

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОГА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ НА ОСНОВЕ КРИТЕРИЯ НЕЙМАНА-ПИРСОНА ДЛЯ МОДУЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ ЗАДЕРЖЕК СИГНАЛОВ

Сорохтин Е.М., Сорохтин М.М., Логинов А.А., Морозов О.А.

Научно-Исследовательский Физико-Технический Институт Нижегородского Государственного Университета им. Н.И. Лобачевского (НИФТИ ННГУ)

Поиск сигнала специального вида на фоне шумов является одной из главных задач в таких областях, как цифровая связь, радиолокация, акустика, дефектоскопия. Как правило, в приведенных областях задача ставится таким образом: для определения местоположения объекта излучается специальный радиоимпульс и регистрируется отраженный от объекта сигнал. В принятом сигнале требуется найти излученный радиоимпульс. Используемые сложные радиоимпульсы обычно представляют собой пакеты с частотной или фазовой модуляцией или манипуляцией. Кроме задачи определения расстояния до объекта по временному смещению импульса может ставиться задача определения скорости перемещения объекта по доплеровскому смещению частоты принятого радиоимпульса по отношению к излученному опорному.

Традиционное решение задачи определения положения импульса в сигнале с помощью взаимной корреляционной функции обладает следующим недостатком: при появлении частотного сдвига, обусловленного эффектом Доплера при отражении сигнала от движущегося объекта, а также при добавлении к сигналу фазовых шумов результат взаимной корреляции теряет однозначность и выраженность.

В данной работе проводится исследование надежности алгоритма поиска ключевой последовательности на основе построения тела неопределенности, то есть, функции согласования двух сигналов, зависящей от временного и частотного сдвига.

Обозначим за  $v_1(t)$  функцию искомого радиоимпульса, за  $v_2(t)$  – функцию входного тракта приемного устройства, в котором необходимо найти радиоимпульс.

$$v_1(t) = A_1 \sin(f(\omega_1, t)) + n_1(t),$$
$$v_2(t) = A_2 \sin(f(\omega_2, t - t_0)) + n_2(t),$$

где  $A_1$  и  $A_2$  – амплитуды гармонических сигналов,  $f(\omega, t)$  – модулирующая функция, определяющая вид модуляции сигналов. Например, для линейной частотной модуляции  $f(\omega, t) = (\omega_0 + at) \cdot t$ , где  $a$  – скорость нарастания частоты; для фазовой манипуляции  $f(\omega, t) = \omega_0 t + \pi p [t \cdot d_p]$ , где  $p$  – псевдослучайная последовательность данных,  $d_p$  – скорость передачи данных. К сигналам добавлен аддитивный некоррелированный шум  $n_1(t)$  и  $n_2(t)$ .

Для учета возможного доплеровского смещения частоты выполняется переход от традиционного коррелирования сигналов к коррелированию спектров. Функция взаимной корреляции спектра  $V_1(\omega)$  сигнала  $v_1(t)$  и  $V_2(\omega)$  сигнала  $v_2$ , сдвинутого по времени на величину  $\Delta t$ :  $v_2(t + \Delta t)$ , будет выглядеть следующим образом:

$$G(\omega, \Delta t) = R_{V_1, V_2} = V_1(\omega) \otimes V_2(\omega).$$

Учитывая, что  $V_i(\omega)$  являются Фурье-изображениями функций  $v_i(t)$ :

$$G(\omega, \Delta t) = F\{v_1(t)\} \otimes F\{v_2(t)\} = F\{v_1(t) \cdot v_2(t)\}.$$

Таким образом, данная функция представляет собой Фурье-изображение от произведения искомого сигнала на исследуемый, сдвинутый на время  $\Delta t$ .

Функция  $G(\omega, \Delta t)$  представляет собой поверхность в пространстве  $(\omega, \Delta t)$ . Если в исследуемом сигнале содержится искомый фрагмент, то на этой поверхности будет присутствовать экстремум в точке  $(\Delta\omega, t_0)$ , координаты которой – соответственно значение доплеровского сдвига ( $\Delta\omega = |\omega_2 - \omega_1|$ ) и временного сдвига.

Для определения степени надежности обнаружения сигнала вводится критерий  $C$ :

$$C = \frac{\max\{G(\omega, \Delta t)\} - \overline{G(\omega, \Delta t)}}{\sqrt{\text{var}\{G(\omega, \Delta t)\}}},$$

где  $\text{var}$  – дисперсия функции на интервале поиска.

Вышеописанный алгоритм был реализован аппаратно в виде модуля стандарта VXI.

Для исследования устойчивости обнаружения необходимо определить пороговое значение критерия надежности. Для этого можно воспользоваться критерием Неймана-Пирсона. При таком подходе фиксируется на определенном уровне вероятность ложного обнаружения и выбирается такое пороговое значение, при котором вероятность пропуска сигнала имеет минимальную величину.

Алгоритм определения порога обнаружения для заданной вероятности ложной тревоги состоит в построении функции вероятности ложной тревоги в зависимости от уровня критерия, получаемого при многократном решении задачи обнаружения (при отсутствии копии опорного сигнала в исследуемом канале) без шума.

Оценка значения вероятности ложной тревоги  $P_{лт}$  определяется следующим образом

$$P_{лт}(C^*) = \frac{\sum_{i=1}^K N_{|C < C^*}}{K}$$

где  $N_{|C < C^*}$  - реализации сигналов, для которых полученные критерии при решении задачи обнаружения меньше  $C^*$ ,  $K$  - общее количество реализаций.

Для определения порога на основе критерия Неймана-Пирсона производился многократное решение задачи обнаружения сигналов опорного и исследуемого каналов без шума. Для этого в опорный и исследуемый каналы загружались фазомодулированные сигналы. Временная задержка опорного и исследуемого каналов составляла 90 мс, так, что фрагмент информационного сигнала в опорном канале соответствовал по времени не коррелированному с ним псевдослучайному сигналу в исследуемом канале. Разность несущих частот сигналов задавалась случайным образом в интервале  $\pm 1$  кГц.

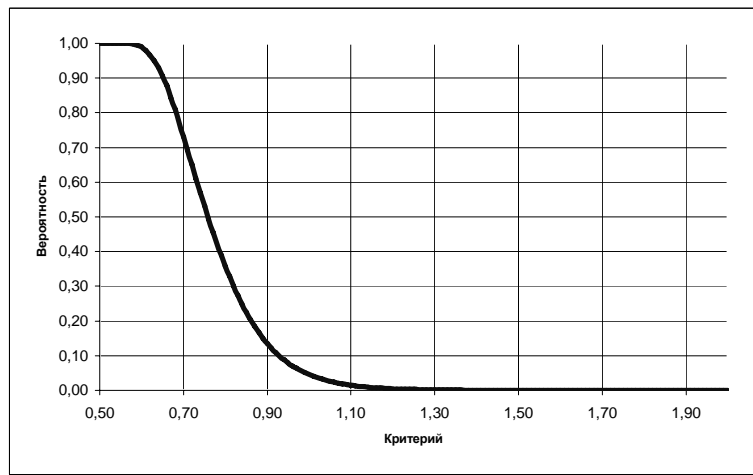


Рис.1

Вид функции вероятности ложной тревоги в зависимости от уровня критерия.

На рис 1 приведен вид функции вероятности ложной тревоги в зависимости от уровня критерия.

На основании результатов моделирования можно выбрать оптимальное пороговое значение критерия для заданной вероятности ложной тревоги.

#### Литература

1. Обнаружение радиосигналов. Под ред. А.А. Колосова. М.: Радио и связь, 1989.
2. Тихонов В. И. Оптимальный прием сигналов. М.: Радио и связь, 1983.
3. Лезин Ю.С. Введение в теорию и технику радиотехнических систем. М: Радио и связь, 1986.
4. Моррис У. Наука об управлении. Байесовский подход. М.: Мир, 1971.

### APPLICATION OF THE NEUMANN-PIERSON CRITERION FOR DECISION-MAKING THRESHOLD ESTIMATION FOR SIGNAL TIME DELAYS MEASURING MODULE

Sorokhtin E., Sorokhtin M., Loginov A., Morozov O.

Physical-Technical Research Institute of Nizhni Novgorod State University

The problem of special signal detection on a background of noise is a very frequently occurring problem in such fields as acoustics, defectoscopy, geophysics, diagnostics and non-destructive inspection. In generally in these fields the problem is formulated as follows: special signal is emitted and then recorded after being transformed by a subject of inquiry. And then in the recorded signal the former emitted special signal must be found.

The solution of this problem, using cross-correlation analysis can not give high-grade results, because when frequency of the emitted signal does not match frequency of the recorded one, the result of cross-correlation function analysis loses its effect. That may be determined by the possible non-linear effects in the propagation medium or by the effect of phase noise.

The detection algorithm is described below:  $v_1(t) = A_1 \sin(f(\omega_1, t)) + n_1(t)$  - emitted signal;  
 $v_2(t) = A_2 \sin(f(\omega_2, t - t_0)) + n_2(t)$  - recorded signal.

To take into account the possible frequency shift there is a proceed from simple correlation of signals to correlation of spectrums performed. For spectrums  $V_1(\omega)$  и  $V_2(\omega)$  cross-correlation function will finally look like the follows:

$$G(\omega, \Delta t) = F\{v_1(t) \cdot v_2(t + \Delta t)\}$$

Function  $G(\omega, \Delta t)$  represents a surface in space of coordinates  $(\omega, \Delta t)$ . If recorded signal contains the emitted signal, then there will be an extremum on the  $G$  surface in point  $(\Delta\omega, t_0)$ . To evaluate the reliability of the algorithm the criterion of the reliability was introduced.

To determine the threshold value of the detection reliability criterion, the Neumann-Pearson criterion can be used. When using this approach the probability of the false detection is set to some value and then this threshold value is selected, using which the probability of the miss of signal is minimized.

Algorithm, described above was implemented in hardware as a single VXI module and was tested on phase-modulated signals.

Decision-making threshold was determined experimentally by means of loading simulated signals into module and further processing. There was simulated a huge amount of signals of emitted and recorded signals without noise. Moreover the recorded signal must not contain any copy of emitted signal. The result of the module's work was the values of time shift and reliability criterion. The value of the criterion will be related to false detection, because the recorded signal does not contain any copy of the emitted signal.

Evaluation of the probability of false detection  $P_{.am}$  can be determined in the follows way:

$$P_{.am}(C^*) = \frac{\sum_{i=1}^K N|_{C < C^*}}{K}$$
, where  $N|_{C < C^*}$  - samples, where received criterion values after the solving of the detection problem was less than  $C^*$ ,  $K$  - the whole number of samples.

Based on the testing results the optimal threshold could be chosen for the fixed value of the false detection probability.

