Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

В. А. Топчий, Рецензия на книгу: Chen H., Yao D. D.
“Fundamentals of Queueing Networks”, *Теория веро-
ятн. и ее примен.*, 2003, том 48, выпуск 3, 633–635

DOI: <https://doi.org/10.4213/tvp279>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 44.207.124.84

26 апреля 2023 г., 09:34:12

© 2003 г.

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

Chen H., Yao D. D. *Fundamentals of Queueing Networks. Applications of Mathematics*, v. 46. New York: Springer-Verlag, 2001, xvii+405 p.

В книге известных специалистов по случайным процессам в сетях массового обслуживания собраны основания данной теории, начиная с простейших мультипликативных сетей до современных диффузионных и жидкостных аппроксимаций, стохастических сравнений, устойчивости, контроля и оптимизации сетей массового обслуживания. Книга основана на публикациях авторов и неоднократно читаемых курсах лекций в университете Британской Колумбии и Колумбийском университете. Она ориентирована на широкий круг читателей от студентов до инженеров и исследователей в различных отраслях науки.

Книга состоит из 12 глав, которые в соответствии с их содержанием можно разбить на 3 большие группы. Первая группа глав (с первой по четвертую) охватывает модели, являющиеся цепями Маркова, включая классические сети Джексона и Келли, основные понятия квазиобратимых очередей и стохастических сравнений. Во второй группе глав (с пятой по десятую) рассматриваются броуновские модели, включая предельные теоремы для обобщенных сетей Джексона и подкласса сетей с обслуживанием без возвращения (прямого распространения), проводится подробный анализ общего подкласса сетей со смесью приоритетов и дисциплины обслуживания в порядке поступления (FIFO). В завершающей группе (главы 11 и 12), используя методы типа законов сохранения, полиматроидной оптимизации и линейного программирования, авторы обсуждают планирование и организацию очередей как в стохастических, так и в жидкостных (детерминированных) моделях сетей.

Книга начинается с анализа свойств процесса рождения и гибели. При помощи этой модели авторы демонстрируют основные проблемы, возникающие при анализе более общих моделей и процессов. Затем определяются открытые, замкнутые и полукоткрытые сети Джексона, исследуются и вычисляются пропускные способности в замкнутой сети, обсуждается проблема обращения времени. В нескольких следующих разделах также рассматриваются сети Джексона, но внимание сосредоточено на структурных свойствах, определяющих качественное поведение сетей. Для сетей Джексона основные характеристики определяются в явном виде и с их помощью удобно изучать качественное поведение системы, а также наглядно демонстрировать роль различных ресурсов и параметров управления. Далее обсуждается один из плодотворнейших подходов: исследование стационарных цепей Маркова вместе с их обращением по времени. Показано, что сеть Джексона с инвариантным распределением сохраняет пуассоновское свойство входящих процессов, т.е. на выходе получаются также пуассоновские процессы. Это «пуассоновский-в-пуассоновский-из» свойство — основной мотив для определения и изучения в рассматриваемом разделе класса квазиобратимых систем массового обслуживания. Этот класс является обобщением $M/M(n)/1$ систем, которые выбираются в качестве узлов в сети Джексона, с заданием классов работ и довольно общими входящими потоками и дисциплинами обслуживания, при сохранении свойства «пуассоновский-в-пуассоновский-из». Рассмотрен класс сетей Келли, который включает набор квазиобратимых очередей с довольно общими схемами маршрутизации, при сохранении основных свойств сетей Джексона, а именно мультипликативности и «пуассоновский-в-пуассоновский-из» свойства.

Следующая группа глав начинается с описания основных асимптотических подходов при исследовании случайных процессов и, в частности, при получении предельных теорем для сетей и очередей. Здесь приводятся определения и свойства винеровских процессов, различные условия сходимости, теорема Донскера, функциональные усиленный закон больших чисел и закон повторного логарифма, результаты об экспоненциальной скорости сходимости ряда последовательностей процессов. Исследования начинаются с асимптотических свойств изолированной станции типа $G/G/1$. Для очереди и процессов обслуживания в этой одноканальной системе доказываются функциональный усиленный закон больших чисел, функциональный закон повторного логарифма, функциональная центральная предельная теорема, а также теоремы о сильных аппроксимациях (с равномерными оценками на растущем временном интервале в смысле почти наверное). Кроме того, показано, что скорость сходимости для жидкостных аппроксимаций экспоненциальна. Приведенные асимптотические результаты позволяют исследовать обобщенные сети Джексона, в которых входные потоки являются не обязательно пуассоновскими, а времена обслуживания могут быть зависимыми, что означает отказ от экспоненциальных распределений. Правда, при этом времена обслуживания не должны зависеть от состояния узла сети. В отличие от обычных сетей Джексона, стационарные распределения обобщенных сетей Джексона не могут быть, как правило, записаны в явном аналитическом виде. Однако упомянутые выше приближения и предельные теоремы часто применимы для их описания. Далее внимание сосредотачивается на модели Кумара–Сидмана с двумя многоканальными станциями (по два типа работ на каждой). На ее основе строится соответствующая жидкостная модель сети, которая применяется для исследования устойчивости исходной сети, в частности, для нахождения жидкостного и диффузионного пределов. В сети прямого распространения заявки на каждую станцию приходят или из внешнего источника, или от станций более низкого ранга. Это дает возможность проводить анализ сети рекурсивным способом, по упорядоченным переходам со станции на станцию с более высоким номером или по выходам из сети. Показано, что если процесс поступления заявок для отдельной станции приближается с помощью функционального закона повторного логарифма или сильной аппроксимации, то процесс на выходе также имеет подобное приближение. Анализируются также сети прямого распространения с обслуживанием заявок в порядке поступления (FIFO-дисциплиной). В дополнение к предельным теоремам предложены приближения для ряда качественных характеристик сети таких, как длина очереди и времена пребывания, приводятся численные примеры, иллюстрирующие точность приближений. В последней главе данного раздела развивается общая методология диффузионных приближений (на основе семимартингалного процесса отраженного броуновского движения) для сетей более общего вида, чем рассмотрены ранее.

Последняя часть монографии связана с классическими проблемами оптимизации. В главе 11 для стохастических сетей вводятся законы сохранения работ, суть которых в том, что можно менять дисциплины обслуживания на подмножествах, не меняя общий объем выполняемых работ, и обобщенные законы сохранения работ. В последних дополнительно учитываются предстоящие работы, что формально требует определения обобщенных полиматроидов и допускает использование во вводимых функциях множеств коэффициентов, отличных от 0 или 1, используемых в обычных законах. В этом случае оптимизация (управление) стохастической системой сводится к оптимизации на политопе с матроидной структурой, которая проводится стандартными методами линейного программирования. Рассматриваемая глава включает в себя большое количество содержательных примеров. Завершается книга главой о планировании в жидкостных моделях сетей, содержащих несколько станций или буферов с различными характеристиками потоков. Рассматриваются линейные функционалы от уровней (объемов) жидкостей на узлах с динамическим управлением их пропускной способностью. Изучается также минимум функционала по управлению во вре-

мени. Показано, что локальная оптимизация в каждый момент времени не приводит к глобальной оптимизации (существованию некоторой стратегии, оптимальной для всего временного интервала). Рассмотрен «жадный» алгоритм локальной оптимизации кусочно-линейной функции контроля, который не дает глобального оптимума, но приводит к устойчивому решению для жидкостной модели. Для одноканальной системы доказано, что используемый линейный алгоритм приводит к глобальному оптимуму.

Книга содержит обширный и интересный материал. Однако несколько удивляет однобокость литературных ссылок. Авторы положили в основу монографии большой цикл своих работ, однако все отражаемые в ней вопросы имеют богатую историю и рассматривались многочисленной группой исследователей. На наш взгляд, даже в книге учебного характера этому стоило бы уделить больше внимания. В качестве примеров источников, достойных упоминания можно указать книги *Baccelli F., Brémaud P. Elements of Queueing Theory. Palm Martingale Calculus and Stochastic Recurrences, Applications of Mathematics*, 2nd ed. Berlin: Springer-Verlag, 2002, X+306 p. и *Prabhu N. U. Stochastic Storage Processes. Queues, Insurance Risk, Dams, and Data Communication*, 2nd ed. New York: Springer-Verlag, 1998, XVI+206 p., вышедшие в той же серии «Применения математики. Стохастическое моделирование и приложения теории вероятностей» (тома 15 и 26).

Несмотря на эти недочеты, книга будет полезна как для первоначального знакомства с предметом, так и для того, чтобы освежить в памяти известные специалистам методы.

23.X.2002

В. А. Тончий

Hernández-Lerma O., Lasserre J. B. Further Topics on Discrete-Time Markov Control Processes. New York: Springer-Verlag, 1999, xiv+276 p.

Предположим, что переходная вероятность $Q(dx_{t+1}|x_t, a_t)$ однородной цепи Маркова со значениями в борелевском пространстве X зависит от «управления» $a_t \in A(x_t)$, выбранного в текущий момент времени. Здесь $A(x)$ — измеримые подмножества данного борелевского пространства A ; $K = \{(x, a) | x \in X, a \in A(x)\}$. В этом случае мы имеем «управляемую цепь Маркова» или «марковский процесс принятия решений». Естественно, a_t не может зависеть от будущих состояний $x_{t+1}, \dots$. Вообще говоря, стратегией управления называют произвольное правило (возможно, зависящее от прошлого и рандомизированное) выбора управлений a_t . Предполагается, что задана функция потерь на одном шаге $c(x_t, a_t)$, и цель управления заключается в построении стратегии, минимизирующей аддитивные ожидаемые потери, играющие роль показателя качества. Подобные математические модели изучались во многих хорошо известных монографиях [1], [2]. Строгое определение стратегии управления π и построение соответствующей вероятностной меры на $(X \times A)^\infty$ при произвольном фиксированном начальном распределении ν достаточно традиционны; E_ν^π — соответствующий оператор математического ожидания.

Общие борелевские модели являются сложными математическими объектами. Но если мы рассмотрим «полунепрерывную модель» (т.е. $A(x)$ — компакты, $c(\cdot)$ полунепрерывна снизу и $Q(\cdot)$ — непрерывное ядро), то нет нужды вводить аналитические множества, универсальную измеримость и другие специальные конструкции. Подобные модели часто рассматриваются в литературе, обычно при дополнительных условиях на функцию потерь, которая полагается ограниченной снизу (и/или сверху). Это условие гарантирует, что показатель качества корректно определен при всех стратегиях. Другими словами, если $f(y)$ — измеримая ограниченная действительная функция, то интеграл $\int_Y f(y) p(dy)$ существует для любой вероятностной меры p на борелевском пространстве Y . Одна из первых работ, посвященных моделям с неограниченными потерями, — это статья С. Липпмана [4], который подметил следующий