

вреждения в момент переключения ключей. Таким образом, для нормальной и бесперебойной работы тиристорных преобразователей исключительно важна надежность тех емкостных элементов, которые в них применяются, то есть фильтровых и демпферных конденсаторов. К тому же весьма желательно, чтобы их стоимость была приемлемой, а габаритные размеры – как можно меньше. Всем этим требованиям далеко не в полной мере отвечают старые типы силовых конденсаторов, и поэтому для разработки действительно современных и надежных тиристорных инверторов им требуется замена.

Широтно-импульсный преобразователь. Служат для преобразования неизменного напряжения постоянного тока в регулируемое напряжение постоянного тока.

Достоинства (по сравнению с ТП):

- большая полоса пропускания;
- большая линейность характеристики

Поэтому ШИП применяются для эл. приводов с высоким быстродействием и точностью регулирования.

Недостатки: широтно-импульсная модуляция (ШИМ) выходного напряжения вызывает дополнительные потери от пульсаций рабочего тока и процессов коммутации вентиляей.

Для режимов рекуперации требуется источник питания ШИП, допускающий оба направления тока. Если такого источника тока нет, то применяют неуправляемый выпрямитель, дополненный соответствующими цепями, в которых должна гаситься рекуперированная нагрузкой энергия.

Из-за этих недостатков область применения ШИП от долей кВт до нескольких кВт.

Широтно-импульсный преобразователь (ШИП) представляет набор электронных ключей, обеспечивающих импульсное изменение напряжения на нагрузке, подключенной к выходу этого преобразователя. В современной технике частоты коммутации широтно-импульсных преобразователей лежат в пределах (2—50) кГц. Поэтому запаздывание в такой системе принимается равным нулю. Во многих приложениях широтно-импульсных преобразователей представляется как безинерционный элемент с передаточной функцией $W_{pwm}(s)$ вида:

$$W_{pwm}(s) = \frac{\Delta U_o(s)}{\Delta U_c(s)} = k_{pwm}$$

где $\Delta U_o(s)$, $\Delta U_c(s)$ – величины приращений изображений выходного и входного сигнала широтно-импульсного преобразователя соответственно.

Более точное представление процессов в системах автоматического управления, содержащей широтно-импульсные преобразователи, может быть получено с использованием дискретного преобразования Лапласа.

Литература.

1. Федюк Р.С., Мочалов А.В., Куличков С.В., Муталибов З.А., Овчаров Н.Б. Автоматизация энергетических объектов. – Владивосток: Изд-во ДВФУ, 344 с.
2. Широтно-импульсные преобразователи [Электронный ресурс]. Адрес доступа: <http://gg0715.narod.ru/esa/8.html>

АЛГОРИТМ УСКОРЕНИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПРИ МНОГОКРАТНОМ ВЫЧИСЛЕНИИ ВЕЙВЛЕТ-СПЕКТРА

М.А. Хамухина, инженер

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, тел. (3822)-42-04-05

E-mail: mhamuhina@gmail.com

Введение

Вейвлет-преобразование (ВП) широко используется в различных областях для анализа нестационарных сигналов. В том числе в области прикладной механики и материалов. Так, например, поиск по информационной базе SCOPUS с запросом: SRC TITLE (applied mechanics AND materials) AND ((wavelet)) выявил 1573 статьи, опубликованные в журнале «Applied Mechanics and Materials». Аналогичный поиск по журналам IEEE, посвященным электронике и кибернетике, показал 17931 научных статей [1]. Также много научных публикаций, посвященных применению вейвлетов, в медицине, нефтегазовом деле, акустике, радиосвязи и др. Все это го-

ворит о том, что инструментальные средства на основе вейвлет-преобразования находятся в активной научной разработке.

Существуют задачи, в которых для принятия решения требуется непрерывное вейвлет-преобразование (НВП) анализируемого сигнала с последующим вычислением вейвлет-спектра (ВС). Такая задача возникает, например, при обнаружении узкополосных сигналов заранее неизвестной частоты в широкополосном шуме. Алгоритм решения этой задачи на примере обнаружения гидроакустических шумов подводных лодок описан в работе [2].

Этот алгоритм содержит процедуры прямого и обратного преобразования Фурье, перемножения комплексных чисел, обнуления отрицательных частот, комплексного сопряжения, вычисления квадратов модулей и осреднения. Учитывая, что размер обрабатываемого пакета данных может составлять от 500 до 5000 отсчетов аналогово-цифрового преобразователя, а также то, что все перечисленные процедуры необходимо повторять многократно при поступлении каждого нового отсчета, можно сделать вывод, что этот алгоритм требует существенных вычислительных затрат и вносит значительную задержку при принятии решения.

Такая задержка в вычислениях приводит к задержки обнаружения лодки противника, что в случае военных действий может кончиться катастрофично. Поэтому алгоритмическое ускорение решения этой задачи является актуальным.

Объект и цель исследования

Объектом исследования является непрерывное вейвлет преобразование $W(a, b)$ с последующим вычислением интегрального вейвлет-спектра $W^*(a)$, известные в виде:

$$W(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} S(t) \cdot \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \quad (1)$$

$$W^*(a) = \frac{1}{B} \int_0^B |W(a, b)|^2 db, \quad (2)$$

где $S(t)$ – анализируемый сигнал; a, b – масштаб и сдвиг по времени t ; B – максимальное значение сдвига по времени, $\Psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$ – материнский вейвлет.

Целью исследования является разделение вычисления НВП на стадии таким образом, чтобы значительную часть вычислений вынести в предварительную стадию, которая выполняется однократно. Таким образом, можно сократить объем вычислений на основной стадии НВП, когда принимается решение и вычисления НВП и ВС требуется проводить многократно.

Результаты исследования

Поскольку в настоящее время сигналы подвергаются цифровой обработке, представим формулу (1) в известном аппроксимированном виде:

$$W(a_j, b_k) = \frac{1}{\sqrt{a_j}} \sum_{i=0}^N S(t_i) \cdot \Psi\left(\frac{t_i - b_k}{a_j}\right) \Delta t_i, \quad (3)$$

где i, j, k – индексы по времени t , по масштабу a , по сдвигу по времени b ; N – количество шагов по времени; M – количество масштабов; Δt_i – шаг дискретизации входного сигнала.

Известно устройство для параллельного вычисления дискретизированного НВП вида (3) [3]. Однако реализация этого устройства требует дополнительных затрат на опытно-конструкторскую разработку. Поэтому нами проведен анализ и модификация алгоритма, приведенного в описании этого устройства, что позволило разделить алгоритм на три стадии и применять его в обычных ПК или микропроцессорах.

В настоящее время при применении непрерывного вейвлет-преобразования существуют два этапа. На предварительном этапе выбирается вид материнского вейвлета Ψ , шаг дискретизации входного сигнала Δt_i , количество и значения масштабов по времени (M и a_j) и сдвигов по времени b_k , проводятся предварительные вычисления НВП, чтобы проверить правильность выбранных значений и скорректировать их.

Анализ параллельного алгоритма, представленного в работе [3], позволил выделить ещё одну часть вычислений и перенести ее на предварительный этап. Если сдвиг по времени, по которому вычисляется вейвлет преобразование, принять равным шагу дискретизации входного сигнала Δt , то тогда $b_k = k\Delta t$. В этом случае, учитывая, что $t_i = i\Delta t$, можно записать:

$$\Psi\left(\frac{t_i - b_k}{a_j}\right) = \Psi\left(\frac{(i-k)\Delta t}{a_j}\right). \quad (4)$$

Если ввести обозначения для вейвлет-коэффициентов:

$$P_{i,j,k} = \left\{ \frac{\Delta t}{\sqrt{a_j}} \Psi\left[\frac{(i-k)\Delta t}{a_j}\right] \right\}, \quad (5)$$

то выражение (4) можно записать в виде:

$$W^{i+1}(a_j, b_k) = W^i(a_j, b_k) + S(i\Delta t) \cdot P_{i,j,k} \quad (6)$$

с начальным условием вида:

$$W^0(a_j, b_k) = 0. \quad (7)$$

Очевидно, что все величины, входящие в коэффициенты $P_{i,j,k}$, не зависят ни от входного сигнала, ни от результатов предыдущего вейвлет-преобразования. Поэтому их вычисление можно вынести в предварительный этап. Для заданного типа объекта они не требуют изменений и на основном этапе их можно использовать как заранее заготовленные значения. Это позволит сократить объем вычислений на основном этапе НВП, что очень важно, когда его требуется применять многократно в режиме онлайн. Заметим, что в эти коэффициенты входят значения материнского вейвлета Ψ , вычисления которых теперь также выносятся на предварительный этап.

Очевидно также из выражения (6), что при поступлении нового $(i+1)$ отсчета входного сигнала нам не нужно вычислять всю сумму произведений по формуле (4). Достаточно сохранить предыдущее вычисленное значение $W^i(a_j, b_k)$ и только добавить к нему второе слагаемое формулы (6).

Оценку экономии времени расчёта необходимо делать на конкретных видах материнских вейвлетов. Например, вейвлет, известный под названием «Мексиканская шляпа» (МНАТ) является второй производной функции Гаусса и имеет вид:

$$\Psi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^3}} \left[e^{\frac{-x^2}{2\sigma^2}} \cdot \left(1 - \frac{x^2}{\sigma^2} \right) \right], \quad (8)$$

где $x=(t-b)/a$; σ – параметр, позволяющий изменять масштаб вейвлета в соответствии с видом входного сигнала. Из (8) видно, что для вычисления одного значения Ψ требуется 14 различных арифметических операций, которые мы вынесли в предварительный этап. В основной этап добавились две операции чтения и одна операция записи. Даже если приравнять время их выполнения с временем арифметических операций (реально они требуют меньше времени), мы получим ожидаемый выигрыш во времени, равный $14/3=4,6$ раза.

Заключение

Предложен алгоритм ускорения принятия решения при многократном вычислении вейвлет-спектра, состоящий из трёх стадий: двух предварительных, которые выполняются однократно для заданного типа объекта и одной основной, которую можно выполнять многократно. Дана оценка сокращения количества операций на основной стадии, которое для вейвлета «Мексиканская шляпа» составляет 4,6 раза.

Литература.

1. IEEEExplore Digital Library. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp> (accessed 9 March 2014).
2. Пат. 2367970 РФ, МПК G01S 3/80 (2006.01). Устройство обнаружения узкополосных шумовых гидроакустических сигналов на основе вычисления интегрального вейвлет-спектра / В.А. Сапрыкин, В.В. Малый, Г.В. Шаталов; заявитель и патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Военно-морская академия имени Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова (RU). № 2007145474/28; заявл. 28.11.2007; опубл. 20.09.2009, Бюл. № 26. – 27 с.
3. Пат. 2437147 РФ, МПК G06F 17/14 (2006.01). Устройство для вычисления дискретизированного непрерывного вейвлет-преобразования / Хамухин А.А.; заявитель и патентообладатель: Национальный исследовательский Томский политехнический университет. № 2010127068/08; заявл. 01.07.2010; опубл. 20.12.2011, Бюл. № 35. – 9 с.