

УДК 621.396.96: 621. 321. 26

А.И. КРАВЧЕНКО, В.В. ПЕЧЕНИН*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДАВЛЕНИЯ ПАССИВНОЙ ПОМЕХИ ОТ ГИДРОМЕТЕОРОВ ТРАДИЦИОННЫМ И АДАПТИВНЫМ МЕТОДАМИ

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований и сравнительный анализ разработанного авторами адаптивного метода подавления пассивной помехи от гидрометеоров с традиционным методом компенсации, основанным на восстановлении опорного регулярного азимутально-дальномерного профиля. Отличительной особенностью адаптивного метода помимо его более высокой эффективности подавления пассивной помехи, является снижение нагрузки на вычислительные средства примерно в 5,5÷12 раз. Результаты выполненных исследований могут быть использованы при разработке трактов первичной обработки радиолокационных сигналов маскируемых гидрометеобразований.

Ключевые слова: радиолокация, гидрометеоры, обработка, стационарность, диапазон, уровень, помеха, подавление.

Введение

Одной из важнейших задач первичной обработки радиолокационных сигналов, отраженных от протяженных объектов типа морских судов, воздушных аэробусов, крупных космических объектов и т. п. является улучшение их наблюдаемости на фоне пассивных помех, создаваемых гидрометеорами, подстилающей поверхностью и другими важными источниками [1 – 3]. С позиций практического использования методов, устройств и алгоритмов первичной обработки радиолокационных наблюдений автоматизированными радиотехническими системами наибольший интерес представляют: методы, непосредственно улучшающие отношение сигнал/помеха; интегрирование принимаемых сигналов; обеспечение большего динамического диапазона на линейной части тракта, первичной обработки сигналов и другие. Краткий анализ преимуществ и недостатков практических методов и устройств подавления пассивных помех приведен в [4 – 6].

Полученные к настоящему времени реальные данные о радиофизической структуре и характеристиках пассивных помех (в основном – гидрометеоров типа атмосферных осадков, грозовой облачности и взволнованной морской поверхности [7, 8 и др.]) свидетельствуют об их существенной изменчивости даже в границах рабочей области зоны действия автоматизированной радиотехнической системы (АРТС).

Отличительной особенностью пассивных помех, создаваемых гидрометеорами (ГМ) и подстилающей морской поверхностью является наличие регулярной составляющей в виде азимутально-дальномерного регулярного профиля [9]. В то же

время большинство известных радиолокационных средств обработки первичной информации, создаваемой протяженными объектами процедура компенсации регулярной компоненты пассивной помехи осуществляется на аппаратном уровне путем использования временной автоматической регулировки усиления (ВАРУ). Эффективность применения ВАРУ в реальных условиях действия пассивных помех существенно зависит от закона изменения дальности D^n , где n – выбирается в пределах 2÷4, т.е. заранее неизвестна величина и в зависимости от реальных условий формирования пассивной помехи, особенно от ГМ. Добавим ко всему прочему, самые современные радиолокационные средства обработки радиолокационных сигналов, создаваемых протяженными объектами, обеспечивают уменьшение перегрузки приемного тракта за счет увеличения динамического диапазона до 90 дБ, что приводит к работе приемных трактов на пределе их чувствительности и следующим, в этом случае, негативным последствием воздействий пассивных помех при радиолокационном наблюдении точечных и протяженных объектов одновременно.

В таких условиях актуальной является задача определения и последующей компенсации регулярной компоненты пассивной помехи на уровне цифровой обработки видеосигналов. Такую процедуру можно назвать восстановлением истинного пространственного распределения уровней полезных сигналов.

Целью выполненных в работе исследований является сравнительный анализ подавления пассивной помехи, создаваемой ГМ, разработанными авторами цифровыми методами обработки видеосиг-

налов на выходе аналогово–цифрового преобразователя (АЦП) на программном уровне и их апробации на реальных данных АРГС информационной поддержки регулирования движения судов в прибрежных морских регионах.

Основное содержание работы

Теоретическое описание методики и цифрового алгоритма компенсации регулярного азимутально–дальномерного профиля пассивной помехи, а также экспериментальные исследования на уровне компьютерного моделирования приведены в [10]. Данная методика и алгоритм относятся к разряду традиционных методик компенсации трендов и их сглаживания. При этом сущность восстановления регулярного профиля видеосигнала на выходе АЦП состоит в подборе некоторой опорной аналитической функции, которая бы наилучшим образом аппроксимировала полученный дальномерный профиль. Далее, с помощью полученной таким образом, опорной функции компенсировать регулярную компоненту реальной пассивной помехи с дальнейшим сглаживанием флуктуационного остатка путем использования адаптивного шумового порога.

Анализ результатов моделирования показал, что точность восстановления регулярного профиля зависит от параметров флуктуационной составляющей и выбора аналитической функции задания опорного профиля, который в реальных условиях заранее неизвестен.

Второй метод компенсации пассивной помехи основан на разработанном авторами методе и алгоритме компенсации, не требующем предварительного восстановления опорного регулярного профиля. Данный метод может быть отнесен к классу адаптивных методов. Кроме того, отличительной особенностью разработанного метода является другое решение задачи нейтрализации флуктуационного остатка (локальных выбросов) пассивной помехи и отдельная (независимая) обработка полученных сигналов отраженных подвижными или малоподвижными объектами (морскими судами). Для этого вводятся два признака степени подвижности: «канал динамики» для обработки полезных сигналов от движущихся судов и канал статики от мало- или неподвижных судов.

Упрощенная структурная схема тракта подавления пассивной помехи, реализующей адаптивный метод приведена на рис. 1.

Приведенная на рис. 1 структурная схема тракта подавления пассивной помехи от ГМ реализована на программном уровне.

Компенсатор тренда предназначен для устранения неравномерности распределения по рабочей

зоне АРГС средних значений интенсивности (амплитуд) пассивных помех одновременно в каналах статики и динамики. При этом рабочая зона АРГС разбита на участки условной пространственной стационарности (УПС) пассивной помехи по координате азимута ($S_{min} \div S_{max}$) и координате дальности ($J_{min} \div J_{max}$). В пределах каждого из участков стационарности формируется двойной массив оценок – медиан регулярной компоненты интенсивности принятых радиолокационных сигналов M_{sta_j, sta_s} .

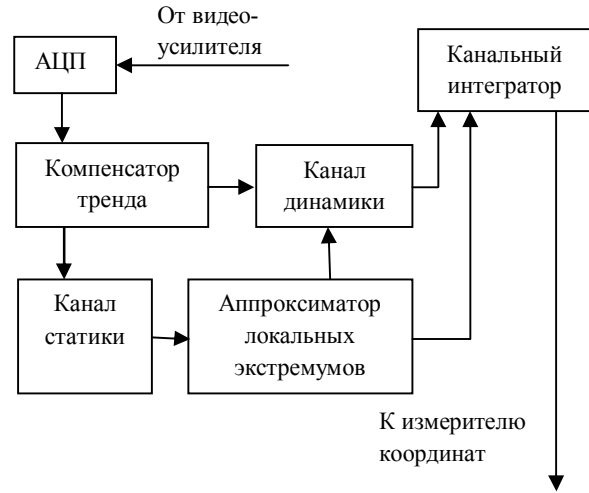


Рис. 1. Структурная схема тракта подавления пассивной помехи

Далее выполняется адаптивная компенсация тренда регулярной составляющей пассивных помех отдельно в каналах статики и динамики

$$RS_{j,s} (sta_j, sta_s) = S_{j,s} (sta_j, sta_s) - M_{sta_j, sta_s} ,$$

$$RZ_{j,s} (sta_j, sta_s) = Z_{j,s} (sta_j, sta_s) - M_{sta_j, sta_s} ,$$

где $sta_j \in \{0 \div \text{round}[(J_{max} - J_{min} - 2\Delta Z_j) / \Delta Z_j]\}$ – индекс серединного окна участка УПС по дальности;

$$sta_s \in \{0 \div \text{round}[(S_{max} - S_{min} - 2\Delta Z_s) / \Delta Z_s]\}$$
 – индекс серединного окна по азимуту;

$\text{round} (*)$ - знак округления числа до целого;

$\Delta Z_j = STA_j / 3$, $\Delta Z_s = STA_s / 3$ – размер каждого из окон участка стационарности;

STA_j , STA_s – общие размеры участков УПС.

Из экспериментальных данных геометрические размеры УПС по координате дальности $STA_j \approx 500 \div 700$ м, а по координате азимута $STA_s \approx 20\theta$ ширины диаграммы направленности по азимуту.

Аппроксимация локальных экстремумов предназначена на флуктуации амплитуд $RZ_{j,s}$ на выходе компенсатора трека в канале динамики.

Граничная обработка в каналах статики и динамики реализована по идентичным цифровым алгоритмам.

Основная формула алгоритма граничной обработки имеет вид

$$V_{j,s} = \begin{cases} R_{j,s}(sta_{-j}, sta_{-s}) & \text{при} \\ R_{j,s}(sta_{-j}, sta_{-s}) > P_{\text{hran}}(sta_{-j}, sta_{-s}); \\ 0, & \text{если иначе,} \end{cases}$$

где $P_{\text{hran}}(sta_{-j}, sta_{-s})$ - граничный уровень, соответствующий срединному участку УПС с соответствующими индексами sta_{-j}, sta_{-s} и определяется как

$$P_{\text{hran}}(sta_{-j}, sta_{-s}) = f[A_{j,s}(sta_{-j}, sta_{-s})],$$

где $A_{j,s}(*)$ - массив квалификационных выборов соответствующего участка УПС для канала статики и канала динамики;

$f_{\text{hran}}(*)$ - процедура определения граничных уровней, делящая всю совокупность соответствующих параметров сигналов по определенному субъективному критерию, как «возможно полезный сигнал», а в другую – как «помеха».

Канальный интегратор предназначен для логического объединения данных $V_{j,s}$, полученных при независимой обработке в каналах статики и динамики

$$P_{j,s} = VZ_{j,s} + f(VS_{j,s}).$$

То есть, сначала в выходной интегральный массив данных $P_{j,s}$ полностью в неизменном виде переписывается результат данной обработки из канала динамики $VZ_{j,s}$. Затем, к этим данным приписывается результат канала статики, но с определенным весом $f(*)$.

Экспериментальные результаты и сравнительный анализ адаптивного и традиционного методов подавления пассивной помехи от ГМ

Основные трудности при сравнительной оценке эффективности разработанных методов подавления пассивной помехи от ГМ связаны с тем, что первичная обработка сигналов реально действующей АРТС не оперирует с интенсивностями сигналов и помех, а использует лишь их бинарные изображения. Поэтому оценки эффективности, связанные с улучшением/ухудшением энергетических показателей непосредственно не реализуемы.

В данном случае можно использовать два варианта сравнительной оценки:

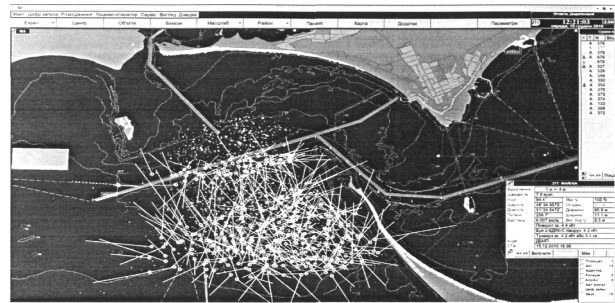
- качественный по визуальному наблюдению радиолокационных сцен при одновременной обработке традиционным и адаптивным методами;

- количественный, основанный на косвенных статистических показателях, полученных во время натурных экспериментов.

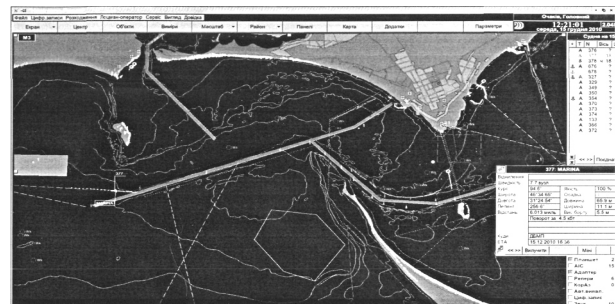
В качестве практического примера сравнительной оценки по качественному визуальному наблюдению на рис. 2 и 3 приведены последовательно видеокадры с результатами одновременного наблюдения двумя радиолокационными сценами с применением традиционного и адаптивного наблюдения эффективности подавления пассивных помех от ГМ для двух судов:

- танкер «Marina» (размеры $L \times B = 69,5 \times 11,1$ м.) рис. 2 а, б;

- судно «Gorkem Bey» (размеры $L \times B = 119 \times 16,9$ м.) рис. 3 а, б.



а



б

Рис. 2. Последовательные видеокадры с результатами одновременного наблюдения радиолокационных сцен, полученных с применением традиционного и нового адаптивного тракта первичной обработки сигналов от 15.12.2010 для танкера «Marina»

Результаты визуального наблюдения очевидны и не требуют особых комментариев по явной эффективности адаптивного подавления (рис. 2, б, 3, б).

В табл. 1 и 2 приведены численные показатели оценки эффективности адаптивного метода подавления пассивной помехи от ГМ в тракте первичной обработки АРТС.

Фиксировались следующие текущие показатели традиционной и адаптивной обработок:

N_{mark} – число РЛ отметок, сформированных на выходе тракта первичной обработки в рабочей зоне АРТС;

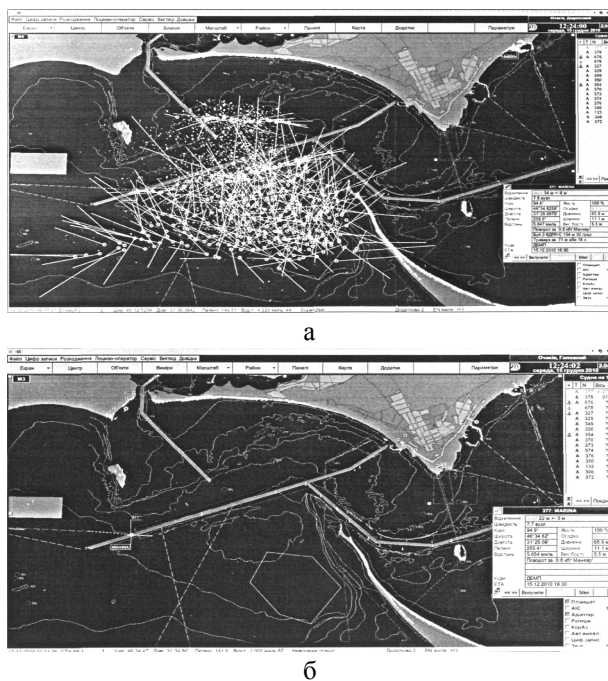


Рис. 3. Последовательные видеокadres с результатами одновременного наблюдения радиолокационных сцен, полученных с применением традиционного и нового адаптивного тракта первичной обработки сигналов от 15.12.2010 для судна «Gorkem Bey»

N_{track} - количество сопровождаемых траекторий по выходу тракта вторичной обработки;

$N_{t\ arg}$ - количество сопровождаемых траекторий, признанных соответствующими реальным судам.

Анализ данных табл. 1 и 2 показывает:

- адаптивный вариант по сравнению с традиционным снижает «всплеск» ложных тревог в $8,2 \div 26,0$ раз (показатель N_{mark});

- по выходу первичной обработки не вызывает существенного (в $9,6 \div 26,1$ раз) всплеска ложных тревог по выходу вторичной обработки сигналов (показатель $N_{t\ arg}$);

- снижает примерно в $5,5 \div 12$ раз нагрузку на вычислительные средства АРТС (показатель N_{track}).

Выводы

Разработан адаптивный метод и цифровой алгоритм подавления пассивной помехи от гидрометеоров, существенно улучшающий эффективность наблюдения протяженного объекта (морского судна) по сравнению с традиционной методикой и алгоритмом подавления. Численные оценки традиционного и адаптивного алгоритмов подавления пассивной помехи от гидрометеоров показывают, что уровень снижения уровня ложных тревог по каналу первичной и вторичной обработок адаптивным методом лежит в пределах $8 \div 26$ раз при различных уровнях пассивной помехи в различных метеоусловиях. Полученные результаты теоретических и экс-

периментальных исследований могут быть использованы при разработке перспективных радиотехнических систем, функционирующих в аналогичных условиях влияния гидрометеообразований.

Таблица 1

Численные показатели экспериментальной оценки эффективности тракта адаптивной первичной обработки сигналов в работе 14.12.2010

№	Время	Традиционная схема первичной обработки			Новая адаптивная схема первичной обработки		
		N_{mark}	N_{track}	$N_{t\ arg}$	N_{mark}	N_{track}	$N_{t\ arg}$
1	11.45.01	112	153	29	46	41	9
2	11.51.02	246	297	53	40	40	12
3	11.53.31	275	266	80	42	48	12
4	11.55.03	349	245	103	45	55	12
5	11.57.00	341	262	109	42	47	12
6	11.59.00	484	289	130	42	51	12
7	12.02.01	651	318	163	42	52	12
8	12.05.02	765	282	169	48	56	13
9	12.08.02	622	294	168	40	47	12
10	12.11.03	231	169	121	49	60	10
Медиана:		345,0	274,0	115,0	42,0	49,5	12,0
Соотношение медиан:					8,2	5,5	9,6

Таблица 2

Численные показатели экспериментальной оценки эффективности тракта адаптивной первичной обработки сигналов в работе 15.12.2010

№	Время	Традиционная схема первичной обработки			Новая адаптивная схема первичной обработки		
		N_{mark}	N_{track}	$N_{t\ arg}$	N_{mark}	N_{track}	$N_{t\ arg}$
1	12.15.02	265	385	34	61	11	11
2	12.17.30	1452	1046	192	64	82	10
3	12.21.03	1794	727	385	75	77	11
4	12.24.00	1561	507	370	45	42	9
5	12.27.01	1692	702	339	50	87	13
6	12.30.02	1631	559	320	35	34	9
7	12.33.02	629	485	224	34	36	9
8	12.36.03	482	352	246	35	36	9
9	12.39.03	296	212	160	31	41	9
10	12.42.00	56	99	85	35	37	9
Медиана:		1040,5	496,0	235,0	40,0	41,5	9,0
Соотношение медиан:					26,0	12,0	26,1

Литература

1. Бакулев П.А. Методы и устройства селекции движущихся целей / П.А. Бакулев, В.М. Степин. – М.: Радио и связь, 1986. – 288 с.
2. Красюк В.Н. Влияние тропосферы и подстилающей поверхности на работу РЛС / В.Н. Красюк, В.Л. Коблов, Н.П. Красюк. – М.: Радио и связь, 1988. – 216 с.
3. Теоретические основы радиолокации / Под ред. В.Е. Дулевича. – М.: Сов. радио, 1978. – 608 с.
4. Луценко В.И. Проектирование радиотехнических систем селекции и обнаружения сигналов в

условиях негауссовских помех: учебное пособие / В.И. Луценко, В.И. Луценко. – Х.: ХАИ, 1990. – 99 с.

5. Кравченко А.И. Методика и алгоритм формирования бинарного радиолокационного изображения протяженного объекта, маскируемого отражениями от моря / А.И. Кравченко, Е.П. Мсаллам // Системы управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць ДП «ЦНДІ навігації і управління». – К.: ДП ЦНДІНІ, 2010, – № 2 (14). – С. 54 – 57.

6. Кравченко А.И. Цифровое моделирование алгоритма формирования радиолокационного изображения протяженного морского объекта / Шоста наукова конференція Харк. ун-ту Повітряних сил ім. Івана Кожедуба. «Новітні технології – для захисту повітряного простору», 14-15 квітня 2010 року: тези доповідей. – Х.: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2010. – С. 220 - 221.

7. Исимору А. Распространение и рассеяние

радиоволн в случайно-неоднородных средах. Т. 1 / А. Исимору. – М.: Мир, 1981. – 280 с.

8. Брылев Г.Б. Радиолокационные характеристики облаков и осадков / Г.Б. Брылев. – Л.: Гидрометеоздат, 1986. – 231 с.

9. Печенин В.В. Восстановление дальномерного профиля радиолокационных отражений от гидрометеобразований по данным аналого-цифрового преобразования / В.В. Печенин, Е.П. Мсаллам // Складні системи і процеси. – 2004, - № 1, 2 (5, 6). – С. 83 – 93.

10. Печенин В.В. Цифровой метод подавления пассивной помехи при координатной обработке протяженного морского объекта. / В.В. Печенин, Е.П. Мсаллам. // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. – Киев: КПИ. – 2006. – Т. 49, №3. – С. 57 – 62.

Поступила в редакцию 1.04.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. кафедры проектирование радиоэлектронных устройств, систем и комплексов летательных аппаратов И.В. Барышев, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «ХАИ», Харьков.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИГНІЧЕННЯ ПАСИВНОЇ ПЕРЕШКОДИ ВІД ГІДРОМЕТОРІВ ТРАДИЦІЙНИМ І АДАПТИВНИМ МЕТОДАМИ

О.І. Кравченко, В.В. Печенін

Приведені результати теоретичних і експериментальних досліджень і порівняльний аналіз розробленою авторами адаптивного методу пригнічення пасивної перешкоди від гідрометеорів з традиційним методом компенсації заснованим на відновленні опорного регулярного азимутно-далекомірною профілю. Відмінною особливістю адаптивного методу окрім його вищої ефективності пригнічення пасивної перешкоди являється зниження навантаження на обчислювальні засоби приблизно в 5,5 - 12 разів. Результати виконаних досліджень можуть бути використані при розробці трактів первинної обробки сигналів радіолокацій маскованих гідрометеоутвореннями.

Ключові слова: радіолокація, гідрометеори, обробка, стаціонарність, діапазон, рівень, перешкода, пригнічення.

COMPARATIVE ANALYSIS OF EFFICIENCY OF SUPPRESSION PASSIVE HINDRANCE FROM HYDROMETEORSS TRADITIONAL AND ADAPTIVE METHODS

A.I. Kravchenko, V.V. Pechenin

Results over of theoretical and experimental researches and comparative analysis of the adaptive method of suppression of passive hindrance worked out by authors are brought from hydrometeorss with the traditional method of indemnification, based on renewal of supporting regular azimuthal-range-finder profile. By the distinctive feature of adaptive method besides his higher efficiency of suppression of passive hindrance, there is a deloading on computing facilities approximately in 5,5-12 times. The results of the executed researches can be drawn on at development of highways of roughing-out of radio-location signals of maskable airborne moisture target Singular airborne moisture target.

Keywords: radio-location, hydrometeorss, treatment, stationarity, range, level, hindrance, suppression.

Печенин Валерій Васильевич – д-р техн. наук, проф., проф. кафедри радіоелектронних пристроїв, систем і комплексів Національного аерокосмічного університету ім. Н.Е. Жуковського «ХАИ», Харків.

Кравченко Александр Иванович – канд. техн. наук, докторант кафедри радіоелектронних пристроїв, систем і комплексів Національного аерокосмічного університету ім. Н.Е. Жуковського «ХАИ», Харків.