

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБНАРУЖЕНИЯ КОРОТКИХ РАДИОИМПУЛЬСОВ В АКУСТООПТИЧЕСКОМ СПЕКТРОАНАЛИЗАТОРЕ

д.т.н., проф. А.И. Стрелков, к.т.н. А.А. Копылов, В.В. Коротков

Показано, что наблюдаемый выигрыш соотношения сигнал/шум при пространственно-временной обработке сигнала оптического датчика в режиме наблюдения слабых коротких радиоимпульсов не является корректным критерием оценки эффективности работы акустооптического спектроанализатора, так как одновременно с возрастанием вероятности правильного обнаружения слабого сигнала возрастает вероятность ложной тревоги. Для стабилизации вероятности ложной тревоги предложено одновременно с изменением ширины пространственной импульсной характеристики схемы обработки изменять значение порога в схеме обнаружителя.

Пространственно-временная обработка сигнала линейного массива фоточувствительных элементов в канале акустооптического спектроанализатора приводит к возрастанию соотношения сигнал/шум [1]. При обнаружении сильного радиосигнала можно считать справедливым, что законами распределения Гаусса описываются как шум

$$w_{ш}(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{ш}^2}} e^{-\frac{(u-\bar{u}_{ш})^2}{2\sigma_{ш}^2}},$$

так и аддитивная смесь шума с сигналом

$$w_{шс}(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{шс}^2}} e^{-\frac{(u-\bar{u}_{шс})^2}{2\sigma_{шс}^2}},$$

где $\bar{u}_{ш}$, $\sigma_{ш}^2$, $\bar{u}_{шс}$, $\sigma_{шс}^2$ – соответственно средние значения и дисперсии шума и смеси сигнала с шумом.

Возрастание соотношения сигнал/шум $q = \frac{\bar{u}_с}{\sigma_{шс}}$ после пространственно-временной обработки приводит к улучшению вероятностных характеристик обнаружения из-за уменьшения дисперсии законов рас-

пределения $\hat{w}_{ш}(u)$ шума и $\hat{w}_{шс}(u)$ смеси сигнала с шумом. При этом возрастает как вероятность правильного обнаружения $D = \int_{U_{п}}^{\infty} \hat{w}_{шс}(u) du$ известного сигнала, так и уменьшается вероятность ложной тревоги $F = \int_{U_{п}}^{\infty} \hat{w}_{ш}(u) du$, где $U_{п}$ – порог обнаружителя.

Распределение плотностей вероятности шума и сигнала с шумом до обработки и после обработки, а также порог обнаружителя показаны на рис. 1.

$w(u)$

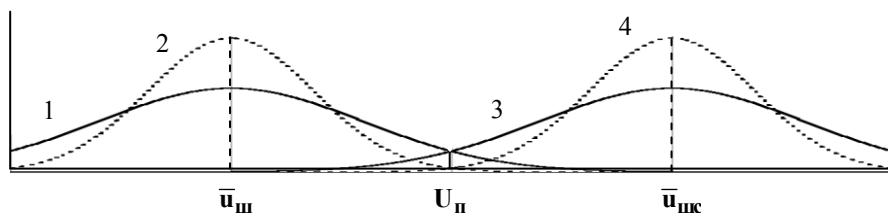


Рис. 1. Распределение плотностей вероятности:

- 1 – гауссового шума до обработки;
- 2 – гауссового шума после обработки;
- 3 – детерминированного сигнала с гауссовым шумом до обработки;
- 4 – детерминированного сигнала с гауссовым шумом после обработки

Однако в режиме наблюдения слабых коротких радиоимпульсов акустооптическим спектроанализатором законы распределения шума и шума с сигналом нельзя считать гауссовыми. Сигнал очень слаб, переносится фотонами – квантами света, и может принимать только положительные значения. Этот случай фотонного шума лучше описывает статистическая модель с законом распределения Пуассона [2]:

$$w(N_v) = e^{-\bar{N}_v} \frac{\bar{N}_v^{N_v}}{N_v!},$$

где N_v – число актов излучения фотонов; \bar{N}_v – среднее число актов излучения в единицу времени.

Из сравнения закона распределения Пуассона и закона распределения Гаусса при одинаковых математических ожиданиях и дисперсиях (рис. 2) следует, что неучет боковых «ветвей» распределения Пуассона может привести к значительно большей вероятности ложной тревоги,

чем неучет боковых «ветвей» распределения Гаусса.

Таким образом, при регистрации слабых сигналов неучёт «ветвей» распределения приводит к ошибкам в оценках вероятности ложной тревоги на несколько порядков, что и наблюдалось на практике при создании низкоуровневых телевизионных систем. Современные датчики оптического сигнала имеют десятки тысяч фоточувствительных элементов в строке с частотой следования строк в десятки килогерц, что приводит к информационному потоку $10^7 - 10^8$ отсчётов в секунду. Ошибка на несколько порядков в оценках вероятности ложной тревоги приведет к появлению от десятков до тысяч ложных тревог в секунду, что практически приведет к невозможности использования системы по назначению.

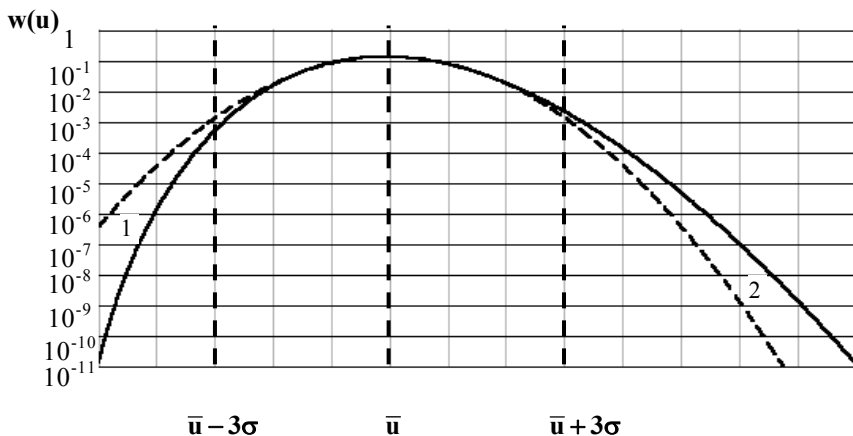


Рис. 2. Сравнение закона распределения Гаусса и закона распределения Пуассона:

- 1 – боковые «ветви» распределения Гаусса;
- 2 – боковые «ветви» распределения Пуассона

Следовательно, очень важным требованием при создании современных акустооптических спектроанализаторов становится требование стабилизации вероятности ложной тревоги. Перестройка цифрового фильтра, представляющего собой устройство обработки сигнала, предложенного в [1], приводит к изменению «ветвей» распределения и дестабилизации вероятности ложной тревоги при сохранении прежнего уровня порога обнаружителя. Поэтому одновременно с изменением ширины импульсной характеристики необходимо соответствующим образом изменить порог обнаружителя.

Следует обратить внимание, что закон распределения Пуассона на самом деле лишь приближенно описывает реальную ситуацию, так как, во-первых, «ветви» распределения не могут на практике достигать бес-

конечно больших величин сигнала, а, во-вторых, пуассоновский процесс описывает некоррелированные события, в то время как шумовые фотоны могут быть коррелированы из-за эффекта вынужденного излучения.

Точное теоретическое описание статистического закона распределения смеси сигнала и шума как до, так и тем более после обработки сигнала сложно. Поэтому разработчикам аппаратуры необходимо для стабилизации вероятности ложной тревоги экспериментально по заданной вероятности ложной тревоги определить соответствие уровня порога обнаружителя и ширины импульсной характеристики устройства обработки и установить их значения в электронной таблице настроек, которую можно использовать в процессе обнаружения радиоимпульсов. Для этого может быть предложена следующая методика:

1. Излучение лазера в акустооптическом спектроанализаторе на время предварительного заполнения электронной таблицы настроек выключается.

2. Устанавливается минимальная ширина импульсной характеристики устройства обработки – (количество суммируемых в скользящем окне отсчётов, последовательно поступающих с датчика оптического сигнала, равно единице).

3. Устанавливается уровень порога обнаружителя, приводящий к отдельным ложным срабатываниям обнаружителя.

4. Оценивается вероятность ложной тревоги путем подсчёта среднего числа ложных срабатываний в единицу времени и отношения их числа к общему числу отсчётов в единицу времени.

5. Если вероятность ложной тревоги превышает заданную, то уровень порога обнаружителя увеличивается до тех пор, пока не будет достигнута заданная вероятность ложной тревоги. Данные о значении ширины импульсной характеристики и уровня порога заносятся в электронную таблицу настроек.

6. Последовательно на один отсчёт увеличивается ширина импульсной характеристики эквивалентного цифрового фильтра, и повторяются пункты 3 – 5 методики.

7. До тех пор, пока максимально допустимая ширина импульсной характеристики не будет достигнута, повторяется пункт 6 методики. После достижения максимально допустимой ширины импульсной характеристики эквивалентного цифрового фильтра электронная таблица настроек считается полностью заполненной и эти данные можно использовать в процессе работы акустооптического спектроанализатора.

8. Для проверки влияния паразитных засветок при переотражениях лазерного сигнала на уровень вероятности ложной тревоги включается излучение лазера в акустооптическом спектроанализаторе, но радиосигнал для анализа не подаётся, а еще раз выполняются пункты методики 2 – 7. Если добиться совпадения значений электронных таблиц настроек без лазерного излучения и с лазерным излучением не удаётся, то в дальнейшем

используется в процессе работы акустооптического спектроанализатора электронная таблица настроек с включённым лазерным излучением.

После оценки и настройки вероятности ложной тревоги рекомендуется экспериментально оценить вероятность правильного обнаружения короткого радиоимпульса требуемой длительности и мощности, подаваемого на вход акустооптического спектроанализатора. Для этого следует среднее число правильных срабатываний в единицу времени делить на среднее число строк, формируемых датчиком в единицу времени.

Выводы:

1. Соотношение сигнал/шум при пространственно-временной обработке сигнала оптического датчика в режиме наблюдения слабых коротких радиоимпульсов не является корректным критерием оценки эффективности работы акустооптического спектроанализатора, так как одновременно с увеличением вероятности правильного обнаружения возрастает вероятность ложной тревоги.

2. Для стабилизации вероятности ложной тревоги необходимо одновременно с изменением ширины пространственной импульсной характеристики схемы обработки изменять значение порога в схеме обнаружителя в соответствии с данными экспериментальной настройки.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Стрелков А.И., Копылов А.А., Коротков В.В. Особенности обработки сигнала оптического датчика акустооптического спектроанализатора в режиме наблюдения коротких радиоимпульсов // Системы обработки информации. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2002. – Вып. 3(19). – С. 162 - 171.*
2. *Мирошников М.М. Теоретические основы оптико-электронных приборов. – Л.: Машиностроение, 1983. – 477 с.*

Поступила 22.08.2002

***Стрелков Александр Иванович**, доктор техн. наук, профессор, главный научный сотрудник научного центра при ХВУ. В 1965 году окончил ВИРТА ПВО. Области научных интересов – квантовая электроника, прикладная оптика, оптико-электронные средства в статистической обработке оптических сигналов.*

***Копылов Александр Алексеевич**, канд. техн. наук, начальник НИЛ научного центра при ХВУ. В 1982 году окончил радиофизический факультет ХГУ. Области научных интересов – оптико-электронные системы, оптические информационные технологии.*

***Коротков Вячеслав Валентинович**, сотрудник СКТЬ РТП «Топаз» (г. Донецк). Область научных интересов – статистическая обработка оптических сигналов радиотехнических систем.*