

2. Боярчук В. П. Анализ и синтез автоматической системы измерения динамических и механических свойств текстильных нитей по основным критериям качества / В. П. Боярчук // Вестник Херсонского национального технического университета (ХНТУ). – 2006. – № 3 (26). – С. 30–37.
3. Боярчук В. П. Проверка адекватности измерения жесткости текстильных нитей для технологического процесса шлихтования / В. П. Боярчук // Проблемы легкой и текстильной промышленности Украины. – 2009. – №1(15). – С. 93–101.

В статті наведено порівняння моделей керування дорожнім рухом на ізолюваному перехресті. Запропоновано нову модель керування рухом, яка базується на використанні теорії нечітких множин та нечіткої логіки. Використання моделі призводить до зменшення черг та покращення роботи перехрестя

Ключові слова: ізолюване перехрестя, світлофорне регулювання, нечітка логіка

В статье приведено сравнение моделей управления дорожным движением на изолированном перекрестке. Предложена новая модель управления движением, которая основана на использовании теории нечетких множеств и нечеткой логики. Использование модели позволяет достичь уменьшения очередей и улучшения работы перекрестка

Ключевые слова: изолированный перекресток, светофорное регулирование, нечеткая логика

In this article the comparison of traffic signal control models on isolated intersection is given. New model of traffic control based on fuzzy sets and fuzzy logic is offered. Application of this model leads to reduce queues and improvement of intersection functioning

Key words: isolated intersection, traffic light control, fuzzy logic

УДК 656.051

НЕЧІТКА МОДЕЛЬ КЕРУВАННЯ РУХОМ НА ІЗОЛЮВАНОМУ ПЕРЕХРЕСТІ

А.Б. Білоус

Кандидат технічних наук, доцент*

Контактний тел.: 050-802-41-16

E-mail: andrij.bilous@gmail.com

І.А. Могила*

Контактний тел.: 063-394-60-94

E-mail: yorko@ukr.net

*Кафедра транспортних технологій

Національний університет «Львівська політехніка»

вул. Карпінського, 2, м. Львів, Україна, 79013

Вступ

Перехрестя є найбільш «вузькими місцями» на вулично-дорожній мережі з точки зору швидкого обслуговування транспортних потоків. Величини транспортних потоків в містах досягнули таких значень, при яких старі алгоритми та методи керування рухом на перехрестях незадовільно справляються з поставленими задачами. Використання інтелектуальних систем керування рухом дозволяє удосконалити характеристики наявної мережі і уникнути будівництва нових магістралей або реконструкції існуючих, що в містах часто є неможливим. Тобто вдосконалення методики світлофорного регулювання є одним з найбільш ефективних та відносно недорогих шляхів зведення до мінімуму виникнення дорожніх заторів.

Аналіз досліджень і публікацій

Найпростіший і найбільш поширений метод керування рухом на перехресті використовує заздалегідь задану тривалість циклу. Оптимальна тривалість циклу визначається за формулою Вебстера [1], яка мінімізує загальну затримку транспортних потоків заданої інтенсивності:

$$C = \frac{1,5F + 5}{1 - \max\left(\frac{q_i}{s_i}\right)}, \quad (1)$$

де C – оптимальна тривалість циклу; F – сумарний втрачений час; q_i – інтенсивність транспортного потоку кожного напрямку у фазі i ; s_i – потік насичення кожного напрямку у фазі i .

Системи з жорстким циклом неадекватні до умов руху на перехресті. Це зумовлює невинуваті затримки транспорту. Багатопрограмне жорстке керування сприяє зниженню затримок, але не є достатньо оптимальним. Параметри керування повинні враховувати як добову зміну інтенсивності руху, так і її різкі коливання. Це можливо при застосуванні адаптивного керування, коли є можливість узгоджувати фази та їх тривалість відповідно до реальних потреб всіх або деяких напрямків. В сучасних дослідженнях використовують штучні методи, такі як експертні системи, нейронні мережі та нечітка логіка.

Перші відомі спроби застосувати нечітку логіку для керування рухом зроблені *Pappis* та *Mamdani* в 1977 [2]. Було змодельоване окреме перехрестя двох вулиць з одностороннім рухом та двома смугами без поворотних потоків. Нечіткий контролер знижував затримку транспортних засобів порівняно із звичайними контролерами.

Nakatsuyama, Nagahashi та *Nishizuka* (1984) з'ясували можливість застосування нечіткого контролера на двох послідовних перехрестях магістралі. Результати нечіткого координування показують збільшення пропускну здатності на 10% порівняно із загальноприйнятими методами координування [2].

Niittymaki та *Pursula* (2000) моделювали роботу окремого перехрестя. Вони встановили, що застосування нечіткого контролера (fuzzy-контролера) призводить до зниження затримки транспортних засобів і частки зупинок, особливо при значній інтенсивності руху [3-5].

В наведених дослідженнях (розроблених моделях) за критерій ефективності роботи світлофорного об'єкта приймалась величина затримки руху транспортних засобів. Незважаючи на суттєве значення цієї характеристики, вона не є визначальною для розв'язку окремих задач транспорту. Наприклад, затримка транспортних засобів в часі не може в повній мірі бути оцінкою ступеня затору на вулично-дорожній мережі. Іншим важливим параметром роботи перехрестя, який дозволяє виконати конкретну оцінку завантаження мережі, є довжина черги транспортних засобів (максимальна та середня). Тому створення моделі роботи світлофорного об'єкта з використанням нечіткої логіки, вихідним параметром якої є довжина черги транспортних засобів, є реальною та необхідною задачею.

Формулювання задачі досліджень

Метою даної роботи є створення алгоритму роботи світлофорного об'єкта з використанням нечіткої логіки (з визначенням вихідного параметру – довжини черги транспортних засобів), розробка програмного забезпечення для реалізації цього алгоритму та його тестування.

Основна частина

Теорія нечітких множин запропонована професором *Zadeh* (1965) як математичний метод зображення нечіткості в реальному житті. Нечітка логіка, яка базується на теорії нечітких множин, запропонована в 1973 р. Нечітка логіка є математичним формулюванням людської кон-

цепції мислення. Зараз нечітка логіка застосовується до проблем, пов'язаних з контролем та прийняттям рішень.

В нечіткій логіці використовуються лінгвістичні змінні для опису роботи світлофорних об'єктів. Вона забезпечує перетворення лінгвістичної стратегії (принципів) керування, яка описується умовними операторами, в керуючий алгоритм. Мотивацією для проектування нечітких контролерів є наявність прямого зв'язку між вільним лінгвістичним виразом стратегії керування та його втіленням. Нечіткі алгоритми мають перевагу над математичними функціями для формулювання ефективної стратегії керування.

Механізм нечітких висновків, який використовується в різноманітних керуючих та експертних системах має базу знань, що формується спеціалістами певної галузі у вигляді сукупності нечітких правил типу:

- Правило 1: якщо $x \in A_1$ і $y \in B_1$, то $z \in C_1$;
- Правило 2: якщо $x \in A_2$ і $y \in B_2$, то $z \in C_2$;
- ;

Правило n: якщо $x \in A_n$ і $y \in B_n$, то $z \in C_n$.
де x, y – вхідні змінні; z – вихідна змінна; A_i, B_i, C_i – функції належності, визначені відповідно для x, y та z .

Структура нечіткої системи керування рухом є лінійним процесом із зворотнім зв'язком (рис. 1).



Рис. 1. Структура нечіткої системи керування рухом

Авторами створено нечітку модель керування рухом на регульованому перехресті, який реалізовано в середовищі MATLAB та Fuzzy Logic Toolbox. При моделюванні прийнято такі умови:

- перехрестя є ізольованим, тобто процес руху на ньому не залежить від роботи світлофорної сигналізації на суміжних перехрестях;
- тривалість перехідних сигналів 3 с;
- не враховується пішохідний рух;
- не враховується вплив складу потоку;
- розподіл інтервалів прибуття автомобілів – рівномірний (відхилення значень інтервалів в межах ± 3 с).

Для встановлення працездатності алгоритму створено модель найпростішого Т-подібного ізольованого перехрестя. Схему перехрестя та дозволені напрямки руху наведено на рис. 2.

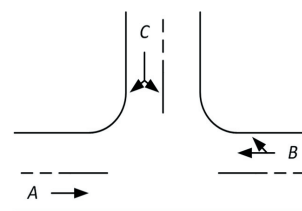


Рис. 2. Схеми перехрестя

Таблиця 1

Нечіткі правила для потоку С

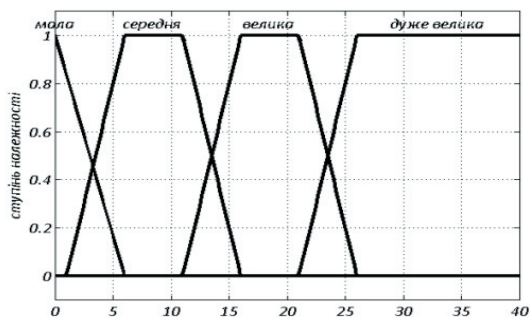
№ з/п	Довжина черги	Інтенсивність	Дозвільний сигнал
1	мала	мала	короткий
2	мала	середня	короткий
3	мала	велика	середній
4	середня	мала	короткий
5	середня	середня	середній
6	середня	велика	середній
7	велика	мала	середній
8	велика	середня	довгий
9	велика	велика	довгий
10	дуже велика	мала	довгий
11	дуже велика	середня	довгий
12	дуже велика	велика	довгий

Характерною особливістю моделі є те, що необхідна тривалість дозвільного сигналу визначається безпосередньо перед його ввімкненням.

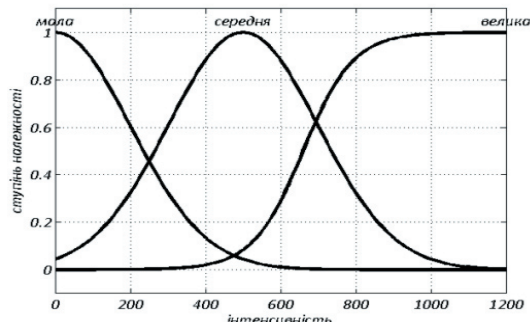
Вхідними параметрами для нечіткої системи є довжина черги на певному напрямку та інтенсивність прибуття автомобілів. Для черги введено змінні «мала», «середня», «велика», та «дуже велика», для інтенсивності – «мала», «середня» і «велика». Вихідним параметром є тривалість дозвільного сигналу. Для тривалості сигналу введено змінні «короткий», «середній» і «довгий». Вигляд і параметри функцій належності для довжини черги, інтенсивності та тривалості сигналу наведено на рис. 3 та рис. 4.

Наступним кроком є формування сукупності нечітких правил (табл. 1 для потоку С). Нечіткі правила для потоків А та В аналогічні, але рішення приймається для потоку, умови руху якого є складнішими (довша черга, більша інтенсивність).

Залежність тривалості сигналу від довжини черги та інтенсивності для потоку С є складною поверхнею (рис. 5).



а)



б)

Рис. 3. Функції належності довжини черги (а) та інтенсивності прибуття (б)

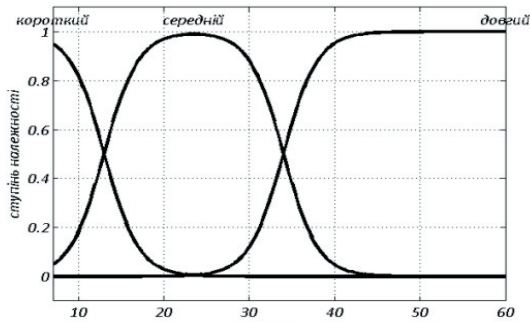


Рис. 4. Функції належності тривалості дозвільного сигналу

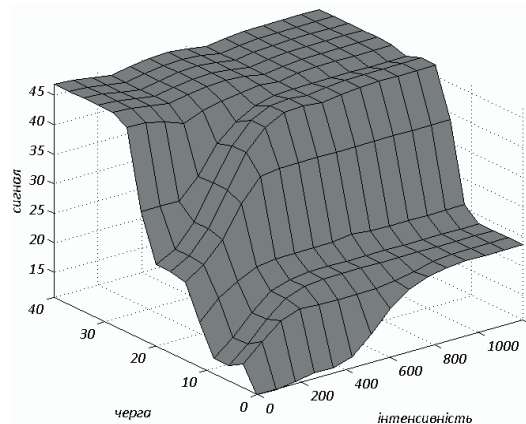


Рис. 5. Залежність тривалості сигналу від довжини черги та інтенсивності потоку

Експерименти та результати

Робота нечіткої моделі керування порівнювалась із роботою жорсткої моделі, розрахунок якої проведено за методикою, наведеною в [1]. Розглянуто 5 можливих ситуацій на перехресті:

- інтенсивність потоків незмінна (ситуація 1);
- один з потоків має різке зростання інтенсивності (ситуації 2, 3, 4);
- два потоки мають різке зростання інтенсивності (ситуація 5).

Інтенсивність потоків, які прибувають до перехрестя, наведено інтервалами по 10 хв. (табл. 2). Вихідні розраховані параметри порівнюються при застосуванні жорсткої моделі керування (класичний метод розрахунку світлофорного циклу) і при застосуванні нечіткої моделі (табл. 3).

З табл. 3 видно, що при незмінній інтенсивності прибуття автомобілів до перехрестя довжина черги (середня та максимальна) в нечіткій моделі, порівняно із жорсткою, є дещо більшою за рахунок зменшення кількості циклів на 1 годину (тобто збільшення тривалості циклу). Але при наявності в потоках нерівномірності, в т. ч. пікових значень інтенсивності, що спостерігається в реальних транспортних потоках,

система адаптується до умов руху, і за рахунок незначного збільшення черг на неінтенсивних напрямках зменшуються затримки на завантажених напрямках (тобто збільшується їх пропускна здатність).

Таблиця 2

Інтенсивність потоків на підходах до перехрестя

Ситуація	Потік А, авто/год.	Потік В, авто/год.	Потік С, авто/год.
1	700-700-700- 700-700-700	700-700-700- 700-700-700	300-300-300- 300-300-300
2	700-700-700- 700-700-700	700-700-700- 700-700-700	300-300- 500- 500-500-300
3	700-700-700- 700-700-700	700-700-700- 700-700-700	300-300- 800- 800-300-300
4	700-700- 900- 900-900-700	700-700-700- 700-700-700	300-300-300- 300-300-300
5	700-700- 900- 900-900-700	700-700-700- 700-700-700	300-300- 500- 500-500-300

Таблиця 3

Порівняння моделей керування рухом

Ситуація	Модель	Середня кількість циклів за 1 годину	Середня довжина черги, авто			Максимальна довжина черги, авто		
			А	В	С	А	В	С
1	жорстка	109	2,99	2,93	2,00	7	6	3
	нечітка	73	5,24	5,19	2,36	10	10	4
2	жорстка	109	2,97	2,97	13,92	6	6	41
	нечітка	72	5,58	5,62	3,20	11	11	6
3	жорстка	109	2,93	2,93	63,66	6	6	151
	нечітка	68	6,44	6,49	5,34	18	20	26
4	жорстка	109	8,25	2,96	1,98	38	6	3
	нечітка	67	9,52	5,26	2,75	25	9	5
5	жорстка	109	9,84	2,94	14,61	40	6	43
	нечітка	65	10,69	5,43	3,82	36	10	9

Висновки

Розроблена нечітка модель керування рухом на окремому перехресті є ефективнішою, ніж жорстка модель, яка в даний час використовується практично на всіх перехрестях. При нечіткому керуванні умови руху враховуються в режимі реального часу, що дозволяє краще задовольняти потребу в русі та покращити якість роботи перехрестя.

Практичною цінністю результатів роботи є розроблене програмне забезпечення, яке реалізує алгоритм нечіткого керування, дозволяє провести експерименти з дослідження руху транспортних засобів на ізольованому перехресті та дає можливість оцінити величину черги, а, отже, й ступінь завантаження ділянки вулично-дорожньої мережі. Принципи нечіткої логіки можуть також застосовуватись для регулювання пішохідного руху або надання пріоритету громадському транспорту.

Література

1. Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения [Текст]: учеб. для вузов / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский, М.Б. Афанасьев. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 277 с.
2. Murat Y. A. Fuzzy logic multi-phased signal control model for isolated junctions / Y. Murat, E. Gedizlioglu // Transportation research. – 2005. – Part C. Vol. 13. – P. 19–36.
3. Niittymaki J. Installation and experiences of field testing a fuzzy signal controller / J. Niittymaki // European journal of operational research. – 2001. – Vol. 131. – P. 273–281.
4. Niittymaki J. Fuzzy traffic signal control – Principles and applications. Doctoral thesis. / J. Niittymaki. // Helsinki University of Technology, Transportation Engineering. Publication 103, 2002. – P. 71.
5. Kosonen I. Multi-agent fuzzy signal control based on real-time simulation / I. Kosonen // Transportation research. – 2003. – Part C. Vol. 11. – P. 389-403.