

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО БАГАТОЦІЛЬОВОГО, ОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛЮВАННЯ РУХОМ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ У МІСТАХ ТА РЕГІОНАХ

Г.В. Альошин, професор, д.т.н., УкрДАЗТ, В.Г. Сословський, доцент, к.е.н.,
А.М. Ярута, інженер, ХНАДУ

Анотація. Представлено принципи побудови централізованого багатоцільового оптимального регулювання транспортним рухом. Наведено міру якості управління рухом, постановку та метод вирішення динамічних задач векторної оптимальної маршрутизації, функціональні рівні інформаційно-навігаційної системи.

Ключові слова: регулювання транспортних потоків, мережі з чергою, системи навігації.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО МНОГОЦЕЛЕВОГО, ОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В ГОРОДАХ И РЕГИОНАХ

Г.В. Алёшин, профессор, д.т.н., УкрГАЖТ, В.Г. Сословский, доцент, к.э.н.,
А.М. Ярута, инженер, ХНАДУ

Аннотация. Представлены принципы построения централизованного многоцелевого оптимального регулирования транспортными потоками. Приведены мера качества управления движения, постановка и метод решения динамических задач векторной оптимальной маршрутизации, функциональные уровни информационно-навигационной системы.

Ключевые слова: регулирование транспортных потоков, сети с очередью, системы навигации.

PRINCIPLES OF MODELING OF CENTRALIZED AND MULTIPLE AIMED OPTIMUM TRAFFIC CONTROL IN CITIES AND REGIONS

G. Alijoshin, professor, dr. eng. sc., V. Soslovsky, ass. prof.,
A. Yaruta, engineer, KhNAHU

Abstract. The article deals with principles of modeling of centralized and multiple-aimed optimum traffic control. Defining and methods of solving of dynamic problems of vector optimum routing, functional levels of information and navigation system, control quality index have been given.

Key words: traffic control, network with a queue navigation systems.

Вступ

Відомо, що значущою складовою системи умов для економічного розвитку міст, регіонів і країни є сукупність або мережа доріг для транспортних засобів (ТЗ), які використовують її одночасно з різною метою. Кожний користувач дорожньої мережі діє за власним критерієм якості і за своїми умовами руху. В умовах малої чисельності транспортних засобів, наприклад, у нічний час, усі ко-

ристувачі діють практично незалежно один від одного і тому їм легше досягти оптимальності за їх персональним критерієм якості руху і за їх конкретними умовами. При цьому їм можуть допомагати такі технічні засоби як навігатори. Але навіть дуже досконалі навігатори не в змозі знати, а тим більш прогнозувати швидко текучі умови руху на усіх важливих шляхах мережі. До того ж в умовах, коли швидко зростає чисельність ТЗ, учасники руху, особливо у часи пік стають

залежними один від одного, оскільки частіше користуються одними і тими самими ділянками доріг одночасно. Трьома градаціями затримок, які є не кількісними, інтенсивними величинами і якими, наприклад, користується авторадіо, є такі: рух на конкретних дорогах «уповільнюється», «повільний», «не рухаються». Градації затримок ТЗ називають також «пробками». Можна перетворити ці інтенсивні величини в екстенсивні, якщо визначити затримку в одиницях швидкості. Але це не врятує користувачів мережі від «пробок» навіть при оптимальності персонального маршруту, тому що цієї інформації замало і вона дуже несвоєчасна. Недостатньо прогнозованості, своєчасності і централізованості розрахунку оптимального маршруту за потрібним користувачеві критерієм якості руху. Виходить, що навігатор може бути оптимальним і потрібним лише у святковий та нічний час або там, де малий рух ТЗ. Платою за індустріалізацію, економічний ріст міста і регіонів є посилений рух ТЗ, що веде до створення «пробок» та уповільнення руху ТЗ. Проблема підвищення пропускної здатності мережі доріг є наслідком технічного та економічного розвитку міста і регіону. Ось чому з часом вона стає все складнішою, але все більш актуальною. Однак системи, що мають вирішувати цю проблему, стають перспективними.

Аналіз публікацій

Відомі наступні шляхи і засоби вирішення проблеми підвищення пропускної здатності існуючих доріг [1 – 5]: 1 – підвищення рядності доріг; 2 – засоби транспортної розв'язки вузлів мереж; 3 – підвищення якості та дозволеної швидкості руху на дорогах; 4 – розподілення вантажного та легкового руху; 5 – створення одностороннього руху; 6 – контроль за рухом ТЗ та його регулювання з боку ДАІ; 7 – засоби постійного або автоматичного регулювання рухом на перехрестях та «вузьких» місць: постійні та тимчасові дорожні знаки, світлофори та інші; 8 – оптимальні навігатори транспортних установ та водіїв; 9 – операторна візуальна служба спостереження за рухом ТЗ та можливого інформаційного попередження водіїв, у тому числі:

а) телевізійна операторна служба спостереження за рухом ТЗ, б) інформаційна служба за наявністю «пробок», в) авіаційна служба спостереження за рухом ТЗ, г) космічна служба спостереження за рухом ТЗ.

Засоби 1 – 7 не стільки вирішують проблему підвищення пропускної здатності мережі доріг, скільки знаходять евристичний оптимум або компроміс, що розв'язує протиріччя між небезпекою дорожнього руху і пропускною здатністю доріг. Засоби (8) є індивідуальним і вирішують задачі оптимізації маршрутів за заданим критерієм якості руху в умовах дій засобів 1–7 і в умовах обмеженої інформованості відносно стану дорожнього руху у часі. При великій кількості користувачів мережі та великій завантаженості «вузьких» місць їх шляхи все більш перетинаються, а їх оптимальні маршрути все більш стають суперечливими. Як у будь-якій задачі оптимізації, чим більше обмежень, тим гірше, скоріш усього, буде критерій якості руху. Це справедливо, якщо обмеження відомі або частково відомі. Для випадків інформаційної обмеженості використовують методи оптимізації в умовах параметричної або непараметричної невизначеності із застосуванням адаптивних методів. Якщо параметри дорожньої мережі є нечіткі множини, потрібна додаткова інформація, щоб перевести їх у розряд випадкових величин і вирішувати статистичні задачі оптимізації. Засоби 9 вирішують аналогічну задачу і задачу централізації інформації певною мірою, але вони складні та дорогі, у них також недостатній просторовий та часовий діапазон спостережень.

Мета і постановка задачі

Метою роботи є побудова інформаційно-навігаційної системи багатocільового регулювання дорожнім рухом. Завдання роботи: обґрунтування міри якості управління дорожнім рухом; постановка та розробка алгоритму вирішення динамічних задач векторної оптимальної маршрутизації; визначення принципів побудови та функціональних рівнів інформаційно-навігаційної системи управління дорожнім рухом.

Міра якості централізованої системи регулювання руху транспортних засобів

За міру якості централізованої системи оптимального регулювання рухом транспортних засобів доцільно брати економічний ефект за певний час або сумарний виграш у часі усіх водіїв, що обчислюється як різниця між сумарним часом проїзду за оптимальним маршрутом за індивідуальним критерієм якості $\sum_{i,j} t_{ij(ind)}$ і сумарним часом проїзду за

оптимальним маршрутом, визначеним системою $\sum_{k,l} t_{kl(s)}$

$$\Delta t = \sum_{i,j} t_{ij(ind)} - \sum_{k,l} t_{kl(s)},$$

де індекси i, j або k, l відповідають прилягаючим вузлам ділянки мережі за згаданими маршрутами.

Сумарний виграш часу як необхідний робочий час для будь-якого виробництва, корисний усім. Непрямим способом за рахунок податків від прибутку установ господарювання він має попасти до бюджету. Створення та експлуатація такої системи можлива також за рахунок частини збору від плати водіїв за дороги. Але більш сприйнятний спосіб самовідшкодованості. Цей спосіб за своєю сутністю бізнес-проект: якщо водій зрозуміє, що він при цій системі виграє у часі, він із задоволенням сам буде платити за послугу, тобто оплачувати експлуатацію такої системи, яка має ще й приносити прибуток і розвиватись.

Виграш у часі корельований з економічним виграшем, тому що кожна година конкретного простою або конкретної роботи має свою ціну. Зрозуміло, що цей загальний виграш зменшуватиметься, якщо число ТЗ на мережі буде зменшуватись. При якомусь малому числі ТЗ маршрути можуть стати незалежними.

Але система у цій ситуації буде відігравати роль навігатора – оптимізатора маршрутів, тобто вона завжди корисна, а особливо у часи «пік». Тоді виграш від цієї системи необхідно підраховувати як економічний виграш. Тобто виграш у часі з централізованою системою треба зрівнювати з часом проїзду евристичним маршрутом або з оптимальним маршрутом навігатора. За експертними оцінками об'єктивне лінійне програмування в середньому виграє не менше 10% від загального показника якості порівняно з евристичним рішенням експертів.

Динамічні особливості пропускної здатності шляхів дорожньої мережі

Вирішення проблеми підвищення пропускної здатності дорожньої мережі ускладнюється тим, що в наш час не враховується залежність пропускної здатності перехрестя та

«вузьких» місць від їх завантаженості. Тому пропонується вирішувати проблему оптимальної маршрутизації чотирирівневою інформаційно-навігаційною системою з використанням пристрою, що вимірює не швидкість, а завантаженість перехрестя з використанням існуючої системи стільникового зв'язку і спрощеного або дуже спрощеного до звичайної мапи навігатора, що віддає центру обробки інформації функцію розрахунку оптимального маршруту з точки зору вибраного критерію якості при централізованій інформації. Співвідношення [5] для визначення залежності динамічної пропускної здатності ребер дорожнього графу від черги на перехресті мають такий вигляд.

Пропускна здатність світлофору визначається загальним числом ТЗ n_{ij} , що можуть проїхати перехрестя за час зеленого світла, і дорівнює

$$n_{ij} = n_{ctij} + \frac{V_p T_{3ij}}{(l_m + \Delta l_d)} (p - n_{ctij} \frac{t_1}{T_{3ij}}) - m_d, \quad (1)$$

якщо $n_{ctij} < n_{ctijmax} < n_{kpij}$, та $n_{ij} = n_{ctij}$, якщо $n_{ctij} > n_{kpij}$.

У співвідношеннях (1) позначено: n_{ctij} – число ТЗ, які стоять у черзі перед світлофором у момент включення зеленого світла; t_1 – середня затримка до моменту руху кожного ТЗ відносно попереднього; дозволена швидкість V_p ; $l_m, \Delta l_{ct}$ – відповідно середня довжина ТЗ і статична дистанція у черзі між ними; T_{3ij} – тривалість часу зеленого світла світлофора (на виході ребра e_{ij}); $m_d = \frac{l_{ij}}{l_m + \Delta l_d}$, Δl_d – динамічна дистанція ТЗ у черзі при русі.

При деякому числі ТЗ, яке назвемо критичним, не всі ТЗ проїдуть ребро e_{ij} дорожнього графу (від перехрестя i до перехрестя j). А проїде лише число ТЗ, менше за n_{kpij} , що рухаються з попереднього ребра e_{ki} (після i -го світлофора). Із вказаної умови знаходиться критичне число ТЗ n_{kpij}

$$n_{kpij} = \frac{V_p T_{3ij} p - l_{ij}}{t_1}.$$

де $l_{ij} = V_p t_{ij}$; t_{ij} – час проїзду ребра e_{ij} зі швидкістю V_p ; $p = \frac{T_{3i} T_{3j}}{T_{ци} T_{цj}}$ – ймовірність суміщення випадків зеленого світла одночасно на двох послідовних світлофорах; $T_{3i}, T_{3j}, T_{ци}, T_{цj}$ – відповідно час зеленого світла на i -му та j -му світлофорі та час циклу переключення цих світлофорів.

Максимальне число технічних засобів із черги, що можуть проїхати це перехрестя з статичного стану в черзі за час T_{3ij} одного циклу світлофора, дорівнює

$$n_{\max \text{ ст } ij} = \frac{l_p + V_p (T_{3ij} - t_p)}{l_m + \Delta l_{\text{ст}} + V_p t_1},$$

де $l_p = \frac{F}{2m} t_p^2$ – шлях ТЗ, пройдений за час розгону; F та m – відповідно сила двигуна та маса ТЗ; t_p – тривалість часу одночасного розгону усіх, що стояли раніш у черзі автомобілів перед світлофором, до дозволеної швидкості V_p на цій смузі або дорозі, тобто, це час розгону усієї черги. Усі середньостатистичні параметри руху і перехрестя відомі або визначаються експериментом.

Алгоритм вирішення динамічних задач векторної оптимальної маршрутизації

Завдяки можливостям пристроїв для вимірювання завантаженості перехрестя [5], що дозволяють розв'язувати згадану проблему шляхом рішення динамічних задач маршрутизації для усіх споживачів у такому алгоритмі, система має перерозподіляти транспортні потоки залежно від динамічної інформації про завантаженість перехресть та «вузьких місць». Головні вимоги до такого алгоритму: заявки від споживачів про оптимальний маршрут повинні обслуговуватись у порядку надходження з можливою, відповідно умов, затримкою у черзі; заявка повинна обслуговуватись за час проїзду споживачем одного ребра з урахуванням змінної у часі пропускної здатності кожного ребра; база даних зберігає матрицю зв'язності, або в іншій формі конфігурацію дорожнього графу; база даних зберігає та ритмічно відновлює, згідно з сезоном, часу доби та т.ін. середньостатистичні дані про усі суттєві параметри елементів дорожньої мережі, причому вони оновлюються

як від датчиків, так і від усіх можливих джерел спеціальної інформації.

Принцип черговості або пріоритетності надходження і виконання заявок зрозумілий усім. Спочатку першому замовнику послуг надається оптимальний маршрут з урахуванням становища на дорозі. Потім другому замовнику надається його оптимальний маршрут за його критерієм якості. Може статися, що будь-який елемент оптимального шляху для другого замовника сумісний з оптимальним маршрутом першого замовника. Тоді задача про оптимальний маршрут для другого замовника вирішується для зміненого дорожнього графу (без спільного елемента) на прогнозований час його проїзду, якщо граф не втрачає зв'язності. Далі повторюється. Система датчиків дає практично миттєву додаткову можливість прогнозу дорожньої обстановки, маючи динамічну інформацію з усіх сусідніх ланок.

Узагальнений приклад алгоритму вирішення централізованої багатоцільової фактично векторної задачі оптимізації маршрутів споживачів в умовах обмеженої динамічної пропускної здатності елементів дорожньої мережі представлений на рис. 1.



Рис. 1. Алгоритм вирішення динамічних задач векторної оптимальної маршрутизації

Насамперед, таку задачу можна назвати багатоцільовою (за різними критеріями якості) векторною (для усіх споживачів), централізованою оптимізацією маршрутів в умовах специфічних обмежень на динамічну (змінну при навантаженні) пропускну здатність елементів дорожньої мережі. Хоча тут відшукується окрім маршруту також рівень якості (оптимум) за умовним критерієм з урахуванням обмежень, але як і у будь-якій аналогічній задачі цей рівень, за правилом, зменшується з ростом числа обмежень.

Таким чином, глобальна проблема маршрутизації може вирішуватись за допомогою чотирирівневої інформаційно-навігаційної системи, що вміщує важливу для динамічного оптимального керування рухом ТЗ мережу датчиків завантаженості перехресть. Можливості та принципи створення мережі датчиків наведені у роботі [2]. Така система має значні переваги перед згаданими існуючими локальними персоналізованими системами.

Ці переваги: малі затрати на її створення; оперативність; адекватність динамічної моделі ситуації; можливість прогнозування обстановки; можливість створення режимів динамічного регулювання світлофорів; можливість оцінювання транспортних потреб міста та районів; використання існуючих досягнень у вигляді навігаторів, стільникового зв'язку; досягнень у питаннях маршрутизації, в ультразвуковій або оптичній техніці створення датчиків і т. п.

Принципи побудови інформаційно-навігаційної системи

Розглянемо шляхи вирішення таких задач в умовах динаміки обстановки на елементах мереж та динаміки їх пропускну здатності. Для практичного вирішення таких задач необхідно мати централізовану інформаційно-навігаційну систему [2] з чотирма рівнями. Рівень I – інформаційна мережа датчиків дорожньої обстановки [2, 4]. Рівень II – мережа радіозв'язку для передачі інформації до центру її обробки. Рівень III – центр обробки інформації для вирішення багатоцільової векторної оптимальної маршрутизації [3] транспортних засобів в умовах обмеженої динамічної пропускну здатності елементів транспортної мережі. Рівень IV – зворотний радіозв'язок з прийнятною навігаційно-відображаючою системою кожного споживача

для спостереження руху кожного з транспортних засобів або інформаційних потоків.

Така система має враховувати результати системного аналізу впливу факторів на пропускну здатність та на рух транспортних засобів або інформаційних потоків, мати програмне забезпечення [3] вирішення задач за критерієм споживача і алгоритм використання мережевої інформації для оптимального розподілу транспортних потоків.

Висновки

1. Кожна відома на цей час існуюча керуюча транспортна система, крім тієї, що пропонується, ще неспроможна в умовах динамічних заторів при малих асигнуваннях в повному обсязі, оперативно, оптимально за критеріями якості проїзду шляхів для кожного водія вирішувати задачі маршрутизації.

2. Створення такої інформаційно-дорожньої системи можливе тільки на чотирьох рівнях: 1) інформаційної мережі датчиків пропускну здатності доріг; 2) мережі зв'язку для передачі даних до центру обробки інформації, 3) центру обробки інформації для оперативного вирішення багатоцільової векторної оптимальної маршрутизації для транспортних засобів в умовах реальних динамічних заторів; 4) зворотний зв'язок з водієм – користувачем послуги для отримання оптимальних вказівок про реальний оптимальний на той час маршрут.

3. Система самоокупна, адаптивна до дорожніх умов, органічно вписується у будь-який граф мережі і може інтегруватися з відомими навігаційними засобами для поліпшення інформаційних послуг водіям.

4. Без ультразвукових датчиків динамічних дорожніх умов неможливо створювати просту, дешеву, навіть автоматичну інформаційну централізовану систему оптимального регулювання дорожнім рухом.

5. Інформаційна система ультразвукових або радіодатчиків, та метод розрахунку пропускну здатності доріг дозволяє точніше, і навіть автоматично прогнозувати рух транспортних потоків та збирати статистичні дані для довгострокових прогнозів.

Література

1. Алешин Г.В., Сословский В.Г., Ярута А.Н. Дорожно-сетевая система информирования водителей об оптимальных маршрутах движения: Сб. материалов всеукраинської науково-методичної конференції. – Харків: ХНАДУ, 2007. – С. 102–114.
2. Альошин Г.В., Ярута А.М. Проблемы багатоцільової векторної оптимальної маршрутизації транспортних засобів в умовах обмеженої пропускної спроможності елементів транспортної мережі // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Х. – 2008. – №1 (69). – С. 15–19.
3. Лемешко А.В., Евсеєва О.Ю., Гема Н.И. Динамическая маршрутизация в пакетных сетях с гарантированным качеством обслуживания // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – Харьков: ХНУРЕ. – 2001. – Вып. 123. – С. 45–50.
4. Программа, определяющая оптимальный маршрут и обнаруживающая дорожные пробки. – [Цит. 2005, 12 июня]. Доступ с <<http://www.old.compulenta.ru/37896/>>.
5. Ультразвуковое устройство для обнаружения препятствий. JP (12) 107D21 G01 S 5/18.

Рецензент: А.І. Левтеров, професор, к.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 24 вересня 2009 р.