

СПОСОБ ПОДАВЛЕНИЯ ДИСКРЕТНЫХ КОРРЕЛИРОВАННЫХ ПОМЕХ АДАПТИВНЫМ РЕШЕТЧАТЫМ ФИЛЬТРОМ

Бартнев В.Г.

Применение решетчатых фильтров для подавления мешающих отражений известно давно [1,2]. Адаптивный решетчатый фильтр включает в себя формирование коэффициентов отражения и использование их в качестве весовых коэффициентов для обеления коррелированной помехи, минимизируя ошибки предсказания вперед и назад. Многозвенный решетчатый фильтр позволяет осуществлять эффективную фильтрацию многокомпонентных помех с многомодовыми спектрами. Хотя способ решетчатой фильтрации характеризуется высокой эффективностью и возможностью режекции помех с многомодовыми спектрами, его использование применительно к дискретным помехам наталкивается на большие трудности. Если коррелированная помеха дискретная и занимает один дискрет дальности, то при наличии полезного сигнала в этом же дискрете дальности сформированные коэффициенты отражения будут учитывать и параметры полезного сигнала, поэтому при фильтрации он будет режектироваться так же, как и помеха. Таким образом, классический режекторный фильтр может работать только по классифицированной выборке наблюдений. Главный вопрос не в том, как формировать коэффициенты отражения и каким для этого алгоритмом следует воспользоваться, а в том как исключить влияние полезного сигнала на формируемые коэффициенты отражения. Для протяженной помехи, занимающей много элементов разрешения по дальности, когда оценки коэффициентов отражения формируются с усреднением по элементам дальности, протяженность коррелированной помехи значительно превышает протяженность полезного сигнала, что дает основание рассматривать входную выборку наблюдений классифицированной и влиянием полезного сигнала на коэффициенты отражения можно пренебречь. Совсем другое дело, когда помеха дискретна и когда для оценки коэффициентов отражения производится усреднение только по обрабатываемой пачке импульсов, а формируемые коэффициенты отражения учитывают в том числе и полезный сигнал.

Предложено построение адаптивного цифрового решетчатого фильтра, работающего в условиях воздействия дискретных коррелированных помех. Рассмотрен пример использования предложенного устройства.

С целью исключения подавления полезного сигнала при фильтрации неклассифицированной выборки наблюдений предлагается способ, который включает в себя формирование коэффициентов отражения решетчатого фильтра по двум выборкам наблюдения, отличающимся частотой повторения или несущей частотой. При этом коэффициенты отражения, сформированные по одной выборке наблюдений, используют в качестве весовых коэффициентов для фильтрации другой выборки наблюдений и наоборот, а результаты фильтрации одной и другой выборок наблюдения объединяют на выходе. Предлагаемый способ отличается тем, что разнос частот повторения или несущих частот двух выборок наблюдения выбирают так, чтобы разность соответствующих им доплеровских смещений частоты была бы значительно меньше доплеровских смещений частоты для каждой из выборок наблюдений. Предлагается использовать существенные различия в доплеровской скорости наблюдаемых объектов: медленно движущихся источников дискретных помех и быстро движущихся полезных целей. Разницу в несущих частотах или частоте повторения предлагается выбирать так, чтобы коэффициенты отражения для медленно движущейся помехи практически совпадали, а вот для полезного сигнала существенно различались. Поэтому, если для фильтрации сигналов одной выборки наблюдений использовать коэффициенты отражения другой выборки наблюдений, помеха будет компенсироваться, а полезный сигнал нет. Блок-схема предлагаемого решетчатого фильтра с перекрестным вводом коэффициентов отражения приведена на рис. 1 (где ЛЗ - цифровая линия задержки на период повторения, К - блок вычисления коэффициентов отражения, Σ - сумматоры, D - детекторы).

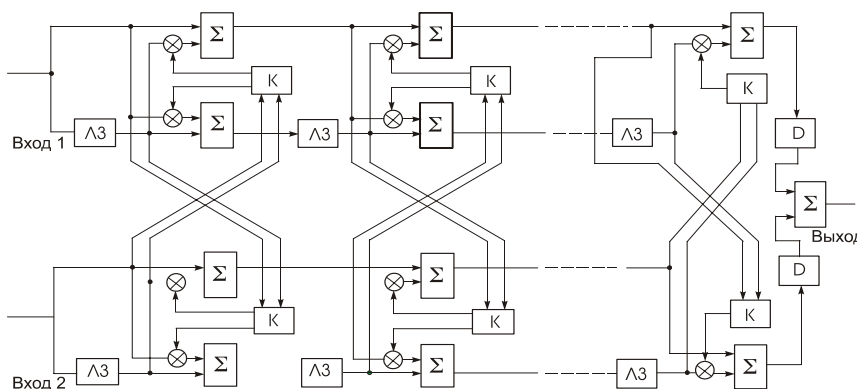


Рис. 1 Адаптивный решетчатый фильтр, работающий по неклассифицированной выборке наблюдений.

Проиллюстрируем работу предлагаемого способа на конкретном примере, прибегнув к моделированию устройства с помощью системы MATLAB [3]. Выполним фильтрацию двух выборок наблюдений на разных несущих частотах 500 МГц и 550 МГц с постоянным периодом повторения 0,001 с, задавшись параметрами полезного сигнала и двух компонентной помехи для каждой выборки наблюдений:

```
as=1;%амплитуда полезного сигнала
fs1=400;%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 наблю-
дений с несущей 500МГц
l2=300/550;%длина волны для второй выборки наблю-
дений с несущей 550МГц
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 поме-
хи, 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 мсекунд с
тактом 1мсек
% 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(2)%Спектральное представление входных сигна-
лов первого и второго частотных каналов
Z1 = fft(z1,256);% для 1канала
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 КОЭФФИЦИЕНТОВ
ОТРАЖЕНИЯ
for i = 2:p+1,%p-порядок авторегрессии
ep2 = ef2(i:N);% ef2-ошибка предсказания вперед
второго канала
em2 = eb2(i-1:N-1);
% K2 – коэффициент отражения во втором частот-
ном канале
K2(i-1) = 2 * ep2' * em2 / (ep2'*ep2 + em2'*em2);
a2 = [a2;0] - K2(i-1) * [0;flipud(a2)];
for j = N:-1:i,
ef2_old = ef2(j);
ef2(j) = ef2(j) - K2(i-1) * eb2(j-1);
eb2(j) = eb2(j-1) - K2(i-1) * ef2_old;
end
E2(i) = (1 - K2(i-1)*K2(i-1)) * E2(i-1);
End
```

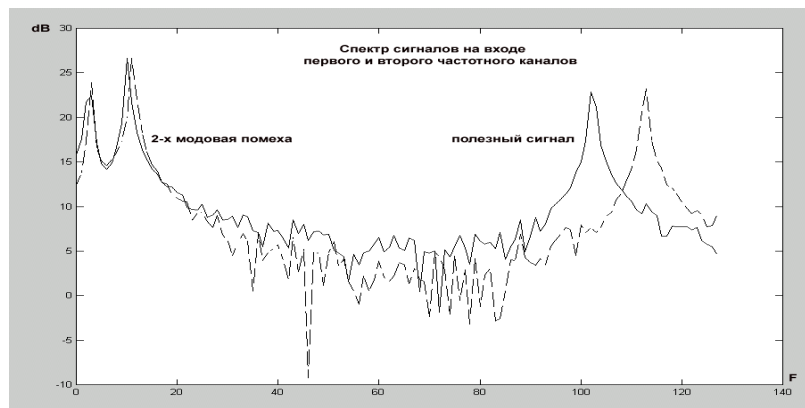


Рис.2 Спектральное представление входных сигналов первого и второго частотных каналов

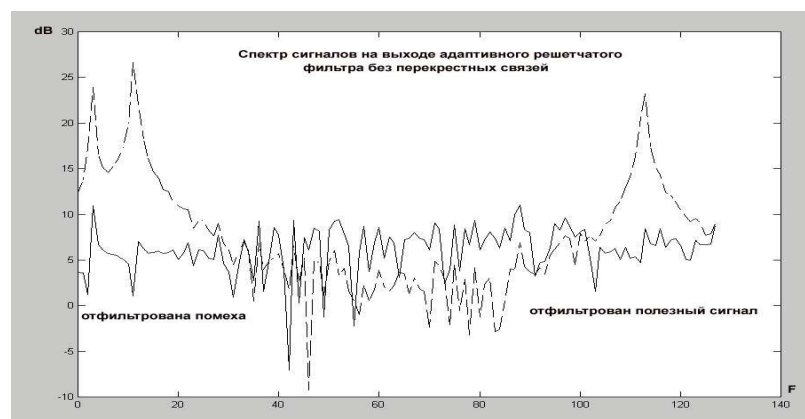
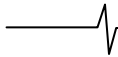


Рис.3 Спектральное представление сигналов на выходе решетчатого фильтра без перекрестных связей



На рис. 2 представлен спектр сигналов на входе решетчатого фильтра для сигналов на разных несущих частотах: спектр двухмодовой медленно движущейся коррелированной помехи практически совмещен для двух несущих частот. В то же время, спектр сигнала для быстро движущегося объекта имеет существенные различия для разных несущих частот.

figure(3) % Спектральное представление сигналов на выходе решетчатого фильтра без перекрестных связей

```
%plot(real(ef2(1:128)), 'R')
EZ2 = fft(ef2', 256); % для 2 канала
fe = 256*(0:127)/256;
plot(fe, 10*log10(abs(EZ2(1:128))), ['K', '-'])
hold on
plot(f2, 10*log10(abs(Z2(1:128))), ['K', '-'])
```

На рис. 3 представлен спектр сигналов на выходе решетчатого фильтра без перекрестных связей. Отметим, что при этом скомпенсированы как помеха, так и полезный сигнал. Показан только один частотный канал, в другом канале полезный сигнал также подавлен.

figure(4) % Спектральное представление сигналов на выходе решетчатого фильтра с перекрестными связями

```
EZ = fft(ef', 256); % для 2 канала
fe = 256*(0:127)/256;
plot(fe, 10*log10(abs(EZ(1:128))), ['K', '-'])
hold on
plot(f2, 10*log10(abs(Z1(1:128))), ['K', '-'])
```

На рис. 4 представлен спектр сигналов на выходе решетчатого фильтра с перекрестными связями. При этом, как видно из рисунка, помеха скомпенсирована, а полезный сигнал сохранен.

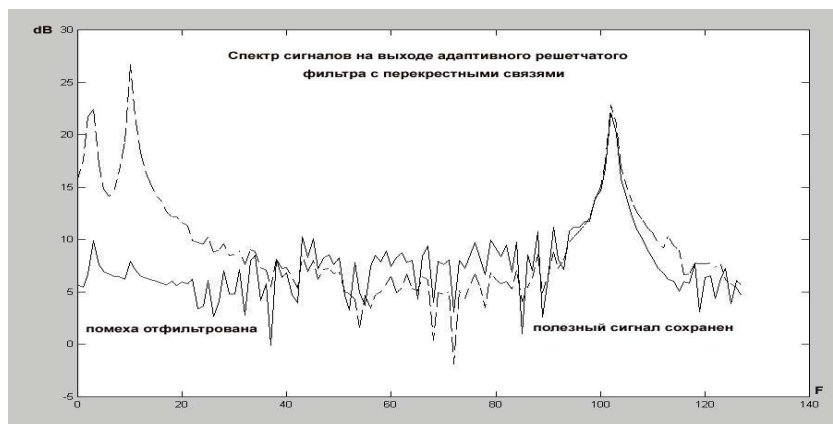


Рис. 4 Спектральное представление сигналов на выходе решетчатого фильтра с перекрестными связями

```
%ПЕРЕКРЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
КОЭФФИЦИЕНТОВ ОТРАЖЕНИЯ
for i = 2:p+1,
    ep = ef(i:N); ef-ошибка предсказания вперед первого
    канала
    em = eb(i-1:N-1);
    K(i-1) = 2 * ep' * em / (ep'*ep + em'*em);
    a = [a;0] - K(i-1) * [0;flipud(a)];
% ПЕРЕКРЕСТНЫЙ ВВОД КОЭФФИЦИЕНТА
ОТРАЖЕНИЯ ВТОРОГО КАНАЛА K2
% ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ОШИБКИ
ПРЕДСКАЗАНИЯ ef ПЕРВОГО КАНАЛА
for j = N:-1:i,
    ef_old = ef(j);
    ef(j) = ef(j) - K2(i-1) * eb(j-1);
    eb(j) = eb(j-1) - K2(i-1) * ef_old;
end
E(i) = (1 - K(i-1))*K(i-1) * E(i-1);
End
```

Аналогичным образом можно показать работу предложенного способа при использовании вобуляции периода повторения импульсов от пачки к пачке. Главный вывод - проведенное исследование в системе MATLAB полностью подтверждает положительный эффект от применения предложенного способа фильтрации дискретных помех по неклассифицированной выборке наблюдений.

Литература

1. Haykin S., Currie B., Kesler S. "Maximum Entropy spectral analysis of radar clutter", Proc. IEEE Trans.vol.70, September 1982, pp.953-962.
2. Barbarossa B., Picardi G. "Predictive Adaptive Moving Target Indicator", Signal Processing, №10, 1986, pp.83-97.
3. Потемкин В.Г. "Справочник по MATLAB" Анализ и обработка данных.
<http://matlab.exponenta.ru/ml/book2/chapter8/>