

Д. М. ОСЛЭНДЕР
Дж. Р. РИДЖЛИ
Дж. Д. РИНГЕНБЕРГ

управляющие программы для механических систем

объектно-ориентированное
проектирование систем
реального времени



Мехатронные системы
и роботы

Программные средства
реального времени

Реализация программного
обеспечения: MATLAB, C++, Java

Символьные и графические
интерфейсы оператора

Многозадачность и
распределенное управление

управляющие программы для механических систем

объектно-ориентированное
проектирование систем
реального времени

Control Software for Mechanical Systems

Object-Oriented Design
in a Real-Time World

D. M. Auslander
J. R. Ridgely
J. D. Ringgenberg



Prentice Hall PTR
Upper Saddle River, New Jersey 07458
www.phptr.com

Д. М. Ослэндер
Дж. Р. Риджли
Дж. Д. Ринггенберг

управляющие программы для механических систем

объектно-ориентированное
проектирование систем
реального времени

Перевод с английского
А. М. Епанешникова и В. А. Епанешникова



Москва
БИНОМ. Лаборатория знаний
2009

УДК 004.41
ББК 22.180
072

Ослэндер Д. М.

072 Управляющие программы для механических систем:
объектно-ориентированное проектирование систем ре-
ального времени/ Д. М. Ослэндер, Дж. Р. Риджли,
Дж. Д. Ринггенберг; Пер. с англ. — М.: БИНОМ. Лабо-
ратория знаний, 2009. — 413 с., ил.

ISBN 978-5-94774-097-3 (русск.)

ISBN 0-13-786302-0 (англ.)

Книга посвящена вопросам создания программного обеспечения роботоподобных систем управления. Рассмотрена структура программного обеспечения и возможности его унификации с целью сокращения времени проектирования и уменьшения затрат на его создание. Учитывая, что в процессе проектирования программное обеспечение проходит несколько стадий (моделирование, лабораторные испытания, испытания опытного образца и т. д.), особое внимание уделяется переносимости разработанного кода в различные среды выполнения. Рассмотрены также вопросы безопасности выполнения управляющего кода.

Для студентов технических вузов и специалистов по проектированию роботоподобных систем управления.

УДК 004.41
ББК 22.180

Все права защищены. Никакая часть этой книги не может быть воспроизведена или передана в любой форме или любыми средствами, электронными или механическими, включая фотографирование, магнитную запись или иные средства копирования или сохранения информации без разрешения Pearson Education, Inc.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

Authorized translation from the English language edition, entitled CONTROL SOFTWARE FOR MECHANICAL SYSTEMS: OBJECT-ORIENTED DESIGN IN A REAL-TIME WORLD, 1st Edition by AUSLANDER, D. M.; RIDGELY, J. R.; RINGGENBERG, J. D., published by Pearson Education, Inc, publishing as Prentice Hall PTR, Copyright © 2002 Prentice Hall PTR RUSSIAN language edition published by BKL PUBLISHERS, Copyright © 2009
© Перевод на русский язык,
БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009

ISBN 978-5-94774-097-3 (русск.)
ISBN 0-13-786302-0 (англ.)

Оглавление

Предисловие	5
1. Мехатроника	10
1.1. Исторический взгляд на увеличение сложности	11
1.2. Организация мехатронной системы	12
1.3. Усилители и развязка	13
1.4. Определение единичной машины	14
1.5. Управление	15
1.6. Программное обеспечение в реальном масштабе времени	15
1.7. Неприятные свойства программного обеспечения	19
1.8. Техническое проектирование и вычислительные характеристики	20
1.9. Организация системы управления	21
1.10. Мобильность программного обеспечения	22
1.11. Интерфейс оператора	23
1.12. Мультикомпьютерные системы: связь	24
1.13. Проект и процесс реализации	24
1.13.1. Технические характеристики	25
1.13.2. Документация проекта	26
1.13.3. Моделирование	26
1.13.4. Лабораторный опытный образец	28
1.13.5. Промышленный опытный образец	29
1.13.6. Промышленная система	30
1.13.7. Обслуживание	30

2. Задачи	32
2.1. Пример: задача выборки в системе процесса	33
2.2. Задачи и иерархия управления	35
2.2.1. Связь между задачами	35
2.3. Примеры структур задач	36
2.3.1. Управление скоростью двигателя постоянного тока	36
2.3.2. Управление нагревателем	38
2.3.3. Духовка тостера	40
2.3.4. Гибкое управление положением двигателя постоянного тока	42
2.4. Моделирование	44
2.5. Другие примеры структур задач	46
2.5.1. Координированное движение по двум осям	46
2.5.2. Стиральная машина	47
3. Логика переходов состояний	50
3.1. Состояния и переходы	51
3.2. Диаграммы логики переходов	52
3.3. Табличная форма для логики переходов.	53
3.4. Пример: широтно-импульсная модуляция (ШИМ)	53
3.5. Логика переходов для примера управления процессом	55
3.6. Неблокирующее кодирование состояний	56
3.7. Код, связанный с состоянием	58
3.8. Просмотр состояния: цикл выполнения	59
3.9. Параллелизм задач: универсальное решение в реальном масштабе времени.	60
4. Непосредственная реализация программного обеспечения управления системами	62
4.1. Язык	62
4.2. Время	64
4.3. Формат программы	65
4.4. Моделирование	65
4.5. Моделирование в MATLAB.	66
4.5.1. Шаблоны для моделирования, использующего MATLAB	66
4.5.2. Моделирование генератора ШИМ	71
4.5.3. Моделирование системы процесса в трех резервуарах	75
4.6. Связь между задачами	79
4.7. Обеспечение реального времени	80

4.8. Реализация в реальном масштабе времени с помощью MATLAB	81
4.8.1. Реализация управления нагревателем в MATLAB	82
5. Реализация программного обеспечения в C++	86
5.1. Моделирование в C++	86
5.2. Шаблоны для моделирования в C++ (групповой приоритет)	88
5.3. Моделирование ШИМ с использованием C++ (групповой приоритет).	100
5.4. Моделирование в C++ (с TranRun4)	102
5.4.1. Компоненты	103
5.4.2. Основной планировщик	104
5.4.3. Объекты процессов и списки задач	106
5.4.4. Объекты задач	108
5.4.5. Задачи без объектов состояний.	111
5.4.6. Создание классов задач	111
5.4.7. Объекты состояний.	113
5.4.8. Создание классов состояний	115
5.4.9. Основной файл и функция UserMain()	117
5.5. Реализация в реальном масштабе времени на C++	120
6. Связь между задачами	122
6.1. Связь в пределах процесса	123
6.1.1. Целостность данных	123
6.1.2. Правила проектирования	126
6.2. Связь между процессами	129
6.2.1. Передача сообщения	130
6.2.2. Передача сообщения в планировщике группового приоритета	131
6.2.3. Передача сообщений в планировщике TranRun4	138
6.2.4. Распределенная БД.	141
6.2.5. Распределенная БД в структуре с планировщиком группового приоритета	142
6.2.6. Распределенная БД с планировщиком TranRun4	145
7. Способы работы со временем на pc-совместимых компьютерах.	147
7.1. Калиброванное время	147
7.2. Автономный таймер	148
7.2.1. Аппаратные таймеры РС	149
7.2.2. Таймеры в Unix и Windows	151
7.3. Измерение времени на основе прерываний	152

8. Мультизадачность: обеспечение в реальной среде	155
8.1. Планирование на основе приоритетов — переключение ресурсов	155
8.1.1. Непрерывные и перемежающиеся задачи.	156
8.1.2. Режимы совместного мультизадачного управления	157
8.2. Шаблон MATLAB для диспетчера с минимальным временем ожидания	159
8.2.1. Пример: моделирование ШИМ-управляемого нагревателя	160
8.3. Совместное мультизадачное управление с использованием C++	162
8.3.1. Поведение наследуемых задач — две задачи ШИМ	166
8.4. Приоритетные режимы мультизадачного управления	168
8.5. Реализация диспетчеризации на основе прерываний.	171
8.5.1. Сколько уровней приоритетов необходимо?	171
8.5.2. Какие источники прерываний будут использоваться?	172
8.5.3. Функции диспетчеризации на основе прерываний	173
8.5.4. Дополнительные функции диспетчеризации, связанные с прерываниями.	174
9. Символьный интерфейс оператора	175
9.1. Требования к интерфейсу оператора	176
9.2. Контекстно-чувствительные интерфейсы	176
9.3. Принципы программирования пользовательского интерфейса	177
9.4. Интерфейс оператора мехатронных систем.	178
9.5. Программирование интерфейса оператора	179
9.5.1. Экран оператора	179
9.5.2. Соглашения по программированию в C++	180
9.5.3. Интерфейс оператора для управления нагревателем	183
10. Графический интерфейс оператора.	187
10.1. Графические среды	188
10.1.1. Оконное программное обеспечение: события и сообщения	188
10.1.2. Интерфейс оператора и стандартное оконное приложение	190
10.1.3. Упрощенное программирование для оконных систем	190
10.1.4. Простая задача	190
10.1.5. Методы упрощения оконного программирования	191

10.2. Задача умножения на 2	191
10.2.1. Умножение на 2: символьный интерфейс	191
10.2.2. Умножение на 2: Visual Basic.	193
10.2.3. Умножение на 2: Bridgeview	196
10.3. Изменение экрана.	200
10.3.1. Изменение экрана в Visual Basic	200
10.3.2. Изменение экрана: Bridgeview	202
10.4. Управление теплообменником в Bridgeview	205
10.5. Связь между процессами: DDE	207
10.5.1. DDE: сторона C++	208
10.5.2. Связь с Excel	211
10.5.3. Сервер DDE в C++	212
10.5.4. DDE-связи между C++ и Visual Basic	214
10.5.5. Связь DDE между C ++ и Bridgeview	215
10.6. Объединение всего вместе	217
11. Распределенное управление I: основы сетей	220
11.1. Структура нескольких процессоров	221
11.1.1. Симметричная мультипроцессорная обработка	221
11.1.2. Шины	222
11.1.3. Сети	223
11.1.4. Двухточечные связи	226
11.2. Организация сети с протоколом TCP/IP	226
11.2.1. Физический контекст	227
11.2.2. Протоколы взаимосвязи	227
11.2.3. TCP и UDP.	228
11.2.4. Структура клиент/сервер.	229
11.3. Реализация UDP	229
11.3.1. Сокеты	229
11.3.2. Настройка обмена данных сети	230
11.3.3. Неблокирующие вызовы сети	232
11.3.4. Получение информации	233
11.3.5. Настройка на стороне клиента	234
11.4. Уровень приложения	235
11.4.1. Кодирование данных	236
11.4.2. Создание пакета	236
11.4.3. Разбор пакета	239

12. Распределенное управление II: уровень приложения мехатронного управления	242
12.1. Протокол приложения системы управления	242
12.2. Запуск распределенной системы управления	246
12.3. Испытание протокола приложения.	248
12.4. Использование протокола приложения, связанного с управлением	249
12.5. Компиляция	252
13. Язык JAVA для программного обеспечения систем управления	253
13.1. Язык Java и функции API	254
13.1.1. Организация сети	254
13.1.2. AWT/Swing.	255
13.1.3. Несколько потоков	255
13.2. Предварительные условия для программирования в реальном масштабе времени на Java	256
13.2.1. Детерминированная «сборка мусора»	256
13.2.2. Доступ к памяти и аппаратным средствам	256
13.2.3. Определение времени	257
13.3. Преимущества Java для проектирования управляющего программного обеспечения	257
13.3.1. Модульность	258
13.3.2. Распределенное управление	258
13.3.3. Независимость от платформы и создание прототипов	259
13.3.4. Проектирование интерфейса оператора	259
13.4. Java и метод проектирования задач/состояний	260
13.4.1. Внутренние классы	260
13.4.2. Организация сети	260
13.4.3. Документация	261
13.5. Текущее состояние в Java на основе реального времени.	262
14. Программируемые логические контроллеры	264
14.1. Введение	264
14.2. Цели	266
14.3. Программирование ПЛК	267
14.3.1. Когда использовать ПЛК.	267
14.3.2. Многоступенчатая логика	268
14.3.3. Grafset/Диаграммы последовательных потоков.	270

14.4. Модель задач/состояний	270
14.5. Логика переходов состояний для ПЛК	271
14.5.1. Переменные состояния	271
14.5.2. Организация многоступенчатой структуры	271
14.5.3. Переходы	272
14.5.4. Выходы	273
14.5.5. Операции на входе	273
14.5.6. Выходы из секции действий	274
14.5.7. Выходные величины (связанные с переходами)	274
14.5.8. Операции, связанные с общим выходом.	274
14.6. Многозадачность в ПЛК	275
14.7. Модульное проектирование	275
14.8. Пример: модель управления железной дорогой	275
14.9. Моделирование — мобильность.	277
15. Иллюстративный пример: система сборки	280
15.1. Собираемая система	280
15.2. Моделирование системы	282
15.3. Последовательность разработки	282
15.4. Моделирование движения ленты транспортера (Glue00)	283
15.4.1. Моделирование динамики ленты	283
15.4.2. Определение классов задач	285
15.4.3. Формирование задач: основной файл	288
15.4.4. Задача моделирования	289
15.4.5. Задача регистрации данных	290
15.4.6. Режим выбора времени.	292
15.4.7. Вычисления	293
15.4.8. Результаты	293
15.5. Моделирование температуры печи (Glue01).	295
15.6. ПИД-управление положением ленты транспортера и температурой печи (Glue 02)	295
15.6.1. Исходные классы хранения	295
15.6.2. Класс PIDControl	296
15.6.3. Результаты	298
15.7. Улучшенное управление перемещением (Glue03)	298
15.7.1. Трапецидальный профиль движения	300
15.7.2. Класс профилей движения.	300
15.7.3. Структура состояний профилирующего устройства	301
15.7.4. Ошибка округления.	305
15.7.5. Ошибки дискретизации при моделировании	306

15.8. Структура команд для профилированного перемещения (Glue04)	308
15.8.1. Структура команд на основе сообщений.	309
15.8.2. Трассировка переходов состояний	310
15.9. Захваты (Glue05)	313
15.10. Роботы (Glue06)	314
15.11. Вулканизация/разгрузка (Glue07)	316
15.12. Производство изделий (Glue08)	321
16. Реализация участка склеивания в TranRun4	323
16.1. Система склеивания	323
16.2. Моделирование и создание прототипа	324
16.3. Компоненты проекта	324
16.4. Glue00: моделирование транспортера	325
16.4.1. Динамическая модель	325
16.4.2. Создание задачи транспортера.	327
16.4.3. Задача регистрации данных	331
16.4.4. Передача данных между задачами	336
16.4.5. Основной файл.	339
16.4.6. Результаты работы программы Glue00	341
16.5. Glue01: моделирование печи	342
16.5.1. Распечатки конфигурации и состояния	342
16.6. Glue02: ПИД-управление	344
16.7. Glue03: интерфейс оператора	347
16.7.1. Результаты	351
16.8. Glue04: профилирование перемещения	353
16.9. Glue05: установление последовательности работы для лент транспортеров	361
16.10. Glue06: механизм приложения системы склеивания	363
16.11. Glue07: диспетчеризация задачи Transport	365
16.12. Glue08: окончательная система сборки	367
17. Пример участка склеивания в TranRunJ.	371
17.1. Начальная стадия.	371
17.1.1. Входная точка программы.	371
17.1.2. Метод userMain	372
17.2. Написание специальных задач и состояний	373
17.2.1. Создание класса задач	373
17.2.2. Создание класса состояний	376

17.3. Реализация логики переходов состояний	376
17.4. Глобальные данные и передача сообщений между задачами	378
17.4.1. Элементы глобальных данных	378
17.4.2. Сообщения задачи	379
17.5. Непрерывные задачи в сравнении с перемежающимися	381
17.6. Внутренняя часть планировщика	382
17.6.1. Процессы операционной системы по сравнению с классом CProcess	382
17.6.2. Высокоприоритетный список выполнения по сравнению с фоновым списком	382
17.6.3. Режимы планирования	383
17.7. Профилирование выполнения	383
17.8. Передача сообщений между задачами в различных процессах	384
17.9. Подсказки и приемы	386
17.9.1. Разумное использование профилирования времени выполнения	386
17.9.2. Целые метки для глобальных данных и входных буферов сообщений	387
17.9.3. Интерфейс TaskMessageListener	387
17.9.4. Отключение планировщика	388
17.9.5. Анонимные классы состояний	388
17.10. Дополнительная информация	389
Библиография	391
Условные обозначения	393
Предметный указатель	395