



طراحی بهینه چند هدفی مکانیزم پنجه ربات با استفاده از روش تکامل دیفرانسیلی با الگوریتم تنوع یکنواخت

علی جمالی^{1*}، ایمان غلامی نژاد²

1- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه گیلان، رشت
2- دانشجوی لیسانس، مهندسی مکانیک، دانشگاه گیلان، رشت
* رشت، صندوق پستی: 3756، ali.jamali@guilan.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل
دریافت: 28 اسفند 1392
پذیرش: 09 اردیبهشت 1393
ارائه در سایت: 08 مهر 1393

کلید واژگان:
تکامل دیفرانسیلی
بهینه سازی چند هدفی
پنجه ربات
مکانیزم

چکیده

در این مقاله یک الگوریتم بهینه سازی چند هدفی براساس روش تکامل دیفرانسیلی با حفظ گوناگونی و فاصله یکنواخت نقاط بهینه پرتو ارایه شده است. در الگوریتم پیشنهادی برای حفظ تنوع و پراکندگی نقاط پارتو بدست آمده از بهینه سازی چند هدفی، زیر برنامه تنوع یکنواخت مورد استفاده قرار گرفته است. این عملگر با مقایسه دو کروموزوم، در صورتیکه فاصله آنها از یک مقدار حدی هم در فضای متغیرهای طراحی و هم در فضای توابع هدف کوچکتر باشند، یکی از آنها را حذف می کند، که باعث حذف کروموزوم های مشابه از جمعیت خواهد شد. از الگوریتم پیشنهادی برای بهینه سازی دو مکانیزم متفاوت برای پنجه ربات استفاده شده است. توابع هدف در نظر گرفته شده برای بهینه سازی مکانیزم پنجه ربات اختلاف بیشترین و کمترین نیروی پنجه و نرخ انتقال قدرت بین نیروی محرک و نیروی سر پنجه می باشند. منحنی پارتو شامل نقاط غیر برتر برای هر مکانیزم ارائه می شود و نقطه مصالحه طراحی از بین نقاط پارتو پیشنهاد می شود. ابعاد هندسی دو مکانیزم به عنوان متغیرهای طراحی در نظر گرفته شده اند و توسط الگوریتم بهینه سازی چند هدفی برای عملکرد بهینه مکانیزم از دید توابع هدف انتخاب می شوند. با مقایسه عملکرد مکانیزم های مورد بررسی مکانیزم بهینه انتخاب می شود. مقایسه نتایج با تحقیقات قبلی نشان دهنده بهبود قابل توجهی در توابع هدف می باشد.

Multi-objective optimum design of gripper mechanism using uniform diversity differential evolution

Ali Jamali^{1*}, Iman Gholaminezhad²

1- Department of Mechanical engineering, University of Guilan, Rasht, Iran

2- Department of Mechanical engineering, University of Guilan, Rasht, Iran

* P.O.B. 3756 Rasht, Iran, ali.jamali@guilan.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
Received 19 March 2014
Accepted 29 April 2014
Available Online 30 September 2014

Keywords:
Differential evolution
multi-objective optimization
robot
gripper
mechanism

ABSTRACT

In this paper, a new multi-objective differential evolution with a diversity preserving mechanism called the ϵ -elimination algorithms is used for the Pareto optimum design of gripper mechanisms. The ϵ -elimination diversity is used to improve the population diversity among the obtained Pareto front. In the ϵ -elimination diversity approach based on a threshold value all the clones or ϵ -similar individuals are recognized and simply removed from the current population. It should be noted that such ϵ -similarity must exist both in the space of objectives and in the space of the associated design variables. The proposed algorithm has been used for two different configuration of robot's gripper. The dimensions of mechanisms are considered as design variables and optimally selected by proposed algorithm to improve the efficiency of gripper mechanism. Two conflicting objectives which are the difference between maximum and minimum gripping forces and the transmission ratio of actuated and experienced gripper forces, are considered for Pareto optimization. The best configuration of gripper mechanism is suggested by comparing of trade-off design points. The comparisons of the obtained Pareto front using the method of this paper with those obtained in other references shows a significant improvement.

1- مقدمه

بخشی را در چنین مسائل پیچیده ای ارائه کنند. با افزایش قدرت رایانه ها، الگوریتم های تکاملی با انعطاف پذیری بالا و ساختار ساده تر و کاهش حجم محاسبات و همچنین عدم نیاز به آشنایی با فضای جستجو، به عنوان یک راه حل جایگزین برای حل چنین مسائلی استفاده می شوند. یکی از روش های که اخیراً مورد توجه قرار گرفته است روش تکامل دیفرانسیلی است که توسط استورن و پرایس پیشنهاد شده [1]، تکامل دیفرانسیلی یک الگوریتم

در سال های اخیر بهینه سازی تکاملی چند هدفی به منظور حل مسائل مهندسی مورد توجه محققین قرار گرفته است. زیرا در اغلب مسائل مهندسی چندین تابع هدف وجود دارند که با همدیگر در تضادند و بهبود در یکی از آنها باعث بدتر شدن تابع (توابع) هدف دیگر می شود. اغلب موارد، روش های بهینه سازی مرسوم (نظیر روش های مبتنی بر مشتق) نمی توانند پاسخ رضایت

Please cite this article using:

A. Jamali, I. Gholaminezhad, Multi-objective optimum design of gripper mechanism using uniform diversity differential evolution, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 11, pp. 204-208, 2014 (In Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

است.

الف) الگوریتم ابتدا با تولید تصادفی NP جمعیت اولیه شروع به کار می‌کند. مجموعه جمعیت‌های تولید شده در ماتریس P_t ذخیره می‌شوند (t نشان دهند شماره نسل یا تکرار است).

ب) با استفاده از عملگر جهش جمعیت‌های جدیدی تولید می‌شوند. عملگر جهش دو کروموزوم تصادفی را انتخاب می‌کند و آنها را به صورت رابطه (1) ترکیب می‌کند [1].

$$V_{i,j,t+1} = X_B + F(X_{r1} - X_{r2}) \quad (1)$$

$$X_r: r \in [1, 2, \dots, NP]$$

که در آن V بردار جدید تولید شده، X_B بهترین کروموزوم در نسل مورد نظر است که به صورت تصادفی از جبهه اول انتخاب می‌شود، و F ضریب جهش است که عددی در بازه صفر و یک انتخاب می‌شود [1]. ضریب F در حقیقت کنترل کننده نرخ تغییرات اعمال شده در جمعیت است.

ج) جمعیت‌های جدیدی با استفاده عملگر پیوند به صورت رابطه (2)، تولید می‌شوند (Q_t)

$$V_{j,i,t+1} = \begin{cases} V_{j,i,t+1} & \text{به شرط } r \leq CR \text{ یا } j = I_r \\ x_{j,i,t} & \text{به شرط } r \geq CR \text{ یا } j \neq I_r \end{cases} \quad (2)$$

که در آن I_r عددی تصادفی و صحیح در بازه $[1, 2, \dots, D]$ است (D تعداد متغیرهای طراحی است). CR احتمال پیوند است.

د) کلیه جمعیت‌های تولید شده با هم ترکیب شده و با استفاده از عملگر تنوع یکنواخت جمعیت‌های نزدیک به هم از مجموع حذف می‌شوند. توضیحات کامل درباره این عملگر در منابع [10-12] قابل دسترسی است. این عملگر با مقایسه دو کروموزوم، در صورتی که فاصله آنها از یک مقدار حدی ϵ هم در فضای متغیرهای طراحی و هم در فضای توابع هدف کوچکتر باشند، یکی از آنها را حذف می‌کند. با این عملگر کلیه کروموزوم‌های مشابه از جمعیت حذف خواهند شد.

ه) به تعداد کروموزوم‌های حذف شده یا استفاده از عملگر تنوع یکنواخت، کروموزوم‌های تصادفی جدیدی به مجموعه اضافه می‌شود. با استفاده از این کروموزوم‌های جدید فضای جستجو بهتر کاوش می‌شود.

و) کلیه جمعیت‌ها تولید شده در مراحل قبلی با هم ترکیب شده و جبهه بندی³ می‌شوند. به منظور عدم افزایش تعداد کروموزوم‌های اولیه با استفاده از عملگر تنوع یکنواخت کروموزوم‌های اضافی حذف می‌شوند. برای حذف جمعیت‌های اضافی الگوریتم با یک مقدار حدی اولیه (ϵ) شروع به کار می‌کند. اگر تعداد جمعیت‌های حذف شده بیشتر از تعداد مورد نظر بود، مقدار حدی کاهش می‌یابد، و در صورتی که کمتر بود این مقدار افزایش می‌یابد تا تعداد بیشتری از جمعیت‌ها حذف شوند. این عمل تا جایی تکرار می‌شود که تعداد باقی مانده جمعیت به تعداد NP برسد.

ز) جمعیت انتخاب شده جایگزین جمعیت اولیه می‌شود و این مراحل تا تعداد تکرار مورد نیاز انجام می‌شود. در نسل آخر جبهه اول به عنوان جواب مساله خواهد بود. شکل شماتیکی از الگوریتم پیشنهادی در شکل 1 مشاهده می‌شود.

3- بهینه‌سازی چند هدفی مکانیزم پنجه ربات

در این بخش از الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفی ارایه شده در قسمت قبل برای بهینه‌سازی چند هدفی دو مکانیزم متفاوت برای پنجه ربات استفاده شده است.

جستجوی احتمالاتی موثر براساس جمعیت است. این الگوریتم تکامل تدریجی از مقادیر واقعی (به جای کد شده) متغیرهای طراحی برای کاوش فضای جستجو استفاده می‌کند. به دلیل قدرت بالای این الگوریتم در حصول نقاط بهینه جهانی به طور وسیع و موفق در مسائل مختلف بهینه‌سازی توسط محققین مورد استفاده قرار گرفته است [2,3]. تکامل دیفرانسیلی به صورت گسترده‌ای در مسایل چند هدفی، غیرخطی، چند متغیره و ... مورد استفاده قرار گرفته است.

از جمله مسائلی که لزوم بهینه‌سازی چند هدفی در طراحی آن احساس می‌شود، مکانیزم پنجه ربات⁴ است، زیرا این مکانیزم باید از دید چندین تابع هدف نظیر توان، نیرو و ... عملکرد بهینه داشته باشد. اهمیت وظیفه یک مکانیزم پنجه ربات در صنعت امروز محسوس است. با توسعه اتوماسیون در صنعت، پنجه‌ها به یک موضوع مهم در دنیای ربات‌ها تبدیل شده اند. برای اولین بار با الهام از دست انسان، ربات‌های پنجه‌دار طراحی شدند [4,5]. مکانیزم حرکت یک پنجه می‌تواند هیدرولیکی، الکتریکی یا بادی باشد. تاکنون مطالعات زیادی در مورد طراحی پنجه ربات صورت گرفته است. کاتکوسکی، مطالعاتی در مورد انتخاب مدل‌سازی و طراحی مکانیزم پنجه و توسعه یک سیستم متخصص برای حل مسائل مربوط به پنجه‌ها پیشنهاد کرده است [6]. ازیسچکا از بهینه‌سازی چند هدفی برای طراحی پنجه ربات‌ها استفاده کرده و مسائل متنوع پنجه‌ها را با پیکربندی‌های مختلف مورد بررسی قرار داد [7]. کابرا برای بهینه‌سازی تلفیق مکانیزم‌ها در دو بازوی هم صفحه الگوریتم تکاملی را مورد استفاده قرار داده است [8]. مطالعه‌ی دیگر توسط لانی بر مبنای طراحی بهینه‌ی یک مکانیزم پنجه ربات دو انگشتی با استفاده از فرمول‌بندی‌های چند هدفه با در نظر گرفتن تأثیرات ابعاد، شتاب و سرعت ارائه شده است [9].

در این مقاله از روش تکامل دیفرانسیلی چند هدفه با الگوریتم حفظ تنوع به منظور طراحی بهینه دو مکانیزم متفاوت برای پنجه ربات استفاده شده است. همچنین الگوریتم تنوع یکنواخت به منظور بهبود بخشیدن پراکندگی جمعیت در نمودار پارتو بدست آمده استفاده شده است. این الگوریتم اولین بار توسط برخی نویسندگان در [10-12] معرفی شده است. توابع هدف در نظر گرفته شده برای بهینه‌سازی چند هدفی شامل اختلاف بیشترین و کمترین نیروی پنجه و نرخ انتقال قدرت بین نیروی محرک و نیروی سر پنجه می‌باشد. منحنی پارتو شامل نقاط غیر برتر برای هر دو مکانیزم ارائه می‌شوند. با مقایسه عملکرد مکانیزم‌های مورد بررسی مکانیزم بهینه انتخاب می‌شود مقایسه‌ی نتایج با تحقیقات قبلی نشان دهنده برتری نتایج کار حاصل می‌باشد.

2- الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفی براساس روش تکامل دیفرانسیلی

در این مقاله از الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفی بر پایه عملگرهای تکامل دیفرانسیلی برای طراحی بهینه پنجه‌ربات استفاده می‌شود. در حقیقت اساس الگوریتم پیشنهادی بر اساس الگوریتمی است که برخی از نویسندگان در سال 2008 به نام الگوریتم MUGA² پیشنهاد داده‌اند. اساس کار الگوریتم MUGA بر پایه عملگرهای الگوریتم ژنتیک استوار بود [10-12]. در سالیان اخیر محققین زیادی نشان داده‌اند که روش تکامل دیفرانسیلی توانایی بیشتری در جستجوی فضای جستجو نسبت به الگوریتم ژنتیک دارد [13,14]. به همین دلیل در این مقاله الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفی بر پایه عملگرهای روش تکامل دیفرانسیلی ارایه شده است. اساس کار این الگوریتم به صورت زیر

1- Robot's gripper

2- Multi-objective Uniform-diversity Genetic Algorithm

3-1- طراحی بهینه مکانیزم اول

در شکل 2 مکانیزم اول پنجه ربات به همراه پارامترهای هندسی مشخص کننده آن مشاهده می‌شود. هدف اصلی بهینه‌سازی این مکانیزم، یافتن ابعاد مکانیزم و به طور هم زمان، بهینه‌سازی توابع هدف با حفظ هندسه و قید های آن است. متغیرهای طراحی عبارتند از (a, b, c, d, l) که همگی طول لینک ها هستند. توابع هدف شامل اختلاف بیشترین و کمترین نیروی پنجه با توجه به جابه جایی انتهای پنجه و نرخ انتقال نیرو که نسبت بین نیروی محرک ورودی (p) و کمترین نیرویی که به نوک پنجه وارد می‌شود می‌باشد که توسط روابط 3 و 4 بیان می‌شوند [7].

$$F_1(x) = \max_P F_k(x, z) - \min_P F_k(x, z) \quad (3)$$

$$F_2(x) = \frac{1}{\min_P F_k(x, z)} \quad (4)$$

در روابط (3) و (4) F_k نیروی پنجه است که توسط رابطه (5) بیان می‌شود.

$$F_k = \frac{P \cdot b \cdot \sin(\alpha + \beta)}{2(b + c) \cdot \cos(\alpha)} \quad (5)$$

α, β در رابطه (5) از معادلات 6 و 7 به دست می‌آیند.

$$\alpha = \arccos\left(\frac{a^2 + g^2 - b^2}{2ag}\right) + \varphi \quad (6)$$

$$g = \sqrt{(l + z)^2 + d^2} \quad (7)$$

$$\beta = \arccos\left(\frac{b^2 + g^2 - a^2}{2bg}\right) - \varphi \quad (8)$$

$$\varphi = \arctan\left(\frac{d}{l + z}\right) \quad (9)$$

$$Rb \sin(\alpha + \beta) = F_k(b + c) \quad (10)$$

$$R = \frac{P}{2 \cos(\alpha)} \quad (11)$$

R نیروی عکس‌العمل در لینک a و P نیروی محرک است. همچنین برای به دست آوردن مقادیر توابع هدف نیاز به محاسبه‌ی بیشترین و کمترین مقدار $F_k(x, z)$ به ازای مقادیر مختلف z داریم. پارامتر z یک پارامتر جابجایی است که مقادیر آن از صفر تا z_{max} تغییر می‌کند.

با مینیمم شدن تابع هدف اول از عدم تغییرات قابل ملاحظه‌ی نیروی پنجه با مینیمم شدن تابع هدف دوم از ماکسیمم شدن نیروی پنجه در حین عملکرد آن اطمینان حاصل می‌شود.

قیدهای موجود برای طراحی مکانیزم طبق روابط (12) تا (18) عبارتند از [7]:

$$g_1(x) = Y_{\min} - y(x, Z_{\max} \geq 0) \quad (12)$$

$$g_2(x) = y(x, Z_{\max} \geq 0) \quad (13)$$

$$g_3(x) = y(x, 0) - Y_{\max} \geq 0 \quad (14)$$

$$g_4(x) = Y_G - y(x, 0) \geq 0 \quad (15)$$

$$g_5(x) = c - Y_{\max} - a \geq 0 \quad (16)$$

$$g_6(x) = (a + b)^2 - d^2 - (l + z)^2 \geq 0 \quad (17)$$

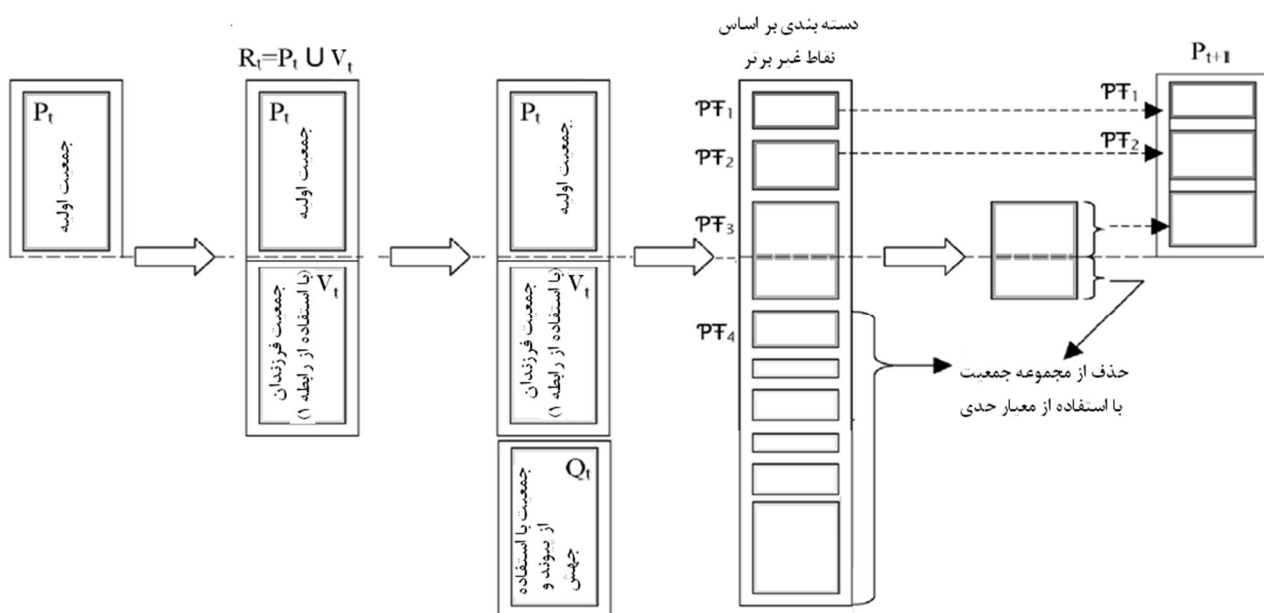
$$g_7(x) = \alpha \leq \frac{\pi}{2} \quad (18)$$

معرفی کامل قیدها در مرجع [7] آمده است. محدوده‌ی متغیرهای طراحی عبارتند از:

$$a, b, d, l \in [10, 250]; c \in [100, 250]; z \in [0, 50]$$

همچنین به منظور طراحی بهینه مکانیزم جمعیت اولیه‌ای با 200 نقطه با احتمال تقاطع 0/9 و احتمال جهش 0/1 و با بازه جهش 0/1 و ثابت جهش 0/65 که طی 1000 نسل تکامل یافته‌اند.

نمودار پارتو بدست آمده با استفاده از الگوریتم پیشنهادی برای نمونه مطالعاتی اول در شکل 3 نشان داده شده است. لازم به ذکر است که کلیه نقاط ارایه شده در شکل 3 نسبت به هم غیر برتر می‌باشند. در این شکل، سه مکانیزم از بین نقاط بدست آمده برای نمونه انتخاب شده‌اند و روی شکل 3 با A، B و C مشخص شده‌اند. توابع هدف و متغیرهای طراحی این سه مکانیزم در جدول شماره 1 داده شده‌اند. نقطه طراحی A بهترین مکانیزم به دست آمده به لحاظ کمینه بودن تابع هدف F_1 ، نقطه طراحی C بهترین مکانیزم به دست آمده به لحاظ کمینه بودن تابع هدف F_2 است. کاملاً مشخص است که با حرکت از نقطه A به سمت نقطه C بر روی منحنی پارتو تابع هدف اول بدتر می‌شود در حالی که تابع هدف دوم بهبود می‌یابد. از بین تمامی نقاط پارتو می‌توان نقطه طراحی را انتخاب کرد که از دید هر دو تابع هدف رفتار مصلحه آمیز داشته باشد. نقطه طراحی B در شکل 3 به عنوان نقطه مصلحه طراحی انتخاب شده است. همان‌طور که از این شکل مشخص است نقطه B در مقایسه با نقطه C عملکرد پنجه را از دید تابع هدف اول بسیار بهبود بخشیده است درحالی که از دید تابع هدف دوم نیز عملکرد کاملاً قابل قبولی دارد.



شکل 1 فلوچارت الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفی پیشنهادی

پیشنهاد شده توسط این منبع نیز در شکل 3 آورده شده است. نقاط بهینه پیشنهادی مرجع [7] با نقاط D ، E و F در این شکل مشخص شده‌اند. کاملاً مشخص است که این نقاط بالای منحنی پارتو قرار دارد. یعنی نقاط پارتو به دست آمده در این تحقیق از دید توابع هدف نسبت به آن برتری دارند.

2-3- طراحی بهینه مکانیزم دوم پنجه ربات

در شکل 4 مکانیزم پنجه‌ربات در حالت دوم به همراه پارامترهای هندسی مشخص کننده آن مشاهده می‌شود. متغیرهای طراحی عبارتند از a, b, c, e, f, l که طول لینک‌ها و δ زاویه بین لینک‌های b, c است. توابع هدف کاملاً مشابه مکانیزم قبلی انتخاب شده است ولی به دلیل تغییر شکل مکانیزم مقدار F_k از رابطه‌ی 19 به دست می‌آید.

$$F_k = \frac{Pb \sin(\alpha + \beta)}{2 \cdot c \cdot \cos(\alpha)} \quad (19)$$

که α و β در رابطه‌ی 19 از معادلات 21 و 22 به دست می‌آیند. طبق روابط (20-25) داریم:

$$g = \sqrt{(l-z)^2 + e^2} \quad (20)$$

$$\alpha = \arccos\left(\frac{a^2 + g^2 - b^2}{2ag}\right) + \varphi \quad (21)$$

$$\beta = \arccos\left(\frac{b^2 + g^2 - a^2}{2bg}\right) - \varphi \quad (22)$$

$$\varphi = \arctan\left(\frac{e}{l-z}\right) \quad (23)$$

$$Rb \sin(\alpha + \beta) = F_k \cdot c \quad (24)$$

$$R = \frac{P}{2 \cos(\alpha)} \quad (25)$$

چهار قید اول این مکانیزم همانند مکانیزم اول است و سایر قیدها طبق روابط (26-29) عبارتند از [7]:

$$g_5(x) = (a+b)^2 - l^2 - e^2 \geq 0 \quad (26)$$

$$g_6 = (l - Z_{\max})^2 + (a-e)^2 - b^2 \geq 0 \quad (27)$$

$$g_7 = l - Z_{\max} \geq 0 \quad (28)$$

$$g_8(x) = \min F_k(x, z) - FG \geq 0 \quad (29)$$

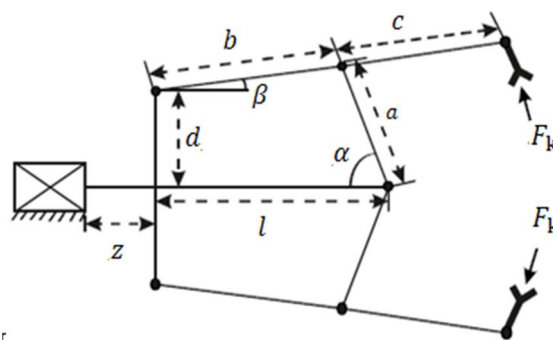
برای مکانیزم دوم محدوده‌ی متغیرهای طراحی عبارتند از:

$$a, b, f \in [10, 250]; c, l \in [100, 300]; z \in [0, 50]$$

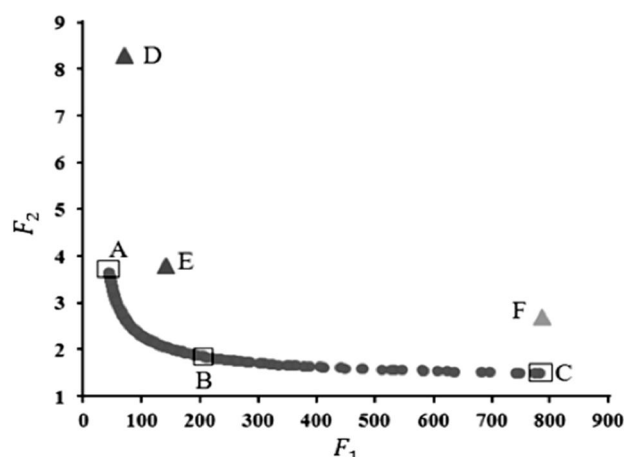
$$e \in [0, 50]; \delta \in [1, \pi]$$

همچنین مقادیر اولیه الگوریتم تکامل دیفرانسیلی همانند مسأله قبل می‌باشد. نمودار پارتو بدست آمده برای مکانیزم دوم در شکل 5 نشان داده شده است. در این مسأله نیز سه مکانیزم از بین نقاط بدست آمده برای نمونه انتخاب شده‌اند و روی شکل 5 مشخص شده‌اند. توابع هدف و متغیرهای طراحی این سه مکانیزم در جدول شماره 2 داده شده‌اند. نقطه طراحی A بهترین مکانیزم به دست آمده به لحاظ کمینه بودن تابع هدف F_1 ، نقطه طراحی C بهترین مکانیزم به دست آمده به لحاظ کمینه بودن تابع هدف F_2 و نقطه طراحی B نقطه مصالحه طراحی است. همچنین به منظور مقایسه نتایج به دست آمده با منبع [7] نقاط طراحی پیشنهاد شده (D, E, F) توسط این منبع در شکل 5 آورده شده است. کاملاً مشخص است که این نقاط بالای منحنی پارتو قرار دارد. یعنی نقاط پارتو به دست آمده در این تحقیق از دید توابع هدف نسبت به آن برتری دارند که نشان دهنده برتری نتایج تحقیق حاضر است.

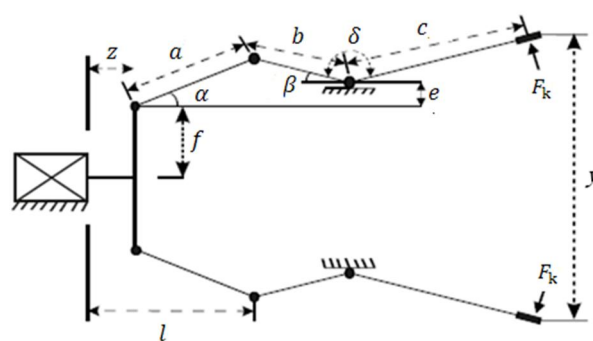
با مقایسه منحنی پارتو بدست آمده برای دو مکانیزم می‌توان دریافت که مکانیزم دوم عملکرد بسیار مطلوب‌تری از دید هر دو تابع هدف دارد. به عنوان مثال تابع هدف اول برای مکانیزم دوم تا 0/43 کاهش یافته است در حالی که بهترین نقطه طراحی برای مکانیزم اول از دید همین تابع هدف به مقدار 42/69 رسیده است.



شکل 2 مکانیزم پنجه ربات (مورد مطالعاتی اول)



شکل 3 نمودار پارتو مربوط به مکانیزم نشان داده شده در شکل 2



شکل 4 مکانیزم پنجه ربات (مورد مطالعاتی دوم)

جدول 1 متغیرهای طراحی و توابع هدف مربوط به نقاط بهینه مکانیزم اول

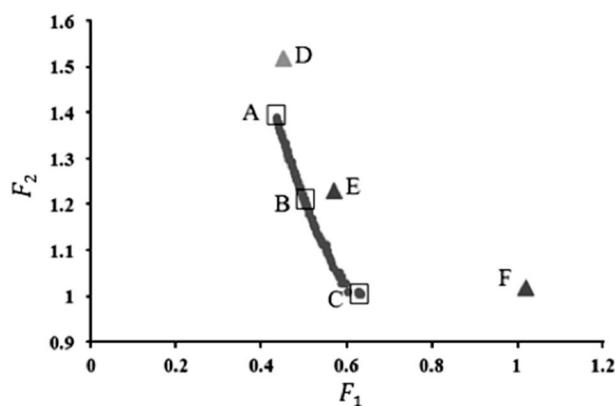
	A	B	C
a	149/9	150/64	149/35
b	204/24	221/69	246/13
c	250/25	250/75	249/42
d	115/35	119/79	129/49
l	249/81	249/06	249/70
F_1	42/69	200/96	781/91
F_2	1/68	1/89	1/53

در نتیجه نقطه طراحی B می‌تواند به عنوان نقطه مصالحه طراحی انتخاب شود. به عبارت دیگر با مقایسه نقاط طراحی C و B ، اگر حدود 23 درصد کاهش عملکرد از دید تابع هدف دوم را بپذیریم، حدود 80 درصد بهبود عملکرد از دید تابع هدف اول خواهیم داشت. همچنین به منظور مقایسه نتایج به دست آمده با منبع [7] نقاط طراحی

بهینه دو مکانیزم مختلف پنجه ربات استفاده گردید. مقایسه نتایج با تحقیقات قبلی در این زمینه نشان دهنده برتری نتایج تحقیق حاضر بود. همچنین با مقایسه منحنی پارتو و نقاط مصالحه، مکانیزم بهینه از دید توابع هدف انتخاب شد.

5- مراجع

- [1] R. Storn, K. Price, Differential evolution: A simple and efficient heuristic scheme for global optimization over continuous spaces, *Journal of Global Optimization*, vol. 11, 341–359, 1997.
- [2] S. Azarm, F. Tahmasebi, multiobjective optimal design of a simplified P4R mechanism, *Journal of Engineering Optimization*, Volume 27, Issue 2, September 1996, pages 139-153
- [3] N. Nariman-Zadeh, M. Felezi, A. Jamali, M. Ganji, Pareto optimal synthesis of four-bar mechanisms for path generation *Mechanism and Machine Theory*, Volume 44, Issue 1, January 2009, Pages 180-191.
- [4] D.T. Pham, W.B. Heginbotham, Robot Grippers, *IFS Ltd*, London, 1986.
- [5] R.D. Potter, End-of-Arm Tooling, *Handbook of Industrial Robotics*, Nof S.Y. Editor, Wiley, New York, 775-787, 1985.
- [6] M. R. Cutkoski, On Grasp Choice, Grasp Models, and the Design of Hands for Manufacturing Tasks, *IEEE Trans. Robot. Automat.*, 5(3):269–279, 1989.
- [7] A. Osyczka, Evolutionary algorithms for single and multi-criteria design optimization, Heidelberg: Physica-Verlag, 2002.
- [8] J.A. Cabrera, F. Nadal, J.P. Munoz, and A. Simon, Multi-objective constrained optimal synthesis of planar mechanisms using a new evolutionary algorithm, *Mechanism and Machine Theory*, 42(7):791–806, 2007.
- [9] C. Lanni, M. Ceccarelli. An Optimization Problem Algorithm for Kinematic Design of Mechanisms for Two-Finger Grippers, *Open Mechanical Engineering Journal*, 3:49–62, 2009.
- [10] Jamali, A., Nariman-Zadeh, N., Atashkari, K., Multi-objective Uniform diversity Genetic Algorithm (MUGA), *In Advanced in Evolutionary Algorithms*, witold kosinski (Ed.), IN-TECH, Vienna, 2008.
- [11] Jamali, A., Hajiloo, A., and Nariman-zadeh, N., Reliability-based robust Pareto design of linear state feedback controllers using a multi-objective uniform-diversity genetic algorithm (MUGA), *Expert systems with Applications*, Vol. 37 (1), pp. 401-413, 2010.
- [12] Nariman-Zadeh, N., Salehpour, M., Jamali, A., Haghighi, E., Pareto optimization of a five-degree of freedom vehicle vibration model using a multi-objective uniform-diversity genetic algorithm (MUGA), *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 23(4), 543-551, 2010.
- [13] T. Tutar and B. Filipic, Differential Evolution Versus Genetic Algorithms in Multiobjective Optimization' *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, LNCS 4403, pp. 257–271, 2007.
- [14] M. Marwan, M. Fuad, Differential evolution versus genetic algorithms: towards symbolic aggregate approximation of non-normalized time series, *Proceedings of the 16th international database engineering and applications symposium*, pages 205-210, 2012.



شکل 5 نمودار پارتو مربوط به مکانیزم نشان داده شده در شکل 4

جدول 2 متغیرهای طراحی و توابع هدف مربوط به سه نقطه نشان داده شده در شکل 5 (مورد مطالعاتی دوم)

A	B	C	
249/84	249/93	249/63	a
245/26	245/58	237/71	b
299/50	258/90	209/90	c
0/3168	0/1740	7/2996	e
25/71	23/27	24/16	f
197/46	196/71	198/69	l
1/8530	1/8412	1/8838	δ
0/4343	0/5033	0/6305	F ₁
1/3916	1/2000	1/0058	F ₂

همچنین کاملاً مشخص است که نقطه مصالحه طراحی ارایه شده برای مکانیزم دوم از دید تابع هدف اول عملکردی بسیار مطلوبتر دارد در حالی که تابع هدف دوم آن نیز همچنان از نقطه مصالحه طراحی مکانیزم اول بهتر است. بنابراین مکانیزم پنجه ربات با پیکربندی دوم و نشان داده شده در شکل 4 اهداف طراحی را از دید توابع هدف مورد بررسی بهتر برآورده می‌کند.

4- نتیجه‌گیری

در این مقاله الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفی براساس تکامل دیفرانسیلی و با زیر برنامه ε-elimination ارایه شد و از الگوریتم پیشنهادی برای طراحی