

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ИНТЕРВАЛА ФИКСАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ВЕСОВОГО ВЕКТОРА ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКЕ СИГНАЛОВ НА ФОНЕ КОМБИНИРОВАННЫХ ПОМЕХ

Рябуха В.П., Рачков Д.С., Семеняка А.В.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
61166, Харьков, пр. Ленина 14, НИЦ ИИРЭСТ, тел. (057) 702-11-38,

E-mail: rvp@kture.kharkov.ua

We consider separate space-time adaptive signal processing against the background of combined interferences, which involves the fixation of weight vector of spatial signal processing against the background of noise interferences for the time of adaptive interperiod signal processing against the background of clutter. By means of mathematical and hydroacoustic modeling the fixation interval is estimated, which keeps in allowable limits the losses in quality of noise interferences suppression.

Введение. Работа в условиях шумовых и пассивных (комбинированных) помех – типичный режим для многих РЛС. Шумовая помеха (ШП) создается точечными по пространству источниками независимых непрерывных шумовых излучений, а пассивная помеха (ПП) порождается отражениями собственного зондирующего сигнала РЛС от местных предметов, гидрометеоров, диполей и т.п. Оптимальная обработка сигнала на фоне комбинированных помех предусматривает совместную (неразделяющуюся) пространственно-временную обработку с одновременной компенсацией шумовых и пассивных помех [1] и даже на современной элементной базе она крайне затруднена.

Одним из направлений упрощения является отказ от оптимальной совместной (параллельной) обработки в пользу квазиоптимальной последовательной, каждый этап которой обеспечивает защиту от одной из компонент совокупной (комбинированной) помехи. На практике реализуют раздельную пространственно-временную обработку таким образом, чтобы пространственная компенсация ШП предшествовала междупериодной компенсации ПП [2]. Такая очередность операций обработки позволяет получить классифицированную обучающую выборку непрерывных ШП нужного объема для оценивания весового вектора пространственной обработки. При этом оцененный весовой вектор пространственной обработки фиксируется ("замораживается") при компенсации ШП на время междупериодной компенсации пассивных помех для исключения нежелательной междупериодной декорреляции ПП. Очевидно, однако, что это может снизить эффективность защиты от ШП, поскольку за время фиксации из-за вращения антенны и перемещения источников ШП меняется их пространственное расположение относительно РЛС, для которого "замороженный" пространственный весовой вектор (ПВВ) уже не обеспечивает эффективного подавления ШП ("устаревает").

Поэтому время фиксации ПВВ должно выбираться из компромиссных соображений, учитывающих необходимость обеспечить защищенность от ПП без недопустимых потерь защищенности от ШП. Его экспериментальной оценке и посвящен данный доклад.

1. Оценка допустимого интервала фиксации ПВВ методом математического моделирования. Моделировалась система адаптивной компенсации ШП с предварительным вычислением пространственного весового вектора по классифицированной обучающей выборке и с последующей его фиксацией. Объем обучающей выборки ШП выбирался таким образом, чтобы обеспечивались пренебрежительно малые потери в отношении сигнал/(помеха + шум) (ОСПШ) в момент фиксации ПВВ по сравнению со случаем отсутствия априорной неопределенности параметров ШП. После вычисления и фиксации весового вектора источники шумовых помех (ИШП) перемещались параллельно плоскости АР. Угловое перемещение задавалось дискретно в долях ширины главного лепестка ДН антенны вида $|\sin \pi \cdot x / \pi \cdot x|$.

На рис. 1 приведены зависимости ОСПШ μ на выходе адаптивного компенсатора ШП от величины углового перемещения постановщика $\pm \Delta \alpha$ (вправо и влево) относительно начального углового направления ($\Delta \alpha = 0$), при котором были сформированы зафиксированные весовые векторы. Параметром семейства кривых является относительная мощность шумовой помехи (отношение помеха-шум) h , а начальное угловое направление соответствует значению $\alpha = 0.5$, т.е. источник ШП действовал по главному лепестку ДН АР.

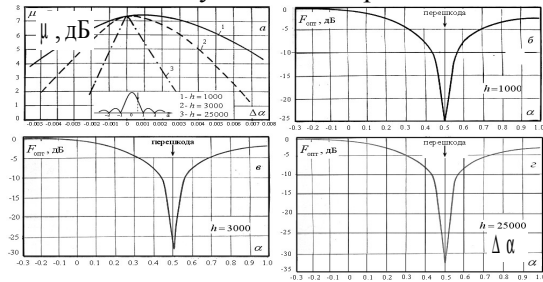


Рис. 1

Из рис. 1 видно, что с увеличением интенсивности помех h уменьшается величина допустимого интервала фиксации ПВВ, при котором ОСПШ на выходе адаптивного компенсатора снижается не более чем на 1–3 дБ. Это объясняется тем, что при таком увеличении изменяется крутизна „провалов” в адаптивной ДН. Поэтому при $h = 25000$ (44 дБ) (кривая 3 на рис. 1) ОСПШ μ на выходе весового сумматора компенсатора уменьшается на 1–3 дБ при меньшей величине углового перемещения ИШП $\Delta \alpha$, чем при $h = 3000$ (34,7 дБ) (кривая 2) и $h = 1000$ (30 дБ) (кривая 1).

На рис. 2 приведены зависимости $\mu(\Delta \alpha)$ при действии одного (a – $в$), двух ($г$) и девяти ($д$) ИШП по боковым лепесткам ДН. Рис. 2, a , $б$ соответствует действию одного ИШП по первому боковому лепестку ДН с начального направления $\alpha = 1.5$ (a) и $\alpha = 1.8$ ($б$), рис. 2, $в$ – по второму боковому лепестку ДН с направления $\alpha = 2.2$. Видно, что при одинаковых интенсивностях помех допустимый интервал фиксации ПВВ зависит он направления действия ИШП. Эта величина, как и на рис. 1, уменьшается с увеличением мощности помех, однако она увеличивается по сравнению с ситуацией действия ИШП по главному лепестку ДН (рис. 1).

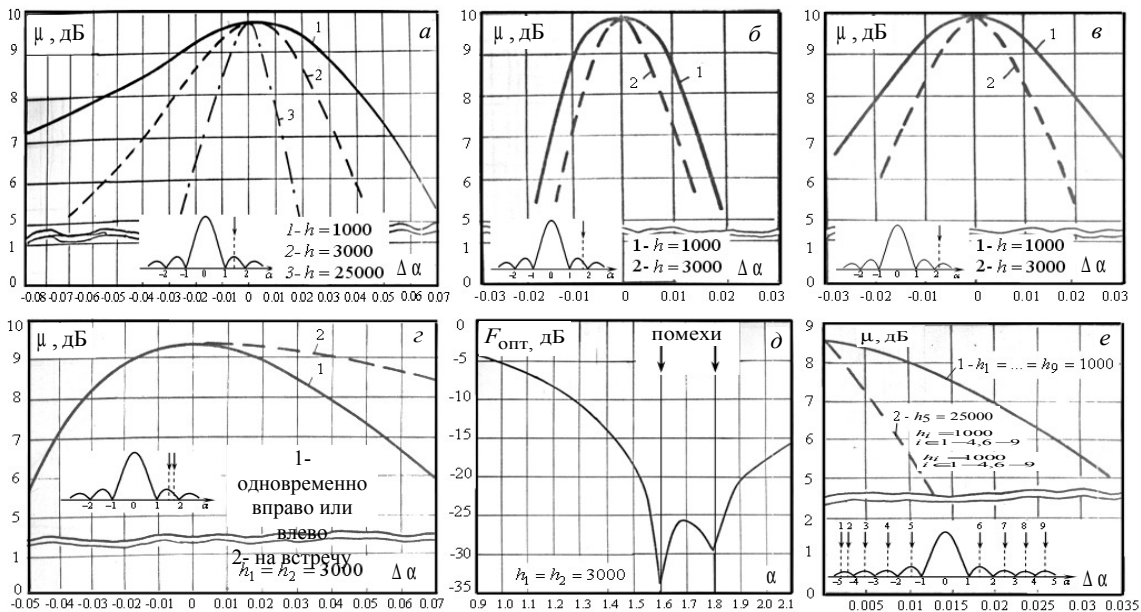


Рис. 2

Интересно, что увеличение числа источников помех не обязательно уменьшает допустимый интервал фиксации. В этом случае он может даже увеличиться. Это иллюстрируется рис. 2, $г$, где приведены зависимости $\mu(\Delta \alpha)$ при действии по первому боковому лепестку двух близко расположенных ИШП ($\alpha = 1.6$ и $\alpha = 1.8$). Кривая 1 на данном рисун-

ке соответствует одновременному перемещению обоих постановщиков помех вправо ($+\Delta\alpha$) или влево ($-\Delta\alpha$) относительно начального направления, при котором был сформирован весовой вектор адаптации. Кривая 2 соответствует движению ИШП навстречу друг другу. В последнем случае допустимый интервал фиксации существенно возрастает, что наглядно видно из адаптивной ДН $F_{\text{опт}}(\alpha)$ (рис. 2, д). Тем самым допустимый интервал фиксации зависит от направления взаимного перемещения ИШП.

Анализ рис. 2 в целом показывает, что при 1 дБ потерях в ОСПШ на выходе адаптивного компенсатора ИШП и воздействии источников ИШП по боковым лепесткам ДН антенны возможный интервал фиксации весового вектора увеличивается до величины 0,003 – 0,03 долей ширины ДН. При 3 дБ потерях этот интервал увеличивается до величины 0,01 – 0,1 долей ширины ДН.

2. Экспериментальная оценка допустимого интервала фиксации ПВВ методом гидроакустического моделирования. Гидроакустическое моделирование радиолокационных процессов основано на аналогиях в закономерностях распространения и отражения электромагнитных колебаний в атмосфере и упругих колебаний в жидкостях, в том числе в воде. Оно предусматривает преобразование электрических колебаний в ультразвуковые и излучение их в воду с последующим приемом упругих волн в воде и преобразованием их в электрические колебания.

Экспериментальные исследования по оценке допустимого интервала фиксации ПВВ проводились на гидроакустическом полигоне – комплексе радио-, электро- и акустической аппаратуры. Схема экспериментальной установки показана на рис. 3.

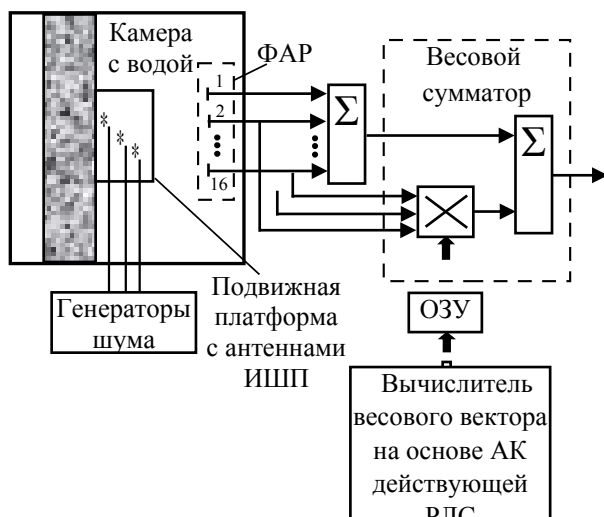


Рис. 3

В качестве приемной антенны использовалась 16-элементная ультразвуковая ФАР, изготовленная из пластины пьезокерамики ЦТС-19 методом фотолитографии. Моделируемая помеховая обстановка создавалась одним, двумя и тремя источниками ИШП. Ширина спектра помеховых излучений составляла 0,5 – 1 МГц. Ультразвуковые антенны моделей ИШП могли перемещаться на подвижной платформе параллельно плоскости приемной ФАР.

В качестве вычислителя весового вектора использовался четырехканальный (по количеству компенсационных каналов) квадратурный автокомпенсатор (АК) одной из существующих РЛС. Пять таких АК были размещены в штатном шкафу рядом с камерой с водой. Один из них был переоборудован в весовой сумматор (рис. 3) отключением цепей обратной связи.

(АК) одной из существующих РЛС. Пять таких АК были размещены в штатном шкафу рядом с камерой с водой. Один из них был переоборудован в весовой сумматор (рис. 3) отключением цепей обратной связи.

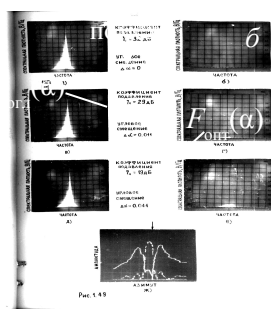
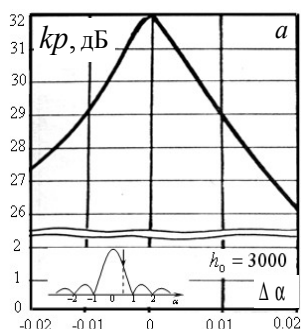


Рис. 4

На рис. 4 приведены результаты экспериментальных исследований при действии ИШП по главному лепестку ДН ФАР для начального углового направления $\alpha = 0,5$, при котором были сформированы и зафиксированы весовые напряжения: (а) – зависимость коэффициента подавления k_p от углового перемещения ИШП $\Delta\alpha$; (б) – фото на экране осциллографа с запоминанием

адаптивной $F_{\text{опт}}(\alpha)$ (сплошная линия) и согласованной $F_{\text{согл}}(\alpha)$ (штриховая линия) ДН. При 1 дБ потерях в коэффициенте подавления допустимый интервал фиксации весового вектора при $h_0 = 3000$ был близок к 0,003 долям ширины ДН, что хорошо согласуется с результатами математического моделирования.

На рис. 5, а приведены зависимости $kr(\Delta\alpha)$ при действии одного ИШП по первому боковому лепестку ДН с начального направления $\alpha = 1.8$, а на рис. 5, б – при действии двух ИШП. На рис. 5, в дополнительно приведен фрагмент адаптивной ДН $F_{\text{опт}}(\alpha)$ для случая двух источников ШП (рис. 5, б).

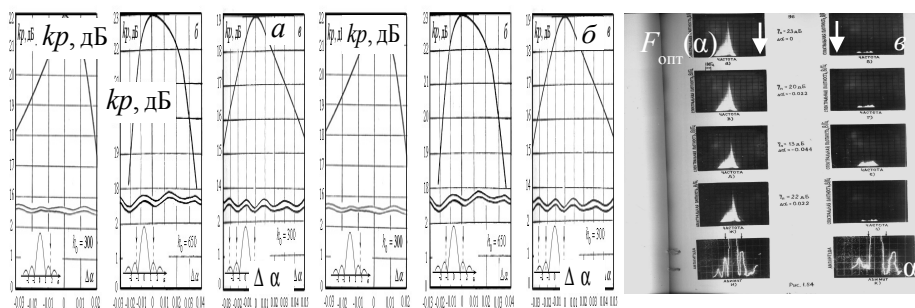


Рис. 5

Из рис. 5, а видно, что при действии одного ИШП ($\alpha = 1.8$) и 1 дБ потерях в коэффициенте подавления kr допустимый интервал фиксации ПВВ близок к 0,01 долей ширины ДН, что также хорошо согласуется с результатами математического моделирования.

Как следует из рис. 5, б, при двух ИШП с начальными направлениями $\alpha_1 = -1.2$ и $\alpha_2 = 1.5$ допустимый интервал фиксации ПВВ существенно зависит от взаимного направления перемещения ИШП вправо или влево. Так, он существенно возрастает при движении ИШП вправо, что также наглядно видно из адаптивной ДН $F_{\text{опт}}(\alpha)$ (рис. 15, в).

Заключение. Возможный интервал фиксации весового вектора зависит главным образом от формы адаптивной ДН, в частности, глубины и ширины „провалов” в ней на источники ШП, их количества и взаимного расположения. Поэтому он зависит от мощности источников ШП, начальных направлений их воздействия и расстояний между источниками, направлений их взаимного перемещения и перемещения в направлениях, где крутизна „провалов” больше или меньше.

При потерях в отношении сигнал/(помеха + шум), равными 1 дБ, и действии ИШП по боковым лепесткам ДН антенны возможный интервал фиксации весового вектора при различной помеховой обстановке составляет величину от 0,003 до 0,03 долей ширины ДН антенны. При потерях в 3 дБ этот интервал составляет величину от 0,01 до 0,1 долей ширины ДН антенны.

Таким образом, фиксация (запоминание) весового вектора адаптивного компенсатора ШП при действии комбинированных помех должна осуществляться на время, при котором ДН антенны обзорной РЛС поворачивается на величину, не превышающую 0,003 – 0,1 долей ее ширины.

Литература.

1. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория: Справочник/ Я. Д. Ширман, С. Т. Багдасарян, А. С. Маляренко, Д. И. Леховицкий, С. П. Лещенко и др. / Под ред. Я. Д. Ширмана. – М.: Радиотехника, 2007.

2. Май И. Д., Каспирович А. Г., Винник В. А., Донченко А. И., Мотыль В. Н., Антоненко В. Г. Радиолокационная станция 36Д6. Эксплуатация и техническое обслуживание: Учебное пособие. – Запорожье, КЭМЗ "Искра", 2003.