

# теория и практика неопределенного программирования



Стochasticес  
программирование

Исчетное  
программирование

Источное  
программирование

Источно-случайное  
программирование

Случайно-исчетное  
программирование

Вы держите в руках первую книгу серии «Адаптивные и интеллектуальные системы». Серия нацелена на то, чтобы ознакомить читателя как с проблемами, связанными с искусственными интеллектуальными системами, так и результатами их решения.

Китайский математик Баоден Лю, автор книги «Теория и практика неопределенного программирования», представил замкнутое, подробное и соответствующее современным требованиям изложение теоретических основ неопределенного программирования, включая обсуждение принципов построения соответствующих оптимизационных моделей, а также алгоритмов, обеспечивающих решение разнообразных задач с использованием этих моделей. В числе рассматриваемых прикладных проблем: транспортные задачи, моделирование систем управления запасами, задачи составления кормовых смесей, моделирование производственного процесса, проблемы водоснабжения, задача размещения и распределения оборудования, задача распределения капиталовложений, задача топологической оптимизации, задача маршрутизации движения транспорта, оптимизации резервирования, задача о критическом пути, задача составления расписания параллельно действующих машин.

ISBN 5-94774-241-1



9 785947 742411

АДАПТИВНЫЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Б. Лю

# теория и практика неопределенного программирования

Перевод с английского  
Ю. В. Тюменцева, Ю. Т. Каганова

под редакцией  
Ю. В. Тюменцева



Москва  
БИНОМ. Лаборатория знаний  
2005

УДК 517.11+519.92

ББК 22.18

Л93

Лю Б.

Л93 Теория и практика неопределенного программирования / Б. Лю; Пер. с англ. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. — 416 с.: ил. — (Адаптивные и интеллектуальные системы)

ISBN 5-94774-241-1 (русск.)

ISBN 3-7908-1490-3 (англ.)

В книге дается замкнутое, подробное изложение аппарата неопределенного программирования, включая обсуждение принципов построения соответствующих оптимизационных моделей, а также алгоритмов, обеспечивающих решение разнообразных прикладных задач с использованием этих моделей. Рассмотрены: транспортные задачи, моделирование систем управления запасами, задачи составления кормовых смесей, моделирование производственного процесса, проблемы водоснабжения, задача размещения и распределения оборудования, задача распределения капиталовложений, задача топологической оптимизации, задача маршрутизации движения транспорта, оптимизации резервирования, задача о критическом пути, задача составления расписания параллельно действующих машин.

Книга ориентирована на исследователей, инженеров и студентов, специализирующихся в области исследования операций, теории систем, информатики, организационного управления и техники.

УДК 517.11+519.92

ББК 22.18

---

Научное издание

Лю Баодин

**Теория и практика неопределенного программирования**

Ведущий редактор *И. Махова*

Художник *Н. Лозинская*

Художественный редактор *О. Лапко*

Оригинал-макет подготовлен *О. Лапко*

в пакете  $\text{\LaTeX} 2_{\epsilon}$  с использованием

кириллических шрифтов семейства LN

Подписано в печать 16.05.05 г. Формат 70 × 100/16

Гарнитура Computer Modern. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 33,8. Тираж 2000 экз. Заказ 3121

Издательство «БИНОМ. Лаборатория знаний»

Адрес для переписки: Москва, 119071, а/я 32

Телефон (095)955-0398, e-mail: Lbz@aha.ru, <http://www.Lbz.ru>

Отпечатано с готовых диапозитивов

в полиграфической фирме «Полиграфист»

160001, г. Вологда, ул. Челюскинцев, 3

---

Translation from the English language  
edition: *Theory and Practice of Uncertain  
Programming* by Baoding Liu

Copyright © Physica-Verlag Heidelberg, 2002  
Springer-Verlag is a company in the  
Bertelsmann Springer publishing group.  
All Rights Reserved

© Ю. В. Тюменцев, Ю. Т. Каганов, 2005

© БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005

ISBN 5-94774-241-1 (русск.)

ISBN 3-7908-1490-3 (англ.)

# Оглавление

О серии «Адаптивные и интеллектуальные системы» .....	12
Предисловие редактора перевода .....	17
Предисловие .....	20
<b>Часть I. Теоретические основы</b> .....	<b>23</b>
<b>Глава 1. Математическое программирование</b> .....	<b>23</b>
1.1. Линейное программирование .....	23
1.2. Нелинейное программирование .....	25
1.3. Многокритериальное программирование .....	27
1.4. Целевое программирование .....	29
1.5. Целочисленное программирование .....	31
1.6. Динамическое программирование .....	32
1.7. Многоуровневое программирование .....	33
1.8. На пути к неопределенному программированию .....	35
<b>Глава 2. Генетические алгоритмы</b> .....	<b>39</b>
2.1. Структура представления решения .....	40
2.2. Манипулирование ограничениями .....	40
2.3. Процесс инициализации .....	41
2.4. Функция оценки .....	42
2.5. Процесс отбора .....	44
2.6. Операция кроссинговера .....	44
2.7. Операция мутации .....	45
2.8. Процедура генетического алгоритма .....	45
2.9. Численные примеры .....	47
<b>Глава 3. Нейронные сети</b> .....	<b>51</b>
3.1. Искусственные нейроны .....	52
3.2. Многослойная сеть прямого распространения .....	53
3.3. Аппроксимация функций .....	54
3.4. Определение структуры сети .....	55
3.5. Алгоритм обратного распространения ошибки .....	55
3.6. Обучение нейронных сетей с помощью генетических алгоритмов .....	57
3.7. Численные примеры .....	58

<b>Часть II. Стохастическое программирование</b> .....	60
<b>Глава 4. Случайные величины</b> .....	60
4.1. Вероятностное пространство и случайные величины .....	60
4.2. Оператор математического ожидания .....	62
4.3. Оптимистические и пессимистические значения .....	63
4.4. Ранжирование случайных величин .....	65
4.5. Закон больших чисел .....	66
4.6. Получение случайных чисел .....	66
4.7. Статистическое моделирование .....	77
<b>Глава 5. Стохастические модели ожидаемого значения</b> .....	81
5.1. Основные модели .....	82
5.2. Теорема выпуклости .....	83
5.3. Стохастическое программирование с регрессом .....	84
5.4. Гибридный алгоритм .....	84
5.5. Оптимизация резервирования .....	87
5.6. Размещение и распределение объектов .....	93
5.7. Составление расписания для параллельно действующих машин .....	96
5.8. Всегда ли обоснованно использование моделей ожидаемого значения? .....	99
<b>Глава 6. Стохастическое программирование с вероятностными ограничениями</b> .....	101
6.1. Вероятностные ограничения .....	102
6.2. Максимальное программирование с вероятностными ограничениями .....	102
6.3. Минимальное программирование с вероятностными ограничениями .....	105
6.4. Детерминированные эквиваленты вероятностных ограничений .....	107
6.5. Теорема эквивалентности .....	110
6.6. Статистическое моделирование .....	111
6.7. Гибридный алгоритм .....	112
6.8. Задача составления кормовой смеси .....	114
6.9. Распределение капиталовложений .....	116
6.10. Открытые сети запасов .....	118
6.11. Топологическая оптимизация .....	123
6.12. Задача выбора маршрутов для транспортных средств .....	125
6.13. Оптимизация резервирования .....	134
6.14. Размещение и распределение объектов .....	135
6.15. Задача о критическом пути .....	136
6.16. Составление расписания для параллельно действующих машин .....	140

Глава 7. Стохастическое событийное программирование .....	142
7.1. Неопределенная среда, событие и вероятностная функция события .....	143
7.2. Принцип неопределенности .....	146
7.3. Однокритериальное событийное программирование .....	147
7.4. Многокритериальное событийное программирование .....	149
7.5. Целевое событийное программирование .....	150
7.6. Гибридный алгоритм .....	151
7.7. Задача водоснабжения .....	154
7.8. Производственный процесс .....	157
7.9. Открытые сети запасов .....	159
7.10. Распределение капиталовложений .....	160
7.11. Топологическая оптимизация .....	161
7.12. Задача выбора маршрутов для транспортных средств .....	163
7.13. Оптимизация резервирования .....	165
7.14. Задача о критическом пути .....	167
7.15. Составление расписания для параллельно действующих машин .....	168
7.16. Размещение и распределение объектов .....	170
7.17. Лотерея «Выбери шесть номеров» .....	171
Часть III. Нечеткое программирование .....	173
Глава 8. Нечеткие величины .....	173
8.1. Возможностное пространство и нечеткие величины .....	173
8.2. Нечеткая арифметика .....	176
8.3. Меры возможности, необходимости и правдоподобия .....	178
8.4. Оптимистические и пессимистические значения .....	182
8.5. Оператор ожидаемого значения .....	184
8.6. Ранжирование нечетких величин .....	188
8.7. Нечеткое моделирование .....	188
Глава 9. Нечеткие модели ожидаемого значения .....	192
9.1. Общие модели .....	192
9.2. Теорема выпуклости .....	194
9.3. Гибридный алгоритм .....	194
9.4. Оптимизация резервирования .....	197
9.5. Составление расписания для параллельно действующих машин .....	198
9.6. Размещение и распределение объектов .....	199
Глава 10. Нечеткое программирование с возможностными ограничениями .....	202
10.1. Возможностные ограничения .....	202
10.2. Максимальное программирование с возможностными ограничениями .....	203

10.3.	Минимаксное программирование с возможностными ограничениями . . . . .	205
10.4.	Разновидности моделей программирования с возможностными ограничениями. . . . .	206
10.5.	Четкие эквиваленты моделей нечеткого программирования с возможностными ограничениями . . . . .	209
10.6.	Гибридный алгоритм. . . . .	212
10.7.	Задача распределения капиталовложений. . . . .	214
10.8.	Оптимизация резервирования. . . . .	216
10.9.	Задача выбора маршрута для транспортного средства . . . . .	217
10.10.	Проблема критического пути . . . . .	219
10.11.	Составление расписания для параллельно действующих машин . . . . .	221
10.12.	Размещение и распределение объектов. . . . .	222
Глава 11.	<b>Нечеткое событийное программирование</b> . . . . .	223
11.1.	Принцип неопределенности . . . . .	223
11.2.	Событийное программирование . . . . .	224
11.3.	Разновидности задачи событийного программирования . . . . .	226
11.4.	Гибридный алгоритм. . . . .	226
11.5.	Оптимизация резервирования. . . . .	230
11.6.	Составление расписания для параллельно действующих машин . . . . .	232
11.7.	Размещение и распределение объектов. . . . .	233
11.8.	Задача выбора маршрута для транспортных средств. . . . .	233
11.9.	Задача о критическом пути. . . . .	234
Глава 12.	<b>Нечеткое программирование с нечеткими решениями</b> . . . . .	236
12.1.	Нечеткие решения . . . . .	236
12.2.	Модели ожидаемого значения. . . . .	237
12.3.	Максимаксное программирование с возможностными ограничениями . . . . .	238
12.4.	Минимаксное программирование с возможностными ограничениями . . . . .	239
12.5.	Событийное программирование . . . . .	240
12.6.	Нечеткие нейронные сети. . . . .	242
12.7.	Гибридный алгоритм. . . . .	243
Часть IV.	<b>Неточное программирование</b> . . . . .	250
Глава 13.	<b>Неточные величины</b> . . . . .	250
13.1.	Пространство приближений и неточные величины . . . . .	250
13.2.	Неточная арифметика. . . . .	253
13.3.	Мера доверия . . . . .	254
13.4.	Оптимистические и пессимистические значения . . . . .	256
13.5.	Оператор ожидаемого значения . . . . .	258



13.6. Ранжирование неточных величин . . . . .	260
13.7. Неточное имитационное моделирование . . . . .	260
<b>Глава 14. Неточное программирование . . . . .</b>	<b>263</b>
14.1. Модели ожидаемого значения . . . . .	263
14.2. Максимальное программирование с ограничениями на шансы . . . . .	266
14.3. Минимальное программирование с ограничениями на шансы	267
14.4. Событийное программирование . . . . .	269
14.5. Гибридный алгоритм . . . . .	271
<b>Часть V. Нечетко-случайное программирование . . . . .</b>	<b>275</b>
<b>Глава 15. Нечетко-случайные величины . . . . .</b>	<b>275</b>
15.1. Нечетко-случайные величины . . . . .	275
15.2. Нечетко-случайная арифметика . . . . .	277
15.3. Свойства измеримости . . . . .	279
15.4. Оператор ожидаемого значения . . . . .	280
15.5. Элементарная мера шансов . . . . .	281
15.6. Разновидности меры шансов . . . . .	283
15.7. Оптимистические и пессимистические значения . . . . .	286
15.8. Ранжирование нечетко-случайных величин . . . . .	287
15.9. Нечетко-случайное имитационное моделирование . . . . .	288
<b>Глава 16. Нечетко-случайные модели ожидаемого значения . . . . .</b>	<b>292</b>
16.1. Модели общего вида . . . . .	292
16.2. Теорема выпуклости . . . . .	293
16.3. Гибридный алгоритм . . . . .	294
<b>Глава 17. Нечетко-случайное программирование с ограничениями на шансы . . . . .</b>	<b>297</b>
17.1. Ограничения на шансы . . . . .	297
17.2. Максимальное программирование с ограничениями на шансы . . . . .	298
17.3. Минимальное программирование с ограничениями на шансы	300
17.4. Разновидности моделей программирования с ограничениями на шансы . . . . .	302
17.5. Гибридный алгоритм . . . . .	303
<b>Глава 18. Нечетко-случайное событийное программирование . . . . .</b>	<b>307</b>
18.1. Принцип неопределенности . . . . .	307
18.2. Событийное программирование . . . . .	308
18.3. Разновидности моделей событийного программирования . . . . .	310
18.4. Гибридный алгоритм . . . . .	311

<b>Часть VI. Случайно-нечеткое программирование</b> .....	315
<b>Глава 19. Случайно-нечеткие величины</b> .....	315
19.1. Случайно-нечеткие величины.....	315
19.2. Случайно-нечеткая арифметика.....	317
19.3. Оператор ожидаемого значения.....	318
19.4. Элементарная мера шансов.....	320
19.5. Разновидности меры шансов.....	321
19.6. Оптимистические и пессимистические значения.....	324
19.7. Ранжирование случайно-нечетких величин.....	325
19.8. Случайно-нечеткое имитационное моделирование.....	325
<b>Глава 20. Случайно-нечеткие модели ожидаемого значения</b> .....	329
20.1. Модели общего вида.....	329
20.2. Теорема выпуклости.....	330
20.3. Гибридный алгоритм.....	331
<b>Глава 21. Случайно-нечеткое программирование с ограничениями на шансы</b> .....	334
21.1. Ограничения на шансы.....	334
21.2. Максимальное программирование с ограничениями на шансы.....	335
21.3. Минимальное программирование с ограничениями на шансы.....	337
21.4. Теорема эквивалентности.....	339
21.5. Разновидности моделей программирования с ограничениями на шансы.....	340
21.6. Гибридный алгоритм.....	341
<b>Глава 22. Случайно-нечеткое событийное программирование</b> .....	346
22.1. Принцип неопределенности.....	346
22.2. Событийное программирование.....	347
22.3. Разновидности моделей событийного программирования.....	349
22.4. Гибридный алгоритм.....	349
<b>Часть VII. Общие принципы</b> .....	354
<b>Глава 23. Многократная неопределенность</b> .....	354
23.1. Случайно-неточные величины.....	354
23.2. Неточно-случайные величины.....	356
23.3. Нечетко-неточные величины.....	357
23.4. Неточно-нечеткие величины.....	358
23.5. Бислучайные величины.....	359
23.6. Бинечеткие величины.....	361
23.7. Бинеточные величины.....	362
23.8. Разновидности мер шансов.....	363
23.9. Ранжирование неопределенных величин.....	364
23.10. Неопределенные величины с многократной неопределенностью.....	364

<b>Глава 24. Неопределенное программирование</b> .....	366
24.1. В чем польза от неопределенного программирования? .....	366
24.2. Модели среднего ожидаемого значения .....	368
24.3. Максимумные модели программирования с ограничениями на шансы .....	369
24.4. Минимумные модели программирования с ограничениями на шансы .....	370
24.5. Событийное программирование .....	371
24.6. Неопределенное динамическое программирование .....	372
24.7. Неопределенное многоуровневое программирование .....	374
24.8. $\Psi$ -диаграмма .....	377
24.9. Имитационное моделирование + нейронная сеть + генетиче- ский алгоритм .....	379
24.10. Имитационное моделирование + нейронная сеть + имитаци- онный отжиг .....	380
24.11. Имитационное моделирование + нейронная сеть + табу- поиск .....	381
24.12. Направления дальнейших исследований .....	382
<b>Литература</b> .....	383
<b>Дополнительная литература</b> .....	398
<b>Перечень часто используемых символов</b> .....	403
<b>Предметный указатель</b> .....	405