

# آنالیز شبکه جهت ترافیک شهری

## دریک محیط GIS

مهندس علی اکبر عزیزی

کارشناس ارشد مهندسی نقشه برداری (GIS)

### خلاصه

در این مقاله به بررسی مسیریابی در شبکه‌های حمل و نقل شهری می‌پردازیم. با وجودی که شبکه‌های حمل و نقل شهری در زمره شبکه‌های دینامیک هستند ولی با استفاده از راه‌حلهایی که برای شبکه‌های استاتیک وجود دارد تا حدی می‌توان از پیچیدگی‌های این شبکه‌ها کاست. الگوریتم‌های مختلفی برای آنالیز شبکه وجود دارند که می‌توانیم به این منظور استفاده کنیم.

در میان این الگوریتم‌ها دیجسترا خوشنام‌ترین الگوریتم است که خود دارای انواع مختلفی از جمله الگوریتم  $A^*$  و  $B^*$  می‌باشد.

مهمترین مشکلی که در ارتباط با آنالیز شبکه‌های حمل و نقل شهری وجود دارد، مسئله ورود اطلاعات ترافیکی به برنامه آنالیز کننده الگوریتم است زیرا اطلاعات ترافیکی بطور دائم در حال تغییر می‌باشند. پارامترهای مختلفی در ترافیک مؤثر می‌باشند که به علت ماهیت غیر قابل

پیش‌بینی بودن بسیاری از این پارامترها نمی‌توان مدل قابل اطمینان و مؤثری برای شبکه‌های حمل و نقل شهری ارائه کرد. در این مقاله با استفاده از زبان برنامه نویسی جاوا در محیط اینترنت (با اینترنت) یک راه حل نو و ابتکاری برای یافتن بهترین مسیر در شبکه‌های حمل و نقل شهری ارائه می‌شود.

### مقدمه

در دهه‌های اخیر سیستم‌های حمل و نقل جاده‌ای دستخوش افزایش قابل ملاحظه‌ای در شلوغی و پیچیدگی شده‌اند. این به نوبه خود منجر به ظهور عرصه سیستم‌های هوشمند حمل و نقل با هدف بکارگیری تکنولوژی پیشرفته برای ایجاد حمل و نقل کاراتر و مطمئن‌تر شده است. که در آن شلوغی، آلودگی و تأثیرات محیطی کمتر است. علاوه بر این مسائل، لزوم تسریع در امداد رسانی، نیاز به ارائه روش‌های عملی برای یافتن بهترین مسیر

محاسبه شده را به صورت کوتاه‌ترین مسیرهای یک-به-یک، یک-به-کل، کل-به-یک و کل-به-کل از یکدیگر متمایز کرد. در یکپس‌های نرم‌افزاری که مسائل کوتاه‌ترین مسیر در شبکه‌های استاتیک را حل می‌کنند، نرم‌افزار معمولاً بطور یکباره کل-به-کل را برای تمام گره‌ها انجام می‌دهند. که از طریق آن مسیرهای متعاقب بعدی بدست می‌آیند. واضح است که این روش برای شبکه‌های دینامیک عملی نیست زیرا در این شبکه‌ها هزینه طی مسیر به زمان وابسته است و یا بطور زنده تغییر می‌کند.

با وجود این، اغلب تحقیقات منتشر شده در مورد الگوریتم‌های کوتاه‌ترین مسیر به شبکه‌های استاتیک پرداخته‌اند. که در آن توپولوژی و هزینه ثابت است. با محدودیت‌های موجود در ظرفیت سیستم‌های کامپیوتری در گذشته این مسئله تعجب آور نیست. در کمتر از یک دهه قبل Van Eck گزارش می‌دهد که برای انجام محاسبات به صورت کل-به-کل در یک شبکه استاتیک کوچک - مقیاس با ۲۵۰ گره، یک کامپیوتر زمان متوسط چندین ساعتی را صرف می‌کند و در یک شبکه بزرگ - مقیاس با ۱۶۰۰۰ گره این زمان برابر با چند روز می‌باشد.

همانطور که در مقاله Chabini (1997) اشاره شده، یک روش انجام کار در شبکه‌های دینامیک تقسیم زمان پیوسته به فاصله زمانی‌های مجزا با هزینه‌های حرکتی ثابت می‌باشد. بنابراین درک الگوریتم‌های کوتاه‌ترین مسیر در شبکه‌های استاتیک اساس کار با شبکه‌های دینامیک می‌باشد.

### الف- کوتاه‌ترین مسیرها در شبکه‌های استاتیک

از زمان ارائه الگوریتم کلاسیک کوتاه‌ترین مسیر توسط (1959) Dijkstra چندین الگوریتم و ساختارهای دینا برای الگوریتم‌ها پیشنهاد شده است. در ورژن اصلاح شده وی، این الگوریتم یک مسیر کل-به-کل را در تمام جهات از گره مبدأ محاسبه می‌کند و وقتی به مقصد رسید الگوریتم پایان می‌یابد.

الگوریتم اولیه دیجسترا یک منطقه جستجوی بزرگ غیر ضروری را واری می‌کند که موجب پیدایش جستجوهای مبتنی بر تجربه و خطا می‌شود. الگوریتم A\* که در جهت گره مقصد جستجو می‌کند، مانع در نظر گرفتن جهت‌های با نتایج غیر دلخواه می‌شود و زمان محاسبه کاهش می‌یابد.

در جستجوی دو جهته یک بهبود قابل ملاحظه دیده می‌شود. در این روش محاسبه مسیر از هر دو گره مبدأ و مقصد بطور هم‌زمان انجام می‌گیرد و در حالت ایده‌آل در وسط مسیر به یکدیگر می‌رسند. در رابطه با این تکنیک جستجو، باید توجه شود که (1998) Jacob et al در مطالعات محاسباتی‌اش در مورد الگوریتم‌های مسیر یابی برای شبکه‌های حمل و نقل واقعی، الگوریتم‌های دو جهته را به دلیل غیر عملی بودن کنار گذاشته است. اولاً، به این دلیل که قابل تعمیم به تمام مسائل مسیر نیست و دوماً، چون زمان اجرای آن بطور قابل ملاحظه‌ای از A\* بیشتر است.

بطور خلاصه، در اغلب مقالات تحقیقی نویسندگان آنها از میان

برای وسایل نقلیه امدادی را ایجاد می‌نماید. در فعالیت به سمت این هدف، سیستم‌های هوشمند حمل و نقل می‌توانند به چندین شکل انجام شوند.

سیستم‌های تعیین محل و ناوبری یکی از این شکل‌ها هستند و با پدیدار شدن عرصه حمل و نقل تله ماتیک پیشرفت کرده‌اند. حمل و نقل تله ماتیک شامل یکپارچه سازی در مقیاس بزرگ و یکبارگیری تکنولوژی مخابرات و انفورماتیک در عرصه حمل و نقل است که در تمام عرصه‌ها و شکل‌های حمل و نقل شامل وسایل نقلیه، زیرساختار، سازماندهی و مدیریت حمل و نقل رخنه می‌کند.

تکنولوژی که در حال حاضر متداول است و به صورت تجاری در اختیار عموم قرار دارد بدین صورت است که یک دستگاه کوچک دارای صفحه نمایش در داخل اتومبیل قرار داده می‌شود. این دستگاه در اصل یک کامپیوتر تک منظوره است. کاربرانی که می‌خواهند از این دستگاه استفاده کنند بایستی یک کارت حافظه حاوی اطلاعات نقشه شهر مورد نظر را نیز خریداری کنند.

مشکلی که در این سیستم‌ها وجود دارد این است که این دستگاه‌ها صرفاً قادر به نمایش کوتاه‌ترین مسیر هستند ولی در مورد ترافیک مسیر هیچ اطلاعاتی ندارند. در نتیجه در شهرهایی که دارای ترافیک زیادی می‌باشند کارایی لازم را ندارند.

### سیستم‌های حمل و نقل هوشمند

از نظر مفهومی می‌توان بین مسیر یابی در یک شبکه استاتیک ثابت (با وضع هزینه ثابت برای عبور از شبکه) و مسیر یابی در یک شبکه دینامیک (که هزینه سفر در شبکه در طول مدت زمان مسافت تغییر می‌کند) تمایز قائل شد.

با تمایز میان هدایت مسیر متمرکز و غیر متمرکز، می‌توان موشکافی بیشتری در هدایت مسیر به خرج داد. در حال حاضر، وسایل نقلیه با استفاده از کامپیوترهایی که داخل وسایل نقلیه در جاده حرکت می‌کردند و نقشه‌های استاتیک جاده موجود در CD-ROMها، اعمال الگوریتم‌های جستجوی مبتنی بر سعی و خطا، در مسیرهایی که خودشان پیدامی‌کردند هدایت می‌شدند. این نوع هدایت مسیر، هدایت مسیر غیر متمرکز نامیده می‌شود. هدایت مسیر متمرکز به مرکز مدیریت ترافیک متکی می‌باشد تا به درخواست‌های مسیر وسایل نقلیه‌ای که به آنها لینک هستند پاسخ دهد. سپس وسایل نقلیه از این مسیرها تبعیت می‌کنند.

### الگوریتم‌های کوتاه‌ترین مسیر

آنالیز شبکه‌های حمل و نقل یکی از عرصه‌های کاربردی است که در آن محاسبه کوتاه‌ترین مسیر یکی از اساسی‌ترین مسائل است. اینها برای سالیان متداری موضوع تحقیقات گسترده‌ای بوده‌اند.

سریع‌ترین مسیر بصورت تابعی بر حسب هزینه طی مسیر در لینک محاسبه می‌شود. هر چند که مقالات تحقیقی مختلف با اختلاف کمی انواع مسائل کوتاه‌ترین مسیر را گروه‌بندی می‌کنند، در مجموع می‌توان مسیرهای

Chabini(1997) دو سؤال کلیدی را در مسیر یابی دینامیک مطرح کرده است:

۱- در یک زمان عزیمت معین، سریعترین مسیرها از نقطه مبدأ به تمام مقصدها کدامند؟

۲- سریعترین مسیرها از تمام گره‌ها به یک مقصد برای تمام زمانهای عزیمت کدامند؟

او مورد دوم را در رابطه با سیستم‌های هوشمند حمل و نقل از همه مهمتر می‌داند که البته اگر فرض کنیم اهداف سیستم‌های هوشمند حمل و نقل یافتن بهترین مسیر برای چندین وسیله نقلیه با مقصد یکسان می‌باشد، این مطلب صحیح است. در مقاله Chabini(1997) تمرکز روی این موضوع کمی گسترش می‌یابد، حال‌سؤال در پیش رو قرار دارد:

۱- سریعترین مسیر یک - به - کل در یک زمان عزیمت داده شده

۲- سریعترین مسیر کل - به - یک برای تمام زمانهای عزیمت

۳- هزینه‌ترین مسیر کل - به - یک برای تمام فواصل زمانی عزیمت.

Hom (1999) بطور موزایی با تحقیقات Fu and Chabini(1997)

Rilett (1996) به تحقیق در این مورد ادامه می‌دهد اما کمتر به تشریح جزئیات دینامیک‌های طی مسیر می‌پردازد. علت این کار وی توجه به این واقعیت است که اولاً اطلاعات مربوط به وضعیت شبکه در اغلب قسمتهای دینامیک و پراکنده است و ثانیاً در اغلب موارد صرفاً تخمین سرعت متوسط در تک تک لینک‌های شبکه قابل دسترسی است. با فرض اینکه این تخمین‌ها امکان تغییر سرعت، مسدود شدن گره‌ها (تقاطع‌ها) و تأخیرها در گره‌ها (توقف پشت چراغ قرمزها) را می‌دهد، او تعداد گوناگونی از الگوریتمهای دیجیتراکه این شرایط را مورد ملاحظه قرار می‌دهند، را مطالعه کرده است.

از همه مهمتر، او الگوریتمی را ارائه داده است که با تقریب زیادی کوتاهترین مدت زمان طی مسیر را به طور مستقل از تعیین مسیر مشخص بین گره‌ها، محاسبه می‌کند. برای این کار راننده با تجربه، ممکن است تخمین زمان طی مسیر، مهمتر از تعیین یک مسیر مشخص برای طی مسیر باشد، این مطلب قابل توجهی است که باید به الگوریتمهای سریعترین مسیر در شبکه‌های دینامیک اضافه شود.

### انتخاب نرم افزار

بطور کلی نرم افزارهای موجود در بازار را می‌توان به دو دسته تقسیم

کرد:

۱- پکیج‌های نرم افزاری

۲- نرم افزارهایی که توسط برنامه نویسان با یکی از زبانهای برنامه نویسی نوشته شده‌اند.

### ۱- استفاده از پکیج‌های نرم افزاری

این نرم افزارها معمولاً به صورت چند منظوره ارائه می‌شوند. بدین ترتیب که قادر به انجام وظایف مختلف مورد نیاز در انجام پروژه‌های

الگوریتمهای مبتنی بر دیجیترا، الگوریتم A\* را بر دیگر الگوریتمها ترجیح داده‌اند. در حقیقت قابل توجه است که الگوریتم دیجیترا تا این زمان در بونه آزمایش جهانی موفق بوده است.

### ب- کوتاهترین مسیرها در شبکه‌های دینامیک

پیشرفتهای اخیر در تکنولوژی مخابرات و کامپیوتر، همراه با پیشرفتهای سیستم‌های هوشمند حمل و نقل، موجب توجه مجدد به شبکه‌های دینامیک شده است. این علاقه‌مندی به مفهوم مدیریت دینامیک حمل و نقل، موجب ظهور یک سری الگوریتمهایی شده که هدف اصلی آنها بهینه کردن زمان اجرای محاسبات در شبکه‌های بزرگ - مقیاس می‌باشد.

Chabini(1998) انواع مسائل کوتاهترین مسیر دینامیک را براساس موارد زیر لیست کرده است:

۱- مسائل مربوط به سریعترین مسیر در برابر کوتاهترین مسیر (کم هزینه‌ترین مسیر)

۲- نمایش گسسته زمان در برابر نمایش پیوسته زمان

۳- شبکه‌هایی که در آنها توقف در گره‌ها مجاز است در برابر شبکه‌هایی که توقف در گره‌ها مجاز نیست.

۴- شبکه‌های FIFO در برابر شبکه‌های غیر FIFO (توضیح: در شبکه‌های FIFO اولین وسیله نقلیه‌ای که از مبدأ حرکت می‌کند اولین وسیله نقلیه‌ای می‌باشد که به مقصد می‌رسد، ولی در شبکه‌های non-FIFO وسیله نقلیه‌ای که دیرتر از یک وسیله نقلیه دیگر حرکت می‌کند می‌تواند قبل از وسیله نقلیه قبلی به هدف برسد)

۵- سؤالات مطرح شده: یک - به - کل به ازای یک زمان عزیمت تعیین شده، یا به ازای تمام زمانهای عزیمت، وکل - به - یک برای تمام زمانهای عزیمت.

۶- عدد صحیح یا حقیقی بودن هزینه طی مسیر مربوط به لینک

براساس تحقیق مربوط به الگوریتم‌های مسیر یابی در شبکه‌های استاتیکی Chabini(1997) نشان می‌دهد یک بسط نمایش فاصله زمانی که به عبارت دیگر اعمال فواصل زمانی گسسته با هزینه‌های ثابت است می‌تواند در شبکه‌های دینامیک استفاده شود. در نتیجه براساس نحوه رفتار با زمان، مسائل کوتاهترین مسیر می‌توانند به دو نوع تقسیم شوند:

۱- گسسته

۲- پیوسته

در مورد گسسته اگر از فواصل زمانی ۱۵ ثانیه استفاده کنیم، یک اجرای ۲۴ ساعته کامل شامل محاسبات روی ۵۷۶۰ تکه زمان ضربدر تعداد گره‌ها و لینک‌ها می‌باشد.

Chabini(1997) یک دسته بندی بین ۱- مسیرهای با سریعترین زمان) که در آن هزینه یک لینک برابر با زمان طی مسافت آن لینک می‌باشد) و ۲- مسیرهای با مینیمم هزینه(که در آن هزینه‌های لینک می‌توانند به یک فرم عمومی باشند) انجام می‌دهد، با این وجود تفاوت میان این دو در مقاله فوق تشریح نشده است.

سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی می‌باشند و آنالیز شبکه نیز یکی از آنها می‌باشد.

این نرم‌افزارها با وجودی که در سطح وسیعی قابل استفاده هستند و اغلب در پروژه‌های کوچک و متوسط بکارگرفته می‌شوند ولی برای کاربردها و نیازهای خاص دارای محدودیت‌ها و مشکلات هستند و گاهی نیز حتی قابل استفاده نمی‌باشند. یکی از محدودیت‌های این نرم‌افزارها عدم کارایی آنها در شبکه‌های دینامیک است.

## ۲- استفاده از زبانهای برنامه نویسی

می‌توان با استفاده از زبانهای برنامه نویسی استاندارد برنامه‌ای نوشت که مطابق با نیازهای ما باشد. در این روش قابلیت انعطاف بیشتری برای در نظر گرفتن شرایط و امکانات محلی وجود دارد. در بازار زبانهای برنامه نویسی بسیار متعددی وجود دارد که بررسی تک تک آنها در این مقوله نمی‌گنجد. مناسبترین زبانی که برای منظور ما مناسب می‌باشد زبان جاوا است.

## جاوا (JAVA)

نام جاوا با اینترنت قرین است. اینترنت محل تولد جاواست و همین جاواست که صنعت اینترنت را دچار تحول کرده است. جاوا ویژگیهای متعدد منحصر بفردی دارد ولی آنچه بیش از هر چیز دیگر ما را به سوی آن کشانده قابلیت منحصر بفرد برنامه نویسی اپلت در این زبان است. هنگام کامپایل کردن برنامه جاوا یک فایل واسط که بایت کد نامیده می‌شود ایجاد می‌شود.

این فایل بر روی یک وب سرور کپی می‌شوند. از طرف دیگر یک برنامه مفسر جاوا بر روی کامپیوترهای متصل به اینترنت نصب می‌شود. (معمولاً همراه کاشگرهای اینترنت مانند IE وجود دارد) با اتصال این کامپیوتر که ایستگاه کاری نامیده می‌شود به وب سرور فوق، برنامه جاوا بر روی ایستگاه کاری اجرا می‌شود.

## روش اجرا

با وجود مشکلاتی که برای جمع‌آوری اطلاعات ترافیکی داریم بهرحال می‌توانیم اطلاعات را در یک محل که هم اکنون سازمان کنترل ترافیک متولی آن است جمع‌آوری کنیم.

در حال حاضر نیز این کار توسط دوربین‌های مدار بسته‌ای که در تقاطع‌های مهم نصب شده‌اند انجام می‌شود. سپس می‌توانیم یک وب سرور در این محل قرار دهیم و برنامه اپلت جاوا را که به همین منظور نوشته‌ایم در این وب سرور قرار دهیم.

حال ایستگاههای مربوط به سازمانهای امدادی (و یا حتی در یک حد وسیعتر عموم مردم با کنترل مجوزها و میزان دسترسی‌ها) فقط با در اختیار داشتن یک کامپیوتر و اتصال به اینترنت می‌توانند به وب سرور مربوطه وصل شوند و با تعیین مبدأ و مقصد خود بهترین مسیر برای آنها تعیین

و نمایش داده شود.

به این نکته توجه داشته باشید که نیازی نیست این کاربران هیچ برنامه خاصی مانند arcview را بر روی کامپیوتر خود نصب کنند. این موضوع علاوه بر صرفه جویی بزرگ اقتصادی، کاربران را از درگیر شدن با مسائل فنی مربوط به این بکج‌های نرم‌افزاری رهایی می‌دهد زیرا ما نمی‌توانیم انتظار داشته باشیم تمام مردم ایران کارشناس سیستمهای اطلاعات جغرافیایی باشند.

وقتی می‌گوییم ارتباط بین کاربران و مرکز کنترل ترافیک از طریق اینترنت است واقعاً بدین معناییست که لزوماً باید به اینترنت وصل باشند. بلکه منظور این است که این برقراری ارتباط مشابه همان برقراری ارتباط اینترنت است و ما با استفاده از تعدادی خط تلفن و یا هر خط ارتباطی دیگر، می‌توانیم به اصطلاح یک اینترنت داشته باشیم و با همان ابزارهایی که به اینترنت وصل می‌شویم، به مرکز کنترل ترافیک وصل شویم و جواب خود را دریافت کنیم.

## نتیجه گیری

این مطلب قابل توجه است که برای شبکه‌های استاتیک، الگوریتم ابتکاری A\* الگوریتم برتر در مقالات تحقیقی می‌باشد. تقریباً تمامی مطالعاتی که در آنها الگوریتمهای مختلف تست و مقایسه شده‌اند و در میان الگوریتم‌های آنها الگوریتم A\* نیز وجود داشته است به این نتیجه رسیده‌اند که الگوریتم A\* نسبت به سایر روشها برتر است.

الگوریتم‌های مبتنی بر دیجسترا با اصلاحات و بهبودهای مختلف در ساختارهای دینامیک (به فرم مترامک وصف و سطل) هم به خوبی جلوه کرده‌اند.

ولی در مورد شبکه‌های دینامیک با وجودی که اخیراً الگوریتمهایی برای شبکه‌های دینامیک ارائه شده‌اند ولی تمام آنها صرفاً در مرحله تئوری هستند و در عمل در پروژه‌های آزمایشی مشکلات متعددی داشته‌اند. تحقیقات ثابت کرده‌اند در صورتی که زمانهای طی مسیر که بطور پیوسته در حال تغییر می‌باشند بصورت مقادیر تخمینی معین یا فواصل زمانی بسط یابند، مسائل سریعترین مسیر در شبکه‌های دینامیک را می‌توان بصورت مسائل سریعترین مسیر در شبکه‌های استاتیک ساده کرد. الگوریتم دیجسترای A\* در دو نوع شبکه استاتیک و دینامیک قابل اجراست.

## پیشنهادات

مسئله ترافیک در شهرهای امروزی مسئله‌ای نیست که بتوان از آن چشم‌پوشی کرد. اصلاح و بهبود ساختارهای شهری و ترافیکی یک راه حل اساسی است ولی با وجود هزینه‌های سنگین این روشها، استفاده بهینه از امکانات موجود یک ضرورت است.

هدایت وسایل نقلیه در بهترین مسیرها با صرف هزینه کم، استفاده از این امکانات راهبینه می‌کند.

در حال حاضر در خیابانهای برخی شهرهای امریکا سنسورهایی قرار



Research ,part B:Methodological,vol.32,no.7,pp.499-516.  
Horn,M.E.T.(1999)Efficient modeling of travel in networks  
with time-varying link speeds CSIRO Mathematical and  
information Sciences Technical Report CMIS 99/97  
<http://www.cmis.csiro.au/Mark.Horn/>.

### توجه

ضمن عرض پوزش به اطلاع می‌رساند تصاویر جزرومد در  
صفحه ۲۵ سپهر ۴۸، جابه‌جا مونتاز گردیده است.

داده‌اند که بطور مستمر اطلاعات ترافیکی را به مرکز کنترل ترافیک ارسال می‌کند. این اطلاعات در اینترنت در دسترس عموم می‌باشند و هر یک دقیقه یکبار به روزرسانی می‌شود.

در کشور ما نیز از چندسال قبل با نصب دوربینهایی در تقاطع‌ها تلاش در این زمینه آغاز شده است ولی این به هیچ وجه کافی نیست و نیاز است بتدریج بر روی روشهای مبتنی بر سنسور و همچنین روشهای اطلاع رسانی و استفاده کاراتر از این اطلاعات که در این مقاله برخی از آنها ارائه شده است بیشتر کار شود. استفاده از زبان برنامه نویسی جاوا و بستر اینترنت با اینترانت مناسبترین روش برای اجرای این ایده‌هاست.

از هم اکنون می‌توانیم با نوشتن یک برنامه به زبان جاوا و قراردادن آن در یک وب سرور، سرویس ارائه بهترین مسیر را به وسایل نقلیه امدادی و سرویس کوتاهترین مسیر را همراه با اعمال سیاستهای مدیریت ترافیکی برای هدایت وسایل نقلیه به مسیرهای مناسبتر، در اختیار عموم مردم قرار دهیم.

### مراجع

Chabini,I.(1997) A new algorithm for shortest parths in discrete dynamic networks ,as presented at 8th IFAC/IFIP/IFORS Symposium on transportation system,Tech Univ Crete,Greece,16-18 june 1997

Chabini,I.(1998)Discrete dynamic shortest path oroblems in transportation applications ,Transportation Research Record 1645.

Dijkstra,E.W.(1959).A note on two problems in Connection with graphs,Numerische Mathematik,vol.1,1959,pp.269-271.

Jacob,R.,Marathe,M.V.and Nagel,K.(1998) A computational study of routing algorithms for realistic transportation networks ,2th Workshop on Algorithmic Engineering (WAE 98) Saarbuckan.Germanz,August 19-21 1998,received via personal communication .

Van Eck,J,R De Jong,T.(1990).Adapting datastructures and algorithms for faster transport network computeations,proceedings of the 4th int.symposium on spatial data handling,vol.1.pp.295-304.

Fu,L and Rilett,L.R.(1996) Expected shortest parths in dynamic and stochastic traffic networks.Transportation