

УДК 004.934.2

DOI: 10.30987/conferencearticle_61c997ef29ef52.74618218

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕЙВЛЕТОВ С ПРЯМОУГОЛЬНОЙ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ ДЛЯ ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛОВ

Владимир Ильич Семенов, доцент, к.т.н., syundyukovo@yandex.ru

Александр Кондратьевич Шурбин, ст. преподаватель, shurti@mail.ru

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова
Россия, Чебоксары

Аннотация. Вейвлет-преобразование – это пропускание сигнала через полосовой фильтр. Конструирование вейвлетов с прямоугольной амплитудно-частотной характеристикой позволяет получать практически идеальные цифровые фильтры. Вейвлет-преобразование вычисляется в частотной области с использованием быстрого преобразования Фурье.

Ключевые слова: быстрое непрерывное вейвлет-преобразование, прямоугольная амплитудно-частотная характеристика, цифровой фильтр.

USING WAVELETS WITH A RECTANGULAR AMPLITUDE-FREQUENCY RESPONSE TO FILTER SIGNALS

Vladimir I. Semenov, associate professor, candidate of technical sciences, syundyukovo@yandex.ru

Alexander K. Shurbin, senior lecturer, shurti@mail.ru

I.N. Ulyanov Chuvash State University, Russia, Cheboksary

Abstract. The wavelet transform is the transmission of a signal through a bandpass filter. The design of wavelets with a rectangular amplitude-frequency response makes it possible to obtain almost ideal digital filters. The wavelet transform is calculated in the frequency domain using the fast Fourier transform.

Keywords: fast continuous wavelet transform, rectangular amplitude-frequency response, digital filter.

Цифровые фильтры позволяют фильтровать сигналы, за счет сужения частотного диапазона сигнала. Как происходит очищение сигнала от шума, т.е. частотную фильтрацию сигнала с сужением диапазона частот, написано во многих источниках. В любом канале связи в процессе передачи на сигнал $x(t)$ накладывается шум $u(t)$, в результате принимается искаженный сигнал

$$y(t) = x(t) + u(t).$$

Отношение мощности сигнала к мощности шума

$$r = \frac{P_x}{P_u}.$$

Для того, чтобы обнаружить с большой вероятностью сигнал необходимо увеличить отношение полезной составляющей сигнала к шуму. Такое преобразование называется фильтрацией.

Отношение мощности сигнала к мощности шума после выхода с фильтра

$$m = \frac{P_s}{P_g}.$$

Задачей фильтрации является увеличение m по сравнению с r . Одним из таких методов является частотная фильтрация сигнала. Для выделения полезного сигнала применяются фильтры, настроенные на частоту сигнала. Реальный «белый шум» имеет равномерный спектр в широком интервале частот. На конечном интервале частот мощность шума будет конечной и отношение мощности сигнала к мощности шума r будет конечной величиной. Если средняя мощность шума приходящейся на единицу частоты P_0 , а полоса пропускания фильтра – $\Delta\omega$, тогда мощность шума на выходе фильтра

$$P_g = P_0 \Delta\omega.$$

Мощность полезной составляющей сигнала будет такой же, как до прохождения фильтра, так как фильтр настроен на частоту сигнала. Отношение мощности сигнала к мощности шума на выходе фильтра

$$m = \frac{P_s}{P_0 \Delta\omega}.$$

Из этой формулы следует, что чем меньше полоса пропускания фильтра $\Delta\omega$, тем больше отношение мощности сигнала к мощности шума m . На этом же принципе происходит фильтрация сигналов с применением вейвлетов, так как вейвлет-преобразование - это пропускание сигнала через полосовой фильтр. Продемонстрируем это на примере, когда уровень шума и сигнала почти одинаковы. На рис. 1 представлен график зависимости $H(t)$ от времени шума конвейера и слова *стоп*. Слово *стоп* произносилось на расстоянии 10 метров

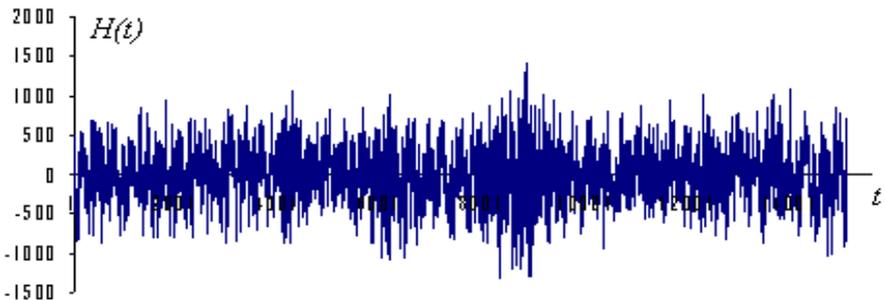


Рисунок 1 – Слово «стоп» на фоне шума конвейера

от микрофона на фоне шума конвейера. До фильтрации на графике видно, что уровень шума и слова почти одинаковы. После вейвлет-преобразования и вычисления энергии сегментов коэффициентов вейвлет-спектра этого участка энергия слова *stop* намного выше, то есть после фильтрации отношение мощности сигнала к мощности шума намного стало больше. На рис. 2 представлен график энергии сегментов вейвлет-коэффициентов $W(2,b)$ слова *stop*. Таким образом, вейвлет-преобразование можно использовать наравне

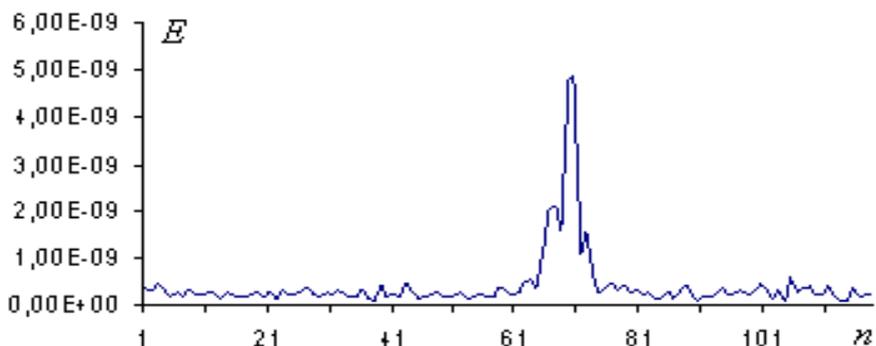


Рисунок 2 – Энергии сегментов вейвлет-коэффициентов слова «stop»

с цифровыми фильтрами. На практике могут быть сигналы, у которых частотный диапазон частот лежать в области нижних частот и в области средних частот. Тогда выгодно конструировать вейвлеты или цифровые фильтры с двумя полосами пропускания. Если использовать полосовой фильтр с одной широкой полосой пропускания, то отношение мощности сигнала к мощности шума на выходе фильтра будет меньше, то есть сигнал на фоне шума выделится хуже. На рис. 3 представлена амплитудно-частотная характеристика такого вейвлета или двухполосного фильтра.

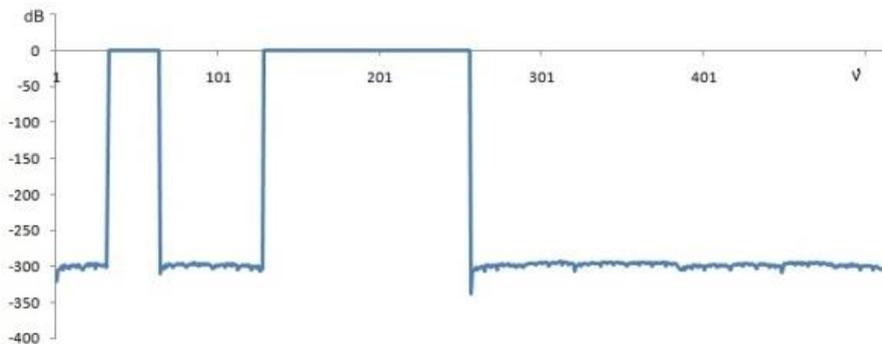


Рисунок 3 – Амплитудно-частотная характеристика цифрового фильтра в децибелах

Такой фильтр реализован в одной импульсной характеристике, то есть в одном вейвлете. В отличие от дискретного вейвлет-преобразования, быстрое непрерывное вейвлет-преобразование позволяет получать вейвлеты с многими полосами пропускания. Независимо от числа полос пропускания в полосе непропускания (задерживания) ослабление сигнала около 300 децибел, переходной полосы нет. Можно считать такие фильтры являются идеальными в пределах погрешности вычисления. Такие фильтры можно использовать не только для фильтрации сигналов [1-5], но и для определения средних размеров объектов на изображении [6,7].

Список литературы

1. Семенов В.И., Михеев К.Г., Шурбин А.К., Михеев Г.М. Фильтрация изображений, полученных с помощью оптического микроскопа, с применением кратномасштабного анализа. Химическая физика и мезоскопия. Ижевск. 2014. Т. 16. №3. С. 399-404.
2. Семенов В.И., Шурбин А.К., Михеев К.Г., Михеев Г.М. Конструирование ортогональных вейвлетов в частотной области для кратномасштабного анализа сигналов. Химическая физика и мезоскопия том 20 №2, Ижевск, 2018. С. 230-238.
3. Семенов В.И., Чучкалов С.И., Христофоров О.В. Конструирование вейвлетов в частотной области. Journal of Advanced Research in Technical Science. – North Charleston, USA: SRC MS, CreateSpace. – 2017. Issue 7-2. – P. 26-29
4. V. Ďuriš, S. G. Chumarov, G. M. Mikheev, K. G. Mikheev, V. I. Semenov, "The Orthogonal Wavelets in the Frequency Domain Used for the Images Filtering," in IEEE Access, vol. 8, pp. 211125-211134, 2020.
5. Семенов В.И., Шурбин А.К. Конструирование вейвлетов с прямоугольной амплитудно-частотной характеристикой. //САПР и моделирование в современной электронике. Материалы IV Международной научно-практической конференции. – Брянск, 2020. С. 257-260.
6. Семенов В.И., Сорокин Г.М., Шурбин А.К., Петров Н.И. Определение среднеквадратичного отклонения размера объектов на изображении. //Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем. Материалы XII Всероссийской научно-практической конференции. -Чебоксары, 2017. С. 96-99.
7. Semenov V.I., Khristoforov O.V., Chuchkalov S.I. Calculating the standard deviation of the size of objects in an image. Journal of Advanced Research in Technical Science. – North Charleston, USA: SRC MS, CreateSpace. – 2017. – 62-64 p.

Материал принят к публикации 11.10.21.