طراحی مسیر يك بازوي مكانيكي ماهر ابر افزونه برای حرکتی بدون برخورد، با بکارگیری يك الگوريتم ژنتيك دو لايه

مصطفي غيور[i]; محمود كريمي[ii]

چكيده

در اين مقاله طراحي مسير يك بازوي مكانيكي چند درجه آزادي صفحه اي با ارائه يك روش جديد تحليلی براي جلوگيري از برخورد با موانع دايره ای انجام شده است. براي توليد مسير بازوي مكانيكي و دستيابي سريع به جوابهاي بهينه در فضاي كاري پيچيده، يك الگوريتم ژنتيك دو لايه معرفي شده و مورد استفاده قرار گرفته است. همچنين يك چند جمله اي درون ياب اسپيلاين درجه سه براي تخمين هر كدام از زوايای مفصلی بكار رفته است. الگوريتم ژنتيك، تعدادي نقطه مياني را براي انطباق منحني با چند جمله اي درون ياب تعيين مي كند تا بواسطه آن بتوان تابع هدف مورد نظر را بهينه كرد. نتايج شبيه سازي، كارايي و توانايي روش مطرح شده را نشان مي دهند.

كلمات كليدي

طراحي مسير، بازوي مكانيكي ابرافزونه ، الگوريتم ژنتيك دو لايه ، 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

۱- مقدمه

مزايای استفاده از رباتها در محيطهای آلوده و خطرناک و يا مکانهايي که دارای موانع و محدوديتهای خاص هستند، محققين را به بهبود کارآيي رباتها تشويق کرده است. در اين رابطه نياز به دقت و سرعت عملکرد بالا و همچنين ظرافت کاری همراه با قابليت تحرک خوب رباتها نيز مورد توجهند که به بحث استفاده از فزوني درجه آزادي در طرح بازوي مکانيکي رباتها منتهي شده است. نتايج مثبت استفاده از افزونگي درجات آزادي و پيشرفتهاي علمي و فني اخير

[i] استاديار دانشكده مهندسی مكانيک ، دانشگاه صنعتی اصفهان ، ۸۳۱۱۱-۸٤١٥٦ ، Email: ghayour@cc.iut.ac.ir
[ii] دانشجوی دکترای طراحی کاربردی ، دانشكده مهندسی مكانيک ، دانشگاه صنعتی خواجه نصير الدين طوسی ، Email: karimi@dena.kntu.ac.ir

براي غلبه بر بعضي مشكلات در قسمتهاي سخت افزاري و نرم افزاري سيستمهاي رباتيك، كاربرد رباتهاي ابرافزونه را به طور جدي مطرح كرده است. رباتهاي ابرافزونه در راكتورهاي هسته اي، اعمال جراحي، عمليات اكتشافي در اعماق دريا، امداد رساني در مكانهاي زلزله زده براي نجات جان مجروحان، چيدن ميوه ها وكارهايي از اين قبيل 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 افزوني درجه آزادي برای جلوگیری از برخورد به موانع مي باشد. اين وظيفه مهم با پيدا كردن مسير بهينه بدون برخورد بازوي مكانيكي از حالت اوليه مشخص به يك پيكربندي نهايي مي انجامد.

Saab و Vanputte [۱] الگوريتمي براي طراحي مسير با استفاده از نقشه سطح ارائه كرده اند. اين الگوريتم فضاي جستجو را به مناطق داراي مانع و مناطق آزاد تقسيم بندي كرده و با استفاده از روش هندسي مسيري نزديك به مسير بهينه را پيدا می‌کند. Galicki روشي جهت طراحي مسير بدون برخورد ارائه كرده است [۲]. اين روش بر پايه ميدانهاي پتانسيل و كمينه كردن معياري انتگرالي مي باشد. Ding و Li [۳] يك راهبرد بر پايه منطق فازي براي اهرمبنديهاي چند درجه آزادي جهت جلوگيري از برخورد با موانع را ايجاد كرده است. به اين منظور از يك تابع شبه فاصله براي اندازه گيري فاصله بين ربات و موانع استفاده شده است. روشي ديگر براي جلوگيري از برخورد بازوهاي ابر افزونه بكارگيري شبكه هاي عصبي مي باشد. Zhang و Wang [٤] از يك شبكه عصبي دو لايه بمنظور حل بلادرنگ سينماتيك معكوس در پژوهش خود استفاده كرده اند.

چندي است الگوريتمهاي ژنتيك براي طراحي مسير و حركت رباتها و اهرم بنديها مورد استفاده قرار گرفته اند. Yano و Tooda الگوريتم ژنتيكي براي دست يابي به موقعيت و حركت مجري نهايي يك اهرم بندي دو درجه آزادي پيشنهاد كرده اند [۵] . در اين مقاله توابع هدفي در فضاي مفصلي و دكارتي تعريف و سپس با هم تركيب شده اند. Lavoie و Boudreau [٦] با استفاده از الگوريتم ژنتيك و با محاسبه لحظه به لحظه اختلاف بين موقعيتها و جهتگيري هاي واقعي و دلخواه E-E و مفاصل، طراحي مسير بازوهاي مكانيكي چند درجه آزادي را در مجاورت موانعي با مرزهاي خطي انجام داده است. Tian [۷]روش جديدي براي طراحي مسير يك بازوي مكانيكي صفحه اي در حضور چند مانع نقطه اي ارائه كرده است. در اين روش از يك تابع درون ياب هرميتي براي تقريب مسير استفاده شده و يك الگوريتم ژنتيك براي پيدا كردن مسير بهينه بكار رفته است. در پژوهشي ديگر، Roy و Pratihar [۸] با تركيب مجموعه هاي فازي و ژنتيك، الگوريتمي براي حل مساله طراحي مسير بدون برخورد بوجود آورده است. در اين الگوريتم كمترين زمان سپري شده به عنوان معيار بهينه سازي قرار گرفته و مسير حركت بصورت مجموعه اي از پاره خطهاي كوچك مي باشد.

در [۱۳]-[۱۵] الگوريتمهاي ژنتيک دو لايه با الهام گرفتن از مكانيزم غالب و مكمل ارائه شده كه بر پايه دوگانگي در جمعيت يا كروموزوم مي باشد.

در اين تحقيق، نداشتن برخورد یک بازوي مكانيكي ابر افزونه با پايه ثابت بررسي شده است. به اين منظور، با ارائه الگوريتمي جديد موسوم به الگوريتم ژنتيك دو لايه، نقاطي مياني در فضاي كاري مفصل ها، جستجو و انتخاب مي شوند. سپس با بكار گيري چند جمله اي درجه سوم اسپيلاين، مسيري هموار بر روي نقاط بدست آمده برازش داده مي شود تا پيكربندي بازوي مكانيكي در طول مسير بدست آيد. در صورت رسيدن مجري نهايي به هدف از پيش تعيين شده، شرط نداشتن برخورد بازوها با موانع با استفاده از یک روش جديد مورد بررسي قرار مي گيرد. با توليد نسلهاي مختلف توسط الگوريتم ژنتيک، حالتي را كه بازوي مكانيكي بدون برخورد و با كمترين مقدار تابع هدف كل مسير را طي كند بعنوان مسير بهينه مورد قبول واقع مي گردد.

۲- فرمول بندي مساله

يك بازوي مكانيكي N درجه آزادي صفحه اي با عضوهاي L_1، L_2، ... L_n و زواياي مفصلي θ_1، θ_2 ... θ_n در نظر گرفته می‌شود. اين بازوي مكانيكي ابرافزونه می‌بايست بدون برخورد به موانع كه با ابعاد مختلف در صفحه XY قرار دارند، از پيكر بندي اوليه به يك موقعيت پاياني مجري نهايي حركت كند. به اين منظور فرضيات زير بر مساله اعمال شده است:

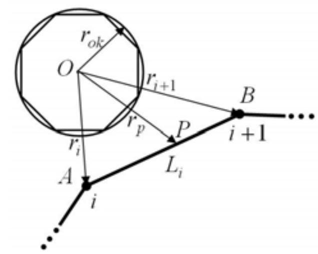
۱. هر مانع بصورت دايره اي و ساكن مي باشد.

۲. سرعت كم حركت بازوي مكانيكي براي چشم پوشي از شتابهاي لحظات اول و آخر حركت، مورد نظر است.

۲-۱- شرايط نداشتن برخورد

براي بررسي برخورد اهرمها با هر يك از موانع و همچنين استفاده بيشتر و موثرتر از فضاي حركتي اهرمها، یک روش تحليلی جديد در اين مقاله پيشنهاد شده است. اين روش كه به

طور دقيق امكان برخورد را مشخص مي كند، موجب كاهش حجم برنامه نويسي و همچنين افزايش سرعت اجرا شده و به عنوان بخشي از قيود، بهينه سازي را مورد استفاده قرار مي گيرد.



شكل (۱): نمايش هندسي يک عضو در مقابل يک مانع

براي بيان اين شيوه با توجه به شكل (۱) مي توان رابطه (۱) را نوشت:

$$r_{i+1}^2 - r_i^2 = L_i^2 - 2r_i L_i \cos(O\hat{A}B) \qquad (۱)$$

همچنين با در نظر گرفتن يک نقطه دلخواه P روي عـضو L_i روابطه (۲) بدست مي‌آيد.

$$r_p^2 = r_i^2 + L_{AP}^2 - 2r_i L_{AP} \cos(O\hat{A}B) \qquad (۲)$$

حال اگر $\cos(O\hat{A}B) < 0$ باشد به همين دليل با اسـتفاده از رابطه (۱) مي توان دريافت كه $\left|r_{i+1}^2 - r_i^2\right| > L_i^2$ خواهد بـود. اگر $r_i > r_{ok}$ باشـد و بـا توجـه بـه روابـط (۱) و (۲) و اينكـه $\cos(O\hat{A}B) < 0$ است آنگـاه بترتيـب r_{i+1} و r_p بزرگتـر از r_{ok} خواهـد بـود. در نتيجـه بـدليل اينكـه P نقطـه اي دلخـواه مي باشد پس شرايط ياد شده موجب عدم برخورد عـضو i ام با مانع k ام مي‌گردد.

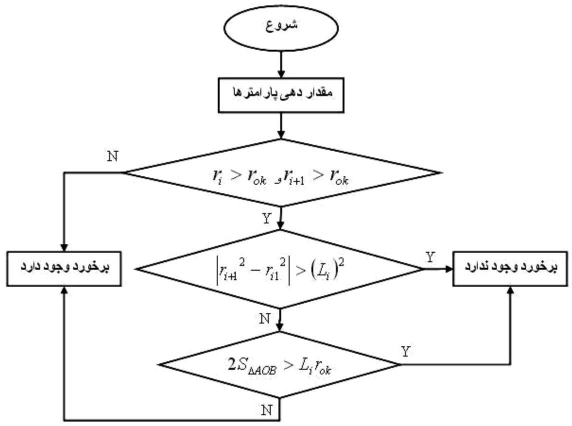
حالتي كه $\cos(O\hat{B}A) > 0$ و $\cos(O\hat{A}B) > 0$ باشـند بـه اين معني كـه دو زاويـه $O\hat{A}B$ و $O\hat{B}A$ هـر دو كـوچكتر از ۹۰ درجـه خواهنـد بـود و شـرط عـدم برخـورد مـوقعي ارضـا مي شود كه ارتفـاع وارد بـر عـضو i ام از مركـز مـانع k ام، بزرگتر از شعاع مانع باشد. براي سـادگي محاسـبه در ارضـاي اين شرط مي توان نامساوي (۳) را بيان كرد.

$$2S_{\Delta AOB} > r_{ok} L_i \qquad (۳)$$

در روابط فوق انديـسهاي i و k بـه‌ترتيـب نمـايش دهنـده i امين عضو و k امين مـانع هـستند. همچنـين $S_{\Delta AOB}$ بيـانگر مساحت ايجاد شده توسط مركز مانع k ام و دو سر عـضو i ام است كه از رابطه (۴) بدست مي آيد.

$$S_{\Delta AOB} = \sqrt{H(H - L_i)(H - r_i)(H - r_{i+1})} \qquad (۴)$$

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



شكل (۲): الگوريتم نداشتن برخورد با مانع دايره اي

روش يادشـده كـه بـصورت الگـوريتم شـكل (۲) ارائـه شـده، مي بايست براي هر نقطه مـسير و تمـام حـالات ميـان موانـع و عـضو هـا بررسـي شـود تـا يكـي از قيـود مـساله كـه نداشـتن برخورد مي باشد را برآورده كند.

۲-۲- توليد مسير

براي رسيدن به نتيجه، علاوه بر جلوگيري از برخورد به موانع مي بايست مسيري پيدا كرد تا مجري نهايي بصورت هموار بين دو نقطه شروع و پايان حركت كند. درون ياب اسپيلاين درجه سه يك روش خوب و مناسب با زمان محاسباتي پايين براي برازش منحني بر روي نقاطي مشخص بصورت هموار و پايدار مي باشد. بدليل پيچيده بودن مسير حركت، اين روش برتريهاي زيادي بر چند جمله ايهاي ساده با درجه بالا دارد [۹] .

اگر $S(x)$ نشان دهنده چند جمله اي اسپيلاين درجه سه بر روي n نقطه مجزاي x_1، x_2، ...، x_n باشد به همين دليل $f(x_1)$، $f(x_2)$، ...، $f(x_n)$ و $f'(x_1)$، $f'(x_2)$، ...، $f'(x_n)$ و $f''(x_1)$، $f''(x_2)$، ...، $f''(x_n)$ بترتيب برابر با مقدار و مشتقهاي اول و دوم در اين نقاط مي باشند. ايده اصلي اين روش، برازش توابع تكه اي مانند رابطه (۵) مي باشد [۱۰]:

$$S(x) = \begin{cases} s_1(x); & x_1 \le x < x_2 \\ s_2(x); & x_2 \le x < x_3 \\ \vdots & \\ s_{n-1}(x); & x_{n-1} \le x < x_n \end{cases} \qquad (۵)$$

كه $s_q(x)$ يـك چنـد جملـه اي درجـه سـه بـوده و مطـابق (٦) تعريف مي‌شود:

$$s_q(x) = a_q(x - x_q)^3 + b_q(x - x_q)^2 + c_q(x - x_q) + d_q \qquad (٦)$$

براي محاسبه ضرايب وزني a_q، b_q، c_q، d_q بايد شرايطي برقرار باشد تا بتوان اين $4(n-1)$ مجهول را بدست آورد. اول آنكه تابع تكه اي $S(x)$ مي بايست بر روي همه نقاط برازش شود و دوم بايد توابع $S(x)$، $S'(x)$ و $S''(x)$ بر روي بازه $[x_1, x_n]$ پيوسته باشند.

با اعمال شرايط ياد شده بر روي دسته معادلات (٦)، دو درجه نامعيني باقي مي ماند. روش معمول براي برطرف كردن آنها بكار گيري شرط درون ياب اسپيلاين طبيعي يعني $S''(x_1) = S''(x_n) = 0$ مي‌باشد.

نتيجتاً با استفاده از اين روش درونيابي مي توان مسير حركت را طراحي كرد. بدين منظور در ابتدا يك الگوريتم ژنتيك دو لايه براي جستجوي نقاط مياني بر مساله اعمال شده و چند جمله اي اسپيلاين درجه سه براي ايجاد N منحني هموار جهت تعيين زواياي مفصلي مورد استفاده قرار مي گيرد. سپس مسير بدست آمده به n_p نقطه تقسيم شده و پيكربندي بازوي مكانيكي با توجه به زواياي مفصلي در هر نقطه تعيين مي شود. بدليل مشخص بودن نقطه هدف مجري نهايي، تعيين پيكربندي نهايي كه مربوط به نقطه مسير آخر مي باشد فقط با داشتن N-٢ زاويه مفصلي و با بكارگيري سينماتيک معكوس قابل محاسبه است. در اين مرحله پيكربنديهاي N-٢ عضوي كه فاصله مفصل N-١ تا مجري نهايي بيشتر از مجموع دو عضو آخر گردند، جوابهاي موهومي براي دو زوايه مفصلي ديگر ايجاد مي كنند. از اينرو يكي ديگر از قيدهاي مساله بصورت رابطه (٧) نوشته مي‌شود:

$$\forall i, j \in \begin{cases} i = N-1, N-2 \\ j = n_p \end{cases} \Rightarrow \quad \left(\theta_{ij} - \bar{\theta}_{ij}\right) = 0 \qquad (٧)$$

در آخر، تابع هدف و همچنين قيود مذكور بر الگوريتم ژنتيك اعمال شده تا جوابهاي بهينه كه نشان دهنده مسير مورد نظر است بدست آيد.

٣- الگوريتم ژنتيك

الگوريتمهاي ژنتيك يك شيوه بهينه سازي احتمالي هستند كه از الگوي تكامل طبيعي برگرفته شده اند. در اين روش، ابتدا متغيرهاي مساله بهينه سازي بصورت زير رشته هايي (بيشتر دودوئي) كه مجموعه آنها معادل رياضي يك كروموزوم موجودات زنده است، بيان مي شوند. سپس به اين كروموزومهاي مختلف كه در واقع نمايشگر طراحي هاي مختلف هستند اجازه داده مي شود تحت شرايط كنترل شده اي به تركيب و توليد مثل بپردازند. در عين حال شرايط اين تركيب طوري در نظر گرفته مي شود كه كروموزومهاي قويتر امكان بيشتري براي بقاء بيابند و در مقابل كروموزومهاي ضعيف تر بتدريج از ميان بروند. الگوريتمهاي ژنتيك بر خلاف روشهاي كلاسيك بهينه سازي، جستجوي خود را بطور همزمان از چند نقطه دنبال مي‌كنند. مجموعه كروموزومها كه در هر تكرار از الگوريتم مورد بررسي و ارزيابي قرار مي گيرند يك نسل ناميده مي‌شوند.

در استفاده از الگوريتم ژنتيك ابتدا نسلي با يك جمعيت خاص از كروموزومها (رشته‌ها) بصورت تصادفي ايجاد مي شود. هر رشته شامل زير رشته هايي است كه هر كدام بيان كننده يكي از متغير هاي مستقل مساله بوده و مي تواند هر يك از مقادير گسسته را از دامنه تعريف شده براي متغير مربوطه بصورت تصادفي اختيار كند. به اين ترتيب نسلي از كروموزومها كه بصورت تصادفي ايجاد شده‌اند تشكيل مي شوند. سپس براي ارزيابي هر كروموزوم از يك تابع هدف استفاده مي شود. در مساله بهينه سازي، افراد بايد كمترين مقادير عددي را براي اين تابع داشته باشند. تابع هدف مي تواند با توجه به منظرهاي گوناگوني انتخاب شود. در اين مساله، مربع قدر مطلق مجموع چرخش زواياي مفصلي ١، ٢ تا N از نقطه شروع تا پايان و همچنين معيار مهارت به عنوان تابع هدف در نظر گرفته مي شود. اين انتخاب مطابق با كمينه كردن حركات مفاصل جهت كاهش انرژي مصرفي و بيشينه كردن مهارت بازوي مكانيكي مي باشد[٦، ١١]:

$$T = \sum_{i=1}^{N} \mu_i T_i - \mu_w T_w \qquad (٨)$$

كه $0 \le \mu_i \le 1$ بوده و مجموع μ_i ها برابر با يک مـی باشـد. در ايـن رابطـه T_w معيـار مهـارت و T_1، T_2 تـا T_N بترتيـب مجموع مربعات چرخش زواياي مفصلي ١، ٢ تـا N مـي باشـند. همچنين μ_1 تا μ_N ضرايب وزني مفاصل ١ تا N بوده و μ_w، ضريب وزنی معيار مهارت، با توجـه بـه مقـدار مجمـوع T_i هـا نسبت به معيار مهارت بدست می آيد. بنابراين مي توان نوشت:

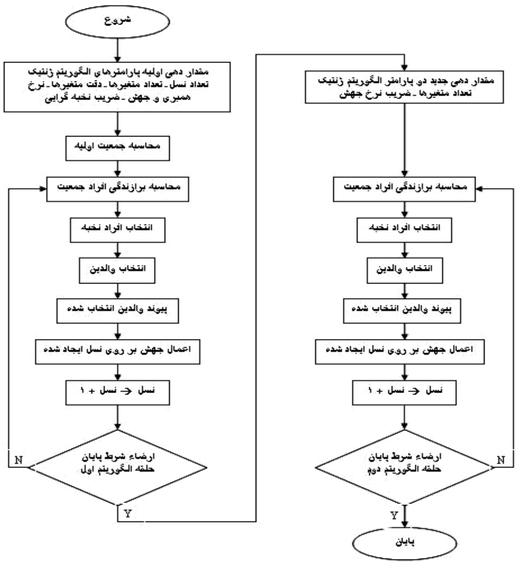
$$T_1 = \sum_{j=1}^{n_p} (\theta_{1j} - \theta_{1(j-1)})^2, T_2 = \sum_{j=1}^{n_p} (\theta_{2j} - \theta_{2(j-1)})^2, \ldots,$$
$$T_N = \sum_{j=1}^{n_p} (\theta_{Nj} - \theta_{N(j-1)})^2, T_w = \sqrt{\det\left({}^0J(\Theta)\,{}^0J^T(\Theta)\right)} \qquad (٩)$$

كه n_p تعداد نقاط مسير است. در رابطه ٩ $^0J(\Theta)$ ماتريس غير مربعي ژاكوبيان در چهارچوب اينرسی مي باشد. تابع برازندگي بطور معمول براي تبديل تـابع هـدف بـه يـك ميـزان شايـستگي نسبي تعريف مي گردد. مقادير تـابع هـدف هـر كرومـوزوم بـه صورت نزولي مرتب شده و تابع برازندگي با توجه به موقعيـت هر كدام در گروه بصورت:

$$Fit(pos) = 2 \times \frac{pos - 1}{N_{ind} - 1} \qquad (۱۰)$$

تعريف مي شود [۱۲]. در رابطه ۱۰ N_{ind} تعداد كروموزومهاي موجود در هر نسل و pos موقعيت هر كروموزوم در جمعيتي است كه به صورت نزولي بر حسب تابع هدف مرتب شـده انـد. اين تابع، عددي غير منفي را براي هر كروموزوم بر مي گردانـد كه نشان دهنده شايستگي يا توانايي فردي آن كروموزوم است. در صورتيكه كروموزومهاي نـسل حاضـر كـه قيـود مـساله را بطور كامل برآورده مي كنند شرايط بهينگي را نداشته باشند، از ميـان آنهـا برازنـده تـرين كروموزومهـا انتخـاب شـده و بـراي تركيب و توليد كروموزومهاي جديد به حـوزه تـزويج فرسـتاده مي شوند. همچنين براي توليد نـسل بعـد از روش نخبـه گرايـي نيز استفاده مي‌شود.

زمان بر بودن طراحي مسير بازوهاي مكانيكي ابر افزونه در برابر موانع يكي از مشكلاتي است كه مساله بهينه سازي با آن روبرو مي باشد. از اين رو در اين مقاله روشي جديد به نام به الگوريتم ژنتيک دو لايه پيشنهاد شده تا بتوان اين پيچيدگی را به ميزاني كاهش داد (شكل (۳)). متغيرهايي كه بايد توسط الگوريتم ژنتيک تعيين شوند به دو دسته تقسيم مي شوند, نخست نقطه مسيرهاي استراتژيکی كه با توجه به موقعيت موانع پيدا مي شوند و سپس مقدار زاويه اي كه هر مفصل بايد در اين نقاط داشته باشد. با توجه به اينكه اين نقاط ويژه طي گذشت چند نسل مشخص مي شوند به همين دليل نيازي به آنها در ادامه الگوريتم نمي باشد. بنابراين براي كاهش زمان برنامه، الگوريتم ژنتيک دومی در انتهای الگوريتم ژنتيک اول ايجاد می شود. در اين الگوريتم تركيبي، مقدار زاويه ها در نقاط استراتژيک به‌جهت جستجو وارد الگوريتم ژنتيک دوم شده و محل اين نقاط همان مقادير قبلی باقی می مانند. تعداد نسلی كه جابجايي الگوريتم ژنتيک در آن صورت می گيرد با توجه به درجات آزادی بازوی مكانيكی و همچنين پيچيدگی محيط كاری می باشد.



شكل (۳): الگوريتم ژنتيک دو لايه

از طرف ديگر به خاطر ابرافزونگي درجات آزادي، رسيدن به بهينه كلي با زيادتر شدن تعداد نسلها سخت تر مي شود. از اين رو با توجه به اينكه ميزان نرخ جهش در چنين شرايط بسيار تاثير گذار است به همين دليل روش جديد و موثري براي اعمال نرخ عملگر جهش در الگوريتم ژنتيک دوم پيشنهاد شده است. در ابتدا ميزان نرخ جهش به دو صورت بر روي الگوريتم دوم اعمال شد كه يكي مقداري ثابت و بزرگتر از نرخ جهش در الگوريتم اول و ديگري افزايش ميزان نرخ جهش با استفاده از منحنيهاي درجه اول و بالاتر مي باشد. انجام اجراهاي بسيار زياد كامپيوتري موفق نبودن اين روشها در تحقيق حاضر را نشان دادند. در پايان، ارائه يک الگو بر پايه مقادير اتفاقي و استفاده از آن نتايج بسيار سودمندي را در بر داشت. در اين الگو يک تابع درجه دوم بصورت ۱۱ بكار گرفته شد.

$$mut = A(rand)^2 + B(rand) + C \qquad (۱۱)$$

در اين رابطه mut ميزان نرخ جهش و $rand$ يک مقدار اتفـاقي در محدوده [۱،۰] مي‌باشند. مقادير ثابت A ، B و C بـا توجـه به مقادير حداقل و حداكثر نرخ جهشي كه براي مـساله در نظـر گرفته مي‌شود بدست مي‌آيد. ميزان نرخ جهش با توجه به رابطه (۱۱) براي ايجاد هر نسل عددي اتفاقي و بين دو مقدار ياد شـده مي‌باشد. به دليل اينكه خود عملگر جهش تصادفي مـي‌باشـد بـه همين دليل مشكل مي توان بطور دقيق با توجه به شـماره نـسل نرخ مشخصي بـه آن اختـصاص داد. بنـابراين ايـن روش قـادر است در چند نسل متوالي نرخهاي جهش كاملاً متفاوت ولـي در محدوده مجاز را اعمال نمايد.

در الگوريتمهاي ژنتيك بمنظور توليد مثل، كروموزومها در قالب زوجهايي با يكديگر تركيب شده و همانند فرايند وراثت طبيعي، تحت اثر عملگرهايي قرار مي گيرند كه مهمترين آنها عملگر همبري و عملگر جهش هستند. عملگر همبري بر روي يك زوج كروموزوم از نسل مولد عمل كرده و يك زوج كروموزوم جديد توليد مي كند. عملگرهاي همبري متعددي از قبيل همبري تك نقطه اي و دو نقطه اي وجود دارد. در همبري تك نقطه اي، يك موقعيت دلخواه بي قاعده بر روي دو كروموزوم در نظر گرفته مي شود. سپس تمامي ارقام (ژنها)ي سمت راست يا سمت چپ اين موقعيت در كروموزومهاي والد با يكديگر جابجا مي شوند تا دو كروموزوم جديد كه هر يك بخشي از خصوصيات خود را از يكي از والدينش به ارث برده توليد گردد:

۰۱۱۰۱ ۰۰۱۰		۰۱۱۰۱ ۰۱۰۱
فرزندان	<— همبري	والدين
۱۰۱۱۱ ۰۱۰۱		۱۰۱۱۱ ۰۰۱۰

معمولاً احتمال انجام عمل همبري براي هر زوج كروموزوم بين ۰,٦ تا ۰,۹۵ در نظر گرفته مي شود كه به اين عدد نرخ همبري گفته مي‌شود.

پس از اتمام عمل همبري، عملگر جهش بر روي كروموزومها اثر داده مي شود. اين عملگر يك رقم (ژن) از يك كروموزوم را بصورت دلخواه بي قاعده انتخاب كرده و محتواي آن را تغيير مي‌دهد:

۱۰۱۱۱۱۱۰۱ <— جهش ۱۰۱۱۱۰۱۰۱

احتمال انجام عمل جهش بر روي هر كروموزوم را نرخ جهش مي‌گويند كه عدد بسيار كوچكي در نظر گرفته مي‌شود.

بعد از انجام فرايند هاي گفته شده شرط بهينه بودن بررسي مي شود و در صورت برآورده نشدن اين شرط، روند بيان شده براي نسلهاي بعدي تكرار مي گردد و در پايان نسلي كه شامل برازنده‌ترين كروموزومها (طرحهاي بهينه) است بدست مي آيد.

۴- شبيه سازي

جهت تصديق الگوريتم ارائه شده، دو مورد شبيه سازي با محيطهاي كاري متفاوت انجام مي شود. بدين منظور يك بازوي مكانيكي شش درجه آزادي صفحه اي با طولهاي L_1 = ۱/۵ m، L_2 = ۱/۲۵ m ، L_3 = ۱ m ، L_4 = ۰/۷۵ m ، L_5 = ۰/۵ m و L_6 = ۰/۵ m در مجاورت موانعي با مرزهاي دايره اي در نظر گرفته شده كه از يك پيكر بندي مشخص قصد رسيدن به يك هدف مشخص براي مجري نهايي را دارد. اين حالت شبيه حركت دست انسان بوده كه از يك پيكر بندي معين براي برداشتن يك جسم به عنوان هدفي از پيش تعيين شده بدون برخورد با موانع اقدام مي كند.

با استفاده از زواياي مفصلي بدست آمده توسط الگوريتم ژنتيک و منحنيهاي اسپيلاين مي‌توان موقعيت مجري نهايي را در هر نقطه مسير حركت بدست آورد.

معادلات سينماتيك مستقيم يك اهرم بندي شش درجه آزادي در حالت كلي به صورت رابطه ۱۲ نوشته مي‌شود:

$$ {}^{0}\vec{P}_e = \left(\prod_{q=1}^{6} {}^{q-1}_{\ q}R(\theta_q) \right) {}^{6}\vec{P}_e + {}^{0}\vec{P}_b \qquad (۱۲) $$

در رابطه ۱۲، $R(\theta_q)$ ماتريس دوران، ${}^{k}\vec{P}_b$ و ${}^{k}\vec{P}_e$ به ترتيب موقعيت پايه بازوي مكانيكي و مجري نهايي در دستگاه k ام مي باشند. بدليل اينكه حل مساله سينماتيک معكوس بازوهاي مكانيكي داراي ابر افزونگي آزادي دشوار بوده و معضل نقاط تكين را نيز دارا مي باشد به همين دليل روش كنترل غير متمركز براي طراحي زواياي مفصلي بكار رفته است. زياد بودن اعضا و مقيد بودن عضو اول موجب مي شود تا انحناي آنچناني در زاويه مفصلي اول ديده نشود به همين دليل مقدار زاويه θ_1 به صورت خطي به سيستم اعمال مي گردد.

زواياي مفصلي و نقطه مسيرهاي مربوط به هر كدام كه به عنوان متغيير در الگوريتم ژنتيک مورد جستجو قرار مي‌گيرند به‌ترتيب موجود در رابطه ۱۳ مي‌باشند.

$$ \begin{aligned} \theta_1 &= [\theta_1^{(initial)} \quad \theta_1^{(final)}] \\ \theta_{2-4} &= [\theta_{2-4}^{(initial)} \quad \theta_{2-4}^{(1)} \cdots \theta_{2-4}^{(i)} \quad \theta_{2-4}^{(final)}] \\ \theta_{5,6} &= [\theta_{5,6}^{(initial)} \quad \theta_{5,6}^{(1)} \cdots \theta_{5,6}^{(i)} \quad {}^{*}\theta_{5,6}^{(final)}] \\ pp_1 &= [1 \quad n_p] \\ pp_{2-6} &= [1 \quad pp_{2-6}^{(1)} \cdots pp_{2-6}^{(i)} \quad n_p] \end{aligned} \qquad (۱۳) $$

در اين رابطه i تعداد نقاط مياني بوده كه با توجه به پيچيدگي محيط تعيين مي‌گردد. همچنين pp_i معرف نقطه مسير هاي مربوط به θ_i مي‌باشد.

در اين مطالعه $n_p =$ ۶۰ در نظر گرفته شده و براي اعمال قيود مساله، مقدار تابع هدف برابر با بينهايت منظور مي شود تا حالتهاي غير واقعي در درون الگوريتم ژنتيك به سرعت حذف شوند [٦].

پارامترهاي ژنتيكي مورد استفاده براي هر دو شبيه سازي انجام شده عبارتند از:

دقت متغيرها: ١٦ تعداد كروموزومها: ١٥٠

بيشترين تعداد نسل: ٧٥٠ دو مانع – ١٠٠٠ سه مانع

نرخ همبري (Crossover rate): ۰٫۹

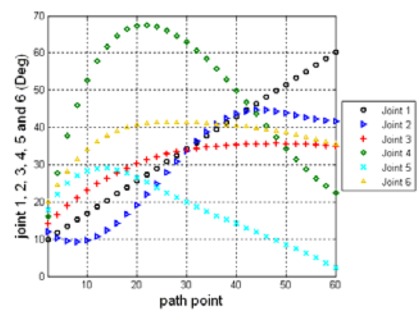
نرخ جهش در ژنتيک ساده (Mutation rate): ۰٫۰۰۱

ميزان زايش (Generation gap): ۰٫۹۸

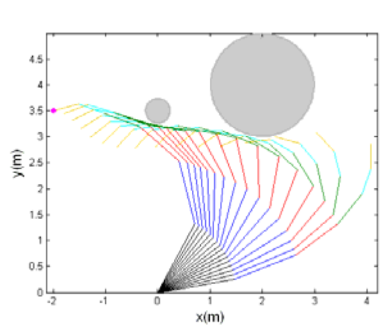
که نرخ جهش بکار رفته مربوط به الگوريتم اول مي شود. همچنين براي اعمال عملگر همبري از همبري دو نقطه اي استفاده شده و چرخ دوار براي عملگر انتخاب بکار رفته است.

۴-۱- دو مانع

در اين شبيه سازي ،دو مانع به شعاعهاي ۰/۲۵ و ۱ بترتيب در موقعيتهاي (۳،۰/۵) و (۲،٤) واقع شده اند. در حالت اوليه، هر شش زاويه مفصلي برابر با ۱۰، ۱۲، ۱٤، ۱٦، ۱۸ و ۲۰ درجه بوده و مجري نهايي به سمت مقصد (۳/۵ ، ۲-) حرکت مي‌کند. تعداد کل متغير هاي جستجو شده شامل نقاط مسير و زواياي مفصلي برابر با ۳٤ بوده که از اين تعداد ۱۹ مورد که متعلق به زوايه هاي مفصلي مي باشند به الگوريتم ژنتيک دوم منتقل مي-شوند. شرط خاتمه الگوريتم اول رسيدن به تعداد تکرار ۱۵۰ در نظر گرفته شده است.



شکل (۸) : زواياي مفصلي بر حسب نقاط مسير براي دو مانع



شکل (۹) : نحوه حرکت بازوهاي مکانيکي براي دو مانع

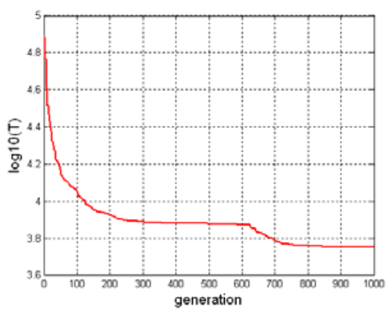
شکل (۸) نحوه تغييرات زواياي مفصلي را در کل مسير حرکت بيان مي کند. براي نمايش کارايي روش ارائه شده در حضور بيش از يك مانع شکل (۵) آورده شده است. از شکل (۹) مي توان دريافت هر چند مساله در محيطي حاوي دو مانع پيچيده است ولي معيار مهارت در طول شبيه سازي همواره تقويت شده و از رسيدن به نقاط تکين جلو گيري شده است.

٤-۲- سه مانع

براي نشان دادن توانايي الگوريتم ارائه شده، تعدادموانع در اين شبيه سازي بيشتر درنظر گرفته شده و نقطه مطلوب مجري نهايي در مکاني قرار گرفته که دسترسي به آن مشکل تر باشد. مانع جديد به شعاع ۰/۲۵ در موقعيت (۱،۲) واقع شده است. در حالت اوليه، هر شش زاويه مفصلي برابر با مقادير متناظر با آنها در دو شبيه سازي قبلي بوده و مجري نهايي به سمت مقصد (٤/۲۵، ۰/۲۵) حرکت مي کند. به علت پيچيدگي محيط، متغير هاي جستجو مفصل اول و نقاط مسير مربوطه بصورت رابطه ١٤ افزايش يافته است.

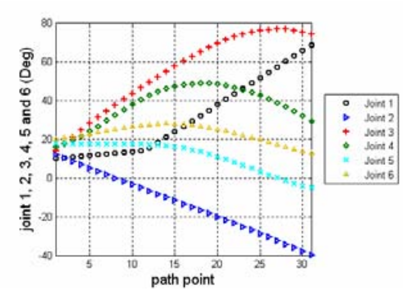
$$\theta_1 = [\theta_1^{(initial)} \quad \theta_1^{(middle)} \quad \theta_1^{(final)}]$$
$$pp_1 = [1 \quad n_p] \qquad (۱٤)$$

تعداد کل متغير هاي جستجو شده شامل نقاط مسير و زواياي مفصلي برابر با ۳٦ بوده که از اين تعداد ۲۰ مورد که متعلق به زوايه هاي مفصلي مي باشند به الگوريتم ژنتيک دوم منتقل مي شوند.



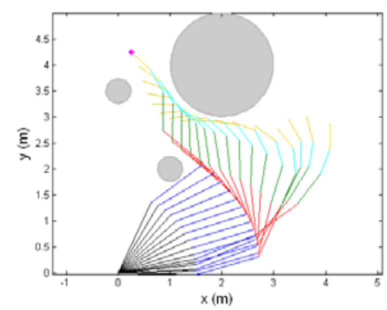
شکل (۱۰) : لگاريتم تابع هدف در مقابل تعداد نسل براي سه مانع

شکل (۱۰) نحوه همگرايي الگوريتم دو لايه را تا رسيدن به يك حد بهينه پايدار نشان داده است. در واقع نسلهاي ايجاد شده تا قبل از نسل ۶۰۰ بيانگر اجراي الگوريتم ژنتيک ساده بوده که با رفتن الگوريتم به لايه دوم توانسته به مقادير پايينتري دسترسي پيدا کند. برای نمایش مسیرهای بدست آمده، روند تغييرات زواياي مفصلي برای سه مانع در شکل ۱۱ آورده شده است.

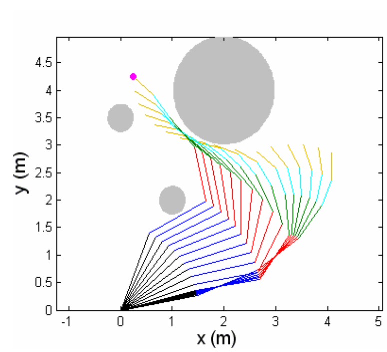


شكل (۱۱) : زواياي مفصلي بر حسب نقاط مسير براي سه مانع

در پايان مي‌توان ديد كه با پيچيده شدن محيط و سخت‌تر شدن دسترسي مجري نهايي به نقطه هدف، بازوي مكانيكي قادر است طراحي مسير بدون برخورد را با بكارگيري الگوريتم ژنتيک دو لايه بهتر از ژنتيک ساده انجام دهد (شكلهاي ۱۲ و ۱۳). همانطور كه در اين دو شكل پيداست، الگوريتم ژنتيک دو لايه ربات را هموارتر و با معيار مهارت بالاتري به انتها رسانده است. گفتني است كه در اين حالت به علت تعداد متغيرهاي زياد و فضاي جستجوي پيچيده نمي‌توان گفت كه اين نتايج بهينه ترين جواب است ولي مي‌تواند به جواب بهينه نزديک باشد.



شكل (۱۲) : نحوه حركت ربات براي سه مانع (ژنتيک ساده)



شكل (۱۳) : نحوه حركت ربات براي سه مانع (ژنتيک دو لايه)

۵- نتيجه

در اين تحقيق به طراحي مسير يك بازوي مكانيكي n درجه آزادي در محيطي داراي مانع پرداخته شده است. اين طراحي بر پايه كمينه كردن يک تابع هزينه از ابتدا تا انتهاي حركت بوده بگونه اي كه با موانع برخورد نداشته و تمام قيود را ارضا كند. بعنوان نتايج اين پژوهش مي توان به موارد زير اشاره كرد.

- استفاده از يک الگوريتم ژنتيك دو لايه يك روش بهينه سازي بسيار موثر براي طراحي مسير رباتها و بازوهاي مكانيكي با درجات آزادي بالا مي باشد.
- روش جديد ارائه شده جهت عدم برخورد با موانع دايره اي باعث كاهش حجم برنامه نويسي و زمان اجرا مي شود.
- همچنين اين شيوه موجب استفاده هر چه بيشتر از فضاي كاري شده و كارايي بازوي مكانيكي را براي حركتي بدون برخورد افزايش مي دهد.
- روش درون يابي اسپيلاين قادر به ايجاد مسيرهايي هموار و پيچيده بوده و همچنين موجب ساده تر شدن الگوريتم طراحي مسير مي‌گردد.

در ادامه كار، جايابي پايه ربات، طراحي اندازه عضوها و كنترل مسير حركت 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.

[٤] 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.

[٦] 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., Zalzala, A.M.S., "Dynamic modeling and genetic-based trajectory generation for non-holonomic mobile manipulators" Control Eng. Practice 5(1), pp. 39-48, 1997.

[۱۲] 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.

[۱۳] Park, T., and Ryu, K.R., “A dual population genetic algorithm with evolving diversity” IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2007.

[۱٤] 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.

[۱٥] 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.