

УДК 621.396.963:621.391.26

МНОГОСТУПЕНЧАТАЯ АДАПТИВНАЯ КОМПЕНСАЦИЯ АКТИВНЫХ ШУМОВЫХ ПОМЕХ С БЛОЧНОЙ ОРТОГОНАЛИЗАЦИЕЙ СИГНАЛОВ КОМПЕНСАЦИОННЫХ КАНАЛОВ

С. Я. ЖУК¹, К. М. СЕМИБАЛАМУТ², С. Н. ЛИТВИНЦЕВ¹

¹Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского»,
Украина, Киев, 03056, пр-т Победы 37

²Военно-дипломатическая академия имени Евгения Березняка,
Украина, Киев, 04050, ул. Мельникова 81

Аннотация. С использованием блочной ортогонализации Грама-Шмидта и LS-алгоритма по критерию наименьших квадратов синтезированы многоступенчатые цифровые автокомпенсаторы активных шумовых помех, которые обеспечивают параллельно-последовательную обработку сигналов. Применение RLS-алгоритма позволило получить рекуррентную процедуру вычисления весовых коэффициентов модулей автокомпенсатора, представленных в виде многоходовых весовых сумматоров. Анализ многоступенчатых цифровых автокомпенсаторов на основе RLS-алгоритма с одновременной адаптацией весовых сумматоров всех ступеней выполнен с помощью статистического моделирования на ЭВМ. В результате распараллеливания вычислительного процесса синтезированные многоступенчатые автокомпенсаторы позволили увеличить скорость обработки (частоту дискретизации сигнала) на порядок и более по сравнению с автокомпенсаторами, построенными по одноступенчатой схеме.

Ключевые слова: автокомпенсаторы помех; цифровые антенные решетки; метод наименьших квадратов; LS- и RLS-алгоритм; ортогонализация Грама-Шмидта

ВВЕДЕНИЕ

Для пространственной компенсации активных шумовых помех в радиолокационных системах различного назначения широкое применение находят автокомпенсаторы помех на основе цифровых антенных решеток [1]. Традиционно алгоритмы пространственной фильтрации характеризуются высокой вычислительной сложностью, что затрудняет их реализацию в реальном масштабе времени [2, 3].

Одним из основных направлений повышения быстродействия вычислительных средств в многофункциональных радиолокационных системах является распараллеливание алгоритмов с последующей одновременной обра-

боткой по всем параллельным каналам [3]. В этом случае система обработки состоит из модулей (спецпроцессоров) и реализуется на основе многопроцессорных вычислительных систем. Поэтому разработка методов распараллеливания алгоритмов пространственной фильтрации помех является актуальной задачей радиолокации.

Перспективным является подход, основанный на ортогональных преобразованиях сигналов [4, 5]. Он позволяет получить алгоритмы, которые обеспечивают параллельно-последовательную обработку сигналов. Идеи и способы построения адаптивных сис-

DOI: [10.20535/S0021347017060012](https://doi.org/10.20535/S0021347017060012)

© С. Я. Жук, К. М. Семибаламут, С. Н. Литвинцев, 2017

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория. Справочник.* Издание второе, переработанное и дополненное. Под редакцией Я. Д. Ширмана. М. : Радиотехника, 2007. 828 с.
2. Быстров, Р. П.; Новиков, А. В.; Румянцев, В. Л. Повышение быстродействия пространственной фильтрации помех в РЛС с АФАР. *Журнал радиоэлектроники*, № 11, 2014. <http://jre.cplire.ru/alt/nov14/11/text.html>.
3. Кузьмин, С. З. *Цифровая радиолокация.* К. : КВиЦ, 2000. 428 с.
4. Ратынский, М. В. *Адаптация и сверхразрешение в антенных решетках.* М. : Радио и связь, 2003. 200 с.
5. Monzingo, Robert A.; Haupt, Randy L.; Miller, Thomas W. *Introduction to Adaptive Arrays*, 2nd ed. Scitech Pub., Inc., 2011. 510 p.
6. Леховицкий, Д. И.; Рачков, Д. С.; Семеняка, А. В.; Рябуха, В. П.; Атаманский, Д. В. Адаптивные решетчатые фильтры. Часть I. Теория решетчатых структур. *Прикладная радиоэлектроника*, Т. 10, № 4. С. 381–404, 2011.
7. Гираудон, С. Пат. № 3876847 США, МКИ 325/367 от 8.04.1975.
8. Лексаченко, В. А.; Шаталов, А. А. Синтез многомерного «выбеливающего» фильтра по методу Грама-Шмидта. *Радиотехника и электроника*, Т. 21, № 1. С. 112–119, 1976.
9. Полов, К. П. Адаптивный компенсатор помех. *Радиотехника*, Т. 34, № 1. С. 19–24, 1979.
10. Бондаренко, Б. Ф.; Прокофьев, В. П. Применение методов функционального анализа для решения задачи синтеза системы пространственной обработки. *Известия вузов. Радиоэлектроника*, Т. 25, № 7. С. 12–16, 1982.
11. Коуэн, К. Ф. Н.; Грант, П. М. (ред.) *Адаптивные фильтры.* Пер. с англ. М. : Мир, 1988. 392 с.
12. Джиган, В. И. *Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы.* М. : Техносфера, 2013. 528 с.
13. Себер, Дж. *Линейный регрессионный анализ.* Пер. с англ. В. П. Носко под ред. М. Б. Малютова. М. : Мир, 1980. 456 с.
14. Хокни, Р.; Джесхоуп, К. *Параллельные ЭВМ.* М. : Радио и связь, 1986.
15. Стренг, Г. *Линейная алгебра и ее применения.* М. : Мир, 1980. 459 с.
16. Жук, С. Я.; Семибаламут, К. М. Двухступенчатая адаптивная компенсация активных шумовых помех с ортогонализацией сигналов части компенсации

онных каналов. *Вестник НТУУ «КПИИ». Серия Радиотехника. Радиоаппаратостроение*, № 64. С. 61–74, 2016. URL: <http://radap.kpi.ua/ru/radiotechnique/article/view/1172>.

17. Тихонов, В.И.; Харисов, В.Н. *Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем*. М.: Радио и связь, 1991. 608 с.

18. Леховицкий, Д.И.; Рябуха, В.П.; Жуга, Г.А.; Лаврентьев, В.Н. Экспериментальные исследования систем СДЦ на основе адаптивных решетчатых фильтров в импульсных РЛС с попачечной возбуждающей периодов зондирования. *Прикладная радиоэлектроника*, Т. 7, № 1. С. 90–101, 2008.

19. Ефремов, В.С. Адаптивные системы селекции движущихся целей в радиолокаторах управления воздушным движением. *Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. Сер. Приборостроение*, № 2. С. 3–16, 2007. URL: <http://vestnikprib.ru/catalog/radoiel/hidden/274.html>.

20. Леховицкий, Д.И.; Атаманский, Д.В.; Рачков, Д.С.; Семеняка, А.В. Оценка энергетических спек-

тров отражений в импульсных доплеровских метеорадиолокаторах. Ч. 1. Разновидности алгоритмов спектрального оценивания. *Известия вузов. Радиоэлектроника*, Т. 58, № 12, С. 3–30, 2015. DOI: 10.20535/S0021347015120018.

21. Леховицкий, Д.И.; Атаманский, Д.В.; Рачков, Д.С.; Семеняка, А.В. Оценка энергетических спектров отражений в импульсных доплеровских метеорадиолокаторах. Ч. 2. Предельные возможности. *Известия вузов. Радиоэлектроника*, Т. 59, № 9, С. 3–20, 2016. DOI: 10.20535/S0021347016090016.

22. Леховицкий, Д.И.; Атаманский, Д.В.; Рачков, Д.С.; Семеняка, А.В. Оценка энергетических спектров отражений в импульсных доплеровских метеорадиолокаторах. Ч. 3. Статистический анализ методов воспроизведения непрерывных спектров отражений от метеорообразований. *Известия вузов. Радиоэлектроника*, Т. 60, № 2, С. 59–96, 2017. DOI: 10.20535/S0021347017020017.

Поступила в редакцию 14.06.2016

После переработки 21.11.2016