

یافتن ترکیب خطوط همگانی از طریق یک الگوریتم جستجوی محلی

برای شبکه‌های شهری شطرنجی

هانیه ملوک‌زاده (مسئول مکاتبات)، کارشناس مهندسی عمران، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

امیرعلی زرین‌مهر، استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

E-mail: azarinmehr@umz.ac.ir

چکیده

طراحی خطوط همگانی، در این مقاله، به یافتن موقعیت خطوط همگانی در یک شبکه می‌پردازد، به طوری که هم‌زمان با حفظ محدودیت بودجه بیشترین پوشش تقاضا در شبکه حاصل گردد. روش‌های ابتکاری فراوانی برای حل مسئله طراحی شبکه حمل‌ونقل همگانی ارائه شده‌است که جواب‌هایی نزدیک به بهینه جهانی را در مدت‌زمان منطقی می‌یابند. با این حال، تمرکز بر روی شبکه‌های حمل‌ونقلی خاص در این حوزه اندک بوده است. هدف از این پژوهش معرفی و ارزیابی عملکرد یک الگوریتم جستجوی محلی از نوع تپه نوردی در حل این مسئله برای شبکه‌های شهری با الگوی شطرنجی است. این الگوریتم، در هر اجرا، ۲۰ بار و هر بار با شروع از یک جواب تصادفی اولیه، با تغییرات جزئی و حرکت به جواب‌های همسایه سعی می‌کند ترکیب خطوط همگانی را بهبود دهد. مقایسه مقدار متوسط پوشش حاصله از این الگوریتم در یک شبکه شطرنجی 10×6 (دارای ۶۰ گره) برای ۳۰ ماتریس تقاضای تصادفی نشان می‌دهد که -در مقایسه با حل دقیق مسئله از طریق شمردن جواب‌های غالب با مدت‌زمان متوسط ۳ ساعت و ۵۷ دقیقه- الگوریتم پیشنهادی به‌طور متوسط می‌تواند در مدت‌زمان زیر ۲۰ دقیقه به جواب‌هایی با اختلاف زیر ۷٪ پوشش نسبت به جواب‌های دقیق مسئله دست یابد.

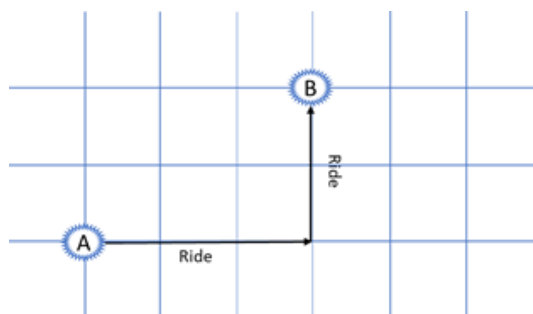
واژه‌های کلیدی: طراحی خطوط همگانی، شبکه شطرنجی، پوشش، جستجوی محلی

۱. مقدمه

غیردقیق یا تقریبی این دست مسائل، تاکنون، بیشتر از الگوریتم‌های جستجو از نوع ابتکاری استفاده شده‌است. الگوریتم‌های ابتکاری متعددی در ادبیات پژوهش وجود دارد که از نظر ساختار، پیچیدگی، زمان اجرا و سایر خصوصیات باهم متفاوت هستند. ایده اصلی این الگوریتم‌ها تهاثر بین سرعت حل الگوریتم و کیفیت جواب‌های حاصله از آن است. مقاله پیش‌رو، به‌طور خاص، بر مسئله طراحی شبکه خطوط همگانی در شبکه‌های شطرنجی تمرکز می‌کند و در ادامه، به بیان مسئله، فرضیات و نوع شبکه شطرنجی می‌پردازد. سپس یک الگوریتم ابتکاری جستجوی محلی، از نوع الگوریتم‌های تپه نوردی را معرفی می‌کند. سپس نتایج برای یک شبکه شطرنجی ۶۰ گرهی ارائه و عملکرد الگوریتم پیشنهادی از طریق مقایسه با حل دقیق مسئله ارزیابی می‌گردد.

۲. بیان مسئله

در این پژوهش فرض می‌کنیم، یک شبکه شهری از نوع شطرنجی در اختیار داریم که به دلیل سیاست‌های برنامه‌ریزی، خطوط همگانی در آن صرفاً یا به‌صورت افقی یا به‌صورت عمودی است. همچنین، در این شبکه، گره‌ها بیانگر ایستگاه‌ها و خطوط نمایانگر خیابان‌هایی است که ایستگاه‌ها را به یکدیگر متصل می‌کند. در چنین شبکه‌ای به دلیل وجود تعداد بالای گره در مسیرهای متقاطع، افراد پوشش داده شده توسط سیستم همگانی می‌توانند بدون انتقال، یا حداکثر با یک انتقال همچون سفر از نقطه A به نقطه B در شکل ۱ به‌صورت L-شکل سفر کنند.



شکل ۱. انجام سفر همگانی با یک انتقال در شبکه‌های شهری شطرنجی

به دلیل ابعاد گسترده مسائل برنامه‌ریزی حمل‌ونقل همگانی، مسائل مربوط به برنامه‌ریزی حمل‌ونقل همگانی معمولاً در چند سطح طبقه‌بندی شده، با هر مسئله به‌طور مستقل برخورد می‌کنند. در این میان، مسئله طراحی خطوط همگانی جزء سطوح اولیه و استراتژیک محسوب می‌گردد که بر سایر سطوح برنامه‌ریزی نظیر تنظیم فرکانس، زمان‌بندی وسایل نقلیه و... اثر می‌گذارد. مسئله طراحی خطوط شبکه حمل‌ونقل همگانی، یکی از مهم‌ترین مسائل در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل است که در آن موقعیت خطوط همگانی به‌گونه‌ای تعیین می‌شود که ضمن حفظ محدودیت بودجه، رضایت استفاده‌کنندگان سیستم فراهم گردد. تأمین رضایت استفاده‌کنندگان یک هدف چندبعدی است که اهداف و معیارهای متعددی را به‌طور هم‌زمان در برمی‌گیرد. پیشینه‌سازی پوشش تقاضا در طراحی شبکه حمل‌ونقل عمومی یکی از پرکاربردترین اهدافی است که از دیدگاه کاربر و ارائه‌دهنده سیستم، به مسئله می‌نگرد و بیانگر هدف اصلی ارائه سیستم حمل‌ونقل همگانی است. در یک تعریف کلی، منظور از "پوشش" تعداد یا درصد افرادی است که امکان استفاده از سیستم حمل‌ونقل همگانی را برای انجام سفر دارند. مسئله طراحی شبکه خطوط با هدف دستیابی به حداکثر پوشش سفر، به لحاظ محاسباتی اصطلاحاً در رده مسائل پیچیده NP-Hard قرار می‌گیرد و یافتن پاسخ دقیق آن زمان و حافظه‌ی زیادی (گاهی غیرممکن) را طلب می‌کند. از این‌رو، برای حل

در یک چنین شبکه‌ای تعریف می‌کنیم: R: مجموعه K خط همگانی کاندیدها به‌منظور احداث در شبکه،

یافتن ترکیب خطوط همگانی از طریق یک الگوریتم جستجوی محلی برای شبکه‌های شهری شطرنجی

گردد. به علاوه، محدودیت ذکر شده در (۲) حداکثر طول خطوط همگانی را به مقدار L محدود می‌کند.

۳. روش پژوهش (الگوریتم جستجوی محلی از نوع تپه نوردی)

یکی از ویژگی‌های الگوریتم‌های ابتکاری، توانایی آن‌ها در یافتن پاسخ‌های نزدیک به بهینه جهانی، در مدت‌زمان معقول برای مسائل NP-Hard است. هدف از این پژوهش بررسی عملکرد الگوریتم جستجوی محلی تپه نوردی (Hill Climbing)، جهت حل مسئله طراحی شبکه حمل‌ونقل همگانی است. ایده الگوریتم تپه نوردی، بدین صورت است که ابتدا یک جواب اولیه تصادفی تولید می‌شود. سپس در یک حلقه جواب فعلی هر بار به بهترین جواب در همسایگی خود حرکت می‌کند. این حرکت تا زمانی ادامه می‌یابد؛ که در همسایگی جواب فعلی هیچ جواب بهتری وجود نداشته باشد. در پایان الگوریتم در یک جواب ماکزیمم محلی متوقف می‌شود. پیش از بیان الگوریتم پیشنهادی، مقدمتاً لازم است به مفاهیمی همچون جواب تصادفی اولیه و نیز همسایگی در این مطالعه بپردازیم.

۳-۱ مفاهیم مقدماتی مورد نیاز

به منظور دستیابی به جواب اولیه تصادفی در این مطالعه، فرض می‌شود ابتدا تمام خطوط همگانی شبکه احداث شده است. واضح است که در شرایط محدودیت بودجه این جواب می‌تواند امکان‌ناپذیر باشد. در نتیجه جهت یافتن ترکیب خطوطی از شبکه که درون محدودیت بودجه بگنجد، هر بار یک خط همگانی به‌طور تصادفی انتخاب و از مجموعه خطوط حذف می‌شود. این فرایند آن‌قدر ادامه پیدا می‌کند تا به جوابی دست یابد که در محدودیت بودجه امکان‌پذیر باشد. به این ترتیب یک جواب اولیه تصادفی برای مسئله حاصل می‌گردد. همچنین، در یک شبکه شطرنجی، یک جواب برای مسئله شامل تعدادی خطوط همگانی افقی یا عمودی است. در مجاورت هر

b_k : متغیر صفر و یکی، به منظور تصمیم به عدم احداث یا احداث خط همگانی k ام، $1 \leq k \leq K$.

B : بردار متغیرهای تصمیم مسئله به طول K .

R_B : زیرمجموعه خطوط همگانی انتخاب شده بر مبنای بردار تصمیم B .

l_k : طول خط همگانی کاندیدای k ام، $K \leq k$.

I : مجموعه همه خطوط شبکه،

L : حداکثر طول قابل احداث برای خطوط همگانی جدید، با حفظ محدودیت بودجه،

$N(R_B) = N_B$: شبکه حاصل از احداث خطوط همگانی R_B و

$Cov(N_B)$: حاصله از خطوط همگانی در شبکه N_B .

به منظور محاسبه سطح پوشش $Cov(N_B)$ در شبکه، ابتدا مقدار پوشش تقاضا بین یک مبدا-مقصد را تعریف کرده، سپس پوشش در شبکه را از مجموع مقادیر پوشش روی مبدا-مقصدها محاسبه می‌کنیم. برای محاسبه پوشش تقاضای همگانی بین یک مبدا-مقصد، ابتدا جریمه ۵ دقیقه‌ای انتقال بین خطوط همگانی به همه مسیرهای همگانی موجود اعمال می‌گردد، سپس، کوتاه‌ترین مسیر همگانی از مبدا به مقصد تعیین می‌شود. اگر کوتاه‌ترین مسیر حاصله شامل ۰، ۱، ۲، یا بیش از ۲ انتقال بین خطوط باشد، به ترتیب، فرض می‌شود که تقاضای آن مبدا-مقصد به میزان ۱۰۰، ۷۰، ۵۰، یا صفر درصد پوشش داده شده است. در نهایت، پوشش تقاضا در سطح کل شبکه از مجموع مقادیر پوشش روی همه مبدا-مقصدها محاسبه می‌گردد.

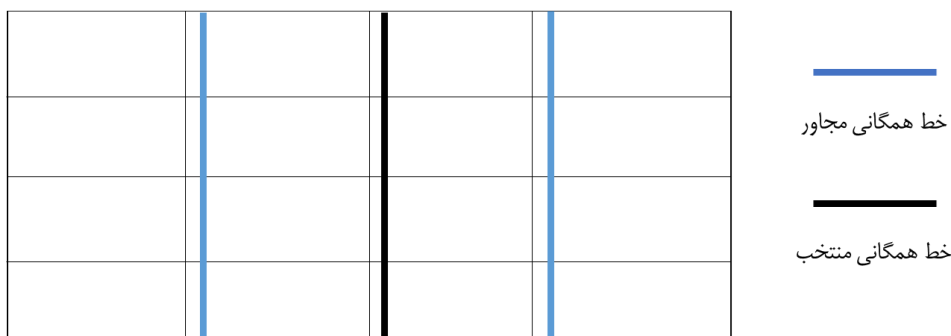
با تعاریف یادشده، اکنون می‌توان مسئله این مقاله را به صورت کلی زیر تعریف کرد.

$$\max_B \text{ov}(N_B) \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \sum_{k=1}^K b_k l_k \leq L \quad (2)$$

هدف مسئله یافتن بردار تصمیم B است، به گونه‌ای که مطابق (۱) این تصمیم منجر به ایجاد حداکثر پوشش در سطح شبکه

خط افقی یا عمودی، یک یا دو خط همگانی کاندیدای دیگر نیز به‌عنوان مثال، شکل ۲، یک خط همگانی عمودی را در کنار دو خط مجاور آن در یک شبکه شطرنجی فرضی نمایش می‌دهد. وجود دارد که ممکن است در جواب فعلی انتخاب نشده باشند.



شکل ۲. یک خط همگانی انتخاب‌شده در کنار دو خط کاندیدای مجاور آن در یک شبکه شطرنجی

پس از دریافت اطلاعات از ورودی (گام ۱)، در گام ۲ با ساخت یک جواب اولیه تصادفی به‌عنوان جواب فعلی آغاز می‌شود. سپس در گام‌های ۳ و ۴، الگوریتم در یک حلقه، همسایگان جواب فعلی را می‌سازد و برای هر همسایه میزان پوشش را محاسبه می‌کند. اگر میزان پوشش تقاضا در بهترین همسایه از میزان پوشش تقاضای جواب فعلی بیشتر باشد، جواب فعلی به بهترین همسایه تغییر پیدا می‌کند. در غیر این صورت، جواب فعلی تحت عنوان بهترین جواب الگوریتم تپه نوردی گزارش می‌شود.

در الگوریتم پیشنهادی مطالعه حاضر، فرض می‌شود در جواب فعلی تعداد n خط همگانی کاندیدا به‌منظور احداث انتخاب شده باشند. در این صورت، جواب همسایه‌ی جواب فعلی، جوابی در نظر گرفته می‌شود که در آن تنها برای یکی از n خط موجود، خط همگانی به خط مجاور خود تغییر کند و تعداد $n-1$ خط همگانی دیگر در آن بی‌تغییر باقی می‌ماند.

۲-۳ بیان الگوریتم جستجوی محلی از نوع تپه نوردی

با مقدمات بیان‌شده، شکل ۳ جزئیات الگوریتم حل پیشنهادی این مطالعه را نمایش می‌دهد. مطابق شکل ۳، الگوریتم پیشنهادی

گام ۱- اطلاعات مورد نیاز (شبکه، ماتریس تقاضا، مقادیر بودجه و...) را از ورودی بخوانید.
 گام ۲- یک جواب تصادفی اولیه، با توجه به محدودیت بودجه، برای مسئله تولید کن و این جواب را جواب فعلی نامگذاری کنید.
 گام ۳- برای جواب فعلی، مجموعه همه همسایگان را در نظر گرفته، مقدار پوشش را برای همه ی آن‌ها محاسبه کنید، و همسایه ی دارای بیشترین پوشش را بهترین همسایه بنامید.
 گام ۴- آیا مقدار پوشش بهترین همسایه از جواب فعلی بیشتر است؟
 اگر بله: جواب فعلی را به بهترین همسایه تغییر داده و به گام ۳ بازگردید.
 در غیر این صورت: جواب فعلی را به عنوان بهترین جواب در خروجی چاپ کن.
 گام ۵- پایان.

شکل ۳. الگوریتم جستجوی محلی از نوع تپه نوردی

جواب بهینه محلی با کیفیت پایین متوقف شود. با توجه به این نقطه‌ضعف، جهت بهبود عملکرد الگوریتم تپه نوردی و کاهش احتمال توقف در جواب‌های بهینه محلی با کیفیت پایین،

باید توجه داشت در الگوریتم تپه نوردی بهترین همسایه جواب فعلی به‌عنوان بهترین گزینه انتخاب می‌شود. در نتیجه ممکن است در انتهای این فرایند این امکان وجود دارد که الگوریتم در یک

یافتن ترکیب خطوط همگانی از طریق یک الگوریتم جستجوی محلی برای شبکه‌های شهری شطرنجی

با توجه به ماهیت تصادفی الگوریتم تپه نوردی (به دلیل جواب تصادفی اولیه) نتایج مربوط به این الگوریتم از متوسط‌گیری بر روی ۳۰ اجرای مستقل الگوریتم (هر اجرا با ۲۰ تکرار) حاصل شده است؛ بنابراین آنچه در این جدول برای الگوریتم تپه نوردی مشاهده می‌شود مقدار متوسط پوشش حاصله از این الگوریتم در کنار انحراف استاندارد نتایج به دست آمده است.

مطابق جدول ۱ می‌توان ملاحظه کرد به‌طور متوسط روش شمارش جواب‌های غالب می‌تواند در مدت زمان ۳ ساعت و ۵۷ دقیقه و ۱۰ ثانیه پاسخ دقیق مسئله را بیابد. این در حالی است که الگوریتم تپه نوردی در مدت ۱۸ دقیقه و ۴۵ ثانیه به جوابی با اختلاف زیر ۴ درصد از جواب بهینه دست پیدا می‌کند که نشان می‌دهد الگوریتم پیشنهادی در زمان اجرای قابل‌قبولی می‌تواند به جواب‌هایی با کیفیت نسبتاً بالا دست پیدا کند.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در طی چند دهه گذشته، الگوریتم‌های ابتکاری متعددی جهت طراحی بهینه شبکه حمل‌ونقلی ارائه شد که از نظر ساختار، پیچیدگی، زمان اجرا و سایر خصوصیات باهم متفاوت است. در این پژوهش، به بررسی عملکرد الگوریتم تپه نوردی در یافتن موقعیت بهینه خطوط همگانی در یک شبکه حمل‌ونقلی از نوع شطرنجی پرداخته شد. هدف، یافتن بهترین ترکیب خطوط همگانی بود به شکلی که ضمن حفظ محدودیت بودجه، حداکثر مقدار پوشش تقاضای سفر در سطح شبکه حاصل گردد. مقایسه بهترین جواب‌های حاصل از الگوریتم تپه نوردی در ۲۰ تکرار، در مقابل جواب دقیق به دست آمده (از طریق شمارش جواب‌های غالب) نشان داد که الگوریتم تپه نوردی می‌تواند با سرعت بسیار بالایی به جواب‌هایی با کیفیت نزدیک به جواب دقیق دست پیدا کند.

باید توجه داشت که مطالعه صورت گرفته مشمول فرض‌های ساده‌کننده متعددی بوده است که کاربرد آن را برای مثال‌های دنیای واقعی به چالش می‌کشد. از جمله، فرض‌های افقی/عمودی بودن هریک از خطوط، موقعیت ایستگاه‌ها، انتخاب رقابتی

الگوریتم در تعداد تکرارهای بالاتر با جواب‌های تصادفی اولیه متفاوت اجرا می‌شود سپس بهترین جواب را به عنوان جواب الگوریتم تپه نوردی گزارش می‌شود.

۳-۳ حل دقیق مسئله

در روش شمارش کامل به منظور حل دقیق مسئله، اگر بخواهیم تمام جواب‌های امکان‌پذیر مسئله را شمارش نموده و برای هریک از آن‌ها پوشش تقاضا را محاسبه نماییم، یک مسئله نمایی از مرتبه 2^K خواهیم داشت که عملاً یافتن پاسخ آن در ابعاد بزرگ امکان‌ناپذیر است (K معادل تعداد خطوط همگانی). با در نظر گرفتن این لم بدیهی که "با افزایش یک خط همگانی به ترکیب خطوط موجود، مقدار پوشش تقاضا کاهش پیدا نمی‌کند"، جهت کاهش حجم عملیات جستجو، به جای همه جواب‌های امکان‌پذیر، شمارش فقط بر روی جواب‌های اصطلاحاً "غالب" صورت می‌گیرد. منظور از جواب‌های غالب جواب‌هایی هستند که با توجه به محدودیت بودجه، نمی‌توان خط همگانی جدیدی را به آن‌ها اضافه کرد.

۴. تحلیل داده‌ها

برای درک بهتر از کارایی الگوریتم تپه نوردی در حل مسئله‌ی طراحی شبکه، الگوریتم بر روی یک شبکه ساختگی شطرنجی اجرا شد. شبکه مورد استفاده یک شبکه 6×10 (دارای ۶۰ گره) است که طول ضلع افقی و عمودی هر بلاک آن به ترتیب $2/2$ و ۲ کیلومتر در نظر گرفته شده است و تعداد ۱۶ خط پیشنهادی همگانی به عنوان کاندیدای احداث در آن وجود دارد.

جهت بررسی کارایی الگوریتم تپه نوردی، این الگوریتم در محیط برنامه‌ریزی Python کد نویسی شد. اجراها در وضعیت safe mode بر روی یک لپ‌تاپ دارای پردازنده سری Core i7 دارای سرعت 1.80GHz 1.99GHz و حافظه 8.00GB دارای سیستم‌عامل از نوع Windows 10 انجام گردید. جدول ۱ نتایج حاصل از اجرای الگوریتم پیشنهادی را برای ۳۰ ماتریس تقاضای سفر تصادفی در شبکه ۶۰ گره‌ای مورد نظر نشان می‌دهد.

مدهای حمل و نقلی و غیره. در نظر گرفتن هریک از این ویژگی‌ها، در ادامه، می‌تواند به توسعه نتایج این مطالعه کمک کند.

جدول ۱. نتایج عملکرد الگوریتم تپه نوردی و شمارش جواب‌های غالب در شبکه ۱۰×۶

اختلاف مقدار پوشش (درصد)	الگوریتم پیشنهادی تپه‌نوردی				شمارش جواب‌های غالب				کل تقاضا در شبکه (سفر)	شماره‌های سفر تصادفی
	زمان اجرا (ثانیه دقیق)	بودجه مورد نیاز (کیلو متر)	پوشش (درصد)	پوشش (سفر)	زمان اجرا (ثانیه دقیق - ساعت)	بودجه مورد نیاز (کیلو متر)	پوشش (درصد)	پوشش (سفر)		
۴.۱۶	۱۶:۴۱.۰	۹۹.۶	۳۹.۵۸	۷۴۹۴ ± ۱۳۱۸۰.۴	۰:۲۷:۲۵	۹۹.۸	۴۳.۷۴	۱۴۵۵۵	۳۳۳۰۱۸	۱
۳.۸۸	۱۸:۴۴.۳	۹۹.۷	۴۰.۵۲	۸۳۰۶ ± ۱۳۶۹۲.۴	۳:۳۰:۰۰.۸۴	۹۹.۸	۴۴.۴۰	۱۵۰۰۰.۴۱	۳۳۷۹۵۴	۲
۳.۴۹	۲۰:۳۰.۲	۹۹.۷	۴۰.۹۵	۸۱۹۴ ± ۱۳۳۴۷.۳	۴:۲۲:۲۶.۸۶	۹۹.۸	۴۴.۴۳	۱۴۴۸۴۴	۳۳۵۹۸۰	۳
۳.۹۵	۲۱:۰۷.۶	۹۹.۷	۴۰.۳۲	۸۰۴۱ ± ۱۳۴۸۲۰	۴:۲۶:۱۹.۹۱	۹۹.۸	۴۴.۲۷	۱۴۸۰۳۷	۳۳۴۳۵۸	۴
۳.۸۴	۲۰:۲۴.۴	۹۹.۷	۴۰.۶۲	۸۳۵۸ ± ۱۳۲۷۶۸	۴:۲۱:۳۵.۰۳	۹۹.۸	۴۴.۴۷	۱۴۵۳۱۲	۳۳۶۷۸۶	۵
۳.۱۷	۱۵:۴۴.۴	۹۹.۷	۴۰.۹۵	۸۱۶۰ ± ۱۳۳۵۷۴	۳:۲۸:۳۷.۰	۹۹.۸	۴۴.۱۲	۱۴۳۹۰۳	۳۳۶۱۹۲	۶
۳.۵۳	۱۵:۵۶.۴	۹۹.۷	۴۰.۷۴	۸۵۹۷ ± ۱۳۵۸۹۹	۳:۲۷:۰۸.۰۸	۹۹.۸	۴۴.۲۷	۱۴۷۶۷۵	۳۳۳۶۱۶	۷
۴.۱۴	۲۰:۳۹.۳	۹۹.۷	۴۰.۱۹	۷۹۲۵ ± ۱۳۵۱۷۸	۴:۲۸:۳۴.۰۷	۹۹.۸	۴۴.۳۳	۱۴۹۱۰۷	۳۳۴۴۴۰	۸
۳.۵۰	۱۶:۰۵.۹	۹۹.۷	۴۱.۰۲	۹۲۲۸ ± ۱۴۰۸۶۸	۳:۲۶:۵۱.۳۴	۹۹.۸	۴۴.۵۲	۱۵۲۹۰۳	۳۳۴۴۴۸	۹
۲.۷۲	۱۶:۴۷.۱	۹۹.۷	۴۱.۴۶	۹۰۱۰ ± ۱۴۰۷۸۴	۳:۲۷:۴۱.۹۸	۹۹.۸	۴۴.۱۸	۱۵۰۰۰.۶	۳۳۹۵۶۸	۱۰
۳.۵۹	۱۶:۴۹.۶	۹۹.۷	۴۱.۰۳	۹۲۲۵ ± ۱۳۷۲۱۸	۳:۲۹:۱۴.۸۶	۹۹.۸	۴۴.۶۳	۱۴۹۲۳۰	۳۳۴۴۰۰	۱۱
۳.۱۱	۱۷:۲۰.۴	۹۹.۷	۴۱.۵۴	۸۱۹۷ ± ۱۳۷۵۴۱	۳:۲۶:۵۷.۴۵	۹۹.۸	۴۴.۶۴	۱۴۷۸۳۲	۳۳۱۱۲۸	۱۲
۳.۹۲	۱۷:۵۶.۴	۹۹.۷	۴۰.۷۵	۸۳۹۶ ± ۱۳۴۳۵۱	۳:۲۷:۱۹.۸۰	۹۹.۸	۴۴.۶۷	۱۴۷۲۷۸	۳۳۶۶۷۲	۱۳
۴.۱۰	۱۷:۱۸.۰	۹۹.۷	۴۰.۳۵	۷۸۵۸ ± ۱۳۲۱۳۷	۳:۲۹:۴۶.۶۷	۹۹.۸	۴۴.۴۴	۱۴۵۵۵۰	۳۳۷۶۹۲	۱۴
۳.۳۵	۱۷:۲۱.۶	۹۹.۷	۴۱.۱۲	۹۱۱۱ ± ۱۳۸۲۰۲	۴:۲۴:۱۹.۵۴	۹۹.۸	۴۴.۴۷	۱۴۹۴۶۱	۳۳۶۱۱۲	۱۵
۳.۸۹	۲۳:۳۶.۶	۹۹.۷	۴۰.۵۸	۷۸۲۴ ± ۱۳۵۸۰۳	۳:۲۸:۵۰.۴۵	۹۹.۸	۴۴.۴۸	۱۴۸۸۳۵	۳۳۴۶۳۴	۱۶
۳.۷۶	۱۹:۳۵.۵	۹۹.۷	۴۰.۵۷	۹۱۱۸ ± ۱۳۵۳۵۸	۳:۲۹:۳۱.۳۹	۹۹.۸	۴۴.۲۴	۱۴۷۹۱۷	۳۳۳۶۴۶	۱۷
۴.۰۳	۲۱:۱۵.۳	۹۹.۷	۴۰.۴۰	۷۶۵۷ ± ۱۳۴۴۸۰	۴:۲۲:۳۳.۲۶	۹۹.۸	۴۴.۴۳	۱۴۶۸۰۵	۳۳۰۴۲۲	۱۸
۴.۰۰	۱۵:۳۴.۱	۹۹.۷	۴۰.۳۲	۸۴۶۸ ± ۱۳۵۱۵۹	۳:۲۴:۵۱.۸۲	۹۹.۸	۴۴.۲۲	۱۴۸۵۵۷	۳۳۵۱۸۸	۱۹
۴.۷۱	۱۸:۳۷.۶	۹۹.۶	۳۹.۷۸	۷۵۲۸ ± ۱۳۳۳۰۸	۳:۲۷:۱۱.۵۶	۹۹.۸	۴۴.۴۹	۱۴۹۰۸۵	۳۳۵۰۹۶	۲۰
۳.۰۱	۱۶:۴۸.۰	۹۹.۷	۴۱.۳۳	۹۱۵۱ ± ۱۳۷۷۹۲	۴:۲۲:۰۰.۵۲	۹۹.۸	۴۴.۳۴	۱۴۷۸۳۳	۳۳۳۴۳۳	۲۱
۳.۳۶	۲۱:۴۸.۸	۹۹.۷	۴۰.۴۵	۸۷۴۳ ± ۱۳۵۶۷۷	۴:۲۵:۳۱.۹۳	۹۹.۸	۴۳.۸۱	۱۴۶۹۵۵	۳۳۵۹۵۸	۲۲
۳.۳۹	۱۹:۳۱.۸	۹۹.۷	۴۰.۶۹	۹۰۲۶ ± ۱۳۵۳۸۴	۴:۳۰:۳۴.۰۳	۹۹.۸	۴۴.۰۷	۱۴۶۶۵۴	۳۳۲۷۴۲	۲۳
۳.۵۶	۲۲:۱۱.۱	۹۹.۷	۴۰.۴۲	۸۵۷۶ ± ۱۳۴۰۱۸	۴:۲۵:۴۸.۱۰	۹۹.۸	۴۳.۹۸	۱۴۵۸۳۷	۳۳۱۵۹۸	۲۴
۴.۹۰	۲۲:۱۷.۱	۹۹.۶	۳۹.۶۶	۶۶۷۷ ± ۱۳۱۹۶۶	۳:۲۸:۵۵.۴۵	۹۹.۸	۴۴.۵۶	۱۴۸۲۷۵	۳۳۲۷۵۴	۲۵
۴.۰۳	۲۱:۱۰.۰	۹۹.۷	۴۰.۴۲	۸۱۹۷ ± ۱۳۴۹۰۷	۴:۲۲:۳۵.۴۴	۹۹.۸	۴۴.۴۵	۱۴۸۳۵۴	۳۳۲۷۲۸	۲۶
۳.۶۸	۱۶:۳۶.۷	۹۹.۷	۴۰.۵۷	۸۹۰۷ ± ۱۳۵۴۹۴	۴:۳۰:۳۳.۹۹	۹۹.۸	۴۴.۲۵	۱۴۷۷۸۴	۳۳۳۵۰۰	۲۷
۴.۰۱	۱۶:۳۶.۰	۹۹.۷	۴۰.۴۴	۸۳۱۸ ± ۱۳۵۱۸۹	۴:۳۳:۵۸.۵۲	۹۹.۸	۴۴.۴۵	۱۴۸۵۸۸	۳۳۴۴۰۰	۲۸
۳.۶۲	۱۶:۳۸.۴	۹۹.۷	۴۰.۳۴	۸۱۶۸ ± ۱۳۱۷۶۵	۴:۲۵:۰۵.۰۷	۹۹.۸	۴۴.۹۵	۱۴۳۵۷۴	۳۳۶۶۵۶	۲۹
۳.۹۳	۱۹:۵۷.۶	۹۹.۷	۴۰.۵۱	۸۹۵۱ ± ۱۳۶۰۰۰۴	۴:۲۳:۱۸.۷۲	۹۹.۸	۴۴.۴۳	۱۴۹۱۹۱	۳۳۵۵۵۴	۳۰

۶. مراجع

- ملوک‌زاده، هانیه و زرین مهر، امیرعلی، ۱۳۹۹، موقعیت‌یابی خطوط حمل‌ونقل همگانی شهری در شبکه‌های شطرنجی از طریق شمارش جواب‌های غالب، هفتمین همایش علمی پژوهشی توسعه و ترویج علوم معماری و شهرسازی ایران، تهران.

- زرین مهر، امیرعلی و ملوک‌زاده، هانیه، ۱۳۹۹، طراحی شبکه خطوط حمل‌ونقل همگانی با هدف بیشینه‌سازی پوشش در شبکه‌های شهری شطرنجی، ششمین کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و شهرسازی، تهران.

- Kepaptsoglou, K., & Karlaftis, M. (2009). Transit route network design problem. *Journal of transportation engineering*, 135(8), 491-505.

- Zarrinmehr, A., Saffarzadeh, M., Seyedabrishami, S., & Nie, Y. M. (2016). A path-based greedy algorithm for multi-objective transit routes design with elastic demand. *Public Transport*, 8(2), 261-293.

- Walker, J. (2020) "Why do so many public transport networks use grid systems?" <https://www.citymetric.com/transport/why-do-so-many-public-transport-networks-use-grid-systems-955>.

- Zarrinmehr, A., & Shafahi, Y. (2014). Enumeration of Dominant Solutions: An Application in Transport Network Design. *International Journal of Transportation Engineering*, 1(4), 335-348.

Finding Transit Routes Configuration Using a Local Search Algorithm for Urban Grid Network

Hanie Moloukzade*, BSc of Civil Engineering, University of Mazandaran, Babolsar, Iran
Amirali Zarrinmehr, Assistant Professor of Civil Engineering, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

E-mail: azarinmehr@umz.ac.ir

Abstract

Transit Routes Design (TRD), in this paper, deals with finding the configuration of public transportation routes so as to achieve the maximum demand coverage over the network while holding the budget constraint. To tackle the TRD problem, many heuristic methods have been presented which are capable of finding solutions close to the global optimum in a reasonable amount of run-time. Though, little has been done to deal with specific network topologies. This paper aims at introducing and evaluating the performance of a local search “hill-climbing” algorithm to deal with the TRD problem in urban “grid” networks. In each run, the algorithm performs 20 replications each with a random initial solution, and improves the available solutions through slight changes in the routes configuration and moving to neighbor solutions. The comparison of the coverage obtained by the presented algorithm against the global optimal solutions in a 6×10 grid network with 30 random demand matrices, indicates that the presented algorithm is capable to find solutions with an average of 4% coverage less than the optimum in less than 20 minutes run-time.

Keywords: Transit Routes Design, Grid Network, Coverage, Local Search