

## НАУЧНЫЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ

### ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ИДЕНТИФИКАЦИИ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В.А. Царев (ООО "Малленом")

*Рассматривается проблема разработки и адаптации с учетом заданных технических условий эксплуатации оптоэлектронных систем, обеспечивающих контроль передвижения наземных транспортных потоков. Предложена методология автоматизированного проектирования алгоритмического обеспечения основной подсистемы указанных систем – подсистемы распознавания регистрационных номеров транспортных средств.*

*Ключевые слова: распознавание номеров, оптоэлектронная идентификация, транспортные средства.*

#### Введение

Автомобильный и железнодорожный транспорт обеспечивает основной объем пассажирских и грузовых перевозок в России. Применение оперативного контроля передвижения наземных транспортных средств (НТС) позволяет эффективно решать большинство задач управления наземными перевозками. Методы и средства контроля передвижения НТС могут быть также использованы при решении задач контроля доступа в системах безопасности разного уровня, при диагностике и профилактике противоправных действий и раскрытии преступлений, совершаемых при помощи НТС.

Основными этапами процесса контроля передвижения НТС через контрольный пост являются:

- обнаружение НТС в зоне контроля и определение направления его движения;
- идентификация НТС путем считывания данных его персональной метки (номера);
- сверка данных о НТС, полученных по итогам идентификации, с априорными данными и принятие в случае необходимости управляющих решений;
- регистрация факта проезда НТС через контрольный пункт путем внесения записи в специализированную БД.

На территории РФ перечисленные задачи контроля во многих случаях все еще решаются ручным методом, со всеми присущими ему недостатками. Для автоматического обнаружения НТС в зоне контроля в настоящее время могут использоваться различные виды датчиков, среди которых наиболее распространенными и надежными являются индуктивные. Применяемые в ряде приложений метод и средства радиочастотной идентификации НТС не позволяют в настоящий момент полностью решить проблему обеспечения полномасштабного контроля передвижения НТС. В то же время оптоэлектронный метод контроля является вполне естественным и одним из перспективных методов контроля передвижения НТС [1]. В этом случае идентификация наземного транспортного средства выполняется путем распознавания его регистрационного номера (РН), который наносится краской либо на само НТС, либо на специальную металлическую пластину, закрепляемую на борту НТС (рис. 1).

Техническая база оптоэлектронных средств, которые могут применяться для формирования изображений НТС и их РН, в настоящее время достаточно развита и подробно описана в технической литературе, а

также доступна массовым потребителям. Однако значительная часть проблем, связанных с разработкой эффективных оптоэлектронных систем идентификации (ОЭСИ) НТС и их адаптацией для различных приложений, обусловлена недостаточным развитием теории, методов и средств проектирования подобных систем [8,9]. Большинство публикаций, посвященных разработке адаптивных ОЭСИ НТС, к сожалению, носит либо общий, либо рекламный характер, не затрагивая серьезные научные аспекты такой разработки. Данная статья имеет цель изменить указанную тенденцию.

#### Постановка задачи

##### проектирования оптимальных ОЭСИ НТС

С учетом основных решаемых в процессе контроля передвижения НТС задач основными критериями оценки эффективности функционирования ОЭСИ НТС являются: вероятность "пропуска НТС"  $p_{прТС}$ , вероятность правильной идентификации НТС  $p_{пи}$  и вероятность ошибки идентификации  $p_{ои}$ , обусловливаемой как неверной идентификацией НТС, так и "ложными срабатываниями" системы. В ряде приложений, где в процессе контроля наряду с прибором участвует оператор, целесообразно допустить возможность формирования системой "отказов от идентификации" в ситуациях, когда РН на НТС отсутствует или трудночитаем. Окончательное решение об идентификации НТС в этих случаях принимает оператор, тем более, что оптоэлектронный метод и средства контроля способны обеспечить такую возможность. При указанном

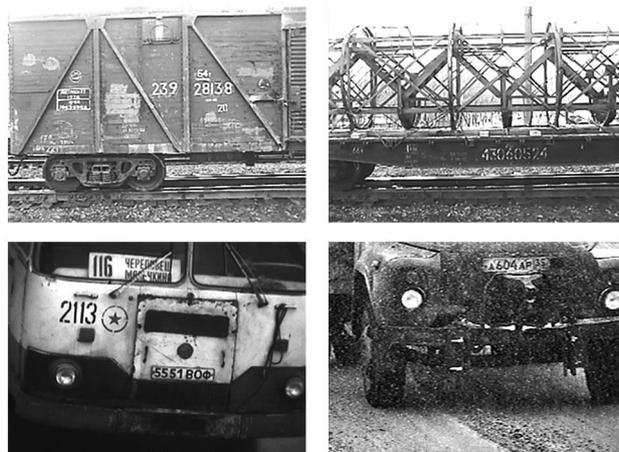


Рис. 1. Примеры изображений НТС и их РН

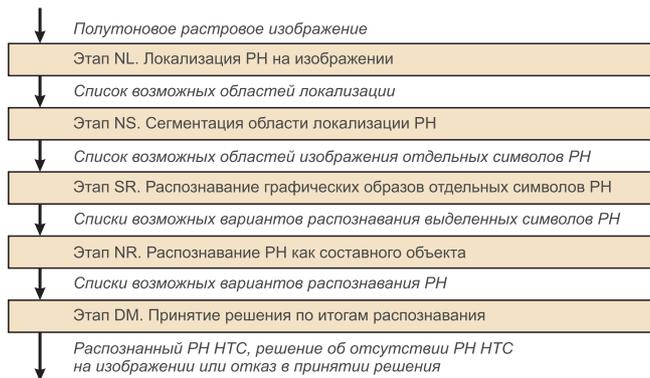


Рис. 2. Основные этапы процесса распознавания РН НТС

подходе удастся значительно уменьшить вероятность ошибки идентификации НТС за счет разумного увеличения вероятности подобных "отказов". В этой связи вероятность "отказа от идентификации НТС"  $p_{отк}$  также может рассматриваться в качестве базового критерия оценки эффективности работы ОЭСИ НТС. Оценка значений указанных вероятностных критериев выполняется на практике с использованием методов математической статистики.

В терминах выбранных критериев задача проектирования и создания оптимальной с учетом заданных технических условий эксплуатации ОЭСИ НТС формулируется следующим образом: обеспечение максимума вероятности правильной идентификации

$$p_{ни} \rightarrow \max$$

при ограничениях по значениям остальных базовых критериев:

$$p_{нрТС} \leq p_{нрТС.дон}; p_{ои} \leq p_{ои.дон}; p_{отк} \leq p_{отк.дон};$$

где допустимые значения критериев определяются техническими условиями эксплуатации.

Возможен альтернативный вариант постановки задачи: в форме минимизации целевого критерия. Пусть  $c_{ои}$ ,  $c_{отк}$  — экспертно заданные значения весов ошибки

идентификации НТС и "отказа в идентификации". Требуется обеспечить минимум взвешенной суммы

$$c_{ои} \cdot p_{ои} + c_{отк} \cdot p_{отк} \rightarrow \min,$$

при выполнении ограничений по базовым критериям:

$$p_{нрТС} \leq p_{нрТС.дон}; p_{ои} \leq p_{ои.дон}; p_{отк} \leq p_{отк.дон}; p_{ни} \leq p_{ни.жел}$$

В качестве значимого дополнительного требования, предъявляемого к создаваемым системам идентификации НТС, следует рассматривать их способность функционировать в требуемом режиме быстродействия. Поэтому к указанным ограничениям целесообразно добавить ограничение на время задержки  $t_u$  в выдаче результатов контроля с момента появления НТС в зоне контроля:  $t_u \leq t_{u.дон}$ . Значение  $t_{u.дон}$  определяется с учетом технических условий эксплуатации создаваемой системы.

## Математическое обеспечение процесса распознавания РН НТС на растровом полутонном изображении

### Обобщенная схема процесса распознавания РН НТС и метод формализации спецификаций основных этапов анализа изображения

Изображения зоны контроля последовательно формируются при помощи телевизионного датчика на базе ПЗС-матрицы и платы видеоввода. В памяти ЭВМ входное растровое полутонное изображение представляется в виде матрицы  $M = \{f_{ij}\}$ ,  $f_{ij} \in \{0, 1, \dots, r-1\}$ , яркостью элементов  $A_{ij}$  (пикселей) изображения, где  $i = 1, \dots, n$ ;  $j = 1, \dots, m$  задают номер строки столбца изображения, где  $r$  — число уровней квантования.

Описание процесса распознавания РН НТС на растровом полутонном изображении может быть формализовано в виде функциональной схемы, основные этапы обработки и анализа информативных сигналов которой представлены на рис. 2. С учетом существенной априорной неопределенности условий формирования изображения НТС и его РН разработку математического обеспечения процесса распознавания целесообразно выполнять на базе принципов "мягкой" вероятностной классификации. Особенность этого подхода заключается в том, что решение с единственным вариантом ответа принимается лишь на заключительном этапе процесса распознавания РН. Между промежуточными этапами передаются списки возможных вариантов решений, полученных в ходе анализа изображения и распознавания графических образов, с некоторыми оценками их правдоподобия. Таким образом, большинство алгоритмов, применяемых при распознавании РН, должно формировать ответ с некоторым "запасом" возможных решений. В результате обеспечивается возможность сохранить (не потерять) на промежуточном этапе истинное решение, которое по ряду заданных эвристических оценок правдоподобия может уступить неправильным вариантам решений.

Большинство задач анализа изображений (в основном этапов сегментации и классификации), подлежащих решению в процессе распознавания РН НТС, являются "плохо формализованными", то есть такими задачами, для которых либо не формализовано понятие решения, либо их условия и ограничения определены не полностью. Обусловлено это, как правило, отсутствием адекватных математических моделей наблюдаемых объектов, на базе которых можно было бы вести расчеты и получать количественные и качественные выводы. К таким объектам, например, можно отнести графические образы НТС и его РН на изображении; графический образ отдельного символа РН и т.п. Это порождает проблему задания спецификаций алгоритмов и программных модулей, обеспечивающих решение "плохо формализованных" задач на этапах процесса распознавания РН НТС. Суть проблемы заключается в том, что указанные спецификации, называемые "трудно формализуемыми", не удастся задать

формально, т.е. представить в виде пары формальных предикатов  $\Phi(\varphi, \psi)$ , где  $\varphi$  – предикат, определяющий ограничения по входным данным, а  $\psi$  – предикат, задающий требования к выходным данным алгоритма или программного модуля (ПМ). Это обстоятельство, в свою очередь, значительно затрудняет разработку и тестирование алгоритмов и программных средств анализа и классификации изображений, используемых при распознавании РН НТС.

В целях решения указанной проблемы в [12] предложен метод описания "трудно формализуемых" спецификаций алгоритмов анализа изображений при помощи формируемого экспертом массива "прецедентов", т.е. соответствующих пар вида "входная информация – выходная информация". Предложенный метод позволяет представить трудно формализуемую спецификацию в виде композиции  $\Phi(\varphi, \psi) = \Phi_F \circ \Phi_E$ , где  $\Phi_F$  – формальная часть,  $\Phi_E$  – экспертная часть спецификации. Формальная часть обычно задается при помощи набора предикатов над множеством значений входных/выходных данных алгоритма. Экспертная часть (массив "прецедентов") задается экспертом в области анализа и классификации изображений. Эффект достигается за счет того, что экспертом при распознавании РН НТС на растровом полутоновом изображении может выступать практически любой взрослый человек.

Например, спецификация алгоритма, выполняющего локализацию РН на изображении, формализованная при помощи предложенного метода, задается следующим образом:

$$\begin{aligned} \varphi &:= \langle M = M_{n \times m}, k_{\text{лок}} \in N, c_{\text{лок}} \geq 1, \\ &\quad 0 < h_1 < h_2 < n, 0 < w_1 < w_2 < m \rangle, \\ \psi_F &:= \langle V_{\text{лок}} = F_{\text{лок}}(M): (|V_{\text{лок}}| \leq k_{\text{лок}}) \wedge (\forall v \in V_{\text{лок}} P(v)) \rangle, \\ \psi_E &:= \langle v_E = E_{\text{лок}}(M): P(v_E) \rangle, \\ \psi &= \psi_F \circ \psi_E := \langle V_{\text{лок}}, v_E: \exists v \in V_{\text{лок}} P_1(v_E, v, c_{\text{лок}}) \rangle, \end{aligned}$$

где  $M_{n \times m}$  – входное изображение, содержащее образ РН НТС;  $k_{\text{лок}}$  – ограничение числа предлагаемых алгоритмом вариантов областей локализации;  $c_{\text{лок}}$  – допустимая погрешность локализации;  $w_1, w_2$  и  $h_1, h_2$  – априорно задают диапазон размеров образа РН (ширина и высота соответственно) на входном изображении;  $F_{\text{лок}}$  – алгоритм локализации области РН;  $V_{\text{лок}}$  – список вариантов прямоугольных областей локализации;  $v_E$  – выделенная экспертом на входном изображении область изображения РН НТС. Предикат  $P$  определяет требование принадлежности области локализации к входному изображению и ограничения на допустимые размеры такой области через значения  $w_1, w_2$  и  $h_1, h_2$ , а  $P_1$  задает требуемые соотношения между областями локализации, предложенными алгоритмом и экспертом.

При помощи предложенного метода формализации спецификаций сформирована унифицированная система спецификаций алгоритмов выполнения всех основных этапов процесса распознавания РН НТС [12]. В результате обеспечены единые требования к

алгоритмическому и программному обеспечению программной подсистемы, осуществляющей распознавание РН НТС, в создаваемых системах идентификации. Один из вариантов математического обеспечения такой подсистемы, включающий формализацию основных задач, возникающих на различных этапах процесса распознавания РН НТС, а также методы и алгоритмы их решения с учетом названий этапов, представленных на рис. 2, приведены ниже.

#### Этап NL. Локализация РН НТС на растровом полутоновом изображении

Под задачей локализации области изображения РН НТС понимается нахождение верхней  $i^T$  и нижней  $i^B$ , левой  $j^L$  и правой  $j^R$  границ прямоугольной области  $v^{\text{лок}} = \{A_{ij}: i^T \leq i \leq i^B; j^L \leq j \leq j^R\}$  (далее – область локализации РН), такой что  $v_E \subseteq v^{\text{лок}}$  и погрешность отклонения, измеряемая отношением площадей  $v^{\text{лок}}$  и  $v_E$ , не превосходит определенного значения слок.

Как правило, имеет место относительно высокая интегральная плотность градиента функции яркости входного изображения в искомой области  $v_E$ . Поэтому для решения задачи локализации РН НТС, например, может применяться алгоритм, основанный на анализе градиента поля яркости  $M = \{f_{ij}\}$ . Задача локализации РН НТС в этом случае формализуется в форме поиска на изображении области  $v^{\text{лок}}$  в виде:

$$v^{\text{лок}} = \arg \max_{v \in \Omega} \left( \frac{\sum_{(i,j) \in v} |\nabla f_{i,j}|}{S_v} \right),$$

где  $\Omega$  – множество допустимых с учетом спецификации алгоритма областей,  $S_v$  – площадь области  $v$  на изображении. Переборное решение данной задачи исключено с практической точки зрения, поэтому в [3, 6] был предложен эвристический алгоритм анализа изображения, состоящий из следующих основных шагов:

Шаг NL-1. Расчет при помощи дискретного аналога дифференциального оператора (к примеру, оператора Собела) матрицы  $GM_{n \times m}$ , являющейся градиентным препаратом исходного изображения.

Шаг NL-2. Для каждой строки изображения выполняется оценка правдоподобия  $P(i \in v_E)$  события "строка под номером  $i$  пересекает образ РН НТС". Для расчета оценки используется функционал вида  $F: GM(\cdot) \mapsto p_i$ , выбор которого носит эвристический характер.

Шаг NL-3. Расчет адаптивного порога  $T_p = T_p(P(\cdot))$  как функционала на пространстве функций оценок  $P(i) = P(i \in v_E)$ . Сравнение с порогом позволяет выделить из всего множества номеров строк  $\{1, \dots, n\}$  совокупность непересекающихся множеств:

$$\begin{aligned} \text{CrossRows}(1) &= \{i^T(1) \leq i \leq i^B(1)\}, \\ \text{CrossRows}(2) &= \{i^T(2) \leq i \leq i^B(2)\}, \\ &\dots \\ \text{CrossRows}(q) &= \{i^T(q) \leq i \leq i^B(q)\}. \end{aligned}$$

Для элементов данных множеств значение  $p_i \geq T_p$ . Для всех остальных элементов, не входящих в данное множество,  $p_i < T_p$ . На практике в зависимости от

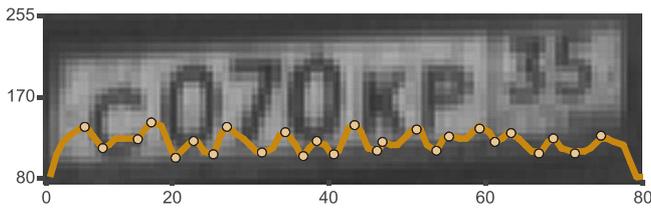


Рис. 3. Изображение области локализации РН НТС. Функция усредненной яркости и ее экстремумы (выделены точками)

сложности изображения число подобных множеств колеблется в диапазоне 1...7 ед.

Шаг NL-4. Построение возможной области локализации РН НТС  $v^{лок}(k) = \{A_{ij}; i^l(k) \leq i \leq i^p(k); j^l(k) \leq j \leq j^p(k)\}$  для каждого полученного множества строк  $CrossRows(k)$ ,  $k = 1, \dots, q$ . Определение значений левой и правой границ  $j^l(k)$  и  $j^p(k)$  выполняется на основе поиска в полосе строк  $CrossRows(k)$  участка с максимумом среднего значения модуля градиента функции яркости входного изображения. В ходе поиска учитывается априорная информации об отношении вертикального и горизонтального размеров РН НТС на изображении.

Шаг NL-5. Объединение всех выделенных областей, рассматриваемых в качестве вариантов решения задачи локализации, в список  $V^{лок}$  и их ранжирование в списке с учетом оценок правдоподобия, рассчитываемых на основании имеющейся априорной и полученной апостериорной информации.

#### Этап NS. Сегментация области локализации РН НТС

Каждая область  $v^{лок}$ , вошедшая в список  $V^{лок}$ , считается возможной областью локализации РН НТС на исходном изображении и является входными данными для этапа сегментации. На этом этапе для области влок должен быть создан список ее прямоугольных подобластей  $V^{сегм}(v^{лок})$ , предположительно содержащих изображения отдельных символов РН. Для решения данной задачи может быть использован, к примеру, алгоритм, предложенный в [7, 10], основные шаги которого заключаются в следующем:

Шаг NS-1. Для исходного изображения в рамках заданной области  $v^{лок}$  строится функция (рис. 3), характеризующая средний уровень яркости в столбце  $j$ :

$$Br(j) = r - 1 - \frac{\sum_{i=i^l}^{i^p} f_{i,j}}{i^p - i^l + 1}, j = j^l, \dots, j^p.$$

Шаг NS-2. Выдвигаются две гипотезы о "цвете": "темные символы на светлом фоне" и "светлые символы на темном фоне". С учетом приложения априорные вероятности этих гипотез могут быть оценены статистически. Экстремумы функции  $Br(j)$  являются потенциальными вертикальными разделителями символов РН: локальные минимумы при первой гипотезе, максимумы – для второй. Принятие решения об истинности той или иной гипотезы выполняется апостериорно путем расчета предложенного набора

признаков для каждого экстремума  $j^{ext}$ ,  $j^l(k) \leq j \leq j^p(k)$ , с использованием процедуры байесовской классификации. В соответствии с принципами "мягкой" классификации в сомнительных случаях не принимается единственное, жесткое решение о "цвете", а на следующих этапах рассматриваются оба варианта как альтернативные.

Шаг NS-3. Рассматриваются всевозможные пары потенциальных вертикальных разделителей. Для каждой пары разделителей выдвигается гипотеза о возможности расположения между ними ровно одного символа РН и альтернативная гипотеза. С учетом априорной информации об относительной ширине графических образов символов РН на изображении оцениваются априорные вероятности указанных гипотез. Гипотезы с низкой оценкой и соответствующие им пары отклоняются. Для остальных пар разделителей с использованием операторов математической морфологии и бинаризации по адаптивному порогу выполняется обнаружение и локализация определенной односвязной области, принимаемой за графический образ искомого символа. На основе полученных в ходе обнаружения и локализации признаков рассчитываются апостериорные оценки правдоподобия выдвинутых гипотез, варианты предлагаемых алгоритмом решений ранжируются.

#### Этап SR. Распознавание графических образов отдельных символов РН НТС

Задача распознавания выделенных на этапе сегментации изображений заключается в расчете апостериорных оценок правдоподобия принадлежности предъявленного графического образа, представленного областью  $v^{сегм} \in V^{сегм}$ , к классу каждого из символов алфавита  $S_{алф}$ . Алфавит  $S_{алф}$  представляет расширение алфавита символов  $S_{алф}$ , используемого при составлении РН НТС, за счет специального "шумового" символа  $S_{шум} = *$ . При этом истинный класс образа должен (в идеале) получать наивысшую оценку.

В рассматриваемой задаче графических образов буквенно-цифровых символов на растровых полутоновых изображениях, как правило, используется параметрический подход. Методы параметрического распознавания отличаются простотой реализации и достаточно высоким быстродействием обработки большого объема данных в режиме РВ. Среди параметрических классификаторов рядом преимуществ обладают нейронные сети: использование последовательных процедур обучения, высокая обобщающая способность, способность аппроксимировать сложные нелинейные связи входов с выходами. Нейронные сети позволяют производить распознавания классов объектов, представленных в пространстве признаков областями со сложной конфигурацией. Системы признаков могут формироваться на основе расчета геометрических характеристик и выявления структурных элементов изображения, на основе расчета частотных характеристик [5] и др.

#### Этап NR. Распознавание РН как составного объекта

Этап осуществляется исходя из гипотез о типе РН. Каждый тип номера априорно задается шаблоном

$Sh = (z_1, z_2, \dots, z_k, S_1, S_2, \dots, S_k)$ , где вектор параметров  $z_i$  — задает геометрические характеристики  $i$ -ого знака в РН, а  $S_i \subseteq S_{алф}$  — алфавит символов, которые могут находиться на  $i$ -ом знакоместе в РН данного типа. В ходе распознавания РН в рамках данной гипотезы строится отображение  $R: \{1, 2, \dots, k\} \rightarrow V^{сегм}(v^{лок})$  из множества знакомест шаблона в множество сегментированных контуров символов, такое что  $F_{расп}(R(i)) \in S_i$ , где  $F_{расп}$  — процедура распознавания.

С учетом геометрических характеристик шаблона оценивается правдоподобие предложенного варианта распознавания  $G(R, Sh)$ . В качестве выхода алгоритма указывается отображение, обеспечивающее в рамках данной гипотезы максимальное правдоподобие. Поиск такого отображения (варианта распознавания) целесообразно выполнять с использованием метода динамического программирования.

Оценки правдоподобия, полученные для различных гипотез о типе РН нормируются. Для ряда "лидирующих" в полученном списке гипотез в случае необходимости может быть произведена повторная сегментация и уточнение "ненадежно" распознанных символов с использованием информации о предсказанном типе РН.

#### Этап ДМ. Принятие решения по итогам распознавания

Этап ДМ является завершающим в алгоритме распознавания РН. На этом этапе с учетом результатов, полученных на предшествующих этапах, принимается решение о выдаче единственной буквенно-текстовой последовательности, соответствующей наблюдаемому на изображении графическому образу РН, либо решение об отсутствии образа РН на изображении, либо формируется "отказ от распознавания" в случае сомнения в достоверности двух предыдущих вариантов решения. Реализация этапа выполняется, как правило, при помощи эвристических алгоритмов, анализирующих список предложенных вариантов распознавания РН на изображении и их оценок правдоподобия.

#### Принятие решений на промежуточных этапах процесса распознавания РН НТС

Очевидно, что в условиях предложенной многоуровневой схемы процесса распознавания РН необходимо обеспечение компромисса между временем полного цикла обработки изображения и достигаемым уровнем ошибок. Рост времени обработки обусловлен экспоненциальным ростом новых объектов, подлежащих обработке при переходе от этапа к этапу в условиях формирования списков альтернативных решений. С другой стороны, увеличение уровня ошибок возникает при использовании методик, когда на каждом промежуточном этапе формируется  $\leq 1$  варианта решения. Компромисс в этой ситуации может обеспечить выработка обоснованных правил сокращения перебора возможных вариантов путем отклонения или усечения списка кандидатов, передаваемых на промежуточных этапах [2].

### Синтез алгоритмического обеспечения подсистемы распознавания РН НТС

#### Объектно-компонентная модель процесса распознавания РН НТС

Подсистема оптического распознавания РН НТС является основным аппаратно-программным модулем рассматриваемых оптоэлектронных систем идентификации. Поэтому важным этапом проектирования ОЭСИ НТС является синтез алгоритмического обеспечения указанной подсистемы с учетом технических условий эксплуатации. Описание аналитической зависимости между входными/выходными данными процесса распознавания РН практически не представляется возможным. Поэтому для моделирования и исследования процесса обработки информативных сигналов в подсистеме распознавания ОЭСИ НТС целесообразно использовать объектно-компонентное моделирование. В качестве базовых элементов модели рассматриваются "черные ящики" алгоритмов обработки данных и процедур принятия решения. Для каждого блока набор спецификаций жестко задает требования к его входным/выходным данным. Графическое представление модели с учетом предложенных обобщенной схемы и математического обеспечения процесса распознавания РН НТС в ОЭСИ НТС приведено на рис. 4.

Спецификация блоков модели выглядит следующим образом.

**В1.** Блок локализации РН НТС. На входе — растровое полутонное изображение, на выходе — согласно заданной спецификации упорядоченный список возможных зон локализации РН НТС  $V^{лок} = (v^{лок}(1), v^{лок}(2), \dots, v^{лок}(L))$ .

**В2.** Блок отклонения или усечения списка локализации. На входе — список зон локализации РН НТС, полученный для текущего изображения, на выходе — решение об его отклонении, либо об усечении до списка  $V^{лок.ус} = (v^{лок}(1), v^{лок}(2), \dots, v^{лок}(K_{лок}))$ .

**В3.** Блок сегментации РН НТС. На входе зона локализации РН НТС влок, на выходе — список "сегментов"  $V^{сегм} = (v^{сегм}(1), v^{сегм}(2), \dots, v^{сегм}(K))$  — прямоугольных областей, возможно содержащих образы отдельных символов РН НТС.

**В4.** Блок отклонения или усечения списка сегментов. На входе — список сегментов одной из сформированных ранее зон локализации, на выходе — решение об его отклонении, либо об усечении до списка  $V^{сегм.ус} = (v^{сегм}(1), v^{сегм}(2), \dots, v^{сегм}(K_{сегм}))$ .

**В5.** Блок распознавания графических образов символов номера в сегментах. На входе — сегмент всегм,

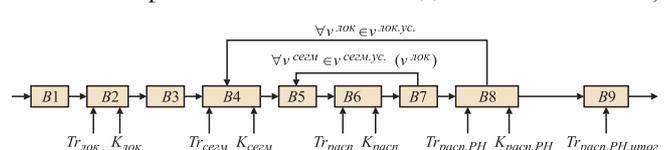


Рис. 4. Графическое представление модели процесса распознавания РН по растровому полутонному изображению

содержащий графический образ символа РН или "шум", на выходе – вектор  $P_{расп}(v^{сегм}) = (p_1, p_2, \dots, p_l, p_{l+1})$ , где  $l = |S_{алф}^*|$ , а  $p_r = P(c_r | v^{сегм})$ ,  $1 \leq r \leq l$ , – апостериорная оценка правдоподобия принадлежности входного образа  $v^{сегм}$  к  $r$ -ому классу алфавита символов РН НТС. При этом  $p_{l+1}$  – оценка принадлежности входного образа к классу "шума".

В6. Блок отклонения или усечения списка вариантов распознавания сегмента. На входе – вектор  $P_{расп}(v^{сегм}) = (p_1, p_2, \dots, p_l, p_{l+1})$ , полученный для сегмента  $v^{сегм}$ , на выходе – пустой список или усеченный упорядоченный список  $V_{расп.ус.} = (s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{iKрасп})$  символов алфавита  $S_{алф}$ , такой что  $p_{i1} \geq p_{i2} \geq \dots \geq p_{iKрасп} \geq p_i$ ,  $\forall i \notin \{i1, i2, \dots, iKрасп\}$ .

В7. Блок распознавания РН НТС как составного объекта. На входе – зона локализации РН НТС  $v^{юк}$ , усеченный список ее сегментов  $V^{сегм.ус.}$  и усеченные списки вариантов распознавания  $V_{расп.ус.}(v^{сегм})$  каждого из этих сегментов  $v^{сегм} \in V^{сегм.ус.}$ . На выходе – упорядоченный список вариантов распознавания  $V_{расп.РН}(v^{юк}) = (kod(1), kod(2), \dots, kod(D))$ , где  $kod(i)$  – буквенно-цифровая последовательность, соответствующая возможному РН НТС.

В8. Блок отклонения или усечения списка вариантов распознавания РН НТС в данной зоне локализации. На входе – список  $V_{расп.РН}(v^{юк})$  вариантов распознавания РН НТС, полученный для одной из зон локализации  $v^{юк}$ , на выходе – решение об его отклонении, либо принятии и усечении до списка  $V_{расп.РН.ус.}(v^{юк}) = (kod(1), kod(2), \dots, kod(K_{расп.РН}))$ .

В9. Блок итогового принятия решения по распознаванию РН НТС на заданном изображении. На вхо-

де – усеченный список зон локализации  $V^{лок.ус.}$  и усеченные списки вариантов их анализа  $V_{расп.РН.ус.}(v^{юк})$  по каждой зоне локализации. На – выходе решение об отсутствии РН НТС на заданном изображении, либо выдача единственного варианта распознавания РН –  $kod_{РН}$  из множества списков кодов, обладающего максимальной оценкой правдоподобия.

Создается система локальных критериев эффективности каждого из блоков. В рамках данной системы эффективность блоков В1, В3, В5 и В7, формирующих списки решений, задается функциями распределения истинного кандидата по позициям списка  $F_{Vi}(k)$ . Эффективность блоков В2, В4, В6, В8 и В9, выполняющих классификацию входных списков, задается вероятностями ошибок первого и второго рода  $p^a(Vi)$  и  $p^b(Vi)$  – соответственно вероятностями "отклонить список, содержащий истинный вариант решения", и "принять список, в котором нет истинного варианта решения". Управление этими ошибками осуществляется в классификаторе блока с помощью порога  $Tr_{Vi}$ . Усечение списков в блоках В2, В4, В6, В8 потенциально порождает ошибки, связанные с удалением в усеченной части истинного кандидата. Вероятность этих ошибок  $p^{a.ус.}(K_{Vi})$  и  $p^{b.ус.}(K_{Vi})$  управляется параметрами  $K_{Vi}$ , значения которых задаются для каждого из блоков независимо. Для каждого блока задается также уровень его алгоритмической сложности путем оценки времени работы через функцию роста  $O(f_{Vi}(N))$ , где  $N$  – размер входных данных. Оценки вероятностных критериев эффективности каждого блока выполняются статистически по обучающей выборке.

### IBM предлагает новую RFID-технологию

Корпорация IBM объявила о создании новой технологии, предоставляющей клиентам беспрецедентную возможность детально анализировать и совместно использовать в защищенном режиме и в РВ данные, генерируемые сенсорными элементами такими, например, как RFID-ярлыки с управляющим кодом радиочастотной идентификации, что открывает небывалые ранее перспективы по применению специализированных программных решений, в частности, системы определения происхождения лекарственных препаратов, электронной таможенной системы, а также приложений для покупателей.

Новая технология - IBM WebSphere RFID Information Center - основывается на недавно разработанном организацией EPCglobal стандарте, названном EPCIS (Electronic Product Code Information Services, Электронная служба информации о кодах продуктов). Этот стандарт устанавливает единые правила и методы защищенного обмена RFID-данными, формируемыми сенсорными элементами и RFID-ярлыками, а также связывания этих данных с существующей бизнес-информацией и торговыми партнерами.

Тенденция маркировки каждой единицы товара вызывает экспоненциальный рост объема контрольных данных, значительно превышающий объем информации,

генерируемый в результате применения традиционной технологии штрих-кода. Для решения проблемы необходим новый метод управления этими громадными массивами данных, который не будет негативно влиять на бизнес в целом и деловых партнеров в цепочках снабжения и сбыта в частности. До настоящего времени, в дополнение к проблеме эффективного управления большими объемами RFID-данных, существовали еще две преграды на пути широкого распространения технологии радиочастотной идентификации - отсутствие соответствующих стандартов и возможность обмена и совместного использования идентификационной информацией. ПО RFID Information Center решает эти проблемы, устраняя барьеры на пути внедрения RFID-технологии в различных отраслях.

ПО IBM WebSphere RFID Information Center уже было успешно развернуто у ряда клиентов IBM из разных отраслей, в числе которых англо-голландская компания по производству потребительских товаров ежедневного спроса Unilever, европейская система электронной таможи ITAIDE и входящая в "большую тройку" фармацевтических гигантов американская корпорация AmerisourceBergen.

IBM WebSphere RFID Information Center - это первый программный сервис, построенный на стандарте EPCIS,

**Синтез квазиоптимального алгоритмического обеспечения подсистемы распознавания РН НТС методом имитационного моделирования**

Разработанная модель обеспечивает синтез алгоритмического обеспечения подсистемы распознавания РН НТС в рамках общего процесса проектирования ОЭСИ НТС с учетом технических условий эксплуатации. Задача синтеза формализована как задача оптимизации. В одном из вариантов постановки эта задача заключается в максимизации вероятности правильного распознавания  $p_{np}$  РН НТС при ограничениях на математическое ожидание времени полного цикла обработки изображения, вероятности ошибок неверного распознавания  $p_{нр}$  и "ложного распознавания"  $p_{лр}$ . К "ложному распознаванию" относятся случаи, когда подсистема распознавания предлагает некий вариант распознавания при реальном отсутствии РН на изображении НТС. В другом варианте постановки задача требует минимизации взвешенной суммы ошибок при ограничениях на уровень правильного распознавания, уровни ошибок и математическое ожидание времени полного цикла обработки.

Задача оптимизации решается в пространстве управляющих параметров  $(Tr, K) = (Tr_{лок}, Tr_{сегм}, Tr_{расп}, Tr_{расп.РН}, Tr_{расп.РН.итог}, K_{лок}, K_{сегм}, K_{расп}, K_{расп.РН})$ , точки которого будем называть стратегиями распознавания РН НТС. Оптимальной является та стратегия распознавания РН НТС, которая является решением поставленной задачи.

Применение аналитических методов анализа предложенной модели, за исключением ряда предельных случаев, затруднено в силу сложного вероятностного

характера протекания процессов обработки данных. Поэтому для решения задачи поиска квазиоптимальной стратегии распознавания в общем случае целесообразно использовать метод имитационного моделирования. В рамках предложенной модели с использованием специализированных программных средств имитируется выполнение процесса распознавания РН НТС. При этом блоки В1, В3, В5, В7 имитируют создание промежуточных списков с учетом заданных функций распределений  $F_{лок}(k)$ ,  $F_{сегм}(k)$ ,  $F_{расп}(k)$ ,  $F_{расп.РН}(k)$ . Решение об отклонении того или иного списка в блоках В2, В4, В6, В8 принимается вероятностным путем на основании значений  $p^a(Bi)$  и  $p^b(Bi)$  соответствующего блока, вычисляемых по порогу  $Tr_{Bi}$  при помощи определенных таблиц параметрической взаимозависимости указанных ошибок. Аналогично принимаются решения в блоке В9. Определение используемых в модели функций распределения и таблиц взаимозависимостей в рамках определенного приложения выполняется статистически по обучающей выборке.

В ходе имитационного моделирования для заданного набора значений управляющих параметров  $(Tr, K)$ , определенное число раз имитируется процесс распознавания РН по входному изображению и фиксируются ситуации правильного, неверного и ложного распознавания, а также оценивается время его выполнения. Усреднение позволяет оценить достигаемые для стратегии  $(Tr, K)$  значения критериев эффективности распознавания. Таким образом, среди всех дискретизированных стратегий  $(Tr, K)$  направленным перебором с использованием метода ветвей и границ определяется та стратегия, которая обеспечи-

а также высокопроизводительный информационный репозиторий, который может осуществлять эффективное управление растущими объемами данных и предоставлять в РВ важную для бизнеса информацию, влияющую на рентабельность инвестиций. Кроме того, WebSphere RFID Information Center интегрируется с системами управления данными, что расширяет бизнес-контекст за счет актуальных данных о продукте, его местонахождении и поставщике.

Эта технология призвана помочь клиентам надежно и эффективно собирать, управлять, осуществлять поиск и обмениваться в защищенном режиме данными, генерируемыми RFID-ярлыками, метками двумерного штрих-кода и другими элементами-сенсорами как в масштабах предприятия, так и при взаимодействии с торговыми партнерами и государственными учреждениями. Основанная на стандартах платформа может помочь компаниям упростить развертывание RFID-технологии и в полной мере использовать предоставляемые ею преимущества для совершенствования бизнес-операций и повышения оперативности и качества принимаемых деловых решений.

Служба RFID Information Center получает данные от специализированной RFID-программы связующего уровня, которая собирает, фильтрует и интерпретирует данные из считывающих устройств. После получения

информации RFID Information Center сохраняет, обрабатывает и предоставляет данные – в полном объеме или частично – для совместного использования различными бизнес-приложениями в масштабах предприятия, а также торговыми партнерами. На базе новейших сетевых репозитариев данных, поступающих от различных сенсорных датчиков, и связанных с источниками нормативно-справочной информации о товарах, можно создать новые классы технологических решений для информационно насыщенных задач.

Наряду с базовыми компонентами RFID Information Center, в этом новом решении будет также предусмотрена функциональная возможность "послеотгрузочной проверки" (Shipment Verification), которая предоставляет автоматизированные средства контроля отгрузки товара, поступления товара заказчику и получения оплаты счетов. Эта функция должна помочь компаниям сократить убытки, а также уменьшить значительные трудозатраты, связанные с устранением несогласованности данных в результате ошибок в цепочке поставок. Кроме того, WebSphere RFID Information Center предоставит платформу для эффективной реализации вспомогательных бизнес-операций, таких как отслеживание разного рода ошибок, отклонений и неточностей, управление запасами, целевые отзывы заявок и снятие товара с продажи, обеспечение соблюдения нормативных требований, пр.

[Http://www.ibm.ru](http://www.ibm.ru)

вает экстремум целевой функции с учетом заданных ограничений.

Описанный способ моделирования обеспечивает не только нахождение квазиоптимальной стратегии процесса распознавания РН НТС. Он также позволяет исследовать и выполнить ранжирование по критериям эффективности целого ряда стратегий распознавания в данной модели. А это обеспечивает возможность менять стратегии в ходе эксплуатации ОЭСИ НТС при изменении условий внешней среды, например интенсивности и скорости движения НТС в зоне контроля, а также доступности вычислительных ресурсов [11].

#### Программные средства автоматизации проектирования ОЭСИ НТС

Для автоматизации процесса проектирования алгоритмического обеспечения подсистемы распознавания ОЭСИ НТС инженерами компании "Малленом" разработана программная система ViCAD™ [4]. ViCAD обеспечивает возможность разрабатывать, настраивать и тестировать различные алгоритмы процесса распознавания РН НТС, выполнять сборку функциональной схемы подсистемы распознавания и оптимизацию ее алгоритмического обеспечения методом имитационного моделирования. Для удобства проектирования и тестирования функциональных схем разработан специальный графический интерфейс, который позволяет визуализировать представление функциональных схем процесса распознавания в виде графических диаграмм.

Для подготовки обучающего материала разработано программное средство SymbolCut, позволяющее эксперту размечать изображения, указывая истинные решения для каждой из задач обработки и анализа изображений. В целях создания и обучения нейросетевых классификаторов создан программный продукт NeuroSync.

#### Заключение

В статье исследуется научная проблема проектирования алгоритмического обеспечения оптоэлектронных систем контроля, обеспечивающих обнаружение и идентификацию НТС, следующих через контрольный пункт. Преимущества нового класса ОЭСИ НТС по сравнению с известными аналогами могут быть достигнуты за счет использования при их разработке предлагаемой методологии проектирования и оптимизации этих систем с учетом заданных технических условий их эксплуатации. В рамках единого формализма на базе предложенной модели процесса распознавания РН НТС описаны структурные и поведенческие аспекты функционирования подсистемы распознавания ОЭСИ НТС, что позволяет перейти к автоматизированному синтезу алгоритмического обеспечения этой подсистемы с учетом заданных требований и ограничений.

#### Список литературы

1. Еремин С.Н., Малыгин Л.Л., Михайлов А.Н., Царев В.А. Опыт использования технологии обработки изображений при проектировании интеллектуальных транспортных систем // Искусственный интеллект в XXI веке: Труды международного конгресса ICAI'2001. М.: Физматлит, 2001. Т. 2.
2. Царев В.А. Методика принятия решения в задаче распознавания государственных регистрационных знаков транспортных средств // Образование, наука, бизнес: особенности регионального развития и интеграции: Труды межвузовской научно-практической конференции. – Череповец: ЧФ СПбГТУ, 2002.
3. Веснин Е.Н., Царев В.А. Выделение символьных меток на изображениях со сложным фоном // Образование, наука, бизнес: особенности регионального развития и интеграции: Труды всероссийской научно-практической конференции. – Череповец: ИМИТ СПбГПУ, 2003.
4. Михайлов Е.А., Царев В.А. Программная среда разработки систем выявления и распознавания стандартизованных текстовых надписей на движущихся объектах // Технологии Microsoft в теории и практике программирования: Материалы межвузовского конкурса – конференции студентов и молодых ученых Северо-Запада. – СПб: Издательство Политехнического университета, 2004.
5. Ульянов А.Н., Царев В.А. Алгоритм классификации цифровых и шумовых образов по их полутоновым изображениям с использованием вейвлет-анализа и нейросетевых технологий // Оптические, радиоволновые и тепловые методы и средства контроля качества материалов, промышленных изделий и окружающей среды. Труды IX международной научно-технической конференции. Ульяновск: Изд. УлГТУ, 2004.
6. Воскресенский Е.М., Царев В.А. Классификация фрагментов изображений в задаче поиска и локализации графических образов текстовых меток на сложном фоне // Образование, наука, бизнес: особенности регионального развития и интеграции: Труды всероссийской научно-практической конференции. Череповец: ИМИТ СПбГПУ, 2004.
7. Веснин Е.Н., Пурик Д.В., Царев В.А. Бесшаблонная сегментация и распознавание государственных регистрационных знаков автомобилей // Образование, наука, бизнес: особенности регионального развития и интеграции: Труды всероссийской научно-практической конференции. Череповец: ИМИТ СПбГПУ, 2004.
8. Балыков Е.А., Михайлов А.Е., Царев В.А. Оптоэлектронные системы идентификации движущихся транспортных средств: назначение, состав, особенности проектирования и программной реализации. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2005. № 3.
9. Tsarev V.A. Basic principles of vehicles optoelectronic identification system development. // Pattern Recognition and Image Analysis. Vol. 15, № 2. 2005.
10. Vesnin E.N., Tsarev V.A. Segmentation of Images of License Plates. // Pattern Recognition and Image Analysis, 2006, Vol. 16. № 1.
11. Веснин Е.Н., Царев В.А. Оптимизация процесса обработки данных в системах распознавания буквенно-цифровых меток движущихся объектов // Интеллектуальные системы и компьютерные науки: Материалы IX международной конференции. М.: Издательство механико-математического факультета МГУ. 2006. Т.2, Ч.1.
12. Балыков Е.А., Царев В.А. Разработка и обеспечение качества программных средств обработки и анализа изображений. М.: Компания Спутник+, 2006.

*Царев Владимир Александрович – канд. техн. наук, зам. директора по науке ООО "Малленом".*

*Контактный телефон (8202)23-16-20. E-mail: vats@imit.ru Http://www.mallenom.ru*