

УДК 004.932

**С. Г. Антощук**, д-р техн. наук,  
**А. Е. Колесников**, канд. техн. наук,  
**А. А. Нутович, В. П. Прокопович**

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ АНАЛИЗА АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИИ ЗА ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ**

*Аннотация.* Разработаны и обоснованы алгоритмы анализа видеопотока, применение которых позволит расширить функциональные возможности систем видеонаблюдения путем обеспечения детектирования аварийных событий в масштабе реального времени. Предложенные решения позволят повысить безопасность дорожного движения и пропускную способность дорог.

**С. Г. Антощук**, д-р техн. наук,  
**О. Е. Колесников**, канд. техн. наук,  
**О. А. Нутович, В. П. Прокопович**

### **МОДЕЛЮВАННЯ АЛГОРИТМІВ АНАЛІЗУ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ ПРИ ВИДЕОСПОСТЕРЕЖЕННІ ЗА ДОРОЖНІМ РУХОМ**

*Анотація.* Розроблені та обґрунтовані алгоритми аналізу відеопотоку, застосування яких дозволить розширити функціональні можливості систем відеоспостереження шляхом забезпечення детектування аварійних подій в масштабі реального часу. Запропоновані рішення дозволять підвищити безпеку дорожнього руху та пропускну здатність доріг.

**S. G. Antoshchuk**, ScD,  
**A. E. Kolesnikov**, PhD,  
**A. A. Nutovich, V. Prokopovich**

### **SIMULATION ANALYSIS ALGORITHMS EMERGENCIES UNDER SURVEILLANCE OF TRAFFIC**

*Abstract.* Algorithms for analyzing the video stream were developed. Using them can improve the functionality of video surveillance systems by ensuring the detection of emergency events in real time. The proposed solutions will improve road safety and road capacity.

**Введение.** На сегодняшний день актуальность решения научно-практической проблемы повышения безопасности и производительности дорожного движения не вызывает сомнений. Для устранения негативных процессов, вызванных стремительной автомобилизацией, необходимостью увеличения количества автоперевозок и обеспечения быстрого и безопасного городского движения, требуется применение комплекса мероприятий архитектурно-планировочного и организационного характера. Однако строительство многоуровневых транспортных развязок, подземных и надземных пешеходных переходов, объездных дорог и т. д. требуют значительных капиталовложений и временных затрат [3]. При реализации организационных мероприятий особая роль принадлежит внедрению технических средств автоматизации, телемеханики, диспетчерской связи и телевидения для управления движением транспортных потоков в городах.

Опыт зарубежных стран показывает, что внедрение современных автоматизирован-

ных систем управления дорожным движением (АСУДД) без строительства дополнительных дорог может обеспечить повышение пропускной способности транспортных сетей до 20 %. Поэтому именно на создание эффективных систем АСУДД направлены усилия исследователей и разработчиков во всем мире. Однако, несмотря на достигнутые успехи в области создания интеллектуальных систем управления дорожным движением, сегодня существует ряд нерешенных проблем, часть из которых связана с недостаточным уровнем информационного обеспечения управления транспортной системой (ТС).

Имеющиеся в Украине информационные системы сегодня не позволяют проводить интегральную оценку дорожной ситуации, поскольку отдельные данные берутся либо как среднестатистические, либо собираются и используются разрозненно, из-за чего могут противоречить друг другу, и потому, как правило, не предусматривают использования за пределами конкретной системы. Это повышает стоимость информации о транспортной сети, усложняет оперативное получение достоверных данных и обоснованное приня-

© Антощук С.Г., Колесников А.Е.,  
Нутович А.А., Прокопович В.П., 2011

тие решений при организации управления городской транспортной системой (ГТС).

Эти проблемы могут быть решены в интеллектуальных транспортных системах (ИТС) за счет оперативного мониторинга, анализа и перераспределения транспортных потоков, а также развития систем искусственного интеллекта.

Основными источниками информации в ИТС являются системы видеонаблюдения (СВН), которые осуществляют либо мониторинг ТС и передачу видеoinформации в центр анализа, либо определение характеристик транспортных потоков.

В первом случае системам видеонаблюдения присущи такие недостатки:

– большие объемы передаваемой, хранимой и обрабатываемой информации приводят к значительной ресурсоемкости таких систем, ограничению области их применения и числа контролируемых участков дороги;

– из-за того, что оценка параметров транспортного потока и внешней среды в значительной мере осуществляется человеком – оператором, снижается оперативность принимаемых решений и возникают ошибки, определяемые человеческим фактором, и, следовательно, снижается эффективность процесса управления в целом.

Во втором случае эти проблемы частично решаются за счет определения характеристик транспортных потоков (например, системы видеонаблюдения TRASSIR [5], MegaSense [2], и др.) и адаптивного управления дорожным движением с помощью светофоров. Однако в них не предусмотрено распознавание характера дорожных ситуаций, что особенно важно при возникновении дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Следует отметить, что несвоевременное обнаружение ДТП и оказание медицинской помощи пострадавшим является одной из основных причин высокой смертности при ДТП. Характерной особенностью проявления аварийности является высокая концентрация ДТП на определенных участках. Статистика, собранная в ряде стран, показывает, что для организации своевременного реагирования на 40 % ДТП достаточно оснастить

системами автоматического распознавания ДТП лишь 10 % дорог [1]. Поэтому в данной работе выполнено моделирование алгоритмов оперативного анализа аварийных ситуаций при видеонаблюдении за дорожным движением.

**Структура системы анализа аварийных ситуаций при видеонаблюдении.** Под аварийной ситуацией на дороге понимается событие, возникшее в процессе движения на дороге транспортного средства либо пешехода, вследствие чего затруднено дорожное движение и есть потенциальная угроза ДТП [1]. Примерами таких ситуаций могут быть возникновение заторов, пробок, собственно ДТП, нахождение на дороге объектов, вызывающих резкое ухудшение дорожно-транспортной обстановки и др. С точки зрения автоматизированного анализа видеоизображений будем называть неаварийной такую ситуацию, которая описывается определенным сценарием: «объект интереса  $\Omega_i$  движется по определенной траектории  $P_i$  относительно камеры с определенной скоростью  $V_i$ »:

$$\Omega_i \Rightarrow P_i \Rightarrow V_i.$$

При изменении этого сценария возникает аварийная ситуация. Извлечение информации о ней путем обработки видеоизображений является одной из наиболее сложных и актуальных задач, связанных с проблемой выделения и распознавания движущихся объектов в условиях действия различного рода помех и возмущений и создания на этой основе интеллектуальных систем видеонаблюдения. Главная задача таких систем – информировать человека о сложившейся ситуации на наблюдаемом объекте и по возможности предпринимать какие-либо заранее предусмотренные или программно заложенные действия.

Процесс построения указанных систем представляет собой сложную алгоритмическую цепочку, включающую обработку цифрового изображения с целью выделения значимой информации и анализ этой информации для решения определенной задачи. Условно анализ видеоизображений в таких системах можно разделить на следующие этапы:

• обнаружение движущихся объектов (ДО)  $\Omega_i$  (детектирование движения);

- поиск точечных особенностей (идентификация движущихся объектов);
- отслеживание траектории движения объектов интереса (поиск оптического потока);
- распознавание типов и действий обнаруженных объектов (определение траектории  $P_i$  и скорости движения  $V_i$ ).

В работе проведен анализ существующих и разработаны новые методы, алгоритмы для решения задач обработки видеозображений и структурного анализа сцен в системе видеонаблюдения за ГТС (обнаружение ДО, идентификация ДО, определение параметров движения и т.п.). Разработана среда моделирования. Моделирование проводилось на тестовой («движущийся квадрат») и реальной видеопоследовательностях (видеоролик, полученный при мониторинге перекрестка улиц Балковской и Мельницкой, г. Одесса).

#### Моделирование алгоритмов.

Обнаружение движущихся объектов является основным этапом, основой дальнейшего анализа. Этот этап заключается в выделении переднего плана. От того, насколько аккуратно и корректно решена эта задача, зависят все последующие этапы, а также требуемые вычислительные ресурсы. Именно поэтому огромное количество работ посвящено методам детектирования движущихся объектов. Дополнительную сложность здесь создают внезапное изменение освещенности, падающие тени, движение ветвей деревьев на ветру и др. В работе проведен анализ основных алгоритмов детектирования движения.

*Пороговые алгоритмы и алгоритмы пирамидальной сегментации* работают только со статистическим полутоновым изображением и поэтому теряют характеристику видео-потока. Плохо работают с цветными изображениями. Позволяют сегментировать точки по интенсивности, но не позволяют определить конкретно объекты и их положение.

*Алгоритмы межкадровой разницы.* Для каждой пары пикселей  $i$ -го и  $(i-1)$ -го кадров находится разница значений интенсивности по модулю:

$$\text{diff}(x, y) = |C_{i-1}(x, y) - C_i(x, y)|,$$

где  $(x, y)$  – координаты точки изображения для которой проводится детектирование,  $C_{i-1}(x, y)$  и  $C_i(x, y)$  – значение интенсивности точек  $z$  координатами  $(x, y)$  для  $i$ -го и  $(i-1)$ -го кадров.

В результате работы алгоритма хорошо устраняется фон, поскольку фоновые точки обычно не изменяются (рис. 1).

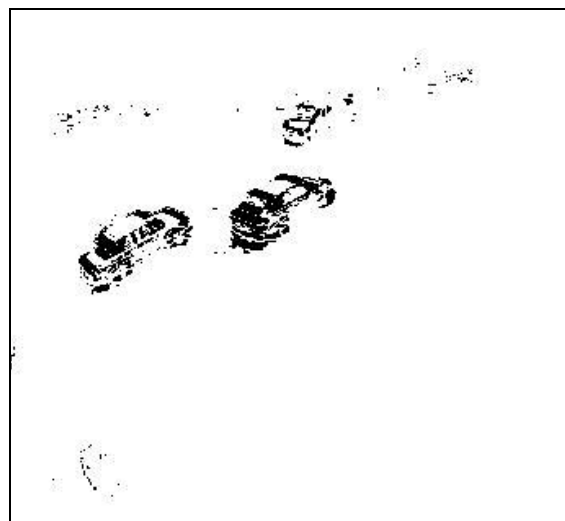


Рис. 1. Результат работы алгоритма межкадровой разницы

*Алгоритм вычитания фона:*

$$\text{diff}(x, y) = |C_{bg}(x, y) - C_i(x, y)|,$$

где  $C_{bg}(x, y)$  – значение интенсивности точек с координатами  $(x, y)$  для фонового изображения.

Недостатком алгоритма является устранение им не только всех фоновых точек, но и некоторых точек, принадлежащих объекту.

*Алгоритм компенсации движения.* В этом алгоритме, как правило, в качестве меры движения выступает сумма абсолютных разностей (САР) и сумма квадратов разностей (СКР):

$$\text{САР} = \sum_{p \in \text{Obj}} |F_{\text{Orig}}(p) - F_{\text{Comp}}(p)|,$$

$$\text{СКР} = \sum_{p \in \text{Obj}} |F_{\text{Orig}}(p) - F_{\text{Comp}}(p)|^2,$$

где  $\text{Obj}$  – множество объектов компенсации,  $F_{\text{Orig}}$  и  $F_{\text{Comp}}$  – яркость исходного и скомпенсированного кадра соответственно. В качестве элемента компенсации выступает пиксель кадра, рассматриваемый класс преобразований – линейные сдвиги. Минимизирует-

ся обычно суммарная ошибка компенсации для всего кадра (Displaced Frame Difference, DFD):

$$DFD(d, n) = \sum_{p \in \text{Frame}} |F(p, n) - F(p + d(p), n - 1)|,$$

где  $F(p, n)$  – яркость кадра номер  $n$  в точке  $p = (x, y)^T$ ,  $d(p) = (d_x, d_y)^T$  – вектор смещения для точки  $(x, y)^T$ .

Результатом алгоритма для текущего кадра с номером  $n$  является такой набор векторов  $d_0$  для каждой точки кадра  $p = (x, y)^T$ , что  $DFD(d_0, n) = \min DFD(d, n)$  по всевозможным наборам  $d$ .

Таким образом, идея алгоритма базируется на предположении, что яркость можно приблизить линейной функцией от положения точки в кадре. Это предположение оправдано только для сравнительно небольшой окрестности этой точки, что существенно снижает область применимости данного алгоритма и позволяет ему корректно оценивать лишь небольшие сдвиги.

Это ограничение можно преодолеть, оценивая не сам вектор сдвига, а его разность с некоторым вектором предсказания, который с большой вероятностью расположен ближе к искомому вектору, чем нулевой.

Основные недостатки алгоритма – высокая сложность, низкая точность и большой объем информации, описывающей движение.

Таким образом, из рассмотренных выше алгоритмов наиболее быстрым и простым с точки зрения вычислений является алгоритм межкадровой разницы. Он был выбран в качестве базового.

Для идентификации движущихся объектов в настоящее время применяют две группы методов — контурные методы (shape-based) и методы, основанные на движении (motion-based). Первые используют двухмерную пространственную информацию об объекте, а вторые — изменение характерных параметров объекта во времени. В работе исследованы алгоритмы, относящиеся к первой группе и основанные на учете точечных особенностей (ТО) сцены. Под точечной особенностью  $M$  понимают такую точку сцены, которая лежит на поверхности некоторого объекта и которую можно отличить от всех других точек сцены, принадлежащих другим объектам. Большинство детекторов

ТО работают подобным образом: для каждой точки изображения рассчитывается некоторая функция от ее окрестности. Точки, в которых эта функция достигает локального максимума, очевидно можно отличить от других точек окрестности [4].

Моделирование поиска ТО производилось для изображений, полученных после работы алгоритма детектирования движения для тестовой и реальной видеопоследовательности. Исследованы алгоритмы: детекторы с использованием градиента и квазиградиента интенсивности, детекторы Бедета и Хариса. В качестве базового выбран детектор с использованием квазиградиента интенсивности, поскольку он позволяет регулировать детальность при определении ТО сцены и удовлетворяет по быстродействию (рис. 2).

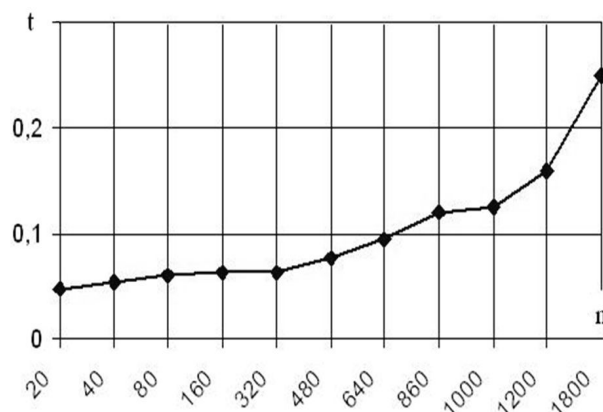


Рис 2. Зависимость времени  $t$  детектирования от количества ТО

На этапе *отслеживания траектории* (поиска оптического потока, трекинга) всех движущихся объектов выявляется временное соответствие между детектированными объектами от кадра к кадру. При этом обеспечивается временная идентификация выделенных областей изображения и определяется соответствующая информация об объектах в наблюдаемой зоне, а именно, траектория, скорость и направление движения. Результаты данного этапа обычно используются для верификации информации, полученной на предыдущих этапах. Исследованы алгоритмы Lucas-Kanade, Tomasi-Kanade и Shi-Tomasi-Kanade. В качестве базового выбран первый, так как он работает в два раза быстрее других (рис. 3).



Рис. 3. Результат работы алгоритма поиск оптического потока

На заключительном шаге обработки видеоизображений проводится *распознавание и описание действий выделенных объектов* в соответствии с заданными сценариями в виде высказываний типа: «автомобиль остановился на перекрестке». Проведен анализ достоверности распознавания аварийной ситуации. Количество сценариев – 5. Процент ошибок первого рода при рассмотренных реальных видеороликах – 50 %. Процент ошибок второго рода составляет 10 %.

При построении прототипа системы анализа аварийных ситуаций при управлении дорожным движением были использованы современные языки и технологии программирования (C++, PHP; MySQL; OpenCV).

Проведен анализ временных затрат работы основных алгоритмов системы анализа аварийных ситуаций (рис. 4).

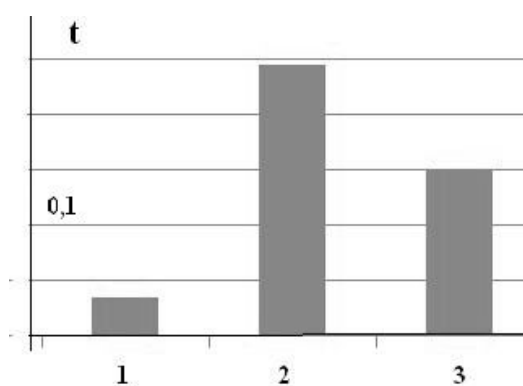


Рис.4. Сравнение нормированных временных затрат основных этапов:

- 1- детектирование движения ;
- 2- поиск точечных особенностей;

### 3- поиск оптического потока

Разработанный прототип системы работает в масштабе реального времени. Средняя скорость обработки – 21 кадр в секунду. Наиболее медленный этап обработки – поиск точечных особенностей – осуществляется один раз в 2 секунды. При этом скорость обработки падает до 17 кадров в секунду.

## Выводы

Проведенное моделирование позволило выбрать рациональные алгоритмы для создания универсальной системы, которая в условиях возможных ограничений обеспечивала бы эффективный мониторинг аварийных ситуаций. Внедрение такой системы особенно актуально в г. Одессе, поскольку в нём начала действовать программа «Безопасный город», предусматривающая широкое внедрение систем видеонаблюдения.

Реализация такой системы позволит внести ряд дополнительных возможностей в системы управления дорожным движением. Среди них:

- построение динамических карт, перераспределяющих потоки движения, для информирования водителей;

- увеличение количества перекрестков, за которыми ведется мониторинг без увеличения количества операторов. Снижение влияния человеческого фактора при определении аварийных ситуаций;

- своевременное реагирование на ДТП позволяет снизить риск тяжелых последствий от них;

- обеспечение автоматизированного сбора статистической информации о ГТС и аварийных ситуациях для дальнейшего анализа и совершенствования существующих систем и правил дорожного движения.

Предложенные решения позволят повысить безопасность дорожного движения и пропускную способность дорог. информировать человека о сложившейся ситуации на наблюдаемом объекте и по возможности предпринять какие-либо заранее предусмотренные или программно заложенные действия

### Список использованной литературы

1. Антощук С.Г. Сенсорные интеллектуальные системы в управлении дорожным движением / С.Г.Антощук, А.Е.Колесников, А.А.Нутович // *Электромашинобудування та електрообладнання*. – 2009. – Вип. 74. – С. 105-111.

2. Аппаратно-программный комплекс MegaSense [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.mpixel.ru/ms.htm/>

3. Нутович А.А. Интеллектуальная система поддержки принятия решений по управлению дорожно-транспортной инфраструктурой / А.А. Нутович, А.В. Колесников, С.Г. Антощук // *Тр. IX междунаучно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии» (СИЭТ-2008)*. – Одесса:– 2008. – Т.1. – С. 86-89.

4. Bayesian Corner Betector: Theory and Performance Evaluation – Bedekar A.S., Haralick R.M., Ramesh V. and Zhang X. A – *ARPA94*. – 1994. – P. 703-715.

5. Digital Security Systems Lab [электронный ресурс] – 2010. – Режим доступа: <http://www.dssl.ru/>

Получено 30.01.2011



Антощук  
Светлана Григорьевна,  
д-р техн. наук, профессор,  
зав. каф. информационных  
систем Одесск. нац.  
политехн. ун-та  
e-mail: asg@ics.opu.ua



Колесников  
Алексей Евгеньевич,  
канд. техн. наук, доцент  
каф. УС БЖД Одесск. нац.  
политехн. ун-та  
e-mail: akoles@list.ru



Нутович  
Александр Аркадьевич,  
директор ООО  
"Причалы Коминтерна"



Прокопович Владимир,  
студент Одесск. нац.  
политехн. ун-та