

УДК 004.415.2  
ББК 32.973.26-018.1  
Г64

А

**Гома, Хассан.**

Г64 UML. Проектирование систем реального времени, параллельных и распределенных приложений / Х. Гома ; пер. с англ. А. А. Слинкина. — 2-е изд., эл. — 1 файл pdf : 700 с. — Москва : ДМК Пресс, 2023. — (Объектно-ориентированные технологии в программировании). — Систем. требования: Adobe Reader XI либо Adobe Digital Editions 4.5 ; экран 10". — Текст : электронный.

ISBN 978-5-89818-574-9

Данная книга описывает процесс создания распределенных, параллельных систем и систем реального времени с точки зрения проектирования архитектуры системы. Подробно рассмотрены ключевые вопросы, возникающие в процессе разработки: управление временем отклика, синхронизация, актуальность и непротиворечивость данных. На многочисленных примерах автор показывает, как с помощью одной и той же универсальной нотации UML описать такие, казалось бы, далекие области, как автоматизированная банковская система, бортовой компьютер автомобиля и система управления лифтами в многоэтажном здании — без привязки к какой-либо программной или аппаратной платформе и языку программирования.

Издание будет чрезвычайно полезно аналитикам, менеджерам предприятий и информационных систем, руководителям и архитекторам проектов, а также программистам, которые имеют дело с приложениями UML: книга поможет изложить свои идеи так, чтобы можно было реализовать проект, практически не зная той предметной области, для которой пишется система.

УДК 004.415.2  
ББК 32.973.26-018.1

**Электронное издание на основе печатного издания:** UML. Проектирование систем реального времени, параллельных и распределенных приложений / Х. Гома ; пер. с англ. А. А. Слинкина. — Москва : ДМК Пресс, 2016. — 700 с. — (Объектно-ориентированные технологии в программировании). — ISBN 978-5-97060-220-1. — Текст : непосредственный.

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

В соответствии со ст. 1299 и 1301 ГК РФ при устранении ограничений, установленных техническими средствами защиты авторских прав, правообладатель вправе требовать от нарушителя возмещения убытков или выплаты компенсации.

ISBN 978-5-89818-574-9

© by Hassan Gomaa  
© Перевод на русский язык, оформление  
ДМК Пресс

А



# Содержание

Предисловие .....	25
-------------------	----

<b>ЧАСТЬ I. Нотация UML, концепции проектирования, технологии, жизненные циклы и методы .....</b>	<b>35</b>
---	-----------

Глава 1. Введение .....	36
-------------------------	----

1.1. Объектно-ориентированные методы и UML .....	37
1.2. Метод и нотация .....	38
1.3. Параллельные приложения .....	38
1.3.1. Последовательные и параллельные программы .....	39
1.3.2. Последовательные и параллельные приложения .....	39
1.3.3. Параллельные задачи .....	40
1.4. Системы и приложения реального времени .....	40
1.5. Распределенные системы и приложения .....	42
1.6. Резюме .....	43

Глава 2. Обзор нотации UML .....	44
----------------------------------	----

2.1. Диаграммы UML .....	44
2.2. Диаграммы прецедентов .....	45
2.3. Нотация UML для классов и объектов .....	45
2.4. Диаграммы классов .....	46
2.5. Диаграммы взаимодействия .....	47
2.5.1. Диаграммы кооперации .....	47
2.5.2. Диаграммы последовательности .....	48
2.6. Диаграммы состояний .....	48
2.7. Пакеты .....	50
2.8. Диаграммы параллельной кооперации .....	51
2.8.1. Обмен сообщениями на диаграммах параллельной кооперации ....	51
2.9. Диаграммы развертывания .....	51
2.10. Механизмы расширения UML .....	53

2.11. UML как стандарт .....	54
2.12. Резюме .....	55

## Глава 3. Концепции проектирования

ПО и архитектуры .....	56
3.1. Объектно-ориентированные концепции .....	56
3.1.1. Основные концепции .....	56
3.1.2. Объекты и классы .....	57
3.2. Соккрытие информации .....	58
3.2.1. Соккрытие информации в объектно-ориентированном проектировании .....	59
3.2.2. Соккрытие информации в применении к внутренним структурам данных .....	59
3.2.3. Соккрытие информации при проектировании интерфейса с устройствами ввода/вывода .....	62
3.2.4. Проектирование объектов, скрывающих информацию .....	63
3.3. Наследование .....	64
3.4. Активные и пассивные объекты .....	65
3.5. Параллельная обработка .....	66
3.5.1. Преимущества параллельного выполнения задач .....	66
3.5.2. Тяжеловесные и облегченные процессы .....	67
3.6. Кооперация между параллельными задачами .....	68
3.6.1. Проблема взаимного исключения .....	68
3.6.2. Пример взаимного исключения .....	69
3.6.3. Проблема синхронизации задач .....	70
3.6.4. Пример синхронизации задач .....	70
3.6.5. Проблема производителя/потребителя .....	72
3.6.6. Слабо связанный обмен сообщениями .....	73
3.6.7. Сильно связанный обмен сообщениями с ответом .....	74
3.6.8. Сильно связанный обмен сообщениями без ответа .....	74
3.6.9. Пример обмена сообщениями между производителем и потребителем .....	75
3.7. Соккрытие информации в применении к синхронизации доступа .....	76
3.7.1. Классы и объекты, скрывающие информацию .....	76
3.8. Мониторы .....	77
3.8.1. Пример монитора .....	77
3.8.2. Условная синхронизация .....	78
3.9. Шаблоны проектирования .....	79

3.10. Программные архитектуры и компонентные системы .....	80
3.10.1. Компоненты и разъемы .....	81
3.10.2. Компонентные системы .....	81
3.11. Резюме .....	81
<b>Глава 4. Технологии</b>	
<b>параллельных и распределенных систем .....</b>	<b>83</b>
4.1. Среды для параллельной обработки .....	83
4.1.1. Мультипрограммная среда .....	83
4.1.2. Симметричная мультипроцессорная среда .....	83
4.1.3. Распределенная среда .....	84
4.2. Поддержка исполнения	
в мультипрограммной и мультипроцессорной средах .....	85
4.2.1. Сервисы операционной системы .....	85
4.2.2. Стандарт POSIX .....	86
4.2.3. Операционные системы реального времени .....	87
4.3. Планирование задач .....	88
4.3.1. Алгоритмы планирования задач .....	88
4.3.2. Состояния задач .....	89
4.3.3. Контекстное переключение задач .....	90
4.4. Вопросы ввода/вывода в операционной системе .....	90
4.4.1. Контроллеры устройств .....	90
4.4.2. Обработка прерываний .....	91
4.4.3. Ввод/вывод с опросом .....	92
4.5. Технологии клиент-серверных и распределенных систем ...	93
4.5.1. Конфигурации клиент-серверных и распределенных систем .....	93
4.5.2. Коммуникационные сетевые протоколы .....	95
4.6. Технология World Wide Web .....	97
4.6.1. Язык Java и World Wide Web .....	98
4.7. Сервисы распределенных операционных систем .....	98
4.7.1. Служба имен .....	99
4.7.2. Связывание клиентов и серверов .....	99
4.7.3. Сервисы распределенного обмена сообщениями .....	100
4.7.4. Сервисы сокетов .....	101
4.7.5. Обмен сообщениями через порты .....	101
4.7.6. Восстановление после ошибок .....	101
4.8. ПО промежуточного слоя .....	102
4.8.1. Платформы для распределенных вычислений .....	102
4.8.2. Вызовы удаленных процедур .....	102
4.8.3. Вызов удаленных методов в языке Java .....	104

4.9. Стандарт CORBA .....	104
4.9.1. Брокер объектных запросов .....	104
4.9.2. Язык определения интерфейса в CORBA .....	105
4.9.3. Статическое и динамическое связывание .....	106
4.9.4. Сервисы CORBA .....	107
4.9.5. Интеграция унаследованных приложений в каркас распределенных объектов .....	107
4.10. Другие компонентные технологии .....	108
4.10.1. Технология COM .....	108
4.10.2. Технология JavaBeans .....	108
4.10.3. Технология Jini .....	108
4.11. Системы обработки транзакций .....	109
4.11.1. Характеристики транзакций .....	109
4.11.2. Мониторы обработки транзакций .....	110
4.12. Резюме .....	111

Глава 5. Жизненные циклы и методы разработки программного обеспечения .....	112
5.1. Определение жизненного цикла ПО .....	112
5.1.1. Модель водопада .....	112
5.1.2. Недостатки модели водопада .....	113
5.1.3. Временные прототипы .....	114
5.1.4. Создание эволюционирующих прототипов в ходе инкрементной разработки .....	115
5.1.5. Комбинирование временных прототипов и инкрементной разработки .....	116
5.1.6. Спиральная модель .....	117
5.1.7. Унифицированный процесс разработки ПО .....	118
5.2. Верификация и утверждение проекта .....	118
5.2.1. Контроль качества ПО .....	119
5.2.2. Анализ производительности .....	119
5.3. Тестирование программного обеспечения .....	119
5.3.1. Автономное тестирование .....	120
5.3.2. Тестирование сопряжений .....	120
5.3.3. Комплексное тестирование .....	120
5.3.4. Приемочно-сдаточные испытания .....	121
5.4. Эволюция методов проектирования ПО .....	121
5.5. Эволюция методов объектно-ориентированного анализа и проектирования .....	123

5.6. Обзор современных методов проектирования параллельных систем и систем реального времени .....	125
5.7. Резюме .....	126

<b>ЧАСТЬ II. COMET – метод архитектурного проектирования и моделирования параллельных объектов с применением UML .....</b>	<b>127</b>
--	------------

<b>Глава 6. Введение в метод COMET .....</b>	<b>128</b>
--	------------

6.1. Жизненный цикл разработки объектно-ориентированного ПО в методе COMET .....	128
6.1.1. Моделирование требований .....	128
6.1.2. Аналитическое моделирование .....	128
6.1.3. Проектное моделирование .....	129
6.1.4. Инкрементное конструирование ПО .....	130
6.1.5. Инкрементная интеграция ПО .....	130
6.1.6. Комплексное тестирование .....	130
6.2. Сравнение жизненного цикла COMET с другими процессами разработки ПО .....	131
6.2.1. Сравнение жизненного цикла COMET с USDP .....	131
6.2.2. Сравнение жизненного цикла COMET со спиральной моделью ....	131
6.3. Модель требований, аналитическая и проектная модели ...	131
6.3.1. Виды деятельности при моделировании требований .....	132
6.3.2. Виды деятельности при аналитическом моделировании .....	132
6.3.3. Виды деятельности при проектном моделировании .....	133
6.4. Основы COMET .....	134
6.4.1. Разработка модели требований .....	134
6.4.2. Разработка аналитической модели .....	134
6.4.3. Разработка проектной модели .....	135
6.5. Резюме .....	137

<b>Глава 7. Моделирование прецедентов .....</b>	<b>138</b>
---	------------

7.1. Прецеденты .....	138
7.2. Актеры .....	139
7.3. Актеры, роли и пользователи .....	141
7.4. Выявление прецедентов .....	141

7.5. Документирование прецедентов в модели прецедентов ....	142
7.6. Примеры прецедентов .....	143
7.6.1. Прецедент «Снять Деньги» .....	143
7.6.2. Прецедент «Получить Справку» .....	145
7.6.3. Прецедент «Перевести Деньги» .....	146
7.7. Отношения прецедентов .....	147
7.7.1. Отношение расширения .....	147
7.7.2. Отношение включения .....	149
7.7.3. Некоторые рекомендации .....	150
7.8. Пакеты прецедентов .....	150
7.9. Резюме .....	151
<b>Глава 8. Статическое моделирование .....</b>	<b>152</b>
8.1. Ассоциации между классами .....	152
8.1.1. Изображение ассоциаций на диаграммах классов .....	153
8.1.2. Кратность ассоциаций .....	153
8.1.3. Другие ассоциации .....	155
8.1.4. Атрибуты связи .....	155
8.1.5. Классы-ассоциации .....	156
8.2. Иерархии композиции и агрегирования .....	157
8.3. Иерархия обобщения/специализации .....	159
8.4. Ограничения .....	160
8.5. Статическое моделирование и язык UML .....	160
8.5.1. Статическое моделирование предметной области .....	161
8.6. Статическое моделирование контекста системы .....	162
8.6.1. Внешние классы .....	163
8.6.2. Пример разработки диаграммы классов контекста системы с внешними классами .....	164
8.6.3. Актеры и внешние классы .....	165
8.6.4. Пример разработки диаграммы классов контекста системы на основе рассмотрения актеров .....	165
8.7. Статическое моделирование сущностных классов .....	166
8.8. Резюме .....	167
<b>Глава 9. Разбиение на классы и объекты .....</b>	<b>168</b>
9.1. Критерии разбиения на объекты .....	168
9.2. Категории классов приложения .....	169
9.3. Структурирование категорий объектов .....	170
9.4. Внешние и интерфейсные классы .....	171
9.4.1. Категории внешних классов .....	171
9.4.2. Идентификация интерфейсных классов .....	172



9.5. Интерфейсные объекты .....	173
9.5.1. Объекты интерфейса устройства .....	173
9.5.2. Объекты интерфейса пользователя .....	175
9.5.3. Объекты интерфейса системы .....	176
9.5.4. Изображение внешних и интерфейсных классов .....	177
9.6. Сущностные объекты .....	178
9.7. Управляющие объекты .....	180
9.7.1. Объекты-координаторы .....	180
9.7.2. Управляющие объекты, зависящие от состояния .....	181
9.7.3. Объекты-таймеры .....	182
9.8. Объекты прикладной логики .....	182
9.8.1. Объекты бизнес-логики .....	182
9.8.2. Объекты-алгоритмы .....	183
9.9. Подсистемы .....	183
9.9.1. Пакеты для изображения подсистем .....	184
9.9.2. Вопросы, связанные с разбиением на подсистемы .....	185
9.10. Резюме .....	186
<b>Глава 10. Конечные автоматы</b>	
<b>и диаграммы состояний .....</b>	<b>187</b>
10.1. Конечные автоматы .....	187
10.2. События и состояния .....	188
10.2.1. События .....	188
10.2.2. Состояния .....	188
10.3. Конечные автоматы и объекты .....	188
10.4. Примеры диаграмм состояний .....	189
10.4.1. Пример диаграммы состояний счета .....	189
10.4.2. Пример диаграммы состояний банкомата .....	189
10.4.3. Пример диаграммы состояний системы круиз-контроля .....	191
10.5. События и условия .....	191
10.6. Действия .....	193
10.6.1. Деятельности .....	194
10.6.2. Действия при входе и выходе .....	197
10.7. Моделирование различных аспектов системы .....	200
10.8. Иерархические диаграммы состояний .....	201
10.8.1. Иерархическая декомпозиция состояний .....	201
10.8.2. Агрегирование переходов состояний .....	203
10.9. Параллельные диаграммы состояний .....	203
10.10. Рекомендации по разработке диаграмм состояний .....	205



10.11. Построение диаграмм состояний на основе прецедентов .....	206
10.12. Пример разработки диаграммы состояний на основе прецедента .....	207
10.12.1. Прецедент «Управление Скоростью» .....	207
10.12.2. Разработка диаграммы состояний .....	208
10.12.3. Рассмотрение альтернативных внешних событий .....	210
10.12.4. Разработка иерархической диаграммы состояний .....	211
10.12.5. Разработка ортогональной диаграммы состояний .....	213
10.13. Резюме .....	214

## Глава 11. Динамическое моделирование ..... 215

11.1. Моделирование взаимодействий объектов .....	215
11.1.1. Диаграммы кооперации .....	216
11.1.2. Диаграммы последовательности .....	217
11.1.3. Сравнение диаграмм последовательности и кооперации .....	218
11.1.4. Прецеденты и сценарии .....	218
11.1.5. Обобщенные и конкретные формы диаграмм взаимодействия .....	219
11.2. Сообщения-метки на диаграммах взаимодействия .....	219
11.2.1. Порядковая нумерация сообщений .....	220
11.2.2. Описание последовательности сообщений .....	222
11.3. Динамический анализ .....	223
11.4. Динамический анализ, не зависящий от состояния .....	223
11.5. Пример динамического анализа, не зависящего от состояния .....	225
11.6. Динамический анализ, зависящий от состояния .....	225
11.6.1. Определение объектов и взаимодействий .....	226
11.6.2. Исполнение диаграммы состояний .....	227
11.6.3. Рассмотрение альтернативных последовательностей .....	229
11.7. Пример динамического анализа, зависящего от состояния: банковская система .....	229
11.7.1. Главная последовательность .....	229
11.7.2. Альтернативные последовательности .....	232
11.8. Пример динамического анализа, зависящего от состояния: система круиз-контроля .....	237
11.9. Резюме .....	246

<b>Глава 12. Проектирование архитектуры системы</b> .....	250
12.1. Архитектурные стили .....	250
12.1.1. Архитектура клиент-сервер .....	250
12.1.2. Архитектура с несколькими уровнями абстракции .....	251
12.1.3. Архитектура взаимодействующих задач .....	252
12.1.4. Смешение архитектурных стилей .....	252
12.2. Декомпозиция системы .....	253
12.3. Рекомендации по выявлению подсистем .....	255
12.4. Консолидированные диаграммы кооперации .....	255
12.5. Архитектура подсистем .....	256
12.6. Разделение обязанностей при проектировании подсистем .....	258
12.7. Критерии разбиения на подсистемы .....	260
12.8. Примеры разбиения на подсистемы .....	263
12.9. Статическое моделирование на уровне проектирования .....	264
12.10. Резюме .....	266
<b>Глава 13. Проектирование         архитектуры распределенных приложений</b> ....	268
13.1. Конфигурируемые архитектуры и программные компоненты .....	269
13.2. Шаги проектирования распределенного приложения .....	269
13.3. Декомпозиция системы .....	270
13.3.1. Проектирование распределенных подсистем .....	270
13.3.2. Агрегированные и составные подсистемы в COMET .....	272
13.3.3. Проектирование конфигурируемых распределенных подсистем .....	274
13.3.4. Критерии конфигурируемости распределенных компонентов ....	274
13.4. Проектирование интерфейсов подсистем .....	276
13.4.1. Слабо связанный (асинхронный) обмен сообщениями .....	276
13.4.2. Сильно связанный (синхронный) обмен сообщениями .....	277
13.4.3. Обмен сообщениями между несколькими клиентами и сервером .....	277
13.4.4. Коммуникации типа подписка/извещение и групповой обмен сообщениями .....	278

13.4.5. Коммуникации с участием брокера .....	279
13.4.6. Коммуникации с обговариванием условий .....	281
13.5. Управление транзакциями .....	283
13.5.1. Протокол двухфазной фиксации в системах обработки транзакций .....	283
13.5.2. Вопросы проектирования транзакций .....	284
13.6. Проектирование серверных подсистем .....	285
13.6.1. Последовательная серверная подсистема .....	286
13.6.2. Параллельная серверная подсистема .....	287
13.7. Распределение данных .....	290
13.7.1. Распределенный сервер .....	290
13.7.2. Репликация данных .....	290
13.8. Конфигурирование системы .....	290
13.8.1. Вопросы конфигурирования системы .....	290
13.8.2. Пример конфигурирования целевой системы .....	291
13.9. Резюме .....	292

## Глава 14. Разбиение на задачи .....

14.1. Вопросы разбиения на параллельные задачи .....	294
14.2. Категории критериев разбиения на задачи .....	294
14.3. Критерии выделения задач ввода/вывода .....	295
14.3.1. Характеристики устройств ввода/вывода .....	295
14.3.2. Асинхронные задачи интерфейса с устройствами ввода/вывода .....	296
14.3.3. Периодические задачи интерфейса с устройством ввода/вывода .....	297
14.3.4. Пассивные задачи интерфейса с устройствами ввода/вывода .....	300
14.3.5. Задачи-мониторы ресурсов .....	302
14.4. Критерии выделения внутренних задач .....	302
14.4.1. Периодические задачи .....	302
14.4.2. Асинхронные задачи .....	304
14.4.3. Управляющие задачи .....	306
14.4.4. Задачи интерфейса пользователя .....	307
14.4.5. Множественные однотипные задачи .....	308
14.5. Критерии назначения приоритетов задачам .....	309
14.5.1. Критические по времени задачи .....	309
14.5.2. Некритические по времени расчетные задачи .....	310
14.6. Критерии группировки задач .....	310
14.6.1. Темпоральная группировка .....	311
14.6.2. Последовательная группировка .....	314

14.6.3. Группировка по управлению .....	316
14.6.4. Группировка по взаимному исключению .....	318
14.7. Пересмотр проекта путем инверсии задач .....	319
14.7.1. Инверсия нескольких экземпляров задачи .....	319
14.7.2. Инверсия последовательных задач .....	321
14.7.3. Темпоральная инверсия задач .....	321
14.8. Разработка архитектуры задач .....	324
14.8.1. Начальная диаграмма параллельной кооперации .....	327
14.9. Коммуникации между задачами и синхронизация .....	327
14.9.1. Слабо связанный (асинхронный) обмен сообщениями .....	327
14.9.2. Сильно связанный (синхронный) обмен сообщениями с ответом .....	329
14.9.3. Сильно связанный (синхронный) обмен сообщениями без ответа .....	330
14.9.4. Синхронизация по событию .....	331
14.9.5. Взаимодействие задач с помощью скрывающего информацию объекта .....	333
14.9.6. Пересмотренная диаграмма параллельной кооперации .....	334
14.10. Спецификация поведения задачи .....	334
14.10.1. Пример спецификации поведения для задачи «Банковский Сервер» .....	336
14.10.2. Пример спецификации поведения для задачи «Интерфейс Устройства Считывания Карточек» .....	337
14.11. Резюме .....	338
Глава 15. Проектирование классов .....	339
15.1. Проектирование классов, скрывающих информацию .....	339
15.2. Проектирование операций классов .....	340
15.2.1. Проектирование операций классов на основе модели взаимодействия .....	341
15.2.2. Проектирование операций классов на основе конечного автомата .....	342
15.2.3. Проектирование операций классов на основе статической модели .....	343
15.3. Классы абстрагирования данных .....	343
15.3.1. Пример класса абстрагирования данных .....	343
15.4. Классы интерфейса устройства .....	344
15.4.1. Проектирование операций классов интерфейса устройств .....	346
15.4.2. Классы интерфейса устройства ввода .....	346
15.4.3. Классы интерфейса устройства вывода .....	348
15.5. Классы, зависящие от состояния .....	350

15.6. Классы, скрывающие алгоритмы .....	352
15.7. Классы интерфейса пользователя .....	352
15.8. Классы бизнес-логики .....	355
15.9. Классы-обертки базы данных .....	356
15.10. Внутренние программные классы .....	358
15.11. Применение наследования при проектировании .....	358
15.11.1. Иерархии классов .....	358
15.11.2. Абстрактные классы .....	358
15.11.3. Полиморфизм и динамическое связывание .....	359
15.12. Примеры наследования .....	359
15.12.1. Примеры суперклассов и подклассов .....	359
15.12.2. Пример полиморфизма и динамического связывания .....	362
15.12.3. Пример наследования абстрактному классу .....	363
15.13. Спецификация интерфейса класса .....	364
15.13.1. Пример спецификации интерфейса класса .....	364
15.14. Резюме .....	366

## Глава 16. Детальное проектирование ПО ..... 367

16.1. Проектирование составных задач .....	367
16.1.1. Отношения между задачами и классами .....	367
16.1.2. Разделение обязанностей между задачами и классами .....	368
16.1.3. Темпоральная группировка и объекты интерфейса устройств ....	369
16.1.4. Группировка по управлению и объекты, скрывающие информацию .....	372
16.2. Синхронизация доступа к классам .....	374
16.2.1. Пример синхронизации доступа к классу .....	374
16.2.2. Операции класса абстрагирования данных .....	374
16.2.3. Синхронизация методом взаимного исключения .....	375
16.2.4. Синхронизация нескольких читателей и писателей .....	376
16.2.5. Синхронизация нескольких читателей и писателей с помощью монитора .....	377
16.2.6. Синхронизация нескольких читателей и писателей без ущемления писателей .....	380
16.3. Проектирование разъемов для межзадачных коммуникаций .....	381
16.3.1. Проектирование разъема, реализующего очередь сообщений ....	382
16.3.2. Проектирование разъема, реализующего буфер сообщений ....	383
16.3.3. Проектирование разъема, реализующего буфер сообщений с ответом .....	384
16.3.4. Проектирование кооперативных задач с использованием разъемов .....	385

16.4. Логика упорядочения событий .....	386
16.4.1. Пример логики упорядочения событий для задач отправителя и получателя .....	386
16.5. Резюме .....	387

## Глава 17. Анализ производительности

проекта параллельной системы реального времени .....	388
17.1. Теория планирования в реальном времени .....	388
17.1.1. Планирование периодических задач .....	389
17.1.2. Теорема о верхней границе коэффициента использования ЦП .....	389
17.1.3. Теорема о времени завершения .....	391
17.1.4. Строгая формулировки теоремы о времени завершения .....	392
17.1.5. Планирование периодических и аperiodических задач .....	394
17.1.6. Планирование с синхронизацией задач .....	395
17.2. Развитие теории планирования в реальном времени .....	395
17.2.1. Инверсия приоритетов .....	396
17.2.2. Обобщенная теорема о верхней границе коэффициента использования ЦП .....	397
17.2.3. Обобщенная теорема о времени завершения .....	398
17.2.4. Планирование в реальном времени и проектирование .....	398
17.2.5. Пример применения обобщенной теории планирования в реальном времени .....	399
17.3. Анализ производительности с помощью анализа последовательности событий .....	400
17.4. Анализ производительности с помощью теории планирования в реальном времени и анализа последовательности событий .....	401
17.5. Пример анализа производительности с помощью анализа последовательности событий .....	402
17.6. Пример анализа производительности с применением теории планирования в реальном времени .....	406
17.7. Анализ производительности по теории планирования в реальном времени и анализа последовательности событий .....	408
17.7.1. Эквивалентная аperiodическая задача .....	408
17.7.2. Назначение других приоритетов .....	410
17.7.3. Детальный анализ аperiodических задач .....	411
17.8. Пересмотр проекта .....	414
17.9. Оценка и измерение параметров производительности ....	415
17.10. Резюме .....	416

# **ЧАСТЬ III. Примеры проектирования параллельных приложений, распределенных приложений и приложений реального времени** ..... 417

## **Глава 18. Пример системы управления лифтами** ..... 418

### **18.1. Описание задачи** ..... 418

### **18.2. Модель прецедентов** ..... 419

#### 18.2.1. Прецедент «Выбор Этажа Назначения» ..... 419

#### 18.2.2. Прецедент «Вызов Лифта» ..... 420

#### 18.2.3. Абстрактные прецеденты ..... 420

#### 18.2.4. Абстрактный прецедент «Остановка Лифта на Этаже» ..... 421

#### 18.2.5. Абстрактный прецедент «Планирование Лифта» ..... 421

#### 18.2.6. Конкретный прецедент «Выбор Этажа Назначения» ..... 421

#### 18.2.7. Конкретный прецедент «Вызов Лифта» ..... 422

### **18.3. Статическая модель предметной области** ..... 422

### **18.4. Разбиение на объекты** ..... 424

### **18.5. Динамическая модель** ..... 424

#### 18.5.1. Диаграмма кооперации для прецедента «Выбор Этажа Назначения» ..... 425

#### 18.5.2. Диаграмма кооперации для прецедента «Вызов Лифта» ..... 425

#### 18.5.3. Диаграмма кооперации для прецедента «Остановка Лифта на Этаже» ..... 426

#### 18.5.4. Абстрактный прецедент «Отправить Лифт» ..... 430

### **18.6. Модель состояний** ..... 432

### **18.7. Консолидация диаграмм кооперации** ..... 434

### **18.8. Разбиение на подсистемы** ..... 437

### **18.9. Разбиение системы на задачи** ..... 440

#### 18.9.1. Выделение задач в подсистеме лифта ..... 442

#### 18.9.2. Выделение задач в подсистеме этажа ..... 444

#### 18.9.3. Выделение задач в подсистеме планировщика ..... 444

#### 18.9.4. Определение интерфейсов задач ..... 444

#### 18.9.5. Проектирование класса абстрагирования данных ..... 446

#### 18.9.6. Обсуждение альтернативных архитектур ..... 449

### **18.10. Проект распределенной системы управления лифтами** ..... 449

#### 18.10.1. Структура подсистемы лифта ..... 451

#### 18.10.2. Структура подсистемы этажа ..... 451

18.10.3. Структура подсистемы планировщика .....	455
18.10.4. Интерфейсы подсистем .....	455
18.11. Проектирование скрывающих информацию классов .....	456
18.11.1. Проектирование классов интерфейса устройств .....	456
18.11.2. Проектирование класса, зависящего от состояния .....	459
18.12. Разработка детального проекта программы .....	459
18.12.1. Проектирование объектов-разъемов для лифта .....	459
18.12.2. Проектирование составных задач .....	461
18.13. Конфигурирование целевой системы .....	463
18.14. Анализ производительности нераспределенной системы управления лифтами .....	464
18.14.1. Сценарий для анализа производительности .....	464
18.14.2. Последовательности событий .....	464
18.14.3. Назначение приоритетов .....	466
18.14.4. Планирование в реальном времени для нераспределенной архитектуры .....	468
18.14.5. Последовательность событий «Остановка Лифта на Этаже» .....	469
18.14.6. Последовательность событий «Выбор Этажа Назначения» .....	470
18.14.7. Последовательность событий «Вызов Лифта» .....	471
18.15. Анализ производительности распределенной системы управления лифтами .....	472
18.15.1. Сценарий для анализа производительности .....	472
18.15.2. Планирование в реальном времени для распределенной архитектуры .....	473
18.15.3. Последовательность событий «Остановка Лифта на Этаже» .....	477
18.15.4. Последовательность событий «Выбор Этажа Назначения» .....	479
18.15.5. Последовательность событий «Вызов Лифта» .....	480
Глава 19. Пример банковской системы .....	483
19.1. Описание задачи .....	483
19.2. Модель прецедентов .....	484
19.2.1. Абстрактный прецедент «Проверить ПИН-код» .....	485
19.2.2. Конкретный прецедент «Снять Деньги» .....	485
19.2.3. Конкретный прецедент «Получить Справку» .....	486
19.2.4. Прецедент «Перевести Деньги» .....	487
19.3. Статическое моделирование .....	487
19.3.1. Статическое моделирование предметной области .....	487
19.3.2. Статическое моделирование контекста системы .....	488
19.3.3. Статическое моделирование сущностных классов .....	488



19.4. Разбиение на объекты .....	491
19.4.1. Выделение клиентской и серверной подсистем .....	491
19.4.2. Выделение клиентских объектов: интерфейсные объекты .....	493
19.4.3. Выделение клиентских объектов: объекты, участвующие в прецедентах .....	493
19.4.4. Выделение объектов в серверной подсистеме .....	495
19.5. Динамическое моделирование .....	496
19.5.1. Описание последовательности сообщений для прецедента «Проверить ПИН-код на Клиенте» .....	497
19.5.2. Описание последовательности сообщений для прецедента «Проверить ПИН-код на Сервере» .....	500
19.5.3. Описание последовательности сообщений для прецедента «Снять Деньги на Клиенте» .....	502
19.5.4. Описание последовательности сообщений для прецедента «Снять Деньги на Сервере» .....	506
19.6. Диаграмма состояний банкомата .....	508
19.7. Проектирование банковской системы .....	512
19.8. Создание консолидированной диаграммы кооперации .....	513
19.9. Разбиение на подсистемы .....	515
19.10. Проект подсистемы банкомата .....	517
19.10.1. Проектирование архитектуры задач для подсистемы банкомата .....	517
19.10.2. Определение интерфейсов задач в подсистеме банкомата .....	521
19.10.3. Проектирование скрывающих информацию классов в подсистеме банкомата .....	523
19.10.4. Разработка детального проекта подсистемы банкомата .....	524
19.11. Проектирование подсистемы банковского сервера .....	526
19.11.1. Проектирование архитектуры параллельных задач в подсистеме банковского сервера .....	527
19.11.2. Проектирование скрывающих информацию классов в банковском сервере .....	528
19.11.3. Проектирование интерфейсов банковского сервера .....	530
19.12. Конфигурирование банковской системы .....	534
19.13. Альтернативные варианты .....	534
19.14. Спецификации поведения задач .....	534
19.14.1. Пример логики упорядочения событий для задачи «Интерфейс Устройства Считывания Карточек» .....	534
19.14.2. Пример логики упорядочения событий для задачи «Контроллер Банкомата» .....	536

19.14.3. Пример логики упорядочения событий для задачи «Банковский Сервер» .....	538
---	-----

## Глава 20. Пример системы

крузиз-контроля и мониторинга .....	540
20.1. Описание задачи .....	540
20.1.1. Крузиз-контроль как задача управления процессами .....	541
20.2. Модель прецедентов .....	542
20.2.1. Прецеденты крузиз-контроля .....	543
20.2.2. Прецеденты мониторинга .....	544
20.3. Описание прецедентов .....	544
20.3.1. Прецеденты, инициируемые водителем .....	544
20.3.2. Прецеденты, инициируемые таймером .....	546
20.3.3. Прецеденты, инициируемые механиком .....	548
20.4. Статическое моделирование предметной области .....	548
20.5. Динамическое моделирование .....	549
20.5.1. Начальное разбиение на подсистемы .....	550
20.5.2. Динамическое моделирование не зависящих от состояния аспектов подсистемы крузиз-контроля .....	551
20.5.3. Динамическое моделирование зависящих от состояния аспектов подсистемы крузиз-контроля .....	553
20.5.4. Зависящее от состояния динамическое моделирование: управление калибровкой .....	554
20.5.5. Динамическое моделирование подсистемы мониторинга: прецеденты, связанные со средней скоростью .....	558
20.5.6. Динамическое моделирование подсистемы мониторинга: прецеденты, связанные с расходом топлива .....	560
20.5.7. Динамическое моделирование прецедентов технического обслуживания .....	562
20.6. Разбиение на подсистемы .....	564
20.6.1. Разбиение подсистемы крузиз-контроля на более мелкие подсистемы .....	564
20.6.2. Разбиение подсистемы мониторинга на более мелкие подсистемы .....	565
20.6.3. Зависимости между подсистемами .....	566
20.7. Уточненная статическая модель .....	571
20.8. Разбиение системы на задачи .....	572
20.8.1. Определение характеристик устройств ввода/вывода .....	575
20.8.2. Определение задач в подсистеме вала .....	575

20.8.3. Определение задач в подсистеме калибровки .....	575
20.8.4. Определение задач в подсистеме пути и скорости .....	577
20.8.5. Определение задач в подсистеме автоматического управления .....	580
20.8.6. Определение задач в подсистеме круиз-контроля .....	583
20.8.7. Проектирование классов абстрагирования данных .....	585
20.8.8. Проектирование интерфейсов между задачами и объектами абстрагирования данных .....	587
20.8.9. Определение задач в подсистеме мониторинга .....	587
20.8.10. Разработка архитектуры и интерфейсов задач подсистемы мониторинга .....	592
20.9. Проектирование скрывающих информацию классов .....	592
20.9.1. Определение классов интерфейса устройств .....	596
20.9.2. Определение зависящих от состояния классов .....	598
20.9.3. Определение классов-алгоритмов .....	600
20.10. Разработка детального проекта программы .....	602
20.10.1. Проектирование сгруппированных задач .....	602
20.10.2. Проектирование объектов-разъемов .....	606
20.11. Проектирование архитектуры распределенной автомобильной системы .....	607

## Глава 21. Пример распределенной системы

автоматизации производства .....	609
21.1. Описание задачи .....	609
21.2. Модель прецедентов .....	611
21.3. Концептуальная статическая модель предметной области .....	613
21.4. Разбиение на объекты .....	614
21.5. Динамическая модель .....	617
21.5.1. Диаграммы кооперации для клиент-серверных прецедентов дежурного оператора .....	617
21.5.2. Диаграммы кооперации для прецедентов подписки на извещения .....	618
21.5.3. Диаграммы кооперации для клиент-серверных прецедентов управления производством .....	620
21.5.4. Прецеденты распределенного управления .....	623
21.5.5. Диаграмма состояний контроллера линейной рабочей станции .....	624
21.5.6. Прецеденты изготовления детали .....	626
21.6. Разбиение на подсистемы .....	630



21.7. Архитектура распределенной программы .....	634
21.7.1. Применение критериев конфигурируемости компонентов .....	635
21.7.2. Обмен сообщениями между подсистемами .....	638
21.8. Конфигурирование системы .....	641
<b>Глава 22. Пример системы электронной коммерции .....</b>	<b>644</b>
22.1. Задача электронной коммерции .....	644
22.2. Модель прецедентов .....	644
22.3. Агенты, поддерживающие систему электронной коммерции .....	645
22.4. Поддержка системы электронной коммерции со стороны брокеров объектов .....	647
22.5. Статическое моделирование предметной области .....	648
22.6. Модель кооперации .....	648
22.6.1. Модель кооперации для просмотра каталога .....	649
22.6.2. Модель кооперации для размещения заявки .....	649
22.6.3. Модель кооперации для обработки заказа .....	651
22.6.4. Модель кооперации для подтверждения отгрузки .....	651
22.6.5. Модель кооперации для подтверждения доставки .....	652
22.6.6. Модель кооперации для отправки счета-фактуры .....	653
22.7. Архитектура распределенной программы .....	655
<b>Глоссарий .....</b>	<b>663</b>
<b>Библиография .....</b>	<b>675</b>
<b>Предметный указатель .....</b>	<b>684</b>