УДК 621.39

МЕТОД РАСЧЕТА ИНФОРМАЦИОННОГО РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ МОДЕЛЯМИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

В.Ф. Зюкин, А.А. Грызо
(Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба)

Предлагается метод расчета информационного расстояния между моделями сигналов. Предложенный подход позволяет рационально выбирать модели сигналов и помех при построении имитационных моделей.

статистические модели, показатель различимости

Постановка задачи. При моделировании сигнально-помеховой обстановки возникает задача рационального выбора моделей сигналов и помех. Желательно, чтобы модельный ряд содержал небольшое число моделей, охватывающих возможно большее число вариантов входных воздействий.

Цель статьи. Предложить подход, основанный на информационном критерии, позволяющий оценить полноту и равномерность заполнения модельного ряда.

Вопрос полноты может касаться всех показателей качества радиолокационной информации: надежности обнаружения, качества классификации целей и т.д.

Анализ публикаций. Надежность обнаружения традиционно оценивают, используя условные вероятности правильного обнаружения D и ложной тревоги F [1]

Качество классификации целей можно оценить с помощью информационного критерия – показателя различимости s (расстояние Бхаттачари) [1].

Изложение основного материала. Методику использования информационного критерия рассмотрим на примере иллюстративного характера, сопоставляя две модели сигнала:

1) релеевская модель, плотность вероятности смеси сигнал + шум для фиксированного отношения сигнал / шум q^2 имеет вид

$$P1\left(U/q^2\right)=\frac{U}{\left(q^2+1\right)}\cdot\exp\left(-\cdot\frac{U^2}{2\cdot\left(q^2+1\right)}\right), \quad (1)$$

2) модель Сверлинг 2, для которой соответственно

$$P2\left(U/q^2\right) = 8 \cdot U \cdot \frac{\left(8 + 2 \cdot q^2 + q^2 \cdot U^2\right)}{\left(4 + q^2\right)^3} \cdot \exp\left(-2 \cdot \frac{U^2}{4 + q^2}\right). \qquad (2)$$

Показатель различимости для этих моделей, в зависимости от отношения сигнал/шум q^2 имеет вид

$$s\left(q^2\right) = -\ln\left(\int_0^\infty \sqrt{P1\left(U/q^2\right) \cdot P2\left(U/q^2\right)}\, dU\right). \qquad (3)$$

По сути, это выражение определяет потенциально достижимую надежность различения (распознавания, разделения) двух сигналов (1, 2) при одинаковом отношении их энергии к шуму.

Подставляя в (3) выражения для $P1(U)$ и $P2(U)$, найдем

$$s\left(q^2\right) = -\ln\left(\int_0^\infty \sqrt{\frac{1}{\left(q^2+1\right)} \cdot \frac{8 \cdot U^2 \cdot \left(8 + 2 \cdot q^2 + q^2 \cdot U^2\right)}{\left(4 + q^2\right)^3} \cdot \exp\left(-\frac{U^2}{2 \cdot \left(q^2+1\right)} - 2 \cdot \frac{U^2}{\left(4 + q^2\right)}\right)}\, dU\right). \qquad (4)$$

На рис. 1 представлена зависимость показателя различимости $S(q^2)$ от отношения сигнал / шум q^2 для рассматриваемой пары сигналов. Видно, что различимость сигналов растет с ростом q^2, но вероятность различения сигналов (в данном случае по одному отсчету) мала.

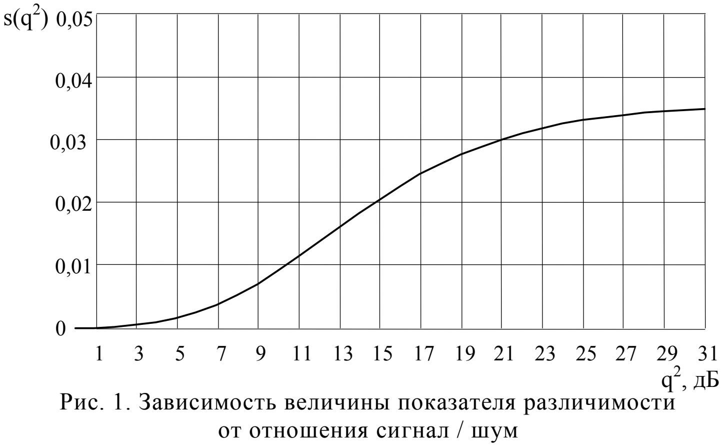

Рис. 1. Зависимость величины показателя различимости от отношения сигнал / шум

Максимальная вероятность ошибки при различении ограничена пределом $P_{ош} \le 0{,}5 \cdot \exp\left(-s\left(q^2\right)\right)$ [1]. Даже при большом отношении сигнал/шум $q^2 = 20 \ldots 30$ дБ ошибка будет достигать вероятности $P_{ош} = 0{,}48$, различение практически отсутствует.

Так как в РЛС РТВ обычно используется пачечный зондирующий сигнал, то рассмотрим вероятность различения этих сигналов по совокупности M импульсов пачки.

При независимых флюктуациях импульсов пачки с фиксированной энергией совместная плотность вероятности сигналов:

$$P2\left(U_1, U_2, \ldots, U_M / q^2\right) = \prod_{i=1}^{M} 8 \cdot U_i \cdot \frac{\left(8 + 2 \cdot q^2 / M + q^2 / M \cdot U_i^{\,2}\right)}{\left(4 + q^2 / M\right)^3} \cdot \exp\left(-2 \cdot \frac{U_i^{\,2}}{4 + q^2 / M}\right); \quad (5)$$

$$P1\left(U_1, U_2, \ldots, U_M / q^2\right) = \prod_{i=1}^{M} \frac{U_i}{\left(q^2 / M + 1\right)} \cdot \exp\left(-\frac{U_i^{\,2}}{2 \cdot \left(q^2 / M + 1\right)}\right). \quad (6)$$

Здесь учтено, что с переходом от одного отсчета (импульса) к M отсчетам энергия каждого из них соответственно уменьшается в M раз.

Тогда показатель различимости (3)

$$s\left(q^2\right) = -\ln\left(\int_0^{\infty} \ldots \int \sqrt{\prod_{i=1}^{M} P2\left(U_i \Big/ \frac{q^2}{M}\right) \cdot P1\left(U_i \Big/ \frac{q^2}{M}\right)}\right) dU_1 dU_2 \ldots dU_M = M \cdot s\left(\frac{q^2}{M}\right). \quad (7)$$

На рис. 2 представлены зависимости показателя различимости s от числа независимо флюктуирующих фрагментов пачки. Энергия всей пачки фиксирована, отношение сигнал/шум составляет $q^2 = 10$; 20; 30 дБ. Видно, что разбиение сигнала на независимо флюктуирующие дискреты по разному влияет на информационное расстояние между сигналами.

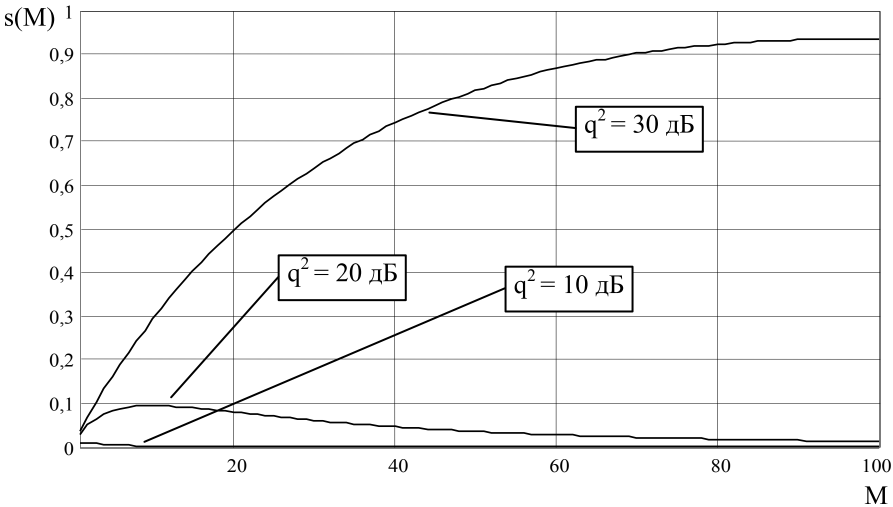

Рис. 2. Зависимость величины показателя различимости от числа импульсов в пачке

Например, при $q^2 = 30$ дБ и числе независимо флюктуирующих фрагментов более 40 показатель различимости $s\left(q^2\right) \to 1$, что обеспечивает максимальную вероятность ошибки различения не более 0,18.

При меньших уровнях эхо-сигналов ($q^2 < 20$ дБ) по мере роста числа независимо флюктуирующих фрагментов (M > 3…10) различение дополнительно ухудшается.

Физически это объясняется тем, что при малой энергии пачки ее дробление приводит к сильной маскировке импульсов шумами.

Таким образом, использование в имитационной модели, наряду с релеевским сигналом (P1(U)), сигнала Сверлинг 2 (P2(U)) обоснованно (целесообразно) при анализе задач обнаружения – для $q^2 > 10$ дБ, а при анализе задач различения – для $q^2 > 30$ дБ. В остальных случаях представительным можно считать сигнал релеевского типа.

При анализе модельного ряда удобно пользоваться показателем различимости, выраженным в децибелах. Смысл представления s в децибелах сводится к следующему. Скалярное значение s (3) можно связать с вероятностью ошибочных решений $P_{ош} \le 0{,}5 \cdot \exp\left(-s\left(q^2\right)\right)$. В то же время для простейшей модели различения, например, релеевского сигнала на фоне шума, существует монотонная зависимость информационного расстояния s от энергетического параметра q^2

$$s = \ln\left(\frac{1 + \frac{q^2}{2}}{\left(1 + q^2\right)^{1/2}}\right),$$

в графическом виде представленная на рис. 3.

Такое представление удобно тем, что позволяет находить однозначное соответствие между величиной s и энергетическим параметром сигнала q^2. Используя такое толкование, можно перевести полученные значения s в децибелы.

Для примера, при $q^2 = 20$ дБ различимость сигналов P1 – P2 s~0,03 (рис. 1) пересчитывается по кривой рис. 3 в величину s = 0 дБ и дает верхний уровень ошибочных решений $P_{ош,1-2} \le 0{,}48$.

При увеличении q^2 до 30 дБ (рис. 1) прирост Δs = 0 дБ, т.е. ничтожно мал. Переход к дроблению пачки (q^2 = 30 дБ, M = 40 на рис. 2) дает совокупный прирост Δs = 12 дБ, в результате $P_{ош,1-2} \le 0{,}18$. На этом основании можно разделить ситуации, когда необходимо использование всех или только части моделей сигналов для «подыгрыша» в РЛС. Использование разности значений s, дБ для различных моделей позволяет оценить различимость любой пары сигналов.

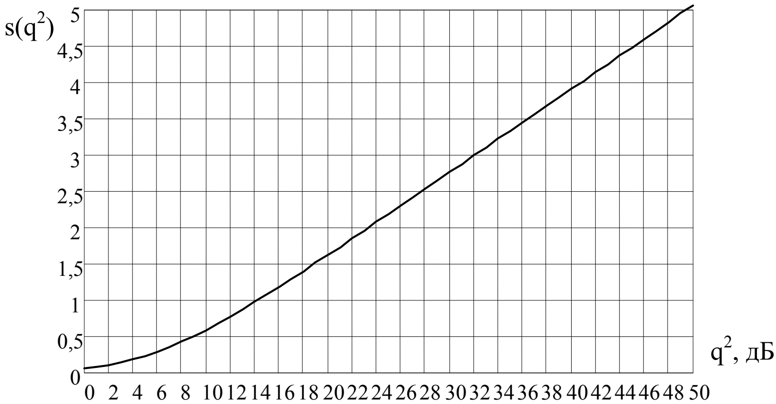

Рис. 3. Зависимость величины информационного расстояния от отношения сигнал/шум

Величину s, дБ при решении задач распознавания (различения) можно также трактовать как некоторый запас энергии одной пары сигналов по отношению к другой паре.

Вывод: предложенная методика, основанная на использовании информационного критерия, позволяет оценить полноту и равномерность заполнения модельного ряда; численно оценить погрешность полученных при моделировании результатов, возникающую, например, из-за упрощения моделей для сокращения времени вычислений; оценить потребную для решения задачи степень соответствия модели реальному процессу.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Расчет помехоустойчивости систем передачи дискретных сообщений: Справочник / Под. ред. Л.М. Финка. – М.: Радио и связь, 1981. – 232 с.*

Поступила 11.01.2006

Рецензент: доктор технических наук, профессор А.П. Кондратенко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба.