

АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОДУЛЯ ОДНОПРОХОДНОГО АЛГОРИТМА АНАЛИЗА СВЯЗАННЫХ КОМПОНЕНТ

Пунь Андрей Богданович
Студент, МФТИ

HARDWARE SALES UNIT SINGLE-PASS ANALYSIS ALGORITHMS RELATED COMPONENTS

A. Pun

Annotation

The relevance of the topic chosen due to the need to speed up the processing of the video stream in real time. For this purpose hardware-based solutions are used. Hardware accelerators are typically implemented on the FPGA because it is most convenient solutions for video processing tasks. This article describes the implementation of hardware module is a single-pass algorithm analysis related components used to calculate the properties of objects in a binary frame. The estimation of occupied resources and performance on the target hardware.

Keywords: image processing, related components, video stream, area, intensity, bounding box coordinates, the object of interest, FPGAs, the Xilinx.

Аннотация

Актуальность выбранной темы обусловлена в потребности ускорить обработку видеопотока в реальном времени. Для этих целей используются аппаратные решения. Аппаратные ускорители обычно реализуются на ПЛИС, так как это наиболее удобно для решения задач обработки видеопотока. Данная статья описывает реализацию аппаратного модуля однопроходного алгоритма анализа связанных компонент, использующегося для подсчета свойств объектов на бинарном кадре. Приведена оценка занимаемых ресурсов и быстродействий на целевой аппаратуре

Ключевые слова:

Обработка изображений, связанные компоненты, видеопоток, площадь, интенсивность, ограничивающий прямоугольник, координаты, объект интереса, ПЛИС, Xilinx.

В настоящее время актуальны задачи обработки видеопотока в реальном времени. Во многих задачах, встречающихся в обработке видеопотока, на кадре необходимо выделить объекты интереса и подсчитать параметры для каждого объекта. Для обеспечения обработки видеопотока в реальном времени, данные задачи удобнее выполнять с использованием аппаратных ускорителей, реализуемых на ПЛИС.

Для выделения объектов интереса используются различные алгоритмы бинаризации, в результате работы которых, получается бинарный кадр. Значение пикселей фона на бинарном кадре равно нулю, пикселей объектов – единице. Применение алгоритмов бинаризации к задачам обработки видеопотока в реальном времени не вызывает трудностей, так как существуют алгоритмы, которые могут обрабатывать потоковые данные за один проход по кадру, поэтому данный вид обработки кадра удовлетворяет временным параметрам.

При подсчете параметров объектов могут возникать проблемы. Существуют различные алгоритмы для подсчета параметров объектов. Один из распространенных алгоритмов – алгоритм анализа связанных компонент. Классическая реализация данного алгоритма двухпроходная, поэтому плохо подходит для задач обработки ви-

деопотока в реальном времени. Также необходимо хранить промежуточное изображение, что может потребовать значительных ресурсов по памяти, при реализации алгоритма на ПЛИС. Для обеспечения кадровой обработки видеопотока в реальном времени необходимо за один проход по кадру подсчитывать все требуемые параметры.

Однопроходный алгоритм анализа связанных компонент

После того как получен бинарный кадр, используя какой-либо алгоритм бинаризации, с помощью алгоритма анализа связанных компонент можно подсчитать нужные параметры объектов. Каждому объекту назначается своя метка. На основании метки для каждого объекта подсчитываются параметры. Классический алгоритм двухпроходный. При первом проходе назначаются промежуточные метки и промежуточные значения параметров. При втором проходе промежуточные метки и параметры уточняются. Для хранения промежуточных данных может потребоваться большой объем памяти. Два прохода по кадру может занять достаточно много времени. Поэтому такая реализация не подходит для обработки видеоданных в реальном времени на ПЛИС.

В работе [1] описан однопроходный алгоритм анализа связанных компонент. В работе [2] описан подход к реализации этого алгоритма, где для каждого объекта подсчитывается площадь. При этом алгоритм реализован на довольно старой ПЛИС. Целью данной работы является реализация однопроходного алгоритма анализа связанных компонент на современной ПЛИС Xilinx 7 серии. В аппаратном модуле необходимо подсчитывать площадь, интенсивность и координаты ограничивающего прямоугольника для каждого объекта. Также необходимо оценить потребление ресурсов и быстродействие. Необходимо также протестировать аппаратный модуль на сложных, с точки зрения алгоритма, объектах, для того, чтобы всем объектам корректно назначались метки и для всех объектов корректно подсчитывались параметры.

Аппаратная реализация модуля однопроходного алгоритма анализа связанных компонент

Аппаратный модуль состоит из модуля назначения метки каждому объекту и модуля подсчета параметров для каждого объекта.

Входной интерфейс потоковый, пиксели принимаются в строчной развертке, практически каждый такт. Возможны небольшие задержки в конце строки при обработке сложных объектов. Выходной интерфейс также потоковый.

Выходные данные:

1. Площадь объекта
2. Интенсивность
3. Координата левого нижнего края ограничивающего прямоугольника и правого верхнего края ограничивающего прямоугольника объекта.

Модуль назначения метки объекту

Текущему пикселю метка назначается на основании значения и метки левого и верхнего соседних пикселей:

1. Если значение текущего пикселя равно левому и не равно верхнему соседнему пикселю – назначается метка, как у левого соседнего пикселя
2. Если значение текущего пикселя равно верхнему и не равно левому соседнему пикселю – назначается метка, как у верхнего соседнего пикселя
3. Когда объект помечен различными метками, значения текущего и соседних пикселей равны, но метки соседних пикселей разные. Метки считаются эквивалентными. Назначается наименьшая из меток
4. Если значения соседних пикселей равно нулю (соседние пиксели принадлежат фону), то текущему пикселю назначается новая метка.

В сложных ситуациях, при обработке U образных объектов, части одного объекта будут помечены эквивалентными метками. Но использоваться должна наименьшая

	?	

Рисунок 1. Назначение метки пикселю на основании значений и меток соседних пикселей.

из меток. Для разрешения конфликтов используется таблица соответствий и стек соответствий.

При обнаружении эквивалентных меток в таблице соответствий делается запись – по адресу наибольшей метки записывается наименьшая. Поэтому, при дальнейшей обработке, осуществляется трансляция неиспользуемых меток.

1			2
1			2
1			2
1	1	1	?

Рисунок 2. Части одного объекта помечены эквивалентными метками.

1			2
1			2
1			2
1	1	1	?

Рисунок 3. Объект помечен наименьшей из меток.

В более сложных ситуациях, когда объект помечен более чем двумя эквивалентными метками, образуется цепочка соответствий. Метка 3 указывает на метку 2, метка 2 указывает на метку 1 (Рис. 4). Но все метки должны транслироваться в наименьшую метку. Поэтому используется стек соответствий, в котором сохраняются пары эквивалентных меток, в конце строки пары эквивалентных меток анализируются, разворачивается цепочка соответствий, и корректируются записи в таблице соответствий, так, чтобы все эквивалентные метки транслировались в наименьшую метку.

Модуль назначения метки состоит из следующих основных блоков:

1. Блок назначения метки

2. Блок хранения информации о левом соседнем пикселе
3. Блок хранения информации о верхнем соседнем пикселе
4. Буфер строки
5. Блок установления соответствий
6. Таблица соответствий
7. Блок установления цепочки соответствий
8. Стек соответствий

На рисунке приведена структурная схема модуля назначения метки.

				1
				1
3			2	1
3	3	?	2	?

Рисунок 4. Объект помечен более чем двумя эквивалентными метками.

				1
				1
1			1	1
1	1	1	1	1

Рисунок 5. После разворачивания цепочки соответствий и корректировки записей в таблице соответствий, объект помечен наименьшей из меток.

Сначала пикселю назначается метка. Далее значение и метка текущего пикселя записывается в блок для хранения данных левого соседнего пикселя и в буфер строки. Буфер строки используется для хранения значений и меток пикселей предыдущей строки.

Прежде чем данные из буфера строки записываются в блок для верхнего соседнего пикселя, осуществляется трансляция в таблице соответствий. Блок установления соответствий определяет эквивалентные метки и по адресу, равному большей метке, записывает значение наименьшей метки в таблицу соответствий. Поэтому, при дальнейшей обработке, осуществляется трансляция неиспользуемых меток.

Блок установления цепочек соответствий записывает пары эквивалентных меток в стек, в конце строки анализирует стек, разворачивает цепочки соответствий и корректирует записи в таблицы соответствий, так, чтобы все эквивалентные метки транслировались в наименьшие из эквивалентных меток.

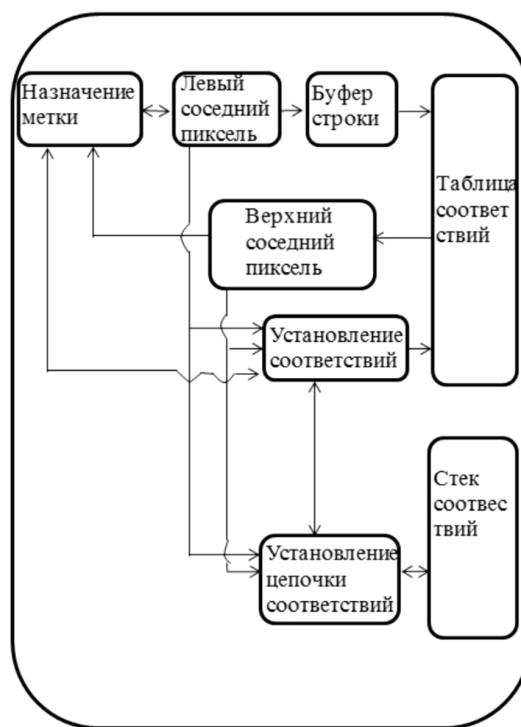


Рисунок 6. Структурная схема модуля назначения метки.

Модуль назначения метки, за один проход по кадру корректно назначает метку каждому объекту и передает информацию о метках в модуль подсчета параметров объектов, для того, чтобы одновременно с назначением метки подсчитывались свойства объектов.

Модуль подсчета параметров объектов

Модуль подсчитывает площадь, интенсивность и ограничивающий прямоугольник для каждого объекта. Подсчет параметров осуществляется одновременно с назначением метки. Для подсчета параметров используются: метка и значения текущего и соседних пикселей, информация из блока установления соответствий и блока установления цепочек соответствий.

Для подсчета каждого параметра используются три блока:

1. Блок определения текущего значения параметра;
2. Блок хранения текущего значения параметра;
3. Таблица, по адресу метки хранится значение параметра.

На рисунке приведена структурная схема модуля подсчета свойств объекта.

При обработке нового объекта в блок хранения текущего значения параметра записывается начальное значение. Для площади – единица, для суммы интенсивностей – интенсивность пикселя для ограничивающей рамки объекта – координаты пикселя. Если продолжается обра-

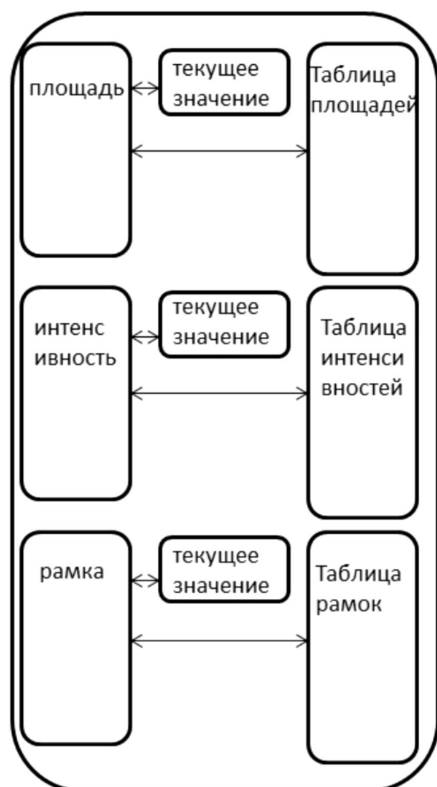


Рисунок 7. Структурная схема модуля подсчета параметров объекта.

ботка объекта, то значение параметра инкрементируется. Значение площади увеличивается на единицу, осуществляется суммирование интенсивностей пикселей, увеличивается крайняя нижняя и правая координаты рамки для объекта. После окончания обработки объекта текущее значение параметра записывается в таблицу по адресу метки объекта.

При обнаружении соответствия между метками, площади и интенсивности суммируются. Для дальнейшей обработки используется наименьшее из левых и верхних и наибольшее из правых и нижних значений для координат рамки объекта.

Модуль подсчета параметров объекта корректно осуществляет подсчет необходимых параметров за один проход по кадру. При этом обрабатываются ситуации, возникающие при обнаружении эквивалентных меток, и в этом случае корректно осуществляется подсчет параметров.

Занимаемые ресурсы

При отладке аппаратного модуля на целевой аппаратуре и видеоданных, было выяснено, что количество меток на кадре не превышает 200 – 300. Поэтому все структуры, используемые в модуле анализа связанных компонент, имеют глубину 1024 элемента. Этого должно хватать при обработке большинства изображений. Возможны ситуации, когда возникает большее количество меток, но такие ситуации редки. В этом случае обрабатывается часть кадра, и переполнения в структурах не возникает.

Модуль адаптивной бинаризации реализован на ПЛИС Xilinx 7 серии. Большинство структур занимают одну блочную память. Для таблицы соответствий, стека соответствий, буфера строки используется одна блочная память. Таблица площадей и таблица интенсивностей занимают также одну блочную память. Таблица координат рамок объектов занимает две блочные памяти, так как нужно хранить четыре координаты, и разрядность данных больше, чем в других таблицах. Блочная память 36 Кбит.

Модуль работает на частоте от 100 до 200 МГц. Частота зависит от быстродействия кристалла и трассировочной способности. Пиксели принимаются каждый такт, возможны незначительные простои в конце строки, при обработке сложных объектов.

Заключение

В результате работы реализован аппаратный модуль однопроходного алгоритма анализа связанных компонент. За один проход по кадру подсчитываются площадь, сумма интенсивностей и координаты ограничивающего прямоугольника для каждого объекта. Проведена оценка занимаемых ресурсов и быстродействия.

Модуль реализован на ПЛИС Xilinx 7 серии. Модуль занимает 7 блочных памяти (блочная память 36 Кбит). Частота от 100 МГц до 200 МГц.

Аппаратный модуль потребляет не много ресурсов. Частота, на которой может работать данный модуль, позволяет осуществлять обработку видеопотока покадрово в реальном времени. Параметры объектов выдаются по окончании приема кадра. Поэтому данный модуль может использоваться в качестве аппаратного ускорителя для подсчета параметров объектов, в задачах обработки видеоданных в реальном времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Donald G. Bailey, Christopher T. Johnston, Ni Ma "Connected components analysis of streamed images", 2008 International Conference on Field Programmable Logic and Applications, P. 679–682, 2008
2. Christopher T. Johnston, Donald G. Bailey "FPGA implementation of a Single Pass Connected Components Algorithm", 4th IEEE International Symposium on Electronic Design, Test & Applications, P. 228–231, 2008