

О ВОЗМОЖНОСТИ РАСПОЗНАВАНИЯ РАДИОСИГНАЛОВ ПО ИХ МГНОВЕННОМУ КОМПЛЕКСНОМУ СПЕКТРУ

П. Ф. Поляков, А. А. Миц

Харьков

Задача распознавания сигналов, объектов, ситуаций в самом общем виде может быть сформулирована как задача сокращенного описания входных данных (отбор полезных признаков) и принятия решения на этой основе о принадлежности сигнала к тому или иному классу (классификация). При этом распознающее устройство должно подчеркивать только то, чем отличается один класс от другого, отвлекаясь от различий внутри класса.

Наиболее трудной проблемой в распознавании является проблема сокращенного описания входных данных, т. е. проблема отбора полезных (информативных) признаков. Поэтому задачей распознающей системы является не сохранение всей информации о параметрах сигнала, как это имеет место в системе связи, например, а, напротив, максимальное сокращение несущественной информации о каждом из них.

Обычно при отборе информативных признаков пользуются различными статистическими критериями [1—3]. В настоящей работе функциональным преобразователем при выделении полезных признаков служит преобразователь Фурье, работающий в реальном масштабе времени [4]. Как известно [4], мгновенный комплексный спектр радиосигнала полностью определяет его свойства. Найдем выражения для мгновенных комплексных спектров различных радиотелеграфных сигналов и определим полезные признаки, на основании которых можно производить их классификацию.

Сигналы с частотной манипуляцией

Спектр комплексной огибающей частотно-манипулированного (ЧМн) сигнала длительностью T как спектр последовательности единичных радиоимпульсов одинаковой амплитуды U_0 и длительности $\tau = T/N$, несущие частоты которых отличаются друг от друга на величину $\Delta\omega$, определяется следующим выражением:

$$\bar{Y}(\omega) = \sum_{n=1}^N \bar{a}_n \exp[-j(2n-1)\omega\tau/2], \quad (1)$$

где

$$\bar{a}_n = U_0\tau \frac{\sin(\omega - q_n\Delta\omega/2)\tau/2}{(\omega - q_n\Delta\omega/2)\tau/2} \exp[j(2n-1)q_n\Delta\omega\tau/4]$$

(q_n — целочисленная функция от n).

Спектр комплексной огибающей (1) можно представить в виде

$$\bar{Y}(\omega) = |\bar{Y}(\omega)| \exp [j\varphi(\omega)],$$

где

$$|\bar{Y}(\omega)| = \left\{ \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^N \bar{a}_n \bar{a}_k^* \exp [-j(n-k)\omega\tau] \right\}^{1/2} - \text{модуль; } (2)$$

$$\varphi(\omega) = -\operatorname{arctg} \frac{\sum_{n=1}^N |\bar{a}_n| \sin(2n-1)(\omega - q_n \Delta\omega/2)\tau/2}{\sum_{n=1}^N |\bar{a}_n| \cos(2n-1)(\omega - q_n \Delta\omega/2)\tau/2} (3)$$

— аргумент спектра.

Анализ выражений (2) и (3) показывает, что амплитудный и фазовый спектры ЧМн сигнала длительностью T не обладают свойствами симметрии, т. е. не являются ни четными

$$|\bar{Y}(\omega)| \neq |\bar{Y}(-\omega)|; \varphi(\omega) \neq \varphi(-\omega), (4)$$

ни нечетными

$$\varphi(-\omega) \neq -\varphi(\omega) (5)$$

функциями частоты. Из рис. 1 наглядно видно выполнение условий (4) и (5).

Фазоманипулированные сигналы

Спектр комплексной огибающей фазоманипулированного (ФМн) сигнала длительностью T можно записать в виде [5]

$$\bar{Y}(\omega) = \bar{S}_0(\omega) \sum_{n=-\frac{N-1}{2}}^{\frac{N-1}{2}} \bar{q}_n \exp [-jn\omega\tau], (6)$$

где $\bar{S}_0(\omega) = U_0 \int_{-\infty}^{\infty} u_0(t) \exp [-j\omega t] dt$ — спектр единичного импульса $u_0(t)$ с амплитудой U_0 ;

$$\bar{q}_n = \exp [-j\Theta_n]; (7)$$

Θ_n — фаза n -го импульса.

Рассмотрим его особенности. Анализ проведем для наиболее распространенных бинарных ФМн сигналов, т. е. фаза Θ_n принимает только два значения: 0 и π . Согласно (7),

$$\bar{q}_n = q_n = \cos \Theta_n$$

является действительной величиной, и (6) запишется в виде

$$\bar{Y}(\omega) = |\bar{Y}(\omega)| \exp [j\varphi(\omega)], (8)$$

где

$$|\bar{Y}(\omega)| = |\bar{S}_0(\omega)| \left\{ \sum_{n=-\frac{N-1}{2}}^{\frac{N-1}{2}} \sum_{k=-\frac{N-1}{2}}^{\frac{N-1}{2}} q_n q_k \cos(n-k)\omega\tau \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

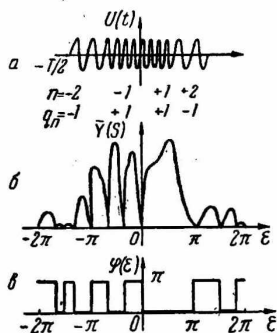


Рис. 1. Реализация ЧМн сигнала для $N=4$ (а); амплитудный (б) и фазовый (в) спектры комплексной огибающей.

— модуль;

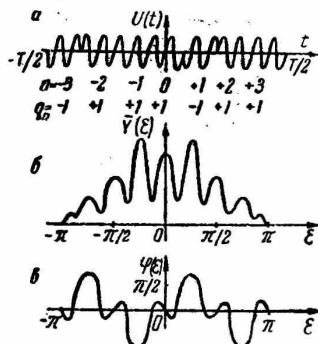


Рис. 2. Реализация ФМн сигнала Баркера для $N=7$ (а); амплитудный (б) и фазовый (в) спектры комплексной огибающей.

$$\varphi(\omega) = \varphi_0(\omega) + \varphi_1(\omega) = \varphi_0(\omega) - \arctg \frac{\sum_{n=-\frac{N-1}{2}}^{\frac{N-1}{2}} q_n \sin n\omega\tau}{\sum_{n=-\frac{N-1}{2}}^{\frac{N-1}{2}} q_n \cos n\omega\tau} \quad (10)$$

— аргумент спектра.

Из выражений (9) и (10) видно, что амплитудный спектр бинарного ФМн сигнала является четной

$$|\bar{Y}(\omega)| = |\bar{Y}(-\omega)|, \quad (11)$$

а фазовый — нечетной функцией частоты

$$\varphi_1(\omega) = -\varphi_1(-\omega). \quad (12)$$

На рис. 2 изображены амплитудный и фазовый спектры ФМн сигнала, из которого наглядно видно выполнение условий (11) и (12).

Сигналы с амплитудной манипуляцией

На практике амплитудно-манипулированный (АМн) сигнал часто имеет вид гармонического колебания постоянной частоты, амплитуда которого, изменяясь, принимает только два значения: 0 и U_0 . В соответствии с этим q_n принимает также только два значения: 0 и 1. Спектр комплексной огибающей такого АМн сигнала длительностью T описывается выражением (8), как и в случае ФМн сигнала.

Следовательно, по признакам четности и нечетности спектральных функций между ФМн и АМн различий нет. Однако детальный анализ показывает, что фазовый спектр $\varphi_1(\omega)$ АМн сигнала содержит линейную составляющую, в отличие от фазового спектра ФМн сигнала. Сказанное хорошо иллюстрируется приведенными графиками (рис. 3), рассчитанными по формулам (9) и (10).

На основании проведенного анализа амплитудных и фазовых спектров реализаций сигналов с ФМн, ЧМн и АМн длительностью T можно сделать следующие

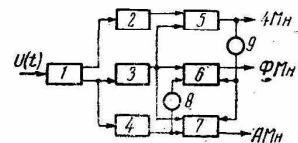


Рис. 4. Блок-схема устройства распознавания радиотелеграфных сигналов:

1 — анализатор мгновенного комплексного спектра; 2 — устройство определения симметрии амплитудного спектра; 3 — устройство определения симметрии фазового спектра; 4 — устройство определения линейной составляющей фазового спектра; 5 — 7 — логические схемы «И»; 8 — 9 — инверторы.

выводы: брать симметрию амплитудных и фазовых спектров и наличие линейного фазового члена. На основании определения этих двух

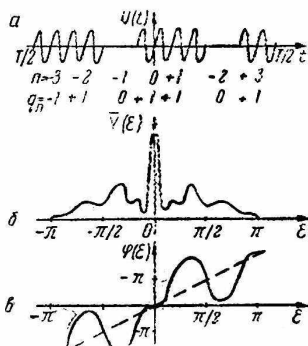


Рис. 3. Реализация АМн сигнала для $N = 7$ (а); амплитудный (б) и фазовый (в) спектры комплексной огибающей.

выводы:

1. При ЧМн амплитудные и фазовые спектры реализаций конечной длительности не обладают свойствами симметрии, т. е. они не являются ни четными, ни нечетными функциями частоты.

2. При ФМн и АМн амплитудные спектры произвольных реализаций являются четными функциями частоты, фазовые — нечетными.

3. Фазовые спектры реализаций АМн сигналов содержат в отличие от фазовых спектров ФМн сигналов линейный фазовый член.

Таким образом, в качестве полезных признаков при распознавании радиотелеграфных сигналов можно вы-

признаков можно производить классификацию радиотелеграфных сигналов по виду манипуляции. Блок-схема, решающая эту задачу, приведена на рис. 4.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. С. Пугачев. Статистические проблемы теории распознавания образов. Труды 3-го Всесоюзного совещания по автоматическому управлению. Самонастраивающиеся системы. Распознавание образов. Релейные устройства и конечные автоматы. Изд-во «Наука», 1967.

2. Ю. Л. Барабаш, Б. В. Варский, В. Т. Зиновьев, В. С. Кириченко, В. Ф. Сапегин. Вопросы статистической теории распознавания. Изд-во «Советское радио», 1967.

3. Л. П. Сысоев. Оценка параметров, обнаружение и различение сигналов. Изд-во «Наука», 1969.

4. В. А. Письменецкий, В. А. Хорунжий. Измерение комплексного спектра узкополосных сигналов в реальном времени. «Радиотехника и электроника», т. 14, № 11, 1969.

5. Л. Е. Варакин. Синтез фазоманипулированных сигналов по аналогии с частотно-модулированными сигналами. Труды научно-технической конференции. Проблемы оптимальной фильтрации. Изд-во «Советское радио», 1967.