

DOI: <https://doi.org/10.15688/jvolsu1.2017.2.9>

УДК 621.376

ББК 32.841

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ ВИДА МОДУЛЯЦИИ УЗКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ МЕТОДОМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ¹

Владимир Дмитриевич Захарченко

Доктор технических наук, профессор кафедры радиофизики,
Волгоградский государственный университет
ZVD@volsu.ru
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. Методом статистического моделирования произведена оценка потенциальной точности алгоритма классификации радиосигналов по типу модуляции. Показано, что помехоустойчивость предложенного алгоритма позволяет осуществлять уверенное разделение амплитудной и фазовой модуляции при превышении шума над сигналом до 10 дБ; причем сигналы с фазовой модуляцией распознаются точнее.

Ключевые слова: узкополосный сигнал, численное моделирование, потенциальная помехоустойчивость, интегральный критерий, алгоритм распознавания.

Радиотехнические сигналы, используемые для передачи информации через пространство, обычно моделируются финитными функциями времени $x(t)$, спектральная плотность (спектр) которых $\mathcal{S}_x(\omega) = F\{x(t)\}$ концентрируется в небольшой окрестности центральной частоты ω_0 . Это обусловлено неравномерностью частотных характеристик излучения антенных систем и отражательной способности целей в радиолокации. Сигналы, спектр которых удовлетворяет условию $\Delta\omega \ll \omega_0$, где ω_0 – несущая частота, а $\Delta\omega$ – ширина спектра, называют «узкополосными». В теоретической радиотехнике широко используется математическая модель таких сигналов [3], предложенная Д. Габором

$$x(t) = A(t) \cos[\omega_0 t + \Theta(t)], \quad (1)$$

где $A(t)$ и $\Theta(t)$ – медленные в сравнении с $\omega_0 t$ функции времени (амплитуда и фаза).

При приеме и демодуляции подобных сигналов необходима предварительная оценка типа модуляции, которая может быть произведена во временной области на основе интегрального критерия узкополосности, предложенного в работе [4]. В соответствии с этим критерием вид модуляции радиосигнала – амплитудная (АМ) или угловая (ФМ, ЧМ) оценивается по вкладу в левую часть неравенства

$$\left\| \frac{dA}{dt} \right\| + \left\| A \frac{d\Theta}{dt} \right\| \ll \omega_0 \|A\|, \quad (2)$$

для чего необходимо вычислить и сравнить соответствующие нормы. Если основной вклад в расширение спектра осуществляет норма производной огибающей

$$\left\| \frac{dA}{dt} \right\| \gg \left\| A \frac{d\Theta}{dt} \right\|, \quad (3)$$

то сигнал (1) следует считать амплитудно-модулированным. Если же расширение спектра в основном связано второй норме

$$\left\| \frac{dA}{dt} \right\| \ll \left\| A \frac{d\Theta}{dt} \right\|, \quad (4)$$

то мы имеем дело с угловой модуляцией сигнала. Конкретный ее вид (ЧМ или ФМ) можно установить только на основании априорной информации о типе модулятора на передающей стороне. Соответствующие нормы в соотношениях (3) и (4) должны быть вычислены во временной области по модели сигнала (1) на основе определений огибающей и фазы с использованием преобразований Гильберта [2].

Структура алгоритма приведена на рисунке 1 и содержит два квадратурных канала и блоки выполнения отдельных операций.

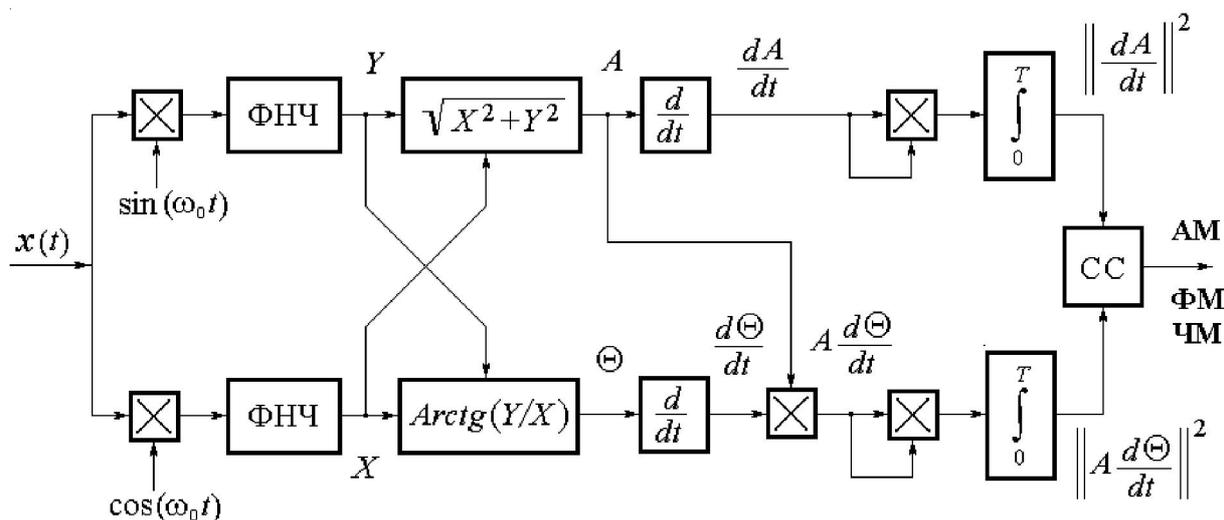


Рис. 1. Структура алгоритма распознавания вида модуляции по интегральному критерию

Перемножитель и фильтр низких частот (ФНЧ) представляют собой коррелятор разностной частоты [1], формирующие квадратурные компоненты X и Y для вычисления огибающей $A(t)$ и фазы $\Theta(t)$ узкополосного сигнала. Схема сравнения (СС) осуществляет компарирование норм $\|dA/dt\|$ и $\|A d\Theta/dt\|$.

Методом численного моделирования в работе проведена оценка потенциальной помехоустойчивости алгоритма распознавания вида модуляции узкополосных радиосигналов путем расчета точности его работы на фоне аддитивных помех.

Для оценки помехоустойчивости использовались временные последовательности сигналов с тональной амплитудной $x_1[k]$ и фазовой $x_2[k]$ модуляцией вида

$$x_1[k] = A_0[1 + m \sin(\Omega k \Delta t)] \cos(\omega_0 k \Delta t); \quad (5)$$

$$x_2[k] = A_0 \cos[\omega_0 k \Delta t + m \sin(\Omega k \Delta t)], \quad (6)$$

где $\omega_0 = 2\pi f_0$, $f_0 = 64,0$; $\Omega = 2\pi F$; $F = 1,0$; $\Delta t = 0,001$, $m = 0,5$, $A_0 = 1,0$, $k = 1, \dots, 1024$.

К каждой последовательности были добавлены отсчеты белого гауссова шума $n(t)$ с распределением $W(n) = N(0, \sigma_n^2)$. Затем во временной области вычислялись нормы $\|dA/dt\|$ и $\|A d\Theta/dt\|$ по моделям сигналов (5) и (6) и производилось их сравнение. Методом статистического модели-

рования определялась вероятность правильных решений при различном уровне аддитивного шума σ_n . Результаты моделирования получены усреднением по 200 значениям и представлены на рисунке 2, где приведены вероятности правильного распознавания P_1 (для АМ-сигнала) и P_2 (для ФМ-сигнала).

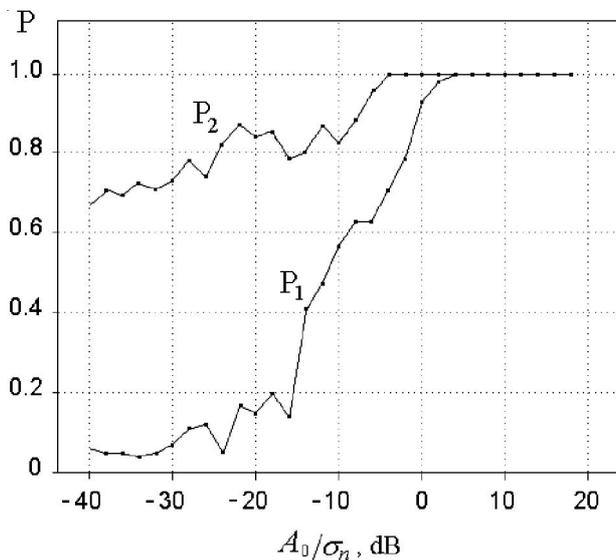


Рис. 2. Зависимость вероятностей правильного распознавания вида модуляции P_1 (АМ) и P_2 (ФМ) в сигналах (5) и (6) от отношения сигнал/шум

Следует отметить, что энергетические спектры последовательностей (10) и (11) достаточно близки, однако чувствительность идентификации к аддитивному шуму у них различна. Как следует из рисунка 2, предлагаемый алгоритм с большей вероятностью определяет сигналы с фазовой модуляцией, в то время как для правильной идентификации амплитудной модуляции (при $P_1 > 0,8$) требуется отношение сигнала к шуму на 10 дБ выше, чем для фазовой.

ПРИМЕЧАНИЕ

¹ Работа подготовлена по материалам исследования, выполненного при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Волгоградской области в рамках научного проекта № 15-47-02438-р_поволжье_а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евсиков, Ю. А. Преобразование случайных процессов в радиотехнических устройствах / Ю. А. Евсиков, В. В. Чапурский. – М. : Высш. шк., 1977. – 264 с.
2. Френкс, Л. Теория сигналов / Л. Френкс ; пер. с англ. под ред. Д. Е. Вакмана. – М. : Сов. радио, 1974. – 344 с.
3. Gabor, D. Theory of communication / D. Gabor // J. IEE. – 1946. – Pt. III. – Vol. 93. – P. 429–457.
4. Zakharchenko, V. D. Integral criterion of the narrow-bandedness of radio-engineering signals / V. D. Zakharchenko // Radiophysics and Quantum Electronics. – 2000. – Vol. 43, № 10. – P. 830–832.

REFERENCES

1. Evsikov Yu.A., Chapurskiy V.V. *Preobrazovanie sluchaynykh protsessov v radiotekhnicheskikh ustroystvakh* [Transformation of Random Processes in Radio Devices]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1977. 264 p.

2. Franks L.E. *Teoriya signalov* [Signal Theory]. Moscow, Sov. radio Publ., 1974. 344 p.
3. Gabor D. Theory of communication. *J. IEE*, 1946, part III, vol. 93, pp. 429-457.
4. Zakharchenko V.D. Integral criterion of the narrow-bandedness of radio-engineering signals. *Radiophysics and Quantum Electronics*, 2000, vol. 43, no. 10, pp. 830-832.

**ESTIMATION OF POTENTIAL NOISE RESISTANCE
OF THE ALGORITHM FOR DETECTING MODULATION
TYPE OF NARROWBAND SIGNALS USING NUMERIC MODELING**

Vladimir Dmitrievich Zakharchenko

Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Radio Physics,
Volgograd State University
ZVD@volsu.ru
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

Abstract. Transmission of information through space in radiotechnics is achieved using signals modeled by finite functions of the form $x(t) = A(t) \cos[\omega_0 t + \Theta(t)]$, where $A(t)$ and $\Theta(t)$ (amplitude and phase) are time functions slow comparatively to $\omega_0 t$. Preliminary estimate of modulation type of such signals can be performed in time domain based on an integral narrowbandness criterion, according to which the radiosignal modulation type (amplitude (AM) or angular (PM, FM)) is estimated by their input in the left-hand side of the inequality:

$$\left\| \frac{dA}{dt} \right\| + \left\| A \frac{d\Theta}{dt} \right\| \ll \omega_0 \|A\|.$$

The norms corresponding to modulation types included in the inequality are computed in time domain from the signal model $x(t)$ based on evaluations of the envelope $A(t)$ phase $\Theta(t)$ using hilbert transform. The article presents the structure of an algorithm implementing computation and comparison of the norms $\|dA/dt\|$ and $\|A d\Theta/dt\|$.

Statistical modelling is used to estimate the potential noise resistance of the modulation type detection algorithm through calculation of its accuracy in presence of additive noise. Test samples included AM and FM radiosignals with low modulation index ($m = 0.5$) with nearly identical energetic spectra. Noise resistance estimation was performed by calculating the correct decision rate.

It is shown that noise resistance of the proposed algorithm enables definite discrimination of amplitude and phase modulation for noise levels up to 10 dB above the signal; phase-modulated signals are detected with greater accuracy.

Key words: narrowband signal, numeric modelling, potential noise resistance, integral criterion, detection algorithm.