

# FGPA РЕАЛИЗАЦИЯ 8-КАНАЛЬНЫХ КВАТЕРНИОННЫХ БАНКОВ ФИЛЬТРОВ НА ОСНОВЕ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ АРИФМЕТИКИ НА СУММАТОРАХ

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

Рыбенков Е. В.

Петровский Н. А. – к.т.н, доцент кафедры ЭВС

В рамках статьи рассматривается реализация 8-канальных кватернионных банков фильтров (Q-ПУБФ) на основе распределенной арифметики на сумматорах. В статье используется метод синтеза Q-ПУБФ с представлением коэффициентов суммой степеней двух.

Стремительное развитие программируемых систем на кристалле ПЛИС (FPSoC – Field Programmable System-on-Chip) [1] и их внедрение в системы мультимедиа реального времени обуславливает интерес к методам проектирования банков фильтров, характеризующихся малой вычислительной сложностью. Подходы на основе представления коэффициентов суммой степеней двух [2,3] особенно привлекательны, потому что умножение интерпретируется с помощью только простых операций сдвигов и сложений. Более того, возможно применение распределенной арифметики на сумматорах [4] для реализации компонент банков фильтров, что приводит к сокращению аппаратных затрат, уменьшению потребляемой мощности и увеличению быстродействия схемы по сравнению с распределенной арифметикой на памяти [5].

Факторизация 8-канального Q-ПУБФ с линейными фазочастотными характеристиками (ФЧХ) и попарно зеркальной симметрией частотных характеристик фильтров приведена в [6]. Базовым элементарным преобразованием Q-ПУБФ является умножение кватернионов, где один из сомножителей – кватернион-константа. При этом эффективность реализации всего Q-ПУБФ на FPGA зависит от операции умножения. Прямое умножение матрицы на вектор потребует 16 умножений действительных чисел и 12 алгебраических сложений. Применение блочной лестничной параметризации к оператору умножения кватернионов  $M^\pm(Q)$  дает возможность уменьшить вычислительную сложность операции и выполнение обратимого «целое к целому» для арифметики с фиксированной запятой, однако приводит к увеличению динамического диапазона коэффициентов матриц  $F(Q), G(Q), H(Q)$ . Приведение параметров умножителя к динамическому диапазону  $(-1;1)$  осуществляется на основе перестановок компонент кватерниона  $Q = Q_1 + Q_2i + Q_3j + Q_4k$  например, в кватернион  $\tilde{Q} = Q_1 + Q_2i + Q_3j + Q_4k$ :  $\tilde{Q} = P \cdot Q$ , где  $P$  – матрица перестановок, а оператор умножения будет определяться как:  $Qx = M^\pm(Q)x = P_{post} M^\pm(\tilde{Q}) P_{pre} x$ , где  $P_{pre}$  и  $P_{post}$  – матрицы перестановок (пре- и постобработка [7]).

Моделирование работы  $(8 \times 24)$  Int-Q-ПУБФ в арифметике с фиксированной запятой проводилось в системе Xilinx ISE 14.7, подтвердившее правильность работы, для кристалла Spartan3 (3s400fg456-5). Результаты синтеза приведены в таблице 1. Стоит отметить, что тактовая частота поступления входных данных в Q-ПУБФ должна быть в восемь раз выше тактовой частоты работы БФ, поскольку для работы системы анализ/синтез требуется восемь отсчетов входных данных. На рисунке 1 показаны данного банка фильтров АЧХ и импульсные характеристики каналов (24 отсчета). Импульсная характеристика является симметричной, что свидетельствует о линейности ФЧХ. В таблице 2 приведены характеристики реализуемого Int-Q-ПУБФ. Степень ослабления в полосе задержки каналов  $\epsilon_{SBE}$  равна  $\sim 22$  дБ. Среднеквадратическое отклонение между входом и выходом системы анализ/синтез равно 0, что соответствует полному восстановлению исходного сигнала с точностью до младшего бита.

Компонент	Slices, шт	Slice Flip Flops, шт	LUTs, шт	Тактовая частота, МГц	Количество тактов конвейера
Q-ПУБФ анализа	3465	3040	6145	58	23
Q-ПУБФ синтеза	3441	3028	6216	66	26
Умножитель на константу P2	272	192	469	73	3

Таблица 1 – Результаты синтеза системы анализ/синтез для кристалла Xilinx Spartan3(3s400fg456-5)

$\epsilon_{SBE}$ (дБ)	СКО	CG (дБ)	$\min( H(0) )$ (дБ)
-21.1	0	9.59	-36

Таблица 2 – Основные характеристики 8-канального  $(8 \times 24)$  Int-Q-ПУБФ ( $B = 16, K = 3$ )

В таблице 3 приведены коэффициенты блочной лестничной параметризации для 8-канального Int-Q-ПУБФ с линейной ФЧХ и попарно зеркальной симметрией частных характеристик фильтра при длине слова лестничных коэффициентов  $B$ . Параметр  $K$  указывает на количество бит равные единице в двоичном слове лестничных коэффициентов.

$Q$	номер элемента матрицы	$F$	$G$	$H$	$M^\pm(Q)$	$P$
$P_0$	(1,1)	$-(2^{-10} + 2^{-9} + 2^{-7})$	$-(2^{-6} + 2^{-4} + 2^{-3})$	$+(2^{-5} + 2^{-4} + 2^{-3})$	$M^-(Q)$	(1,2,4,3)
	(1,2)	$+(2^{-5} + 2^{-4} + 2^{-3})$	$-(2^{-5} + 2^{-4} + 2^{-3})$	$+(2^{-9} + 2^{-8} + 2^{-7})$		
$P_1$	(1,1)	$+(2^{-4} + 2^{-3} + 2^{-2})$	$-(2^{-8} + 2^{-7} + 2^{-3})$	$-(2^{-8} + 2^{-6} + 2^{-2})$	$M^-(Q)$	(1,2,4,3)
	(1,2)	$-(2^{-10} + 2^{-8} + 2^{-2})$	$+(2^{-6} + 2^{-5} + 2^{-1})$	$-(2^{-4} + 2^{-3} + 2^{-2})$		
$P_2$	(1,1)	$+(2^{-4} + 2^{-3} + 2^{-2})$	$-(2^{-6} + 2^{-2} + 2^{-1})$	$+(2^{-4} + 2^{-3} + 2^{-1})$	$M^+(Q)$	(1,2,3,4)
	(1,2)	$-(2^{-12} + 2^{-5} + 2^{-1})$	$+(2^{-6} + 2^{-4} + 2^{-2})$	$+(2^{-13} + 2^{-10} + 2^{-5})$		
$Q_0$	(1,1)	$-(2^{-8} + 2^{-7} + 2^{-1})$	$-(2^{-8} + 2^{-7} + 2^{-5})$	$+(2^{-6} + 2^{-4} + 2^{-1})$	$M^-(Q)$	(1,4,2,3)
	(1,2)	$+(2^{-6} + 2^{-5} + 2^{-1})$	$-(2^{-10} + 2^{-6} + 2^{-5})$	$-(2^{-4} + 2^{-3} + 2^{-2})$		
$Q_1$	(1,1)	$+(2^{-5} + 2^{-3} + 2^{-2})$	$-(2^{-10} + 2^{-6} + 2^{-5})$	$-(2^{-9} + 2^{-3} + 2^{-2})$	$M^+(Q)$	(1,4,3,2)
	(1,2)	$+(2^{-10} + 2^{-8} + 2^{-3})$	$+(2^{-7} + 2^{-5} + 2^{-4})$	$-(2^{-14} + 2^{-8} + 2^{-2})$		
$Q_2$	(1,1)	$-(2^{-8} + 2^{-7} + 2^{-3})$	$+(2^{-9} + 2^{-4} + 2^{-1})$	$-(2^{-4} + 2^{-2} + 2^{-1})$	$M^+(Q)$	(1,4,3,2)
	(1,2)	$+(2^{-4} + 2^{-2} + 2^{-1})$	$-(2^{-8} + 2^{-4} + 2^{-1})$	$-(2^{-9} + 2^{-6} + 2^{-3})$		

Таблица 3 – Лестничные коэффициенты 8-канального (8X24) Int-Q-ПУБФ ( $B=16, K=3$ )

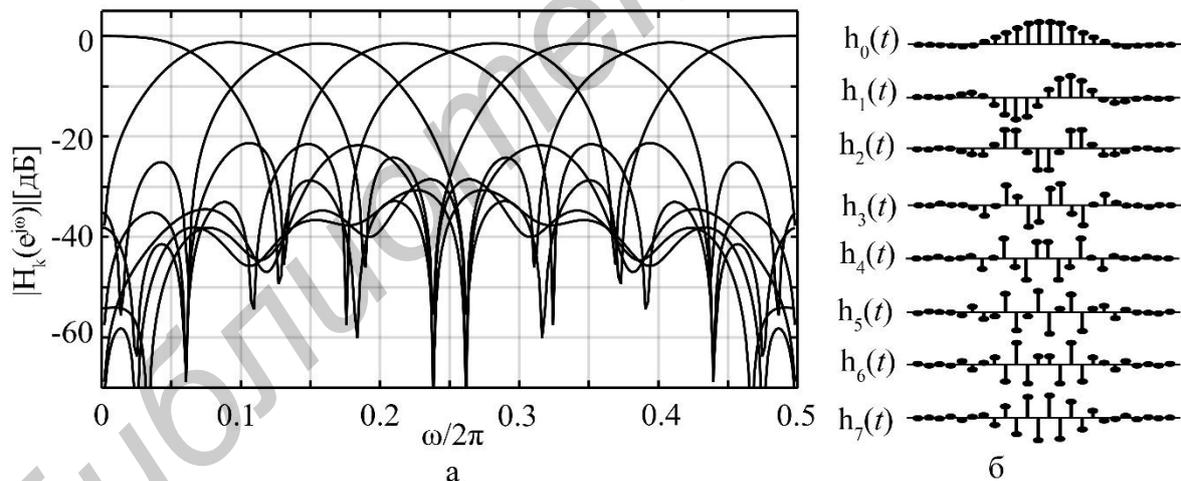


Рис. 1 – Характеристики целочисленного 8-канального ( $8 \times 24$ ) Int-Q-ПУБФ: а) амплитудно-частотные характеристики (АЧХ), б) импульсные характеристики каналов фильтров.

Банк фильтров ( $8 \times 24$ ) Int-Q-ПУБФ представляет собой целочисленное преобразование, а также может рассматриваться как многополосное вейвлет преобразование, эффективность которых в сжатии изображений высокая [8].

Список использованных источников:

1. The Zynq Book: Embedded Processing with the ARM Cortex-A9 on the Xilinx Zynq-7000 All Programmable Soc / L. H. Crockett [et al.] — UK: Strathclyde Academic Media, 2014
2. Рыбенков Е.В., Петровский Н.А. Синтез параунитарных банков фильтров в алгебре кватернионов для вычислительных структур с фиксированной запятой – Доклады БГУИР, №8, 2016.
3. Hogn B.R., Samueli H., Willson A. N. The design of two-channel lattice-structure perfect-reconstruction filter banks using powers-of-two coefficients // IEEE Trans. Circuits Syst. – 1993. – Vol. 40, No 7. - P. 497–499.
4. Chang T.-S., Chen C., Jen C.-W. New distributed arithmetic algorithm and its application to IDCT // IEE Proc. Circuits, Devices and Systems. – 1999. – Vol. 146, issue 4. — P. 159–163.

- White, S.A. Applications of distributed arithmetic to digital signal processing: A tutorial review / S.A. White // IEEE ASSP Mag. — 1989. — Vol. 6, No 3. — P. 4–19.
- Парфенюк М., Петровский А.А. Параунитарные банки фильтров на основе алгебры кватернионов: теория и применение // Цифровая обработка сигналов. - 2008, № 1, с.22-36.
- Parfieniuk M., Petrovsky A. Quaternion multiplier inspired by the lifting implementation of plane rotations // IEEE Trans. Circuits and systems – I: regular papers. – 2010. - Vol. 57, № 10. — P. 2708–2717.
- Дворкович, В.П. Новый подход к использованию вейвлет-фильтров при обработке изображений / В.П. Дворкович, А.В. Гильманшин // Цифровая обработка сигналов. — 2008. — № 1. — С. 37–42.

## УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЧЕСКОГО УХОДА ЗА АКВАРИУМОМ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

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

Конопелько Я.Д.

Герасимович В. Ю. – ассистент

Аквариумистика – очень древнее искусство, не потерявшее актуальности. На сегодняшний день аквариумистика динамично развивается, используя современные технологии и достижения электроники и электротехники. Применение устройств автоматизации позволит обслуживать аквариум более эффективно, снизить эксплуатационные расходы, энерго- и водопотребление. Постоянный контроль параметров воды, длины светового дня, показаний датчиков и многое другое позволит создать условия для оптимального существования флоры и фауны.

Устройство автоматического ухода за аквариумом – это устройство, предназначенное для повышения качества и безопасности функционирования системы жизнеобеспечения флоры и фауны аквариума, поддержание требуемых параметров среды в допустимых диапазонах. Постоянное отслеживание состояния аквариума позволяет моментально реагировать на не штатные ситуации

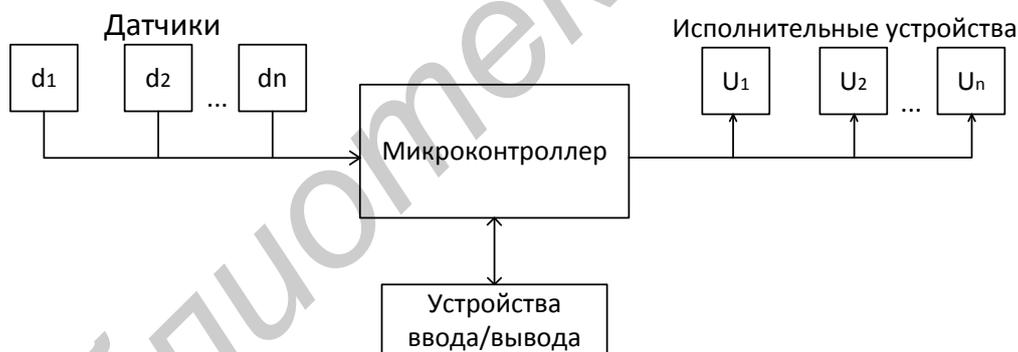


Рис. 1 – Структурная схема устройства

Основные функции данного устройства является сбор данных о параметрах воды и удаленное обслуживание аквариума. В его основе лежит микроконтроллер, который считывает информацию с датчиков и передает управляющие сигналы исполнительным устройствам. В качестве исполнительных устройств могут выступать устройства обогрева, освещения, аэрации, фильтрации и другие. Для отслеживания основных показателей среды имеются датчики освещения, температуры воды и воздуха, уровня воды. С помощью устройств ввода/вывода пользователь может устанавливать режимы работы, требуемый температурный режим, продолжительность светового дня, время включения/выключения исполнительных устройств.

Использование устройства автоматического ухода за аквариумом позволит своевременно отслеживать и вносить коррективы в состояние параметров, напрямую влияющих на жизнедеятельность, здоровье и продолжительность жизни обитателей аквариума. Так же существует возможность создание различных “сценариев”, имитирующих природные явления, например, “рассвет-закат”, “день-ночь”.

Список использованных источников:

- Atmel [Электронный ресурс]. – Электронные данные - Режим доступа:<http://www.atmel.com>
- Maximintegrated [Электронный ресурс]. – Электронные данные – Режим доступа:<https://www.maximintegrated.com>
- Рюмик, С.М. 1000 и одна микроконтроллерная схема. / С.М.Рюмик. – М. Додэка-XXI, 2011. -400с.