

طراحی مسیر یک بازوی مکانیکی ماهر ابر افزونه برای حرکتی بدون برخورد، با بکارگیری یک الگوریتم ژنتیک دو لایه

مصطفی غیور^۱؛ محمود کریمی^۲

چکیده

در این مقاله طراحی مسیر یک بازوی مکانیکی چند درجه آزادی صفحه ای با ارائه یک روش جدید تحلیلی برای جلوگیری از برخورد با موانع دایره ای انجام شده است. برای تولید مسیر بازوی مکانیکی و دستیابی سریع به جوابهای بهینه در فضای کاری پیچیده، یک الگوریتم ژنتیک دو لایه معرفی شده و مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین یک چند جمله ای درون یاب اسپیلاین درجه سه برای تخمین هر کدام از زوایای مفصلی بکار رفته است. الگوریتم ژنتیک، تعدادی نقطه میانی را برای انطباق منحنی با چند جمله ای درون یاب تعیین می کند تا بواسطه آن بتوان تابع هدف مورد نظر را بهینه کرد. نتایج شبیه سازی، کارایی و توانایی روش مطرح شده را نشان می دهند.

کلمات کلیدی

طراحی مسیر، بازوی مکانیکی ابرافزونه، الگوریتم ژنتیک دو لایه، شرط نداشتن برخورد.

A Collision-Free Trajectory Planning of a hyper redundant Manipulator Using a Dual Genetic Algorithm

M. Ghayour; M. Karimi

ABSTRACT

This paper presents an optimal path planning for planar hyper redundant robot manipulators in presence of circular obstacles with a new analytical collision avoidance approach. To generate the robot's trajectory, a dual genetic algorithm for rapid achievement to the optimal solutions in complex space is offered. A polynomial based on cubic spline interpolation is applied to approximate trajectories in joint space. The GA determines the parameters, which are the interior points to be interpolated to formulate the polynomial representing the trajectory, it is to minimize the fitness of the desired objective function. The effectiveness and capability of the proposed approach is demonstrated through simulation studies.

KEYWORDS

Path Planning, Hyper-Redundant Manipulator, Dual Genetic Algorithm, Collision-Free Condition

رابطه نیاز به دقت و سرعت عملکرد بالا و همچنین ظرافت کاری همراه با قابلیت تحرک خوب رباتها نیز مورد توجهند که به بحث استفاده از فزونی درجه آزادی در طرح بازوی مکانیکی رباتها منتهی شده است. نتایج مثبت استفاده از افزونگی درجات آزادی و پیشرفتهای علمی و فنی اخیر

۱- مقدمه

مزایای استفاده از رباتها در محیطهای آلوده و خطرناک و یا مکانهایی که دارای موانع و محدودیتهای خاص هستند، محققین را به بهبود کارایی رباتها تشویق کرده است. در این

^۱ استادیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۸۴۱۵۶-۸۳۱۱۱، Email: ghayour@cc.iut.ac.ir

^۲ دانشجوی دکترای طراحی کاربردی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، Email: karimi@dena.kntu.ac.ir

برای غلبه بر بعضی مشکلات در قسمتهای سخت افزاری و نرم افزاری سیستمهای رباتیک، کاربرد رباتهای ابرافزونه را به طور جدی مطرح کرده است. رباتهای ابرافزونه در راکتورهای هسته ای، اعمال جراحی، عملیات اکتشافی در اعماق دریا، امداد رسانی در مکانهای زلزله زده برای نجات جان مجروحان، چیدن میوه ها و کارهایی از این قبیل مورد استفاده هستند. یکی از مسائلی که در زمینه رباتیک در سالهای اخیر بطور گسترده مورد توجه و تحقیق قرار گرفته، طراحی مسیر حرکتی بازوهای مکانیکی با ابر افزونی درجه آزادی برای جلوگیری از برخورد به موانع می باشد. این وظیفه مهم با پیدا کردن مسیر بهینه بدون برخورد بازوی مکانیکی از حالت اولیه مشخص به یک پیکربندی نهایی می انجامد.

Vanputte و Saab [۱] الگوریتمی برای طراحی مسیر با استفاده از نقشه سطح ارائه کرده اند. این الگوریتم فضای جستجو را به مناطق دارای مانع و مناطق آزاد تقسیم بندی کرده و با استفاده از روش هندسی مسیری نزدیک به مسیر بهینه را پیدا می کند. Galicki روشی جهت طراحی مسیر بدون برخورد ارائه کرده است [۲]. این روش بر پایه میدانهای پتانسیل و کمینه کردن معیاری انتگرالی می باشد. Li و Ding [۳] یک راهبرد بر پایه منطق فازی برای اهرمبندیهای چند درجه آزادی جهت جلوگیری از برخورد با موانع را ایجاد کرده است. به این منظور از یک تابع شبه فاصله برای اندازه گیری فاصله بین ربات و موانع استفاده شده است. روشی دیگر برای جلوگیری از برخورد بازوهای ابر افزونه بکارگیری شبکه های عصبی می باشد. Zhang و Wang [۴] از یک شبکه عصبی دو لایه بمنظور حل بلادرنگ سینماتیک معکوس در پژوهش خود استفاده کرده اند.

چندی است الگوریتمهای ژنتیک برای طراحی مسیر و حرکت رباتها و اهرم بندیها مورد استفاده قرار گرفته اند. Yano و Tooda الگوریتم ژنتیکی برای دست یابی به موقعیت و حرکت مجری نهایی یک اهرم بندی دو درجه آزادی پیشنهاد کرده اند [۵]. در این مقاله توابع هدفی در فضای مفصلی و دکارتی تعریف و سپس با هم ترکیب شده اند. Lavoie و Boudreau [۶] با استفاده از الگوریتم ژنتیک و با محاسبه لحظه به لحظه اختلاف بین موقعیتها و جهتگیری های واقعی و دلخواه E-E و مفاصل، طراحی مسیر بازوهای مکانیکی چند درجه آزادی را در مجاورت موانعی با مرزهای خطی انجام داده است. Tian [۷] روش جدیدی برای طراحی مسیر یک بازوی مکانیکی صفحه ای در حضور چند مانع نقطه ای ارائه کرده است. در این روش

از یک تابع درون یاب هرمیتی برای تقریب مسیر استفاده شده و یک الگوریتم ژنتیک برای پیدا کردن مسیر بهینه بکار رفته است. در پژوهشی دیگر، Roy و Pratihari [۸] با ترکیب مجموعه های فازی و ژنتیک، الگوریتمی برای حل مساله طراحی مسیر بدون برخورد بوجود آورده است. در این الگوریتم کمترین زمان سپری شده به عنوان معیار بهینه سازی قرار گرفته و مسیر حرکت بصورت مجموعه ای از پاره خطهای کوچک می باشد.

در [۱۳]-[۱۵] الگوریتمهای ژنتیک دو لایه با الهام گرفتن از مکانیزم غالب و مکمل ارائه شده که بر پایه دوگانگی در جمعیت یا کروموزوم می باشد.

در این تحقیق، نداشتن برخورد یک بازوی مکانیکی ابر افزونه با پایه ثابت بررسی شده است. به این منظور، با ارائه الگوریتمی جدید موسوم به الگوریتم ژنتیک دو لایه، نقاطی میانی در فضای کاری مفصل ها، جستجو و انتخاب می شوند. سپس با بکار گیری چند جمله ای درجه سوم اسپیلاین، مسیری هموار بر روی نقاط بدست آمده برازش داده می شود تا پیکربندی بازوی مکانیکی در طول مسیر بدست آید. در صورت رسیدن مجری نهایی به هدف از پیش تعیین شده، شرط نداشتن برخورد بازوها با موانع با استفاده از یک روش جدید مورد بررسی قرار می گیرد. با تولید نسلهای مختلف توسط الگوریتم ژنتیک، حالتی را که بازوی مکانیکی بدون برخورد و با کمترین مقدار تابع هدف کل مسیر را طی کند بعنوان مسیر بهینه مورد قبول واقع می گردد.

۲- فرمول بندی مساله

یک بازوی مکانیکی N درجه آزادی صفحه ای با عضوهای L_1, L_2, \dots, L_n و زوایای مفصلی $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$ در نظر گرفته می شود. این بازوی مکانیکی ابرافزونه می بایست بدون برخورد به موانع که با ابعاد مختلف در صفحه XY قرار دارند، از پیکر بندی اولیه به یک موقعیت پایانی مجری نهایی حرکت کند. به این منظور فرضیات زیر بر مساله اعمال شده است:

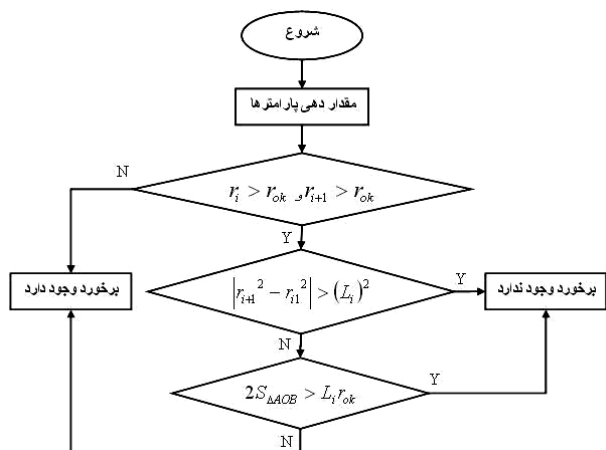
۱. هر مانع بصورت دایره ای و ساکن می باشد.
۲. سرعت کم حرکت بازوی مکانیکی برای چشم پوشی از شتابهای لحظات اول و آخر حرکت، مورد نظر است.

۲-۱- شرایط نداشتن برخورد

برای بررسی برخورد اهرمها با هر یک از موانع و همچنین استفاده بیشتر و موثرتر از فضای حرکتی اهرمها، یک روش تحلیلی جدید در این مقاله پیشنهاد شده است. این روش که به



در رابطه (۴)، H نصف مجموع اضلاع مثلث می باشد.



شکل (۲): الگوریتم نداشتن برخورد با مانع دایره ای

روش یادشده که بصورت الگوریتم شکل (۲) ارائه شده، می بایست برای هر نقطه مسیر و تمام حالات میان موانع و عضو ها بررسی شود تا یکی از قیود مساله که نداشتن برخورد می باشد را برآورده کند.

۲-۲- تولید مسیر

برای رسیدن به نتیجه، علاوه بر جلوگیری از برخورد به موانع می بایست مسیری پیدا کرد تا مجری نهایی بصورت هموار بین دو نقطه شروع و پایان حرکت کند. درون یاب اسپیلاین درجه سه یک روش خوب و مناسب با زمان محاسباتی پایین برای برازش منحنی بر روی نقاطی مشخص بصورت هموار و پایدار می باشد. بدلیل پیچیده بودن مسیر حرکت، این روش برتریهای زیادی بر چند جمله ایهای ساده با درجه بالا دارد [۹].

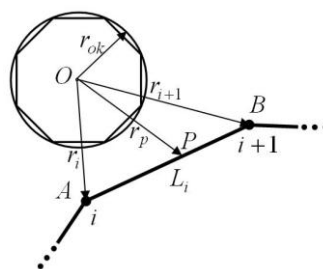
اگر $S(x)$ نشان دهنده چند جمله ای اسپیلاین درجه سه بر روی n نقطه مجزای x_1, x_2, \dots, x_n باشد به همین دلیل $f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_n), f'(x_1), f'(x_2), \dots, f'(x_n), f''(x_1), f''(x_2), \dots, f''(x_n)$ بترتیب برابر با مقدار و مشتقهای اول و دوم در این نقاط می باشند. ایده اصلی این روش، برازش توابع تکه ای مانند رابطه (۵) می باشد [۱۰]:

$$S(x) = \begin{cases} s_1(x), & x_1 \leq x < x_2 \\ s_2(x), & x_2 \leq x < x_3 \\ \vdots \\ s_{n-1}(x), & x_{n-1} \leq x < x_n \end{cases} \quad (5)$$

که $s_q(x)$ یک چند جمله ای درجه سه بوده و مطابق (۶) تعریف می شود:

$$s_q(x) = a_q(x-x_q)^3 + b_q(x-x_q)^2 + c_q(x-x_q) + d_q \quad (6)$$

طور دقیق امکان برخورد را مشخص می کند، موجب کاهش حجم برنامه نویسی و همچنین افزایش سرعت اجرا شده و به عنوان بخشی از قیود، بهینه سازی را مورد استفاده قرار می گیرد.



شکل (۱): نمایش هندسی یک عضو در مقابل یک مانع

برای بیان این شیوه با توجه به شکل (۱) می توان رابطه (۱) را نوشت:

$$r_{i+1}^2 - r_i^2 = L_i^2 - 2r_i L_i \cos(O\hat{A}B) \quad (1)$$

همچنین با در نظر گرفتن یک نقطه دلخواه P روی عضو L_i روابطه (۲) بدست می آید.

$$r_p^2 = r_i^2 + L_{AP}^2 - 2r_i L_{AP} \cos(O\hat{A}B) \quad (2)$$

حال اگر $\cos(O\hat{A}B) < 0$ باشد به همین دلیل با استفاده از رابطه (۱) می توان دریافت که $|r_{i+1}^2 - r_i^2| > L_i^2$ خواهد بود. اگر $r_i > r_{ok}$ باشد و با توجه به روابط (۱) و (۲) و اینکه $\cos(O\hat{A}B) < 0$ است آنگاه بترتیب r_{i+1} و r_p بزرگتر از r_{ok} خواهد بود. در نتیجه بدلیل اینکه P نقطه ای دلخواه می باشد پس شرایط یاد شده موجب عدم برخورد عضو i با مانع k ام می گردد.

حالتی که $\cos(O\hat{A}B) > 0$ و $\cos(O\hat{B}A) > 0$ باشند به این معنی که دو زاویه $O\hat{A}B$ و $O\hat{B}A$ هر دو کوچکتر از 90° درجه خواهند بود و شرط عدم برخورد موقعی ارضا می شود که ارتفاع وارد بر عضو i ام از مرکز مانع k ام، بزرگتر از شعاع مانع باشد. برای سادگی محاسبه در ارضای این شرط می توان نامساوی (۳) را بیان کرد.

$$2S_{\Delta AOB} > r_{ok} L_i \quad (3)$$

در روابط فوق اندیسهای i و k به ترتیب نمایش دهنده i امین عضو و k امین مانع هستند. همچنین $S_{\Delta AOB}$ بیانگر مساحت ایجاد شده توسط مرکز مانع k ام و دو سر عضو i ام است که از رابطه (۴) بدست می آید.

$$S_{\Delta AOB} = \sqrt{H(H-L_i)(H-r_i)(H-r_{i+1})} \quad (4)$$

بیشتری برای بقاء بیانند و در مقابل کروموزومهای ضعیف تر بتدریج از میان بروند. الگوریتمهای ژنتیک بر خلاف روشهای کلاسیک بهینه سازی، جستجوی خود را بطور همزمان از چند نقطه دنبال می‌کنند. مجموعه کروموزومها که در هر تکرار از الگوریتم مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرند یک نسل نامیده می‌شوند.

در استفاده از الگوریتم ژنتیک ابتدا نسلی با یک جمعیت خاص از کروموزومها (رشته‌ها) بصورت تصادفی ایجاد می‌شود. هر رشته شامل زیر رشته‌هایی است که هر کدام بیان‌کننده یکی از متغیرهای مستقل مساله بوده و می‌تواند هر یک از مقادیر گسسته را از دامنه تعریف شده برای متغیر مربوطه بصورت تصادفی اختیار کند. به این ترتیب نسلی از کروموزومها که بصورت تصادفی ایجاد شده‌اند تشکیل می‌شوند. سپس برای ارزیابی هر کروموزوم از یک تابع هدف استفاده می‌شود. در مساله بهینه سازی، افراد باید کمترین مقادیر عددی را برای این تابع داشته باشند. تابع هدف می‌تواند با توجه به منظرهای گوناگونی انتخاب شود. در این مساله، مربع قدر مطلق مجموع چرخش زوایای مفصلی ۱، ۲ تا N از نقطه شروع تا پایان و همچنین معیار مهارت به عنوان تابع هدف در نظر گرفته می‌شود. این انتخاب مطابق با کمینه کردن حرکات مفاصل جهت کاهش انرژی مصرفی و بیشینه کردن مهارت بازوی مکانیکی می‌باشد [۱۱، ۶]:

$$T = \sum_{i=1}^N \mu_i T_i - \mu_w T_w \quad (8)$$

که $0 \leq \mu_i \leq 1$ بوده و مجموع μ_i ها برابر با یک می‌باشد. در این رابطه T_w معیار مهارت و T_1, T_2, \dots, T_N تا ترتیب مجموع مربعات چرخش زوایای مفصلی ۱، ۲ تا N می‌باشند. همچنین μ_1 تا μ_N ضرایب وزنی مفاصل ۱ تا N بوده و μ_w ضریب وزنی معیار مهارت، با توجه به مقدار مجموع T_i ها نسبت به معیار مهارت بدست می‌آید. بنابراین می‌توان نوشت:

$$T_1 = \sum_{j=1}^{n_p} (\theta_{1j} - \theta_{1(j-1)})^2, T_2 = \sum_{j=1}^{n_p} (\theta_{2j} - \theta_{2(j-1)})^2, \dots, \quad (9)$$

که n_p تعداد نقاط مسیر است. در رابطه ۹ ${}^0J(\Theta)$ ماتریس غیر مربعی ژاکوبیان در چهارچوب اینرسی می‌باشد. تابع برازندگی بطور معمول برای تبدیل تابع هدف به یک میزان شایستگی نسبی تعریف می‌گردد. مقادیر تابع هدف هر کروموزوم به صورت نزولی مرتب شده و تابع برازندگی با توجه به موقعیت هر کدام در گروه بصورت:

برای محاسبه ضرایب وزنی a_q, b_q, c_q, d_q باید شرایطی برقرار باشد تا بتوان این $4(n-1)$ مجهول را بدست آورد. اول آنکه تابع تکه ای $S(x)$ می‌بایست بر روی همه نقاط برازش شود و دوم باید توابع $S(x), S'(x)$ و $S''(x)$ بر روی بازه $[x_1, x_n]$ پیوسته باشند.

با اعمال شرایط یاد شده بر روی دسته معادلات (۶)، دو درجه نامعینی باقی می‌ماند. روش معمول برای برطرف کردن آنها بکارگیری شرط درون یاب اسپیلاین طبیعی یعنی $S''(x_1) = S''(x_n) = 0$ می‌باشد.

نتیجتاً با استفاده از این روش درونیابی می‌توان مسیر حرکت را طراحی کرد. بدین منظور در ابتدا یک الگوریتم ژنتیک دو لایه برای جستجوی نقاط میانی بر مساله اعمال شده و چند جمله ای اسپیلاین درجه سه برای ایجاد N منحنی هموار جهت تعیین زوایای مفصلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. سپس مسیر بدست آمده به n_p نقطه تقسیم شده و پیکربندی بازوی مکانیکی با توجه به زوایای مفصلی در هر نقطه تعیین می‌شود. دلیل مشخص بودن نقطه هدف مجری نهایی، تعیین پیکربندی نهایی که مربوط به نقطه مسیر آخر می‌باشد فقط با داشتن N-۲ زاویه مفصلی و با بکارگیری سینماتیک معکوس قابل محاسبه است. در این مرحله پیکربندیهای N-۲ عضوی که فاصله مفصل N-۱ تا مجری نهایی بیشتر از مجموع دو عضو آخر گردند، جوابهای موهومی برای دو زاویه مفصلی دیگر ایجاد می‌کنند. از اینرو یکی دیگر از قیدهای مساله بصورت رابطه (۷) نوشته می‌شود:

$$\forall i, j \in \begin{cases} i = N-1, N-2 \\ j = n_p \end{cases} \Rightarrow (\theta_{ij} - \bar{\theta}_{ij}) = 0 \quad (7)$$

در آخر، تابع هدف و همچنین قیود مذکور بر الگوریتم ژنتیک اعمال شده تا جوابهای بهینه که نشان دهنده مسیر مورد نظر است بدست آید.

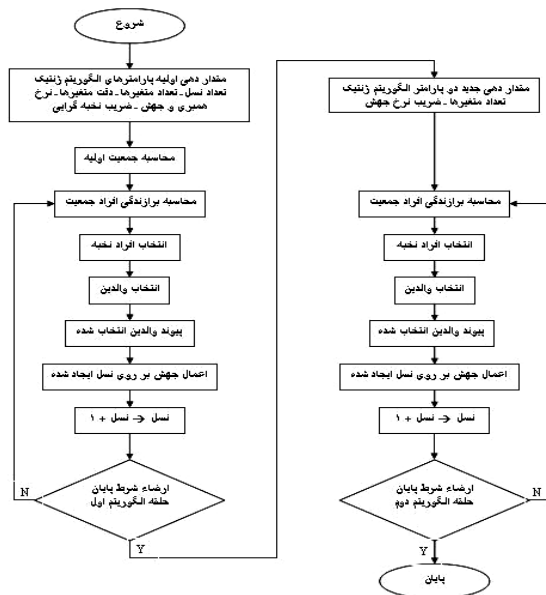
۳- الگوریتم ژنتیک

الگوریتمهای ژنتیک یک شیوه بهینه سازی احتمالی هستند که از الگوی تکامل طبیعی برگرفته شده‌اند. در این روش، ابتدا متغیرهای مساله بهینه سازی بصورت زیر رشته‌هایی (بیشتر دودویی) که مجموعه آنها معادل ریاضی یک کروموزوم موجودات زنده است، بیان می‌شوند. سپس به این کروموزومهای مختلف که در واقع نمایشگر طراحی‌های مختلف هستند اجازه داده می‌شود تحت شرایط کنترل شده ای به ترکیب و تولید مثل بپردازند. در عین حال شرایط این ترکیب طوری در نظر گرفته می‌شود که کروموزومهای قویتر امکان

$$Fit(pos) = 2 \times \frac{pos - 1}{N_{ind} - 1} \quad (10)$$

تعریف می شود [۱۲]. در رابطه ۱۰ تعداد کروموزومهای موجود در هر نسل و pos موقعیت هر کروموزوم در جمعیتی است که به صورت نزولی بر حسب تابع هدف مرتب شده اند. این تابع، عددی غیر منفی را برای هر کروموزوم بر می گرداند که نشان دهنده شایستگی یا توانایی فردی آن کروموزوم است. در صورتیکه کروموزومهای نسل حاضر که قیود مساله را بطور کامل برآورده می کنند شرایط بهینگی را نداشته باشند، از میان آنها برارنده ترین کروموزومها انتخاب شده و برای ترکیب و تولید کروموزومهای جدید به حوزة تزویج فرستاده می شوند. همچنین برای تولید نسل بعد از روش نخبه گزینی نیز استفاده می شود.

زمان بر بودن طراحی مسیر بازوهای مکانیکی ابر افزونه در برابر موانع یکی از مشکلاتی است که مساله بهینه سازی با آن روبرو می باشد. از این رو در این مقاله روشی جدید به نام به الگوریتم ژنتیک دو لایه پیشنهاد شده تا بتوان این پیچیدگی را به میزانی کاهش داد (شکل ۳). متغیرهایی که باید توسط الگوریتم ژنتیک تعیین شوند به دو دسته تقسیم می شوند، نخست نقطه مسیره‌های استراتژیکی که با توجه به موقعیت موانع پیدا می شوند و سپس مقدار زاویه ای که هر مفصل باید در این نقاط داشته باشد. با توجه به اینکه این نقاط ویژه طی گذشت چند نسل مشخص می شوند به همین دلیل نیازی به آنها در ادامه الگوریتم نمی باشد. بنابراین برای کاهش زمان برنامه، الگوریتم ژنتیک دومی در انتهای الگوریتم ژنتیک اول ایجاد می شود. در این الگوریتم ترکیبی، مقدار زاویه ها در نقاط استراتژیکی به جهت جستجو وارد الگوریتم ژنتیک دوم شده و محل این نقاط همان مقادیر قبلی باقی می مانند. تعداد نسلی که جابجایی الگوریتم ژنتیک در آن صورت می گیرد با توجه به درجات آزادی بازوی مکانیکی و همچنین پیچیدگی محیط کاری می باشد.



شکل (۳): الگوریتم ژنتیک دو لایه

از طرف دیگر به خاطر ابرافزونی درجات آزادی، رسیدن به بهینه کلی با زیادتیر شدن تعداد نسله‌ها سخت تر می شود. از این رو با توجه به اینکه میزان نرخ جهش در چنین شرایط بسیار تاثیر گذار است به همین دلیل روش جدید و موثری برای اعمال نرخ عملگر جهش در الگوریتم ژنتیک دوم پیشنهاد شده است. در ابتدا میزان نرخ جهش به دو صورت بر روی الگوریتم دوم اعمال شد که یکی مقداری ثابت و بزرگتر از نرخ جهش در الگوریتم اول و دیگری افزایش میزان نرخ جهش با استفاده از منحنیهای درجه اول و بالاتر می باشد. انجام اجراهای بسیار زیاد کامپیوتری موفق نبودن این روشها در تحقیق حاضر را نشان دادند. در پایان، ارائه یک الگو بر پایه مقادیر اتفاقی و استفاده از آن نتایج بسیار سودمندی را در بر داشت. در این الگو یک تابع درجه دوم بصورت ۱۱ بکار گرفته شد.

$$mut = A(rand)^2 + B(rand) + C \quad (11)$$

در این رابطه mut میزان نرخ جهش و $rand$ یک مقدار اتفاقی در محدوده [۰، ۱] می باشد. مقادیر ثابت A ، B و C با توجه به مقادیر حداقل و حداکثر نرخ جهشی که برای مساله در نظر گرفته می شود بدست می آید. میزان نرخ جهش با توجه به رابطه (۱۱) برای ایجاد هر نسل عددی اتفاقی و بین دو مقدار یاد شده می باشد. به دلیل اینکه خود عملگر جهش تصادفی می باشد به همین دلیل مشکل می توان بطور دقیق با توجه به شماره نسل نرخ مشخصی به آن اختصاص داد. بنابراین این روش قادر است در چند نسل متوالی نرخهای جهش کاملاً متفاوت ولی در محدوده مجاز را اعمال نماید.

پیچیده است ولی معیار مهارت در طول شبیه سازی همواره تقویت شده و از رسیدن به نقاط تکین جلوگیری شده است.

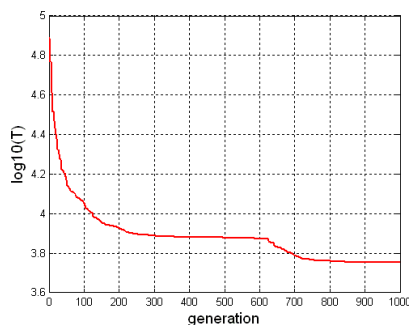
ع-۲- سه مانع

برای نشان دادن توانایی الگوریتم ارائه شده، تعداد موانع در این شبیه سازی بیشتر در نظر گرفته شده و نقطه مطلوب مجری نهایی در مکانی قرار گرفته که دسترسی به آن مشکل تر باشد. مانع جدید به شعاع ۰/۲۵ در موقعیت (۱،۲) واقع شده است. در حالت اولیه، هر شش زاویه مفصلی برابر با مقادیر متناظر با آنها در دو شبیه سازی قبلی بوده و مجری نهایی به سمت مقصد (۰/۲۵، ۴/۲۵) حرکت می کند. به علت پیچیدگی محیط، متغیرهای جستجو مفصل اول و نقاط مسیر مربوطه بصورت رابطه ۱۴ افزایش یافته است.

$$\theta_1 = [\theta_1^{(initial)} \quad \theta_1^{(middle)} \quad \theta_1^{(final)}] \quad (14)$$

$$pp_1 = [1 \quad n_p]$$

تعداد کل متغیرهای جستجو شده شامل نقاط مسیر و زوایای مفصلی برابر با ۳۶ بوده که از این تعداد ۲۰ مورد که متعلق به زاویه های مفصلی می باشند به الگوریتم ژنتیک دوم منتقل می شوند.



شکل (۱۰): لگاریتم تابع هدف در مقابل تعداد نسل برای سه مانع شکل (۱۰) نحوه همگرایی الگوریتم دو لایه را تا رسیدن به یک حد بهینه پایدار نشان داده است. در واقع نسلهای ایجاد شده تا قبل از نسل ۶۰۰ بیانگر اجرای الگوریتم ژنتیک ساده بوده که با رفتن الگوریتم به لایه دوم توانسته به مقادیر پایبندتری دسترسی پیدا کند. برای نمایش مسیرهای بدست آمده، روند تغییرات زوایای مفصلی برای سه مانع در شکل ۱۱ آورده شده است.

نرخ همبری (Crossover rate): ۰,۹

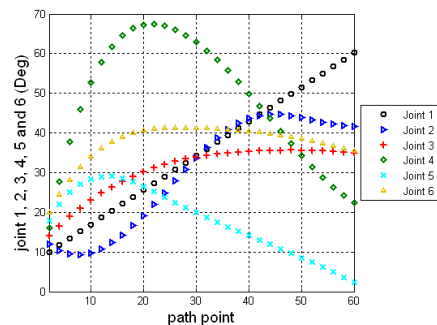
نرخ جهش در ژنتیک ساده (Mutation rate): ۰,۰۰۱

میزان زایش (Generation gap): ۰,۹۸

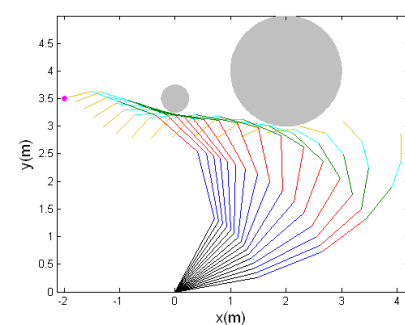
که نرخ جهش بکار رفته مربوط به الگوریتم اول می شود. همچنین برای اعمال عملگر همبری از همبری دو نقطه ای استفاده شده و چرخ دوار برای عملگر انتخاب بکار رفته است.

ع-۱- دو مانع

در این شبیه سازی، دو مانع به شعاعهای ۰/۲۵ و ۱ بترتیب در موقعیتهای (۳,۰/۵) و (۲,۴) واقع شده اند. در حالت اولیه، هر شش زاویه مفصلی برابر با ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۶، ۱۸ و ۲۰ درجه بوده و مجری نهایی به سمت مقصد (۳/۵، -۲) حرکت می کند. تعداد کل متغیرهای جستجو شده شامل نقاط مسیر و زوایای مفصلی برابر با ۳۴ بوده که از این تعداد ۱۹ مورد که متعلق به زاویه های مفصلی می باشند به الگوریتم ژنتیک دوم منتقل می شوند. شرط خاتمه الگوریتم اول رسیدن به تعداد تکرار ۱۵۰ در نظر گرفته شده است.



شکل (۸): زوایای مفصلی بر حسب نقاط مسیر برای دو مانع



شکل (۹): نحوه حرکت بازوهای مکانیکی برای دو مانع

شکل (۸) نحوه تغییرات زوایای مفصلی را در کل مسیر حرکت بیان می کند. برای نمایش کارایی روش ارائه شده در حضور بیش از یک مانع شکل (۵) آورده شده است. از شکل (۹) می توان دریافت هر چند مساله در محیطی حاوی دو مانع

را ارضا کند. بعنوان نتایج این پژوهش می توان به موارد زیر اشاره کرد.

- استفاده از یک الگوریتم ژنتیک دو لایه یک روش بهینه سازی بسیار موثر برای طراحی مسیر رباتها و بازوهای مکانیکی با درجات آزادی بالا می باشد.

- روش جدید ارائه شده جهت عدم برخورد با موانع دایره ای باعث کاهش حجم برنامه نویسی و زمان اجرا می شود.

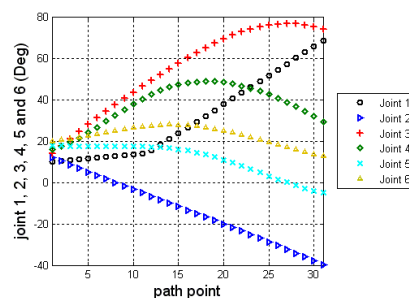
- همچنین این شیوه موجب استفاده هر چه بیشتر از فضای کاری شده و کارایی بازوی مکانیکی را برای حرکتی بدون برخورد افزایش می دهد.

- روش درون یابی اسپیلاین قادر به ایجاد مسیرهایی هموار و پیچیده بوده و همچنین موجب ساده تر شدن الگوریتم طراحی مسیر می گردد.

در ادامه کار، جایابی پایه ربات، طراحی اندازه عضوها و کنترل مسیر حرکت ربات مورد توجه خواهد بود.

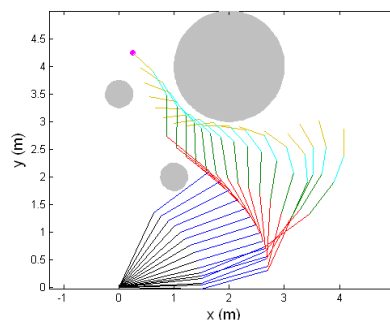
۶- مراجع

- [۱] Saab, Y., Vanputte, M., "Shortest path planning on topographical maps" IEEE Trans System Man Cy A, 29(1), pp. 139-150, 1999.
- [۲] Galicki, M., "Optimal planning of collision-free trajectory of redundant manipulators" Int. J. of Robotics Research 11, pp. 549-559, 1992.
- [۳] Ding, H., Li, H.X., "Fuzzy avoidance control strategy for redundant manipulators" Engineering Application of AI 12, pp. 513-521, 1999.
- [۴] Zhang, Y., Wang, J., "Obstacle avoidance for kinematically redundant manipulators using a dual neural network" IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B Cybernetics, Vol. 34, No. 1, February 2004.
- [۵] Yano, F., Tooda, Y., "Preferable movement of a multi-joint robot arm using genetic algorithm" In: Part of the SPIE Conf. On Intelligent Robots and Computer Vision 3837, pp. 80-88, 1999.
- [۶] Lavoie, M.H., Boudreau, R., "Obstacle avoidance for redundant manipulators using a genetic algorithm" CCToMM Symposium, 2001.
- [۷] Tian, L., Collins, C., "An effective robot trajectory planning method using a genetic algorithm" J. of Mechatronics 14(5), pp. 455-470, 2004.
- [۸] Roy, S.S., Pratihar, D.K., "A genetic-fuzzy approach for optimal path-planning of a robotic manipulator among static obstacles" IE (I) Journal-CP 84, pp. 15-22, 2003.
- [۹] Lancaster, P., Salkauskas, K., "Curve and surface fitting, an introduction" San Diego, CA, USA: Academic Press Inc, 1986.
- [۱۰] Mckinley, S., Levine, M., "Cubic Spline Interpolation" Math 45: Linear Algebra, 1999.
- [۱۱] Chen, M.W., Zalzal, A.M.S., "Dynamic modeling and genetic-based trajectory generation for non-holonomic mobile manipulators" Control Eng. Practice 5(1), pp. 39-48, 1997.

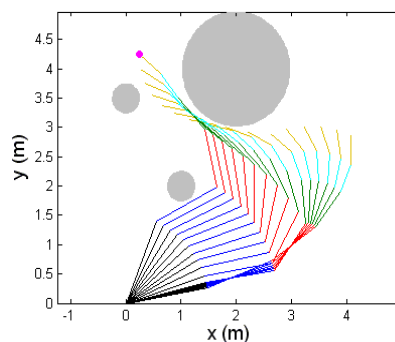


شکل (۱۱): زوایای مفصلی بر حسب نقاط مسیر برای سه مانع

در پایان می توان دید که با پیچیده شدن محیط و سختتر شدن دسترسی مجری نهایی به نقطه هدف، بازوی مکانیکی قادر است طراحی مسیر بدون برخورد را با بکارگیری الگوریتم ژنتیک دو لایه بهتر از ژنتیک ساده انجام دهد (شکلهای ۱۲ و ۱۳). همانطور که در این دو شکل پیداست، الگوریتم ژنتیک دو لایه ربات را هموارتر و با معیار مهارت بالاتری به انتها رسانده است. گفتنی است که در این حالت به علت تعداد متغیرهای زیاد و فضای جستجوی پیچیده نمی توان گفت که این نتایج بهینه ترین جواب است ولی می تواند به جواب بهینه نزدیک باشد.



شکل (۱۲): نحوه حرکت ربات برای سه مانع (ژنتیک ساده)



شکل (۱۳): نحوه حرکت ربات برای سه مانع (ژنتیک دو لایه)

۵- نتیجه

در این تحقیق به طراحی مسیر یک بازوی مکانیکی n درجه آزادی در محیطی دارای مانع پرداخته شده است. این طراحی بر پایه کمینه کردن یک تابع هزینه از ابتدا تا انتهای حرکت بوده گونه ای که با موانع برخورد نداشته و تمام قیود

- Chipperfield, A., Fleming, P., Fonseca, C., "Genetic algorithm toolbox for use with MATLAB" Department of Automatic Control and Systems Engineering, University of Sheffield, Version 1.2, 1994. [۱۲]
- Park, T., and Ryu, K.R., "A dual population genetic algorithm with evolving diversity" IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2007. [۱۳]
- Wang, H., and Wang, D., "An Improved Primal-Dual Genetic Algorithm for Optimization in Dynamic Environments" Lecture Notes in Computer Science, Neural Information Processing, 2006. [۱۴]
- Liu, L., Wang, D., and Ip, W.H., "A permutation-based dual genetic algorithm for dynamic optimization problems" Soft Computing - A Fusion of Foundations, Methodologies and Applications, 2008. [۱۵]

