

ИНФОРМАЦИОННО- УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ



*Обработка
видеоинформации
в системах контроля
и управления*

1 (8)/2004

Главный редактор

М. Б. Сергеев,
доктор технических наук, профессор

Зам. главного редактора

Г. Ф. Мощенко

Редакционный совет:

Председатель А. А. Оводенко,
доктор технических наук, профессор
В. Н. Васильев,
доктор технических наук, профессор
В. Н. Козлов,
доктор технических наук, профессор
Ю. Ф. Подоплекин,
доктор технических наук, профессор
Д. В. Пузанков,
доктор технических наук, профессор
В. В. Симаков,
доктор технических наук, профессор
А. Л. Фрадков,
доктор технических наук, профессор
Л. И. Чубраева,
доктор технических наук, профессор, чл.-корр. РАН
Р. М. Юсупов,
доктор технических наук, профессор

Редакционная коллегия:

В. Г. Анисимов,
доктор технических наук, профессор
В. Ф. Мелехин,
доктор технических наук, профессор
А. В. Смирнов,
доктор технических наук, профессор
В. А. Фетисов,
доктор технических наук, профессор
В. И. Хименко,
доктор технических наук, профессор
А. А. Шальто,
доктор технических наук, профессор
А. П. Шепета,
доктор технических наук, профессор
З. М. Юлдашев,
доктор технических наук, профессор

Редактор: О. А. Рубинова

Корректоры: Т. Н. Гринчук, Е. П. Смирнова

Дизайн: М. Л. Черненко

Компьютерная верстка: О. В. Васильева,
А. А. Буров

Ответственный секретарь: О. В. Муравцова

Адрес редакции: 191023, Санкт-Петербург,
Инженерная ул., д. 6
Тел./факс: (812) 312-53-90
E-mail: asklab@aanet.ru

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по делам печати,
телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.
Свидетельство о регистрации ПИ № 77-12412 от 19 апреля 2002 г.

Журнал распространяется по подписке. Подписку можно оформить в
любом отделении связи по каталогу агентства «Роспечать». Индекс 15385.

© Коллектив авторов, 2004

**ОБРАБОТКА ВИДЕОИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ
И УПРАВЛЕНИЯ**

<i>Тимофеев Б. С. Системы видеонаблюдения железнодорожных составов</i>	2
<i>Красильников Н. Н. Методы увеличения степени сжатия изображений электропийными кодерами</i>	10
<i>Астратов О. С., Филатов В. Н., Чернышова Н. В. Видеомониторинг транспортных потоков</i>	14
<i>Вилесов Л. Д. Обнаружение-измерение неизвестного числа объектов с неизменными параметрами на изображении</i>	22
<i>Обухова Н. А. Обнаружение и сопровождение движущихся объектов методом сопоставления блоков</i>	30

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ

<i>Бестугин А. Р., Богданова А. Ф., Стогов Г. В. Оценивание фрактальной размерности</i>	38
---	----

ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

<i>Подкорытов Д. А. Модель политики безопасности вычислительных систем</i>	41
--	----

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

<i>Лукманов Ю. Х. Региональная политика и управление отраслевыми промышленными системами</i>	50
--	----

РЕЦЕНЗИИ

<i>Астапкович А. М. «Терминологический словарь по электронной технике»</i>	56
--	----

ИНФОРМАЦИЯ

57

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

58

АННОТАЦИИ

60

ЛР № 010292 от 18.08.98.
Сдано в набор 30.01.2004. Подписано в печать 27.02.2004. Формат 60×90/8.
Бумага офсетная. Гарнитура Pragmatica. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 12,0. Уч.-изд. л. 13,3. Тираж 1000 экз. Заказ 260.

Оригинал-макет изготовлен
в отделе электронных публикаций и библиографии ГУАП.
190000, Санкт-Петербург, Б. Морская ул., 67.

Отпечатано с готовых диапозитивов в ООО «Политехника-сервис».
191023, Санкт-Петербург, Инженерная ул., д. 6.
и в отделе электронных публикаций и библиографии ГУАП.
190000, Санкт-Петербург, Б. Морская ул., 67.

УДК 621.397.13

СИСТЕМЫ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СОСТАВОВ

Б. С. Тимофеев,

д-р техн. наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Рассмотрена структура и сформулированы задачи для видеокomпьютерной системы коммерческого осмотра железнодорожных составов. Даны результаты моделирования методов измерения скорости движения состава. Обсуждена программа оптимизации режима видеокamеры. Предложен метод синтеза изображения вагонов состава на экране компьютера. Рассмотрены алгоритмы определения порядкового номера и счета вагонов в железнодорожном составе.

The structure is considered and the tasks for a video of a computer system of commercial inspection of trains are formulated. The outcomes of simulation of methods of measurement of speed of motion of a structure are given. The program of optimization of a mode of the video camera argued. The method of picture synthesis of coaches of a structure on a screen of the computer is offered. The algorithms of definition of a serial number and score of coaches in the train are considered.

Системы видеонаблюдения используют на железнодорожном транспорте для решения широкого круга задач [1]. К ним относятся:

дистанционное оценивание технического состояния вагонов;

обнаружение негабаритного груза и других нарушений правил технической эксплуатации и безопасности, а также составление оперативных донесений о выявленных нештатных ситуациях;

фиксация времени прохождения локомотива и последнего вагона состава;

определение скорости и направления движения состава;

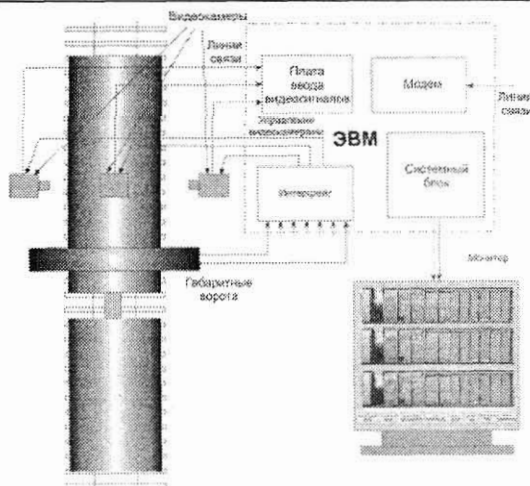
отображение порядкового номера вагона в составе и подсчет общего числа вагонов;

автоматическое различение типа вагона из согласованного списка по совокупности признаков;

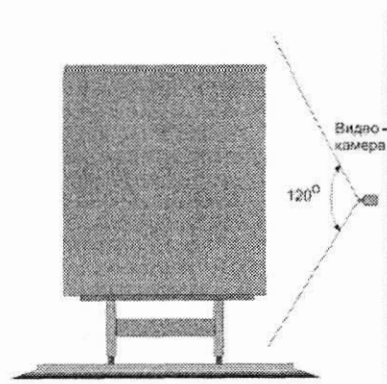
автоматический поиск местоположения, считывание и распознавание бортовых номеров вагонов;

автоматическая проверка на соответствие распознанных бортовых номеров и номеров из натурального листа;

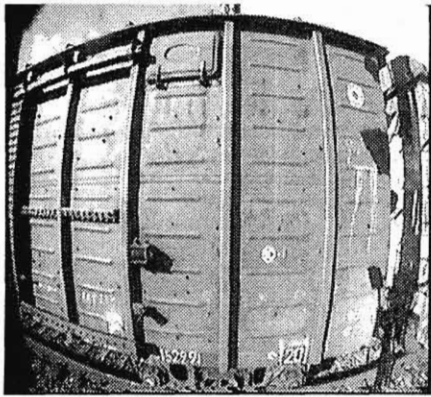
синтез цифровых изображений вагонов, формирование информационных кадров и сжатие видеoinформации для последующей архивации и составления базы данных.



■ Рис. 1. Структура системы осмотра железнодорожных составов



■ Рис. 2. Выбор угла зрения видеокamеры составов



■ Рис. 3. Видеокадр вагона

В состав системы видеонаблюдения (рис. 1) входят сенсоры; электронная система ввода видеоизображений в ПЭВМ; электронный блок аппаратной обработки сигналов; персональный компьютер; программное обеспечение. Сенсорами системы являются три видеокамеры, дающие видеоизображения левого и правого по ходу поезда бортов вагонов, а также вид сверху; габаритные электронные ворота для выявления негабаритного груза или его смещений во время движения. По тактическим соображениям видеокамеры бокового обзора должны быть установлены в промежутках между путями с тем, чтобы не допустить перекрытие сектора обзора встречным составом. Из геометрического построения (рис. 2) видно, что угол зрения объектива в этих условиях должен составлять не менее 120° . При этом возникают искажения формы объектов, которые существенно затрудняют их восприятие (рис. 3). В этой связи появляется дополнительная задача исправления геометрических искажений изображения методами цифровой обработки.

Видеоданные о проходящих составах должны быть автоматически записаны в сжатом виде на жесткий диск. Для экономии дискового пространства запись должна быть начата в момент начала прохождения состава и закончена тотчас после его окончания. Необходимо обнаружить начало и окончание движения в поле зрения всех трех видеокамер. Использование с этой целью видеоданных только от одной из боковых камер сопряжено с риском ложного решения,



■ Рис. 4. Расположение стробов в пределах ТВ-кадра

принятого на основании прохождения состава по соседнему пути.

Для сжатия видеоданных обычно используют традиционные методы (MPEG, Motion JPEG), применение которых приводит к частичной потере информации. Следует рассмотреть дополнительные возможности сжатия видеоданных, основанные на особенностях наблюдаемых движущихся объектов [2].

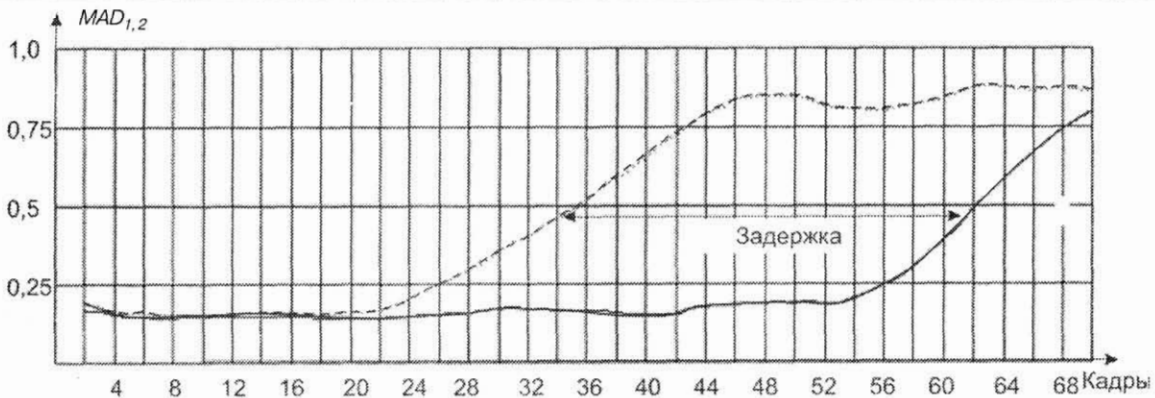
Определение параметров движения состава

Системы видеонаблюдения во многих случаях практического применения снабжают детекторами движения, принцип действия которых основан на регистрации энергии движения, вычисленной с использованием суммы модулей сигналов межкадровой разности

$$MAD = \sum_{i=1}^z \sum_{j=1}^b |L(x_j, y_i, k) - L(x_j, y_i, k-1)|, \quad (1)$$

где $L(x, y, k)$ – яркость объекта в пикселе с номером i, j в кадре с номером k ; z – число активных строк в кадре; b – число элементов по строке [3].

Так можно определить лишь *видимое движение*, которое порождено изменениями яркости пикселей $L(x, y, k)$ с координатами x и y в кадре с номером k . Видимое движение не эквивалентно 2D движению, так как имеет место даже в статической сцене с изменяющейся освещенностью, где движение отсутствует. Чтобы повысить надежность обнаружения 2D дви-



■ Рис. 5. Графики изменения сигналов в стробах 1 и 2, разнесенных в пространстве на базу В

жения, определить направление и скорость движения состава, предложено использовать два строба, разнесенные на некоторое расстояние (базу) (рис. 4). Подсчет энергии движения в пределах каждого из стробов позволяет решить поставленные задачи и исключить влияние изменения освещенности. Энергия движения, зафиксированная в таких стробах, по мере перемещения локомотива нарастает с задержкой τ (рис. 5) на время прохождения расстояния, равного базе B . Время задержки сигнала τ выражают в числе кадров, а базу B – в пикселях. Тогда предварительная оценка скорости движения состава $v = B / \tau$ пиксель/кадр. Направление движения определяют в соответствии с порядком возникновения сигналов в стробах (см. рис. 5).

На железнодорожных станциях системы видеонаблюдения устанавливают вблизи входного (или выходного) светофоров. Состав, входящий на станционные пути, движется с замедлением, а выходящий – с ускорением. Поэтому скорость движения состава нужно измерять непрерывно. Для непрерывного оценивания скорости предложено использовать сильную корреляционную связь между сигналами в стробах 1 и 2. Значение задержки вычисляют как аргумент точки минимума взаимно корреляционной функции сигналов, полученных с этих стробов (рис. 6, 7)

$$MAD_{12}(\tau) = \sum_{k=1}^N |MAD_1(k - \tau) - MAD_2(k)|, \quad (2)$$

где N – объем выборки; k – номер кадра.

Ошибка при определении скорости не должна превышать одного пикселя за кадр. На точность влияет объем выборки N . Если выборка мала, возникает разброс в отчетах скорости, обусловленный особенностями изображения проходящих вагонов: на протяженных участках с малым количеством деталей информация об энергии движения отсутствует. При излишне большом объеме выборки вводится чрезмерное усреднение, что мешает следить за изменением скорости. Железнодорожный состав обладает значительной инерцией. Экспериментально найдено, что оптимальная выборка составляет 150–200 кадров или около 7 с. Известные углы зрения и расстояния, на которых установлены видеокамеры, дают возможность рассчитать скорость состава в км/ч.

Скорость движения состава вносят в путевой лист, а также используют для определения оптимальной выдержки при получении видеоданных.

Оптимизация режима видеокамер в сложных условиях наблюдения

Получение качественных исходных изображений объектов является основой для дальнейшей обработки изображений и решения оперативных задач. Важным резервом улучшения качества исходных изображений является расширение допустимого динамического диапазона освещенностей сцены, что позволяет наблюдать объекты в условиях резко контрастного освещения. Примерами могут служить следующие условия видеосъемки:

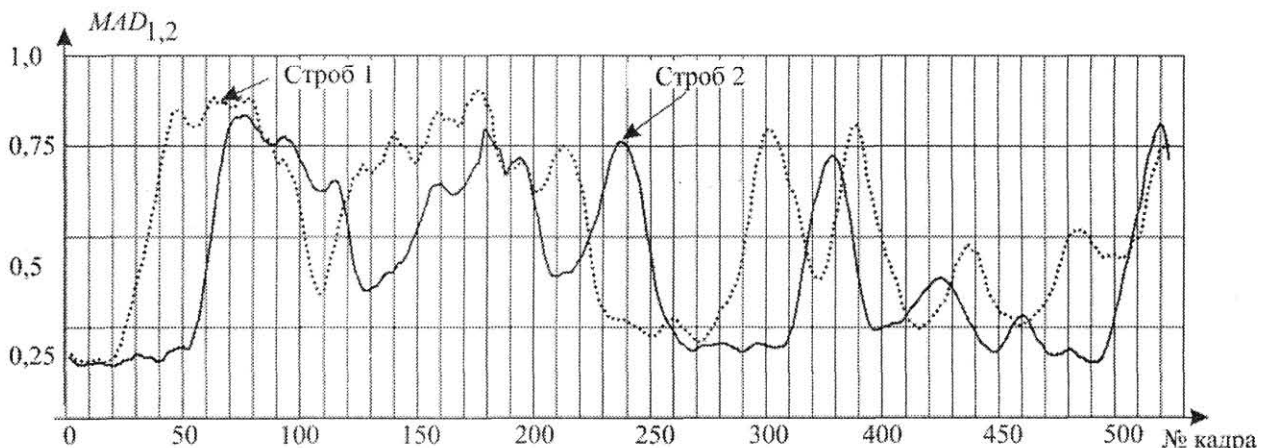
движущиеся объекты с резко контрастным уровнем освещенности (вагоны и промежутки между вагонами);

попадание в кадр солнца, ярких бликов, прожекторов;

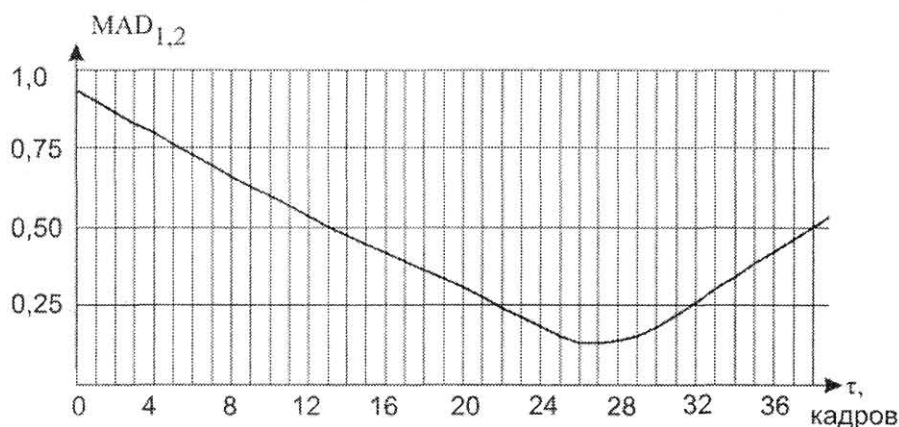
съемка против рассеянного солнечного света (в контражуре) и пр.

Световая характеристика приборов с зарядовой связью (ПЗС), применяемых практически во всех современных видеокамерах, в рабочем диапазоне освещенности линейна. Переполнение потенциальных ям носителями зарядов и их частичное перетекание в соседние потенциальные ямы проявляется на изображении в виде расплывания ярких деталей. В результате яркие детали не различимы: говорят, что изображение «уходит в белое». Это явление ограничивает сверху диапазон освещенностей (динамический диапазон), в котором может работать ПЗС. Промышленность выпускает матрицы ПЗС с антиблужингом, например, ASD-1070 фирмы «Sony». В таких ПЗС существенно снижен эффект расплывания зарядов от ярких деталей на соседние элементы, однако переполения потенциальных ям носителями зарядов избежать не удается. Нижняя граница динамического диапазона определена шумами. Динамический диапазон ПЗС явно недостаточен для качественной работы ТВ-камеры в условиях естественного освещения (до десятков тысяч люкс).

Экспозиция или количество света, получаемое матрицей ПЗС в процессе видеосъемки, играет первостепенную роль для получения качественного изображения. Экспозиция H определяется освещенностью матрицы ПЗС E и временем экспонирования t , т. е. установленными значениями диафрагмы D и скорости срабатывания электронного



■ Рис. 6. Сигналы в стробах 1 и 2



■ Рис. 7. График взаимно корреляционной функции сигналов в строках 1 и 2

затвора t (временем накопления зарядов). Эти величины связаны выражением $H = E \times t$ (лк \times с), которое называют законом взаимозаменяемости (законом Бунзена–Роско): большое количество света, воздействующее на матрицу ПЗС короткое время, дает ту же экспозицию, что и малое количество света в течение длительного времени.

Практически все выпускаемые видеокамеры снабжены весьма эффективными системами автоматической регулировки чувствительности (АРЧ). Эти системы призваны сохранять номинальный размах видеосигнала на выходе видеокамеры за счет следующих факторов:

- стабилизации освещенности на белом – система автоматического регулирования диафрагмы объектива (АРД);
- управления выдержкой при съемке – автоматический электронный затвор;
- автоматического регулирования усиления – система АРУ.

В системе АРД сравнивают уровни выходного и эталонного сигналов и вырабатывают сигнал управления электромеханическим приводом диафрагмы. Весь вопрос заключается в том, что понимать под уровнем выходного сигнала. Если это пиковое значение видеосигнала от самой светлой точки в кадре, то яркий блик или точечный источник света, попавшие в поле зрения камеры, явятся причиной чрезмерного закрытия диафрагмы. При этом остальная часть кадра «уходит в черное» и многие сюжетно важные детали будут утеряны. Такая система видеонаблюдения «слепнет», если в сторону объектива видеокамеры направлен луч света.

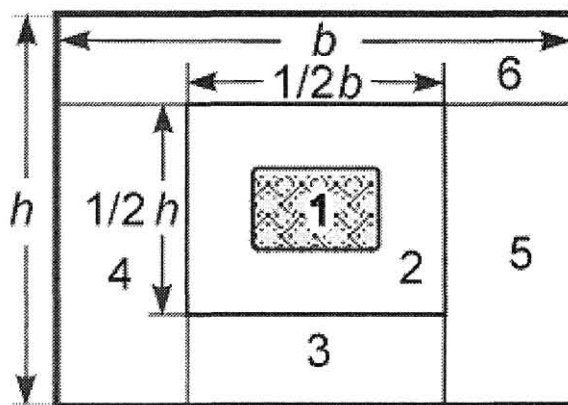
Если это среднее значение видеосигнала по всей площади кадра, пропорциональное средней освещенности сцены, то сильное влияние оказывает освещенность заднего плана. Объект на темном или светлом фоне будет экспонирован по-разному. В первом случае диафрагма будет излишне открыта, и объект «уйдет в белое», во втором случае – «уйдет в черное».

В последних модификациях видеокамер используются «интеллектуальные» цифровые системы управления диафрагмой. ТВ-кадр разбивают на зоны, значения сигналов в которых в системе АРД учитывают по-разному (рис. 8). Наивысший приоритет отдают зонам 1 и 2 в центре кадра, где обычно располагают сюжетно важные детали. Влияние освещенности заднего плана (зоны 3–6) уменьшают, чем

оптимизируют экспозицию передаваемой сцены. В некоторых видеокамерах предусмотрен режим *Back Light* («компенсации заднего света»): значение диафрагменного числа n принудительно уменьшают на 2,5 единицы относительно нормального режима (открывают диафрагму D). Тем самым поток света увеличивают примерно на 77 %, а сюжетно важный объект «выводят из черного». Однако одновременно передать слишком яркие и темные детали таким способом нельзя.

Применение электронного затвора значительно расширяет возможности по регулировке чувствительности видеокамер. Заметим, что использовать короткие экспозиции можно только при высокой освещенности объекта. В противном случае не удастся накопить заряды, достаточные для создания качественного изображения.

Одно и то же значение экспозиции получают при различных сочетаниях экспозиционных параметров D и t , что может породить конфликт между параллельно работающими системами АРД и электронного затвора. Для разрешения этого конфликта используют программное управление экспозицией, учитывающее дополнительные факторы. Оптимальные значения D и t должны соответствовать характеру снимаемой сцены. Так, увеличение диафрагмы D (уменьшение диафрагменного числа n) приводит к уменьшению глубины резкости изображаемого пространства. Снижение времени экспозиции t дает возможность получать четкие изображения движу-



■ Рис. 8. Зоны ТВ-кадра

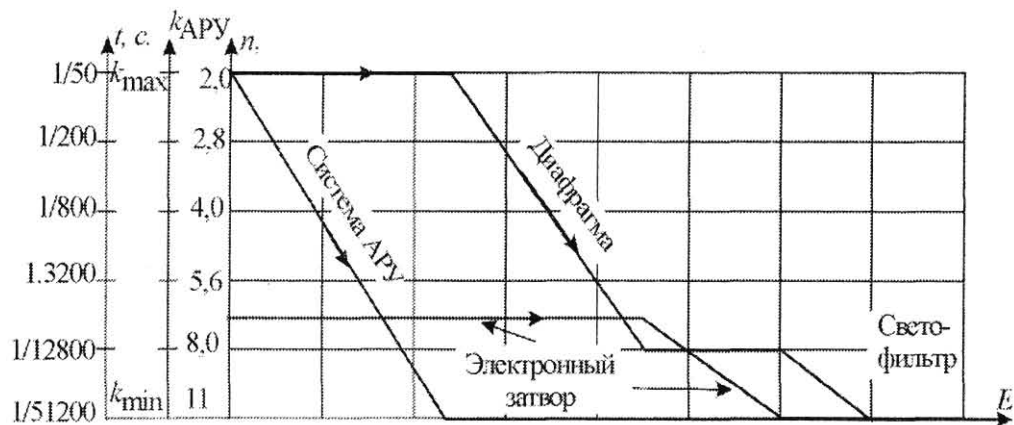


Рис 9. Программа управления экспозицией

щихся объектов. Дополнительным условием для конкретной решаемой задачи просмотра движущихся вагонов является достижение максимальной разрешающей способности видеосистемы. Факторами, влияющими на четкость создаваемого изображения, являются смаз при передаче движущихся объектов и глубина резко изображаемого пространства. При заданной скорости движения состава v величина смаза $\Delta = v / t$, где t — выдержка при съемке, установленной системой управления электронным затвором. Влияние смаза изображения будет сведено к минимуму, если его значение не превышает 0,5 пикселя. Выполнение этого условия позволяет динамически определять оптимальную выдержку при съемке на основании данных о скорости движения состава, а также уровня освещенности на объекте.

Большинство известных объективов обеспечивает наилучшую разрешающую способность и приемлемую глубину резко изображаемого пространства при значениях диафрагменного числа $n = 5,6 \div 8$. Надо также учитывать, что регулирование диафрагмы объектива и скорости срабатывания электронного затвора не влияет на соотношение сигнал-шум, тогда как увеличение коэффициента усиления в системе АРУ сопровождается ухудшением этого соотношения.

С учетом этих факторов можно предложить программу управления экспозицией, оптимальную для решаемой задачи (рис. 9). По мере роста освещенности сначала уменьшают усиление в канале АРУ для достижения максимального соотношения сигнал-шум. Диафрагма объектива при этом полностью открыта и установлена минимально допустимая скорость срабатывания электронного затвора. При дальнейшем росте освещенности диафрагму объектива закрывают вплоть до значения диафрагменного числа $n = 8$. Затем экспозицию регулируют увеличением скорости срабатывания электронного затвора, тем самым обеспечивая значительную глубину резкости снимаемой сцены. После того как возможности регулирования электронного затвора исчерпаны, закрывают диафрагму вплоть до максимально возможного для данного типа объектива диафрагменного числа n . При дальнейшем росте освещенности применяют нейтрально серый светофильтр. При минимальной освещенности, когда исчерпаны возможности системы АРУ по поддержанию номинального уровня сигнала, включают дополнительное освещение.

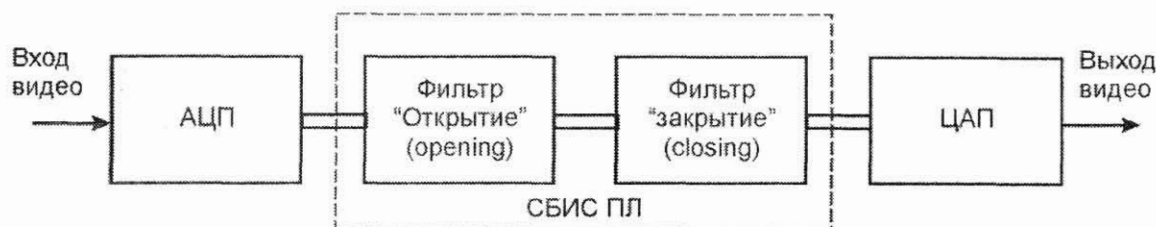
На практике в эту программу управления системой АРЧ приходится вводить так называемые «ку-

хонные» добавки. Системы управления диафрагмой, АРУ и электронным затвором имеют различные постоянные времени. Для предотвращения автоколебаний системы АРЧ в точках излома представленных на рис. 9 линий нужно ввести гистерезис. В некоторых типах видеокамер управление электронным затвором дискретное. Чтобы наблюдатель не замечал скачков видеосигнала (яркости изображения), параллельно должна работать система АРУ [4].

Условия наблюдения за движущимися железнодорожными составами характеризуются резкими сменами средней освещенности сцены в промежутках между вагонами. При съемках против источника света (солнце на закате) на стыке между вагонами резко растет освещенность. Система АРЧ отрабатывает это изменение света с некоторым запаздыванием, в результате чего оперативно значимое изображение поверхности вагона «уходит в черное». При съемке с источником света, расположенным позади видеокамеры, промежутки между вагонами оказываются темными и изображение поверхности вагона «уходит в белое». Кроме того, оказывают влияние достаточно протяженные блики на фронтальной поверхности вагона.

Применение линейных фильтров для сглаживания влияния этих возмущающих факторов не эффективно, так как в зависимости от типа вагонов длительность промежутков между ними может достигать 1/4 длины строк. В таких условиях обычное усреднение не дает желаемых результатов. Нужными свойствами обладает так называемая морфологическая фильтрация, основанная на логических операциях [5]. В Европе с 1960-х годов развивалась математическая морфология как системно-теоретический метод анализа изображений. В последнее время математическая морфология применялась в стандартных областях обработки/анализа цифровых изображений, таких как нелинейная фильтрация изображений, определение граней, подавление шумов, отображение форм, сглаживание и распознавание, скелетирование, кодирование.

Алгоритм обработки изображения, на входе и выходе которого находятся бинарные изображения, называют двумерным системным *SP* фильтром. Алгоритм, который преобразует входное полутоновое в выходное полутоновое изображение, называют функциональным двумерным *FP* фильтром. Логические операции совершают между структурным элементом (маской) *S* и областью цифрового изображения, выделенной этим структурным элемен-



■ Рис. 10. Структурная схема морфологического фильтра

том. Результат операции помещают в новую битовую матрицу на место, где находится фокус маски. Используют структурные элементы различной формы и размерности.

Наиболее распространенными операциями морфологической фильтрации, применительно к обработке бинарно квантованных или полутоновых изображений, являются эрозия (*erosion*), наращивание (*dilation*), открытие (*opening*) и закрытие (*closing*). Применительно к полутоновым изображениям операцию эрозии трактуют как нахождение минимума в пределах области исходного цифрового изображения, накрытой маской, и установкой этого значения в результирующей матрице на место, где расположен фокус маски. В операции наращивания ищут максимум сигнала.

Морфологические операции открытия и закрытия подавляют импульсные шумы, которые имеют большие положительные или отрицательные значения в некоторой области изображения. Предложено использовать морфологический фильтр для подавления импульсных помех от промежутков между вагонами в видеосигнале, поступающем на вход системы АРЧ. Поскольку промежутки между вагонами ориентированы вертикально относительно строк разложения, можно использовать структурный элемент типа «линия», ориентированный в горизонтальном направлении. Морфологические фильтры работают с цифровыми сигналами, поэтому видеосигнал следует преобразовать в цифровую форму. Так как этот сигнал не будет использован для создания изображения, частоту дискретизации можно существенно снизить (примерно до 0,5 – 1 МГц). Тем самым снижаются требования к аналого-цифровому преобразователю (АЦП) и числу ячеек структурного элемента. Для подавления импульсной помехи длительностью до 1/4 строки (порядка 10 мкс) нужен структурный элемент из 6 – 11 ячеек. Структурная схема морфологического фильтра (рис. 10) включает в себя АЦП, два полутоновых

морфологических фильтра, реализующих операции открытия (подавляет помехи светлее фона) и закрытия (подавляет помехи темнее фона). Затем сигнал преобразуют в аналоговую форму с помощью цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). Морфологические фильтры реализованы на СБИС программируемой логики фирмы ALTERA. Морфологический фильтр подавляет импульсные помехи более эффективно, чем обычный низкочастотный фильтр (рис. 11).

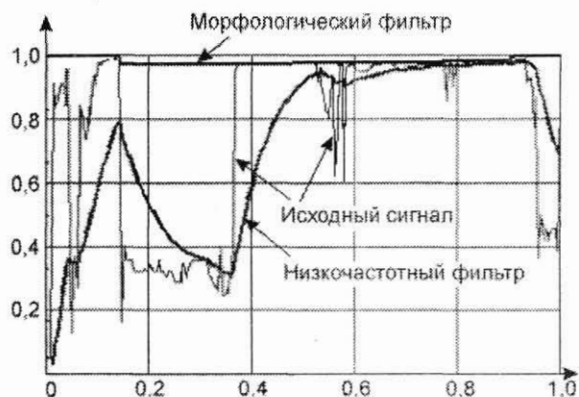
Синтез видеоизображения на экране компьютера и сжатие видеоданных.

В настоящее время практически повсеместно в системах видеонаблюдения в качестве оконечного устройства используют экран компьютера [6]. По техническим условиям видеонаблюдения железнодорожных составов следует осуществлять с трех направлений (см. рис. 1). Для синтеза трех изображений из трех источников (видеокамер) используют трехканальные платы ввода (фреймграберы).

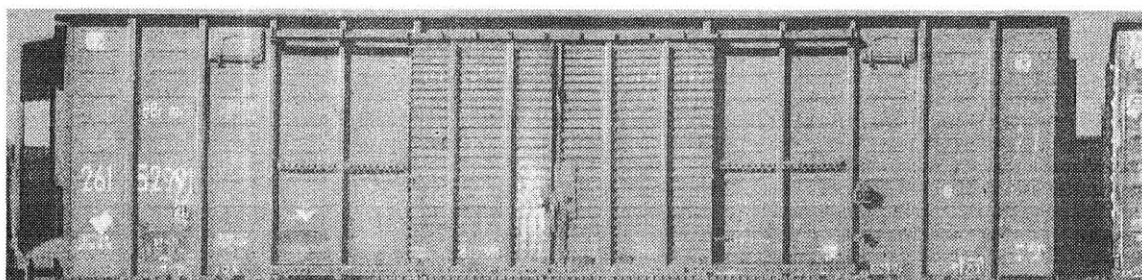
Сформулируем требования к синтезированному изображению на экране компьютера. В базовом режиме наблюдателю должны быть предоставлены изображения всех трех проекций вагонов состава, движущиеся по экрану со скоростью, соответствующей реальной. При обнаружении нестандартных ситуаций оператор должен иметь возможность применить стоп-кадр или просмотреть видеокadres в обратном направлении. При этом исходные данные должны быть сохранены в буферной памяти, с тем чтобы их показ мог быть возобновлен с некоторой временной (так называемой чистой) задержкой. Геометрические искажения (см. рис. 3) должны быть исправлены, так как помимо искривления формы объектов они создают ложные движения на экране, что затрудняет восприятие и вызывает дополнительное утомление оператора. Для повышения четкости желательнее скомпенсировать смаз изображения движущихся объектов и синтезировать кадр с прогрессивной разверткой. Последние возможности дают знание скорости и направления перемещения объектов. Кроме того, на экране должны быть отображены габаритные ворота и размещена оперативная цифро-буквенная информация. Результаты видеонаблюдения в максимально сжатом виде должны быть записаны на жесткий диск.

Для выполнения этих требований предложено синтезировать изображения вагонов состава из фрагментов (рис. 12), полученных из центральной части кадра (центральный строб на рис. 4). Горизонтальный размер строба должен быть в точности равен значению перемещения (скорости) объекта за кадр. По техническим нормам скорость состава при входе на станцию не превышает 12–30 км/ч, что после пересчета в плоскость изображения дает размеры строба от 8 до 24 пикселей. Отклонения в сторону расширения строба вызовут наложение элементов изображений, а уменьшение – их пропуски.

Синтез изображения из фрагментов, соответствующих центральной части кадра, дает следующие преимущества.



■ Рис. 11. Фильтрация видеосигнала вдоль строки изображения



■ Рис. 12. Синтезированные изображения вагонов состава

1. При стандартной длине строки в 768 пикселей происходит сжатие видеоданных от 32 до 96 раз не только без потери качества изображения, но даже с заметным улучшением, так как вырезается центральная часть кадра.

2. Требуемая пропускная способность линии связи для передачи видеосигнала в цифровой форме составляет от 1,3 до 4,0 Мбит/с, а с применением дополнительного сжатия по стандарту JPEG может быть снижена еще примерно на порядок – от 130 до 400 Кбит/с. В последнем случае для передачи данных на расстояние около 1,5 км возможно использовать стандартный интерфейс (например, RS-485).

3. Улучшается четкость изображения, так как в центре кадра разрешающая способность короткофокусного объектива заметно выше, чем на краях.

4. Геометрические искажения по горизонтали практически сводятся к нулю, а по вертикали становятся значительно меньше, чем на краях, и могут быть компенсированы цифровыми методами.

5. Знание скорости и направления перемещения объекта позволяет синтезировать видеокادر с построчным разложением из двух полей чересстрочной развертки.

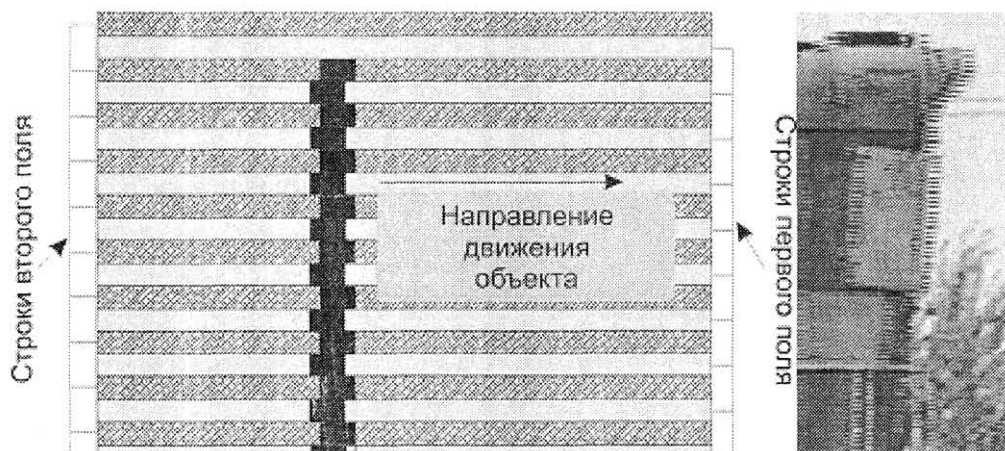
Синтез кадра с построчным разложением позволит увеличить четкость по вертикали вдвое без специфических искажений, вызванных чересстрочной разверткой (рис. 13).

Определение порядковых номеров и числа вагонов в составе

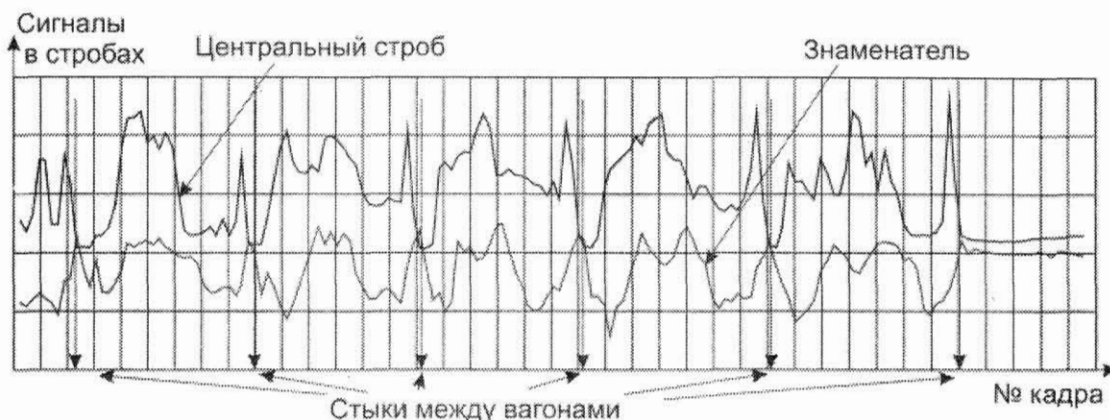
В силу многообразия типов железнодорожных вагонов, которые различаются по конфигурации, габаритам, характеру перевозимого груза и другим харак-

теристикам, задача счета вагонов на основе видеоданных не является тривиальной. Стык между вагонами трудно обнаружить в пассажирских поездах, где переходы между вагонами закрыты тамбурами. Зазор между порожними платформами в значительной мере занят сцепным устройством. Наиболее надежным признаком являются колесные пары, которые имеют стандартные размеры и конфигурацию. Однако существуют большегрузные вагоны, в которых не две колесные пары, а четыре. По длине вагоны различаются более чем в два раза (12,8 – 28 м). Определенные трудности создают условия освещения, а также тень, которая зависит от расположения источника освещения. Рассмотрим признаки, на основании анализа которых можно вынести суждение о прохождении перед видеокameraми стыка между вагонами. Сигнал в пределах центрального строба (см. рис. 4) периодически запоминают в устройстве памяти и вычисляют сумму модулей разности запомненного и текущего сигналов MAD по выражению (2). В паузах между поездами значение MAD близко к нулю. По сигналу начала движения обновление сигнала в памяти прекращают. При прохождении стыка между вагонами значение MAD приобретает минимум (рис. 14). Абсолютное значение этого минимума может меняться в достаточно широких пределах в зависимости от конфигурации соседних вагонов и характера стыка между ними. Поэтому этот признак нельзя считать абсолютно надежным.

Информацию от колесных пар интерпретируют путем анализа сигналов в трех зонах, относящихся к нижним частям стробов (см. рис. 4). Расположение колесных пар относительно сцепного устройства является стандартным для всех типов вагонов. При



■ Рис. 13. Влияние чересстрочной развертки на изображение движущихся объектов



■ Рис. 14. Признаки стыка между вагонами

прохождении колесных пар, симметричных относительно стыка между вагонами, сигналы в этих зонах f_a , f_b и f_c изменяются по-разному: в среднем стробе энергия движения отсутствует и сигнал f_b приобретает минимум. Объединяют все три сигнала по выражению

$$zn = f_a - 2f_b + f_c,$$

которое приобретает максимум в момент прохождения стыка между вагонами (см. рис. 13). На практике энергия движения может иметь место и в центральном стробе за счет перемещения тени. Кроме того, имеют место ложные максимумы (см. рис. 14), которые возникают при прохождении перед боковыми видеокамерами цистерн с лестницами, свисающими до уровня колесных пар.

Тем не менее, использование двух названных признаков существенно повышает вероятность правильной идентификации стыка (см. рис. 14). Еще более повышает эту вероятность анализ видеоданных от всех трех видеокамер, входящих в состав системы видеонаблюдения и создающих изображения железнодорожного состава с разных ракурсов. Знание скорости движения состава и ориентировочной длины вагона позволяет прогнозировать момент прохождения следующего стыка.

В заключение отметим, что задача опознавания бортовых номеров вагонов до настоящего времени не имеет удовлетворительного решения и будет обсуждаться в последующих публикациях.

Литература

1. Тимофеев Б. С. Видеокомпьютерные системы для наблюдения за движущимися объектами // Телевидение: передача и обработка изображений. Международная конференция, Санкт-Петербург, 5 – 6 июня 2003 г.: Материалы конференции. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ (ЛЭТИ), 2003. – 100 с.
2. Астратов О. С., Обухова Н. А., Тимофеев Б. С. Автоматизированный контроль транспортных потоков с помощью телевизионных систем. // Радиотехнические и телевизионные системы: Сб. науч. тр. / Под ред. Б. С. Тимофеева. – СПб.: Изд-во СПбГУАП, 2000. – 178 с.
3. Meier T., Ngan K. N. Automatic segmentation of moving objects for video object plane generation // IEEE Transactions on circuits and system for video technology. September 1998. – Vol. 8. – N 5. – P. 132–147
4. Тимофеев Б. С. Проблемы стандартизации сертификации систем видеонаблюдения // Телевидение: передача и обработка изображений. Международная конференция, Санкт-Петербург, 20 – 22 июня 2000 г.: Материалы конференции. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ (ЛЭТИ), 2000. – 120 с.
5. Maragos S. Tutorial on advances in morphological image processing and analysis // Optical Engineering 26(7). – July 1987. – P. 623–632.
6. Шикин Е. В., Боресков А. В. Компьютерная графика. – М.: Мир, 1995. – 195 с.
7. Daniele D. Giusto and Gianni Vernazza. Optical flow calculation from feature space analysis through an automatic segmentation process // Signal Processing, – 1989. – N 16. – P. 41–51.

УДК 612.8

МЕТОДЫ УВЕЛИЧЕНИЯ СТЕПЕНИ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЭНТРОПИЙНЫМИ КОДЕРАМИ

Н. Н. Красильников,

д-р техн. наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Рассмотрены перспективы применения предварительного разделения изображений на контексты при их сжатии энтропийными кодерами. Эксперименты показали, что применение такого подхода дает ощутимый результат, обеспечивая дополнительное сжатие изображений. Сформулированы направления дальнейших исследований.

In this paper some perspectives of application of preliminary contexts separation methods in images compression with use of entropy encoders are considered. Performed experiments demonstrated that such an approach leads to essential effect providing additional compression of images. The directions of further investigations are formulated.

Введение

В связи с широким применением цифровых методов в телевидении возникла проблема сжатия движущихся изображений как при съемке исходного материала, так и при его передаче или записи на компакт-диск. Несмотря на то, что в настоящее время разработаны весьма эффективные методы компрессии движущихся изображений, обеспечивающие сжатие цифрового потока, которым представляются движущиеся изображения, в десятки раз, проблему нельзя считать полностью решенной. Объясняется это тем, что при использовании этих методов (так называемых методов сжатия с потерей информации) в изображения вносятся искажения (шум преобразования), которые добавляются к изображениям при каждом новом цикле сжатия-восстановления. Поскольку при редактировании телевизионных программ сжатые изображения приходится неоднократно распаковывать из файла и снова записывать в файл со сжатием, результирующая помеха преобразования накапливается и качество изображения становится недопустимо



■ **Рис. 1.** Исходное изображение

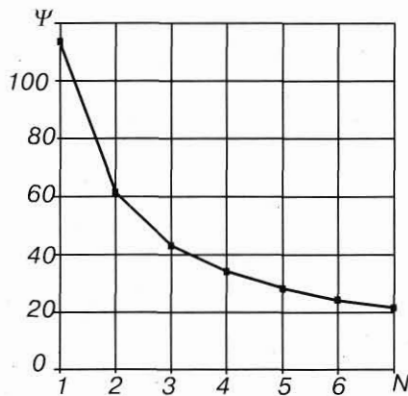
низким. Сказанное справедливо как для методов сжатия, в которых используется межкадровая избыточность движущихся изображений для увеличения степени сжатия, например, таких, как MPEG2, так и для методов, в которых для увеличения сжатия межкадровая избыточность не используется, как, например, в методе MJPEG. Аналогичная проблема встречается и в издательском деле при подготовке к печати неподвижных изображений.

Эффект накопления шума преобразования изображений при их многократном сжатии-восстановлении кодерами с потерями

Проиллюстрируем изложенное результатами эксперимента. Исходное изображение (рис. 1) было несколько раз сжато с записью в файл посредством архиватора JPEG, а затем восстановлено. При выполнении эксперимента величина сжатия была выбрана минимальной для используемого архиватора и составляла всего 1,624 раза, что соответствовало наивысшему качеству изображения, обеспечиваемого этим архиватором.

Результаты эксперимента представлены на рис. 2 в виде зависимости отношения максимального значения сигнала (перепад яркости от черного до белого) к среднеквадратичному значению шума преобразования Ψ от числа циклов сжатия-восстановления N . Из данного графика следует, что уже после первого цикла сжатия-восстановления изображения отношение сигнала к шуму становится равным $\Psi = 114$, а после второго цикла 61, что недопустимо мало.

Полученные результаты достаточно хорошо отражают существующее положение дела и в случае архивации движущихся изображений, поскольку характеристики JPEG при сжатии неподвижных изображений близки к характеристикам MJPEG. Помеха преобразования носит весьма специфический характер. Как правило, на



■ **Рис. 2.** Зависимость отношения сигнала к шуму преобразования от количества циклов сжатия-восстановления архиватором JPEG

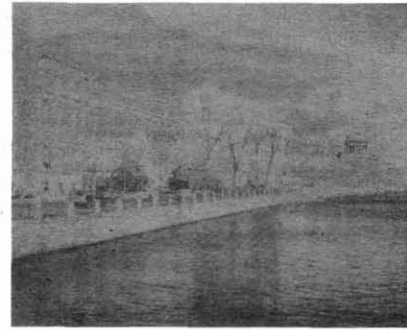
восстановленном изображении появляется блочная структура, контраст которой возрастает при увеличении количества циклов сжатия-восстановления. В некоторых архиваторах, например, в архиваторе JPEG последних версий графического редактора Adobe Photoshop, используются методы, маскирующие блочную структуру. В этом случае вид помехи несколько изменяется и становится таким, как показано на рис. 3, на котором можно видеть различие между исходным изображением и изображением, восстановленным после пяти циклов сжатия-восстановления.

По изложенным выше причинам в настоящее время методы компрессии изображений с потерями, обеспечивающие высокую степень сжатия, применяются только на конечной стадии производства, например, для записи на компакт-диск неподвижных изображений, работа над которыми уже завершена, или для передачи готовой телевизионной программы по цифровому каналу. В процессе же съемки исходного материала, а также в процессе его редактирования рекомендуется либо хранить изображения без сжатия, либо использовать для этой цели методы сжатия без потерь, обеспечиваемые энтропийными кодерами.

Сжатие изображений с разделением на контексты

Недостатком энтропийного кодирования является малая степень сжатия. Так, использование алгоритма LZW позволяет получить сжатие исходного изображения (см. рис. 1) лишь в 1,12 раза, что, конечно же, очень мало. В последнее время в связи со снятием патентных ограничений на арифметическое кодирование появилась реальная возможность использовать этот метод сжатия, применение которого к изображению на рис. 1 позволяет сжать его в 1,69 раза, т. е. даже чуть больше, чем при использовании JPEG в режиме максимального качества. Тем не менее, это не предел в отношении достижимых методов сжатия при использовании энтропийных кодеров и, в частности, арифметического кодирования.

Дело в том, что энтропийные кодеры ориентированы на работу со стационарными сигналами, статистика которых неизменна. Однако различные участки изображения, как правило, обладают различной статистикой. В качестве наглядного примера обратимся к рис. 4, на котором показано исходное изображение (см. рис. 1), «наклеенное» на паспарту. Из рисунка вид-

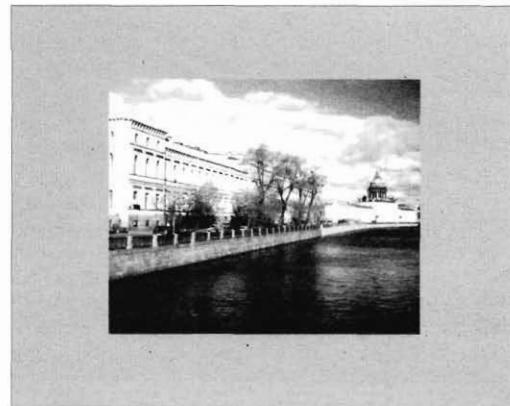


■ **Рис. 3.** Вид помехи преобразования исходного изображения после пяти циклов сжатия-восстановления (помеха преобразования наложена на равномерный серый фон)

но, что часть этого изображения содержит много мелких деталей, а часть представлена однородным серым фоном. При сжатии такого изображения кодер настраивается на среднюю статистику кодируемого изображения и, как результат, работает не оптимально, хотя вследствие наличия в кодируемом изображении больших однородных полей сжатие составляет 2,36 раза.

Ситуация может быть существенно улучшена, если изображение, показанное на рис. 4, разделить на две компоненты, или на два контекста: на однородную и детальную части, а затем сжимать их по отдельности. В этом случае дополнительно к информации детальной компоненты необходимо передать информацию о границах, разделяющих однородную и детальную части, а также интенсивность серого фона. Проведенный нами эксперимент показал, что при таком подходе величина сжатия увеличивается по сравнению со сжатием без разделения на контексты в 1,79 раза и становится равной 4,238.

Методы подстройки энтропийного кодера под изменяющуюся статистику сжимаемых текстовых сообщений (так называемые методы контекстного моделирования) достаточно хорошо известны в кругу разработчиков программ сжатия, которыми созданы так называемые алгоритмы PPM (Prediction by Partial Matching) [1]. Специалистам же, работающим в области сжатия изображений и, в частности, в области телевидения, такой подход менее известен и только сейчас он начинает ими использоваться [2].



■ **Рис. 4.** Исходное изображение, «наклеенное» на паспарту в виде равномерного серого поля



■ Рис. 5. Тестовое изображение «Яхта»

В качестве другого примера рассмотрим разделение на контексты графика, показанного на рис. 2. Это изображение можно разделить на отрезки прямых, представляющие собственно зависимость, экспериментальные точки, буквы и цифры, а также сетку. Мы провели эксперимент, в процессе которого изображение было разделено на указанные контексты. Эксперимент показал, что при сжатии посредством арифметического кодирования без разделения на контексты величина файла с заголовком составила 2,47 Кб, а при разделении – 1,98 Кб. Таким образом, разделение на контексты в данном случае увеличило общую степень сжатия в 1,246 раза, при этом сжатие составило 123 раза.

Разделение на контексты сжимаемого изображения может осуществляться как в пространстве изображений, так и в частотной области. Построение алгоритма разделения изображения на контексты составляет одну из важных проблем при разработке архиватора, использующего этот метод.

С позиций контекстного разделения изображений, перед их сжатием может быть рассмотрен ряд широко



■ Рис. 6. Компоненты, полученные в результате трехкратного вейвлет-преобразования тестового изображения «Яхта»

применяемых при обработке изображений преобразований, например, дискретное косинусное преобразование, а также вейвлет-преобразование, на базе которого разработан архиватор JPEG2000 [1, 3]. В этом архиваторе исходное изображение вначале рекурсивно подвергается трем вейвлет-преобразованиям, а затем кодированию полученных в результате этих преобразований компонент (матриц коэффициентов). При кодировании коэффициентов в зависимости от вида применяемого кодера и заданного режима его работы обеспечивается та или иная степень сжатия.

На рис. 6 в качестве примера показан результат трехкратного применения вейвлет-преобразования к текстовому изображению «Яхта» (рис. 5). Исходное изображение разделяется на ряд компонент. Компонента, расположенная в левой верхней части рисунка, носит название аппроксимации, а три других компонента – матриц вейвлет-коэффициентов (деталей). Это разделение исходного изображения на ряд компонент можно рассматривать как разделение его на ряд контекстов. Получающиеся при этом контексты имеют различные статистические характеристики. Так, аппроксимация имеет несимметричное распределение плотности вероятности величин коэффициентов, все коэффициенты этого контекста положительны, а их величины в среднем убывают с увеличением номеров индексов. Распределения других контекстов являются симметричными и хорошо аппроксимируются законом Лапласа. Кроме того, дисперсии вейвлет-коэффициентов других контекстов в среднем убывают по мере перехода к более высоким частотам. Используя для сжатия каждого из полученных контекстов свой энтропийный кодер, настроенный на статистические характеристики кодируемого контекста, можно получить большую величину сжатия всего изображения в целом по сравнению со сжатием изображения одним кодером без его предварительного вейвлет-преобразования. Собственно, описанный принцип и лежит в основе режима сжатия без потерь, реализуемого в JPEG2000. Величина сжатия без потерь, обеспечиваемая в этом случае, составляет около 4,8 раза при сжатии тестового изображения «Barbara» [4]. Сжатие изображений без потерь путем их предварительного разделения на контексты в результате вейвлет-преобразования с последующим применением энтропийных кодеров, как это следует из изложенного, может найти применение для записи исходного материала, получаемого при видеосъемке.

До сих пор разделение на контексты сжимаемых изображений рассматривалось нами с позиций обеспечения «хорошей» статистики отсчетов, кодируемых в дальнейшем энтропийными кодерами. Однако разделение сжимаемого изображения на контексты целесообразно и при использовании кодеров, вносящих потери. Примером этому может служить сжатие с потерями в рассмотренном выше архиваторе JPEG2000. В данном случае разделение сжимаемого изображения на контексты в результате вейвлет-преобразования преследует иные цели. Дело в том, что, как известно, в зрительной системе при передаче визуальной информации от сетчатки глаз в высшие отделы зрительной системы имеет место ее разделение на ряд частотных каналов, полосы пропускания которых находятся в октавных соотношениях, подобно тому, как это реализуется при рекурсивном применении вейвлет-преобразования. Другими словами, при этом имеет место субполосное разделение передаваемого сигнала [5, 6].

Примечательно, что зрительная система имеет различную чувствительность к сигналам, поступающим в ее высшие отделы по различным каналам. Например, она менее всего чувствительна к сигналам, спектр которых лежит в области верхних пространственных частот и, соответственно, поступает в зрительные центры по «высокочастотным» каналам. Это свойство зрительной системы широко используется при сжатии изображений, благодаря чему высокочастотные вейвлет-коэффициенты в JPEG2000, а также высокочастотные коэффициенты дискретного косинусного преобразования в JPEG, оказалось возможным квантовать на меньшее число уровней по сравнению с низкочастотными коэффициентами и за счет этого осуществлять сжатие изображения. Таким образом, в данном случае разделение изображения на контексты позволило согласовать уровень допустимых искажений, вносимых в изображение кодером, со свойствами зрительной системы человека.

Хорошей иллюстрацией к изложенному подходу может служить разработанный нами метод препроецирования изображения, направленный на увеличение его сжатия энтропийным кодером. В этом методе перед сжатием изображение разделяется на контексты, различающиеся между собой размерами и контрастом мелких деталей, которые в них записываются. После этого в зависимости от значимости деталей данного размера для зрительной системы человека эти контексты кодируются различными кодерами с различной степенью точности, при этом часть фрагментов может быть вообще устранена из изображений. В простейшем случае реализации этого алгоритма, описанном в работе [7], из изображения устраняются мелкие детали, контраст которых меньше порогового контраста зрения для деталей данного размера. При этом искажения, вносимые в изображение, для зрителя остаются незаметными, а вероятность скачков яркости в обработанном таким образом изображении заметно уменьшается, благодаря чему увеличивается степень его компрессии энтропийным кодером. В работе [7] показано, что применение описанного метода позволяет существенно увеличить степень сжатия изображений. Так, степень сжатия изображений «Яхта» (см. рис. 5) арифметическим кодером за счет разделения на контексты и устранения контекстов, которые не воспринимаются зрителем, была увеличена с 1,37 до 2,10, т. е. в 1,53 раза.

Важной особенностью описанного препроецирования является простота его реализации, а также то, что при его использовании совместно с энтропийным кодером не происходит накопления ошибки преобразования при повторных циклах сжатия-восстановления изображений.

Заключение

Основная проблема разделения изображения на контексты при его сжатии, как показали проведенные нами исследования, заключается в определении границ, разделяющих эти контексты, причем это разделение может быть как в спектральной области, так и в пространстве изображений. Иногда решение может быть простым, как, например, в рассмотренных выше случаях. Однако, как правило, форма границ, разделяющих различные контексты, носит более сложный характер, а сами переходы от одного контекста к другому являются размытыми. Более того, контексты могут формироваться по семантическому признаку, как это было показано выше, когда к одному контексту были

отнесены отрезки прямых линий, к другому – экспериментальные точки, к третьему – сетка и т. д.

Для достижения высокой степени сжатия целесообразно в качестве контекстов принять образы объектов, составляющих окружающий нас мир. При этом экземпляры этих объектов следует предварительно записать в память кодера-декодера. В рассматриваемом случае сжатие изображения будет включать в себя следующие шаги:

1) разделение сжимаемого изображения на контексты-образы;

2) совмещение контекстов-образов с экземплярами хранящихся в памяти кодера-декодера объектов путем применения к этим экземплярам аффинных преобразований (возможно, к их фрагментам), подобно тому как это делается при фрактальном методе сжатия;

3) собственно кодирование коэффициентов аффинного преобразования с указанием кодируемого образа.

Разделение сжимаемых изображений на контексты особенно эффективно для применения к цветным динамическим изображениям, например, в телевидении, при разделении изображений на неподвижный фон и движущиеся объекты, которые при высокой скорости движения могут передаваться с пониженным разрешением.

Большой интерес может также представлять разделение на контексты для увеличения сжатия телевизионных изображений при переходе от передачи одного плана к передаче другого плана, которые, в частности, могут сильно различаться цветовой тональностью. В этом случае первые кадры нового плана могут быть переданы также с пониженным разрешением и это, как показали исследования, будет незамечено зрителями. Степень допустимого понижения разрешения в обоих случаях может быть предварительно оценена исходя из известных зависимостей коэффициента эффективности зрительной системы, полученных в экспериментах с динамическими изображениями [8].

Работа финансируется из гранта РФФИ № 01-06-80297.

Литература

1. Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. – М.: Диалог – МИФИ, 2002. – 381 с.
2. Володин А. Б. Адаптивная контекстная компрессия изображений на основе нечеткой морфологии. – СПб.: Вестник молодых ученых, 2004.
3. Воробьев В. И., Грибунин В. Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. – СПб.: Изд-во ВУС, 1999. – 204 с.
4. Marcellin M. W., Gormish M. J., Bilgin A., Boilek M. P. An Overview of JPEG2000 // Proceedings of IEEE. Data Compression Conference, 2000. – P. 523–541.
5. Глезер В. Д. Зрение и мышление. – Л.: Наука, 1985. – 246 с.
6. Бондарко В. М., Данилова М. В., Красильников Н. Н. и др. Пространственное зрение. – СПб.: Наука, 1999. – 218 с.
7. Красильников Н. Н., Волошина Н. В. Предварительная логическая фильтрация изображений для увеличения степени их сжатия энтропийными кодерами // Оптический журнал. 2003. – Т. 70. – № 5. – С. 39–43.
8. Красильников Н. Н., Шелепин Ю. Е., Красильникова О. И. Исследование эффективности зрительной системы человека при опознавании движущихся объектов // Физиология человека. – 2003. – Т. 29. – № 4. – С. 22–29.

ВИДЕОМОНИТОРИНГ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

О. С. Астратов,

канд. техн. наук, профессор

В. Н. Филатов,

канд. техн. наук, доцент

Н. В. Чернышова,

аспирантка

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Рассмотрены вопросы организации мониторинга дорожного движения. Дана сравнительная характеристика детекторов транспорта, описаны особенности наблюдения и контроля за транспортными потоками с помощью видеодетектора транспорта, предложена структура поста видеомониторинга. Приведены алгоритмы цифровой обработки видеоизображений, использованные для оценки параметров транспортных средств и потоков на автомагистралях. Реализуемость и работоспособность алгоритмов подтверждается экспериментальными результатами.

The questions of organization of monitoring of road movement are considered. The comparative characteristic of detectors of transport is given, the features of supervision and control of transport flows with the help of the video detector of transport are described, the structure of a post of video monitoring is offered. The algorithms of digital processing of the video images used for an estimation of parameters of vehicles and flows on highways are given. The realizability and serviceability of algorithms proves to be true by experimental results.

Введение

Управление транспортными потоками является необходимым условием ритмичного и бесперебойного функционирования больших городов. Использование автоматизированных систем управления движением (АСУД) и их постоянное совершенствование позволяет решать все возрастающие по сложности транспортные задачи. Современные системы управления движением относятся к классу автоматизированных систем управления технологическими процессами и имеют все присущие таким системам составляющие: средства сбора информации о состоянии транспортных потоков (ТП); средства передачи различных видов информации в пункт обработки и регистрации; средства обработки информации, образующие управляющий вычислительный комплекс системы; местные исполнительные устройства (дорожные контроллеры), а также средства диспетчерского контроля и управления дорожным движением [1].

Совокупность средств сбора, передачи и обработки информации образует единую систему мониторинга транспортных потоков города. Ее главной задачей является достоверное измерение таких параметров ТП, как состав, плотность, неравномерность, средняя скорость потока, скорость и ускорение отдельного транспортного средства (ТС), что позволяет эффективно управлять дорожным движением. Одним из основных звеньев системы мониторинга являются детекторы транспорта (ДТ), включающие аппаратуру обнаружения, распознавания и измерения.

Локализация и распознавание трехмерных объектов на изображении – одна из типовых задач технического зрения. В большинстве таких систем на стадии предварительной обработки значительные усилия тратятся на описание элементов трехмерного представления объектов и установления их связей с элементами двумерного изображения. Установление этого соответствия и служит залогом надежного распознавания. Однако стадия извлечения характерных элементов и процесс согласования требуют больших вычислительных и временных затрат.

Выделение ТС и их видовая классификация могут быть произведены без привлечения сложных и трудоемких алгоритмов распознавания. Это достижимо при учете специфики наблюдения и требований к системе мониторинга. Местоположение ТС и его вид могут быть определены на основе выделения и различения параметров движения непосредственно из видеоданных, полученных в процессе наблюдения за фиксированной областью пространства. Такой подход, допускающий ряд ограничений, возможен при учете следующих конкретных особенностей наблюдения ТС:

видеокамера стационарна и расположена высоко над контролируемым участком движения транспорта; движение ТС преимущественно прямолинейное; фон неподвижен;

проекция ТС на плоскость изображения имеют вид прямоугольников;

алфавит ТС для их классификации состоит из трех – пяти основных разновидностей (например, мотоциклы, легковые автомобили, микроавтобусы, грузовики и автобусы, автопоезда).

Учет этих особенностей позволяет упростить и ускорить процесс обработки с сохранением требуемой помехоустойчивости, достоверности и точности измерений.

В данной работе приводятся результаты применения достаточно простых методов обработки видеосигнала с целью получения параметров движения ТС и характеристик ТП: разностный алгоритм выделения движущихся областей на изображении, пороговая обработка с гистерезисом, морфологическая обработка.

Детекторы транспорта

Как показал опыт эксплуатации АСУД, ДТ оказались самым «слабым местом» в ее техническом обеспечении. Если средства связи и обработки данных, опирающиеся на самые современные достижения электронной и вычислительной техники, способны высококачественно обрабатывать значительные объемы информации, то получение точных и надежных ДТ – сложная научно-техническая проблема [1, 2].

Основное назначение ДТ – оценка интегральных и дифференциальных параметров ТС и ТП. Требования, которые предъявляются к ДТ, сложны и разнообразны. Они определяются сложностью и разнообразием дорожных ситуаций и содержат следующие положения:

- установка и эксплуатация ДТ, не препятствующие движению ТС;
- реализуемость как в стационарном, так и мобильном варианте;
- охват одним ДТ возможно большего числа полос движения ТС;
- простота монтажа и эксплуатации;
- совместимость выходных сигналов ДТ с существующими информационными системами;
- надежность и устойчивость работы, большой срок наработки на отказ;

возможность модернизации.

В настоящее время используется, особенно в зарубежной практике, несколько типов ДТ, работающих на основе применения различных физических принципов [3]. В исследованиях [4], проводимых в Texas Transportation Institute, приведены результаты сравнения шести распространенных типов ДТ: магнитного, акустического, инфракрасного, радиолокационного, индуктивного и видеодетектора транспорта (ВДТ). ДТ оценивались по пятибалльной шкале от «отлично» (5) до «неудовлетворительно» (1). Данные сравнения, приведенные в таблице, показывают, что ВДТ наилучшим образом удовлетворяет всем указанным требованиям. Высокий рейтинг, неуклонное совершенствование методов обработки видеоинформации, а также удешевление видеоаппаратуры и элементной базы позволяет рассчитывать на широкое внедрение ВДТ в системы АСУД. Кроме того, большая информативность и широкое поле обзора ВДТ позволяют решать дополнительный круг задач, которые недоступны при использовании других типов ДТ [2].

Итак, с совершенствованием элементной базы и удешевлением ПЗС матриц для видеокамер все большее применение в качестве ДТ находят компьютеризованные видеосистемы. Однако нельзя не признать и ряд недостатков, присущих ВДТ. Это зависимость качества работы, во-первых, от погодных и световых условий, и во-вторых, от взаимного расположения участников дорожного движения (например, частичное перекрытие или резкое изменение рядности движения).

Организация поста видеомониторинга

Организация пункта наблюдения и измерения (поста видеомониторинга) направлена в основном на правильную установку и настройку видеокамеры ВДТ

■ Оценка различных типов ДТ

Критерии оценки	Тип ДТ					
	Магнитный	Акустический	Инфракрасный	Радиолокационный	Индуктивный	Видео
Влияние окружающих условий	5	1	1	3	5	3
Необходимое пространство	2	3	4	3	2	4
Взаимодействие с трассой	1	5	5	5	5	5
Стоимость установки	4	1	2	2	4	2
Время установки	2	4	4	4	2	4
Жизненный цикл	2	3	4	2	4	3
Обнаружение ТС	Только движущихся	Неподвижных и движущихся	Неподвижных и движущихся	Неподвижных и движущихся	Неподвижных и движущихся	Неподвижных и движущихся
Число обслуживаемых полос движения	1	3	2	3	1	5
Точность	1	1	1	3	4	2
Итоговая оценка	18	21	23	25	27	28

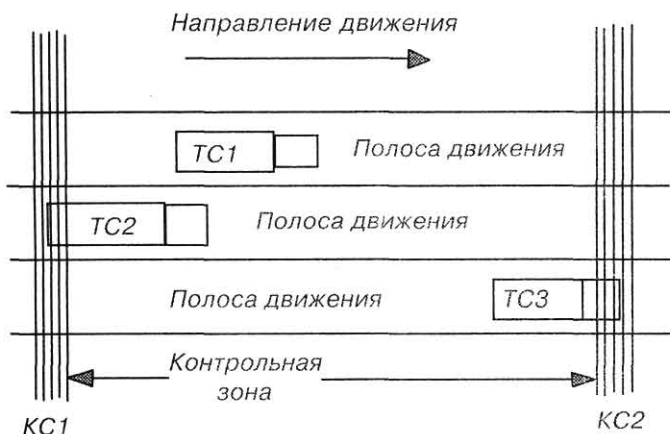
с учетом отмеченных требований, особенностей и ограничений. К установочным операциям относятся, прежде всего, выбор типа видеокамеры, масштабирование, фокусировка и выбор параметров поля обзора видеокамеры, а также привязка ее к местности (магистральной). Сигнал с видеокамеры контролируется с помощью мобильного монитора.

Установка поля обзора видеокамеры. При наблюдении сверху видеокамера должна размещаться так, чтобы строки растра располагались перпендикулярно направлению движения ТС. Тогда перспективные искажения малы и размеры ТС, движущихся на выбранном участке магистрали, изменяются незначительно. Поле обзора камеры делится на индивидуальные области анализа по числу полос движения, два контрольных сечения (КС) и контрольную зону (КЗ) между ними (рис. 1).

Для оценки динамических параметров ТС необходимо надежное определение двух временных параметров: момента пересечения КС транспортным средством t_n и времени нахождения ТС в КЗ T_n . Параметр T_n вычисляется путем вычитания времени въезда ТС в КЗ (пересечение первого КС) из времени его выезда из КЗ (пересечение второго КС). Знание параметров t_n и T_n позволяет определить как скорости отдельных ТС в КЗ, так и параметры ТП: общее количество транспортных средств за заданный промежуток времени, разделение прошедших ТС по типам, среднюю скорость движения по каждой полосе, заполнение каждой из полос, наличие заторов и пробок и т. д.

Чтобы более высокие ТС не скрывали низкие, видеокамера должна размещаться на высоте не менее 10 м. Это позволяет наблюдать раздельно две-три следующие друг за другом машины. Современные магистрали имеют до шести полос движения в одну сторону. Исходя из этого предположения, определим величину поля обзора. Стандартная ширина одной полосы городской магистрали равна 4 м. Если еще учесть с каждой стороны дороги запасную полосу шириной 2 м, то получим ширину контролируемого участка трассы $6 \times 4 \text{ м} + 2 \times 2 \text{ м} = 28 \text{ м}$. Учитывая формат кадра 4/3, получаем длину КЗ $L = 21 \text{ м}$. Практика показывает, что для четкого разделения транспортных средств, особенно крупногабаритных, эта величина должна составлять 25–35 м.

Измерение временных параметров. Обработка видеосигналов ведется индивидуально по полосам движения и для измерения параметров ТС необходи-



■ Рис. 1. Области анализа поля обзора

мо выделить два КС, которые будут ограничивать начало и конец КЗ. Каждое из КС образовано N -м количеством строк растра. В результате обработки видеосигнала в каждой области анализа от ТС в КС образуется пачка сигналов, причем длина пачки определяется положением ТС относительно КС.

Необходимо выбрать критерий для определения длины пачки, т. е. количества строк в контрольном сечении. В устройствах цифровой обработки радиолокационной информации [5] широко используются схемы логических обнаружителей движущихся объектов с критерием обнаружения типа « l из m » (l / m), где $l \leq m \leq 5$. Обычно этот критерий называется критерием фиксации начала пачки. В нашем случае – это критерий обнаружения ТС, а значит, и определения момента вхождения ТС в контрольное сечение. Для определения момента выхода ТС из КС в процессе обнаружения устанавливается также критерий конца пачки. Обычно конец пачки фиксируется при появлении серии из k пропусков подряд ($k = 2 - 3$). Если логическую схему фиксации начала пачки объединить с логической схемой фиксации конца пачки так, чтобы сигнал обнаружения (сигнал начала пачки) выдавался только в момент первого выполнения критерия « l / m », а сигнал конца пачки – только в момент первого выполнения критерия « k -пропусков», то получим обнаружитель с фиксацией границ пачки. Критерий обнаружения с фиксацией границ пачки записывается в виде $l / m - k$, где $l \leq m \leq 5$, $k = 2 - 3$ [5].

Чтобы повысить точность фиксации, выберем максимальное значение $m = 5$, а l, k примем равными 3. Таким образом, ширина КС будет составлять 5 строк ТВ-растра. По выбранному критерию обнаружения «3 / 5 – 3», код «11100» показывает, что в первых трех строках КС присутствует сигнал ТС и по нему фиксируется время въезда ТС в контрольное сечение. Код «00011» показывает, что ТС уже не присутствует в первых трех строках контрольного сечения, а начинает выходить из него. Каждый из указанных кодов (по 1-му и по 2-му сечениям отдельно) сравнивается с кодом обработанного текущего сигнала. В случае их совпадения выдается управляющий сигнал, по которому производится фиксация времени въезда или выезда ТС из 1-го или 2-го контрольного сечения. На основании этих данных и длины КЗ в ВДТ производится определение параметров ТС и ТП.

Например, отрезок времени между появлением ТС в 1-м и во 2-м КС характеризует его скорость ($v = L / T_n$), а длительность нахождения ТС в одном КС, которая определяется моментами въезда (код «11100») и выезда (код «00011») ТС в пределах одного сечения, характеризует длину ТС. Дублирование и усреднение оценок, полученных в соседних сечениях, увеличивает достоверность выходных данных.

Вероятность наличия ошибки в коде текущего сигнала, подаваемого на компараторы для обнаружения ТС, очень мала, так как код текущего сигнала представляет собой обработанную информацию той части строки, которая приходится на одну полосу движения, где находится одно ТС. При этом полученный сигнал обнаружения по каждой полосе движения формируется в результате накопления видеосигнала по всем растровым элементам этой части строки, что приводит к увеличению отношения сигнал-шум и достоверности обнаружения ТС.

Выбор видеокамеры. От точности фиксации временных параметров t_n и T_n зависит точность опреде-

ления динамических параметров ТС и ТП, диктуемая требованиями АСУД. С технической точки зрения эту точность необходимо согласовывать с характеристиками измеряемого процесса и с параметрами развертки камеры ВДТ. Следует иметь в виду, что минимальный интервал между ТС по условиям безопасности движения должен составлять не менее 1 с, а оценка T_n с такой же точностью обеспечивает верное распознавание заторной ситуации [1].

Так как точность измерения временных интервалов связана с дискретностью взятия отсчетов времени, то важное значение приобретает выбор камеры с заданными параметрами ТВ-разложения (периодами строчной T_c и кадровой T_k разверток).

Установим связь динамики ТС с параметрами ТВ-разложения. Если активная часть раstra имеет 512 строк разложения, то при длине КЗ 35 м на одну строку будет приходиться 0,07 м магистрали за вычетом 10 строк, отводимых на два КС. Ширина КС l_{KC} будет составлять $5 \times 0,07 = 0,35$ м, что обеспечивает достаточно точное различение и классификацию ТС по длине, исходя из минимальной длины ТС (мотоцикла) 1,5 м.

Найдем время прохождения ТС контрольной зоны T_n и время пересечения КС T_{KC} при $L = 35$ м, максимальной скорости $V_{TC} = 70$ км/ч = 19,4 м/с и длине ТС $l_{TC} = 1,5$ м:

$$T_n = (L + l_{TC}) / v_{TC} = (35 + 1,5) / 19,4 = 1,88 \text{ с};$$

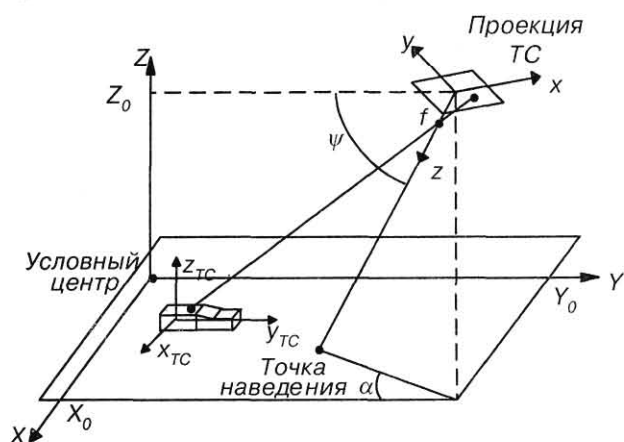
$$T_{KC} = (l_{TC} + l_{KC}) / v_{TC} = (1,5 + 0,35) / 19,4 = 0,095 \text{ с}.$$

Сравнивая эти значения с периодом кадров (периодом взятия отсчетов времени) вещательного стандарта $T_k = 0,04$ с, можно утверждать о возможности применения видеокамер со стандартным чересстрочным разложением в городских условиях движения ТС.

Для скоростных магистралей, где v_{TC} может достигать скорости 150 км/ч (41,7 м/с), а величины T_n и T_{KC} будут равны, соответственно, 0,88 и 0,05, следует использовать специализированные камеры с построчной разверткой, с частотой кадров 100 Гц и $T_k = 0,01$ с.

Привязка к местности. Наблюдение за дорожным движением сверху позволяет упростить пересчет координат и снизить размерность матрицы аффинных преобразований.

Пусть глобальная координатная система $\{X, Y, Z\}$ находится в плоскости магистрали и привязана к условному центру на ней, при этом координата Z представляет высоту (рис. 2). Начало экранной системы координат $\{x, y, z\}$ совмещено с центром мишени камеры.



■ Рис. 2. Координаты системы привязки камеры

Координаты $\{x, y, z\}$ некоторой точки в экранной системе могут быть пересчитаны в глобальную $\{X, Y, Z\}$. Применяя метод однородных координат, через матрицу аффинных преобразований M размерностью 4×4 , полученную путем произведения матриц частных преобразований, можно выразить все виды преобразований (сдвиги, повороты и проекции) [6]:

$$M = \begin{bmatrix} -\cos \alpha & -\sin \alpha \sin \psi & -\sin \alpha \cos \psi & 0 \\ \sin \alpha & -\cos \alpha \sin \psi & -\cos \alpha \cos \psi & 0 \\ 0 & \cos \psi & -\sin \psi & 0 \\ A & B & C & 1 \end{bmatrix},$$

где α – угол азимута; ψ – угол места (см. рис.2); $\{X_k, Y_k, Z_k\}$ – координаты расположения камеры в глобальном пространстве;

$$A = X_k \cos \alpha - Y_k \sin \alpha;$$

$$B = -Z_k \cos \psi + \sin \psi (X_k \sin \alpha + Y_k \cos \alpha);$$

$$C = Z_k \sin \psi + \cos \psi (X_k \sin \alpha + Y_k \cos \alpha).$$

Соответствующая обратная матрица имеет вид

$$M^{-1} = \begin{bmatrix} -\cos \alpha & \sin \alpha & 0 & 0 \\ -\sin \alpha \sin \psi & -\sin \psi \cos \alpha & \cos \psi & 0 \\ -\sin \alpha \cos \psi & -\cos \alpha \cos \psi & -\sin \psi & 0 \\ X_k & Y_k & Z_k & 1 \end{bmatrix}.$$

В общем случае для произвольной точки пространства справедливы следующие выражения:

$$(x, y, z, 1) = (X, Y, Z, 1) \times M; \quad (X, Y, Z, 1) = (x, y, z, 1) \times M^{-1}. \quad (1)$$

Прямое преобразование координат точек транспортного средства $P_i(x_i, y_i)$ в экранной системе координат на плоскости проекции в координаты глобальной системы – некорректно поставленная задача. Решение ее однозначно лишь в случае, если матрица M является матрицей калибровки, известны оптические параметры камеры и принята гипотеза о плоскопараллельности земли, плоскости движения ТС и плоскости проекции [7]. В этом случае при известных экранных координатах ТС $P_i(x_i, y_i)$ получаем линейную систему

$$\begin{cases} x_i = \frac{m_1 P_i}{m_3 P_i} \\ y_i = \frac{m_2 P_i}{m_3 P_i} \end{cases},$$

где $P_i(X_i, Y_i, Z_i)$ – глобальные координаты ТС; m_k – элементы калибровочного вектора $M = [m_1, m_2, m_3]^T$.

Таким образом, для измерения положения ТС необходима привязка камеры к местности (магистрали). В силу принятых ограничений решение задачи привязки упрощается. Как показано в работе [6], чтобы осуществить привязку видеокамеры к местности, нужно найти координаты видеокамеры $\{X_k, Y_k, Z_k\}$, а также углы зрения β , азимута α и места ψ , определяющие матрицу аффинных преобразований M . Для нахождения элементов матрицы необходимо расположить в глобальном пространстве несколько линейно независимых реперов с известными координатами. Реперы не должны располагаться в одной плоскости; их глобальные координаты должны быть точно известны;

число реперов должно быть равно или больше числа неизвестных параметров. Если же глобальные объектные координаты точки наведения отображаются на экране в точку с координатами $\{0, 0\}$, количество переменных и каноническое число реперов сокращают до трех. Как показано в работе [6], функции углов α и ψ можно выразить через координаты видеокамеры и точки наведения, что сокращает число неизвестных параметров до трех.

Структура поста видеомониторинга

Структурная схема аппаратной части поста видеомониторинга изображена на рис. 3. Аналоговый сигнал с выхода видеокамеры поступает на блок оцифровки изображения (видеокарту), где осуществляется его аналого-цифровое преобразование, а также преобразование ТВ-стандарта в стандарт видеокарты (число пикселей по горизонтали и вертикали определяется типом видеокарты). Затем цифровое изображение вводится в блок цифровой обработки, где выполняется обработка изображения в соответствии с разработанными алгоритмами и оцениваются параметры ТС и ТП. В результате обработки формируется информационный кадр, содержащий время и место наблюдения за участком магистрали, а также оценочные параметры. Информационный кадр поступает в модем и передается в центр управления. Передача возможна не только посредством радиопередатчика, но также и другими способами:

по телефонной линии с помощью внутреннего модема компьютера, который выполняет преобразование цифрового сигнала сжатого изображения в аналоговый сигнал для согласования телефонной линии с компьютером;

по каналу цифровой сотовой связи (через цифровой сотовый модем).

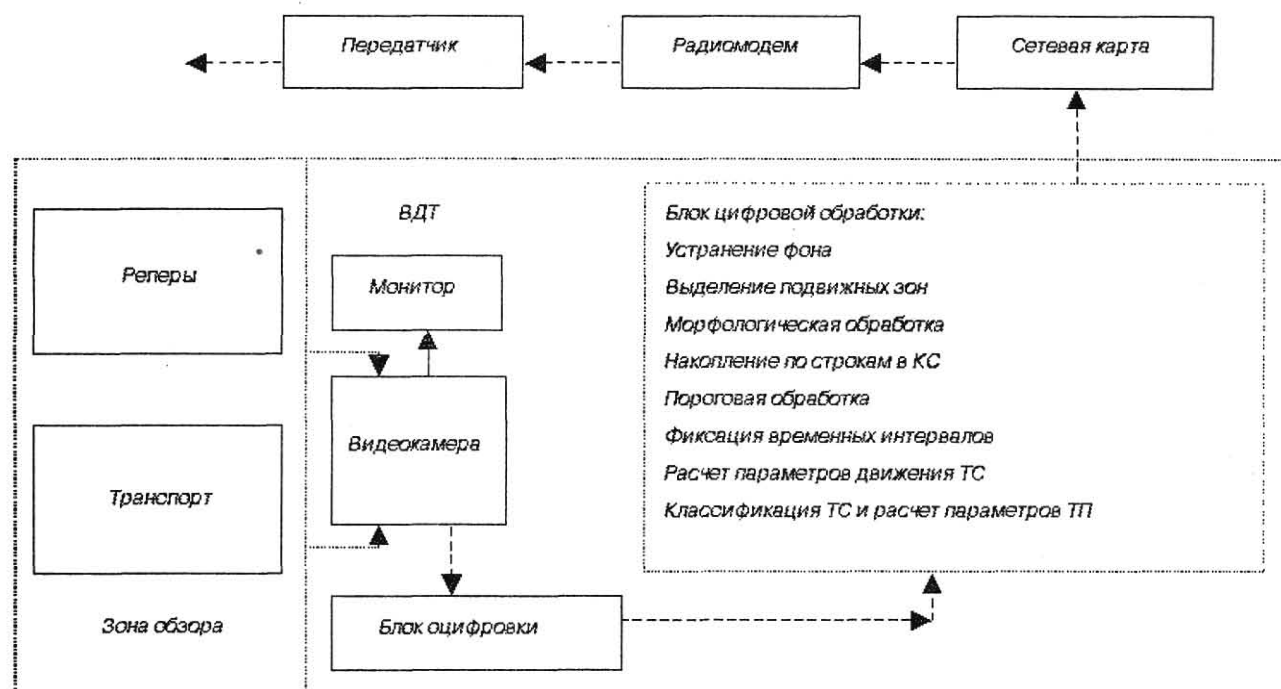
Цифровая обработка видеoinформации

Основные этапы обработки. При построении большинства существующих алгоритмов обнаружения движения предполагалось, что освещенность сцены со временем существенно не изменяется и имеет достаточно высокое значение. Однако в действительности это не всегда так, особенно в условиях естественного освещения и работы на открытом воздухе. Тогда метод простого вычитания изображения фона из текущего изображения сцены и применения пороговой обработки будет давать неточные результаты. Кроме того, этот метод плохо работает при слабой освещенности сцены, низком отношении сигнал-шум и изменчивости фона.

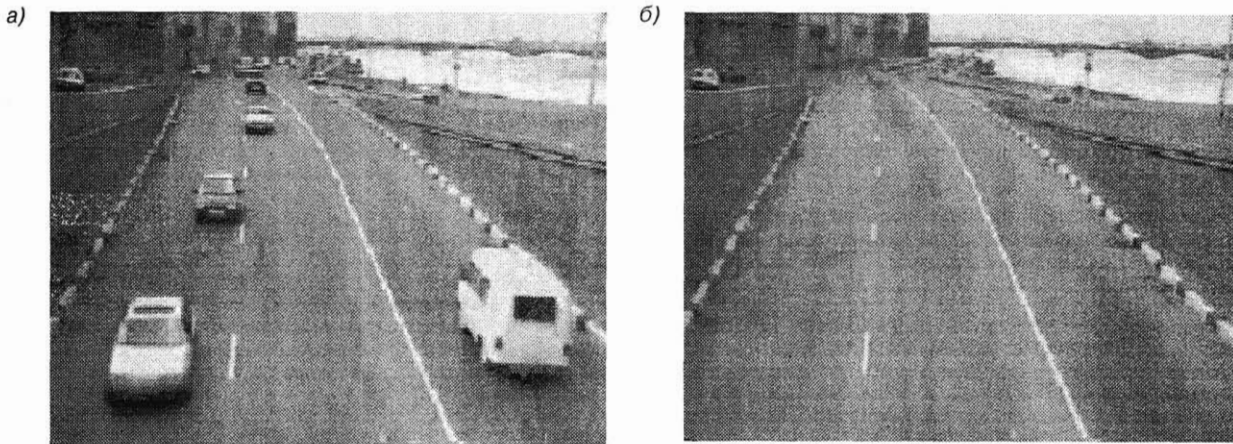
Для преодоления недостатков разностного метода необходима обработка последовательности видеок кадров в два взаимосвязанных этапа. На первом этапе проводится адаптивная оценка фона, получение разностного видеок кадра и пороговое обнаружение фрагментов, в которых произошли изменения, свойственные движущимся объектам. На втором этапе производится сегментация разностного видеок кадра с обр амлением связанных фрагментов, которые преодолели порог, с использованием морфологической обработки. Затем производится измерение моментов пересечения связными областями КС и определение параметров ТС и ТП.

Выполнение подобной обработки – достаточно сложная задача, поэтому проблему выделения движущихся объектов целесообразно представить в виде последовательного выполнения нескольких относительно независимых операций:

- оценка фона путем отслеживания его изменений;
- компенсация фона;
- пороговое обнаружение движущихся фрагментов;



■ Рис. 3. Структура поста с ВДТ



■ Рис. 4. Входное изображение (а) и изображение фона (б)

морфологическая обработка с использованием операций эрозии, наращивания и открытия; фиксирование моментов пересечения контрольных сечений связными областями; расчет основных параметров выделенных ТС, их классификация и определение параметров ТП.

Оценка и компенсация фона

Оценка и компенсация фона. Для конкретизации условий работы ВДТ будем считать, что видеокамера неподвижна и имеет фиксированные оптические параметры. Отметим, что изменения сигнала фона $V_{\Phi}(t)$ происходят значительно медленнее, чем изменения в видеосигнале из-за движения объектов. Поэтому оценка фона производится по информации нескольких кадров, после чего выделение сигналов изменяющихся областей реализуется на основе сравнения сформированной оценки сигнала фона $\hat{V}_{\Phi}(t)$ и сигнала текущего видеокadra $V(t)$.

Для формирования оценки фона в каждом пикселе (растровом элементе) $p(x, y)$ с координатами x, y по кадру воспользуемся аппаратом фильтрации Калмана, который позволяет адаптироваться к яркостным изменениям фона [6].

В нашем случае уравнение наблюдения запишем в следующем виде:

$$V(k, p) = V_{\Phi}(k, p) + \eta(k, p),$$

где $V(k, p)$ – значение видеосигнала изображения в точке p в k -м кадре; $V_{\Phi}(k, p)$ – значение видеосигнала фона в точке p в k -м кадре; $\eta(k, p)$ – гауссовский шум, воздействующий на входное изображение (ошибка измерения).

Запишем уравнение состояния фона:

$$V_{\Phi}(k + 1, p) = V_{\Phi}(k, p) + \mu(k),$$

где $V_{\Phi}(k + 1, p)$ – значение видеосигнала фона в точке p в $(k+1)$ -м кадре; $\mu(k)$ – ошибка модели динамики фона.

Главным преимуществом такого подхода является то, что он принимает в расчет как медленные изменения сцены, обусловленные изменением освещенности, так и внезапные изменения, обусловленные появлением в сцене новых объектов. На рис. 4, а показан один кадр из видеопоследовательности, на котором изображена дорога с движущимися автомо-

билями; на рис. 4, б – изображение (оценка) фона, полученное после применения фильтра Калмана к данной видеопоследовательности.

Сформированная оценка фона позволяет выделить в кадре фрагменты (области) изображения с признаками движения путем вычисления разностного изображения $V_r(x, y)$ между входным изображением $V(x, y)$ и оценкой фона $\hat{V}_{\Phi}(x, y)$;

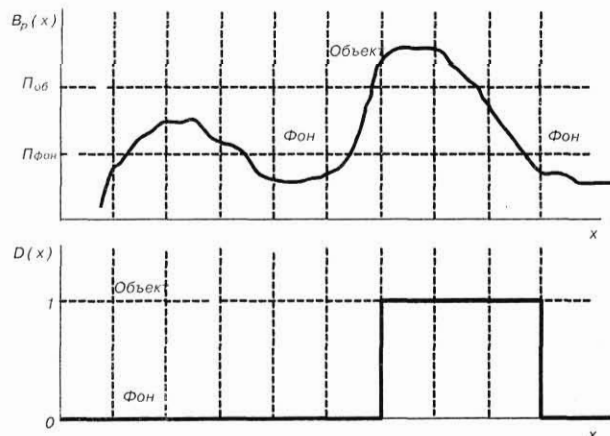
$$V_r(x, y) = |V(x, y) - \hat{V}_{\Phi}(x, y)|. \quad (2)$$

Пороговое обнаружение. Для более надежного выделения областей кадра, принадлежащих движущимся объектам, и устранения помех и шумов к разностному изображению $V_r(x, y)$ применяется пороговая обработка с гистерезисом, имеющая два порога – $\Pi_{об}$, $\Pi_{фон}$ и два состояния – фон, объект (рис. 5), т. е.

$$D(x, y) = \begin{cases} 0, & \text{если состояние – объект и } V_r(x, y) < \Pi_{фон}, \\ 1, & \text{если состояние – фон и } V_r(x, y) > \Pi_{об}, \end{cases} \quad (3)$$

где $D(x, y)$ – бинарное изображение.

Величина порогов зависит от освещенности сцены и определяется экспериментально по реальным изображениям. Если предшествующее состояние системы – фон, а в анализируемой точке кадра



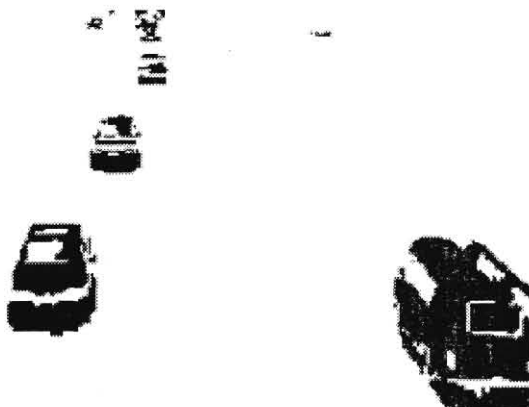
■ Рис. 5. Пороговая обработка с гистерезисом вдоль строки

$V_p(x, y) > P_{об}$, то сигналу этой точки присваивается единичное значение (точка принадлежит объекту), и система переключается в состояние *объект*. Аналогично, если предшествующее состояние – *объект*, а $V_p(x, y) > P_{ф}$, то сигналу точки присваивается нулевое значение и система устанавливается в состояние *фон*. Таким образом, решение о том, какое значение будет иметь обрабатываемый пиксель, принимается не только по величине сигнала в этой точке, но и в предшествующих ей, что, безусловно, повышает надежность обнаружения подвижных объектов. В результате этой обработки получается бинарное изображение $D(x, y)$, в котором пиксели, принадлежащие движущимся областям, имеют значение 1, а пиксели фона – 0. Использование предложенного метода устранения фона позволяет уменьшить количество обрабатываемых данных и определить с большей точностью местонахождение движущихся объектов в поле зрения видеокамеры.

Морфологическая фильтрация. Операции выделения границ изображения, устранения шумов, а также устранения ошибок компенсации фона без воздействия на область локального «полезного» движения могут быть эффективно произведены при помощи морфологической фильтрации.

Морфологическая фильтрация представляет собой способ нелинейной обработки изображений с помощью маски (структурного элемента). Базовыми операциями морфологической обработки являются эрозия и наращивание. Для обеих операций задается структурный элемент, ненулевые значения которого определяют, какие из элементов изображения следует учитывать при выполнении операции.

При эрозии бинарного изображения элемент исходного изображения сбрасывается в ноль, если хотя бы один из элементов окрестности, соответствующий ненулевому элементу маски, равен 0. При наращивании бинарного изображения элемент исходного изображения устанавливается в 1, если хотя бы один из элементов окрестности, соответствующий ненулевому элементу маски, равен 1. В нашем случае для устранения шумов и реконструкции бинарной формы объектов применяются бинарные морфологические операторы со структурным элементом 3×3 , что позволяет получить бинарное изображение, характеризующееся однородными и связными областями (рис. 6).



■ Рис. 6. Силуэты ТС

Ошибки компенсации движения фона устраняются с помощью операции морфологического открытия. Операция открытия представляет собой последовательное применение эрозии и наращивания. Эта операция приводит к соединению областей фона, разведенных узкими участками элементов объектов. Для удаления небольших фрагментов фона внутри объектов применяется операция закрытия, которая является последовательным применением наращивания и эрозии.

Классификация транспортных средств. На этом этапе производится формирование адаптивных индивидуальных стробов (ИС) минимального размера, которые охватывают каждый из обнаруженных объектов. Это позволяет индивидуализировать объекты и маркировать их для персональной раздельной обработки. При вычислении размеров прямоугольных стробов на двумерном дискретном массиве определяется область, ограниченная пересечением двух строк и двух столбцов, причем столбцы задают левую и правую границы объекта на плоскости изображения, а строки – верхнюю и нижнюю границы.

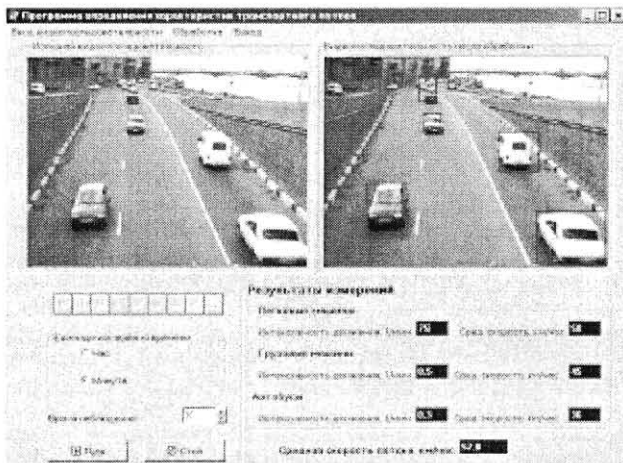
Алгоритм обработки состоит из трех подалгоритмов [8]. В первом определяется общий строб, который охватывает все присутствующие в сцене объекты. Его границами являются первые строки и столбцы, начиная от краев исходного изображения. В следующем подалгоритме производится разделение общего строба на индивидуальные, охватывающие отдельные выделенные объекты. Таким образом, производится отделение объектов друг от друга и присваивание персонального номера каждому из них (маркировка). Этот процесс продолжается до тех пор, пока не закончится просмотр всей исследуемой области. В третьем подалгоритме производится адаптация размеров стробов к размерам объектов.

Формирование ИС для всех подозреваемых в движении фрагментов изображения позволяет произвести более тщательную обработку внутри каждого строба и, прежде всего, повторную пороговую обработку с гистерезисом. Эта обработка может быть индивидуализирована за счет применения порогов, согласованных с локальными свойствами изображений внутри каждого строба.

Итак, по результатам морфологической обработки формируются ИС минимальных размеров, охватывающие ТС. Следовательно, ширина и длина ИС могут служить видовой характеристикой отслеживаемого ТС, которая позволяет провести его грубую классификацию. Таким образом, предложенный алгоритм устраняет необходимость в точном извлечении сложных специфических признаков ТС и их согласовании с моделями или эталонами ТС, хранящимися в памяти, так как положение и вид ТС частично определены формой и положением ИС. Такая постановка задачи гарантирует уверенное выполнение данных алгоритмов в реальном масштабе времени.

Кроме того, важным фактом, способствующим проведению надежной классификации, является то, что ракурс ТС в поле зрения камеры меняется мало, а незначительные вариации изображений ТС не препятствуют упрощению алгоритма классификации.

Измерение динамических параметров транспортных средств и потоков. Динамические параметры ТС в отдельности и ТП в целом вычисляются с использованием результатов классификации и замеров времени пересечения КС выделенными ТС. На основании времени пересечения контрольных сечений



■ Рис. 7. Информационный кадр

(см. рис. 1), расположенных на базовом расстоянии L , определяется продолжительность прохождения этого расстояния отдельным ТС, рассчитывается его скорость и ускорение.

Маркировка и классификация ТС по видам позволяет оценить такие параметры ТП, как общая плотность потока на участке магистрали, интенсивность движения по полосам, состав и неравномерность ТП в различные интервалы времени. Кроме того, могут быть подсчитаны средняя скорость ТП и количество фактов ускорения ТС в потоке за определенный промежуток времени.

Полученные с помощью несложных вычислений числовые данные отображаются в соответствующих окнах информационного кадра (рис. 7).

Заключение

Предложенные тип детектора транспорта, организация постов видеонаблюдения и измерения, структура, принципы и алгоритмы обработки видеоинформации с целью оценки параметров транспор-

тных потоков показывают возможность построения автоматизированной системы видеомониторинга дорожного движения.

Рассмотренная иерархическая структура блока цифровой обработки видеопоследовательности позволяет учесть как особенности транспортной задачи, так и характер изображений сцены. Использование эффективных адаптивных методов обработки обеспечивает быстрое и надежное выделение движущихся объектов, их классификацию, независимую раздельную обработку каждого из объектов, а также определение их интегральных и дифференциальных динамических параметров.

Литература

1. Хилажев Е. Б., Кондратьев В. Д. Микропроцессорная техника в управлении транспортными потоками. – М.: Транспорт, 1987. – 430 с.
2. Астратов О. С., Обухова Н. А., Тимофеев Б. С. Автоматизированный контроль транспортных потоков с помощью телевизионных систем // Радиотехнические и телевизионные системы: Сб. научн. тр. / Под ред. Б. С. Тимофеева. – СПб.: Изд-во СПбГУАП, 2000. – С. 61–68.
3. Traffic Engineering Handbook: Institute of Transportation Engineers. – Washington, D. C., 1992. – 228 p.
4. <http://tti.tamu.edu>
5. Кузьмин С. З. Основы теории цифровой обработки радиолокационной информации. – М.: Сов. радио, 1974. – 432 с.
6. Тимофеев Б. С. Многокамерные телевизионные охранные системы // Техника кино и телевидения. – 1997. – № 8. – С. 30–33.
7. Foresti G. L., Regazzoni C. S. A real-time model based method for 3-D object orientation estimation in outdoor scenes // IEEE Signal Proc. Lett. – 1997. – Vol. 4. – P. 240–251.
8. Астратов О. С., Филатов В. Н., Чернышова Н. В. Экологический телевизионный мониторинг транспортных потоков. Рукопись деп. в ВИНТИ 07.07.2003 № 1289-B2003 СПбГУАП. – 21 с.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЛИТЕХНИКА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ

Куприянов М. С., Матюшкин Б. Д.

Цифровая обработка сигналов: процессоры, алгоритмы, средства проектирования. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2002. – 592 с.: ил.

Книга содержит три части. Первая часть «Процессоры цифровой обработки сигналов» посвящена архитектуре и особенностям организации DSP. Во второй части «Алгоритмы цифровой обработки сигналов» рассматриваются основы теории дискретных систем, методы анализа эффектов квантования сигналов при реализации алгоритмов обработки на DSP, базовые алгоритмы ЦОС и их реализация на DSP. Третья часть «Инструментальные средства проектирования систем ЦОС» содержит описание программных и аппаратных средств, используемых для решения задач проектирования и входящих в стартовый комплекс разработчика систем ЦОС. В приложении приведена система команд семейств DSP5600x и DSP5630x.

Книга рассчитана на инженерно-технических работников, занимающихся проектированием систем ЦОС, а также студентов соответствующих специальностей технических университетов.



УДК. 621.383.3

ОБНАРУЖЕНИЕ – ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИИ

Л. Д. Вилесов,

канд. техн. наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Рассматривается работа ТВ-системы на пороге ее чувствительности, связанная с наблюдением сигналов от объектов на фоне помех и принятием соответствующих решений и оценок. Помехи заданы статистически, а параметры сигналов неизвестны и являются для наблюдателя ТВ-системы случайными. В таких условиях для решения задачи обнаружения-измерения параметров объектов используется теория статистических решений, включающая в себя проверку гипотез и оценку параметров.

Work of TB-system on a threshold of its sensitivity, connected with supervision of signals from objects on a background of handicapes and acceptance of corresponding decisions and ratings is considered. Handicapes are set statistically, and parameters of signals are unknown and are for the observer (TB-system) casual. In such conditions for the decision of a problem of detection - measurement of parameters of objects the theory of statistical decisions including check of hypotheses and a rating of parameters is used.

Общие вопросы обнаружения-измерения неизвестного числа объектов с неизвестными параметрами

Рассмотрим модели сигнала и фона, используемые в данной работе.

Фон состоит из коррелированной составляющей (морская поверхность и воздушная среда), некоррелированной составляющей (белый шум) и квазидетерминированной составляющей (структурная помеха ТВ-датчика).

Сигналы наблюдаются от морских и воздушных объектов. Параметры сигналов: энергия (интеграл от двумерной функции, описывающей сигнал, на поверхности ТВ-датчика), размеры объекта (масштаб) в ограниченных сверху и снизу пределах, положение объекта (координаты), динамика объекта (неподвижный / движущийся).

Изображение, регистрируемое ТВ-датчиком, представим в виде непрерывной модели. Реализацию изображения одного кадра, ограниченного областью $R \in R^2$ (R^2 – плоскость), можно записать как

$$\begin{aligned} x(\mathbf{r}) &= S(\mathbf{r}, \bar{\Theta}_S^m) + S(\mathbf{r}, \bar{\Theta}_S^n) + n_\Phi(\mathbf{r}) + n_0(\mathbf{r}); \\ \mathbf{r} &= (r_1, r_2) \in R \subset R^2, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\mathbf{r} = (r_1, r_2)$ – горизонтальная и вертикальная координаты в плоскости изображения; $S(\mathbf{r}, \bar{\Theta}_S^m)$ – сигнал от объекта класса m с вектором информационных параметров $\bar{\Theta}_S^m$; $n_\Phi(\mathbf{r})$ – изображение фона; $n_0(\mathbf{r})$ – двумерное поле белого гауссовского шума, обусловленное шумами датчика и видеоусилителя; $S(\mathbf{r}, \bar{\Theta}_S^n)$ – сигнал от

объекта класса n с вектором параметров $\bar{\Theta}_S^n$. Объекты различных классов могут отличаться, например, своими размерами в плоскости изображения.

Изображение объекта определенного класса занимает ограниченную подобласть $R_S^{(r_0)}$ на R , где r_0 – точка привязки объекта или его координаты на R .

Сначала будем считать, что координаты объекта определенного класса и размеры подобласти $R_S^{(r_0)} = S$ известны, и необходимо принять решение о наличии сигнала определенного класса или фона только для подобласти $R_S^{(r_0)} = S$.

Переход к неизвестному положению объекта и неизвестным его размерам предполагает разбиение области R на непересекающиеся зоны $R_S^{(r_i)}$; $\bigcup R_S^{(r_i)} = R$ многократно (по числу классов, каждому разбиению соответствуют свои размеры $R_S^{(r_0)}$) или скользящую фильтрацию одного кадра изображения следующими друг за другом пространственными строками, размеры которых согласованы с ожидаемыми объектами. Сигналы различных классов ортогональны на R (их изображения не перекрываются):

$$\int_R S(\mathbf{r}, \bar{\Theta}_S^m) S(\mathbf{r}, \bar{\Theta}_S^n) d\mathbf{r} = 0.$$

Кроме измерения параметров, необходимо также принять решение о том, к какому классу относится сигнал от объекта. Такая задача относится к проблеме совместного многоальтернативного обнаружения-измерения (многоальтернативность предполагает,

что проверяемой гипотезе о наличии сигнала определенного класса противопоставлен ряд других гипотез, т. е. альтернатив). Ей посвящено значительное число работ, среди которых можно выделить [1, 2]. В работе [1] для решения задачи используется адаптивный байесовский метод, в работе [2] – байесовский метод, а также методы максимума апостериорной плотности вероятности (АПВ) и максимума правдоподобия (МП). В работе [3] неизвестные параметры отнесены к мешающим и для решения задачи многоальтернативного обнаружения применены принципы инвариантности и подобия.

Ниже для решения задачи многоальтернативного обнаружения-измерения используется байесовский метод для функции потерь, которая позволяет значительно упростить алгоритмы принятия решения, сводя их к проверке бинарных гипотез. Это позволило обобщить критерий Немана–Пирсона на многоальтернативный случай. Такой подход для решения задачи многоальтернативного обнаружения был использован в работе [4].

Задача совместного обнаружения-измерения формулируется как проверка $L + 1$ гипотезы относительно объекта класса $\alpha; \alpha \in \{0, 1, 2, \dots, L\} = Q_\alpha$ с

оценкой векторного параметра $\bar{\Theta}^{(\alpha)}$, соответствующего принятой гипотезе (выбранному классу). Причем значению $\alpha = 0$ соответствует отсутствие объекта (наличие только фона). Таким образом, необходимо принять решение для каждой зоны $R_S^{(r)}$; $\cup R_S^{(r)} = R$ о наличии объекта соответствующего класса и оценить его параметры.

Естественно, что за ошибочные решения и неточные оценки нужно «платить». Ниже рассматриваются три ситуации назначения потерь в выражении для функции стоимости:

1) за ошибочные решения при проверке любой из гипотез с номером $\alpha; \alpha \in \{0, 1, 2, \dots, L\} = Q_\alpha$ назначаются равные стоимости, но отличающиеся от потерь за ошибочные решения при проверке любой из оставшихся гипотез из совокупности Q_α ;

2) за правильно выбранное решение из числа проверяемых гипотез, но неточные оценки параметров сигнала для данной гипотезы потери снижаются;

3) за правильные решения и абсолютно точные оценки параметров назначаются бесконечно малые ($\rightarrow -\infty$) потери.

Учитывая это, функцию потерь можно представить в виде квадратной матрицы с размерами $(L + 1) \times (L + 1)$, элементы которой учитывают все перечисленные ситуации. Элемент с номером kq этой матрицы учитывает потери, связанные с принятием решения о наличии сигнала класса k и оценки его параметров $\bar{\Theta}^{(k)}$, если в действительности присутствует сигнал класса q с истинными параметрами $\bar{\Theta}^{(q)}$:

$$\|c_{kq}\| = \begin{bmatrix} c^{00} & c^{01} & \dots & c^{0L} \\ c^{10} & c^{11} & \dots & c^{1L} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ c^{L0} & c^{L1} & \dots & c^{LL} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_0 & a_1 & \dots & a_L \\ a_0 & a_1 & \dots & a_L \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_0 & a_1 & \dots & a_L \end{bmatrix} - \text{diag}\{g_q \delta_{kq} + \delta(\bar{\Theta}^{(k)} - \bar{\Theta}^{(q)})\}, \quad (2)$$

где k, q – номера классов объектов, принадлежащих совокупности $\{0, 1, 2, \dots, L\} = Q_\alpha$; $\text{diag}(\cdot)$ – диагональная матрица; δ_{kq} – символ Кроникера ($\delta_{kq} = 1$ при $k = q$ и

$\delta_{kq} = 0$ при $k \neq q$); $\delta(x)$ – дельта-функция ($\delta(x) \rightarrow \infty$ при $x = 0$ и $\delta(x) = 0$ при $x \neq 0$); $(a_0 \dots a_L)$ – потери за ошибочные решения при проверке каждой из гипотез; g_q – постоянная величина (потери за неточную оценку параметра).

Таким образом, функция потерь (2) позволяет при справедливости гипотезы H_q назначить одинаковые потери за ошибочные решения $k \neq q$, равные a_q (столбцы матрицы) [4], потери за правильные решения, но с ошибочными оценками $\bar{\Theta}^{(q)} \neq \bar{\Theta}^{(q)}$ снизить до $a_q - g_q$ (диагональные элементы матрицы $\|c_{kq}\|$ [2], а потери за правильные решения при точных оценках (также диагональные элементы матрицы $\|c_{kq}\|$ [2] уменьшить до бесконечно малых величин [2]:

$(a_q - g_q - \infty) \rightarrow -\infty$.

В соответствии с байесовским методом [1, 2] оптимизация принятия решения и оценки параметров заключается в минимизации апостериорного риска. Апостериорный (условный) риск есть результат усреднения функции потерь по случайным параметрам: дискретному α (номер гипотезы) и непрерывному $\bar{\Theta}^{(\alpha)}$ (параметры сигнала для гипотезы $H_\alpha; \alpha \in \{0, 1, 2, \dots, L\} = Q_\alpha$) при выполнении условия, что реализация изображения $x(r); r \in R \subset R^2$ получена. Запишем апостериорный риск в виде

$R_k = \sum_{q \in Q_\alpha} P(q/x(r)) \int_{R^{(q)}} c_{kq}(\bar{\Theta}^{(k)}, \bar{\Theta}^{(q)}) p(\bar{\Theta}^{(q)} / x(r), q) d\bar{\Theta}^{(q)}, \quad (3)$

где $R_k = R_k(\alpha = k, \bar{\Theta}^{(k)} / x(r)) = R(k, \bar{\Theta}^{(k)} / x(r)); R^{(q)}$ – область интегрирования по векторному параметру $\bar{\Theta}^{(q)}$.

Интегрирование проводится по дискретно-непрерывной условной вероятностной мере

$P_q = P(\alpha = q, d\bar{\Theta}^{(q)} / x(r)) = P(q/x(r)) p(\bar{\Theta}^{(q)} / x(r), q),$

где $P(q/x(r))$ – апостериорная (условная) вероятность наличия сигнала класса q после наблюдения реализации $x(r); p(\bar{\Theta}^{(q)} / x(r), q)$ – апостериорная плотность вероятности вектора параметров $\bar{\Theta}^{(q)}$ после наблюдения реализации и наличия в реализации изображения сигнала класса q (при справедливости гипотезы H_q).

С помощью байесовского критерия оптимальности и заданной функции потерь задачу многоальтернативного обнаружения-измерения можно свести к проверке бинарных гипотез с оценкой соответствующих параметров $\bar{\Theta}^{(k)} = \bar{\Theta}^{(k)}$, где $\bar{\Theta}^{(k)}$ – оценка по максимуму апостериорной плотности вероятности измеряемого векторного параметра.

Бинарные задачи обнаружения, как известно, позволяют использовать критерий Неймана–Пирсона,

т. е. оптимизировать решающее правило по максимуму вероятности правильного обнаружения при ограничении на заданную вероятность ложной тревоги. Известно, что этот критерий наиболее приемлем при разработке систем с ограниченными ресурсами противодействия обнаруживаемому объекту, что и определяет его широкое применение. Вероятность ложной тревоги должна быть достаточно малой и не превышать допустимой величины.

Оптимальное решающее правило можно записать в следующем виде [5]. Принимается решение в пользу гипотезы H_m , $m \in Q_\alpha$ и оценка $\hat{\Theta}^{(m)} = \hat{\Theta}^{(m)}$, если одновременно выполняется совокупность L неравенств:

$$\Lambda^{(m)} = \frac{p(x_R/\hat{\Theta}^{(m)})}{p(x_R/0)} \geq c_m; \quad (4)$$

$$\Lambda^{(mk)} = \frac{p(x_R/\hat{\Theta}^{(m)})}{p(x_R/\hat{\Theta}^{(k)})} \geq c_{mk}; \quad k \in \{1, \dots, L\} \setminus m, \quad (5)$$

где $\Lambda^{(m)}$ – отношение правдоподобия, $\Lambda^{(mk)} – (L - 1)$

отношений правдоподобия; $p(x_R/\hat{\Theta}^{(m)})$ – функционал правдоподобия (аналог функции правдоподобия – плотности вероятности) изображения в оценочной

точке $\hat{\Theta}^{(m)}$ при справедливости гипотезы H_m (наличии сигнала класса m); $p(x_R/0)$ – функционал правдоподобия изображения при справедливости гипотезы H_0 (наличии только фона); $\{1, \dots, L\} \setminus m$ – совокупность $\{1, \dots, L\}$, исключающая элемент m .

Физический смысл выражений (4) и (5) заключается в совместном выполнении неравенств. Для фиксированной зоны $R_s^{(r_m)}$; $UR_s^{(r_m)} = R$ принимается решение о наличии объекта класса m относительно фона [согласно (4)] и различении объекта класса m относительно объектов других классов [в соответствии с (5)].

Неравенства (4) необходимо проверить всего L раз (по числу гипотез о наличии объекта относительно фона). Неравенства (5) необходимо проверить $L(L-1)/2$ раз,

так отношения правдоподобия $\Lambda^{(mk)}$ и $\Lambda^{(km)}$, содержащие одни и те же функционалы правдоподобия

$p(x_R/\hat{\Theta}^{(m)})$ и $p(x_R/\hat{\Theta}^{(k)})$, симметричны при проверке неравенств и, кроме того, исключается проверка любой гипотезы по отношению к самой себе.

Таким образом, при обнаружении в фиксированной зоне $R_s^{(r_m)}$; $UR_s^{(r_m)} = R$ объекта класса L необходима проверка $L(L+1)/2$ неравенств.

Пороги c_{mk} ; $k \in Q_\alpha \setminus m$; $Q_\alpha = \{0, 1, 2, \dots, L\}$ вычисляются по заданной вероятности ложной тревоги F . В левые части неравенств (4), (5) входят оценки параметров по максимуму апостериорной плотности вероятности.

Известно, что при высокой апостериорной точности измерения параметров оценку по максимуму АПВ $\hat{\Theta}_i^{(\alpha)}$ можно заменить оценкой в виде среднего значения АПВ и использовать в решающих правилах (4), (5) квазиоптимальные рекуррентные алгоритмы измерения параметров.

Если оцениваемые параметры постоянны (не зависят от времени): $\hat{\Theta}_i^{(\alpha)} = \bar{\Theta}^\alpha$; $\alpha \in Q_\alpha \setminus 0$, то, как известно, при равномерных априорных распределениях параметров оценки по максимуму АПВ соответствуют оценкам максимального правдоподобия.

Таким образом, в зависимости от оговоренных условий, в левой части выражений (4), (5) можно использовать либо оценки по максимуму АПВ, либо оценки как среднее значение АПВ, либо оценки МП.

Оценка параметров линии горизонта. Разделение фона на два класса

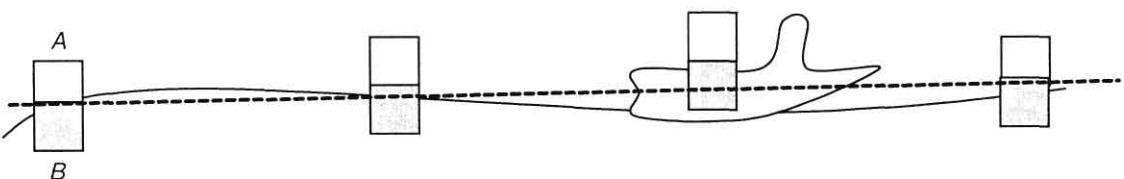
Совместное обнаружение воздушных и морских целей осложнено наличием перепада контраста на линии горизонта, вдоль которой априорная вероятность морских объектов максимальна [7]. Перепад контраста фона на линии горизонта вносит дополнительную сложность при обнаружении-измерении параметров морских объектов.

Предлагается классифицировать фон, разделить его на два класса: над линией горизонта (при обнаружении воздушных объектов) и под линией горизонта [6]. Таким образом, при сравнении относительного правдоподобия с порогом автоматически должно учитываться, где расположен объект: на линии или под линией горизонта (морские объекты) или над линией горизонта (воздушные объекты). Последнее позволяет резко уменьшить области поиска объектов – воздушных и морских.

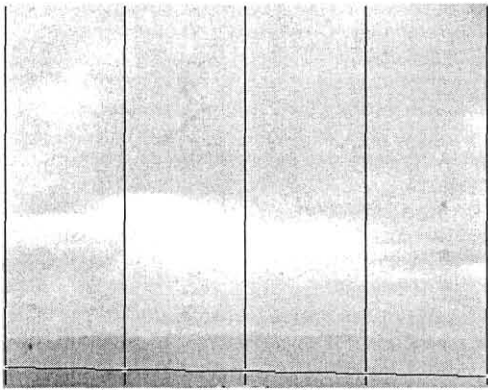
Для решения поставленной задачи используются маркеры из двух полустробиов, каждый из которых перемещается по соответствующей вертикальной полосе (по кадру) и останавливается в точке максимального перепада контраста (рис. 1). Маркеры локально отслеживают (оптимально оценивают) положение линии горизонта. По оценкам вертикальных координат, полученных с помощью группы маркеров, интерполируется линия горизонта (рис. 2).

Каждый из маркеров реализует весовую функцию вида $+1/-1$ при формировании отношения правдоподобия для проверки гипотез: воздух/вода. Обработка сигналов пикселей верхнего полустробиа А:

$$x_A = \frac{1}{m \times n} \sum_{i,j \in A} x_{ij}$$



■ Рис. 1. Оценка линии горизонта



■ Рис. 2. Построение линии горизонта по вертикальным линиям

Соответственно, обработка сигналов пикселей нижнего полушария B :

$$x_B = \frac{1}{m \times n} \sum_{i,j \in B} x_{ij}$$

В приведенных формулах m – число пикселей по горизонтали в полушарии A и полушарии B ; n – число пикселей по вертикали в тех же полушариях; x_{ij} – сигнал ij -го пикселя. Очевидно, что в результате обработки отношение сигнал/шум для x_A

и x_B увеличивается в $\sqrt{m \times n}$ раз по отношению к x_{ij} , что позволяет значительно уменьшить влияние шумов изображения. Вторая проблема, связанная с неизвестной интенсивностью сигналов изображения, решается с помощью нормировки сигналов x_A и x_B . Запишем правило принятия решения о наличии перепада контраста внутри полушария A или B :

$$Q_{A/B} = \frac{|x_A - x_B|}{x_A + x_B} \geq C,$$

которое не зависит от абсолютных энергетических соотношений для пикселей изображения. Оценка вертикальной координаты линии горизонта для обрабатываемой вертикальной полосы изображения

$$\hat{y}_j = \max_j \frac{|x_A(j) - x_B(j)|}{x_A(j) + x_B(j)},$$

где y_j – максимальное значение, которому соответствует оценка номера пикселя j линии горизонта по вертикали для обрабатываемой полосы. Направление поиска максимума (перемещение полушария на один пиксель) зависит от знака разности $(x_A - x_B)$. Если $x_A > x_B$, то поиск направлен вверх, если $x_A < x_B$, то – вниз.

Из-за неоднородности изображения возможны ложные обнаружения и аномальные оценки, которые исключаются и заменяются интерполяционными, например, по методу наименьших квадратов. Отметка маркера по вертикали, отклонение которого относительно среднего уровня линии горизонта велико, отбрасывается.

Для случая малоконтрастного горизонта (туман, плохая видимость) группа маркеров заменяется на полушария, которые непрерывно заполняют всю линию горизонта (вдоль строки изображения).

Обнаружение-измерение параметров объекта одного класса при наличии неизвестного фона

Рассмотрим задачу совместного обнаружения и оценки параметров для одного объекта при наличии неизвестного фона. Для ее решения необходимо вычислить отношение правдоподобия, входящее в выражение (4).

Фон имеет коррелированную и квазидетерминированную компоненты. Статистическая модель коррелированного фона удовлетворительно описывает фон в виде облачного покрова и морской поверхности. Характерной особенностью такого фона является наличие ярко выраженной пространственной корреляции.

Сигнал от объекта представим как

$$S(\mathbf{r}, \bar{\Theta}_s) = a_s f_s(\mathbf{r} - \mathbf{r}_0, \bar{\Theta}); \quad \bar{\Theta}_s = (a_s, \bar{\Theta}, \mathbf{r}_0),$$

где a_s – неизвестная амплитуда, равная энергии сигнала от объекта (за один кадр наблюдения) или объему тела

сигнала $\int_{R_s^{(r_0)}} S(\mathbf{r}, \bar{\Theta}_s) d\mathbf{r} = a_s$; $f_s(\mathbf{r} - \mathbf{r}_0)$ – неизвестная фун-

кция, описывающая форму сигнала от объекта, отличная от нуля в ограниченной области $R_s^{(r_0)} \subset R$; \mathbf{r}_0 – точка привязки (координаты) объекта на R ; $\bar{\Theta}$ – параметры объекта, связанные с его свойствами, например площадью пятна, формой и т. д.

Так как ТВ-датчик является детектором интенсивности излучения, то статистическое распределение фона в общем случае негауссовское и изображение коррелированного фона есть неоднородное негауссовское поле.

По реализации изображения (1) или совокупности реализаций-кадров (в зависимости от усложнения постановки задачи) для ограниченной области $R_s^{(r_0)} \subset R$ необходимо принять решение о наличии сигнала от объекта или только фона и оценить параметры сигнала

$a_s, \bar{\Theta}, \mathbf{r}_0$, а также фон $n_\Phi(\mathbf{r})$. Подход к решению задачи обнаружения-измерения в такой постановке связан с применением инновационного метода [8, 9], в основе которого лежит выбеливание изображения. В результате получаем преобразованное изображение

$$x^w(\mathbf{r}) = a_s f_s^w(\mathbf{r} - \mathbf{r}_0, \bar{\Theta}) + w_0(\mathbf{r}),$$

где $w_0(\mathbf{r})$ – поле белого гауссовского шума, стохастически эквивалентное $n_0(\mathbf{r})$ (в смысле равенства их спектральных плотностей); индекс w над переменной обозначает применение к ней операции выбеливания.

Оператор выбеливания обратим, поэтому в результате преобразования не происходит потери информации относительно полезного сигнала. С помощью обратного преобразования всегда можно получить исходный сигнал. При этом, если распределение исходного изображения фона является негауссовским, то результат выбеливания, т. е. $x^w(\mathbf{r})$, имеет гауссовское распределение и является полем нормального белого шума. Поэтому одной из основных проблем при таком подходе к решению задачи обнаружения является нахождение оператора выбеливания, так как дальнейшее решение может быть

выполнено известными методами статистической теории решений.

Согласно инновационному методу [8], в выбеливающем фильтре осуществляется оценка $\hat{n}(\mathbf{r})$ коррелированной составляющей фона $n(\mathbf{r})$, а результат выбеливания есть разность

$$x^w(\mathbf{r}) = x(\mathbf{r}) - \hat{n}(\mathbf{r}).$$

Обычно отношение правдоподобия (ОП) редуцируется (совокупность отсчетов изображения в результате обработки сжимается до одного числового значения) или приводится к достаточной статистике, которая для гауссовского распределения может быть записана в виде функционала:

$$b(\mathbf{r}_0) = \int_R f_s^w(\mathbf{u} - \mathbf{r}_0, \bar{\Theta}) x^w(\mathbf{r}) d\mathbf{r},$$

представляющего результат оптимальной фильтрации выбеленного изображения.

Решающее правило (4) в случае неизвестной энергии сигнала $a_s \in (0, \infty)$ при известных параметрах $\mathbf{r}_0, \bar{\Theta}$ является равномерно наиболее мощным, а в случае оптимальной оценки a_s или, лучше сказать, подоптимальной (так как оптимальные оценки практически никогда не достижимы) – оптимальным (в смысле близости к оптимальному). Если параметры $\mathbf{r}_0, \bar{\Theta}$ неизвестны, их оценка сводится к многоканальной обработке (с расстроенными по параметрам каналами). Каждый канал реализуется в виде так называемого скользящего окна. Например, при неизвестных координатах скользящее происходит по векторному параметру (координатам).

При неизвестных размерах (площади) объекта континиум (непрерывность поиска оптимальной оценки) никогда не достигим и приходится довольствоваться многоканальными (относительно размеров объекта) фильтрами в пределах между максимальными размерами объекта и минимальными.

При цифровой обработке изображение подвергается пространственной дискретизации и для гауссовского распределения пространственных отсчетов и известной корреляционной функции фона оптимальным оператором выбеливания является дискретное преобразование Карунена–Лоева.

Известно также, что для выбеливания изображений можно использовать и другие виды дискретных ортогональных преобразований. Среди них можно выделить быстрое преобразование Фурье, преобразование Уолша, Адамара, синусное, косинусное [10], а также вейвлетт-преобразование [7, 12].

Практическая реализация ортогональных преобразований всего изображения связана с большими вычислительными затратами. Кроме того, необходимо решать проблему неоднородности фона. Фон статистически однороден (или квазиоднороден) лишь в ограниченной области. Поэтому все изображение разбивается на блоки из ограниченного числа элементов: $8 \times 8, 16 \times 16$ и т. д., а выбеливание изображения (декорреляция) осуществляется для каждого блока в отдельности [11]. Разбиение на блоки позволяет выбеливать статистически неоднородные изображения, которые имеют локальную однородность (в пределах ограниченного окна). Обычно такими являются реальные изображения фона.

В настоящее время практическая реализация дискретного косинусного преобразования используется в видеостандартах: JPG (внутрикадровая обработка) и MPG (внутрикадровая и межкадровая обработка).

По мере увеличения числа элементов в блоке функция правдоподобия отсчетов преобразованного изображения стремится к произведению гауссовских функций правдоподобия, что отмечено в работе [11].

При непрерывном представлении изображения имеем бесконечное число отсчетов и функция правдоподобия стремится к функции правдоподобия белого гауссовского шума, что согласуется с результатами инновационного метода [9].

Реализация выбеливающего фильтра во временной (пространственной) области основана на сравнении (вычитании) коррелированных отсчетов изображения: соседних по строке и (или) соседних по столбцу (кадру).

Представляет интерес реализация выбеливающего фильтра также в частотной области. Для этого необходимо выполнить прямое преобразование JPEG: получить спектральные амплитуды изображения для ограниченной пространственной области (блока изображения), а затем выполнить обратное преобразование только для ограниченного числа номеров спектральных амплитуд.

Выбор спектральных амплитуд изображения из различных частотных областей соответствует реализации выходов фильтра $\hat{n}(\mathbf{r})$ и $x^w(\mathbf{r})$.

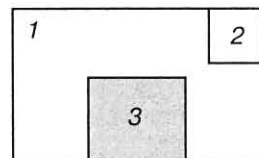
В результате сравнения ОП с порогом принимается решение о наличии объекта рассматриваемого класса.

Многоканальная фильтрация морских и воздушных объектов

При наличии в зоне обзора нескольких объектов для принятия решения о наличии объекта класса $\alpha = m; \alpha \in \{0, 1, 2, \dots, L\} = Q_\alpha$ и оценок $\bar{\Theta}^{(m)}$ необходимо сформировать отношения правдоподобия (2.5) для каждой проверяемой гипотезы и сравнить их с порогом, выбираемым по заданной вероятности ложной тревоги.

Решение в пользу гипотезы с номером $\alpha = m$ принимается с учетом одновременно оцениваемых параметров сигнала (оценки максимального правдоподобия или максимальной апостериорной вероятности), например, совместно оцениваются координаты и площадь объекта. Рассмотрим особенности решения данной задачи.

На рис. 3 изображено положение пространственного строба (скользящего вдоль линии горизонта окна), содержащего три пространственных фильтра-интегратора. Каждый из них осуществляет фильтрацию: фильтр 1 – нижних частот, фильтр 3 – средних частот, фильтр 2 – верхних частот. Под частотами подразумеваются пространственные частоты с размерностью $1/m$.



■ Рис. 3. Многоканальные пространственные фильтры для обнаружения морских объектов

Обозначим через M и N – число пикселей окна, соответственно, по горизонтали и вертикали. Нормированный сигнал на выходе интегратора равен

$$x_l = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N x_{ij},$$

где x_{ij} – значения пикселей внутри окна. Деление перед знаком суммы осуществляет масштабирование (приведение результата интегрирования к масштабу входного сигнала). Если объект полностью заполняет окно, а значения сигнала для всех пикселей одинаковы и равны A , то с учетом нормировки сигнал на выходе интегратора равен значению A его пикселя, но среднеквадратичное значение шума на выходе интегратора уменьшается в $\sqrt{M \times N}$ раз. Таким образом,

$$A_{\text{вых}} = A; \sigma_{\text{вых}} = \sigma / \sqrt{M \times N}. \quad (7)$$

Обозначим отношение сигнал/шум на пиксель на входе фильтра как (A/σ) . Тогда для сигнала, полностью заполняющего окно из $M \times N$ пикселей, при равновесном суммировании значений пикселей отношение сигнал/шум на выходе фильтра-интегратора равно

$$(A/\sigma)_{\text{вых}} = \sqrt{M \times N} (A/\sigma), \quad (8)$$

т. е. увеличится в $\sqrt{M \times N}$ раз по сравнению со входным. Если же сигнал занимает часть окна ($m \times n$ пикселей), то сигнал на выходе фильтра равен

$$A_{\text{вых}} = \frac{m \times n}{M \times N} A. \quad (9)$$

При этом среднеквадратическое значение шума на выходе интегратора для заданного окна не изменяется и определяется формулой (7), а отношение сигнал/шум равно

$$(A/\sigma)_{\text{вых}} = \frac{m \times n}{\sqrt{M \times N}} (A/\sigma). \quad (10)$$

Рассмотрим пример. Сигнал от крупноразмерного объекта полностью заполняет окно из $M \times N = 100 \times 100$ элементов-пикселей. После компенсации коррелированной составляющей фона ОП формируется для скользящего окна из $100 \times 100 = 10^4$ элементов-пикселей. Отношение сигнал/шум на выходе фильтра составляет

$$(A/\sigma)_{\text{вых}} = \sqrt{M \times N} (A/\sigma)_{\text{вх}} = 100 (A/\sigma), \quad (11)$$

т. е. увеличивается в 100 раз или на 40 дБ по отношению к входному.

Если в поле зрения окна попал малоразмерный объект, сигнал занимает $m \times n = 2 \times 2$ пикселей, то амплитуда сигнала на выходе интегратора в соответствии с формулой (9) равна

$$A_{\text{вых}} = \frac{m \times n}{M \times N} A = 4 \cdot 10^{-4} A, \quad (12)$$

т. е. уменьшается в $\frac{M \times N}{m \times n}$ раз, а отношение сигнал/шум на выходе фильтра равно

$$(A/\sigma)_{\text{вых}} = \frac{m \times n}{\sqrt{M \times N}} (A/\sigma) = 0,04,$$

т. е. сигнал от малоразмерного объекта на выходе фильтра практически подавлен.

Максимальный отклик на выходе фильтра будет получен для объекта с наибольшими размерами, положение максимума соответствует координатам объекта (центра окна – пространственного строба), подсчет числа пикселей, превысивших порог в пределах окна, даст оценку площади объекта. В момент максимума отклика необходимо принять решение (путем сравнения с порогом C) в пользу гипотезы о крупноразмерном объекте или отклонить ее.

Такую процедуру необходимо выполнить для каждого из фильтров 1–3 в пределах строба, изображенного на рис. 3, и для каждого фильтра должен быть свой канал обработки: формирование ОП и порога для принятия решения в пользу соответствующей гипотезы.

Количество фильтров выбирается в разумных пределах, исходя из возможностей практической реализации числа каналов микропроцессорной обработки.

Поясним алгоритм формирования ОП, определяемый одним из неравенств (5), используя рассмотренный выше пример: фильтры 1 и 2 с числом пикселей, соответственно, $M \times N = 100 \times 100$ и $m \times n = 2 \times 2$.

Функция правдоподобия отсчетов $\bar{x} = \{x_{ij}; i \in 1 \dots M; j \in 1 \dots N\}$ сигнала класса 1 – гауссовская:

$$p(\bar{x} / 1, \bar{\Theta}^{(1)}) = \prod_{i=1}^M \prod_{j=1}^N \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} [x_{ij} - s_{ij}(\bar{\Theta}^{(1)})]^2\right\}, \quad (13)$$

где σ^2 – дисперсия белого гауссовского шума на пиксель изображения; s_{ij} – весовая функция для окна из $M \times N$ пикселей (при отсутствии априорной информации относительно формы сигнала $f_s(\mathbf{r} - \mathbf{r}_0)$ принимается как равновесная); $\bar{\Theta}^{(1)} = (\bar{r}_1, \bar{S}_1)$ – оценки сигнала, привязанного к окну: координаты окна $\bar{r}_1 = (r_{11}, r_{12})$ и площадь окна \bar{S}_1 (в процессе слежения по координатам при межкадровой обработке будет уточняться). Координаты $r_1 = (r_{11}, r_{12})$ привязаны к левому верхнему углу окна (пространственного строба 1).

Функция правдоподобия для сигнала класса 2

$$p(\bar{x} / 2, \bar{\Theta}^{(2)}) = \prod_{i=1}^M \prod_{j=1}^N \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} [x_{ij} - s_{ij}(\bar{\Theta}^{(2)})]^2\right\} \quad (14)$$

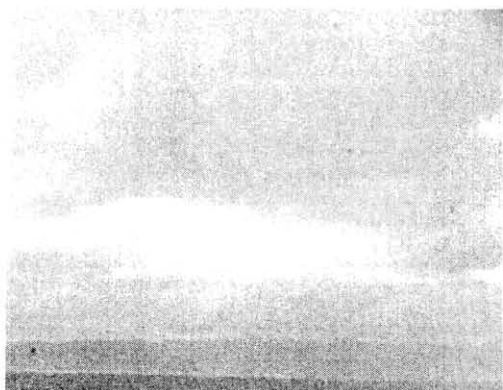
отличается от сигнала класса 1 лишь тем, что весовая функция s_{ij} постоянна и отлична от нуля для области из $m \times n$ пикселей, а для остальных пикселей из окна $M \times N$ равна нулю. Соответственно, привязка параметров сигнала класса 2, т. е. его оценка, осуществляется относительно положения области из $m \times n$ пикселей.

Взяв отношение функций правдоподобия и логарифмируя его, получаем алгоритм проверки гипотезы H_1 : сигнал класса 1 относительно гипотезы H_2 : сигнал класса 2:

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N x_{ij} - \sum_{i=k}^m \sum_{j=l}^n x_{ij} \geq C, \quad (15)$$

где kl – начало отсчета для области из $m \times n$ пикселей

(левый верхний угол); $\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N x_{ij}$ – сигнал класса 1 на



■ Рис. 4. Исходное изображение

выходе фильтра-интегратора для крупноразмерного объекта; $\sum_{i=k}^m \sum_{j=l}^n x_{ij}$ – сигнал класса 2 на выходе фильтра-интегратора для малоразмерного объекта.

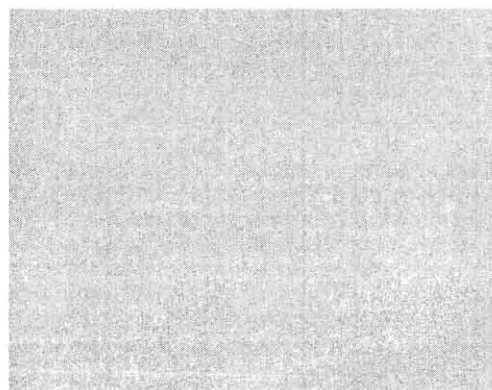
Для практической реализации ОП вводится нормировка:

$$\frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N x_{ij} - \frac{k}{m \times n} \sum_{i=k}^m \sum_{j=l}^n x_{ij} \geq \frac{C}{M \times N},$$

где $k = \frac{m \times n}{M \times N}$.

Если продолжить рассмотрение примера [см. соотношения (11), (12)], то очевидно, что при наличии крупноразмерного объекта сигнал на выходе первого фильтра будет максимален, а на выходе второго фильтра – минимален и нетрудно выбрать порог, при котором почти всегда будет приниматься решение о гипотезе H_1 . Напротив, при наличии малоразмерного объекта левая часть неравенства будет близка к нулю со стороны положительных и отрицательных нормированных шумовых значений на выходах фильтров. В этом случае решение почти всегда будет приниматься в пользу гипотезы H_2 .

Основной недостаток работы с большими окнами – низкая разрешающая способность ТВ-системы. Для решения этой проблемы необходимо формировать более сложные фильтры и применять со-



■ Рис. 6. Инновационное изображение

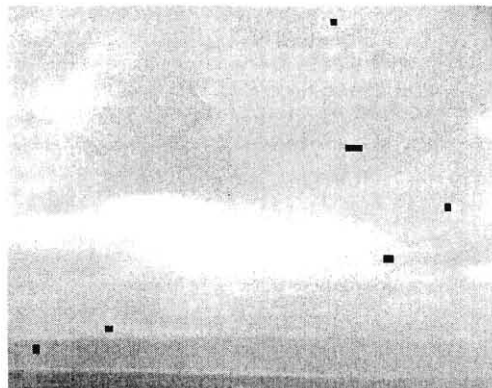
ответствующую межканальную обработку между отдельными фильтрами в пределах строка. Порядок следования пространственных стробов – от большего к меньшему. Причем зона из пикселей, которой соответствует решение о наличии крупноразмерного объекта с оценкой его координат, закрыта для принятия решения в этой зоне относительно меньшего объекта с помощью пространственного строба меньших размеров. Таким образом, последовательность принятия решений относительно классов объектов следует от крупных к малым размерам. Задача обнаружения-оценки параметров воздушных объектов решается методами, подобным рассмотренным, только зона поиска расширяется и охватывает надводную часть изображения.

В заключение рассмотрим на рис. 4 – 10 этапы обработки реального изображения при обнаружении-оценке параметров шести целей. На рис. 4 исходное изображение – незашумленное, на рис. 5 представлена оценка коррелированной составляющей фона, полученная с помощью фильтрации скользящим окном 5×5 элементов. На рис. 6 представлено инновационное изображение, полученное из исходного после вычитания из него коррелированного фона. Для отображения на рис. 6 значения всех пикселей инновационного изображения подняты на уровень +140.

Сравнение с порогом инновационного изображения, величина которого равна 25, позволяет выделить все шесть обнаруживаемых целей. Результат обнаружения показан на рис. 7 в виде зачерненных объектов, которые наложены на исходное



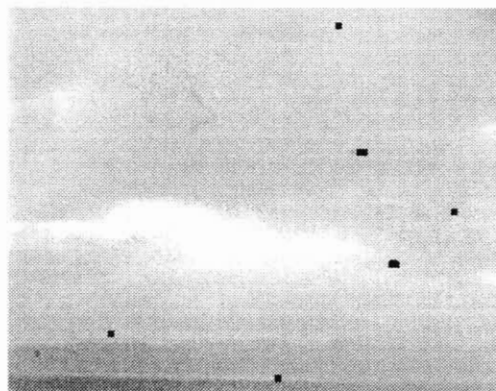
■ Рис. 5. Оценка фона



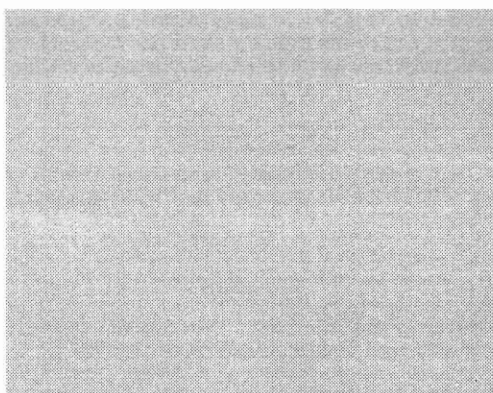
■ Рис. 7. Результат обнаружения-измерения шести целей



■ Рис. 8. Исходное зашумленное изображение



■ Рис. 10. Результат: пять целей обнаружено, одна ложная тревога на линии горизонта



■ Рис. 9. Инновационное изображение, полученное из исходного, зашумленного

изображение (см. рис. 4). Координаты каждого объекта (положение левого верхнего угла) и его площадь в числе пикселей являются оценками измеряемых параметров. На рис. 7 число пикселей каждой отметки увеличено с целью наглядности их отображения. Один пиксель отображается как девять (матрицей с размерами 3×3).

На рис. 8–10 показаны результаты, которые получены для изображения, с наложенным на него гауссовским шумом со стандартным отклонением $\sigma = 6$. Величина порога обнаружения равна 33. Из шести целей обнаружены пять, но из-за наличия шума имеется одна ложная тревога на линии горизонта. В реальной системе порог обнаружения устанавливается автоматически по вероятности ложной тревоги, оцениваемой в процессе обработки всего изображения.

Литература

1. **Репин В. Г., Тартаковский Г. П.** Статистический синтез при априорной неопределенности и адаптация информационных систем. – М.: Сов. радио, 1977. – 432 с.
2. **Трифонов А. П., Шинаков Ю. С.** Совместное различение сигналов и оценка их параметров на фоне помех. – М.: Сов. радио, 1986. – 264 с.
3. **Теория обнаружения сигналов** / П. С. Акимов, П. А. Бакут, В. А. Богданович и др.; Под ред. П. А. Бакута. – М.: Радио и связь, 1984. – 440 с.
4. **Вилесов Л. Д., Гаврилин С. В.** Особенности построения радиоприемных устройств при борьбе с ответными импульсными помехами // Вопросы специальной радиоэлектроники. Сер. РЛТ. – 1969. – № 16. – С. 23–29.
5. **Вилесов Л. Д.** Обнаружение-измерение неизвестного числа объектов с неизвестными параметрами на телевизионном изображении: Тез. докл. // Труды 2-й международн. конф. «Телевидение: передача и обработка изображений», 2002. – С. 57–59.
6. **Вилесов Л. Д.** Оценка параметров линии горизонта морской поверхности на телевизионном изображении. Тез. докл. // Труды 3-й международн. конф. «Телевидение: передача и обработка изображений», 2003. – С. 134–136.
7. **Germain O., Refregier Ph.** Edge Location in SAR Images: Performance of the Likelihood Ratio Filter and Accuracy Improvement with an Active Contour Approach // IEEE Transactions on Image Processing. – 2001. – Vol. 10. – N 1. – P. 72–78.
8. **Кайлатц Т.** Метод порождающего процесса в применении к теории обнаружения и оценки // ТИИЭР. – 1970. – Т. 58. – С. 82–98.
9. **Сосулин Ю. Г.** Теория обнаружения и оценивания стохастических сигналов. – М.: Сов. радио, 1978. – 320 с.
10. **Виттих В. А., Сергеев В. В., Сойфер В. А.** Обработка изображений в автоматизированных системах научных исследований. – М.: Наука, 1982. – 214 с.
11. **Претт У.** Цифровая обработка изображений. Кн. 1. – М.: Мир, 1982. – 312 с.
12. **Davies D., Palmer P., Mirmehdi M.** Detection and Tracking of Small Low Contrast Objects // In Proceedings of the British Machine Vision Conference. – BMVA Press, 2003. – P. 599–608.
13. **Амиантов И. Н.** Избранные вопросы статистической теории связи. – М.: Сов. радио, 1971. – 416 с.

УДК 621.397

ОБНАРУЖЕНИЕ И СОПРОВОЖДЕНИЕ ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ СОПОСТАВЛЕНИЯ БЛОКОВ

Н. А. Обухова,

канд. техн. наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Описан подход к обнаружению и сопровождению движущихся объектов на основе метода сопоставления блоков, применяемого в стандартах видеокodирования: MPEG 1-2 и H. 261/262/263. Приведены алгоритмы сегментации объектов по признакам пространственной и временной корреляции и их дальнейшего сопровождения. Проанализированы причины возникновения аномальных векторов движения и предложены пути, уменьшающие их число: предварительная классификация блоков и медианная фильтрация полученного поля векторов. Рассмотрена адаптация предложенных алгоритмов для сегментации и сопровождения малоразмерных объектов, обладающих медленным движением.

The paper describe an approach to detection and tracking moving object based on block matching algorithm, which is the motion estimation algorithm employed in such standards compression as MPEG 1-2 and H. 261/262/263. The algorithm of segmentation based on spare and time correlation is considered. The causes of incorrect moving vectors generation are analyzed and procedures to reduce their quantity such as blocks classification and vector median filter are offered. The adaptation of these algorithm for detection and tracking very slow moving object with small size (point – object) are described.

Введение

В настоящее время все более широкое распространение получают системы наблюдения и контроля, использующие ТВ-камеру в виде датчика. К ним относятся различные диспетчерские системы, системы визуального контроля, а также системы наблюдения за объектами, расположенными в недоступных и труднодоступных местах. Область применения систем сегментации и сопровождения объектов существенно расширилась за счет использования их в охранных видеосистемах и в системах мониторинга дорожного движения.

Огромный объем информации, поступающей с ТВ-датчика, требует специальной обработки видеосигнала с целью устранения его избыточности и выделения информации о контролируемом объекте. Соответственно, необходимо решать задачу разработки и исследования новых методов анализа изображений. Кроме того, стремительный прогресс вычислительных устройств, имеющий место в последние годы, снимает ограничения на сложность алгоритмов обработки изображений, что позволяет разрабатывать и применять методы, дающие качественно новый результат.

В статье рассматривается группа алгоритмов, решающих задачу обнаружения, сегментации и сопровождения объектов по признаку движения. Для его оценки используется поле векторов движения, описывающее так называемое видимое движение объектов в кадре. Нахождение векто-

ров движения выполняется методом совмещения блоков, принятым в стандартах видеокodирования: MPEG 1-2 и H. 261/262/263.

Получение поля векторов движения

Метод совмещения блоков состоит из следующих основных шагов: текущий кадр делится на неперекрывающиеся квадратные блоки размером $M \times N$ пикселей (обычно $N=M=8$, также следует отметить, что размер блока должен быть согласован с размером объектов); для каждого блока формируется область поиска в предыдущем кадре, которая имеет размер: $(2d+M+1)(2d+N+1)$, где d – максимально возможное смещение в горизонтальном и вертикальном направлении; выполняется совмещение блоков текущего кадра с блоками предыдущего кадра видеопоследовательности; определяется, какому блоку в области поиска он лучше всего соответствует, и оценивается величина смещения положения блока в текущем кадре относительно предыдущего – вектор движения.

В качестве критерия, оценивающего степень соответствия между блоком текущего кадра и блоком предыдущего кадра, используется средняя абсолютная разность (MAD):

$$MAD(x, y) = \frac{1}{N^2} \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{N-1} |F_c(k+i, l+j) - F_p(k+x+i, l+y+j)|,$$

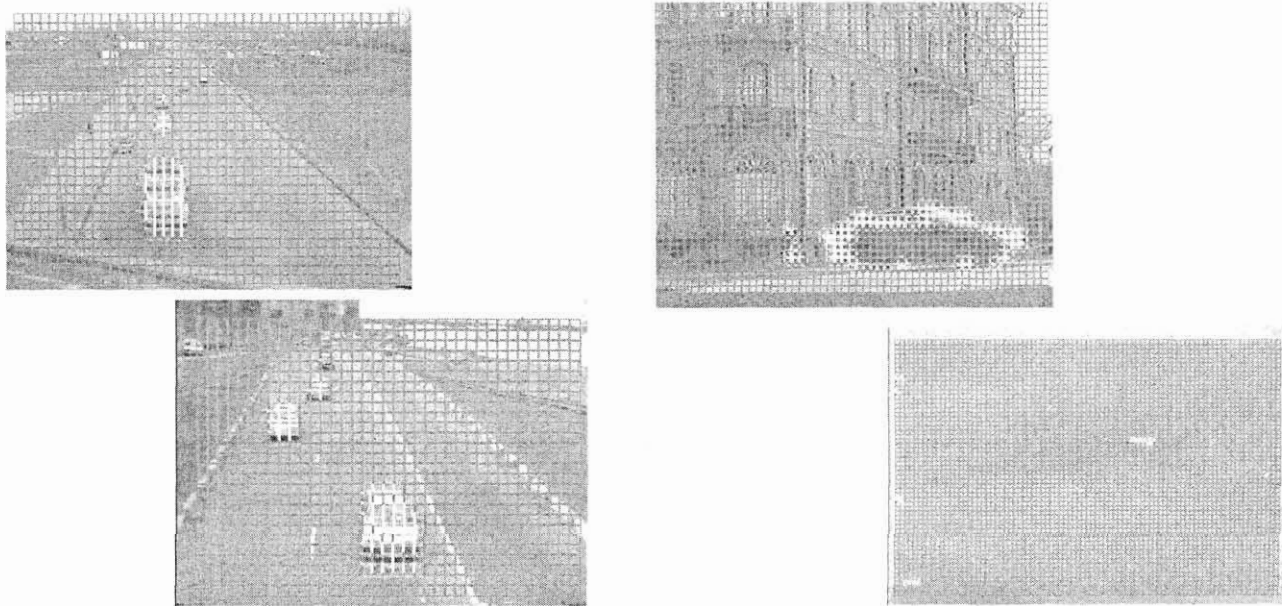


Рис. 1. Результат разделения блоков кадра по критерию (1)

где F_c и F_p – яркость пикселя в текущем и предыдущем кадре, соответственно; (k, l) – координаты пикселя левого верхнего угла текущего блока; N – размер блока ($N=M$); (x, y) – один из возможных векторов движения.

Существует множество различных алгоритмов, позволяющих выполнить согласование блоков. Самым простым и надежным является полный перебор, но из-за большого объема проводимых вычислений он обладает низкой скоростью. Кроме того, существует значительное число алгоритмов, которые пытаются оптимизировать стратегию поиска минимума. Эти алгоритмы можно разделить на следующие группы:

уменьшающие число контрольных точек, основываясь на предположении об унимодальности целевой функции: трехшаговый алгоритм [1], алгоритмы логарифмического [2], ортогонального и поперечного поиска [3, 4], алгоритм поиска по квадрантам [5];

учитывающие возможность присутствия в видеопоследовательности медленных движений (в этом случае векторы движения тяготеют к центральной точке области поиска): блочный градиентный поиск [6], трехшаговый алгоритм [7], четырехшаговый алгоритм [8];

предсказывающие начальное приближение (в этом случае сужается область поиска): иерархические алгоритмы [9] и алгоритмы с предсказанием [10].

Наиболее часто векторы движения определяют с помощью алгоритма 3SS (трехшаговый поиск).

При определении векторов движения путем совмещения блоков неизбежно возникновение аномальных векторов. Присутствие аномальных векторов не устраняется даже при использовании полного перебора. Их возникновение характерно для тех блоков кадра, где отсутствует движение как таковое, а изменение целевой функции обусловлено наличием шумов. Как показало исследование, в основном такими блоками являют-

ся блоки фона, имеющие мультимодальную целевую функцию. Для уменьшения вероятности возникновения аномальных векторов, а также для уменьшения вычислительной сложности алгоритма целесообразно исключить из рассмотрения блоки фона, выполнив предварительное разделение всех блоков кадра на блоки фона и блоки объекта.

Для этого определяется степень корреляции между блоком в текущем кадре и блоком предыдущего кадра, находящимся в этой же позиции. Если уровень корреляции больше некоторого порога, то блок является статичным – фоном и ему присваивается нулевой вектор движения. В противном случае выполняется поиск вектора движения.

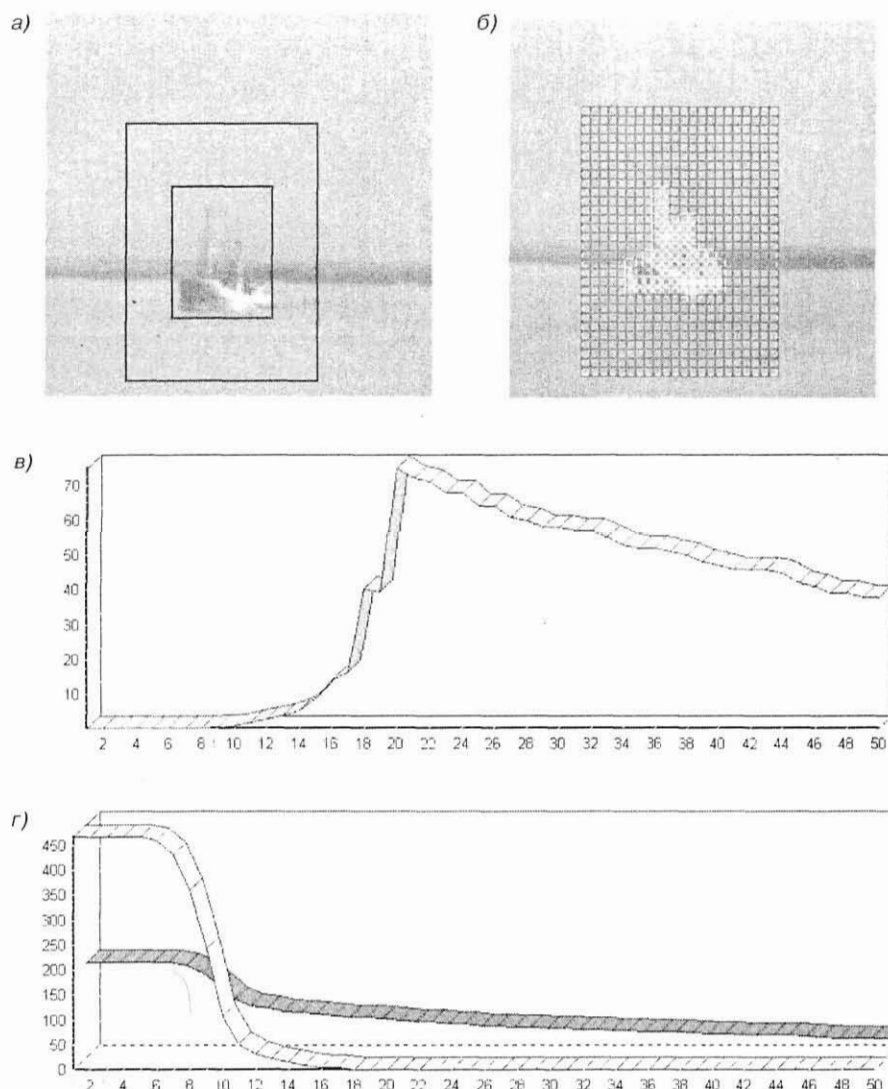
Степень корреляции оценивается по энергии движения для каждого блока (рис. 1). Находится MAD в каждом блоке, определяется уровень средней MAD и устанавливается порог 5–10 % от найденного среднего уровня:

$$Porog = 0,05 \frac{1}{Q} \sum_{q=0}^Q \frac{1}{N^2} \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{N-1} |F_{cq}(k+i, l+j) - F_{pq}(k+i, l+j)|, \quad (1)$$

где F_c и F_p – яркость пикселя в текущем и предыдущем кадре соответственно; (k, l) – координаты пикселя левого верхнего угла текущего блока; N – размер блока; Q – число блоков в кадре.

Если в процессе обнаружения объектов принимает участие оператор, указывающий с помощью строба объект, для которого далее решается задача сопровождения, то порог может быть определен автоматически (рис. 2). Алгоритм определения порога заключается в максимизации целевой функции вида

$$Porog = \operatorname{argmax} \frac{P_n}{P_n + P_d + \varepsilon}, \quad (2)$$



■ **Рис. 2.** Разделение блоков по критерию (1): а – строб и охранная зона; б – результат разделения блоков; в – вид целевой функции; г – число тревог в стробе и охранной зоне: ■ – тревоги в стробе; □ – тревоги в зоне

где $P_{и}$ – число блоков с истинным движением ($MAD_{блока} > Порог$ и блок находится внутри строба, накинутого оператором); $P_{л}$ – число блоков с ложным движением ($MAD_{блока} > Порог$, блок принадлежит охранной зоне, автоматически выделяемой вокруг строба, площадь которой должна соответствовать площади строба); $P_{д}$ – допустимое число блоков с ложным движением; ϵ – малая величина для избежания ситуации деления на нуль.

Разделение блоков позволяет:

уменьшить число обрабатываемых блоков: из обработки исключается до 90 % блоков кадра;

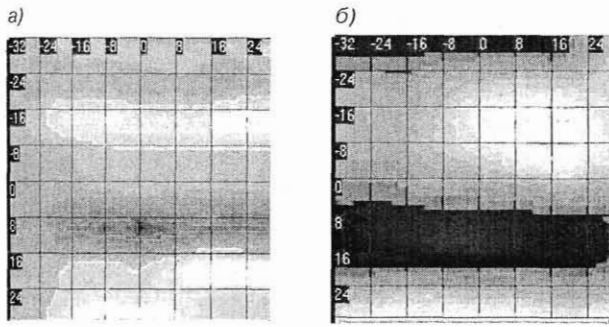
удалить блоки, имеющие мультимодальную целевую функцию, и использовать для поиска векторов движения алгоритмы, предназначенные для поиска минимума унимодальной функции и обладающие высокой скоростью сходимости (например, 3SS);

снизить число anomalous (некорректно определенных) векторов, которые могут появиться из-за присутствия шумов.

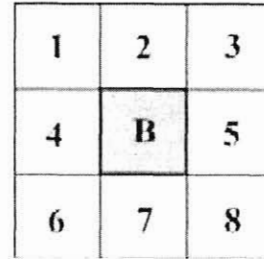
Предварительная обработка

Исключение из дальнейшей обработки блоков фона существенно снижает количество anomalous векторов, но не исключает их полностью. Это объясняется присутствием у объектов слабо текстурированных блоков. У этих блоков целевая функция является унимодальной, но имеет ярко выраженный плоский участок в районе точки минимума, что затрудняет поиск вектора движения. Рельефы целевой функции блоков с высоким и низким уровнем текстурирования приведены на рис. 3.

Поэтому перед сегментацией объекта по полученному полю векторов необходимо удалить (скорректировать) anomalous векторы, так как их присутствие может вызвать значительную ошибку сегментации, например, привести к расщеплению одного объекта на несколько (рис. 4). Удаление anomalous векторов проводится методом векторной медианной фильтрации [11, 12, 13].



■ Рис. 3. Вид целевой функции у блоков с высоким (а) и низким (б) уровнем текстурирования



■ Рис. 5. Блок В и его восемь «соседей»

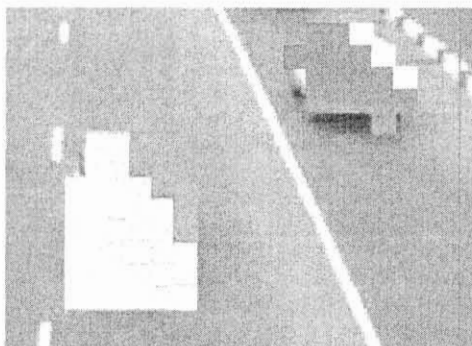
Под векторной медианой множества векторов понимается такой вектор из рассматриваемого множества, у которого сумма расстояний до всех других векторов минимальна. Расстояния между двумя векторами $\vec{u}(x_u, y_u)$ и $\vec{v}(x_v, y_v)$ вычисляются на основе нормы L_2 :

$$\|\vec{u} - \vec{v}\|_{L_2} = \sqrt{(x_u - x_v)^2 + (y_u - y_v)^2}.$$

В применении к задаче удаления аномальных векторов под медианной фильтрацией понимается замена каждого вектора движения векторной медианой множества, составленного из самого вектора и восьми его ближайших «соседей» (рис. 5). При вычислении расстояний используются только ненулевые векторы, т. е. каждый ненулевой вектор превращается в векторную медиану, вычисленную с помощью его восьми ненулевых «соседей». Это делается для того, чтобы избежать замены ненулевых векторов на нулевые в случае, когда в этом соседстве доминируют нулевые векторы. Удаление аномальных векторов с помощью векторной медианной фильтрации значительно ослабляет шум и формирует множество блоков, имеющих более сходные векторы движения. На рис. 6 приведены исходное и обработанное с помощью медианной фильтрации поле векторов.

Таким образом, алгоритм получения поля векторов движения включает следующие шаги:

- выявление блоков, в которых произошли какие-либо изменения, для последующей обработки;
- определение векторов движения с помощью алгоритма 3SS;
- удаление аномальных векторов с помощью медианной фильтрации.



■ Рис. 4. Результат некорректной разметки

Алгоритм сегментации объектов по полю векторов движения

После получения поля векторов движения необходимо решить задачу выделения объектов (выполнить сегментацию). Признаками для сегментации блоков объекта являются их пространственная и временная корреляция. Блоки, принадлежащие одному объекту, во-первых, должны располагаться в одной области кадра и образовывать связанную группу; во-вторых, должны иметь сонаправленные и близкие по амплитуде векторы движения.

Эти два свойства положены в основу алгоритма разметки. Для оценки близости векторов движения по направлению и амплитуде предлагается использовать норму L_2 .

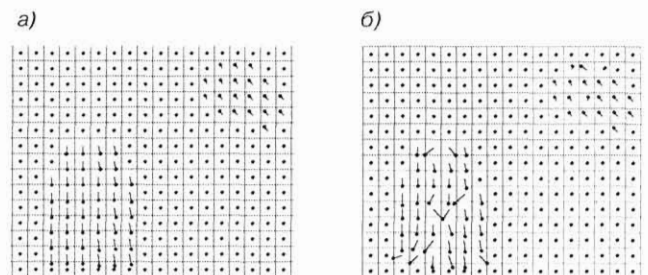
Для учета свойства связности при обработке каждого блока рассматриваются восемь окружающих его блоков – соседей. На рис. 5 показаны 8 «соседей» блока В.

Результатом разметки является матрица с числом элементов, равным числу блоков, содержащая метку для каждого блока. Блоки, образующие связанную группу и имеющие близкие векторы движения, имеют одинаковые метки.

Разметка выполняется на основе следующей рекурсивной процедуры.

Шаг 1. Последовательно перебираются все блоки кадра. Для каждого блока, имеющего ненулевой вектор движения, проверяется наличие метки. Если блок не имеет метки, то формируется новая метка (номер метки увеличивается на единицу).

Шаг 2. Вокруг анализируемого блока (блока-«затравки») формируется область из восьми сосед-



■ Рис. 6. Поле векторов до (а) и после (б) медианной фильтрации



■ Рис. 7. Результат сегментации цветом (а) и стробом (б)

них блоков. Для каждого из этих блоков проверяется условие $L_2 < Th$. Если условие выполнено, то блоку присваивается метка блока-«затравки». Эта процедура повторяется для каждого вновь размеченного блока, который рассматривается как блок-«затравка». Шаг повторяется до тех пор, пока есть хотя бы один вновь размеченный блок, для которого не проанализированы его восемь «соседей». В противном случае происходит переход на шаг 1.

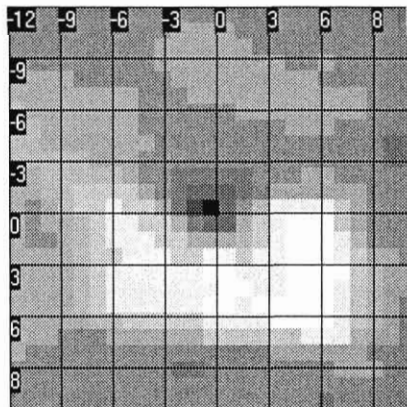
Алгоритм повторяется до тех пор, пока есть хотя бы один неразмеченный блок с ненулевым вектором движения. Результат разметки показан на рис. 7.

Присутствие трех признаков сегментации (скорость, направление движения и пространственная корреляция блоков) позволяет обнаружить и сегментировать несколько движущихся объектов одновременно, даже если они находятся в непосредственной близости друг к другу. При этом чис-

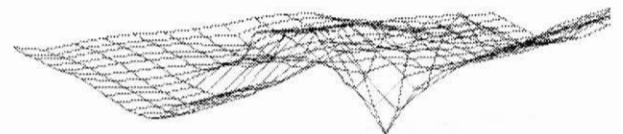
ло различных присвоенных меток определяет количество обнаруженных объектов.

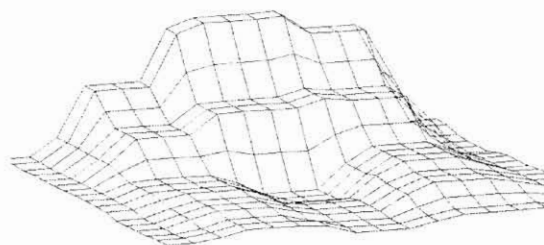
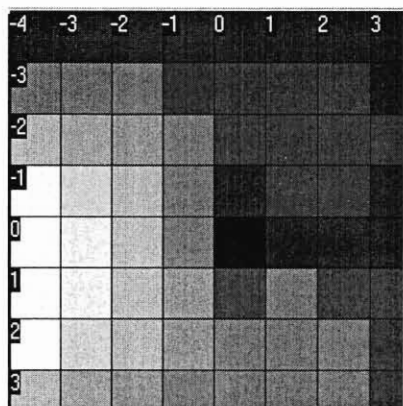
Особенности определения векторов движения в случае медленно движущихся малоразмерных объектов

В случае медленно движущихся объектов, скорость которых не превышает один пиксель за кадр, использование алгоритмов, обычно применяемых для поиска векторов движения (например, 3SS, полный перебор и др.), приводит к тому, что величина последних будет оцениваться как нулевая. Это связано с тем, что смещение блока в зоне поиска при определении вектора движения может быть только дискретным, и его минимальная величина равна 1 пикселю. Следовательно, вектор движения может быть найден только в случае, если смещение блока (объекта) больше одного пикселя. Отсутствие ненулевых векторов движения не позволяет выполнить сегментацию объек-



■ Рис. 8. Вид целевой функции при медленном движении (блок 8x8)





■ Рис. 9. Вид целевой функции при медленном движении (блок 4×4)

тов, так как ее основой является признак сонаправленности значимых векторов движения.

Нахождение векторов движения является задачей минимизации, в которой необходимо определить минимум целевой функции, характеризующей степень соответствия (совпадения) двух блоков, на множестве различных положений обрабатываемого блока в области поиска. Проведенное исследование рельефа целевой функции позволило сделать вывод о несимметричном характере целевой функции в районе нуля. Как видно из рис. 8, минимум целевой функции в случае, если блоку присуще медленное движение, находится на интервале между 0 и -1, а не локализован в нуле, что характерно для статичных блоков. В случае величины блока не 8×8 пикселей, а 4×4 смещение точки минимума относительно нуля будет еще более очевидным (рис. 9). Это означает, что вектор движения существует и может быть найден путем интерполяции точки минимума на интервале [0; -1].

Для оценки вектора движения целесообразно использовать квадратичную интерполяцию. По каждому направлению определяется значение целевой функции в трех равноотстоящих друг от друга точках a, b, c ($a = b - h, c = b + h, b$ соответствует несмещенному положению блока по данному направлению, $h = 1$). Если полученные значения целевой функции удовлетворяют условию $f(a) > f(b), f(c) > f(b)$, то положение точки минимума уточняется согласно выражению

$$\delta = b - \frac{h}{2} \frac{f(c) - f(a)}{f(c) - 2f(b) + f(a)}$$

Так, для рельефа, приведенного на рис. 9, значения целевой функции следующие: горизонталь - 0,241, 0,00, 0,049; вертикаль - 0,09, 0,00, 0,174; вектор движения, соответственно, равен (0,33 - 0,15).

Таким образом, задача нахождения вектора движения решается в два этапа. На первом этапе вектор ищется одним из алгоритмов, позволяющих оценить значение вектора движения дискретно, например, 4SS. Если полученный на первом этапе вектор смещения равен нулю, то определяется наличие дробной части, отдельно для горизонтальной и вертикальной составляющих.

Алгоритм 4SS выбран для поиска векторов движения на первом этапе вместо используемого

ранее 3SS, так как он учитывает возможность присутствия в обрабатываемой видеопоследовательности медленного движения. В нем используется такой же шаблон поиска, как и в 3SS, но начальный шаг берется в два раза меньше - четверть от максимального смещения d ($[d/4]$) и первая итерация локализуется в центре зоны поиска. Дополнительным отличием алгоритма 4SS от 3SS является уменьшение шага в два раза не на каждой итерации, а только когда точка минимума на текущей итерации является центральной.

Основные шаги алгоритма 4SS:

Итерация 1. Определяется точка минимума из девяти контрольных точек, расположенных в центре области поиска, согласно шаблону алгоритма 3SS при $d = 4$. Если найденная точка минимума является центральной, то переход к итерации 4; иначе - к итерации 2.

Итерация 2. Шаг сохраняется равным 4 ($d = 4$). Схема поиска определяется положением точки минимума, найденной на предыдущем шаге.

Если предыдущая точка минимума является угловой, используются пять дополнительных контрольных точек.

Если предыдущая точка минимума расположена в середине горизонтальной или вертикальной оси предыдущего окна поиска, используются три дополнительных контрольных точки.

Если найденная на итерации 2 точка минимума расположена в центре окна поиска, переход к итерации 4; иначе - к итерации 3.

Итерация 3. Стратегия поиска такая же, как и на второй итерации, но после нахождения точки минимума совершается безусловный переход на итерацию 4.

Итерация 4. Шаг поиска принимается равным 1 ($d = 1$). Найденная точка минимума (среди новых девяти контрольных точек) рассматривается в качестве искомого вектора движения.

Для эффективной работы описанного алгоритма необходимо использовать блок размером 4×4 пикселя, который дает более ярко выраженную несимметрию целевой функции в области нуля. С другой стороны, использование маленького блока приводит к существенному росту числа аномальных векторов за счет присутствия шумов.

Для снижения уровня шумов исходные кадры обрабатываются пространственным и временным фильтром, с весовыми коэффициентами, соответствующими функции Гаусса. Первоначально

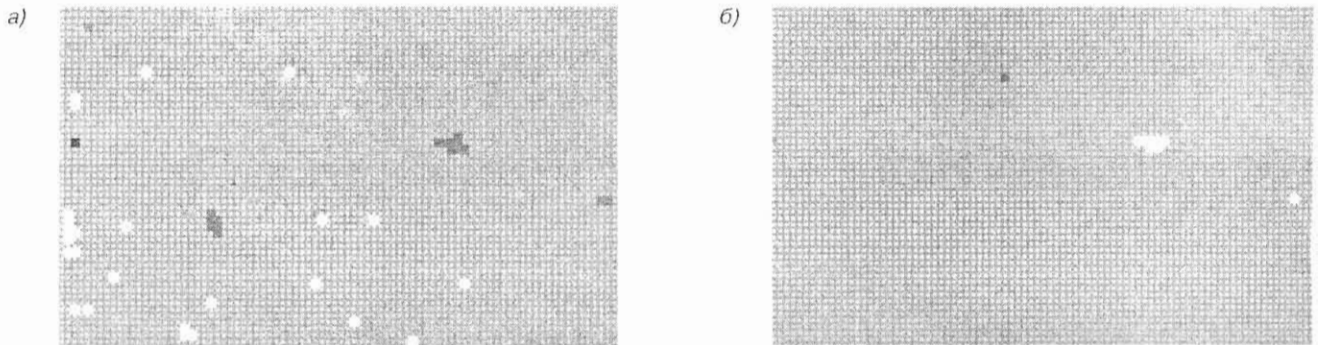


Рис. 10. Результат сегментации до (а) и после (б) пространственно-временной фильтрации

каждый кадр подвергается пространственной фильтрации с маской 5×5 . Затем выполняется накопление девяти кадров. Обрабатываемый кадр получается путем взвешенного суммирования пикселей четырех предыдущих и четырех последующих кадров [14].

Результат сегментации в случае применения пространственно-временной фильтрации представлен на рис. 10.

Алгоритм сопровождения

Результатом работы алгоритма сегментации является выявление блоков, принадлежащих одному объекту, и присвоение им всем одной и той же метки: группа блоков, составляющих один объект, имеет одинаковую метку. При этом метка, присвоенная группе блоков в кадре t , будет отличаться от метки, присвоенной этой же группе в кадре $t-1$. Такая динамика объясняется появлением новых объектов или исчезновением каких-либо объектов в кадре t . Алгоритм сегментации просматривает блоки, начиная с левого верхнего угла кадра, и после обнаружения связанной группы блоков увеличивает значение метки, присвоенной ранее. При появлении нового движущегося объекта, расположенного выше и левее сегментированного ранее объекта, метка последнего увеличивается на единицу. Если же происходит исчезновение объекта, расположенного выше и левее обрабатываемого объекта, то метка

последнего уменьшается на единицу. В правой части рис. 11 показана разметка объекта в кадре t , а в левой – разметка объекта в кадре $t-1$.

Для решения задачи сопровождения необходимо найти соответствие между меткой объекта в кадрах t и $t-1$. Алгоритм [15] включает в себя следующие шаги:

блоки, размеченные как один объект в кадре t , сдвигаются назад на величину найденного для них вектора движения;

определяется, какое количество пикселей, размеченных как один объект в кадре t , приходится на ту или иную метку кадра $t-1$.

ищется метка кадра $t-1$, на которую пришлось максимальное количество пикселей, размеченных как один объект в кадре t ; на нее заменяется метка объекта в кадре t .

Таким образом, сохраняется предыдущая метка объекта.

Поясним алгоритм на примере (см. рис 11). В кадре t (текущем) блоки, размеченные как один объект, имеют метку 3. После смещения их назад на величину найденного для них вектора движения в кадре $t-1$ (предыдущем) им соответствуют блоки, имеющие метки 5 и 6, и неразмеченные блоки. Для меток 5 и 6 определяется, сколько пикселей объекта им соответствует (будет определено n пикселей, имеющих метку 5, и m пикселей, имеющих метку 6). Из рисунка видно, что в данном случае m значительно меньше n . Следовательно, метка объекта 3 в кад-

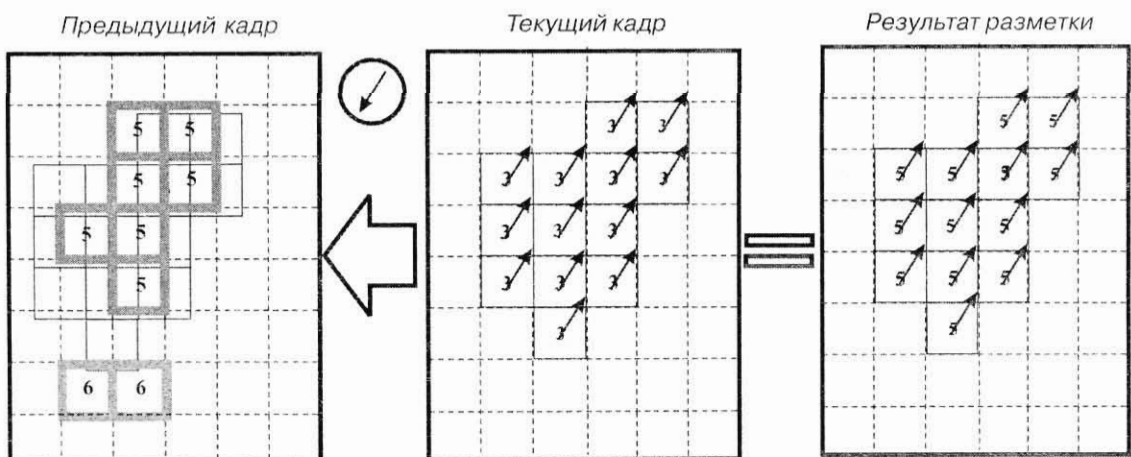
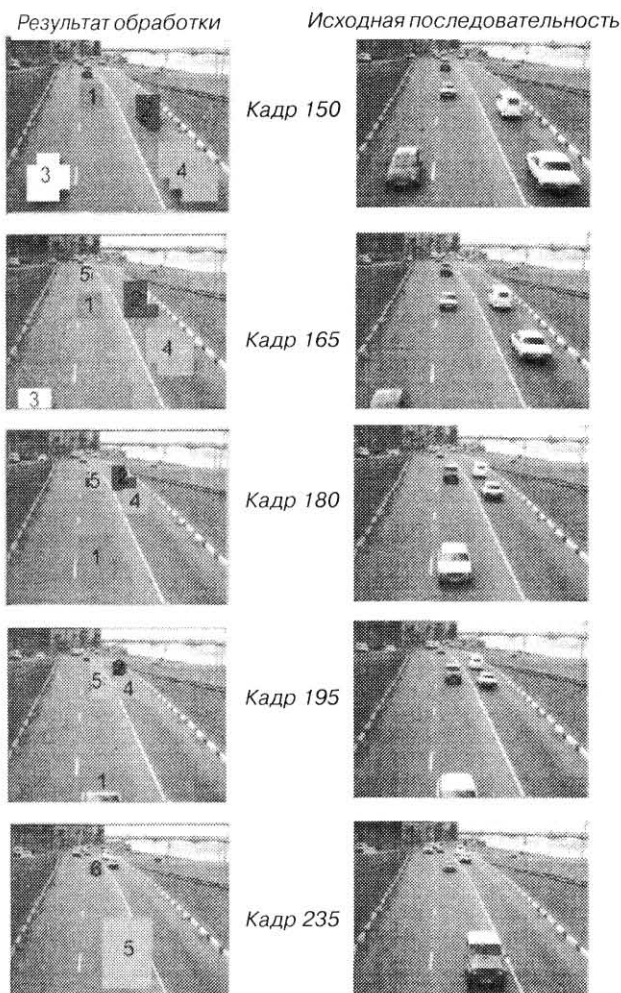


Рис. 11. Сопровождение объекта по составляющим его блокам



■ Рис. 12. Результат работы алгоритма сопровождения

ре t будет изменена на 5. Результаты работы алгоритма приведены на рис. 12. С момента обнаружения до момента исчезновения каждый из объектов размечен одним цветом, т. е. во всех кадрах видеопоследовательности объекты сохраняют свою метку. Это позволяет накапливать информацию о размерах, направлении и скорости движения объектов, решать задачу траекторного предсказания.

Выводы

Результаты проведенного моделирования показывают, что рассмотренные алгоритмы (нахождение поля векторов движения с использованием корреляционного порога, медианная фильтрация, сегментация и сопровождение) эффективны при обнаружении и сопровождении протяженных движущихся объектов. Эти алгоритмы были положены в основу программного обеспечения для определения основных характеристик транспортных потоков в ТВ-системе экологического мониторинга: числа движу-

щихся транспортных средств, их типа (грубая классификация) и скорости движения [16].

Использование процедуры интерполяции при определении векторов движения существенно расширяет область применения рассмотренных алгоритмов и позволяет достаточно успешно использовать их для сегментации и сопровождения малоразмерных объектов, обладающих медленным движением.

Основными задачами будущих исследований являются адаптация алгоритмов для работы с медленно движущимися протяженными объектами и решение проблемы перекрытия объектов фоном и друг другом (окклюзии объектов).

Литература

1. Koga T., Linuma K., Hirano A. and oth. Motion compensated interframe coding for video conferencing // NTC81. – Nov. 1981. – P. G 531–G 535
2. Jain J. R., Jain K. A. Displacement measurement and its application in interframe image coding // IEEE Trans. Commun. – 1981. Vol Com. 29. – P. 1799–1806
3. Puri A., Hang H. M., Shilling D. L. An efficient block matching algorithm for motion – compensated coding // IEEE Int. Conf. Acoustic, Speech and Signal Processing. – 1987. – Vol. 19. – P. 1063–1066
4. Chanbani M. The cross-search algorithm for motion estimation // IEEE Trans. Commun. – 1990. – Vol. 38. – P. 950–953
5. Liu L. K., Feig E. A block-based gradient descent search algorithm for block motion estimation in video coding // IEEE Trans, Circuit Syst. Videotech. – 1996. – Vol. 6. – P. 108–115.
6. Li R., Zeng B., Liou M. L. A new three-step search algorithm for block motion estimation // IEEE Trans, Circuit Syst. Videotech. 1994. – Vol. 4 (1). – P. 438–442
7. Po L. M., Ma W. C. A Novel four-step search algorithm for fast block estimation // IEEE Trans, Circuit Syst. Videotech. – 1996. – Vol. 6 (3). – P. 313–317
8. Shi Y. Q., Xia X. A Thresholding Multiresolution block matching algorithm // IEEE Transactions on circuits and systems for video technology. – 1997. – Vol. 7 (2). – P. 437–440
9. Xu J. B., Po L.M., Cheung C. K. Adaptive motion tracking block matching algorithms for video coding // IEEE Transactions on circuits and system for video technology. – 2000. – Vol. 10 (3). – P. 417–422
10. Astola J., Haavisto P., Neuvo Y. Vector Median Filters // IEEE. 1990. – Vol. 78 (4). – P. 237–260.
11. Bartolini F., Cappellini V., Colombo C., Mecocci A. Enhancement of local optic flow techniques // 4th International Workshop on Time Varying Image Processing and Moving Object Recognition, Italy. 1993. – P. 359–366.
12. McCandless J. W. Detection of aircraft in video sequences using a predictive optical flow algorithm // Optical Engineering. 1999. – N 3. – P. 523–530
13. Stefano L. D., Viarani E. Vehicle detection and tracking using the block matching algorithm // www.labvisione.deis.unibo.it
14. Обухова Н. А. Цифровая обработка изображений для оценки характеристик транспортных потоков в ТВ-системе экологического мониторинга воздушной среды города. Деп. в ВИНТИ № 1065-В2003.

ОЦЕНИВАНИЕ ФРАКТАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОСТИ

А. Р. Бестугин,

канд. техн. наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

А. Ф. Богданова,

канд. техн. наук

Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского

Г. В. Стогов,

канд. техн. наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

В статье исследуются закономерности, характеризующие «самоподобные» процессы передачи информации в телекоммуникационных сетях. Полное описание сетевого трафика в целях управления трафиком и перегрузкой требует понимания его динамической природы, одной из характеристик которой служит фрактальная размерность.

This paper investigates regularity characterizing self-similar processes of information transmission in telecommunication networks. A complete description of data network traffic for purpose traffic control and congestion control requires understanding of its dynamic nature, one from features of its is fractal dimension.

Информационные технологии, применяемые в системе управления, определяют виды информационного обмена между органами и объектом управления, а также требования к характеристикам передаваемого трафика. Под информационными технологиями обычно понимают совокупность систематических и массовых способов создания, накопления, обработки, хранения и распределения информации с помощью средств вычислительной техники и связи. Исследования современных быстродействующих сетей, проводимые с целью изучения их трафика, генерируемого реальными службами и приложениями, показали, что фактическая нагрузка в исследуемых сетях существенно отличается от наиболее распространенных норм телефонного и пакетного трафика и носит фрактальный характер.

Фрактальность вообще подразумевает наличие внутреннего свойства подобия на разных уровнях, которое носит название самоподобия. Самоподобие системы означает, что структура или процесс выглядят одинаково в различных масштабах или в различных по продолжительности интервалах времени. Другая особенность понятия «фрактальность» ассоциирована с пространствами дробной размерности.

Наука о фракталах появилась как наука о геометрических объектах, демонстрирующих сложное, высоко нерегулярное проявление при всех разрешениях. В этом случае фрактальная размерность выступает в качестве количественной меры структурности этих объектов. В случае динамических систем фрактальная размерность определяет количество информации, необходимое для их описания, и служит для оценки эффективности числа ее степеней свободы. Понятие «подобие на всех масштабах» иногда имеет силу в статистическом смысле, при-

водя к понятию случайных фракталов [1]. Для случайных процессов определение фрактальной размерности позволяет идентифицировать стохастические колебания, выделив их из ряда других типов шумовых процессов, например, естественных флуктуаций, для которых размерность всегда равна целому числу [2].

В большинстве случаев получение фрактальной размерности теоретическими методами затруднено. Наиболее широко используемые способы расчета фрактальной размерности основываются на численных методах, которые применяются для приближенной оценки Хаусдорфа–Безиковича D_H .

Классическое определение размерности Хаусдорфа–Безиковича множества A сводится к следующему [3]. После покрытия A конечным набором $N(\varepsilon)$ шариков разного размера ε_i ($i = 1, 2, \dots, N(\varepsilon)$), не превышающего ε ($\varepsilon_i \leq \varepsilon$; $i = 1, 2, \dots, N(\varepsilon)$), вводится величина $L_\gamma(\varepsilon)$, где γ – объем множества A :

$$L_\gamma(\varepsilon) = \inf \sum_{i=1}^{N(\varepsilon)} \varepsilon_i^\gamma,$$

где инфимум берется по всем возможным покрытиям A . Тогда D_H является минимально возможной из всех γ , такой, что $L_\gamma(\varepsilon)$ стремится к нулю вместе с ε .

Наиболее простой алгоритм, оценивающий D_H , сводится к вычислению величины D_C – вместимости множества A :

$$D_C = - \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln \inf N(\varepsilon)}{\ln \varepsilon}, \quad (1)$$

где инфимум берется по всем возможным покрытиям, причем используется разбиение фазового про-

пространства на одинаковые ячейки размера ϵ . В общем случае $D_C > D_H$, и для большинства исследованных систем $D_C = D_H$ [4]. Трудность непосредственного численного расчета D_C связана с медленной сходимостью предельного соотношения (1) по ϵ .

С экспериментальной точки зрения наиболее популярной является корреляционная размерность. Рассмотрим некоторую траекторию в фазовом пространстве в течение длинного временного интервала и ряд векторов $\bar{x}_i (i = 1, 2, \dots, N)$, которые должны быть взяты на равных временных интервалах. Расстояние между двумя векторами $\rho_{i,j} = |\bar{x}_i - \bar{x}_j|$ определяется как евклидово расстояние. Корреляционная размерность D определяется посредством корреляционного интеграла C_ρ [4, 5]:

$$C_\rho = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{M}{N^2}, \quad (2)$$

где M – число пар (i, j) с расстоянием $\rho_{i,j} < \rho$.

Асимптотическое поведение корреляционного интеграла C_ρ для малых ρ имеет вид

$$C_\rho = \text{const} \cdot \rho^D + o(\rho^D).$$

В этом случае экспонента D называется корреляционной размерностью и вычисляется как

$$D = \lim_{\rho \rightarrow 0} \frac{d(\log(C_\rho))}{d(\log \rho)}.$$

Таким образом, уравнение (2) может быть переписано как

$$C(\rho) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N^2} \sum_{ij} H\left(\frac{s_{ij}}{\rho}\right),$$

где $H_s = 0$ при $s \leq 1$; $H_s = 1$ при $s > 1$.

Другой метод определения фрактальной размерности использует замечательное достижение математиков XX века, а именно способ характеристики сложных математических функций или переменных, имеющих большую изменчивость, без попытки представления их в терминах элементарных базисных функций. Подобные подходы основаны на идеях Пуанкаре, Хаусдорфа, Безиковича, Колмогорова и Мандельброта. Сущность идеи состоит в рассмотрении точек пересечения функции, таких как число интервалов $N(\epsilon)$ данной длины ϵ , которые функция вырезает на данной линии. Тогда характеристическим параметром, описывающим функцию, является экспонента D , когда $N(\epsilon) \sim \epsilon^{-D}$. Этот подход аналогичен статистическому анализу случайных переменных, которые могут быть охарактеризованы числом событий в данном периоде. Они могут быть применимы к любой функции, но интересны только тогда, когда различные масштабы, составляющие функцию, являются самоподобными.

Еще в XIX веке при изучении осцилляций использовался следующий факт: когда спектр мощности Фурье функции $f(x)$ имеет самоподобную форму $E(k) \sim k^{-2\alpha}$, где α – целое, тогда не существует непрерывности производной $f(x)$ порядка $\alpha - 1$.

Например, энергетический спектр единичного скачка [т. е. $f(x) = 1$, если $x > 0$, $f(x) = -1$, если $x < 0$] есть $E(k) \sim k^{-2}$, когда $k \rightarrow \infty$. Однако, когда α – нецелое, $f(x)$ имеет некоторый вид сингулярности. Сингулярность может быть локализована во всех или почти во всех точках

функции [как, например, у функции $f(x) = x^{-1} \sin(1/x)$]; также сингулярность, может быть «глобальной» в том смысле, что $f(x)$ является сингулярной во всех или почти во всех x (как в случае с функцией Вейерштрасса). Гауссовы случайные функции $f(x)$ (реализации которых напоминают функцию Вейерштрасса) имеют спектр, подобный $E(k) \sim k^{-2\alpha}$, когда $k \rightarrow \infty$, $1 \leq 2\alpha \leq 2$.

Гладкость стационарного гауссовского процесса может быть охарактеризована поведением его вариограммы $v(t) = E\{X(0) - X(t)\}^2$ в окрестности начала. Грубо говоря, если вариограмма стремится к нулю подобно $|t|^\alpha$, когда $t \rightarrow 0$, то процесс имеет $\alpha/2$ производных в смысле условий Липшица [2]. Величина α иногда называется фрактальным индексом процесса. Фрактальная размерность D реализации равна $2 - (1/2)\alpha$.

Таким образом, параметр α имеет важное значение при вычислении фрактальной размерности и широко используется как индекс «грубости». Величина α никогда не может превышать 2 и α должно быть меньше 2, тогда процесс является непрерывным, но недифференцируемым. При этом число пересечений процессом любого данного уровня на определенном интервале есть либо нуль, либо бесконечность. Эту проблему можно обойти, если сгладить процесс формированием скользящего среднего или сверткой на узком окне, по ширине пропорциональном, скажем, h . Сглаженный процесс является дифференцируемым, а число пересечений конечно с вероятностью 1. Если выбрать определенный уровень заранее, то есть вероятность, что будет выбран уровень, который процесс не пересекает. Таким образом, взамен среднего числа пересечений большого числа уровней можно рассмотреть среднее по отношению к весовой функции W , которая может быть почти произвольной [5]. В случае, когда весовая функция W – постоянная, оказывается, что среднее число пересечений сглаженного процесса на интервале пропорционально общей дисперсии процесса на этом интервале.

Пусть X обозначает стационарный гауссовский процесс $X = X(t)$ с нулевым средним и единичной дисперсией. Предположим, что вариограмма $v(t) = E\{X(0) - X(t)\}^2$ удовлетворяет $v(t) \sim 2c|t|^\alpha$, когда $t \rightarrow 0$, где $c > 0$. Ковариационная функция $\gamma(t) = E\{X(0)X(t)\}$ имеет вид

$$\gamma(t) = 1 - c|t|^\alpha + o(|t|^\alpha) \text{ при } t \rightarrow 0, \quad (3)$$

а

$$\dot{\gamma}(t) = -\alpha(\alpha - 1)c|t|^{\alpha-2} + o(|t|^{\alpha-2}).$$

Процесс можно сгладить, используя скользящее среднее, или фильтр, генерирующий новый процесс Y :

$$Y(t) = h^{-1} \int K(u/h)X(t+u)du, \quad -\infty < t < \infty,$$

где h – ширина полосы $h > 0$; ядро K удовлетворяет условию

$$\int (|K| + |K'|) < \infty, \int K = 1 \text{ и } \int uk(u)du = 0.$$

При $h \rightarrow 0$ получаем

$$\lim_{h \rightarrow 0} Y(t) = X(t), \quad -\infty < t < \infty,$$

с вероятностью 1.

Хотя реализации истинного процесса X не являются дифференцируемыми, реализации Y – дифференцируемые:

$$0 < \lambda = E\{Y'(0)^2\} = \iint K(u_1)K(u_2)\dot{\gamma}\{h(u_1 - u_2)\}du_1du_2 < \infty. \quad (4)$$

Случайная функция $N(u) = \{t \in (0, 1): Y(t) = u\}$, $-\infty < u < \infty$, хорошо определена с вероятностью 1. Оценки фрак-

тального индекса [5] основываются на поведении этой величины, когда $h \rightarrow 0$. Пусть весовая функция $W \geq 0$ удовлетворяет условию

$$W(u) \leq D_1 (1 + |u|)^{D_2}, \quad -\infty < u < \infty,$$

для произвольных постоянных $D_1, D_2 > 0$. Это условие гарантирует, что $M = \int NW$ хорошо определена, конечна с вероятностью 1 и имеет все конечные моменты. Можно показать [5], что

$$M = \int_0^1 |Y'(t)| W\{Y(t)\} dt. \quad (5)$$

Отсюда, при $h \rightarrow 0$

$$E(M) \approx \lambda^{1/2} E[W\{X(0)\}] E|Z_0|,$$

где Z_0 – случайная переменная, распределенная по нормальному закону.

Из (3) и (4), интегрируя по частям, при $h \rightarrow 0$ можно получить $\lambda \sim C_1 h^{\alpha-2}$, где

$$C_1 = c \int \int K'(u_1) K'(u_2) |u_1 - u_2|^\alpha du_1 du_2.$$

Получить c и α можно из (3). Следовательно,

$$E(M) \sim C_2 h^{(\alpha-2)/2}, \quad (6)$$

где $C_2 = C_1^{1/2} \in [W\{X(0)\}] E|Z_0|$.

Формула (6) дает возможность оценивания $(1/2)\alpha - 1$ и, следовательно, α и $D = 2 - (1/2)\alpha$ из наклона линейной регрессии $\log E(M)$ на $\log h$. Поскольку $E(M)$ неизвестна, то ее можно заменить практической оценкой.

При этом подходе используется только ограниченное число h и учитывается, что $(\text{var } M)/(E(M))^2 \rightarrow 0$, когда $h \rightarrow 0$. Этот результат имеет силу тогда и только тогда, когда $W \equiv \text{const}$. Без потери общности можно считать, что $W \equiv 1$. Тогда из (5) видно, что

$$M = M(h) = \int_0^1 |Y'(t)| dt$$

представляет общую дисперсию процесса Y на интервале $(0, 1)$. Тем не менее, на практике удобнее пользоваться для вычисления формулой

$$M = \int NW.$$

Для того чтобы подтвердить состоятельность оценки, основанной на конечном h , необходимо отметить, что

$$\log M(h) = \log\{EM(h) + O_p(1)\}$$

и, с учетом (6),

$$\log\{EM(h)\} = (1/2)(\alpha-2)\log h + \log C_2 + O(1).$$

Следовательно,

$$\log M(h) = (1/2)(\alpha-2)\log h + c_2 + O_p(1).$$

Таким образом, для каждого фиксированного $k \geq 1$ регрессионная оценка определяется как

$$\hat{\alpha} = \hat{\alpha}(h_1, \dots, h_k) = 2 \left\{ \sum_{j=1}^k (x_j - \bar{x}) \log M(h_j) \right\} \left\{ \sum_{j=1}^k (x_j - \bar{x})^2 \right\}^{-1} + 2, \quad (7)$$

где $x_j = \log h_j$ и $\bar{x} = K^{-1} \sum \log h_j$.

Напомним, что фрактальная размерность D реализации равна $2 - (1/2)\alpha$. Суммируя все вышеизложенное, можно сказать, что исследование фрактальной размерности может быть полезно как с теоретической, так и с практической точек зрения. Например, самоподобие в пакетном трафике, которое характеризуется дробной (фрактальной) размерностью, может быть использовано для уменьшения издержек измерения. Если известно, что трафик самоподобен, то нет необходимости иметь измерения с очень хорошей временной шкалой порядка десятков миллисекунд. Трафиковые параметры могут быть оценены из грубых измерений, таких как секундные отсчеты. Таким образом, возможно скомпенсировать неадекватно грубо выбранные измерения простым преобразованием временной шкалы. Это временное преобразование использует самоподобные характеристики трафика, чтобы вывести более тонкое поведение временной шкалы из грубого временного масштаба измерения.

Преобразование временной шкалы при анализе фрактальных процессов основано на оцененном корреляционном интервале для обычного ряда измерений данных и задается формулой

$$\lambda_2 = \lambda_1 \left(\frac{t_1}{t_2} \right)^{1-D_c},$$

где t_1 и t_2 – новые и старые выборочные интервалы

соответственно, коэффициент $\frac{\lambda_2}{\lambda_1}$ – размер шкалы;

D_c – корреляционная размерность, $0 \leq D_c \leq 1$.

Кроме ранее упомянутых областей применения, фрактальная размерность может быть полезна и при сравнении объектов из разных классов.

Литература

1. Львов Г. А. Фрактальные среды. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. – 24 с.
2. Lindstrom T. Nonstandard analysis, iterated function system, and brownian motion on fractals. – Preprint Ser. Inst. Math., 1990. – P. 1–38.
3. Болштянский М. А., Залякин В. И., Зельдович Б. Я. Измерение корреляционной размерности траектории процесса с помощью фоторефрактивного кристалла. – Препринт. – Челябинск: Изд-во Челябинского гос.-техн. ун-та, 1994. – 12 с.
4. Ваврич Д. М., Рябов В. Б., Третьяков О. А. Фрактальная размерность самоподобных и несамоподобных аттракторов. Препринт № 17. – Харьков: Академия наук УССР, Радиоастрономический институт. – 1988. – 25 с.
5. Fennerverger A., Hall P., Wood A. T. A. Estimation of fractal index. – Preprint Ser. Inst. Math., 1999. – 24 с.

МОДЕЛЬ ПОЛИТИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Д. А. Подкорытов,

аспирант

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

В статье дается обзор применяемых моделей политики безопасности. Показано, что традиционный способ назначения меток безопасности для объектов системы и прав доступа к ним пользователя не обеспечивает гарантированного режима безопасности информации и может привести к ее компрометации. Предлагается принцип построения подсистемы безопасности операционной системы, позволяющий решить эту проблему, а также значительно снизить риск от человеческого фактора при настройке прав доступа к объектам системы и эксплуатации такой системы. Обосновывается целесообразность структурного разделения модели политики безопасности на три подсистемы.

This paper starts with a review of security policies for computing systems. It is shown that the traditional way of assigning security labels and user access rights to the objects in a system does not provide a guaranteed mode of information security. To solve this problem, we propose a construction of the security subsystem in the operating system which will considerably reduce the human factor risk in the assignment of access rights to system's objects. Also, we justify the structural subdivision of our security model into three subsystems.

Обзор применяемых моделей политики безопасности

Для разграничения доступа в современных многопользовательских операционных системах широко используется принцип назначения меток безопасности для каждого объекта системы. Кроме этого, применяется принцип объединения пользователей в группы по классу решаемых задач и необходимости предоставления тех или иных полномочий. Наличие групп доступа существенно упрощает администрирование системы.

Каждому пользователю или группе (субъектам), а также каждому ресурсу (объекту) ставятся в соответствие метки – идентификаторы, позволяющие управлять доступом субъектов к объектам согласно политике безопасности.

В настоящее время под управлением метками обычно понимается выполнение этой операции вручную в командном режиме, администратором системы для каждого субъекта или объекта, согласно собственному опыту и исходя из политики безопасности организации, эксплуатирующей систему.

На взгляд автора, в современных моделях безопасности не уделяется должного внимания политике управления метками, так как управление метками осуществляется в ручном (командном), не автоматическом режиме и является более организационным, нежели техническим вопросом эксплуатации.

Тем не менее, возможен принцип, основанный на автоматическом или полуавтоматическом (итерак-

тивном) назначении меток, например, в зависимости от содержимого документов.

В этом случае метки безопасности, присваиваемые субъектам и объектам, вычисляются исходя из некоторого набора правил, а не назначаются командами администратора системы.

Современные информационные системы имеют в своем составе сложные объекты, обладающие множеством возможных состояний и переходов и некоторыми реактивными характеристиками. Субъекты, принимающие участие в деятельности такой системы, обладают также некоторой динамикой, поскольку взаимодействие субъектов и объектов разворачивается во времени. Это говорит о том, что при оценке безопасности информационной системы необходимо учитывать и динамические свойства системы, и субъектов, с ней взаимодействующих. Пренебрежение учетом динамических свойств системы приводит в некоторых современных системах к их уязвимости для DoS атак и делает возможным существование скрытых по времени каналов.

Отличие предлагаемого принципа от традиционного принципа предоставления полномочий хочется продемонстрировать примерами правил доступа.

В традиционной политике предоставления доступа правила доступа формулируются исходя из статического состояния системы: «Через эту дверь аутентифицированный субъект проходить может». По мнению автора, необходимо учитывать и динамику: «Через эту дверь проходить можно, но не более одного раза в секунду для каждого субъекта, при

условии, что информационная система находится в некотором состоянии S ».

Исходя из вышесказанного, предлагается структурно разделять модель политики безопасности на модели политик управления метками, предоставления доступа и существования объектов и субъектов.

Модель политики управления метками – это набор правил, согласно которым динамически или итеративно (с участием администратора) вычисляется соответствие того или иного объекта или субъекта идентификатору его уровня безопасности (так называемой метке). Решение о соответствии объекта или субъекта той или иной метке принимается исходя из этих правил и его текущего состояния всякий раз перед попыткой взаимодействия вида субъект–объект. Частный случай модели политики управления метками – это традиционное назначение меток безопасности субъектов и объектов только в командном режиме. В этом случае метки постоянны во времени и не зависят от содержимого объекта или деятельности субъекта.

Модель политики предоставления доступа – это набор правил, согласно которым предоставляется доступ субъектов к объектам в зависимости от их динамически вычисленных или назначенных меток-идентификаторов уровня безопасности.

Модель политики существования – это набор правил, действующих на протяжении всего времени присутствия субъекта в системе и на протяжении всего жизненного цикла объекта системы и учитывающих динамику их поведения. Субъекты и объекты должны следовать этим правилам для того, чтобы иметь право на существование в системе. Объекты и субъекты, чья деятельность выходит за рамки правил этой модели, блокируются.

Например, метка субъекта, ведущего себя подозрительно, может быть изменена и, таким образом, субъект будет понижен в привилегиях доступа к системе.

В настоящее время известны несколько моделей безопасности. Согласно введенной терминологии, они в основном относятся к политикам предоставления доступа, и лишь некоторые из них отчасти захватывают вопросы управления метками – в смысле предоставления прав субъекту манипулировать метками безопасности вверенных ему в управление субъектов и объектов.

Рассмотрим известные модели политик безопасности информационных систем с тем, чтобы определить, какой политике должна следовать каждая из трех компонент модели.

Принцип дискреционного доступа Харрисона–Руззо–Ульмана [7]

Этот принцип реализует управление доступом объектов к субъектам и контроль за распространением прав доступа. В рамках идеологии этой системы существуют объекты O (ресурсы системы), субъекты S (активная сущность, производящая доступ к информации), множество прав доступа R . В целом информационная база системы – это матрица $O \times S$, содержащая на пересечении столбца и строки право доступа $r[j, i]$ i -го субъекта к j -му объекту. Политика позволяет предоставлять субъекту право манипулировать метками безопасности вверенных ему в управление субъектов и объектов.

Однако Харрисон, Руззо и Ульман доказали, что в общем случае не существует алгоритма, который может для произвольной системы, ее начального состояния и правил доступа решить, является ли система безопасной.

Дискреционная модель доступа Харрисона–Руззо–Ульмана в своей общей постановке не дает гарантий безопасности системы, так как не учитывает безопасности переходов из одного состояния в другое, а также не содержит способа контроля информационных потоков и «тройных коней» [5].

Типизированные матрицы доступа (TAM & MTAM) [14]

Эта политика предоставления доступа развивает дискреционную модель Харрисона–Руззо–Ульмана, дополняя ее концепцией типов, что позволяет несколько смягчить условия, для которых возможно доказательство безопасности системы.

Формальное описание модели TAM содержит:

1. Конечный набор прав доступа $R = \{r_1, \dots, r_j\}$.
2. Конечный набор типов $T = \{t_1, \dots, t_g\}$.
3. Конечные наборы субъектов и объектов $S = \{s_1, \dots, s_n\}$, $O = \{o_1, \dots, o_m\}$.
4. Матрицу M , содержащую права доступа субъектов к объектам и ее начальное состояние M_0 .
5. Конечный набор команд оперирования над матрицей доступа $C = \{\alpha_1(\dots), \dots, \alpha_k(\dots)\}$, включающий условия выполнения команд и их интерпретацию в терминах элементарных операций.

Рави Садух введено понятие монотонной TAM (MTAM).

MTAM не содержит немонотонных операций *delete*, *destroy subject*, *destroy object* и упрощает процесс доказательства безопасности матрицы доступа, но сложность доказательства безопасности такой модели является NP полной задачей.

Рассматривается еще один частный случай – тернарная MTAM (TMTAM) с системой команд C , в которой $\alpha_k(\dots)$ содержит не более трех аргументов. Для TMTAM доказательство безопасности выполняется за полиномиальное время.

Политика безопасности MAC (мандатного контроля доступа Белла и Ла Падулы BLP) [5]

Основная задача этой политики – обеспечение конфиденциальности. Она использует как прототип принципы работы с секретными документами в государственных учреждениях. Основным принципом заключается в том, что существует иерархия нескольких уровней безопасности (совершенно секретно, секретно, для служебного пользования и т. д.).

Объектам присваивается метка-идентификатор, показывающая уровень секретности хранимой в них информации. Субъектам также присваивается метка, показывающая их уровень допуска к информации. Используются два основных правила, обеспечивающих конфиденциальность:

- 1) субъект не может читать данные с верхнего по отношению к нему уровня допуска;
- 2) субъект не может передавать данные на нижний по отношению к нему уровень допуска.

Эта политика запрещает доступ на запись к объектам системы с более низким уровнем допуска, чем у субъекта. Такая политика надежно предот-

вращает миграцию данных с более высоких уровней секретности на более низкие. К сожалению, лицам, имеющим высокий уровень доступа к секретным документам, часто приходится решать и задачи с меньшим уровнем секретности; также возможна ситуация, в которой необходимо организовать двухсторонний обмен информацией между двумя достаточно высокими уровнями безопасности. Поэтому эту политику применяют в сочетании с политикой дискреционного доступа. На стыке этих политик возможны логические бреши и уязвимости реализаций.

Политика безопасности «Китайская стена» (WC)

Политика предложена Бревером и Нэшем [3] и ориентирована на сферу бизнеса. Эта политика учитывает конфликты бизнес-интересов фирм-конкурентов, пользующихся услугами одних и тех же консультантов. Политика служит для реализации общепринятого в сфере бизнес-консалтинга правила: внешний аналитик имеет возможность получить информацию о любой фирме из секции ее критических бизнес интересов Q_c . Получив однажды эту информацию об одной компании, он не может получить информацию об интересах других компаний в этой критической области Q_c .

Политика безопасности Кларка и Вильсона [2]

Основная задача этой политики – предохранение от неавторизованных изменений информации авторизованными субъектами. Кларком и Вильсоном введены понятия: детально описанные транзакции (WFT), обеспечивающие целостность обрабатываемой информации, и принцип разделения полномочий.

Из задач, решаемых этой политикой, следует:

- 1) субъекты могут иметь доступ к объектам только через авторизованные программы;
- 2) обязанности субъектов и объектов разделяются, возможно выполнение одной функции несколькими разными людьми и представление одним человеком нескольких функций;
- 3) предусмотрен аудит событий.

В модели описаны две системы безопасности – для военных и для коммерческих целей. В этой политике каждому субъекту и объекту присваиваются иерархические уровни безопасности. Также как и в мандатной политике, BLP объекты с нижних, по отношению к субъекту, уровней безопасности доступны только для чтения, что предотвращает компрометацию информации. Модель используется как формальный базис для построения военных систем компьютерной безопасности.

Модель Biba [5]

Основная задача этой политики – обеспечение целостности информации. Эта политика является, по сути, противоположной политике мандатного доступа. В ней используются два основных правила, обеспечивающих целостность:

- 1) субъект не может читать данные с нижнего относительно своего уровня допуска;
- 2) субъект не может передавать данные на верхний по отношению к своему уровню допуска.

В рамках этой политики все операции чтения-записи производятся в пределах одного уровня безопасности. Для миграции данных между уровнями необходимо предусмотреть членство объектов, для которых разрешен обмен информацией в нескольких уровнях безопасности.

Такая политика наиболее проста в реализации и, видимо, поэтому послужила прообразом для построения систем безопасности в современных операционных системах.

Мандатная модель Мак-Лина [12]

Эта политика является расширенной модификацией мандатной политики BLP. Специфика политики заключается в том, что она базируется не на безопасных состояниях, как BLP, а на безопасных переходах. В модели введено понятие «функции безопасного перехода». В рамках модели введены «Уполномоченные субъекты», которым разрешено инициировать функции изменения уровня безопасности у сущностей системы. Политика предусматривает модель совместного доступа при работе субъектов в группах и с общими разделяемыми объектами.

Политика безопасности Диона [6]

Данная политика уделяет внимание как контролю целостности, так и конфиденциальности. Модель Диона обобщает более известные модели безопасности Biba и Bell-LaPadula. В модели Диона с каждым субъектом (объектом) ассоциируется три метки конфиденциальности и три метки целостности информации:

- 1) абсолютная метка конфиденциальности (ACL) – присваивается объекту во время его создания и остается постоянной в течение всего времени его существования. Обычно это метка пользователя-инициатора процесса;
- 2) метка конфиденциальности чтения (RCL) – минимальный уровень конфиденциальности, с которого субъекту разрешено чтение;
- 3) метка конфиденциальности записи (WCL) – минимальный уровень конфиденциальности, на который субъекту разрешена запись;
- 4) абсолютная метка целостности (AIL);
- 5) метка целостности чтения (RIL) – минимальный уровень целостности, с которого субъекту разрешено чтение;
- 6) метка целостности записи (WIL) – минимальный уровень целостности, на который субъекту разрешена запись;

Для каждого объекта s должны выполняться правила:

$$WCL(s) \leq ACL(s) \leq RCL(s);$$

$$RIL(s) \leq AIL(s) \leq WIL(s).$$

С каждым объектом ассоциируется также три метки конфиденциальности и три метки целостности информации:

- 1) абсолютная метка конфиденциальности (ACL) – уровень конфиденциальности хранимой информации;
- 2) метка конфиденциальности чтения (RCL) – максимальный уровень конфиденциальности, на который могут мигрировать данные объекта;
- 3) метка конфиденциальности записи (WCL) – минимальный уровень конфиденциальности, с которого может производиться запись в объект;

4) абсолютная метка целостности (AIL);
 5) метка целостности чтения (RIL) – минимальный уровень целостности, на который могут мигрировать данные, хранящиеся в объекте;

6) метка целостности записи (WIL) – максимальный уровень целостности, с которого данные могут записываться в объект.

Для каждого объекта *o* должны выполняться правила:

$$WCL(o) \leq ACL(o) \leq RCL(o);$$

$$RIL(o) \leq AIL(o) \leq WIL(o).$$

Модель Диона предусматривает возможность организовать однонаправленный канал передачи информации от одного объекта к другому:

$$ACL(o1) \leq RCL(s);$$

$$RIL(s) \leq AIL(o1);$$

$$WCL(s) \leq ACL(o2);$$

$$AIL(o2) \leq WIL(s).$$

Эта модель обладает наибольшей полнотой и универсальностью.

Политика описания информационных потоков

Описывает информационные потоки, а не права доступа субъектов к объектам. В рамках этой политики указывается источник информации, приемник и права субъекта. Идея достаточно интересна, так как позволяет более точно, чем, например, дискреционная политика, описывать права доступа к информационным потокам. Данная политика может быть реализована средствами политики Диона и является ее подмножеством. Такой принцип контроля и ограничения информационных потоков в том или ином виде применяется в современных сетевых защитных экранах (*firewall*).

Политика заявок участия в аукционе (SB) [11]

Служит для обеспечения безопасности сделки, производимой по принципам аукциона. Политика использует следующие принципы:

- каждый аукцион имеет predetermined временные рамки;
- каждая выставленная заявка не может быть отвергнута аукционом, но может быть снята субъектом, ее выставившим (аукционером);
- победителем аукциона является заявка с максимальной ценой;
- после выставления заявка не может быть переоценена, даже аукционером;
- проигравшие заявки не приводят к потере денег аукционером;
- аукционеры могут участвовать одновременно в нескольких аукционах.

Ролевая политика RC (Role Compatibility) [16]

В рамках этой модели вводятся такие термины, как цели и запросы. Субъекты (процессы) делают запросы на доступ к цели (объекту). Определяются RC-роли и RC-типы, а затем определяется, что может делать та или иная роль с тем или иным типом. Таким образом, создается некоторая абстрактная модель, которая затем привязывается к реальным пользователям, программам и файлам. Независи-

мость модели от реальных субъектов и объектов позволяет производить мгновенную перенастройку политики безопасности быстрым перепривязыванием ролей и/или типов. Кроме того, это очень удобно для создания готовых решений, например, распределение ролей и типов для защиты содержимого страниц Web-узла. Интересной особенностью является возможность запускать программы с ролью, отличной от роли пользователя, производящего запуск. В результате, можно, например, произвести такие настройки, что прямой доступ к диску будут иметь только разрешенные программы, а все остальные пользователи системы (включая администратора) будут лишены такой возможности.

Запросы могут быть самые разнообразные и для их выполнения должны совпадать с правами ACL.

Целями могут быть: **File** (файл), **DIR** (каталог), **DEV** (устройство), **IPC** (объект IPC – семафоры, разделяемая память и т. д.), **SCD** – Системные данные (имя машины, системный журнал), как правило, только для чтения, **User** (пользователи), **Process** (процессы), **None** (пустой объект), **FD** (файловый дескриптор).

Каждый тип цели может иметь свой подтип. Например, файл может быть обычный, секретный или системный. Роль определяет некий класс субъектов, задавая права, которые имеют члены этого класса по отношению к определенным подтипам цели и другим классам. Рассмотрим эти параметры более подробно:

- *Name* – название роли;
- *Role Comp* – совместимые роли, на которые данная роль может переключиться без смены владельца;
- *Admin Roles* – роли, которые данная роль может администрировать;
- *Assign Roles* – роль, которая может назначаться пользователям или процессам;
- *Type comp FD* – здесь указывается, какие ACL-права имеет данная роль при обращении к тому или иному подтипу типа FD;
- *Type comp DEV* – аналогично для типа DEV;
- *Type comp Process* – аналогично для типа Process;
- *Type comp IPC* – аналогично для типа IPC;
- *Type comp SCD* – аналогично для типа SCD;
- *Admin Type* – устаревший параметр, указывающий тип этой роли: Системный Администратор, Ролевой Администратор (Офицер безопасности) или Простой Пользователь (можно вместо него пользоваться первыми четырьмя параметрами);
- *Default FD Create Type* – при создании объекта типа FD будет использован соответствующий подтип, например, может быть роль, создающая только секретные файлы и каталоги. Пользоваться ими смогут только роли с соответствующими ACL-правами;
- *Default Process Create Type* – аналогично для создаваемых (клонироваемых) процессов;
- *Default Process Chown Type* – подтип процесса после смены владельца (*setuid*);
- *Default Process Execute Type* – подтип процесса после запуска;
- *Default IPC Create Type* – подтип новых IPC каналов, семафоров и т. д.

Такое количество настроек для роли позволяет гибко менять систему безопасности, достигая при этом фантастических результатов.

Например, можно настроить систему так, чтобы администратор мог добавлять пользователей, задавать им пароли, удалять их и при этом не мог вручную отредактировать `/etc/passwd` или `/etc/shadow`. Такой прием может быть полезен и для организации Web-сайта. После установки соответствующих прав на домашний каталог сервера никто кроме него самого не сможет работать с файлами из этого каталога. Даже прорвавшись в систему, злоумышленник не сможет поменять первую страницу сайта.

Угрозы моделям безопасности

Для каждой из представленных в этой статье политик предоставления доступа существуют следующие угрозы:

скрытые каналы – способы передачи информации помимо механизма политики безопасности и авторизации. Известно два основных типа: скрытые каналы по времени и скрытые каналы по данным; черные ходы, заложенные разработчиками; вопросы изучения времени реакции системы; переполнение буферов; сбои оборудования и программного обеспечения. Кроме этого, при ручном (командном) способе назначения атрибутов безопасности объектов система имеет и другие недостатки.

1. Субъективный и рутинный характер работ по назначению прав доступа. Решение по назначению атрибутов безопасности принимает человек, который управляет системой. А люди, как известно, иногда ошибаются.

Кроме человеческого фактора, действуют и другие факторы, а именно: фактор времени (администратор может не успеть выполнить необходимую настройку атрибутов безопасности, и далеко не всегда по своей вине – его могут просто не успеть поставить в известность); фактор информированности (администратор может не знать тонких деталей, специфики обрабатываемой пользователем информации и специфики человеческих отношений внутри группы, решающей задачу).

2. С ростом объема обрабатываемой информации, количества пользователей и решаемых ими задач сложность администрирования растет.

3. Широко применяется принцип разделения доступа по директориям для разных пользователей (групп) и принцип наследования прав доступа к нижележащим элементам файловой системы. При этом получается позиционная зависимость, очень часто не имеющая ничего общего с необходимым уровнем безопасности файла. Например, ничто не мешает файлу с грифом «Совершенно секретно» находиться в каталоге с общими правами доступа.

4. Поскольку правила назначения меток безопасности отданы на откуп сфере организационных вопросов и процесс их назначения не автоматизирован, то они пишутся на естественном языке, более того, в некоторых организациях они или существуют в виде устных рекомендаций, или подразумевают, что «администратор сам должен знать, что делать». Подобный подход чреват неоднозначностью толкования этих правил и их противоречивостью, особенно явно проявляющейся в больших организациях с развитой инфраструктурой и сложной иерархией.

Далее рассматривается политика безопасности, способная предотвратить некоторые из представленных угроз.

Политика существования субъекта, ориентированная на предотвращение сбоев в работе оборудования, программного обеспечения, а также ошибок управления

Согласно данным о причинах разрушения информации [15], 52 % составляют непредумышленные действия персонала, 15 % – пожары, 10 % – умышленные действия персонала, 10 % – отказ оборудования, 10 % – затопление, 3 % – прочее.

В итоге общая доля действий персонала при разрушении информации составляет 62 %.

В работе [15] также приведен процентный состав кибер-взломщиков: 81 % – персонал учреждений, 13 % – посторонние люди, 6 % – бывшие сотрудники.

Сочетание этих статистических данных говорит о необходимости учета человеческого фактора и принятия мер по снижению его влияния.

Описанные модели политик ориентированы в основном на предоставление доступа субъекта к объекту и не позволяют распознавать подозрительное поведение субъекта после получения доступа к объекту, а также не позволяют системе выполнять действия, направленные на ликвидацию связанных с этим угроз. Именно по этой причине в большинстве современных моделей политик безопасности возможны атаки вида «отказ в обслуживании» (DoS).

Ролевая модель политики, на взгляд автора, наиболее близка для реализации модели политики существования объекта. Но она нуждается в некоторых дополнениях.

Предлагается дополнить ролевую модель следующими принципами.

1. Принцип безопасного коридора для каждого субъекта в системе.

Состояния атрибутов дескриптора субъекта (процесса), изменяющихся в некотором диапазоне, должны иметь нижнюю и верхнюю допустимые границы. Выход за них недопустим. Принцип нужен для контроля нагрузки на подсистемы операционной среды. Например, загрузка ЦПУ от процесса пользователя не должна быть более 99,9 %.

2. Реляционная полнота описания системы.

3. Периодический контроль допустимости существования субъекта в системе.

4. Машиноориентированность системы. Субъектом системы является не пользователь, а процесс пользователя, так как это более близкий к ядру системы и более информативный, чем пользователь, дескриптор. Идентификатор пользователя – это один из сотни атрибутов процесса. При реализации необходимо учитывать архитектурные особенности операционной системы и оборудования.

5. Максимальная детализация при описании и обработке системой ее служебных состояний.

6. Принцип нескольких коридоров безопасности.

Остановимся подробнее на предлагаемых принципах.

Принцип безопасного коридора

Под безопасным коридором будем понимать безопасное с точки зрения аппаратуры, программного обеспечения, состояния операционной среды (объектов) состояние, имеющее нижнюю и верхнюю допустимые границы и учитывающее текущие

состояния всех субъектов системы. Например, если в операционной системе класса Windows нет пространства для увеличения файла свопинга, а потребность пользователей в ресурсах растет, то такое состояние опасно.

По сложности реализации и по требуемым ресурсам возможно несколько уровней реализации (детализации) коридора. Старшие уровни включают в себя младшие:

- 1) следование процессом собственным min-max-параметрам коридора;
- 2) учет темпов изменения параметров процесса во времени;
- 3) учет темпов изменения параметров всех процессов системы во времени;
- 4) учет процессом min-max-параметров всех других процессов системы;
- 5) учет процессом собственной истории поведения;
- 6) учет истории поведения всей системы.

Реляционная полнота описания системы

Опасное состояние должно быть: 1) распознаваемо; 2) недопустимо; 3) протоколируемо; 4) система должна иметь стратегию выхода из такого состояния.

Должно быть распознаваемо любое состояние системы. К сожалению, этот принцип легче декларировать, чем реализовать, так как он требует: 1) детального описания деятельности каждого процесса; 2) знание всей истории поведения каждого процесса в системе.

Поскольку в результате своей деятельности процесс изменяет состояние памяти, то для накопления всей истории его поведения нужны гигантские объемы памяти. Возможно, с появлением реверсивных вычислительных систем, способных возвращаться к любому из своих предыдущих состояний, это станет реализуемым. Пока же это проблема носит теоретический характер из области теории вычислений.

Периодичность и постоянство контроля допустимости существования субъекта в системе

Традиционно один из принципов обеспечения безопасности компьютерной системы – это предоставление субъекту тех или иных прав доступа к объекту. Такой принцип хорош при идентификации субъекта, а также для принятия решения о предоставлении субъекту доступа к объекту, но он не учитывает динамики поведения субъекта и не позволяет делать количественной оценки адекватности его поведения при использовании ресурсом. Например, необходимо предоставить право субъекту проходить сквозь дверь, а он, желая создать трудности другим, может начать это делать с частотой 10 раз в секунду. Таким образом, использование этим ресурсом для других субъектов будет ограничено.

Большинство современных DoS атак возможно именно потому, что политики безопасности не учитывают динамики поведения системы. Таким образом, существует необходимость в постоянном контроле поведения субъекта для проверки соответствия его поведения политике системы.

Машиноориентированность системы

Субъектом системы является не пользователь, а процесс пользователя. Процесс системы является более близким для системы и, главное, более информативным. Пользователь – это всего лишь один из атрибутов процесса, тогда как количество других атрибутов у процесса очень значительно. Деятельность пользователя легко выражается в деятельности процессов, ему принадлежащих.

Максимальная детализация при описании и обработке системой ее служебных состояний

Максимальная детализация необходима для обеспечения полноты информации о состоянии системы. Учету должны подлежать все атрибуты процесса. Система должна распознавать любую их комбинацию, а также в идеале помнить всю предысторию своих переходов. К сожалению, это требует или ресурсов памяти, недоступных в настоящее время, или принципов вычислений, значительно отличающихся от традиционных. Сегодня возможность реализации этого принципа в полном объеме находится за рамками вычислительных возможностей. Поэтому необходимо учитывать динамику поведения наиболее важных атрибутов процесса. Вопрос о важности учета тех или иных атрибутов и их динамики будет краеугольным камнем при реализации такой политики на практике.

Принцип нескольких коридоров безопасности

Предлагается использовать несколько цветовых коридоров, отражающих степень доверия субъекту (процессу) или объекту (ресурсу). Файлы входящей почты, Internet-кеша, сторонних организаций должны иметь привилегии, соответствующие красному коридору.

Временные файлы, файлы *core* представляют большую угрозу, так как обычно располагаются в директориях с минимальными правами доступа. Предлагается ввести атрибут файла под названием *временный*. Установка этого атрибута означает, что файл может существовать, только пока существует процесс, его создавший. При загрузке операционной системы все временные файлы, порожденные ядром, должны уничтожаться. При любом, даже аварийном завершении процесса все открытые им временные файлы должны уничтожаться и все открытые им ресурсы – утилизироваться.

Для реализации этого принципа пригодны и мандатные модели, но, кроме этого, крайне желателен триггер-режим для коридоров, заключающийся в том, что после принятия решения о понижении уровня коридора субъекта или объекта он не может быть автоматически возвращен.

Политика управления метками, основанная на автоматическом назначении меток в зависимости от содержимого

Как видно из вышесказанного, при эксплуатации системы учет человеческого фактора не менее важен, чем контроль несанкционированного доступа или вирус-контроль. Снизить влияние человеческо-

го фактора можно при помощи предлагаемых способов пассивного и активного контроля содержимого информационного потока.

Пассивный принцип контроля содержимого. Каждый пользователь в многозадачной операционной системе работает с некоторыми информационными потоками и имеет определенные привилегии по доступу к ним. Пользователь работает в некотором информационном пространстве. Поскольку система многопользовательская, ее пользователи работают не изолированно друг от друга, а обмениваются данными, решая общие задачи, т. е. информационные пространства часто пересекаются. Такие области пересечения являются потенциально опасным пространством. Так, в рамках дискреционной модели режим безопасности информации из файла может понизить любой пользователь, имеющий к нему доступ на чтение. Для этого достаточно лишь, чтобы у него были права на запись в каталог с более низким, чем у пользователя, уровнем доступа. В моделях, обеспечивающих конфиденциальность, пользователь в состоянии неоправданно повысить степень конфиденциальности, а следовательно, доверия к объекту. В случае, если этот объект оказывается «троянским» программой – исход очевиден.

В современных системах эта проблема решается организационными способами, которые далеко не всегда эффективны, а также применением комбинаций политик безопасности, обеспечивающих целостность и конфиденциальность.

На стыке этих политик могут возникать логические уязвимости. Поэтому в рамках данного метода предлагается анализировать содержание информационного потока (памяти, файла, сетевого потока данных) и исходя из его содержания назначать ему уровень (метку) безопасности. Например, комбинация слов в файле: «Подводная лодка», «ГРИФ: Совершенно секретно» и «Исполнитель: Иванов», «Отдел перспективных разработок», «Проект: Альфа» может совершенно однозначно использоваться для разграничения доступа пользователей и групп пользователей к такому файлу. Преимущество в данном случае – позиционная независимость уровня доступа к файлу от его положения на файловой системе. Файл может находиться где угодно в системе, и он будет иметь позиционно независимый режим доступа. Контролю в этом случае подлежит содержимое, а не атрибуты файла.

Особенностью этого метода является то, что пользователь в состоянии повысить уровень секретности данных введением в него соответствующих слов, т. е. послать «троянского коня» со своего уровня на более высокий уровень безопасности. Для предотвращения этого можно использовать секретный код-идентификатор в теле документа. Например «Класс документа: XDFWE34A».

Пользователь, имеющий полномочия доступа на чтение, в состоянии понизить уровень секретности удалением или заменой (кодированием, шифрованием) ключевых слов и записью послания в другой файл на более низком уровне безопасности. Таким образом, мандатный принцип здесь не применим в его классическом смысле. Этим уязвимостям можно избежать в одном из случаев:

- 1) уровень безопасности не будут пересекаться;
- 2) применение активного принципа контроля содержимого, при котором содержимое будет шиф-

роваться множественными ключами по принципу, описанному в работе [1];

3) применение контроля потока, описанного в модели Диона [6] с правилами, запрещающими в общем случае понижать или повышать уровень безопасности потока для рядовых пользователей и разрешающими эти процедуры для пользователей с соответствующими правами;

4) сочетание автоматического назначения меток с мандатной политикой безопасности разрешает проблему несанкционированного изменения пользователем идентификационных меток документа, так как при их кодировании документ автоматически переходит в более низкий класс допуска, запись в который, согласно политике BLP, запрещена, а для передачи на более высокий уровень необходимо знать секретный код-ключ.

Функции перехода объекта из состояния в состояние станут также безопасными и, таким образом, критические замечания по дискреционной модели Кларка и Вильсона будут учтены. Сочетание автоматического назначения меток с политикой безопасности мандатного типа позволит сделать систему менее зависимой от человеческого фактора и как следствие – более защищенной. Возможны следующие режимы назначения меток: динамический, статический, итерактивный. Наиболее прост статический метод. В этом случае субъекту и объекту метки присваиваются в командном режиме. Метки, приписанные субъектам и объектам, неизменны на протяжении их существования. Для изменения меток необходимо вмешательство администратора. При динамическом методе метки безопасности вычисляются и присваиваются исходя из некоторой целевой функции автоматически. В итерактивном режиме метки вычисляются автоматически (например, исходя из содержимого файла). При присвоении этой метки субъекту или объекту система итерактивно предлагает присвоить субъекту/объекту вычисленную метку или другую по списку. Таким образом, этот итерактивный вариант является промежуточным между статическим и динамическим. Операторское вмешательство администратора необходимо, но процесс до некоторой степени автоматизирован.

Активный принцип контроля содержимого. Дальнейшее развитие принципа контроля содержимого потока данных заключается в динамическом изменении содержимого файла в зависимости от его содержимого и метки субъекта, осуществляющего к нему доступ. Именно это и будем называть активным принципом контроля.

Под активным контролем будем понимать правила преобразования информации в зависимости от контекста пользовательского обработчика потока (динамически вычисляемой метки безопасности).

Отметим, что традиционный антивирусный мониторинг является подмножеством системы с активным контролем содержимого, но он не учитывает контекст процесса. Так, антивирусная программа может пытаться внести изменения в файл, доступ к которому на запись запрещен.

Активный принцип контроля необходим в ряде случаев: если мы хотим не только распознавать опасный код вирусов, но и производить лечение файлов на «лету», для организации антивирусной защиты; организовать контекстную обработку потока данных, когда функция преобразования входного

потока в выходной зависит от атрибутов процесса, производящего доступ к файлу. Таким образом, можно организовать объектно-ориентированный принцип доступа к ресурсам системы.

Одно из частных решений контекстной обработки потока данных – контекстное шифрование «на лету», когда ключ шифрования вычисляется как функция от меток объекта и субъекта, производящего доступ к объекту. В этом случае можно организовать такой режим шифрования, когда ключ зависит и от идентификатора носителя. Тогда для чтения информации, скопированной на сменный носитель (дискету или CD), нужен другой ключ.

Второе возможное решение – формирование одного потока как набора разных сообщений для разных корреспондентов, с применением алгоритма, описанного в работе [2]. Такой принцип шифрования информации позволит:

сократить объем передаваемых данных; при криптоанализе такой информации она будет обладать *столькими смыслами, сколько у нее корреспондентов.*

Возможно предусмотреть разрушение при попытке несанкционированного доступа, а также контекстно-зависимое шифрование.

Итак, несмотря на то что традиционно подобие такой системы выполняется в виде антивирусного контроля, предлагаемый подход более полный, так как позволяет контролировать не только исполняемый код, но и данные, а также то, каким пользователем и с какими привилегиями он обрабатывается.

Преимущества предлагаемого подхода.

1. Обеспечивается позиционная независимость прав доступа пользователя к информации.

2. Снимается проблема транспорта метки уровня секретности информации.

3. Снижается риск от человеческого фактора. Человек, выполняющий надзор за техническим состоянием объекта (так называемый администратор системы или сети) при таком подходе может быть лишен возможности вмешиваться в уровень безопасности информационных потоков в системе. Это свойство уникально и недостижимо в системах с ручным назначением меток или в системах, где возможен уровень доступа пользователя, эквивалентный ядру ОС.

4. Легко тиражируются правила доступа. В случае большой организации это правило может иметь очень значительный вес при решении вопроса о выборе той или иной модели безопасности. Например, проще написать набор правил для организации масштаба транснациональной корпорации и затем заниматься его простым тиражированием, чем вменять в обязанность администраторам системы назначать права доступа к файлам на тысячах компьютерах организации.

5. Возможен реальный лексический, а вероятно, и семантический контроль содержимого файла, а не его атрибутов.

6. Антивирусный контроль должен быть одной из задач, решаемых системой.

7. Шифрование правил доступа позволит снизить уровень информированности администратора системы о специфике решаемых пользователями задач.

8. Предлагаемый принцип позволит разделять полномочия администраторов безопасности и администраторов системы на два непересекающихся класса субъектов. Более того, класс администрато-

ров безопасности становится возможным разделить функционально на три вида администраторов:

- 1) администраторы политики управления метками;
- 2) администраторы политики назначения меток;
- 3) администраторы политики существования субъектов.

Каждый из этих видов администраторов имеет административные полномочия только в своем виде. Доступ к свойствам политик вне его сферы управления или ограничен до уровня чтения, или отсутствует.

Подобное разделение обязанностей хорошо тем, что ограничивает безраздельную власть администратора над безопасностью системы и снижает его уровень информированности до минимально необходимого для осуществления его полномочий, распространяя таким образом и на администраторов принцип предоставления минимальных полномочий в системе.

9. Метки безопасности могут инкапсулироваться в существующие транспортные протоколы, в том числе и в протоколы класса IP, и служить для управления уровнем безопасности сетевого трафика.

10. Возможно применение контекстно-зависимого шифрования потока информации.

11. Такая система безопасности будет обладать большей предсказуемостью поведения, так как все компоненты гарантированно имеют одинаковые настройки, т. е. система предсказуема на макроуровне.

12. Как следствие всех преимуществ – более высокий уровень безопасности системы.

Недостатки предлагаемого подхода.

1. Более высокие требования к производительности системы.

2. Необходимость описывать все информационные потоки и режимы доступа к ним настолько подробно, насколько это возможно, вплоть до допустимого содержания потоков.

3. Необходимость производить не только контроль содержимого, но и контроль информационных потоков.

4. Для снижения риска компрометации информации о решаемых в системе задачах необходимо подвергать шифрованию правила доступа при передаче и хранении.

5. В случае сети необходимо тиражировать правила доступа к информации по всему пути следования документа.

6. Метки для объектов не постоянны, что нарушает требования стандарта IEEE.

7. К сожалению, «макро» предсказуемость системы – это меч с двухсторонней заточкой, так как ее поведение предсказуемо не только для персонала кампании, но и для злоумышленников.

Это является еще одной причиной, по которой не рекомендуется применять такую систему в чистом виде, без других средств защиты.

Выводы

Политику безопасности целесообразно разделять на политику управления метками, политику управления доступом и политику существования субъекта.

Предлагается политика управления метками, использующая анализ содержимого файлов, памяти и сетевого трафика. Исходя из содержимого пользо-

вателям и группам пользователей автоматически предоставляются соответствующие права доступа.

В качестве модели политики управления доступом рекомендуется использовать модель Диона, так как она является одной из наиболее полных.

Предлагается политика существования субъекта, основанная на периодической проверке поведе-

ния субъекта и соответствия этого поведения заданным коридорам.

Политика управления метками и политика существования субъекта могут значительно повысить безопасность вычислительной системы в совокупности с моделью предоставления доступа Диона.

Литература

1. **Ерош И. Л.** Разграничение доступа к ресурсам в системах коллективного пользования // Информационно-управляющие системы. – 2003. – № 2–3. – С. 63–66.
2. **Ерош И. Л.** Защита информационных потоков в системах распределенного контроля и управления // Информационно-управляющие системы. – 2002. – № 1. – С. 40–46.
3. **Clark, D. D., Wilson, D. R.** A comparison of commercial and military computer security policies // Proceedings of the 1987 IEEE Symposium on Security and Privacy. May 1987. P. 184–194.
4. **Brewer D. F., Nash M. J.** The chinese wall security policy // IEEE Symposium on Security and Privacy. – 1989. – P. 51–68.
5. **Зегжда Д. П., Ивашко А. М.** Основы безопасности информационных систем. – М.: Горячая линия – Телеком, 2000. – 425 с.
6. **Dion L. C.** A complete protection model // Proceedings of the 1981 IEEE Symposium on Security and Privacy. – April 1981. – P. 49–55.
7. **Harrison M., Ruzzo W., Ulman J.** Protection in operating systems // Communication of the ACM. – 1976. – P. 28–37.
8. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-1-2002.** Методы и средства обеспечения безопасности информации. Критерии оценки безопасности информационных технологий. – Ч.1. Введение и общая модель. – М.: ИПК Изд-во стандартов. – 2002.
9. **Галатенко В. А.** Информационная безопасность – основы. <http://www.osp.ru/dbms/1996/01/49.htm>
10. **Trusted** extension of the FreeBSD operating system. <http://www.trustedbsd.org>
11. **Franklin M., Reiter M.** The design and implementation of a secure auction service // In Processing of the IEEE Symposium on Security and Privacy. – May 1995. – P. 2–14.
12. **McLean J.** Security models // Encyclopedia of software engineering. – 1994. – P. 246.
13. **Царегородцев А. В.** Информационная безопасность в распределенных управляющих системах: Монография. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – 217 с.
14. **Ravi S. Sandhu** The typed access matrix model // Proceeding of IEEE Symposium on Security and Privacy. – Oakland, California. – May 4–6, 1992. – P. 122–136.
15. **Семко Ю., Прохоров А.** Internet-отмычка для компьютера // Компьютер-пресс. – 2002 – № 3. – С. 38–41.
16. **ALTLinux** Castle. Общие сведения. <http://castle.altlinux.ru/White-Paper.html>

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЛИТЕХНИКА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ

Ляликов А. П.

Трактат об искусстве изобретать. – СПб.: Политехника, 2002. – 416 с.: ил.

В книге изложены основные аспекты — философский, исторический, психологический, системный и эвристический — важнейшей отрасли общечеловеческой культуры, которая является источником и основой бытия, личного и социального, — технического творчества.

Книга предназначена для широкого круга читателей: от учащихся и студентов до умудренных жизнью и размышлениями о ее сущности специалистов, собирающихся изобретать, уже изобретающих и даже совсем никогда и ничего не изобретавших.



УДК 338.24

РЕГИОНАЛЬНАЯ ПОЛИТИКА И УПРАВЛЕНИЕ ОТРАСЛЕВЫМИ ПРОМЫШЛЕННЫМИ СИСТЕМАМИ

Ю. Х. Лукманов,

канд. эконом. наук, доцент.

глава администрации Адмиралтейского района г. Санкт-Петербурга

Представлен критико-аналитический обзор методов и моделей управления отраслевой структурой промышленности. Проведен фактурный срез отраслевой промышленной системы Адмиралтейского района Санкт-Петербурга. Определены направления региональной политики и пути управления структурными формами экономики на этом уровне.

The paper contains an analytical review of the methods and models of management of the branch structure of industry. The structural analysis of the branches of industrial system of the Admiralty District of Saint-Petersburg has been carried out.

The developments of the regional policy have been defined and the ways of management of the structural forms of economy on this level settled.

Региональная политика и управление отраслевыми промышленными системами не только имеют важное значение в социально-экономическом развитии конкретного региона, но и обуславливают стратегические ориентиры и приоритеты регионов, с которыми связаны его отрасли. Несмотря на разброс мнений ученых относительно объекта и содержания промышленной политики в целом, ее можно определить как систему мероприятий по институциональному, отраслевому, территориальному и размерному регулированию промышленности в целях повышения ее социально-экономической эффективности. Из данного определения видно, что цель промышленной политики государства заключается не только в повышении экономической эффективности промышленного производства, но и в достижении некоторого социального оптимума (занятость, образование, пенсионное обеспечение и т. д.).

На рис. 1 видно, что одним из центральных направлений промышленной политики выступает отраслевая политика. Вместе с тем, это одна из наиболее дискуссионных составляющих государственного воздействия на индустриальную структуру. Мнения здесь варьируются от недопустимости вмешательства государства в рыночное формирование отраслевой структуры до необходимости такого воздействия. Так, М. Портер отмечает: «Существенное вмешательство государства в экономику имело место только в ряде отраслей промышленности, причем даже в Японии и Корее это вмешательство далеко не всегда приносило успех... Да и вообще во многих странах отрасли промышленности, наиболее сильно контролируемые государством, в большинстве случаев не имеют успеха на международном рынке»*.

Еще более радикален Е. Гайдар, который утверждает [2]: «...в быстрорастущих отраслях-лидерах роль

промышленной политики ограничена. Здесь изменения происходят слишком быстро, для поддержания конкурентоспособности важно сохранение интеграции в глобальный мир. Именно в передовых, высокотехнологичных отраслях на протяжении последних 50 лет снимались барьеры, здесь низкие тарифы, редко применяются антидемпинговые расследования, доминируют открытые рынки. Промышленная и вообще отраслевая политика сдвигается в область «заходящих» отраслей, тех, в которых наиболее развитые страны неконкурентоспособны. Более бедные страны могут производить ту же продукцию дешевле, чем страны-лидеры, в силу дешевизны такого фактора производства, как труд»**.

Действительно, опыт последних лет, особенно последствия азиатского кризиса, свидетельствует в пользу того, что патернализм в отношении национальной промышленной структуры оборачивается неустойчивостью, слабостью перед «хаосом» мирового рынка, где государству в любом случае не может сравниться в гибкости и адекватности реакции на неблагоприятные условия с «невидимой рукой» рынка.

Отраслевая политика включает в себя *отраслевое «нацеливание»* и стратегическое управление *отраслевой структурой*. Так как объектом управления отраслевой структурой является не отдельная отрасль, а промышленная структура в целом, включая все многообразие межотраслевого взаимодействия, «наце-

*Портер М. Международная конкуренция. – М.: Международные отношения, 1993. – С. 22.

**Гайдар Е. Восстановительный рост и некоторые особенности современной экономической ситуации в России. <http://www.iet.ru/personal/gaidar/vostrost.htm>



■ Рис. 1. Основные направления государственной промышленной политики



■ Рис. 2. Задачи управления отраслевой структурой

ливание», базирующееся преимущественно на государственных субсидиях и отраслевом протекционизме, приносит ожидаемый эффект в кризисных ситуациях, когда нельзя обойтись без государственной поддержки отдельных отраслей, обладающих потенциалом развития. Здесь задачи государства, как одного из основных агентов проведения промышленной политики, являются гораздо более широкими, нежели поддержка отдельных отраслей, учитывающими стратегические перспективы развития каждого сектора производства, их влияние друг на друга, необходимость поддержания сбалансированности индустриального комплекса и т. д.

Задачи такой степени сложности требуют привлечения достаточно нестандартных и долговременных инструментов влияния на промышленность, например, *инструментария стратегического планирования*, успешно используемого в условиях рыночной экономики как на микроуровне – уровне района, отдельной корпорации, предприятия, так и в целях регионального, отраслевого развития [3].

Наиболее очевидным параметром измерения отраслевой структуры является удельный вес отраслей в промышленном производстве (по объемам производства, величине добавленной стоимости, численности работающих, стоимости основных производственных фондов и т. д.). Систему задач управления отраслевой структурой промышленности можно представить в следующем виде (рис. 2).

Отметим, что под «базовой» понимается отрасль, имеющая наибольший удельный вес в промышленной структуре региона [3]. Иными словами: «Базовая отрасль – это отрасль, лидирующая по объемам выпуска продукции, способности создавать рабочие места и генерировать инвестиции в государстве и регионе. Кроме того, базовая отрасль способна создавать вокруг себя мощную инфраструктуру»*.

Механизм решения группы задач, составляющих комплекс управления отраслевой промышленной структурой региона, достаточно сложен. Например, экономический рост может происходить без значительного повышения уровня жизни населения, особенно если ставится задача повышения доли накопления в ущерб доли потребления. Аналогично, при экономическом росте может не происходить качественной перестройки хозяйственной системы, создания дол-

* Кураков Л. Российская экономика: состояние и перспективы. – М.: Логос, 1998. – С. 327.

госрочных конкурентных преимуществ, особенно если он обусловлен исключительно внешними факторами – конъюнктурой мировых сырьевых рынков, например.

Поэтому важно соблюдать принципы государственного структурного регулирования. К ним прежде всего можно отнести:

- целенаправленность;
- многоприоритетность;
- системность;
- гибкость;
- объективность.

Целенаправленность управления отраслевой структурой региональной промышленности означает наличие четких целевых ориентиров структурно-отраслевого регулирования, что одновременно задает критерии эффективности проводимой государственной политики.

Многоприоритетность отражает взаимосвязанный, комплексный характер современной индустриальной структуры, в результате чего при стратегическом планировании отраслевой структуры промышленности нельзя акцентироваться лишь на одной приоритетной отрасли. Здесь необходимо руководствоваться принципом поликритериальности, когда выбор отраслевых приоритетов происходит по определенному набору значимых критериев – высокий экспортный потенциал, наличие потенциально конкурентоспособных производств, роль в бюджетообразующих доходах региона, социальная значимость.

Системность управления отраслевой структурой требует скоординированности различных отраслевых программ, а также программ в области стимулирования внешнеэкономической деятельности, занятости, информатизации и т. д. Системность предполагает обязательное соответствие всех отраслевых программ установленным целям и приоритетам промышленной политики в целом, а также наличие соответствующего финансирования. Для этого может потребоваться перестройка отдельных органов государственной власти, которые должны иметь полномочия для комплексной реализации задачи отраслевого управления.

Гибкость управления отраслевой структурой требует возможности оперативно реагировать на различные изменения внешней среды и осуществлять соответствующую корректировку проводимой политики.

Объективность означает реализацию отраслевой политики на основе научно обоснованных критериев, что позволяет значительно нивелировать влияние на нее субъективных, лоббистских интересов.

Учитывая все это, необходимо отметить важность использования в процессе управления отраслевой промышленной структурой комплексных методов ее анализа и прогнозирования.

Одним из таких методов, имеющих в том числе и прикладной характер, является *межотраслевой баланс*. Создатель данного метода В. Леонтьев определяет его сущность так [4]: «Межотраслевой анализ – это метод систематической квантификации взаимосвязей между различными секторами сложной экономической системы. ... Структура производственного процесса в каждом секторе представляется определенным вектором структурных коэффициентов, который количественно характеризует связь между затратами этого сектора и результатами его деятельности. Взаимозависимость между

секторами рассматриваемой экономики описывается системой линейных уравнений, выражающих балансы между совокупными затратами и агрегированным выпуском каждого продукта и услуг, производимых и используемых в течение одного или нескольких промежутков времени.

Соответственно технологическая структура системы в целом может быть представлена матрицей технологических коэффициентов «затраты-выпуск» всех ее секторов»*.

Данный метод позволяет проводить комплексный, разносторонний экономический анализ и прогнозировать структурные пропорции хозяйственной системы, что в полной мере отражает потребности адекватного осуществления промышленной политики.

С помощью метода межотраслевого баланса можно решать достаточно широкий круг задач, среди которых выделяют следующие:

- прогнозирование отраслевой структуры;
- оптимизация структуры внешней торговли;
- анализ и прогнозирование отраслевых потоков между различными региональными группами и Федерацией в целом и т. д.

Однако, несмотря на универсальность данного метода анализа отраслевой структуры, в современных условиях трансформационной экономики его реализация на практике сталкивается с серьезными проблемами. Прежде всего, это касается необходимости сбора детализированной информации о межотраслевых потоках, отраслевом экспорте и импорте, конечном потреблении продукции отдельных отраслей, структуре их добавленной стоимости и т. д. При этом необходимо учитывать значительные отраслевые сдвиги в хозяйственной системе. Что приводит к тому, что коэффициенты прямых и полных затрат становятся явно зависимыми от времени, хотя в классической модели предполагается их стабильность. На региональном уровне эффективная реализация метода межотраслевого анализа осложняется необходимостью сбора информации не только о межотраслевых, но и межрегиональных материальных потоках. Последнее в современных условиях организации органов региональной статистики представляется осуществимым с достаточным уровнем точности лишь по многочисленным товарным группам, определяющим приблизительно 80–90 % всех товарных потоков региона.

Если рассматривать зарубежный опыт создания теории структурного анализа хозяйственной системы, то можно указать на методологию кластерного анализа отраслевой структуры, разработанную М. Портером, где «... важная роль отводится фактору спроса и вертикальным отношениям между отраслями в стимулировании конкурентного преимущества»**. В рамках данной модели выделяются три большие группы отраслей, включающие целый ряд кластеров:

- 1) отрасли, осуществляющие поставки другим отраслям (материалы и металлы, лесоматериалы, нефтепродукты и химикаты, полупроводники и компьютеры);

* Леонтьев В. Межотраслевая экономика. – М.: Экономика, 1997. – С. 22.

** Портер М. Международная конкуренция. – М.: Международные отношения, 1993. – С. 315.

2) индустриальные и поддерживающие отрасли (транспорт, производство и передача энергии, телекоммуникации, оборона и др.);

3) отрасли, производящие товары и услуги конечного использования (пищевые продукты и напитки, текстиль и одежда, жилищное строительство и бытовые товары и др.).

Каждый из отраслевых кластеров состоит из ряда отраслей, выпускающих близкую по функциональному назначению продукцию или отличающихся сходством технологических процессов, лежащих в основе производства. Сбалансированное развитие отраслевого кластера на основе выпуска конкурентоспособной продукции достигается за счет четырех базовых факторов:

1) факторные условия, т. е. имеющиеся у отрасли материальные, трудовые, инновационные и иные ресурсы;

2) параметры спроса;

3) стратегия, структура и соперничество фирм;

4) наличие родственных и поддерживающих отраслей.

По мнению М. Портера, государственное регулирование носит вторичный характер по сравнению с действием рыночных сил.

Применительно к российским условиям в настоящее время существуют различные подходы к управлению отраслевой структурой как на уровне региона, так и Федерации в целом. Так, по мнению Д. Львова, отраслевая структура российской экономики может быть представлена в виде двухсекторной модели, где в одном из секторов сосредоточены природные ресурсы, имеющие спрос на мировом рынке и поэтому обладающие определенной конкурентоспособностью (ее степень определяется в основном конъюнктурой самого мирового рынка и мало зависит от эндогенных факторов), а в другом – военно-технический потенциал страны с сопутствующими ему новейшими технологиями [6]. В условиях дефицитной экономики данные секторы дополняли друг друга, так как за счет низкого уровня внутренних цен на ресурсы и сырьевого экспорта финансировались программы ВПК. При переходе к рынку связи между секторами были разорваны, что привело к технологическому упадку хозяйственной системы.

Соответственно, одним из важнейших направлений структурной промышленной политики является снижение ресурсоемкости в технологичных отраслях, что позволит адаптировать их к современным требованиям рынка.

Еще одним методом решения проблем структурной политики российской экономики может стать «модернизационный скачок», концепцию которого предлагает А. Нестеренко [5]. Согласно данной концепции, постепенное, эволюционное совершенствование отраслевой промышленной структуры, например на базе ресурсосбережения, не отвечает сегодняшним реалиям рыночных экономик. В основе модернизации экономики западных стран лежит не наращивание объемов производства, выпуска отдельных групп товаров, а внедрение новых гибких технологий на основе программно-информационных элементов.

А. Нестеренко предлагает осуществить революционную модернизацию отраслевой структуры промышленности на основе приоритетного развития высокотехнологичных отраслей. В качестве крите-

риев приоритетности могут выступать уровень инновационности развития предприятия или отрасли, доля затрат на НИОКР в себестоимости продукции, коэффициент обновления ассортимента в направлении роста объемов выпуска наукоемкой продукции и т. д. Ресурсы, направляемые в приоритетные отрасли, соответственно изымаются у традиционных, менее технологичных отраслей.

В условиях ограниченности возможностей государства поддерживать отраслевое развитие капиталовложениями и кредитами предлагается также шире использовать возможности альтернативных средств промышленной политики – нетарифные ограничения импорта, переговоры для достижения компромиссных решений и т. п. [7]. Вместе с тем, встает вопрос определения приоритетов отраслевого развития, выделения тех производств, которым должно быть отдано предпочтение в оказании государственной поддержки, протекционистской защиты, как это предлагается во всех перечисленных концепциях. Здесь также существует достаточное количество теоретических разработок.

Так, А. Авдиенко предлагает выделить следующие группы отраслевых приоритетов [1]:

производства, ориентированные на выпуск импортозамещающей продукции, включая промежуточную;

производства, ориентированные на выпуск конкурентоспособной продукции;

производства, на продукцию которых в течение длительного времени будет сохраняться повышенный спрос;

предприятия, осваивающие выпуск новых видов продукции или продукции более высокого качества; производственная и социальная инфраструктура.

Рассмотрим возможность осуществления региональной политики и управления отраслевыми промышленными системами применительно к такой административной единице, как Адмиралтейский район Санкт-Петербурга.

Адмиралтейский административный район принадлежит к староосвоенной территории Санкт-Петербурга, заселение которого издавна стимулировалось развитием производственной деятельности, где промышленности принадлежала определяющая роль. Облик индустрии района, сложившийся на сегодняшний день, сформирован старыми предприятиями, основанными сто и более лет тому назад, развивавшимися и расширявшимися по своим законам. Параллельно с развитием промышленных предприятий, в соответствии с требованиями времени, происходило формирование и рост достаточно многочисленных и разнопрофильных научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций. Они взаимодействовали с предприятиями района, производственными объектами Санкт-Петербурга и России в целом, обеспечивая весомый вклад в результаты деятельности хозяйства города и страны. Эти организации в совокупности с индустриальными предприятиями образуют основную составляющую хозяйственного комплекса территории, в значительной степени определяя масштабы занятости и долю экономического вклада района в достижения города и региона в целом.

По объему производства промышленной продукции Адмиралтейский административный район занимает седьмое место в городе, по объему инвестиций в основной капитал — второе. В районе функ-

■ Таблица 1. Экономическое развитие района

№ п/п	Показатели	Годы		Индекс промышленного производства в % к предыдущему году
		2002	2003	
1	Выпуск товаров и услуг всего (млн руб)	342851,8	39609,2	116,0
1.1	Промышленность, в целом	10880,5	11530,8	106,0
	пищевая;	4580,0	4717,5	103,0
	молочная;	1919,5	2499,0	130,0
	целлюлозно-бумажная, деревообрабатывающая;	995,0	1009,1	101,0
	швейная;	632,6	774,7	122,0
	обработка цветных металлов	620,0	662,7	107,0
1.2	Транспорт, в целом	7343,6	7552,2	103,0
	сухопутный;	3980,0	4014,7	101,0
	водный	3363,6	3537,5	105,0
2	Численность работающих в районе, тыс. чел.	145,6	138,4	95,0

ционируют более 31 тыс. предприятий различных форм собственности, в том числе 49 крупных с численностью работающих от 600 до 5000 человек.

Из табл. 1 и 2 видно, что «базовыми» отраслями района являются пищевая промышленность, целлюлозная промышленность и машиностроение.

Пищевая промышленность Адмиралтейского административного района даже в сложных условиях современных реформ показала свою жизнеспособность и устойчивость развития. Прежде всего, это связано с тем, что руководство предприятий грамотно решило вопросы модернизации оборудования, привлечения инвестиций, правильно оценило нишу сво-

их интересов на отраслевом рынке, не упустило из виду развитие социальной среды для своих сотрудников, постоянно осуществляет маркетинг выпускаемой продукции. По статистике, подавляющая часть средне-семейных расходов населения Санкт-Петербурга и России в целом (45 – 50 %) приходится на продовольственные товары. Это создает весьма выигрышные экономические условия для расширения производственной деятельности, чего не имеет большинство других отраслей, ориентированных на внутренний рынок.

Весомое место в пищевой промышленности района занимает ОАО «Пекарь» – один из крупнейших изготовителей разнообразной хлебопекарной продукции как в городе, так и за его пределами.

Значительная часть городского и областного рынка соответствующих видов молочной продукции формируется продукцией ОАО «Петмол». По сути, данное предприятие в настоящее время выступает в роли вертикально интегрированного холдинга, включающего в свой состав не только собственно производство конечной продукции, но и ряд сельскохозяйственных производителей необходимого сырья.

Весомую роль в хозяйственном комплексе района и всего города играют относимые государственной статистикой к пищевой промышленности производители пива и табачных изделий. Здесь в первую очередь выделяются ЗАО «Комбинат им. Степана Разина» и ЗАО «Нево Табак». Хотя, по большому счету, названные предприятия (особенно второе из них) ориентированы не на удовлетворение спроса в пище, а на утоление человеческих пороков, они тем не менее были и остаются неизбежными компонентами экономики.

Наиболее значимым представителем промышленной индустрии является ФГУП «Адмиралтейские верфи». Наряду с остальными судостроительными предприятиями Санкт-Петербурга «Адмиралтейские верфи» способны строить суда водоизмещением 40-60 тыс. т. для использования не только в оборонных, но и в гражданских целях.

■ Таблица 2. Отраслевая структура предприятий

№ п/п	Отрасли	Удельный вес отрасли в налогооблагаемой базе, %	Удельный вес отрасли в общей численности предприятий, %	Удельный вес отрасли в общей численности занятых, %	Удельный вес отрасли в совокупном доходе предприятий, %
1	Пищевая промышленность	49	6	56	48
2	Общественное питание	1	12	1	1,1
3	Аптеки	1	9	0	0,7
4	Оптовая торговля	0	6	0	0,3
5	Розничная торговля	3	22	1	2,8
6	Нефтехимическая промышленность	1	4	2	1,3
7	Швейная промышленность	7	4	7	7,5
8	Проектные и научно-исследовательские организации	6	17	3	5,6
9	Машиностроение	14	8	10	14,5
10	Компрессорная и целлюлозно-бумажная промышленность	16	6	19	15,9
11	Цветная металлургия и другие отрасли	2	6	1	2,2

Остальные предприятия машиностроения и металлообработки имеют несколько меньшие масштабы производства, хотя и изготавливают довольно широкий спектр продукции, потенциал спроса на которую определяется многими обстоятельствами и, прежде всего, характером и структурой экономического роста народного хозяйства страны.

Несомненно тот факт, что для развивающейся экономики России понадобится продукция точного приборостроения, машиностроения для легкой и пищевой промышленности, производителей санитарно-технического и газового оборудования, а также многого другого, что изготавливается на соответствующих предприятиях Адмиралтейского района. Определенная их часть при надлежащих условиях имеет возможность расширить производство высокотехнологичных изделий с повышенным уровнем добавленной стоимости и взять на себя роль так называемых точек роста, используя, например, имеющиеся наработки в сфере ВПК в отношении продукции двойного применения.

Легкая промышленность Адмиралтейского района представлена группой предприятий, занятых удовлетворением рыночного спроса на разнообразные текстильные, швейные и кожевенные товары. Среди них ЗАО «Первомайская заря» и АООТ «Советская звезда», входящие в число 600 крупных и средних производственных объектов Санкт-Петербурга, образующих основу промышленности города. Спад производства в 90-х годах здесь оказался наиболее значительным по сравнению с его масштабами в остальных отраслях индустрии Санкт-Петербурга. Это привело к возникновению целого ряда сложных, прежде всего сырьевых и бытовых, проблем, разрешением которых с различной долей успеха занимается менеджмент соответствующих производителей. Позитивные результаты их деятельности во многом предопределяются умением противостоять более дешевому и часто менее качественному импорту, а также ростом покупательной способности населения — основного потребителя соответствующего круга изделий.

До недавнего времени существенную роль в промышленности Адмиралтейского административного района играли предприятия нефтехимической промышленности и прежде всего ОАО «Красный треугольник» — основной производитель резинотехнических изделий в городе. Под воздействием целого ряда экономических, организационных и территориально-экологических обстоятельств произошло свертывание его производственной деятельности. Возникающие при этом потери в объемах продаж вряд ли могут быть возмещены остающимися объектами отрасли. Но это служит наглядным примером отраслевой региональной политики «нацеливания».

Но не только инвестиции предопределяют дальнейшее успешное развитие индустрии района в перспективном периоде. Наиболее высокотехнологичные и наукоемкие предприятия начинают испытывать недостаток в высококвалифицированной рабочей силе. За время реформ данной проблеме вообще не уделялось достойного внимания. В результате все

чаще имеют место случаи, когда на те или иные виды изделий имеется неудовлетворенный рыночный спрос и есть потенциальный изготовитель таких изделий, но он не может решить возникающую задачу из-за нехватки рабочей силы необходимой квалификации.

В последние годы в Адмиралтейском административном районе отмечались самые высокие в городе темпы роста средней заработной платы. Ее размер (9,6 тыс. руб.) значительно превышает средний показатель по городу (8,3 тыс. руб.).

Современное соотношение и приоритет функций Адмиралтейского района в большой степени сложились под влиянием внешних факторов развития. Положительные тенденции динамики внешних факторов и последовательность политики района в достижении равновесного развития промышленной системы и высоких стандартов качества жизни населения города предопределяют в перспективе неизбежность и закономерность изменения приоритетности функций. Для согласования общей региональной политики города и его районов и повышения эффективности управления со стороны администраций районов необходимо изменение бюджетного статуса административных районов города и желательно превращение их в субъекты межбюджетных отношений.

Это поможет осуществить генеральную цель — формирование социально ориентированной рыночной экономики, отраженную в Конституции Российской Федерации (ст. 7, п. 1).

Литература

1. **Авдиенко А. П.** Выбор приоритетных сфер капиталовложений // Социально-экономические проблемы становления и развития рыночной экономики. — Казань, 2000. — С. 108–109.
2. **Гайдар Е. Т.** Восстановительный рост и некоторые особенности современной экономической ситуации в России. <http://www.iet.ru/personal/gaidar/vostrost.htm>
3. **Кураков Л. П.** Российская экономика: состояние и перспективы. — М.: Логос, 1998. — 576 с.
4. **Леонтьев В. В.** Межотраслевая экономика. М.: Экономика, 1997. — С. 44–95.
5. **Нестеренко А. Н.** Переходный период закончился: Что дальше? // Вопросы экономики. — 2000. — № 6. — С. 16–17
6. **Львов Д. Ф.** Экономика России, свободная от стереотипов монетаризма // Вопросы экономики. — 2000. — № 2. — С. 106–108
7. **Портер М.** Международная конкуренция. — М.: Международные отношения, 1993. — 896 с.
8. **Яременко Ю. В.** Структурные изменения в социалистической экономике. — М.: Мысль, 1981. — 303 с.
9. **Strategic Planning for Economic Development. Moving Beyond The Overall Economic Development Program.** EDA, CFED, Washington, DC, 1999. — 62 p.
10. **Science and Technology Strategic Planning. Creating Economic Opportunity.** EDA, SSTI, 1998. — 82 p.

«ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ ПО ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКЕ»

Прежде всего, хотелось бы поблагодарить коллектив авторов и сотрудников издательства за эту, безусловно, полезную и своевременную книгу. Эта работа восполняет пробел, образовавшийся за последние десять лет в области технической литературы по целому ряду вопросов: физическим принципам, используемым при конструировании элементов электронной техники, СВЧ-устройствам, ряду общесистемных понятий и т. п.

В таком многоплановом труде, естественно, не сложно найти недостатки. Изложенные здесь замечания следует трактовать как доброжелательные пожелания для следующих переизданий словаря с целью его улучшения.

Представляется полезным указать на необходимость введения английского перевода используемых терминов. С одной стороны, для автора соответствующего раздела, специалиста в данной области, это не должно представлять каких-либо серьезных затруднений. С другой стороны, неспециалистам, которым и адресуется рецензируемое издание, такая помощь крайне полезна по целому ряду причин. Главная из них,

конечно же, заключается в том, что базовый вектор развития элементов электронной техники в настоящее время формируется в США, и английский язык, де факто, стал своеобразным электронным эсперанто, поддерживаемым бурным развитием компьютерных сетей.

Можно отметить использование ряда архаизмов. Например, в статье «Кибернетика экономическая» использован термин «народное хозяйство», в статье «Порт» существенно заужено значение термина «Порт» до «точки подключения устройства» и т. п.

Целесообразно впоследствии расширить разделы, относящиеся к современной элементной базе: микропроцессоры, коммуникационные элементы, системы тактирования, а также ввести новые разделы, касающиеся современного технологического оборудования.

В заключение хочется, тем не менее, еще раз порекомендовать эту книгу разработчикам, преподавателям, аспирантам и студентам в качестве необходимой составляющей их профессиональной библиотеки.

Канд. техн. наук,
А. М. Астапкович

Соложенцев Е. Д.

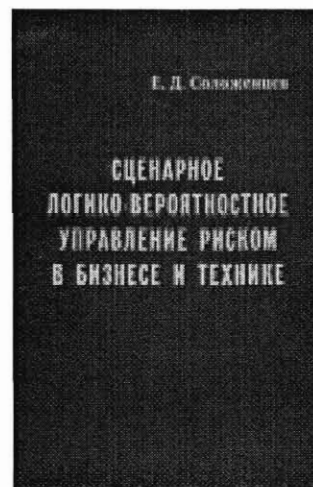
Сценарное логико-вероятностное управление риском в бизнесе и технике.
СПб.: Изд. дом «Бизнес-пресса», 2004 (420 с., рис. – 70, табл. – 40, лит. – 118 наим.)

Рассмотрены методологические аспекты сценарного логико-вероятностного (ЛВ) управления риском неуспеха, следующие из анализа связей управления и риска, персонала и риска, а также управления риском на стадиях проектирования, испытаний и эксплуатации экономических и технических систем.

Изложены теоретические основы сценарного ЛВ-управления риском в бизнесе и технике, включающие в себя ЛВ-исчисление, ЛВ-методы, методологию и технологию автоматизированного структурно-логического моделирования, ЛВ-теорию риска с группами несовместных событий (ГНС). Описаны методики для сценарного ЛВ-управления риском в проблемах классификации, инвестирования и эффективности с произвольными распределениями случайных событий.

Приведены ЛВ-модели риска и результаты компьютерных исследований для кредитных рисков, риска мошенничества в бизнесе, риска портфеля ценных бумаг, риска потери качества и эффективности, и надежности систем со многими состояниями элементов. Рассматривается большое число новых задач оценки, анализа и управления риском. ЛВ-модели риска показали почти вдвое большую точность и в семь раз большую робастность, чем известные модели риска. Описаны программные средства для решения задач риска на основе ЛВ-методов, ЛВ-теории с ГНС и алгебры кортежей.

Книга предназначена для специалистов в области риска экономических, технических и организационных систем, для решения задач риска в проблемах классификации, инвестиций и эффективности, а также для студентов и аспирантов соответствующих университетов.



7-я Международная конференция «Компьютерная алгебра и научные вычисления»

С 12 по 19 июля на базе Международного математического института им. Эйлера, Санкт-Петербург, Россия состоится 7-я Международная конференция «Компьютерная алгебра и научные вычисления».

Организаторами конференции являются факультет информатики Технического университета, Мюнхен, Германия, и Международный математический институт им. Эйлера, Санкт-Петербург, Россия.

Предполагается обсуждение следующих проблем:

- точные и приближенные вычисления;
- численное моделирование с использованием систем компьютерной алгебры;
- параллельные символично-численные вычисления;
- символично-численные методы для дифференциальных и дифференциально-алгебраических уравнений;
- алгебраические методы в геометрическом моделировании;
- символичные и численные вычисления в системном проектировании и моделировании;

- компьютерная алгебра в промышленности;
- решение естественно-научных задач;
- языки программирования компьютерной алгебры и др.

Конференция предоставляет возможность творческого общения ученым и инженерам различных направлений, таких как математика, информатика, численный анализ, промышленность и др.

В работе конференции примут участие ведущие ученые России, Германии, Японии, Франции, Испании и др. стран.

Часть конференции – с 13 по 17 июля – планируется провести на теплоходе с посещением о. Валаам и музея под открытым небом Киж.

Дополнительная информация на сайтах:
www.pdmi.ras.ru/EIMI/ и
www.mayr.in.tum.de/CAS2004,
 e-mail: casc2004@in.tum.de

7-я Международная конференция «Распознавание образов и анализ изображений: новые информационные технологии» РОАИ–7–2004

С 17 по 23 октября 2004 г. на базе Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» проводится 7-я Международная конференция «Распознавание образов и анализ изображений: новые информационные технологии» РОАИ-7-2004.

Организаторами конференции являются Международная ассоциация по распознаванию образов (IAPR) и Российская академия наук.

В рамках конференции предусмотрено проведение:

- международного симпозиума «Телевидение: передача и обработка изображений»;
- выставки «Программные и аппаратные средства перспективных информационных технологий распознавания образов и анализа изображений»;
- заседания Технического комитета TC16 IAPR «Алгебраические методы и методы дискретной математики в распознавании образов и анализе изображений»;

– координационного совещания «Перспективные информационные технологии в анализе изображений и распознавании образов»;

– 6-го съезда Российской общественной организации «Ассоциация распознавания образов и анализа изображений».

Целью конференции и сопутствующих ей мероприятий является обмен результатами фундаментальных и прикладных исследований и оценка конъюнктуры и тенденций рынка программно-аппаратных средств в этой интенсивно развивающейся области информатики.

Предполагается широкое участие в конференции ведущих ученых из России, Германии, Англии, США и др. стран.

Дополнительная информация на сайте
www.eltech.ru/pria2004

**АСТРАТОВ
Олег
Семенович**



Профессор Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. В 1962 году окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения. В 1973 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором более 100 научных публикаций. Область научных интересов – прикладные телевизионные- и видеосистемы, цифровая обработка видеоизображений.

**БЕСТУГИН
Александр
Роальдович**



Доцент кафедры прикладной математики Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. В 1982 году окончил математико-механический факультет Ленинградского государственного университета им. А. А. Жданова. В 2000 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором более 50 научных трудов и соавтором одной монографии. Область научных интересов – системы управления и связи.

**БОГДАНОВА
Алевтина
Федоровна**



Научный сотрудник Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского. В 1971 году окончила Ленинградский электротехнический институт имени В. И. Ульянова (Ленина). В 2003 году защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором более 70 научных публикаций. Область научных интересов – анализ и синтез телекоммуникационных сетей.

**ВИЛЕСОВ
Леонид
Дмитриевич**



Доцент Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. В 1961 году окончил Уральский политехнический университет. В 1969 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором 56 научных публикаций. Область научных интересов – статистическая обработка сигналов и изображений.

**КРАСИЛЬНИКОВ
Николай
Николаевич**



Профессор Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, заслуженный деятель науки и техники РФ. В 1950 г. окончил Ленинградский политехнический институт по специальности "Техническая физика". В 1963 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Является автором более 170 научных публикаций, в том числе пяти монографий. Область научных интересов – теория передачи и восприятия изображений, математическое моделирование процессов обработки информации зрительной системой человека.

**ЛУКМАНОВ
Юнис
Халитович**



Глава территориального управления Адмиралтейского административного района города Санкт-Петербурга. Доцент экономического факультета Санкт-Петербургского государственного университета. Почетный строитель РФ. В 1982 году окончил Ленинградский инженерно-строительный институт, в 1995 году – Санкт-Петербургский государственный университет, в 1996 году – Международную академию предпринимательства. В 1998 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата экономических наук. Является автором 16 научных публикаций, в том числе 1 монографии. Область научных интересов – управление инвестиционными процессами.

**ОБУХОВА
Наталья
Александровна**



Доцент Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

В 1991 году окончила Ленинградский электротехнический институт имени В. И. Ульянова (Ленина).

В 1996 защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором более 30 научных публикаций.

Область научных интересов – системы и методы видеонаблюдения, обработка изображений с целью сегментации, сопровождения и классификации подвижных объектов.

**ПОДКОРЫТОВ
Дмитрий
Александрович**



Старший преподаватель кафедры "Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем" Курганского государственного университета.

Аспирант кафедры вычислительных систем и сетей Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

В 1988 году окончил Курганский машиностроительный институт (КМИ).

Является автором 5 научных публикаций.

Область научных интересов – сетевые протоколы и сетевые операционные системы, системы распределенных вычислений, дискретная математика, защита информации, системы искусственного интеллекта, языки программирования.

**СТОГОВ
Генрих
Владимирович**



Профессор Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

В 1957 году окончил Ленинградскую Военно-воздушную инженерную академию имени А. Ф. Можайского.

В 1972 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук.

Является автором более 300 научных и учебно-методических трудов.

Область научных интересов – обработка сигналов и сложных систем.

**ТИМОФЕЕВ
Борис
Семенович**



Заведующий кафедрой радиопередающих и телевизионных систем Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

В 1959 году закончил Ленинградский институт авиационного приборостроения.

В 1987 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук.

Является автором более 150 научных публикаций.

Область научных интересов – разработка и исследование автоматизированных телевизионных комплексов различного назначения на базе микроЭВМ и персональных компьютеров.

**ФИЛАТОВ
Владимир
Николаевич**



Доцент Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

В 1971 году окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения.

В 1985 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Является автором 20 научных публикаций.

Имеет 34 авторских свидетельства на изобретения, из которых 9 были внедрены в народном хозяйстве.

Сфера научных интересов – прикладные видеосистемы, системы технического зрения, цифровая обработка сигналов и изображений.

**ЧЕРНЫШОВА
Надежда
Валерьевна**



Аспирантка Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

В 2000 году окончила ГУАП.

Является автором 4 научных публикаций.

Область научных интересов – цифровая обработка изображений, выделение подвижных объектов на изображении.

УДК 621.397.13

Системы видеонаблюдения железнодорожных составов

Тимофеев Б. С. – Информационно-управляющие системы, 2004. – № 1. – С. 2–9.

Рассмотрена структура и сформулированы задачи для видеокомпьютерной системы коммерческого осмотра железнодорожных составов. Даны результаты моделирования методов измерения скорости движения состава. Обсуждена программа оптимизации режима видеокamеры. Предложен метод синтеза изображения вагонов состава на экране компьютера. Рассмотрены алгоритмы определения порядкового номера и счета вагонов в железнодорожном составе.

Список лит.: 7 назв.

УДК 621.8

Методы увеличения степени сжатия изображений электропийными кодерами

Красильников Н. Н. – Информационно-управляющие системы, 2004. – № 1. – С. 10–13.

В статье рассмотрены перспективы применения предварительного разделения изображений на контексты при их сжатии энтропийными кодерами. Выполненные эксперименты показали, что применение такого подхода дает ощутимый выигрыш, обеспечивая дополнительное сжатие изображений. Сформулированы направления дальнейших исследований.

Список лит.: 8 назв.

УДК 621.397.6:502.55(203):629

Видеомониторинг транспортных потоков

Астратов О. С., Филатов В. Н., Чернышова Н. В. – Информационно-управляющие системы, 2004. – № 1. – С. 14–21.

Рассмотрены вопросы организации мониторинга дорожного движения. Дана сравнительная характеристика детекторов транспорта, описаны особенности наблюдения и контроля за транспортными потоками с помощью видеодетектора транспорта, предложена структура поста видеомониторинга. Приведены алгоритмы цифровой обработки видеоизображений, использованные для оценки параметров транспортных средств и потоков на автомагистралях. Реализуемость и работоспособность алгоритмов подтверждается экспериментальными результатами.

Список лит.: 8 назв.

УДК 621.397.13

Video monitoring systems for trains

Timofeev B. S. – IUS, 2004. – N 1. – P. 2–9.

The structure is considered and the tasks for a video of a computer system of commercial inspection of trains are formulated. The outcomes of simulation of methods of measurement of speed of motion of a structure are given. The program of optimization of a mode of the video camera argued. The method of picture synthesis of coaches of a structure on a screen of the computer is offered. The algorithms of definition of a serial number and score of coaches in the train are considered.

Refs: 7 titles.

УДК 621.8

Methods of increase in rate of image compression by entropy encoders.

Krasilnikov N. N. – IUS, 2004. – N 1. – P. 10–13.

In this paper some perspectives of application of preliminary contexts separation methods in images compression with use of entropy encoders are considered. Performed experiments demonstrated that such an approach leads to essential effect providing additional compression of images. The directions of further investigations are formulated.

Refs: 8 titles.

УДК 621.397.6:502.55(203):629

TVideo monitoring of traffic flows

Astratov O. S., Filatov V. N., Chernyshova N. V., – IUS, 2004. – N 1. – P. 14–21.

The questions of organization of monitoring of road movement are considered. The comparative characteristic of detectors of transport is given, the features of supervision and control of transport flows with the help of the video detector of transport are described, the structure of a post of video monitoring is offered. The algorithms of digital processing of the video images used for an estimation of parameters of vehicles and flows on highways are given. The realizability and serviceability of algorithms proves to be true by experimental results.

Refs: 8 titles.

УДК 621.383.3

Обнаружение-измерение параметров объектов на изображении

Вилесов Л. Д. – Информационно-управляющие системы, 2004. – № 1. – С. 22–29.

Рассматривается работа ТВ-системы на пороге ее чувствительности, связанная с наблюдением сигналов от объектов на фоне помех и принятием соответствующих решений и оценок. Помехи заданы статистически, а параметры сигналов неизвестны и являются для наблюдателя ТВ-системы случайными. В таких условиях для решения задачи обнаружения-измерения параметров объектов используется теория статистических решений, включающая в себя проверку гипотез и оценку параметров.

Список лит.: 13 назв.

УДК 621.397

Обнаружение и сопровождение движущихся объектов методом сопоставления блоков

Обухова Н. А. – Информационно-управляющие системы, 2004. – № 1. – С. 30–37.

Описан подход к обнаружению и сопровождению движущихся объектов на основе метода сопоставления блоков, применяемого в стандартах видеокодирования: MPEG 1-2 и H. 261/262/263. Приведены алгоритмы сегментации объектов по признакам пространственной и временной корреляции и их дальнейшего сопровождения. Проанализированы причины возникновения аномальных векторов движения и предложены пути, уменьшающие их число: предварительная классификация блоков и медианная фильтрация полученного поля векторов. Рассмотрена адаптация предложенных алгоритмов для сегментации и сопровождения малоразмерных объектов, обладающих медленным движением.

Список лит.: 14 назв.

УДК 621.391.28:518.5

Оценивание фрактальной размерности

Бестугин А. Р., Богданова А. Ф., Стогов Г. В. – Информационно-управляющие системы, 2004. – № 1. – С. 10–13.

В статье исследуются закономерности, характеризующие «самоподобные» процессы передачи информации в телекоммуникационных сетях. Полное описание сетевого трафика в целях управления трафиком и перегрузкой требует понимания его динамической природы, одной из характеристик которой служит фрактальная размерность.

Список лит.: 5 назв.

УДК 621.383.3

Detection and measurement of parameters Objects on the image

Vilesov L. D. – IUS, 2004. – N 1. – P. 2–9.

Work of TB-system on a threshold of its sensitivity, connected with supervision of signals from objects on a background of handicapes and acceptance of corresponding decisions and ratings is considered. Handicapes are set statistically, and parameters of signals are unknown and are for the observer TB-system casual. In such conditions for the decision of a problem of detection - measurement of parameters of objects the theory of statistical decisions including check of hypotheses and a rating of parameters is used.

Refs: 13 titles.

УДК 621.397

Detection and tracking moving object based on block matching algorithm

Obuhova N. A. – IUS, 2004. – N 1. – P. 30–37.

The paper describe an approach to detection and tracking moving object based on block matching algorithm, which is the motion estimation algorithm employed in such standards compression as MPEG 1-2 and H. 261/262/263. The algorithm of segmentation based on spare and time correlation is considered. The causes of incorrect moving vectors generation are analyzed and procedures to reduce their quantity such as blocks classification and vector median filter are offered. The adaptation of these algorithm for detection and tracking very slow moving object with small size (point – object) are described.

Refs: 14 titles.

УДК 621.391.28:518.5

Estimation of fractal dimension.

Bestugin A. R., Bogdanova A. F., Stogov G. V. – IUS, 2004. – N 1. – P. 10–13.

This paper investigates regularity characterizing self-similar processes of information transmission in telecommunication networks. A complete description of data network traffic for purpose traffic control and congestion control requires understanding of its dynamic nature, one from features of its is fractal dimension.

Refs: 5 titles.

УДК 681.391.1

Модель политики безопасности вычислительных систем

Подкорытов Д. А. – Информационно-управляющие системы, 2004. – № 1. – С. 41–49.

В статье дается обзор применяемых политик безопасности. Показано, что традиционный способ назначения меток безопасности для объектов системы и прав доступа к ним пользователя не обеспечивает гарантированного режима безопасности информации и может привести к ее компрометации. Предлагается принцип построения подсистемы безопасности операционной системы, позволяющий решить эту проблему, а также значительно снизить риск от человеческого фактора при настройке прав доступа к объектам системы и эксплуатации такой системы. Обосновывается целесообразность структурного разделения модели политики безопасности на три подсистемы.

Список лит.: 16 назв.

УДК 338.24

Региональная политика и управление отраслевыми промышленными системами

Лукманов Ю. Х. – Информационно-управляющие системы, 2004. – № 1. – С. 50–55.

Представлен критико-аналитический обзор методов и моделей управления отраслевой структурой промышленности. Проведен фактурный срез отраслевой промышленной системы Адмиралтейского района Санкт-Петербурга. Определены направления региональной политики и пути управления структурными формами экономики на этом уровне.

Список лит.: 10 назв.

УДК 681.391.1

Security policy for computing systems

Podkoritov D. A., – IUS, 2004. – N 1. – P. 41–49.

This paper starts with a review of security policies for computing systems. It is shown that the traditional way of assigning security labels and user access rights to the objects in a system does not provide a guaranteed mode of information security. To solve this problem, we propose a construction of the security subsystem in the operating system which will considerably reduce the human factor risk in the assignment of access rights to system's objects. Also, we justify the structural subdivision of our security model into three subsystems.

Refs: 16 titles.

УДК 338.24

Regional policy and management of industrial branches systems

Lukmanov U. H., – IUS, 2004. – N 1. – P. 50–55.

The paper contains an analytical review of the methods and models of management of the branch structure of industry. The structural analysis of the branches of industrial system of the Admiralteisky District of Saint-Petersburg has been carried out.

The developments of the regional policy have been defined and the ways of management of the structural forms of economy on this level settled.

Refs: 10 titles.

ПАМЯТКА ДЛЯ АВТОРОВ

Редакция журнала напоминает, что ответственность за подбор, достоверность и точность фактов, экономико-статистических и технических показателей, собственных имен и прочих сведений, а также за то, что в материалах не содержится сведений, не подлежащих открытой публикации, несут авторы публикуемых в журнале материалов и рекламодатели.

Редакция приносит извинения за опечатку, допущенную в номере 6/2003. На стр. 64 следует читать: Прокаев Александр Николаевич.