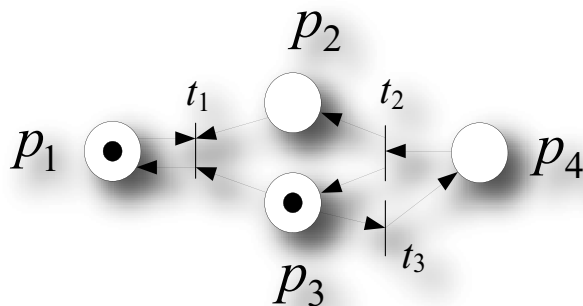


Мараховский В. Б., Розенблюм Л. Я., Яковлев А. В.

Моделирование параллельных процессов Сети Петри

Курс для системных архитекторов,
программистов, системных аналитиков,
проектировщиков сложных систем
управления



"ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА"

Санкт-Петербург
2014

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологии программирования» Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики А. А. Шальто.

Доктор технических наук, профессор Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета А. И. Водяхо.

Мараховский В. Б., Розенблюм Л. Я., Яковлев А. В.

Моделирование параллельных процессов. Сети Петри. Курс для системных архитекторов, программистов, системных аналитиков, проектировщиков сложных систем управления. — СПб.:

Профессиональная литература, АйТи-Подготовка, 2014. – 400 с.: ил.

Серия «Избранное Computer Science»

Практически любая более или менее сложная система имеет в своем составе компоненты, работающие одновременно (параллельно). Данная книга представляет собой уникальное издание, написанное специалистами с мировыми именами в области моделирования параллельных процессов и сетей Петри. В книге излагаются вопросы построения формальных динамических моделей асинхронных параллельных процессов. При этом рассматриваемые процессы могут относиться к различным прикладным областям, например, к вычислениям, управлению, интерфейсам, программированию, робототехнике или искусственному интеллекту.

Подчеркивается неразрывная связь структурной модели, отражающей статические свойства объекта, и динамической (поведенческой) модели. Такой двуединый фундаментальный подход пригоден на всех этапах проектирования систем - спецификации, анализа, реализации и верификации.

Книга написана доступным языком, с большим количеством примеров, отличается хорошей организацией, структурой и подачей материала. Может использоваться в качестве учебного пособия. Рассчитана на широкую аудиторию.

Рекомендовано Учебно-методическим объединением по университетскому политехническому образованию в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки «Системный анализ и управление».

© Мараховский В. Б., Розенблюм Л. Я.,
Яковлев А. В., 2014

© Профессиональная литература (ООО "ПРОКДИ"), 2014

© АйТи-Подготовка (www.it-podgotovka.ru), 2014

Содержание

ОТ АВТОРОВ	11
ВВЕДЕНИЕ.....	12
СОКРАЩЕНИЯ, ПРИНЯТЫЕ В ТЕКСТЕ	15
ГЛАВА 1 . АСИНХРОННЫЙ ПРОЦЕСС	17
1.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АСИНХРОННОГО ПРОЦЕССА	19
Понятие асинхронности	19
Концепция асинхронного процесса.....	21
Спецификация асинхронного процесса	22
Протокол асинхронного процесса.....	25
1.2. КЛАССИФИКАЦИЯ.....	26
Автономный асинхронный процесс	26
Эффективный асинхронный процесс	27
Управляемый асинхронный процесс	29
Простой асинхронный процесс	30
1.3. РЕПОЗИЦИЯ	30
Композиция асинхронного процесса и его репозиции	32
Приведенный асинхронный процесс	32
Конвейерный асинхронный процесс	33
1.4. СТРУКТУРИРОВАНИЕ	34
1.5. РЕДУКЦИЯ	39
Редукция по инициатору	39
Редукция по результату.....	41
Редукция по входной компоненте ситуации	41
Редукция по выходной или внутренней компоненте	42
1.6. КОМПОЗИЦИЯ	46
Параллельная композиция.....	46
Последовательная композиция.....	49
Замыкание.....	52
1.7. КОММЕНТАРИЙ. НЕДОСТАТКИ МОДЕЛИ АСИНХРОННОГО ПРОЦЕССА.....	55
1.8. УПРАЖНЕНИЯ	58
ГЛАВА 2. СЕТИ ПЕТРИ.....	63
2.1. РЕТРОСПЕКТИВА СЕТЕЙ ПЕТРИ	64
2.2. ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ.....	70
2.3. ДИАГРАММА МАРКИРОВОК.....	76
Отношения между событиями	78
Сети Петри как модельная интерпретация асинхронных процессов.....	80
Два начала сетей Петри: статическое и динамическое	81

2.4. КЛАССИФИКАЦИЯ СЕТЕЙ ПЕТРИ	82
Зачем нужна классификация сетей Петри	82
Классификация по динамическим ограничениям	84
Классификация по статическим ограничениям	86
2.5. ЗАДАЧИ И АЛГОРИТМЫ АНАЛИЗА	88
2.5.1. Первая группа методов анализа	89
Задача достижимости	90
Модификации задачи достижимости	90
Алгоритм порождения диаграммы маркировок	92
Свойства диаграмм маркировок	95
Сводимость задач достижимости	95
Задача живости Сети Петри	96
2.5.2. Вторая группа методов анализа.....	97
2.5.3. Третья группа методов анализа	98
Дедлоки	98
Ловушки.....	99
2.5.4. Оценки вычислительной сложности проблем анализа сетей Петри	100
2.6. АНАЛИЗ: МАТРИЧНЫЙ ПОДХОД	101
Анализ на свойства структурной ограниченности и живости.....	101
Инвариантные и согласованные сети Петри.....	103
Решение задачи достижимости	110
2.7. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ	112
Сведения из теории формальных грамматик и языков	112
Генерирование формальных языков сетями Петри.....	116
2.8. ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ СЕТЕЙ ПЕТРИ	121
Пример спецификации конечного автомата сетью Петри.....	121
Использование сетей Петри в параллельном программировании.....	123
Пример моделирования аппаратных средств.....	125
Моделирование конвейерных процессов	126
2.9. УПРАЖНЕНИЯ	128
ГЛАВА 3. ДРУГИЕ СЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ, РОДСТВЕННЫЕ СЕТЯМ ПЕТРИ	133
3.1. СЕТИ СО ВЗВЕШЕННЫМИ ДУГАМИ	136
Преобразование сети с взвешенными дугами в ординарную сеть Петри	137

Пример спецификации химической реакции сетью с взвешенными дугами	138
Проверка отсутствия маркера в некоторой позиции	139
3.2. РАСКРАШЕННЫЕ СЕТИ	140
3.3. СЕТИ С ТОРМОЗЯЩИМИ ДУГАМИ (ИНГИБИТОРНЫЕ СЕТИ ПЕТРИ)	143
3.4. ПРИОРИТЕТНЫЕ И ВРЕМЕННЫЕ СЕТИ	147
3.5. СИНХРОННЫЕ И САМОМОДИФИЦИРУЕМЫЕ СЕТИ	151
3.6. СТОХАСТИЧЕСКИЕ СЕТИ ПЕТРИ	155
3.7. ОЦЕНОЧНЫЕ СЕТИ	161
Примитивы оценочных сетей	162
Мотивы появления оценочных сетей	165
3.8. СЕТИ ПОТОКОВ ДАННЫХ	168
3.9. РАЗРЕШИМОСТЬ ЗАДАЧ АНАЛИЗА	173
3.10. УПРАЖНЕНИЯ	175
ГЛАВА 4. ДИНАМИЧЕСКАЯ ЛОГИКА	183
4.1. ДИАГРАММЫ ПЕРЕХОДОВ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ	185
Состояния бинарной диаграммы переходов	187
Бифуркантное состояние	188
Классы диаграмм переходов	189
4.2. СХЕМЫ МАЛЛЕРА	191
Гипотезы о задержках в логических элементах и проводах	192
Самосинхронные схемы	193
Диаграммы Маллера	193
Понятие динамической логики	196
Задача построения рабочего цикла	196
4.3. МАРКИРОВАННЫЕ ГРАФЫ	199
4.4. СИГНАЛЬНЫЕ ГРАФЫ	203
Построение кумулятивной диаграммы по маркированному графу	206
Свойства кумулятивных диаграмм	208
Связь сигнальных графов с диаграммами переходов	208
Нормальность сигнального графа	209
Понятия одновременности и предшествования сигналов	211
Анализ сигнального графа на свойства регулярности и нормальности	212
4.5. УПРАЖНЕНИЯ	217

ГЛАВА 5. ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ. ЗАДАЧИ КООРДИНАЦИИ И СИНХРОНИЗАЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ.....	219
5.1. АНОМАЛИИ ДИНАМИКИ	223
Поведенческий и структурный дедлоки	225
Эффект “каннибализма”	227
Эффект “голодной смерти”	227
Свойства “справедливости” и “голодания”	228
5.2. ЗАДАЧА ОБ ОБЕДАЮЩИХ ФИЛОСОФАХ.....	229
5.3. ЗАДАЧИ ВЗАИМНОГО ИСКЛЮЧЕНИЯ И СЕМАФОРЫ	231
Семафоры Дейкстры	232
Семафоры Цикритзиса и Бринч-Хансена	234
Семафоры Агервалы и Вентилборга	234
5.4. ЗАДАЧА “ПРОИЗВОДИТЕЛИ – ПОТРЕБИТЕЛИ”	235
Фрагмент спецификации Г. Дейтела	237
Программа Д. Цикритзиса и Ф. Бернстайна	239
5.5. ЗАДАЧА “ЧИТАТЕЛИ – ПИСАТЕЛИ”	240
5.6. ЗАДАЧА О КУРИЛЬЩИКАХ	245
5.7. МЕХАНИЗМ РАНДЕВУ.....	246
5.8. СЕМАНТИКА ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ	250
Пошаговая детализация действий программ	254
Взаимные переходы между двумя формами семантик	255
Проверка условий справедливого решения конфликта	257
Выводы	258
5.9. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	259
5.10. УПРАЖНЕНИЯ	259
ГЛАВА 6. ПРИНЦИПЫ АППАРАТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ	263
6.1. ОСОБЕННОСТИ САМОСИНХРОННОЙ СХЕМОТЕХНИКИ	265
6.2. СИНТЕЗ ПО МОДЕЛИ МАЛЛЕРА	268
Редукция диаграммы переходов	268
Кратные состояния	270
Проверка спецификации на полумодулярность.....	270
Проекция диаграмм переходов.....	271
Устранение противоречивости диаграмм переходов	272
Свойства логических переменных полумодулярных диаграмм переходов.....	273
Стандартные реализации самозависимых переменных	273
Метод совершенной реализации схемы Маллера	275
6.3. СТАНДАРТНЫЕ РЕАЛИЗАЦИИ ФРАГМЕНТОВ СЕТЕЙ ПЕТРИ	278

Реализация многоходовых C-элементов Маллера.....	281
Моделирование продвижения маркера в сети Петри элементом Давида.....	281
Прямая трансляция сетей Петри в логические схемы.....	284
Минимальный базис реализации сетей Петри методом прямой трансляции.....	287
6.4. ПРИНЦИПЫ КОМПОЗИЦИИ	288
6.4.1. Дополнительные модули	289
Модуль преобразования фазовой дисциплины	289
Модуль многократного вхождения оператора	290
Модуль управления циклом.....	290
6.4.2. Реализация неустойчивых сетей Петри.....	292
Реализация сетей Петри с вершинами свободного выбора.....	292
Явление электронного арбитража.....	292
Электронные арбитры.....	293
Ограниченные арбитры.....	295
Неограниченные арбитры	296
Реализация неустойчивых ограниченных сетей Петри	297
6.5. УПРАЖНЕНИЯ	298

ГЛАВА 7. ПРОТОКОЛЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА..... 301

7.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ИНТЕРФЕЙСОВ	304
7.1.1. Классификация по топологии	304
Интерфейсы с кольцевой структурой	305
Интерфейсы с радиальной структурой.....	305
Интерфейсы с магистральной структурой.....	305
Интерфейсы со смешанной структурой	306
7.1.2. Классификация по способу передачи данных	306
7.1.3. Классификация по принципу реализации	306
Синхронные интерфейсы	306
Асинхронные интерфейсы	306
Самосинхронные интерфейсы	307
7.1.4. Классификация интерфейсов по назначению	307
7.2. ЗАДАНИЕ ПРОТОКОЛОВ	308
7.2.1. Протокол чтения данных в интерфейсе «Общая шина».....	308
7.2.2. Примерная процедура проектирования протокола	312
7.2.3. Разработка описания протокола, его анализа и реализации. Оценка сложности аппаратной и программной поддержки протокола	313
Сервисный уровень протокола.....	313

Построение структурной модели интерфейсного протокола	314
Формализация описания интерфейсного протокола.....	315
Синтез средств сопряжения	315
Реализация протоколов	317
7.2.4. Формальная модель протокола информационного обмена физического уровня.....	317
7.2.5. Пример использования сети Петри для задания протокола обмена.....	320
7.3. ВЕРИФИКАЦИЯ ПРОТОКОЛОВ	322
7.3.1. Верификация эффектов взаимодействия	322
Выбор способа анализа протокола	322
Выбор совокупности желаемых эффектов	323
7.3.2. Выявление свойств протоколов	324
Анализ асинхронного протокола «чередующегося бита»	324
Модель с идеальным каналом	325
Модель с искажением сообщения в канале	326
Модель с потерей сообщений	327
Модель с ложным срабатыванием механизма таймаута	329
Модель без ограничений на емкость канала и число срабатываний таймаута	331
Модель с буферизованным каналом	332
7.3.3. Описание протоколов сигнальными графами и диаграммами переходов	335
7.4. УПРАЖНЕНИЯ	339
ГЛАВА 8. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ.....	343
8.1. ЛОГИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ	345
Первый пример — "Управление манипулятором"	346
Второй пример — "Управление движением вагонеток"	349
8.2. ПРОТОКОЛЫ АСИНХРОННЫХ СХЕМ.....	358
8.3 ИНФОРМАЦИОННЫЙ ОБМЕН	364
8.4. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ.....	369
Пример 1	369
Пример 2	374
8.5. УПРАЖНЕНИЯ	377
ПОСЛЕСЛОВИЕ АВТОРОВ (О В.И. ВАРШАВСКОМ И СТАНОВЛЕНИИ СОВЕТСКОЙ/РОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ)	380
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	390
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	395