

СИТУАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ НА ПЕРЕКРЕСТКЕ

А.Климович, В. Шуть

*Брестский государственный технический университет, г.Брест, Московская 267,
luckings@mail.ru*

В современном мире быстро развиваются интеллектуальные транспортные системы[1,2], к которым относятся автономные автомобили и автомобили, способные обмениваться данными с другими транспортными средствами и дорожной инфраструктурой. Появление таких систем дает возможность создавать более интеллектуальные методы организации дорожного движения[3].

В данной работе описывается модель управления отдельно взятым перекрестком в недетерминированной среде в режиме реального времени. Перекресток снабжается управляющим устройством, занимающимся организацией движения. Для функционирования модели предполагается, что автомобили могут обмениваться сообщениями с управляющим устройством, а при необходимости и с другими автомобилями. При этом автомобили должны быть автономными и выполнять команды, поступающие от управляющего устройства. Для позиционирования автомобилей, определения их скорости, могут использоваться стандартные средства, например GPS. Устройство управления обладает некоторым радиусом действия, попадая в который автомобили начинают обмен сообщениями. На основе поступающих данных о количестве автомобилей, их положении, скорости и направлении движения после проезда перекрестка система выбирает разрешенные направления движения для автомобилей и планирует дальнейшие состояния перекрестка, ориентируясь на целевую функцию минимизации среднего времени проезда перекрестка. Схема работы системы представлена на рисунке 1.

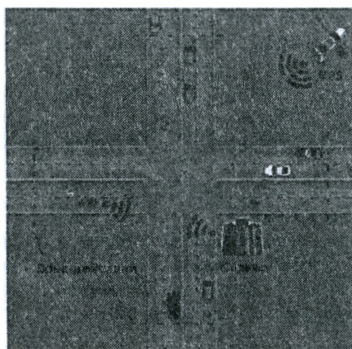


Рисунок 1. Схема работы системы

Реализация подобной системы на практике сталкивается с множеством трудностей: неточность определения местоположения и скорости автомобилей, необходимость выполнять расчеты в реальном времени, задержки при обмене сообщениями между автомобилями и системой, сложность или невозможность точно следовать полученным командам, необходимость обеспечения безопасности. В связи с этим разрабатываемая модель управления должна быть достаточно гибкой, учитывать возможность несоответствия прогнозируемого и реального состояния системы и быстро адаптироваться к таким несоответствиям.

Работа системы управления движением заключается в решении оптимизационной задачи, целью которой является минимизация суммарного времени проезда перекрестка всеми автомобилями. Переменными для оптимизации выступают длительности и типы

фаз [4],[5], где каждая фаза представляет собой набор разрешенных для движения направлений. Одно из основных требований заключается в том, что фаза не должна содержать конфликтующих направлений, т.е. траектории движущихся по этим направлениям автомобилей не должны пересекаться. При планировании фаз следует учитывать количество автомобилей, движущихся по каждой дороге в определенном направлении, скорости этих автомобилей, наличие возможностей для маневрирования, смены полос движения. Завершив планирование, система рассчитывает для каждого автомобиля рекомендуемое время прибытия к перекрестку и отправляет им команды для ускорения, замедления, смены полосы и т.д. Этот процесс повторяется через определенные промежутки времени, чтобы учесть вновь поступившие автомобили и исключить автомобили, проехавшие перекресток. Количество различных фаз невелико, например, для перекрестка однополосных дорог существует всего 8 различных оптимальных фаз, они представлены на рисунке 2. В случае многополосных дорог количество фаз может быть увеличено.

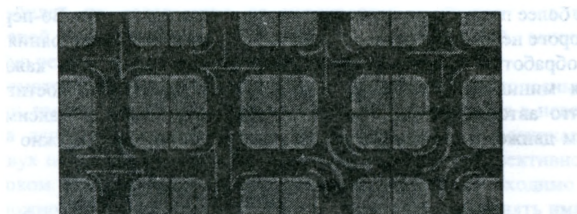


Рисунок 2. Набор фаз для перекрестка однополосных дорог.

Опишем оптимизационную задачу, решаемую системой управления перекрестком. Пусть в момент времени t_0 в зоне действия системы находится N автомобилей. Для каждого автомобиля известно направление d_i , в котором он будет двигаться, с некоторой точностью, известны скорость v_i и расстояние до перекрестка l_i в данный момент времени. К тому же для каждого автомобиля храниться время прибытия (попадания в зону действия системы) $t_{i,s}$, время проезда перекрестка $t_{i,e}$ и вычисляется полное время движения $T_i = t_{i,e} - t_{i,s}$. Таким образом, оптимизационная задача заключается в минимизации среднего времени движения для всех автомобилей:

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i \rightarrow \min \quad (1)$$

Оценка времени T_i для автомобилей зависит от того, какие фазы будут выбраны, в каком порядке следуют автомобили, где и с какой скоростью они движутся. Поэтому, для решения задачи за приемлемое время необходимо ввести некоторые упрощения. В качестве первого упрощения предлагается брать длительность фазы кратной некоторому небольшому промежутку времени, например, $\Delta t = 10$ с. Брать меньшие промежутки времени не имеет смысла, т.к. выбранное время уже сопоставимо с временем проезда перекрестка автомобилем, разгоняющимся с места. Большие же промежутки времени делают систему менее гибкой и не позволяют эффективно подстраиваться под складывающуюся на перекрестке обстановку. Теперь задача сводится к выбору фазы для каждого промежутка времени и определения набора автомобилей, проезжающих перекресток в эти промежутки. Для этого предлагается использовать следующий алгоритм.

Алгоритм выбора фаз

Шаг 1. Определить автомобили, способные проехать через перекресток к концу первого промежутка времени;

Шаг 2. Выбрать фазу, позволяющую пропустить наибольшее число автомобилей;

Шаг 3. Если есть автомобили, которые не смогли проехать перекресток за текущий промежуток времени, то выполняется переход к шагу 1, но для следующего промежутка времени. Иначе - выполняется переход к шагу 4;

Шаг 4. На данном шаге для каждого автомобиля известен номер фазы, в которой он проедет перекресток.

Исходя из результатов работы алгоритма, автомобилям передаются команды по ускорению либо замедлению. Данные шаги повторяются через небольшие промежутки времени, чтобы учесть поступающие вновь автомобили и корректировать различные отклонения реальной ситуации от расчетов.

Опишем более подробно детали реализации шагов алгоритма. Во-первых, автомобили на каждой дороге необходимо отсортировать по возрастанию расстояния до перекрестка и выполнять обработку в этом порядке. На первом шаге для каждого автомобиля определяется минимальное время, через которое автомобиль достигнет перекрестка. Считается, что автомобиль разгоняется с ускорением a_{max} до максимальной скорости v_{max} , а затем движется равномерно. Зная начальную скорость, можно вычислить время ускорения:

$$t_{ac} = \frac{v_{max} - v_i}{a_{max}} \quad (2)$$

Далее, зная расстояние до перекрестка l_i , можно найти минимальное время движения:

$$t = t_{ac} + \frac{l_i - (v_i t_{ac} + a_{max} \frac{t_{ac}^2}{2})}{v_{max}} \quad (3)$$

Все автомобили, для которых время t меньше времени конца фазы, участвуют в определении фазы на шаге 2. На втором шаге выполняется перебор всех типов фаз, и для каждой определяется число автомобилей, которым разрешено движение. При этом используется информация о направлении движения автомобилей d_i . В результате выбирается фаза, способная пропустить наибольшее число автомобилей. Если таких вариантов несколько - можно выбирать среди них по среднему расстоянию автомобилей либо случайным образом. Важно отметить, что при определении числа автомобилей, проезжающих перекресток, учитывается их порядок. Т.е. если фаза запрещает движение автомобилю спереди, то все последующие автомобили также не могут проехать.

Третий шаг алгоритма не требует дополнительных разъяснений. Команды, отправляемые на 4-ом шаге, должны определять движение автомобиля до перекрестка и могут быть представлены в виде набора пар ускорение-длительность. Тем автомобилям, которые должны успеть проехать перекресток за время текущей фазы, необходимо разогнаться с максимальным ускорением до максимальной разрешенной на перекрестке скорости. Автомобилям, которые должны проехать позже, могут даваться следующие команды: замедлиться до некоторой скорости, двигаться с ней некоторое время равномерно и, наконец, ускориться перед перекрестком, чтобы уменьшить время проезда.

Таким образом, движение разделяется на три участка: замедление, равномерное движение и ускорение. Пусть этим участкам соответствуют промежутки времени Δt_0 , Δt_1 и Δt_2 . Кроме этого, неизвестной является скорость v_1 , до которой нужно замедляться. Все эти неизвестные можно найти, составив систему уравнений:

- 1) $\Delta t_0 = \frac{v_i - v_1}{a_0}$, где a_0 - модуль замедления, заранее заданная константа;
- 2) $\Delta t_2 = \frac{v_{max} - v_1}{a_{max}}$;
- 3) $\Delta t = \Delta t_0 + \Delta t_1 + \Delta t_2$, где Δt - время, когда автомобиль должен быть у перекрестка;
- 4)
$$l_i = v_i \Delta t_0 - a_0 \frac{\Delta t_0^2}{2} + v_1 \Delta t_1 + v_1 \Delta t_2 + a_{max} \frac{\Delta t_2^2}{2}$$

Решение системы полностью определяет траекторию движения автомобиля. Вычислительная сложность полученного алгоритма зависит от числа автомобилей на перекрестке $N \sim 1000$, числа различных фаз $M \sim 10$ и длительности периода планирования (количества промежутков времени, для которых определяются фазы $K \sim 10$). Итоговая сложность - $O(N \log N + NMK)$, где первое слагаемое отвечает за сортировку автомобилей по расстоянию до перекрестка, а второе - за выбор фаз. Очевидно, при такой сложности даже устройство с небольшой вычислительной мощностью способно решать задачу в реальном времени.

Здесь был рассмотрен вариант задачи для перекрестка из однопослосных дорог. В таком случае модель имеет значительные ограничения, заключающиеся в невозможности изменения порядка движущихся автомобилей. Такая возможность возникает уже при наличии хотя бы двух полос движения, и это позволяет еще более эффективно управлять транспортным потоком. Модель при этом усложняется, поэтому необходимо следить за вычислительной сложностью применяемых алгоритмов, а также применять имитационное моделирование для определения граничных возможностей модели.

Список литературы

1. Грабауров В.А. Интеллектуальная транспортная система как инновационная концепция развития транспорта // Наука и техника - 2014. - № 1. С. 63-69.
2. ITS Handbook/ <http://road-network/>.
3. ERTICO Network/ website@erticonetwork.com/
4. Fei, Y. New vehicle sequencing algorithms with vehicular infrastructure integration for an isolated intersection / Y. Fei, M. Dridi, A. El-Moudni // Telecommunication Systems. - 2012. - Vol 50, № 4. - P. 325-337.
5. Войцехович, О.Ю. Стратегия оптимизации движения автомобилей по магистрали города с использованием бинарного дерева решений / О.Ю. Войцехович, В.Н. Шуть // Информационные технологии и системы 2011 (ИТС 2011) : материалы международной научной конференции. - Минск: БГУИР, 2011. - С. 187-188.