### О.А. Степанов Применение теории нелинейной фильтрации в задачах обработки навигационной информации.

СПб.: ГНЦ РФ «ЦНИИ «Электроприбор», 2003 г.- 370 с. ISBN 5-900780-45-7

© ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2011   
  
ISBN 978-5-91995-008-0.

**УДК 621.391**  
Излагаются основы и специфика применения методов теории нелинейной фильтрации марковских последовательностей и процессов в задачах обработки навигационной информации.  
Рассматриваются подходы, используемые при решении различного рода нелинейных задач, при этом значительное внимание уделяется тем из них, в которых применение алгоритмов, основанных на линеаризации, неприемлемо. Анализ методов проводится с позиций выбора таких способов аппроксимации апостериорной плотности, которые порождают удобные для реализации алгоритмы.  
Исследуются пути вычисления потенциальной точности в задачах нелинейной фильтрации, в том числе с применением процедур, основанных на использовании неравенства Рао - Крамера и направленных на отыскание нижних границ точности. Приводятся алгоритмы, обеспечивающие нахождение этих границ, и обсуждается их связь с алгоритмами вычисления матриц ковариаций ошибок фильтрации в линейной и линеаризованных задачах.   
В качестве примеров рассматриваются: задача коррекции навигационной системы с использованием внешней информации, в частности параметров различных геофизических полей; задача выставки инерциальной навигационной системы при большой неопределенности по курсу; задачи обработки радиотехнической информации; задачи совмещения случайных процессов и последовательностей, необходимость решения которых возникает, например, при разработке средств пассивной локации. Проводится сравнительный анализ подходов и алгоритмов, применяемых при решении различных задач обработки навигационной информации. Книга предназначена для специалистов, занимающихся проектированием алгоритмов обработки навигационной информации, а также для научных работников, аспирантов и студентов, связанных с разработкой информационно-измерительных систем

**С О Д Е Р Ж А Н И Е**

|  |  |
| --- | --- |
| **Введение** | **3** |
| **Глава 1. Основы теории нелинейной фильтрации** | **11** |
| **Введение** | **11** |
| 1.1. Случайные величины. Основные характеристики и правила преобразования | 12 |
| 1.2. Решение задачи оценивания на основе байесовского подхода | 18 |
| 1.3. Решение задачи оценивания на основе небайесовского подхода. Метод наименьших квадратов | 27 |
| 1.4. Сравнительная характеристика двух подходов. Связь байесовских и небайесовских оценок | 30 |
| 1.5. Основные сведения из теории случайных процессов | 35 |
| 1.6. Марковские последовательности. Дискретизация марковских процессов | 46 |
| 1.7. Постановка и решение задачи фильтрации марковских последовательностей | 50 |
| 1.8. Постановка и решение задачи фильтрации марковских процессов. Уравнение Стратоновича | 56 |
| **Глава 2. Анализ особенностей задач обработки навигационной информации** | **61** |
| **Введение** | **61** |
| 2.1. Основное содержание, классификация и пути решения навигационных задач | 61 |
| 2.2. Типовые марковские процессы, используемые в задачах обработки навигационной информации | 68 |
| 2.3. Принцип распределения информации и его использование при обработке навигационной информации | 77 |
| 2.4. Особенности нелинейных задач фильтрации, решаемых при обработке навигационной информации | 86 |
| 2.5. Особенности нелинейных задач обработки радиотехнической информации | 93 |
| 2.6. Задача комплексной обработки данных от двух измерителей. Инвариантный алгоритм | 100 |
| 2.7. Задача комплексной обработки данных от двух измерителей при использовании дополнительной априорной информации | 106 |
| **Глава 3. Методы синтеза алгоритмов нелинейной фильтрации марковских последовательностей** | **111** |
| **Введение** | **111** |
| 3.1. Линейная задача оценивания. Фильтр Калмана | 111 |
| 3.2. Алгоритмы нелинейной фильтрации марковских последовательностей, основанные на гайуссовской аппроксимации апостериорной плотности | 114 |
| 3.3. Аппроксимация апостериорной плотности с помощью дельта-функций. Метод сеток | 123 |
| 3.4. Полигауссовская аппроксимация апостериорной плотности. Пульсирующий фильтр | 129 |
| 3.5. Решение задач фильтрации на основе метода разделения | 134 |
| 3.6. Кусочно-гауссовская аппроксимация апостериорной плотности | 139 |
| 3.7. Линейная задача фильтрации при наличии дискретно-распределенной систематической составляющей ошибок | 148 |
| **Глава 4. Методы анализа потенциальной точности при решении задач нелинейной фильтрации марковских последова-тельностей** | **155** |
| **Введение** | **155** |
| 4.1. Метод Монте-Карло и его использование при решении задач анализа точности | 156 |
| 4.2. Применение метода Монте-Карло для нахождения оптимальных оценок | 158 |
| 4.3. Неравеноство Рао-Крамера в задачах оценивания | 161 |
| 4.4. Вычисление нижней границы точности в задачах фильтрации марковских последовательностей | 166 |
| 4.5. Связь нижней границы точности с решением ковариационного уравнения для линеаризованного варианта задачи фильтрации | 172 |
| **Глава 5. Особенности решения задач нелинейной фильтрации для непрерывного времени** | **180** |
| **Введение** | **180** |
| 5.1. Оценивание постоянных параметров по непрерывным измерениям. Функционал правдоподобия | 184 |
| 5.2. Алгоритмы нелинейной фильтрации в гауссовском приближении для непрерывного времени | 188 |
| 5.3. Метод разделения задачах с непрерывным временем | 193 |
| 5.4. Полигауссовские алгоритмы в задачах с непрерывным временем | 198 |
| 5.5. Группирование измерений. Комбинированные алгоритмы. Пульсирующий фильтр | 204 |
| 5.6. Метод косвенных и дополнительных переменных | 210 |
| 5.7. Неравенство Рао-Крамера в задачах с непрерывным временем | 217 |
| **Глава 6. Применение теории нелинейной фильтрации при синтезе алгоритмов и анализе точности в задачах коррекции** | **225** |
| **Введение** | **225** |
| 6.1. Постановка некоторых задача коррекции в рамках теории нелинейной фильтрации | 226 |
| 6.2. Определение нижней границы точности в задачах коррекции | 235 |
| 6.3. Исследование потенциальной точности в задачах коррекции | 247 |
| 6.4. Алгоритмы фильтрации в задачах коррекции для простейших моделей | 260 |
| 6.5. Алгоритмы фильтрации в задачах коррекции для моделей ошибок общего вида | 269 |
| **Глава 7. Применение теории нелинейной фильтрации в задаче выставки инерциальных навигационных систем** | **278** |
| **Введение** | **278** |
| 7.1. Постановка задачи выставки ИНС в рамках теории нелинейной фильтрации | 280 |
| 7.2. Определение нижней границы точности в задаче выставки ИНС | 282 |
| 7.3. Исследование эффективности использования фильтров Калмана в задаче выставки | 287 |
| 7.4. Анализ потенциальной точности в задаче выставки с использованием алгоритма, основанного на кусочно-гауссовском описании апостериорной плотности | 293 |
| 7.5. Исследование эффективности субоптимального алгоритма выставки на основе метода дополнительной переменной | 297 |
| **Глава 8. Использование теории нелинейной фильтрации в задачах обработки радиотехнической информации** | **304** |
| **Введение** | **304** |
| 8.1. Особенности алгоритмов нелинейной фильтрации в гаусовском приближении в задачах обработки радиотехнической инфомрации | 305 |
| 8.2. О применимости гауссовской аппроксимации апостериорной плотности в радиотехнических задачах | 311 |
| 8.3. Методы решения существенно нелинейных задач обработки радиотехнической информации | 318 |
| 8.4. Полигауссовская аппроксимация апостериорной плотности на основе метода дополнительной переменной | 323 |
| 8.5. Применение неравенства Рао-Крамера в задачах обработки радиотехнической информации | 328 |
| 8.6. Использвоание теории нелинейной фильтрации при обработке инфомрации в спутниковых навигационных системах | 332 |
| 8.7. Решение задач совмещения реализаций случайных последовательностей и процессов в рамках теории нелинейной фильтрации | 341 |
| *Литература* | 344 |
| *Приложение.* Основные обозначение | 363 |