

Сегментация радиолокационных изображений на основе нечетких отношений

Д.В. Чуриков

Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН, Московский физико-технический институт (государственный университет), Российский новый университет, trio_nice@mail.ru

Предложен алгоритм предварительной обработки радиолокационных изображений (РЛИ) на основе весовой обработки, сегментации и отдельной фильтрации элементов изображения. Сегментация проводится с помощью контурного анализа и использованием аппарата теории нечетких множеств. Рассмотренный подход реализует концепцию кратномасштабных преобразований и позволяет адаптироваться к текущим требованиям по скорости и точности обработки. Численные эксперименты показывают эффективность и надежность разработанного алгоритма. Приводятся результаты обработки модельных и радиолокационных изображений.

The algorithm for pre-processing of radar images (RI) on the basis of the weighting processing, segmentation, and filtering the separate elements of the image is proposed. Segmentation is carried out using a contour analysis and the use of the theory of fuzzy logic. This approach implements the concept of multiscale transformations and allows to adapt to the current requirements for speed and accuracy. Numerical experiments show the efficiency and reliability of the developed algorithm. The results of processing of model and radar images are presented.

Активное применение систем дистанционного зондирования Земли в различных областях народного хозяйства и обороны [1,2] обуславливает актуальность развития методов цифровой обработки, применительно к радиолокационным изображениям. Основные задачи, решаемые при цифровой обработке сигналов следующие: определение характеристик, фильтрация и распознавание [1-8]. При обработке радиолокационных изображений необходимо производить фильтрацию. Вследствие возможного разнообразия характеристик подстилающих поверхностей, целесообразно проведение сегментации изображений. В сегментированных изображениях возможно применение схожих параметров обработки семантически связанных частей. Это полезно при выделении характеристик протяженных географических структур (лесной массив, водная поверхность, застройка). Фильтрация изображений на основе линейных фильтров является достаточно эффективным и универсальным инструментом шумоподавления. Однако известно [1,3-6], что при увеличении сглаживающих характеристик во временной области наряду с подавлением помехи происходит потеря полезной информации. Компромисс между параметрами подавления помех и визуальным качеством отфильтрованных изображений может быть достигнут путем адаптивного варьирования параметров фильтрации. В качестве оконных функций предлагается использовать финитные конструкции на основе атомарные функций (АФ), обладающие сбалансированными частотными и временными характеристиками [1,2]. Предлагается обработку полного изображения осуществлять посегментно. Границам объектов в полутоновой сцене соответствуют скачки яркости, как положительные, так и отрицательные. Эти скачки вызваны разницей средних уровней яркости фона и объектов. Таким образом, выделение границ объектов состоит из последовательности следующих основных операций: сканирование сцены, обнаружение контура изображенного объекта и прослеживание линии контура в условиях воздействия фоновых шумов, формирование кода контура и его предварительная обработка.

Для выделения контуров используются уже полученные результаты фильтрации изображения [1,3-6] и решающее правило, основанное на нечетком выводе [1,4,8]. Нечеткое правило повышает достоверность классификации точек изображения в условиях помех, неоднородности фона и самих объектов. В случаях, когда не удается однозначно отнести точку к объекту/фону или границе фон-объект это правило позволяет производить локальные уточнения, что повышает эффективность алгоритмов с точки зрения вычислительных ресурсов и качества распознавания. На рис. 1 дана иллюстрация определения импульсной реакции контура и его уровня для классификации точек изображения при сканировании по одной размерности. Основываясь на данных о скачке яркости, накопленной информации о шумовом воздействии и других влияющих факторах нечеткий классификатор присваивает точке изображения вероятность принадлежности её к области границы фон-объект.

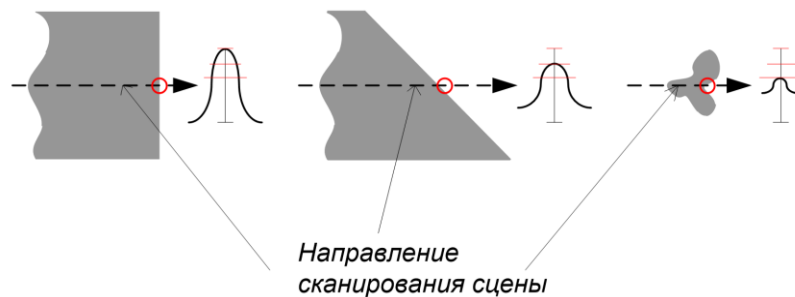


Рис. 1. К вопросу классификации точек изображения при сканировании по одной размерности.

Теория нечетких множеств [4,8] основывается на идеях многозначной логики и является ее обобщением. Наиболее используемые три группы операций определения пересечения и объединения нечетких множеств:

Максимальные: $\mu_{A \cup B}(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$, $\mu_{A \cap B}(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$.

Алгебраические: $\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x)\mu_B(x)$, $\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x)\mu_B(x)$.

Ограниченные: $\mu_{A \cup B}(x) = \min\{1, \mu_A(x) + \mu_B(x)\}$, $\mu_{A \cap B}(x) = \max\{0, \mu_A(x) + \mu_B(x) - 1\}$.

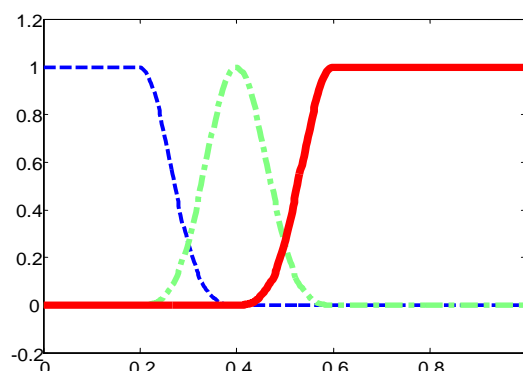


Рис. 2. Функции принадлежности классов контуров. Синий график – результат фильтрации шумового воздействия, зеленый график – необходимо уточнение, красный график – скачок яркости является контуром изображения.

Для скачков яркости формируются три функции принадлежности $\rho(x)$ (см. рис. 2):

1. Сильные скачки яркости. В этом случае наиболее вероятно отнесение точки к области контура.

2. Средние скачки яркости. Здесь возможны два варианта: а – скачек яркости вызван следствием фильтрации шумового воздействия или б – фронт скачка яркости ориентирован под острым углом к направлению сканирования.

3. Малые скачки яркости. Наиболее вероятно, что они являются результатами фильтрации шумового воздействия.

В качестве функций принадлежности можно использовать атомарные функции [1,5,6], которые являются финитными решениями функционально-дифференциальных уравнений со смещенными аргументами. Так, уравнения вида

$$y'(x) = \frac{a^2}{2} (y(ax+1) - y(ax-1)),$$

где a — любое действительное число, $a > 1$, порождает атомарную функцию $h_a(x)$

$$h_a(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \exp(i\omega x) \prod_{k=1}^{\infty} \text{sinc}\left(\frac{\omega}{a^k}\right) d\omega.$$

Качественные графики функции $h_a(x)$ и её первой производной представлены на рис. 3.

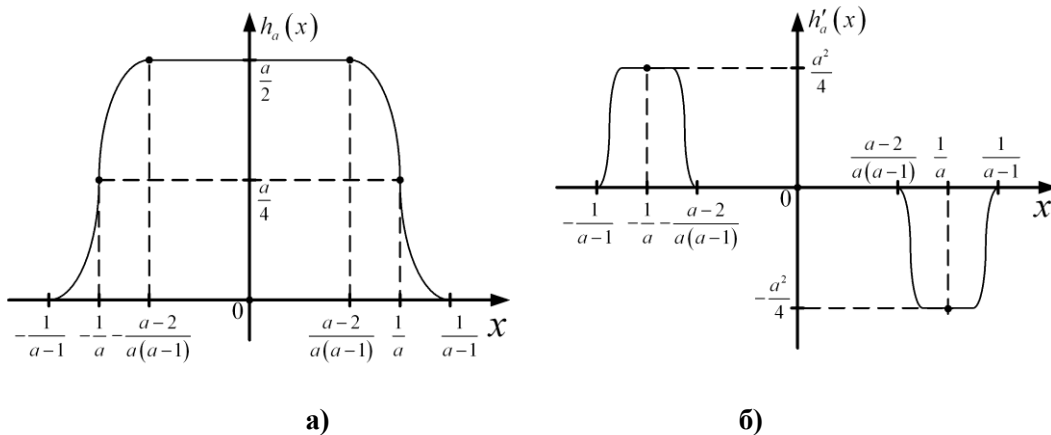


Рис. 3. Характер поведения атомарной функции $h_a(x)$ (а) и её производной (б).

Важным является то, что атомарные функции обеспечивают «разложение единицы». Это позволяет сформировать систему функций принадлежности, обеспечивающие 100% отнесение точки к одному из классов (см. рис. 4).

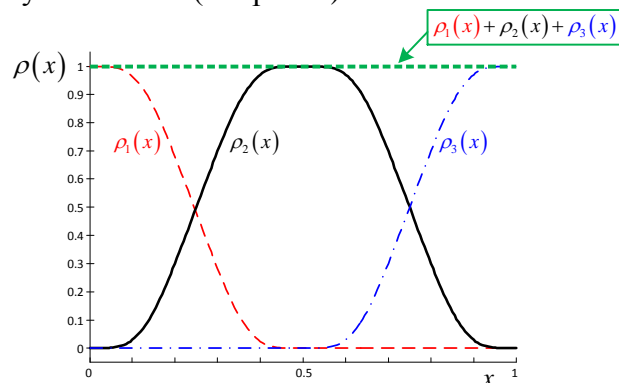


Рис. 4. Функции принадлежности $\rho(x)$ классов контуров. «Красная пунктирная линия» — фильтрация шумового воздействия, «черная сплошная линия» — выполнение уточняющих шагов, «синяя штрих-пунктирная линия» — скачек яркости является контуром изображения.

«Зеленая горизонтальная пунктирная линия» — сумма функций принадлежности.

Логический вывод включает следующие четыре этапа: 1) введение нечеткости (фазификация), 2) нечеткий вывод, 3) композиция и 4) приведение к четкости (дефазификация).

Сопоставляя полученные данные, происходит приведение к четкому выводу и объединение точек контуров. На заключительном этапе изображение сегментируется в соответствии с информацией о контурах и фрагментах изображения [1,4]. Каждый сегмент обрабатывается методами контурного анализа и описывается на основе теории R-функций [1,7]. На рис. 5 приведено исходное и зашумленное радиолокационное изображение, а также его выделенный контур.

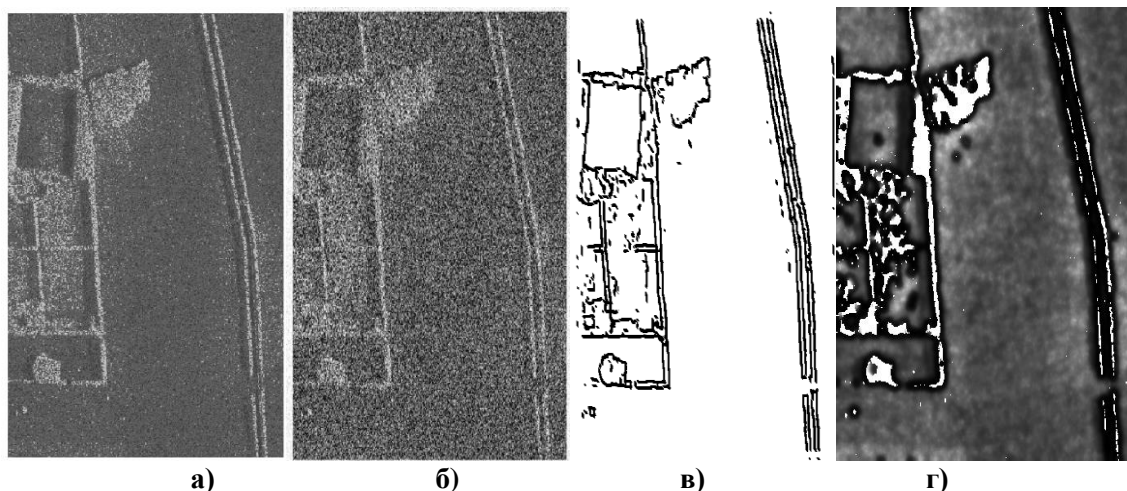


Рис. 5. Результаты обработки зашумленного радиолокационного изображения. Исходное (а), зашумленное (б) изображения, выделенный контур (в) и вариант коррекции (г).

Проведенные численные эксперименты показали эффективность предложенного подхода.

Литература

1. Кравченко В.Ф., Чуриков Д.В. Цифровая обработка сигналов атомарными функциями и вейвлетами. М.: Техносфера, 2018. ISBN 978-5-94836-506-0
2. Данилычев М.В., Кравченко В.Ф., Кутуза Б.Г., Чуриков Д.В. Спутниковые СВЧ радиометрические комплексы дистанционного зондирования Земли. Современное состояние и тенденции развития // Физические основы приборостроения. 2014. Т. 3. № 1 (10). С. 3-25.
3. Кравченко В.Ф., Федоров И.Б., Чуриков Д.В. Функции В.Л. Рвачёва и атомарные функции в задачах описания сложных контурных объектов и цифровой обработке изображений // Электромагнитные волны и электронные системы. 2005. №7. С. 70-80.
4. Чуриков Д.В. Сегментация и фильтрация радиолокационных изображений на основе нечётких отношений атомарных функций // Нелинейный мир. 2007. Т. 5. № 5. С. 265–266.
5. Кравченко В.Ф., Кравченко О.В., Пустовойт В.И., Чуриков Д.В. Атомарные функции в современных проблемах радиофизики. Обзор // Физические основы приборостроения. Специальный выпуск. 2011. С. 3-48.
6. Кравченко В.Ф., Кравченко О.В., Пустовойт В.И., Чуриков Д.В. Применение семейств атомарных, WA-систем и R-функций в современных проблемах радиофизики. Часть I. Радиотехника и электроника, 2014. Т. 59. № 10. С. 949–978.

7. Кравченко В.Ф., Кравченко О.В., Пустовойт В.И., Чуриков Д.В., Юрин А.В. Применение семейств атомарных, WA-систем и R-функций в современных проблемах радиофизики. Часть IV. Радиотехника и электроника. 2015. Т. 60. № 11. С. 1113-1152.
8. Круглов В.В., Дли М.И. Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода. М.: Физматлит, 2002.