

## АНАЛИЗ БЫСТРОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ХАРТЛИ

*Нуансенги Д.В., Котько Е.Н.*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: Калита Е.В. – магистр, ассистент кафедры ПИКС*

**Аннотация.** Быстрое преобразование Хартли (БПХ) является важным алгоритмом для преобразования сигналов из временной области в частотную область и анализа их спектральных характеристик. БПХ широко используется в обработке звука, изображений и видео, а также в других областях, таких как радиофизика, биомедицинская техника и финансовая аналитика. В научном анализе БПХ изучаются его принципы работы, преимущества и недостатки, а также методы оптимизации для повышения производительности.

**Ключевые слова:** быстрое преобразование Хартли, сигналы, спектральные характеристики, цифровая обработка звука, изображений и видео

**Введение.** Быстрое преобразование Хартли (БПХ) является одним из наиболее распространенных алгоритмов в современной обработке сигналов и анализе данных. Этот алгоритм применяется для преобразования сигналов из временной области в частотную область, что позволяет анализировать спектральные характеристики сигнала. БПХ представляет собой одну из разновидностей преобразования Фурье и основан на теории общих трансформаций Хартли [1].

Анализ БПХ является важной задачей в области обработки сигналов, так как многие приложения требуют быстрого и эффективного анализа спектральных характеристик сигнала [2]. Например, БПХ широко используется в цифровой обработке звука, изображений и видео, а также в многих других областях, таких как радиофизика, биомедицинская техника, финансовая аналитика и т.д.

Цель научного анализа БПХ заключается в том, чтобы изучить принципы работы алгоритма, определить его преимущества и недостатки, а также рассмотреть различные методы оптимизации алгоритма для повышения его производительности. В этом контексте, проведение научного анализа БПХ может помочь специалистам в области обработки сигналов в разработке более эффективных алгоритмов и решений для решения различных задач в современной технике и науке [3].

**Основная часть.** Преобразование Хартли является частным случаем преобразования Фурье, которое используется для анализа спектральных характеристик сигнала. Преобразование Фурье преобразует сигнал из временной области в частотную область, представляя его в виде суммы гармонических функций. Однако, это преобразование имеет некоторые ограничения, так как его вычисление требует больших вычислительных ресурсов, особенно для длинных последовательностей сигнала.

С появлением быстрого преобразования Хартли некоторые приложения быстрого преобразования Фурье утратили свое значение. Примером таких приложений является процедура удаления шума при воспроизведении музыки, записанной цифровым способом.

Эти приложения требуют двух программ: одна из них переводит действительные функции в комплексную область Фурье, в то время как другая выполняет обратный переход от комплексных функций к действительным. Высокочастотный шум в цифровой музыкальной записи может быть устранен путем отфильтровывания фрагментов преобразования, полученного при помощи первой программы. Затем вторая программа переводит измененное таким образом преобразование обратно в музыкальный сигнал улучшенного качества. Хотя обе эти программы выполняются каждая со скоростью, соперничающей с быстрым преобразованием Хартли, одной программы, построенной по

принципу Хартли, оказывается достаточно и для того, чтобы перевести действительную функцию в преобразование Хартли и вернуть это преобразование, после соответствующей фильтрации, опять к действительной функции. Как следствие, высвобождается и лишняя память, требующаяся для хранения сразу двух программ [4].

В этом контексте, быстрое преобразование Хартли (БПХ) было разработано для ускорения процесса вычисления преобразования Хартли и, таким образом, для повышения производительности алгоритмов обработки сигналов. БПХ может быть использован для быстрого преобразования сигнала из временной области в частотную область и обратно, что позволяет анализировать спектральные характеристики сигнала.

Существует несколько разновидностей БПХ, но наиболее распространенными являются БПХ типа II и БПХ типа III. БПХ типа II используется для преобразования сигнала из временной области в частотную область, а БПХ типа III используется для обратного преобразования сигнала из частотной области во временную область. БПХ типа II представляет собой процесс вычисления суммы  $N$  элементов, где  $N$  – это длина последовательности сигнала. Вычисление БПХ типа II может быть выполнено с использованием алгоритма быстрого преобразования Хартли (БПХ-алгоритма), который оптимизирует процесс вычисления преобразования Хартли, путем разбиения последовательности сигнала на подмножества [5].

При использовании БПХ типа II, преобразование Хартли вычисляется по формуле 1:

$$H(k) = \sum_{n=0}^{N-1} h(n) \cos(\pi kn/N), \quad (1)$$

где  $H(k)$  – это значение БПХ для компоненты с частотой  $k$ ;

$h(n)$  – это значение временной последовательности (сигнала) в момент времени  $n$ ;

$\cos(\pi kn/N)$  – представляет косинусоидальную функцию с частотой  $k$ , нормализованной по длине последовательности  $N$ .

Преобразование Хартли может быть вычислено с использованием быстрого алгоритма, который основан на методе быстрого преобразования Фурье (БПФ). БПХ-алгоритм может быть использован для вычисления БПХ типа II за  $O(N \log N)$  операций с использованием алгоритма разделяй и властвуй. Одним из преимуществ БПХ является его эффективность в вычислении преобразования Хартли, что позволяет использовать его для анализа спектральных характеристик сигналов в режиме реального времени. БПХ также может быть применен для решения различных задач, таких как фильтрация сигналов, компрессия данных, распознавание образов и т.д.

**Заключение.** Анализ быстрого преобразования Хартли (БПХ) является ключевым направлением в области обработки сигналов и анализа данных, принося важный вклад в преобразование сигналов между временной и частотной областями. В контексте современных требований к обработке сигналов, БПХ становится неотъемлемым элементом для анализа спектральных характеристик сигналов.

На сегодняшний день существует множество методов оптимизации алгоритма БПХ, призванных повысить его производительность. Из них следует выделить использование алгоритма разделяй и властвуй, что существенно сокращает вычислительные затраты и улучшает эффективность алгоритма.

В перспективе ожидается появление новых методов оптимизации БПХ, что может существенно расширить область его применения и повысить общую эффективность. БПХ продолжит играть важную роль в решении широкого спектра задач в обработке сигналов, таких как цифровая обработка звука, обработка изображений и видео, биомедицинская техника, финансовая аналитика и многие другие области.

Таким образом, проведение научного анализа БПХ является необходимым для разработки более эффективных алгоритмов в области обработки сигналов и анализа данных. Это открывает перспективы для расширения области применения и повышения

эффективности использования БПХ в различных приложениях, что является важным шагом в развитии современных технологий.

### **Список литературы**

1. Преобразование Хартли [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Преобразование\\_Хартли](https://ru.wikipedia.org/wiki/Преобразование_Хартли). Дата доступа: 20.01.2024.
2. Понимание алгоритма БПФ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/companies/otus/articles/449996>. Дата доступа: 22.01.2024.
3. Введение в быстрое преобразование Хартли (ФНТ) и реализацию языка С [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://russianblogs.com/article/6508835362>. Дата доступа :22.01.2024.
4. John Herviel. *Joseph Fourier: the Man and the Physicist*. Clarendon Press, 1975.
5. Ronald N. Bracewell. *The Fourier Transform and its Applications (second edition, revised)*. McGraw-Hill Book Company, 1986.

UDC 004.021:519.142.6

## **HARTLEY'S FAST TRANSFORMATION ANALYSIS**

*Nuansengsy D.V., Katsko E.N.*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

*Kalita E.V. - Master's student, assistant of the department of ICSD*

**Annotation.** The Fast Hartley Transform (FFT) is an important algorithm for converting signals from the time domain to the frequency domain and analyzing their spectral characteristics. HFT is widely used in sound, image, and video processing, as well as in other fields such as radiophysics, biomedical engineering, and financial analytics. The scientific analysis of the BPC examines its principles of operation, advantages and disadvantages, and optimization techniques to improve performance.

**Keywords:** fast Hartley transform, signals, spectral characteristics, digital audio, image and video processing