

УДК 623.746.2+623.746-519

В.А. Тупиков, В.А. Павлова, С.Н. Крюков, М.В. Созинова, П.К. Шульженко**ЛИНГВИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ЗАДАЧАХ РАСПОЗНАВАНИЯ
ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Основной проблемой при решении задачи распознавания цели является сложность задания эталонов для распознавания, поскольку большинство современных методов для обеспечения высокой эффективности своей работы требуют точного задания изображения распознаваемого эталона, что не всегда возможно. В связи с этим, целью данной работы является рассмотрение методов обработки изображений, позволяющих упростить задание эталонов для распознавания. В статье предлагается использование лингвистических методов для задач автоматического распознавания изображений. Лингвистические методы применяются к задачам распознавания образов, в которых важна информация, описывающая структуру каждого объекта. Лингвистические методы распознавания базируются на представлении изображения в виде набора примитивов разного уровня, описывающих наиболее значимые части сцены, и сопоставлении их с эталонным описанием в соответствии с заданными правилами. Преимуществом лингвистического подхода является возможность распознавания объекта по заданному описанию наиболее значимых особенностей эталона, без необходимости задания точного эталонного изображения. Кроме того, на результат распознавания не влияет масштаб и ориентация объекта в пространстве. Таким образом, лингвистические методы являются эффективным средством для распознавания урбанистических объектов.

Структурное описание; лингвистические алгоритмы; автоматическое распознавание изображений; алгоритмы всеракурсного распознавания; преобразование Хафа.

V.A. Tupikov, V.A. Pavlova, S.N. Krjukov, M.V. Sozinova, P.K. Shulzhenko**LINGUISTIC METHODS IN THE PROBLEMS OF IMAGE RECOGNITION**

The main problem in solving the ATR tasks is the complexity of standard creation. It is just because the most of modern methods need the accurate assignments of the standard image for target recognition and this is not always possible. In this connection the aim of the suggested work is to observe the image processing methods, giving the possibility to simplify the process of standards creations. The given article proposes the use of linguistic methods in solving the problems of automatic image recognition. The linguistic methods are applicable in the problems of images recognition, which need information describing the structure of every image object. The linguistic recognition methods are based on the image representation in the set form of primitive elements of different levels, describing the most significant parts of scene and the matching them with the given standard description according to given rules. The main advantage of linguistic methods is the possibility of given object recognition according to the given description of most significant standard features without the necessity of precise standard image assignment. Moreover the recognition result does not depend on scale and space orientation of object. Thus, the proposed linguistic methods are effective instrument for urbanistic objects recognition.

Structure description; linguistic algorithms; automatic image recognition; the all aspects recognition algorithms; Haugh transformation.

В настоящее время в мире выполняется огромное количество исследований и разработок, направленных на создание алгоритмов и устройств автоматического распознавания целевых объектов путем цифровой обработки видеoinформации, поступающей с оптико-электронных и радиолокационных систем наблюдения [1–16]. Определяющая роль в процессе построения подобного рода систем отводится формированию устойчивых и компактных различительных признаков образа распознаваемого объекта. При этом необходим анализ всех тонкостей процесса формирования признаков, которые определяют потенциальные возможности и эффективность применения автоматических систем распознавания.

Ни один из существующих методов автоматического распознавания не позволяет создать универсальный распознаватель. Каждый метод предназначен для работы по конкретному ограниченному алфавиту объектов и функционирует в достаточно ограниченном диапазоне условий получения текущего изображения объекта (размер, ракурс, контраст относительно фона, наличие фоновых помех, шумы различного происхождения и т.д.). Чаще всего для классификации трехмерных объектов на фоне разнородной подстилающей поверхности используются корреляционные и нейросетевые методы цифровой обработки изображений. Однако, к основным недостаткам этих методов относится резкое снижение вероятности правильного распознавания при геометрических искажениях объектов, таких как поворот и изменение масштаба. Кроме того, данные подходы к распознаванию изображений более или менее успешно применяются для анализа единичных объектов. Однако при наличии сложного многокомпонентного изображения, состоящего из множества разнородных объектов, таких как мосты, нефтехранилища и т.п., необходимо учитывать взаимное расположение объектов, составляющих исходную трехмерную сцену. Для успешного распознавания таких сцен более эффективными оказываются алгоритмы, основанные на лингвистических методах. Суть этих методов заключается в построении сжатого описания структуры изображения. Так, если заменить каждый объект его описанием, то элементы описания могут быть использованы как признаки объекта, а само описание сцены можно будет анализировать с применением аппарата математической лингвистики. Основным отличием лингвистического распознавания образов является непосредственное использование структуры образов в процессе распознавания. Поэтому такие методы также часто называют структурными методами распознавания.

Такой подход к задачам распознавания имеет ряд преимуществ:

- ◆ лингвистическое описание сцены является более компактным и занимает меньше места в памяти устройств, в котором оно хранится;
- ◆ построение лингвистического описания позволяет отбросить несущественные детали изображения, которые могли бы привести к снижению вероятности распознавания при использовании корреляционных методов;
- ◆ использование при лингвистическом распознавании относительных характеристик объектов сцены (таких как относительные размеры соседних объектов, их расположение относительно друг друга) позволяет компенсировать главный недостаток корреляционных и контурных алгоритмов – зависимость вероятности правильного распознавания от масштаба и поворота объектов.

Основные трудности в лингвистическом методе распознавания возникают на этапе построения описания изображений. Для корректного построения описания необходимо точно выделять отдельные объекты на изображении, определять их границы и параметры. Поэтому решающую роль в построении описания промышленного пейзажа играют используемые методы предварительной обработки изображения. Точное определение "структуры" изображения является необходимым для успешного применения лингвистического метода распознавания. Именно поэтому исследования в области лингвистического распознавания в основном сводятся к распознаванию изображений, характеризующихся хорошо различимыми формами, в частности символов, в то время как распознавание промышленных пейзажей с использованием лингвистических методов является малоизученной областью распознавания изображений.

В связи с этим в данной статье были исследованы возможности применения лингвистических методов для распознавания изображений промышленных пейзажей.

В случае применения лингвистических алгоритмов эталон для распознавания задается в виде описания типа и количества ожидаемых объектов, их площади, а также их положение друг относительно друга. Типом ожидаемого объекта может быть, как простая фигура (круг, прямоугольник, линия), так и некоторый сложный геометрический объект. Более сложные геометрические объекты, которые не могут быть описаны простейшими геометрическими фигурами, описываются как совокупность значимых точек (концевых точек, точек перегибов линий и точек пересечения нескольких линий) и связи между ними. По заданным данным строится структурное описание эталона.

Для применения лингвистического алгоритма распознавания полутоновое изображение необходимо привести к структурному виду [17]. Структурное описание изображения подразумевает разбиение изображения на различные объекты и подобъекты разного уровня подробности. Самым нижним уровнем структурного описания изображения являются так называемые значимые точки изображения. Это точки окончания линий, перегибов, точки пересечения нескольких линий. Кроме того, структурное описание изображения содержит информацию о связях между объектами каждого уровня. Пример структурной схемы представлен на рис. 1.

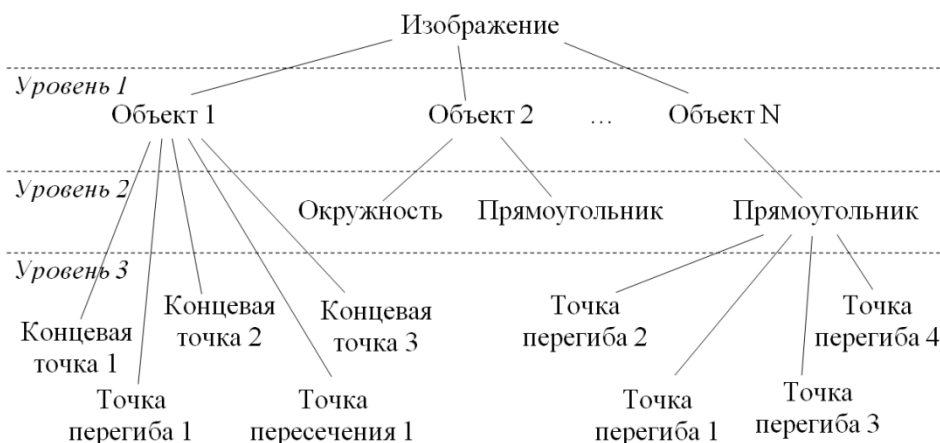


Рис. 1. Пример структурной схемы изображения

Для построения структурного описания изображения и последующего автоматического распознавания, использующего лингвистические методы, выполняется ряд операций обработки изображения:

1. Из исходного изображения строится бинарное контурное изображение.

Для этого может быть использован любой контурный алгоритм, например, фильтр Робертса или Кирша, или алгоритмы, основанные на вычислении поля модулей градиентов яркостей изображения. Выбор алгоритма контурирования обуславливается конкретными условиями использования алгоритма. В данной работе предлагается алгоритм контурирования, основанный на последовательной бинаризации каждой точки изображения в соответствии со значением порога. В качестве порогового значения выбирается среднее значения яркости изображения в некоторой зоне вокруг текущей точки.

Для выделения контура полученного бинарного изображения предлагается использовать морфологическую функцию выделения границ. Суть алгоритма морфологического выделения границ заключается в выполнении операции эрозии для заданного бинарного изображения с последующим вычитанием полученного результата из исходного бинарного изображения.

Полученное таким образом контурное изображение имеет ширину контура в один пиксел, что упрощает дальнейшую обработку изображения. Кроме того, описанный метод выделения контуров является устойчивым к засветам или затемнениям отдельных областей изображения.

2. На полученном контурном изображении производится фильтрация объектов. Изображение фильтруется по принципу 8-ми связности [18]. Объект считается связанным, если между любыми двумя точками объекта существует путь, целиком состоящий из точек этого объекта и при этом все точки пути являются 8-мисмежными (рис. 2).

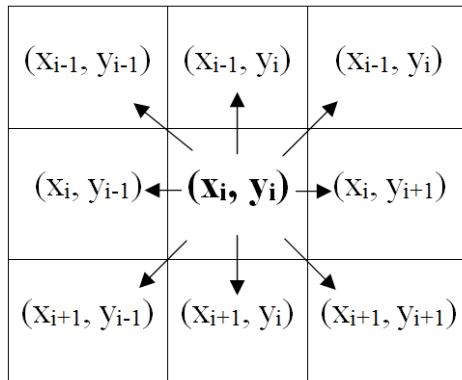


Рис. 2. Точка (X_i, Y_i) и 8 смежных с ней точек

При фильтрации отслеживается площадь выделяемых объектов. Те объекты, площадь которых выходит за пределы допустимых границ, не рассматриваются. При последующей обработке каждый выделенный объект изображения анализируется отдельно.

3. Для каждого объекта определяются его лингвистические параметры. С помощью морфологических функций, а также алгоритмов, использующих преобразование Хафа [19], выделяются основные параметры каждого объекта. В том числе, определяются концевые точки, точки перегибов и пересечения нескольких линий. В зависимости от структуры эталонного изображения, для анализируемого объекта выделяются основные геометрические фигуры, такие как окружность или прямоугольник. Все эти параметры станут основой для лингвистического описания изображения.

Концевые точки, точки перегибов и точки пересечения нескольких линий называются узловыми точками. Для их обнаружения используются алгоритмы прохода с заданными масками. Так, например, на рисунке 3 приведены примеры масок для обнаружения концевых точек. Значения ячеек масок, отмеченных знаком X не влияют на результат определения концевых точек.

$$\begin{bmatrix} x & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ x & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad
 \begin{bmatrix} x & 1 & x \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad
 \begin{bmatrix} 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & x \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad
 \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ x & 1 & x \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

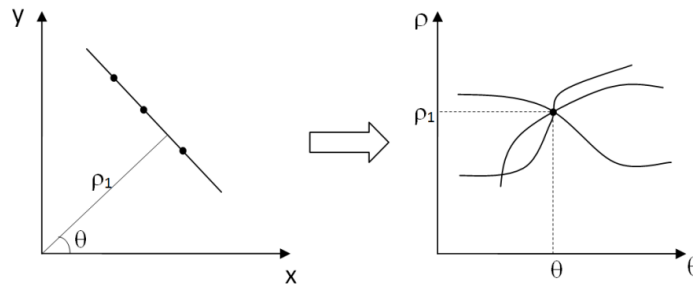
Рис. 3. Маски примитивов для обнаружения концевых точек

Для определения объектов более высокого уровня, таких как окружности и прямоугольники и прямые линии, применяются алгоритмы, использующие преобразование Хафа. Суть преобразования Хафа строится на переходе от декартовой системы координат к полярной системе координат.

Так, например, при выделении прямых линий в полярной системе координат прямая задается уравнением:

$$x \cos \theta + y \sin \theta = \rho. \tag{1}$$

Каждой прямой в плоскости (x, y) соответствует точка в плоскости (ρ, θ) . И наоборот, каждой точке в плоскости (x, y) соответствует кривая в плоскости (ρ, θ) . Таким образом, 3 точки изображения, лежащие на одной прямой, в плоскости (ρ, θ) будут образовывать 3 кривые, пересекающиеся в одной точке.



Если представить бинарное контурное изображение как множество точек в плоскости (x, y) , то каждой контурной точке с координатами (x_i, y_i) будет соответствовать кривая в плоскости (ρ, θ) . При подстановке всех возможных значений θ в формулу (1) можно получить все соответствующие значения ρ . Для трех точек (x_1, y_1) , (x_2, y_2) и (x_3, y_3) , лежащих на одной прямой, найдется такая пара (ρ_i, θ_i) , которая будет удовлетворять всем трем уравнениям (1). Чем больше точек изображения лежит на одной прямой, тем большее количество раз будет встречаться пара (ρ_i, θ_i) , соответствующая данной прямой.

Таким образом, для выделения прямых линий на изображении с использованием преобразования Хафа, необходимо создать таблицу так называемых ячеек накопления (табл. 1). Первоначально значения во всех ячейках таблицы равны нулю. Затем для каждой контурной точки (x_i, y_i) изображения последовательно перебираются все возможные значения параметра θ . По формуле (1) для заданных значений x, y и θ вычисляется соответствующее значение ρ . После этого найденное значение округляется до ближайшего целого и в таблице ячеек накопления на единицу увеличивается значение ячейки, соответствующей вычисленной паре (ρ_i, θ_i) .

Таблица 1

Таблица ячеек накопления

$\rho \backslash \theta$	ρ_{min}	...	ρ_i	...	ρ_{max}
θ_{min}			⋮		
⋮					
θ_i
⋮					
θ_{max}			⋮		

После заполнения описанным выше способом таблицы ячеек накопления производится поиск максимальных значений в таблице. Те пары (ρ_i, θ_i) , для которых значения в ячейках накопления выше некоторого заданного порога, принимаются за параметры прямой линии на анализируемом изображении.

Для выделения окружностей в полярных координатах задается уравнением:

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = R^2,$$

где (a, b) – координаты центра окружности, R – радиус.

Алгоритм выделения окружностей аналогичен алгоритму выделения прямых линий, только в этом случае вместо плоскости (ρ, θ) строится трехмерное пространство (a, b, R) .

Для выделенных таким образом подьобъектов разных уровней (узловых точек и геометрических фигур) фиксируется их расположение относительно друг друга, относительные размеры и площади, а также связи между узловыми точками.

4. По полученным данным для каждого объекта строится структурное описание всего обрабатываемого изображения. Описание структуры изображения задается в так называемых таблицах первичных связей [20]. Они составляются как на отдельные узловые точки изображения, так и на выделенные геометрические объекты. Таблицы первичных связей представляют собой двумерные таблицы, в каждой ячейке которой содержится информация о связях между двумя подьобъектами изображения (узлами или геометрическими объектами).

При составлении таблицы для геометрических объектов, в каждую ячейку таблицы записывается расстояние между центрами двух объектов, отношение их площадей, а также типы каждого из объектов.

В случае же составления таблицы первичных связей более низкого уровня, для значимых узлов изображения, заполняются только те ячейки таблицы, соответствующие узлы которых связаны между собой на бинарном изображении. При этом сохраняется такая информация, как длина линии, связывающая данные узлы, угол наклона данной линии, а также тип обоих узлов.

При таком способе построения описания отбрасываются все незначительные детали изображения в зависимости от структуры заданного эталона, что позволяет существенно упростить и ускорить дальнейшее распознавание изображения.

5. Распознавание эталона на изображении. По полученному лингвистическому описанию текущего изображения производится распознавание заданного эталона. При этом, поскольку в составленных таблицах первичных связях вся информация о выделенных подьобъектах вычислена относительно друг друга, процесс распознавания не учитывает необходимое соответствие масштабов и ракурсов текущего распознаваемого изображения с заданным эталоном.

На рис. 4 приведен пример эталонного изображения для распознавания. На изображении отмечены основные структурные элементы, выделенные на этапе предварительной обработки эталона.

Процесс распознавания включает в себя поиск на исходном изображении объектов, соответствующих эталонному по форме и взаимному расположению. Результат распознавания выбранного эталона приведен на рис. 5. На результирующем изображении отмечены подозрительные объекты, отмеченные на этапе построения структурного описания и удовлетворяющие заданным параметрам поиска в соответствии с эталонным изображением. Зона наибольшего совпадения с заданным эталоном, вычисленная в результате лингвистического анализа, выделена жирным. На данном примере видно, что ориентация и масштаб заданного эталона не повлияли на эффективность распознавания.

Таким образом, лингвистические методы распознавания являются весьма перспективными, однако недостаточно изученными методами в области автоматического распознавания изображений.

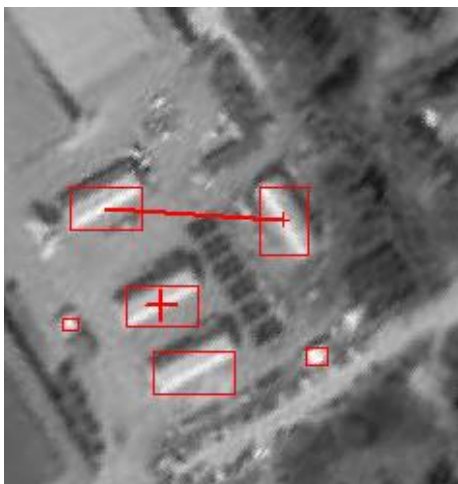


Рис. 4. Эталонное изображение



Рис. 5. Результат распознавания

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Афонасенко А.В. Распознавание структурированных символов на основании методов морфологического анализа // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 311, № 5. – С. 119-123.
2. Бакут П.А., Колмогоров Г.С., Ворновицкий И.Э. Сегментация изображений: методы пороговой обработки // Зарубежная радиоэлектроника. – 1987. – № 10. – С. 6-24.
3. Местецкий Л.М. Математические методы распознавания образов. Курс лекций. – М.: МГУ, 2002.

4. *Павлидис Т.* Иерархические методы в структурном распознавании образов // Труды института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике. – 1979. – Т. 67, № 5. – С. 39-49.
5. *Потапов А.С., Гуров И.П., Васильев В.Н.* Математические методы и алгоритмическое обеспечение анализа и распознавания изображений в информационно-телекоммуникационных системах // Всероссийский конкурсный отбор обзорно-аналитических статей по приоритетному направлению "Информационно-телекоммуникационные системы", 2008.
6. *Рейер И.А.* Сегментация штрихов и их соединений при распознавании рукописного текста // Труды международной конференции "Графи-кон-99". – М.: МГУ, 1999. – С. 151-155.
7. *Зеленцов И.А., Филиппович Ю.Н.* Распознавание образов на основе структурных фреймовых описаний в скорописных текстах XVII в. // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. – 2011. – Вып. 12.
8. *Гороховатский В.А.* Распознавание изображений в условиях неполной информации. – Харьков: ХНУРЭ, 2003. – 112 с.
9. *Путятин Е.П., Гороховатский В.А., Кузьмин С.В.* Распознавание изображений в пространстве инвариантных локальных признаков // Радиоэлектроника и информатика. – 2006. – № 1 (32). – С. 69-73.
10. *Bunke H.* Structural and syntactic pattern recognition // World Scientific, Singapore. – 1996. – P. 163-209.
11. *Devijver P. and Kittler J.* Pattern recognition: A statistical approach // Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1982.
12. *Kasami T.* An efficient recognition and syntax analysis algorithm for context-free languages // Scientific report AFCLR-65-758, Air Force Cambridge Research Laboratory, Bedford, Mass., USA, 1965.
13. *Schlesinger M.* Algebraic method for solution of some best matching problems // In Advances in Computer Vision, Proceedings of the Dagstuhl Seminar, Saarland, Germany. – 1997. – P. 201-210.
14. *Erol A., Bebis G., Nicolescu M., Boyle RD., Twombly X.* Vision-based hand pose estimation: A review // Computer Vision and Image Understanding. – 2007. – Vol. 108, Issues 1-2. – P. 52-73 Special Issue on Vision for Human-Computer Interaction.
15. *Sulehria H.K., Ye Zhang.* Vehicle Logo Recognition Using Mathematical Morphology // Proc. 6th WSEAS Int. Conference on Telecommunications and Informatics, 2007. – P. 95-98.
16. *Young T.* Handbook of Pattern Recognition and Image Processing: Computer Vision, volume 2, San Diego, USA. Academic Press, 1994.
17. *Фу К.* Структурные методы распознавания образов. – М.: Мир, 1977. – 320 с.
18. *Гонсалес Р., Вудс Р.* Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
19. *Duda R.O., Hart P.E.* Use of the Hough Transformation To Detect Lines and Curves in Pictures // Comm. ACM. – 1972. – Vol. 15, January. – P. 11-15.
20. Автоматический анализ сложных изображений. Сборник переводов / Под ред. Бравермана Э.М. – М.: Мир, 1969. – С. 22-30.

REFERENCES

1. *Afonasenko A.V.* Raspoznavanie strukturirovannykh simvolov na osnovanii metodov morfologicheskogo analiza [Recognition of structured symbols on the basis of morphological analysis methods], *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University], 2007, Vol. 311, No. 5, pp. 119-123.
2. *Bakut P.A., Kolmogorov G.S., Vormovitskiy I.E.* Segmentatsiya izobrazheniy: metody porogovoy obrabotki [Image segmentation: thresholding methods], *Zarubezhnaya radioelektronika* [Foreign electronics], 1987, No. 10, pp. 6-24.
3. *Mestetskiy L.M.* Matematicheskie metody raspoznavaniya obrazov. Kurs lektsiy [Mathematical methods of pattern recognition. A course of lectures]. Moscow: MGU, 2002.
4. *Pavlidis T.* Ierarkhicheskie metody v strukturnom raspoznavanii obrazov [Hierarchical methods in structural pattern recognition] *Trudy instituta inzhenerov po elektrotekhnike i radioelektronike* [Proceedings of Institute of engineers electrical and electronics], 1979, Vol. 67, No. 5, pp. 39-49.

5. Potapov A.S., Gurov I.P., Vasil'ev V.N. Matematicheskie metody i algoritmicheskoe obespechenie analiza i raspoznavaniya izobrazheniy v informatsionno-telekommunikatsionnykh sistemakh [Mathematical methods and algorithmic analysis and image recognition in information and telecommunication systems], *Vserossiyskiy konkursnyy otbor obzorno-analiticheskikh statey po prioritetnomu napravleniyu "Informatsionno-telekommunikatsionnye sistemy"*, 2008 [All-Russian contest selection of op-ed articles in the priority "Information-telecommunication systems", 2008].
6. Reyer I.A. Segmentatsiya shtrikhov i ikh soedineniy pri raspoznavanii rukopisnogo teksta [Segmentation of the strokes and their connections with handwriting recognition], *Trudy mezhdunarodnoy konferentsii "Grafi-kon-99"* [Proceedings of the international conference "Grap-con-99"]. Moscow: MGU, 1999, pp. 151-155.
7. Zelentsov I.A., Filippovich Yu.N. Raspoznavanie obrazov na osnove strukturnykh freymovykh opisaniy v skoropisnykh tekstakh XVII v. [Pattern recognition based on structural frame descriptions in cursive texts XVII], *Nauka i obrazovanie: elektronnoe nauchno-tekhnicheskoe izdanie* [Science and education: electronic scientific edition], 2011, Issue 12.
8. Gorokhovatskiy V.A. Raspoznavanie izobrazheniy v usloviyakh nepolnoy informatsii [Image recognition in conditions of incomplete information]. Khar'kov: KhNURE, 2003, 112 p.
9. Putyatin E.P., Gorokhovatskiy V.A., Kuz'min S.V. Raspoznavanie izobrazheniy v pro-stranstve invariantnykh lokal'nykh priznakov [Image recognition in the space of invariant local characteristics], *Radioelektronika i informatika* [Radioelektronika I informatika], 2006, No. 1 (32), pp. 69-73.
10. Bunke H. Structural and syntactic pattern recognition, *World Scientific, Singapore*, 1996, pp. 163-209.
11. Devijver P. and Kittler J. Pattern recognition: A statistical approach, *Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ*, 1982.
12. Kasami T. An efficient recognition and syntax analysis algorithm for context-free languages, *Scientific report AFCLR-65-758, Air Force Cambridge Research Laboratory, Bedford, Mass., USA*, 1965.
13. Schlesinger M. Algebraic method for solution of some best matching problems, *In Advances in Computer Vision, Proceedings of the Dagstuhl Seminar, Saarland, Germany*, 1997, pp. 201-210.
14. Erol A., Bebis G., Nicolescu M., Boyle R.D., Twombly X. Vision-based hand pose estimation: A review, *Computer Vision and Image Understanding*, 2007, Vol. 108, Issues 1-2, pp. 52-73. Special Issue on Vision for Human-Computer Interaction.
15. Sulehria H.K., Ye Zhang. Vehicle Logo Recognition Using Mathematical Morphology, *Proc. 6th WSEAS Int. Conference on Telecommunications and Informatics*, 2007, pp. 95-98.
16. Young T. Handbook of Pattern Recognition and Image Processing: Computer Vision, volume 2, San Diego, USA. Academic Press, 1994.
17. Fu K. Strukturnye metody raspoznavaniya obrazov [Structural methods of pattern recognition]. Moscow: Mir, 1977, 320 p.
18. Gonsales R., Vuds R. Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy [Digital image processing]. Moscow: Tekhnosfera, 2005, 1072 p.
19. Duda R.O., Hart P.E. Use of the Hough Transformation To Detect Lines and Curves in Pictures, *Comm. ACM*, 1972, Vol. 15, January, pp. 11-15.
20. Avtomaticheskii analiz slozhnykh izobrazheniy. Sbornik perevodov [Automatic analysis of complex images. A collection of translations], Pod red. Bravermana E.M. [Edited by Braverman E.M.]. Moscow: Mir, 1969, pp. 22-30.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. В.В. Щербинин.

Тупиков Владимир Алексеевич – ОАО «Научно-производственное предприятие «Авиационная и морская электроника»; e-mail: tupikov@nprame.ru; 198097, г. Санкт-Петербург, ул. Маршала Говорова, 29, лит. «О», а/я 51; тел.: 88123274667; заместитель генерального директора; директор научно-производственного комплекса робототехнических систем специального назначения; д.т.н.; профессор.

Павлова Валерия Анатольевна – e-mail: pavlova@nprame.ru; заместитель директора научно-производственного комплекса робототехнических систем специального назначения по НИОКР; директор Центра средств интеллектуальной обработки изображений в РТС СНГ; к.т.н.

Крюков Сергей Николаевич – e-mail: SKrjukov@mail.ru; главный научный сотрудник Центра средств интеллектуальной обработки изображений в робототехнических системах специального назначения; к.т.н.

Созинова Мария Владимировна – e-mail: sim-maria@mail.ru; начальник отдела перспективных методов обработки изображений.

Шульженко Петр Константинович – e-mail: shulgenkopk@mail.ru; ведущий научный сотрудник отдела перспективных методов обработки изображений; к.т.н.

Tupikov Vladimir Alekseevich – OJSC "Research and Production Enterprise "Aviation and Marine Electronics"; e-mail: tupikov@nppame.ru; Russia, 198097, Saint Petersburg, str. Marshal Govorov, 29, lit. "O", P.O.B 51; phone: +78123274667; deputy director general; director of research-industrial complex robotic systems special purpose; dr. of eng. sc.; professor.

Pavlova Valeria Anatolyevna – e-mail: pavlova@nppame.ru; deputy director of research-industrial complex robotic systems special purpose R&D; director Center Intellectual image processing tools in RTS SP; cand. of eng. sc.

Krjukov Sergey Nikolaevich – e-mail: SKrjukov@mail.ru; chief researcher Center Intellectual image processing tools in RTS SP; cand. of eng. sc.

Sozinova Maria Vladimirovna – e-mail: sim-maria@mail.ru; head department of perspective methods for image processing.

Shulzhenko Petr Konstantinovich – e-mail: shulgenkopk@mail.ru; leading researcher department of perspective methods for image processing.

УДК 531.383.11

Г.И. Джанджгава, Т.В. Сазонова, М.С. Шелагурова

МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ И СТРУКТУРА БОРТОВОЙ БАЗЫ ДАННЫХ О РЕЛЬЕФЕ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Рассмотрены методы формирования и структура бортовой базы данных о рельефе земной поверхности, используемой для обеспечения решения различных авиационных приложений, в том числе экстремальной коррекции навигационных параметров, маловысотного полета, предупреждения столкновения с землей и индикации картографической информации в режимах 3D и с «отмыжкой» рельефа. За рубежом для записи матриц рельефа местности (МРМ) наиболее часто используются форматы DEM и DTED. В России формирование МРМ производится на основе использования файлов векторного формата SXF. Предлагаемые авторами методы и алгоритмы формирования МРМ на основе файлов формата SXF основаны на обработке слоя изолиний рельефа, площадных, линейных и точечных объектов, имеющих семантику со значением абсолютной высоты. При этом для построения МРМ используется усовершенствованный авторами метод интерполяции обратно взвешенных расстояний. Также в статье приведены разработанные авторами система записи МРМ двух уровней точности для полярных и неполярных зон Земли, структура бортового формата МРМ, а также алгоритмы преобразования координат для полярных зон. Отличительной особенностью предлагаемой системы записи является кратность значению «2» дискретов записи по долготе для соседних неполярных зон, что позволяет формировать 3D изображение без искажений на стыках зон. В режимах маловысотного полета и индикации опасного сближения с землей авторами предложено формировать на базе МРМ матрицу псевдорельефа местности (МПМ), представляющего собой максимальные значения из сумм рельефа и высотного объектового состава в окрестности неопределенности спутниковой навигационной системы. Для режима индикации с «отмыжкой»