Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Российская академия наук

АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН

Южный федеральный университет

Научно-исследовательский институт многопроцессорных вычислительных систем имени академика А.В. Каляева ЮФУ

Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем

Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет

XIV ВСЕРОССИЙСКАЯ МУЛЬТИКОНФЕРЕНЦИЯ ПО ПРОБЛЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ

МКПУ-2021

Материалы
XIV мультиконференции

В четырех томах

27 сентября – 2 октября 2021 г.
Дивноморское, Геленджик

ТОМ 2

Ростов-на-Дону – Таганрог
Издательство Южного федерального университета
2021

Д.В. Шашев, А.С. Бондарчук, С.В. Шидловский

ПЕРЕСТРАИВАЕМАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СРЕДА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ*

Томский государственный университет, г. Томск,
dshashev@mail.ru

Введение

В последнее время, в связи с возросшей популярностью систем технического (машинного) зрения, появилась необходимость постоянно поддерживать существующие и развивать новые способы обработки цифровых изображений, в том числе в области сегментации. Роль сегментации – это выделение на изображении областей с определенными свойствами. Сегментация является сложным процессом в обработке и анализе изображений, так как зачастую на изображениях присутствуют шумы, искажения, текстурные области, схожие с областями, принадлежащими исследуемому объекту. Все это затрудняет процесс распознавания объектов, поэтому при сегментировании используют алгоритмы обнаружения границ.

Системы технического зрения используются в современных подводных, надводных, наземных, авиационных и космических мобильных роботизированных объектах. Для таких платформ актуальной является проблема сокращения времени обработки изображений при высоких скоростях движения, а также уменьшения энергопотребления.

Решением этих проблем является реализация алгоритмов обработки изображений на вычислительных архитектурах параллельно-конвейерного типа, таких как Field-Programmable Gare Arrays (FPGA). Использование FPGA позволит добиться меньших энергозатрат и более высокой производительности за счет параллельных вычислений.

Применение перестраиваемой вычислительной среды

Выделение границ основывается на алгоритмах, выделяющих пиксели цифрового изображения, в которых резко изменяется яркость по отношению к соседним пикселям. Большинство алгоритмов, которые выполняют данную операцию, основаны на вычислении градиента функции. Градиентом называется векторная величина, указывающая направление резкого возрастания некоторой величины. Так как изображение дискретно и в классическом смысле производной в данном слу-

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-29-06078.

чае не существует, используют вычисление приближенного значения производной [1].

Простейшим оператором, основанным на производных, является оператор Лапласа. Для применения этого оператора в цифровой обработке изображений его необходимо выразить в дискретном виде:

$$g_y = f(i+1, j) + f(i-1, j) - 2f(i, j),$$

$$g_x = f(i, j+1) + f(i, j-1) - 2f(i, j).$$

Дискретная формулировка двумерного лапласиана получается объединением этих двух составляющих:

$$m(i, j) = \left[f(i+1, j) + f(i-1, j) + f(i, j+1) + f(i, j-1) \right] - 4f(i, j).$$

Данное уравнение может быть реализовано с помощью маски, представленной на рис. 1,а.

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

а

1	1	1
1	-8	1
1	1	1

б

Рис. 1. Маска фильтра, используемая для реализации дискретного лапласиана

Данная маска дает одинаковый результат при поворотах на углы, кратные 90°. В формулу дискретного лапласиана могут быть включены диагональные направления. Маска фильтра, используемая для реализации дискретного лапласиана, полученная с учетом диагональных направлений, представлена на рис. 1,б. Данная маска дает одинаковый результат при поворотах на углы, кратные 45°. Применение оператора Лапласа к пикселям цифрового изображения может быть реализовано с помощью концепции перестраиваемой вычислительной среды (ПВС).

ПВС – дискретная математическая модель высокопроизводительной вычислительной системы, состоящей из одинаковых и одинаково соединенных друг с другом простейших универсальных элементов (элементарных вычислителей (ЭВ)), программно настраиваемых на выполнение любой функции из полного набора логических функций, памяти и любого соединения со своими соседями [2, 3]. Основополагающими принципами создания ПВС являются: параллельность, перестраиваемость, однородность и конвейерность обработки информации. ПВС имеет вид геометрически правильной решетки, имеющей не менее двух осей симметрии, с расположенными в узлах ЭВ, которые содержат

определенный набор выполняемых операций. На вход каждого элементарного вычислителя подаётся код настройки, с помощью которого осуществляется перестраиваемость ПВС и определяется, какая из закладываемых операций будет выполнена. Все элементарные вычислители однотипны и геометрически одинаковым образом соединены с соседними, причем каждый из ЭВ можно условно считать центром симметрии относительно его связей с окружающими ЭВ. Ячейка элементарного вычислителя обладает функциональной и соединительной полнотой, т.е. может быть настроена на выполнение в данный момент любой одной функции хотя бы одного полного базиса и функции канала передачи сигналов в заданном направлении. Выполняемые операции в ЭВ и соединения между ними предназначены для обеспечения аппаратного выполнения реализуемого алгоритма.

В работе предлагается реализация описанного ранее алгоритма на архитектуре ПВС, где каждый ЭВ отвечает за параллельную обработку одного из пикселей цифрового изображения. Таким образом, размерность ПВС совпадает с размерностью обрабатываемого изображения, при этом элементарные вычислители одинаковым образом соединены между собой. Блок-схема ЭВ, предназначенного для реализации дискретного лапласиана с учетом диагональных направлений, представлена на рис. 2.

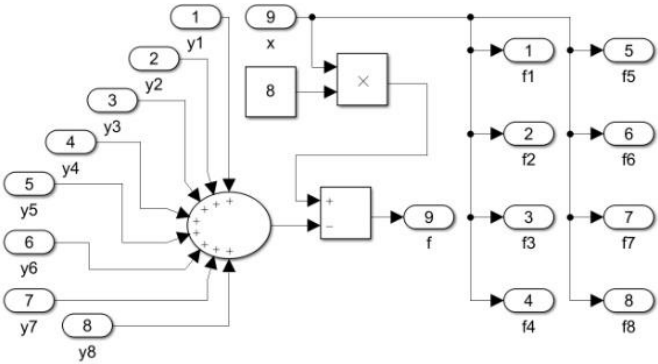

Рис. 2. Структура функционального блока, реализующего оператор Лапласа

Проверка на корректность модели осуществлялась путем сравнения результатов работы ПВС и классического модуля 2-D FIR Filter, доступного в Computer Vision Toolbox в среде Simulink. Полученные результаты работы синтезированной модели ПВС (рис. 3,б) и классического модуля 2-D FIR Filter (рис. 3,в) идентичны, что говорит о корректности работы ПВС.

а *б* *в*

Рис. 3. Результаты обработки тестового изображения:
а – исходное изображение; б – результат работы синтезированной ПВС;
в – результат работы модуля 2-D FIR Filter

Заключение

В работе представлены результаты синтеза модели ПВС для параллельной обработки пикселей цифрового изображения оператором Лапласа. Показано, что с помощью ПВС можно добиться таких же результатов, что и при использовании классического модуля 2-D FIR Filter, однако время обработки в первом случае значительно сокращается.

Исследование области применения ПВС для решения задач компьютерного зрения является, по мнению авторов, перспективным направлением, так как данный подход позволит реализовать вычислительно ёмкие алгоритмы обнаружения и распознавания объектов на изображении с высоким показателем быстродействия, что крайне необходимо в построении современных систем технического зрения. Одна из возможных практических реализаций моделей ПВС заключается в формировании синтезируемых архитектур в программируемых логических интегральных схемах.

1. **Гонсалес, Р.** Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс; пер. с англ. под ред. П.А. Чочиа. – Москва: Техносфера, 2012. – 1104 с.
2. **Шидловский, С.В.** Автоматическое управление. Реконфигурируемые системы: учеб. пособие / С.В. Шидловский. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2010. – 168 с.
3. **Шашев, Д.В.** Морфологическая обработка бинарных изображений с использованием перестраиваемых вычислительных сред / Д.В. Шашев, С.В. Шидловский // Автометрия. – 2015. – №3. – С. 19–26.