

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМА ОБНАРУЖЕНИЯ УЗКОПОЛОСНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ РАДИОСИГНАЛОВ С НЕИЗВЕСТНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ НА ФОНЕ ГАУССОВСКИХ ШУМОВ С НЕИЗВЕСТНОЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТЬЮ

А.Н. Николаев

Введение

Переход к цифровой обработке в алгоритмах обнаружения и измерения параметров радиосигналов приводит к энергетическим потерям [1–3]. Величина таких потерь может характеризовать эффективность цифрового алгоритма по сравнению с аналоговым алгоритмом. Преобразование радиосигналов в цифровой вид осуществляется в два этапа: дискретизация по времени и квантование по амплитуде. На этапе дискретизации потери обычно не превышают 0,5 дБ [2]. Потери, связанные с квантованием, зависят для каждого конкретного алгоритма и в общем случае различны.

В настоящем докладе представлены результаты исследования сравнительной эффективности дискретно-аналогового и цифрового алгоритмов обнаружения узкополосных импульсных радиосигналов с неизвестными параметрами на фоне гауссовских шумов с неизвестной спектральной плотностью [4].

Постановка задачи

Структурная схема обнаружителя на основе алгоритма [4] приведена на рис. 1.

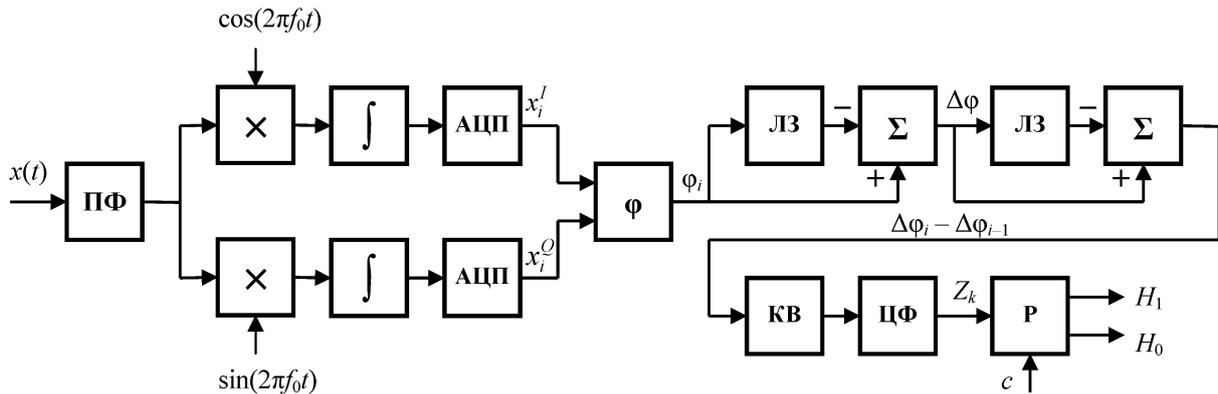


Рис. 1

Временная структура входного сигнала представляется в виде:

$$x(t) = \begin{cases} A_0 A_c(t) \cos[2\pi f_n t + \Psi_c(t) + \varphi_0] + n(t), & t \in [t_0, t_0 + T_c] \\ n(t), & t \notin [t_0, t_0 + T_c] \end{cases}, \quad (1)$$

где: A_0 – амплитуда радиосигнала; $A_c(t)$ – функция, определяющая амплитудную модуляцию радиосигнала; $\Psi_c(t)$ – функция, определяющая фазовую модуляцию радиосигнала; f_n – несущая частота радиосигнала из диапазона $\left[f_0 - \frac{\Delta F}{2}, f_0 + \frac{\Delta F}{2} \right]$ (здесь ΔF – ширина рабочего частотного диапазона, f_0 – центральная частота диапазона); φ_0 – начальная фаза; T_c – длительность сигнала; t_0 – время начала сигнала; $n(t)$ – белый гауссовский шум с нулевым средним и спектральной плотностью $N_{ш}$.

Входной сигнал через предварительный фильтр (ПФ) с полосой ΔF поступает на квадратурный демодулятор. Квадратурные составляющие $x^I(t)$ и $x^Q(t)$ подвергаются аналого-цифровому преобразованию (АЦП). Из цифровых отсчетов x_i^I и x_i^Q формируются отсчеты текущей фазы φ_i . На основе линий задержки (ЛЗ) и сумматоров (Σ) последовательно вычисляется разность фаз $\Delta\varphi_i$ и $\Delta\varphi_i - \Delta\varphi_{i-1}$. Квадрат $|\Delta\varphi_i - \Delta\varphi_{i-1}|^2$ (КВ) поступает на цифровой фильтр (ЦФ), где накапливается статистика:

$$Z_k = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^R |\Delta\phi_{k-i+1} - \Delta\phi_{k-i}|^2. \quad (2)$$

Величина R в (2) выбирается из условий $A_c(t) \approx \text{const}$ и $\Psi_c(t) \approx \text{const}$ на интервале накопления статистики [4].

В решающем устройстве (Р) статистика (2) сравнивается с порогом S . В результате сравнения принимается решение в пользу гипотезы H_1 либо гипотезы H_2 говорящих, соответственно, о наличии либо отсутствии полезного сигнала в (1).

Разрядность АЦП, обеспечивающих преобразование сигнала в широком частотном диапазоне, составляет, как правило, 8–10 бит [5]. Поэтому в целях практической значимости результатов, исследования целесообразно проводить для числа уровней квантования, соответствующего указанной разрядности АЦП.

Выбор параметра R зависит от предполагаемых параметров $A_c(t)$ и $\Psi_c(t)$, а также интервала дискретизации, и в большинстве практических случаев значение этого параметра находится в диапазоне 10...30. При проведении исследований алгоритма примем $R = 16$.

Оценка эффективности алгоритма проводилась методом статистического моделирования.

Результаты моделирования

Моделирование алгоритма проводилось с использованием пакета Matlab. Результаты исследования в виде характеристик обнаружения приведены на рис. 2 и 3.

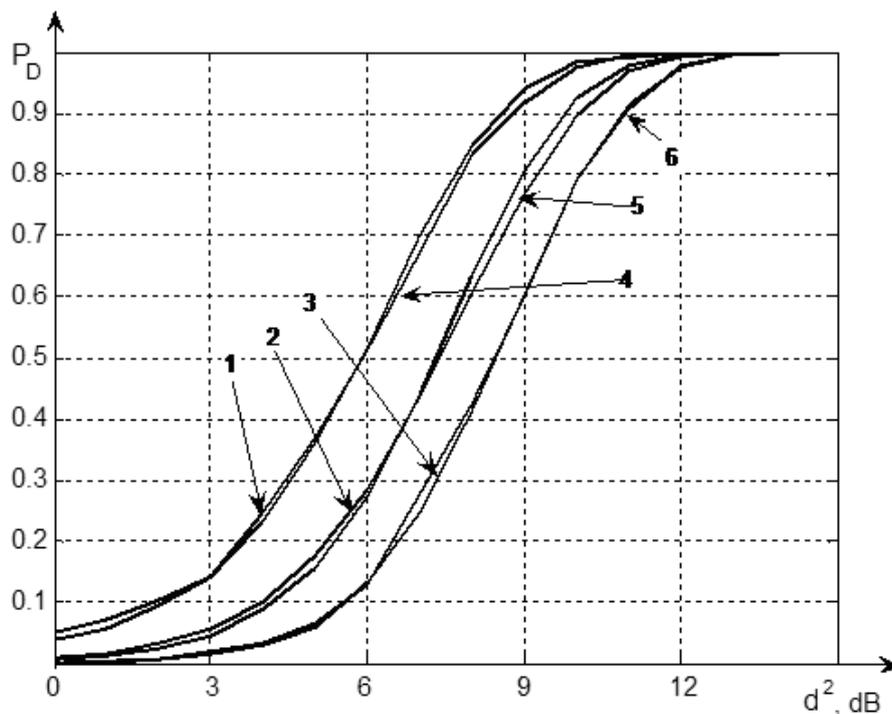


Рис. 2

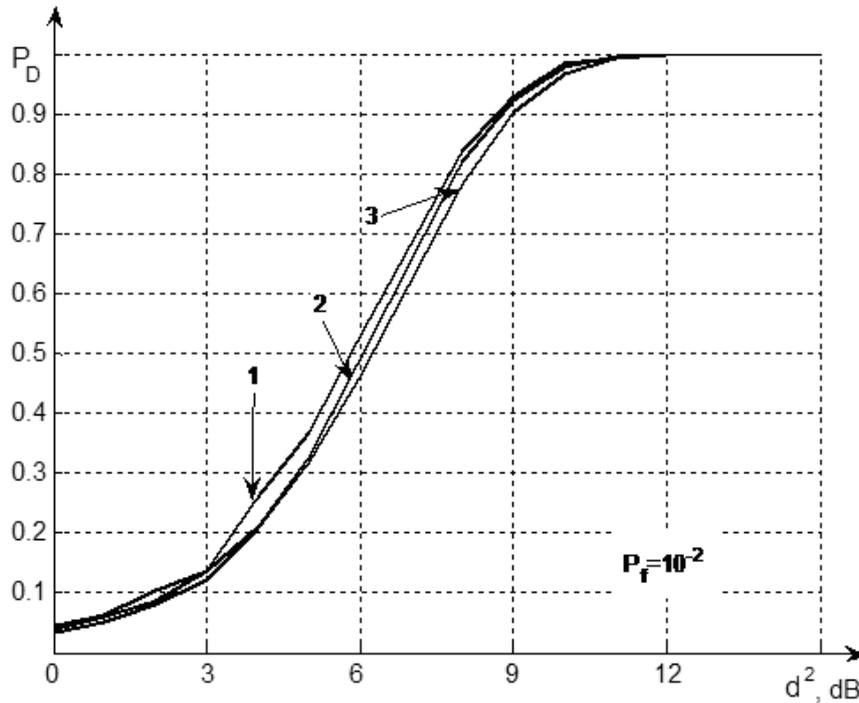


Рис. 3

Кривые 1, 2, 3 на рис. 2 соответствуют дискретно-аналоговому алгоритму. Кривые 4, 5, 6 – цифровому алгоритму, с 8-битным представлением данных. При этом пара кривых 1 и 4 получена для вероятности ложной тревоги $P_f = 10^{-2}$, 2 и 5 – для $P_f = 10^{-3}$, 3 и 6 – для $P_f = 10^{-4}$ соответственно.

На рис. 3 приведены характеристики обнаружения для различного числа бит представления отсчетов текущей фазы ϕ_i . Характеристики получены для вероятности ложной тревоги $P_f = 10^{-2}$. Кривая 1 соответствует 8 битам, кривая 2 – 6 битам, кривая 3 – 4 битам представления отсчетов текущей фазы.

Выводы

Переход от дискретно-аналогового к цифровому алгоритму обнаружения [4] практически не сказывается на требуемом отношении сигнал/шум для заданных вероятностей ложных тревог и правильного обнаружения.

Уменьшение разрядности кодов текущей фазы также не снижает эффективности, однако это приводит к более «грубой» установке порогов обнаружения, что на практике не всегда допустимо.

Библиографический список

1. Трухачев, А.А. Анализ процедур и алгоритмов обнаружения сигналов / А.А. Трухачев. – М.: Радио и связь, 2003. – 248 с.
2. Трухачев, А.А. Эффективность дискретной обработки наблюдений / А.А. Трухачев // Радиотехника и электроника. – 1986. – Т. 31, № 6. – С. 1162–1167.

3. Лихарев, В.А. Цифровые методы и устройства в радиолокации / В.А. Лихарев. – М.: Советское радио, 1973. – 456 с.

4. Карманов, Ю.Т. Непараметрическое обнаружение узкополосного радиосигнала с неизвестной несущей частотой на фоне гауссовских шумов / Ю.Т. Карманов, А.Н. Николаев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2009. – Вып. 10. – № 26(159). – С. 38–40.

5. Кольцов, Ю.В. Суперскоростные АЦП. Ч. 3. Производители АЦП и основные результаты развития АЦП за период 1998–2008 г. / Ю.В.Кольцов // Успехи современной радиоэлектроники. – 2010. – № 4. – С. 3–32.