

Специфика прецизионных телевизионных систем обнаружения

В. Н. Малышев

Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина)
vm@ieee.org

В. А. Рогачев

ВКА им. Можайского, ГУТ им. Бонч-Бруевича
rogachevv50@gmail.com

А. К. Цыцулин

НИИ телевидения
tsytsulin@niit.ru

А. И. Бобровский

«ГосНИИПП»
albob@mail.ru

Аннотация. Определена классификация режимов работы прецизионных телевизионных систем. Сформулирован полный класс необходимых алгоритмов обнаружения.

Ключевые слова: классификация режимов работы телевизионной системы; алгоритмы обнаружения; режим ограничения фоном

I. ВВЕДЕНИЕ

Основной характеристикой систем обнаружения является вероятность правильного обнаружения. Эта характеристика в существенной мере зависит от параметров системы, уровня сигнала, условий наблюдения и шумов. В прецизионных телевизионных системах обнаружения выделяют несколько типов шума: внутренние (темновые), фоновые и «сигнальные шумы», отражающие наличие случайной составляющей полезного сигнала [1, 2].

Полезный сигнал в зависимости от рассматриваемой задачи, также может быть разным. В общем случае полезный сигнал может быть векторным и иметь как детерминированную, так и случайную составляющие [1, 2]. Детерминированная составляющая полезного сигнала может быть полностью известна, а может содержать неизвестные параметры. Случайная составляющая полезного сигнала может быть трактована двояко, с одной стороны, как часть полезного сигнала, несущая информацию, а с другой стороны как шум, искажающий полезную информацию.

Известные результаты для различных систем обнаружения [3–8], оставляют открытым вопрос о возможном количестве алгоритмов обнаружения в прецизионных телевизионных системах, работающих в условиях воздействия нескольких источников шума и фона.

II. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В телевизионных системах можно выделить три составляющих сигнала: полезный сигнал, внутренняя (темновая) помеха, внешняя помеха. Эти составляющие в свою очередь имеют по две компоненты:

- полезный сигнал включает постоянную (сохраняющую свое неизвестное значение в течении времени наблюдения) и случайную («сигнальные шумы») составляющие;
- внутренняя помеха включает внутренний (темновой) ток и темновые шумы;
- внешняя помеха включает внешний (фоновый) ток и фоновые шумы.

Минимальный обнаруживаемый (пороговый) сигнал ограничивается шумами [9]. С учетом этого, обычно выделяют:

- режим ограничения темновым (внутренним, тепловым) шумом [9];
- режим ограничения фоновым шумом [9];
- режим ограничения «сигнальным шумом» [10].

При этом неявно подразумевается, что полезный сигнал имеет только одну составляющую и моделируется детерминированной функцией с параметрической неопределенностью.

Наличие трех типов шумов обуславливает несколько их возможных сочетаний:

1. «сигнальные шумы», случайный сигнал ξ_s ;
2. темновые шумы ξ_d ;
3. фоновые шумы ξ_b ;

4. темновые и фоновые шумы $\xi_d + \xi_b$;
5. «сигнальные шумы» и темновые шумы $\xi_s + \xi_d$;
6. «сигнальные шумы» и фоновые шумы $\xi_s + \xi_b$;
7. «сигнальные шумы», темновые шумы и фоновые шумы $\xi_s + \xi_d + \xi_b$.

При этом, дисперсия фонового шума пропорциональна фоновому току $D\{\xi_b\}=ab$, а дисперсия «сигнального шума» пропорциональна сигналу $D\{\xi_s\}=as$, где: a – коэффициент пропорциональности, зависящий от типа фотоприемника, b – фоновый ток, а s – ток сигнала.

Дисперсия темнового тока σ^2 не зависит от постоянной составляющей темнового тока d .

В этой смеси сигналов и шумов, можно выделить доминантные компоненты, представляющие особый интерес для конкретного исследования.

Доминантная компонента порогового сигнала, может быть трех видов [1, 2, 7, 8]:

1. детерминированный полезный сигнал s ;
2. случайный полезный сигнал as ;
3. совместное наличие детерминированной и случайной составляющей s, as .

Следовательно, при рассмотрении типов пороговых сигналов необходимо рассматривать ограничение определенного вида сигнала определенным типом шумов. Для каждого из трех видов порогового полезного сигнала существует 7 типов шумов.

Объединим все возможные ситуации по обработке полезного сигнала в одной таблице (табл. 1). При этом учтем, что, как правило, обе составляющих помехи присутствуют совместно.

ТАБЛИЦА I Возможные сочетания видов полезного сигнала и различных типов шумов

№	Вид	Сигнал	Шум	Помеха	Ограничение
1	I	s	$\xi_s + \xi_d + \xi_b$	$d+b$	ПС-СТФШ
2	II	as	$\xi_s + \xi_d + \xi_b$	$d+b$	ПС-СТФШ
3	III	s, as	$\xi_s + \xi_d + \xi_b$	$d+b$	ПС-СТФШ

Эта таблица охватывают все возможные сочетания полезного сигнала и шумов в прецизионных телевизионных системах, имеющих сигнал и две помехи, содержащие постоянную и случайные составляющие. Всего возможно 21 различное сочетание. Таким образом, определена классификация возможных режимов работы

прецизионных телевизионных систем. Критерием классификации послужили виды полезного сигнала и типы шумов в прецизионных телевизионных системах.

Для описания различного рода сигналов традиционно применяется нормальное (гауссовское) распределение [1–14].

Рассмотрим полученную классификация при условии нормального распределения сигналов и гипотезах о наличии H_1 и отсутствии сигнала H_0 .

Наличие мешающего параметра – фона – обуславливает применение «двухвыборочной» схемы, в которой одна из выборок не содержит сигнал (область кадра или кадр без сигнала – опорная, обучающая выборка) объемом M , а другая содержит (область кадра или кадры с сигналом) объемом N .

ТАБЛИЦА II Возможные сочетания сигналов и шумов при проверке гипотезы о наличии полезного сигнала и нормальном распределении

№	Вид	Сигнал	H_0	H_1	Помеха
1	I	s	$x \sim N(d+b, \sigma^2+ab)$	$y \sim N(s+d+b, \sigma^2+ab+as)$	$d+b$
2	II	as	$x \sim N(d+b, \sigma^2+ab)$	$y \sim N(d+b, \sigma^2+ab+as)$	$d+b$
2	III	s, as	$x \sim N(d+b, \sigma^2+ab)$	$y \sim N(s+d+b, \sigma^2+ab+as)$	$d+b$

Определим статистики, применяемые для принятия решений о наличии или отсутствии полезного сигнала в рассмотренных ранее условиях.

При проверке гипотез, полагаем, что полезный сигнал имеет неизвестные параметры – его детерминированная составляющая, имеет постоянное неизвестное значение за время выборки, а дисперсия его случайной составляющей также постоянна и неизвестна. Фоновая помеха и темновой ток, в данном случае являются мешающими параметрами и их значения также неизвестны.

В такой постановке, задача отличается от известных подходов, в которых решалась задача проверки гипотез при полностью определенных параметрах сигналов и шумов [7, 8].

Наличие мешающих параметров распределения заставляет применять дополнительные методы, такие как, инвариантность и несмещенность, для устранения влияния этих параметров [3, 4, 12, 13].

Также поместим в эту таблицу математические ожидания рассматриваемых статистик, представляющих обобщенное отношение сигнал-шум.

ТАБЛИЦА III Используемые статистики при проверке гипотезы о наличии полезного сигнала и нормальном распределении

№	Вид	Сигнал	Статистика	Распределение	Сигнал/шум
1	I	s	Стьюдента	Н. Ц. Стьюдента	$s/(\sigma^2+ab+as)$
2	II	as	Фишера	Ц. Фишера	$(\sigma^2+ab+as)/(ab+as)$
3	III	s, as	М. Фишера	Н. Ц. Фишера	$(s^2+as)/(\sigma^2+ab)$
			Н. Ц. Фишера	Д. Н. Ц. Фишера	$[(s+b)^2+ab+as]/(b^2+ab)$

Проверка гипотезы о наличии постоянного полезного сигнала осуществляется на основе статистики Стьюдента [11, 14]. Числитель этой статистики равен полезному сигналу, а знаменатель равен с.к.о. соответствующих шумов.

$$t = \left[(\bar{y} - \bar{x}) \right] / \sqrt{\left[\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \right] / (N)}$$

Статистика для проверки гипотезы H_1 имеет нецентральное распределение Стьюдента [11, 14].

$$p(t) = \frac{(M)^{(M)/2}}{\Gamma\{(M)/2\}} \frac{\exp(-\phi_t^2/2)}{(M+t^2)^{(M+1)/2}} * \sum_{i=0}^{\infty} \left(\frac{M+i+1}{2} \right) \left(\frac{\phi_t^i}{i!} \right) \left(\frac{2t^2}{M+t^2} \right)^{i/2}$$

где: $\Gamma\{*\}$ – гамма-функция; $\phi_t = s/\sigma$ – параметр нецентральности.

Проверка гипотезы о наличии случайного полезного сигнала осуществляется на основе статистики Фишера [11, 14]. Числитель этой статистики пропорционален дисперсии случайного полезного сигнала, а знаменатель равен дисперсии соответствующих шумов.

$$z = \left[\sum_{j=1}^N (y_j - \bar{y})^2 / (N-1) \right] / \left[\sum_{i=1}^M (x_i - \bar{x})^2 / (M-1) \right]$$

Статистика для проверки гипотезы H_1 имеет центральное распределение Фишера [11, 14].

$$p(z) = \frac{\Gamma\{(M+N-2)/2\}}{\Gamma\{(M-1)/2\} * \Gamma\{(N-1)/2\}} * \left(\frac{M-1}{N-1} \right)^{(N-1)/2} * \frac{(z/\phi_z)^{(N-1)/2-1}}{[1+(N-1)/(M-1)(z/\phi_z)]^{(M+N-2)/2}}$$

где: $\Gamma\{*\}$ – гамма-функция; а $\phi_z = (\sigma^2 + ab + as) / (\sigma^2 + ab)$ – параметр распределения.

Проверка гипотезы о наличии постоянного и случайного полезного сигнала осуществляется на основе модифицированной статистики Фишера [13–15]. Числитель этой статистики пропорционален квадрату сигнала и дисперсии случайного полезного сигнала, а знаменатель равен дисперсии соответствующих шумов.

$$r = \left[\sum_{j=1}^N (y_j - \bar{x})^2 / N \right] / \left[\sum_{i=1}^M (x_i - \bar{x})^2 / (M-1) \right]$$

Статистика для проверки гипотезы H_1 имеет нецентральное распределение Фишера [13, 15].

$$p(r) = [(M-1)\rho / N]^{(M-1)/2} * \exp\{N\phi_r / 2\} * r^{N/2-1} * \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k!} \left(\frac{N\phi_r r}{2} \right)^k \left(\frac{[r+(M-1)\phi_r / N]^{-N/2-(M-1)/2-k}}{B\{(M-1)/2, N/2+k\}} \right)$$

где: $\rho = (\sigma^2 + ab + as) / (\sigma^2 + ab)$ – параметр, равный отношению дисперсий сигнальной и фоновой областей; $\phi_r = s^2 / (\sigma^2 + ab + as)$ – параметр, связанный с отношением сигнал/шум.

При условии, когда среднее значение распределения и его дисперсия строго пропорциональны друг другу, проверка гипотезы осуществляется на основе нецентрированной статистики Фишера [12]. Числитель этой статистики пропорционален квадрату суммы сигнала и фона, а также дисперсии случайного полезного сигнала и фона, а знаменатель равен дисперсии соответствующих шумов.

Статистика для проверки гипотезы H_1 имеет дважды нецентральное распределение Фишера [12].

$$p(q) = [2ab]^{-M/2} [2(ab+as)]^{-N/2} * \exp\{-[N(b+s)+Mb]/2\} * q^{N/2-1} * \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(Na^2\phi_q/4)^n}{n!} * \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(Ma^2/4)^m}{[m! * B\{N/2+n, M/2+m\}]},$$

где: $B\{*\}$ – бета-функция;

$\phi_q = [(b+s)^2 + a(b+s)] / (b^2 + ab)$ – параметр распределения.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе трех видов полезного сигнала и всех возможных сочетаний шумов – темновых, фоновых и сигнальных, определена классификация режимов работы прецизионных телевизионных систем. Для полученной классификации в условиях согласованности с нормальным распределением определены все возможные алгоритмы обнаружения.

При постоянном полезном сигнале, как доминантном, алгоритмы обнаружения основаны на статистике Стьюдента.

При случайном полезном сигнале, как доминантном, алгоритмы обнаружения основаны на статистике Фишера.

При постоянном и случайном полезном сигнале, как доминантном, алгоритмы обнаружения основаны на модифицированной статистике Фишера. В условиях, когда математическое ожидание и дисперсия строго пропорциональны, необходимо использовать нецентрированную статистику Фишера.

Для всех возможных режимов работы прецизионных телевизионных систем получены выражения обобщенного отношения сигнал/шум.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Твёрдотельные телекамеры: накопление качества информации. СПб. Изд. СПбГЭТУ «ЛЭТИ» / А.К. Цыцулин, Д.Ю. Адамов, А.А. Манцетов, И.А. Зубакин. 2014. 272 с.

- [2] Рогачев В.А. Особенности обработки сигнала в прецизионных телевизионных системах. Вопросы радиоэлектроники, сер. Техника телевидения, вып. 2, СПб, 2011, с. 81–86.
- [3] Теория обнаружения сигналов / Под ред. П.А. Бакута, М.: Радио и связь, 1984, 440 с.
- [4] Богданович В.А., Вострецов А.Г. Теория устойчивого обнаружения, различения и оценивания сигналов. М.: Физматлит, 2004.- 320 с.
- [5] Шахтарин Б.И. Обнаружение сигналов. М.: Горячая линия-Телеком, 2015, 464 с.
- [6] Малышев В.Н., Шевченко М. Е., Задирако Д. О., Файзуллина Д.Н., Стенюков Н.С., Шмырин М.С. Методы и алгоритмы панорамного радиомониторинга при малоэлементных антенных решетках. // Известия ВУЗов России. Радиоэлектроника. 2016. Т. 2. С. 5-15.
- [7] Ван Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции. Т. 1. М. Советское радио. 1972. 744 с.
- [8] Ван Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции. Т. 3. М. Советское радио. 1977. 664 с.
- [9] Р. Хадсон. Инфракрасные системы. М.: Мир, 1972, 536 с.
- [10] Фотоприемники видимого и ИК диапазонов / Под ред. Р. Дж. Кисса. М. «Радио и связь», 1985, 328 с.
- [11] Леман Э. Проверка статистических гипотез. М.: Наука, 1979, 408 с.
- [12] Рогачев В.А. Выделение сигналов в ТВ системе на матричном фотоприемнике с чувствительностью, лимитированной флуктуациями фона. Техника средств связи. сер. Техника телевидения. 1989, №2, с. 48-53.
- [13] Колбанев М.О., Рогачев В.А. Анализ проблемы обнаружения в инфракрасных системах. Информационно-управляющие системы. 2010, №5, с. 51-54.
- [14] Колбанев М.О., Рогачев В.А., Закутаев А.А. Неравномерность чувствительности фотоприемника и ее компенсация при обнаружения в инфракрасных системах. Вопросы радиоэлектроники. 2015, №5, с. 79-88.
- [15] Барра Ж.-Р. Основные понятия математической статистики. М.: Мир. 1974. 278 с. .