

В. М. Хачумов, М. В. Хачумов

**КОНВЕЙЕРНЫЕ
И РАЗРЯДНО-ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ
ВЫЧИСЛЕНИЯ**

**В БОРТОВЫХ
СИСТЕМАХ
НАВИГАЦИИ
И УПРАВЛЕНИЯ**



URSS

В. М. Хачумов

М. В. Хачумов

**КОНВЕЙЕРНЫЕ
И РАЗРЯДНО-ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ
ВЫЧИСЛЕНИЯ
В БОРТОВЫХ СИСТЕМАХ
НАВИГАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ**



URSS

МОСКВА



*Настоящее издание осуществлено при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-17-00009),
не подлежит продаже*

Хачумов Вячеслав Михайлович, Хачумов Михаил Вячеславович
**Конвейерные и разрядно-параллельные вычисления в бортовых системах
навигации и управления. — М.: КРАСАНД, 2019. — 208 с.**

В монографии рассмотрены методы организации конвейерных и разрядно-параллельных вычислений, дается решение задач оптимизации вычислений с управляемым быстродействием и требуемой точностью для бортовых систем навигации и управления. Часть предлагаемых алгоритмов ориентирована на оптимизацию совмещения циклов периодической обработки информации и синтез специализированных устройств навигации и управления. Другая часть методов опирается на технику преобразования алгоритмов CORDIC в разрядные вычислительные схемы. Предлагаемые подходы предназначены для построения математического, программного и аппаратного обеспечения бортовых вычислительных комплексов автономных летательных аппаратов в условиях ограничений на ресурсы.

Основные результаты получены в процессе выполнения ряда научных проектов в Институте программных систем им. А. К. Айламазяна Российской академии наук (ИПС им. А. К. Айламазяна РАН) и Федеральном исследовательском центре «Информатика и управление» Российской академии наук (ФИЦ ИУ РАН). Материалы монографии вошли в содержание отдельных разделов учебных дисциплин «Моделирование вычислительных систем», «Компьютерная графика», «Математические основы распознавания образов», читаемых в Российском университете дружбы народов (РУДН) и МИРЭА — Российском технологическом университете.

Исследование выполнено при финансовой поддержке проектов РФФИ № 16-07-00096_а, № 15-07-00925_а, № 17-29-07003 оф_м и № 16-29-12839 оф_м.

Для научных сотрудников, инженеров, аспирантов и студентов, занимающихся вопросами высокопроизводительных вычислений в бортовых системах навигации и управления.

Khachumov Vyacheslav Mikhailovich, Khachumov Mikhail Vyacheslavovich
Pipeline and bit-parallel computing models in onboard navigation and control systems

The monograph discusses methods to organize pipeline and bit-parallel computing, gives solutions to the problems of optimizing calculations with controlled speed and required accuracy for onboard navigation and control systems. Some of the proposed algorithms are used to find the optimal combination of cycles for periodic information processing and synthesize specialized navigation and control devices. Other methods are based on the technique of converting CORDIC algorithms into bit computing schemes. The proposed approaches are designed to develop mathematical, software and hardware support for onboard computer systems of autonomous aircraft under conditions of resource constraints.

The main results were obtained in the Program Systems Institute of RAS and Federal Research Center "Computer Science and Control" of RAS through a number of research projects. The monograph materials were included in the individual sections of courses "Computer Modeling", "Computer Graphics" and "Mathematical Foundations of Pattern Recognition", read at the RUDN University and MIREA — Russian Technological University.

The study was financially supported by RFBR projects No. 16-07-00096_a, No. 15-07-00925_a, No. 17-29-07003 off_m and No. 16-29-12839 off_m.

The monograph is intended for researchers, engineers, postgraduates and students involved in high-performance computing for onboard navigation and control systems.

Рецензенты:

проф. кафедры «Прикладная математика» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, д-р техн. наук, проф. *Ф. А. Новиков*;
зав. лабораторией теоретических и междисциплинарных проблем информатики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук, д-р физ.-мат. наук, доц. *А. Л. Тулупьев*

Издательство «КРАСАНД». 117335, Москва, Нахимовский пр-т, 56.
Формат 60×90/16. Тираж 300 экз. Печ. л. 13. Зак. № 145671.

Отпечатано в АО «Т 8 Издательские Технологии»
109316, Москва, Волгоградский проспект, д. 42, корп. 5.

ISBN 978-5-396-00979-0

© КРАСАНД, 2019

25223 ID 256506



9 785396 009790

НАУЧНАЯ И УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА	
	E-mail: URSS@URSS.ru
	Каталог изданий в Интернете: http://URSS.ru
	Тел./факс (многоканальный): + 7 (499) 724 25 45
	URSS

Содержание

Введение	7
Глава 1. Алгоритмы CORDIC. Современное состояние и перспективы.....	11
1. Краткий обзор CORDIC-алгоритмов.....	13
1.1. Основные операции CORDIC	14
1.2. Обобщенная нотация Уолтера.....	17
2. Компенсация деформации вектора и ускорение вычислений.....	17
3. Реализация трехмерных CORDIC-алгоритмов	20
4. Выводы к главе 1	22
Литература к главе 1	22
Глава 2. Оптимизация периодической обработки информации в специализированных устройствах	27
1. Подходы к планированию периодических расписаний	28
2. Построение периодических расписаний с совмещением циклов обработки	40
2.1. Системы с двухстадийным обслуживанием	40
2.2. Системы с трехстадийным обслуживанием	44
3. Многостадийные системы с периодическим расписанием работы	45
3.1. Основные понятия и определения	45
3.2. Планирование периодических расписаний для локальных алгоритмов	48
4. Статистическое исследование расписаний для локальных алгоритмов обработки информации.....	53

5. Оптимизация закрепления процессорных элементов за операциями локального алгоритма	60
5.1. Алгоритм оптимизации закрепления процессорных элементов	61
5.2. Алгоритм оптимального закрепления процессорных элементов	64
6. Оценка сложности алгоритмов построения расписаний и сокращение размерности	64
7. Построение периодических расписаний для систем локальных алгоритмов	67
7.1. Расписания для систем локальных алгоритмов, ориентированных на параллелизм множества объектов	70
7.2. Расписания для систем локальных алгоритмов, ориентированных на параллелизм смежных операций	72
7.3. Расписания для систем локальных алгоритмов, ориентированных на параллелизм независимых ветвей	75
7.4. Расписания для систем локальных алгоритмов, ориентированных на смешанный параллелизм	78
8. Планирование периодических расписаний в сложных технических системах	78
9. Технология автоматического синтеза структур геометрических процессоров	82
9.1. Основные функции геометрического процессора	83
9.2. Архитектура геометрического процессора периодической обработки	85
9.3. Минимизация числа процессорных элементов	87
9.4. Минимизация числа межпроцессорных связей. Синтез устройства управления	90
9.5. Метод построения кортежа с минимальной суммарной длиной ребер	92
9.6. Оценка эффективности разрезания графов на подграфы	95
10. Выводы к главе 2	97
Литература к главе 2	99

Глава 3. Разрядно-параллельные вычислительные схемы	104
1. Вычисление математических функций на основе разрядно-параллельных схем	105
1.1. Вычисление обратной функции	106
1.2. Извлечение квадратного корня.....	110
1.3. Вычисление показательной функции	113
1.4. Логарифмирование.....	117
1.5. Вычисление тригонометрических функций $\sin(\varphi)$, $\cos(\varphi)$	119
1.6. Разрядно-параллельные схемы операции «поворот».....	124
1.7. Разрядно-параллельные схемы операции «вектор»	132
2. Оценка временной сложности разрядно-параллельных схем	133
3. Процессорные элементы с набором крупных операций.....	135
4. Решение задач в системе команд геометрического процессора.....	139
4.1. Алгоритмы отсечения для конвейерной графической системы.....	139
4.2. Отсечение графических объектов окном произвольной формы.....	148
5. Выводы к главе 3	149
Литература к главе 3	150
Глава 4. Построение специализированных устройств для бортовых систем навигации и управления	153
1. Алгоритмы навигации и управления в бортовых вычислительных комплексах беспилотных летательных аппаратов.....	153
1.1. Анализ особенностей бортовых вычислительных комплексов	153
1.2. Анализ математического обеспечения для траекторных измерений	156
1.3. Комплекс аффинных преобразований для БПЛА и поворотной камеры	160
1.4. Реализация дискретного преобразования Фурье.....	164

2. Алгоритмическое обеспечение для решения задач навигации и управления на базе алгоритмов CORDIC	165
2.1. Комплекс базовых алгоритмов CORDIC, рекомендуемый для БВК	165
2.2. Применение целочисленных алгоритмов генерации линий и поворотов	168
3. Реализация алгоритмов CORDIC в специализированных и универсальных микропроцессорных устройствах.....	179
4. Аппаратные платформы и математическое обеспечение бортовых вычислительных комплексов	185
4.1. Аппаратная платформа малого беспилотного летательного аппарата	186
4.2. Архитектура специализированных устройств в составе БВК	189
4.3. Разработка общей архитектуры программного обеспечения	191
4.4. Автоматизация синтеза структур геометрических процессоров	192
5. Выводы к главе 4	198
Литература к главе 4	199
Заключение	203