

УДК 004.932

С.Г. Антощук, д-р техн. наук,

О.А. Нутович, О.Є. Колесніков, канд. техн. наук

МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ І ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ОПТИМІЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ

Анотація. Обґрунтовано вибір цільової функції та досліджено її глобальний екстремум за допомогою методів Монте-Карло та генетичних алгоритмів. Розроблені алгоритми і методи є основою для побудови математичного забезпечення автоматизованої системи дорожнього руху.

Ключові слова: цільова функція, метод Монте-Карло та генетичні алгоритми, автоматизована система дорожнього руху.

S.G. Antoshchuk, ScD,

A.A. Nutovich, A.E. Kolesnikov, PhD

METHODOLOGICAL BASES AND TOOL SOFTWARE MEANS OF OPTIMIZING TRAFFIC CONTROL

Abstract. Substantiates the choice of objective function and investigated its global extremum by means of Monte-Carlo and genetic algorithms. The developed algorithms and methods are the basis for constructing mathematical software automated system of traffic.

Keywords: the target function, Monte - Carlo and genetic algorithms, automated system of traffic.

С.Г. Антощук, д-р техн. наук,

А.А. Нутович, А.Е. Колесніков, канд. техн. наук

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Аннотация. Обоснован выбор целевой функции и исследован ее глобальный экстремум с помощью методов Монте-Карло и генетических алгоритмов. Разработанные алгоритмы и методы являются основой для построения математического обеспечения автоматизированной системы дорожного движения.

Ключевые слова: целевая функция, метод Монте-Карло и генетические алгоритмы, автоматизированная система дорожного движения.

Збільшення інтенсивності автомобільного руху в містах з історично сформованою схемою вуличної мережі часто призводить до утворення черг і заторів транспорту і зниженню швидкості руху. Перемінний режим руху, часті зупинки і скупчення автомобілів перед перехрестями підвищують ризик виникнення аварій і є причиною забруднення атмосферного повітря продуктами неповного згорання палива.

Одним із шляхів раціонального вирішення вказаних протиріч є розширення магістралей і зміна схем руху транспортних потоків із введенням одностороннього руху в режимі «зеленої хвилі». Проте, зміна схеми прямування транспортних потоків на ключових магістралях сама по собі не буде ефективною без функціонування автоматизованої системи управління дорожнім рухом (АСУДР), яка визначає і задає оптимальне управління світлофорним об'єктам (СО). Для вулиць із двостороннім рухом неможливо, у загальному випадку, забезпечити режим «зеленої хвилі» у двох напрямках. Тому для

Колесніков О.Є., 2011

складних міських вуличних мереж необхідно визначити оптимальне управління світлофорними об'єктами, що повинно забезпечити найбільшу пропускну спроможність вулиць для автотранспортних засобів при мінімальних втратах часу.

Відомі моделі транспортних потоків не враховують особливості автоматизованого управління дорожнім рухом при різноманітти чинників міської вуличної мережі і орієнтовані скоріше на містобудівне проектування, ніж на задачі організації дорожнього руху. Тому розробка методологічних основ і інструментальних засобів для побудови АСУДР є актуальною задачею.

Ефективність управління світлофорними об'єктами характеризується величинами сумарних затримок транспортних засобів для двох напрямків руху. У якості цільової функції задачі оптимізації світлофорного управління для вуличної мережі може бути прийнято функціонал:

© Антощук С.Г., Нутович О.А.,

$$F = \sum_{(i,j) \in M} Z_{ij} \{ \Delta t_{0,i}, \Delta t_{0,j}, (T, t_{ж}, t_3)_i, (T, t_{ж}, t_3)_j, l_{ij}, V_{ij}, P_{ij} \} + \\ + \sum_{(k,j) \in M} R_{kj} \{ \Delta t_{0,i}, \Delta t_{0,i}, (T, t_{ж}, t_3)_j, (T, t_{ж}, t_3)_i, l_{kj}, V_{kj}, P_{kj} \},$$

де Z_{ij} і R_{kj} – сумарні затримки автотранспорту за один цикл регулювання на перегоні з відстанню l_{ij} у прямому напрямку, а l_{kj} у зворотному напрямку, c ; T - час циклу регулювання, c ; $t_3, t_{ж}$ – тривалість фази зеленого або жовтого сигналу, c ; $\Delta t_{0,m}$ – зсув циклу регулювання кожного світлофора, стосовно обраного нульового, $\{0 \leq \Delta t_{0,m} < T\}$; V - обмеження швидкості або рекомендована швидкість руху, км/г; P - число рядів для руху транспорту; M - множина номерів світлофорних об'єктів на магістралі.

У реальних АСУ дорожнім рухом величини T, t_3 і $t_{ж}$ приймають однаковими для усіх світлофорів одного плану координації (ПК), що дозволяє звести задачу оптимізації до пошуку оптимальних значень $\Delta t_{0,m}$, що забезпечують при заданих параметрах l, V і P перегонів найменший сумарний час затримок автотранспортних засобів на усій вуличній мережі.

Для розрахунку складових функціонала F необхідно і достатньо розробити процедуру розрахунку затримок автотранспорту на перегоні між сусідніми i і j перехрестями магістралі, $(i,j) \in M$. Час руху головного автомобіля по перегону в групі, сформованій в точці i ,

$$t_{ij} = \eta \cdot \frac{l_{ij}}{V_{ij}},$$

де η – коефіцієнт зовнішнього впливу на рух автомобілів у міській мережі.

Фазу світлофорного сигналу, при якому головний автомобіль потоку підійде до перехрестя j , можна визначити з огляду на циклічність регулювання з використанням відтинка часу τ_{ij} як дробовий залишок від ділення t_{ij} / T . Час прибуття головного автомобіля групи до світлофорного об'єкта j визначається відносно точки відліку часу, прийнятою для нульового контролера,

$$\delta_{ij} = \Delta t_{0,i} + \tau_{ij} + \xi \\ \delta = \begin{cases} \delta_{ij}, & \text{коли } \delta \geq \Delta t_{0,j} \\ \delta_{ij} + T, & \text{коли } \delta < \Delta t_{0,j} \end{cases}$$

де $\xi = (T - t_3)$

На основі величини δ визначимо затримку автотранспортних засобів перед перехрестям j ,

$$Z_{ij} = \begin{cases} \tau_{ij,z} = N_{\max} \cdot \tau_z, & \\ \text{коли } \Delta t_{0,j} \leq \delta < \Delta t_{0,j} + \xi \text{ [червоний сигнал]} & \\ \tau_{ij,z} = (N_{\max} - N_p) \cdot \xi, & \\ \text{коли } \Delta t_{0,j} + \xi \leq \delta < \Delta t_{0,j} \text{ [зелений сигнал]} & \end{cases}$$

$N_{\max} = (-1,1 + 0,45 \cdot t_3) \cdot K_p$, $N_p = (-1,1 + 0,45 \cdot \tau_g) \cdot K_p$ де N_{\max} - число автомобілів; τ_z - час чекання першим автомобілем зеленого сигналу світлофора; τ_g - час від моменту підходу головного автомобіля потоку до перехрестя до закінчення фази зеленого сигналу світлофора; K_p - число смуг на данім перегоні.

Час приходу головного автомобіля групи з протилежного напрямку до світлофорного об'єкта j визначимо також відносно нульової точки відліку за часом, прийнятим для нульового контролера,

$$\delta_{kj} = \Delta t_{0,i} + \tau_{kj} + \xi \\ \delta = \begin{cases} \delta_{kj}, & \text{коли } \delta \geq \Delta t_{0,j} \\ \delta_{kj} + T, & \text{коли } \delta < \Delta t_{0,j} \end{cases}$$

Відкіля, затримка автотранспортних засобів перед перехрестям j ,

$$R_{kj} = \begin{cases} \tau_{kj,z} = N_{\max} \cdot \tau_z, & \\ \text{коли } \Delta t_{0,j} \leq \delta < \Delta t_{0,j} + \xi \text{ [червоний сигнал]} & \\ \tau_{kj,z} = (N_{\max} - N_p) \cdot \xi, & \\ \text{коли } \Delta t_{0,j} + \xi \leq \delta < \Delta t_{0,j} \text{ [зелений сигнал]} & \end{cases}$$

Запропонована процедура розрахунку затримок автотранспорту на перегоні між сусідніми i і j перехрестями вулиці є уніфікованою і застосовна далі для вуличної мережі будь-якої складності.

Характер зміни цільової функції визначає вибір методу оптимізації. Вплив незалежних перемінних на цільову функцію визначено на прикладі вул. Канатної із двостороннім рухом автотранспортних потоків – перехрестя від вул. Троїцької до Італійського бульвару включно в м. Одесі (рис. 1). Аналізована ділянка характеризується наступними параметрами: число напрямків руху автотранспортних потоків – 2; число смуг у кожному напрямку – 1; кількість перехресть – 6; тривалість циклу регулювання для всіх перехресть – 60 с.

У якості керуючих впливів для світлофорних об'єктів прийняті величини

$\Delta t_{0,m} \{0 \leq \Delta t_{0,m} < T\}$ — час запізнювання циклу регулювання світлофорів відносно прийнятої нульової точки – перехрестя вул. Канатної і вул. Троїцької, для якого $\Delta t_{0,0} = 0$.

За отриманими результатами можна зробити такі висновки: залежність цільової функції F від величини запізнення фаз включення світлофорного об'єкта є нелінійною і безупинною функцією; існує область постійних значень цільової функції. Такі ділянки можуть свідчити про наявність області нечутливості об'єкта до обраного керуючого параметра Δt_{0k} .

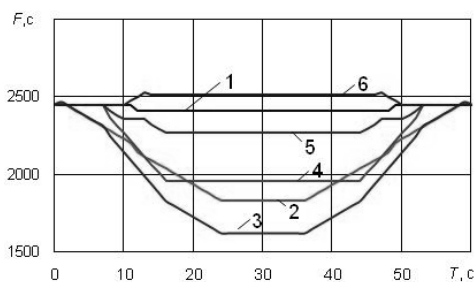


Рис. 1. Залежність цільової функції F від величини запізнення фаз світлофорних об'єктів на перетинанні вул. Канатної із вулицями:

1 – Троїцька; 2 – Успенська; 3 – В. Арнаутська; 4 – М. Арнаутська; 5 – Пантелеймонівська; 6 – Італійський бульвар

Причиною, що приводить до появи горизонтальних ділянок, є взаємна компенсація затримок для протилежних напрямків.

При зміні керуючих впливів для світлофорних об'єктів вуличної мережі характер цільової функції F буде більш складним. Тому що для мережевих структур враховуються затримки транспортних засобів не тільки в прямому і зворотному напрямках на головній магістралі, але й затримки з боку другорядних напрямків руху. Отримані результати вказують на складний характер цільової функції: мають місце ознаки багатоекстремальності, а також області нечутливості цільової функції до зміни незалежних перемінних. Тому застосування даної цільової функції для оптимізації може дати вирішення тільки у випадку використання методів глобального пошуку екстремуму (мінімуму).

При оптимізації управління транспортними потоками на вуличній мережі міста використані метод Монте-Карло і генетичні

алгоритми, яким притаманні властивості методів пошуку глобального екстремуму.

Оцінимо необхідне число звертань до моделі міської вуличної мережі, що дозволяють із довірчою ймовірністю $Q = 0,95$, припустити, що пошукова точка при оптимізації методом Монте-Карло влучає не менше одного разу в область притягання глобального екстремуму. Прийmemo, що кількість локальних екстремумів дорівнює максимально можливому числу, рівному числу світлофорних об'єктів – 54. Ця кількість світлофорних об'єктів функціонує у зв'язковий інцидентній мережі АСУДР м. Одеси.

Ймовірність того, що при одному звертанні до моделі мережі з випадковим набором керуючих впливів пошукова точка не потрапить в область глобального екстремуму, складе $1 - p = 53/54$. Для прийнятого рівня значимості при N спробах: $1 - Q = (1 - p)^N$, звідки $N = 160$. Число спроб із випадковим набором керуючих впливів повинно бути не менше 160.

Результати пошуку екстремуму методом Монте-Карло з розбивкою результатів на групи по 160 проб у порядку проведення цих розрахунків, із сортуванням по убаванню на реальній вуличній мережі м. Одеси в результаті реалізації 1000 варіантів вектора випадкових значень керуючих параметрів без урахування інтенсивності руху транспортних засобів, приведені на рис. 2.

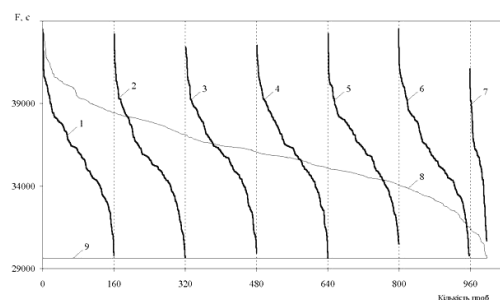


Рис. 2. Зміна цільової функції F при пошуку екстремуму методом Монте-Карло з розбивкою результатів на групи по 160 проб: 1-7 – групи по 160 проб; 8 – сортування даних 1000 проб; 9 – рівень досягнутого екстремуму

Методологічні основи генетичного алгоритму (ГА) базуються на гіпотезі селекції, яка у самому загальному виді може бути сформульована так: чим вище пристосова-

ність особи, тим вище ймовірність того, що у нащадків, отриманих з її участю, ознаки, які визначають пристосованість, будуть виражені ще сильніше. Оскільки ГА мають справу з популяціями постійної чисельності, особливу актуальність тут нарівні з відбором у батьки набуває відбір на елімінування

$$F_i^{(t)} > \frac{\sum_{x=1, m} F_x^{(t)}}{m},$$

де m – множина рішень F .

Кожна особа покоління t характеризується хромосомою рішень – $G_j^{(t)}(n)$, яка містить 54 гени, кожний з них відповідає значенню запізнення ($\Delta t_{0,i}$) j -го СО відносно нульового об'єкта, представленого у десятичній системі числення (рис. 3). Кожна особа має можливість передати нащадкам свої гени у разі її пристосованості вище середньої у поколінні.

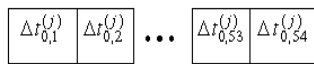


Рис. 3. Хромосома рішень $G_j^{(t)}(n)$

Генетичними операторами є тріада «кросовер – мутація – інверсія», які змінюють випадково генотипи батьківських осіб, що забезпечує передачу нащадкам життєво важливих ознак, а з іншого боку – підтримують протягом еволюційно значимого періоду достатньо високий рівень змін.

Оператор мутації, подібно до точкових мутацій у природі, інтерпретується як заміна існуючого алельного стану окремого гена в хромосомі на протилежне.

Інверсія спричиняє порушення порядку розташування фрагментів хромосом у наща-

дка у порівнянні з батьківською хромосомою.

Кросовер, що описує механізм гаметогенезу в диплоїдних популяціях організмів, призводить до того, що хромосома нащадка включає два фрагменти, один із яких належав раніше батьківській хромосомі, а інший – материнській.

АСУ дорожнім рухом повинна враховувати інтенсивність руху автотранспортних засобів. Відсутність урахування інтенсивності руху транспортних засобів може приводити до зменшення пропускної спроможності вуличної мережі, тому що «жорстке» світлофорне регулювання створює «коридор» для руху транспортних засобів із мінімальними затримками. Тому на напрямках із невисокою інтенсивністю руху тривалість зеленого сигналу може бути надлишковою. Для урахування інтенсивності руху приймемо, що відношення тривалості фаз зелених сигналів у пересічних напрямках буде пропорційне відношенню відповідних інтенсивностей руху по магістралі.

На рис. 4 подані результати пошуку оптимального управління за допомогою генетичного алгоритму при існування сімейства рішень з 25 осіб у кожному поколінні. Хромосома рішень покоління t складається з 54 генів, кожний з яких відповідає значенню запізнення $\Delta t_{0,i}$ i -го світлофорного об'єкта. Кожний ген представлений випадковим десятичним числом g_i , $\{0 \leq g_i \leq 1\}$. Початкова популяція генотипів $\beta(0)$ складається з 160 осіб із випадковими наборами керуючих впливів, отриманих у результаті роботи методу Монте-Карло.

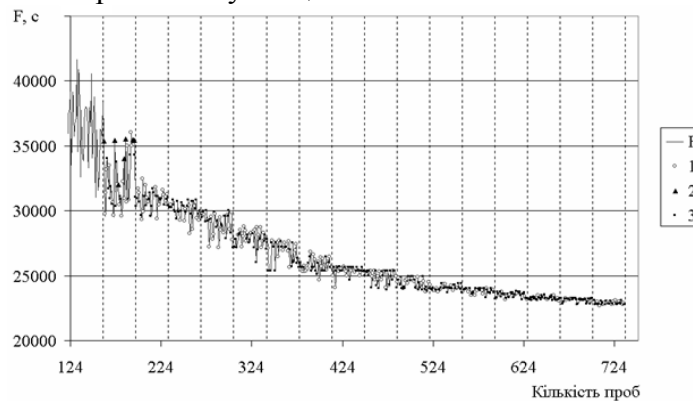


Рис. 4. Результати застосування генетичного алгоритму для пошуку екстремуму цільової функції F : 1 – мутація; 2 – інверсія; 3 – кросовер

Дати нащадка можуть тільки особи, що володіють пристосованістю вище середньої для популяції, тобто критерієм відбору в багьки служить нерівність

$$F_i^{(t)} < \frac{\sum_{x=1,m} F_x^{(t)}}{m},$$

де m — множина рішень F або кількість особ в одному поколінні.

Для генерації нового покоління і передачі нащадкові життєво важливих ознак, які підвищують пристосованість, використовуються один із трьох генетичних операторів: кросовер і інверсія характеризують здатність ГА до глобального пошуку, а мутація ототожнює способи локального настроювання рішень.

Як видно з рис. 2 і рис. 4, генетичний алгоритм дає більш точні координати глобального екстремуму за рахунок локальної оптимізації, відсутньої в методі Монте-Карло. Оператор інверсії виявився ефективним тільки при формуванні першого покоління рішень. Друге і всі наступні покоління рішень утворені за допомогою операторів мутації або кросовера. На ефективність пошуку екстремуму за допомогою ГА істотно впливає прийняте число рішень в одному поколінні. При малому числі осіб у поколінні ($n=5$) популяція вироджується у 4 або 5 поколіннях. При збільшенні осіб у поколінні до 25 . . . 90 пошук екстремуму проходить без виродження популяцій.

Розроблені моделі, алгоритми і методи є основою для побудови математичного забезпечення АСУДР, яке дозволяє реалізувати принципи оптимізації при автоматизованому управлінні дорожнім рухом у складній міській вуличній мережі.

Список використаної літератури

1. Дерех З. Д. Наукові шляхи реалізації програми забезпечення безпеки дорожнього руху в Україні / З.Д. Дерех, Є. О. Рейцен // *Наук.-техн. вісник "Безпека дорожнього руху України"*. – № 1(2). – 1999. – С.19–23.

2. Статюха Г. А. Автоматизированное проектирование химико-технологических

систем / Г.А.Статюха. – К.: Вища шк., 1989.– 400 с.

3. Колесников А.Е. Модель управления светофорными объектами для улиц с двусторонним движением / А.Е. Колесников // *Тр. Одес. политехн. ун-та.*– Одесса: 2003. – Вып. 1(19). – С. 140 –143.

Отримано 10.09.2011

References

1. Derech Z.D., Reytsen E.O. Science by the program's security of road users in Ukraine // *Scientific-Technical Bulletin "Road Safety of Ukraine"*. – № 1(2). – 1999. – P.19–23 [in Ukrainian].

2. Statyuha G.A. Aided design of chemical and technological systems. – Kiev: High school. 1989.– 400 p. [in Russian].

3. Kolesnikov A.E. The management model of traffic lights for two-way street // *Proc. Odes. Polytechnic. Univ.*– Odessa: –2003. – 1(19). – P. 140 –143 [in Russian].



Антощук
Світлана Григорівна,
д.т.н., проф., зав. каф.
інформац. систем Одесь-
кого нац.політехн.ун-ту,
e-mail: asg@ics.opu.ua



Колесніков
Олексій Євгенович , к.т.н.,
доц. каф. УС БЖД Одесь-
кого нац.політехн.ун-ту,
e-mail: akoles@list.ru



Нутович
Олександр Аркадійович,
директор ООО "Причалы
Коминтерна"