مجله مهندسی مکانیک و ارتعاشات، تابستان ۱۳۹۹، دوره ۱۱، شماره ۲، ص‌ص ۱۲-۲۲

فصلنامه

مهندسی مکانیک و ارتعاشات

jvibme.semnaniau.ac.ir

بکار گیری الگوریتم های تکاملی به منظور بررسی طراحی مسیر بهینه ربات پایه موبایل (با رویکرد مقایسه‌ای در محیط‌های مختلف)

ساناز محمدی[۱]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک-طراحی کاربردی،دانشکده فنی دانشگاه شهید باهنر کرمان.

* کرمان،صندوق پستی ۷۶۱۶۹۱۴۱۱۱، پست الکترونیکی sanazmohammadi925@gmail.com

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: ۲۲ فروزدین ۱۳۹۹

پذیرش: ۳۱ مرداد ۱۳۹۹

ارائه در سایت: ۳۱ مرداد ۱۳۹۹

کلیدواژگان

الگوریتم جستجوی گرانشی

طراحی مسیر بهینه ربات پایه محیط های دینامیک و استاتیک

عدم برخورد با موانع

الگوریتم ازدحام ذرات

مقایسه رویکردها(دیدگاه ها).

چکیده

تحقیق در زمینه طراحی مسیر بهینه ربات های موبایل، یکی از مهمترین موضوعات در زمینه ربات های موبایل می باشد. طراحی مسیر به منظور یافتن مسیری بدون برخورد با وجود موانع محیطی، انجام می گیرد. الگوریتم جستجوی گرانشی به منظور طراحی مسیر بهینه ربات موبایل در محیط های معین و محیط های نسبتا معین یا نامعین باموانع (استاتیک یا دینامیک)، مطرح شده است. الگوریتمی طراحی می شود که طبق آن مسیری بهینه از نقطه شروع تا نقطه هدف به دست می آید که در آن از هر گونه برخورد با موانع استاتیک یا دینامیک ، جلوگیری می شود. بررسی های انجام گرفته نشان دهنده ی کارایی مناسب الگوریتم از نظر سادگی در اجرا در فرآیندهای زمان بر و نتایج حاصل از بررسی زمان و طول مسیر حرکت در محیط های دینامیک و استاتیک، حاکی از نقطه قوت این الگوریتم تکاملی نسبت به دیگر الگوریتم های تکاملی به خصوص در محیط های دینامیکی می باشد. بررسی ها حاکی از برتری کارایی الگوریتم جستجوی گرانشی نسبت به دیگر الگوریتم های تکاملی موجود (الگوریتم ازدحام ذرات) بوده است و این برتری، تاثیر بسزایی در روند طراحی مسیر محیط های استاتیک و دینامیک به خصوص در محیط های دینامیک، داشته است.

Using of evolutionary algorithms to study the optimal path planning of mobile robot (A comparative approach in different environments)

Sanaz Mohammadi[1]

1- Department of Mechanical Engineering, Shahid Bahonr **University**, Kerman, Iran

*P.O.B:sanazmohammadi925@gmail.com

Article Information

Original Research Paper

Received: 10 April 2020

Accepted 21 August 2020

Available Online21 August 2020

Keywords

Gravitational search algorithm (GSA

The design of optimal path

Mobile robot-dynamic and static environment

ABSTRACT

In this study, a gravitational search algorithm has been proposed to design the optimal route of mobile robot in certain and known environments or relatively unknown environments (static or dynamic). Reviews in this paper, indicates proper operation of the algorithm in terms of convenience and simplicity in running processes time consuming offline and online. Also, as well as the results of the review period and the path to achieve the optimal route in dynamic environments and static is Representative and shower the strength of the evolutionary algorithm than other evolutionary algorithms in the field.

Finally, the experimental results are indicated a superior performance gravitational search algorithm than other evolutionary algorithms available

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Sanaz Mohammadi, **Using of evolutionary algorithms to study the optimal path planning of mobile robot (A comparative approach in different environments)**, *Journal of Mechanical Engineering and Vibration*, Vol. 11, No. 2, pp. 12-22, 2020 (In Persian)

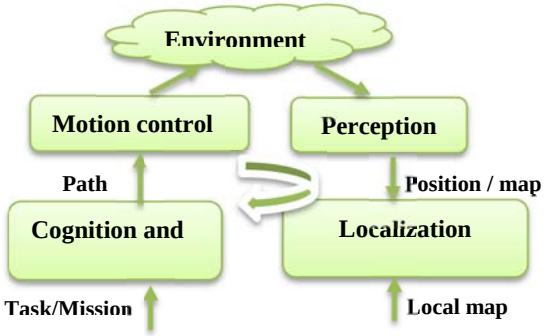
(algorithms, particle swarm) which discussed in this research. This topic has had a significant impact on the design direction of the static and dynamic, especially in the environment Dynamic.

Obstacles avoidance-particle swarm algorithm (PSO) Comparison of approaches.

۱- مقدمه

تحقیق و پژوهش در مورد الگوریتم‌های متخلفی که به‌منظور برنامه‌ریزی و طراحی مسیر بهینه موبایل ربات انجام می‌گیرد، ازجمله موضوعات داغ موردمطالعه محققین هست.ربات‌های موبایل در بسیاری از فیلدها و زمینه‌های صنعتی پرخطر که ممکن است برای انسان مضر باشد، در حد گسترده‌ای به‌کاربرده شده است. این زمینه‌ها شامل: تحقیقات هوافضا، صنعت هسته‌ای، صنایع معدن هستند. پیدا کردن مسیری ایمن در یک محیط پرخطر برای ربات موبایل یکی از الزامات ضروری برای موفقیت در دستگاه‌های رباتیک موبایل است.بنابراین، اهمیت الگوریتم‌های طراحی مسیر بهینه برای حرکت ربات از نقطه شروع تا نقطه هدف بدون برخورد (باوجود موانع) شرط اساسی برای ایمنی ربات موبایل در ابن محیط‌ها است. علاوه بر این، به‌منظور کاهش زمان پردازش، تأخیر در ارتباط و مصرف انرژی، نیاز به بهینه کردن مسیر موردنظر به کوتاه‌ترین مسیر احساس می‌شود.در صنایع ربات سازی، اولین مرحله از ساخت یک ربات، رباتی بسیار ساده است که از بازوهای مکانیکی تشکیل‌شده است و توسط نیروی موتوری کنترل می‌شوند.برنامه‌ریزی حرکت ربات اغلب در محیط با موانع ایستا انجام می‌شده است. نمونه‌ای از این ربات در طراحی مسیر در محیط‌های استاتیک طراحی‌شده است که به آن پرداخته‌شده است.[۱] با توسعه فنّاوری، ربات‌ها درزمینه های صنعتی مانند تحقیقات هوافضا ، تحقیقات دریایی، صنایع معدن و غیره به کار گرفته‌شده‌اند. ربات زیرآبی خرچنگ مانند یکی از انواع جدید این ربات‌هاست. اخیراً، محققین استرالیایی، ربات خودرو زیردریایی بدون سرنشین را به‌منظور نقشه‌برداری از صخره‌ها مطرح کرده‌اند.[۲] این ربات به سیستم سونار چشمی مجهز شده است و در سطح دریا کار می‌کند. اینکه چطور بتوانیم به‌سرعت در برابر تغییرات محیط به‌منظور جلوگیری از برخورد با صخره‌ها و ماهی‌های بزرگ در حال حرکت در بستر دریا، واکنش نشان دهیم ؛ خود یک موضوع اساسی در طراحی و اجرای ربات است. لازمه‌ی انجام موفقیت‌آمیز هر یک از این مأموریت‌ها، قابلیت شناسایی محیط و دوری از برخورد با موانع و دستیابی به هدف است. در تمامی این موارد، ربات‌ها

کار باربری را مطابق شکل ۱[1] با استفاده از اجزای سازنده‌شان انجام می‌دهند.



شکل ۱: اجزای سازنده حرکت ربات‌های موبایل باربر

وظیفه حمل‌ونقل موبایل‌های ربات شامل درک محیط، تمرکز در نقطه معین و ایجاد نقشه راه،تشخیص، طراحی مسیر و کنترل مسیر می‌باشند. درک محیط به فهم و دانستن داده‌های حسگربرمی‌گردد. پیدا کردن محل و موقعیت در محیط اطراف،

بومی یا محلی سازی و ایجاد مسیر است. برنامه‌ریزی حرکت متأثر از پارامترهای زیادی همچون منابع اطلاعاتی، عدم قطعیت در محیط، ابعاد محیط، تغییرات زمانی محیط، تعداد ربات‌ها، محدودیت‌های پردازشی و دینامیکی ربات‌ها و بسیاری از موارد دیگر است. برای ربات موبایل خودکار، طراحی مسیر بسیار ضروری و مهم است .قصد ما طراحی بهترین مسیر ممکن است که با معیارهایی همچون کوتاه‌ترین مسیر،همواری مسیر، مصرف حداقل انرژی و زمان سنجیده می‌شود.از مهم‌ترین این معیارها می‌توان به کوتاه‌ترین مسیر که هم‌زمان با حداقل زمان ممکن همراه است، اشاره نمود. بخش اول این تحقیق، به بیان موضوع اصلی تحقیق که شامل مقدمه کلی برای بیان مسئله است و همچنین اهداف و نتایج تحقیق می‌پردازد.بخش دوم دربردارنده‌ی جزئیات ادبیات موضوع و اطلاعات درزمینه

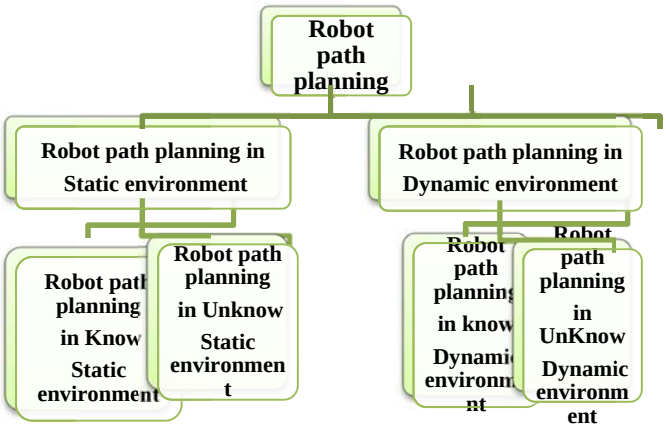
[1] Siegwart and Nourbaksh, 2004

طراحی مسیر موبایل است. به‌عنوان یکی از اجزاء اصلی این تحقیق، بخش سوم در مورد روش الگوریتم موردبحث ، نحوه اجرای آن و معادلات مربوط به آن پرداخته است. در بخش‌های بعدی خروجی نتایج و تحلیل آن‌ها را خواهیم داشت

۲- طبقه‌بندی روش‌های طراحی مسیر ربات

مسئله طراحی مسیر حرکت ربات، یکی از مهم‌ترین جنبه‌های تحقیقاتی درزمینهٔ حرکت ربات است. بسته به محیطی که ربات در آن قرار پدارد،روش‌های طراحی می‌توانند در دو زیرمجموعه قرار گیرند: (۱): طراحی مسیر ربات در محیط استاتیک که تنها شامل موانع ایستا در نقشه راه است. (۲): طراحی مسیر ربات در محیط دینامیک که شامل موانع استاتیک و دینامیک می‌باشند.

شکل ۲ نشان‌دهنده‌ی سلسله‌مراتب روش‌های طراحی مسیر ربات است. هرکدام از این موارد بسته به اینکه چقدر ربات محیط پیرامون خود را شناسایی کند، به دو زیرمجموعه تقسیم می‌شوند: (۱): طراحی مسیر ربات در یک محیط کاملاً مشخص و شناخته‌شده، به‌گونه‌ای که ربات مسیر حرکت و محل موانع را قبل از شروع حرکت می‌داند. مسیر برای ربات می‌تواند نتایج بهینه کلی در برداشته باشد، زیرا تمام محیط معین و شناخته‌شده است. (۲):طراحی مسیر ربات در محیطی نیمه-شناخته یا ناشناخته است . در این طراحی، ربات سعی در به دست آوردن اطلاعات محلی در مورد موقعیت، اندازه و فرمت موانع با استفاده از حس‌گرهایی دارد.بنابراین از این اطلاعات به‌منظور پیشرفت طراحی مسیر محلی خود استفاده می‌کند.



شکل۲: سلسله مرتب روش‌های طراحی مسیر ربات

۲-۱: طراحی مسیر در یک محیط استاتیک و شناخته‌شده(معین)

در یک محیط مشخص، ربات اطلاعات کلی از محیط را قبل حرکت می‌داند.بنابراین می‌توان قبل از حرکت، مسیر بهینه را به‌صورت آفلاین محاسبه نمود. فن‌ها و روش‌های موجود به‌منظور طراحی مسیر استاتیک و مشخص نسبتاً جاافتاده و معین هستند. به‌عنوان نمونه‌ای از روش‌های طراحی مسیر در محیطی مشخص می‌توان به روش گراف دید[۴]، روش نمودار ورونوی[۵]، روش شبکه‌ها[۶]، روش تجزیه سلولی[۱۰] و روش فیلد پتانسیل[۱۱].

۲-۲: طراحی مسیر در محیط نامشخص و استاتیک

در این محیط‌ها ، حرکت ربات مشکل‌تر از محیط‌های استاتیک و شناخته‌شده است. نا اطمینانی از اطلاعات محیط، رسیدن به جواب بهینه را با مشکل مواجه می‌سازد؛ چون ربات مجبور است از اطلاعات محلی به‌منظور محاسبه مسیر استفاده کند.در زیر به معرفی برخی روش‌های این‌چنین محیطی پرداخته‌ایم.

امروزه، مسئله طراحی مسیر هنوز موردعلاقه بسیاری از محققین در حوزه رباتیک و مطالعات هوش مصنوعی است. یافتن مسیر برای ربات در محیط استاتیک نامشخص در مطالعات آینده نیز جای بحث دارد.

۲-۱-۳: طراحی مسیر در محیط دینامیک و شناخته‌شده

تحقیق و پژوهش روی روش‌هایی که با طراحی مسیر محیط استاتیک سروکار دارند، به‌خوبی توسط صدها مقاله منتشرشده، نشان داده‌شده‌اند.با دانستن اطلاعات کل محیط ، نتایج ما بیشتر به حالت بهینه نزدیک می‌شوند که نمود این موضوع در قالب الگوریتم‌هایی همچون الگوریتم ژنتیک آورده می‌شود.

اگرچه در عمل، ربات‌هایی که در [۲] و [۳] آورده شده‌اند، اغلب با موانعی مواجه می‌شوند که تمام آن‌ها مربوط به محیط‌های استاتیک نیستند و موقعیت و حرکت موانع باعث تغییر نقشه حرکت ربات می‌شود.موانع در حال حرکت در محیط دینامیک، سختی طراحی مسیر ربات را افزایش می‌دهند. برخلاف موقعیت موجود در طراحی مسیر محیط استاتیک، گزارش‌های محدودی در موردبحث و بررسی طراحی مسیر حرکت ربات در محیط دینامیک را شاهد هستیم. پیچیدگی و نا اطمینانی با افزایش تعداد موانع دینامیک رو به زیادشدن می‌کند. بنابراین واضح است که الگوریتم‌های طراحی مسیر ابتدایی مانند نمودار دید ، دیاگرام‌های ورونوی و روش شبکه‌ها

به‌خوبی در محیط‌های دینامیک اجرا نمی‌شوند. همچنین به دست آوردن مسیر بهینه برای ربات با استفاده از این روش‌ها، مشکل است. بنابراین طراحی مسیر ربات در محیط دینامیک موضوعی است که نیاز به تحقیقات بیشتری در این زمینه احساس می‌شود. اینکه چطور ربات مدیریت شود تا بتواند مسیری ایمن و بهینه را بدون برخورد طی کند ، از موضوعات مهمی است که بایستی موردتوجه قرار بگیرد.

علاوه بر این، روش‌هایی همچون الگوریتم ژنتیک، الگوریتم جستجوی گرانشی، الگوریتم ازدحام ذرات و روش‌های دیگری به‌منظور محاسبه مسیر بهینه ربات به‌کاربرده می‌شوند. دیویدر[1]الگوریتم ژنتیکی طراحی‌شده با عامل اصلاح‌شده‌ای را به‌منظور طراحی مسیر بهینه به‌کاربرده است.[۱۲] شهاب علم و همکاران ۱۳۹۴ طراحی مسیر موبایل ربات را در محیط‌های استاتیک با استفاده از روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات انجام داده‌اند. پورکارو و همکاران[2] ۱۳۹۲ از تلفیق روشPSO و GSA به‌منظور طراحی مسیر حرکت موبایل ربات در محیط‌های استاتیک بهره برده‌اند.

۳-۲: طراحی مسیر در محیط دینامیک و ناشناخته

طراحی مسیر در محیط دینامیک و ناشناخته پیچیده‌ترین مورد طراحی ربات است. این حالت شایع‌ترین حالتی است که یک موبایل ربات با آن روبروست. در عالم واقع، موبایل ربات‌ها مانند وسایل نقلیه زیردریایی بدون سرنشین هستند و سعی می‌شود در بستر دریا هم‌زمان هم از برخورد با سنگ‌های بستر و هم از برخورد با ماهی‌های بزرگ که در دریا زندگی می‌کنند، جلوگیری شود. به خاطر چنین شرایط محیطی، ربات نمی‌تواند در یک‌زمان برنامه‌ریزی جهانی حرکت در محیط را داشته باشد. راه‌حل بهینه جهانی در این موارد به جهت دستیابی مشکل هستند.ربات مجبور به استفاده از حس‌گرهایی است که اطلاعات را از محیط اطراف بگیرد و برنامه‌ریزی حرکت را به‌صورت آنلاین انجام دهد. زمان طراحی بایستی کوتاه باشد تا ربات بتواند زمان کافی برای وقفه به‌منظور تعدیل خودش برای جلوگیری از برخورد با موانع را داشته باشد.در پاراگراف‌های بعدی تحقیقات معاصر که در این زمینه صورت گرفته‌اند، مرور می‌شوند.

فنگ و همکارش[3]، میدان پتانسیل عددی را به‌منظور یافتن مسیر در محیط‌های دینامیک مطرح نمودند.[۲۵] در این تحقیق از الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه به‌منظور یافتن مسیر بهینه ربات استفاده‌شده است.در اینجا حرکت موانع نیز با در نظر گرفتن تغییرات در ارزش پتانسیل محلی ، محاسبه‌شده است.این روش در ابتدا، میدان پتانسیل ارزشی را برای محیط دینامیک به کار می‌گرفت و بعد از الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه به‌منظور پیدا کردن مسیر بهینه برای طراحی محلی بهره گرفته است.

ژاو و ژنگ[4]، میدان پتانسیل مصنوعی را بر پایه دیدگاه مطرح‌شده در سال ۲۰۰۶ مطرح نمودند. این روش به‌خوبی از پس روند طراحی مسیر پنج ربات در محیط دینامیک و ناشناخته برآمده است.[۲۶] ربات، مناطق تقاطع را بر اساس اولویت خود طبق آنچه از پیش برایش تعریف‌شده است، طی می‌کند. این روش فرض می‌کند که اندازه همه موانع در نقشه مسیر یکسان می‌باشند. این کار با موفقیت حرکت روبات‌های متعدد را هماهنگ می‌کند و باعث می‌شود که ربات‌ها ،از موانع استاتیک و ربات‌های دیگر ، بدون برخورد عبور کنند. نوآوری این روش در کاربرد روش میدان پتانسیل مصنوعی به‌منظور طراحی مسیر چند ربات در دستگاه‌های دینامیکی ، است.

باوجود محدودیت زمانی در این پروژه، از شبیه‌ساز محیط و ربات به‌منظور بررسی مسئله طراحی مسیر بهینه ، و درنهایت اجرای الگوریتم در آن، استفاده‌شده است. نرم‌افزار متلب به جهت داشتن جعبه‌ابزار پیچیده ریاضی‌اش، می‌تواند به‌عنوان اپلیکیشن مناسب در این مسیر عمل کند. نهایتاً، خروجی این نرم‌افزار می‌تواند مسیر و روش مناسب جهت داشتن کارایی بهتر، نشان دهد

۳- الگوریتم جستجوی گرانشی و دیدگاه مبتنی بر این الگوریتم

به‌منظور تحقق مسائل طراحی بهینه مسیر ربات‌ها باهدف مشخص درروش GSA، تابعی متناسب جهت تعیین موقعیت بعدی ربات روی خط بهینه مسیر وجود دارد که ما را به نقطه هدف می‌رساند[5].تابع موجود درروش GSA دو جزء اصلی دارد[6]: اولی مربوط به تابع هدف است که توصیف گر انتخاب بعدی در مسیر ربات است و بر اساس سرعت بیان می‌شود. دومی بیانگر قیدها و محدودیت‌هایی هستند که بر مؤلفه شتاب تأثیر گذاشته و بر اساس آن از هرگونه برخورد احتمالی طی مسیر ربات با

[1] Davidor
[2] Purcaru .C et al ., 2013.
[3] Lv and Feng
[4] Zheng and Zhao.
[5] Percup et al.,2012,Tuncer and Yildirim,2012.
[6] Alba and Dorronsoro,2005.

موانع جلوگیری به عمل می‌آید. مسئله طراحی مسیر در این تحقیق بر مبنای دیدگاه مرکزی فرموله شده است؛ به این صورت که الگوریتم در طی چند مرحله طبق یک تابع هدف (مسیر بهینه) و با اعمال قیدهای موجود در مسئله تکرار می‌شود تا به نقطه هدف(goal position) برسد. این روش در اجرا آسان بوده و قابلیت و کارایی محاسباتی مراتب بالاتر را دارا است.همچنین، پارامترهای کمی در این روش موردنیاز است؛ هرچند که این موضوع می‌تواند به‌عنوان یک عیب تلقی شود.ممکن است برای مراتب بالاتر و وجود چندین تابع هدف این روش به چالش کشیده شود. اما در اینجا متناسب با پارامترهای موجود در این تحقیق است.

۴- روش تحقیق و مدل‌سازی

۴-۱: طراحی الگوریتم آفلاین GSA-based

. اولین گام برای اجرای این الگوریتم ، ایجاد یک مسیر کلی (جهانی) برای ربات است .(طراحی مسیر آفلاین) ، که در آن با استفاده از اطلاعات موجود محیطی که ربات در آن حرکت می‌کند. بعد از ایجاد این مسیر، ربات قادر خواهد بود مسیر را به‌گونه‌ای طی کند که همزمان با طی مسیر اطلاعات را با استفاده از حس‌گرهای مافوق صوت و مادون‌قرمز، دریافت می‌کند.

اگر ربات در طی مسیر مانعی را کشف کند، می‌ایستد و نقشه مسیر با اطلاعات جدید آپدیت می‌شود (نقشه مسیر بر اساس موقعیت دقیق موانع جدید به‌روزرسانی می‌شود). و بعد آن مسیر جدیدی محاسبه می‌شود. موقعیت و سرعت واقعی در این فضا، نشان‌دهنده‌ی موقعیت و سرعت ربات موبایل است. بنابراین نیاز به تابع هدفی خواهیم داشت که جهت دستیابی به کوتاه‌ترین مسیر با کمک GSA ، کمینه گردد. فاصله اقلیدسی بین نقطه شروع تا حرکت مسیر، از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$E_i(t)=\sqrt{(X_f - X_i(t)^2 + (Y_f - Y_i(t))^2)}$$
$$, i= 1...N$$

در اینجا،(X_f,Y_f) نقطه هدف و $X_i(t)=(X_i(t),Y_i(t))$، بردار موقعیت عوامل می‌باشند که نشان‌دهنده موقعیت فعلی در فضای جستجو در زمان t است. رابطه بین تابع هدف E_iو تابع برازندگی جسم(عامل) در زمان t به‌قرار زیر است:

$$fit_i(t)= E_i(t) \qquad ,i=1...N$$

. در مرحله اول مجموعه‌ای از عوامل یا اجسام در نظر گرفته می‌شوند و هرکدام از این عامل‌ها سرعت معینی دارند. الگوریتم استاندارد GSA به‌صورت تصادفی، نقاط را در فضای جستجو انتخاب می‌کند(راشدی و نظام‌آبادی ، ۱۳۸۷) ، اما این دیدگاه برای زمانی که نیاز به پیدا کردن خط سیر ربات از یک نقطه شروع معین است، مناسب نیست. محققین دیگر در جهت رفع این مشکل برآمدند و این مشکل را با قرار دادن ذرات در محل نقطه شروع در محیط مربوطه، رفع کردند؛ به‌گونه‌ای که تعداد ذراتی که در فضای جستجو مورداستفاده قرار می‌گیرند بستگی به تعداد حس‌گرهایی دارد که به کار گرفته می‌شوند.(مسیحیان و صادقی زاده ، ۱۳۸۸). بنابراین در این تحقیق، نقطه شروع تمام ذرات، دقیقاً یک نقطه یکسان است ، که تحت عنوان نقطه شروع ربات، نام‌برده می‌شود. این کار به‌منظور حذف وابستگی موجود بین تعداد عوامل و تعداد حس‌گرهای ربات ، انجام می‌گیرد. بنابراین، این الگوریتم به‌راحتی قادر خواهد بود تا هر تعداد عامل که جهت دستیابی به بهترین مسیر پیش روی ربات لازم باشد، مورداستفاده قرار می گیرد.

طبق این الگوریتم، روند افزایش و ازدیاد جمعیت عوامل ادامه پیدا می‌کند (به‌طوری‌که برای افزایش جمعیت مرحله اول این الگوریتم چندین بار تکرار می‌شود)، تا اینکه تمام عوامل یا بخش اعظم آن‌ها به نقطه هدف برسند. طی این فرآیند افزایش عوامل ، الگوریتم بایستی از بین عوامل بهترین و بدترین آن‌ها را پیدا کند.

در مرحله دوم این الگوریتم، تابع برازندگی برای هر عامل محاسبه می‌شود؛ در این مرحله نیز، فاصله اقلیدسی بین موقعیت جاری و موقعیت نهایی ذرات یا عوامل ، به دست می‌آید. بهترین عوامل در هر تکرار بر اساس کوتاه‌ترین فاصله موجود، انتخاب می‌شوند. ممکن است عاملی باوجود بهترین موقعیت درون یک مانع قرار داشته باشد، بنابراین ضروری است که مقداری را به تابع برازندگی اضافه کنیم و با این کار، عملکرد این عامل را کاهش داده و همچنین میزان قدرت جذب عوامل دیگر را کم می‌کنیم. در اینجا فرض می‌شود که خط سیر فرضی ربات، شامل عواملی که درون موانع قرارگرفته‌اند، نیست و تمام‌مسیرها، از نقاط مناسب و خطوط گذرا از نقاط بدون مانع، تشکیل‌شده‌اند. بنابراین مقدار اضافه‌شده به تابع برازندگی، جهت رهایی از این مشکل، به‌صورت زیر تبدیل می‌شود:

$$afit_i(t) = fit_i(t) + \alpha, \qquad i = 1 \dots N$$

در اینجا،$\alpha > 0$ است و مقدار آن ، نشان‌دهنده میزان و مقدار جبرانی است که به تابع برازندگی اضافه می‌شود. با نگاهی جزئی‌تر به مرحله ۳ ، که شامل اضافه کردن مقدار جبرانی به تابع است. بنابراین، در این الگوریتم، به‌جای fiti(t) از

مقدار a fiti(t) بعد از مرحله ۳ ، استفاده می‌شود. مرحله ۵ و ۶ الگوریتم، شامل محاسبه جرم عوامل و فاصله بین آن‌ها است. در مرحله ۷ ، از شکل ۷ ، سرعت و موقعیت جدید به دست می‌آید تا در معادلات مربوط به محاسبه سرعت و شتاب قرار بگیرند. در مرحله ۸ این الگوریتم، محدودیت‌هایی در مواجهه با موقعیت جدید، اعمال می‌شود . این محدودیت، شامل قرارگیری عامل در موقعیت جدید است و آن قرارگیری عامل در فضای مختصاتی Xi(t) وYi(t)است. این فضا با کران پایین Xmin و Ymin و کران بالای Xmax و Ymaxنمایش داده می‌شود. این کران‌ها، بر اساس مقدار و ارزش نقطه شروع و نقطه هدف و محدودیت‌های اعمال‌شده بر مسئله، مشخص می‌شوند با این شرط که:

$$\overline{X}_i(t) \in [X_{min}, X_{max}] \quad , \quad \overline{Y}_i(t) \in [Y_{min}, Y_{max}]$$

به‌طوری‌که روابط بین آن‌ها به‌صورت زیر برقرار می‌شود:

$$\overline{X}_i(t) = \begin{cases} X_{min} & if \quad X_i(t) < X_{min} \\ X_i(t) & if \quad X_i(t) \in (X_{min}, X_{max}) \\ X_{max} & if \; X_i(t) > X_{max} \end{cases}$$

و

$$\overline{Y}_i(t) = \begin{cases} Y_{min} & if \quad Y_i(t) < Y_{min} \\ Y_i(t) & if \quad Y_i(t) \in (Y_{min}, Y_{max}) \\ Y_{max} & if \; Y_i(t) > Y_{max} \end{cases}$$

طبق این الگوریتم، بعد از مرحله ۸، به‌جای بردار موقعیت عوامل از بردار موقعیت متوسط به‌صورت زیر استفاده می‌شود.

$$\boldsymbol{X_i(t)} = (X_i(t), Y_i(t))$$

بردار موقعیت عوامل

$$\overline{\boldsymbol{X_i}}(\boldsymbol{t}) = (\overline{X}_i(t), \overline{Y}_i(t))$$

بردار موقعیت متوسط

به‌منظور حفظ تمام نقاطی که یک عامل هنگام حرکت در فضای جستجو از آن‌ها عبور می‌کند ، ویژگی جدیدی به عامل اضافه می‌شود. این ویژگی برمی‌گردد به مجموعه تمام نقاطی که ربات در طی مسیر از آن‌ها عبور می‌کند که تحت عنوان $T_{i,t}$ نام‌گذاری شده است. به این معنا که در هر تکرار، الگوریتم به‌روزرسانی می‌شود و موقعیت عامل در هر تکرار به آن اضافه می‌شود:

$$T_{i,t} = \{(X_i(0), Y_i(0)), (X_i(1), Y_i(1)), \dots, (X_i(t), Y_i(t))\}$$

در اینجا $(X_i(0), Y_i(0))$ نقطه شروع عامل iام را نشان می‌دهد.بعدازاینکه تمام عوامل به نقطه هدف خود رسیدند و یا اینکه تعداد تکرارها به مقدار بیشینه خود رسید، هر عاملی خط سیری را خواهد داشت که به‌صورت به‌روزرسانی شده است. این خط سیر شامل تمام نقاط موفق بدون برخورد به موانع است که تحت عنوان $T_{i,t_{max}}$است . $T_{i,t_{max}}$در اینجا، بیشینه تعداد تکرارهای الگوریتم برای عامل iام هست.و مقدار آن از 0 شروع و تا tmax ادامه دارد. این امکان وجود دارد که برخی از نقاط مسیر موردنظر ما از موانع بگذرند و یا اینکه خط واصل بین دونقطه موردنظر و انتخابی ما، از موانع عبور کند. بنابراین در مرحله ۹ ، نیاز به حذف تمام خط سیرهای بدون مانع داریم؛ به‌عبارت‌دیگر خط سیر موردنظر ما شامل نقاطی است که در مجموعه $T_{i,t_{\max(i)}}$ قرار می‌گیرند. درنهایت فاصله موردنظر ، به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

که در آن:

$$T_{i,t_{max}}(i) \quad , i \in s_{cf} \subset \{1,2, \dots, N\}$$

است. مجموعه S_{cf} مجموعه‌ای از عواملی است که منجر به وجود آمدن مسیری بدون برخورد می‌شوند. بعد از ایجاد این مجموعه، کوتاه‌ترین مسیر بایستی تعیین گردد که مطابق فرمول بالا ، به دست می‌آید. بنابراین، در اینجا مسئله بهینه‌سازی ، مقدار i ای را داد که کوتاه‌ترین مسیر را مشخص نمود. این i نهایتاً از رابطه زیر به دست می‌آید.

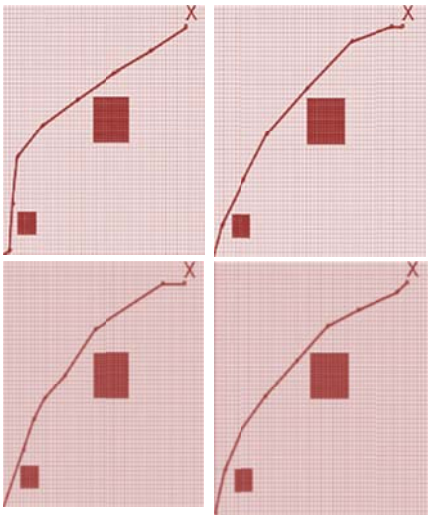
$$D_i = \sum_{t=1}^{t_{max}(i)} \sqrt{X_i(t) - X_I(t-1)^2 + X_i(t) - X_I(t-1)^2} \quad , \; i \in s_{cf}$$

$$\hat{\imath} = argmin \; D_i \qquad i \in s_{cf}$$

۱-۴: نتایج حالت آفلاین

اولین حالت از موارد بررسی‌شده در این تحقیق شامل سناریویی ساده هست که در شکل ۸۱ آورده شده است؛ جایی که مسیرهای مختلف برای محیطی کاملاً یکسان باوجود دو مانع موردبررسی قرارگرفته است.

اولین حالت از موارد بررسی‌شده در این تحقیق شامل سناریویی ساده هست که در شکل [9]۸ آورده شده است؛ جایی که مسیرهای مختلف برای محیطی کاملاً یکسان باوجود دو مانع موردبررسی قرارگرفته است.مشابه این خطوط مسیر، خطوط سیری نیز در تحقیقی مشابه با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات انجام‌گرفته است که در شکل [10]۹ آورده شده است.

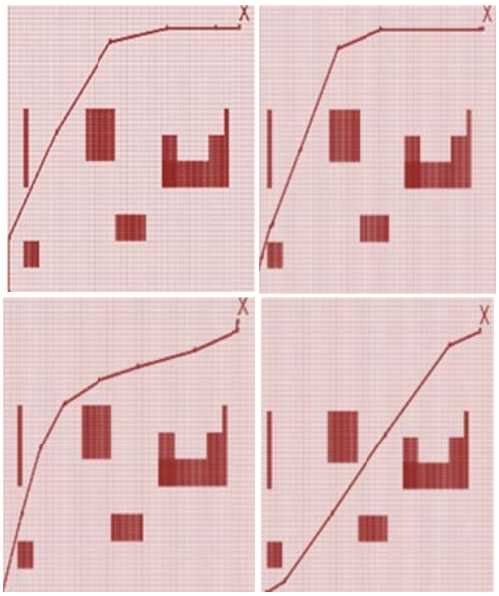


شکل۸: راه حل های الگوی جستجوی گرانشی در محیط ساده

مشابه این خطوط مسیر، خطوط سیری نیز در تحقیقی مشابه با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات انجام‌گرفته است که در شکل [11]۹ آورده شده است.

شکل ۹: راه حل های الگوی ازدحام ذرات در یک محیط ساده

مشابه موارد بالا، در اینجا نیز نتایج خط سیرها در محیطی پیچیده تر با وجود چندین مانع هم از الگوریتم GSA و هم الگوریتم PSO بررسی و آورده شده است.



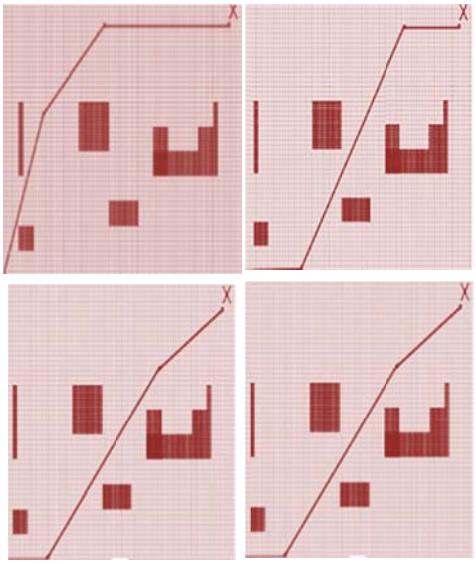
شکل 10: راه حل های الگوی جستجوی گرانشی در یک محیط پیچیده

[1] GSA-based solutions in a simple environment

[9] GSA-based solutions in a simple environment

[10] PSO-based solutions in a simple environment

[11] PSO-based solutions in a simple environment



شکل۱۱: راه حل های الگوی ازدحام ذرات در یک محیط پیچیده

اطلاعات مربوط به دو محیط ساده و پیچیده و نقطه شروع و نقطه پایان(هدف) در جدول ۱ آمده است

جدول۱: اطلاعات محیطی استفادشده در شکل‌های ۸ و۹ و۱۰و۱۱

مشخصات	شکل ۸ و ۹	شکل۱۰و۱۱
محیط	۱۰۰*۱۰۰	۱۵۰*۱۰۰
موانع	۲	۵
نقطه شروع	[۰-۰]	[۰-۰]
نقطه هدف	[۱۰۰-۱۰۰]	[۱۵۰-۱۰۰]

نتایج موجود طبق جدول ۲ نشان می‌دهد که الگوریتم PSO به‌مراتب سریع‌تر از الگوریتم بر پایه GSA هست. و این در حالی است که طول مسافت پیموده شده طبق دو الگوریتم، تفاوت معنی‌داری ندارد و اینکه نتایج موجود در الگوریتم GSA به‌طور جزئی دارای نتایج بهتری هست. زمان محاسبه‌شده برای پیمودن مسیر(زمان اجرای حرکت) و طول مسیر پیموده شده توسط ربات در هر دو الگوریتم برای تمامی موقعیت‌های فوق‌الذکر در جدول ۲ آورده شده است.

جدول۲: زمان اجرا و طول مسیرهای پیموده شده در دو الگوریتم GSA و PSO

	GSA		
شکل ۸و۹		زمان	D_iطول مسیر
	a	۴۰۰	۱۵۰/۲۶
	b	۴۱۰	۱۴۸/۲۸
	c	۴۰۵	۱۵۴/۶۳
	d	۴۱۵	۱۴۸/۸۶
شکل۱۰,۱۱	a	۶۸۰	۲۰۴
	b	۶۹۳	۲۰۳
	c	۶۹۰	۱۹۸
	d	۶۷۰	۱۸۳

	PSO		
شکل ۸و۹		**زمان**	**D_iطول مسیر**
	a	۲۱۰	۱۵۵/۰۶
	b	۲۲۰	۱۵۳/۴۱
	c	۲۲۵	۱۵۲/۸۴
	d	۲۱۵	۱۵۲
شکل۱۰,۱۱	a	۳۱۵	۲۰۶
	b	۳۰۰	۲۰۱
	c	۳۱۰	۲۰۴
	d	۳۲۰	۱۸۸

قابل‌توجه است که میزان زمان اجرا برای هر دو الگوریتم در محیط‌های ساده که در شکل ۸و ۹ نشان داده شد، کمتر شد. طبق شکل‌های ۱۰ و ۱۱، در محیط‌هایی با فضای جستجوی بزرگ‌تر در محیطی پیچیده‌تر، تکرارهای کمتری برای هر دو الگوریتم لازم است تا تمام عوامل از نقطه شروع به نقطه هدف برسند. پارامترها و کمیت‌های لازم برای هر دو الگوریتم برای ایجاد مسیر حرکت، در جدول ۳ آورده شده است. نماد و علامت‌گذاری مربوط به پارامترهای الگوریتم PSO از پورکارو[1] برگرفته‌شده است.

جدول ۳: پارامترهای الگوریتم‌های GSA وPSO

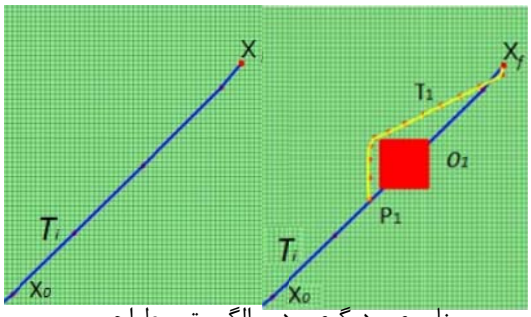
پارامترها	GSA	PSO
تعداد عوامل	۱۰۰	۱۰۰
میزان جریمه-(α)penalty	۱۰۰۰	۱۰۰۰
C_1	-	۱/۴۹
C_2	-	۱/۴۹
w_{min}	-	۰,۰۰۰۱
w_{max}	-	۰/۵
سرعت ابتدایی	[-۰/۲-۰/۲]	[-۰/۲-۰/۲]
ثابت گرانش اولیه(G_0)	۵۰	-
ε	۰/۰۱	-

۲-4: طراحی الگوریتم آنلاین GSA-based

این الگوریتم در مأموریت‌های مختلفی ازجمله صفحه‌های رباتیکی (باوجود چند ربات) در دانشگاه‌های رومانیا و چند کار مختلف تحقیقاتی دیگری که در آن‌ها حداقل از دو ربات استفاده می‌شده است، به کار گرفته‌شده است. همان‌طور که نتایج موفقیت‌آمیز این الگوریتم، به‌خوبی در پورکارو۱ مشهود است. این الگوریتم حتی در مواقعی که هیچ شناختی از محیط جستجوی ربات نداشته باشیم ، نیز قابل‌استفاده است. به این صورت که در ابتدا با استفاده از الگوریتم GSA-based آفلاین، مسیر اولیه‌ای برای شروع حرکت ربات ایجاد می‌شود و در ادامه مسیر را با استفاده از حس‌گرهای مافوق صوت یا مادون‌قرمز ، دنبال خواهد کرد. مسلم است که در زمان مواجهه موانع در طول مسیر، با استفاده از دریافت اطلاعات جدید، مسیری جدید برای ادامه مسیر طراحی خواهد شد.

در این نوع الگوریتم، ربات مسیری را به مقصد نقطه هدف در محیطی کاملاً ناشناخته و نامعین و یا قسمتی نامعین، طی می‌کند. مفروض است که در این روش ربات نبایستی در طی مسیر به هیچ مانعی برخورد کند و بایستی مسیری بدون برخورد را تا نقطه مقصد، طی کرده باشد. اولین موردی که در این طراحی به آن پرداخته می‌شود، در شکل ۱۲ آورده شده است.

در حالت (a) از شکل ۱۲۲، بعد از ایجاد شدن مسیر برای ربات، ربات شروع به حرکت می‌کند و خط سیر Ti را دنبال می‌کند. با کمک حس‌گرهای سوار شده روی ربات ، ربات کشف می‌کند که جسم (مانع) O1 در موقعیت بلوک (۵۰و۵۰) قرارگرفته است . بنابراین حرکت خود را در نقطه P1 با موقعیت بلوک (۴۵و۴۵) متوقف کرده و نقشه مسیر را بر اساس اطلاعات جدید، به‌روزرسانی می‌کند. پس از به‌روزرسانی نقشه، الگوریتم آفلاین GSA، مسیری جدید را محاسبه می‌کند، این مسیر از P1 تاXf هست. خط سیر یا trajectoryT1در حالت (b) با رنگ زرد نمایش داده‌شده است. بنابراین مسیر پیموده شده توسط ربات در این مأموریت از نقطه شروع تا نقطه هدف، شامل دو قسمت هست: خط سیر آبی‌رنگ که خط واصل بین دونقطه X0 تا P1 هست. خط سیر زردرنگ که خط واصل بین دونقطه P1 تا X_fاست.



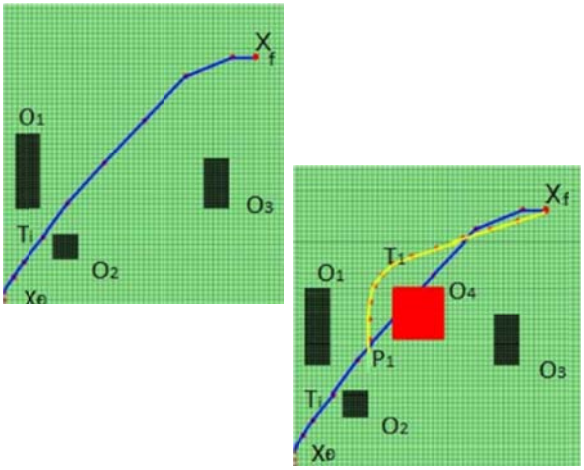
شکل ۱۲: طراحی مسیر آنلاین در محیطی ناشناخته

سناریوی دیگری در الگوریتم طراحی مسیر آنلاین موردبررسی قرارگرفته است که در محیطی نسبتاً ناشناخته به آن پرداخته‌شده است. موقعیت سه مانع (O_1,O_2,O_3) از قبل شناخته‌شده و معین هست؛ به‌طوری‌که در شکل ۱۵ نشان داده‌شده است. خط مسیر ابتدایی آفلاین در حالت (a) از شکل ۱۳[3] با خط آبی T_i نمایش داده‌شده است.

[1] Precup et al.,2013

[2] On-line path planning in a completely unknown environment

[3] On-line path planning in a partially-known environment



شکل ۱۳: طراحی مسیر آنلاین در محیطی نیمه ناشناخته

ربات ابتدا در مسیر Ti حرکت می‌کند. زمانی که ربات مانع O4 را تشخیص می‌دهد، از مسیر اولیه خود یعنی Ti خارج می‌شود و در راستای خط سیر T1 قرار می‌گیرد که در حالت (b) بارنگ زرد نمایش داده‌شده است. بنابراین می‌توان بیان کرد که خط سیر ربات برای پیمودن مسیر بین X0 تا Xf به‌قرار زیر می‌شود.

خط آبی‌رنگ Ti ، خط واصل بین نقطه X0 تا P1

خط زردرنگ T1 ، خط واصل بین نقطه P1 تا Xf

در عالم واقع، سناریویی مطرح است که در آن اطلاعات محیطی که ربات در آن محیط در حال حرکت است، به‌طورکلی ناشناخته یا نسبتاً ناشناخته هست. بنابراین، ضرورت پرداختن به الگوریتم طراحی مسیر در حالت آنلاین، در اینجا مشخص و برجسته می‌شود. لذا، در ادامه به بررسی این مورد پرداخته و الگوریتم طراحی مسیر در حالت آنلاین را طراحی و اجرا نموده‌ایم. در این نوع طراحی مسیر، در ابتدا، مسیری بهینه آفلاین تنها با استفاده از اطلاعات موجود از محیط که از قبل معلوم باشد، ایجاد می‌گردد . در طول مسیر، ربات با استفاده از حس‌گرهای سوار بر خود، مانع موجود بر سر راه خود را تشخیص داده و بر اساس اطلاعات جدید به‌دست‌آمده، مسیر جدیدی را برای حرکت خود طراحی می‌نماید. لازم به ذکر است که مسیر اولیه ربات بر اساس اطلاعات معین از قبل به‌صورت آفلاین انجام می‌شود و بعد از تشخیص مانع در طول مسیر، الگوریتم طراحی مسیر بهینه آنلاین، مطرح می‌شود. دیدگاه پیشنهادی به‌منظور طراحی مسیر بهینه آنلاین، این مزیت را دارد که به‌راحتی قابلیت تعمیم را دارد. به‌طوری‌که می‌توان از آن برای هر الگوریتم تکاملی دیگری که به‌منظور طراحی مسیر بهینه از خط سیر آفلاین ابتدایی است، بهره برد.

۵- منابع

[1] J. Cook, “Adding Intelligence to Robot Arm Path Planning Using a Graph-Match Analogical Reasoning System” IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, vol. 1, pages 657-663, July 1992

[2] J. Ayers, “Underwater Walking”, Arthropod Structure & Development, vol. 33, pages 347-360, July 2004

[3] B. Williams and I. Mahon, “Design of An Unmanned Underwater Vehicle For Reef Surveying”, Proceedings of IFAC 3rd Symposium on Mechatronic Systems, Sept 2004

[4] H. Mitchell, “An algorithmic approach to some problems in terrain navigation”, Artificial Intelligence, vol. 37, pages 171–201, Dec 1988

[5] C. O’Dunlaing, and C. Yap, “A retraction method for planning the motion of a disc”, Journal of Algorithms, vol. 6, pages 104–111, 1982

[6] D. Payton, J. Rosenblatt and D. Keirsey, “Grid-based mapping for autonomous mobile robot”, Robotics and Autonomous Systems, vol. 11, pages 13–21, 1993

[7] P. Tang, Q. Zhang, Y. Yang, “Studying on path planning and dynamic obstacle avoiding of soccer robot” Proceedings of the 3rd World Congress on Intelligent Control and Automation, vol. 2, pages 1244- 1247, July 2000

[8] Q. Cao, Y. Huan and J. Zhou, “An Evolutionary Artificial Potential Field Algorithm for Dynamic Path Planning of Mobile Robot” International Conference Proceedings on Intelligent Robots and System, pages 3331-3336, Oct 2006

[9] P. Zhang, T. Lu, “Soccer Robot Path Planning based on the Artificial Potential Field Approach with Simulated Annealing”, Robotica, vol 22, pages 563 – 566, Oct 2004

[10] W. Regli, “Robot Lab: Robot Path Planning”, Lecture Notes of Department of Computer Science, Drexel University, Viewed at 20th Oct 2007

[11] O. Khatib, “Real-time Obstacle Avoidance for Manipulators and Mobile Robots”, IEEE Conference on Robotics and Automation, vol. 2, pages 500-505, Jan 1985

[12] Y. Davidor, “Genetic algorithms and robotics: a heuristic strategy for optimization”, Singapore: World Scientific Publishing, vol. 1, pages 220-225, 1991

[13]Q. Cao, Y. Huang and J. Zhou, “An Evolutionary Artificial Potential Field Algorithm for Dynamic Path Planning of Mobile Robot” International Conference Proceedings on Intelligent Robots and System, pages 3331-3336, Oct 2006

[14] M. Park and M. Lee, “Experimental evaluation of robot path planning by artificial potential field approach with simulated annealing”, Proceedings of SICE 2002 Annual Conference, vol. 4, pages 2190-2195, Aug 2002

[15] N. Ying and L. Eicher, “Real-time 3D path planning for sensor-based underwater robotics vehicles in unknown environment”, OCEANS 2000 MTS/IEEE Conference and Exhibition, vol 3, pages 2051-2058, Sept 2000

[16] M. Park and M. Lee, “Real-time path planning in unknown environment and a virtual hill concept to escape local minima”, IEEE Conference on Industrial Electronics Society, vol 3, pages 2223-2228, Nov 2004

[17] Y. Chang, Y. Yamamoto, “Online Path Planning Strategy Integrated with Collision and Dead-lock Avoidance Schemes for Wheeled Mobile Robot in Indoor Environment”, Industrial Robot-An International Journal, vol 35, pages 421 – 434, 2008

[18] L. Xie, H. Chen, “Solution to Reinforcement Learning Problems with Artificial Potential Field”, Journal of Central South University of Technology, vol 15, pages 552 – 557, Aug 2008

[19] J. Vanualailai and B. Sharma, “An Asymptotically Stable Collision-avoidance System”, International Journal of Non-linear Mechanics, vol 43, pages 925 – 932, Nov 2008

[20] T. Wan; H. Chen and R. Earnshaw, “Real-time path planning for navigation in unknown environment”, International Conference on Theory and Practice of Computer Graphics, pages 138-145, June 2003

[21] M. Mansor and A. Morris, “Path Planning in Unknown Environment With Obstacles Using Virtual Window”, Journal of Intelligent and Robotic Systems, vol 24, pages 235 – 251, Mar 1999

[22] X. Hu, Q. Xu, “Robot Path Planning based on Artificial Immune Network”, IEEE International Conference on Robotics and Bio mimetics, pages 1053 – 1057, Dec 2007

[23] J. Chestnutt and M. Lau, “Footstep Planning for the Honda ASIMO Humanoid”, IEEE International Conference on Robotics and Automation, pages 629-634, Apr 2005

[24] Y. Wang, P. Sillitoe, J. Mulvaney, “Mobile Robot Path Planning in Dynamic Environments”, IEEE International Conference on Robotics and Automation, pages 71-76, May 2007

[25] N. Lv and Z. Feng, “Numerical Potential Field and Ant Colony Optimization Based Path Planning in Dynamic Environment”, The Sixth IEEE World Congress on Intelligent Control and Automation, vol 2, pages 8966-8970, Oct 2006

[26] T. Zheng and X. Zhao, “A Novel Approach for Multiple Mobile Robot Path Planning in Dynamic Unknown Environment”, IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics, pages 1-5, Dec 2006

[۲۷][راشدی،۱۳۸۶ الف]ع.راشدی، ح، نظام آبادی پور،"بهینه یابی گرانشی"، پانزدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، مرکز تحقیقات مخابرات ایران، ۱۳۸۶.

[۲۸][راشدی، ۱۳۸۶ ب]ع.راشدی، ح،نظام آبادی پور و س. سریزدی،"الگوریتم جستجوی گرانشی ایران"، اولین کنگره مشترک سیستمهای فازی و هوشمند، مشهد،۱۳۸۶.