

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Агеев А.Ю., Ганделли А.

Северский государственный технологический институт, Россия
Миланский политехнический университет, Италия

Использование вейвлет-преобразования сигналов получило бурное развитие в последнее десятилетие. Основными областями его применения являются обработка аудио- и видеосигналов. Одна из главных целей, преследуемых вейвлет-обработкой сигнала, заключается в компрессии полезной информации. В результате преобразования информация о сигнале может быть сжата до объема, составляющего от нескольких десятков процентов до нескольких процентов объема исходной информации. Восстановление исходного сигнала из его «компрессированного» образа происходит практически без потери полезной информации. Это обстоятельство и сделало вейвлет-преобразование аудио- и видеосигналов очень перспективным и бурно развивающимся научным и научно-прикладным направлением. Практически во всех современных программных продуктах, осуществляющих обработку изображений и видеoinформации, используются форматы, в основу которых положено вейвлет-преобразование.

Другая не менее важная цель вейвлет-преобразования сигналов состоит в программном удалении шумовой составляющей анализируемого сигнала. При этом реализуется своего рода «очистка» сигнала от помех, внесенных различными мешающими факторами. Важно то, что шумовая составляющая выделяется программным, а не аппаратным путем. В результате применения такого варианта обработки измерительной информации появляется возможность создания компактных измерительных и обрабатывающих комплексов.

Перспективным и активно разрабатываемым направлением использования вейвлет-преобразования является решение различных вопросов электротехники. В частности, вейвлет-преобразование Хаара успешно применяется при анализе режимов работы электрических цепей [1],[2], при моделировании режимов преобразовательных устройств [3],[4]. Одним из перспективных направлений, по мнению авторов, является использование вейвлет-преобразования сигналов в системах управления [5],[6]. Это обусловлено тем, что кроме общеизвестных положительных свойств спектр преобразованного сигнала содержит весьма важную информацию именно с точки зрения данной области применения.

Авторами проведены исследования ряда характерных сигналов, присутствующих в системах управления, а именно: постоянного сигнала, синусоидального сигнала, состоящих из последовательности треугольных импульсов и последовательности прямоугольных импульсов, а также экспоненциально возрастающего и убывающего сигнала. Внешний вид последнего типа сигнала представлен на рис.1,а. Указанные сигналы подвергались вейвлет-преобразованию Хаара с различным количеством последовательностей (частот), от 16 до 1024.

Анализ результатов проведенных исследований выявил два основных положительных момента. Первый из них состоит в возможности «традиционного» сжатия информации, заложенной в анализируемый сигнал. Поскольку Хаар-спектр большинства исследованных сигналов содержал значительное количество нулевых и околонулевых значений, то эти значения могли быть удалены (и удалялись практически) из спектра. При этом качество восстанавливаемого из измененного спектра сигнала не претерпевало существенных изменений. Практическое воплощение этого подхода позволит сократить объем передаваемой в системе управления информации, если вся передача будет осуществляться преобразованными сигналами. Более того, как показали предыдущие исследования, анализ режима работы системы и расчет управляющего воздействия может быть реализован в области вейвлет-частот непосредственно. При этом отпадет необходимость обратного вейвлет-преобразования сигналов во временную область. Конечно, сказанное в первую очередь относится к цифровым системам управления.

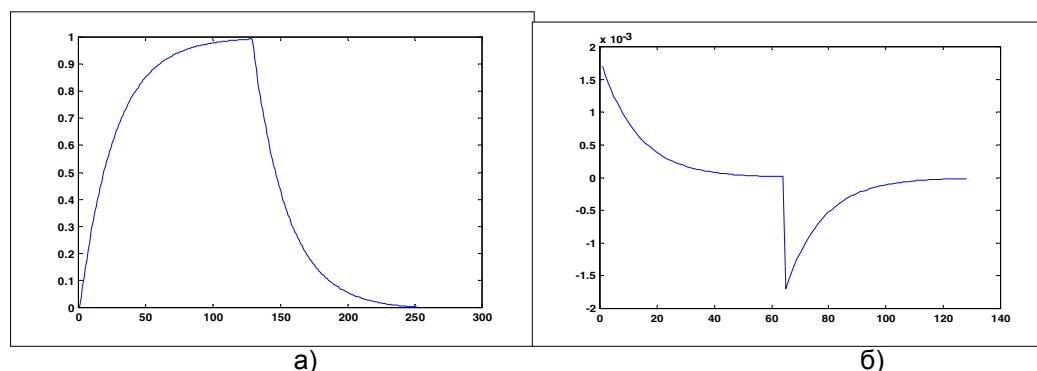


Рис.1 – Внешний вид исследуемого сигнала (а) и вторая половина спектра вейвлет-преобразования сигнала (б)

Второй положительный момент заключается в характере той информации, которую содержит Хаар-спектр преобразованного сигнала. Поскольку количество последовательностей (частот) в вейвлет-преобразовании Хаара всегда равно 2^n , т.е. является четным числом, то получаемый спектр условно можно разделить на две равные части. При этом первая часть будет содержать информацию, достаточную для точного восстановления исходного сигнала, и информацию о мощностных характеристиках исходного сигнала. Во второй же части Хаар-спектра заключена информация о динамических характеристиках исходного сигнала, а именно его производная. В качестве примера на рис.1,б представлено графическое изображение второй половины Хаар-спектра сигнала, внешний вид которого показан на рис.1,а. Таким образом, единожды выполненная операция вейвлет-преобразования некоторого сигнала дает спектр последовательностей (частот), содержащий в себе указанное многостороннее описание исходного сигнала.

Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о перспективности использования при построении систем управления вейвлет-преобразования, в частности преобразования Хаара. При этом сочетание возможностей, обусловленных известными свойствами вейвлет-преобразования (выделение «чистого» полезного сигнала в зашумленном сигнале и возможность сжатия полезной информации) с возможностями, создаваемыми специфическими особенностями Хаар-спектра сигналов, без сомнения позволит повысить эффективность реализации процессов управления.

[1] A. Gandelli, A. Monti, F. Ponci - State Equation in the Haar Domain - *MWSCAS '99, Las Cruces, NM, USA*, August 8-11, 1999.

[2] C.M. Arturi, A. Gandelli, S. Leva, S. Marchi, A.P. Morando - Multiresolution Analysis of Time-Variant Electrical Networks - *ISCAS '99, Orlando, FL, USA*, May 30 - June 2, 1999.

[3] C.M. Arturi, A. Gandelli, S. Leva, A.P. Morando - Dynamic Analysis of Electromechanical Converters by means of the Wavelet Transform - *PEDS '99, Hong Kong*, 27-29 July 1999.

[4] A. Gandelli, S. Leva, - Haar state equations for power electronics system modeling - International Symposium on Circuits and Systems, *ISCAS 2001, Sydney, Australia*, May 6-9, 2001.

[5] A.Gandelli, S. Leva, - Direct Haar-Space Control for DC Motors - Midwest Symposium on Circuits and Systems, *MWSCAS 2001, Dayton Ohio, USA*, August 13-17, 2001.

[6] A.Ageyev, A.Gandelli, S.Leva - Advanced Analysis of Haar Transform-Based Control for DC Motors - *MWSCAS '02, TUSLA, USA*, August 4 - 6, 2002.

WAVELET TRANSFORM OF SIGNALS IN CONTROL SYSTEMS

Ageyev A., Gandelli A.

Seversk State Institute of Technology, Russia
Politecnico di Milano, Italy

Wavelet-transform has been used very wide in the last decade. The dominant area of wavelet application is audio and video signals processing. Compression of significant information and signal denoising are two main goals achieved by wavelet transform.

However these two goals are not the whole list of possibilities. Using of wavelet-transform for solving of the electrical engineering problems is very perspective scientific task. Particularly, Haar-wavelet transform has been successfully used for electrical networks analysis [1],[2], electronic devices modeling and analysis [3],[4]. Control systems of various objects are also very promising area for wavelet transform implementation [5],[6].

Investigations of several kinds of signals that exist in the control systems have been made by authors. The signals under investigation were constant signal, sinusoidal signal, triangular pulse signal, rectangular pulse signal and exponentially increasing and decreasing signal. These signals are typical for most of control systems. Haar-wavelet transform was used for analysis of mentioned signals.

The first positive point provided by wavelet approach is "traditional" compression of information. Since Haar-spectrum of transformed signal consists of numerous frequencies with amplitude equal to zero (or round zero) value these frequencies can be deleted from the whole amount. Such deleting will not provide any inaccuracy in signal restoration. If information inside of system is transmitted and used in frequency domain this approach will decrease a volume of information. Furthermore, it was shown by previous author's research that system analysis and control action calculation can be made in frequency domain directly. It is not need to restore the used signals back in time domain.

The essence of information concluded into the Haar-spectrum of transformed signal is the second specific point of interest. According to the properties of Haar-wavelet the number of frequencies in the spectrum is even. Therefore it can be divided into two equal parts. The first part of the amount concludes an information related to the signal's form. Signal's power characteristics can be figure out from this part of the spectrum.

The second part of the spectrum can be used for estimation of dynamical properties of the signal. The frequencies this part of the spectrum consists of give us the possibility to calculate the derivative of initial signal. Thus, operation of wavelet transformation of definite signal produce the spectrum of frequencies which contain a wide information in a very compact form.

The results obtained show the real opportunity to use the wavelet transform, particularly Haar-transform in the control systems implementations. This opportunity based on common properties of wavelet and specific features of the Haar-wavelet is a possible way to increase the control system efficiency.

[1] A. Gandelli, A. Monti, F. Ponci - State Equation in the Haar Domain - *MWSCAS '99, Las Cruces, NM, USA*, August 8-11, 1999.

[2] C.M. Arturi, A. Gandelli, S. Leva, S. Marchi, A.P. Morando - Multiresolution Analysis of Time-Variant Electrical Networks - *ISCAS '99, Orlando, FL, USA*, May 30 - June 2, 1999.

[3] C.M. Arturi, A. Gandelli, S. Leva, A.P. Morando - Dynamic Analysis of Electromechanical Converters by means of the Wavelet Transform - *PEDS '99, Hong Kong*, 27-29 July 1999.

[4] A. Gandelli, S. Leva, - Haar state equations for power electronics system modeling - International Symposium on Circuits and Systems, *ISCAS 2001, Sydney, Australia*, May 6-9, 2001.

[5] A.Gandelli, S. Leva, - Direct Haar-Space Control for DC Motors - Midwest Symposium on Circuits and Systems, *MWSCAS 2001, Dayton Ohio, USA*, August 13-17, 2001.

[6] A.Ageyev, A.Gandelli, S.Leva - Advanced Analysis of Haar Transform-Based Control for DC Motors - *MWSCAS '02, TUSLA, USA*, August 4 - 6, 2002.