

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ВЕЙВЛЕТА «МЕКСИКАНСКАЯ ШЛЯПА»

DIGITAL SIGNAL PROCESSING WITH WAVELET «MEXICAN HAT»

A. Shchukin
A. Pavlov

Summary. When a radar system receives a signal from a long distance, it may be difficult to determine the number and angular location of the observed targets. The article presents a method of solving this problem using wavelet transform.

Keywords: wavelet transform, computer modeling, super-resolution, target search.

Щукин Андрей Алексеевич

ФГБОУ ВО «МИРЭА — Российский технологический университет»
56732168@mail.ru

Павлов Александр Евгеньевич

ФГБОУ ВО «МИРЭА — Российский технологический университет»
epifan.captain@mail.ru

Аннотация. При получении сигнала радарной системой с большого расстояния могут возникнуть затруднения в определении количества и углового расположения наблюдаемых целей. В статье представлен метод решения данной проблемы с помощью вейвлет-преобразования.

Ключевые слова: вейвлет-преобразование, компьютерное моделирование, сверхразрешение, поиск целей.

Введение

Задача обнаружения и наблюдения объектов была и остаётся актуальной по сегодняшний день. Одна из важнейших задач развития радиолокации — улучшение распознавания целей. Этого можно добиться двумя способами. Во-первых, установкой более мощных радиолокационных систем, что весьма дорогостояще и трудновыполнимо в условиях ограниченного пространства, например, на самолётах. И во-вторых, качество принимаемого сигнала можно улучшить с помощью математических методов, что позволяет значительно сэкономить на установке дополнительного оборудования.

Одной из основных проблем распознавания является тот факт, что по получаемому радарной системой сигналу бывает затруднительно определить количество и угловое расположение целей.

Данную проблему можно решить с помощью вейвлет-преобразования. Этот метод позволяет преодолеть критерий Рэлея, то есть даёт возможность получить угловое сверхразрешение (преодолеть классический дифракционный предел пространственного разрешения сфокусированного линзой изображения, составляющего величину менее половины длины волны излучения) [1, 2, 3].

Методы, используемые в исследовании. **Исходные цели, поиск которых будет проводиться в дальнейшем, представлены на рисунке 1. Цели задаются с помощью функции (1),**

$$IS(a) := \text{if}(|a| < 0.2, 100 \cdot \sin(19.5 \cdot a)^{80}, 0) \cdot e^{-3 \cdot a} \quad (1)$$

где a — угол в радианах [4]. На всех последующих рисунках и графиках по оси абсцисс указан угол в радианах, по оси ординат — амплитуда в децибелах.

Получаемый радаром сигнал, приведенный на рисунке 2, моделируется с помощью линейного интегрального уравнения Фредгольма (2), в качестве ядра используется функция (3) [4].

$$u(a) := \int_{-0.18}^{0.18} f(x, a) \cdot IS(x) dx \quad (2)$$

$$f(x, a) := \sum_{n=0}^{14} \exp[-i \cdot (2 \cdot \pi) \cdot 0.6 \cdot (n - 7) \cdot (\sin(x) - \sin(a))] \quad (3)$$

Данная задача решается путём параметризации — вместо неизвестных нам целей $IS(x)$ в формулу (2) подставляется некая система функций вида

$$\sum_{i=1}^n a_i \cdot f_i(x),$$

где a_i — неизвестные коэффициенты, $f_i(x)$ — функции, задаваемые пользователем. Далее решается система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) — подбираются такие коэффициенты a_i , чтобы полученная функция была максимально приближена к исходной функции (2).

Для поиска целей используется вейвлет «Мексиканская шляпа», представленный на рисунке 3.

Далее строится система из четырёх ступеней вейвлетов, представленная на рисунке 4. Первая ступень состоит из одной функции, вторая — из двух функций,

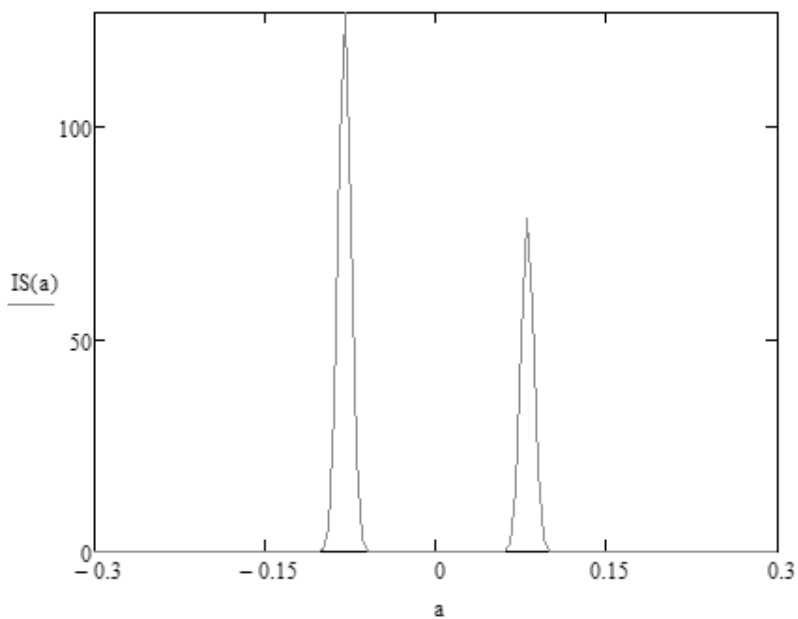


Рис. 1. Исходные цели

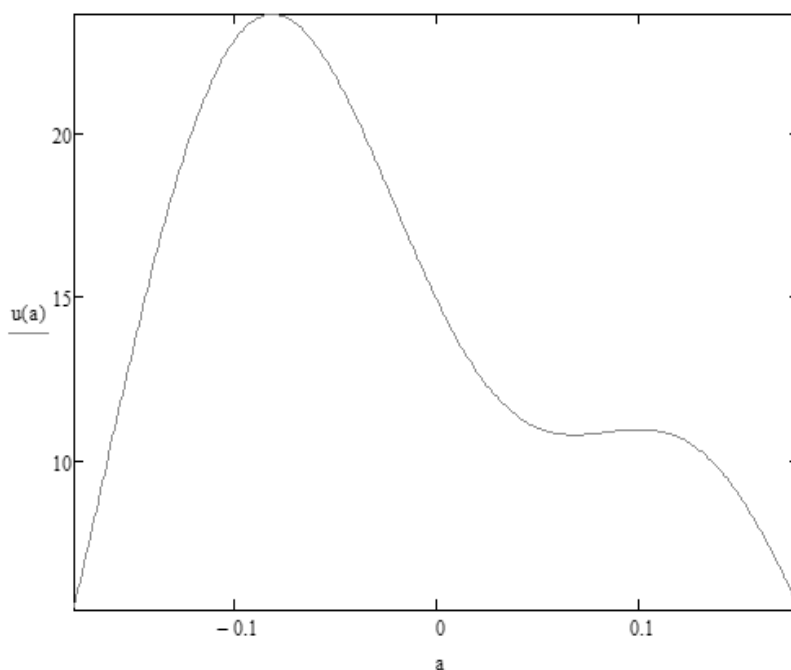


Рис. 2. Модель получаемого радаром сигнала

третья — из четырёх функций, четвертая — из восьми функций.

Решение, полученное с помощью двух, трёх, и четырёх ступеней функций, приведено на рисунке 5. Два острых пика показывают истинное расположение и амплитуду целей, функция ниже — найденное решение.

Цели определены верно, наилучший результат показала система из двух ступеней функций.

Посмотрим, как система будет справляться с различным количеством и расположением целей. Четыре исходные цели представлены на рисунке 6, модель получаемого радаром сигнала приведена на рисунке 7.

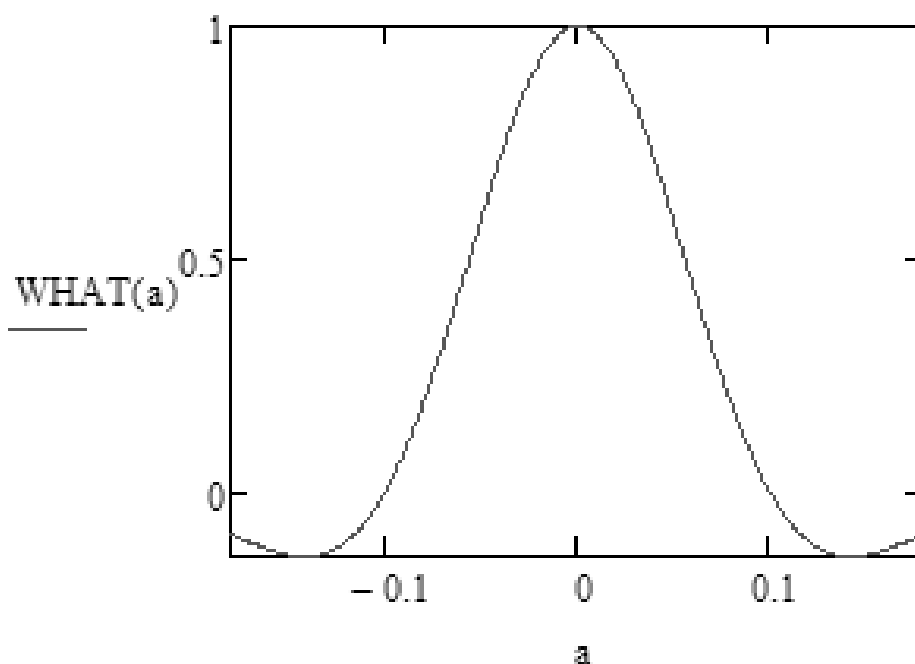


Рис. 3. Вейвлет «Мексиканская шляпа»

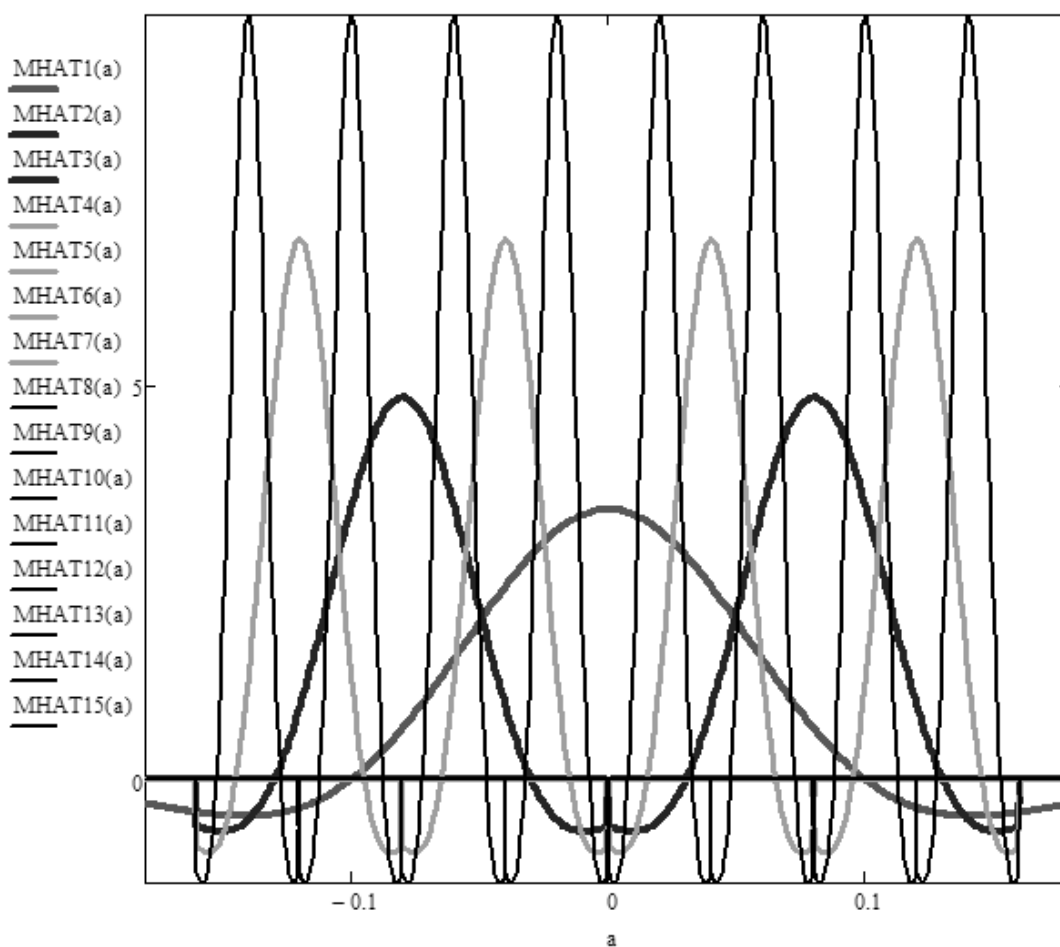
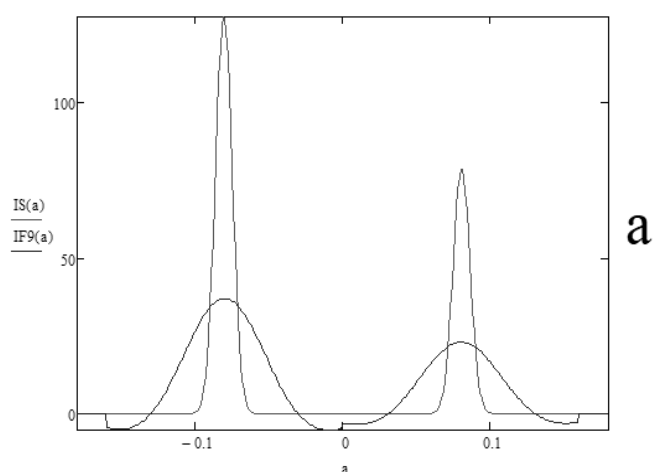
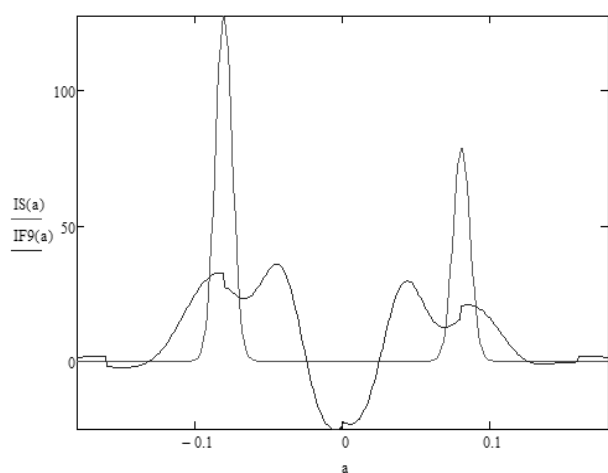


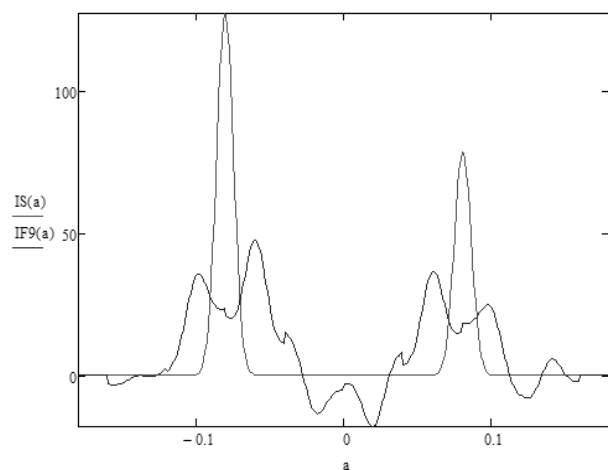
Рис. 4. Система из четырёх ступеней функций



а



б



в

Рис. 5. Решение, полученное с помощью двух (а), трёх (б), и четырёх (в) ступеней функций

Поиск исходных целей проводится с помощью трёх и четырёх ступеней функций, результат представлен на рисунке 8. Две ступени функций не используются, так как исходных целей больше, чем заданных функций.

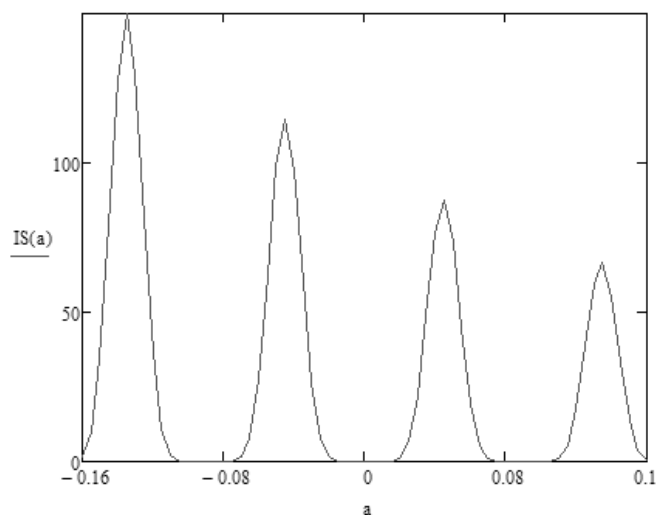


Рис. 6. Исходные цели

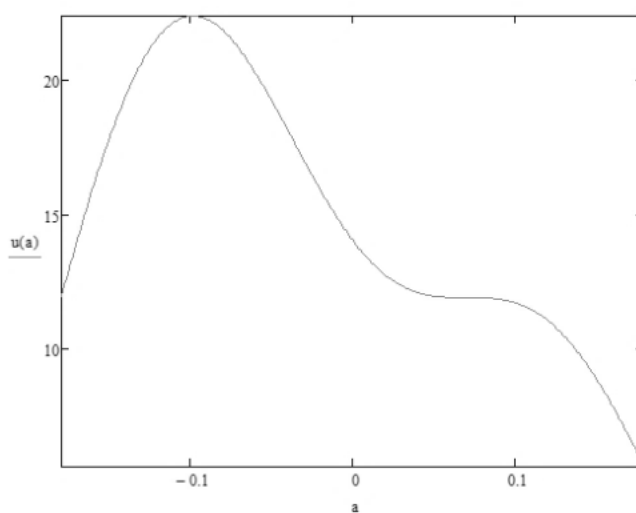


Рис. 7. Модель получаемого радаром сигнала

Все четыре цели найдены, далее задаются шесть целей, приведённых на рисунке 9, и строится модель получаемого радаром сигнала, представленная на рисунке 10.

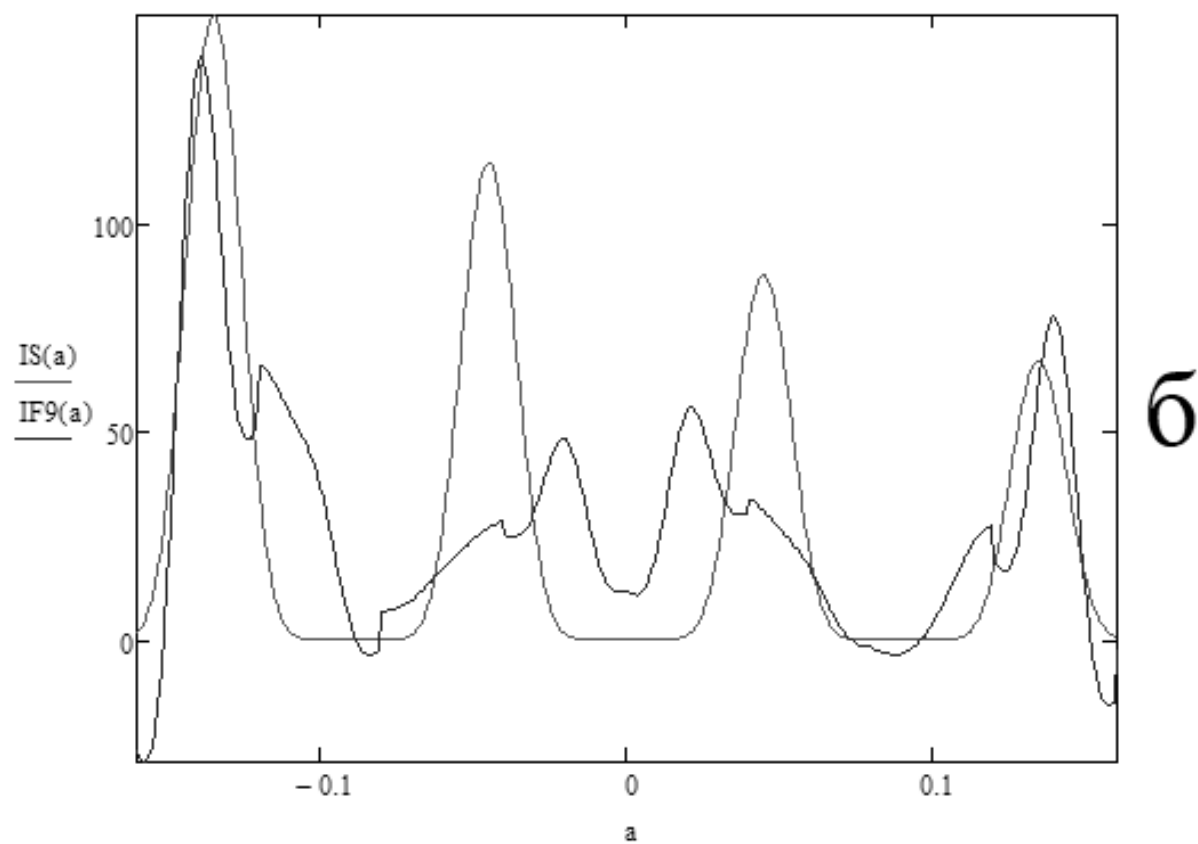
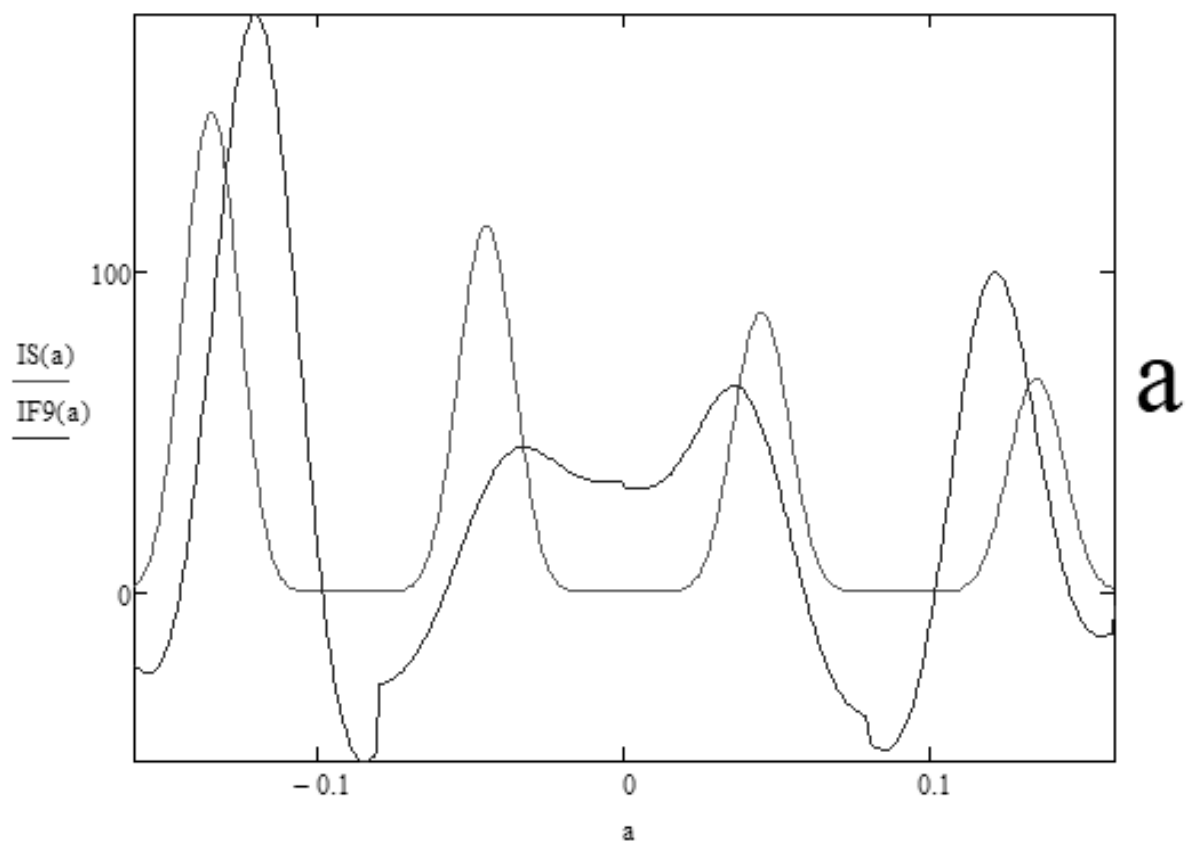


Рис. 8. Решение, полученное с помощью трёх (а), и четырёх (б) степеней функций

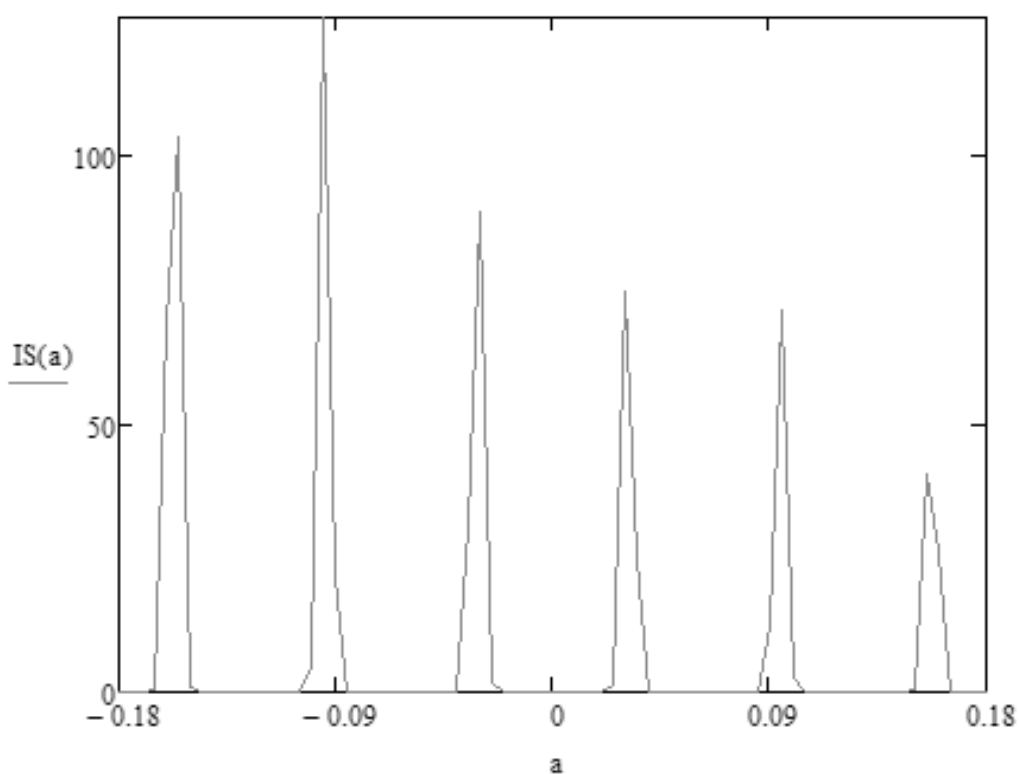


Рис. 9. Исходные цели

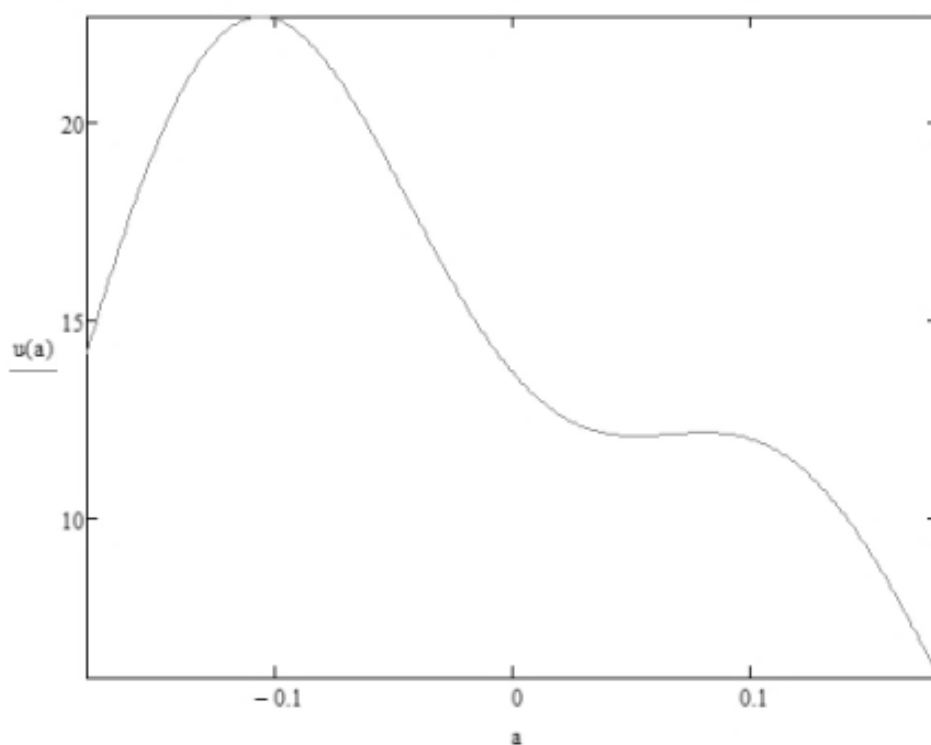


Рис. 10. Модель получаемого радаром сигнала

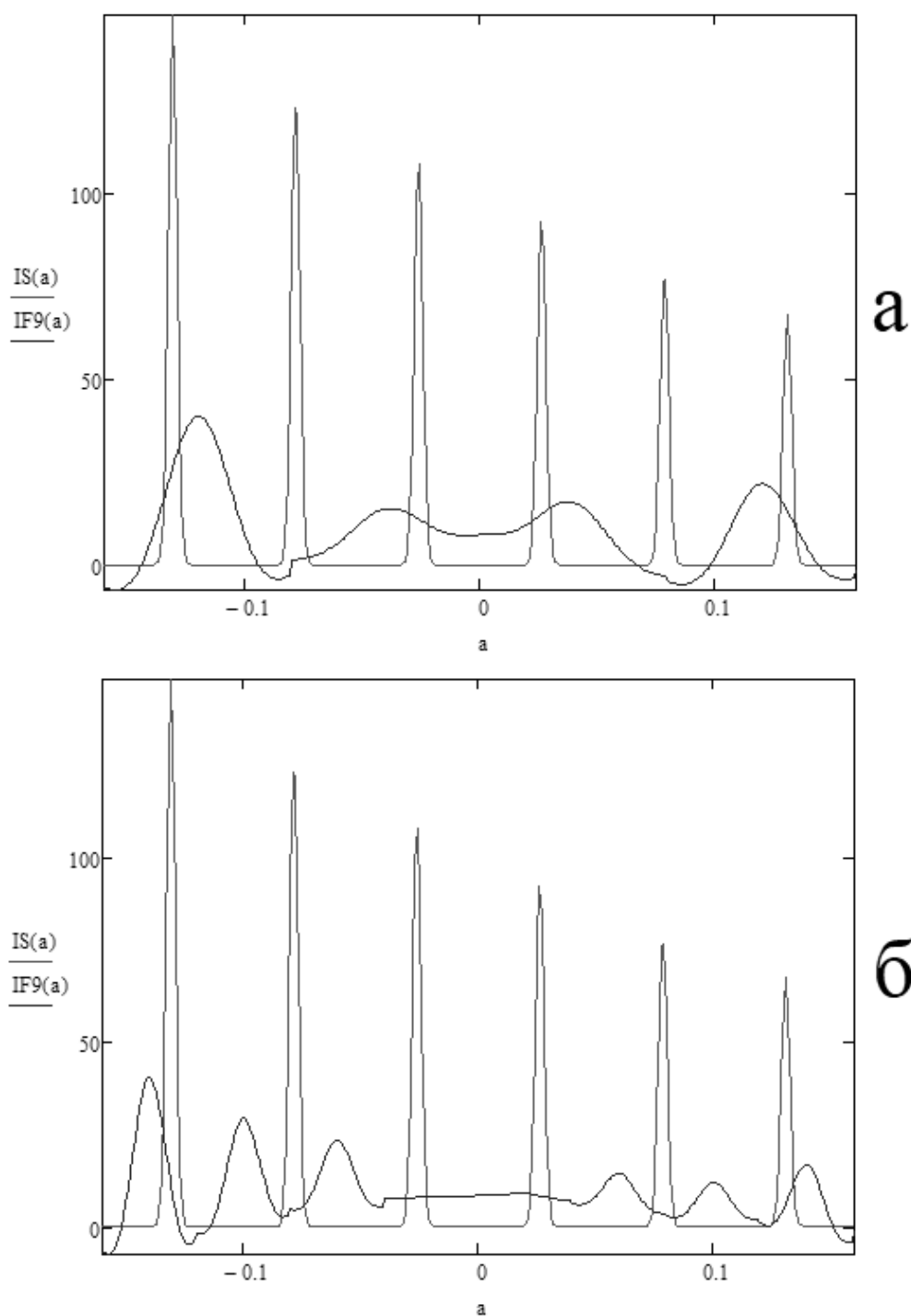


Рис. 11. Решение, полученное с помощью трёх (а), и четырёх (б) ступеней функций

Найдём исходные цели с помощью трёх и четырёх ступеней функций, полученное решение приведено на рисунке 11.

Точность обнаружения снизилась, однозначно найдена только первая и последняя цель.

Заключение

В ходе работы была смоделирована работа радарной системы, рассмотрены различные варианты обработки полученных данных.

Система функций на основе вейвлета «Мексиканская шляпа» позволяет разложить внешне малоразличимые сигналы (рис. 2 и рис. 7) на достоверное количество целей (две и четыре соответственно). С её помощью цели

найлены с приемлемой точностью, наилучшее решение показала система из трёх ступеней функций. Отсюда можно сделать вывод, что данная система пригодна для получения сверхразрешения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лаговский Б. А., Самохин А. Б. — Устойчивость алгебраических методов восстановления изображений источников с повышенным угловым разрешением // Электромагнитные волны и электронные системы. — 2011, № 4, т. 16. С. 6–12.
2. Лаговский Б. А., Самохин А. Б., Самохина А. С. — Формирование изображений радиолокационных целей со сверхразрешением алгебраическими методами // Успехи современной радиоэлектроники. — 2014, № 8, — с. 23–27.
3. Лаговский Б. А., Чикина А. Г. — Решение обратных задач получения сверхразрешения на основе симметризации данных // Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. № 2. Омск, 2015. 117 с.
4. Лаговский Б. А., Чердынцев В. В., Прикладное программное обеспечение, Москва, МИРЭА, 2010. 20 с.

© Щукин Андрей Алексеевич (56732168@mail.ru), Павлов Александр Евгеньевич (epifan.captain@mail.ru).
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



МИРЭА — Российский технологический университет