

## Академику Кобзареву Ю.Б. в год его 110-летия посвящается

УДК 621.396.96

### ДВА СПОСОБА ОБЪЕДИНЕНИЯ КАНАЛОВ В МНОГОКАНАЛЬНЫХ ОБНАРУЖИТЕЛЯХ

*Бартенев В.Г., д.т.н., старший научный сотрудник, профессор кафедры теоретической радиотехники и радиофизики ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет информационных технологий, радиотехники и электроники» (МИРЭА), e-mail: syntaltechno@mail.ru;*

*Бартенев М.В., аспирант ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет информационных технологий, радиотехники и электроники» (МИРЭА), специалист в области программируемой цифровой обработки сигналов, e-mail: bartenev@gmail.com.*

### THE COMPARATIVE ANALYSIS OF TWO METHODS IN COMBINING SIGNALS IN MULTICHANNEL SYSTEMS

*Bartenev V.G., Bartenev M.V.*

*The article devoted to the comparative analysis of two methods in combining signals in multichannel systems. It was shown, using analytical approach and MATLAB model verification, that in the simple case the maximum detection method preferable. Using non coherent integration in each channel make both maximum and minimum methods equivalent. If after non coherent integration was used the adaptive constant false alarm rate device the minimum detection method become more affective for low detection probabilities.*

**Key words:** multichannel detection systems, combining signals with minimum and maximum selection, probability characteristic of detection.

**Ключевые слова:** Многоканальные обнаружители, объединение каналов с максимальным и минимальным отбором, характеристики обнаружения.

#### Введение

Во многих радиотехнических системах широко применяется многоканальная обработка. В частности, в радиолокации при построении обнаружителей движущихся целей для повышения их эффективности используются как многоканальные доплеровские фильтры, так и многоканальные режекторные фильтры. При этом, если в многоканальных доплеровских фильтрах сигнал от цели может появиться в одном из доплеровских каналов, то в многоканальных режекторных фильтрах цель попадает во все каналы, так как зона прозрачности по скорости у них совпадает. В этой связи в многоканальных доплеровских фильтрах используют для объединения каналов отбор по максимуму [1]. В многоканальных же режекторных фильтрах в [2] предложено осуществлять объединение каналов с отбором по минимуму. Представляет интерес сравнить эффективность этих двух способов объединения каналов применительно к многоканальной обработке. Без уменьшения общности подхода к решению данной задачи сравнение эффективности двух способов объединения каналов производилось после детектирования сигналов. Поэтому тип и эффективность многоканальных доплеровских или режекторных фильтров в каждом канале в данном исследовании не рассматривались. Кроме того предполагалось, что на входе

*Проведен сравнительный анализ эффективности двух способов объединения каналов с отбором по максимуму и по минимуму. Достоверно показано, используя как аналитический подход, так и для верификации моделирование в MATLAB, что схема отбора по минимуму уступает по эффективности схеме отбора по максимуму. Применение некогерентного накопления до схемы объединения каналов приводит к выравниванию эффективности схем максимального и минимального отбора. Нормирование сигналов после некогерентного накопления может дать преимущество по эффективности схеме с отбором по минимуму.*

схем отбора по минимуму или по максимуму в каждом канале детекторы осуществляли выделение квадратов огибающих каждой из квадратурных составляющих и их суммирование. Причем в каждой квадратуре на входе детекторов действовал гауссов шум с нулевым средним и единичной дисперсией. Шум в каналах был независимым. Полезные сигналы во всех каналах имели одинаковую случайную флюктуирующую амплитуду и были также независимы.

#### Вероятность ложной тревоги для схемы с отбором по максимуму и по минимуму

С учетом данных предположений и проделанных необходимых функциональных преобразований на выходе  $N$  канальной схемы с отбором по максимуму для вероятности ложной тревоги  $F$  было получено следующее выражение

$$F_{\max} = 1 - (1 - e^{-L_{\max}/2})^N,$$

а с отбором по минимуму

$F_{\min} = e^{-L_{\min} N / 2}$ , где  $L_{\max}$  – пороги для схемы с отбором по максимуму,  $L_{\min}$  – пороги для схемы с отбором по минимуму.

В табл. 1 приведены пороги для вероятностей ложных тревог для разного числа каналов  $N = 2$  и  $N = 8$ .

Таблица 1

$F / N$	2 MAX/MIN	8 MAX/MIN
$10^{-1}$	5.93/2.30	8.67 /0.57
$10^{-5}$	24.41 /11.51	27.18 /2.87

### Вероятность правильного обнаружения для схемы с отбором по максимуму и по минимуму

С учетом предположений о флюктуирующем сигнале и проделанных необходимых функциональных преобразованиях на выходе  $N$  канальной схемы с отбором по максимуму вероятность правильного обнаружения может быть представлена формулой [1]:

$$D_{\max} = 1 - (1 - e^{-L_{\max} / 2(1+q^2)})^N,$$

где  $q$  – отношение сигнал/шум в каждом канале.

Для схемы с отбором по минимуму

$$D_{\min} = e^{-(L_{\min} / 2(1+q^2))^N}.$$

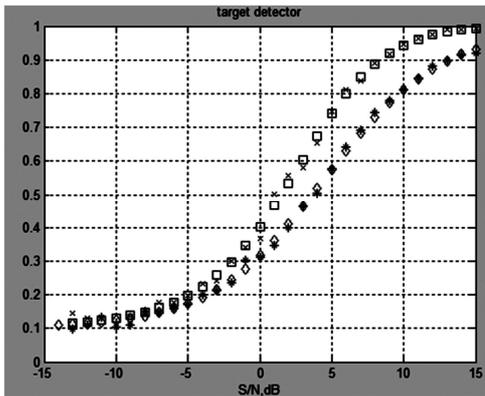


Рис. 1. Характеристики обнаружения двухканальной схемы с отбором по максимуму (крестики – моделирование, квадратики аналитика) и с отбором по минимуму (звездочки – моделирование, ромбики – аналитика) для  $F=0,1$

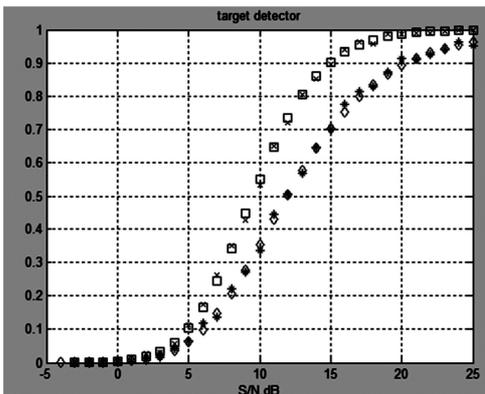


Рис. 2. Характеристики обнаружения двухканальной схемы с отбором по максимуму (крестики – моделирование, квадратики аналитика) и с отбором по минимуму (звездочки – моделирование, ромбики – аналитика) для  $F=0,00001$

Для верификации полученных формул было проведено моделирование двух и восьми канальных систем с

отбором по максимуму и минимуму для вероятности ложной тревоги 0,1 и 0,00001. Результаты моделирования и аналитических расчетов представлены в виде характеристик обнаружения на рис. 1 и 3 ( $F = 0,1$ ;  $N = 2$  и 8) и рис. 2 и 4 ( $F = 0,00001$ ;  $N = 2$  и 8).

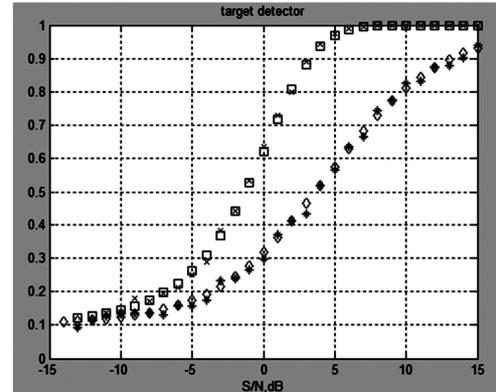


Рис. 3. Характеристики обнаружения восьмиканальной схемы с отбором по максимуму (крестики – моделирование, квадратики аналитика) и с отбором по минимуму (звездочки – моделирование, ромбики – аналитика) для  $F=0,1$

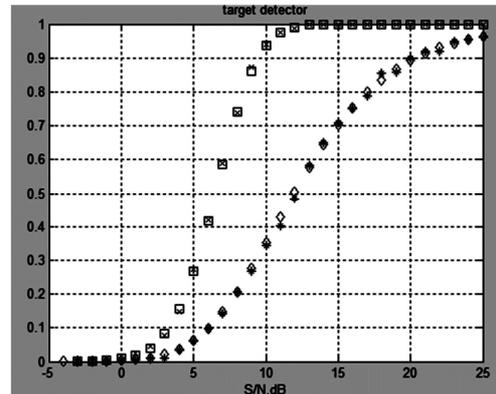


Рис. 4. Характеристики обнаружения восьмиканальной схемы с отбором по максимуму (крестики – моделирование, квадратики аналитика) и с отбором по минимуму (звездочки – моделирование, ромбики – аналитика) для  $F=0,00001$

### Влияние некогерентного накопления в каждом канале до их объединения

Несколько усложним задачу, добавив некогерентное накопление в каждый канал после детекторов перед схемой объединения по минимуму или по максимуму. В этом случае на выходе  $N$  канальной схемы с отбором по максимуму вероятность ложной тревоги и вероятность правильного обнаружения может быть представлены формулами, соответственно

$$F_{\max} = 1 - (G(L_{\max}, NK, 2))^N,$$

где  $NK$  – число некогерентно накапливаемых импульсов,  $G()$  – гамма распределение.

$$D_{\max} = 1 - (1 - G(L_{\max} / (1+q)^2, NK, 2))^N$$

Для схемы с отбором по минимуму вероятность ложной тревоги и вероятность правильного обнаружения имеют вид

$$F_{\min} = (1 - G(L_{\min}, NK, 2))^N,$$

$$D_{\min} = (1 - (1 - G(L_{\min} / (1 + q)^2, NK, 2))^N).$$

Таблица 2

$F / N=NK$	2 MAX/MIN	8 MAX/MIN
$10^{-1}$	9.39/4.72	31.07 /11.9
$10^{-5}$	29.95/15.89	57.73/19.63

Для верификации полученных формул было проведено моделирование двух и восьми канальных систем для не когерентно накапливаемых 2 и 8 импульсов с отбором по максимуму и минимуму для вероятности ложной тревоги 0,1 и 0,00001. Результаты моделирования и аналитических расчетов представлены в виде характеристик обнаружения на рис. 5 и 7 ( $F = 0,1$ ;  $N = NK = 2$  и 8) и рис.6 и 8 ( $F = 0,00001$ ;  $N = NK = 2$  и 8).

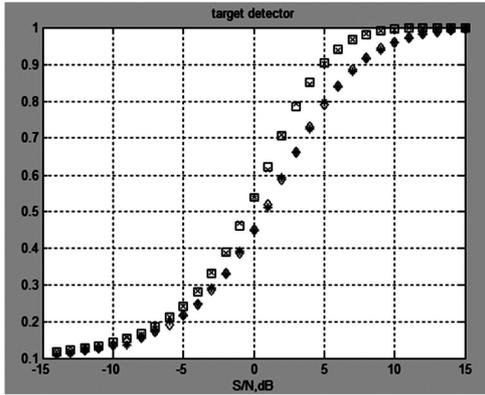


Рис. 5. Характеристики обнаружения двухканальной схемы с отбором по максимуму (крестики – моделирование, квадратики аналитика) и с отбором по минимуму (звездочки – моделирование, ромбики - аналитика) для  $F = 0,1$  и двух импульсов некогерентного накопления

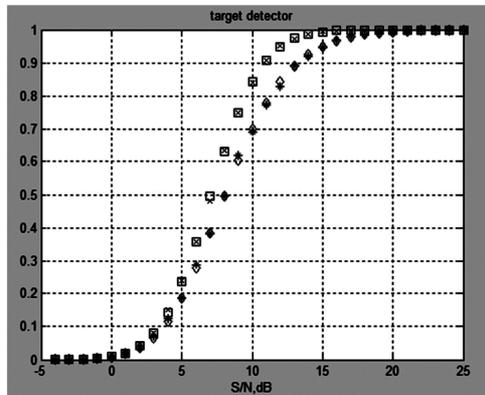


Рис. 6. Характеристики обнаружения двухканальной схемы с отбором по максимуму (крестики – моделирование, квадратики аналитика) и с отбором по минимуму (звездочки – моделирование, ромбики – аналитика) для  $F=0,00001$  и двух импульсов некогерентного накопления

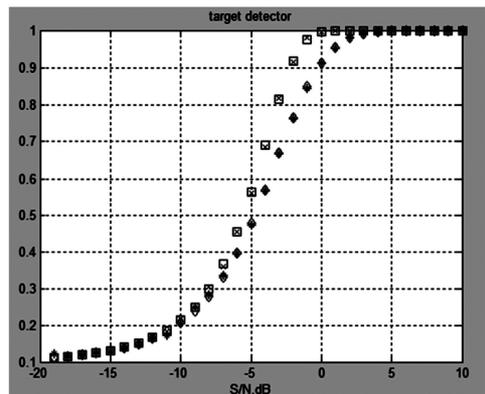


Рис. 7. Характеристики обнаружения восьмиканальной схемы с отбором по максимуму (крестики – моделирование, квадратики аналитика) и с отбором по минимуму (звездочки – моделирование, ромбики – аналитика) для  $F = 0,1$  и восьми импульсов некогерентного накопления

В табл. 2 приведены пороги для вероятностей ложных тревог для разного числа каналов и накапливаемых импульсов  $N = NK = 2$  и  $N = NK = 8$ .

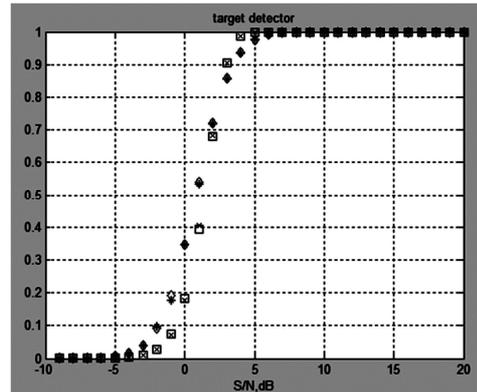


Рис. 8. Характеристики обнаружения восьмиканальной схемы с отбором по максимуму (крестики – моделирование, квадратики аналитика) и с отбором по минимуму (звездочки – моделирование, ромбики - аналитика) для  $F = 0,00001$  и восьми импульсов некогерентного накопления

**Влияние некогерентного накопления и нормировки сигналов в каждом канале до их объединения**

Еще более усложним задачу, добавив после детекторов кроме некогерентного накопления еще нормировку сигнала, которая используется для стабилизации вероятности ложной тревоги в каждом канале перед схемой объединения по минимуму или по максимуму. В этом случае на выходе  $N$  канальной схемы с отбором по максимуму вероятность ложной тревоги и вероятность правильного обнаружения может быть представлены формулами, соответственно

$$F_{\max} = 1 - \left\{ 1 - \sum_{j=0}^{NK-1} \frac{L_{\max}^j \Gamma(NK * NN + j)}{\Gamma(j+1) \Gamma(NK * NN) (1 + L_{\max})^{(NK * NN + j)}} \right\}^N,$$

где  $NK$  – число не когерентно накапливаемых импульсов,  $NN$  – число усредняемых дискрет дальности в нормировщике,  $N$  – число каналов,  $\Gamma()$  – гамма функция.

$$D_{\max} = 1 - \left\{ 1 - \sum_{j=0}^{NK-1} \frac{L_{\max}^j / (1 + q^2) \Gamma(NK * NN + j)}{\Gamma(j+1) \Gamma(NK * NN) (1 + L_{\max} / (1 + q^2))^{(NK * NN + j)}} \right\}^N,$$

где  $q$  – отношение сигнал/шум.

Для схемы с отбором по минимуму вероятность ложной тревоги и вероятность правильного обнаружения имеют вид

$$F_{\min} = \left\{ \sum_{j=0}^{NK-1} \frac{L_{\min}^j \Gamma(NK * NN + j)}{\Gamma(j+1) \Gamma(NK * NN) (1 + L_{\min})^{(NK * NN + j)}} \right\}^N,$$

$$D_{\min} = \left\{ \sum_{j=0}^{NK-1} \frac{L_{\min}^j / (1+q^2) \Gamma(NK * NN + j)}{\Gamma(j+1) \Gamma(NK * NN) (1+L_{\min} / (1+q^2))^{(NK * NN + j)}} \right\}^N.$$

В табл. 3 приведены пороги для вероятностей ложных тревог для 8 каналов 8 накапливаемых импульсов и 8 дискрет дальности в нормировщике.

Таблица 3

$F/N=NK=NN=8$	MAX/MIN
$10^{-1}$	0.259/0.091
$10^{-5}$	0.535/0.157

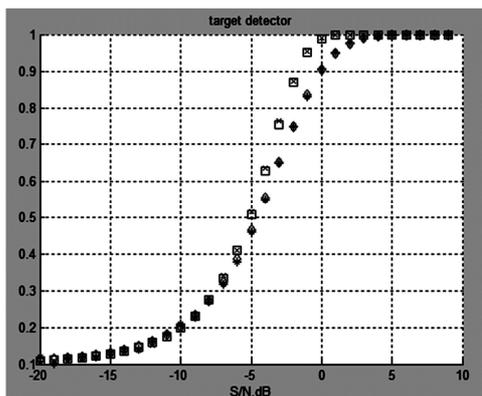


Рис. 9. Характеристики обнаружения для  $F=0,1$  восьмиканальной схемы с отбором по максимуму (крестики – моделирование, квадратики аналитика) и с отбором по минимуму (звездочки – моделирование, ромбики – аналитика) для 8 импульсов некогерентного накопления и 8 усредняемых дискрет в нормировщике.

Для верификации полученных формул было проведено моделирование восьми канальных систем для не

F /dB	$N=8$ MAX/MIN	$N=NK=8$ MAX/MIN	$N=NK=NN=8$ MAX/MIN
$10^{-1}$	2/4	-4/-5	-4/-5
$10^{-5}$	7/12	1,25/1,25	2,5/1,5

### Заключение

Анализ эффективности двух вариантов реализации объединения каналов по максимуму и по минимуму показал, что сразу после квадратичного детектирования при любом числе каналов предпочтение следует отдавать схеме с отбором по максимуму. При этом потери в пороговом сигнале для схемы возрастают с увеличением числа объединяемых каналов. В частности, для 8 каналов и вероятности ложной тревоги 0,00001 потери в пороговом сигнале для вероятности правильного обнаружения 0,9 составляют 12 дБ. Если же после детектирования используется некогерентное накопление, нормализующее распределение в каждом канале до схем объединения каналов, происходит выравнивание эффективности отбора по максимуму и по минимуму.

когерентно накапливаемых 8 импульсов и с усреднением в нормировщике 8 дискрет с отбором по максимуму и минимуму для вероятности ложной тревоги 0,1 и 0,00001. Результаты моделирования и аналитических расчетов представлены в виде характеристик обнаружения на рис.9 ( $F=0,1$ ;  $N=NK=NN=8$ ) и на рис.10 ( $F=0,00001$ ;  $N=NK=NN=8$ ).

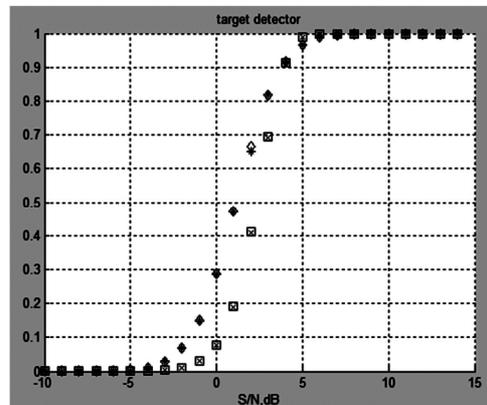


Рис. 10. Характеристики обнаружения для  $F=0,00001$  восьмиканальной схемы с отбором по максимуму (крестики – моделирование, квадратики аналитика) и с отбором по минимуму (звездочки – моделирование, ромбики – аналитика) для 8 импульсов некогерентного накопления и 8 усредняемых дискрет в нормировщике

В табл. 4 сведены воедино значения порогового сигнала для вероятности правильного обнаружения 0,5 и вероятностей ложной тревоги 0,1 и 0,00001 для трех типов рассмотренных многоканальных систем с объединением по максимуму и минимуму.

Таблица 4

Введение дополнительно нормирования сигналов для целей стабилизации ложных тревог после некогерентного накопления искажает вид распределения в каждом канале, что приводит к преимуществу по эффективности отбора по минимуму, особенно для малых вероятностей ложных тревог и малых вероятностей правильного обнаружения.

### Литература

1. Бартенев В.Г. Эффективность объединения квадратурных каналов // Современная электроника. 2010. Вып. 2, с. 78-79.
2. Рындык А.Г., Рябков А.П., Ястребов В.Д. Многоканальный режекторный фильтр с отбором по минимуму // Известия вузов России. Радиоэлектроника. 2012. Вып. 4, с. 81-85.