

В. Брауэр

**Введение в теорию конечных
автоматов**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 53
ББК 22.3
В11

В11 **В. Брауэр**
Введение в теорию конечных автоматов / В. Брауэр – М.: Книга по Требованию,
2021. – 272 с.

ISBN 978-5-458-31041-3

ISBN 978-5-458-31041-3

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2021

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2021

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

ОГЛАВЛЕНИЕ

От редактора перевода	8
Предисловие	9
Глава 1. Основная модель	13
1. 1. Введение	13
1. 2. Многополюсный черный ящик	13
1. 3. Дискретность времени	15
1. 4. Конечность алфавита	17
1. 5. Состояния	19
1. 6. Определение основной модели	21
1. 7. Примеры конечных автоматов	22
1. 8. Определение множества состояний по внутренней структуре	24
1. 9. Другая модель	27
1.10. Предсказание поведения автомата	29
Задачи	31
Глава 2. Таблицы, графы и матрицы переходов	34
2. 1. Введение	34
2. 2. Таблица переходов	34
2. 3. Перечисление автоматов	37
2. 4. Изоморфные автоматы	38
2. 5. Граф переходов	40
2. 6. Классификация состояний и подавтоматов	43
2. 7. Разложение автоматов и расщепляемый автомат	47
2. 8. Матрица переходов	52
2. 9. Матрицы переходов высшего порядка	55
2.10. Элементарные пути	58
2.11. Определение минимальных путей и полных контуров	61
2.12. Скелетная матрица	65
2.13. Частичное построение матриц	68
Задачи	70
Глава 3. Эквивалентность и минимизация автоматов	75
3.1. Введение	75
3.2. Эквивалентность состояний	76
3.3. k -эквивалентность	79
3.4. k -эквивалентные разбиения	82

3.5.	Эквивалентные разбиения	87
3.6.	Разбиения при помощи таблиц P_k	90
3.7.	Разбиение при помощи таблицы пар	92
3.8.	Матричный метод разбиения	97
3.9.	Эквивалентность автоматов	100
3.10.	Эквивалентное разбиение множеств автоматов	102
3.11.	Минимальная форма	106
3.12.	Свойства минимальной формы	110
3.13.	Уменьшение числа состояний автомата последовательным объединением	113
3.14.	Класс минимальных автоматов	116
	Задачи	118
Глава 4.	Эксперименты по распознаванию состояний	122
4.1.	Введение	122
4.2.	Классификация экспериментов	123
4.3.	Диагностические и установочные эксперименты	125
4.4.	Диагностические эксперименты для двух состояний	126
4.5.	Разновидности диагностической задачи с двумя состояниями	132
4.6.	Дерево преемников	135
4.7.	Диагностическое дерево	138
4.8.	Простые безусловные диагностические эксперименты	143
4.9.	Простые условные диагностические эксперименты	145
4.10.	Кратные безусловные диагностические эксперименты	151
4.11.	Кратные условные диагностические эксперименты	159
4.12.	Установочное дерево	161
4.13.	Простые безусловные установочные эксперименты	164
4.14.	Простые условные установочные эксперименты	165
4.15.	Регулярные безусловные установочные эксперименты	168
4.16.	Регулярные условные установочные эксперименты	171
4.17.	Следствия, связанные с экспериментами по распознаванию состояний	176
	Задачи	178
Глава 5.	Эксперименты по распознаванию автоматов	184
5.1.	Введение	184
5.2.	Общая задача распознавания автомата	185
5.3.	Распознавание автоматов известного класса	188
5.4.	Задача распознавания повреждений	192
5.5.	Сильносвязные автоматы	196
5.6.	Некоторые свойства сильносвязных автоматов	198
5.7.	Распознавание сильносвязных (n, p, q) -автоматов	200
5.8.	Автоматы без потери информации	201
	Задачи	207
Глава 6.	Автоматы с конечной памятью	210
6.1.	Введение	210
6.2.	Представление систем с конечной памятью	211
6.3.	Свойства автоматов с конечной памятью	215

6.4.	Определение памяти автомата	220
6.5.	Минимальная x - z -функция	222
6.6.	Линейные двоичные автоматы	227
6.7.	Временная характеристика линейного двоичного автомата	232
6.8.	Распознавание линейного двоичного автомата	237
6.9.	Не зависящие от выхода автоматы	240
	Задачи	243
Глава 7.	Автоматы с ограничениями на входе	247
7.1.	Введение	247
7.2.	Совместимость состояний	248
7.3.	Квазиэквивалентные автоматы	251
7.4.	Определение минимальных форм	254
7.5.	Метод уменьшения числа состояний автоматов с ограничениями на входе	259
	Задачи	262
	Библиография	265
	Предметный указатель	269

ОТ РЕДАКТОРА ПЕРЕВОДА

Предлагаемая книга Артура Гилла — доктора наук по электротехнике, преподавателя Калифорнийского университета — содержит систематическое изложение основных вопросов теории конечных автоматов.

В книге дается строгое определение конечного автомата, как модели реального устройства, с иллюстрацией на примерах. Автор, сохраняя математическую строгость, в доступной для широкого круга читателей форме, ясно и последовательно излагает различные способы представления конечных автоматов (таблицы, графы, матрицы переходов), методы минимизации автоматов, теорию экспериментов над автоматами и ряд других вопросов. Принятое расположение материала облегчает его усвоение инженерно-техническими работниками, имеющими дело с реальными объектами, так как при абстрактном представлении позволяет сохранять связь с привычными для инженера реальными устройствами.

Основным отличием книги от существующих является подробное и систематическое изложение достижений в области теории экспериментов, которая начинает находить широкое применение при решении задач технической диагностики дискретных устройств и систем с памятью, в том числе вычислительных и управляющих машин.

Каждая глава книги содержит примеры и заканчивается задачами, что облегчает глубокую проработку и усвоение ее содержания.

Книга является хорошим учебным пособием для студентов, инженеров и научных работников, занимающихся изучением теории конечных автоматов и ее практическими приложениями.

П. Пархоменко

ПРЕДИСЛОВИЕ

Последние годы явились свидетелями возникновения новой научной дисциплины, известной под названием *теория систем*. Появление этой дисциплины в большой степени было обусловлено проницательностью исследователей в различных областях науки и техники, нашедших общий язык в процессе ее формирования. Цель этой теории состояла в том, чтобы создать арсенал идей и средств, которые были бы в равной степени полезны специалистам во многих различных областях, таких, как электротехника, механика, физиология и лингвистика. Она была достигнута путем рассмотрения *системы* (которая может представлять собой живой организм, промышленное предприятие, управляемый снаряд) не через ее внутреннюю структуру, а через математические законы, определяющие ее наблюдаемое поведение. При использовании такого подхода, называемого методом «черного ящика», было найдено, что системы, представляющие совсем разные физические построения, могут все же быть охарактеризованы в одинаковых терминах и проанализированы с помощью одного и того же набора правил.

Хотя понятие о теории систем как о независимой дисциплине возникло совсем недавно, большинство ее составных частей — это установившиеся отрасли знаний. Теорию информации, теорию линейных систем, теорию управления и теорию конечных автоматов можно рассматривать в качестве основных составных частей теории систем ввиду того, что они затрагивают самые разнообразные области науки и техники. Из

четырёх дисциплин, указанных выше, теория конечных автоматов является наиболее новой дисциплиной, которая в отличие от других до сих пор еще не обобщена в виде отдельной книги. По мере расширения применения систем с дискретными состояниями вообще, и цифровых вычислительных машин в частности, потребность в такой книге как со стороны научных работников, так и со стороны промышленности непрерывно возрастала. Настоящая книга, представляющая собой вводное изложение понятий и методов, лежащих в основе теории синхронных детерминированных автоматов с конечным числом состояний, предназначена для того, чтобы отчасти удовлетворить эту потребность.

Как вводное руководство по теории машин с конечным числом состояний, настоящая книга охватывает лишь малую, но очень важную ее часть, известную под названием «теория автоматов». Таким образом, книга ограничивается основными теоретико-системными аспектами конечных автоматов, такими, как: задание условий работы автоматов, матрицы переходов, эквивалентность состояний и автоматов, минимизация автомата, эксперименты по распознаванию состояний и автоматов и по распознаванию неисправностей, — а также аспектами автоматов без потерь информации и автоматов с конечной памятью. Материал в значительной степени базируется на работах, выполненных за последнее десятилетие Хаффменом, Муром, Ауфенкампом, Хоном, Гинзбургом, Заде, Симоном, Поллом и Ангером (более подробные ссылки распределены в сносках по всей книге). Особое внимание в книге уделено методам анализа. Вопросы синтеза конечных автоматов здесь не рассматриваются. Причина этого состоит в том, что методы синтеза по своему существу являются специализированными и требуют полных знаний относительно данной исследуемой системы и компонент, которые можно использовать для ее реализации; с другой стороны, методы анализа могут быть сделаны вполне общими и применимыми к любой системе

(например, нервной клетке, математическому алгоритму, электронной вычислительной машине), которая поддается моделированию с помощью конечного автомата. Опущено также общее рассмотрение модулярных последовательностных машин (хотя о линейных двоичных машинах говорится подробно) из-за требующейся для такого рассмотрения обширной математической подготовки. Наконец, было решено исключить из рассмотрения машины Тьюринга и цепи Маркова, так как, хотя эти темы и тесно связаны с предметом теории конечных автоматов, они составляют отдельные и независимые математические дисциплины, которые в достаточной степени освещены в других пособиях.

Основная часть этой книги первоначально была написана как конспект курса по конечным автоматам, прочитанного в Калифорнийском университете в Беркли в течение весеннего семестра 1961 года. Хотя курс был прочитан на электротехническом факультете, материал предназначается не специально инженеру-электрику, а любому специалисту — будь он экономистом или транспортным инженером, математиком или проектировщиком схем, — интересы которого лежат в сфере теории систем. В то же время материал этой книги особо рекомендуется инженерам по электронике и математикам-прикладникам, специализирующимся в области управления, связи или цифровых вычислений. Студентам, которые собираются стать специалистами по вычислительной технике и ее приложениям, материал может дать полезную подготовку к курсам по логическому синтезу и программированию.

Книга не предполагает какой-либо глубокой математической подготовки у читателя, хотя «математическая зрелость», добытая путем предварительной учебы, несомненно, полезна. Уровень изложения соответствует уровню аспирантов или студентов, начинающих дипломную работу. Очень желательно, чтобы читатель потрудился над задачами, которыми

сопровождается каждая глава, так как эти задачи служат не только для иллюстрации, но и для пополнения текстового материала. Однако в принципе текст сам по себе полностью независим от задач.

Автор глубоко обязан доктору Л. А. Заде из Калифорнийского университета, чей семинар по системам с дискретными состояниями и автоматам (проводившийся в Беркли весной 1960 года) внес большой вклад в точку зрения, принятую в этой книге, а также в ее содержание. Автор также выражает благодарность доктору Д. А. Хаффмену из Массачусетского технологического института за несколько поощряющих бесед во время его визита в Беркли весной 1961 года.

Артур Гилл

ГЛАВА 1

ОСНОВНАЯ МОДЕЛЬ

1.1. Введение

Подобно другим теориям, развитие которых побуждается нуждами науки и техники, теория конечных автоматов имеет дело с математическими моделями, предназначенными для приближенного отображения физических или абстрактных явлений. Значение этой теории состоит в том, что применение ее моделей не ограничивается какой-либо частной областью, а возможно непосредственно для решения проблем практически в любой области исследований от психологии до административного управления и от связи до лингвистики. Идеи и техника теории конечных автоматов используются для решения таких, казалось бы не связанных, проблем, как исследование деятельности нервной системы человека, анализ английского синтаксиса и проектирование электронных вычислительных машин. В эпоху, когда темпы развития науки сильно зависят от межотраслевого кооперирования, унифицированный характер этой теории представляет несомненную ценность.

В этой главе будет введена так называемая «основная модель» конечного автомата, будут детально обсуждены предположения, лежащие в основе этой модели, и будет показано, как эта модель может быть использована для решения проблем из самых различных областей.

1.2. Многополюсный черный ящик

Большинство проблем, встречающихся в науке и технике, можно разбить на следующие две категории: задачи *анализа*, которые состоят в предсказании поведения определенной заданной системы, и задачи *синтеза*, состоящие в построении системы по заданному поведению. В этой книге предпочтение будет оказано скорее задачам анализа, чем синтезу. Как

с точки зрения анализа, так и с точки зрения синтеза удобно переменные, которые характеризуют систему, различать следующим образом: (1) *входные переменные*, которые представляют собой воздействия, генерируемые другой системой (не подлежащей исследованию), и которые влияют на поведение исследуемой системы; (2) *выходные переменные* (реакции), представляющие собой те величины, характеризующие

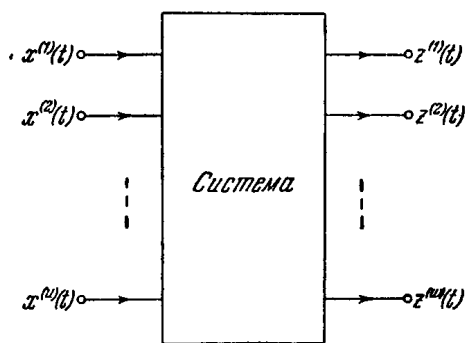


Рис. 1.1. Представление системы в виде «черного ящика».

поведение данной системы, которые интересуют исследователя; (3) *промежуточные переменные* — те величины, которые не являются ни входными, ни выходными переменными.

Схематично система может быть изображена «черным ящиком» с конечным числом внешних полюсов, доступных для исследователя. *Входные* полюсы соответствуют входным переменным и снабжаются стрелками, направленными внутрь ящика. *Выходные* полюсы соответствуют выходным переменным и снабжены стрелками, направленными от ящика. Предполагается, что промежуточные переменные, не представляющие непосредственного интереса, сосредоточены внутри ящика. Входные и выходные переменные и ящик, не имеют какого-либо физического смысла, они просто служат для наглядного представления тех переменных системы, которые имеют отношение к решению данной задачи.

Рис. 1.1 иллюстрирует представление системы в виде черного ящика в том случае, когда она имеет n входных