

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКОМ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ АППАРАТА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

С.Ю. Брегеда, В.Л. Бурковский, О.Н. Чопоров

Рассматриваются вопросы использования аппарата нечеткой логики для формирования системы управления потоком транспорта в условиях простого перекрестка с адаптивной светофорной сигнализацией. Предлагается набор лингвистических переменных, позволяющих учесть характер дорожного движения и его параметры; алгоритмы вывода и уточнения набора правил и алгоритм управления на основе нечеткой логики

Ключевые слова: нечеткая логика, дорожное движение, светофорная сигнализация

В последние годы наблюдается значительное увеличение транспортных средств, и, как следствие, неконтролируемое увеличение плотности транспортных потоков на улицах городов [1]. В связи с этим большое значение приобретает задача сокращения простоя машин в автомобильных пробках. Очевидно, что без расширения и модернизации улично-дорожной сети организация полноценного дорожного движения со временем становится невозможной. Это требует подключения для решения данной проблемы современных методов управления потоками транспорта, обеспечивающих высокий уровень эффективности функционирования городских автомобильных магистралей [2].

Как правило, большинство простоев транспорта происходит в пробках перед перекрестками или в результате дорожно-транспортных происшествий. При этом частота возникновения ДТП существенно ниже по сравнению с частотой переключения сигналов светофоров. В этой связи наиболее приемлемым представляется разработка и совершенствование систем управления транспортными потоками, обеспечивающих наилучшее распределение потоков транспорта [3].

В настоящее время для управления транспортными потоками используются автоматические светофоры с фиксированными интервалами сигналов, работающие в нескольких режимах [4], однако этот метод при своей простоте не обеспечивает требуемого качества управления в условиях широкого диапазона изменения интенсивности движения транспорта.

Для реализации системы управления потоком транспортных средств в условиях простого перекрестка на основе нечеткой логики предлагается сле-

дующий подход: управление потоком транспортных средств осуществляется путем изменения длительности сигналов светофора. При этом предлагается полное время цикла оставить постоянным, осуществляя управление потоком транспорта путем изменения соотношения длительности красного и зеленого сигналов светофора. Предлагается рассматривать поток транспортных средств на встречных направлениях как единый поток, осуществляя управление для пересекающихся потоков транспорта на различных направлениях.

Для системы управления потоком транспорта в условиях простого перекрестка на основе нечеткой логики предлагается структура, приведенная на рис. 1.

Указанные блоки предназначены для решения соответствующих задач:

- 1) блок начальной инициализации – предназначен для задания начальных параметров управления: характеристик дорожного полотна, интенсивности дорожного движения, параметров лингвистических переменных, длительности цикла светофора;
- 2) блок нечеткой логики – включает в себя механизмы фаззификации, дефаззификации, и принятия решения.
- 3) база лингвистических переменных – содержит набор лингвистических переменных и их функции принадлежности;
- 4) база правил – содержит правила, на основе которых принимается решение об управляющем воздействии;
- 5) блок визуализации – позволяет в наглядной форме отобразить текущее состояние дорожного движения на перекрестке;

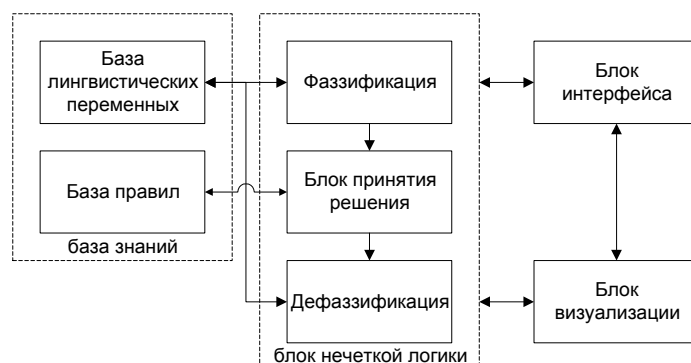


Рис. 1. Структура системы управления потоком транспорта для случая простого перекрестка

Брегеда Сергей Юрьевич – ВГТУ, соискатель,
тел. (4732) 43-77-20

Бурковский Виктор Леонидович – ВГТУ, д-р техн. наук, профессор,
тел. (4732) 43-77-20

Чопоров Олег Николаевич – ВГТУ, д-р техн. наук, профессор,
тел. (4732) 43-77-03

6) интерфейс пользователя обеспечивает взаимодействие системы управления потоком транспорта и пользователя, с его помощью пользователь имеет возможность в наглядной форме наблюдать процесс управления потоком транспорта, и при необходимости вносить изменения в параметры системы управления потоком транспорта.

Традиционный подход к проектированию систем управления на основе нечеткой логики предусматривает формирование и уточнение набора лингвистических переменных в процессе разработки системы управления. Приведенные особенности структуры системы управления потоком транспорта в условиях простого перекрестка позволяют реализовать процесс управления с возможностью модификации используемого набора лингвистических переменных непосредственно в процессе управления.

В отдельных компонентах системы специфика задачи предлагается учитывать следующим образом:

1. База правил содержит механизм формирования новых правил «по умолчанию» при модификации базы лингвистических переменных – данный механизм обеспечивает существование корректного набора правил при изменениях в базе лингвистических переменных.

2. База лингвистических переменных содержит механизмы для формирования и модификации лингвистических переменных и их функций

принадлежности непосредственно во время работы системы, в отличие от традиционных систем на основе НЛ, где эти механизмы используются только на этапе разработки.

Лингвистические переменные формируются на основе предположений о характере дорожного движения и его параметрах. Входными лингвистическими переменными, значения которых определяются ситуацией на дороге, предлагаются следующие:

1) CarsUp - количество машин перед светофором на направлении «Север-Юг»;

2) CarsRight - количество машин перед светофором на направлении «Запад-Восток»;

3) LightLen - длительность зеленого сигнала светофора на направлении «Север-Юг».

Выходной лингвистической переменной, выступающей в качестве параметра управления, является DeltaLight, отражающая изменение длительности зеленого сигнала светофора.

Для лингвистических переменных CarsRight, CarsUp количество машин на каждом направлении описывается одинаковым набором термов: ноль, мало, средне, много:

- CarsUp {Zero, Small, Medium, Large};

- CarsRight {Zero, Small, Medium, Large}.

Для описания одного термина лингвистической переменной в виде, пригодном для практической реализации, предлагается структура данных, приведенная в табл. 1.

Таблица 1

Структура данных для описания термина лингвистической переменной

Поле	Тип	Возможные значения
MfType	Перечислимый	mfSingleton, mfTriangle, mfTrapezy, mfZType, mfSType
Name	Строка	значение термина
LeftBottom	Вещественный	левая нижняя граница функции принадлежности
LeftTop	Вещественный	левая верхняя граница функции принадлежности
RightTop	Вещественный	правая верхняя граница функции принадлежности
RightBottom	Вещественный	правая нижняя граница функции принадлежности

Для каждого типа лингвистической переменной указываются свои значения границ:

1) для типа mfSingleton – все 4 значения равны абсциссе синглтона;

2) для типа mfTriangle – значения LeftBottom и RightBottom равны абсциссе левой и правой сторон основания треугольника, а значения LeftTop и RightTop – значению абсциссы вершины треугольника;

3) для типа mfTrapezy – значения LeftBottom и RightBottom соответствуют левой и правой границам нижнего основания, а LeftTop и RightTop – границам верхнего основания;

4) для типа mfZType – значения LeftBottom и RightBottom роли не играют, значение LeftTop соответствует левой границе перехода, значение RightTop соответствует правой границе перехода;

5) для типа mfSType – значения LeftBottom и RightBottom роли не играют, значение LeftTop соответствует левой границе перехода, значение RightTop соответствует правой границе перехода.

Предложенная структура данных для описания

одного термина лингвистической переменной для системы управления потоком транспортных средств в условиях простого перекрестка позволяет производить изменение параметров функций принадлежности любого термина каждой лингвистической переменной непосредственно в процессе управления.

Пример описания каждой возможной функции принадлежности с использованием предложенных параметров приведен на рис. 2.

Выбор параметров функций принадлежности обуславливается реальными характеристиками перекрестка – шириной дороги, интенсивностью дорожного движения – и в общем случае эти параметры являются уникальными для каждого перекрестка. Один из предлагаемых наборов лингвистических переменных для некоторого перекрестка приведен на рис. 3.

Аналогично предлагается набор первичных значений для функций принадлежности лингвистической переменной LightLen:

LightLen ({Small, Medium, Large}.

Соответствующие функции принадлежности приведены на рис. 4.

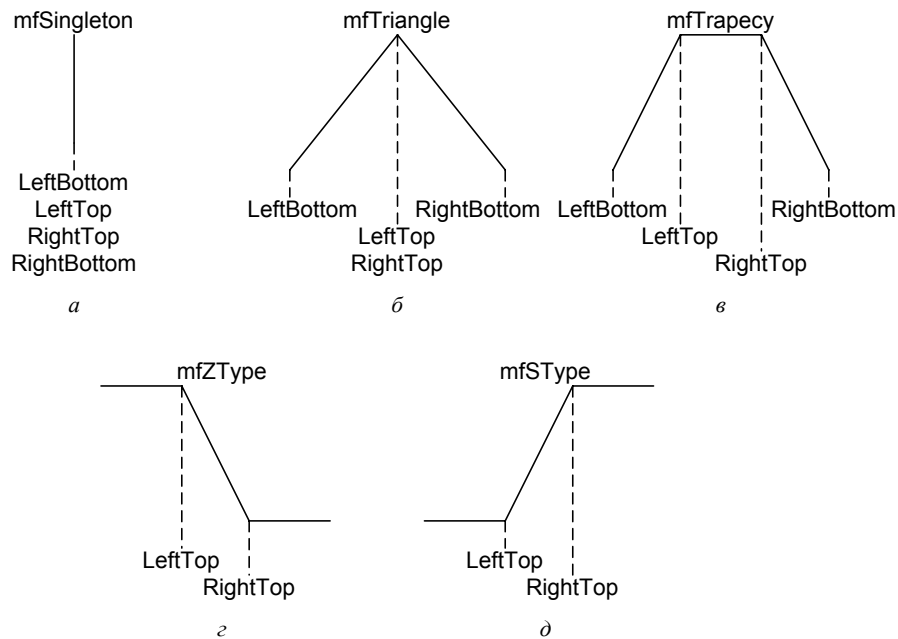


Рис. 2. Схема использования параметров для описания различных функций принадлежности

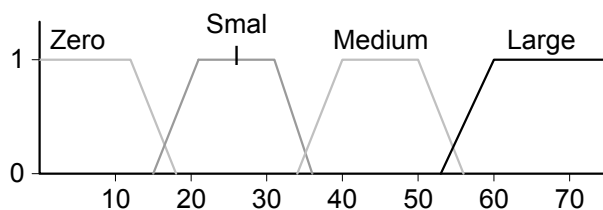


Рис. 3. Пример функций принадлежности для термов лингвистической переменной CarsRight, CarsUp

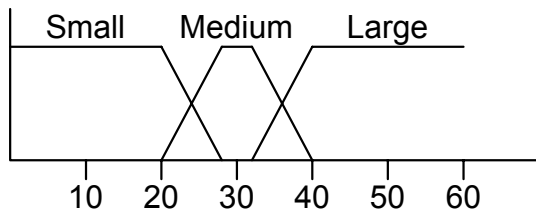


Рис. 4. Пример функций принадлежности для термов лингвистической переменной LightLen

Для выходной лингвистической переменной *DeltaLight* необходимы значения термов разных знаков для увеличения или уменьшения длительности сигнала. Для этого предлагается следующий набор из трех термов:

Для рассматриваемой задачи управления транспортными потоками правила должны учитывать:

- 1) принятый порядок управления потоком транспортных средств;
- 2) существующие ограничения на изменения в управлении (низкая скорость расширения и модификации дорожной сети);
- 3) инертность транспортных средств – невозможность мгновенного реагирования транспортных средств на управляющие воздействия.

DeltaLight ({Negative, Zero, Positive}).

Соответствующие функции принадлежности приведены на рис. 5.

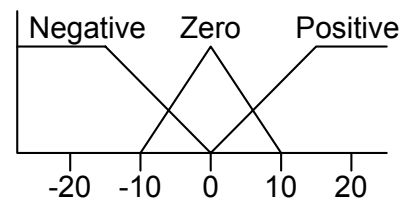


Рис. 5. Пример функций принадлежности для термов лингвистической переменной DeltaLight

Для описания одного правила предлагается структура данных, приведенная в табл. 2.

Так как набор правил должен быть полным и непротиворечивым, то необходимо реализовать механизм формирования новых правил при изменении используемого набора лингвистических переменных. Этот механизм предлагается реализовать следующим образом:

1. При изменении набора лингвистических переменных весь набор правил переопределяется.
2. Переопределение одного правила осуществляется так: берутся четкие значения переменных *CarsRight* и *CarsUp*, сравниваются, и изменение длительности принимается таким, чтобы в результате большее значение уменьшилось. Если длительность сигнала при этом уже соответствует вышеприведенному правилу, то изменение длительности принимается нулевым. Данный алгоритм приведен на рис. 6.

Так как набор лингвистических переменных, описывающий ситуацию на перекрестке, может быть произвольным, то набор правил должен быть максимально полным для принятия решения в произвольной ситуации. Соответственно общее число правил должно соответствовать числу всех возможных комбинаций входных лингвистических переменных. Для принятого набора лингвистических переменных число правил равно: $4 \cdot 4 \cdot 3 = 48$.

Структура данных для описания правила

Поле данных	Тип	Описание	Возможные значения
Код	Целое	Код правила	0-65536
Машин сверху	Лингв.	Значение лингв. переменной CarsUp	Zero, Small, Medium, Large
Машин справа	Лингв.	Значение лингв. переменной CarsRight	Zero, Small, Medium, Large
Длительность цикла	Лингв.	Значение лингв. переменной LightLen	Small, Medium, Large
Изменение длительности	Лингв.	Результат применения правила – значение лингв. переменной DeltaLight	Negative, Zero, Positive

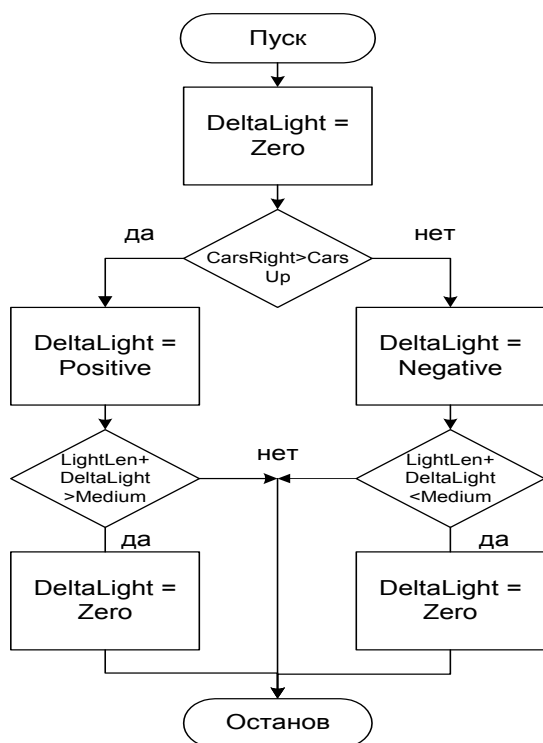


Рис. 6. Алгоритм вывода правила на основе значений входных переменных

Если обозначить значения выходной переменной DeltaLight {Positive, Zero, Negative} буквами {P, Z, N}, то набор правил можно представить в виде таблицы (табл. 3).

Таблица 3

Возможный набор правил для предложенного набора лингвистических переменных

	Zero	Small	Medium	Large
Zero	P, Z, N	P, P, Z	P, P, Z	P, P, Z
Small	Z, N, N	P, Z, N	P, P, Z	P, P, Z
Medium	Z, N, N	Z, N, N	P, Z, N	P, P, Z
Large	Z, N, N	Z, N, N	Z, N, N	P, Z, N

В каждой ячейке таблицы приведены значения лингвистической переменной DeltaLight для всех значений лингвистической переменной LightLen.

База знаний включает в себя базу лингвистических переменных и базу правил. База лингвистических переменных содержит описание каждой используемой переменной, значения термов и описание функций принадлежности каждого терма.

Формирование базы правил осуществляется в два этапа: на первом этапе формируется первичный набор правил управления, на втором этапе этот на-

бор уточняется и модифицируется для обеспечения наибольшей эффективности управления.

На каждом этапе может возникнуть необходимость уточнения и/или изменения используемого набора лингвистических переменных. В этом случае выполняется уточнение набора лингвистических переменных, после чего проводится повторное формирование базы правил. Алгоритм уточнения набора правил приведен на рис. 7.

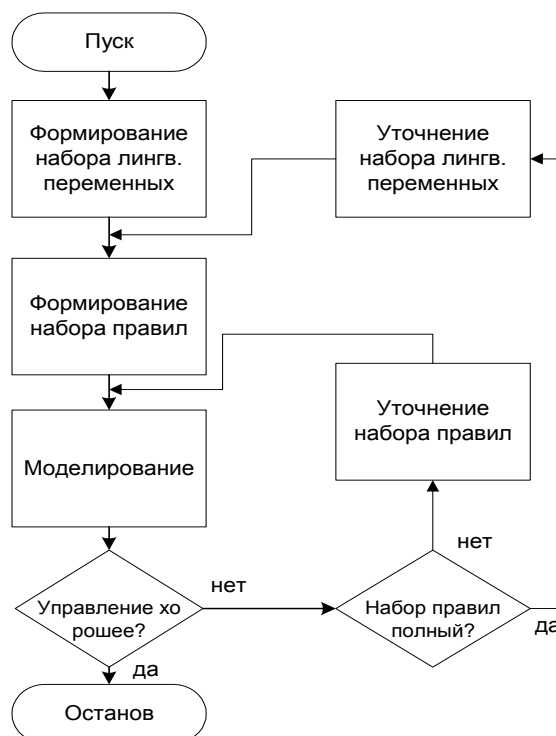


Рис. 7. Алгоритм уточнения набора правил и набора лингвистических переменных

Этот случай является частным, но он позволяет разработать подход для других случаев, являющихся более сложными:

- 1) сложная конфигурация перекрестка, включающая пересечение нескольких дорог;
- 2) движение потока транспорта в различных направлениях с различной интенсивностью;
- 3) система взаимосвязанных перекрестков, и возникающая в связи с этим задача координации управления на различных перекрестках.

База лингвистических переменных и база правил позволяют реализовать алгоритмы управления потоком транспортных средств в условиях простого перекрестка на основе алгоритмов нечеткой логики.

В условиях рассматриваемой постановки задачи алгоритм управления имеет вид, представленный на рис. 8.



Рис. 8. Алгоритм управления на основе нечеткой логики

Предложенный алгоритм позволяет обеспечить управление потоком транспортных средств в условиях простого перекрестка.

Процесс управления потоком транспортных средств на основе нечеткой логики разделен на шаги, соответствующие одному циклу работы светофора. Один шаг моделирования включает в себя следующие этапы:

- 1) определение четких значений входных переменных;
- 2) фаззификация значений входных переменных;
- 3) выработка решения;
- 4) дефаззификация значений выходных переменных;
- 5) реализация управляющих воздействий - изменение длительности сигналов светофора;
- 6) обновление данных.

Каждый этап предназначен для решения соответствующей задачи:

1. Определение значений входных переменных – определение количества машин на различных направлениях движения, а также длительности сигнала светофора, сбор информации о состоянии системы управления. Кроме того, на данном этапе можно ввести в систему управления информацию о различных возмущающих факторах, например, о проводимых дорожных работах, о произошедших ДТП и других событиях, влияющих на

дорожное движение.

2. Фаззификация значений входных переменных – переход от четких значений к лингвистическим переменным. Для выбранной формы функций принадлежности операция фаззификации сводится к нескольким операциям умножения и деления.

3. Выработка решения – на основе лингвистических переменных и их функций принадлежности.

4. Дефаззификация значений выходных переменных – переход от лингвистических переменных к четким значениям. В данной работе применяется подход, основанный на использовании метода центра тяжести. Данный метод был выбран ввиду его хорошей точности результатов. Так как в данном случае используются только треугольные и трапециевидные функции принадлежности, то вычислительные затраты, связанные с использованием данного метода дефаззификации, являются незначительными и не оказывающими заметного влияния на быстродействие системы. При использовании других функций принадлежности может возникнуть необходимость использования других методов дефаззификации.

5. Обновление данных – изменение числа машин перед перекрестком в соответствии с длительностью сигналов светофора; определение числа машин, подошедших к перекрестку.

Предложенный подход позволяет реализовать систему управления потоком транспорта, направленную на снижение времени простоя на перекрестках, уменьшения очередей транспортных средств, уменьшения количества пробок, повышения скорости передвижения, и как следствие, улучшения экологической обстановки.

Литература

1. Сорокин А.В., Бурковский В.Л., Брегеда С.Ю. Двухуровневая модель системы управления транспортными потоками // Труды Всероссийской конференции «Новые технологии в научных исследованиях, проектировании, управлении, производстве НТ-2008». Воронеж, 2008. С. 22-25.
2. Семенов В.В. Математическое моделирование динамики транспортных потоков мегаполиса // М.: ИПМ им. М.В.Келдыша РАН, 2004. 231 с.
3. Рыков С.А., Бурковский В.Л., Сорокин А.В., Семьнин С.В. Статистическая модель формирования очередей на перекрестках со светофорным регулированием // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2008. Т.4. № 2. С. 130-135.
4. Иносэ Х., Хамада Т. Управление дорожным движением. Под ред. Блинкина: Пер. с англ. М.: Транспорт, 1983. – 248 с.

Воронежский государственный технический университет

TRAFFIC CURRENT CONTROL SYSTEM ON THE BASIS OF THE FUZZY LOGIC DEVICE

S.J. Bregeda, V.L. Burkovsky, O.N. Choporov

The authors examine the questions of use of the fuzzy logic device for the forming of a traffic current control system in conditions of a simple crossroads with adaptive light signal system. The authors offer the set of the linguistic variables, allowing to take into account character of a traffic and its parameters; the output algorithms, the rule set specification algorithms and fuzzy logic management algorithm

Key words: fuzzy logic, traffic, light signal system