moscow, 1985.

