

РАДІОЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

РАДІОЕЛЕКТРОНИКА И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

RADIO ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 621.396.96

Пиза Д. М.¹, Семенов Д. С.², Мороз Г. В.³¹Д-р техн. наук, профессор кафедры радиотехники, Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье, Украина²Начальник отдела, казенное предприятие «Научно-производственный комплекс «Искра», г. Запорожье, Украина³Аспирант кафедры радиотехники и телекоммуникаций, Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье, Украина

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ АДАПТИВНОГО ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ФИЛЬТРА В УСЛОВИЯХ ОДНОВРЕМЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АКТИВНЫХ И ПАССИВНЫХ ПОМЕХ

Актуальность. При воздействии комбинированной помехи пространственно-распределенный характер пассивной составляющей разрушает пространственную корреляцию точечных источников активной помехи. Это приводит к существенному ухудшению коэффициента подавления активной составляющей комбинированной помехи. Поэтому актуальным является исследование влияния пассивной составляющей комбинированной помехи на процесс компенсации активной шумовой помехи, а также формирование классифицированной обучающей выборки, порожденной только активной шумовой помехой, для адаптации весовых коэффициентов поляризационного фильтра.

Цель. Исследование частотного метода формирования классификационной обучающей выборки для адаптации весовых коэффициентов поляризационного фильтра в условиях одновременного воздействия активных шумовых и пассивных помех, действующих по главному лучу и по боковым лепесткам диаграммы направленности.

Метод. В предложенном методе при формировании классифицированной обучающей выборки используются частотные отличия в ширине спектра активной и пассивной помехи.

Результаты. Разработана имитационная модель адаптивного поляризационного фильтра. Путем анализа процессов формирования весовых коэффициентов установлено, что предложенный метод может обеспечить эффективную компенсацию активной составляющей комбинированной помехи. Проведенные экспериментальные исследования поляризационного фильтра в полигонных условиях подтвердили высокую эффективность подавления активных шумовых помех, действующих по главному лучу диаграммы направленности антенны.

Научная новизна состоит в разработке нового метода и имитационной модели формирования классификационной обучающей выборки для адаптации весовых коэффициентов поляризационного фильтра.

Практическая значимость определяется проведенными экспериментальными исследованиями в полигонных условиях с количественными оценками эффективности предложенного метода. Показано, что при использовании частотных отличий в структуре активной и пассивной составляющей комбинированной помехи коэффициент подавления активной шумовой помехи, действующий с направления главного луча диаграммы направленности антенны, может достигать 25 децибел.

Ключевые слова: адаптация, поляризационный фильтр, моделирование, эксперимент.

НОМЕНКЛАТУРА

ААР – адаптивная антенная решетка;
АТ – аттенюатор;
АШП – активная шумовая помеха;
ГШ – генератор шума;
ДНА – диаграмма направленности антенны;
E – вектор электромагнитного поля;
ПФ – полосовой фильтр;
P – рупор;

РЛС – радиолокационная станция;
УМ – усилитель мощности;
 \dot{U}_k – комплексное значение амплитуды АШП на входе компенсационного канала;
 \dot{U}_0 – комплексное значение амплитуды АШП на входе основного канала;
 \dot{U}_Σ – комплексное значение амплитуды АШП на выходе поляризационного фильтра;

\hat{W} – комплексное значение весового коэффициента;
 μ – скалярная величина, определяющая глубину корреляционной обратной связи.

ВВЕДЕНИЕ

Для защиты радиолокационных средств от воздействия АШП могут быть использованы как пространственные, так и поляризационные отличия в структуре полезных и помеховых сигналов [1–5]. Пространственную фильтрацию сигналов используют при защите радиолокационных средств от помех, действующих по боковым лепесткам ДНА. Поляризационную фильтрацию используют при воздействии активных шумовых помех, действующих в направлении главного луча ДНА. В качестве элемента адаптации пространственного или поляризационного фильтра используют различного вида автокомпенсаторы помех или ААР.

В результате исследований было установлено [2], что при совместном воздействии активной и пассивной (комбинированной) помехи пространственно-распределенный характер последней разрушает пространственную корреляцию точечных источников активной помехи. Это может привести к существенному ухудшению коэффициента подавления активной составляющей комбинированной помехи. Поэтому исследование влияния пассивной составляющей комбинированной помехи на процесс компенсации АШП является достаточно актуальным. Актуальными также являются вопросы формирования классифицированной обучающей выборки для адаптации весовых коэффициентов автокомпенсатора, порожденной только активной шумовой помехой.

Объектом исследования является процесс компенсации активной составляющей комбинированной помехи.

Предметом исследования является математическая модель, а также непосредственно поляризационный адаптивный фильтр в составе РЛС.

Цель данной работы состоит в выборе метода формирования классифицированной обучающей выборки, анализе переходных процессов при формировании весовых коэффициентов поляризационного фильтра и оценке его эффективности в условиях воздействия комбинированных помех.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для уменьшения влияния пассивной составляющей комбинированной помехи на процесс формирования весовых коэффициентов поляризационного фильтра необходимо тем или иным способом сформировать классификационную обучающую выборку, порожденную только активной шумовой помехой. Учитывая значительное превышение коэффициента усиления антенны в направлении главного луча диаграммы направленности по отношению к уровню боковых лепестков, можно считать, что наибольшее влияние пассивной помехи на процесс компенсации активной составляющей комбинированной помехи происходит при ее воздействии по главному лучу.

Кроме того, из [6] по приведенным энергетическим дальностно-азимутальным характеристикам пассивных

помех от подстилающей поверхности земли и гидрометеоров, действующих в нижних лучах диаграммы направленности следует, что их интенсивность относительно собственных шумов приемных устройств составляет 50–60 дБ. Причем пассивные помехи перекрывают всю развертку дальности, что ограничивает эффективность использования корреляционных отличий в структуре активных и пассивных помех при формировании классифицированной обучающей выборки.

Поэтому представлялось целесообразным провести дополнительный анализ переходных процессов в сигнальных цепях имитационной модели [7] поляризационного фильтра при формировании классификационной обучающей выборки [8] с использованием частотных отличий в структуре активных и пассивных помех [9]. Еще одна задача, которая решалась в процессе исследований заключалась в экспериментальной оценке эффективности компенсации активной составляющей комбинированной помехи при формировании обучающей выборки частотным методом в полигонных условиях.

2 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Для формирования классифицированной обучающей выборки могут быть использованы различные отличия в структуре активных и пассивных помех. Это могут быть временные, спектральные, корреляционные или частотные отличия.

В [11] для формирования обучающей выборки используется временной интервал, расположенный в конце дальности действия РЛС, в предположении, что отраженные от гидрометеоров и подстилающей поверхности земли сигналы имеют гораздо меньшую интенсивность. Однако, анализ энергетических дальностно-азимутальных характеристик пассивных помех, приведенных в [6], дает основание считать, что такое решение не обеспечивает формирование классифицированной обучающей выборки в нижних лучах диаграммы направленности антенны. По-видимому это обусловлено увеличением импульсного объема при увеличении дальности.

В патенте [11], в котором обучающая выборка формируется после преобразования Фурье, используются спектральные отличия в структуре пассивных и активных помех. При этом для формирования весовых коэффициентов адаптивных фильтров (пространственных или поляризационных) используются фазовые каналы с номерами $N/2$, где N – количество точек преобразования Фурье. Это объясняется тем, что в фазовых фильтрах основного и компенсационного каналов с номерами $N/2$ вероятность нахождения пассивных помех наименьшая. Основным недостатком такого технического решения является дискретная адаптация весовых коэффициентов на межпачечных интервалах. Это, в условиях динамично меняющейся обстановки, что определяется перемещением источников активных помех или сканированием антенны, приводит к значительному ухудшению компенсации помех.

В [12] предложен корреляционный метод формирования классифицированной обучающей выборки. Метод основан на использовании естественной нестациона-

нарности пассивной помехи во времени (по дальности). Это характерно для сигналов, отраженных как от гидрометеоров, так и от облаков дипольных помех, имеющих локальный характер. Метод реализуется путем текущего анализа распределения модуля межканального нормированного коэффициента корреляции по дальности. Последующий выбор временного интервала с наибольшим значением модуля нормированного коэффициента корреляции соответствует отсутствию пассивной помехи и может обеспечить формирование классифицированной обучающей выборки, порожденной активной шумовой помехой. Однако, анализ энергетических дальностно-азимутальных характеристик пассивных помех [6] дает основание считать, что в случае отражения сигналов от подстилающей поверхности земли и гидрометеоров, покрывающих большие территории (кучево-дождевые облака) качество формирования обучающей выборки может существенно ухудшиться.

Следует отметить, что частотный метод формирования классифицированной обучающей выборки лишен недостатков методов, рассмотренных выше, и может быть использован для формирования весовых коэффициентов адаптивных поляризационных фильтров, включая и нижние лучи диаграммы направленности антенны.

3 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Математическая модель адаптивного поляризационного фильтра при поляризационно-временной обработке радиолокационных сигналов для исследования пере-

ходных процессов при воздействии комбинированных помех, разработана в соответствии с его упрощенной структурной схемой, представленной на рис. 1.

В структурную схему поляризационного фильтра 1 входят дуальнополяризованная антенна 2, основной 3 и компенсационный 4 каналы приема и автокомпенсатор активной шумовой помехи 5. В состав автокомпенсатора входят режекторные фильтры 6, устройство комплексного сопряжения 7, комплексный умножитель 8, формирователь весовых коэффициентов 9, сумматор 10 и умножитель 11. В состав поляризационно-временной обработки радиолокационных сигналов также входит устройство преобразования Фурье 12, обеспечивающее временную (спектральную) обработку сигналов.

В качестве алгоритма адаптации поляризационного фильтра использован классический алгоритм Уидроу [13], при котором весовые коэффициенты \dot{W} формируются с использованием корреляционной обратной связи

$$\dot{W}_{k+1} = \dot{W}_k - 2\mu \dot{U}_k^* \dot{U}_\Sigma, \quad (1)$$

где \dot{U}_k и \dot{U}_Σ – комплексные значения амплитуд АШП на входе компенсационного канала и на выходе поляризационного фильтра, соответственно; μ – скалярная величина, определяющая глубину обратной связи. При этом комплексное значение амплитуды на выходе поляризационного фильтра определяется как разность между АШП, действующей на основном входе автокомпенсато-

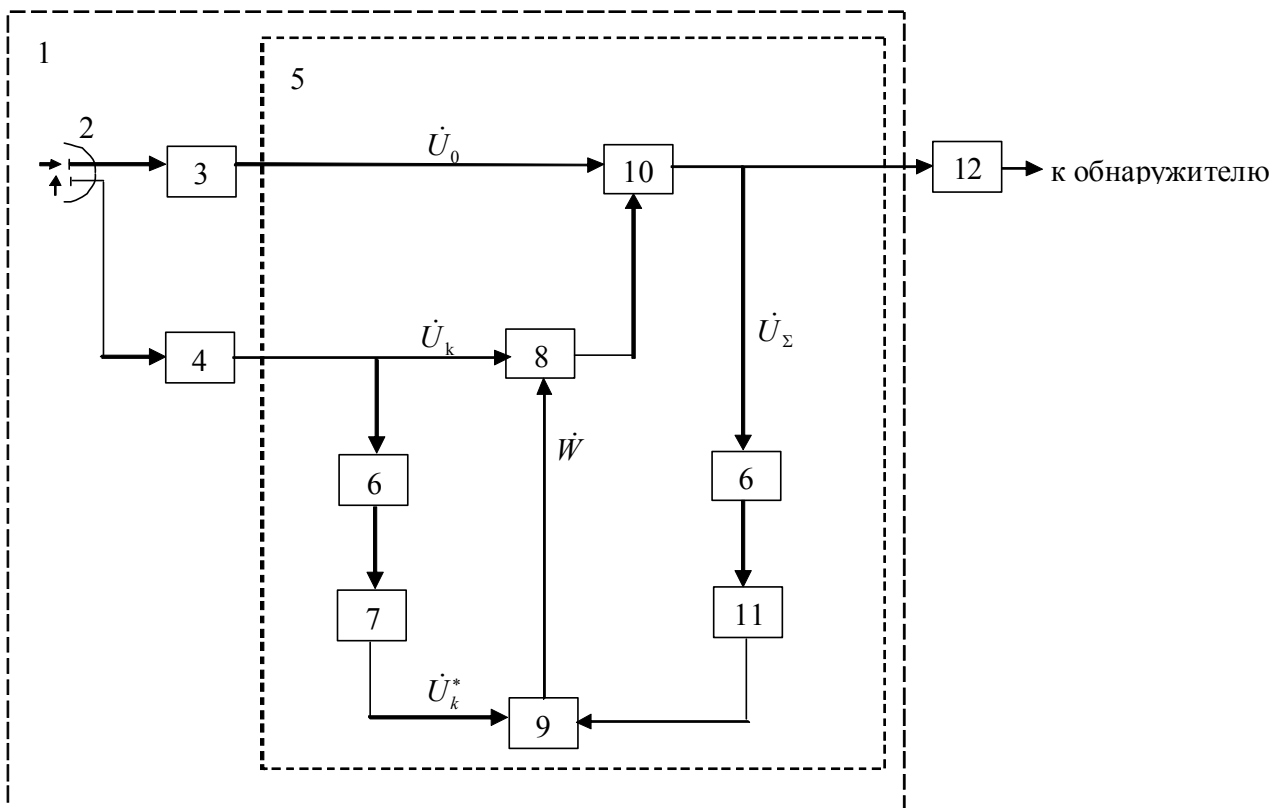


Рисунок 1 – Структурная схема поляризационно-временной обработки радиолокационных сигналов

ра 5, и взвешенным коэффициентом \dot{W} значением помехи, действующей на входе компенсационного канала

$$\dot{U}_{\Sigma} = \dot{U}_0 - \dot{W}\dot{U}_k. \quad (2)$$

Математическая модель поляризационного фильтра является статистической, моделирующей АШП и независимые в каналах приема собственные шумы с нормальным законом распределения вероятностей. Пассивная помеха моделировалась случайным процессом с нормальным законом распределения с последующим ее ограничением по амплитуде и с различным соотношением дисперсий в каналах приема по отношению к активной помехе. Это позволило в дальнейшем определиться с характером влияния пассивной помехи на процесс формирования весовых коэффициентов поляризационного фильтра.

4 ЭКСПЕРИМЕНТЫ

В процессе моделирования исследовалось как влияет режекция пассивной помехи в цепях формирования весовых коэффициентов поляризационного фильтра на качество подавления АШП, а также на процесс его адаптации. При этом отношение активная помеха/шум в ос-

новном канале равнялось 30 дБ, а в компенсационном – 33 дБ. Отношение пассивная помеха/шум в основном канале равнялось 33 дБ, а в компенсационном – 30 дБ.

Результаты моделирования адаптивного поляризационного фильтра с режекцией пассивной помехи (интервал 0–0,4 мс) и без режекции (интервал 0,5–0,9 мс) в цепях формирования весовых коэффициентов представлены на рис. 2.

На рис. 2а показана смесь активной (интервалы 0–0,4 и 0,5–0,9 мс) и пассивной (интервалы 0,1–0,2 и 0,6–0,7 мс) составляющих комбинированной помехи на входе основного канала автокомпенсатора. На рис. 2б представлен результат компенсации комбинированной помехи на выходе поляризационного фильтра с режекцией пассивной составляющей (интервал 0–0,4 мс) и без режекции (интервал 0,5–0,9 мс). На рис. 2в показан процесс формирования модуля весового коэффициента для обоих вариантов построения автокомпенсатора помех.

Анализ результатов моделирования на временных интервалах 0–0,4 и 0,5–0,9 мс (рис. 2б, в) дает основание считать, что режекция пассивной составляющей комбинированной помехи в цепях формирования весовых коэффициентов обеспечивает эффективную компенсацию

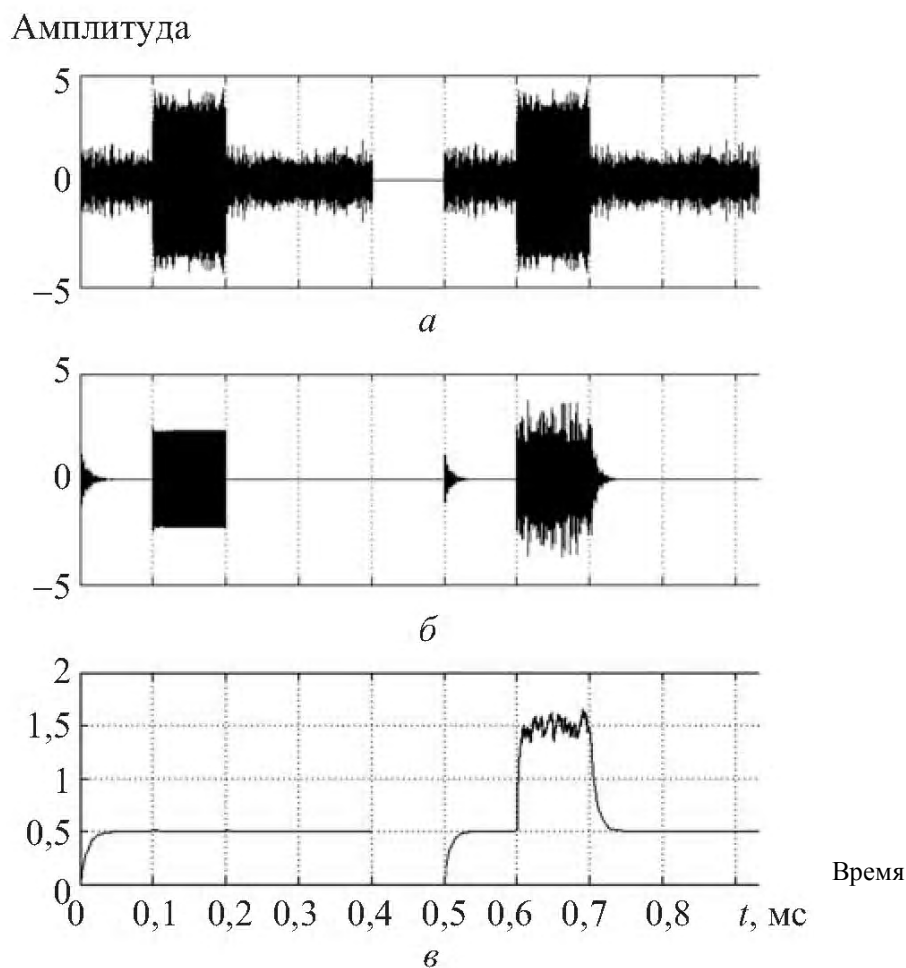


Рисунок 2 – Результаты моделирования поляризационного фильтра:
 а – смесь активной и пассивной помехи на основном входе автокомпенсатора; б – на его выходе; в – процесс формирования модуля весового коэффициента

АШП при одновременном воздействии пассивной помехи. Действительно при режекции пассивной помехи, что реализуется на временном интервале 0–0,4 мс, модуль весового коэффициента после его формирования вначале интервала по АШП достигает значения 0,5 и остается неизменным до конца интервала. Значение модуля весового коэффициента, равное 0,5, соответствует превышению дисперсии АШП в компенсационном канале поляризационного фильтра относительно дисперсии помехи в основном канале, которое по условиям моделирования составляло 3 дБ. Сравнительный анализ процессов формирования весовых коэффициентов при различных вариантах построения автокомпенсатора (рис. 2в) показывает, что на интервале 0,6–0,7 мс (без режекции пассивной помехи) автокомпенсатор находится в режиме перенастраивания на подавление пассивной помехи. Это подтверждается существенным увеличением модуля весового коэффициента до полутора единиц, что объясняется превышением дисперсии пассивной помехи в основном канале поляризационного фильтра над соответствующим значением ее в компенсационном канале.

5 РЕЗУЛЬТАТЫ

Представлялось целесообразным в процессе исследований:

- во первых, экспериментально подтвердить полученные результаты моделирования оценкой качества подавления АШП при режекции части энергетического спектра активной помехи, совпадающего со спектром пассивной помехи в цепи корреляционной обратной связи;
- во вторых, количественно оценить возможные потери в качестве компенсации АШП при использовании метода формирования классифицированной обучающей выборки по патенту [8] при смещении источника АШП с направления главного луча в область боковых лепестков ДНА. Это становится важным, когда по техническому заданию на проектирование РЛС необходимо

обеспечить защиту от АШП, действующей как по главному лучу, так и по боковым лепесткам.

Исследования проведены в полигонных условиях с использованием РЛС 36Д6М. Схема проведения эксперимента приведена на рис. 3. В дальней зоне устанавливался генератор помехи, содержащий генератор шума (ГШ), полосовой фильтр (ПФ), аттенюатор (АТ) и усилитель мощности (УМ), обеспечивающий необходимый уровень сигнала в приемных каналах. В качестве излучателя использовался рупор Р с ориентацией вектора Е электромагнитного поля, равного 45° относительно радиогоризонта. Излучатель устанавливался на вышке, что обеспечивало при изменении высоты излучателя произвести оценку коэффициента подавления АШП в 4-х угломестных лучах нижней зоны обзора РЛС 36Д6. На входах формирователей весовых коэффициентов автокомпенсатора в каждом угломестном канале были установлены режекторные фильтры с полосой режекции, равной ширине спектра пассивной помехи.

Измерения проводились в каждом угломестном канале при воздействии АШП как по боковым лепесткам, так и по главному лучу ДНА. В первом случае к компенсационному каналу приема подключалась слабонаправленная антенна защиты боковых лепестков с согласованной по отношению к основной антенне поляризацией. Во втором случае – ортогональный по поляризации канал защиты главного луча. В результате проведенных измерений установлено, что при формировании классифицированной обучающей выборки по методу, изложенному в [8], усредненное по четырем угломестным каналам значение коэффициента подавления АШП составило 25 дБ в режиме защиты главного луча, в режиме защиты боковых лепестков – 14 дБ.

Уменьшение коэффициента подавления АШП в режиме защиты боковых лепестков ДНА обусловлено формированием весовых коэффициентов на частоте, отличающейся от частоты помехи в сигнальных цепях авто-

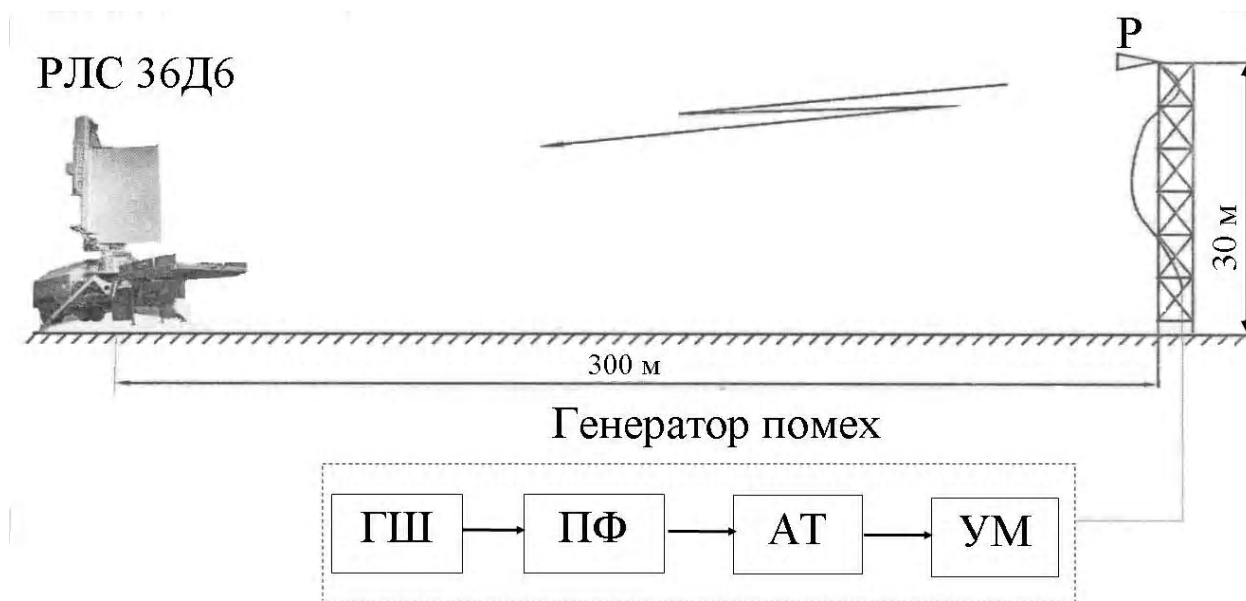


Рисунок 3 – Схема проведения эксперимента

компенсатора. В случае разнесенного приема, что характерно для защиты РЛС от АШП, действующей по боковым лепесткам это приводит к различию фазовых сдвигов в этих цепях на разных частотах. В [14] для устранения возникающих фазовых сдвигов предложено измерять возникающие фазовые сдвиги с последующей автоподстройкой измеренной разности фаз.

6 ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 2б на интервале 0–0,4 мс представлен выходной сигнал поляризационного фильтра с режекцией пассивной помехи в цепях формирования весовых коэффициентов. Вначале этого интервала виден переходной процесс, обусловленный адаптацией весовых коэффициентов. После этого АШП становится подавленной. Можно только предположить, что на интервале 0,1–0,2 мс, когда одновременно с АШП действует пассивная помеха, АШП подавляется. Однако подтверждением этого является отсутствие переходного процесса, обусловленного адаптацией весовых коэффициентов поляризационного фильтра после окончания воздействия пассивной помехи.

На интервале 0,5–0,9 мс, на котором режекция пассивной помехи не проводится, вначале интервала процесс адаптации весовых коэффициентов происходит аналогично. Однако на интервале 0,6–0,7 мс при одновременном воздействии пассивной помехи происходит ее искажение нескомпенсированной активной помехой. После окончания воздействия пассивной помехи явно виден повторный процесс адаптации поляризационного фильтра для подавления нескомпенсированной АШП. Это свидетельствует о эффективности предложенного метода и адекватности разработанной математической модели.

Полученное в результате проведенного эксперимента значение коэффициента подавления АШП, равное 25 дБ, является максимально возможным. При этом выигрыш в отношении сигнал/помеха реализуется при достаточно больших отличиях в структуре полезного сигнала и АШП. В случае когда таких отличий нет, то нет и выигрыша. Однако, даже в этом случае выигрыш в отношении сигнал/помеха можно обеспечить путем изменения поляризационного базиса, в котором функционирует РЛС.

ВЫВОДЫ

В статье исследован частотный метод формирования классификационной обучающей выборки для адаптации весовых коэффициентов поляризационного фильтра в условиях одновременного воздействия активных шумовых и пассивных помех. В предложенном методе формирования обучающей выборки при классификации используются частотные отличия в ширине спектра активной и пассивной помехи.

Научная новизна полученных результатов состоит в том, что впервые разработана математическая модель адаптивного поляризационного фильтра, обеспечивающая исследование переходных процессов при формировании классифицированной обучающей выборки. Путем анализа переходных процессов при формировании весовых коэффициентов установлено, что предложенный метод формирования обучающей выборки

может обеспечить эффективную компенсацию активной составляющей комбинированной помехи, действующей с направления главного луча диаграммы направленности антенны.

Практическая новизна полученных результатов заключается в том, что проведенные экспериментальные исследования поляризационного фильтра с использованием РЛС ЗБДб в полигонных условиях подтвердили высокую эффективность подавления активных шумовых помех, действующих по главному лучу диаграммы направленности антенны. В результате проведенного эксперимента установлено, что усредненное значение коэффициента подавления АШП поляризационным фильтром составило 25дБ.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках госбюджетной научно-исследовательской темы Запорожского национального технического университета «Разработка и усовершенствование алгоритмов обработки сигналов в радиотехнических и телекоммуникационных системах». (номер госрегистрации 0117U000013Т) при финансовой поддержке МОНУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теоретические основы радиолокации : учеб. пособие для вузов / Я. Д. Ширман, В. Н. Голиков, И. Н. Бусыгин и др. ; под общ. ред. Я. Д. Ширмана. – М. : Сов. радио, 1970. – 560 с.
2. Адаптивные радиотехнические системы с антенными решетками / [А. К. Журавльов, В. А. Хлебников, А. П. Радимов и др.]. – Л. : Изд. Ленинградского университета, 1991. – 544 с.
3. Монзинго Р. А. Адаптивные антенные решетки : введение в теорию / Р. А. Монзинго, Т. Ц. Миллер : пер. с англ. – М. : Радио и связь, 1986. – 448 с.
4. Patent 1 599 035 United Kingdom G01 S 7/36 13/52 Adaptive cancellation arrangement [electronic resource] /Jack Gordon McQueen; filed 31 Mar. 1977; published 30 Sep. 1981, index at acceptance H4D 259 265 36X 40X, access mode: <http://www.directorypatent.com/GB/1599035-a.html>
5. Patent 3881177 United States of America G01 S 7/36 Frequency agile-baseband sidelobe canceller arrangement [electronic resource] / Len Joseph F, Rankin Peter M; filed 12 Mer. 1974; published 29 Apr. 1975, appl. № 450, 543, access mode: <http://www.google.com/patents/US3881177>
6. Леховицкий Д. И. СДЦ в импульсных РЛС: 1. Физический смысл и экстремальные свойства операций оптимальной междупериодной обработки гауссовых сигналов на фоне гауссовых пассивных помех / Д. И. Леховицкий, В. П. Рябуха, Г. А. Жуга // Прикладная радиоэлектроника. – 2011. – Том 10, № 4.
7. Пиза Д. М. Метод компенсации активной составляющей комбинированной помехи в когерентно-импульсной РЛС / Д. М. Пиза, Е. А. Звягинцев, Г. В. Мороз // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. – 2016. – № 6. – С. 23–29. DOI:10.20535/S0021347016060030
8. Пат. 91114 Україна, МПК G01S 7/36 Спосіб захисту радіолокаторів від комбінованих завад, діючих по головному променю діаграми спрямованості антени / Пиза Д. М., Сіренко А. С., Звягинцев С. О.; Запорізький національний технічний університет; заявл. 20.12.2013; опубл. 25.06.2014, Бюл. №12.
9. Перунов Ю. М. Зарубежные радиоэлектронные средства / Ю. М. Перунов, В. В. Мацукевич, А. А. Васильев ; под ред. Ю. М. Перунова. В 4-х книгах. Кн. 2: Системы радиоэлектронной борьбы. – М. : Радиотехника, 2010. – 352 с.

10. Адаптивные алгоритмы компенсации помех : учебно-методическое пособие / [Д. Н. Ивлев, И. Я. Орлов, А. В. Сорокина, Е. С. Фитасов]. – Нижний Новгород : ННГУ им. И. И. Лобачевского, 2014. – 88 с.
11. Пат. 48705 Україна, МПК G01 S 7/36 H04B 15/00. Спосіб компенсації активної складової комбінованої завади / Кононович В. Я., Кукольніцький А. П., Залевський О. П., Каспирович О. Г.; Майстер Ю. Л., Денека А. А.; Казенне підприємство «Науково-виробничий комплекс «Іскра». – № u200911296; Заявл. 2009.11.06; Опубл. 2010.03.25, Бюл. №6, 2010 р. – 4 с.
12. Пат. 78120 Україна, МПК G01S 7/36 Спосіб захисту когерентно-імпульсних радіолокаційних станцій від комбінованих завод / Піза Д. М., Сіренко А. С.; Запорізький національний технічний університет; заявл. 28.08.2012; опубл. 11.03.2013, Бюл. № 5.
13. Уидроу Б. Адаптивная обработка сигналов : пер. с англ. / Б. Уидроу, С. Стирнз. – М. : Радио и связь, 1989. – 440 с.
14. Пат. 2444741 Рос. Федерация МПК G01S 7/36 Устройство компенсации активных помех / Анохин В. Д., Симохамед Ф., Анохин Е. В., Кильдюшевская В. Г.; заявитель и патентообладатель: Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Военный авиационный инженерный университет» (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации; заявл. 10.03.2009; опубл. 10.03.2012, Бюл. № 7. – 5 с.

Статья поступила в редакцию 09.03.2017.
После доработки 21.05.2017.

Піза Д. М.¹, Семенов Д. С.², Мороз Г. В.³

¹Д-р техн. наук, професор кафедри радіотехніки, Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя, Україна

²Начальник відділу, Казенне підприємство «Науково-виробничий комплекс «Іскра», м. Запоріжжя, Україна

³Аспірант кафедри радіотехніки та телекомунікацій, Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя, Україна

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ АДАПТИВНОГО ПОЛЯРИЗАЦІЙНОГО ФІЛЬТРА В УМОВАХ ОДНОЧАСНОГО ВПЛИВУ АКТИВНИХ І ПАСИВНИХ ЗАВАД

Актуальність. В умовах дії комбінованої завади просторово-розподілений характер пасивної складової руйнує просторову кореляцію точкових джерел активної завади. Це спричиняє суттєве погіршення коефіцієнта подавлення активної складової комбінованої завади. Тому актуальними є дослідження впливу пасивної завади на процес компенсації активної шумової завади, а також методи формування класифікаційної навчальної вибірки, породженої тільки активною завадою, для адаптації вагових коефіцієнтів поляризаційного фільтра.

Ціль. Дослідження частотного методу формування класифікаційної навчальної вибірки для адаптації вагових коефіцієнтів поляризаційного фільтра в умовах одночасної дії активних шумових та пасивних завод, які діють по головному променю та бокових пелюстках діаграми спрямованості антени.

Метод. В запропонованому методі при формуванні класифікаційної навчальної вибірки використовуються частотні відмінності в ширині спектра активної та пасивної завади.

Результати. Розроблена імітаційна модель адаптації поляризаційного фільтра. Шляхом аналізу процесів формування вагових коефіцієнтів встановлено, що запропонований метод може забезпечити ефективну компенсацію активної складової комбінованої завади. Проведені експериментальні дослідження поляризаційного фільтра в полігонних умовах підтвердили високу ефективність подавлення активних шумових завод, які діють по головному променю діаграми спрямованості антени.

Наукова новизна полягає в розробці нового методу та імітаційної моделі формування класифікаційної навчальної вибірки для адаптації вагових коефіцієнтів поляризаційного фільтра.

Практична значимість визначається проведеними експериментальними дослідженнями в полігонних умовах з кількісними оцінками ефективності запропонованого методу. Показано, що при використанні частотних відмінностей в структурі активної і пасивної складової комбінованої завади коефіцієнт подавлення активної шумової завади, діючий з напряму головного променя діаграми спрямованості антени, може досягати 25 децибел.

Ключові слова: адаптація, поляризаційний фільтр, моделювання, експеримент.

Piza D. M.¹, Semenov D. S.², Moroz G. V.³

¹Dr. Sc. the Sciences, Professor of the Department of Radio Engineering, Zaporizhzhya National Technical University, Zaporizhzhya, Ukraine

²Head of the Department, State Enterprise “Scientific-Industrial Complex “Iskra”, Zaporizhzhya, Ukraine

³PhD student of the Department of Radio Engineering and Telecommunications, Zaporizhzhya National Technical University, Zaporizhzhya, Ukraine

ANALYSIS OF EFFICIENCY OF ADAPTIVE POLARIZING FILTER UNDER THE SIMULTANEOUS ACTION OF ACTIVE AND PASSIVE NOISE

Context. The spatially-distributed nature of the passive component destroys the spatial correlation of point sources of active interference under the influence of combined interference. This leads to a significant degradation in the suppression coefficient of the active component of the combined interference. Therefore, it is relevant to research the influence of the passive component of the combined interference on the process of compensation of active noise interference, as well as the formation of a classified training sample generated with only active interference, to adapt the weighting coefficients of the polarization filter.

Objective is research of the frequency method that used for the formation of a classification training sample for the adaptation of the polarization filter's weighting coefficients under conditions of simultaneous acting of active noise and passive interference along the main beam of the antenna pattern.

Method. The proposed method uses the frequency differences in the width of the spectrum of active and passive interference for training sample forming.

Results. The simulation model of the adaptive polarization filter was developed. It was found with analyzing of the formation of weight coefficients that the proposed method can provide effective compensation of the active component of the combined interference. The conducted experimental researches of the polarization filter in the field conditions confirmed the high efficiency of suppression of active noise interference that acts along the main beam of the antenna pattern.

Scientific novelty is consist in the development of a new method and an imitation model for the formation of a classification training sample for the adaptation of the weight coefficients of a polarization filter.

Practical significance was determined by the conducted experimental researches in the field conditions with quantitative estimates of the effectiveness of the proposed method. It was shown that using of the frequency differences in the structure of the active and passive components of the combined noise, it is possible to achieve of the cancellation factor equal 25 decibels and more for the active noise that act in the direction of the main beam of antenna pattern.

Keywords: adaptation, a polarizing filter, clutter, jammer, training sample.

REFERENCES

1. Shirman Ya. D., Golikov V. N., Busygin I. N. i dr. ; pod obshh. red. Ya. D. Shirmana Teoreticheskie osnovy radiolokacii: ucheb. posobie dlya vuzov. Moscow, Sov. radio, 1970, 560 p.
2. Zhuravl'ov A. K., Xlebnikov V. A., Radimov A. P. Adaptivnye radiotekhnicheskie sistemy s antennymi reshetkami. Leningrad, Izd. Leningradskogo universiteta, 1991, 544 p.
3. Monzingo R. A., Miller T. C. : per. s angl. Adaptivnye antennye reshetki : Vvedenie v teoriyu. Moscow, Radio i svyaz', 1986, 448 p.
4. Patent 1 599 035 United Kingdom G01 S 7/36 13/52 Adaptive cancellation arrangement [electronic resource]/Jack Gordon McQueen; filed 31 Mar. 1977; published 30 Sep. 1981, index at acceptance H4D 259 265 36X 40X, access mode: <http://www.directorypatent.com/GB/1599035-a.html>
5. Len Joseph F, Rankin Peter M Patent 3881177 United States of America G01 S 7/36 Frequency agile-baseband sidelobe canceller arrangement [electronic resource]; filed 12 Mer. 1974; published 29 Apr. 1975, appl. № 450, 543, access mode: <http://www.google.com/patents/US3881177>
6. Ryabuxa V. P., Rachkov D. S., Semenyaka A. V., Katyushin E. A. Ocenka intervala fiksacii prostranstvennogo vesovogo vektora pri posledovatel'noj prostranstvenno-vremennoj obrabotke signalov na fone kombinirovannyx pomex, *Izvestiya vysshix uchebnyx zavedenij. Radioelektronika*, 2012, No. 10, pp. 13–25.
7. Zalevskij A. P., Piza D. M., Presnyak I. S., Sirenko A. S., Ocenka e'ffektivnosti prostranstvenno-vremennoj i vremya-prostranstvennoj fil'tracii signalov v kogerentno-impul'snyx RLS, *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2012, No. 2, pp. 39–44.
8. Piza D. M., Sirenko A. S., Zvyagincev E. O Pat. 91114 Ukraïna, MPK G01S 7/36 Sposib zaxistu radiolokatoriv vid kombinovanix zavud, diyuchix po golovnomu promenyu diagrami spryamovanosti anteni. Zaporiz'kij nacional'nij tekhnichnij universitet; zayavl. 20.12.2013; opubl. 25.06.2014, Byul. №12.
9. Perunov Yu. M., Macukevich V. V., Vasil'ev A. A. Pod red. Yu. M. Perunova. Zarubezhnye radioelektronnye sredstva V 4-x knigax. Kn.2: Sistemy radioelektronnoj bor'by. Moscow, Radiotekhnika, 2010, 352 p.
10. Ivlev D. N., Orlov I. Ya., Sorokina A. V., Fitasov E. S. Adaptivnye algoritmy kompensacii pomex : uchebno-metodicheskoe posobie. Nizhnij Novgorod, NNGU im. I. I. Lobachevskogo, 2014, 88 p.
11. Kononovich V. Ya., Kukul'nic'kij A. P., Zalevs'kij O. P., Kaspirovich O. G., Majster Yu. L., Deneka A. A.; Pat. 48705 Ukraïna, MPK G01 S 7/36 H04B 15/00. Sposib kompensacii aktivnoi skladovoi kombinovanoi zavudi ; Kazenne pidpriemstvo "Naukovo-virobnichij kompleks "Iskra". № u200911296; Zayavl. 2009.11.06; Opubl. 2010.03.25, Byul. №6, 2010 r., 4 p.
12. Piza D. M., Sirenko A. S. Pat. 78120 Ukraïna, MPK G01S 7/36 Sposib zaxistu kogerentno-impul'snix radiolokacijnix stancij vid kombinovanix zavud; Zaporiz'kij nacional'nij tekhnichnij universitet; zayavl. 28.08.2012; opubl. 11.03.2013, Byul. № 5.
13. Uidrou B., Stirnz S. Adaptivnaya obrabotka signalov : per. s angl. Moscow, Radio i svyaz', 1989, 440 p.
14. Anokhin V. D., Simokhamed F., Anokhin Ye. V., Kil'dyushevskaya V. G. Pat. 2444741 Ros. Federatsiya MPK G01S 7/36 Ustroystvo kompensacii aktivnykh pomekh, zayavitel' i patentoobladatel', Federal'noye gosudarstvennoye obrazovatel'noye uchrezhdeniye vysshogo professional'nogo obrazovaniya «Voyennyj aviatsonnyj inzhenernyj universitet». g. Voronezh Ministerstva oborony Rossiyskoy Federatsii; zayavl. 10.03.2009; opubl. 10.03.2012, Byul. № 7, 5 p.