

$$F = abcl (khij (kgj (kbcf (def.$$

Такое преобразование позволяет избавиться от дополнительных предикатных переменных и уменьшить на единицу число членов ДНФ, однако алгоритм такого преобразования является нетривиальным и в данной работе не описывается.

Необходимо отметить, что направление исследований, связанное с представлением многоугольников булевыми формулами, открывает новые возможности для решения широкого круга оптимизационных задач, например, в области топологического проектирования интегральных схем, путем использования развитого аппарата булевой алгебры.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Препарата, Ф. Вычислительная геометрия: введение; пер. с англ. / Ф. Препарата, М. Шеймос. – М.: Мир, 1989. – 478 с.
2. Фейнберг, В.З. Геометрические задачи машинной графики больших интегральных схем. – М.: Радио и связь, 1987. – 178 с.
3. Шестаков, Е.А. Автоматизированная система подготовки информации для формирования фотошаблонов / Е.А. Шестаков, А.А. Бутов, Т.Л. Орлова, А.А. Воронов // Искусственный интеллект. – Донецк. – 2008. – № 4. – С. 200–207.
4. Закревский, А.Д. Канонические булевы формулы многоугольников // Информатика. – 2009. – № 2. – С. 93–101.
5. Поттосин, Ю.В. Использование булевых функций для представления многоугольников / Ю.В. Поттосин, Е.А. Шестаков // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2008. – № 2(3). – С. 106–115.

Материал поступил в редакцию 15.12.11

BUTOV A.A. A simple method of finding the polygon Boolean formula in disjunctive normal form

A relatively simple and acceptable in practice method of solving the problem of constructing a polygon shape Boolean formula in disjunctive normal form. The method is based on two simple operations: 1) the calculation of the angle between the lines; 2) verification of the fact of belonging of the polygon vertices to a convex component.

Simplicity of the method eliminates the problem of computational accuracy. The latter consists in the fact that it is theoretically possible to rigorously prove the correctness of the algorithm, but in practice there are problems for which the algorithm is not working or not working properly due to limited accuracy of the representation of real numbers in computer memory and loss of precision in intermediate calculations.

The method can be used, particularly in computer-aided design of integrated circuits.

УДК 004.8.032.26

Войцехович О.Ю.

МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМ ПОТОКОМ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ВДОЛЬ ГОРОДСКОЙ МАГИСТРАЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИНАРНОГО ДЕРЕВА РЕШЕНИЙ

Введение. Дорожное движение является неотъемлемой частью современного общества, и это объясняет высокие требования к дорожным сетям. Скопления транспорта на дорожной сети приводит к задержкам, которые являются причиной существенных издержек для общества и бизнеса ежедневно, а также увеличения вредных выбросов и риска несчастных случаев. Снизить количество заторов, может более эффективное использование существующих дорог, которое может быть достигнуто, в частности, правильной настройкой параметров светофоров.

Постановка задачи. Задача состоит в разработке адаптивной системы управления транспортом, работающей в режиме реального времени, способной координировать светофоры для улучшения дорожной ситуации в целом. Эффективность системы должна быть проверена с помощью моделирования. Таким образом, еще одна задача состоит в моделировании, тестировании и оценке разработанной системы.

Описание системы. Адаптивная система управления – это система с обратной связью, которая может настраиваться. Измеренные состояния реальной системы являются входными данными для системы управления. Система управления выдает решения, которые с помощью механизма управления поступают в реальную систему.

В разрабатываемой адаптивной системе управления автотранспортом входными данными являются данные, считываемые с детекторов, и сигналы светофоров. Адаптивная система управления состоит из 3 частей: предсказания прибытий и очередей (обрабатывает данные с детектора и осуществляет предсказание); системы принятия решений (строит дерево решений и выбирает оптимальные времена и длительности горения зеленого и красного сигналов для магистрали и

прилегающих дорог); продвижения (модифицирует массив, где хранятся данные о распознанных пачках транспортных средств).

Разрабатываемая система управления работает на уровне пачек автомобилей и их скоростей. Критерием оптимизации являются средние задержки, которые необходимо свести к минимуму. Система предсказывает транспортный поток, чтобы осуществить упреждающее управление. Система с помощью построения бинарного дерева решений выбирает оптимальные настройки светофоров, которые отвечают сделанным предсказаниям.

В отличие от большинства существующих аналогов, наша система является проактивной (упреждающей). Это значит, что акцент смещается от модификации временных параметров, реагирующих на уже случившиеся изменения транспортного потока, к упреждающей настройке параметров светофора для предсказываемого состояния транспортного потока. Система отвечает на стохастический характер транспортного потока наиболее точно и гибко.

Система требует: 1) информацию о транспортном потоке (от датчиков); 2) обмен данными в режиме реального времени с процессором; 3) вычислительные возможности на уровне РС. Система нуждается во входной информации о характеристиках транспортного потока, считываемой с датчиков в реальном времени. Система является централизованной. Данные со всех датчиков собираются в центр управления, где происходит прогнозирование и выбор оптимальных фаз, и затем данные передаются на перекрестки.

Предсказание. В основе представленной здесь модели предсказания лежит работа Lagu K. Head [1]. Однако в предсказание были внесены значительные изменения, прежде всего в принципе расположения детекторов, что в свою очередь изменило и сам алго-

Войцехович Оксана Юрьевна, аспирант кафедры интеллектуальных информационных технологий Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

ритм. А также в нашем случае предсказание работает с пачками (группами едущих друг за другом автомобилей), а не с отдельными транспортными средствами.

Модель предсказания базируется на использовании детекторов на подходах к каждому перекрестку на расстоянии, достаточном чтобы распознать пачку и выполнить для нее расчет до ее прибытия к перекрестку, вместе с состоянием транспортного потока (прибытия и очереди), и планом управления предыдущими светофорами для предсказания будущих прибытий. Модель предсказания сочетает реальные данные от детекторов транспорта с теорией транспортных потоков.

Для предсказания необходимы следующие входные данные: 1) время проезда на связках (от детектора к детектору), которое зависит от скорости свободного потока на связке и текущего объема транспорта, 2) коэффициент очистки очереди, который также зависит от объема (а также от противоположного и пересекающего объемов транспорта), и 3) доля сворачиваемого транспорта. Выходные данные используются алгоритмом управления.

Необходимо предсказать поток, подходящий к детектору d_{At} перекрестка А, расположенному на магистрали и измеряющему транзитный поток. Для этого проследим движение этого потока, начиная от датчиков перекрестка В через перекресток В до датчика d_{At} и далее до стоп-линии перекрестка А (см. рис. 1).

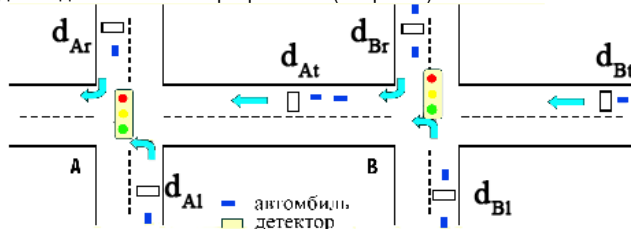


Рис. 1. Пример перекрестков для прогнозирования

Транспорт, относящийся к предсказуемой части процесса прибытий, или транспортный поток, у перекрестка В может быть измерен детекторами d_{Br} , d_{Bt} и d_{Bl} , которые представляют собой потоки на перекрестке В, подъезжающие слева, справа и прямо соответственно. Рассмотрим событие, когда транспортное средство пересекает детектор, скажем d_i , где $i \in \{l, r, t\}$, в момент времени t_{di} . Пусть это событие обозначается как $e_i(t_{di})$.

Действует несколько факторов, когда транспортное средство подъезжает к d_{At} , это: 1) время проезда от d_i до стоп-линии перекрестка В; 2) задержка из-за существования очереди у В; 3) задержка из-за сигнала светофора у В; 4) время проезда между В и d_{At} ; 5) вероятность, что транспортное средство будет ехать вдоль маршрута, включающего расположение d_{At} .

Итак, когда случается событие $e_i(t_{di})$, время проезда от d_i до стоп-линии перекрестка В – T_{d_i, S_B} можно предсказать, исходя из входных данных (зная скорость свободного потока). При этом автомобиль, спровоцировавший событие $e_i(t_{di})$, либо является началом пачки, либо заносится в уже существующую пачку. Затем в зависимости от промежутков времени, прошедших между появлением на детекторах перекрестка В новых автомобилей, формируется пачка и запоминается время появления в ней последнего автомобиля, т.е. время формирования конца пачки. Далее начинается разбор конфликтов и построение дерева решений (работа системы принятия решений).

1. Входными данными для разрешения конфликта является время прибытия пачек к перекресткам (если пачки еще не были рассмотрены при разрешении конфликтов) $T_{BП} = t_{di} + T_{d_i, S_B}$, или их время отбытия (если пачки уже поучаствовали в разрешении конфликта), т.е. выходные данные (данные полученные в пункте 2), где t_{di} – момент пересечения детектора. T_{d_i, S_B} – время проезда от d_i до стоп-линии перекрестка В.

2. Выходные данные (после рассмотрения конфликтов) – время отбытия пачки: $T_{BO} = T_{BП} + T_{ub} + T_{q_i}$, где T_{ub} – задержка, пока план времени сигналов не продвинется к фазе, которая обслужит нужное направление движения, T_{q_i} – задержка из-за простоя в очереди, ($T_{q_i} > 0$ если пачка в очереди) T_{q_i} может быть найдено статистически для каждого конкретного перекрестка.

3. Отсюда получаем время прибытия к следующему перекрестку. $T_{АП} = T_{BO} + T_{S_B, d_A} + T_{d_A, S_A}$, где T_{S_B, d_A} – время проезда от стоп-линии перекрестка В до детектора d_A .

4. Полностью построив дерево, проводим модификацию массива пачек. Удаляем из массива уехавшие с перекрестка пачки, а в тех пачках, что остались, заменяем во входных данных время прибытия временем отбытия и запускаем алгоритм заново (см. пункт 1).

Если $n_i(t_{di})$ транспортных средств пересекает детектор d_i во временной интервал t_{di} , тогда ожидаемое число прибытий у d_A ко времени прибытия t_{d_A} может быть предсказано:

$$\hat{n}_A(t_{d_A}) = \sum_{i \in \{l, r, t\}} \sum_{\forall t_p = t_{d_A}} p_i^{BA} n_i(t_p). \quad (3)$$

Внутренняя сумма учитывает, что ожидаемое число прибытий у детектора d_A случатся в будущем $t_p = t_{d_A}$ для движения i . Внешняя сумма учитывает каждое направление движения связки BA.

Система принятия решений. За основу был взят алгоритм управления, предложенный в [2]. Если две конфликтующие пачки подходят к перекрестку в одно и то же время, тогда либо одной, либо другой будет дан приоритет в использовании времени горения зеленого сигнала, или одна из них будет расколота. Решение, что именно сделать, зависит от того, в каком случае получится достичь оптимального значения выбранного критерия эффективности (в нашем случае в качестве критерия эффективности была выбрана средняя задержка транспорта). Оптимальное разрешение таких конфликтов в реальном времени, или, иными словами, оптимизация движения распознанных пачек автомобилей – это основная цель алгоритма, который будет описан в этой работе.

Главная идея метода может быть объяснена с помощью примера, изображенного на рис. 2. Здесь показаны пачки автомобилей, движущиеся по артерии на юг и на север навстречу друг другу, а также пачки на двух других перпендикулярных артерии дорогах, на перекрестках 2 и 3. Пачки определяются с помощью данных, поступающих с детекторов. Пачки автомобилей характеризуются размером (количество машин) и скоростью.

Если прогнозируется, что две или более пачки подъедут к перекрестку и создадут конкурирующий спрос на время горения зеленого сигнала светофора, тогда должно быть определено, какому направлению движения отдать время горения зеленого сигнала.

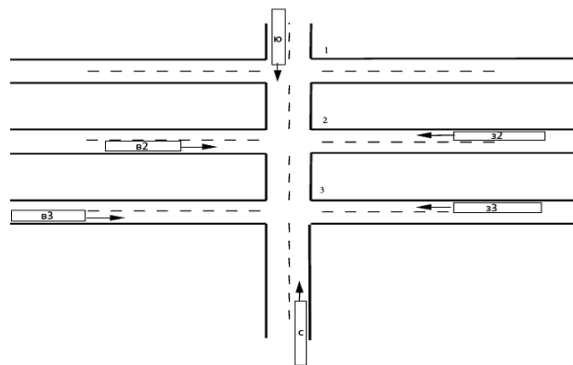
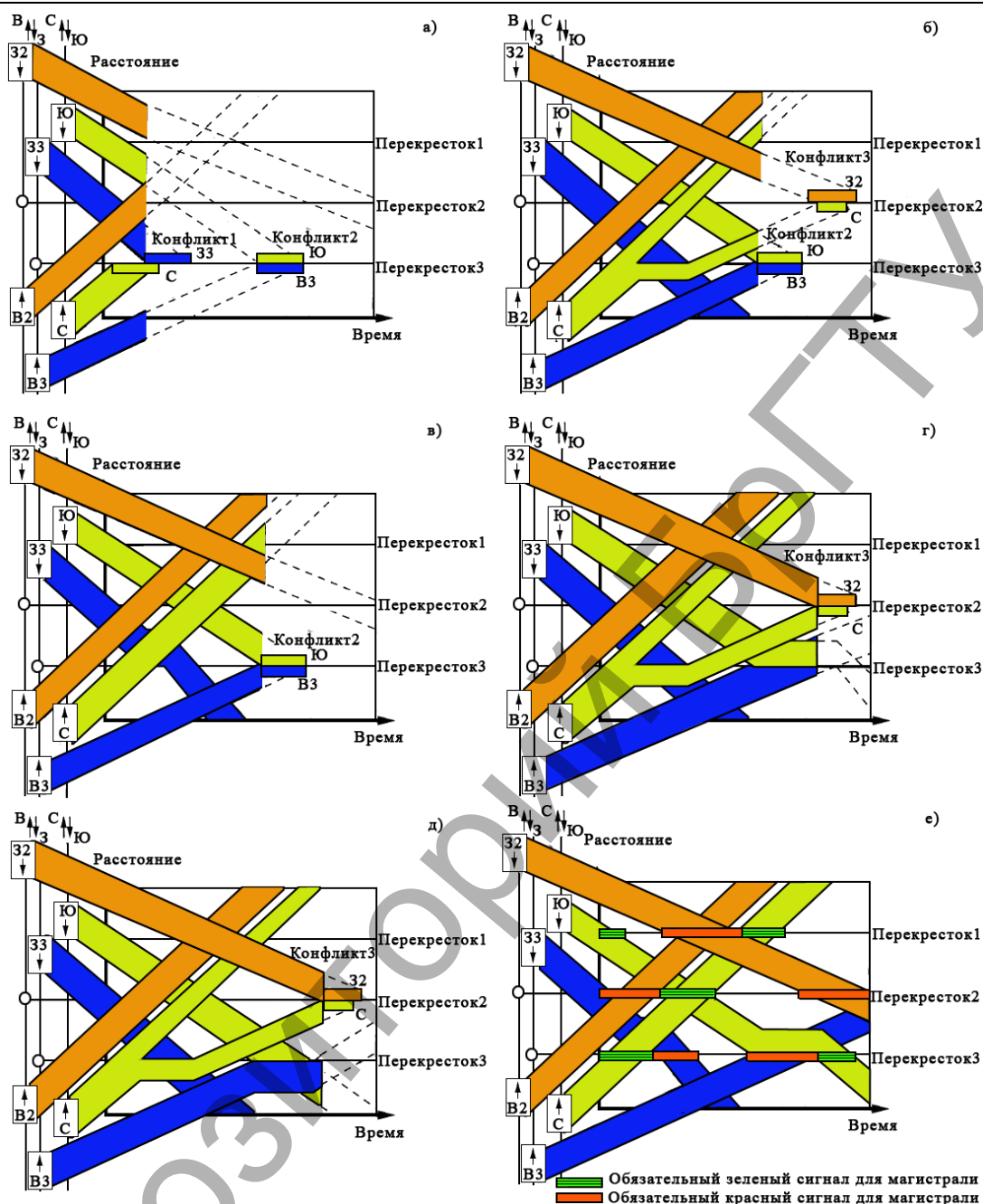


Рис. 2. Пример движения пачек автомобилей по магистрали и прилегающим дорогам



а – пример конфликта для ситуации, изображенной на рис. 2, б – решение расколоть С на перекрестке 3, в – решение остановить 33 на перекрестке 3, г – решение остановить Ю на перекрестке 3, д – решение остановить В3 на перекрестке 3, е – фазы горения зеленого и красного сигналов светофоров для городской магистрали

Рис. 3.

Для того чтобы решить, как действовать дальше, алгоритм делает заблаговременный проход во времени и строится дерево решений, где каждая ветка дерева представляет собой одно возможное решение конфликта. Каждый возникающий конфликт формирует узел в дереве решений; типы решений в этом узле включают: а) дать зеленое время пачке А, т.е. остановить пачку В (пачка А подъезжает раньше); б) расколоть пачку А (т.е. зеленое время предоставить пачке В). Здесь нужно учесть случай дробления пачки на слишком маленькие кусочки. Чтобы этого не допустить, устанавливается определенный лимит, меньше которого пачки не дробятся, а останавливаются.

Каждая ветка дерева рассматривается далее, чтобы сохранить путь от начального узла к потенциальному решению. В идеале построение дерева заканчивается, когда разобраны все конфликты. Но на практике иногда это требует слишком много времени. В настоя-

щее время авторы занимаются поиском наилучших путей решения этой проблемы.

Рис. 3 а) показывает пример конфликта, который может возникнуть при ситуации на рис. 2. Первый конфликт возникает между пачками С и 33 у перекрестка 3. Чтобы разрешить конфликт, пачка С раскалывается (рис. 3 б)) или пачка 33 останавливается (рис. 3 в)). Рассматривая результирующее предсказание, показанное на рис. 3 б), находим следующий конфликт, который возникает между пачками Ю и В3. В этом случае решением будет остановить пачку Ю (рис. 3 г)) или остановить пачку В3 (рис. 3 д)).

Дерево решений формируется таким образом, что сохраняет пути различных кандидатов на решение, т.о. учитывает все возможные решения. На рис. 4 показано дерево решений. Конечные узлы будут представлять собой стоимость всех решений, которые идут

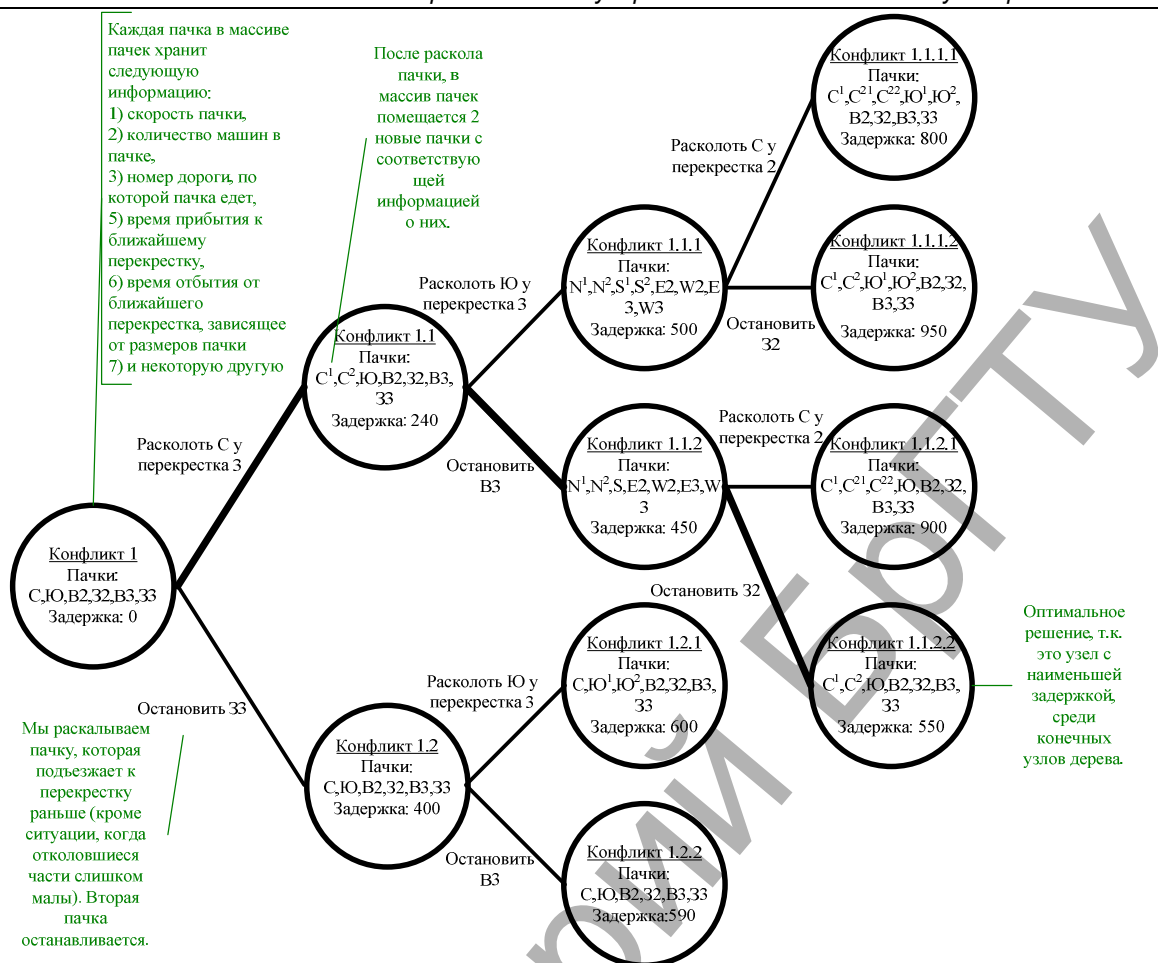


Рис. 4. Дерево решений для рассматриваемого примера

от корня к конечному узлу (листу) дерева решений. Выбор единственного решения с минимальной стоимостью (минимальной задержкой) дает конечную стоимость траектории решения конфликтов. Проход по дереву от корня к выбранному листу обеспечивает фазовый план – конечная цель всего алгоритма. На данном этапе нашей работы фазовый план представляет собой время и последовательность горения обязательного красного и зеленого сигнала на ближайшем будущем для каждого перекрестка магистральной улицы. В дальнейшем планируется фазовый план корректировать на более детальном уровне.

Не показана на рис. 4, но тем не менее существует возможность отсечения заведомо невыгодных ветвей дерева решений. Это возможно, когда в ходе построения дерева возникает узел, у которого задержка уже больше, чем задержка любого из предыдущих конечных узлов.

Последовательность формирования узлов определяется в соответствии со временем, когда пачки должны подойти к ближайшим перекресткам. Т.е. пачки в массиве пачек отсортированы по времени прибытия и поиск конфликтов происходит как последовательный перебор этих пачек в массиве.

Для пачек, изображенных на рис. 2, конечное оптимальное решение показано на рис. 3 е). Решение включает время включения и продолжительность горения зеленого и красного сигналов для магистрали, идущей с севера на юг. Из рис. 3 е) видно, что на перекрестке 3 пачка С не должна останавливаться, а пачка ЗЗ должна остановиться, и позже пачка ВЗ не должна останавливаться, а пачка Ю должна остановиться, когда соответствующие конфликты возникнут.

Вопросы реализации. Чтобы программа была результативной и обеспечивала хорошие, если не оптимальные решения, следующие вопросы должны быть учтены: 1) фильтрация данных с детек-

торов, распознающих пачки; 2) инициализация алгоритма и 3) продвижение алгоритма во времени.

Определение пачек для координации транспорта зависит от уровня транспортного потока в сети. При низкой загрузке и транспорте, идущем с высокой скоростью, пачка может состоять даже из 3 автомобилей. На более загруженных дорогах пачка может состоять из намного большего числа автомобилей. В нашей системе был использован алгоритм идентификации пачек, основанный на двух пороговых параметрах: максимальное расстояние между двумя автомобилями в пачке и минимальное число автомобилей, которые составляют пачку.

Алгоритм начинает работу с начального решения о распределении фаз и соответствующего значения критерия эффективности. Начальное решение о распределении фаз может быть получено с использованием статистических данных. Начальное распределение фаз определяет первый узел в дереве решений. Критерий эффективности, связанный с начальными фазами, становится верхней границей при выполнении алгоритма.

Таким образом, программа начинает работу после определения пачек, используя данные с детекторов на магистрали. Продвижение алгоритма во времени:

1. В массив, который находится в корне дерева, заносятся все, распознанные детектором за промежуток времени пересчета, пачки. Если впереди есть другие пачки, то исходная пачка добавляется в конец этих пачек, образуя очередь.

2. Для них предсказываются времена прибытия к ближайшему перекрестку.

3. Если найден конфликт, тогда в дереве формируется две новых ветви и соответственно два новых узла. Каждый узел связан с решением предоставить время для проезда на зеленый сигнал той или иной конфликтующей пачке. Затем поиск конфликтов рекурсивно

перезапускается (заведомо проигрышные решения отсекаются). Таким образом, от начальной вершины строим дерево конфликтов.

4. Когда больше нет конфликтов, предполагается, что пачки движутся вдоль артерии к следующим перекресткам. Осуществляется прогноз прибытия пачек на следующие перекрестки и поиск возможных конфликтов. Пока все конфликты не будут разрешены.

5. Выбирается оптимальное решение.

6. На дереве решений возвращаемся в точку, где ни одна пачка не переносилась на следующий перекресток (состояние до 4 пункта алгоритма). В результате получаем интервалы горения обязательного зеленого сигнала для каждого светофора магистрали. Результирующая фазовая последовательность будет решением на ближайшее будущее, пока не произойдет новый пересчет, либо не придет момент передачи фаз на светофоры.

7. Для пересекающихся направлений отмечаем обязательный красный, в момент горения обязательного зеленого, найденного в предыдущем пункте

8. Продвижение. С учетом полученных фаз и изменений на дороге, модифицируем массив пачек в корне дерева. Т.е. пачки проходят светофоры, в соответствии с оптимальной фазовой последовательностью. Пачки, не покинувшие перекресток, должны быть учтены в дальнейших расчетах. Такие пачки не удаляются из массива. Пачки (их части) удаляются из массива, если они проехали перекресток, т.е. в дальнейших расчетах они не участвуют (если только не будут распознаны следующими детекторами в дальнейшем). При этом учитывается, приехала ли пачка на красный или зеленый сигнал, хватило ли пачке (ее части) времени пройти перекресток, или она была вынуждена остановиться.

9. И запускаем алгоритм заново.

Моделирование. Для тестирования, оценки эффективности системы управления автотранспортом, а также ее настройки была выбрана микроскопическая стохастическая имитационная модель ATS с открытыми кодами [4]. Было выполнено изучение ее кода, модификация, кооперация и синхронизация с системой управления. Генерация автомобилей рассматривается как неоднородный пуассоновский процесс. Количество прибытий автомобилей следует распределению Пуассона с параметром λ , где λ – среднее количество прибытий в единицу времени. Моделирование транспортных потоков в ATS выполнено с помощью клеточного автомата (КА) [5,6]. Самый простой набор правил, которые определяют временную эволюцию состояния сети, был введен учеными Nagel и Schreckenberg [6]. Он состоит из 4 шагов, которые должны применяться одновременно для всех автомобилей. Шаг 1 описывает желание водителей ездить как можно быстрее (или как разрешено). Шаг 2 учитывает взаимодействия между автомобилями (чтобы избежать аварий). Шаг 3, в упрощенном варианте, соответствует многим сложным эффектам, которые играют важную роль в условиях реального дорожного движения. Например, любая машина, как правило, не движется с постоянной скоростью. Есть всегда небольшие флуктуации скорости. Наконец, в пункте 4, все автомобили движутся в соответствии с их новой скоростью. Вышеприведенный набор правил является минимальным в том смысле, что отсутствие одного из 4 шагов будет означать не реалистичное поведение.

Модель и система управления работают синхронно. В модели генерируются и продвигаются по сети, включающей магистраль, транспортные средства в соответствии с сигналами светофоров, которые рассчитаны системой управления. Система управления в свою очередь получает данные от модели о состоянии транспортного потока и на основе этих данных формирует следующие управляющие сигналы. Обмен данными между моделью и системой осуществляется через сокеты по протоколу UDP.

Тестирование. В настоящий момент осуществляется непосредственно тестирование, оптимизация и настройка системы управления с помощью ATS. На данный момент тестовым примером является сеть перекрестков с одинаковыми параметрами.

Т.к. система работает в условиях относительно высоких объемов движения, в качестве критерия качества управления дорожным движением были приняты средние транспортные задержки на всех перекрестках [7]. Тестирование программы заключается в замерах средней задержки автомобилей (количество секунд, приходящееся на автомобиль) на разном количестве перекрестков и с разной нагрузкой на сеть (количество проехавших автомобилей за время измерения). Замеры проводятся в течение одного часа. На данном этапе получены первые результаты. Предел возможностей – загруженность системы 0,1 автомобилей/сек – вероятность появления автомобиля в точке генерации (точки генерации стоят на каждой связке, а также на конечных точках сети), 7 перекрестков. Имеется много возможностей для совершенствования модели и системы управления. На рисунке 5 показана зависимость между нагрузкой на сеть и задержкой при адаптивном управлении.

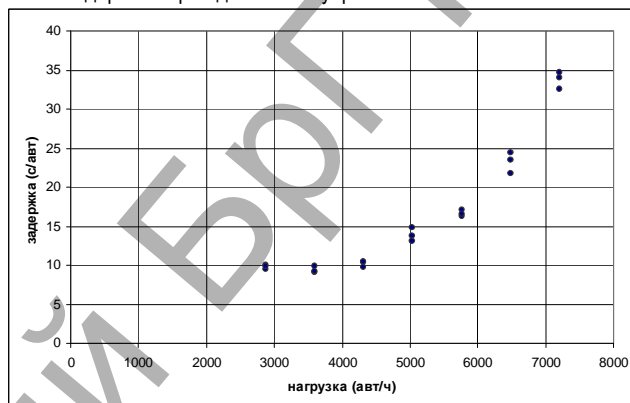


Рис. 5. Результаты тестирования для пяти перекрестков с различной нагрузкой на сеть

Заключение

1. В статье обсуждалась адаптивная система управления транспортом, способная координировать сигналы светофоров с целью достичь минимальной средней задержки.
2. Целью алгоритма управления является гибкое реагирование на стохастическое поведение транспортного потока. Алгоритм управления использует построение бинарного дерева решений. Выходные данные алгоритма - оптимальная последовательность и длительность фаз для светофоров.
3. Была выбрана и настроена имитационная модель, использующая клеточные автоматы, и в данный момент проводится тестирование системы управления.
4. В будущем планируется следующее: дальнейшее тестирование и оценка, оптимизация на уровне отдельных светофоров и индивидуальных транспортных средств, учет пешеходного движения и т.д.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Head, Larry K. An Event-Based Short-Term Traffic Flow Prediction // Transportation Research Record. – 1995. – 1510. – P. 45–52.
2. Dell’Olmo P., Mirchandani P.B. REALBAND: An Approach for Real-Time Coordination of Traffic Flows on a Network // Transportation Research Record. – 1995. – 1494. – P. 106–116.
3. Chowdhury, D. Statistical physics of vehicular traffic and some related systems / D. Chowdhury, L. Santen, A. Schadschneider // Physics Reports. – 2000. – 329. – P. 199.
4. Zhengbing He A traffic simulation // Ресурсы интернета. – 2011.
5. Wolfram S. Theory and Applications of Cellular Automata // World Scientific. – 1986.
6. Nagel K., Schreckenberg M. A cellular automaton model for freeway traffic // J. Physique. – 1992. – 2. – P. 2221.
7. Иносэ, Х. Управление дорожным движением / Х. Иносэ, Т. Хамада. – Москва: Транспорт, 1983. – С. 63–65.

Материал поступил в редакцию 11.11.11

VOJTSEHOVICH O.Ju. Management method the transport stream in the mode of real the time along the city highway with use of the binary tree of decisions

An approach is proposed for real-time coordination of signal phase timings for an arterial highway. Our method first identifies platoons and predicts their movement in the network (i.e., their arrival times at intersections, their sizes, and their speeds) by fusing and filtering the traffic data obtained, from sensors, in the last few minutes. The signals are set so that the predicted platoons are provided appropriate green times to optimize a given performance criterion. If two platoons demanding conflicting movements arrive at an intersection at the same time, then either one or the other will be given priority for green time, or one of them is split to maximize the given measure of performance. This study discusses how such conflicts are resolved and the corresponding algorithmic procedure. Also traffic modeling is discussed in the article. The model is used for testing of the approach.

УДК 004.94

Волчек А.А., Костюк Д.А., Петров Д.О., Шешко Н.Н.**МОДУЛЬ РАСЧЕТА ЗАТОПЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ ДЛЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАВОДКА**

Введение. Ежегодно значительные территории во многих странах, не исключая и Беларусь, оказываются в зоне паводка, на ликвидацию последствий которого расходуются существенные средства. Особенно остро ощущается, а в отдельные годы катастрофично, влияние паводков в Беларуси проявляется в пойме р. Припять и ее притоках. Проведение противопаводковых мероприятий позволяет сокращать фактический ущерб от наводнений, однако требует значительных затрат и эксплуатационных расходов. Поскольку полностью исключить наводнения в Беларуси невозможно, первоочередная задача состоит в том, чтобы максимально приспособить хозяйственную деятельность к возможным экстремальным условиям, и тем самым минимизировать наносимый урон [1, 2]. В рамках решения этой проблемы нами разрабатывается распределенная программно-аппаратная система наблюдения и прогнозирования наводнений [2, 3]. Система ориентирована на контроль паводка в пойме р. Припять, однако легко перестраиваемая конфигурация сети измерительных устройств позволяет максимально достоверно прогнозировать наводнения в бассейне любой реки, при наличии контрольных измерительных точек, а также необходимых статистических и топографических данных.

Важной частью разработки является подсистема компьютерного моделирования, выполняющая расчет паводковой ситуации на основе оцифрованных карт рельефа и информации о реальном либо прогнозируемом уровне воды в контрольных точках, расположенных в русле реки [2].

Аппаратная часть системы включает единый информационный центр, обрабатывающий поток данных, поступающих с сети автономных гидрологических устройств, располагаемых в средних точках русла реки. В качестве среды передачи данных используется GSM-сеть. Информационный центр представляет собой вычислительный сервер, накапливающий информацию, поступающую по каналу сотовой связи, а также рассчитывающий и отображающий актуальную и/или прогнозируемую картину затопления поймы реки.

Методика расчета затопления территории. Моделирование паводкоопасной ситуации обеспечивает точную визуализацию затопления территорий и заключается в построении пересечения поверхности рельефа с зеркалом поднявшейся воды. В опробованном нами изначально [2, 3] простом случае поверхность воды была представлена горизонтальной плоскостью, и задача построения картины ее пересечения с моделью рельефа, представленной матрицей высот, выполнялась применением модифицированного растрового алгоритма заполнения области с «затравкой» [2]. В качестве начальной точки заполнения («затравки») использовалось место расположения измерительного устройства. К недостаткам такого подхода можно отнести его локальность, не дающую возможности построить точную картину паводка на всей наблюдаемой территории, а не на отдельных участках, содержащих контрольные точки.

Более точный алгоритм расчета, реализация которого представлена нами в данной работе, предполагает построение трехмерных наклонных плоскостей, приближенно описывающих зеркало поднявшейся воды, и определение пересечения плоскостей с цифровой моделью рельефа. В общем случае алгоритм включает следующие этапы:

- построение цифровой трехмерной модели местности по растровым и/или векторным картам;
- построение на цифровой модели контрольных точек уровня воды на основе актуальных данных автоматизированных и/или ручных измерений на гидропостах, результатов работы модуля прогнозирования;
- построение зеркала воды на основе полученной линии уреза воды и модифицированного рекурсивного алгоритма заполнения области с «затравкой».

Моделирование рельефа местности. Цифровая модель рельефа (ЦМР), на основе которой выполняется расчет затопления территорий, может быть получена двумя способами:

- построение интерполяционной сетки по набору горизонталей, экспортированных из векторной карты, выполненное средствами стандартной ГИС (например, ArcGIS);
- получение ЦМР, выполненной дистанционным зондированием рельефа местности с космического спутника.

На текущий момент нами опробованы оба варианта. Недостатком первого подхода является возможность получения поверхности, отличающейся от реальной картины рельефа из-за неудачного выбора параметров и алгоритма интерполяции: результатом является либо изображение рельефа в виде террас, соответствующих отдельным горизонталям, либо математически гладкая поверхность, скрадывающая резкие перепады высот.

Ограничения второго подхода связаны с разрешающей способностью используемого спутником сенсора, а также с его чувствительностью к элементам, не являющимся частью рельефа (отражение от облаков и деревьев).

Построение поверхности зеркала воды. При разработке подхода к построению зеркала воды был выбран метод аппроксимации полосы криволинейной поверхности плоскими треугольными гранями, что позволяет уменьшить удельную вычислительную нагрузку при сохранении достаточно высокой точности расчета.

Алгоритм включает следующие этапы. Через контрольные точки с координатами Z , равными измеренной высоте уровня воды, проводится ломаная осевая линия. Для формирования поперечных сечений будущей криволинейной поверхности через эти же точки проводятся отрезки прямых, параллельные плоскости XY рассматриваемой геометрической модели (рис. 1).

Волчек Александр Александрович, д.т.н., профессор, декан факультета ВуГ Брестского государственного технического университета.

Костюк Дмитрий Александрович, к.т.н., доцент кафедры ЭВМиС Брестского государственного технического университета.

Петров Дмитрий Олегович, старший преподаватель кафедры ЭВМиС Брестского государственного технического университета.

Шешко Николай Николаевич, старший преподаватель кафедры СХГТМ Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Физика, математика, информатика