

УДК 621.396.96

НОВЫЙ СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРИ АДАПТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ НЕКЛАССИФИЦИРОВАННЫХ ВЫБОРОК НАБЛЮДЕНИЙ

Бартенев В.Г., д.т.н., профессор кафедры теоретической радиотехники и радиофизики МИРЭА, e-mail:syntaltechno@mail.ru

Гордеев А.Ю., аспирант кафедры теоретической радиотехники и радиофизики МИРЭА, e-mail:alexurgor2008@gmail.com

Ключевые слова: адаптивная фильтрация, неклассифицированная выборка наблюдений, дискретная коррелированная помеха, доплеровские фильтры, режекторные фильтры, оценка, пачка импульсов, авторегрессия, Прони, Штейглица-МакБрайда, перекрестное управление, доплеровская частота, многокомпонентная.

Введение

Борьба с дискретными коррелированными помехами при обработке неклассифицированных выборок наблюдений является одной из главнейших задач, решаемых в современных системах СДЦ. Для подавления таких помех в этих системах не могут применяться традиционные адаптивные доплеровские и режекторные фильтры, коэффициенты которых подстраиваются в зависимости от корреляционных свойств входной выборки наблюдений. Так как при формировании оценок с усреднением по пачке принимаемых импульсов формируются весовые коэффициенты, учитывающие и свойства помехи и полезного сигнала, это приводит к фильтрации как помехи, так и полезного сигнала. Поэтому в работах [1–3] был предложен и описан способ, суть которого заключается в том, что для исключения влияния полезного сигнала на оценки коэффициентов фильтра при усреднении оценок только по обрабатываемой пачке импульсов, предлагается производить формирование оценок весовых коэффициентов фильтра по неклассифицированной выборке, полученной на другой несущей частоте или другой частоте повторения. Особенности данного способа являются также использование коэффициентов авторегрессии входной выборки наблюдений в качестве весовых коэффициентов фильтра и выбор разности частот повторения или несущих частот двух выборок таким образом, чтобы разность соответствующих им доплеровских смещений частоты была бы значительно меньше доплеровских смещений частоты для каждой из выборок наблюдений. Авторегрессионный подход при формировании весовых коэффициентов позволяет эффективно фильтровать многокомпонентные помехи. Однако можно использовать и другие известные способы формирования весовых коэффициентов применяемые при параметрическом спектральном анализе высокого разрешения. В частности для обработки сигналов весьма успешно [4] применяется метод Прони, опери-

Рассмотрены способы адаптивной фильтрации неклассифицированных выборок наблюдения на основе перекрестного управления весовыми коэффициентами при формировании этих коэффициентов по методам Прони и Штейглица-МакБрайда. Приводятся результаты обработки неклассифицированных выборок наблюдения, содержащих полезный сигнал и двухкомпонентную коррелированную помеху, при использовании указанных подходов к формированию весовых коэффициентов фильтра. Приводятся результаты обработки тех же неклассифицированных выборок наблюдения, но с использованием для формирования весовых коэффициентов авторегрессионного подхода.

рующий с моделью сигнала в виде взвешенной суммы затухающих или незатухающих экспонент, в общем случае комплексных. В настоящей работе приводятся результаты применения способа фильтрации дискретных помех при использовании в качестве весовых коэффициентов адаптивного фильтра параметров модели Прони, построенной на основе входной выборки наблюдений, а также параметров, получаемых по алгоритму Штейглица-МакБрайда. При этом для фильтрации неклассифицированных выборок наблюдения, как и в способе [1], используется перекрестный ввод формируемых весовых коэффициентов. Анализ эффективности предложенного способа формирования весовых коэффициентов адаптивного фильтра производился в вычислительной среде MATLAB со следующими параметрами входной выборки наблюдений.

```
as=1; % амплитуда полезного сигнала
fs1=200; % доплер полезного сигнала, Гц для
первой выборки наблюдений
am=1; % амплитуда 1 компоненты помехи
fm1=10; % доплер 1 компоненты помехи, Гц для
первой выборки наблюдений
l1=300/500; % длина волны для первой выборки
наблюдений с несущей 500 МГц
l2=300/550; % длина волны для второй выборки
наблюдений с несущей 550 МГц
fc1=20; % доплер 2 компоненты помехи, Гц для
первой выборки наблюдений
ac=2; % амплитуда 2 компоненты помехи
vm=fm1*l1/2; fm2=2*vm/l2; % доплер 1 компоненты
помехи, Гц для второй выборки
%наблюдений
vc=fc1*l1/2; fc2=2*vc/l2; % доплер 2 компоненты
помехи, Гц для второй выборки
%наблюдений
vs=fs1*l1/2; fs2=2*vs/l2; % доплер полезного
сигнала, Гц для второй выборки
%наблюдений
```

```

%ФОРМИРОВАНИЕ ВЫБОРОК НАБЛЮДЕНИЙ
t=0:0.001:0.256; % время наблюдения 256 мсе-
кунд с тактом 1 мсек
%входной сигнал для первой выборки наблюдений
z1=ac*exp(2*fc1*pi*t*sqrt(-
1))+am*exp(2*fm1*pi*t*sqrt(-
1))+as*exp(2*fs1*pi*t*sqrt(-
1))+.1*randn(1,length(t));
%входной сигнал для второй выборки наблюдений
z2=2*exp(2*fc2*pi*t*sqrt(-
1))+am*exp(2*fm2*pi*t*sqrt(-
1))+as*exp(2*fs2*pi*t*sqrt(-
1))+.1*randn(1,length(t));
figure(1) % изображение спектра входных
сигналов для первой и второй
% выборки наблюдений
Z1=fft(z1,256);% для 1 канала
f=256*(0:127)/256;
plot(f,10*log10(abs(Z1(1:128))), 'K')
hold on
Z2=fft(z2,256);% для 2 канала
f=256*(0:127)/256;
plot(f,10*log10(abs(Z2(1:128))), 'K')
%ФОРМИРОВАНИЕ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ФИЛЬТРА
%метод Прони
%для первой выборки наблюдений
[PP1, aa1]=prony(z1,6,6);
%для второй выборки наблюдений
[PP2, aa2]=prony(z2,6,6);
%ФИЛЬТРАЦИЯ С ВЕСОВЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ
y1=filter(aa1,1,z1); % фильтрация 1 выборки
наблюдений весами 1 выборки
y2=filter(aa1,1,z2); % фильтрация 2 выборки
наблюдений весами 1 выборки
y3=filter(aa2,1,z1); % фильтрация 1 выборки
наблюдений весами 2 выборки
%Спектры после фильтрации
figure(2)
Y1=fft(y1,256);
f=256*(0:127)/256;
plot(f,10*log10(abs(Y1(1:128))), ['K','-' ])
hold on
plot(f,10*log10(abs(Z1(1:128))), ['K','--'])
figure(3) % спектр выходного сигнала
Y2=fft(y2,256);
plot(f,10*log10(abs(Y2(1:128))), ['K','-' ])
hold on
plot(f,10*log10(abs(Z2(1:128))), ['K','--'])

```

Результаты фильтрации неклассифицированных выборок наблюдений с разными несущими частотами приведены на рис. 1-3. На рис. 1 приведено спектральное представление сигналов дискретной двухкомпонентной помехи с доплеровскими частотами компонент 10Гц и 20Гц и полезного сигнала с доплеровской частотой 200Гц после фильтрации по способу, соответствующего прототипу, при использовании для фильтрации коэффициентов авторегрессии и перекрестных связей. Пунктиром показан спектр сигнала на входе. На рис. 2 приведено спектральное представление сигналов дискретной двухкомпонентной помехи с доплеровскими частотами компонент 10Гц и 20Гц и полезного сигнала с доплеровской частотой 200Гц после фильтрации с использованием перекрестного управления коэффициентами фильтрации но с применением метода Прони для формирования весовых коэффициентов фильтра. Порядок авторегрессии в случае, изображенном на рис. 1, составлял 12. Это соответствует, во-первых, числу искоемых параметров в модели Прони (см. программу выше), а во-вторых, что самое главное, позволяет при использовании авторегрессионного подхода к формированию коэффициентов фильтра максимально подавить

многокомпонентную помеху без существенного увеличения вычислительной сложности всего алгоритма.

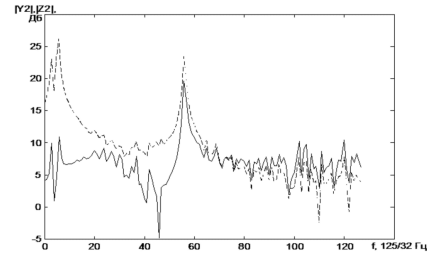


Рис. 1 Спектры входного и выходного сигналов после фильтрации по методу прототипа

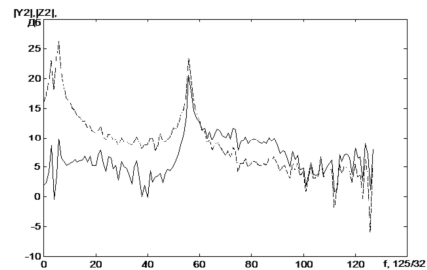


Рис. 2 Спектры входного и выходного сигналов после фильтрации по методу Прони

Из рис. 1 и рис. 2 видно, что в случае использования вместо авторегрессионного подхода метода Прони для формирования коэффициентов адаптивного фильтра происходит уменьшение уровня коррелированной помехи (обеих компонент) по отношению к уровню полезного сигнала примерно на 3 дБ.

Значительно лучших результатов в плане подавления многокомпонентной коррелированной помехи можно добиться за счет применения вместо методов Прони и авторегрессии итерационного алгоритма Штейглица-МакБрайда, используя во всем остальном все тот же запатентованный метод перекрестного управления коэффициентами фильтрации. В этом случае в приведенной выше программе строку, где происходит формирование коэффициентов фильтра по методу Прони [PP1, aa1] = prony(z1, 6, 6) и [PP2, aa2] = prony(z2, 6, 6,) следует заменить на выражения [PP1, aa1] = stmcb(z1, 4, 5) и [PP1, aa1] = stmcb(z1, 4, 5) соответственно. Числа 4 и 5, обозначающие соответственно число искоемых параметров числителя и знаменателя в выражении, описывающем в общем случае передаточную функцию некоторой системы

$$H(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{b(1) + b(2)z^{-1} + \dots + b(nb+1)z^{-nb}}{a(1) + a(2)z^{-1} + \dots + a(na+1)z^{-na}}, \quad (1)$$

а в нашем случае – саму выборку наблюдений, были выбраны экспериментально из критерия максимального подавления многомодовой коррелированной помехи. Результаты работы программы с использованием алгоритма Штейглица-МакБрайда приведены на рис. 3. Пунктиром, как и ранее, обозначается спектр исходного сигнала на несущей частоте 500МГц.

Как видно из рис. 3, уровень одной из мод двухмодовой помехи снижен до 3дБ, а второй – до минимального значения, что показывает явное преимущество предлагаемого алгоритма над алгоритмами формирования весовых коэффициентов адаптивного фильтра, предложенными в работах [1–3].

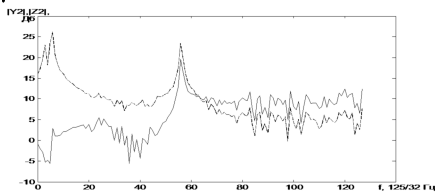


Рис. 3. Спектры входного и выходного сигналов при перекрестном управлении коэффициентами фильтрации, вычисляемыми по алгоритму Штейнлица-МакБрайда

Это очевидно, поскольку при формировании коэффициентов a и b в выражении (1) не ставится цель точного совпадения со значениями ограниченного набора отсчетов импульсной характеристики, а в нашем случае – самой выборки наблюдений, как например, при использовании функции *prony*, а происходит вычисление величин, близких к опорным значениям в среднеквадратичном смысле. Помимо этого, функция *prony* не делает никаких предположений о значениях импульсной характеристики (выборки) за пределами заданного фрагмента, в то время как функция *stmcb* минимизирует квадратичную ошибку воспроизведения заданной бесконечной импульсной характеристики (выборки), при этом по окончании явно заданного фрагмента она считается равной нулю. В результате, точного соответствия отсчетов заданной и полученной импульсных характеристик (выборки) не наблюдается (за исключением первого), зато ошибка воспроизведения характеристики «размазана» по отсчетам более равномерно [5]. Правда, несколько повышается уровень некоррелированного шума в области за доплеровской частотой полезного сигнала, как и в случае использования метода, но для решаемой здесь задачи это несущественно.

Аналогичных результатов при использовании всех вышеуказанных технологий формирования коэффициентов адаптивного фильтра и при применении способа перекрестного управления этими коэффициентами можно добиться и для случая двух выборок наблюдений с одинаковой несущей частотой, но имеющих разные частоты повторения. Полученные результаты приведены на рис. 4-6.

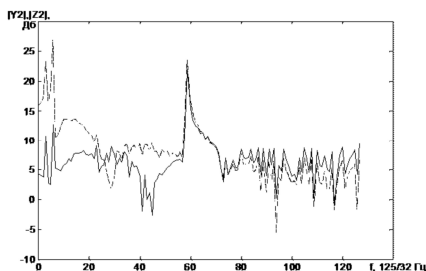


Рис. 4. Спектры входного и выходного сигналов при перекрестном управлении коэффициентами фильтрации, вычисляемыми авторегрессионным методом, для выборок с разными частотами повторения

Исходя всех полученных в ходе данной работы результатов, можно сделать вывод, что применение итерационного алгоритма Штейнлица-МакБрайда для формирования коэффициентов адаптивного фильтра является наиболее эффективным методом подстройки этих коэффициентов для подавления многокомпонентных коррелированных помех при фильтрации неклассифицированных выборок наблюдения.

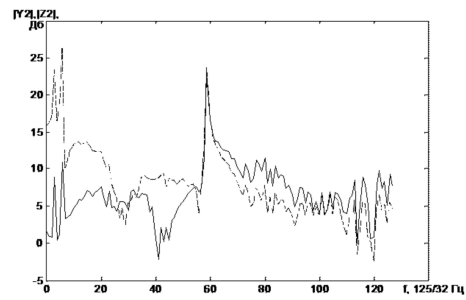


Рис. 5. Спектры входного и выходного сигналов при перекрестном управлении коэффициентами фильтрации, вычисляемыми по методу Прони, для выборок с разными частотами повторения

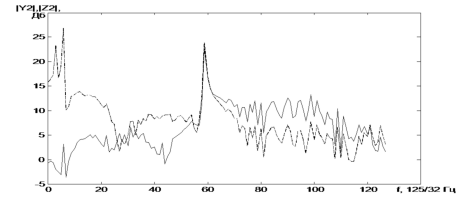


Рис. 6. Спектры входного и выходного сигналов при перекрестном управлении коэффициентами фильтрации, вычисляемыми по алгоритму Штейнлица-МакБрайда, для выборок с разными частотами повторения

Литература

1. Бартенев В.Г. Способ адаптивной фильтрации дискретных помех. Патент по заявке № 2007101649 от 17.01.07. Публикация ФМПС в Бюл. №21 от 27.07.08.
2. Бартенев В.Г. Адаптивная фильтрация неклассифицированных выборок наблюдения. // Современная электроника. 1989, №3, С. 68-71.
3. Бартенев В.Г. Адаптивный решетчатый фильтр для подавления дискретных коррелированных помех. Доклад на 10-й Международной конф. DSPA-2008. Москва, 26-28 марта, 2008.
4. Никитин А.В. Спектральное оценивание периодических сигналов на основе алгоритма Прони // Сборник трудов молодых ученых и студентов ВолГУ. Волгоград: Издательство ВолГУ. 1995. С. 231-233.
5. <http://matlab.exponenta.ru/signalprocess/book2/index.php#6>.

THE NEW METHOD OF THE WEIGHTS FORMING FOR ADAPTIVE FILTERING OF UNCLASSIFIED OBSERVATION SAMPLES

Bartenev V.G., Gordeev A.Y.

The unclassified samples of observations' adaptive filtering techniques based on weights cross management are considered when these weights are formed with Prony and Steiglitz-McBride using methods. The results of unclassified samples of observations, containing useful signal and two-component correlated interference, processing when using the abovementioned filter weights formation techniques are provided in the article. For the filtering efficiency comparison the results of the same unclassified samples of observations' processing with autoregression approach usage for the filtering weights forming are also provided.