

УДК 656.13:004

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СБОРА И АНАЛИЗА ДАННЫХ О ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКАХ ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ЗАТОРОВ НА ДОРОГАХ г. МОГИЛЕВА

И.И. Мельников, К.А. Демиденков, И.А. Евсеенко

*Белорусско-Российский университет, Могилев, Беларусь*

## AUTOMATION OF THE TRAFFIC FLOW DATA COLLECTION AND ANALYSIS PROCESS TO AVOID TRAFFIC CONGESTIONS IN MOGILEV

I.A. Melnikau, K.A. Demedenkov, I.A. Yeuseyenka

*Belarusian-Russian University, Mogilev, Belarus*

Проведен анализ часто используемых видов транспортных детекторов. Рассмотрены преимущества и недостатки оптических транспортных детекторов (видеокамер). Предложена модель автоматизированной системы сбора и анализа данных о транспортных потоках города. Предложен способ совершенствования многослойного статистического метода путем применения параллельных вычислений на базе графических процессоров. Результаты экспериментальных исследований показали, что данный способ позволил снизить время обработки одного кадра в 1,9 раза.

**Ключевые слова:** транспортный поток, транспортный детектор, плотность движения, интенсивность транспортного потока, статистический метод выделения переднего плана *Multi-Layer Background Subtraction*.

The analysis of commonly used traffic detectors and advantages and disadvantages of optical traffic detectors (IP-cameras) is given. The model of the traffic flow data collection and analysis automation system and the method of modification of the Multi-Layer Background Subtraction algorithm using parallel computing based on the graphic processors are suggested. The experimental investigations show that the modified method can help to decrease video frame processing speed in 1.9 times.

**Keywords:** traffic flow, traffic detector, traffic density, traffic flow intensity, Multi-Layer Background Subtraction algorithm.

### **Введение**

Стремительное увеличение автопарка в Республике Беларусь, опережая рост пропускных способностей дорог, приводит к частому образованию заторов на дорогах крупных областных центров страны. По данным Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь по состоянию на 01.01.2010 г. он насчитывал 3433 тыс. автотранспортных средств, из которых 83,6% приходилось на автомобили [1]. За период с 2005 по 2009 гг. число автотранспортных средств возросло на 21 %, а уровень автомобилизации населения Беларуси повысился с 280 до 340 автотранспортных средств на 1 тыс. населения. Рост объема автопарка продолжается во всех областных центрах Республики Беларусь, в том числе в г. Могилеве.

Сегодня в г. Могилеве работает система управления дорожным движением, которая позволяет получать эффект «зеленой волны» на некоторых улицах и проспектах (ул. Челюскинцев, ул. Пионерская и др.), тем самым предупреждая образование заторов [2]. Однако использование такой системы становится не достаточно эффективным средством и количество заторов увеличивается. Необходимо оперативно собирать и обрабатывать информацию о характеристиках транспортного потока на различных

участках дорог всего города и быстро реагировать на изменение дорожно-транспортной обстановки (например, менять режимы работы светофоров), а также анализировать собранную информацию для составления прогнозов.

### **1 Транспортные потоки и их характеристики**

Транспортные потоки можно разделить на два основных типа: непрерывный и прерывный. Интенсивность непрерывного транспортного потока регулируется характером взаимодействия транспортных средств между собой и поведения транспортных средств на трассе. Например, транспортные средства, движущиеся по автомагистрали, формируют непрерывный транспортный поток.

Интенсивность же прерывного транспортного потока регулируется внешними средствами, например, светофорными объектами. В режиме прерывного транспортного потока характер взаимодействия транспортных средств между собой и поведения транспортных средств на трассе играет второстепенную роль в формировании транспортного потока. Применительно к этому типу и решалась задача снижения количества заторов, поскольку прерывный транспортный поток свойственен городам.

Описание транспортного потока базируется на множестве характеристик. Рассмотрим наиболее часто используемые.

**Скорость движения.** Скорость движения транспортного средства определяется расстоянием, преодолеваемым этим транспортным средством за единицу времени. Большую часть времени скорость каждого транспортного средства, движущегося по трассе, так или иначе отличается от скорости других находящихся поблизости транспортных средств. Средняя скорость движения автотранспорта является одним из важнейших количественных параметров транспортного потока. Среднюю скорость, которую также называют средней скоростью движения на определенном участке, можно определить путем усреднения скоростей движения всех транспортных средств в районе исследования.

**Интенсивность транспортного потока.** Интенсивность транспортного потока характеризуется количеством транспортных средств, проходящих по данному участку дороги за определенный промежуток времени и обычно выражается количеством транспортных средств в час.

**Плотность движения.** Под плотностью движения понимают количество транспортных средств, находящихся на данном участке трассы. Обычно плотность движения выражается количеством транспортных средств на километр. Высокий показатель плотности движения указывает на то, что отдельные транспортные средства располагаются весьма близко друг от друга, а низкий показатель свидетельствует о том, что они расположены друг от друга на большем расстоянии.

**Временной интервал следования.** Временной интервал следования представляет показатель, характеризующий временной промежуток между двумя транспортными средствами. В частности, временной интервал следования это промежуток времени между прибытием впереди идущего и следующего сзади транспортного средства в назначенную контрольную точку. Временной интервал следования обычно выражается в секундах.

**Дистанция следования.** Дистанция следования – это физическое расстояние между передним бампером впереди идущего транспортного средства и передним бампером следующего сзади транспортного средства, обычно выражаемое в метрах. Дистанция следования включает в себя временной интервал следования, так как она характеризует то же самое расстояние, но иным способом. Дистанция следования математически представляет собой произведение скорости движения на временной интервал следования.

В проводимых исследованиях используются следующие характеристики: скорость движения, интенсивность транспортного потока и плотность движения. Данные показатели являются взаимозависимыми и в условиях непрерывного

транспортного потока могут быть представлены следующим образом:

$$q = k \cdot v, \quad (1.1)$$

где  $q$  – интенсивность транспортного потока, транспортные средства/ч;  $v$  – скорость движения, км/ч;  $k$  – плотность движения, транспортные средства/км.

В случае с прерывным транспортным потоком связь не столь очевидна, однако также прослеживается.

Для определения параметров, приведенных в формуле (1.1), наиболее быстро и точно инструментальными средствами можно измерить два: интенсивность транспортного потока и плотность движения. Скорость движения может быть рассчитана по формуле (1.1).

## 2 Средства измерения интенсивности транспортного потока и плотности движения

Сегодня для сбора данных о плотности движения и интенсивности транспортного потока применяются транспортные детекторы различного типа: контактного, фотоэлектрического, ультразвукового, магнитного и т. д. Ниже представлены преимущества и недостатки наиболее часто используемых типов детекторов (таблица 2.1) [3].

Как видно из таблицы 2.1, каждая технология обладает своими преимуществами и недостатками. Технология видеонаблюдения выглядит довольно перспективной. У нее больше преимуществ перед детекторами другого типа, а некоторые недостатки могут быть успешно устранены. Так, на сегодняшний день существуют довольно эффективные алгоритмы [4], которые позволяют нивелировать отрицательный эффект воздействия внешней среды на камеру, а современные IP-камеры позволяют вести непрерывное наблюдение днем и ночью и упростить процесс обработки видеосигнала.

Видеокамеры могут применяться совместно с детекторами других типов, например, для одновременного измерения скорости движения автомобиля и его идентификации (распознавания номера, определение класса автомобиля, его цвета и т.п.), как показано на рисунке 2.1.

Для организации видеоконтроля применяется несколько типов камер, которые могут быть установлены в соответствии с одним из нескольких возможных вариантов (рисунок 2.2).

Первый тип – панорамные камеры низкого разрешения для мониторинга транспортного потока и определения нарушений. Обычно применяется одна камера на одно направление движения.

Второй тип камер – камеры высокого разрешения – применяются для фиксации номерных знаков транспортных средств. Обычно используется одна камера на две-три полосы движения.

Третий тип – роботизированная камера с возможностью масштабирования. Применяется

Таблица 2.1 – Преимущества и недостатки транспортных детекторов разных типов

Технология	Преимущества	Недостатки
Пассивная/активная инфракрасная	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Простота установки.</li> <li>2. Надежность.</li> <li>3. Устойчивость к воздействию окружающей среды.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Покрывает 1–2 полосы движения.</li> <li>2. Классификация транспортных средств базируется на исследовании высоты объекта, а не длины.</li> <li>3. Работа пассивных датчиков ухудшается при дожде и снегопаде.</li> </ol>
Радар	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Тяжелые климатические условия не влияют на работу детектора.</li> <li>2. Прямое измерение скорости.</li> <li>3. Одновременно обслуживает несколько полос движения.</li> </ol>	<p>Плохо работает на перекрестках при подсчете объема транспортного потока.</p>
Ультразвуковая	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Простота установки.</li> <li>2. Одновременно обслуживает несколько полос движения.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Работа ухудшается при сильных колебаниях температуры и турбулентности потока воздуха.</li> <li>2. Измерение занятости полос на трассах при высоких скоростях может ухудшаться.</li> </ol>
Видео	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Одновременно обслуживает несколько зон и несколько полос движения.</li> <li>2. Простота установки и перенастройки детектируемых зон.</li> <li>3. Возможность сбора больших массивов данных.</li> <li>4. Широкая зона детектирования.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Воздействие тяжелых климатических условий, тени, резкие перемещения транспортных средств из одной полосы в другую, обледенение, смена дня и ночи могут влиять на работу камер.</li> <li>2. Сильный ветер может приводить к вибрации несущих конструкций, а, следовательно, и камеры.</li> <li>3. Большие объекты наблюдения могут загромождать маленькие.</li> </ol>

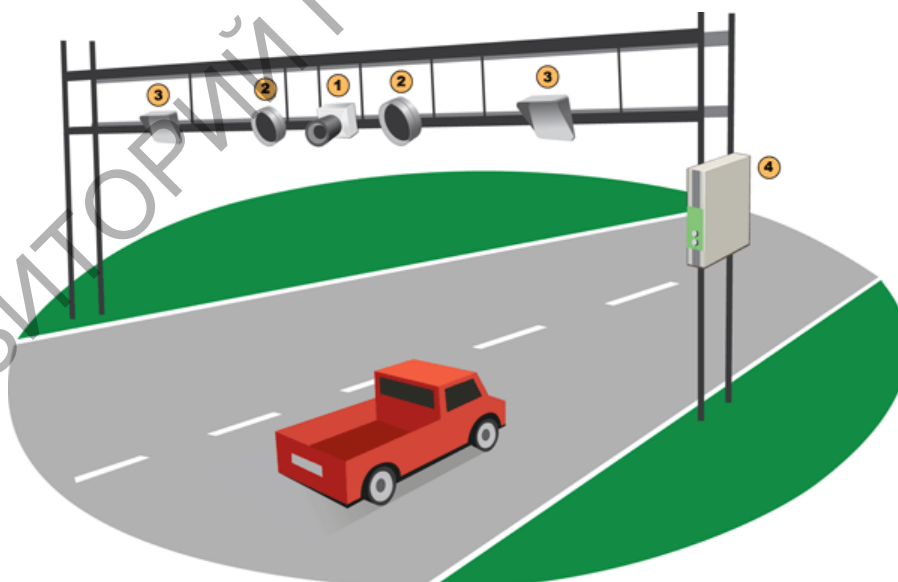


Рисунок 2.1 – Пример использования видеокамеры совместно с детекторами другого типа  
(1 – камера высокого разрешения; 2 – импульсный инфракрасный прожектор; 3 – радар; 4 – уличный сервер)

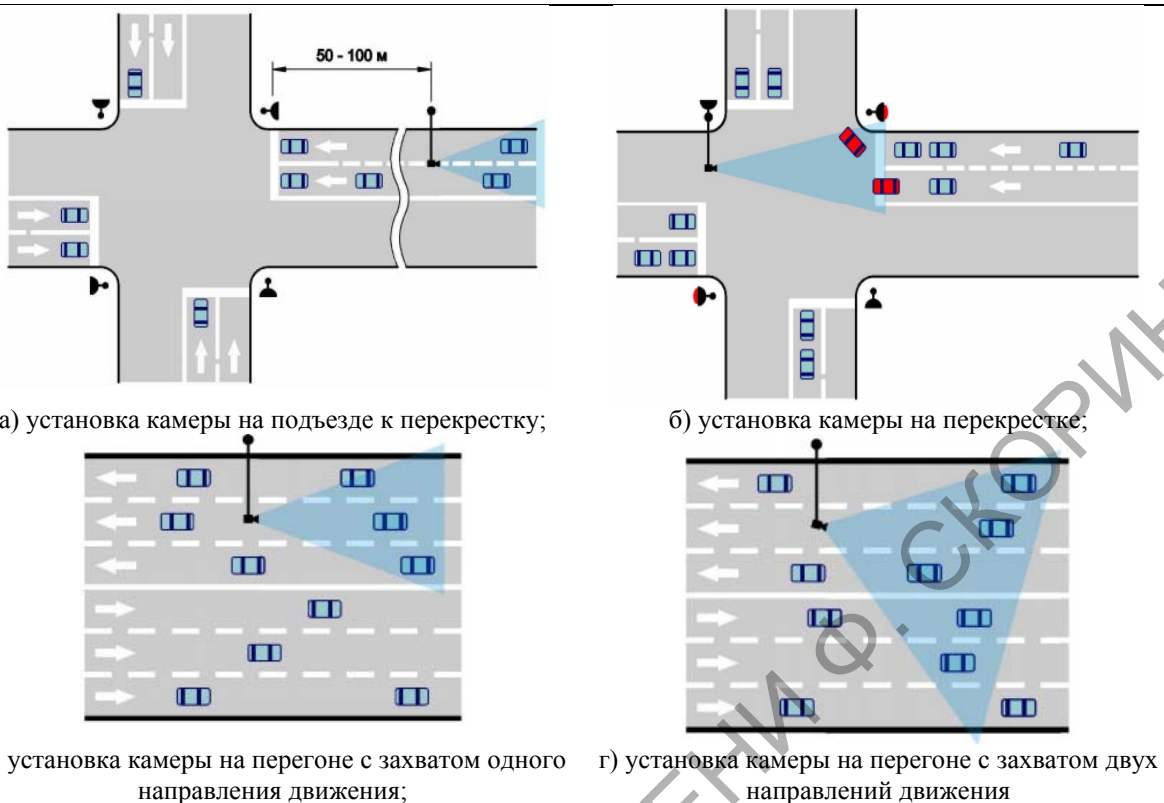


Рисунок 2.2 – Варианты установки камер на перекрестке и трассе

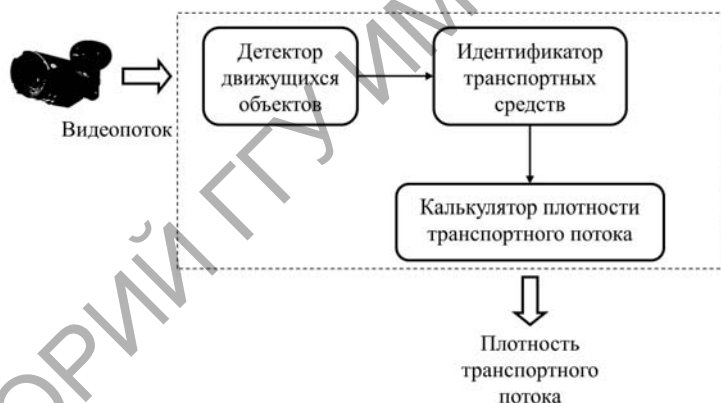


Рисунок 3.1 – Общая модель разрабатываемой системы

для общего наблюдения за перекрестком. Количество таких камер определяется сложностью дорожных ситуаций, возникающих на перекрестке.

Отличительной особенностью видеокамер является получение визуальной информации о дорожной обстановке сразу с нескольких полос благодаря широкому углу обзора. Но обработка видеоизображения, причем не всегда высокого качества, с последующим распознаванием движущихся объектов на нем является ресурсоемкой задачей, требующей нередко специализированного и дорого оборудования.

На дорогах г. Могилева на сегодняшний день отсутствуют транспортные детекторы инфракрасного, ультразвукового и акустического типа, зато установлено большое число видеокамер, предназначенных для наблюдения за безопасностью

дорожного движения. Однако потенциал видеокамер гораздо шире, и их можно использовать в качестве средств сбора данных о плотности движения и интенсивности транспортного потока.

### 3 Модель автоматизированной системы определения плотности движения и интенсивности транспортного потока на базе видеонаблюдения

Процесс обработки и анализа видеоизображения состоит из нескольких этапов:

- выделение переднего плана;
- выделение и классификация движущихся объектов;
- распознавание и описание движения найденных объектов.

На каждом этапе можно использовать различные алгоритмы, обладающие определенными достоинствами и недостатками.

Разрабатываемая система состоит из трех модулей (рисунок 3.1): детектора движущихся объектов, идентификатора транспортных средств, калькулятора характеристик транспортного потока. В детекторе движущихся объектов происходит выделение и классификация движущихся объектов. В идентификаторе транспортных средств – распознавание движущихся объектов на базе искусственных нейронных сетей. Калькулятор плотности движения (плотности транспортного потока) рассчитывает плотность транспортного потока и определяет его состав, используя информацию о транспортных средствах, успешно распознанных идентификатором транспортных средств.

Основная нагрузка возлагается на методы этапа выделения переднего плана. От того, насколько точно выбран метод позволяет отделить точки изображения, принадлежащие движущимся объектам, от точек статического фона, во многом зависит качество работы методов последующих этапов, а значит и всей системы в целом. Именно на него большое влияние оказывает внешняя среда, и он, как правило, самый ресурсоемкий во всей цепочке методов обработки видеоизображения и обнаружения движущихся объектов [4]. Следовательно, необходимо спроектировать детектор движущихся объектов таким образом, чтобы добиться высокой устойчивости его работы и снизить время цифровой обработки видеосигнала, несмотря на рост ресурсоемкости.

В ходе экспериментальных исследований оценена эффективность работы наиболее распространенных алгоритмов по качеству выделения движущихся объектов: метода временной разности, вероятностного метода [5], статистического метода [6] и метода оптического потока на основе вычисления собственных значений и векторов блоков изображений [7].

Наилучший результат показал статистический метод, основанный на оценке цветовых уровней и текстуры. Однако недостатком данного метода является длительность обработки каждого кадра видеоизображения (от 700 мс до 2 с), что затрудняет его использование в рамках автоматизированной системы определения плотности движения на базе видеонаблюдения. Был предложен способ ускорения работы данного метода, основанный на использовании параллельных вычислений, новизна которого заключается в том, что модификация статистического метода выделения переднего плана была осуществлена путем распараллеливания алгоритма на ядрах графических процессоров.

### Заключение

Проведенные эксперименты показали, что данный способ модификации позволил ускорить процесс обработки одного видеокadra разрешением 640x480 пикселей в 1,9 раза (с 1530 мс до 790 мс). Данный результат не является пределом, т. к. возможна дальнейшая модификация алгоритма.

Предложенный способ модификации статистического метода позволит достаточно точно выделять контуры движущихся объектов, не прибегая к методам кластеризации, что ускорит процесс обработки видеоизображения.

Разрабатываемая система представляет интерес для областного управления государственной автомобильной инспекции г. Могилева, т. к. она позволит автоматически собирать и систематизировать информацию о дорожно-транспортной обстановке в городе, поможет оперативно реагировать на стремительные изменения характеристик транспортного потока и составлять прогнозы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Состояние окружающей среды Республики Беларусь* : нац. доклад / М-во природ. ресур. и окружающей среды Республики Беларусь, Гос. науч. учр-е «Инс-т природопользования Нац. академ. наук Беларуси». – Минск : Белтаможсервис, 2010. – 150 с.
2. *История Госавтоинспекции Могилевской области* [Электронный ресурс] / Управление Госавтоинспекции УВД Могилевского Облсполкома. Режим доступа : <http://gai.mogilev.by/gai/history.htm>. – Дата доступа : 01.11.2013.
3. *Аналитический обзор детекторов транспорта* [Электронный ресурс] / AGA Group Inc. Режим доступа : <http://www.againc.net/ru/education/transport-engineering/10-detectors>. – Дата доступа : 01.11.2013.
4. *Лукьяница, А.А.* Цифровая обработка видеоизображений / А.А. Лукьяница, А.Г. Шишкин. – М. : «Ай-Эс-Эс Пресс», 2009. – 518 с.
5. *Zivkovic, Z.* Improved Adaptive Gaussian Mixture Model for Background Subtraction / Z. Zivkovic // Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition. – Vol. 2. – 2004. – P. 28–31.
6. *Jian, Yao.* Multi-Layer Background Subtraction Based on Color and Texture / Yao Jian, Jean-Marc Odobez // Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – Minneapolis, 2007. – P. 1–8.
7. *Oliver, N.M.* A Bayesian Computer Vision System for Modeling Human Interactions / N.M. Oliver, B. Rosario, A.P. Pentland // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – Vol. 22. – 2000. – P. 831–843.

Поступила в редакцию 03.12.13.