

Р.Р. Ибадов, В.П. Федосов, С.Р. Ибадов

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ И СЛЕПОЙ ЗОНЫ
НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ДЛЯ
БОРТОВЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ
НА ОСНОВЕ ДОПЛЕРОВСКОГО ОБУЖЕНИЯ ЛУЧА**

Проблема формирования радиолокационного изображения (РЛИ) земной поверхности в реальном времени остается одной из актуальных при решении задач радиовидения, несмотря на появление большого количества публикаций в этой области, отражающих целый спектр новых методов и алгоритмов обработки траекторного сигнала с целью повышения качества изображений. Основная цель при формировании РЛИ – достижение максимальной разрешающей способности и качества изображения в условиях реальных ограничений, связанных с уходом параметров принимаемого траекторного сигнала (время синтезирования), неточностью измерения и изменчивостью летных характеристик (скорость, ускорение, траектория полета), воздействием широкого спектра шумов и помех, как внешних, так и внутренних, на фоне маломощного принимаемого сигнала от удаленных радиоотражателей (энергетические ресурсы). В статье исследован алгоритм построения и восстановления изображений подстилающей поверхности и разработана его программная реализация. Показана эффективность нового подхода на нескольких примерах для различных областей подстилающей поверхности со слепой зоной. Предметом исследования являются методы и алгоритмы построения карты местности и реконструкции потерянных участков изображений. Объектом исследования является набор из тестовых изображений. Результатом исследования является разработка метода восстановления изображений с целью восстановления потерянной области. Новизной работы является алгоритм, позволяющий повысить качество восстановления изображений на основе нейронной сети. Полученные результаты позволяют восстановить области. Оценка эффективности метода восстановления изображений проводилась с помощью статистического критерия – среднеквадратического отклонения результата обработки от истинного изображения. В результате решения поставленных задач можно сделать выводы: – Разработан метод построения и восстановления изображений подстилающей поверхности на основе поиска похожих блоков с последующим их объединении нейронной сетью. – Анализ результатов проведенного исследования показал, что предложенный метод позволяет улучшить качество реконструкции изображений.

Восстановление изображений; доплеровское обужение луча; карта местности; картографирование; корреляция, синтез текстур.

R.R. Ibadov, V.P. Fedosov, S.R. Ibadov

**RESTORATION OF DEFECTS AND BLIND ZONE ON IMAGES
OF UNDERLYING SURFACE FOR ONBOARD RADAR SYSTEMS
OF MAPPING BASED ON DOPPLER BEAM SHARPENING**

The problem of forming a radar image (RI) of the earth's surface in real time remains one of the most urgent in solving radio imaging problems, despite the appearance of a large number of publications in this area, reflecting a whole range of new methods and algorithms for processing trajectory signals in order to improve the quality of images. The main goal in the formation of radar images is to achieve the maximum resolution and image quality under real constraints associated with the drift of the parameters of the received trajectory signal (synthesis time), measurement inaccuracy and variability of flight characteristics (speed, acceleration, flight trajectory), exposure to a wide range of noise and interference, both external and internal, against the background of a low-power received signal from remote radio reflectors (energy resources). The article investigates an algorithm for constructing and restoring images of the underlying surface and develops its software implementation. The effectiveness of the new approach is shown using sever-

al examples for various areas of the underlying surface with a blind spot. The subject of the research is methods and algorithms for constructing a terrain map and reconstructing lost image areas. The research object is a set of test images. The result of the research is the development of a method for image restoration in order to restore the lost area. The novelty of the work is an algorithm that improves the quality of image restoration based on a neural network. The results obtained make it possible to restore the areas. Evaluation of the efficiency of the image restoration method was carried out using a statistical criterion - the root mean square error of the processing result from the true image. As a result of solving the tasks, we can draw conclusions: – A method was developed for constructing and restoring images of the underlying surface based on the search for similar blocks with their subsequent combining by a neural network. – Analysis of the results of the study showed that the proposed method improves the quality of image reconstruction.

Image recovery; doppler beam sharpening; local map; mapping; correlation, texture synthesis.

Введение. Распознавание подстилающей поверхности и объектов на них в любых погодных условиях с высоким разрешением становится все более и более важной задачей. В бортовых системах картографирование в режиме прямого просмотра, реализуется с помощью реального луча диаграммы направленности антенны. Принцип получения изображения наблюдаемого участка поверхности Земли, выносимого на экран бортовой системы, основывается на том, что различные участки земной поверхности и объекты на ней отражают радиоволны. Интенсивность отраженного сигнала зависит от отражающей способности элементов поверхности Земли. Количественно отражающая способность поверхности Земли характеризуется коэффициентом отражения или удельной эффективной площадью отражения. Характер отражения радиоволн от земной поверхности зависит от электродинамических свойств, степени неровности (шероховатости) поверхности, а также от длины волны, поляризации и угла падения зондирующих электромагнитных волн. При облучении поверхности Земли энергия падающего электромагнитного поля частично поглощается почвой, растительностью, водной поверхностью и наземными объектами, а частично отражается. Чем выше электрическая проводимость объектов отражения, тем больше коэффициент отражения земной поверхности. От гладких участков земной поверхности, размеры которых значительно превосходят длину волны зондирующих колебаний, радиоволны отражаются зеркально. Отражения же от шероховатой поверхности носят диффузный характер [1 – 7].

Обзор земной поверхности осуществляется последовательным зондированием участков поверхности в радиальном направлении за счет естественного распространения зондирующих электромагнитных колебаний и сканирования антенны РЛС в заданном секторе по азимуту. За время смещения антенны по азимуту на ширину главного луча ДНА проходит несколько циклов излучения зондирующих и приема отраженных сигналов, что позволяет некогерентно накапливать несколько десятков и даже сотен отраженных импульсов. Поэтому получаемое изображение имеет слабую зернистость и хорошую дешифрируемость. Перемещение луча характеристики направленности антенны (ХНА) по поверхности Земли обеспечивает построение изображения, выносимого на экран бортовой системы, яркость которого в каждой его точке определяется типом подстилающей поверхности, попадающей в главный луч ХНА. Режим картографирования реальным лучом характеризуется невысоким разрешением по угловой координате, которое определяется шириной главного луча ХНА.

Технология синтезированной апертуры решетки (САР) позволяет реализовать высокое разрешение по азимуту, в то время как технология доплеровского облучения луча (ДОЛ) может обеспечить наилучшее разрешение по азимуту в условиях крупномасштабного сканирования. При этом режим ДОЛ имеет слепую зону в направлении движения носителя РЛС, в пределах которой доплеровское

смещение частоты сигнала, отраженного от поверхности, слабо зависит от азимутального направления на участки поверхности в пределах картографируемого участка и даже обладает двузначностью по обе стороны от направления движения. В тоже время режим ДОЛ обладает более высоким быстродействием по сравнению с режимом САР и позволяет строить карту местности в процессе маневрирования носителя РЛС.

Цели и задачи. Целью исследований является повышение точности реконструкции изображений, которая заключается в выделении и восстановлении слепой зоны.

Задачи исследования:

- ◆ Разработать метод восстановления изображений карты местности.
- ◆ Провести анализ результатов предложенного метода.

Основная часть. Построение радиолокационной модели представлено на рис. 1:

На одной дальности отражения имеют разные доплеровские смещения частоты в зависимости от азимутального направления. Поэтому если направить ХНА по азимуту в пределах от 10° до 60° , то там зависимость от азимутального угла $\cos \alpha$ в пределах узкой диаграммы направленности будет линейным. Поэтому, когда применяется быстрое преобразование Фурье (БПФ) к эхо-сигналу с одной дальности т.е. к пачке импульсов, то каждая амплитуда результата БПФ будет соответствовать разным направления по азимуту и будет обеспечивать построение карты местности в пределах характеристики направленности. Значение амплитуды будет соответствовать яркости и контрастности элементов участка поверхности Земли. Если положение ХНА не меняется, а меняется база БПФ, то разрешение по Доплеру повышается, т.е. пиксели уменьшаются по азимуту. Соответственно разрешение по Доплеру, а значит и по углу, будет увеличиваться.

Частота Доплера рассчитывается по формуле (1):

$$F_{D_{\max}} = \frac{2 \cdot V_H}{\lambda}, \quad (1)$$

где V_H – скорость носителя; λ – длина волны.

Доплеровская частота в пределах ХНА равна (2):

$$F_{D_{11}} = F_{D_{\max}} \cos \alpha_1 \cos \beta_1, \quad (2)$$

где α_1 – азимут; β_1 – угол места.

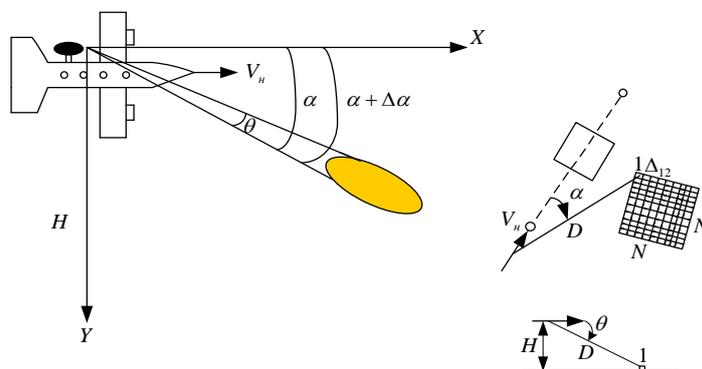


Рис. 1. Картографирование с помощью ДОЛ

Обозначения на рис. 1: H – высота носителя; V_n – скорость носителя; θ – ширина ХНА; α – азимутальный угол; $\Delta\alpha$ – элементарный угол, соответствующий изменению частоты Доплера в пределах ширины ХНА по азимуту.

Проблема построения карты местности вблизи направления движения носителя заключается в том, что $\cos \alpha$, слабо зависит от азимутального угла (как и доплеровское приращение частоты) и имеет двузначность при α , близком к нулю. Чтобы восстановить слепую зону в направлении движения носителя РЛС в данной работе используется метод восстановления изображений на основе поиска похожих блоков и их комбинирования с помощью нейронной сети [8–13].

Необходимость в применении корреляционного анализа возникает при определении влияния вида объектов на картографируемом участке местности на эффективность применения методов восстановления потерянного участка при его картографировании [14]. Автокорреляция представляет собой статистическую взаимосвязь между случайными величинами из одного ряда, взятыми со сдвигом, на карте местности. В анализе изображений при автокорреляции шаблон совпадает с изображением, а сдвиг происходит по направлениям осей x, y .

Далее для сравнения участков изображения используем автокорреляционные функции R_{zz} и R_{tt} , которые определяются по формуле (3):

$$R_{zz}(x, y) = \sum_{i=x-\frac{w}{2}}^{x+\frac{w}{2}} \sum_{j=y-\frac{l}{2}}^{y+\frac{l}{2}} z^2(i, j), \quad R_{tt}\left(\frac{w}{2}, \frac{l}{2}\right) = \sum_{i=0}^{w-1} \sum_{j=0}^{l-1} t^2(i, j), \quad (3)$$

где R_{zz} и R_{tt} – значения автокорреляционных функций и шаблона.

Разбиваем исходное изображение (рис. 2) на блоки, размером 256 на 256 пикселей и считаем в каждом блоке пространственную корреляционную функцию (рис. 3).



Рис. 2. Оригинальное изображение карты местности

Если есть продолжительные фрагменты, то у них выше корреляция пространств, то есть она медленнее затухает при смещении, а значит больше возможность восстановления.

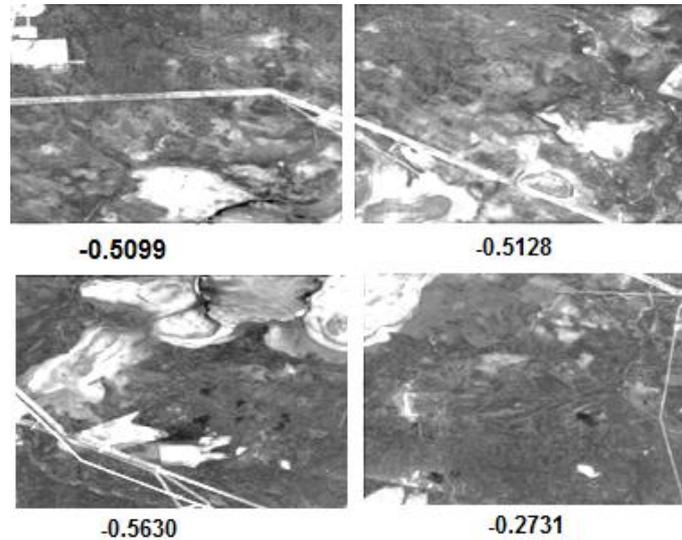


Рис. 3. Пространственная корреляция в блоках 256 на 256 пикселей

Карта салиентности (внимания):

Салиентность – это термин обозначающий свойство объекта, человека, пикселя и т.д. выделяться на фоне группы других, соседних объектов того же типа. Карта салиентности – вероятность того, что при первом взгляде человек обратит внимание на конкретные пиксели.

Большинство моделей визуального поиска (независимо от того, используют ли они явные движения глаз или смещение внимания) основаны на концепции карт визуальной значимости – явно определенных двумерных карт, которые кодируют значимость. Значимость («заметная позиция», «выступающие детали») – здесь и далее будет использоваться как синоним визуального внимания в контексте этой задачи. Как отмечают Л. Итти и К. Кох, ресурсы любой компьютерной системы ограничены, что приводит к эффекту «затора», и человеческое зрение (как и подобная система) не является исключением. Пропускная способность оптического нерва составляет около 108 бит / с, что в несколько раз превышает способность мозга полностью обрабатывать поступающую информацию и преобразовывать ее в сознательный опыт. Наше видение отбирает определенные части входящей информации, которые более предпочтительны для обработки, перемещая фокус из одной области в другую, выполняя серию вычислений, вместо того, чтобы пытаться обрабатывать все сразу. Другими словами, несмотря на ошибку, что мы видим все, что нас окружает, в какой-то момент наше зрение регистрирует и обрабатывает только небольшую часть поступающей информации [15]. На рис. 4 показано построение карты значимости (карты внимания) на основе модели, впервые предложенной в 1998 году Л. Итти и К. Кохом (IT-метод).

Метод реконструкции основан на синтезе текстур. На первом шаге, для каждого пикселя границы $\delta S_{i,j}$ с помощью метода инверсий адаптивно определяется форма области для поиска подобия, которая формируется путем объединения двух смежных однородных подобластей в направлении максимума градиента [16].

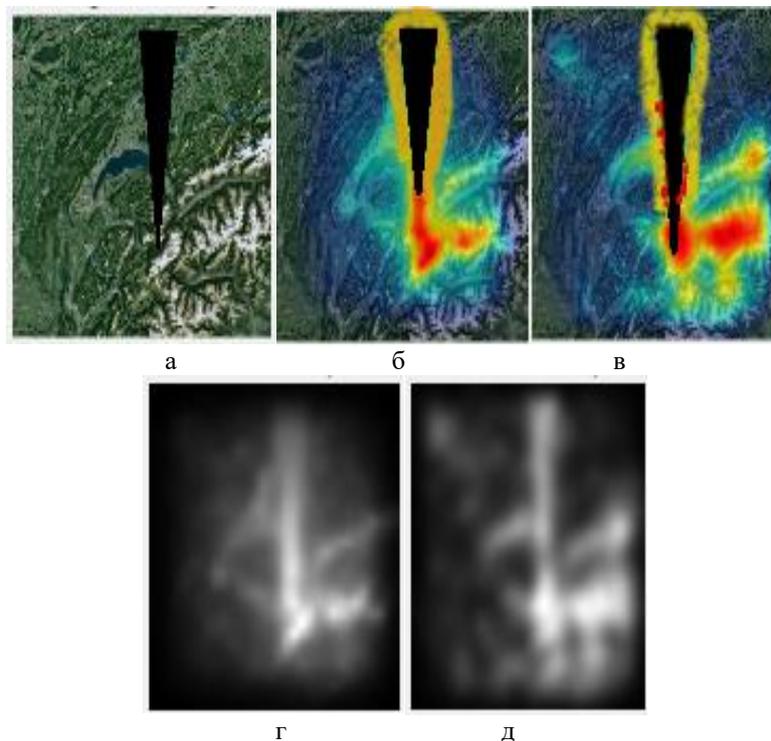


Рис. 4. Карта внимания подстилающей поверхности: а – изображение, с потерянной областью, б – карта GVBS, в – карта Itti/Koch, г – карта GVBS, д – карта Itti/Koch

На втором шаге вычисляется значение приоритета $P(\delta S)$ (4) для каждого значения пикселя границы, который состоит из трех множителей (5):

$$P(\delta S) = C(\delta S) \cdot D(\delta S) \cdot T(\delta S), \quad (4)$$

$$C(\delta S) = \frac{\sum_{l \in \Psi_{\delta S}} C(l)}{|\Psi_{\delta S}|}, D(\delta S) = \frac{|\nabla I_{\delta S}^{\perp} \cdot n_{\delta S}|}{\alpha}, T(\delta S) = \frac{\sum T_{\Psi_q}(s)}{T_{\max}(\text{Im})}, \quad (5)$$

где $\delta S_{i,j}$ – текущий пиксель на границе доступных пикселей; $C(\delta S)$ – коэффициент доверия; $D(\delta S)$ – коэффициент градиента; $T(\delta S)$ – коэффициент карты внимания, $\Psi_{\delta S}$ – адаптивный блок пикселей с центром в пикселе $\delta S_{i,j}$; $|\Psi_{\delta S}|$ – количество пикселей адаптивного блока, $\nabla I_{\delta S}^{\perp}$ – вектор, ортогональный градиенту в точке $\delta S_{i,j}$; $n_{\delta S}$ – вектор, ортогональный границе δS в точке $\delta S_{i,j}$; α – нормированный множитель, который для восьми битных изображений равен 255; $T_{\Psi_q}(s)$ – доступные значения карты внимания в блоке Ψ_q ; $T_{\max}(\text{Im})$ – значения карты внимания по всему изображению [17].

Определяется пиксель $p \in (i, j)$ с максимальным значением приоритета $\max(P(\delta S_{i,j}))$ на границе δS и выбирается адаптивная область Ψ_p , принадлежащая данному пикселю.

На третьем шаге, находятся блоки $\psi_{q^{(h)}}$, $h = \overline{1, R}$ в области доступных пикселей S для которых евклидова метрика минимальна [18].

Значения пикселей в области η смежные к пикселю с максимальным приоритетом p восстанавливаются путем усреднения соответствующих пикселей из найденных областей $\psi_{q^{(h)}}$ в области доступных пикселей S с помощью нейронной сети, в качестве нейронной сети был выбран многослойный персептрон [19].

В данной работе используется нейронная сеть прямого распространения сигнала для формирования наиболее похожего блока, обученная с помощью алгоритма обратного распространения ошибки (рис. 5) [20].

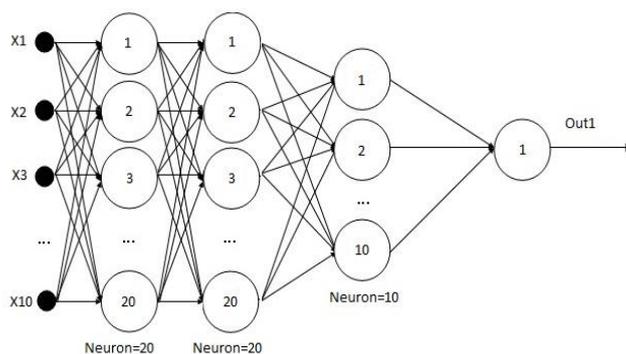


Рис. 5. Архитектура нейронной сети

Далее приводится результат обработки предложенным методом на тестовом изображении с потерянными пикселями в слепой зоне.

Анализ результатов показывает, что предложенный метод позволяет эффективно восстанавливать потерянные участки изображения [21].

Экспериментальные результаты. Эффективность представленного подхода реконструкции изображений проверялась на тестовых изображениях подстилающей поверхности. На рис. 6–7 показаны результаты реконструкции изображений (а – оригинальное изображение, б – изображение с потерянной областью, в – изображение, восстановленное предложенным методом).

Для количественной оценки работы метода используется среднеквадратичное отклонение (RMSE) [22].

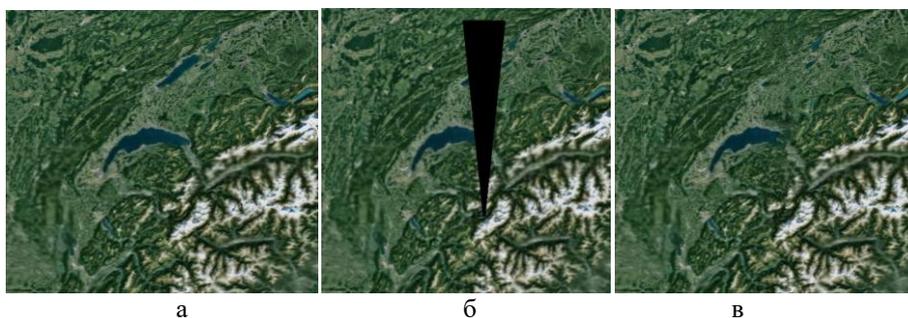


Рис. 6. Результат работы метода: а – исходное изображение, б – изображение, с маской искаженных пикселей, в – изображение, восстановленное предлагаемым методом

Данный критерий качества (6) является достаточно распространённым для определения различий между парой данных [23].

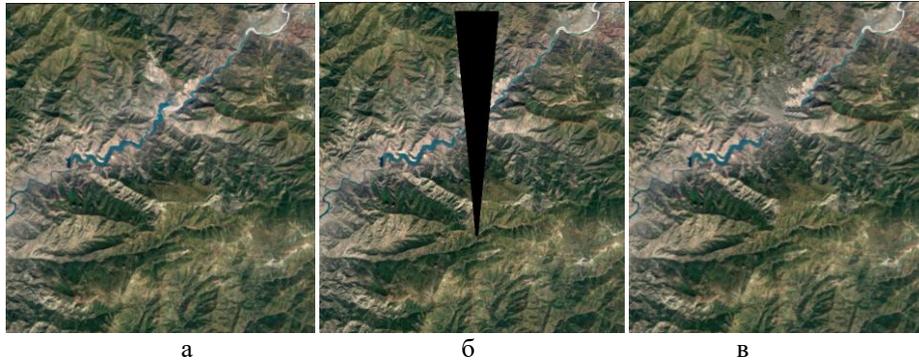


Рис. 7. Результат работы метода: а – исходное изображение, б – изображение, с маской искаженных пикселей, в – изображение, восстановленное предлагаемым методом

В качестве входных данных используются наблюдаемое изображение и оригинальное изображение [24]. Выражение RMSE показывает, как получить числовое значение данного критерия качества.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{n,i} - X_{o,i})^2}{n-1}}, \quad (6)$$

где $x_{n,i}$ – наблюдаемое изображение, $x_{o,i}$ – оригинальное изображение.

В данном случае для рис. 5 среднееквадратическое отклонение равно: $RMSE = 9,84$; для рис. 6: $RMSE = 11,02$.

Ошибка восстановления в процентном соотношении рассчитывается [25]:

Для рис. 6:

$$R = \frac{RMSE}{Pell_{all}^2} \cdot 100 = \frac{9,84}{68,719,476} \cdot 100 = 14,31\%, \quad (7)$$

где $Pell_{all}^2$ – пиксели изображения; $RMSE$ – среднееквадратическое отклонение.

Для рис. 7:

$$R = \frac{RMSE}{Pell_{all}^2} \cdot 100 = \frac{11,02}{68,719,476} \cdot 100 = 16,03\%, \quad (8)$$

Анализ результатов показывает, что чем выше пространственная корреляция, тем меньше погрешность восстановления.

Большее значение среднееквадратического отклонения показывает больший разброс значений в представленном множестве относительно средней величины множества. Меньшее значение, соответственно, показывает, что значения в множестве сгруппированы вокруг среднего значения. Исследование значений погрешности показывает, что использование предложенного метода позволяет существенно увеличить эффективность восстановления изображений.

Заключение. В работе представлен метод восстановления слепой зоны в направлении движения носителя РЛС на основе поиска похожих блоков и их комбинирования с помощью нейронной сети. Результаты показывают, что качество восстановления зависит от типа отражающей поверхности. Если имеется на поверх-

ности детали, которые будут продолжительными и справа и слева относительно линии полета, т.е. относительно слепой зоны, то восстановление достаточно эффективное. Исследования показали, что данный метод эффективно работает в задачах анализа изображений, когда не предъявляется строгих требований к форме границы между статистически однородными областями. Качество восстановления изображений зависит от априорной информации о размере и формы области восстановления и геометрических свойствах изображения. Представленные примеры демонстрирует эффективность разработанного алгоритма при реконструкции областей карты местности с потерянными пикселями. Различие восстановленного изображения от оригинального в среднем составляет 15%, что является высоким показателем сходства изображений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Белый Ю.И., Таганцев В.А.* Радиолокационный прицельный комплекс Н001: модернизация продолжается // Радиотехника. – 2005. – № 2. – С. 28-29.
2. *Матвеев А.М.* Построение модели и предобработка изображения подстилающей поверхности для радиолокационных систем с доплеровским облучением луча на основе информации, получаемой о поверхности в оптическом диапазоне // Электронный журнал. – 2004.
3. *Величкин А.И., Карпов О.А., Таланцев В.В., Толстов Е.Ф.* Повышение разрешающей способности авиационной РЛС при наблюдении вперед // Радиотехника. – 1998. – № 12. – С. 12.
4. *Козаев А.А., Колтышев Е.Е., Фролов А.Ю., Янковский В.Т.* Алгоритм доплеровского измерения скорости в РЛС с синтезированной апертурой // Радиотехника. – 2005. – № 6. – С. 13-16.
5. *Антипов В.Н., Сусяков Д.Ю.* Картографирование и обнаружение наземных движущихся целей // Радиотехника. – 2005. – № 6. – С. 10-12.
6. *Витязев В.В., Колодько Г.Н., Витязев С.В.* Способы и алгоритмы формирования радиолокационного изображения в режиме доплеровского облучения луча // Цифровая обработка сигналов. – 2006. – № 3. – С. 31-41.
7. *Витязев В.В., Витязев С.В., Зайцев А.А.* Многоскоростная обработка сигналов: ретроспектива и современное состояние (Ч. 1) // Цифровая обработка сигналов. – 2008. – № 1. – С. 12-21.
8. *Витязев В.В., Витязев С.В.* Методы синтеза узкополосного адаптивного КИХ-фильтра на основе многоскоростной обработки // Цифровая обработка сигналов. – 2007. – № 4. – С. 13.
9. *Марчук В.И., Воронин В.В., Шерстобитов А.И.* Метод восстановления значений двумерных сигналов на основе синтеза текстуры и структуры изображений // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2010. – Т. 6, № 2.
10. *Марчук В.И., Воронин В.В., Франц В.А.* Модифицированный метод восстановления двумерных сигналов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2011. – № 1 (115).
11. *Воронин В.В., Франц В.А., Гапон Н.В., Фисунов А.В.* Алгоритм реконструкции фона видеосигналов // Современное состояние естественных и технических наук. – 2013. – С. 63-67.
12. *Liu G., Reda F. A., Shih K.J., Wang T.C., Tao A., Catanzaro B.* Image inpainting for irregular holes using partial convolutions // Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV). – 2018. – P. 85-100.
13. *Yu J., Lin Z., Yang J., Shen X., Lu X., Huang, T.S.* Generative image inpainting with contextual attention // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2018. – P. 5505-5514.
14. *Voronin V.V., Silyakin R., Marchuk V.I., Yigang Cen, Galustov G., Egiazarian K.O.* Video inpainting of complex scenes based on local statistical model // IS&T International Symposium on Electronic Imaging. – Image Processing 2016. – P. 1-6.

15. Gapon N., Ponamorenko M., Pismenskova M., Tokareva O. Image inpainting using a neural network // MATEC Web of Conferences. – EDP Sciences, 2017. – Vol. 132. – P. 05015.
16. Voronin V.V., Marchuk V.I., Sherstobitov A.I., Semenishchev E.A., Frantc V.A. Image reconstruction on the basis of a textural geometrical model // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2015. – Vol. 25, No. 3. – P. 553-562.
17. Гапон Н.В., Воронин В.В., Сизякин Р.А., Письменскова М.М., Ибадов Р.Р. Исследование возможности сжатия цифровых изображений на основе подходов реконструкции двумерных сигналов // Динамика технических систем. – 2017. – С. 73-78.
18. Ибадов Р.Р., Ибадов С.Р., Воронин В.В., Федосов В.П. Модифицированный метод реконструкции изображений на основе поиска подобных областей // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2017. – № 6 (191). – С. 179-189.
19. Ибадов Р.Р., Ибадов С.Р., Мелешкин С.Н., Федосов В.П. Восстановление поврежденных участков изображений методом синтеза текстур // Радиолокация, навигация, связь. – 2020. – Т. 2. – С. 113-118.
20. Ибадов Р.Р., Федосов В.П., Воронин В.В., Ибадов С.Р. Исследование метода синтеза текстур изображений поверхности земли на основе нейронной сети // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2019. – № 5 (207). – С. 16-25.
21. Ibadov R.R., Fedosov V.P., Ibadov S.R., Kucheryavenko S.V. Recovering lost areas of the underlying image surface using a method based on similar blocks // AIP Conference Proceedings. – 2019. – Vol. 2188. – P. 050001.
22. Ibadov R.R., Fedosov V.P., Ibadov S.R., Gapon N.V., Sizyakin R.A. Restoration of the Lost Map Area of the Underlying Image Surface Using the Reconstruction Method // EPJ Web of Conferences. – 2019. – Vol. 224. – P. 04003.
23. Fedosov V.P., Ibadov R.R., Ibadov S.R., Voronin V.V. Restoration of the Blind Zone of the Image of the Underlying Surface for Radar Systems with Doppler Beam Sharpening // Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW). – IEEE, 2019. – P. 424-427.
24. Ибадов Р.Р., Ибадов С.Р., Воронин В.В., Федосов В.П. Алгоритм коррекции контрастности изображений в тепловом диапазоне // Радиолокационные системы специального и гражданского назначения. – 2018. – № 1. – С. 381-385.
25. Ibadov R.R., Ibadov S.R., Gapon N.V., Tokareva O.A., Alepko A.V. Research the textures synthesis method based on the neural network // Matec. Web of Conferences. – 2018. – Vol. 226. – P. 04043.

REFERENCES

1. Belyu Yu.I., Tagantsev V.A. Radiolokatsionnyy pritsel'nyy kompleks N001: modernizatsiya prodolzhaetsya [Radar sighting complex N001: modernization continues], *Radiotekhnika* [Radio engineering], 2005, No. 2, pp. 28-29.
2. Matveev A.M. Postroenie modeli i predobrabotka izobrazheniya podstilayushchey poverkhnosti dlya radiolokatsionnykh sistem s doplerovskim obuzheniem luch na osnove informatsii, poluchaemoy o poverkhnosti v opticheskom diapazone [Construction of a model and preprocessing of the image of the underlying surface for radar systems with Doppler beam narrowing based on information obtained about the surface in the optical range], *Elektronnyy zhurnal* [Electronic Journal], 2004.
3. Velichkin A.I., Karpov O.A., Talantsev V.V., Tolstov E.F. Povyshenie razreshayushchey sposobnosti aviatsionnoy RLS pri nablyudenii vpered [Increasing the resolution of the aviation radar when observing forward], *Radiotekhnika* [Radio Engineering], 1998, No. 12, pp. 12.
4. Kozhaev A.A., Koltyshev E.E., Frolov A.Yu., Yankovskiy V.T. Algoritm doplerovskogo izmereniya skorosti v RLS s sintezirovannoy aperturoy [Algorithm of Doppler velocity measurement in a radar with a synthesized aperture], *Radiotekhnika* [Radio Engineering], 2005, No. 6, pp. 13-16.
5. Antipov V.N., Suslyakov D.Yu. Kartografirovaniye i obnaruzheniye nazemnykh dvizhushchikhsya tseley [Mapping and detection of ground-based moving targets], *Radiotekhnika* [Radio Engineering], 2005, No. 6, pp. 10-12.
6. Vityazev V.V., Kolod'ko G.N., Vityazev S.V. Sposoby i algoritmy formirovaniya radiolokatsionnogo izobrazheniya v rezhime doplerovskogo obuzheniya luch [Methods and algorithms for the formation of a radio-location image in the mode of Doppler beam narrowing], *Tsifrovaya obrabotka signalov* [Digital signal processing], 2006, No. 3, pp. 31-41.

7. Vityazev V.V., Vityazev S.V., Zaytsev A.A. *Mnogoskorostnaya obrabotka signalov: retrospektiva i sovremennoe sostoyanie* (Ch. 1) [Multi rate signal processing: a retrospective and current status (Part 1)], *Tsifrovaya obrabotka signalov* [Digital signal processing], 2008, No. 1, pp. 12-21.
8. Vityazev V.V., Vityazev S.V. *Metody sinteza uzkopolosnogo adaptivnogo KIKh-fil'tra na osnove mnogoskorostnoy obrabotki* [Methods of synthesis of a narrow-band adaptive FIR filter based on multi-speed processing], *Tsifrovaya obrabotka signalov* [Digital signal processing], 2007, No. 4, pp. 13.
9. Marchuk V.I., Voronin V.V., Sherstobitov A.I. *Metod vosstanovleniya znacheniy dvumernykh signalov na osnove sinteza tekstury i struktury izobrazheniy* [A method for recovering the values of two-dimensional signals based on the synthesis of the texture and structure of images], *Elektrotekhnicheskie i informatsionnye komplekсы i sistemy* [Electrotechnical and information complexes and systems], 2010, Vol. 6, No. 2.
10. Marchuk V.I., Voronin V.V., Frants V.A. *Modifitsirovanny metod vosstanovleniya dvumernykh signalov* [A modified method for restoring two-dimensional signals], *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Informatika. Telekommunikatsii. Upravlenie* [Scientific and Technical Bulletin of the St. Petersburg State Polytechnic University. Computer science. Telecommunications. Management], 2011, No. 1 (115).
11. Voronin V.V., Frants V.A., Gapon N.V., Fisunov A.V. *Algoritm rekonstruktsii fona videosignalov* [Algorithm for reconstructing the background of video signals], *Sovremennoe sostoyanie estestvennykh i tekhnicheskikh nauk* [The current state of natural and technical sciences], 2013, pp. 63-67.
12. Liu G., Reda F. A., Shih K.J., Wang T.C., Tao A., Catanzaro B. *Image inpainting for irregular holes using partial convolutions*, *Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV)*, 2018, pp. 85-100.
13. Yu J., Lin Z., Yang J., Shen X., Lu X., Huang, T.S. *Generative image inpainting with contextual attention*, *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 2018, pp. 5505-5514.
14. Voronin V.V., Sizyakin R., Marchuk V.I., Yigang Cen, Galustov G., Egiazarian K.O. *Video inpainting of complex scenes based on local statistical model*, *IS&T International Symposium on Electronic Imaging. Image Processing 2016*, pp. 1-6.
15. Gapon N., Ponamorenko M., Pismenskova M., Tokareva O. *Image inpainting using a neural network*, *MATEC Web of Conferences*. EDP Sciences, 2017, Vol. 132, pp. 05015.
16. Voronin V.V., Marchuk V.I., Sherstobitov A.I., Semenishchev E.A., Frantc V.A. *Image reconstruction on the basis of a textural geometrical model*, *Pattern Recognition and Image Analysis*, 2015, Vol. 25, No. 3, pp. 553-562.
17. Gapon N.V., Voronin V.V., Sizyakin R.A., Pis'menskova M.M., Ibadov R.R. *Issledovanie vozmozhnosti szhatiya tsifrovyykh izobrazheniy na osnove podkhodov rekonstruktsii dvumernykh signalov* [Investigation of the possibility of digital image compression based on two-dimensional signal reconstruction approaches], *Dinamika tekhnicheskikh system* [Dynamics of technical systems], 2017, pp. 73-78.
18. Ibadov R.R., Ibadov S.R., Voronin V.V., Fedosov V.P. *Modifitsirovanny metod rekonstruktsii izobrazheniy na osnove poiska podobnykh oblastey* [Modified image reconstruction method based on the search for similar areas], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2017, No. 6 (191), pp. 179-189.
19. Ibadov R.R., Ibadov S.R., Meleshkin S.N., Fedosov V.P. *Vosstanovlenie povrezhdennykh uchastkov izobrazheniy metodom sinteza tekstur* [Restoration of damaged areas of images by the method of texture synthesis], *Radiolokatsiya, navigatsiya, svyaz'* [Radar, navigation, communication], 2020, Vol. 2, pp. 113-118.
20. Ibadov R.R., Fedosov V.P., Voronin V.V., Ibadov S.R. *Issledovanie metoda sinteza tekstur izobrazheniy poverkhnosti zemli na osnove neyronnoy seti* [Study of the method of synthesis of textures of images of the earth's surface based on a neural network], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2019, No. 5 (207), pp. 16-25.
21. Ibadov R.R., Fedosov V.P., Ibadov S.R., Kucheryavenko S.V. *Recovering lost areas of the underlying image surface using a method based on similar blocks*, *AIP Conference Proceedings*, 2019, Vol. 2188, pp. 050001.

22. *Ibadov R.R., Fedosov V.P., Ibadov S.R., Gapon N.V., Sizyakin R.A.* Restoration of the Lost Map Area of the Underlying Image Surface Using the Reconstruction Method, *EPJ Web of Conferences*, 2019, Vol. 224, pp. 04003.
23. *Fedosov V.P., Ibadov R.R., Ibadov S.R., Voronin V.V.* Restoration of the Blind Zone of the Image of the Underlying Surface for Radar Systems with Doppler Beam Sharpening, *Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW)*. IEEE, 2019, pp. 424-427.
24. *Ibadov R.R., Ibadov S.R., Voronin V.V., Fedosov V.P.* Algoritm korrektsii kontrastnosti izobrazheniy v teplovom diapazone [The correction algorithm of the contrast of the images in the thermal range], *Radiolokatsionnye sistemy spetsial'nogo i grazhdanskogo naznacheniya* [Radar system for military and civilian use], 2018, No. 1, pp. 381-385.
25. *Ibadov R.R., Ibadov S.R., Gapon N.V., Tokareva O.A., Alepko A.V.* Research the textures synthesis method based on the neural network, *Matec. Web of Conferences*, 2018, Vol. 226, pp. 04043.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.И. Марчук.

Ибадов Рагим Рауфевич – Южный федеральный университет; e-mail: ragim_ibadov@mail.ru; г. Шахты, Россия; тел.: 89298184480; ассистент.

Ибадов Самир Рауфевич – e-mail: kyuyuyuyuyuyuy@yandex.ru; тел.: 89518463738; ассистент.

Федосов Валентин Петрович – email: vpfed@mail.ru; г. Таганрог, Россия; тел.: 89525601246; д.т.н.; профессор.

Ibadov Ragim Raufevich – Southern Federal University; e-mail: ragim_ibadov@mail.ru; Shakh-ty, Russia; phone: +79298184480; assistant.

Ibadov Samir Raufevich – e-mail: kyuyuyuyuyuyuy@yandex.ru; phone: +79518463738; assistant.

Fedosov Valentin Petrovich – e-mail: vpfed@mail.ru; Taganrog, Russia; phone: +79525601246; dr. of eng. sc.; professor.

УДК 656.7, 681.88

DOI 10.18522/2311-3103-2020-6-52-65

В.Ю. Волощенко, Е.В. Волощенко

ТЕХНОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОЙ НАВИГАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ ГИДРОСАМОЛЕТОВ НА АКВАТОРИИ ГИДРОАЭРОДРОМА

Рассмотрены вопросы разработки технологий комплексной высокоточной навигации беспилотных гидросамолетов (БГС) для обеспечения как местоопределения, так и проводки в надводном положении в условиях ограниченной атмосферной видимости (низкая облачность, маскирующее действие гидрометеоров, ночное время и т.д.) на акватории гидроаэродрома с помощью гидроакустического канала дистанционного управления, функционирующего за счет использования донной сетевой структуры из оригинальных приемопередаточных антенных устройств (ПАУ) Каждое отдельное ПАУ предложено использовать в качестве «всенаправленного» в верхней полусфере гидроакустического донного маяка, состоящего из m электроакустических преобразователей (ЭАП), каждый из которых функционирует в режиме излучающей параметрической антенны. Статически сформированные «парциальные» лепестки результирующей ХН ПАУ равномерно квантованы по m телесным секторам в полусфере, причем, за счет использования эффектов нелинейной акустики возможна индивидуальная «частотная окраска» каждого из m телесных секторов. В результате на границе раздела «вода – воздух» заданного участка акватории можно сформировать индивидуальное распределение «частотно-окрашенных пятен» локального ультразвукового облучения, причем, как сплошное, так и дискретное, последнее и можно рассматривать как отдельные точки необходимой траектории движения БГС, радиоэлектронное оборудование которого отслеживает расположенный впереди по курсу «акустически обозначенный» участок необходимого направления проводки.

Навигация на акватории гидроаэродрома; гидроакустические средства беспилотного гидросамолета; параметрическая излучающая антенна.