

9. Бойко Т. А., Бойко Є. О. Стандартизація документування в ергономічному проектуванні контрольно-вимірювальних приладів та систем (Частина I) // Вісник ЧІТІ. – 2001.– № 4. – С. 42 – 46.
10. Бойко Т. А., Бойко Є. О. Стандартизація документування в ергономічному проектуванні контрольно-вимірювальних приладів та систем (Частина II) // Вісник ЧДТУ. – 2002.– № 2. – С. 46–51.

Бойко Т.А., Бойко Е.А. Принципы и методы создания образно-знаковых моделей для построения информационных моделей систем “человек-машина” При решении задач разработки формы условно-графических обозначений и образно-знаковых моделей применялись методы условного моделирования, алгоритмизации, формализации, системного анализа, обратного синтеза, принципа аналогии и общего антропоцентрического подхода	Boyko T.A., Boyko E.A. Principles and methods of creation of figurative sign models for construction of information models of "man-machine systems". At the decision of problems(tasks) of development of the form of conditional – graphic designations and figurative – sign models methods of conditional modeling, algorithmization, formalization, the system analysis, return synthesis, a principle of analogy and the general ergonomic approach were applied
---	---

Надійшло до редакції
25 квітня 2004 року

УДК 621.372.061:517.518.45

АЛГОРИТМ ПОДСТРОЙКИ ДИСКРЕТНОГО ОРТОГОНАЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПОД ТЕСТОВЫЙ СИГНАЛ

Рыбин А.И., Григоренко Е.Г., Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

Предложен алгоритм подстройки дискретного ортогонального преобразования под тестовый (эталонный) сигнал, в результате которого тестовый сигнал становится (в указанном смысле) ортогональной трансформантой преобразования.

Вступ. Постановка задачи

Медицинская диагностика, как и техническая, заключается в классификации на базе выявления различий исследуемого (одномерного или двумерного) сигнала от сигнала в норме [1].

Такие отличия (для существенной для данной диагностики составляющей информации) обычно оценивают как в натуральных координатах, так и в базисе ортогональных преобразований при составлении формального описания исследуемого сигнала. Необходимость перехода к иному базису вызвана тем, что некоторые информативные диагностические параметры наилучшим образом могут быть разрешены именно в этом базисе [2].

Так, например, анализ электрокардиограмм, пульсограмм, электроэнцефалограмм сначала проводился в натуральных координатах.

Дальнейшее усовершенствование методов диагностики привело к переходу в спектральную область Фурье, что в совокупности с анализом в натуральных координатах повысило надёжность диагностики.

Широкое распространение дискретных ортогональных преобразований с действительным ядром значительно расширило возможности диагностики [3]. Многие из таких преобразований описывают диагностические признаки значительно меньшим числом трансформант, чем преобразование Фурье, что позволяет не только дополнительно сжимать информацию, но и повышать надёжность и достоверность диагностики. Однако применение этих преобразований не оптимизирует процессы цифровой обработки медицинских сигналов, что отрицательно влияет на автоматизацию медицинской диагностики. Поэтому большое значение имеет поиск новых ортогональных преобразований и оценка диагностических возможностей уже существующих.

Особый интерес представляет поиск такого преобразования, для которого тестовый сигнал описывается минимальным числом трансформант, а в идеале — только одной трансформантой дискретного ортогонального преобразования. Создание такого ортогонального дискретного преобразования (на базе существующих) и является целью данной работы.

Описание предлагаемого алгоритма

Для пояснения алгоритма создания ортогонального дискретного преобразования такого, что тестовый (эталонный) сигнал для него описывается только одной трансформантой, рассмотрим условие ортогональности

$$\int_0^T W(n,t) \cdot W(k,t) dt = \begin{cases} \varepsilon, k = n \\ 0, k \neq n \end{cases},$$

которое для дискретного преобразования приобретает вид

$$\sum_{d=0}^{N-1} W_{nd} \cdot W_{kd} = \begin{cases} \varepsilon, k = n \\ 0, k \neq n \end{cases} \quad (1)$$

Здесь $W(j,t)$ — трансформанты дискретного преобразования, W_{jd} — d -й отсчёт j -ой строки матрицы \underline{W} дискретного ортогонального преобразования, ε_n^2 — энергия n -ой трансформанты.

Из выражения (1) следует, что оно верно при любой нумерации d столбцов, т.е. от перестановки мест столбцов матрицы \underline{W} дискретного ортогонального преобразования условие ортогональности не нарушается. Верно также, что любой столбец может быть умножен на -1 , что также не нарушает условия (1).

При этом форма трансформант изменится. Если перестановку столбцов в матрице преобразования \underline{W} осуществить целенаправленно (по некоторому заранее заданному критерию), то такую подстройку дискретного преобразования (и его трансформанту) назовём нормализацией.

Идею нормализации дискретного ортогонального преобразования проиллюстрируем на примере REX-преобразования формата $N=8$ матрицы преобразова-

ния $\overline{\overline{W}}_{REX}$, которая имеет вид [4]

$\overline{\overline{W}}_{REX} =$

1	1	1	1	1	1	1	1
1	2	4	8	-1	-2	-4	-8
4	8	-1	-2	-4	-8	1	2
1	2	-1	-2	1	2	-1	-2
2	-1	-2	1	2	-1	-2	1
2	-1	-2	1	-2	1	2	-1
2	-1	2	-1	-2	1	-2	1
1	-1	2	-1	1	-1	1	-1

Для тестового сигнала (рис.1) и первой трансформанты REX-преобразования (после нормирования тестового сигнала по амплитуде и времени $T=\tau=1$, максимальное и минимальное значения нормированного тестового сигнала равны соответственно $+1, -1$) построим систему рис.2. Здесь нормированные значения первой трансформанты REX-преобразования равны

$$W_1 = [1/8 \quad 1/4 \quad 1/2 \quad 1 \quad -1/8 \quad -1/4 \quad -1/2 \quad -1]$$

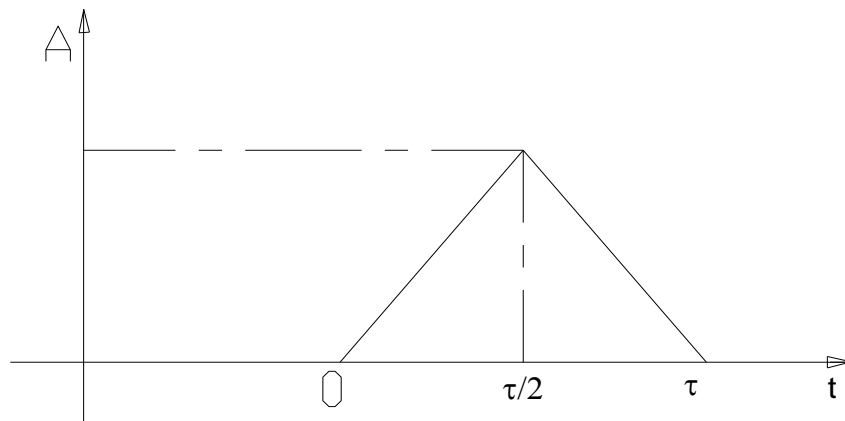


Рисунок 1 – Пример тестового сигнала

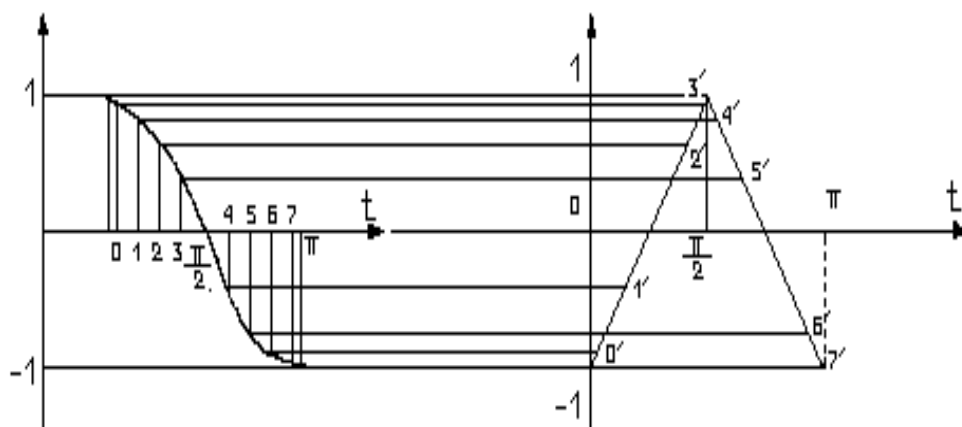


Рисунок 2 – Пример проецирования отсчетов трансформанты на тестовый сигнал

Перенесём проекции отсчетов W_1 нормированной функции $REX(1,t)$ (на рис.2 слева) на нормированный тестовый (эталонный) сигнал (на рис.2 справа). Полученным значениям W_1 на треугольном сигнале соответствуют отсчеты на временной оси

$$0'(W_0=-1, t=0); 1'(W_1=-1/2, t=1/8); 2'(W_2=+1/8, t=9/32); \\ 3'(W_3=1/2, t=3/8); 4'(W_4=1, t=1/2); 5'(W_5=+1/4, t=11/16); \\ 6'(W_6=-1/8, t=25/32); 7'(W_7=-1/4, t=13/16); 8'(W_8=-1, t=1).$$

Как видно из полученных для тестового сигнала результатов, его отсчеты (также как и отсчеты сравниваемых с этим тестовым сигналом периодических сигналов с периодом и длительностью $T=\tau=1$) следует брать не эквидистантно, а с вычисленным переменным шагом по времени в точках

$$t_i=0; 4/32; 9/32; 12/32; 16/32; 22/32; 25/32; 26/32,$$

поскольку именно в этих точках значения тестового сигнала будут совпадать со значениями нормированной первой трансформанты.

Для того, чтобы только лишь произведение первой трансформанты REX-преобразования и тестового сигнала было ненулевым (при этом ненулевым будет также произведение отсчетов нулевой трансформанты и не эквидистантных отсчетов тестового сигнала) необходимо произвести перестановку столбцов матрицы $\overline{\overline{W}}_{REX}$ так, чтобы дискретные значения первой трансформанты (после денормирования) расположились в том же порядке, что и дискретные не эквидистантные значения тестового сигнала, т.е.

$$W_{IREXN}=[-8, -4, +1, +4, +8, +2, -1, -2].$$

Матрица нормализованного REX-преобразования (нормированного также действующими значениями трансформант) приобретает вид

$$\overline{\overline{W}}_{REXNH} =$$

$1/\sqrt{8}$	$1/\sqrt{8}$	$1/\sqrt{8}$	$1/\sqrt{8}$	$1/\sqrt{8}$	$1/\sqrt{8}$	$1/\sqrt{8}$	$1/\sqrt{8}$
$-8/\sqrt{170}$	$-2/\sqrt{170}$	$1/\sqrt{170}$	$4/\sqrt{170}$	$8/\sqrt{170}$	$2/\sqrt{170}$	$-1/\sqrt{170}$	$-4/\sqrt{170}$
$2/\sqrt{170}$	$-8/\sqrt{170}$	$4/\sqrt{170}$	$-1/\sqrt{170}$	$-2/\sqrt{170}$	$8/\sqrt{170}$	$-4/\sqrt{170}$	$1/\sqrt{170}$
$-2/\sqrt{20}$	$2/\sqrt{20}$	$1/\sqrt{20}$	$-1/\sqrt{20}$	$-2/\sqrt{20}$	$2/\sqrt{20}$	$1/\sqrt{20}$	$-1/\sqrt{20}$
$1/\sqrt{20}$	$-1/\sqrt{20}$	$2/\sqrt{20}$	$-2/\sqrt{20}$	$1/\sqrt{20}$	$-1/\sqrt{20}$	$2/\sqrt{20}$	$-2/\sqrt{20}$
$-1/\sqrt{20}$	$1/\sqrt{20}$	$2/\sqrt{20}$	$-2/\sqrt{20}$	$1/\sqrt{20}$	$-1/\sqrt{20}$	$-2/\sqrt{20}$	$2/\sqrt{20}$
$1/\sqrt{20}$	$1/\sqrt{20}$	$2/\sqrt{20}$	$2/\sqrt{20}$	$-1/\sqrt{20}$	$-1/\sqrt{20}$	$-2/\sqrt{20}$	$-2/\sqrt{20}$
$-1/\sqrt{8}$	$-1/\sqrt{8}$	$1/\sqrt{8}$	$1/\sqrt{8}$	$-1/\sqrt{8}$	$-1/\sqrt{8}$	$1/\sqrt{8}$	$1/\sqrt{8}$

Следует отметить, что полнота системы при перестановке столбцов сохраняется и

$$\overline{\overline{W}}_{REXNH} \cdot \overline{\overline{W}}_{REXNH}^T = \overline{\overline{W}}_{REXNH}^T \cdot \overline{\overline{W}}_{REXNH} = \overline{\overline{E}},$$

где $\overline{\overline{E}}$ – единичная матрица; T – знак транспонирования.

Результаты исследований

Рассмотрим теперь пример, показывающий возможности алгоритма нормализации в случае использования косинусного преобразования в качестве базового и сигнала мукозной электрогастрограммы (ЭГГ) в качестве эталона.

После нормирования ЭГГ по времени ($T = \tau = \pi$) и по амплитуде (максимальное и минимальное значения ЭГГ соответственно $+1$ и -1) по аналогии с рис.2 для матрицы косинусного преобразования формата $N=32$ получим систему нормализации (рис.3), где слева расположена первая трансформанта косинусного преобразования, представленная 32 отсчетами, а справа – нормированная мукозная ЭГГ.

После перестановки столбцов косинусного преобразования формата $N=32$ в соответствии с нумерацией отсчетов на эталонном сигнале мукозной ЭГГ, получаем новый вид нормализованных косинусных трансформант ортогонального преобразования, ортогональных и по отношению к неэквидистантным отсчетам эталонного сигнала (рис.4, где показаны первые 11 трансформант).

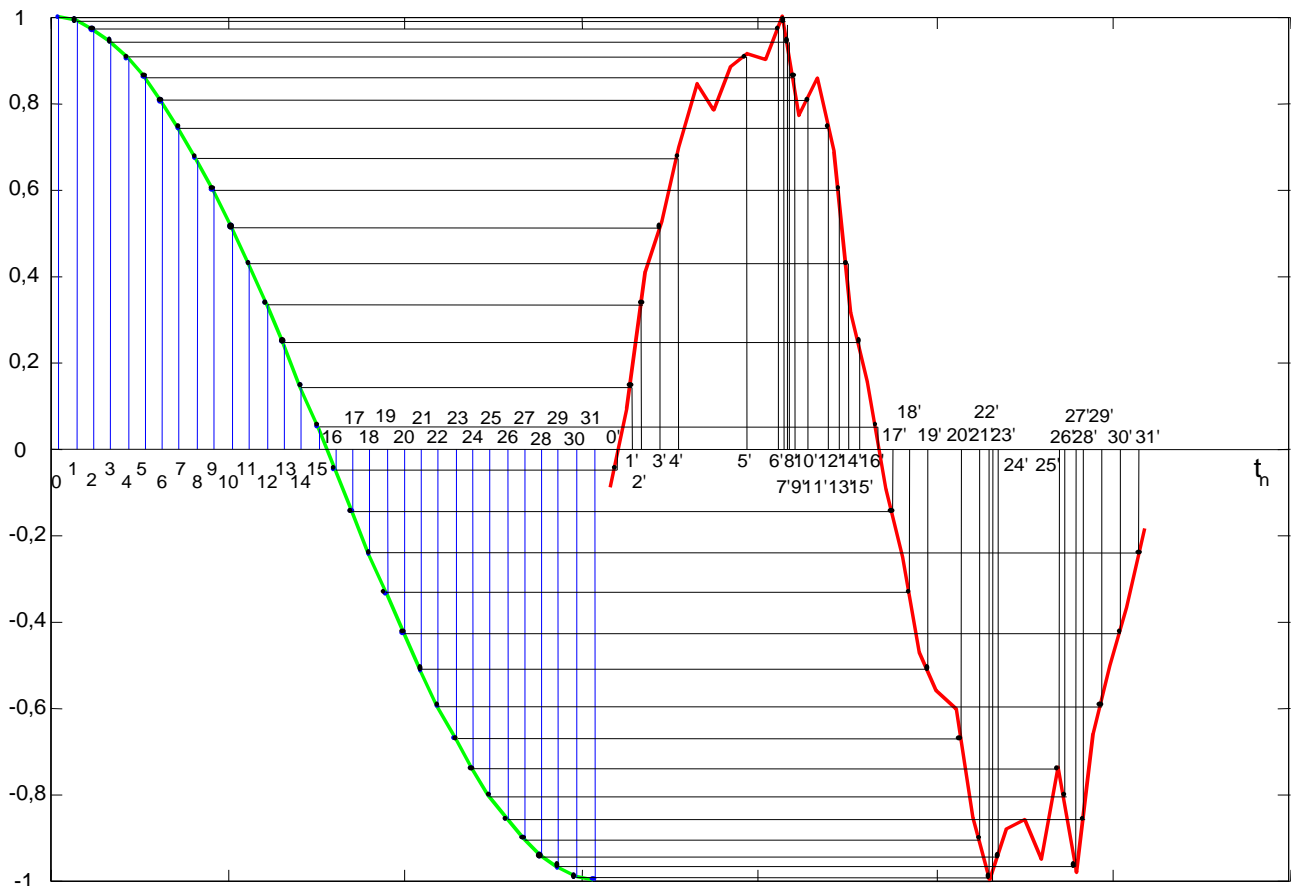


Рисунок 3 – Пример нормализации сигнала

В результате преобразования нормализованным дискретным оператором \overline{C}_{SN} спектр трансформант эталонного сигнала содержит ненулевую амплитуду нулевой трансформанты и первой трансформанты. Амплитуды всех остальных трансформант будут равны нулю.

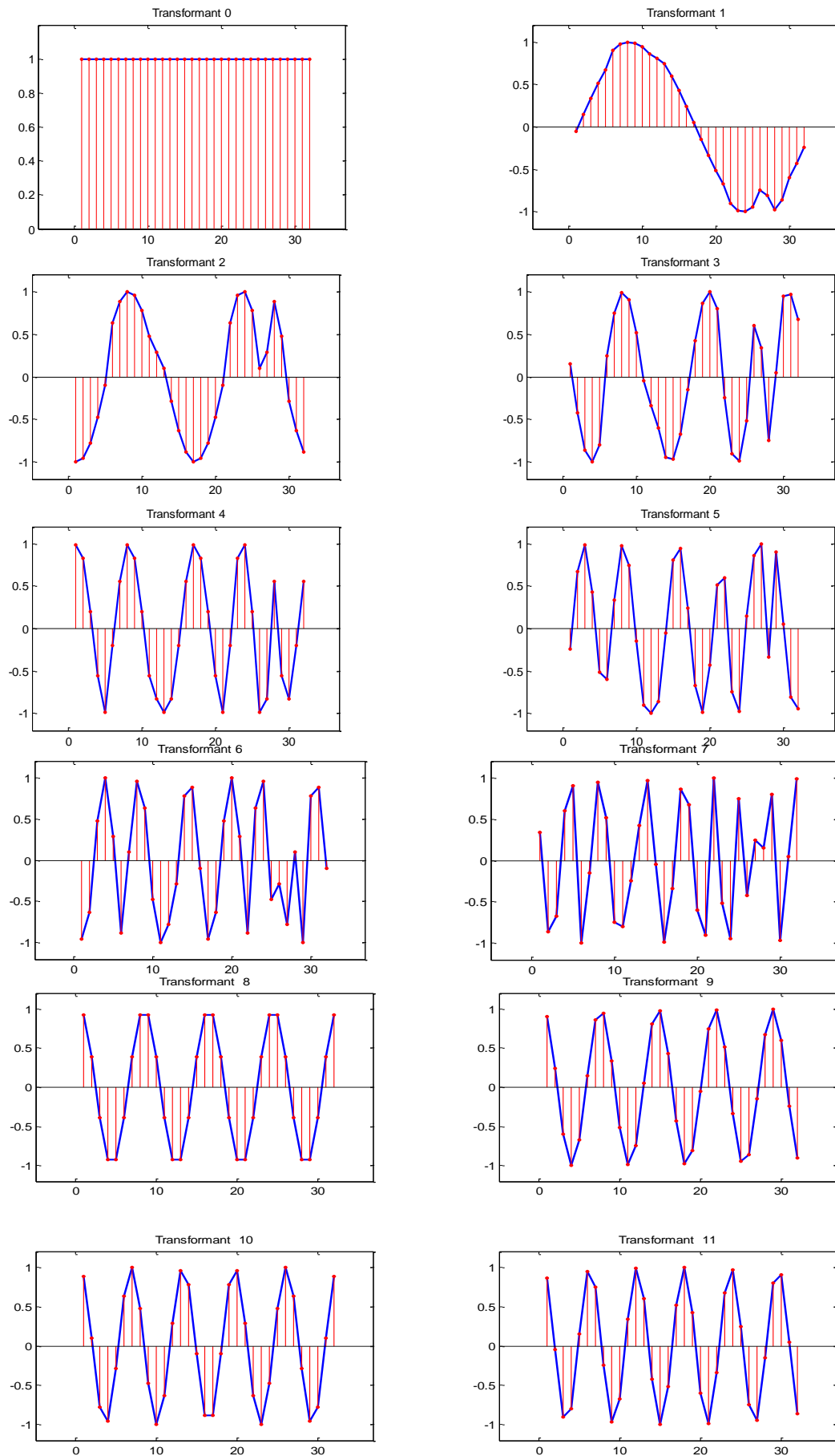


Рисунок 4 – Нормализованные трансформанты косинусного преобразования

Выводы

При отклонениях формы исследуемого сигнала в натуральных координатах от эталонного ненулевыми станут амплитуды трансформант высших порядков.

Проведенные исследования показали, что по амплитудам трансформант (рис.4) (учитывая в действительности неэквидистантные отсчеты анализируемого сигнала) можно вычислить энергию, действующие значения и другие характеристики трансформант, что позволяет в клинических условиях разработать соответствующие методики диагностики.

Перспективами дальнейших исследований оптимальных дискретных ортогональных преобразований является создание на их основе новых методик автоматизированных систем медицинской диагностики.

Литература

1. Абакумов В.Г., Рибін О.І., Сватош Й., Біомедичні сигнали. Генезис, обробка, моніторинг.- К.: Нора-прінт, 2001.-516 с.
2. Mallat S. A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: the Wavelet Representation//IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intell.- Vol.11-№7 –July, 1989.- P. 674-693.
3. Абакумов В.Г., Геранін В.О., Рибін О.І., Сватош Й., Синєкоп Ю.С. Біомедичні сигнали та їх обробка.- Київ: БЕК+, 1997.- 351 с.
4. Рыбин А.И. Ортогональное экспоненциальное преобразование REX // Изв. высш.уч. заведений. Серия Радиоэлектроника. - 2004. - №2. - С.3-9. ()

Рибін О.І., Григоренко О.Г. Алгоритм підстройки дискретного ортогонального перетворення під тестовий сигнал. Запропонований алгоритм підстройки дискретного ортогонального перетворення під тестовий (еталонний) сигнал, в результаті якого тестовий сигнал стає (в зазначеному смислі) ортогональною трансформантою перетворення.	Rybin A., Gryhorenko O. The algorithm of tuning discrete orthogonal transform to test signal. The algorithm of tuning discrete orthogonal transform to test signal is suggested. As result, the test signal (in determined sense) became the orthogonal transformante of transform.
--	---

Надійшло до редакції
2 квітня 2004 року