

УДК 519.673

И.В. Рубан<sup>1</sup>, К.С. Смеляков<sup>1</sup>, Н.И. Науменко<sup>2</sup><sup>1</sup> Харьковський університет Воздушних Сил ім. І. Кожедуба<sup>2</sup> Департамент військового образования и науки МО України, Київ

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ МОДЕЛИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ПЕРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ ПОЛУЧЕНИЯ ДАННЫХ

С целью обеспечения эффективного решения задачи сегментации в переменных условиях получения данных в работе рассматриваются методологические основы идентификации модели с использованием в качестве эталонов фотореалистичных изображений рассматриваемых объектов и сцен.

**Ключевые слова:** идентификация, модель, эталон, изображение, сегментация.

### Введение

Основным методом построения математической модели считается идентификация, которая подразделяется на этапы идентификации структурной и параметрической. Структурная идентификация состоит в том, чтобы построить (оптимальным в смысле заданного критерия образом) структурные элементы модели изображения с точностью до параметров, а параметрическая – в том, чтобы оценить параметры структурных элементов модели [1].

В настоящее время в эпоху бурного развития современных информационных технологий актуальным является решение задачи идентификации для построения математических моделей изображений объектов для обеспечения решения задач сегментации и распознавания в приложениях связанных с машинным зрением [2 – 4]. Важность решения этой задачи подчеркивается тем, что качество идентификации модели определяет качество и эффективность всех последующих процедур анализа данных [5, 6].

При этом для обеспечения устойчивости наибольший интерес представляет решение задачи идентификации в переменных условиях получения данных в отношении зашумления, освещения и иных факторов влияния. Учет условий получения снимков чаще всего производится на основе рассмотрения тех или иных интегральных характеристик снимка, например, его средней яркости [7].

Основная задача работы, таким образом, состоит в том, чтобы описать методологические основы идентификации модели для решения задачи сегментации изображений нерегулярного вида в переменных условиях получения данных.

### 1. Построение эталонов изображений

В основе решения задачи идентификации лежит умение строить и использовать (с целью оценивания свойств) эталоны изображений рассматриваемых в приложениях объектов и сцен.

Практика показывает, что использование электронно-генерируемых (искусственных) эталонов яв-

ляется неэффективным, поскольку получаемые результаты идентификации невозможно непосредственно использовать для описания реальных (фотореалистичных) изображений. Поэтому под эталоном будем понимать изображение реального объекта, которое сегментировано заранее. Получение такого эталона производится экспертом с использованием определенных программно-технических средств в автоматическом, контролируемом или интерактивном режиме в зависимости от сложности задачи. Рассмотрим основные методы построения эталона.

*Вычитание изображений.* Суть метода состоит в том, чтобы вычесть из одного изображения другое, где положение интересующего объекта изменилось.

Эффективность этого метода в основном определяется способами получения изображений [2].

Наиболее простой способ получения пары изображений состоит в том, чтобы получить изображение некоторого фона и изображение объекта на том же самом фоне, после чего реализовать процедуру вычитания из фона. Второй способ – рассмотрение движущегося объекта на одном и том же фоне [2, 4].

Для облегчения построения эталона располагать объект лучше всего на искусственном однородном фоне. Идентифицировать же параметры модели необходимо для объекта на естественном фоне.

Важной особенностью использования таких процедур является возможность автоматического получения эталонов изображений, когда роль эксперта сводится к выполнению функции контроля, что является основой автоматизации всего процесса идентификации.

Вычитание изображений производится с использованием некоторой пороговой величины, которая необходима для учета влияния шума и, возможно, незначительных вариаций освещения. Из-за влияния случайных факторов, таким образом, границы эталонов, полученные в различные моменты времени будут отличаться. Поэтому для устранения биений границ выполняется процедура накопления изображений [8]. Выбор порога при этом производится исходя из условия, чтобы вычитание фоновых

изображений, полученных в различные, но близкие моменты времени давало ноль.

*Контрастирование изображений.* Для построения эталонов слабоконтрастных изображений можно использовать процедуру контрастирования, путем окрашивания специальным красителем (как в биологии для обнаружения объектов определенного типа), подсвечивания или использования светофильтров, размещения на контрастном фоне (как при контроле качества продукции на производстве), нагрева или охлаждения (как в задачах теплового неразрушающего контроля) [9].

*Интерактивная сегментация.* Суть метода состоит в том, чтобы построить эталон с непосредственным участием эксперта. При реализации данного метода эксперт сам выбирает метод и реализует процедуру сегментации. Чаще всего интерактивная сегментация начинается с процедуры локализации изображения объекта покрытием заданной формы, с последующим применением заданного метода сегментации, начиная с наиболее простых пороговых и гистограммных методов сегментации [8].

Как правило, интерактивная сегментация производится группой экспертов для последующего усреднения результатов (как при выполнении накопления изображений) с целью минимизации ошибки личного вклада каждого эксперта. Таким образом, решение задачи идентификации характеризуется применением как формальных, так и полностью неформализованных методов анализа данных (как правило, методов экспертного анализа) [8, 10].

Важность интерактивной сегментации подчеркивается тем, что в некоторых не тривиальных случаях объект может иметь слабо выраженные дефекты, например, сколы или блики. В этом отношении при обработке результатов интерактивной сегментации можно установить наличие таких дефектов, не использовать такие объекты для целей построения эталона и, кроме того, выявить, и классифицировать дефекты для целей их последующего устранения.

Построение эталона должно производиться неоднократно с целью последующего усреднения результатов (как при выполнении накопления изображений) в отношении положения границы, а также для стабилизации распределения яркости и уровня зашумления.

## 2. Идентификация модели по эталону

Итак, основной результат построения эталона – фотореалистичное изображение объекта, которое в бинарном виде представляется в виде композиции внутренности и границы изображения.

*Идентификация базовой модели.* Под базовой моделью понимается тополого-геометрическая система моделей изображения. Идентификация элементов базовой модели изображения производится на основе представления изображения в бинарном виде с его разделением на внутренность и границу.

Поскольку положение объекта и элементов его

структуры известно, определение топологического типа и геометрических параметров изображения может быть автоматизировано на основе использования стандартных вычислительных алгоритмов.

Так, построение классификации по связности (связное / несвязное) основывается на построении компонент связности изображения, и определении их числа. Построение классификации по типу (область / линия / точка / смешанный тип) основывается на сравнении открытого и замкнутого множеств, представляющих собой бинарный образ изображения. Построение классификации областей по типу связности (односвязное / не односвязное) основывается на применении алгоритма вычитания для фона, области и ее носителя. Оценивание геометрических параметров изображения также может быть автоматизировано на основе использования стандартных алгоритмов вычислительной геометрии [11].

Изображения объектов любого класса всегда в той или иной мере отличны друг от друга. Поэтому для каждого класса объектов, с изображениями которых мы будем работать, необходимо произвести оценку топологического типа и геометрических параметров для представительной выборки объектов. В результате получим множество топологических типов объектов, а также оценки геометрических параметров, например, диаметра, коэффициента формы, площади в интервальном виде.

В условиях рассмотрения изображений в различных масштабах следует заметить, что не только геометрические параметры, но и топология объектов на дискретном поле цифрового изображения может меняться; при значимом уменьшении масштаба объект типа область может вырождаться в линию, или вообще пропадать [12]. Поэтому для адекватности моделирования и сегментации необходимо производить построение модели для заданных масштабов представления изображения; с целью реализации принципов кратномасштабного анализа для этого целесообразно использовать пирамидальное представление изображений [8, 13].

*Идентификация основной и расширенной модели.* Под основной моделью понимается яркостно-контрастная система моделей, а под расширенной – система цветовых и мультиспектральных моделей. Поскольку положение объекта и элементов его структуры известно, элементы этих моделей, например, уровни яркости, контрастности (при расположении объекта на естественном фоне) и иные, могут быть найдены без труда с использованием стандартных методов анализа изображений [2 – 5, 8].

Например, для нахождения яркости изображения следует просканировать изображение по пикселям и оценить максимальную и минимальную яркости пикселей; в результате получим интервальную оценку яркости изображения. Для нахождения контрастности границы изображения следует расположить объект на естественном фоне, просканировать границу изображения по пикселям и оценить макси-

мальную и минимальную яркости пикселей границы; в результате получим интервальную оценку контрастности границы изображения (для заданной маски и правила оценивания контрастности).

При вариациях условий получения исходных данных будут варьироваться и параметры изображений. Для учета таких вариаций выберем характеристику входного изображения, позволяющую оценить уровень вариаций. Например, возьмем средний уровень яркости снимка  $\bar{f}$ . Разобьем область изменения средней яркости снимка  $\bar{f}$  на некоторое количество диапазонов  $\{\Delta\bar{f}_i\}_{i=1,n}$  и, соответственно этому разбиению, будем находить характеристики изображения в зависимости от средней яркости снимка. Результат такой идентификации, например, для яркости изображения объекта представляется в виде таблицы (табл. 1).

Таблица 1  
Яркостная модель в интервальном виде

Средняя яркость снимка	$\Delta\bar{f}_1$	...	$\Delta\bar{f}_n$
Яркость объекта	$[f_{\min}, f_{\max}]_1$	...	$[f_{\min}, f_{\max}]_n$

При этом для каждого класса объектов, с изображениями которых мы будем работать, необходимо, как и для элементов базовой модели, произвести оценку параметров для представительной выборки объектов для каждого среднего значения  $\bar{f}_i$ .

### 3. Системность идентификации модели

В первую очередь системный подход определяет необходимость комплексного рассмотрения характеристик изображений во всех шести основных аспектах (топологический, геометрический, яркостный, контрастный, цветовой и мультиспектральный) с тем, чтобы минимизируя сложность модели обеспечивать свойства видимости, контрастности, уникальности и устойчивости. При этом для определения системы отношений между элементами модели для целей сегментации в настоящее время в качестве основного используется аппарат алгебры логики и реляционной алгебры [1, 2, 4].

Для достижения стабильности и устойчивости необходим учет вариаций характеристик изображений в отношении их геометрических и фотометрических параметров в переменных условиях получения данных. При этом для построения устойчивых критериев сегментации важнейшим является свойство отделимости характеристик объектов и фона, что определяется качеством построения разделяющих функций в пространстве признаков.

Для комплексного рассмотрения изображений с целью оптимизации сложности модели и оценки степени отделимости характеристик объектов и фона основным в настоящее время является подход, основанный на использовании аппарата кластерного анализа и гистограммных методов [8].

*Построение разделяющих функций.* Выше говорилось, что результатом идентификации параметра является число или, чаще, интервал значений. При этом необходимо установить, что объекты различных типов по своим характеристикам будут отличны друг от друга. Стандартный подход, используемый для решения такой задачи, состоит в том, чтобы представить результаты идентификации для каждого типа объекта в виде кластера в пространстве признаков. Ключевая задача при этом состоит в том, чтобы в пространстве признаков для объектов заданных классов найти границы кластеров так, чтобы обеспечить отсутствие пересечения кластеров, т.е. обеспечить их взаимную отделимость.

В общем виде решение такой задачи в многомерном пространстве – задача чрезвычайно трудоемкая. Поэтому решение задачи нахождения границ кластеров, как правило, сводят к системе двумерных задач и, зачастую, к поиску границ между парами кластеров на основе как можно более простых критериев и разделяющих функций.

При этом наилучшим является построение разделяющих функций тривиального вида, с границами параллельными координатным осям (рис. 1, а), поскольку такая структура кластеров позволяет использовать для целей сегментации пороговые критерии. Если это не удастся, стараются найти границы кластеров в виде окружностей (эллипсов) с заданным центром и функцией рассеяния относительно центра (рис. 1, б), или в виде разделяющих функций не параллельных координатным осям, как правило, на основе использования полиномов (рис. 1, в).



Рис. 1. Нахождение границ кластеров на основе интервального анализа (а), эллиптических функций (б) и методов вычислительной геометрии (в)

**Гистограммный метод идентификации.** Гистограммный метод является однопараметрическим методом идентификации и используется для целей упрощения процедуры идентификации, а также в условиях не отделимости кластеров друг от друга. Суть гистограммного метода состоит в том, чтобы на первом этапе построить частотную гистограмму определенной характеристики изображения, например, гистограмму яркости изображения, а на втором этапе найти разделяющие функции по положению минимума бимодальной гистограммы. При этом возможны два типовых случая: первый для объектов, а второй – для объекта и фона. Первый – тривиальный случай (рис. 2, а) характеризуется не пересечением гистограмм яркости двух изображений. Разделяющая функция  $g$  в этом случае строится по правилу золотой середины  $0,5 \cdot [a + b]$ , где  $a$  – конечная яркость левой гистограммы, а  $b$  – начальная яркость правой.

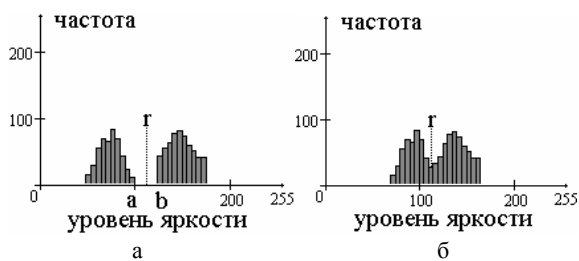


Рис. 2. Построение разделяющих функций по гистограмме яркости

Второй – нетривиальный случай (рис. 2, б) характеризуется пересечением гистограмм яркости двух различных изображений. Разделяющая функция в этом случае может строиться по одному из нескольких правил. Самое простое из них состоит в том, чтобы установить разделяющую линию в минимум бимодальной гистограммы.

## Выводы

С целью обеспечения эффективного решения задачи сегментации в переменных условиях получения данных в работе описаны методологические основы идентификации модели с использованием в качестве эталонов фотореалистичных изображений рассматриваемых объектов и сцен. При этом следует отметить, что в ряде случаев произвести иденти-

фикацию модели описанными выше способами невозможно; например, не может быть оценена контрастность объекта, который не может быть расположен на естественном фоне. В связи с этими идентификация модели должна быть дополнена методами прямой настройкой критериев [7].

## Список литературы

1. Лямец В.И. Системный анализ. Вводный курс / В.И. Лямец, А.Д. Тевяшев. – Х.: ХТУРЭ, 1998. – 252 с.
2. Форсайт Д. Компьютерное зрение. Современный подход / Д. Форсайт, Ж. Понс. – М.: Вильямс, 2004. – 928 с.
3. Яне Б. Цифровая обработка изображений / Б. Яне. – М.: Техносфера, 2007. – 584 с.
4. Шапиро Л. Компьютерное зрение; пер. с англ. / Л. Шапиро, Дж. Стокман. – М.: БИНОМ, 2006. – 752 с.
5. Sonka M. Image processing, analysis, and machine vision / M. Sonka, V. Hlavak, R. Boyle. – California (USA): Cole Publishing Company, 1999. – 770 p.
6. Введение в контурный анализ; приложения к обработке изображений и сигналов / Я.А. Фурман, А.В. Кревецкий, А.К. Передреев, А.А. Роженцов, Р.Г. Хафизов, И.Л. Егошина, А.Н. Леухин; Под ред. Я.А. Фурмана. – 2-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 592 с.
7. Смеляков К.С. Модели и методы сегментации границ изображений нерегулярного вида на основе адаптивных масок: дисс. ... канд. техн. наук: 09.03.05 / К.С. Смеляков. – Х., 2005. – 162 с.
8. Gonzalez R. Digital Image Processing. Second Edition / R. Gonzalez, R. Woods. – Prentice Hall, 2002. – 793 p.
9. Маслова В.А. Термография в диагностике и неразрушающем контроле / В.А. Маслова, В.А. Стороженко. – Х.: Компания СМІТ, 2004. – 160 с.
10. Искусственный интеллект. – В 3 кн. Кн. 1. Системы общения и экспертные системы / Под ред. проф. Э.В. Попова. – М.: Радио и связь, 1990. – 464 с.
11. Препарата Ф. Вычислительная геометрия: Введение; пер. с англ. / Ф. Препарата, М. Шеймос. – М.: МИР, 1989. – 487 с.
12. Лесная Н.С. Аппроксимация границ изображений на основе онтологической структуризации системы фильтров / Н.С. Лесная, А.С. Смелякова // Проблемы бионики. – Х.: ХНУРЭ, 2003. – Вып. 59. – С. 3-7.
13. Рубан И.В. Кратномасштабная сегментация изображений / И.В. Рубан, К.С. Смеляков, А.С. Смелякова // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. – Х.: ХУПС, 2008. – Вип. 5 (72). – С. 107-110.

Поступила в редколлегию 22.12.2008

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Ю.В. Стасев, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ МОДЕЛІ ДЛЯ РІШЕННЯ ЗАДАЧІ СЕГМЕНТАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ В ЗМІННИХ УМОВАХ ОТРИМАННЯ ДАНИХ

I.V. Ruban, K.S. Smelyakov, M.I. Naumenko

З метою забезпечення ефективного рішення задачі сегментації в змінних умовах отримання даних у роботі розглядаються методологічні основи ідентифікації моделі з застосуванням в якості еталонів фотореалістичних зображень об'єктів і сцен, що розглядаються.

**Ключові слова:** ідентифікація, модель, еталон, зображення, сегментація.

## METHODOLOGICAL CONCEPTS OF MODEL IDENTIFICATION FOR IMAGE SEGMENTATION IN VARIABLE DATA ACQUISITION CONDITIONS

I.V. Ruban, K.S. Smelyakov, N.I. Naumenko

In order to increase a stability of segmentation in variable data acquisition conditions the methodological concepts of model identification are proposed where for the templates the photo-realistic images of the considered objects and scenes are used.

**Keywords:** identification, model, standard, image, segmentation.