

Основной проблемой распределенной обработки сигналов в беспроводных сенсорных сетях датчиков является жесткое ограничение на энергопотребление. Эта проблема решается за счет использования энергоэффективных алгоритмов обработки сигналов, таких как быстрое преобразование Фурье, Габора, а в последнее время все большее применение получает вейвлет-анализ [1]. Именно, алгоритмы вейвлет-анализа в наибольшей степени удовлетворяют критерию энергоэффективности [2]. Теория вейвлет-анализа включает континуальные и дискретные вейвлет-преобразования, в то время как в приложениях рассматривают, как правило, только варианты реализации дискретного вейвлет-анализа, что связано с трудностями аппаратной реализации континуального вейвлет-анализа. Исключением является сплайн-вейвлет нулевого порядка – вейвлет Хаара[3]. Для его реализации требуется аналоговый фильтр, реализующий операцию интегрирования и КИХ-фильтр с целочисленными коэффициентами -1 и $+1$. Операция однократного интегрирования может быть выполнена с высокой точностью с использованием интегрирующего АЦП (ИАЦП). Аппаратная реализация сплайн-вейвлетов более высоких порядков требует использование точных ИАЦП многократного интегрирования.

Предлагается использовать в качестве базового элемента аппаратной части реализации сплайновых вейвлетов высоких порядков ИАЦП многократного интегрирования замкнутой структуры, включающей аналоговый фильтр (АФ), реализующий n -кратное интегрирование, с передаточной функцией $H(p) = (ph)^{-n}$, где h – шаг дискретизации, высокоточный АЦП, цифровой фильтр (ЦФ) общего вида $V(z)$. В канале обратной связи включены ЦФ с передаточной функцией $W(z)$, ЦАП. В общем виде передаточная функция данной структуры имеет вид:

$$Q(p, z) = \left(\frac{1}{ph} \right)^n \cdot \frac{V_n(z)}{1 - H_n^*(z) \cdot V_n(z) \cdot W_n(z)} = \left(\frac{1}{ph} \right)^n \cdot \frac{A(z)}{D(z)}, \quad (1)$$

где $H^*(z)$ эквивалентная передаточная функция, определяемая

$$H^*(z) = Z \left\{ L^{-1} \left\{ \frac{1 - \exp(-hp)}{(hp)^{n+1}} \right\} \right\}, \quad (2)$$

где $L^{-1}\{*\}$ – оператор обратного преобразования Лапласа,

$Z\{*\}$ – оператор прямого z-преобразования.

При условии, что $D(z) = 1$, а $A(z) = (1 - z^{-1})^{(n+1)}$ передаточная функция ИАЦП (1) соответствует операторному изображению $B_n(p, z)$ сплайна Шёнберга:

$$B_n(p, z) = \left(\frac{1 - z^{-1}}{ph} \right)^{n+1}, \quad (3)$$

Ниже в таблице приведены коэффициенты ЦФ, рассчитанные из условия реализации ядра сплайна Шёнберга n -ого порядка.

Таблица 1

n	$W_n(z)$	$V_n(z)$
1	-1	1
2	$a_0 = -5/2, a_1 = 3/2$	$c_1 = 3/4$
3	$a_0 = -35/6, a_1 = 23/3, a_2 = -17/6$	$c_1 = 73/36, c_2 = 17/36$
4	$a_0 = -27/2, a_1 = 85/3,$ $a_2 = -65/3, a_3 = 35/6$	$c_1 = 55/16, c_2 = 395/144, c_3 = 35/144$
5	$a_0 = -7513/240, a_1 = 5503/60,$ $a_2 = -4323/40, a_3 = 3553/60,$ $a_4 = -3013/240$	$c_1 = 136487/28800, c_2 = 73703/9600,$ $c_3 = 8799/3200, c_4 = 3013/28800$

В рамках данной структуры ИАЦП возможна реализация аппаратной части алгоритма непрерывного вейвлет-анализа. Ниже на рисунке 1 приведен пример импульсной характеристики ИАЦП для $n=1$ и $n=4$, что соответствует ступенчатой функции Хаара и кубическому интерполяционному сплайну.

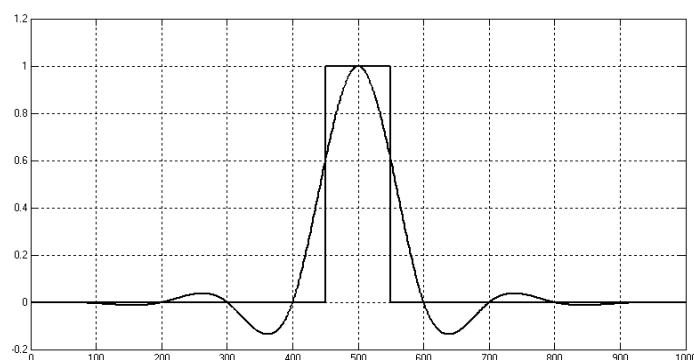


Рис. 1

На рис. 2 приведены ИХ, полученные путем моделирования фильтра анализа и ИАЦП в среде имитационного моделирования Matlab 6.0 Simulink 4.0 для режима однократного и четырехкратного интегрирования, что соответствует масштабирующей функции Хаара (вверху слева) и всплеск (внизу слева) и кубической (справа).

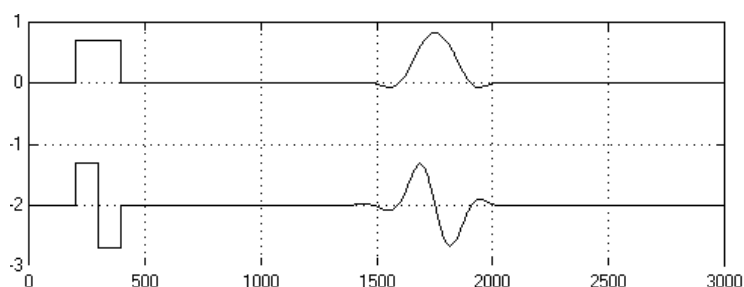


Рис. 2

Имитационное моделирование позволяет оценить влияние погрешности аппаратной реализации на точность вейвлет-анализа. Анализ инструментальных погрешностей показал, что наибольшая доля погрешности приходится на отклонение значений постоянных времени от номинальных. Предложен алгоритм коррекции инструментальной погрешности, связанный с разбросом параметров пассивных RC цепей интеграторов. Было показано, что погрешность может быть скомпенсирована до уровня квантования АЦП.

На базе предложенной структуры возможна реализация энергоэффективных алгоритмов путем управления аналого-цифрового преобразования измерительного сигнала. Общее энергопотребление в первом приближении описывается функцией: $E_0 = e_1 \cdot n + e_2 \cdot h^{-1} \cdot m$, где

e_1 – энергия потребления одного интегратора, e_2 – усредненное энергопотребление ЦФ первого порядка для шага дискретизации равного 1. Управление осуществляется на этапе аналоговой обработки сигнала за счет выбора кратности интегрирования n , на этапе аналого-цифрового преобразования, шага дискретизации АЦП и на этапе цифровой обработки сигнала путем выбора типа и порядка m соответствующего фильтра анализа и синтеза. Предложенный подход расширяет возможности по управлению потребляемой мощностью автономного датчика для распределенной сенсорной сети. Существенный выигрыш в энергопотреблении будет иметь место в случае, когда в измерительном сигнале будут присутствовать широкополосные помехи, мощность которых превосходит мощность полезного сигнала. Использование в этом случае ИАЦП многократного интегрирования позволяет осуществить фильтрацию этих помех на этапе аналого-цифрового преобразования, реализовать предельно низкую частоту дискретизации и исключить дополнительный помехоподавляющий ЦФ. Так например уровень подавления сетевой помехи ИАЦП составляет примерно $-40n$ дБ при точности 16-20 двоичных разрядов, что позволяет полностью исключить помехоподавляющий ЦФ.

Литература

1. A. Wang and A. Chandrakasan. *Energy-Efficient DSPs for Wireless Sensor Networks*. *IEEE Signal Processing Magazine*, July, vol.19, № 4, **2002**, 68-78.
2. Raghunathan, V.; Schurgers, C.; Park, S.; Srivastava, M. Energy-aware wireless microsensor networks. *IEEE Signal Processing Magazine*, March, vol.19, № 2, **2002**, 40-50.
3. S.G. Mallat and W.L. Hwang, "Singularity detection and processing with wavelets," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 38, No. 2, pp. 617-643, March 1992.



THE DISTRIBUTED SIGNAL PROCESSING IN WIRELESS SENSING NETWORKS ON THE BASIS OF ANALOG-DIGITAL WAVELET-FILTERS

Balykova A., Thuwykin B.

Пензенский государственный университет
balykova@yahoo.com

The basic issue of the distributed signal processing in wireless sensor networks is energy resource constraint[1]. This issue can be solved by using wavelet-analysis with a method of energy-efficient algorithms of signal processing[2]. In issues of hardware continuous realization of the wavelet-analysis has an exception is Haar Spline wavelet[3]. Its realization needs the analog filter realizing operation of integration and the digital filter with integer coefficients -1 and +1. Spline-wavelet realization is used as a base element of the high orders of the integration ADC in repeating integrations of a closed structure that includes the analog filter, realizing n-multiple integration, precision ADC, digital filter (DF) and feedbacks of DF and DAC. The integrated ADC transferring function is like Spline Shenberg operation form.

Within the framework of the given the integrated ADC structure it is possible of the continuous wavelet-analysis hardware realization. I have calculated DF coefficients from a condition of realization of a Shenberg Spline of the n -order with presenting the hardware of continuous wavelet- analysis.

By modeling the filter of the analysis and integrated ADC in Matlab 6.0 Simulink 4.0 for a mode of unitary and four-multiple integration I experiment the pulse characteristic. The imitating modeling allows to estimate influence of an error of hardware realization on accuracy of the wavelet-analysis.

The algorithm of correction block is connected to the passive RC parameters in the intergrated circuit. The error can be reduced to a level of quantization ADC. On the basis structure, the realization energy-efficient of algorithms can be estimated by management of analog-digital transformation in signal measurements.

A general energy consumption describes by functions:: $E_0 = e_1 \cdot n + e_2 \cdot h^{-1} \cdot m$, e_1 – energy consumption of one integrator, e_2 – DF average energy consumption 1-order for sample equal 1.

The management is carried out at stages of processing analog and digital signals, of analog-digital converting, and ADC sampling. By a choice such as and about m of the appropriate filter of the analysis and synthesis, the given approach expands opportunities on management of power consumption in the distributed sensor network. The essential advantages in energy-efficiency will take place in a case. When at a measuring signal, there will be broadband handicaps, which capacity surpasses capacity of a useful signal.

Using in this case, the integrated ADC of the repeated integration allows to terminate these handicaps at a stage of analog-digital transformation. In affection is to realize extreme low discretization frequency and to exclude additional DF.

So for example level of suppression of a network handicap integrated ADC makes approximately – 40dB at accuracy 16-20 binary categories, that allows completely to exclude DF.

1. A. Wang and A. Chandrakasan. *Energy-Efficient DSPs for Wireless Sensor Networks. IEEE Signal Processing Magazine*, July, vol.19, № 4, **2002**, 68-78.

2. Raghunathan, V.; Schurgers, C.; Park, S.; Srivastava, M. Energy-aware wireless microsensor networks. *IEEE Signal Processing Magazine*, March, vol.19, № 2, **2002**, 40-50.

3. S.G. Mallat and W.L. Hwang, "Singularity detection and processing with wavelets," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 38, No. 2, pp. 617-643, March 1992.