УДК 621.004.3:00.3:004.681

В.А. Хорошко[1], Я.Л. Шатило[1]

[1]*Государственный университет информационно-коммуникационных технологий, г. Киев*

УСКОРЕННЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА ОПАСНЫХ СИГНАЛОВ В РАДИОМОНИТОРИНГЕ

В статье описан ускоренный метод анализа сигналов в радио-мониторинга, которые используются для повышения эффективности обнаружения ущерба сигналов.
Ключевые слова: радиомониторинг, корреляционный анализ, стохастическая оценка, кусочно-линейная аппроксимация.

Введение

Повышение требований и эффективности анализов сигналов в системах радиомониторинга (СР) диктует необходимость дальнейшего совершенствования методов и систем. Ввиду того, что сигналы в этих системах имеют вероятностную природу, решение поставленной задачи должно опираться на параллельные методы.

Корреляционный анализ является одним из наиболее распространенных методов обработки сложных сигналов. На основе изменения корреляционной функции $\boldsymbol{R(\tau)}$ можно определить: отрезки статистически независимых функций времени, частотные характеристики случайного сигнала $\boldsymbol{N}$, решать другие актуальные задачи. К числу последних относится применение этого метода в СР. Понятно, что при этом вопросы точности и быстродействия корреляционного анализа уделяется основное внимание.

Наиболее полной характеристикой оценки $R_{xy}^*(\tau,T)$, как и любой случайной функцией, является ее многочисленные функции распределения. Однако на практике приходится ограничиваться вычислением только простейших числовых характеристик оценки, таких как математическое ожидание, дисперсия, которые в свою очередь зависят не только от $\boldsymbol{R_{xy}(\tau)}$ и длины реализации $\boldsymbol{T_1}$ но и от высших моментов случайного процесса.

Применение дисперсии в качестве критерия, точности оправдано лишь при нормальном или близком к нему распределении оценки, так как только в этом случае по дисперсии можно легко определить точность оценки при заданной надежности. Распределение оценки корреляционной функции $\boldsymbol{R(\tau)}$ случайных процессов $\boldsymbol{X(t)}$ и $\boldsymbol{Y(t)}$ зависит от закона распределения самих процессов от алгоритма вычисления оценки и меняется с изменением длины реализации $\boldsymbol{T}$ и корреляции сдвига $\boldsymbol{\tau}$. В пределе при $\boldsymbol{T}\to\infty$ закон распределения оценки $R_{xy}^*(\tau,T)$ выражается в дельта-функцию. Рассмотрим законы распределения и критерии точности оценки корреляционных функций гауссовских стационарных и стационарно-связанных эргодических случайных процессов, вычисленных по неприрывно-шаговому и выборочному алгоритмам:

$$R_{xy}^{*}(k\Delta\tau_1 T)=\frac{1}{T}\int\limits_{o}^{T}x(t)y(t+k\Delta\tau)dt;$$

$$R_{xy}^{*}(k\Delta\tau_1 N)=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}x(i\Delta t_B)y(i\Delta t_B+k\Delta\tau);$$

где, $\Delta\tau$ - шаг дискретности корреляционного сдвига; Δt_B - шаг отбора выборочных пар (x_i, y_i), определенным образом связанный с величинами $\Delta\tau$, Δt_x, Δt_y; $N = T/\Delta t_B$; $k\Delta\tau=\tau$ [1].

Приближенный закон распределения оценки корреляционной функции можно получить путем построения ряда Эджворта. Если оценка имеет конечные моменты четвертого порядка, то функция распределения оценки и плотность распределения оценки могут быть представлены первыми четырьмя членами расхождения в ряд Эджворта [2,3].

Основная часть

Наиболее известный мультипликативный метод определения ***R(τ)*** средствами цифровой техники реализуется путем вычисления ординат в СР по выражению

$$R(\tau)\cong R(k\Delta t)=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\overset{\circ}{x}(i\Delta t)\,\overset{\circ}{y}(i\Delta t\pm k\Delta\tau) \tag{1}$$

где, $\overset{\circ}{x}(i\Delta t)$, $\overset{\circ}{y}(i\Delta t)$ - дискреты анализируемых непрерывных сигналов, ***x(t), y(t)*** с нулевыми математическими ожиданием; ***k=0,1,2,…., n-1; N*** – количество совпадений дискретов этих сигналов; $\Delta\tau$ – интеграл задержки одного из сигналов относительно другого.

Операций умножения, требуемая при вычислениях по формуле (1) наиболее трудоемкая и существенно влияет на быстродействие анализа в целом. Исключить ее можно различными методами: самый радикальный – знаковый (полярный) метод основан на предварительном спектре (сильном ограничении по амплитуде) анализируемых ***x(t)*** и ***y(t)***. В результате используют лишь полярности сигналов

$$R_{зн}(\tau)\cong\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\operatorname{sgn}\overset{\circ}{x}(i\Delta t)\operatorname{sgn}\overset{\circ}{y}(i\Delta t\pm k\Delta t); \tag{2}$$

т.е. умножение заменяется подсчетом количества совпадений знаков.

Рассмотрим ускоренный метод определения ***R(τ),*** основанный на использовании адаптивной задержки сигналов, что приводит к замене постоянной величины $\Delta\tau$ переменной. При этом используется известная концепция о высокой информативности экстремумов аналогового процесса [4].

Поскольку амплитудно-временные значения сигналов на участках между экстремумами существенной информации не содержат, при выполнении операций по определению $\boldsymbol{R(\tau)}$ позволительно осуществлять задержку по принципу і значения $\{\tau_i\}$ должны соответствовать временным значениям $\boldsymbol{x(t)}$ и/или $\boldsymbol{y(t)}$. Корреляционная функция при этом будет представлена неравномерной последовательностью значений ординат $\{R(\tau_i)\}$, вычисленных с той точностью, которую обеспечивает использованный корреляционный метод (разумеется, если он содержит операцию задержки).

На рис.1 показаны процедуры по реализации метода (на примере вычисления автокорреляционной функции в СР). Из сигнала $\boldsymbol{x(t)}$ выделяются экстремумы и фиксируются моменты их появления $\boldsymbol{t_0, t_1, \ldots, t_i, \ldots}$

Затем полученным величинам $\{t_i\}$. Ставится в соответствие $\{\tau_i\}$: $\tau_0 = t_0$, $\tau_1 = t_1$,..., $\tau_i = t_i$ и т.д. Таким образом, значения ординат $\{R(\tau_i)\}$ вычисляются с переменной задержкой определяемой временем появления в $\boldsymbol{x(t)}$ экстремумов. Для получения более точных результатов следует использовать временные значения того сигнала, который содержит более высокие частотные составляющие, либо учитывать моменты появления экстремумов в обоих сигналах (при определении взаимокорреляционной функции). Если необходимо иметь непрерывную функцию $\boldsymbol{R(\tau)}$, то над полученными дискретными значениями производится аппроксимация любым из известных способов.

В общем случае целесообразно вслед за вычислениями $\boldsymbol{R(o)}$ определять дополнительно несколько ординат корреляционной функции в окрестности $\boldsymbol{\tau = o}$. Этим достигается возможность надежного определения $\boldsymbol{R''(o)}$ даже в случае, когда интервалы между начальными экстремумами анализируемого сигнала довольно велики.

В случайном (изучаемом) аналоговом сигнале, подвергнутом равномерной дискретизации с шагом

$$\Delta t = \frac{1}{2 f_{\max}} \qquad (3)$$

где $f_{\max}$ - максимальная частота гармоник $\boldsymbol{x(t)}$, где количество экстремумов в среднем в $3 \div 5$ раз меньше общего числа дискретов. Следовательно, использование адаптивной задержки при вычислениях $\boldsymbol{R(\tau)}$, например по выражению (1) в $3 \div 5$ раз сокращает время анализа.

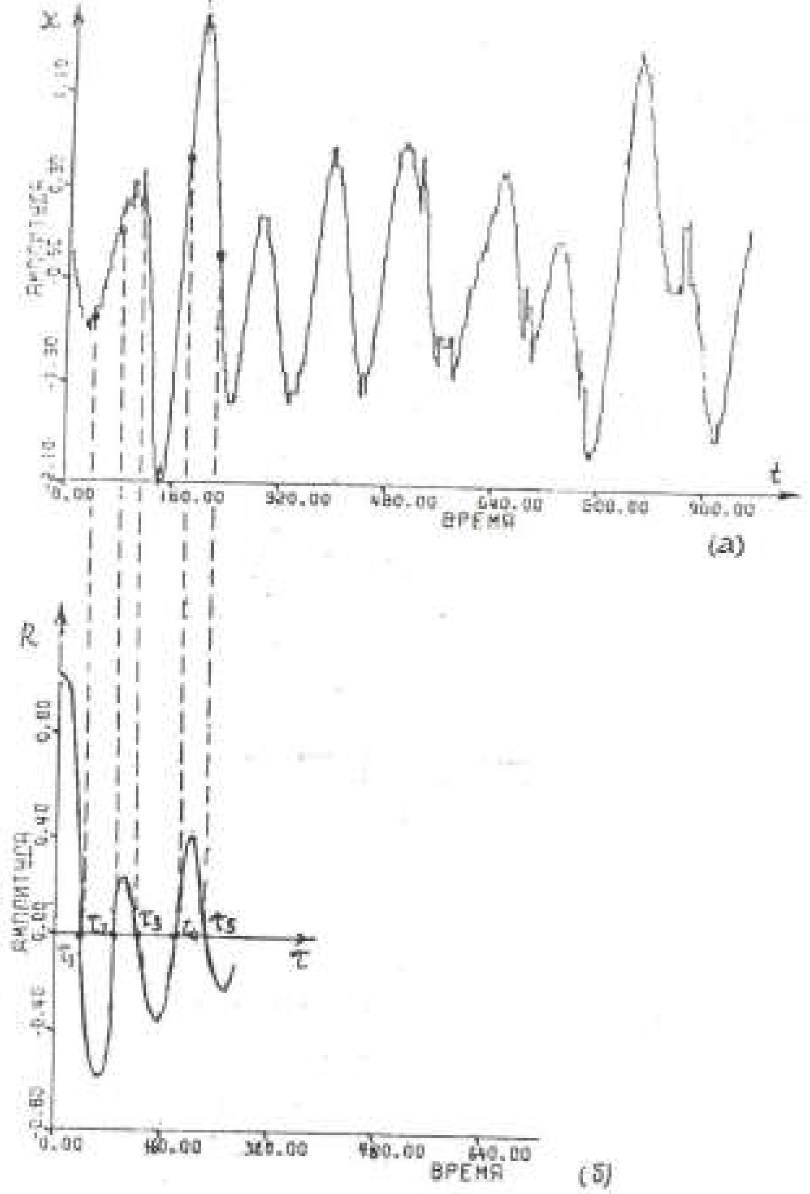

Рис.1

Соответствующее дополнительное ускорение может быть получено и при реализации соотношения (2) наряду с адаптивной задержкой.

Следует, однако, отметить, что в частных случаях, когда ***x(t)*** является суммой большого числа гармонических составляющих использование описанного метода задержки приводим и еще более существенному ускорению анализа. Так, исследования, проведенные на модели коррелометра (реализованного на ПЭВМ), показали, что для ***x(t),*** синтезированного из 20 сигналов с произвольно заданными значениями фаз, частот и амплитуд, скорость анализа увеличивается не менее чем в 30 раз.

Еще большей алгоритмической простотой формирования системы ортогональных функций отличается стохастический базис Дискретного аргумента [4].

Этот базис составляет теоретическую основу метода [4], который по быстродействию на 2-3 порядка превосходит наиболее быстрые известные спектральные расхождения. Метод обеспечивает анализ ***x(t),*** представленного последовательностью его экстремумов и, таким образом, допускает обработку нестационарных процессов, что особенно важно для СР. Базисная система $\{\varphi_c(t)\}$ функций образуется при выполнении следующих операций:

- из случайного (опасного) сигнала ***x(t)*** выделяются экстремумы и, после измерения их амплитудно-временных значений, вычисляются временные интервалы $\{\Delta t_i\}$ и знаки амплитудных приращений $\{\operatorname{sgn}\Delta x_i\}$;
- по значениям $\{\Delta t_i\}$, $\{\operatorname{sgn}\Delta x_i\}$ – формируются последовательности прямоугольных импульсов, каждая из которых и образует $\varphi_c(t)$, при этом длительность каждого i-го импульса определяется значением $\Delta t_i = t_{i+1} - t_i$;
- полярность импульса определяется знаком Δx_i, амплитуда-единичная φ;
- первая базисная функция $\varphi_1(t)$ формируется из начального массива ***N*** экстремумов, последующее – после исключения четких (или нечетких) экстремумов из предыдущего массива и выделения новых экстремумов.

Рис. 2 иллюстрирует способ формирования $\{\varphi_c(t)\}$ конкретным примером.

Пусть ***x(t)*** показанный на рис. 2,б является результатом синтеза 3-х синусных функций (рис. 2, а). Получив экстремумы ***x(t)***, которые приведены на рис. 2,в, описанным способом формирования дискретного стохастического базиса, находим $\varphi_1(t)$ (рис. 2,г).

На следующем этапе обработки, исключив из начального массива четные экстремумы, получим выборки нового сигнала $\boldsymbol{x_1(t)}$. После нахождения экстремумов $\boldsymbol{x_1(t)}$ формируется $\varphi_2(t)$, затем – повторение аналогичных операций - $\varphi_3(t)$ (рис. 2 д,е).

В общем случае повторение операций продолжается до тех пор, пока исчерпывается массив прореживаемых дискретов.

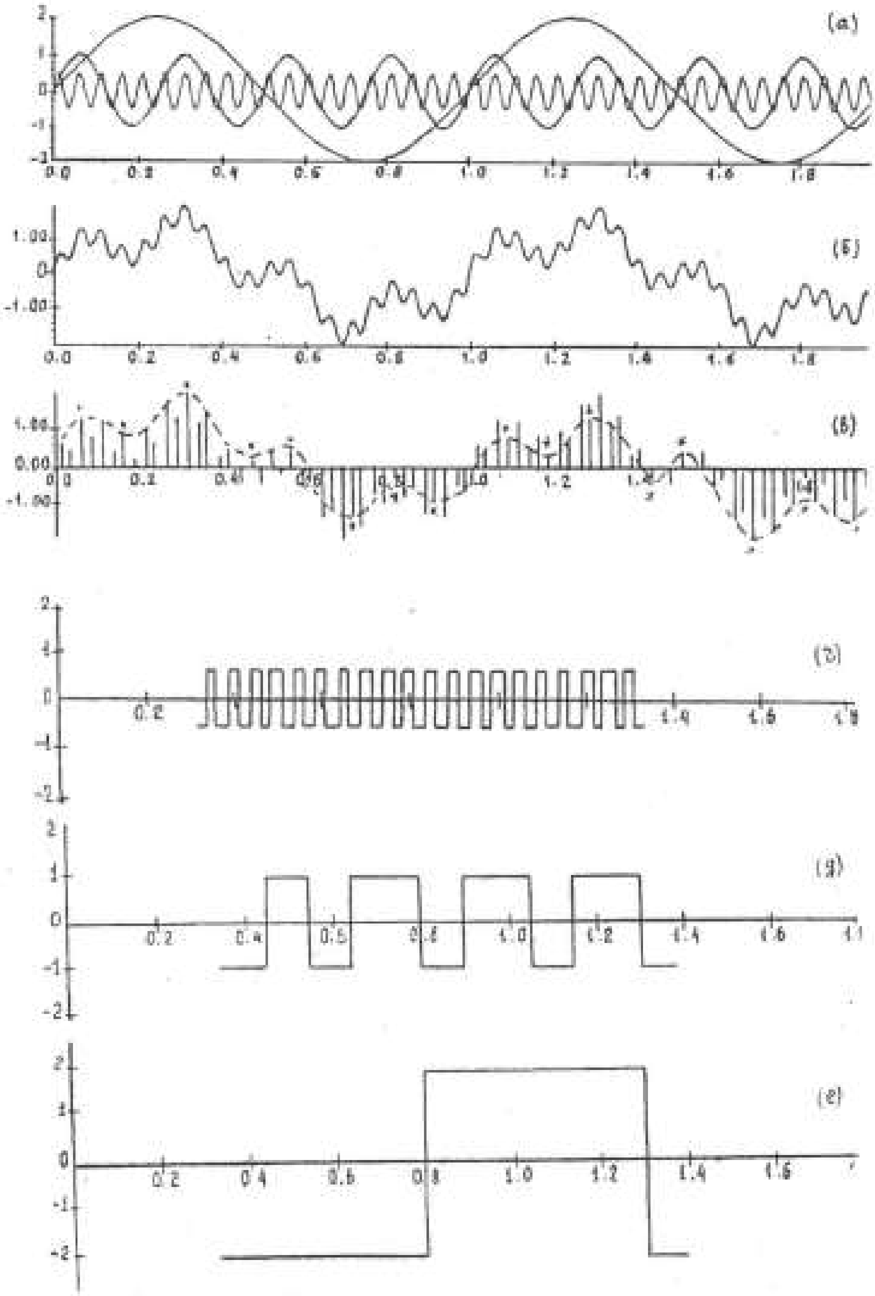

Рис.2

В средствах радиомониторинга широко используются средства вычислительной техники (СВТ), которые позволяют решать все выше изложенные задачи.

Существенное улучшение характеристик СВТ для СР позволяет использовать несколько подходов: [5]:

Первый подход заключается в использовании СВТ с поточной или параллельной организацией. Каждые такие СВТ обладают высокими показателями по быстродействию и являются блоком одно- или многократных средств обработки сигналов.

Второй подход предполагает использование специализированных сигнальных СВТ для узкого класса алгоритмов СР. Такие специализированные СВТ характеризуются большой производительностью на конкретном классе задач.

Третий подход предлагает применение однокристальных микро ЭВМ, обеспечивающих программную реализацию комплекса алгоритмов ускоренного анализа сигналов. Этот тип СВТ может осуществлять не только большой объем вычислений при обработке сигналов, что характерно и для первых двух подходов, но и на основе анализа информационного потока данных решать сложные задачи.

Эти СВТ предназначены для решения всех выше изложенных задач и в первую очередь ускоренный метод корреляционного анализа сигналов в системах радиомониторинга.

Выводы

Следует отметить, что для оператора СР обычно интерес представляет не стохастическая оценка погрешности результата определения $\boldsymbol{R(\tau)}$, а точность определения момента, когда $\boldsymbol{R(\tau)=0}$. А эти информативные компоненты $\boldsymbol{R(\tau)}$, измеряемые традиционным и предлагаемым методами очень близки даже при использовании кусочно-линейной аппроксимации.

Литература

1. Бендат Д. Прикладной анализ случайных данных / Бендат Д., Пирсол А. – М.: Мир, 1989.-540 с.
2. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. Т1 / Макс Ж. – М.: Мир, 1983.-312с.
3. Серженко А.В. Цифровая обработка сигналов / Серженко А.Б. – СПб. Изд.: Питер, 2002.-608с.
4. Понамарева И.Д. Сверхбыстрый спектральный анализ / Понамарева И.Д. , Цепков Г.В. // Проблемы управления и информатики. - №1, 1998. – С.107-114.
5. Шатило Я.Л. Цифровые метода обработки информационных сигналов при радиомониторинге /Шатило Я.Л. // Сучасний захист інформації, №1, 2012.-С44-49.

Надійшла до редколегії 01.05.2013 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Петров А.С.

Хорошко В.О., Шатило Я.Л.

ПРИСКОРЕНИЙ МЕТОД АНАЛІЗУ НЕБЕЗПЕЧНИХ СИГНАЛІВ В РАДІОМОНІТОРИНГУ

У статті описаний прискорений метод аналізу сигналів в радіо-моніторингу, які використовуються для підвищення ефективності виявлення шкоди сигналів.

Ключові слова: радіомоніторинг, кореляційний аналіз, стохастична оцінка, кусково-лінійна апроксимація.

Khoroshko V.A., Shatilo Ya.L.

THE ACCELERATED METHOD OF THE ANALYSIS OF DANGEROUS SIGNALS IN RADIO MONITORING

The article describes the accelerated method of signal analysis in radio monitoring, used for increasing the efficiency of detection the compromising signals.

Keywords: radio monitoring, correlation analysis, stochastic assessment, piecewise and linear approximation.