



УДК 004.043

С.В. Иванов
Санкт-Петербург, Россия

АЛГОРИТМЫ КОРРЕКТНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОЖНОГО ПРОЦЕССА

S.V. Ivanov
St.-Petersburg, Russia

ALGORITHMS FOR CORRECT INTERPRETATION OF INFORMATION CHARACTERISTICS COMPLEX PROCESS

Описано использование алгоритмов корректной интерпретации информационных характеристик применительно к сложному процессу в виде заданного смоделированного сигнала. Произведены необходимые расчеты погрешности на примере разработанной программной модели в виде интерпретатора.

АЛГОРИТМ. КОРРЕКТНЫЙ. НЕКОРРЕКТНЫЙ. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ. СЛОЖНЫЙ ПРОЦЕСС. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУРЬЕ. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ.

In this article describes applications of algorithms in correct interpretation of the information characteristics for the complex process in the form of set simulated signal. On the example of the developed program model in the form of a interpreter was made the necessary calculations of error.

ALGORITHM. CORRECT. INCORRECT INTERPRETATION. FOURIER TRANSFORM. COMPLEX PROCESS. INFORMATION CHARACTERISTICS.

В результате активного развития компьютерных технологий в мире происходит рост использования разнородной информации. Появляется необходимость в ее корректной обработке и измерении, а также интерпретации информационных характеристик. В условиях острой конкуренции между учеными и технологами в создании оптимального аппарата для обработки разнородной информации становится крайне сложно осуществлять разработку новых методов преобразования информации, которые нередко бывают очень громоздкими и нестандартными.

С развитием компьютерных технологий необходимы методы компактных и стандартных обработок информации, позволяющие измерять и идентифицировать разнородную информацию на стадии обработки сложного информационного процесса.

С точки зрения измерения информации большой вклад в этой области исследований сделал Р. Хартли (1928), выведя формулу, позднее усовершенствованную К. Шенноном (1948). Методы К. Шеннона в теории инфор-

мации разобраны, и модифицированы для различных отраслей и узких специализаций науки Г.Н. Поваровым (1957, 1959), Н. Винером (1958), Р.Л. Добрушиным (1959), А.А. Харкевичем (1960), Р.М. Фано (1965), А.Н. Колмогоровым (1965, 1991), А.М. Яглом и И.М. Яглом (1973), В.В. Лидовским (2003). На основе этих методов до сих пор создаются различные алгоритмы, программное обеспечение и технические установки J.J. Ashley (1993), P-N. Chen & F. Alajaji (1999), А.А. Шукой (2002), В.В. Золотарёвым (2005), T.S. Schneider (2006), K.A.S. Immink (2007), С.Б. Мулловым (2010).

Современные исследования в области теории информации и радиотехники показали актуальность применения преобразования Фурье для определения информационных характеристик сигнала в виде разнородного сложного процесса N. Morrison (1994), J.F. James (1995), A. Terras (1999), R. Bracewell (1999), И.П. Гуров (2000), G. Bachman (2000), D.N. Rockmore (2000), E. Prestini (2004), T.W. Körner (2004, 2008), D.W. Kammler (2007), S. Wang (2008), R. Scholte

(2008, 2009). В настоящее время эта проблема стала актуальнее, т. к. появилась необходимость корректной интерпретации полученных информационных характеристик разнородных сложных процессов.

Прямое и обратное преобразование Фурье и постановка корректной и некорректной задачи

С ростом компьютерного прогресса становится все более актуальным использование алгоритмов, предназначенных для субъективных целей преобразования и интерпретации информации различных отраслей науки. В докторской диссертации R. Scholte «Fourier Based High-resolution Near-Field Sound Imaging» (2008) рассмотрено прямое и обратное двумерное преобразование Фурье и получен патент с приоритетом от 24 апреля 2008 г. R. Scholte в своих исследованиях рассматривает прямое и обратное преобразование Фурье, а также осуществляет некорректное решение задачи для обработки информации звукового сообщения [1, 2]. В большинстве математических задач основным связующим звеном является такой факт, что по исходным данным u ищется решение z . При этом считается, что u и z связаны функциональной зависимостью $z = R(u)$. Такая задача является корректной (или корректно поставленной) при условии выполнения следующих требований (требования корректности): 1) задача имеет решение при любых допустимых исходных данных (существование решения); 2) каждым исходным данным u соответствует только одно решение (однозначность задачи); 3) решение задачи является устойчивым, т. е. решение задачи непрерывно и зависит от данных задачи). Если эти требования не выполняются, то задача является некорректной. Сама основа преобразования Фурье все же является стандартным вычислением. Рассмотрим основные аспекты вычисления преобразования Фурье, используемые в алгоритмах.

Суть разработки заключается в определении величины каждой гармоники (в т. ч. и амплитуды), а затем вероятностной составляющей в ней по необходимости. Это позволит судить о возможных периодах в исследованном сложном процессе после генерации искомого сложного процесса или получения его путем измерения. Если получен сложный процесс $u(t)$, удовлетворяющий перечисленным условиям, а также произведено преоб-

разование Фурье, то после этого осуществляется идея удаления гармоник, в которых заключается необходимая информация. Затем производится обратное преобразование Фурье. Если полученная форма сложного процесса удовлетворяет задуманной форме, а нужная частота или помеха исчезла, то эффект достигнут. После этого берется начальный сложный процесс в виде файла. Затем производится быстрое преобразование Фурье и получаются гармоники. Составляется массив из нулей и единиц, где неинформационные гармоники равны нулю, а номер элемента, где находится искомая гармоника, равен единице. После этого два массива перемножаются. В результате получается исходный период. В процессе решения задачи естественно используется поэтапное определение информационной гармоники в соответствии с изложенными выше операциями.

Организация выявления несущей частоты идет преобразованием Фурье с использованием решения некорректных и корректных задач. Это позволит обрабатывать периодические сигналы не только без шума, но и с шумом. С помощью решения некорректных и корректных задач появляется возможность использования обратного и прямого преобразования Фурье над массивом физических характеристик в виде сложного процесса. Под сложным процессом понимается любой периодический сигнал с шумом или без шума, которому можно придать информационный смысл. С помощью использования теории корректных и некорректных задач появляется возможность удаления одной или нескольких гармоник для выявления скрытых периодичностей. Это действие используется для фильтрации зашумленных сигналов. Поэтому описанные ниже алгоритмы по своей структуре напоминают фильтр. Само удаление гармоники производится перемножением массива, созданного в соответствии с необходимостью удаления гармоник. Исходный массив гармоник U_k представляет матрицу $(u_1, u_2, u_3, \dots, u_k)$, а исходный сигнал описывается массивом $S_k (s_1, s_2, s_3, \dots, s_k)$. Результат будет

$$AL_k = S_k U_k, \quad (1)$$

где AL_k – окончательный массив, предназначенный для обратной обработки оператором Фурье A^{-1} . На основе этого сочетания посредством нескольких действий можно выбрать нужную гипотезу определяемой гармоники с исследуемой несущей частотой [3].

Особенность определения несущей частоты заключается в создании массива $[k]$ из единиц, а затем массива $[zz]$, состоящего из гармоник, после преобразования Фурье над сложным процессом $u(t)$. Затем подсчитываем номер или номера гармоник, в которых находится нужная информация. После этого создаем массив $[d]$, равный по длине одиночных отсчетов массиву $u(t)$. В массиве $[d]$ убираем неинформационные номера гармоник посредством обнуления. Выполнив это действие, убираем неинформационные гармоники, оставляя только информационные. Это позволяет говорить о процессе с точки зрения решения некорректных задач. Затем производим обратное преобразование Фурье с полученным массивом данных.

Описание полезной модели для определения несущей частоты с использованием обратной задачи

Полезная модель относится к системам приема и обработки электрических сигналов и может использоваться при восстановлении искаженных электрических сигналов в системотехнике, радиотехнике, информационной технике и других областях, связанных с приемом и передачей информационных данных. Полезная модель называется «Устройство для определения несущей частоты искаженного электрического сигнала» [3] (рис. 1).

Известно устройство для определения несущей частоты искаженного электрического сигнала для его восстановления. Устройство содержит источник сигнала, из которого сигнал поступает в блок кодирования сигнала, а затем – в передатчик и далее – в линию связи; приемное устройство, сигнал с которого через ограничитель поступает на дешифратор и блок выдачи цифровой информации. Блок кодирования сигнала выполнен в виде сумматора по модулю два, связанного с запоминающим устройством, в котором размещена копия сигнала, а дешифратор содержит блок вычисления взаимной корреляционной функции сигнала и копии, а также пороговое устройство, связанное с блоком вычисления взаимной корреляционной функции и блоком выдачи цифровой информации, при этом блок вычисления взаимной корреляционной функции по каналу знака связан с блоком выдачи цифровой информации и включает сумматор по модулю два, осуществляющий операцию поразрядного сравнения сигнала и копии [6]. Известно также устройство

для определения несущей частоты искаженного электрического сигнала, которое для повышения точности цифровой корректировки квадратур принимаемых сигналов содержит более одного каналов приема, каждый из которых состоит из аналогового сумматора и когерентного приемника с цифровым выходом, первый цифровой сумматор, второй цифровой сумматор, формирователь опорного сигнала и кварцевый генератор [7]. Данные технические решения являются сложными в отношении конструкции и эксплуатации.

Наиболее близкое к заявляемому – устройство для определения несущей частоты искаженного электрического сигнала, содержащее регулируемый генератор эталонной частоты, корреляционный анализатор принимаемого сигнала. При этом первый вход корреляционного анализатора подключен к источнику принимаемого электрического сигнала, второй вход корреляционного анализатора подключен к генератору эталонной частоты, информационный выход корреляционного анализатора подключен к входу блока обработки результатов и информации, а управляющий выход корреляционного анализатора связан с управляющим входом регулируемого генератора эталонной частоты, причем корреляционный анализатор выполнен с возможностью определения корреляционного отношения принимаемого и эталонного сигналов [8].

Прототипное устройство также является сложным, поскольку в нем присутствует цепь формирования сигнала сравнения эталонной частоты. Кроме того, его решающие блоки выполнены из аналоговых элементов, что затрудняет возможность использования известного устройства в цифровых информационно-аналитических системах. Технической задачей предлагаемой полезной модели является расширение арсенала используемых средств для упрощения конструкции и возможности использования устройства в составе цифровой вычислительной техники. Решение указанной технической задачи состоит в том, что в устройстве для определения несущей частоты искаженного электрического сигнала, содержащем корреляционный анализатор принимаемого сигнала, подключенный к блоку обработки результатов и информации, корреляционный анализатор принимаемого сигнала включает последовательно соединенные преобразователь Фурье, корреляционный фильтр и обратный преобразователь Фурье (рис. 1).

Причинно-следственная связь внесенных изменений с достигнутым техническим результатом заключается в том, что при переносе вычислений в частотную область, осуществляемом с помощью прямого и обратного преобразователей Фурье, отпадает необходимость в наличии цепи сравнения с эталонными сигналами разной частоты.

В СПбГЭТУ «ЛЭТИ» реализована более обобщенная полезная модель такого же процесса на примере зашумленного электрического сигнала [3]. В программном интерпретаторе PC Matlab составлена программа, интерпретировавшая обработку сложного информационного процесса:

```
fs = 1024; количество точек отсчета
t = (1:1024)/fs;
s1 = sin(2*pi*t*2) + 1;
s2 = sin(2*pi*t*10) + 1;
s3 = sin(2*pi*t*30) + 1;
r = rand(t) – случайный шум
s = s1+s2+s3+r;
z = fft(s); – прямое преобразование Фурье
zz = z'; выстраивание в ряд массива
diary zeros.m
k = ones(1024,1) – создание массива с 1
kk = k*d;
```

На этом этапе вычислений возможно использовать различные корреляционные фильтры. Уместно использовать, например, $\Phi(x)$ – функцию Хевисайда, которая возвращает нуль при $x < 0$ и единицу в ином случае. Но в данном случае для получения корректного фильтра используем предложенный в полезной модели способ. Дальше в массиве d оставляем единицей третью гармонику и 1023-ю, где находится информация о фильтрованном сигнале в массиве d . Остальные элементы равны нулю. Получаем массив kk . В данном случае в этой гармонике находится информация о синусоиде $s1$:

```
k = zz.*kk;
l = ifft(kkk); – обратное преобразование Фурье
b = flipx(l); – поворот синусоиды относительно x.
plot(t, s1, t, b).
```

В алгоритме $s = s1+s2+s3+r$ сделана генерация полигармонического процесса и случайного шума. Этот процесс можно усложнить в зависимости от необходимости (добавить различный шум и другие \sin или \cos). Для определения нужной гармоники используется теория игр и статистических решений. В результате получается вре-

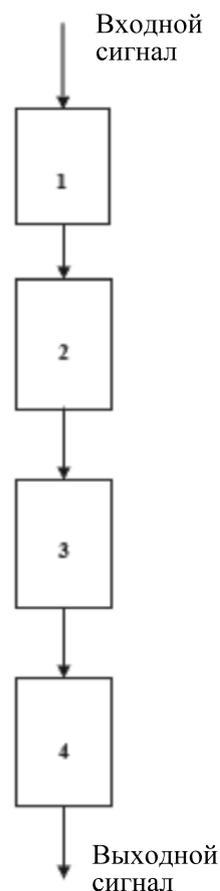


Рис. 2. Схема устройства:

1 – преобразователь Фурье (осуществляет разложение сигнала в ряд Фурье); 2 – корреляционный фильтр (осуществляет выделение информационных характеристик на необходимой частоте или частотах); 3 – обратный преобразователь Фурье (осуществляет обратное преобразование Фурье выделенных информационных характеристик); 4 – блок обработки результатов и информации (придает информационный смысл информационным характеристикам, если это необходимо)

менная функция обработанного предлагаемым устройством исходного сигнала, освобожденного от помехи. Период равняется 40 мкс, что соответствует $f = 25$ КГц.

Как описывалось ранее, важной частью прямого и обратного преобразования Фурье, а также решения корректных и некорректных задач являются алгоритмы интерпретации необходимого нам n -мерного массива данных, где $n = 1, 2, 3, \dots, 64$. В данном случае 64 связано с возможностями используемого программного обеспечения Visual Basic или C. Поэтому 64 не является пределом. Важно суметь применить разработанный

Сравнение основных тезисов патентов

Этапы преобразования Фурье по полезной модели «Устройство для определения несущей частоты искаженного электрического сигнала»	Этапы преобразования Фурье по R. Scholte «Fourier Based High-resolution Near-Field Sound Imaging» (2008)
<p>Сигнал преобразователь Фурье 1 (осуществляет разложение сигнала в ряд Фурье)</p> <p>Корреляционный фильтр 2 (осуществляет выделение информационных характеристик на необходимой частоте или частотах)</p> <p>Обратный преобразователь 3 Фурье (осуществляет обратное преобразование Фурье выделенных информационных характеристик) и блок 4 обработки результатов и информации (при необходимости придает информационный смысл информационным характеристикам)</p>	<p>Данные звуковой информации давления в пространственной (x, y, z) и волновой области $(\omega - \text{wavenumber domain})$ на расстоянии z_h (голограмма-hologram или расстояние измерения) заносятся в гранично-пространственное окно заполнения и нулевого-заполнения (border-panding spatial window & zero-padding). После этого данные подвергаются прямому двумерному быстрому преобразованию Фурье (2DFFFT). Далее умножаются обратным распространителем, который зависит от желаемого расстояния реконструкции z и z_h и FFT 2D. Также волновые доменные (wavenumber domain) данные в k-пространстве (k-space) обрабатываются вначале функцией обратным пропагатором (inverse propagator) или решаются обратные проблемы (solution to the inverse problem), а затем проходят низкочастотный фильтр и подвергаются порядку или регуляризации (low-pass filter, regularization), чтобы предохраниться от образования шума после обратного процесса двумерного быстрого обратного преобразования Фурье (2D IFFT)</p>

алгоритм при субъективном толковании различных процессов. Корректность работы алгоритма будет зависеть от корректной работы программы и от достоверности полученных результатов.

Зададим n -мерный массив, в котором n – количество столбцов, а m – количество строк:

$$M(m_k, n_k), \text{ где } n = 1, 2, 3, \dots, v; m = 1, 2, \dots, l, \quad (2)$$

где $v = 64$ и $l = 64$ или больше в зависимости от возможностей программного обеспечения; k – элементы массива, могут принимать любые значения.

В первом столбце находится необходимая информация об исследуемом объекте, а во втором столбце – полученный ожидаемый экспериментальный результат. В столбце экспериментального результата содержатся нули и единицы. В книге «Матричные вычисления и математические алгоритмы» говорится о массиве только с нулями и единицами, который называется *матрицей перестановок*.

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

В этих матрицах в каждой строке и в каждом столбце имеется только одна единица. Например, умножение матрицы слева и справа на матрицу перестановок имеет результатом перестановку строк или столбцов исходной матрицы [9]. Такие матрицы применяются в формулах для указания перестановок строк и столбцов и редко используются в вычислениях. Подсчитаем возможную погрешность сигнала для проведенных данных вычислений. Для этого смоделируем сложный процесс из восьми синусоид и случайного шума. Зададим длину моделируемого сигнала сложного процесса в единичных отсчетах:

$$N:=1024, \text{ при } i:=0..N-1 \text{ и } t_i:=i/(N-1). \quad (4)$$

Затем задаем восемь различных синусоид и шум:

$$\begin{aligned}
 x1_i &:= 1 + \sin(4\pi t_i); x2_i := 1 + \sin(10\pi t_i); x3_i := 1 + \sin(30\pi t_i); x4_i := 1 + \sin(100\pi t_i); \\
 x5_i &:= 1 + \sin(200\pi t_i); x6_i := 1 + \sin(300\pi t_i); x7_i := 1 + \sin(400\pi t_i); x8_i := 1 + \sin(500\pi t_i); r_i := \text{rnd}(t_i + 2). \\
 \text{Сложный процесс } z_i &:
 \end{aligned}$$

$$z_i := x1_i + x2_i + x3_i + x4_i + x5_i + x6_i + x7_i + x8_i + r_i. \quad (5)$$

Осуществим теоретические вычисления смоделированного сложного процесса посредством численного суммирования рядов Фурье, когда коэффициенты известны приближенно в метрике L_2 . Пусть $f_1(t) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n \sin nt$. Если вместо a_n брать коэффициенты $c_n = a_n + \varepsilon/n$ для $n \geq 1$ и $c_0 = a_0$, получим ряд $f_2(t) = \sum_{n=0}^{\infty} c_n \sin nt$. Коэффициенты этих рядов отличаются (в метрике L_2) на величину

$$\varepsilon_1 = \left\{ \sum_{n=0}^{\infty} (c_n - a_n)^2 \right\}^{1/2} = \varepsilon \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \right\}^{1/2} = \varepsilon \sqrt{\frac{\pi^2}{6}}, \quad (6)$$

которую выбором числа ε можно сделать сколь угодно малой. В случае

$$\varepsilon_1 = \left\{ \sum_{n=0}^{1024} (c_n - a_n)^2 \right\}^{1/2} = \varepsilon \left\{ \sum_{n=1}^{1024} \frac{1}{n^2} \right\}^{1/2} = \varepsilon \times 1,644; \quad (7)$$

$$\varepsilon_1 = \left\{ \sum_{n=0}^{512} (c_n - a_n)^2 \right\}^{1/2} = \varepsilon \left\{ \sum_{n=1}^{512} \frac{1}{n^2} \right\}^{1/2} = \varepsilon \times 1,282. \quad (8)$$

Вместе с этим разность

$$f_2(t) - f_1(t) = \varepsilon \sum_{t=1}^{512} \sum_{n=1}^{512} \frac{1}{n} \sin nt = \varepsilon \times 4,765; \quad (9)$$

$$f_2(t) - f_1(t) = \varepsilon \sum_{t=1}^{1024} \sum_{n=1}^{1024} \frac{1}{n} \sin nt = \varepsilon \times 0,029 \quad (10)$$

может быть сколь угодно большой при $n \rightarrow \infty$ (при $t = 0$ последний ряд расходится). Поэтому если уклонение суммы ряда брать в метрике C , суммирование ряда Фурье не является устойчивым. Если уклонение функций $f(t)$ из F оценивать в метрике L_2 , то задача суммирования рядов Фурье с приближенно заданными (в метрике L_2) коэффициентами будет корректно поставленной на такой паре метрических пространств (F, U) .

В самом деле, по теореме Парсеваля имеем

$$\begin{aligned}
 \left\{ \int_0^{\pi} [f_1(t) - f_2(t)]^2 dt \right\}^{1/2} &= \\
 = \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\pi}{2} (c_n - a_n)^2 \right\}^{1/2} &= \varepsilon_1 \sqrt{\frac{\pi}{2}}.
 \end{aligned} \quad (11)$$

Для разности двух функций в двумерном слу-

чае решается задача Коши для уравнения Лапласа на примере Адамара, состоящая в нахождении решения уравнения $\Delta u(x, y) = 0$ по начальным данным, т. е. в нахождении решения, удовлетворяющего условиям

$$u(x, 0) = f(x), \quad \left. \frac{du}{dy} \right|_{y=0} = \varphi(x), \quad -\infty < x < \infty, \quad (12)$$

где $f(x)$ и $\varphi(x)$ – заданные функции.

Если предположить $f_1(x) \equiv 0$, $\varphi_1(x) = (1/a) \sin ax$, то решением задачи Коши будет функция

$$u_1(x, y) = (1/a^2) \sin(ax) \operatorname{sh} ay, \quad a > 0. \quad (13)$$

Если положить $f_2(x) = \varphi_2(x) \equiv 0$, то решением такой задачи Коши будет функция $u_2(x, y) \equiv 0$.

Если уклонения начальных данных и решений оценивать в метрике C , то имеем

$$\rho_c(f_1, f_2) = \sup_x |f_1(x) - f_2(x)| = 0, \quad (14)$$

$$\rho_c(\varphi_1, \varphi_2) = \sup_x |\varphi_1(x) - \varphi_2(x)| = 1/a. \quad (15)$$

Последняя величина при достаточно больших значениях a может быть сделана сколь угодно малой. Однако уклонение решений

$$\rho_c(u_1, u_2) = \sup_x |u_1(x, y) - u_2(x, y)| =$$

$$= \sup_x \left| \frac{1}{a^2} \sin(ax) \operatorname{sh} ay \right| = \frac{1}{a^2} \operatorname{sh} ay \quad (16)$$

при любом фиксированном $y > 0$ может быть произвольно большим при достаточно больших значениях числа a . Из этого следует, что задача свойством устойчивости не обладает и является некорректно поставленной [10].

Осуществим прямое преобразование Фурье для нахождения коэффициентов c_N , где $c := \operatorname{fft}(z)$ (рис. 2).

Определим количество точек отсчета после преобразования Фурье:

$$N := \text{last}(c), \quad \text{где } N = 512.$$

Зададим j :

$$j := 0..N$$

$p = \operatorname{ifft}(c)$ – обратное преобразование Фурье.

Определим и зададим количество отсчетов $N2$ в полученном сигнале:

$$N2 := \text{last}(p); \quad k := 0..N2, \quad \text{где } N2 := 1,023 \times 10^3.$$

Модуль $\max(p - z) = 1,654 \times 10^{-11}$ – максимальное различие сигналов $\varepsilon = 1,006 \times 10^{-11}$.

Модуль $\min(p - z) = 3,553 \times 10^{-15}$ – минимальное различие сигналов. В этом случае $\varepsilon_1 = 3,553 \times 10^{-15} = \varepsilon \times 1,644$. Следовательно, $\varepsilon = 2,161 \times 10^{-15}$.

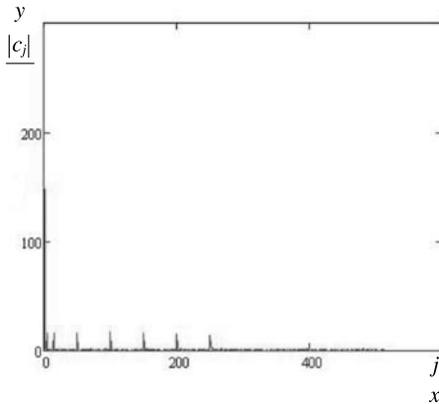


Рис. 2. Прямое преобразование Фурье

Структурно-логическая основа реализации алгоритма интерпретатора

Для интерпретации результата произведем перемножение двух столбцов. Это действие поможет убрать ненужную информацию об объекте. Затем осуществим суммирование полученного одномерного массива. Естественно, это зависит от субъективности процесса и может иметь не двумерное, а n -мерное пространство. Для осуществления интерпретации необходимо иметь два n -мерных массива. Один массив получен экспериментально или задан в соответствии с необходимой последовательностью эвристически или интеллектуально. Второй массив также получается экспериментально или задается с какой-то последовательностью эвристически или интеллектуально, но имеет только нули и единицы. Зададим второй массив $U(o_k, z_k)$, где $o = 1, 2, \dots, d$ и $z = 1, 2, 3, \dots, w$. В этом случае $d = 64$ и $w = 64$ или больше в зависимости от возможностей программного обеспечения, k – являются элементами массива и могут принимать значения нуль или единица в любой последовательности. Количество элементов k в обоих массивах должно быть одинаково:

$$C(h_k, f_k) = M(m_k, n_k) \times U(o_k, z_k). \quad (17)$$

Формулы (17) достаточно для получения информационного смысла после интерпретации необходимых элементов. В случае, если информационный смысл несет весь ряд, то для обозначения каждого ряда какому-то единственному значению необходимо провести суммирование. Суммируем все элементы массива $C(h_k, f_k)$ по рядам. Можно разделить этот массив в соответствии с рядами на одномерные. После этого осуществлять суммирование каждого одномерного массива, если это необходимо. Пример:

$$\begin{aligned} i &= 1, h \\ j &= 1, f \\ S &= S + C(i, j). \end{aligned} \quad (18)$$

Формула (18) осуществляет суммирование в цикле, где S – исходный результат, полученный после интерпретации. Этому результату придается уже субъективный смысл исследуемого процесса посредством интерпретации. Рассматриваемая структура алгоритмов применяется в зависимости от субъективности изучаемого процесса, что следует учитывать для составления программ на основе этих алгоритмов. Перечисленные выше алгоритмы реализованы в двух патентах [3, 5].

Представленные алгоритмы позволяют компактно получать необходимую несущую частоту из зашумленного сигнала. Таким образом, использование предлагаемого устройства по сравнению с прототипом позволяет расширить арсенал используемых средств: реализовать устройство на элементах цифровой техники, что имеет следствием унификацию и миниатюризацию соответствующих комплексных технических решений, поскольку все решающие блоки могут быть выполнены на одном кристалле. Кроме того, достигнуто упрощение конструкции в связи с изъятием цепи генерации эталонного сигнала, т. к. исчезает необходимость сравнения с принимаемым. Произведенные вычисления показали высокую точность полученного сигнала несущей частоты из сложного процесса в виде зашумленного сигнала.

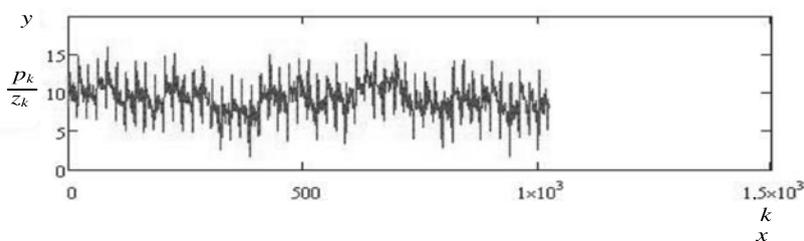


Рис. 3. Сравнение двух сигналов на входе (z_k) и выходе (p_k)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Scholte, R.** Fourier based high-resolution near-field sound imaging. PHD thesis [Text] / R. Scholte. – Eindhoven university of technology department of mechanical engineering, 2008. – 139 p.

2. **Scholte, R.** Acoustic Holography [Text] / R. Scholte, I. Lopez, N.B. Roozen [et al.] // Patent EP 08155162.4, WO/2009/130243 25.04.2008.

3. **Иванов, С.В.** Устройство для определения несущей частоты искаженного электрического сигнала [Текст] / С.В. Иванов // Патент № 78615 РФ. Зарег. 27.11.2008. Оpubл. 27.11.2008. Бюл. № 33.

4. **Körner, T.W.** Fourier analysis [Text] / T.W. Körner. – 8. – UK Cambridge University, 2004. – 576 p.

5. **Иванов, С.В.** Способ исследования типа личности и устройство для его осуществления [Текст] / С.В. Иванов, Б.И. Фейгельман // Патент № 2355293 РФ, (51) МПК А61В 5/00, А61В 5/16; заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет. – № 2007125486/14. Заявл. 05.07.2007. Оpubл. 20.05.2009. Бюл. № 14.

6. **Коллик, А.А.** Способ передачи и приема цифровой информации, устройство передачи и приема цифровой информации [Текст] / А.А. Коллик, С.В. Симakov, С.А. Бондарев, А.Н. Николаев, В.И. Кобылянский // Патент № 2109401 РФ, (51) МПК6 Н04В 1/62, 1/69;

заявитель и патентообладатель ТОО «Сервис-А». – № 95108557/09. Заявл. 07.06.1995. Оpubл. 20.04.1998.

7. **Дашкевич, В.А.** Устройство первичной обработки когерентной РЛС (радиолокационных станций) [Текст] / В.А. Дашкевич, Ю.И. Компаниец, Н.Е. Михайлова, Е.И. Ильин, В.Г. Чистякова, П.Г. Артюх // Патент № 2208237 РФ, (51) МПК7 G01S 13/14, H04B 1/62, G01S 7/288; заявитель и патентообладатель ФГУП Государственный рязанский приборный завод – дочернее предприятие Федерального государственного унитарного предприятия «Российская самолетостроительная корпорация «МИГ». – № 2002121279. Заявл. 13.08.2002. Оpubл. 10.07.2003.

8. **Sim, J.** High frequency equalizer using a demultiplexing technique and related semiconductor device [Text] / J. Sim [et al.] // Patent № 698310 US, H03H 7/30. Samsung Ko Electronics, Ltd. № 09/542,042. Field. 31.03.2000. Iss. 03.01.2006.

9. **Райс, Дж.** Матричные вычисления и математические алгоритмы [Текст] / Дж. Райс; Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 264 с.

10. **Тихонов, А.Н.** Методы решения некорректных задач [Текст] / А.Н. Тихонов, В.Я. Арсенин. – М.: Наука, 1974. – С. 20–21.

REFERENCES

1. Scholte R. Fourier Based High-resolution Near-Field Sound Imaging. PHD thesis. Eindhoven University of Technology Department of Mechanical Engineering, 2008. – P. 139.

2. Scholte R., Lopez I., Roozen N.B., Nijmeijer H. Acoustic Holography. Patent EP 08155162.4, WO/2009/130243 25.04.2008.

3. Ivanov S.V. Ustroistvo dlia opredeleniia nesushchei chastoty iskazhennogo elektricheskogo signala / Patent № 78615 Rossiiskaia Federatsiia; zaiavka № 2008105863/22 15.02.2008; zareg. 27.11.2008; opubl. 27.11.2008 Biul. № 33. (rus)

4. Körner T.W. Fourier analysis; 8 printing. – UK Cambridge University, 2004 – P. 576.

5. Ivanov S.V., Feigel'man B.I. Sposob issledovaniia tipa lichnosti i ustroistvo dlia ego osushchestvleniia / Patent № 2355293 Rossiiskaia Federatsiia, (51) МПК А61В 5/00, А61В 5/16; zaiavitel' i patentoobladatel' Sankt-Peterburgskii Gosudarstvennyi Elektrotekhnicheskii Universitet. – № 2007125486/14; zaiavl. 05.07.2007; opubl. 20.05.2009 Biul. № 14. (rus)

6. Kolik A.A., Simakov S.V., Bondarev S.A., Nikolaev A.N., Kobylanski V.I. Sposob peredachi i priema tsifrovoi informatsii, ustroistvo peredachi i priema tsifrovoi informatsii / Patent № 2109401 Rossiiskaia Federatsiia,

(51) МПК6 Н04В 1/62, 1/69; zaiavitel' i patentoobladatel' tovarishchestvo s ogranichennoi otvetstvennost'iu – Firma «Servis-A». – № 95108557/09; zaiavl. 07.06.1995; opubl. 20.04.1998 Biul. (rus)

7. Dashkevich V.A., Kompaniets Iu.I., Mikhailova N.E., Il'in E.I., Chistiakova V.G., Artiukh P.G. Ustroistvo pervichnoi obrabotki kogerentnoi RLS (radiolokatsionnykh stantsii) / Patent № 2208237 Rossiiskaia Federatsiia, (51) МПК7 G01S 13/14, H04B 1/62, G01S 7/288; zaiavitel' i patentoobladatel' Federal'noe gosudarstvennoe unitarnoe predpriatie Gosudarstvennyi Riazanskii priborni zavod – Dochernee predpriatie Federal'nogo gosudarstvennogo unitarnogo predpriatiia «Rossiiskaia samoletostroitel'naia korporatsiia «MIG». – № 2002121279; zaiavl. 13.08.2002; opubl. 10.07.2003 Biul. (rus)

8. Sim J. et al; Samsung Ko Electronics, Ltd. High frequency equalizer using a demultiplexing technique and related semiconductor device / Patent № 698310 US, H03H 7/30. № 09/542,042 field. 31.03.2000; issue 03.01.2006.

9. Rais Dzh. Matrichnye vychisleniia i matematicheskie algoritmy; Per. s angl. – Moscow: Mir, 1984. – S. 264. (rus)

10. Tikhonov A.N., Arsenin V.Ia. Metody resheniia nekorrektnykh zadach. – Moscow: Nauka, 1974. – S. 20–21. (rus)