ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАБОТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ*

Гулмет Пенаев,
Проректор по научной работе Института Инженерно-технических и транспортных коммуникаций Туркменистана, кандидат экономических наук

Ровшен Хыдыров,
Преподаватель Института Инженерно-технических и транспортных коммуникаций Туркменистана

Аннотация

Из-за нестабильности и неоднородности транспортного потока регулярное время предупреждения о дорожном движении создает определенные проблемы в движении автомобилей, а иногда приводит к перегруженности дорожной сети. В связи с этим возникает необходимость в совершенствовании системы управления светофорами с целью сокращения времени нахождения в пути при одновременном увеличении пропускной способности сети. Однако оптимизации этой системы управления в условиях нестабильности транспортных потоков способствует использование нечеткой логики.

Данная работа направлена на усовершенствование процесса работы системы управления дорожным движением на основе нечеткой логики. Модель этой системы управления была разработана на основе алгоритма Мамдани, в которой использовалась программа Matlab с Fuzzy logic Toolbox, включающая в себя необходимые компоненты. Использование нечеткого алгоритма позволит избежать задержек и пробок на перекрестке.

Ключевые слова: нечеткая модель, транспортный поток, интеллектуальная система, дорожное движение, система нечеткого вывода.

Введение

С улучшением условий жизни нашего народа увеличивается количество автомобилей на дорогах страны. В связи с увеличением количества транспортных средств возникает необходимость дальнейшего совершенствования работы в сфере обеспечения безопасности дорожного движения и регулирования транспортных потоков.

Существующие проблемы были тщательно изучены и детально проанализированы учеными в области физики и математики. Данная проблема принадлежит к группе недостаточно изученных (Гасников, Кленов, Нурминский, Холодов, Шамрай, 2010). Таким образом, различные вопросы, связанные с моделированием транспортных потоков, считаются актуальными и современными.

После изучения отдельных перекрестков дорожной системы была поставлена цель – повысить эффективность регулирования зависимости между интенсивностью движения и временем зеленого сигнала. Установленная цикличность времени загорания зеленых и красных сигналов светофора вызывает некоторые проблемы в движении автомобилей и является одной из причиной возникновения пробок в час пик. Следовательно, использование нечеткой логики

* Хыдыров Р.Б. e-mail: hyd.row@yandex.ru

может предотвратить возникновение таких ситуаций. Светофор с нечеткой логикой – это система, в которой время цикла остается постоянным (оно может варьироваться в зависимости от условий потока), но время зеленого сигнала циклически меняется в зависимости от количества транспортных средств, приближающихся к перекрестку.

Эта работа посвящена построению модели светофора с нечеткой логикой. Для решения задачи использовалась программа MATLAB (Alam, Pandey, 2014), включающая в себя расширение Fuzzy logic Toolbox, необходимое для нечеткой модели светофора*.

Особое место занимают исследовательские работы (Alam, Pandey, 2014; Castán Rocha, Ibarra Martínez, Laria Menchaca, Terán Villanueva, TreviñoBerrones, Pérez Cobos, Uribe Agundis, 2018; Chiu, 1992; Martin McNeill, Ellen Thro, 1994; Nakatsuyama., Nagahashi, Nishizuka, 1984; Niittymaki, Pursula, 2000; Pappis, Mamdani, 1977; Shruthi, Vinodha, 2012) в области систем управления светофорами. Первая попытка спроектировать нечеткий контроллер дорожного движения была предпринята в 70-х годах Папписом и Мамдани (Pappis, Mamdani, 1977). После этого Нииттимаки, Кикучи, Чуи и другие исследователи (Chiu, 1992) разработали различные алгоритмы и логические контроллеры для нормализации транспортного потока. Келси Р. и Биссет К. также разработали симулятор для управления сигналом на изолированном перекрестке с одной полосой движения. Та же работа была проделана Нииттимаки и Пурсулой (Niittymaki, Pursula, 2000). Они увидели, что нечеткий контроллер уменьшает задержку транспортного средства при интенсивном движении. Нииттимаки и Кикучи разработали алгоритм на основе нечеткой логикой для пешеходов, переходящих дорогу.

Накацуяма, Нагахаси и Нишизука (Nakatsuyama., Nagahashi, Nishizuka, 1984) применили нечеткую логику для управления двумя соседними пересечениями на магистрали с односторонним движением. Правила нечеткого управления были разработаны для определения того, следует ли продлевать или прекращать зеленый сигнал для перекрестка. Чуй был первым, кто использовал нечеткую логику для управления движением на нескольких перекрестках (Chiu, 1992). В этой попытке оценивались только улицы с двусторонним движением без учета каких-либо поворотов.

Шрути К.Р. и Винодха К. (Shruthi, Vinodha, 2012) опубликовали статью «Контроллер светофора на основе приоритета с применением беспроводных сенсорных сетей». В данном исследовании были рассмотрены два перекрестка, где особое значение уделялось использованию беспроводных детекторов для оптимизации движения машин скорой помощи. Датчики должны быть установлены достаточном на расстоянии от перекрестков для определения скорости и звуковой волны сирены кареты скорой помощи. Эти датчики взаимодействуют по беспроводным сетям с системой контроля дорожного движения на двух перекрестках, реализуя маршруты машин.

В работе (Castán Rocha, Ibarra Martínez, Laria Menchaca, Terán Villanueva, TreviñoBerrones, Pérez Cobos, Uribe Agundis, 2018) рассмотрены возможные изменения длительности зеленого сигнала светофорного объекта на изолированном перекрестке с четырьмя полосами движения с применением системы нечетких выводов. Предлагается модель Мамдани с пятью входными переменными, такими как:

1. Количество въезжающих автомобилей на каждую линию этой дороги.
2. Время зеленого света, назначенное светофору в зависимости от предыдущего фаз.
3. Дневное время в режиме реального времени.
4. Тип дороги, которой должен управлять светофор.
5. Состояние движения на момент принятия решения системы нечетких выводов.

---

* https://www.mathworks.com/products/fuzzy-logic.html

Каждая из этих входных переменных представлена трапецеидальной функцией принадлежности.

Несмотря на все исследования, проведенные по моделированию, симуляции и оптимизации транспортных потоков (Alam, Pandey, 2014; Castán Rocha, Ibarra Martínez, Laria Menchaca, Terán Villanueva, TreviñoBerrones, Pérez Cobos, Uribe Agundis, 2018; John Taplin, 1999; Richard Fujimoto, John Leonard, 2001; Tony Smaldone, 2002), большинство моделей нечеткой логики в дорожной инженерии все еще находятся в стадии разработки и могут быть использованы в обнаружении сигналов светофора (Yun-Chung Chung, Jung-Ming Wang, Sei-Wang Chen, 2002), предсказании дорожной ситуации (Heribert Kirschfink, Claire Chadenas, 1998), маршрутизации транспортных средств (Junaid, Khan, Hussein Alnuweiri, 2002), распределении дорожного движения (Henry, Liu, Xuegang Ban, Bin Ran, PituMirchandani, 2002), повышении степени полезности (Hiroaki Inokuchi, Shogo Kawakami, 2000) и демонстрации групповой модели объема дорожного движения (Mariusz Kaczmarek, 1999), но меньше используются для управления светофорами (Yetis Sazi Murat, Ergun Gedizlioglu, 2001).

Цель и метод исследования. Целью данного исследования является нахождение более оптимального решения проблемы управления транспортным потоком с использованием современных интеллектуальных технологий. Решение предусматривает все возможные показатели, влияющие на пропускную способность регулируемых перекрестков. Для метода разработки адаптивных систем управления для светофора крестообразного перекрестка использовался инструмент нечеткой логики, доступный в MATLAB, и нечеткая модель по алгоритму Мамдани, применяемая для исследованья эффективности контроллера светофора на основе различных характеристики трафика, таких как время ожидания, плотность и т.д. В ходе исследования были изучены научные публикации зарубежных авторов, а также функциональность программного обеспечения.

Нечеткая система управления. По алгоритму Мамдани предварительно необходимо определить входные и выходные лингвистические переменные для формирования базы правил систем нечеткого вывода (Леоненков, 2005). Поскольку эффективность светофора зависит от количества автомобилей на двух улицах и времени зеленого света за цикл, мы получаем три входных и одну выходную лингвистические переменные для модели управления светофора с нечеткой логикой, в которой: время зелёного света β_1 – «время зеленого сигнала»; число машин на северной улице по окончанию очередного цикла β_2 – «количество машин на северной улице»; число машин на восточной улице по окончанию очередного цикла β_3 – «количество машин на восточной улице» и переменная времени зеленого света нечеткого светофора β_4 – «переменное время зеленого света».

В качестве терм-множества первой входных лингвистических переменных будем использовать множество T_1 = {«маленький», «средний», «большой»}; терм-множества второй и третий входных лингвистических переменных будем использовать множество T_2 ={«очень маленький», «маленький», «средний», «большой», «очень большой»}; T_3 ={«очень маленький», «маленький», «средний», «большой», «очень большой»}. В качестве терм-множества выходных лингвистических переменных будем использовать множество T_4 = {«уменьшить», «не изменить», «увеличить»}.

В зависимости от терм-множества входных и выходных лингвистических переменных определены 75 баз правил нечеткого систем нечеткого вывода для системы управления светофора. В качестве примеров были приведены пять правил*:

1. If (β_1 is большой) and (β_2 is очень маленький) and (β_3 is большой) then (β_4 is уменьшить);

* https://fuzzymodel.wordpress.com/светофор/

2. If (β_1 is большой) and (β_2 is маленький) and (β_3 is большой) then (β_4 is уменьшить);
3. If (β_1 is большой) and (β_2 is очень маленький) and (β_3 is большой) then (β_4 is уменьшить);
4. If (β_1 is средний) and (β_2 is больше) and (β_3 is больше) then (β_4 is не изменять);
5. If (β_1 is маленький) and (β_2 is больше) and (β_3 is маленький) then (β_4 is увеличить).

Величины переменных – β_1 (*Рисунок 1*): маленький – [0 0 20 25], (10-25 сек); средний – [20 25 35 40], (20-40 сек); большой – [35 40 50 50], (35-50 сек).

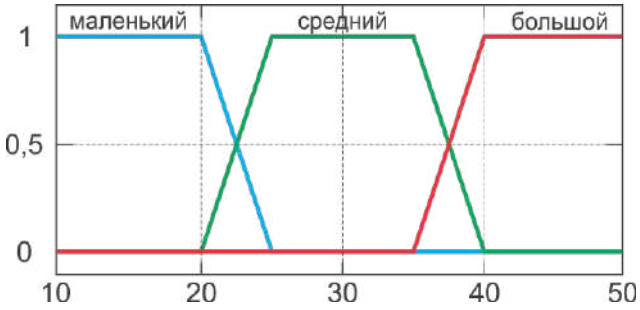

Рисунок 1. Функция принадлежности первой входной переменной

Степень принадлежности величин термов определяется функциями принадлежности, соответствующие функция первой входной лингвистический переменный имеют форму трапеции и в общем случае может быть задана аналитически следующим выражением (Леоненков, 2005):

$$f\left(x;a,b,c,d\right)=\left\{\begin{matrix} 0, & x\le a \\ \dfrac{x-a}{b-a}, & a\le x\le b \\ 1, & b\le x\le c \\ \dfrac{d-x}{d-c}, & c\le x\le d \\ 0, & d\le x \end{matrix}\right\}. \qquad (1)$$

Здесь a, b, c, d – произвольные значения и упорядоченные отношением a≤b≤c≤d.

Следовательно, остальные две β_2 и β_3 величины переменных (*Рисунок 2*): очень маленький - [0 0 10 20], (0-20); маленький – [10 20 30 40], (10-40); средний – [30 40 50 60], (30-60); большой - [50 60 70 80], (50-80); очень большой – [70 80 90 90], (70-90).

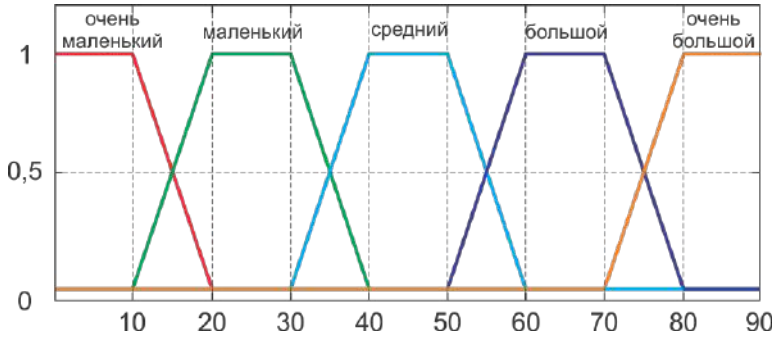

Рисунок 2. Функция принадлежности второй и третьей входных переменных

Здесь функции принадлежности второй и третьей входных лингвистических переменных имеют форму трапеции и аналитически выражаются формулой (1).

Суть работы светофора заключается в изменении времени зеленого сигнала, берем величину этого изменения как выходной параметр и условия для этого случая (*Рисунок 3*) (Вентцель, 1969): уменьшить – [8,5 – 20], (– 20-0 сек); не изменить – [8,5 0], (–15-15 сек); увеличить – [8,5 20], (0-20 сек).

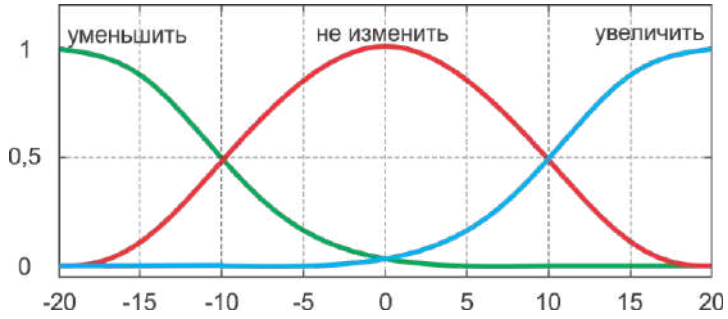

Рисунок 3. Функция принадлежности выходной переменной

Функции принадлежности являются Гауссова и аналитически выражаются как (Леоненков, 2005):

$$f(x;\sigma,c)=e^{\frac{-(x-c)^2}{2\sigma^2}}. \tag{2}$$

Здесь σ и c – числовые параметры

После выполнения базы правил и фаззификации системы нечеткого вывода по алгоритму Мамдани, программа выполняет следующие шаги в следующей последовательности (Леоненков, 2005).

Активизации в системах нечеткого вывода выполняется по следующей формуле:

$$\mu'(y)=\min\{c_i,\mu(y)\}. \tag{3}$$

Где μ(y) – функция принадлежности терма.

Аккумуляция или аккумулирование в системах нечеткого вывода определяется по следующей формуле:

$$\mu_D(x)=\max\{\mu_A(x),\mu_B(x)\}. \tag{4}$$

Здесь $\mu_A(x)$ и $\mu_B(x)$ функция принадлежности множества A и B.

Дефаззификацию выходных переменных выполняется следующими тремя способами (Леоненков, 2005):

По методу центра тяжести:

$$y=\frac{\int_{Min}^{Max} x\mu(x)\,dx}{\int_{Min}^{Max}\mu(x)\,dx}. \tag{5}$$

где y – результат дефаззификации; x – переменная, соответствующая выходной лингвистической переменной ω; μ(x) – функция принадлежности нечеткого множества.

Метод центра тяжести для одноточечных множеств:

$$y=\frac{\sum_{i=1}^{n} x_i\mu(x_i)}{\sum_{i=1}^{n}\mu(x_i)}. \tag{6}$$

где n – число одноточечных нечетких множеств.

Метод центра площади:

$$\int_{Min}^{u} \mu(x)\,dx = \int_{u}^{Max} \mu(x)\,dx. \qquad (7)$$

Дефаззификации это конец алгоритма.

В качестве примера (*Рисунок 4*) входные лингвистические переменные контроллера сигналов нечеткой логики: $\beta_1 = 40$ – время предупреждения зеленого цвета; $\beta_2 = 30$ – количество автомобилей на северной улице; $\beta_3 = 80$ – количеству автомобилей на восточной улице на основе этих переменных на рис. 4 представлены результаты расчетов по. В этом случае нечетким вывод будет $\beta_4 = -13{,}3$ с, тогда время сигнала зеленого цвета предупреждения составит 26,7 с.

Принцип работы светофора с нечеткой логикой: светофор собирает информацию о количестве автомобилей с помощью датчиков на северной и южной улицах. Он преобразует данные в нечеткий вид по заданным функциями принадлежности, а затем обрабатывает их в программе, полученное значение изменения времени зеленого сигнала дефаззифицируются (переводят в четкую форму) и отправляются в регулятор сигналов светофора. В соответствии с этим сигналом время зеленого сигнала в следующем цикле будет другим.

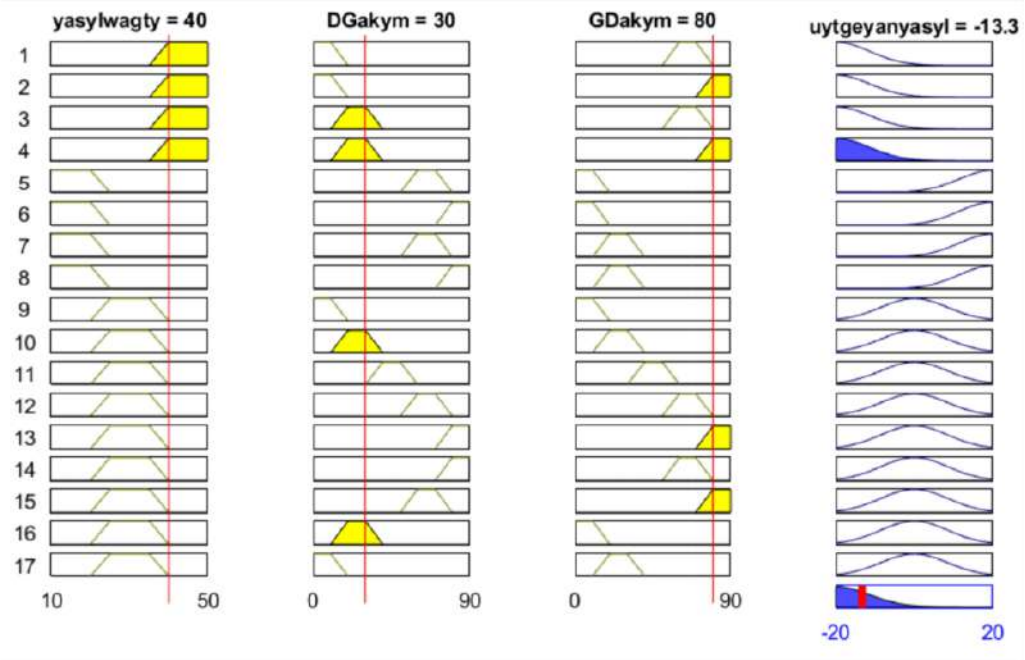

Рисунок 4. Программа правил в графическом интерфейсе после выполнения работы нечеткой модели

Результат. В зависимости от времени зеленого сигнала, количества транспорта на северной и восточной улицах и в зависимости от переменного времени зеленого сигнала (это правило увеличится в зависимости от сложности перекрестка и интенсивности транспортного потока или может быть уменьшено) определились 75 баз правил нечеткого вывода и разработана нечеткая модель светофора по алгоритму Мамдани.

Некоторым автомобилям удается проехать во время зеленого сигнала, а остальные ожидают на перекресткедо окончания красного сигнала. После одного цикла все автомобили, находящиеся в начале очереди, считаются не обслужанными. Это является показателем эффективности системы и представляет собой среднее количество не обслуживаемых транспортных средств за заданное количество циклов. Таким образом, был выбран автоматизированный метод нечеткой логики снижения эффективности системы и регулирования транспортных потоков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Alam J., Pandey M. K. «Development of intelligent traffic light system based oncongestion estimation using fuzzy logic» IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE) e-ISSN: 2278-0661, p- ISSN: 2278-8727Volume 16, Issue 3, Ver. VI (May-Jun. 2014), PP 36-44.
2. Castán Rocha, J.A., Ibarra Martínez S., Laria Menchaca J., Terán Villanueva, J.D., TreviñoBerrones, M.G., Pérez Cobos, J. and Uribe Agundis, D. (2018) Fuzzy Rules to Improve Traffic Light Decisions in Urban Roads. Journal of Intelligent Learning Systems and Applications, 10, 36-45.
3. Chiu S. «Adaptive Traffic Signal Control Using Fuzzy Logic». Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 1992, pp.98-107.
4. Henry X. Liu, Xuegang Ban, Bin Ran, and PituMirchandani, A Formulation and Solution Algorithm for a Fuzzy Dynamic Traffic Assignment Model, Institute of Transportation Studies, University of California, Irvine, U.S.A, 2002.
5. Heribert Kirschfink, and Claire Chadenas, Traffic Situation Prediction Applying Pattern Matching and Fuzzy Classification, Germany, 1998.
6. Hiroaki Inokuchi, and Shogo Kawakami, Development of the Fuzzy Traffic Assignment Model, Kanasai University, 2000.
7. John Taplin, Simulation Models of Traffic Flow, Department of Information Management and Marketing, University of Western Australia, 1999.
8. Junaid A. Khan, and Hussein Alnuweiri, A Traffic Engineered Routing Algorithm Based on Fuzzy Logic, Department of Electrical and Computer Engineering, University of BC, Vancouver, Canada, 2002.
9. Mariusz Kaczmarek, Fuzzy Group Model of Traffic Flow, Institute of Computing Science, Poznań University of Technology, 1999.
10. Martin McNeill F., Ellen Thro. Fuzzy Logic. A Practical Approach Boston: Academic Press, 1994.
11. Nakatsuyama M., Nagahashi H., and Nishizuka N. «Fuzzy Logic Phase Controller for Traffic Junctions in the One-Way ArterialRoad». Proceedings of the IFAC Ninth Triennial World Congress, 1984, pp. 2865-2870.
12. Niittymaki J., and Pursula M. «Signal Control Using Fuzzy Logic. Fuzzy Sets and Systems», Vol. 116, 2000, pp. 11-22.
13. Pappis C.P., and E. H. Mamdani. «A Fuzzy Logic Controller for a Traffic Junction». IEEE Transactions on Systems, Man, andCybernetics, Vol. SMC-7, No. 10, October 1977, pp. 707-717.
14. Richard Fujimoto, and John Leonard, Grand Challenges in Modeling and Simulating Urban Transportation Systems, Georgia Institute of Technology, 2001.
15. Shruthi K.R. and Vinodha K. «Priority based traffic lights controller using wireless sensor networks» International Journal ofElectronics Signals and Systems (IJESS) ISSN: 2231- 5969, Vol-1 Iss-4, 2012 PP 58-61.
16. Tony Smaldone, Traffic Light Simulation: A Study into how Long it Takes Vehicles Stopped at a Red Light to go and to Cross the Light After it Turns Green, Rutgers University, 2001.
17. Yetis Sazi Murat, and Ergun Gedizlioglu, A New Approach for Fuzzy Traffic Signal Control, PamukkaleUniversit& Istanbul Technical University, Turkey, 2001.
18. Yun-Chung Chung, Jung-Ming Wang, and Sei-Wang Chen, A Vision-based Traffic Light Detection System at Intersections, Journal of Taiwan National University: Mathematics, Science & Technology, Vol. 47, No. 1, 2002, 67-86.
19. Вентцель Е.С. Теория вероятностей – М.: 1969.
20. Гасников А.В., Кленов С.Л., Нурминский Е.А., Холодов Я.А., Шамрай Н.Б Введение в математическое моделирование транспортных потоков: учеб. Пособие – М.: МФТИ, 2010.
21. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ Петербург, 2005.
22. https://fuzzymodel.wordpress.com/светофор/
23. https://www.mathworks.com/products/fuzzy-logic.html