

М. М. Ибрагимов¹, В. Н. Лагуткин^{1, 2}¹ГАО «МАК «Вымпел»», ²Московский физико-технический институт

АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДЕТАЛЕЙ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ДИСТАНЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЯХ

Разработаны принципы идентификации деталей космических объектов на изображениях удаленных космических аппаратов. Рассмотрены некоторые методы обработки изображений, дано описание работы алгоритма поиска положения детали и приведены результаты исследования данного алгоритма.

Ключевые слова: идентификация, обработка изображений, алгоритм поиска, космические объекты, корреляционный метод.

Введение

Идентификация — установление тождественности неизвестного объекта известному на основании совпадения признаков. При решении этой задачи в применении к космическим объектам (КО) можно использовать те упрощающие обстоятельства, что набор основных деталей для большинства космических объектов не очень велик и схож — это антенны, солнечные батареи, топливные баки и т.п. Более того, формы этих деталей не сильно отличаются у разных аппаратов, например, солнечная батарея — это некоторый многоугольник, причем обычно правильный.

В силу известных ограничений физического и технологического характера, таких как дифракционное уширение светового пятна от точечного источника света и конечность размеров пикселей фотоприемников, качество оптических изображений зависит от расстояния до объекта наблюдения, поэтому при больших расстояниях четкость изображения ухудшается, тем самым усложняется задача идентификации.

Целью данной работы является разработка и исследование алгоритма идентификации деталей КО с учетом ограниченной разрешающей способности телескопа.

Программа-имитатор

Для получения изображений деталей на расстоянии наблюдения КО разработана специальная программа-имитатор. Помимо изображений деталей она позволяет получать также изображения наблюдаемых КО, которые нужны для исследования разрабатываемого алгоритма.

В основе работы программы-имитатора лежит модель телескопа, состоящая из объектива и матричного фотоприемника, в которой учтены основные параметры, влияющие на качество выходных изо-

бражений, а именно: эффективный диаметр апертуры объектива, фокусное расстояние телескопа, размеры фотоприемных элементов (пикселей), квантовая эффективность, время экспозиции, параметры шума [1—4].

На рисунке 1 представлены результаты использования этой программы для имитации изображений космического телескопа Hubble (длина около 12.8 м) при наблюдении с помощью телескопа с угловым разрешением в 0.5 угл. сек. с различных дистанций.

Из рисунка 1 видно, что на расстоянии 25 км до объекта еще различимы мелкие детали, однако при дистанции порядка 200 км изображение

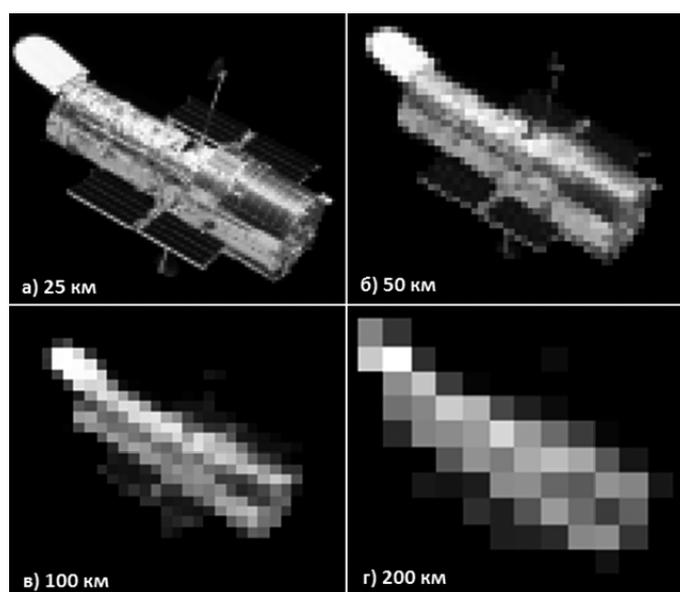


Рисунок 1. Изображения космического телескопа Hubble при наблюдении с помощью телескопа с угловым разрешением 0.5 угл. сек. с различных дистанций

занимает небольшое количество пикселей. Отсюда можно оценить порядки дистанций до объекта, при которых, теоретически, возможно решить поставленную задачу.

Алгоритм

Для решения задачи идентификации деталей на космическом аппарате разработан алгоритм, суть работы которого заключается в циклическом повторении трех основных этапов:

1. Выбор модели детали из банка данных для последующей его идентификации на изображении космического аппарата.
2. Получение отдаленного изображения данной детали на заданном расстоянии с учетом характеристик оптической системы.
3. Поиск наиболее вероятного положения детали на изображении космического аппарата.

На данном этапе алгоритм реализован только в части определения положения детали без учета изменений ее ориентации в пространстве.

На рисунке 2 представлена блок-схема работы данного алгоритма.

База данных содержит информацию о геометрических и оптических параметрах деталей космических объектов. При поступлении на вход изображения космического объекта алгоритм последовательно выбирает детали из базы и моделирует их изображения для известного расстояния наблюдения, затем запускается алгоритм определения координат детали, т.е. поиска детали на изображении.

В основе алгоритма поиска детали лежит корреляционный метод, который позволяет каждому возможному положению детали поставить в соответствие некоторый критерий (среднеквадратическое отклонение), характеризующий степень схожести

выделенного фрагмента изображения космического объекта и изображения детали, и определить наиболее вероятное положение детали, соответствующее минимуму этого критерия.

Корреляционный метод широко распространен в области обработки изображений, в частности, при решении задач сегментации [1]. На рисунке 3 представлены результаты работы данного метода применительно к поставленной задаче (предполагается, что КО наблюдается с расстояния 20 км с помощью телескопа с угловым разрешением в 0.5 угловых секунд). Карты, показанные на рисунке 3 справа, визуализируют матрицы невязок, причем минимальным значениям соответствует черный цвет, а максимальным — белый. Вверху — карта для крышки телескопа, внизу — для солнечной панели.

Несмотря на то, что положения деталей определяются верно, из карты невязок видно, что достаточно большие области имеют схожие значения невязок, то есть при увеличении дистанции возрастает и вероятность ошибки. Для увеличения контрастности карты были использованы методы предварительной обработки изображений [1], а именно, применение дифференциальных операторов к двумерной функции яркости изображений. В результате области с постоянной яркостью становятся черными, а области с перепадами яркости, напротив, белыми. В данной работе были рассмотрены различные операторы, однако предпочтение было отдано оператору Собеля, так как при его применении граница становится более контрастной по сравнению с другими операторами [1].

После применения этого оператора к входному изображению и изображению детали запускается алгоритм корреляционного поиска, в результате карта становится значительно более контрастной, что поло-



Рисунок 2. Блок-схема работы алгоритма поиска положения детали

жительно сказывается на качестве решения задачи идентификации (рисунок 4).

Однако существуют ситуации, когда использование только этого метода может привести к ошибке, например, для двух круговых элементов с одинаковым размером, но разной яркости.

Лучшего результата следует ожидать от гибридного метода, при котором итоговая матрица невязок составляется как весовая сумма матриц невязок обоих методов, с большим весом у метода с применением дифференциальных операторов. На рисунке 5 представлены карты невязок для весов 0.8 и 0.2. Как видно, карты стали менее контрастными, однако явно видны зоны, где значения невязок достигают минимального значения.

В случае когда расстояние до объекта известно не точно, например, лежит в диапазоне от D_{min} до D_{max} , необходимо провести поиск по расстоянию и определить наиболее вероятное расстояние. На рисунке 6 представлена зависимость минимального значения невязки от расстояния в диапазоне от 10 до 100 км.

В первых двух зависимостях отчетливо видны минимумы, которые соответствуют расстоянию 25 км.

Для последней детали зависимость не имеет отчетливого минимума, значения невязки колеблются около среднего значения с малыми флуктуациями, поэтому алгоритм ошибочно определил расстояние в 84 км. Такая зависимость может свидетельствовать о том, что данной детали нет на КО.

Заключение

На данном этапе работы реализован алгоритм определения положения детали без учета ее ориентации в пространстве. Кроме того, база данных состояла из деталей, непосредственно принадлежащих исследуемым космическим аппаратам, поэтому результаты подтверждают теоретическую возможность решения поставленной задачи. Для практического решения задачи необходимо создать унифицированную базу деталей с учетом их ориентации.

Тем не менее, результаты исследования алгоритма показали, что задача идентификации деталей может быть надежно решена в случае изображений, полученных телескопом с угловым разрешением на уровне 0.5 угловых секунд с расстояния не более 50 км.

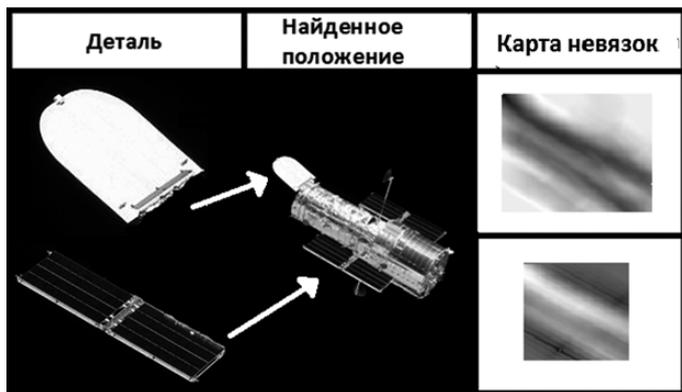


Рисунок 3. Демонстрация работы алгоритма поиска деталей корреляционным методом

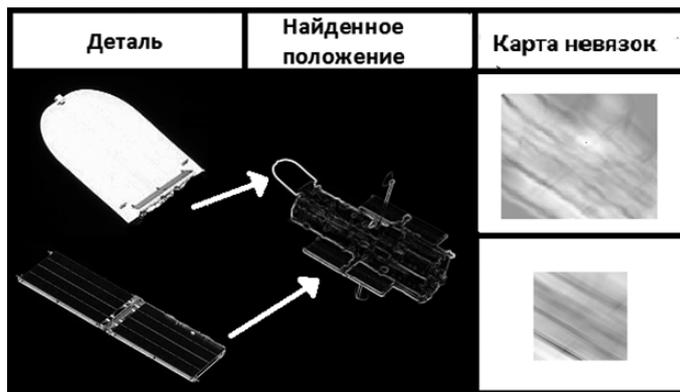


Рисунок 4. Демонстрация работы алгоритма поиска для изображений, обработанных оператором Собеля

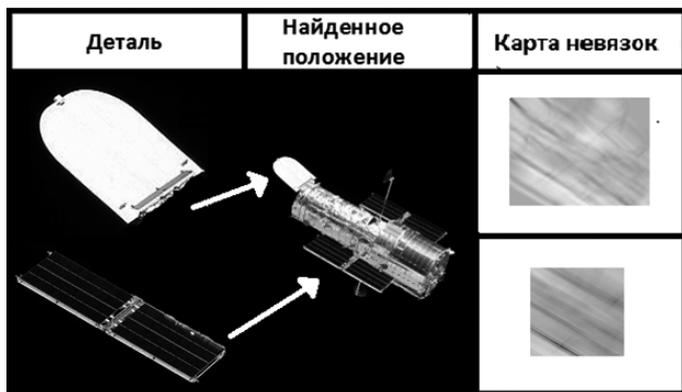


Рисунок 5. Демонстрация работы гибридного алгоритма поиска

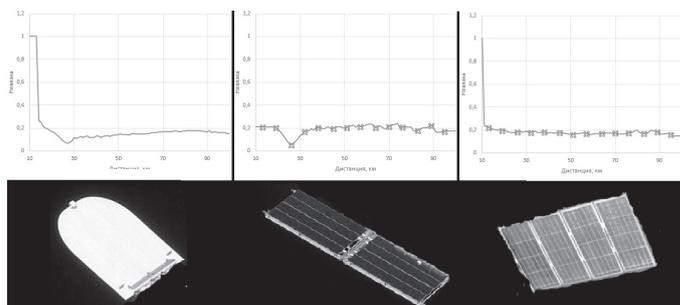


Рисунок 6. Поиск по расстоянию

ЛИТЕРАТУРА

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. — М.: Техносфера, 2005. — 1007 с.
2. Анисимов Б.В. Распознавание и цифровая обработка изображений. — М.: Высш. школа, 1983. — 295 с.
3. Локшин Г.Р. Волны. Дифракция. Пространственная фильтрация. — М.: МФТИ, 2006. — 160 с.
4. Гузман И.С., Киричук В.С. и др. Цифровая обработка изображений в информационных системах. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. — 352 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ибрагимов Марат Маруфович, инженер ПАО «МАК «Вымпел»», Москва, ул. Героев Панфиловцев, д. 10, корп. 1, студент МФТИ (Московская область, г. Долопридный, Институтский пер., 9).

Лагуткин Владимир Николаевич, д.т.н., ПАО «МАК «Вымпел»», Москва, ул. Героев Панфиловцев, д. 10, корп. 1, профессор МФТИ, Московская область, г. Долопридный, Институтский пер., 9, тел.: (8-499) 152-98-19, e-mail: vlagutkin@mail.ru.

For citation: Radiopromyshlennost. — 2016. — № 1. — P. 79—82.

УДК 681.518.5

M. M. Ibragimov, V. N. Lagutkin

ALGORITHM WHICH IDENTIFY THE DETAILS OF SPACE OBJECTS ON THE IMAGES OBTAINED BY REMOTE MONITORING

We have developed principles of identification of details on images of remote space objects. We have considered some image processing methods and represented the description of position searching algorithm with the results of its analysis.

Keywords: identification, space objects, image processing, searching algorithm, correlation technique.

REFERENCES

1. Gonzalez R., Woods R. Digital Image Processing. — M.: Technosphere, 2005. — 1007 p.
2. Anisimov B.V. Detection and Digital Image Processing. — M.: High School, 1983. — 295 p.
3. Lokshin G.R. Waves. Diffraction. Spatial filtering. — M.: MIPT, 2006. — 160 p.
4. Guzman I.S., Kirichuk V.S. et al. Digital image processing in information systems. — Novosibirsk: Publishing House of the Novosibirsk State Technical University, 2002. — 352 p.