

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихонов А.Н. Математическая модель // Математический энциклопедический словарь. – М.: Изд-во «Советская энциклопедия», 1995. – С. 343–344.
2. Вейль Г. Классические группы, их инварианты и представления. – М.: Иностр. лит-ра, 1947. – 408 с.
3. Баранов В.А., Чекалин А.С. Система цифрового томосинтеза для неразрушающего контроля // Дефектоскопия. – 1988. – № 5. – С. 30–36.
4. Baranov V., Chakhlov V., Kröning M., Morgner W. High speed computerized tomography on thickwalled steel and concrete components using a portable 6 MeV betatron // 6th European Conference on Non-destructive testing: Collect. of papers. – Nice, France, 1994. – № 2. – P. 1287–1291.
5. Baranov V.A., Temnik A.K., Chakhlov V.L., Chekalin A.S. Betatron tomography with the use of nonlinear backprojection techniques // International Symposium on Computerized Tomography for Industrial Applications: Collect. of papers. – Berlin, 1994. – P. 271–277.
6. Baranov V.A. Convex projections reconstruction algorithms on the basis of non-linear backprojection approach // International Symposium on Computerized Tomography for Industrial Applications: Collect. of papers. – Berlin, 1994. – P. 88–95.
7. Ewert U., Schumm A., Nockeman C., Baranov V.A. Fortschritte auf dem Gebiet der digitalen Laminographie // Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V., Jahrestagung 1995 (100 Jahre Röntgenstrahlen und die heutige Vielfalt Industrieller ZfP-Praxis), Aachen. – 1995. – P. 471–475.
8. Baranov V.A. A Variational Approach to Non-Linear Backprojection // Computerized Tomography: Collect. of papers / Editor-in-Chief: M.M. Lavrent'ev. – Utrecht, Netherlands, 1995. – P. 82–97.
9. Ewert U., Baranov V., Borchard K. Cross-sectional imaging of building elements by new non-linear tomosynthesis technique using imaging plates and Co⁶⁰ radiation // NDT & E International. – 1997. – V. 30. – № 4. – P. 243–248.
10. Baranov V., Ewert U. A group-theoretical approach to ill-posed problems // Computer Methods and Inverse Problems in NDT and Diagnostics: Book of abstract to 3rd Intern. Scient. Conf. (CM NDT – 2001). – M., 2002. – P. 11–12.

Поступила 30.09.2009 г.

УДК 519.2:519.688

ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОЙ КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ

В.С. Аврамчук, В.Т. Чан

Томский политехнический университет
E-mail: tranvietchau@yahoo.com

Предложен и проанализирован способ расчета частотно-временной корреляционной функции, позволяющий выявить взаимосвязь сигналов на различных частотах.

Ключевые слова:

Частотно-временной корреляционный анализ, корреляция, спектральный анализ.

Key words:

Time-and-frequency correlation analysis, correlation analysis, spectral analysis.

Цифровая обработка сигналов в настоящее время используется для фильтрации, спектрального анализа, свертки и корреляции. Корреляция также может быть использована для установления сходства одного набора данных с другим.

На практике в основном используют быструю корреляцию, основываясь на соответствующей теореме [1]. Этот широко используемый и эффективный способ анализа сигналов обладает существенным ограничением – по его результатам невозможно определить, в каком частотном диапазоне сигналы коррелированы. Предлагаемый способ расчета частотно-временной корреляционной функции позволяет детализировать информацию об общих свойствах двух сигналов.

Положим, имеются дискретные сигналы x_i и y_i , взаимную связь которых, если она существует, следует выявить. Задача состоит в обнаружении взаимной связи этих сигналов и частотного спектра, на котором она проявляется.

Рассмотрим взаимно-корреляционную функцию

$$r_{12} = F^{-1}[F(x_i)F^*(y_i)], \quad (1)$$

где F – прямое дискретное преобразование Фурье первого сигнала, F^* – комплексно-сопряженное значение результатов прямого дискретного преобразования Фурье второго сигнала, F^{-1} – обратное дискретное преобразование Фурье. Идея предлагаемого способа состоит в следующем. Прежде чем подвернем произведение $F(x_i)F^*(y_i)$ обратному преобразованию Фурье, составим m его копий M^k , $k=0, \dots, m-1$, предварительно обнулив весь спектр, кроме k -ой части. В результате обратного преобразования Фурье каждой из этих копий получим взаимно-корреляционную функцию на соответствующих частотах. Совокупность всех результатов обратного дискретного преобразования Фурье дает частотно-временную корреляционную функцию. Формульная запись будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned}
 r_{12} &= Z_i^k, \\
 Z^k &= F^{-1}[M^k], \\
 M_j^k &= \begin{cases} P_j, & \frac{k}{m} \leq \frac{j}{2^{n-1}+1} < \frac{k+1}{m}, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases} \\
 P_j &= F(x_i)F^*(y_i),
 \end{aligned} \tag{2}$$

где x_i и y_i – отсчеты входных сигналов,

$$\begin{aligned}
 i &= 0, 1, \dots, 2^n - 1, \\
 j &= 0, 1, \dots, 2^{n-1} + 1, \\
 k &= 0, 1, \dots, m - 1, \\
 m &= 0, 1, \dots, \\
 n &= 2, 3, \dots
 \end{aligned}$$

Блок-схема вычислений, соответствующих условию (2), приведена на рис. 1.

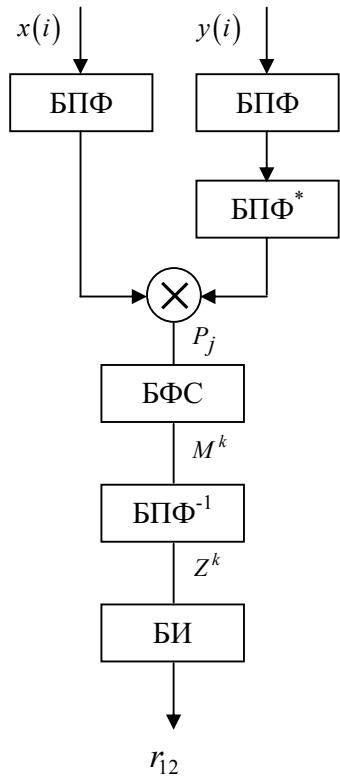


Рис. 1. Блок-схема вычисления взаимной частотно-временной корреляционной функции. БПФ – блок быстрого преобразования Фурье, БПФ* – блок получения комплексно сопряженных чисел, БФС – блок формирования сигналов, БПФ⁻¹ – блок быстрого обратного преобразования Фурье, БИ – блок интерпретации

Прямое и обратное преобразования Фурье реализуются в форме быстрого преобразования Фурье. На входы блоков вычисления прямого преобразования Фурье поступают сигналы x_i и y_i размерностью 2^n . Из полученного произведения P_j в блоке формирования сигналов БФС формируются m сигналов M^k , где $j=0,1,\dots,2^{n-1}+1$; $m=2,3,\dots,2^{n-1}$; $k=0,1,\dots,m-1$. Полученные сигналы M^k подверга-

ются обратному преобразованию Фурье $Z^k=F^{-1}[M^k]$. По результатам обратного преобразования Фурье в блоке интерпретации определяются частотно-временная корреляционная функция

$$r_{12}(f_k, t_i) = Z_i^k,$$

где

$$\begin{aligned}
 t_i &\in [t_{\min}, t_{\max}]; f_k \in [f_{\min}, f_{\max}]; \\
 t_i &= i \cdot \frac{1}{f_d}; f_k = \frac{k \cdot f_{\max}}{m}; t_{\min} = -\frac{2^{n-1}}{f_d}; \\
 t_{\max} &= \frac{2^{n-1}-1}{f_d}; f_{\min} = \frac{f_d}{2^n}; f_{\max} = \frac{f_d}{2},
 \end{aligned}$$

f_d – частота дискретизации сигнала. По полученным результатам можно построить график частотно-временной корреляционной функции $r_{12}(f, t)$, который визуально иллюстрирует корреляцию гармонических составляющих исследуемых сигналов x_i и y_i на различных частотах.

Для демонстрации предложенного способа рассмотрим несколько тестовых примеров. Исходные данные и результаты расчета приведены в таблице, графическое представление результатов дано на рис. 2–4. Частота дискретизации в тестовых примерах равна 44,1 кГц. Размер выборки $2^{13}=8192$ отсчетов. Количество формируемых копий $m=281$.

Таблица. Исходные данные и результаты расчета. Ампл.=1 отн.ед.

Сигнал	Частота, кГц	Расчетная частота, Гц	Задержка, отсчет	Расчетное значение задержки, отсчет	Номер рисунка
1	7	7008,75	0	0	2
	10	10001,25	0	0	
	15	15041,25	0	0	
2	7	7008,75	0	0	3
	10	10001,25	0	0	
	15	15041,25	0	0	
1	7	7008,75	0	0	4
	10	10001,25	0	0	
	15	15041,25	0	0	
2	7	7008,75	0	0	
	10	10001,25	2000	1997	
	15	15041,25	0	0	
1	7	7008,75	0	0	
	10	10001,25	2000	1998	
	15	15041,25	2000	1997	
2	7	7008,75	0	0	
	10	10001,25	0	0	
	15	15041,25	0	0	

Выводы

- Предложен способ расчета частотно-временной корреляционной функции, позволяющий выявить взаимосвязь сигналов на различных частотах.
- Способ может быть использован для нахождения корреляции звуковых сигналов из двух источников с высоким уровнем шумов и широким частотным спектром, в частности, для обнаружения утечек в трубопроводных системах.

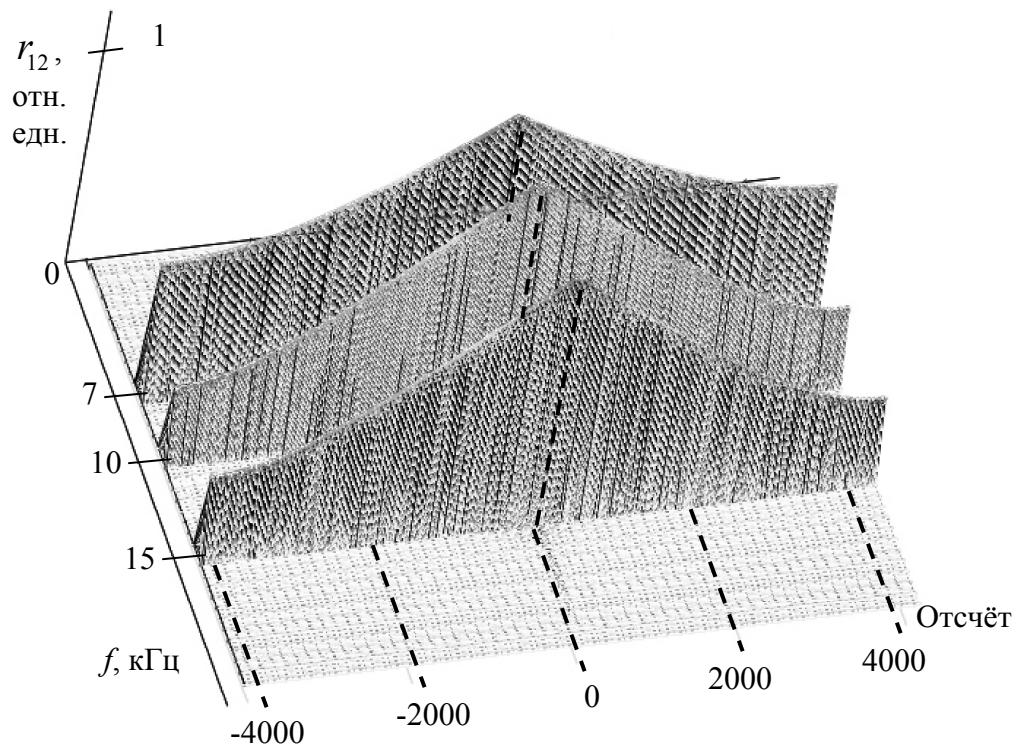


Рис. 2. Частотно-временная корреляционная функция для тестового примера № 1

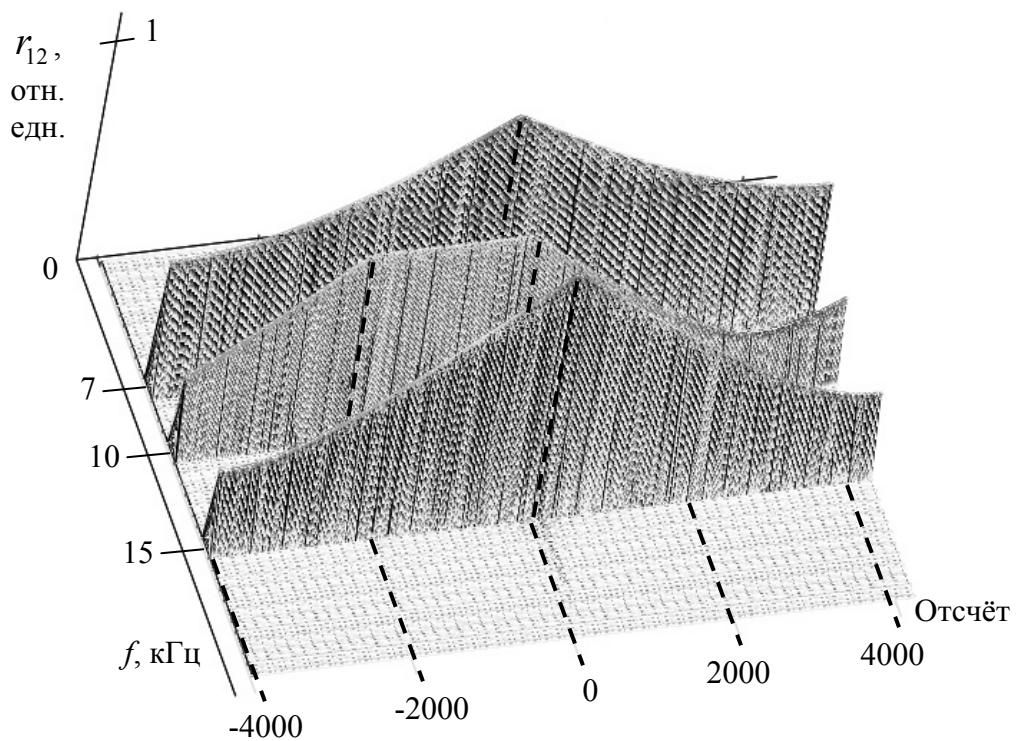


Рис. 3. Частотно-временная корреляционная функция для тестового примера № 2

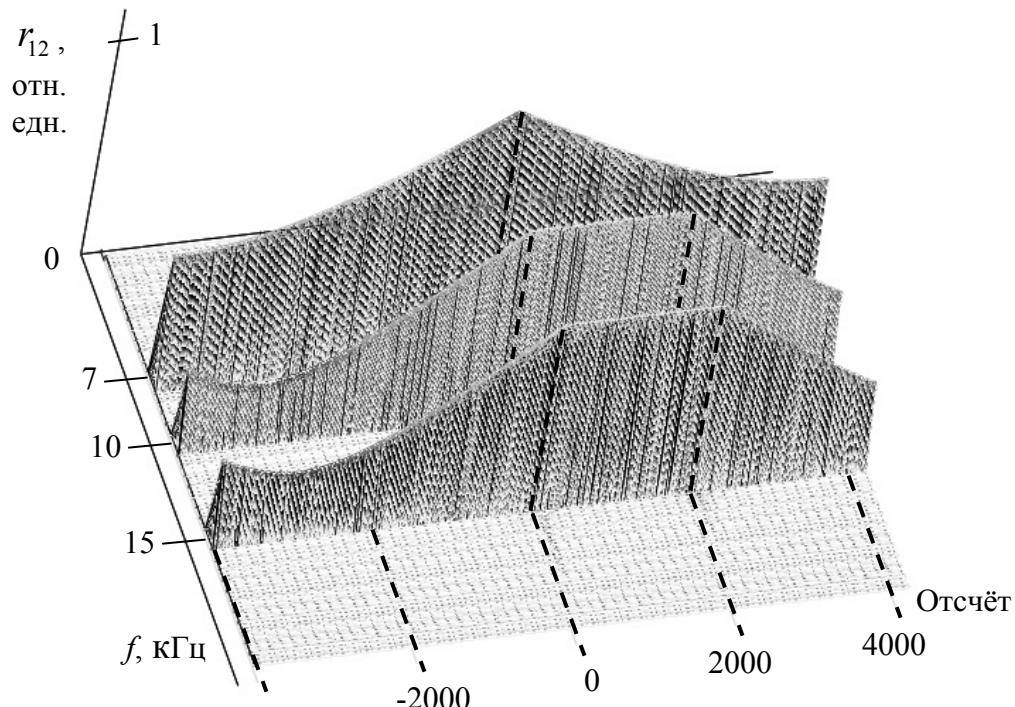


Рис. 4. Частотно-временная корреляционная функция для тестового примера № 3

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

3. Айфичер Э.С., Джервис Б.У. Цифровая обработка сигналов: практический подход. 2-е изд. – М.: Вильямс, 2008. – 992 с.
4. Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. – М.: Мир, 1990. – 536 с.
5. Нуссбаумер Г. Быстрое преобразование Фурье и алгоритмы вычисления свертки. – М.: Радио и связь, 1985. – 248 с.
6. Хемминг Р.В. Цифровые фильтры / Под ред. проф. А.М. Трахтмана. – М: Советское радио, 1980. – 224 с.

Поступила 08.07.2009 г.

УДК 004.02.21

ИСПРАВЛЕНИЕ ОШИБОК СТАФИНГОВАНИЯ В СИСТЕМАХ СВЯЗИ С ПЕРЕСПРОСОМ

А.Н. Шкердин, О.Ф. Юдин*

Академия Федеральной службы охраны России, г. Орёл

*ФГУП «НИИ «Квант», г. Москва

E-mail: uof@rdi-kvant.ru

Рассматривается аналитическая модель канала и статистика ошибок при передаче данных, приводится оценка эффективности метода повышения достоверности приема информации на основе расчета вероятности ошибок в стандартном пакете HDLC.

Ключевые слова:

Исправление ошибок, переспрос, системы связи, модуляция.

Key words:

Error correction, negative acknowledgement, communication systems, modulation.

В современных системах передачи данных применение переспроса для обеспечения необходимой достоверности передачи информации является обязательной процедурой. Однако, при ведении мониторинга не всегда можно отследить канал обратной связи (ОС), а наличие ошибок приводит к потере информации, передаваемой в канале. Су-

ществующие методы исправления ошибок в каналах систем связи с переспросом в настоящее время не удовлетворяют возросшим требованиям к качеству приема. В [1] предложены методы повышения достоверности приема информации при ведении мониторинга, которые используют её избыточность и компенсируют отсутствие канала ОС. Для