

РЕАЛИЗАЦИЯ ИНТЕРПОЛЯЦИИ БАЙЕРСКОГО ШАБЛОНА НА ПЛИС В ЗАДАЧАХ ОБРАБОТКИ ВИДЕОПОТОКА

С.В. Малыгина

sophia.maligina@gmail.com

SPIN-код: 9314-9294

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

В настоящее время в видеосистемах повсеместно происходит замена систем стандартной (SD) четкости изображений на высокую четкость (HD и Full HD). Число пикселей в кадре существенно увеличивается, соответственно повышается сложность проектирования систем обработки видеоизображения: кодирование и декодирование в HD-системах требует гораздо большей производительности и одного процессора уже недостаточно. Повышение требований к системам потоковой обработки изображений стало толчком для применения в обработке видео программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), которые увеличивают ее быстродействие благодаря параллельному выполнению задач. Продемонстрирована функциональная схема и показан результат разработки программно-аппаратного комплекса, построенного на ПЛИС, с последующей обработкой полученных с матрицы кадров. Проведена билинейная интерполяция по шаблону Байера для кадров с разной экспозицией, а также гамма-коррекция, улучшающая восприятие картинки.

Ключевые слова

Обработка видеопотока на ПЛИС, гамма-коррекция, шаблон Байера, билинейная интерполяция, фильтрация изображений, RAW, RAW-конвертер, параллельное программирование

Поступила в редакцию 29.04.2019

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019

Введение. Для реализации сложных систем обработки видеоизображений в реальном времени в качестве элементной базы все чаще используют программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС). Обращение к данному решению вполне обосновано, ведь чем сложнее устройство технических систем, тем больше требований предъявляется к их реализации. В случае с обработкой видеопотока в реальном времени, выделяются следующие основные требования [1]:

- большой объем выполняемых функций (улучшение видеоизображения, обнаружение, сопровождение объектов, электронная стабилизация поля зрения и т. д.);
- высокое быстродействие (минимально возможная задержка выходного видео);
- возможность интеграции в более сложные системы;
- минимальные массогабаритные характеристики. ПЛИС идеально подходит в качестве элементной базы системам обработки видеоизображений, так как

имеет следующие характеристики: параллельная обработка данных, значительный объем логических элементов (микросхемы FPGA фирмы Xilinx семейства Virtex-7 имеют в своем составе до 2 миллионов логических ячеек, 65 Мбайт памяти, 4000 DSP модулей), высокая тактовая частота (до 650 МГц);

- высокая надежность;
- количество внешних цифровых выводов до 1500 шт.;
- размеры со спичечный коробок [2].

Для реализации некоторых функций, таких как электронная стабилизация, зуммирование, компенсация поворота зеркал оптической системы обработки видеопотока, осуществляют начальные преобразования полученного с матрицы видеоизображения, такие как гамма-коррекция, интерполяция, аффинные преобразования и т. д. Наиболее часто применяют билинейную интерполяцию, поскольку реализация данного типа интерполяции обладает оптимальным соотношением «качество интерполяции / аппаратные затраты». Для устранения эффекта затенения монитором используют гамма-коррекцию. Ее идея заключается в том, чтобы применить инверсию показателя гаммы монитора, т. е. показателя зависимости входного напряжения от яркости изображения, к окончательному цвету перед выводом на монитор.

R11	G12	R13	G14	R15	G16
G21	B22	B23	B24	B25	B26
R31	G32	G33	G34	R35	G36
G41	B42	G43	B44	G45	B46
R51	G52	R53	G54	R55	G56
G61	B62	G63	G64	G65	B66

Рис. 1. Маска Байера [2]

Билинейная интерполяция. В качестве светочувствительных элементов в цифровых камерах используются приборы с зарядовой связью (ПЗС-сенсоры) и каждый датчик на ПЗС захватывает только один цвет, а именно красный, зеленый или синий, причем число зеленых пикселей должно быть в 2 раза больше, чем остальных, что связано с восприимчивостью человеческого глаза (рис. 1). Возможны также другие варианты раскраски и расположения элементов. В некоторых камерах вместо RGB, CMY применяют цветофильтры, так как последние пропускают больше света. Иногда также

используют дополнительный четвертый цвет фильтра для более точной передачи цветовых оттенков [1, 2]. Однако независимо от цвета используемых фильтров каждая ячейка воспринимает только один цвет. То есть ячейка, находящаяся под красным фильтром, определяет яркость красной составляющей света части изображения, проецируемого именно на эту ячейку, ячейка под зеленым фильтром — соответственно зеленую составляющую и т. п. [3].

Помимо информации о яркости каждого пикселя большинство RAW-форматов включают в метаданные так называемое декодирующее кольцо (decoderring), в котором описан порядок размещения элементов мозаики цветового фильтра над чувствительными ячейками матрицы [4]. Эта информация позволяет RAW-конвертеру понять, какой цвет представляет конкретно взятая ячейка. RAW-конвертер использует эту информацию при преобразовании по-

лутонового RAW-снимка в цветное изображение, интерполируя «предполагаемый» цвет каждого пикселя и опираясь на значение яркостей нескольких соседних ячеек матрицы, а также на информацию о цвете фильтра, соответствующего этим ячейкам.

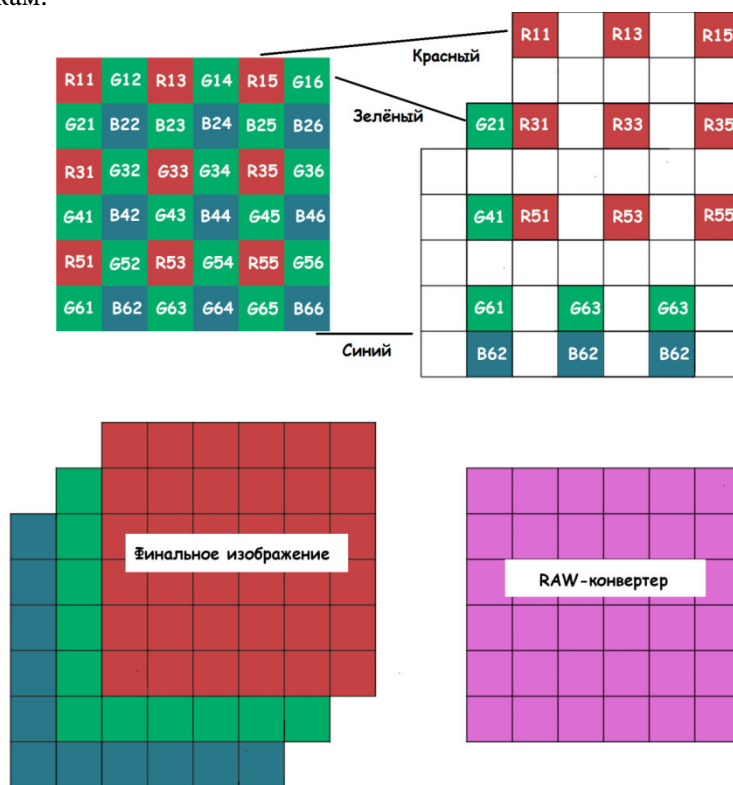


Рис. 2. RAW-снимок декодируемый RAW-конвертером [2]

Этот процесс обычно называют «разбор мозаики» [5]. Он играет ключевую роль в конвертировании RAW-снимка, но не только он. Помимо процесса разбора мозаики RAW-преобразование включает постобработку, такую как контрастирование, гамма-коррекция и снижение шума.

В этом методе интерполяции вместо рассмотрения только четырех пикселей, таких как блок шаблона Байера 2×2, мы фактически вычисляем среднее значение для каждого пикселя в зависимости от его положения в шаблоне Байера, чтобы определить спектр конкретного пикселя [6]. Для каждого пикселя рассматриваем восемь его прямых соседей, а затем определяем два недостающих цвета этого пикселя путем усреднения цветов соседних пикселей.

Таким образом, получаем четыре различных случая усреднения: красный, синий, зеленый в красном ряду и зеленый в синем (см. таблицу). На каждом из них усреднение будет немного различаться [7].

Этот метод позволяет определять уровень красного, зеленого и синего цвета для каждого пикселя. Поскольку билинейная интерполяция подразумевает вычисления среднего значения для определения уровня цвета, данный подход

можно считать наиболее приближенным к истине, нежели другие варианты конвертации [8].

Вычисление среднего значения для каждого пикселя в шаблоне Байера

Номер пикселя	Цвет		
	Красный	Синий	Зелёный
R33	R33	$(B22 + B24 + B42 + B44) / 4$	$(G23 + G34 + G32 + G43) / 4$
B44	$(R33 + R35 + R53 + R55) / 4$	B44	$(G23 + G34 + G32 + G43) / 4$
G43	$(R33 + R53) / 2$	$(B42 + B44) / 2$	G43
G34	$(R33 + R35) / 2$	$(B24 + B44) / 2$	G34

Реализация алгоритма. Аппаратный комплекс исследования состоит из трех частей: ПЗС-сенсор, который принимает изображение с матрицы; ПЛИС фирмы Altera семейства CycloneV, на которой и происходит операция разбора мозаики и постобработки; модуль вывода DVI (рис. 3).

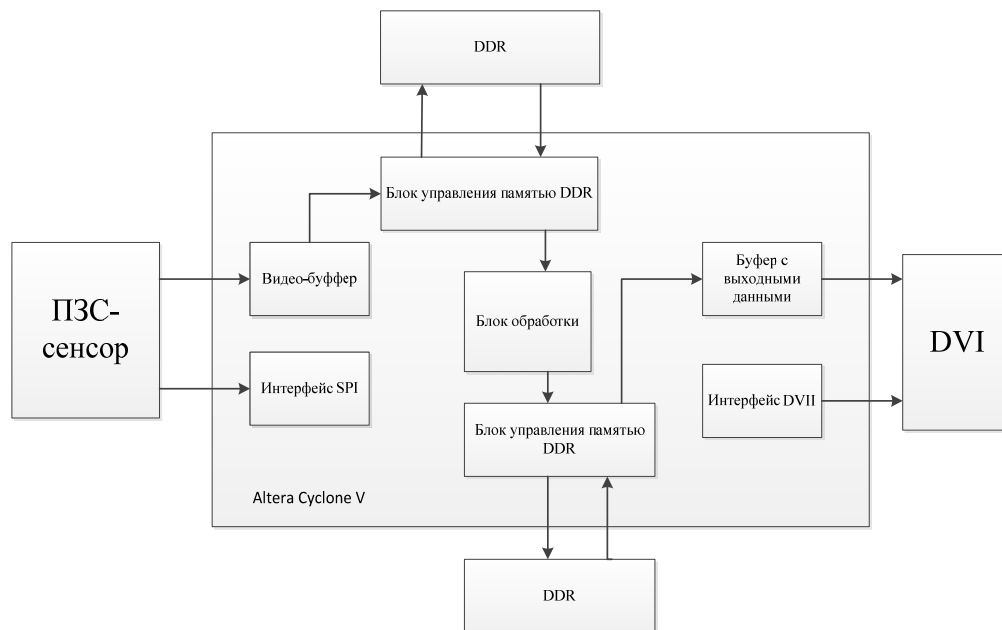


Рис. 3. Функциональная схема комплекса

Программная часть комплекса отвечает за реализацию алгоритма билинейной интерполяции кадров, которая основана на вычислении среднего значения для каждого пикселя в шаблоне Байера. Каждому кадру присваиваются различные значения экспозиции, после чего они поступают в блок обработки, который помогает сделать изображение приемлемым для восприятия человеческим глазом. В работе блок обработки представлен такими методами, как гамма-коррекция и шумоподавление. Данная часть написана в программной среде QUARTUS на языке описания электронных систем Verilog.



Рис. 4. Первичные кадры в RAW-формате

Первичное изображение, получаемое с матрицы, представляет собой данные в RAW-формате, что позволяет избежать потерь информации, не имеющей четкой спецификации. В таком формате содержится полная информация о хранимом сигнале. Примеры подобных изображений представлены на рис. 4.

В таком виде данные поступают на разбор мозаики по шаблону Байера, т. е. для каждого элемента изображения по алгоритму билинейной интерполяции вычисляются недостающие цветовые компоненты с сохранением разрешения изображения. На рис. 5 показаны те же кадры после аппаратной обработки.

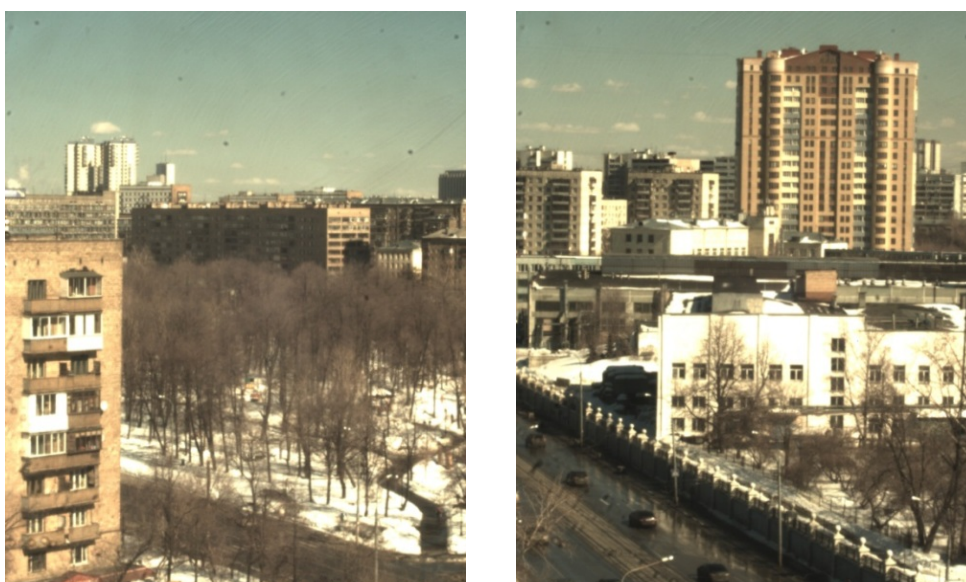


Рис. 5. Кадры, прошедшие обработку по шаблону Байера

Данный способ обработки не требует больших аппаратно-вычислительных ресурсов и может быть реализован в реальном масштабе времени с минимальной задержкой. На этом этапе обработки изображение уже можно выводить для дальнейшей работы с ним.

На рис. 6 представлены те же композиции кадров после проведения разбора мозаики по шаблону Байера (слева) и гамма-коррекции (справа). Как видно на рисунках, программная реализация разбора мозаики по шаблону Байера и гамма-коррекция равнозначны и не зависят от экспозиции, сохраняется детализация и яркостная характеристика. Однако дальнейшая обработка все же будет зависеть от сюжета и уровня экспозиции, что требует корректного подбора коэффициентов.



Рис. 6. Результат обработки по шаблону Байера (слева) и гамма-коррекции (справа)

Заключение. Продемонстрирован результат реализации алгоритма билинейной интерполяции с использованием шаблона Байера, основанный на программируемой логической интегральной схеме. Данная разработка была осуществлена в среде Quartus на языке Verilog. Особенности устройства ПЛИС позволяют обеспечить высокоскоростную качественную первичную обработку RAW-снимка, что дает фору системам со множеством микропроцессоров в задачах обработки видеопотока.

Литература

- [1] Шапка С.В., Братулин А.В., Устюков Д.И. Аффинные преобразования на основе фрагментной выборки изображения на ПЛИС. *Известия ТулГУ. Технические науки*, 2015, № 9, с. 287–296.
- [2] Стешенко В.Б. Современные алгоритмы ЦОС: пути реализации и перспективы применения. *Электроника: наука, технология, бизнес*, 1999, № 1, с. 54–57.

- [3] Аминев Д.А., Фокин А.Н. Методы селекции кадрового синхроимпульса для ввода несжатого видеопотока от однонаправленной одноразрядной цифровой линии и их реализация на ПЛИС. *Цифровая обработка сигналов*, 2014, № 1, с. 52–55.
- [4] Панкратов В.Г., Карих А.А., Панфилов В.Н. и др. Вычисление функции неопределенности для пассивной локации на ПЛИС и графическом процессоре. *Цифровая обработка сигналов*, 2014, № 1, с. 56–65.
- [5] Zynq-7000 SoC. *xilinx.com: веб-сайт*. URL: <http://www.xilinx.com/products/silicon-devices/soc/zynq-7000.html/> (дата обращения: 15.04.2019).
- [6] Crockett L.H., Elliot R.A., Enderwitz M.A., et al. *The Zynq book*. Strathclyde Academic Media, 2014.
- [7] Лысаков К.Ф., Шадрин М.Ю. Особенности применения аппаратных устройств на базе FPGA для задач потоковой обработки изображений. *Вестник Новосибирского государственного университета. Сер.: Информационные технологии*, 2009, т. 7, № 3, с. 15–22.
- [8] LabVIEW FPGA. *ni.com: веб-сайт*. URL: <http://www.ni.com/labview/fpga> (дата обращения: 15.04.2019).

Мальгина Софья Валерьевна — студентка кафедры «Защита информации», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**INTERPOLATION IMPLEMENTATION OF BAYER PATTERN TO PLIC
IN VIDEO STREAM PROCESSING TASKS**

S.V. Malygina

sophia.maligina@gmail.com

SPIN-code: 9314-9294

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The paper is concerned with the video system everywhere are replacing standard definition (SD) image system with high definition (HD and Full HD). The number of pixels in the frame increases significantly, respectively, the complexity of designing video processing systems increases: encoding and decoding in HD systems require much higher performance and a single processor is not enough. Increased requirements for streaming image processing systems have become the impetus for the application of video processing of programmable logic integrated circuits (PLIC) which increase its speed through the parallel execution of tasks. The author showed the functional diagram and the result of the development of a software and hardware complex built on PLIC with the subsequent processing of frames received from the matrix. It is reported that the author implemented a bilinear interpolation according to the Bayer pattern for frames with different exposures and the gamma correction improving the perception of the picture.

Keywords

PLIC video stream processing, gamma correction, Bayer pattern, bilinear interpolation, image filtering, RAW, RAW converter, parallel programming

Received 29.04.2019

© Bauman Moscow State Technical University, 2019

References

- [1] Shapka S.V., Bratulin A.V., Ustyukov D.I. Affine transformations of images based on a fragmentary sampling on FPGA. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki* [News of the Tula state university. Technical science], 2015, no. 9, pp. 287–296 (in Russ.).
- [2] Steshenko V.B. Modern DSP algorithms: opportunities of realization. *Elektronika: nauka, tekhnologiya, biznes* [Electronics: Science, Technology, Business], 1999, no. 1, pp. 54–57 (in Russ.).
- [3] Aminev D.A., Fokin A.N. Methods of selection of personnel sync pulse input in uncompressed video stream from a unidirectional single-bit digital lines and their implementation on FPGA. *Tsifrovaya obrabotka signalov* [Digital Signal Processing], 2014, no. 1, pp. 52–55 (in Russ.).
- [4] Pankratov V.G., Karikh A.A., Panfilov V.N., et al. Calculation of uncertainty function for passive radar by means of FPGA and GPU. *Tsifrovaya obrabotka signalov* [Digital Signal Processing], 2014, no. 1, pp. 56–65 (in Russ.).
- [5] Zynq-7000 SoC. *xilinx.com: website*. URL: <http://www.xilinx.com/products/silicon-devices/soc/zynq-7000.html/> (accessed: 15.04.2019).
- [6] Crockett L.H., Elliot R.A., Enderwitz M.A., et al. *The Zynq book*. Strathclyde Academic Media, 2014.
- [7] Lysakov K.F., Shadrin M.Yu. Specific of using FPGA based devices for sequence of image processing. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Informatsionnye*

tekhnologii [Vestnik NSU. Series: Information Technologies], 2009, vol. 7, no. 3, pp. 15–22 (in Russ.).

- [8] LabVIEW FPGA. *ni.com: website*. URL: <http://www.ni.com/labview/fpga> (accessed: 15.04.2019).

Malygina S.V. — Student, Department of Information Security, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.