

Анализ адаптивной обработки когерентных сигналов

УДК 621.391:621.396.96

Д.И. ПОПОВ, профессор кафедры радиотехнических систем ФГБОУ ВО “Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина” доктор технических наук

Анализ адаптивной обработки когерентных сигналов *Adaptive Coherent Signal Processing Analysis*

В статье проведен анализ адаптивной квазиоптимальной системы “нерекурсивный режекторный фильтр — многоканальный полосовой фильтр”.

Полученные на основе выражения Крамера — Рао соотношения устанавливают связь между точностью оценивания неизвестных параметров помехи и объемом обучающей выборки и спектрально-корреляционными свойствами помехи. Достаточно близкое совпадение результатов расчета с эмпирическими результатами, полученными путем имитационного статистического моделирования на ПЭВМ соответствующих алгоритмов оценивания, подтверждает асимптотическую эффективность используемых при адаптации систем обработки оценок максимального правдоподобия.

Проведенный на основе асимптотических свойств оценок максимального правдоподобия анализ эффективности систем обработки устанавливает связь между подавлением помехи в системе и ошибками адаптации весовых коэффициентов адаптивных режекторного и многоканального фильтров к неизвестным параметрам помехи. Полученные соотношения позволяют выбирать объем обучающей выборки в зависимости от заданной величины потерь адаптации, спектрально-корреляционных свойств помехи и структуры системы обработки.

The article analyzes the adaptive quasi-optimal system non-recursive rejection filter — multichannel bandpass filter.

The relations obtained on the basis of the Kramer — Rao expression establish a relationship between the accuracy of estimating unknown interference parameters and the size of the training sample and the spectral correlation properties of interference. A fairly close coincidence of the calculation results with the empirical results obtained by simulating statistical modeling on a PC of the corresponding estimation algorithms confirms the asymptotic effectiveness of the maximum likelihood estimation processing systems used in the adaptation.

An analysis of the efficiency of processing systems based on the asymptotic properties of maximum likelihood estimates establishes a link between interference suppression in the system and errors in adapting the weighting coefficients of adaptive rejection and multichannel filters to unknown interference parameters. The obtained ratios make it possible to select the size of the training sample depending on the set amount of adaptation losses, spectral correlation properties of interference, and the structure of the processing system.

Ключевые слова: адаптивные фильтры, доплеровская фаза, коэффициенты корреляции, обработка сигналов, пассивные помехи, точность оценивания, функция правдоподобия.

Keywords: adaptive filters, Doppler phase, correlation coefficients, signal processing, passive interference, estimation accuracy, likelihood function.

Введение

При проектировании систем обработки радиолокационных сигналов одной из актуальных и трудных неизменно остается проблема выделения сигналов движущихся целей на фоне пассивных помех, создаваемых мешающими отражениями от неподвижных или медленно перемещающихся объектов [1] — [4]. Пассивные помехи, интенсивность которых может значительно превышать уровень собственных шумов приемника, существенно нарушают нормальную работу радиолокационных систем, приводя к перегрузкам приемного тракта и, как следствие, к потере полезных сигналов [5] — [7].

Оптимальная обработка когерентно-импульсных сигналов на фоне пассивных помех включает матрич-

ную фильтрацию обрабатываемых отсчетов с последующим многоканальным когерентным суммированием (накоплением) результатов матричной фильтрации [8] — [10]. При марковских аппроксимациях помехи матричный фильтр преобразуется в векторный нерекурсивный режекторный фильтр (НРФ), приводя к традиционной квазиоптимальной структуре “нерекурсивный режекторный фильтр — многоканальный полосовой фильтр” (МПФ). В случае произвольных корреляционных свойств помехи характеристики НРФ и МПФ следует оптимизировать с целью повышения и приближения эффективности системы квазиоптимальной обработки к эффективности системы оптимальной обработки.

Статью целиком читайте
в бумажной версии журнала

АНАЛИЗ АДАПТИВНОЙ ОБРАБОТКИ КОГЕРЕНТНЫХ СИГНАЛОВ

ADAPTIVE COHERENT SIGNAL PROCESSING ANALYSIS

УДК 621.391:621.396.96

ПОПОВ Дмитрий Иванович (доктор технических наук)

(ФГБОУ ВО "Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина")

В статье проведен анализ адаптивной квазиоптимальной системы нерекурсивный режекторный фильтр — многоканальный полосовой фильтр.

Полученные на основе выражения Крамера — Рао соотношения устанавливают связь между точностью оценивания неизвестных параметров помехи и объемом обучающей выборки и спектрально-корреляционными свойствами помехи. Достаточно близкое совпадение результатов расчета с эмпирическими результатами, полученными путем имитационного статистического моделирования на ПЭВМ соответствующих алгоритмов оценивания, подтверждает асимптотическую эффективность используемых при адаптации систем обработки оценок максимального правдоподобия.

Проведенный на основе асимптотических свойств оценок максимального правдоподобия анализ эффективности систем обработки устанавливает связь между подавлением помехи в системе и ошибками адаптации весовых коэффициентов адаптивных режекторного и многоканального фильтров к неизвестным параметрам помехи. Полученные соотношения позволяют выбирать объем обучающей выборки в зависимости от заданной величины потерь адаптации, спектрально-корреляционных свойств помехи и структуры системы обработки.

The article analyzes the adaptive quasi-optimal system non-recursive rejection filter — multichannel bandpass filter.

The relations obtained on the basis of the Kramer — Rao expression establish a relationship between the accuracy of estimating unknown interference parameters and the size of the training sample and the spectral correlation properties of interference. A fairly close coincidence of the calculation results with the empirical results obtained by simulating statistical modeling on a PC of the corresponding estimation algorithms confirms the asymptotic effectiveness of the maximum likelihood estimation processing systems used in the adaptation.

An analysis of the efficiency of processing systems based on the asymptotic properties of maximum likelihood estimates establishes a link between interference suppression in the system and errors in adapting the weighting coefficients of adaptive rejection and multichannel filters to unknown interference parameters. The obtained ratios make it possible to select the size of the training sample depending on the set amount of adaptation losses, spectral correlation properties of interference, and the structure of the processing system.

Ключевые слова: адаптивные фильтры, доплеровская фаза, коэффициенты корреляции, обработка сигналов, пассивные помехи, точность оценивания, функция правдоподобия.

Keywords: adaptive filters, Doppler phase, correlation coefficients, signal processing, passive interference, estimation accuracy, likelihood function.

Литература

1. Skolnik M.-I. Introduction to Radar System/ 3rd ed. — New York: McGraw-Hill. 2001. 862 p.
2. Barton D.-K. Radar System Analysis and Modeling, — Norwood, MA: Artech House. 2005. 534 p.
3. Richards M.-A., Scheer J.-A., Holm W.-A. Principles of Modern Radar: Basic Principles. — New York: SciTech Publishing, IET, Edison. 2010. 924 p.
4. Справочник по радиолокации: В 2 кн./ Кн. 1. Под ред. М.И. Сколника. Пер. с англ. под ред. В.С. Вербь. — М.: Техносфера. 2014. 672 с.
5. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию. — Киев: КВиЦ. 2000. 428 с.
6. Melvin W.-L., Scheer J.-A. Principles of Modern Radar: Advanced Techniques. — New York: SciTech Publishing, IET, Edison. 2013. 846 p.
7. Richards M.-A. Fundamentals of Radar Signal Processing, Second Edition. — New York: McGraw-Hill Education. 2014. 618 p.
8. Ключко В.К., Кузнецов В.П., Ву Ба Хунг. Оценивание параметров радиосигналов от подвижных маловысотных объектов// Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2022. № 80. С. 12 — 23.
9. Драч В.Е., Самбуров Н.В., Чухраев И.В. Математическая модель для анализа эффективности селекции и обнаружения движущихся целей// Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2023. № 86. С. 22 — 31.
10. Паршин Ю.Н., Буй К.В. Адаптивные алгоритмы обработки сигналов с разделением на пространственный и временной компоненты на фоне комплекса широкополосной и узкополосной помех// Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2025. № 91. С. 3 — 12.
11. Попов Д.И. Оптимизация обработки сигналов на фоне помех// Вестник связи. 2025. № 5. С. 3 — 6.
12. Репин В.Г., Тартаковский Г.П. Статистический синтез при априорной неопределенности и адаптация информационных систем. — М.: Сов. радио. 1977. 432 с.
13. Попов Д.И. Адаптивная обработка сигналов на фоне помех// Вестник связи. 2025. № 9. С. 22 — 26.
14. Крамер Г. Математические методы статистики/ Пер. с англ. под ред. А.Н. Колмогорова. — М.: Мир. 1975. 648 с.