

## Аппаратная реализация конвейеризованного модуля подсчета гистограммы

А.Б. Пунь, А.А. Фортунатов, Д.А. Гаврилов, Н.Н. Щелкунов

Московский физико-технический институт (государственный университет)

В настоящее время ПЛИС широко используются для задач обработки видеопотока в реальном времени. Быстродействие современных ПЛИС позволяет быстро и эффективно осуществлять такую обработку. Например, во многих системах, работающих с видеоданными, для различных целей может требоваться подсчет гистограммы каждого кадра. Гистограмма может быть использована для корректировки параметров системы с целью улучшения работы системы на последующих кадрах. Подсчет гистограммы на потоковых видеоданных удобно организовать на ПЛИС. При этом в некоторых задачах удобнее на ПЛИС обрабатывать только потоковые данные, а результаты обработки использовать в процессоре общего назначения. Но тогда возникает дополнительная задача обмена данными между ПЛИС и процессором. Данная задача существенно упрощается, если использовать систему на кристалле, в которой есть ПЛИС часть и процессорная часть. Примером такой системы является микросхема Xilinx Zynq.

В настоящей работе рассматривается реализация системы, состоящей из модуля подсчета гистограммы, который работает с потоковыми видеоданными, и процессора, который использует результат работы модуля подсчета гистограммы. Система выполнена на современном кристалле Xilinx Zynq. Данный кристалл состоит из ПЛИС части и процессорной части. При этом используется стандартный интерфейс для быстрого обмена данными между ПЛИС и процессорной частью.

Обычно модуль подсчета гистограммы реализуется на ПЛИС с использованием блочной памяти. По адресу, равному значению пикселя, храниться число пикселей определенной интенсивности. При обработке очередного пикселя из блочной памяти осуществляется чтение количества пикселей с такой же интенсивностью, значение инкрементируется на единицу и записывается обратно. Но при подсчете гистограммы возникает проблема, если на вход подаются пиксели с одинаковыми значениями несколько тактов подряд. В этом случае необходимо за один такт получить значение из ячейки блочной памяти, инкрементировать на единицу и записать результат в эту же ячейку. Блочная память не позволяет этого сделать. Среди возможных решений – остановка входного потока пикселей или увеличения частоты работы блочной памяти в два раза, по сравнению с частотой приема пикселей видеоданных. Подход, при котором останавливается поток входных данных, часто не применим для задач обработки видеоданных в реальном времени. Подход, при котором повышается частота чтения данных из блочной памяти, не всегда можно реализовать, если частота обработки входных данных изначально высокая, так как блочная память не сможет работать на вдвое большей частоте.

Для решения проблемы предлагается конвейеризовать чтение данные из ячейки блочной памяти, сложение с единицей и запись результата. Но результат записывается в блочную память только через несколько тактов. Из блочной памяти будет прочитано старое значение, так как результат еще не записан в интересующую ячейку. Для корректной обработки анализируется пришедшее на вход значение пикселя и стадия обработки текущих данных. Для достижения необходимой частоты на используемом кристалле оказалось достаточно двух стадий конвейера. Если на вход подается несколько пикселей одинаковой интенсивности, то из блочной памяти будет осуществлено чтение неактуального значения количества пикселей с заданной интенсивностью, а значения «отстающего» на два такта. Это компенсируется тем, что устаревшее значение складывается не с единицей, а с двойкой или тройкой в зависимости последовательности входных пикселей. Таким образом, вычитывание неактуального значения из блочной памяти компенсируется инкрементированием не на единицу, а на большее число. При этом можно подавать пиксели каждый такт и в случае нескольких подряд идущих пикселей с одинаковой интенсивностью будет осуществлена корректная обработка.

Анализ гистограммы осуществляется на процессоре. Между процессорной и ПЛИС частью организован интерфейс обмена данными. Выходные данные модуля гистограммы посредством

DMA (direct memory access) записываются в основную память. В программе для процессора можно обрабатывать данные посредством прерывания или осуществлять проверку готовности данных и вычитывать информацию в нужный момент времени. При этом необходимо обеспечить когерентность данных основной памяти и кэш памяти процессора. Для обеспечения когерентности необходимо делать очистку кэша перед чтением данных из основной памяти или использовать когерентный порт для обмена данными с ПЛИС частью (Accelerator coherency port) [1]. Также можно отключить кэш, но при этом будет потеря в производительности.

В результате проделанной работы разработана система на кристалле Xilinx Zynq, содержащая аппаратный модуль подсчета гистограммы и процессорную часть в которой используется гистограмма. Модуль гистограммы конвейеризован, что позволяет принимать потоковые данные каждый такт на высокой частоте, и делает его пригодным для обработки потоковых видеоданных в реальном времени. Передача данных в процессорную часть выполнена с использованием стандартного интерфейса, предоставляемым Xilinx Zynq.

#### Литература

1. Zynq-7000 All Programmable SoC, Technical Reference Manual, 2016. P. 137.