

543.42(049.3)

НЕЛИНЕЙНЫЕ МЕТОДЫ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Nonlinear Methods in Spectral Analysis/Ed. S. Haykin.— Berlin; Heidelberg; New York; Tokyo: Springer-Verlag, 1983. — 263 p.— (Topics in Applied Physics, V. 34).

Содержание: 1. С. Хайкин — Введение. 2. С. Хайкин, С. Кеслер — Предсказание ошибок фильтрации и спектральное оценивание методом максимальной энтропии. 3. Т. Дж. Ульрих, М. Ое — Авторегрессионная модель, смешанная авторегрессионная модель со скользящим средним и спектры. 4. Е. А. Робинсон — Итерационная процедура спектрального оценивания методом наименьших квадратов для авторегрессионной модели со скользящим средним. 5. Дж. Капон — Спектральное оценивание методом максимальной правдоподобия. 6. Р. Н. Мк. Доноф — Применение методов максимального правдоподобия и максимальной энтропии к обработке данных антенных решеток. 7. С. Хайкин, С. Кеслер, Е. А. Робинсон — Современное состояние теории спектрального оценивания.

Рецензируемая книга посвящена современным методам анализа временных рядов, к которым сводятся многие задачи науки, техники и управления. Временные ряды представляют собой семейство случайных величин x_t на некотором интервале времени T . Типичным примером временного ряда является последовательный во времени набор экспериментальных характеристик случайного процесса. Обычно рассматриваются стационарные временные ряды. Для их описания при учете двух первых моментов ряда достаточно определения спектральной функции процесса. Однако, поскольку нам известны значения только на конечном временном интервале, требуются определенные предположения о величинах x_t , лежащих вне этого интервала. В рамках линейных методов эти значения задаются априорным образом. Например, по известным значениям x_t вычисляется автокорреляционная функция процесса и умножается на весовую функцию, стремящуюся к нулю за пределами времени наблюдения. Фурье-преобразование этого произведения дает оценку спектральной плотности. Однако выбор весовой функции никак не обусловлен свойствами исследуемого стохастического процесса, что может приводить к значительным ошибкам.

С конца 60-х годов начинают развиваться методы нелинейного спектрального анализа, в которых значения x_t , лежащие вне интервала T , определяются через известные x_t . Именно эти методы и их приложения рассмотрены в рецензируемой книге. Подробно изложен метод максимальной энтропии. Идея его состоит в получении спектральной плотности, соответствующей наиболее неопределенной, непредсказуемой полной совокупности значений x_t , автокорреляционная функция которой согласуется с известной совокупностью значений x_t , лежащих внутри интервала T . В терминах теории информации это соответствует максимальному значению энтропии.

Для сигнала, поступающего в набор пространственно разделенных детекторов, значения волнового вектора k_x лежат в определенном интервале. При построении функции правдоподобия необходимо оптимально использовать имеющиеся данные. В методе максимальной правдоподобия применяется то же предположение о наиболее неопределенной, непредсказуемой совокупности значений k_x , лежащих за пределами наблюдения.

Большим достоинством книги является четкое изложение алгоритмической стороны методов максимальной энтропии и максимального правдоподобия, что делает ее удобной для практического использования в вычислительной работе.

Подробно рассмотрены приложения указанных методов к задачам радиолокации, сейсмологии и геофизики. Отметим, в частности, такие вопросы, как анализ сейсмограмм, определение подземных ядерных испытаний, гидроакустическая локация, исследование движения полюсов Земли. В анализе конкретных задач рассматриваемые нелинейные методы оказываются существенно более эффективными, чем линейные. Они дают большее разрешение, более надежное прогнозирование, позволяют использовать оптимальные детекторы. Значение рецензируемой книги состоит прежде всего в том, что в ней последовательно применяются методы теории информации. В физике теоретико-информационный подход дает возможность наиболее полного и последовательного использования экспериментальных данных при анализе процессов, а также возможность построения адекватных и содержательных моделей физических явлений. До последнего времени эти возможности недооценивались, и в монографической литературе существовал в этом плане определенный пробел. Данная книга его в значительной мере восполняет.

В книге имеются и недостатки. Это, в частности, практическое отсутствие ссылок на работы советских авторов. В ней также нет анализа взаимосвязи рассматриваемых методов с подходом, интенсивно развивающимся в теоретической кибернетике в области синтеза оптимальных структур и оптимального управления (см. например: «Современные методы идентификации систем» /Под ред. Л. Эйсхоффа.— М.: Мир, 1983). В книге также не представлены в полной мере возможности построения содержательных моделей стохастических процессов. Например, не отображено такое важное для физики направление, как построение моделей на основе связи статистических характеристик сигнала с динамическими свойствами объекта, развивавшееся в работах Л. И. Гудзенко (см. Гудзенко Л. И.— Изв. вузов. Сер. «Радиофизика», 1962, т. 5, с. 572, Гудзенко Л. И., Чертопруд В. Е.— Тр. ФИАН СССР, т. 120, с. 167).

В целом, однако, области приложения методов, рассмотренных в книге, непрерывно расширяются. Она написана простым и ясным языком, дает хорошее введение в предмет и может быть рекомендована широкому кругу физиков, работающих в области статистических методов, кинетики, исследования стохастических процессов, обработки экспериментальных данных.

В. Д. Вайнштейн, Л. А. Шелепин