

ОПТИМИЗАЦИЯ И КООРДИНАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ СВЕТОФОРАМИ

Шуть В.Н., Войцехович О.Ю., Анфилец С.В.

УО «Брестский государственный технический университет», г. Брест

1. Автоматизированные системы управления дорожным движением (АСУДД).

С точки зрения системного подхода, все методы управления дорожным движением можно разделить на методы, действующие в реальном времени (on-line методы) и вне его (off-line методы).

К первой группе относятся ручное регулирование на перекрестке, а также алгоритмы автоматизированного управления, основанные на получении информации от датчиков транспортных потоков. Такие алгоритмы широко применяются в используемых за рубежом АСУДД.

Ко второй группе относятся практически все методы принудительного распределения транспортных потоков, реализуемые посредством дорожных знаков и дорожной разметки. Сюда же следует отнести и светофорную сигнализацию с неизменными в суточном цикле параметрами регулирования.

Каждую АСУДД относят к одному из четырех поколений.

I поколение. Расчет управляющих параметров и ввод их в АСУДД выполняются вручную.

II поколение. Расчет управляющих параметров автоматизирован, ввод их в АСУДД выполняются вручную.

III поколение. Расчет управляющих параметров и ввод их в АСУДД автоматизированы. Управление прогнозируется.

IV поколение. Управление в реальном времени.

АСУДД, установленные в большинстве городов Беларуси, относятся к 1-му поколению. Была поставлена задача перевести уже существующую АСУДД в г. Бресте из 1-го поколения во 2-е.

2. Параметры для оптимизации. Существенные параметры работы сигнализированного перекрестка - или сети перекрестков - время цикла, зеленый раскол и смещение, связанное с общим циклом времени.

Количество последовательного времени зеленого сигнала, которое может быть распределено по фазам перекрестков, зависит от времени цикла. Уменьшение задержек транспортных средств ведет к короткой длине цикла, в то время как уменьшение остановок означает продолжительную длину цикла.

Время цикла перекрестка также влияет на безопасность сети т.к.:

1) если красный свет горит слишком долго, некоторые автомобилисты могут начать игнорировать сигналы;

2) слишком частый цикл сигналов увеличивает риск столкновений.

Зеленый раскол - это отношение времени зеленого света к времени цикла для фаз перекрестка. Зависит от ожидаемого количества транспорта от каждой дороги, смежной с перекрестком.

Смещение позволяет создать зеленые волны для перемещения автотранспорта от одного перекрестка к другому в конкретном темпе. Параметр уместен при оптимизации сигнала для главных дорог.

Почти все методы оптимизируют некоторые или все эти три параметра. Реже оптимизируется такой параметр, как фазовая последовательность, то есть порядок красных и зеленых сигналов в цикле. Это главным образом уместно при предоставлении приоритетов некоторым видам транспорта, например, общественному транспорту.

3. Зеленая волна. Один из способов уменьшить количество остановок в транспортном потоке – организовать переключение сигналов так, чтобы наименьшим образом препятствовать транспортному потоку.

Зеленая волна – это специально созданное явление, в котором последовательность светофоров (3 или более) скоординирована так, что позволяют транспортному потоку двигаться непрерывно через некоторое число перекрестков в главном направлении.

При умеренной интенсивности движения и относительно небольших расстояниях между перекрестками (~500 метров) образуется групповая форма движения, обусловленная чередованием фаз светофорной сигнализации. Т.о. координированное управление формирует случайно возникающие группы ТС в динамически однородные группы автомобилей (пачки). Перекрестки становятся взаимозависимыми по управлению. Возникает необходимость в координации сигналов путем использования периодического, группового характера транспортного потока. Это увеличивает пропускную способность дорог, уменьшает шум и затраты энергии.

В некоторых случаях зеленые волны могут взаимодействовать друг с другом, но это повышает их сложность и ведет к нестабильности, поэтому только дороги и направления с наиболее интенсивным движением получают такую привилегию.

Зеленые волны в обоих направлениях могут быть созданы с помощью рекомендации различных скоростей для каждого направления, иначе транспорт, подходящий к перекрестку с одного направления, может достичь светофора быстрее, чем транспорт с другого направления, если расстояние от предыдущего светофора не равно в обоих направлениях.

4. Методы регулирования светофоров для автономных систем. Методы регулирования светофоров для систем с фиксированным временем глобально делятся на два класса.

Первый и исторически более старый состоит из методов, которые максимизируют полосу пропускания и продвижение вперед. (Полоса пропускания – это временной промежуток, когда водитель в транспортном потоке может проехать два или более светофора, но без остановок). Вторая группа содержит методы, которые стремятся минимизировать задержку или другие негативные показатели.

В данной работе предпочтение отдано методам с поиском максимальной полосы пропускания. Такие методы используют относительно маленькую входную информацию, основными требованиями являются указания уличной геометрии, скорости движения и зеленых расколов, являются надежными в эксплуатации.

5. Алгоритм решения задачи координации светофоров. Вывод оптимальной функции координации происходит с помощью рисунка 1. Разница во времени от точки (А) до (В) выражается двумя различными путями: сначала используя переменные, определенные с помощью величин выходящего потока, затем используя величины входящего потока.

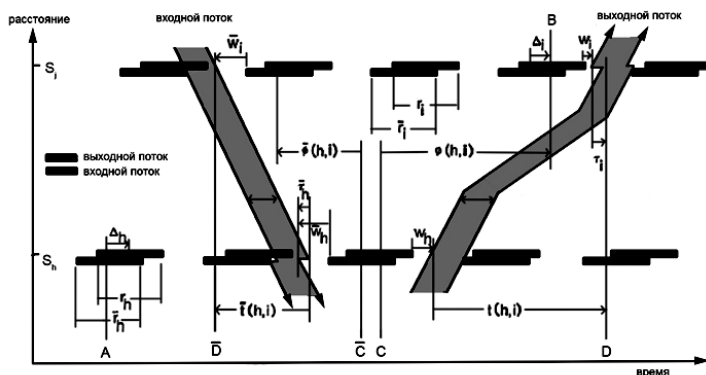


Рисунок 1 – Пространственно-временная диаграмма, показывающая зеленые волны

На рис. 1 входные и выходные зеленые волны проходят через светофоры S_i и S_n . Величины со штрихами относятся к входящим направлениям, а без – к выходящим. Красные сигналы в выходящих потоках нарисованы сплошной полосой, входящие - пунктирной. В общем случае входящие и выходящие сигналы не требуется различать.

Путем математических преобразований и физических ограничений выводится линейная целевая функция (1) для настройки артериальных светофоров.

$$b + k\bar{b} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где b (\bar{b}) – выходящая (входящая) полоса пропускания (в циклах);

k – отношение входящей полосы пропускания к выходящей.

Математическая модель включает $(11n-10)$ ограничений и $(4n + 1)$ вещественных переменных, до $2n$ переменных, принимающих значения 0 или 1, $n-1$ неограниченных целых переменных (n – количество перекрестков).

Таким образом, оптимизация сигналов регулирования транспортного движения является многокритериальной задачей. Результатом работы является портативная, автономная, написанная на языках C++ и Matlab компьютерная программа для настройки светофоров на крупной центральной дороге для достижения максимальной полосы пропускания. К специфическим особенностям программы можно отнести:

1) автоматически выбираемое время цикла из предложенного диапазона, 2) возможность модификации скорости в допустимых пределах 3) возможность введения времени рассеивания очереди для вторичного потока, накопившегося в течение красного, 4) зеленые расколы могут быть даны или, в качестве альтернативы, по заданным потокам и пропускным способностям расколы подсчитываются с использованием теории Вебстера и т.д.

Программа выдает время цикла, смещения, скорости и порядок фаз поворота налево, чтобы максимизировать взвешенную комбинацию полос пропускания.

Заключение. Цель координированных сигналов – обеспечение полосы пропускания в оба направления настолько широкой, насколько это возможно. Разработанная компьютерная программа рассчитывает время цикла, смещения, скорости и пр., чтобы максимизировать взвешенную комбинацию полос пропускания, при наличии расстояний, интенсивности и пропускной способности, времени очищения очереди и др.

Настройки, полученные от программы, необходимо проверить в программе моделирования транспорта. Кроме того, есть возможность расширить существующую целевую функцию, а в более далекой перспективе перейти к адаптивному управлению.

Литература

1. Врубель, Ю.А. Организация дорожного движения / Ю.А. Врубель – Минск, 1996. – Ч. 2
2. Кременец, Ю.А. Технические средства регулирования дорожного движения / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский – Москва: Транспорт, 1981.
3. Dotoli, M., Fanti, M.P. and Meloni C. A signal timing plan formulation for urban traffic control. *Control Engineering Practice*, 14:1297 – 1311, 2006.
4. Warberg, A. Green wave traffic optimization. Technical report, Technical University of Denmark, 2007.
5. Webster, F.V. Traffic signal setting. Great Britain Department of Scientific and Industrial Research, 1958.
6. Ying, J.Q., Lu, H. and Shi, J. An algorithm for local continuous optimization of traffic signals. *European Journal of Operational Research*, 2007.