Труды научно–технической конференции кластера пензенских предприятий,
обеспечивающих **БЕЗОПАСНОСТЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.**
Том 10, Пенза–2016, с. 96 – 97 (http://пниэи.рф/activity/science/BIT/T10–p96.pdf)

УДК 004.056:621.391

Рубцов Я.Д. (г. Пенза)

О реализации преобразования Гильберта при имитационном моделировании сигналов управления в каналах передачи данных

Физически преобразование Гильберта [1] может быть интерпретировано как естественный π/2 фазовращатель, который при прохождении через систему сигнала x(t) изменяет фазу всех частотных составляющих сигнала на π/2, и тем самым делает сигнал на выходе преобразователя Гильберта $\hat{x}(t)$ ортогональным исходному сигналу x(t).

Одним из вариантов реализации преобразования Гильберта является использование цифрового фильтра, что связано с достаточно высокими вычислительными затратами, но позволяет рассчитать точные характеристики преобразователя для определенного порядка фильтра без решения дополнительных задач [2].

Другим вариантом реализации преобразования Гильберта является быстрое преобразование Фурье (БПФ), что даёт выигрыш с точки зрения вычислительных затрат по сравнению с использованием фильтров, но для достижения высокого качества синтеза преобразователя Гильберта на паре БПФ необходимо решить ряд задач, таких как выбор окна анализа, метода перекрытия весовой функции, и т.д.

Для выделения амплитуды и фазы произвольного сигнала s(t) необходимо на его основе создать аналитический сигнал [3, 4],т.е. комплексный сигнал вида:

$$z(t) = s(t) + j \times s_{opm}(t) \qquad (1)$$

Спектр аналитического сигнала отличен от нуля только при положительных частотах, а в отрицательной области частот спектр аналитического сигнала равен нулю. Кроме того, аналитический сигнал может быть использован для построения ортогонального дополнения.

Поскольку s(t) = Re(*z(t)*), а $s_{opm}(t)$ = Im(*z(t)*), то можно исходный сигнал подвергнуть преобразованию Фурье, обнулить спектр в отрицательной области частот, удвоить спектр в положительной области частот, после взять обратное преобразование Фурье и получить аналитический сигнал, из которого можно выделить исходный сигнал и его ортогональное дополнение [5].

Дискретное преобразование Гильберта можно получить в результате дискретизации аналогового сигнала, вещественный сигнал s(i) можно представить в комплексной форме, как

$$\dot{s}(i) = s(i) + j\widetilde{s}(i), \qquad (2)$$

$$\begin{cases} s(i) = s(i)\cdot\cos(\varphi(i)) \\ \widetilde{s}(i) = s(i)\cdot\sin(\varphi(i)), \end{cases} \qquad (3) \qquad\qquad S(i) = \sqrt{s(i)^2 + \widetilde{s}(t)^2}, \qquad (4)$$

где i – номер отсчёта, $s(i)$ – отсчёты вещественной части комплексного сигнала, $\tilde{s}(i)$ – отсчёты мнимой части комплексного сигнала, $S(i)$ – огибающая комплексного сигнала.

Далее согласно выражению (5) получается мгновенная фаза сигнала, как

$$\varphi(i) = arctg2(\frac{\tilde{s}(i)}{s(i)}) \qquad (5)$$

После чего мгновенная фаза сигнала изменяется, как

$$\varphi(i) = \varphi(i) + \Delta\varphi\,, \qquad (6)$$

где $\varphi = \pi/2$ для формирования пары сигналов, сопряжённых по Гильберту. При получении мгновенной фазы сигнала используется функция арктангенс-2 для учёта начального квадранта мгновенной фазы. После чего осуществляется пересчёт отсчётов частей комплексного сигнала по формуле (3). Данный способ можно использовать для реализации обобщённого дискретного преобразователя Гильберта, позволяющего осуществить поворот фазы исходного сигнала на произвольный угол.

В условиях фиксированного заранее известного базиса при проведении моделирования предлагается заранее вычислить отсчёты базисных функций. Такой подход позволяет исключить лишние вычислительные операции, такие, как вычисление функции арктангенс-2, пересчёт отсчётов мгновенной фазы сигнала и отсчётов частей комплексного сигнала. Выполнение обратного преобразования с использованием базиса, отличного от исходного, сокращает объём вычислений по сравнению с вышеприведенным подходом, т.к. не требуется дополнительных операций преобразования коэффициентов разложения.

Если заранее сформировать набор базисов, соответствующих повороту фазы на требуемый угол, то это позволит уменьшить объём вычислительных операций. Каждый базис формируется, как квадратная матрица из пар отсчётов:

$$\begin{cases} A(i,n) = \cos\left(i2\pi n/N + \Delta\varphi\right) \\ B(i,n) = \sin\left(i2\pi n/N + \Delta\varphi\right) \end{cases} \qquad (7)$$

где i – номер отсчёта,n–номер составляющей, N– количество отсчётов, $\Delta\varphi$ - угол поворота.

Таким образом, для вычисления отсчётов сигнала $\tilde{x}(t)$, ортогонального исходному сигналу x(t), предлагается выполнять пару прямое и обратное преобразование Фурье с различными заранее сформированными базисами. Данный подход позволяет сократить объём вычислений, необходимых для выполнения преобразования Гильберта при решении задач имитационного моделирования сигналов управления в каналах передачи данных.

Литература

1. Бутырский Е. Ю. Преобразование гильберта и его обобщение // НАУЧНОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, 2014, том 24, № 4, с. 30–37.
2. Витязев В.В., Зайцев А.А.. Основы многоскоростной обработки сигналов: учебное пособие, ч.1 – Рязанская гос. радиотехническая академия. Рязань, 2005. – 124 с.
3. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов. - М.: Высшая школа, 1988.
4. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Питер, 2003. – 608 с.
5. Dsplib.ru. Электронный ресурс: http://www.dsplib.ru/content/hilbert/hilbert.html
6. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: Пер. с англ. - М.: Издательский дом "Вильямс", 2003. - 1104 с.

Статья поступила 12.12.2016, опубликована 27.12 .2016 по положительной рецензии д.т.н. Малыгина А.Ю.