

Эллипсоидальные фильтры для оперативной обработки сигналов в нелинейных стохастических системах

*Синицын И. Н., Синицын В. И., Белоусов В. В.,
Хоанг Тхо Ши*

VSinitsin@ipiran.ru

Москва, Институт проблем информатики Российской академии наук,
Московский физико-технический институт

Рассматриваются вопросы методического и программного обеспечения для синтеза нелинейных эллипсоидальных фильтров для оперативной обработки информации. Приводятся примеры применения.

Методическое обеспечение

Как известно [1, 2], статистическая информатика обладает обширным арсеналом эффективных статистических методов анализа и оперативной (быстрой) обработки сигналов. В задачах стандартного анализа сигналов в стохастических системах (СтС) обычно ограничиваются спектрально-корреляционными характеристиками, в то время как функционирование СтС в экстремальных условиях требует развития нестандартных методов анализа, основанных на одно- и многомерных распределениях. Для решения задачи анализа распределений в нелинейных СтС применяют следующие три принципиально различных подхода.

Первый подход состоит в использовании прямого численного решения уравнений СтС методом Монте-Карло.

Второй подход состоит в непосредственном составлении и интегрировании эволюционных функциональных уравнений, например, уравнений Фоккера-Планка-Колмогорова, Колмогорова-Феллера и их обобщений, а также уравнений Пугачева для характеристических функций.

Третий подход состоит в применении аналитических методов для приближенного решения уравнений, определяющих параметры одно- и многомерных распределений. К их числу относятся методы нормальной аппроксимации и статистической линеаризации, методы эквивалентной линеаризации, методы моментов, семиинвариантов, квазимоментов и их модификации, методы ортогональных разложений и др.

Радикальным подходом к сокращению числа уравнений для параметров распределения является подход, основанный на параметризации структуры распределения. Так, как обнаружено В. И. Синицыным, радикального сокращения числа уравнений для параметров распределения удается добиться для эллипсоидальной структуры распределения [1, 2, 3].

В докладе приведены новые теоретические результаты в области статистической информатики, среди которых следует выделить следующие:

- получены уравнения методов эллипсоидальной аппроксимации (МЭА) и линеаризации (МЭЛ) в непрерывных (дискретных) негауссовских СтС для анализа сигналов по априорным данным;
- выведены фильтрационные уравнения для эллипсоидальной обработки сигналов в непрерывных (дискретных) гауссовских СтС на основе апостериорных данных.

Практическая ценность работ состоит в том, что они являются основой для создания современных информационных технологий статистического анализа и синтеза сложных информационно-измерительных и информационных систем.

Программное обеспечение

Программное обеспечение (ПО) включает:

- ПО эллипсоидального анализа распределений сигналов по априорным данным (среда «MATLAB — СтС-АНАЛИЗ», шифр «СтС-Э.АНАЛИЗ», 12 модулей);
- ПО эллипсоидального анализа сигналов по апостериорным данным (среда «MATLAB — СтС-ФИЛЬТР», шифр «СтС-Э.ФИЛЬТР», 4 модуля).

Для замыкания уравнений для параметров ЭА разработаны приближенные рекуррентные формулы, связывающие старшие и младшие вероятностные моменты. Для использования МЭЛ созданы таблицы коэффициентов ЭЛ типовых нелинейностей.

Применения

1. Дано решение задачи анализа и фильтрации для нелинейных процессов в интерферометре Фабри-Перо. Построены квазилинейные стохастические модели обработки информации по априорным данным в нелинейном интерферометре Фабри-Перо на основе МСЛ и МЭЛ. Показано, что точность расчётов по МЭЛ, по сравнению с МСЛ, повышается в 1.5–2 раза и составляет 1–2%. Получены аналитические выражения для эффективных собственных частот регулярных колебаний и статистических характеристик флуктуаций. Эти выражения использованы для выбора оптимальных параметров интерферометра. Они позволяют избежать вычисления сложных эллиптических интегралов. Построены гауссовские и эллипсоидальные квазилинейные фильтры для обработки информации по апостериорным данным. Проведена оценка точности эллипсоидальных фильтров с помощью обобщенного фильтра Калмана-Бьюси (ОФКБ) и фильтра второго порядка. Эллипсоидальные фильтры целесообразно использовать только при больших коэффициентах негауссовости (свыше 30%).

2. Разработаны стохастические модели флуктуаций чандлеровских автоколебаний полюса Земли на основе априорных данных для нелинейного обобщенного релеевского механизма диссипации. Изучены основные вопросы статистической динамики автоколебаний полюса Земли. Разработаны квазилинейные стохастические модели флуктуаций полюса Земли на основе апостериорной информации. Оценена точность квазилинейных моделей с помощью моделей ОФКБ и фильтра второго порядка.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 07-07-00031 и Программы ОИТВС РАН «Фундаментальные основы информационных технологий и систем» (проект 1.5).

Литература

- [1] Пугачев В. С., Синицын И. Н. Теория стохастических систем, — Москва: Логос, 2000. — 1000 с. [пер. на англ. яз. Stochastic Systems. Theory and Applications. World Scientific. Singapore, 2001.], 2004 (2-е изд.).
- [2] Синицын И. Н. Фильтры Калмана и Пугачева. — Москва: Логос, 2006. — 640 с.
- [3] Синицын И. Н., Синицын В. И. Эллипсоидальный анализ распределений в стохастических системах и его применение // Научные технологии, 2006. — № 7–8. — С. 123–130.