مطالعات پژوهشی راهور
۵۷
فصلنامه مطالعات پژوهشی
سال اول-شماره ۱
تابستان ۹۱

کاربرد الگوریتم اجتماع مورچگان در طراحی شبکه تغذیه کننده حمل و نقل همگانی

محمدمهدی طهوری نیا[۱]، افشین شریعت مهینی[۲]

از صفحه ۵۷ تا ۷۶

تاریخ دریافت:۹۱/۲/۹ تاریخ پذیرش: ۹۱/۳/۱۴

چکیده

ساختار پیچیده مسائل طراحی شبکه حمل و نقل همگانی باعث شده تا روش‌های ریاضی و عددی در بسیاری از مواقع راهکار مناسبی برای حل آن‌ها محسوب نشوند. در دو دهه ی اخیر، استفاده از الگوریتم‌های ابتکاری و فرا ابتکاری، رویکردی مناسب تر برای حل اینگونه مسائل ایجاد کرده به‌طوری‌که می توان امید داشت در زمان مناسب و با تقریب بهتر به جواب‌های معنادارتری دست یافت. در این مقاله به معرفی جزئیات و نوآوری‌های ایجاد شده در الگوریتم اجتماع مورچگان برای طراحی شبکه حمل و نقل همگانی تغذیه کننده چند طریقه‌ای پرداخته شده و از زوایای مختلف کاربرد و روند بهینه‌سازی آن بررسی می شود. برای تحلیل نتایج بدست آمده، روش برروی یک شبکه فرضی اجرا گردیده و اثر پارامترهای مختلف الگوریتم بر روی نتایج مدل بررسی شده است. طبق نتایج به دست آمده، پارامترهای ورودی به الگوریتم نقش مؤثری در رسیدن به جواب بهینه دارند، به‌طوری‌که با انتخاب بازه مناسب آنها، می توان زمان اجرای برنامه را کاهش و دقت مورد نیاز را افزایش داد. همچنین انتخاب مقادیر زیاد برای پارامتر تنظیم شدت فرمون باعث همگرایی سریع به سمت جواب بهینه کلی می شود حال آنکه مقادیر کم این پارامتر ممکن است که منجر به واگرایی برنامه شود. از طرف دیگر، هرچه تعداد مورچه ها در شبکه بیشتر باشد، دقت جواب‌های بدست آمده نیز بیشتر خواهد بود. تعداد چرخه نقش مؤثری در زمان حل برنامه دارند به‌طوری‌که کم بودن آن منجر به کاهش دقت در جواب مسئله می شود.

کلید واژه‌ها

الگوریتم اجتماع مورچگان/بهینه سازی/طراحی شبکه/تغذیه کننده/چندطریقه‌ای

۱. دانشجوی دکتری مهندسی حمل و نقل و ترافیک، دانشگاه یو.ام مالزی (نویسنده مسئول: Tahoorinia@civileng.just.ac.ir)

۲. دانشیار مهندسی حمل و نقل دانشگاه علم و صنعت ایران Shariat@just.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه و بیان مسئله

با رشد روزافزون تقاضای سفر در شهرها و کلان شهرها، تمایل به استفاده از حمل و نقل همگانی نیز افزایش یافته است. با توجه به هزینه‌های زیربنایی بالا که همواره تهدیدی برای عملکرد بهتر بهره بردار سیستم می باشند، لازم است که بهینه سازی سیستم‌های حمل و نقل از منظر استفاده کننده و بهره‌بردار با هدف کاهش هزینه‌ها و ارائه عملکرد مطلوب‌تر بنحو مناسب‌تری صورت پذیرد. از آنجا که مسائل طراحی شبکه معمولاً پیچیده و حجم بالایی از پارامترها در آن دخیل هستند؛ بنابراین، استفاده از روش‌های ریاضی و عددی برای حل آن‌ها در بسیاری از موارد ناتوان نشان داده و نمی‌توانند جواب‌های مناسبی را در مدت زمان مورد قبول ارائه نمایند. به عبارت دیگر، به علت وجود متغیرها و المان های متعدد طراحی، ونیز حضور محدودیت‌های مختلف برای رسیدن به جواب مورد نظر، با معادلات چند بعدی مواجه هستیم که عملکرد اینگونه روش‌ها در فضای بیش از یک بعد بسیار زمان بر است. در دو دهه اخیر روش‌های ابتکاری و فرابتکاری مختلفی در دنیا معرفی شده اند. این الگوریتم ها رویکرد مناسبی را برای یافتن جواب بهینه پدید می آورند. دراین بین می‌توان به الگوریتم ژنتیک[1]، الگوریتم سرد و گرم کردن شبیه سازی شده[2]، الگوریتم هوش جمعی[3] و الگوریتم اجتماع مورچگان[4] اشاره کرد. با توجه به اینکه الگوریتم اجتماع مورچگان از زندگی مورچگان در طبیعت الهام گرفته به‌طوری‌که مسیریابی بهینه آن‌ها برای رفت و آمد بین لانه و محل غذا را تشریح می کند، از این‌رو در مسائل طراحی شبکه تمایل بیشتری به استفاده از آن وجود دارد. در این مقاله به بررسی کاربرد الگوریتم اجتماع مورچگان در طراحی شبکه‌های تغذیه کننده حمل و نقل همگانی و چگونگی بهبود روند آن در حل مسائل پیچیده حمل و نقلی پرداخته می شود. هدف اصلی این مطالعه بیان چهارچوب اجرایی روش و راهکارهای تلفیقی با آن، برای رسیدن به جواب مسئله مورد نظر مبانی نظری است.

مبانی نظری

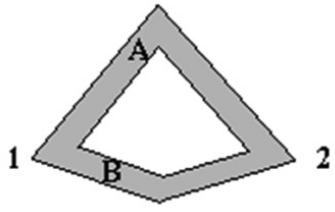
در سال‌های اخیر استفاده از شبکه‌های تغذیه کننده از سوی طراحان مورد توجه بیشتری قرار

1. Genetic Algorithm (GA)
2. Simulating Annealing (SA)
3. Particle Swarm Optimization (PSO)
4. Ant Colony Optimization (ACO)

Archive of SID
www.SID.ir

گرفته است. با توجه به اینکه راه‌اندازی خطوط حمل و نقل انبوه مانند مترو، قطارشهری[1] و اتوبوس تندرو[2] در کریدورهایی میسر است که تقاضای مورد نیاز آن وجود داشته باشد (بیش از ۳۰۰۰ مسافر در ساعت در هر جهت) (ووچیک، ۲۰۰۴)؛ و از آنجا که در کلان شهرها چنین تقاضایی در هیچ مسیری بخودی خود وجود ندارد، لذا لازم است برای تأمین تقاضای مورد نیاز و نیز افزایش سطح دسترسی به حمل و نقل همگانی پیوسته، از روش‌های پایین دست مانند اتوبوس، تاکسی، ون و جیتنی[3] استفاده کنیم. مناطق حومه‌ای با توجه به تقاضای حمل و نقل عمومی، کمتر نیازمند یک سیستم پایدار و در عین حال باصرفه هستند. از این رو می توان ادعا کرد در شرایط بهینه، شبکه‌های تغذیه کننده حمل و نقل همگانی می تواند راه‌گشای این موضوع باشند. به‌علاوه با توجه به امکان استفاده از روش‌های مختلف در شبکه برای پوشش تقاضا، در این مقاله روش طراحی شبکه تغذیه کننده با استفاده از چند طریقه برای اولین بار و با استفاده از الگوریتم اجتماع مورچگان تشرح شده است. لازم به ذکر است از جاییکه هدف اصلی بیان جزئیات روش حل می باشد؛ بنابراین روش طراحی شبکه چند طریقه‌ای به اجمال شرح داده شده و جزئیات مربوط به استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری برای حل آن مدنظر قرار گرفته است.

در آزمایش‌هایی که در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی صورت گرفت، مورچه‌ها توانستند از نقطه ۱ (لانه) نزدیک‌ترین مسیر را برای رسیدن به نقطه ۲ (غذا) پیدا کنند (دوریگو و همکاران، ۲۰۰۴). در این آزمایش دو مسیر A و B مطابق شکل(۱) وجود دارد. مسیر A مسیر بلندتر و مسیر B مسیر کوتاه‌تر است.



شکل۱: شبکه ای با دو کمان A (کمان بلندتر) و B (کمان کوچک‌تر)

1. Light Rail Transit (LRT)
2. Bus Rapid Transit (BRT)
3. Jitney

Archive of SID
www.SID.ir

مورچه‌ها در ابتدا از نقطه ۱ بصورت تصادفی یکی از مسیرهای A و B را انتخاب می‌کنند سپس مسیر را ادامه می دهند تا به نقطه ۲ می رسند، سپس مسیری را که رفته اند برمی گردند و در حین رفت و برگشت از خود ماده ای به نام فرمون[1] روی مسیر باقی می گذارند. مورچه‌ها در گام‌های بعدی از نقطه ۱ مسیری را انتخاب می‌کنند که دارای فرمون بیشتری باشد (یا به عبارتی احتمال انتخاب مسیری که فرمون بیشتری دارد بیشتر است). از آنجائیکه در مسیر کوتاه‌تر مورچه‌ها سریع‌تر رفت و برگشت را انجام می دهند کم کم فرمون مسیر کوتاه‌تر بیشتر و بیشتر می‌شود تا جائیکه دیگر همه مورچه‌ها مسیر کوتاه‌تر را انتخاب می‌کنند.

تابع هدف مسئله طراحی شبکه تغذیه کننده چندطریقه‌ای یک مدل ریاضی است که شامل شش بخش بوده و هزینه‌های کاربر، بهره بردار و اجتماع را معرفی می کند. بخش‌های مختلف الگوریتم اجتماع مورچگان در محیط نرم افزار MATLAB ۱۰,۰ کدنویسی شده اند به‌طوری‌که بتواند با توجه به پارامترهای ورودی مسئله و شبکه فرضی استفاده شده در اینجا، مقدار تابع هدف را کمینه کند. خروجی تابع هدف مسئله هزینه بوده و سایر پارامترهای کمی دخیل در طراحی شبکه نیز به هزینه تبدیل می شوند.

پیشینه تحقیق

استفاده از روش‌های ابتکاری و فرا ابتکاری از سال‌های گذشته توسط محققان در طراحی شبکه حمل و نقل مورد استفاده قرار گرفته است. کاربرد یکی از این روش‌ها برای طراحی شبکه تغذیه کننده چند طریقه‌ای اولین بار در سال ۲۰۱۰ معرفی شد. مقاله ارائه شده در زمینه استفاده از طریقه‌های مختلف در طراحی دارای محدودیت‌هایی بوده که در این مقاله برخی از آن‌ها برطرف گردیده است. بنابراین با توجه به گستردگی ادبیات موضوعی، در این بخش فقط مقاله هایی که از الگوریتم های ابتکاری و فرا ابتکاری استفاده کرده و نیز به طراحی شبکه حمل و نقل همگانی با استفاده از این روش‌ها پرداخته اند، بررسی شده و نتایج بدست آمده توسط آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است.

1. Pheromone

Archive of SID
www.SID.ir

دوریگو و همکاران (۲۰۰۴) در مقاله خود به معرفی سیستم مورچه برای حل مسئله TSP[1] پرداخته اند. مؤلفان ذکر کرده‌اند که سیستم مورچه یک رویکرد جدید برای حل مسائل ترکیبی و پیچیده است. آن‌ها نتایج حاصل از اجرای مدل را با روش فرا ابتکاری جست و جوی ممنوعه و سرد و گرم کردن مقایسه کرده اند. همچنین برای نشان دادن قدرت تحلیل الگوریتم اجتماع مورچگان) نشان داده اند که چطور این روش می تواند برای سایر مسائل بهینه سازی مانند مسئله سفر نامتقارن، تخصیص دوگانه و زمان بندی شبکه نیز استفاده شود.

در زمینه استفاده از روش‌های ابتکاری برای اولین بار پرل (۱۹۸۹) به طراحی شبکه تغذیه کننده خط ریلی پرداخته‌اند. هدف پوشش تقاضای منطقه با استفاده از شبکه تغذیه کننده و تعیین تواتر خطوط است. به علت پیچیدگی مسئله و ناکارآمدی روش‌های ریاضی از الگوریتم ابتکاری استفاده کرده اند. نتایج نشان می‌دهد که روش ابتکاری ارائه شده، شبکه تغذیه کننده مناسبی را طراحی می‌نماید و جواب‌های به دست آمده بهتر از نتایج دستی هستند. همچنین مزیت قالب روش ارائه شده، درشرایط تقاضای متغیر است.

با توجه به اینکه آن‌ها از روش‌های ابتکاری برای حل مسئله استفاده کرده اند، از این رو، با توجه به رویکردهای مختلف این روش‌ها، محققان دیگری سعی کرده اند با آزمایش روش‌های فرا ابتکاری دیگر، به بهبود جواب‌ها بپردازند.

مارتینز (۱۹۹۸) مسئله بیان شده در مورد شبکه تغذیه کننده که کوا و همکاران درسال (۱۹۸۹) معرفی کرده اند را با سه روش ابتکاری حل نموده اند. روش‌های استفاده شده شامل Constructive heuristic که شامل Sequential building و two phase building بوده، جست و جوی محلی ابتکاری[2] و لیست ممنوعه[3] است. نتایج مطالعات نشان می دهد که جست و جوی ممنوعه یکی از روش‌های مفید در زمینه‌ی حل مسائل تغذیه کننده بوده و به نتایج بهتری نسبت به روش‌های دیگر می توان دست یافت.

اُنگ و همکاران (۲۰۰۶) مقاله‌ای ارائه کرده اند که در آن طراحی و تحلیل دو روش فرا ابتکاری

1. Travelers Salesman Problem
2. Local Search Heuristic
3. Tabu Search

Archive of SID
www.SID.ir

GA و ACO برای طراحی شبکه تغذیه کننده معرفی می گردد.

طراحی شبکه تغذیه کننده با استفاده از روش‌های ابتکاری و فرا ابتکاری توسط شریواستاوا و دهینگرا (۲۰۰۱ و ۲۰۰۶) و شریواستاوا و اوماهونی (۲۰۰۶ و ۲۰۰۷) در مقاله‌های متعدد معرفی شده است. نتایج این مطالعات نشان می‌دهند که استفاده از این روش‌ها با توجه به جزئیات مورد نظر، همواره بهبود دهنده روند حل مسئله است.

شریعت و غلامی (۲۰۱۰) مدلی برای طراحی شبکه فیدر چندطریقه‌ای ارائه کرده اند. آن‌ها برای حل مسئله از الگوریتم اجتماع مورچگان استفاده نموده اند. روش کار بدین ترتیب است که ابتدا توسط روش فرا ابتکاری مسیریابی برای تمام ایستگاه‌های شبکه صورت می پذیرد. سپس برای هر مسیر ساخته شده هزینه سرویس دهی با استفاده از طریقه‌های اتوبوس و ون محاسبه شده و حالت بهینه تعیین می شود.

کارایی طریقه‌های تاکسی‌ترانزیت با ظرفیت خودروهای ۴ نفره در مقایسه با اتوبوس در شبکه تغذیه کننده درمطالعه غلامی و شریعت (۲۰۱۱) بررسی شده است. در این مطالعه شبکه تک طریقه‌ای اتوبوس با شبکه چند طریقه‌ای که با خودروی ۴ نفره و اتوبوس طراحی شده است مقایسه گشته. الگوریتم استفاده شده اجتماع مورچگان است.

غلامی و شریعت (۲۰۱۲) براین باورند که استفاده از مینی بوس در شبکه تغذیه کننده برخی از شهرها خیلی مؤثرتر و بهینه‌تر از استفاده آن در تمام شبکه حمل و نقل همگانی خواهد بود. مقاله آن‌ها شامل استفاده از مینی بوس در طراحی شبکه تغذیه کننده خط ریلی است و در آن به دنبال بدست آوردن بازه بهینه استفاده از این طریقه حمل و نقلی در شبکه می باشند. روش استفاده شده در مقاله آنها الگوریتم اجتماع مورچگان است.

سیپریانی و همکاران (۲۰۱۲) یک روش را برای طراحی شبکه اتوبوس و کاربرد آن در سیستم معرفی کرده اند. آن‌ها در این مقاله در سه حالت توپولوژی پیچیده شبکه، سیستم چندطریقه‌ای و تقاضای O–D کدنویسی را با حالت ترکیبی روش های ابتکاری– فرا ابتکاری و روش‌های قطعی انجام داده اند.

بنابراین اکثر مطالعات انجام شده در زمینه‌ی طراحی حمل و نقل همگانی به علت پیچیدگی

Archive of SID
www.SID.ir

مدل‌های ریاضی با استفاده از روش‌های ابتکاری و فرا ابتکاری قابل حل است. علاوه براین، در بسیاری از مسائل، مقایسه بین روشهای استفاده شده نشان می دهد که همواره یک روش فرا ابتکاری تضمین کننده رسیدن به بهترین جواب نبوده و چه بسا استفاده از روشی دیگر زمان حل را کاهش و دقت جواب‌ها را افزایش دهد. لذا در این حالت انطباق ساختار الگوریتم با نوع مسئله از اهمیت زیادی برخوردار است.

در طراحی شبکه تغذیه کننده چند طریقه‌ای فرضیه های زیر درنظر گرفته می شوند:

۱- فرض می شود مسیر خط ریلی و ایستگاههای شبکه که محل تجمع تقاضا می باشد، از قبل مشخص شده است.

۲- براساس مطالعات جامع حمل و نقل فرض می شود تقاضای حمل و نقل همگانی کسری از تقاضای سفر کل ناحیه است (شریعت و غلامی، ۲۰۱۰).

۳- زمان انظار مسافران برای رسیدن ناوگان همگانی به‌طور متوسط و براساس ادبیات موضوعی، نصف سرفاصله خط پوشش دهنده آن ایستگاه فرض می شود.

روش شناسی تحقیق

شبکه‌های تغذیه کننده حمل و نقل همگانی جزئی از شبکه‌های کلی حمل و نقل هستند که وظیفه‌ی آن‌ها پوشش تقاضا، بهبود یکپارچگی سیستم و تأمین دسترسی لازم مناطق حومه‌ای به شبکه‌های انبوه حمل و نقل[1] است. از نظر ساختار کلی، اساس بهینه‌سازی طراحی شبکه تغذیه کننده همسان با اصول اولیه الگوریتم اجتماع مورچگان است اما لازم است در جزئیات الگوریتم تغییراتی ایجاد شود تا با مدل مسئله هماهنگ شود. در اینجا طراحی شبکه تغذیه کننده چندطریقه‌ای با استفاده از الگوریتم اجتماع مورچگان برای اولین بار معرفی می شود. می‌توان الگوریتم اجتماع مورچگان را برای هر مسئله بهینه‌سازی‌ای که بشود آن را بصورت گراف در نظر گرفت (پیدا کردن مسیر، تخصیص به گره‌ها یا کمان ها و ...) مورد استفاده قرار داد. اصول کلی طراحی شبکه تغذیه کننده چندطریقه‌ای را می توان به موارد زیر تقسیم بندی کرد:

1. Mass Rapid Transit

Archive of SID
www.SID.ir

– تعیین نوع طریقه سرویس دهنده هر خط؛
– تعیین مبدا و مقصد هر خط در شبکه؛
– تعیین تعداد ناوگان پوشش دهنده هر خط و سرفاصله ناوگان؛
– تعیین سهم تقاضای پوشش داده شده توسط هر خط.

مراحل گفته شده در بالا باید بنحو مقتضی توسط الگوریتم اجتماع مورچگان مدل شوند تا بتوان با استفاده از تابع هدف مسئله به طراحی بهینه شبکه تغذیه کننده پرداخت.

تابع هدف مسئله شش بخش دارد که در جهت کمینه کردن هزینه های مرتبط با مسافر، بهره بردار و هزینه های اجتماعی ایجاد شده و مطابق معادله (۱) بیان می شود:

$$TSC_k^m = C_{w,k}^m + C_{r,k}^m + C_{o,k}^m + C_{s,k}^m + C_{f,k}^m + C_{m,k}^m \qquad (۱)$$

که در آن:

TSC_k^m : هزینه کل شبکه برای طریقه m و مسیرk؛ $C_{w,k}^m$: هزینه زمان انتظار برای طریقه m و مسیرk؛ $C_{r,k}^m$: هزینه زمان سواری برای طریقه m و مسیرk؛ $C_{o,k}^m$: هزینه بهره بردار برای طریقه m و مسیرk؛ $C_{s,k}^m$: هزینه اجتماعی برای طریقه m و مسیرk؛ $C_{f,k}^m$: هزینه ثابت سیستم برای طریقه m و مسیرk؛ $C_{m,k}^m$: هزینه تعمیر و نگهداری برای طریقهm و مسیرk.

دو ترم اول تابع هدف مربوط به هزینه‌های کاربر است. هزینه های کاربر شامل هزینه زمان انتظار در ایستگاه و هزینه زمان سواری درون وسیله نقلیه می باشد. طبق فرض شماره سه، زمان انتظار مسافر نصف سرفاصله خط سرویس دهنده درنظر گرفته می شود. هزینه‌ی زمان سواری، هزینه زمانی است که مسافر از لحظه سوار شدن تا هنگام رسیدن به مقصد که در اینجا همان ایستگاه خط ریلی است، صرف می کند. ترم‌های سوم و چهارم تابع هدف مربوط به هزینه‌های بهره بردار و هزینه‌های اجتماع می باشند که به وسیله–کیلومتر طی شده در شبکه وابسته هستند. دو ترم آخر معادله(۱) مربوط به هزینه های ثابت، تعمیر و نگهداری سیستم است که بستگی به تعداد ناوگان استفاده شده در شبکه دارند. در بخش بعد گام‌های حل مسئله طراحی شبکه تغذیه کننده چندطریقه‌ای به تفکیک بیان می شود.

Archive of SID
www.SID.ir

تخصیص تقاضا: از آنجا که در طراحی شبکه تغذیه کننده چند طریقه‌ای رویکرد پوشش هم زمان تقاضا توسط طریقه‌ها درنظر گرفته شده اند، لذا لازم است که با روشی مناسب تخصیص بهینه تقاضای ایستگاه‌های مشترک میان طریقه‌ها صورت پذیرد. بنابراین در اینجا به هر مسافر موجود در ایستگاه‌های شبکه فرمونی بنام فرمون تقاضا اختصاص داده شده و با استفاده از معادله (۲)، احتمال تخصیص هریک از مسافران به هر طریقه به‌دست می آید.

$$P^{m}_{p,c} = \frac{(\tau^{m}_{p,c})^{\alpha}}{\sum_{i\in\gamma}(\tau^{m}_{p,c})^{\alpha}_{i}} \qquad (۲)$$

که در آن:

$P^{m}_{p,c}$: احتمال انتخاب سهم تقاضای c در ایستگاه p برای طریقه m؛ $\tau^{m}_{p,c}$: فرمون مربوط به سهم تقاضای c در ایستگاه p برای طریقه m؛ α : پارامتری برای تنظیم شدت فرمون.

بعد از اینکه تمام احتمال‌ها محاسبه شدند، با استفاده از قاعده چرخ رولت، سهم تقاضای تخصیص داده شده به طریقه‌ها بدست می آید. براین اساس، آن سهم‌هایی که احتمال بیشتری را به خود اختصاص داده‌اند، شانس انتخاب بیشتری دارند، حال آنکه قاعده چرخ رولت شانس انتخاب را برای احتمال‌های کمتر نیز باز می گذارد.

ترمینال یابی: برای حل مسئله طراحی تغذیه کننده چند طریقه‌ای با استفاده از الگوریتم اجتماع مورچگان لازم است که ابتدا ایستگاه‌های شروع هر مسیر مشخص شود. در مطالعات گذشته معمولاً ایستگاهی به عنوان ترمینال انتخاب می شد که بیشترین تقاضا را داشت. در اینجا با استفاده از قابلیت‌های الگوریتم انتخاب ایستگاه ترمینالی به نحو مناسبت‌تری صورت می گیرد بدین ترتیب که به تمام ایستگاه‌های شبکه فرمونی بنام فرمون ترمینالی اطلاق می شود. سپس با استفاده از معادله‌ی (۳) احتمال انتخاب هریک از ایستگاه‌های شبکه جهت ترمینال شدن محاسبه می شود. مطابق شکل (۲) اگر فرض شود مورچه‌ای می خواهد ایستگاه های ۱ تا ۴ را پوشش داده و به مقصد برسد، آنگاه اگر براساس راهکار قدیمی مسیریابی انجام شود و فرض شود گره ۲ دارای بیشترین تقاضا باشد، شبکه مطابق شکل (۲-الف) می شود. اما اگر از راهکار ارائه شده در اینجا استفاده شود؛ در این‌صورت با استفاده از قاعده چرخ رولت آن ایستگاهی به عنوان ترمینال انتخاب خواهد شد که

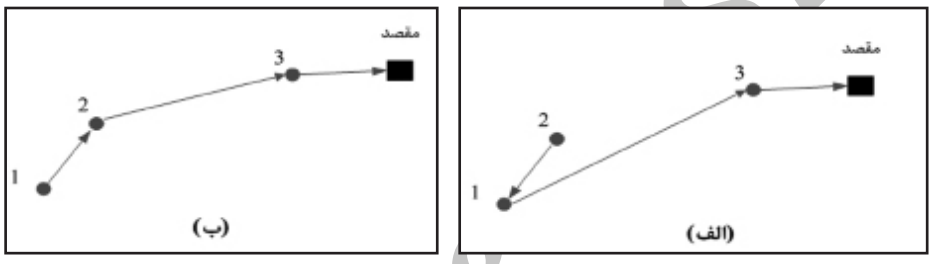
Archive of SID
www.SID.ir

مناسب ترین شرایط را دارد که در اینجا مطابق شکل (۲-ب) ایستگاه شماره ۱ است.

$$P_p^{k,m} = \frac{(\tau_{p,m})^\alpha}{\sum_{i\in\Omega}(\tau_{i,m})^\alpha} \qquad (۳)$$

که در آن:

$P_p^{k,m}$: احتمال انتخاب ایستگاه p برای مسیر k و طریقه m؛ $\tau_{p,m}$: شدت فرمون مربوط به ایستگاه p و طریقه m؛ Ω : مجموعه ایستگاه‌های که در شبکه موجود هستند.



شکل ۲- الف) ترمینال یابی با روش های مرسوم ب) ترمینال یابی با روش جدید و استفاده از ACO

مسیریابی: برای مسیریابی در شبکه نیز از الگوریتم اجتماع مورچگان استفاده شده است. بدین ترتیب که پس از تعیین گره ابتدایی مسیر (ترمینال)، احتمال حرکت مورچه به سمت هر یک از ایستگاه‌های موجود در شبکه با معادله (۴) بدست می آید. این معادله براساس فرمون تخصیص داده شده به هر لینک موجود بین هر دو گره در شبکه، احتمال‌ها را بدست می آورد.

$$P_{i,j}^{k,m} = \frac{(\tau_{ij,m})^\alpha . (\eta_{ij,m})^\beta}{\sum_{s\in\Omega}(\tau_{is,m})^\alpha . (\eta_{is,m})^\beta} \qquad (۴)$$

که در آن:

$P_{i,j}^{k,m}$: احتمال انتخاب ایستگاه j از ایستگاه i برای مورچه kام و طریقه m؛ $\tau_{ij,m}$: فرمون لینک بین ایستگاه های i و j برای طریقه m؛ $\eta_{ij,m}$: دیدپذیری ایستگاه j از ایستگاه i برای طریقه m؛ Ω : مجموعه نقاط ملاقات نشده توسط مورچه k ام برای طریقه m؛ β : پارامتر تنظیم کننده دیدپذیری ایستگاه j از ایستگاه i.

Archive of SID
www.SID.ir

دیدپذیری: در طراحی تغذیه کننده نه تنها وضعیت فرمون کمان ها اهمیت دارد بلکه موقعیت نسبی نقاط نیز دارای اهمیت است. از طرفی موقعیت نسبی دو نقطه نسبت به نقطه مقصد نیز دارای اهمیت است. فرض کنید در شکل (۳) لازم است از نقطه ۲ به مقصد برسیم. از نظر موقعیت نسبی دو نقطه، نقطه ۱ وضعیت بهتری را دارد (یا اصطلاحاً دیدپذیری بهتری دارد) اما از نظر موقعیت نسبی نسبت به مقصد وضعیت نقطه ۳ بهتر است. از طرفی هرچند نقطه ۴ به مقصد نزدیکتر است اما دیدپذیری نقطه ۳ نسبت به نقطه ۲ بهتر است. بنابراین لازم است روشی اتخاذ شود که در انتخاب نقطه بعدی از نقطه ۲ احتمال انتخاب نقطه ۳ (در صورتی که فرض شود فرمون تمام کمانها یکسان است) بیشتر از نقاط دیگر باشد. برای این منظور از رابطه ای که تیلمن و کین ارائه کرده اند استفاده می‌شود. در این رابطه دیدپذیری عبارت است از:

$$\eta_{ij} = \tilde{d}_i^{\,s} + \tilde{d}_j^{\,s} - d_j \qquad (۵)$$

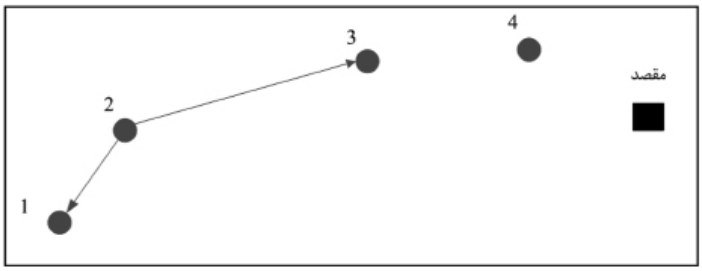
که در آن $\tilde{d}_j^{\,s}$,$\tilde{d}_i^{\,s}$ از رابطه زیر بدست می آید:

$$\tilde{d}_i^{\,s} = \min d_i^m - \left(d_i^s - \min d_i^m\right) \qquad (۶)$$

که در آن:

η_{ij} : مقدار دیدپذیری بین i و j؛ : فاصله اصلاح شده ایستگاه ریلی st تا ایستگاه اتوبوس i؛

$\min d_i^m$: فاصله بین ایستگاه اتوبوس i و نزدیکترین ایستگاه ریلی m؛ d_{ij} : فاصله بین i و j.



شکل ۳: دیدپذیری نقاط در شبکه حمل و نقل همگانی

Archive of SID
www.SID.ir

نخبه گرایی: پس از اینکه مسیریابی پی در پی توسط هر مورچه انجام شد و یک مسیر برحسب اتفاق به ایستگاه مقصد رسید؛ آنگاه اگر هنوز ایستگاه ملاقات نشده ای باقیمانده بود مجدداً روند تعیین ترمینال و مسیریابی بین گره های ملاقات نشده تکرار می شود تا تمام ایستگاه ها پوشش داده شوند. در مرحله بعد باید عملیات نخبه گرایی در الگوریتم صورت پذیرد تا بتوان روند هم گرایی را درجهت رسیدن به یکی از جواب های بهینه دنبال نمود. برای این منظور تعدادی از شبکه‌های منتخب (از لحاظ کمتر بودن هزینه ساخت در بین تمام شبکه‌های ساخته شده) انتخاب شده و فرمون المان‌های مرتبط با آن‌ها بروزرسانی می شود. المان‌های طراحی شبکه شامل فرمون ترمینالی، فرمون لینک و فرمون ایستگاه‌های چندطریقه‌ای و تک طریقه‌ای به‌ترتیب با استفاده از معادلات (۷) تا (۹) به‌روزرسانی می شوند.

$$\Delta\tau_i^m = \frac{Q}{TSC} \qquad (۷)$$

$$\Delta\tau_{ij}^m = \frac{Q}{TSC} \qquad (۸)$$

$$\Delta\tau_{p,c}^m = \frac{Q}{TSC} \qquad (۹)$$

که در آن:

$\Delta\tau_i^m$: مقدار فرمون اضافه شده به فرمون ایستگاه ترمینالی؛ Q : پارامتری برای تنظیم مقدار فرمون اضافه شده؛ TSC : هزینه کل سیستم؛ $\Delta\tau_{ij}^m$: مقدار فرمون اضافه شده به لینک‌های واصل بین ایستگاه‌ها؛ $\Delta\tau_{p,c}^m$: مقدار فرمون اضافه شده به سهم تقاضای c در ایستگاه p برای طریقه m.

تعیین پارامتر Q در زمان رسیدن به جواب بهینه و نیز نوع بهینگی بسیار تأثیرگذار است. با توجه به اینکه در الگوریتم اجتماع مورچگان مرحله‌ای بنام تبخیر فرمون نیز وجود دارد؛ ازاین‌رو اگر مقدار اضافه شده به هر فرمون بیشتر یا کمتر از مقدار تبخیر شده از آن در هر چرخه باشد، بترتیب می توان انتظار داشت که یا به هم‌گرایی نرسیم یا اینکه بدون بررسی جواب‌های محتمل دیگر یک جواب با نمودار هم‌گرایی کم عمق بدست آید که مطمئناً بهترین نیست. باید توجه داشت که

Archive of SID
www.SID.ir

همواره مقدار اضافه شده به هر فرمون باید از مقدار تبخیر شده از آن بیشتر باشد. با توجه به اینکه ممکن است در چرخه های ابتدایی برنامه، شبکه‌هایی نامناسب براساس ساختار اتفاقی الگوریتم انتخاب شوند، از این رو فرایند تبخیر می تواند به حذف شانس انتخاب این مسیرها در چرخه‌های بعدی کمک نماید. به عبارت دیگر، اگر المانی در شبکه به‌صورت نامناسب انتخاب شود باعث می‌شود هزینه کلی آن شبکه افزایش یافته و احتمال انتخاب آن شبکه در بین شبکه‌های نخبه کاهش یابد، و به‌دلیل عدم انتخاب شبکه به‌عنوان نخبه فرمون المان‌های آن به روز نشده و به علت اعمال فرایند تبخیر برروی تمام المان‌های شبکه‌های ساخته بتدریج از فرمون آن‌ها کاسته شده و احتمال انتخابشان کاهش می یابد. اما زمانیکه مقدار فرمون اضافه شده کمتر از مقدار تبخیر شده باشد، آنگاه به تدریج در چرخه‌های متوالی فرمونی برای المان‌ها باقی نمانده و انتخاب‌ها از روند هم‌گرایی خارج می شوند.

عمل‌گر تبخیر: برای اینکه جواب به سرعت به سمت یک بهینه محلی[1] هم‌گرا نشود از عمل‌گر تبخیر[2] استفاده می‌شود. عملکرد تبخیر به این صورت است که در هر تکرار مقداری از فرمون المان‌ها تبخیر می‌شود یا به عبارتی از مقدار فرمون‌ها کاسته می شود. این عمل باعث می‌شود تا جواب‌های ضعیفی که در تکرارهای اولیه انتخاب شده‌اند کم کم از بین بروند. عمل‌گر تبخیر به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\tau \leftarrow (1-\rho)\tau \qquad (۱۰)$$

که در آن:

ضریب تبخیر است. بهتر است تبخیر در تکرارهای اولیه بیشتر و کم کم از مقدارش کاسته شود تا جست و جوی کلی[3] به سمت جست و جوی محلی کشیده شود.

عمل‌گر جست و جوی محلی: مناسب است بعد از طی چند تکرار جواب به سرعت به سمت یک جواب بهینه قابل قبول هم‌گرا شود. برای سرعت بخشیدن به فرآیند هم‌گرایی به جواب بهینه

1. Local
2. Evaporation
3. Global

Archive of SID
www.SID.ir

از یک عمل‌گر تشویقی[1] استفاده می‌شود. در هر تکرار کوتاه‌ترین مسیر طی شده توسط مورچه‌ها شناسایی و یک مقدار فرمون اضافه به آن مسیر تخصیص داده می‌شود (دوریگو[2] و همکاران، ۲۰۰۴).

یافته ها

برای اجرای برنامه از یک شبکه فرضی مطابق شکل (۴) استفاده شده است. همان‌طور که دیده می شود، شبکه مذکور دارای ۳۵ گره است که ۶ ایستگاه ریلی در آن درنظر گرفته شده است. محل ایستگاه‌های شبکه ثابت و از قبل تعیین شده و طریقه‌های سرویس دهنده در این مقاله اتوبوس و تاکسی خطی هستند که با توجه به قابلیت طراحی چندطریقه‌ای روش می توان از طریقه‌های بیشتر نیز استفاده کرد. هزینه های واحد مطابق جدول (۱) تعریف شده است. در این مقاله روش برنامه با چهار سناریو اجرا گشته که ناشی از تغییرات پارامترهای الگوریتم اجتماع مورچگان برای طراحی شبکه و هم‌گرایی برنامه بوده و در جدول (۲) نشان داده شده است. نتایج حاصل از اجرای برنامه در جدول (۳) آورده شده است. بنابراین با توجه به ثابت بودن هزینه های واحد، بازاء مقادیر مختلف پارامترهای الگوریتم اجتماع مورچگان، جواب های مختلفی بدست می آیند، با اجرای چندباره برنامه بازه مناسب ورودی های الگوریتم معین خواهد شد.

جدول ۱: هزینه های واحد کاربر و بهره بردار برای طریقه‌های اتوبوس و تاکسی خطی در شبکه

λ_w^m ریال/ مسافر- ساعت		λ_v^m ریال/ مسافر-ساعت		λ_o^m ریال/ وسیله - کیلومتر		λ_s^m ریال/ وسیله - کیلومتر		λ_r^m ریال/ وسیله - ساعت		λ_w^m ریال/ وسیله - ساعت	
اتوبوس	تاکسی خطی	اتوبوس	تاکسی خطی	اتوبوس	تاکسی خطی	اتوبوس	تاکسی خطی	اتوبوس	تاکسی خطی	اتوبوس	تاکسی خطی
۲۰۰۰-	۱۵۰۰-	۱۰۰۰-	۸۰۰-	۱۲۸۷۹	۱۲۳۰-	۳۱۹۸۰-	۴۲۰۰-	۱۸۴۳۹۰-	۵۵۴۲۰-	۳۴۱۳	۱۳۲۴

1. Daemon Action
2. Dorigo

www.SID.ir

جدول ۲: سناریوهای مورد استفاده در طریقه برنامه اجتماع مورچگان

پارامتر / سناریو	α	β	تعداد چرخه	تعداد مورچه	Q (ریال)	ضریب تبخیر فرمون	ضریب کاهش تبخیر فرمون	تعداد شبکه منتخب در هر چرخه	فرمون اولیه لینک ها و گره ها
۱	۱/۰	۳/۰	۵۰۰	۱۰۰	۳۰۰۰۰۰	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۷	۳۰	۱۰
۲	۲	۵	۳۵۰	۵۰	۶۰۰۰۰۰	۰/۹۹۹۸	۰/۹۹۹۹	۵	۱۰
۳	۳	۶	۴۰۰	۱۵۰	۷۰۰۰۰۰	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۹	۱۵	۱۰
۴	۴	۶	۶۰۰	۷۵	۵۵۰۰۰۰	۰/۹۹۹۶	۰/۹۹۹۵	۸	۱۰

براساس نتایج شماره ۳ می توان گفت جدول که بهترین نتیجه برای سناریوی ۲ بدست آمده است. همان طور که گفته شد تعیین بازه تغییرات پارامترهای الگوریتم اجتماع مورچگان نیاز به سعی و خطای مهندسی دارد تا بتوان به یک نتیجه مطلوب دست یافت. برای رسیدن به این مطلوب، لازم است چند بار برنامه را با پارامترهای مختلف اجرا کرد تا بتوان به یک نتیجه منطقی رسید. اگر مقدار زیاد انتخاب شود الگوریتم به سرعت هم گرا می‌شود. این هم‌گرایی سریع ممکن است به یک جواب بهینه برسد (شکل ۵-الف) یا ممکن است در یک بهینه محلی گیر کند (شکل ۵- ب). و اگر مقدار کم انتخاب شود برنامه بسیار دیر به سمت جواب بهینه هم گرا می‌شود. بهتر است بعد از انجام تعدادی تکرار اقدام به افزایش مقدار کرد تا جواب به سمت جواب بهینه سریع‌تر هم‌گرا شده و از طرفی جواب در یک بهینه محلی گیر نکند، شکل (۶). تعداد چرخه های مورد استفاده در شبکه نیز بر روند رسیدن به جواب تأثیرگذار است. به دو حالت می‌توان ملاک پایانی برنامه را تعیین نمود. یکی رسیدن به میزان اختلاف مابین جواب‌های متوالی بدست آمده در مسئله و حالت دوم که در اینجا استفاده شده تعداد معین چرخه است. اگر تعداد چرخه کم باشد، آنگاه برنامه نمی تواند روند هم‌گرایی کلی و جزئی را طی نموده و به سمت یکی از بهینه‌ها پیش رود. در مقابل اگر تعداد چرخه ها زیاد باشد، زمان اجرای برنامه افزایش یافته و این افزایش بعضاً تأثیری در افزایش دقت در جواب نخواهد داشت.

در متون ادبی گذشته مرسوم است تعداد مورچه‌های استفاده شده در برنامه مساوی تعداد ایستگاه‌های موجود در شبکه درنظر گرفته می شود. اما باید توجه داشت که افزایش مورچه‌ها

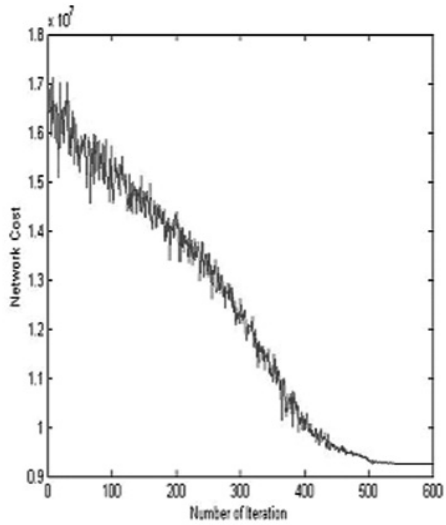
Archive of SID
www.SID.ir

دقت جواب را نیز افزون می کند، حال آنکه ممکن است زمان حل برنامه را نیز افزایش دهد. تعداد شبکه‌هایی که در هر چرخه به عنوان نخبه انتخاب می شوند معمولاً طبق بررسی متون گذشته در این زمینه ۱۰درصد کل تعداد مورچه‌ها است. اما زیاد بودن این تعداد روند هم‌گرایی را کند کرده و لازم است در این شرایط تعداد چرخه ها را افزایش دهیم. از طرف دیگر، کم بودن تعداد نخبه‌ها نیز باعث می شود جواب بدست آمده بهینه نبوده و جواب‌های محتمل کمتری در شبکه آزمایش شده باشند. در شکل (۷) شبکه طراحی شده برای سناریوی ۲ برروی شبکه فرضی مثال نشان داده شده است. همان‌طور که از جدول (۳) دیده می شود در این سناریو مجموع خطوط پوشش دهنده تقاضا ۱۵ خط است که سهم اتوبوس و تاکسی خطی به ترتیب ۹ و ۶ خط است. همچنین این جدول نشان می دهد که سناریوی بهینه با توجه به ثابت بودن تقاضا و سایر پارامترهای مؤثر در طراحی شبکه، سناریوی ۲ است. این مهم نشان دهنده این موضوع است که تغییر پارامترهای ورودی الگوریتم های فراابتکاری (در اینجا الگوریتم اجتماع مورچگان) می تواند در ارائه یک شبکه بهینه یا غیر بهینه دخیل باشد.

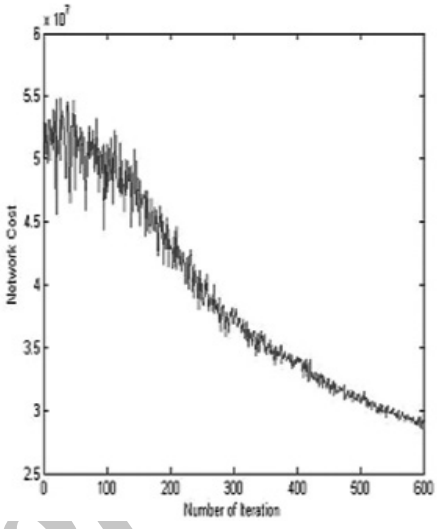
جدول ۳: پارامترهای عملکردی برنامه

سناریو	طریقه	تعداد خط	متوسط تواتر	متوسط سرفاصله	مسافر-کیلومتر	وسیله-کیلومتر	طول خطوط شبکه (km)	هزینه کل سیستم (ریال/ساعت)
۱	اتوبوس	۲۲	۲/۸۶	۶/۲	۲۸۴۶	۳۸۶	۵۹/۳	۷۰۷۸۲۴۸
	تاکسی خطی	۱۰	۲/۵۲	۴/۱۸	۹۸۷	۳۶	۴/۹۷	۵۰۶۷۲۸۸
	مجموع	۳۲	۲/۶۹	۵/۲۳	۳۸۲۱	۴۲۲	۶۴	۷۶۷۵۳۵۳۶
۲	اتوبوس	۹	۲/۳۰	۶/۷	۳۰۴۶	۴۱۰	۵۴/۳	۶۸۷۸۲۴۸
	تاکسی خطی	۶	۲/۲۲	۴/۸۷	۱۰۲۶	۴۳	۴/۳۶	۴۹۶۷۲۸۸
	مجموع	۱۵	۲/۴	۵/۱۲	۴۰۸۳	۸۱۳	۵۸/۴	۷۳۷۵۳۵۳۶
۳	اتوبوس	۲۵	۲/۹	۸/۲	۲۵۹۶	۴۲۷	۷۱/۸۳	۷۸۷۸۲۴۸
	تاکسی خطی	۱۵	۲/۱۲	۵/۴۳	۸۳۹	۲۶	۶/۲۷	۴۴۶۷۲۸۸
	مجموع	۴۰	۲/۴۵	۶/۷۵	۲۵۲۱	۴۵۳	۷۸/۳۴	۹۸۷۵۳۵۳۶
۴	اتوبوس	۲۰	۳/۸۶	۷/۲۸	۲۸۶۵	۳۹۵	۷۰/۳	۷۳۷۸۲۴۸
	تاکسی خطی	۱۳	۲/۸۲	۶/۷۲	۸۹۷	۵۲	۴/۱	۵۴۶۷۲۸۸
	مجموع	۳۳	۳/۱۱	۶/۲۳	۲۹۳۹	۴۳۲	۷۴/۴	۸۳۷۵۳۵۳۶

Archive of SID
www.SID.ir

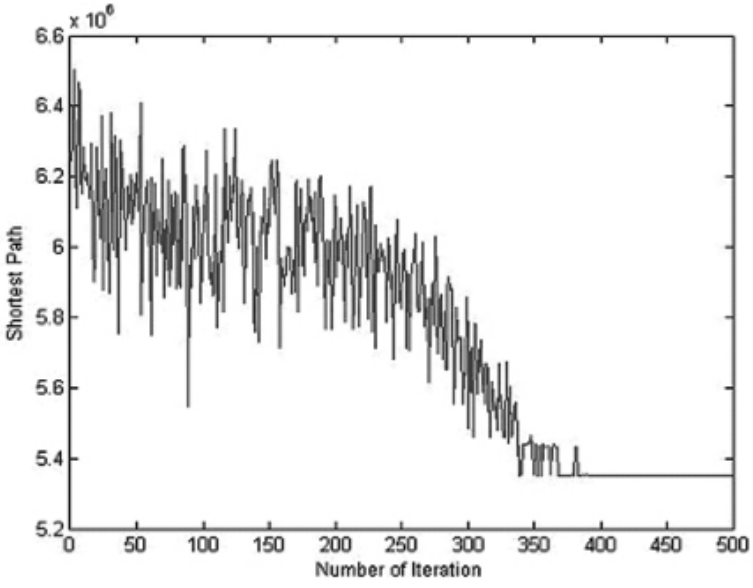


(ب)



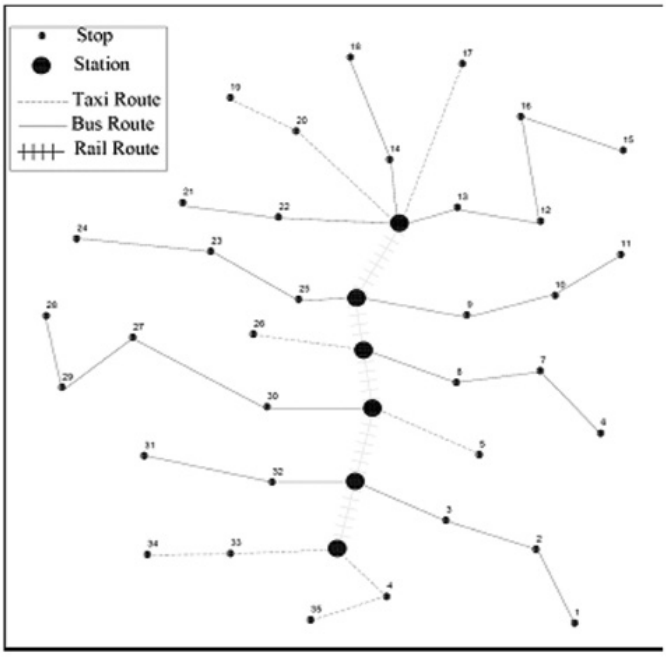
(الف)

شکل۵: الف) هم‌گرایی سریع به سمت بهینه کلی ب) هم‌گرایی سریع به سمت بهینه محلی



شکل ۶: هم گرایی مناسب برنامه بعد از تکرار ۴۰۰

www.SID.ir



شکل ۷: شبکه طراحی شده توسط برنامه برای سناریو ۲

نتیجه گیری

هدف اصلی این مطالعه شناسایی و تبیین کاربرد الگوریتم اجتماع مورچگان در طراحی شبکه تغذیه کننده چندطریقه‌ای حمل و نقل همگانی است. با توجه به اینکه شبکه تغذیه کننده چندطریقه‌ای با رویکرد پوشش هم زمان تقاضا توسط طریقه‌ها اولین بار در این مطالعه معرفی شده، از این رو، هدف، ارائه اصول و جزئیات لازم برای همسان سازی طریقه حل مسئله با ساختار الگوریتم اجتماع مورچگان است. با توجه به نتایج بدست آمده، پارامترهای ورودی به الگوریتم نقش مؤثری در رسیدن به جواب بهینه دارند، به‌طوری‌که با انتخاب بازه مناسب آن‌ها، می‌توان زمان اجرای برنامه را کاهش و دقت مورد نیاز را افزایش داد. نتایج نشان می‌دهد که انتخاب مقادیر زیاد برای پارامتر تنظیم شدت فرمون باعث هم‌گرایی سریع به سمت جواب بهینه کلی می‌شود؛ حال آنکه مقادیر کم این پارامتر ممکن است که منجر به واگرایی برنامه شود. علاوه براین، انتخاب مقدار مناسب برای

Archive of SID
www.SID.ir

بروزرسانی فرمون المان‌های برنامه با توجه به هزینه کلی شبکه (Q) صورت می‌پذیرد که می‌توان با چند بار اجرای آزمایشی به بازه مناسب آن دست یافت. از طرف دیگر، هرچه تعداد مورچه‌ها در شبکه بیشتر باشد، دقت جواب‌های بدست آمده نیز بیشتر خواهد بود. تعداد چرخه‌ها نقش مؤثری در زمان حل برنامه دارند به‌طوری‌که کم بودن آن منجر به کاهش دقت در جواب مسئله خواهد شد.

پیشنهادها

باتوجه به اینکه در این مطالعه کاربرد الگوریتم اجتماع مورچگان به تنهایی برای طراحی شبکه تغذیه کننده چندطریقه‌ای معرفی شده با هدف افزایش توان علمی محققان در این زمینه و خروجی‌های بهتر پیشنهادهای زیر به‌عنوان راهکارهای توسعه آینده معرفی می شوند:

- پیشنهاد می شود طراحی شبکه (نه لزوماً تغذیه کننده چندطریقه‌ای) با استفاده از الگوریتم‌های مناسب دیگر مانند ژنتیک یا هوش جمعی انجام گرفته و نتایج از منظر پارامترهای ورودی الگوریتم‌ها با یکدیگر مقایسه شوند.
- پیشنهاد می شود درخصوص کدنویسی برای اجرای برنامه در محیط‌های نرم افزاری و شبیه سازی دیگر، با توجه به محدودیت های نرم افزار MATLAB که در این مقاله از آن استفاده شده است، صورت پذیرد تا اینکه بتوان به یک جامعیت مناسب در خصوص نرم افزار مناسب برای استفاده از روش فرا ابتکاری در طراحی شبکه تغذیه کننده چندطریقه‌ای دست یافت.

منابع

- Cipriani, Ernesto., Gori, Stefano., Petrelli, Marco. (2012). "Transit network design: A procedure and an application to a large urban area." Transportation Research Part C. Vol.20, Pages 14-3.
- Dorigo, M., StÜtzle, T. (2004). Ant Colony Optimization.Massachusetts Institute of Technology Press.
- Gholami, A., Shariat Mohaymany, A. (2012). "Analogy of fixed route shared taxi (taxi khattee) and bus services under various demand density and economic conditions."Journal

Archive of SID
www.SID.ir

of Advanced Transportation. DOI: 10.1002/atr.157

- Gholami, A., Shariat Mohaymany, A. (2012). Economic Conditions for Minibus Usage in a Multimodal Feeder Network. Transportation Planning and Technology, 856-839 :(8)34.
- Kuah, G. K., Perl, J. (1987). "A Methodology for Feeder Bus Network Design." Transportation research board, No. 1120, p. 51-40.
- Kuan, S. N., Ong, H. L., Ng, K. M. (2006). "Solving the feeder bus network design problem by genetic algorithms and ant colony optimization." Advance in Engineering Software 359-351 .37.
- Kuah, G. k., Perl, J. (1989). "The Feeder-us Network-design Problem."Operational research society Ltd, Vol. 40, No. 8, pp. 767-751.
- Shariat Mohaymany, A., Gholami, A. (2010). "Multimodal Feeder Network Design Problem: Ant Colony Optimization Approach." Journal of transportation engineering, Vol. 136, No. 331-323 ,4.
- Shrivastava, P., O'Mahony, M. (2006). "A model for development of optimized feeder routes and coordinated schedules – A genetic algorithms approach." Transport Policy, 425-413 ,13.
- Shrivastava, P., O'Mahony, M. (2007). "Design of Feeder Route Network Using Combined Genetic Algorithm and Specialized Repair Heuristic." Journal of public transportation, Vol. 10, No. 2.
- Shrivastava, P., Dhingra, S. L. (2001). "Development of Feeder Routes for Suburban Railway Stations Using Heuristic Approach."Journal of transportation engineering, Vol. 127, No. 0341-0334 ,4.
- Shrivastava, P., Dhingra, S. L. (2006). "Operational Integration of Suburban Railway and Public Buses – Case Study Mumbai." Journal of transportation engineering Vol. 132, No. 522-518 ,6.
- Vuchic, V. R. (2004). Urban transit: Operations, planning, and economics, Wiley, New York.

Archive of SID

www.SID.ir