نشریه علمی - پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری، دوره ششم، شماره ۴، اردیبهشت ماه ۱۳۹۶

یافتن کوتاهترین مسیر شبکه با استفاده از الگوریتم بهینه سازی فاخته در سیستم اطلاعات مکانی

عالیه سرگلزائی[۱]، علیرضا وفائی‌نژاد[۲*]

[۱] کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات مکانی ـ دانشکده محیط زیست و انرژی ـ دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات
sargolzaee_a@yahoo.com

[۲] استادیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست ـ دانشگاه شهید بهشتی
a_vafaei@sbu.ac.ir

(تاریخ دریافت مرداد ۱۳۹۵، تاریخ تصویب اسفند ۱۳۹۵)

چکیده

امروزه مسیریابی در شبکه‌های شهری با افزایش حجم اتومبیل‌ها و نیز محدودیت‌های ترافیکی گوناگون امری ضروری محسوب می‌شود. روشی که در این پژوهش به منظور حل مسأله کوتاهترین مسیر برای نخستین بار پیشنهاد شده است، استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی فاخته می‌باشد. علت انتخاب این الگوریتم، جدید بودن و نیز پاسخ مناسبی است که این الگوریتم برای حل مسأله مسیریابی، نسبت به سایر الگوریتم‌های فراابتکاری داده است. در این راستا و برای انجام مسیریابی، با ایجاد تغییراتی در نسخه دودویی الگوریتم فاخته، از الگوریتم یاد شده استفاده گردید. بدین منظور، برای ایجاد جمعیت اولیه از یک روش کنترل شده استفاده شد، که از ایجاد جمعیت‌های تصادفی که درصد بسیار ناچیزی از آنها ممکن است مسیری را تشکیل دهند، جلوگیری می‌کند. به این صورت که متغیرهای جمعیت که در واقع همان نقاط شبکه و موقعیت‌های فاخته‌ها هستند، به صورت تصادفی انتخاب نشده بلکه به صورت کنترل‌شده انتخاب می‌شوند و انتخاب نقاط بعدی از میان نقاطی است که با نقطه مورد نظر ارتباط دارند. در تمام مراحل اجرای الگوریتم، موقعیت فاخته‌ها به صورت اعداد باینری درمی‌آیند و اگر نقطه‌ای در مسیر حضور داشته باشد عدد یک و در غیر اینصورت عدد صفر می‌گیرد. در فاز مهاجرت فاخته‌ها نیز، از یک تابع سیگموید استفاده شده است که موقعیت جدید فاخته‌ها را به بازه‌ی بین صفر و یک برده و در نتیجه موقعیت‌های جدید نیز تبدیل به اعداد صفر و یک می‌شوند. به منظور آزمون میزان کارایی الگوریتم پیشنهادی، از سه نوع شبکه فرضی، محلی و واقعی استفاده شده است. نتیجه اجرای این الگوریتم در دو نوع شبکه فرضی و محلی با تعداد نقاط ۲۰ و ۳۱، نتیجه‌ای مشابه یک الگوریتم قطعی بود، اما در شبکه‌ای که بخشی از یک شبکه شهری واقعی بود و از ۶۱۷ نود و ۹۹۵ یال تشکیل شده بود، با اختلاف اندکی بهتر از الگوریتم قطعی، توانست مسیر بهینه را نشان دهد. نتایج حاصله نشان داد که این الگوریتم توانایی انجام مسیریابی در شبکه را دارا می‌باشد و با ایجاد تغییراتی بر اساس ساختار شبکه، می‌تواند برای داده‌های بزرگ و شبکه‌های واقعی شهری مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: یافتن کوتاهترین مسیر در شبکه، سیستم اطلاعات مکانی، الگوریتم بهینه‌سازی فاخته، کدگذاری دودویی، جمعیت کنترل‌شده

* نویسنده رابط

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

توسعه‌های شهری و به دنبال آن افزایش مسیرها و ارتباطات، نقش جابه‌جایی را پررنگ‌تر می‌کند. آن‌چه در این میان، اهمیت بیشتری می‌یابد، مسیریابی و مدیریت و هدایت حرکت در این مسیرها است که از یک سو روان-سازی و نظم را در پی داشته و از سوی دیگر در شرایط اضطرار، نیاز را مرتفع سازد.

مسأله کوتاهترین مسیر[۱] در یک شبکه از جمله اساسی‌ترین مسائل تحلیل شبکه است. در واقع برای انجام تحلیل‌های سطوح بالاتر، یافتن پاسخ این مسأله از ضروریات است. در این راستا، مدیریت حجم بالای داده‌های مورد استفاده در مسیریابی، استفاده از توانمندیهای سامانه‌های اطلاعات مکانی که امکان مدلسازی و تحلیل داده‌های مکانی را در اختیار قرار می‌دهد، اجتناب‌ناپذیر می‌سازد [۱]، [۲].

از طرف دیگر و به طور کلی، روش‌های حل مسائل با استفاده از الگوریتمهای بهینه‌سازی، به دو دسته الگوریتم‌های دقیق و تخمینی تقسیم‌بندی می‌شوند. در الگوریتم‌های دقیق، دستیابی به جواب بهینه، نیازمند صرف زمان و در نتیجه، هزینه بیشتری است. اما در طرف مقابل، الگوریتم‌های تخمینی قرار دارند که در یک زمان اندک به جواب می‌رسند.

در این میان، الگوریتم‌های فرابتکاری[۲]، از جمله الگوریتم‌های تخمینی هستند که توانایی یافتن جواب‌های بهینه و یا نزدیک به بهینه را در زمان معقول دارا می‌باشند [۳]. در تحقیق حاضر، حل مسأله مسیریابی، با استفاده از الگوریتم فرابتکاری بهینه‌سازی فاخته انجام می‌شود، که سرعت و دقت دستیابی به جواب بهینه توسط آن، در حل بعضی مسائل، نسبت به سایر الگوریتم‌های فرابتکاری بالاتر است.

تنوع مسائل مربوط به مسیریابی که از نوع مسائل بهینه‌سازی تام می‌باشند، آن‌قدر زیاد است که دسته‌بندی آن‌ها و بیان حالت‌های مختلفی که در آن رخ می‌دهد، مشکل و زمان‌گیر است [۳]. برای حل این نوع مسائل، که زمان حل آن‌ها با بزرگ‌تر شدن ابعاد مسأله، به طور نمایی رشد می‌کند، استفاده از الگوریتم‌های فرابتکاری مناسب می‌باشند. این الگوریتم‌ها برای حل مسائل با ابعاد بزرگ، از کارایی لازم برخوردار هستند [۴]. در این راستا و تاکنون، روشهای بهینه‌سازی و فرابتکاری برای حل مسائل مسیریابی، زیاد مورد استفاده قرار گرفته‌اند که در ادامه به برخی از آنها اشاره شده است.

میتسو و همکاران، از الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل کوتاهترین مسیر استفاده کردند. که طی آن، کار اصلی توسعه الگوریتم ژنتیک برای مسیریابی، چگونگی کدگذاری یک مسیر در یک گراف به صورت کروموزوم بود. رویکرد پیشنهادی ایشان، روی سه مسأله با اندازه‌های متفاوت مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج آزمون، یافتن مسیر بهینه با احتمال مناسب و سرعت بالا بود [۵].

در تحقیق دیگر، سلطانی و همکاران، به ارزیابی عملکرد سه الگوریتم دایجسترا، *A و ژنتیک، به منظور برنامه‌ریزی مسیر در ایجاد سایت، پرداختند. دقت انتخاب مسیر و پیچیدگی‌های زمانی این الگوریتم‌ها، در این تحقیق، مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. آن‌چه که دو الگوریتم دایجسترا و *A را دچار مشکل می‌کرد، اثر ابعاد مسأله بود، که عملکرد آن‌ها را محدود به مسائل کوچک و یا متوسط می‌نمود. که در این میان، الگوریتم ژنتیک توانست راه‌حل‌های بهینه و نزدیک بهینه را در زمان کمتری پیدا کند [۶].

در مقاله‌ای دیگر، آتیراتانا و همکاران به تحلیل زمان تداوم الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان، برای یافتن کوتاه‌ترین مسیر پرداخته اند و نتایج و دستاوردهای خود را در این زمینه ارائه نموده‌اند [۷]. قصیری و همکاران نیز، از الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان برای حل مسأله کوتاه‌ترین مسیر دو هدفه استفاده نمودند. این الگوریتم در مقایسه با الگوریتم تصحیح برچسب، توانست جواب‌هایی با کیفیت بالاتر و در زمان سریع‌تری را ارائه دهد [۸].

همچنین ژین لو و همکاران، در مقاله‌ای برای یافتن کوتاه‌ترین مسیر، با ترکیب مکرر نزدیک‌ترین گره به گره مبدأ، شیوه‌ای جدید (ترکیب گره به جای عملگرهای برچسب‌گذاری)، برای اجرای الگوریتم دایجسترا پیشنهاد می‌دهند [۹]. لینژانگ لیو و همکاران نیز، از یک درخت پوششی جهت‌دار (OST) مبتنی بر الگوریتم ژنتیک، برای حل مسائل یافتن کوتاه‌ترین مسیر چندمعیاری (MCSPP)، استفاده کردند [۱۰]. در پژوهشی دیگر، کیوری و همکاران، برای مسیریابی از الگوریتم فرابتکاری

---

۱ Shortest path problem
۲ Metaheuristic

Archive of SID

www.SID.ir

جستجوی ممنوعه[1] استفاده نمودند [۱۱]. موحمد و همکاران نیز، در مقاله خود به حل مسأله یافتن کوتاهترین مسیر در شبکه با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی جمعی ذرات پرداخته‌اند [۱۲].

اما رجبیون، در مقاله خود به معرفی الگوریتم بهینه سازی فاخته[2] و مقایسه آن با الگوریتم های ژنتیک و بهینه‌سازی جمعی ذرات در چند مسأله (غیر از مسیریابی) پرداخته است. نتایج تحقیق او نشان داد که الگوریتم فاخته در زمان کمتر و دقت بالاتر و نیز با متغیرهای بیشتر به جواب بهینه دست یافته است [۱۳].

با توجه به مقایسه انجام شده و مزیت‌های الگوریتم بهینه‌سازی فاخته، از جمله همگرایی سریع‌تر، سرعت بیشتر، دقت بالاتر، توانایی جستجوی محلی در کنار جستجوی کلی، احتمال کمتر گیرافتادن در نقاط بهینه محلی، جستجوی با جمعیت متغیر (بدلیل نابودی جمعیت در مناطق نامناسب)، حرکت کلی جمعیت به سمت نقاط بهتر با نابود شدن جواب های نامناسب‌تر و توانایی حل سریع مسائل بهینه سازی با ابعاد بالا [۱۳]، به نظر می‌رسد که این الگوریتم در حل مسائل مربوط به مسیریابی نیز از توانمندی لازم برخوردار باشد.

در این راستا، هدف از انجام این تحقیق، قبل از هر چیزی، پاسخ به این سئوال است که آیا این الگوریتم، می‌تواند برای حل مسائل مرتبط با مسیریابی در شبکه مورد استفاده قرار گیرد (زیرا الگوریتم‌های فراابتکاری، در بعضی مسائل ممکن است قابل استفاده نباشند و در بعضی مسائل هم به نتیجه مطلوب دست پیدا نکنند). سپس پاسخ به این مهم که، آیا این الگوریتم برای حل مسأله مسیریابی، نسبت به سایر الگوریتم‌های فراابتکاری رایج نتیجه مناسبی می‌دهد یا خیر.

بدین منظور و در ادامه پس از تشریح الگوریتم بهینه-سازی فاخته، ابتدا به تنظیم پارامترهای الگوریتم، برای حل مسأله کوتاهترین مسیر پرداخته می‌شود. سپس الگوریتم نهایی بر روی سه نوع شبکه شماتیک، محلی و واقعی پیاده‌سازی می‌شود. در انتها نیز، نتایج اجرای الگوریتم روی شبکه‌ها مورد بحث و بررسی قرار گرفته و نتیجه‌گیری تحقیق ارائه خواهد شد.

[1] Tabu Search
[2] Cuckoo Optimization Algorithm

۲- مبانی نظری

۲-۱- مسأله کوتاهترین مسیر

مسأله کوتاه‌ترین مسیر، بیشتر از ۴۰ سال است که در زمینه‌های گوناگون مانند علوم کامپیوتر و حمل‌ونقل مورد مطالعه قرار گرفته است. مسأله عام کوتاه‌ترین مسیر، نیاز به یک شبکه از پیش تعریف شده دارد. مسأله اصلی، تعیین یک یا تعداد بیشتری از کوتاه‌ترین مسیرهای بین یک منبع و مقصد با یکسری خطوط داده شده می‌باشد. تعیین کوتاه‌ترین مسیر، می‌تواند به صورت زیر، به عنوان یک مسأله برنامه‌ریزی خطی مشخص شود.

S به عنوان نقطه منبع، t به عنوان نقطه هدف، و $c_{ij}>0$ هزینه یا فاصله ارتباط کمان یا یال (i,j) می‌باشد. هدف جستجوی حداقل مقدار z است [۱۴].

$$
\begin{aligned}
&Z = zz = \Sigma\Sigma cType\ equation\ here.z = \\
&\Sigma\Sigma\ c_{ij}x_{ij} \\
&\text{Subject to} \\
&\Sigma\ x_{ji} - \Sigma\ x_{ik} = m, \text{ where} \\
&m = 0 \text{ for } i \neq s, \\
&m = 1 \text{ for } i = t \\
&m = -1 \text{ for } i = s \\
&x_{ij} \in \{0,1\}
\end{aligned}
\qquad (۱)
$$

۲-۲- الگوریتم بهینه‌سازی فاخته

مانند سایر الگوریتم‌های تکاملی، این الگوریتم نیز با جمعیتی از فاخته‌ها کار خود را شروع می‌کند. فاخته‌ها تعدادی تخم در لانه بعضی پرندگان میزبان می‌گذارند. بعضی از این تخم‌ها که شباهت بیشتری به تخم‌های پرنده میزبان دارند، برای رشد و پرنده بالغ شدن، فرصت بیشتری دارند. سایر تخم‌ها توسط پرندگان میزبان شناسایی و از بین می‌روند. تخم‌های رشد یافته در یک منطقه، شایستگی لانه‌ها را در آنجا نشان می‌دهد. تخم‌های بیشتری که در یک ناحیه زنده مانده‌اند، سود بیشتری است که در آن ناحیه بدست آمده است. بنابراین، موقعیتی که در آن تخم‌های بیشتری زنده بمانند، وضعیتی است که COA در حال بهینه شدن خواهد بود [۱۳].

فاخته‌ها در جستجوی یافتن مناسب‌ترین منطقه برای تخم‌گذاری، به منظور افزایش نرخ بقای تخم‌هایشان هستند. بعد از این‌که، تخم‌های باقی‌مانده رشد کردند و تبدیل به یک پرنده بالغ شدند، اجتماعاتی را تشکیل می‌دهند. هر

Archive of SID

www.SID.ir

گروه محدوده سکونت مختص خودش را برای زندگی دارد و بهترین منطقه سکونت تمام گروه‌ها مقصد بعدی فاخته‌ها در سایر گروه‌ها خواهد بود. بنابراین آن‌ها به سمت بهترین زیستگاه، مهاجرت خواهند کرد. آن‌ها در جایی نزدیک بهترین زیستگاه، ساکن خواهند شد [۱۳]. با توجه به تعداد تخم‌هایی که هر فاخته دارد و نیز فاصله فاخته تا نقطه هدف (بهترین زیستگاه)، تعدادی شعاع تخم‌گذاری نسبت به آن مشخص می‌شود. سپس پرنده شروع به تخم‌گذاری تصادفی در لانه‌هایی درون شعاع تخم‌گذاری خود می‌کند. این فرآیند تا زمانی که بهترین موقعیت با ارزش سود حداکثر کسب شود ادامه می‌یابد و بیشتر جمعیت فاخته‌ها اطراف موقعیت یکسان جمع می‌شوند [۱۳].

۳- یافتن کوتاهترین مسیر با استفاده از الگوریتم بهینه سازی فاخته

۳-۱- طراحی مسأله

مسأله مسیریابی در شبکه در واقع یافتن کوتاهترین مسیر بین دو نقطه می‌باشد. یک مسیر از نقطه ابتدا شروع می‌شود و با عبور از تعدادی نقطه، به نقطه پایان می‌رسد. اما شرطی که باید رعایت شود این است که هیچ نقطه تکراری در این مسیر نباشد.

۳-۲- ایجاد جمعیت اولیه

برای حل یک مسأله بهینه‌سازی لازم است تا مقادیر متغیرهای مسأله به فرم یک آرایه شکل گیرند. در GA[۱] و PSO[۲] این آرایه‌ها با نام‌های «کروموزوم» و «موقعیت ذرات» مشخص می‌شوند. ولی در الگوریتم بهینه‌سازی فاخته (COA)، به این آرایه‌ها «Habitat» یا «محل سکونت» گفته می‌شود. در یک مسأله بهینه‌سازی Nvar-بعدی، یک Habitat، یک آرایه Nvar ×1 خواهد بود که موقعیت فعلی زندگی فاخته‌ها را نشان می‌دهد [۱۳]. این آرایه به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$Habitat = [x_1 , x_2 , \dots , x_{Nvar}] \qquad (۲)$$

هر یک از ارزش‌های متغیر ($x_1, x_2, \dots, x_{Nvar}$)، شماره نقطه شناور است. مقدار سود در یک Habitat، با ارزیابی تابع سود (f_p) در Habitat به دست می‌آید [۱۳]. بنابراین:

$$Profit = f_p(habitat) = f_p(x_1, x_2, \dots, x_{Nvar}) \qquad (۳)$$

همان‌طور که مشاهده می‌شود، COA الگوریتمی است که تابع سود را ماکزیمم می‌کند. برای استفاده از COA برای حل مسائل کمینه‌سازی، کافی است یک علامت منفی در تابع هزینه ضرب شود[۱۳]:

$$Profit = -Cost(habitat) = -fc(x_1, x_2, \dots, x_{Nvar}) \qquad (۴)$$

برای شروع الگوریتم بهینه‌سازی، یک ماتریس Habitat به سایز $N_{pop} \times N_{var}$ تولید می‌شود. سپس برای هر کدام از این Habitatها تعدادی تصادفی تخم، تخصیص می‌یابد. در طبیعت، هر فاخته بین ۵ تا ۲۰ تخم می‌گذارد. این اعداد به عنوان حد بالا و پایین تخصیص تخم به هر فاخته در تکرارهای مختلف استفاده می‌شود.

در مسأله مسیریابی تعداد این متغیرها (N_{var}) به اندازه تعداد نقاط موجود در شبکه می‌باشد. بنابراین قبل از هر کاری باید نقاط شبکه مورد نظر کدگذاری شوند. به هر نقطه داخل شبکه عددی از یک تا n (تعداد نقاط داخل شبکه) اختصاص داده می‌شود.

برای ایجاد جمعیت اولیه، برای هر فاخته باید اعدادی از یک تا n به صورت تصادفی اختصاص داده شود. این اعداد به صورت رشته‌ای می‌باشد که یک مسیر را نشان می‌دهد. اما در انتخاب این اعداد دو شرط زیر باید رعایت شود:

۱- متغیر اول و آخر به صورت ثابت و همان نقاط ابتدا و انتها می‌باشد.

۲- انتخاب هر نقطه باید به نحوی باشد که به نقطه قبلی خود متصل باشد.

نکته اساسی در ایجاد جمعیت اولیه برای حل مسأله کوتاهترین مسیر ، طول رشته‌ای است که در الگوریتم فاخته با عنوان موقعیت فاخته‌ها و در الگوریتم ژنتیک با عنوان طول کروموزوم مطرح می شود. در مسأله کوتاهترین مسیر، به دلیل اینکه حرکت از مبدأ به مقصد از تعداد نقاط یکسانی انجام نمی‌شود، لذا چالش اصلی در این مسأله تعیین طول موقعیت فاخته‌ها می‌باشد.

برای ایجاد جمعیت اولیه ابتدا ماتریسی از اتصالات شبکه ایجاد می‌شود، یعنی هرجا که نقطه‌ای به نقطه دیگر متصل می‌باشد عدد یک و در غیر اینصورت عدد صفر منظور می‌شود. سپس رشته‌ای به طول متغیرهای مسأله که همان تعداد نقاط شبکه می‌باشد، ایجاد می‌شود. متغیرهای ابتدا و انتهای این رشته از همان ابتدا مشخص می‌شود.

---

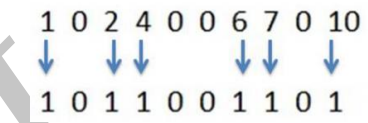
۱ Genetic Algorithm
۲ Particle Swarm Optimization

Archive of SID

www.SID.ir

برای انتخاب نقاط بعدی، ابتدا مشخص می‌شود که هر نقطه با چه نقاطی ارتباط دارد، سپس به صورت رندم یکی از نقاط متصل به نقطه موردنظر انتخاب می‌شود.

این مراحل تا جایی ادامه پیدا می‌کند تا به نقطه انتهایی برسد. اما در صورتی که در طول مسیر به نقطه‌ای برسد که با نقاط دیگر ارتباطی نداشته باشد، به صورت خودکار نقطه انتها ثبت می‌شود و رشته‌ای به اندازه طول متغیرها و با دو نقطه ابتدا و انتها ایجاد می‌شود. اما این رشته به عنوان رشته غیرقابل استفاده از مجموعه جمعیت حذف می‌شود. بعد از اینکه رشته‌های موقعیت فاخته‌ها ایجاد شد، باید این رشته‌ها تبدیل به رشته‌های باینری شوند. برای این منظور در هر مسیر ایجاد شده، هر جا که شماره نقطه‌ای وجود دارد یک و در غیر اینصورت عدد صفر قرار می‌دهد. مثلاً برای رشته‌ای از موقعیت فاخته‌ها به طول ۱۰، رشته باینری آن به صورت شکل(۱) می‌شود.



شکل۱- تبدیل موقعیت فاخته‌ها به رشته‌های باینری

۳-۳- تخم گذاری فاخته‌ها

در یک مسأله بهینه‌سازی با حد بالای متغیرهای var_{hi} و حد پایین var_{low} ، هر فاخته دارای، حداکثر دامنه تخم-گذاری یا ELR[1]ی خواهد بود که متناسب است با تعداد کل تخم‌ها، تعداد تخم‌های فعلی فاخته و همچنین حد بالا و پایین متغیرهای مسأله[۱۳].

بنابراین ELR به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$ELR = \alpha \times (\text{Number of cuckoo's eggs} / \text{Total number of eggs}) \times (var_{low} - var_{hi}) \quad (۵)$$

α متغیری است که حداکثر مقدار ELR را با آن تنظیم می‌شود[۱۳].

بعد از ایجاد جمعیت اولیه، به هر کدام از فاخته‌های ایجاد شده در بازه بین حداقل و حداکثر تخمها، تعدادی تخم به صورت تصادفی اختصاص داده می‌شود. سپس مجموع تخمهای فاخته‌ها محاسبه می‌شود. در این مرحله، باید شعاع تخمگذاری فاخته‌ها براساس فرمول شعاع تخمگذاری(ELR)، تعیین شود. فاخته‌ها در محدوده شعاع تخمگذاری خود به صورت تصادفی شروع به تخمگذاری می‌کنند. البته این تخمگذاری به صورتی انجام می‌شود که هر فاخته در شعاع تخمگذاری خود محدوده وسیع‌تری را جستجو کند. در پایان مرحله تخمگذاری، موقعیت‌های جدید تخمها به صورت صفر و یکی درمی‌آیند.

تخم‌هایی که در موقعیت‌های تکراری قرار دارند به دلیل اینکه در هر موقعیت تنها یک تخم می‌تواند حضور داشته باشد، از بین می‌روند. همچنین اگر تعداد تخمهای ایجاد شده از حد مجاز بیشتر باشد، تخمهایی که مقدار مناسبی ندارند از بین می‌روند. در این میان فاخته‌ای که بهترین موقعیت را داشته است برای ایجاد نسل بعد انتخاب می‌شود.

۳-۴- مهاجرت فاخته‌ها

تخم‌های باقیمانده شروع به رشد پیدا می‌کنند و تبدیل به فاخته بالغ می‌شوند. سپس خوشه‌بندی فاخته‌ها انجام می‌شود. در هر خوشه، میانگین سود براساس تابع هدف تعیین می‌شود. خوشه‌ای که میانگین بیشتری داشته است به عنوان نقطه هدف در نظر گرفته می‌شود. بعد از اینکه نقطه هدف تعیین شد مهاجرت فاخته‌های بالغ به سمت نقطه هدف برای تخمگذاری جدید آغاز می‌شود.

با توجه به اینکه مسائل مربوط به مسیریابی از نوع مسائل گراف مبنا هستند لذا باید در فضای گسسته به حل آنها پرداخت. در حل مسائل به روش دودویی، هر راه‌حل از فضای جستجو به وسیله‌ی رشته‌های صفر و یکی کد می‌شوند. نمایش دودویی در بهینه‌سازی گسسته خیلی رایج است، به این علت که بسیاری از مسائل ، طبیعت فرموله شدن با متغیرهایی دودویی را دارند [۱۵].

در گسسته‌سازی دودویی الگوریتم فاخته، جهت تبدیل COA پیوسته به فضای دودویی، عملگر مهاجرت COA به صورت زیر بازتعریف می‌شود. X_{Goal} و $X_{CurrentPosition}$ به ترتیب نقطه هدف جاری و موقعیت جاری یک فاخته در جمعیت می‌باشد. موقعیت بعدی فاخته ($X_{NextHabitat}$) به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$X_{NextHbitat} = X_{CurrentPosition} + rand \times (X_{Goal} - X_{currentPosition}) \quad (۶)$$

برای اینکه موقعیت جدید برای فضای دودویی مناسب باشد از تابع سیگموید رابطه (۷) برای نگاشت $X_{NextHabitat}$ به محدوده ۰ و ۱ به صورت زیر استفاده می‌شود. سپس براساس رابطه(۷) مقدار موقعیت به مقدار دودویی ۰ و ۱ تغییر می‌یابد [۱۵].

[1] Egg Laying Radius

Archive of SID

www.SID.ir

$$S = 1 / (1 + e^{-X_{NextHabitat}})$$
$$\text{If } S \le \text{rand Then } X_{NextHabitat} = 0 \qquad (۷)$$
$$\text{If } S > \text{rand Then } X_{NextHabitat} = 1$$

مهاجرت فاخته‌ها براساس تابع سیگموید انجام می‌شود به این صورت که ابتدا موقعیت فعلی فاخته‌ها با استفاده از این تابع تبدیل به اعداد بین ۰ و ۱ می‌شود. سپس با اعمال ضریب حرکتی و اختلاف فاصله نقطه هدف و موقعیت فعلی، نتایج حاصله به صورت اعداد ۰ یا ۱ای نمایش داده می‌شود. استفاده از ضریب حرکتی باعث می‌شود که فاخته‌ها مستقیماً به سمت نقطه هدف مهاجرت نکنند و مقداری انحراف برای جستجوی بیشتر محدوده داشته باشند.

بهترین فاخته‌ای که در این مرحله به دست آمد که در واقع همان بهترین مسیر است که برای ایجاد نسل بعد مورد استفاده قرار می‌گیرد. بعد از مهاجرت فاخته‌ها مجدداً تخمگذاری و مراحل ذکر شده قبلی انجام می‌شود. این مراحل تا جایی ادامه پیدا می‌کند که نقطه هدف برابر یا نزدیک مقدار بهینه باشد. سپس شرط توقف اجرا می‌شود. و الگوریتم به انتهای خود می‌رسد. با توجه به اینکه جوابی که در پایان به دست آمده به صورت باینری می‌باشد باید مجدد تبدیل به شماره واقعی نقاط شود تا مسیر به دست آمده در شبکه مشخص شود.

در پایان الگوریتم مجدداً بررسی می‌شود که آیا جواب به دست آمده یک مسیر واقعی است و مسیری بین دو نقطه موردنظر وجود دارد یا خیر.

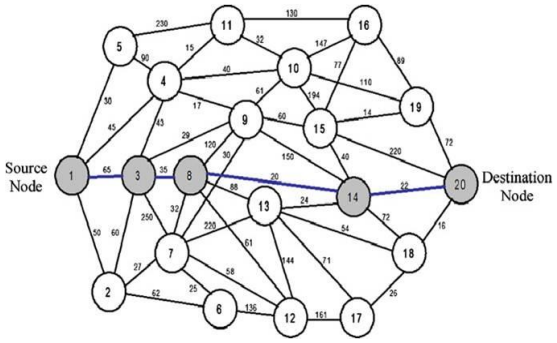
۴- پیاده سازی الگوریتم در شبکه های مختلف

در این مرحله کارایی الگوریتم روی شبکه‌های مختلفی امتحان می‌شود. ابتدا از یک شبکه فرضی با تعداد نقاط محدود استفاده می‌شود. سپس روی یک شبکه محلی و در نهایت برای آزمون اینکه آیا این الگوریتم روی شبکه‌های واقعی هم به نتیجه می‌رسد یا خیر، از یک شبکه شهری واقعی استفاده می‌شود.

۴-۱- شبکه فرضی با تعداد نقاط محدود

این شبکه از ۲۰ نقطه تشکیل شده است [۱۲]. نقاط شروع و پایان مسیر به ترتیب نقاط ۱ و ۲۰ می‌باشد. شبکه مفروض یک شبکه غیرجهت‌دار می‌باشد، یعنی اندازه یالها هم از مسیر رفت و هم برگشت به یک اندازه می‌باشد (شکل ۲).

هدف از مسیریابی در این شبکه یافتن مسیری است که طول آن حداقل باشد. بعد از پیاده‌سازی شبکه در نرم افزار متلب (MATLAB)، و اجرای این الگوریتم بر روی شبکه مفروض، نتایجی که از آن بدست آمد با نتایج حاصل از الگوریتم دایجسترا مقایسه شد. مقایسه نتایج دو الگوریتم نشان داد که هر دو از مسیرهای یکسانی برای رسیدن به نقطه مقصد استفاده کرده‌اند. با توجه به اینکه الگوریتم دایجسترا از نوع الگوریتمهای پیمایش گراف و یک الگوریتم قطعی می‌باشد به این معنی که بعد از اجرای آن به نتیجه دقیق دست پیدا می‌کند. لذا برای این شبکه این نتیجه حاصل شد که توانسته است با این تعداد نقاط به نتیجه قطعی دست پیدا کند.

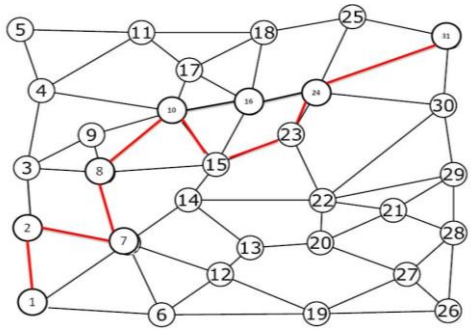


شکل۲- نتیجه اجرای الگوریتم COA روی شبکه فرضی

۴-۲- مسیریابی در شبکه‌های محلی

شبکه مورد استفاده در این بخش [۱۶]، که با عنوان شبکه محلی معرفی شده است شبکه‌ای متشکل از ۳۱ نقطه و ۶۱ یال می‌باشد. یالها در این شبکه نیز به صورت غیرجهت‌دار فرض شده‌اند.

هدف از مسیریابی در این شبکه نیز یافتن مسیری است که مجموع یالهای آن مینیمم باشد. بعد از پیاده-سازی شبکه در نرم‌افزار متلب نتایج (شکل ۳) حاصل شد. نتایجی که از این الگوریتم حاصل شد با نتایج بدست آمده از الگوریتم دایجسترا مشابه بودند. در نتیجه در این شبکه نیز الگوریتم توانست به نتایج دقیقی دست پیدا کند.



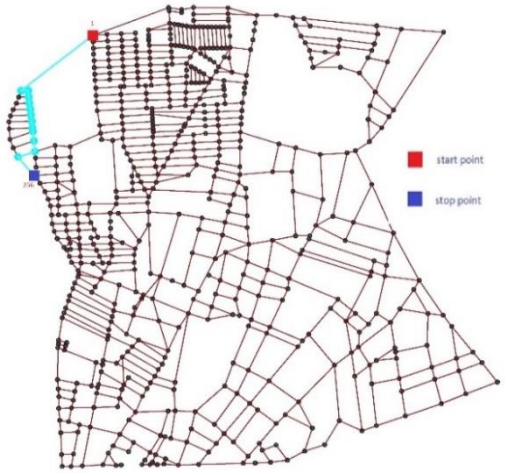
شکل۳- نتایج اجرای الگوریتم COA روی شبکه محلی

Archive of SID

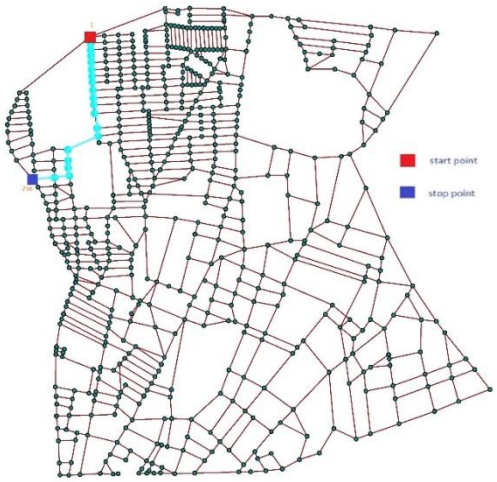
www.SID.ir

۴-۳- مسیریابی در شبکه‌های واقعی

شبکه‌ای که در این بخش مورد استفاده قرار گرفته است، بخشی از یک شبکه حمل‌ونقل شهری تهران می‌باشد. تعداد نقاط این شبکه که حدود ۶۱۷ نقطه و ۹۹۵ یال می‌باشد در مقایسه با شبکه محلی بسیار بزرگتر می‌باشد. این شبکه نیز مانند شبکه‌های قبلی غیرجهت‌دار است و وزن یالها از هر دو طرف یکسان می‌باشد (شکل ۴). نقاط ۱ و ۲۵۶ به عنوان نقاط شروع و پایان انتخاب شدند.



شکل۴- نتایج حاصل از اجرای الگوریتم COA روی بخشی از یک شبکه واقعی



شکل۵- نتایج حاصل از اجرای الگوریتم دایجسترا روی بخشی از یک شبکه واقعی

بعد از اجرای الگوریتم‌های بهینه‌سازی فاخته و دایجسترا روی یک نمونه شبکه واقعی (شکل ۴ و ۵)، نتایجی که حاصل شد نمایانگر این است که الگوریتم بهینه‌سازی فاخته در یک شبکه واقعی هم توانست به نتیجه‌ای نزدیک و حتی با اختلافی اندک نسبت به الگوریتم دایجسترا، دست یابد.

۴-۴- نتایج پیاده‌سازی الگوریتم

با بررسی نتایج جدول(۱) معلوم می‌شود که الگوریتم بهینه‌سازی فاخته با موفقیت توانست مسیر بهینه را در شبکه‌های کوچک پیدا نماید. این امر نشان می‌دهد که تغییراتی که در ایجاد جمعیت اولیه و فاز مهاجرت این الگوریتم صورت گرفته است، به درستی پیش‌بینی شده بود.

جدول۱- نتایج حاصل از اجرای الگوریتم‌های COA و دایجسترا روی شبکه‌های مختلف

نوع شبکه	شبکه دارای ۲۰ نود		شبکه دارای ۳۱ نود		شبکه دارای ۶۱۷ نود	
الگوریتم	الگوریتم COA	الگوریتم دایجسترا	الگوریتم COA	الگوریتم دایجسترا	الگوریتم COA	الگوریتم دایجسترا
مسیر نهایی	۱	۱	۱	۱	۱	۱
	۳	۳	۲	۲	۲۲۵	۲
	۸	۸	۷	۷	۲۲۴	۳
	۱۴	۱۴	۸	۸	۲۲۶	۴
	۲۰	۲۰	۱۰	۱۰	۲۲۷	۵
			۱۵	۱۵	۲۲۸	۶
			۲۳	۲۳	۲۲۹	۷
			۲۴	۲۴	۲۳۰	۸
			۳۱	۳۱	۲۳۱	۹
					۲۳۲	۱۰
					۲۳۳	۱۱
					۲۳۴	۱۲
					۲۳۵	۱۳
					۲۵۶	۱۴
						۲۴۹
						۲۵۰
						۲۵۱
						۲۵۲
						۲۴۷
						۲۵۶
وزن مسیر نهایی	۱۴۲	۱۴۲	۲۸	۲۸	۱۸۹۲	۱۹۵۶

۵- بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به بررسی توانمندی الگوریتم بهینه-سازی فاخته در مسیریابی پرداخته شد. پس از بررسی مسأله یافتن کوتاهترین مسیر در شبکه به عنوان مسأله هدف، ساختار الگوریتم بهینه‌سازی فاخته و نسخه دودویی آن برای حل مسائل گسسته، مورد مطالعه قرار گرفت. در

Archive of SID

www.SID.ir

نهایت با توجه به روشهای مختلف حل مسأله کوتاهترین مسیر و نیز ساختار الگوریتم بهینه‌سازی فاخته، روشی برای حل این مسأله پیشنهاد شد.

در این روش ابتدا در مرحله ایجاد جمعیت اولیه، تغییراتی به وجود آمد به این صورت که متغیرهای جمعیت که در واقع همان نقاط شبکه و موقعیت‌های هر فاخته می‌باشند، به صورت تصادفی انتخاب نمی‌شوند. این متغیرها به صورت کنترل‌شده انتخاب می‌شوند به این صورت که انتخاب نقاط بعد از هر نقطه به صورت تصادفی از میان نقاطی است که با نقطه مورد نظر ارتباط دارند. در تمام مراحل اجرای الگوریتم موقعیت فاخته‌ها به صورت اعداد باینری درمی‌آیند. به این صورت که اگر نقطه‌ای در مسیر حضور داشته باشد عدد ۱ و در غیر اینصورت عدد صفر می‌گیرد.

تغییر دیگری که در الگوریتم ایجاد شد تغییر در فاز مهاجرت بود که البته این تغییر در تحقیقات قبلی برای گسسته‌سازی دودویی این الگوریتم پیشنهاد شده است. با استفاده از این تغییر در فاز مهاجرت برای تعریف موقعیت‌های جدید فاخته‌ها، از یک تابع سیگموید استفاده می‌شود که موقعیت جدید را تبدیل به صفر و یک می‌کند.

نتایجی که از اجرای الگوریتم پیشنهادی بر روی چند شبکه، بدست آمد و مقایسه آن با یک الگوریتم قطعی نشان داد که این الگوریتم توانایی دستیابی به مسیر بهینه در شبکه‌های با اندازه کوچک را دارد. در شبکه‌هایی که کمی بزرگتر هستند و در واقع ویژگی شبکه‌های واقعی را دارا می‌باشند، این الگوریتم توانست با اختلاف اندکی بهتر از الگوریتم قطعی، مسیر بهینه را پیدا نماید.

دستیابی به مسیر بهینه، حتی در یک شبکه فرضی و کوچک، مهمترین هدف استفاده از الگوریتم ابتکاری می‌باشد. بعد از دستیابی به این هدف است که تلاش برای پیاده‌سازی این الگوریتم روی شبکه‌های واقعی و بزرگتر آغاز می‌شود. با توجه به اینکه ساختار شبکه‌های واقعی اختلاف زیادی با شبکه‌های فرضی و یا شبکه‌های با اندازه‌های کوچکتر دارد، لذا ایجاد تغییراتی روی الگوریتم برای کار با داده‌های بزرگتر اجتناب‌ناپذیر است.

در اجرای این الگوریتم از عامل زمان اجرای الگوریتم صرف‌نظر شده است. این موضوع به دو دلیل مهم می‌باشد: اول اینکه مقایسه زمان اجرا بهتر است که با یک الگوریتم مشابه صورت گیرد. چرا که این الگوریتم‌ها، بدون هیچ دانش اولیه‌ای به جستجو در محیط می‌پردازند و با آزمون و خطا درصدد یافتن جواب اولیه مناسب هستند تا بتوانند با بهبود بخشیدن جوابهای مناسب به جواب بهینه دست یابند. این الگوریتم‌ها به الگوریتم‌های غیرقطعی مشهور هستند چرا که سعی در یافتن جواب دقیق یا نزدیک به آن را دارند. این موضوع در مسائلی با اندازه‌های بزرگ بسیار مشهود است. در مقابل الگوریتم‌های قطعی در اندازه‌های کوچک با سرعت بالا به جواب دقیق دست پیدا می‌کنند. اما نقطه ضعف آنها در مسائل با اندازه‌ی بزرگ، نمود پیدا می‌کند. دلیل دوم اینکه در چنین اندازه‌های کوچک شبکه و با توجه به سرعت بالای پردازنده‌های رایانه‌ای، سرعت رسیدن به جواب معیار مناسبی برای سنجش کارایی یک الگوریتم نمی‌باشد.

حل مسأله کوتاهترین مسیر با استفاده از این الگوریتم گام مهمی در حل مسائل بزرگتر و پیچیده‌تر می‌باشد، چرا که مسأله کوتاهترین مسیر از جمله مسائل کلیدی آنالیز مسیریابی می‌باشد و بسیاری از مسائل دیگر که در زمره مسائل بهینه‌سازی تام و سخت قرار می‌گیرند زیرمجموعه این مسأله قرار می‌گیرند.

با توجه به اینکه در این پژوهش، برای اولین بار به حل مسأله یافتن کوتاهترین مسیر با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی فاخته پرداخته شده است، لذا می‌توان با ایجاد تغییرات دیگری در این الگوریتم به نتایج بهتری دست یافت. در این تحقیق از روش گسسته‌سازی باینری استفاده شده است، اما می‌توان از سایر روشهای گسسته‌سازی نیز برای حل این مسأله کمک گرفت. همچنین به نظر میرسد استفاده از روش اولویت مبنا، برای ایجاد جمعیت اولیه نیز نتایج مطلوبی داشته باشد. مورد دیگری که می‌تواند به عنوان پیشنهاد آتی مدنظر قرار گیرد، کاهش تعداد موقعیت فاخته‌ها یا همان متغیرهای مسأله به نصف این تعداد می‌باشد، با توجه به اینکه رسیدن به مسیر بهینه لزوماً عبور از تمام نقاط شبکه نمی‌باشد. همچنین کاربرد این الگوریتم در شبکه‌های بزرگتر و پیچیده‌تر و نیز مقایسه آن با سایر الگوریتمهای فراابتکاری از جمله PSO می‌تواند میزان کارایی الگوریتم را نشان دهد.

Archive of SID

www.SID.ir

مراجع

[1] Moradi Seloushi, B., Vafaeinejad, A.R., (2017). “Using Geospatial Information System (GIS) to Determine the Capacity of Iran Railway Networks”, Journal of Geomatics Science and Technology, Vol. 6, No. 3, pp. 15-22.

[2] Payam Rad, D., Vafaeinejad, A.R., (2015). “Using a GIS Based Decision Support System to Aid Earthquake Crisis Management with Site Selection of Temporary Housing Case Study: District 8 of Isfahan Municipality”. Journal of Geomatics Science and Technology , Vol. 5, No. 2, pp. 231-246.

[3] Zafari, A. Tashakori Hashemi, S., and Yousefi Khoshbakht, M. (2010). “A Hybrid Effective Genetic Algorithm for Solving the Vehicle Routing Problem”. International Journal of Industrial Engineering and Production Management. Vol. 21, No.2, pp. 63-76

[4] Ghoseiria, K., Ghanad poor, S.F., (2008). “Locomotive Routing Problem Using a Hybrid Genetic Algorithm”. Journal of Transportation Research, Vol. 5, No. 3, p. 259

[5] Mitsuo, G., Runwei, C., and Dingwei, W. (1997). “Genetic Algorithms for Solving Shortest Path Problems”. Evolutionary Computation. April 1997. IEEE International Conference on. 401-406

[6] Soltani, A.R., Tawfik, H., Goulermas, J.Y., and Fernando, T. (2002). “Path planning in construction sites: performance evaluation of the Dijkstra, A∗, and GA search algorithms”. Advanced Engineering Informatics. Vol. 16, No. 4, pp. 291–303.

[7] Attiratanasunthron, N., Fakcharoenphol, J. (2007). “A running time analysis of an Ant Colony Optimization algorithm for shortest paths in directed acyclic graphs”. Information Processing Letters. 105, pp. 88-92.

[8] Ghoseiri, K., Nadjari, B. (2009). “An ant colony optimization algorithm for the bi-objective shortest path problem”. Applied Soft Computing. Vol.10, No.4, 1237-1246.

[9] Lu, X., Camitz, M. (2011). “Finding the shortest paths by node combination”. Applied Mathematics and Computation. Vol.217, No.13, pp. 6401-6408.

[10] Liu, L., Mu, H., Yang, X., and Li, Y. (2012). “An oriented spanning tree based genetic algorithm for multi-criteria shortest path problems”. Applied Soft Computing, Vol.12, No.1, pp.506-515.

[11] Kuri, J., Puech, N., Gagnaire, M., and Dotaro, E., “Routing foreseeable light path demands using a tabu search meta-heuristic”, in: Proceedings of the IEEE Global Telecommunication Conference, 2003, pp. 2803–2807.

[12] Mohemmed, A., Chandra Sahoo, N., and Kim Geok, T. (2008). “Solving shortest path problem using particle swarm optimization”, Applied Soft Computing, Vol.8, No.4, pp. 1643-1653.

[13] Rajabioun, R. (2011). “Cuckoo Optimization Algorithm”. Applied Soft Computing, Vol.11, No.8, pp. 5508-5518.

[14] Smith, M., Goodchild, M. and Longley, P. (2009). “Geospatial Analysis”. Matador.

[15] Mahmoudi, Sh., (2012). “Discrete Manufacturing Cuckoo Search algorithm, Case Study: Graph Coloring”. A thesis submitted for the degree M.S. in Computer Engineering – Artificial intelligence, Faculty of engineering, , University of Nabi Akram.

[16] Behzadi, S., (2008). “Extending Route Finding Methods by Using Genetic Algorithm”. A thesis submitted for the degree M.S. in GIS, Faculty of Surveying, K.N.Toosi University of Technology.

Archive of SID

www.SID.ir