

## АЛГОРИТМ ВЫДЕЛЕНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПРЕДСТАВЛЕННОМ В ФОРМЕ ГРАФА ЛЕСА СЕГМЕНТИРОВАННОМ ИЗОБРАЖЕНИИ

*\*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) (проекты № 17-07-00127А, 17-07-001А, 19-07-00197А).*

**Герб Владимир Яковлевич**

*научный сотрудник*

*ООО «Институт инновационных исследований» г. Москва*

**Лавров Василий Васильевич**

*кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник*

*ПАО Межгосударственная акционерная корпорация «Вымпел» г. Москва*

**Проخورов Максим Евгеньевич**

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник*

*ПАО Межгосударственная акционерная корпорация «Вымпел» г. Москва*

**Рындин Юрий Георгиевич**

*кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник*

*ПАО Межгосударственная акционерная корпорация «Вымпел» г. Москва*

DOI: [10.31618/nas.2413-5291.2019.3.50.126](https://doi.org/10.31618/nas.2413-5291.2019.3.50.126)

## ALGORITHM FOR SELECTING STRUCTURAL ELEMENTS IN A SEGMENTED IMAGE PRESENTED IN THE FORM OF A FOREST GRAPH

**Gerb Vladimir Yakovlevich**

*researcher*

*Limited Liability Company Institute for Innovation Research Moscow*

**Lavrov Vasilii Vasilievich**

*Candidate of Science, leading researcher*

*PJSC "Interstate Joint Stock Corporation "Vimpel" Moscow*

**Prokhorov Maxim Evgenievich**

*Candidate of Science, senior researcher*

*PJSC "Interstate Joint Stock Corporation "Vimpel" Moscow*

**Ryndin Yurii Georgievich**

*Candidate of Science, leading researcher*

*PJSC "Interstate Joint Stock Corporation "Vimpel" Moscow*

### Аннотация

Рассматривается задача выделения типовых конструктивных элементов на прошедшем сегментацию однобайтовом оптическом изображении (ОИ) невысокого качества, структура которого представлена в виде графа леса. Ячейками отдельных деревьев графа являются выделенные сегменты изображения, образованные разрешёнными и неразрешёнными конструктивными элементами. На основе адаптивного байесова алгоритма проверки двухальтернативных гипотез синтезируется алгоритм анализа структуры графа дерева ОИ информационного объекта. При наличии априори разрешённых ОИ конструктивных элементов в структуру алгоритма вводятся процедуры обработки сегментов выделенных ветви и узла. Для обработки ОИ сегментов, образованных априори неразрешёнными конструктивными элементами в качестве признакового пространства для принятия решения предлагается использовать их скелетное представление.

### Abstract

The problem of isolating typical structural elements in a segmented low-quality single-byte optical image (OI), the structure of which is presented in the form of a forest graph, is considered. Cells of individual graph trees are selected image segments formed by allowed and unresolved constructive elements. Based on the adaptive Bayesian algorithm for testing two alternative hypotheses, an algorithm for analyzing the structure of the graph tree of the information object OI is synthesized. In the presence of a priori permitted OI of structural elements, procedures for processing segments of the selected branch and node are introduced into the structure of the algorithm. To process OI segments formed a priori by unresolved structural elements as a feature space for decision making, it is proposed to use their skeletal representation.

**Ключевые слова** адаптивный байесов подход, граф дерева, конструктивный элемент, признак распознавания, простой скелет, радиальная функция, решающее правило, сегментированное изображение.

**Keywords** adaptive Bayesian approach, tree graph, structural element, recognition feature, simple skeleton, radial function, decision rule, segmented image.

### Введение

Характерной особенностью исходных ОИ является то обстоятельство, что вероятностное описание как фонового излучения, обусловленного

совокупностью большого числа факторов в процессе формирования ОИ [2], так и структура ОИ наблюдаемого объекта априори неизвестны.

В [3] в рамках адаптивного байесова подхода

рассмотрена задача распознавания элементов конструкции из выбранного алфавита  $M$  эталонных объектов при наличии обучающей выборки ограниченного объема соответствующих признаков распознавания, формируемых по прошедшим сегментации ОИ. В основу решения поставленной задачи положен выбор структуры аддитивной функции потерь, что позволило задачу проверки многоальтернативной гипотезы свести к независимой проверке соответствующего числа двухальтернативных. Для разрешённых на ОИ

$$Y = \sum_{l=1}^M l * U_l;$$

$$U_l: U_l(i, j) = true \text{ при } Y(i, j) = l; \text{ иначе } U_l(i, j) = false$$

Здесь  $U_l$  – булева матрица соответствующей размерности;  $l \in [1, M = 256)$  – выбранный уровень интенсивности (яркости) отдельных пикселей ОИ,  $N_x$  – количество строк  $Y$ , а  $N_y$  – количество столбов. Заметим, что справедливо соотношение  $U_l \cap U_k = \emptyset$  при  $l \neq k$ , где  $\emptyset$  – нулевая матрица.

Соответствующие пороговые битовые ОИ при выбранном пороге  $l_0$  вычисляются по формуле  $U(l_0) = \bigcup_{l=l_0}^M U_l$ . Они или их прообразы преобразования используются в процессе предыдущих этапов полного цикла обработки [1].

$$\text{при } l_1 > l_0: \forall B(\lambda(j|l_1)) \exists B(\lambda(i|l_0)) \Rightarrow B(\lambda(j|l_1)) \in B(\lambda(i|l_0)); i \in [1, S(l_0)]; j \in [1, S(l_1)],$$

которое отражает топологическое включение сегментов  $B(\lambda(j|l_1)) \cap B(\lambda(i|l_0)) = B(\lambda(j|l_1))$ . Следовательно, структуру ОИ можно интерпретировать в виде графа леса, включающего в себя определённое количество деревьев  $L(Y) = \bigcup_{k=1}^K D_k$ , структура которых восстанавливается с использованием сегментов  $B(\lambda(i|l))$ , выделенных при разных уровнях яркости.

Предположим, что класс эталонных объектов полный  $u \in [0, U)$ , проведен выбор алгоритмов формирования решающей статистики  $p_a(u|\lambda)$  и их настройка (выбор порогов  $c(u)$  для принятия решения). Тогда в соответствии с найденной в [3] структурой алгоритма идентификации выделенного сегмента  $t \in [1, T)$  необходимо сформировать вектор нерандомизированных принятых решений  $d(t) = \{d_u(t)\}$ ,  $u \in [0, U)$  по следующему правилу

$$d_u(t) = \begin{cases} 1 & \text{при } p_a(u|\lambda(t)) \geq c(u) \\ 0 & \text{иначе} \end{cases}$$

Ситуация усложняется наличием целого ряда факторов:

Присутствие в структуре графа ветвей, строение которых определяется соотношением  $F(k) = \bigcup_{l=M(k)}^{l(k)} B(\lambda(l))$ ; где  $B(\lambda(l+1)) \in B(\lambda(l))$ , т. е. сегмент “родитель” имеет только одного “наследника” (здесь опущены несущественные индексы  $i, j$ ). Здесь  $M(k)$  – максимальный уровень

элементов конструкции предложены признаки распознавания, инвариантные к аффинным преобразованиям на плоскости и масштабируемым по уровню интенсивности.

Описание структуры ОИ, постановка задачи и алгоритм принятия решения

Представим исходное цифровое однобайтовое изображение  $Y$  размерности  $N = N_x * N_y$  с использованием аппарата булевых матриц в следующем виде

При этом остаётся справедливым соотношение  $U(l_1) \in U(l_0)$  при  $\forall l_1 > l_0$ .

Предположим, что результат сегментации матрицы  $U(l_0)$  можно представить в виде  $U(l_0) = \bigcup_{i=1}^{S(l_0)} B(\lambda(i|l_0))$ , где  $B(\lambda(i|l_0))$  – выделенный при заданном пороговом уровне яркости  $i$  сегмент, описание которого даётся набором информативных параметров (признаков распознавания (ПР))  $\lambda(*)$ ,  $S(l_0)$  – количество найденных сегментов. Тогда справедливо следующее утверждение

яркости появления  $k$  ветви в ОИ, а  $l(k)$  – её минимальный уровень.

Наличие в структуре графе узлов, структура которых на двух соседних уровнях графа задается соотношением  $H(k) = B(\lambda(l)) \cup_{j=1}^{l(k)} B(\lambda(j, l+1))$ ;

где  $B(\lambda(l)) \cap B(\lambda(j, l+1)) \neq \emptyset$ , т. е. у “родителя” имеется несколько “наследников”.

Структура сегмента образована неразрешёнными на ОИ типовыми элементами конструкции. Следовательно, настройка алгоритма принятия решения не соответствует структуре исходного ОИ и необходима дополнительная корректировка сформированного решения.

Реализация алгоритма выделения конструктивных элементов на изображении, представленном в виде графа леса.

Рассмотрим вначале алгоритм обработки сегментов, образованных априори разрешёнными элементами конструкции, при сравнительно высоких пороговых уровнях яркости.

*Обработка сегментов выделенной ветви.*

В найденной структуре  $F(k)$  сохраняем первый и последний сегмент и сформированный вектор решений. Для остальных элементов ветви находим сегмент по критерию максимума оценки решающей статистики

$$B(\lambda(l^*)) = \arg \max_{l,u} p_a(u|B(\lambda(l))),$$

который включаем в качестве среднего элемента вместе с найденным решением в скорректированную структуру ветви.

*Обработка сегментов выделенного узла.*

При заданных порогах по уровням невязки между оценками информативных параметров  $V(\lambda(i|l))$  и решающих статистик  $p_a(u^*|B(\lambda(l)))$  принимается решение о проверке следующих гипотез:

наличие сегмента, обусловленного фоновым излучением (такие сегменты исключаются из структуры ОИ);

ОИ “родителя” и “наследников” – это ОИ одного конструктивного элемента, в случае принятия положительного решения структура графа дерева корректируется и формируется его новая ветвь по вышеприведённой процедуре;

сегменты “наследники” в полном объёме принадлежат “родителю” или сформирован сегмент из неразрешённых элементов конструкции, в первом случае структура графа не изменяется, в противном случае формируется новое представление признакового пространства.

*Алгоритм анализа сегментов, сформированных априори неразрешёнными конструктивными элементами.*

В этом случае найденный набор ПР не является информативным. При этом не удаётся принять нерандомизированное решение, поскольку все компоненты решающей статистики  $p_a(u|B(\lambda(l)))$  ниже порогов. Такая ситуация характерна при небольших пороговых уровнях формирования  $U(l_0)$ . Возникает необходимость для решения целевой задачи использовать другое более сложное представление признакового пространства. В качестве такого представления выберем скелетное представление ОИ сегмента плоской фигуры [4] на бинарном изображении, в составе его скелета и радиальной функции.

*Пустым или вписанным кругом* сегмента  $B(\lambda(l))$  называется открытый круг

$D(\mathbf{r}, R) \in B(\lambda(l))$  радиуса  $R$  с центром в точке  $\mathbf{r}$ . *Максимальным пустым кругом* называется пустой

круг, который не содержится целиком ни в одном другом пустом круге данной фигуры. *Скелетом*  $S(B(\lambda(l)))$  сегмента  $B(\lambda(l))$  называется множество центров всех его максимальных пустых кругов, касающихся контура. *Радиальной* или *дистанционной функцией* точки  $\mathbf{r} \in B(\lambda(l))$  для фигуры  $B(\lambda(l))$  называется максимальная величина радиуса пустого круга с центром в данной точке. Отличительной особенностью решаемой нами задачи является то обстоятельство, что скелеты интересующих нас конструктивных элементов достаточно просты, и при частичном перекрытии связанных с ними сегментов на совокупности бинарных ОИ их скелетное представление искажается не полным объёмом. Это обстоятельство позволяет, по крайней мере, в интерактивном режиме принимать по совокупности битовых ОИ решение о наличии у информационных объектов определённых конструктивных элементов даже при наличии их частичного разрешения с учётом найденной при более высоком пороговом уровне интенсивности информации о наличии на ОИ типовых элементов конструкции.

Для обработки такой информации нами реализован более простой алгоритм скелетизации  $B(\lambda(l))$ , в основу которого положен алгоритм построения прямого скелета [5], представляющего собой отрезки прямых, которые являются частями угловых биссектрис краев обрамляющего  $B(\lambda(l))$  выпуклого многоугольника.

Пример обработки ОИ космического аппарата Gaofen3

В качестве примера обработки ОИ космического аппарата приведём результаты анализа полученного в натуральных условиях снимка космического аппарата (КА) Gaofen3. Соответствующий снимок приведён на рис. 1 слева. Там же приведено изображение аппарата из интернета [6] (справа вверху), а так же модель ожидаемого ОИ при определённом ракурсе наблюдения.

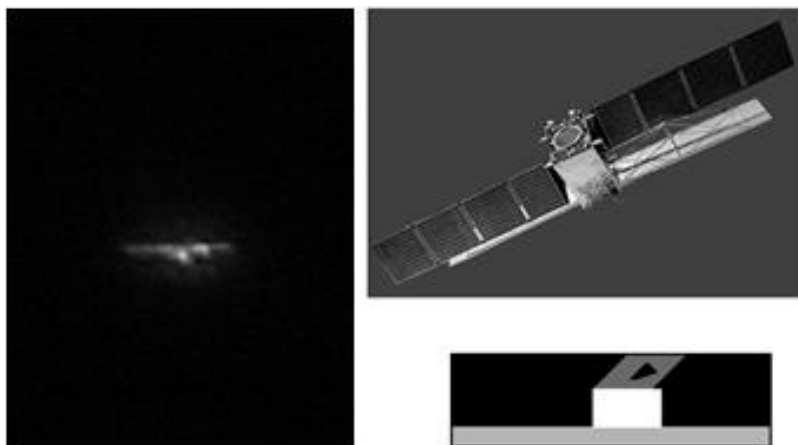


Рис.1. Используемые при обработке оптические изображения. Слева вверху – полученное в натуральных условиях ОИ. Справа – изображение аппарата из интернета. Справа внизу – модельное ОИ при наблюдении с ракурса, при котором видна функциональная антенна.

На следующем рисунке 2 приведены графы дерева: слева – граф дерева на выходе алгоритма сегментации ОИ и на входе алгоритма

идентификации конструктивных элементов в процессе полного цикла обработки исходного ОИ, справа представлен граф результирующего дерева.

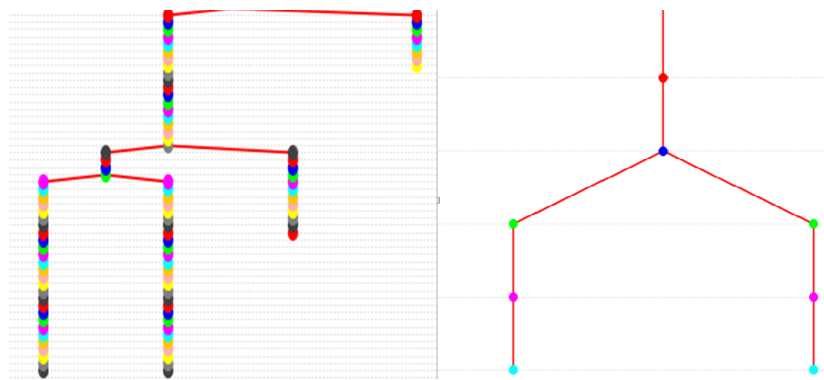


Рис.2. Графы деревьев, иллюстрирующие результаты работы алгоритма

Остановимся на интерпретации полученных результатов, которые проиллюстрированы приводимой на рис. 3 информацией. Исходное ОИ невысокого качества занимает  $\cong 5\%$  всего снимка. На предварительном этапе полного цикла обработки проведено его выделение, фильтрация и сегментация, результаты которой представлены на рис. 2 в форме графа дерева (левое изображение). Ему соответствует верхнее ОИ на рис.3. Однако его структура содержит избыточную информацию (которая с высокой вероятностью связана с фоновой компонентой) с точки зрения получения устойчивого решения. Структура полученного дерева достаточно сложна, соответствующее ей изображение приведено на рис. 3 слева (верхнее изображение). В результате работы алгоритма идентификации из изображения удалены две ветви, обусловленные фоновым излучением. На левом рисунке графа дерева им соответствуют две правые ветви, а рис. 3 – два ОИ в середине, сформированные после последовательного удаления ветвей из структуры графа дерева. Оставшаяся часть графа обработана с использованием процедуры обработки выделенных ветвей. Скелеты сегментов нижнего уровня на

графах дерева (см. рис. 2) приведены на рис 3. внизу слева. Анализ их структуры показывает, что самая левая ветвь деревьев инициализирована ОИ простой формы типа прямоугольника, в то время как следующая ветвь инициализирована сегментами неразрешённых конструктивных элементов. Несмотря на то, что структура скелетона искажена, аналитик может принять решение о том, что в данном случае ОИ сегмента образовано с пересечением ОИ двух неразрешенных объектов прямоугольной формы. Скелетон результирующего ОИ (см. нижнее изображение на рис. 3) приведён справа вверху. Анализ его структуры позволяет сделать вывод, что с высокой вероятностью исходное изображение получено в условиях, близких к условиям формирования модельного ОИ. В заключение заметим, что выбранное представление ОИ инвариантно к линейным аффинным преобразованиям на плоскости и масштабированию уровней яркости. Поэтому иллюстрационный материал на рисунках представлен в форме, удобной для зрительного восприятия.



Рис. 3. Результаты обработки реального изображения. На графике приведены характеристики поведения показателей структуры результирующего ОИ как функций уровней интенсивности и их интегральные значения [3] (гистограмма – красным цветом; количество линейно-связных областей – синим; их суммарного периметра – зеленым; показателя компактности – фиолетовым).

Описание других сущностей на рисунке приведено в тексте.

#### Заключение

Рассмотрена задача выделения типовых конструктивных элементов на прошедшем сегментацию однобайтовом невысокого качества ОИ удалённого объекта, сформированном телескопом наземного базирования. Показано, что с использованием аппарата булевых матриц структура ОИ может быть представлена в виде графа леса, ячейками которого являются выделенные сегменты изображения, образованные разрешёнными и неразрешёнными конструктивными элементами.

На базе адаптивного байесова алгоритма проверки двухальтернативных гипотез разработан алгоритм анализа структуры графа дерева, позволяющий устранить его избыточную информативность и получить устойчивую оценку структуры ОИ информационного объекта. При наличии априори разрешённых ОИ конструктивных элементов в структуру алгоритма включены процедуры обработки сегментов выделенной ветви и сегментов выделенного узла. Для обработки ОИ сегментов, образованных неразрешёнными конструктивными элементами, предложено использовать скелетное представление сегментов в составе простого скелета и радиальной функции.

Приведён пример обработки натурального оптического изображения, полученного в условиях сложной фоновой обстановки.

УДК 697.343

### ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ВВОДОВ ТРУБОПРОВОДОВ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

*Александра Пахомова*

*Студент второго курса магистратуры*

*Сибирский федеральный университет*

*г. Красноярск*

DOI: [10.31618/nas.2413-5291.2019.3.50.119](https://doi.org/10.31618/nas.2413-5291.2019.3.50.119)

### FEATURES OF DESIGNING THERMAL BUSHINGS OF PIPELINES IN THE FAR NORTH

*Aleksandra Pakhomova*

*Second year student of the Siberian Federal University*

*Krasnoyarsk*

#### Аннотация

В статье будет раскрыта и досконально разработана проблема прокладки и эксплуатации теплового узла в суровых климатических условиях Крайнего Севера и увеличение срока службы системы. А также рассмотрим и изучим современные предложения по борьбе с ними на примере опубликованных статей и научных исследований наших коллег.

В работе анализируются проблемы, связанные с неправильной прокладкой и эксплуатацией участков теплоснабжения и влияние экстремальных погодных условий, характерных для Крайнего Севера. В работе приводится обзор литературы, научных статей связанные с данной проблемой.

#### Abstract

The article will disclose and thoroughly develop the problems of laying and operating a heating unit in severe climatic conditions of the Far North and increasing the life of the system. We will also consider and study modern proposals to combat them, using the example of published articles and scientific studies of our colleagues.

#### Литература

1. Лавров В. В., Лучкин Р. С., Немыкин О. И., Прохоров М. Е., Рындин Ю. Г., Тюрин В. С. Методы и алгоритмы полного цикла обработки последетекторного малоконтрастного оптического изображения. «Вопросы радиоэлектроники» № 3 2018г. с. 99 – 107 <https://elibrary.ru/item.asp?id=32627982>
2. Свиридов, К.Н. Технологии достижения высокого углового разрешения оптических систем атмосферного видения. М.: Изд. “Знание”, 2005 – 452 с. - ISBN 5-07-002998-3.
3. Лавров В. В., Лучкин Р. С., Прохоров М. Е., Рындин Ю. Г. Выделение конструктивных элементов на малоконтрастном последетекторном изображении удалённого объекта в условиях априорной неопределённости <http://synergy-journal.ru/archive/article3088>
4. Maltoni D., Maio D., Jain A. K., Prabhakar S. Handbook of Fingerprint Recognition. New York, Springer-Verlag, 2003 510 p.
5. Aichholzer O., Aurenhammer F., Alberts D., Gärtner B. A Novel Type of Skeleton for Polygons. Электронный ресурс [https://www.researchgate.net/publication/220349949\\_A\\_Novel\\_Type\\_of\\_Skeleton\\_for\\_Polygons](https://www.researchgate.net/publication/220349949_A_Novel_Type_of_Skeleton_for_Polygons)
6. Электронный ресурс [https://space.skyrocket.de/doc\\_sdat/gf-3.htm](https://space.skyrocket.de/doc_sdat/gf-3.htm)