

# ПРИМЕНЕНИЕ ПРОЦЕССОРОВ СЕМЕЙСТВА NeuroMatrix® ДЛЯ МАСШТАБИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

## APPLICATION OF NeuroMatrix® DSP PROCESSOR FOR IMAGE RESAMPLING

Sergey V. Mushkaev

Мушкаев С. В. Ведущий инженер-программист

ЗАО НТЦ «Модуль» <http://www.module.ru>

ЗАО НТЦ "Модуль". Российская Федерация, 125190, Москва, а/я 166

Тел. 8(499) 1529802 [mushkaev@module.ru](mailto:mushkaev@module.ru)

### Аннотация

В современных приложениях при работе с SD/HD видео задачи масштабирования изображений в режиме реального времени имеют достаточно высокую вычислительную сложность. В данном докладе рассматривается применимость DSP архитектуры NeuroMatrix® для решения этих задач на примере программной реализации полифазного алгоритма масштабирования на процессоре 1879BM4(NM6405)[1].

### Abstract

A commonly encountered problem in digital signal and image processing is a video resampling process. Actual applications dealing with High Definition (HD) resolution in real time have a quite high computational cost. This paper discusses an applicability of DSP NeuroMatrix® architecture for video resampling. The example of implementation of SD to HD video format conversion on NM6405[1] processor is considered.

**Ключевые слова:** передискретизация, масштабирование, интерполяция, полифазный фильтр, K1789XB1Я, векторный процессор, параллельные вычисления, Lanzas, NeuroMatrix, NM6405.

**Keywords:** resampling, image resizing, scaler, scaling, interpolation, polyphase filtering, vector processor, parallel processing, Lanzas, NeuroMatrix, NM6405.

### Введение

В телевизионных системах существует масса задач постобработки видео после его декодирования. В связи с распространением телевидения высокой четкости, появлением HD дисплеев и в то же время наличия большого SD видео контента естественно вытекающей задачей является быстрое и качественное масштабирование изображений до размера экрана. В 2010 компания ЗАО НТЦ «Модуль» выпустила систему на кристалле для декодирования цифрового телевизионного сигнала СБИС K1789XB1Я [2], способную декодировать видеопотоки MPEG-2, VC-1 и H.264 как в SD, так и HD формате. В микросхеме имеется уже аппаратный блок масштабирования (скейлер), однако, дополнительно в нее также интегрирован DSP сопроцессор NeuroMatrix® NMC3 [1], с помощью которого предполагается производить постобработку видео и декодирование аудио. Так как программное решение само по себе более гибко и функционально чем аппаратное, возник вопрос об использовании ядра NeuroMatrix Core(NMC) в качестве видео скейлера с произвольным коэффициентом масштабирования и в частности из SD в HD.

Существует множество методов масштабирования изображений. Основными из них являются: интерполяция по ближайшему соседу, билинейная, бикубическая, фильтром Lanzas. Все они обладают разным качеством и имеют соответственно разную вычислительную сложность. Довольно популярным на практике является фильтр Lanzas. В виду достаточно высокого качества алгоритма Lanzas и в тоже время выгодного для архитектуры NeuroMatrix характера его вычислений было предложено реализовывать этот алгоритм с помощью системы полифазных фильтров.

### Полифазная фильтрация

Полифазный метод [3] позволяет производить передискретизацию сигнала в рациональное число раз. Это означает, что если исходную частоту дискретизации необходимо изменить в  $p/q$  раз, то сначала выполняется интерполяция с коэффициентом  $p$ , а затем прореживание с коэффициентом  $q$ .

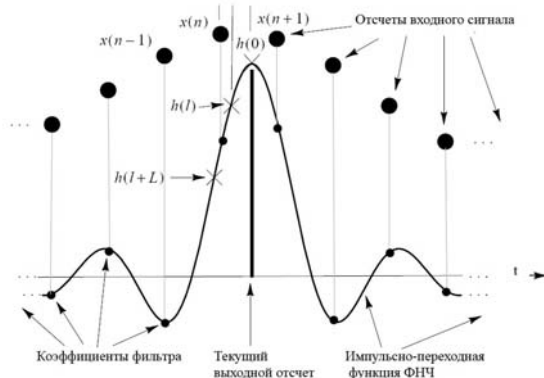


Рис. 1 Интерполирующая функция

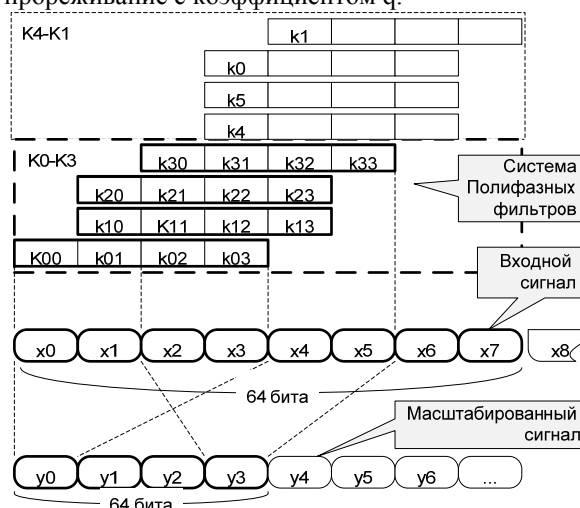


Рис.2 Пример работы полифазного алгоритма

Интерполяция осуществляется путем вставки между отсчетами входного сигнала по (p-1) нулей. Полученный сигнал пропускается через ФНЧ с частотой среза  $f_d/2$ , где  $f_d$ - частота дискретизации. Полученный сигнал пропускается через ФНЧ с частотой среза  $(F_d p/q)/2$ . И далее из полученного сигнала выбирается каждый q-й отсчет. Первые два шага относятся к процессу интерполяции, последние два – к прореживанию. Очевидно, что в этом случае будет выполняться много избыточных операций. Алгоритм, который минимизирует число вычислительных операций называется *полифазным* и широко используется на практике [2]. В полифазном методе, для приближенного восстановления сигнала в качестве интерполирующей функции, используется функция, полученная из sinc-функции и окна Хэмминга, вид которой показан на рисунке 1. Поскольку для фильтрации необходимо только отличные от нуля отсчеты входного сигнала, то из фильтрующей функции, как показано на рис.1 выбираются не все, а только соответствующие им значения. Так как прореживаемые выходные отсчеты имеют различное смещение относительно исходных опорных ненулевых значений, то составляется набор из нескольких фильтров. И далее при интерполяции конкретного отсчета выбирается соответствующий из набора фильтров. Длина фильтров в конкретной реализации определяется на основе компромисса между качеством интерполяции и вычислительными затратами. При этом если длина фильтра составляет 1 коэффициент, то алгоритм сводится к методу интерполирования по ближайшему соседу, если 2 – к билинейной интерполяции.

Таким образом, задача масштабирования сводится к фильтрации исходного изображения в горизонтальном и вертикальном направлении циклически чередующимися фильтрами. На рис. 2 они отображены в виде сдвинутой лестничной структуры  $K_0, K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_0, K_1, \dots$ . При этом ширина шага фильтрации непостоянна, но также подчиняется циклическому закону в зависимости от коэффициентов p и q. Как показано на рис. 2 коэффициенты входного массива  $X_i$ , лежащие под окном фильтра  $K_j$ , суммируются взвешенным умножением с коэффициентами фильтра  $K_j$  и сохраняются в соответствующем поле  $Y_j$ :  $y_0 = x_0 * k_{00} + x_1 * k_{01} + x_2 * k_{02} + x_3 * k_{03}; \dots y_3 = x_2 * k_{30} + x_3 * k_{31} + x_4 * k_{32} + x_5 * k_{33}$ . Суть этого умножения и заложена аппаратно в векторном умножителе [4], который в данной настраиваемой конфигурации производит по 32 умножения с накоплением за такт, что позволяет существенно ускорить вычисления.

### Программная реализация алгоритма.

На рисунке 3 показано как схема фильтрации с лестничной структурой фильтров рисунка 2 трансформируется в контекст векторно-матричных вычислений векторного узла процессора NeuroMatrix. Векторный умножитель имеет матричную структуру с программно настраиваемым разбиением[4], которая в данной задаче представляет собой матрицу из  $8 \times 4$  16-разрядных весов для загрузки коэффициентов  $K_{ij}$ . Для этого банки фильтров дополняются нулями и загружаются в 4 колонки как показано на рис.3. Далее на вход умножителя подаются пиксели исходного изображения X блоками по 8 байт. В каждой ячейке матрицы производится умножение веса  $K_{ij}$  на соответствующий байт  $X_i$  в этой строке. Результаты произведений суммируются внутри колонок и сохраняются в соответствующих 16-р. ячейках  $Y_j$ . Следует заметить, что полная данная операция производится за один процессорный такт, что главным образом и обуславливает ускорение алгоритма. Так как векторный умножитель оперирует только целочисленными данными, то коэффициенты  $K_{ij}$  представляются в формате чисел с фиксированной точкой. После такого умножения необходимо округление и нормализующий сдвиг вправо, который выполняется также на векторном узле. Аналогичным образом умножаются и другие 64-разрядные блоки пикселей на соответствующие весовые матрицы  $K_4-K_1, K_2-K_0$  и т.д., в результате чего на выходе получается горизонтально интерполированное изображение Y.

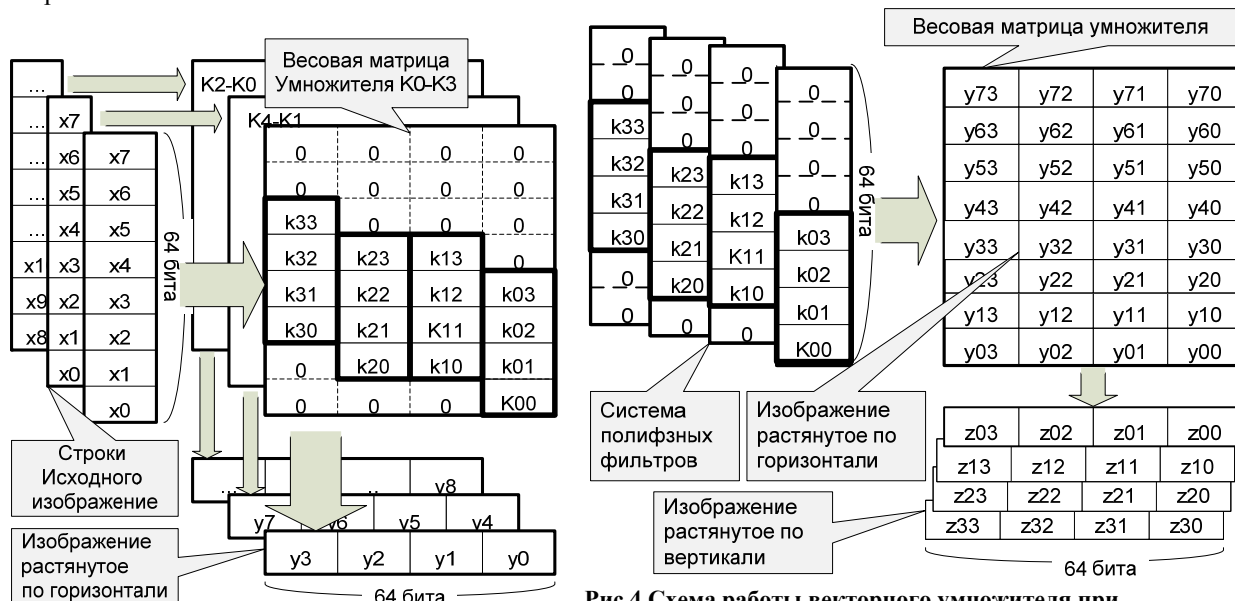


Рис.3 Схема работы векторного умножителя при горизонтальном масштабировании

Рис.4 Схема работы векторного умножителя при вертикальном масштабировании

Следующим шагом является масштабирование по вертикали. Здесь разбиение матрицы и процесс умножения остается прежним, однако на этот раз наоборот - в весовую матрицу умножителя загружаются 16-разрядные пиксели изображения Y блоками размером 8x4, а на вход умножителя подаются уже заранее сформированные 64р. блоки с упакованными в них коэффициентами фильтров K. В результате на выходе формируется полностью масштабированное 16-разрядное изображение Z.

Для окончательного результата над изображением Z необходимо снова произвести округление, нормализующий сдвиг вправо, пропустить данные через пороговую функцию в пределах [0...255] и переупаковать в 8-разрядный формат данных. Отличительной особенностью процессора NeuroMatrix является то, что перечисленный набор действий можно выполнить одновременно за один проход, интегрировав все эти операции в одну комплексную векторную команду.

Полный процесс масштабирования состоит из 5 процедур, порядок и перечень которых приведен в таблице 1 с указанием средней производительности на монохромный пиксель, а также отношением времени работы функции к общему времени.

**Таблица 1 Производительность функций в алгоритме масштабирования SD→HD**

Операция	Число тактов на входной пиксель	Число тактов на выходной пиксель	% от общего времени
1. Смещение диапазона яркостей входного изображения [0..255]→[-128..+127]	0.16		2.7
2. Горизонтальное масштабирование (p/q=8/3)	1.4	0.53	26.3
3. Округление / нормализующий сдвиг вправо	0.29		13.6
4. Вертикальное масштабирование (p/q=15/8)	0.7	0.37	32.18
5. Округление / нормализующий сдвиг вправо / пороговая обработка [-128..+127] / восстановление диапазона яркостей [-128..127]→[0..255] / переупаковка 16 бит→8 бит	0.29		25.33
<i>Всего (полное масштабирование монохромного изображения SD→HD)</i>	5.75	1.15	100

В таблице 2 приведены сравнительные данные по производительности алгоритмов масштабирования из SD в HD формат для монохромных 8-битовых изображений для процессоров Intel и NeuroMatrix. Оценка производительности процессоров Intel осуществлялась на функциях масштабирования оптимизированной библиотеки IPP (Intel® Integrated Performance Primitives Performance Library). Производительность процессора 1879BM4 (NM6405) оценивалась на инструментальном модуле MC 51.01.

**Таблица 2 Производительность функций в алгоритмах масштабирования SD→HD**

Тип интерполяции монохромного изображения из SD в HD формат	Intel Core 2 Duo SU7300 1.30 GHz (кадров/сек)	Intel Pentium 3.20 GHz (кадров/сек)	«Модуль» 1879BM4 (NM6405) 160 MHz * (кадров/сек)	«Модуль» СБИС ДЦТС К1789ХБ1Я 324 MHz * (кадров/сек)
По ближайшему соседу.	150 fps	333 fps	270 fps (0.15 clock/output pixel)	540 fps
Линейная интерполяция	128 fps	158fps	70 fps (1.1 clock/output pixel)	140 fps
Кубическая интерполяция	43 fps	63 fps	-	-
Lanczos (предлагаемый метод)	22 fps	35 fps	60 fps (1.2 clock/output pixel)	120 fps

\* Данные приведены только на вычислительные затраты без учета обмена с внешней памятью.

### Выводы

1. В работе был проведен анализ существующих методов масштабирования и выбран наиболее подходящий для программной реализации на архитектуре NeuroMatrix. Выбранный полифазный алгоритм (Lanzos) был адаптирован и оптимизирован под архитектуру DSP процессора MN6405. Полученная программная реализация была опробована на отладочной плате МЦ5101. Полученные замеры производительности масштабирования составляют 1.2 такта на выходной монохромный пиксель, что для масштабирования цветного видео 4:2:2 из SD в HD в режиме реального времени требует тактовой частоты в 150МГц (без учета дополнительных затрат на обмен с внешней памятью). Имеющееся же частота 324МГц в СБИС К17891Я обеспечивает достаточную производительность не только для масштабирования SD и HD видеопотоков в темпе их поступления, но также оставляет запас вычислительных ресурсов для дополнительной обработки или необходимого переформатирования данных.

2. Возможность программной реализации данного алгоритма позволяет разрабатывать видео скейлеры с практически любыми коэффициентами масштабирования как вверх, так и вниз. Это, в свою очередь, позволяет конструировать более сложные и гибкие скейлеры, например, с возрастающим коэффициентом растяжения на краях изображения делая пропорции объектов в центре более реалистичными.

3. Конечный программный код для NeuroMatrix оказывается привязанным к фиксированным коэффициентам растяжения и не является параметризуемым. Однако, программный комплекс разработан так, что модификации самого исполняемого кода практически не требуется для разных коэффициентов масштабирования. Для этого достаточно сгенерировать новые таблицы весовых коэффициентов с помощью соответствующей программы. Такой подход позволяет относительно быстро разрабатывать скейлеры под любые коэффициенты масштабирования, а также легко варьировать длину и веса самих фильтров. Следует заметить, что при длинах фильтров 1 и 2 алгоритм автоматически сводится к интерполяции по ближайшему соседу или билинейной интерполяции, что дает дополнительный выигрыш производительности.

4. В целом, анализ полученных результатов и сравнение с производительностью на процессорах Intel показали высокую эффективность архитектуры NeuroMatrix в задачах фильтрации, интерполяции и масштабирования сигналов и изображений. В частности, ядро NMC3 может успешно применяться для постобработки видео в цифровом декодере цифрового телевизионного сигнала стандартной и высокой четкости K1789XB1Я.

#### **Литература**

1. *В.М. Черников, П.Е. Вискне, А.М. Шелухин, А.В. Черников, Д.Е. Косоруков* "Новый отечественный процессор обработки сигналов 1879BM4 семейства NeuroMatrix", // IV Всероссийская научно-техническая конференция "Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем - 2010" : Сборник трудов - 2010, (рус)
2. *Шевченко П.А.*, Презентация доклада «Отечественная СБИС декодера цифрового телевизионного сигнала уже существует» // Тринадцатая международная конференция CSTB'2011, секция бизнес-семинаров, Москва 2011, (рус). <http://www.module.ru/>
3. *Сергиенко А.Б.* Цифровая обработка сигналов – СПб.; Питер 2002, 237 с.
4. “Нейропроцессор NM6403. Введение в архитектуру” М.: НТЦ ”Модуль”, 1998 <http://www.module.ru/>