

Программный комплекс для фильтрации сигналов в стохастических системах диффузионного и диффузионно-скачкообразного типа*

К. А. Рыбаков

Задачи фильтрации сигналов возникают при управлении движением в условиях случайных внешних воздействий и наличии ошибок в измерениях текущих параметров, в задачах навигации и позиционирования, в задачах радиотехники и др. Разработанный программный комплекс предназначен для моделирования траекторий стохастических дифференциальных систем, включающих объект наблюдения и измерительную систему, и оценки состояния объекта наблюдения по результатам измерений, т.е. для решения задачи фильтрации сигналов. Предполагается, что состояния объекта наблюдения и измерительной системы — скалярные величины. В основу реализованных алгоритмов положено приближенное решение задачи анализа вспомогательных стохастических систем с обрывами и ветвлениями траекторий с помощью метода статистических испытаний (Рыбаков К.А. Сведение задачи нелинейной фильтрации к задаче анализа стохастических систем с обрывами и ветвлениями траекторий // Дифф. уравн. и процессы управл. — 2012, № 3. — С. 91–110; Рыбаков К.А. Приближенное решение задачи оптимальной нелинейной фильтрации для стохастических дифференциальных систем методом статистических испытаний // Сиб. журн. вычисл. математики. — 2013, т. 16, № 4. — С. 377–391; Рыбаков К.А. Приближенный метод фильтрации сигналов в стохастических системах диффузионно-скачкообразного типа // Научный вестник МГТУ ГА. — 2014, № 207. — С. 54–60; Рыбаков К.А. Фильтрация сигналов в стохастических системах диффузионно-скачкообразного типа на основе метода статистических испытаний // Научный вестник МГТУ ГА. — 2015, готовится к публикации). Все предлагаемые методы и алгоритмы позволяют получить приближенное решение уравнений оптимальной нелинейной фильтрации — уравнения Дункана–Мортенсена–Закаи или его робастного варианта — для ненормированных апостериорных плотностей вероятности состояния объекта наблюдения при фиксированных измерениях.

*XIX Международная конференция по вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВМСППС'2015), Алушта, 24-31 мая 2015 г.: Материалы конф. – М.: МАИ, 2015. – С. 104–106.

Программный комплекс разработан на языке Object Pascal / Delphi в среде программирования Borland Delphi 7. Его основной целью является апробация новых методов и алгоритмов решения задачи оптимальной фильтрации сигналов в нелинейных стохастических системах диффузионного и диффузионно-скачкообразного типа, проведение сравнительного анализа этих методов и алгоритмов, а также выработка рекомендаций по их применению.

При помощи механизмов условной компиляции можно формировать четыре программы для каждого из двух типов стохастических систем: диффузионного и диффузионно-скачкообразного типа:

1) фильтрация сигналов в линейных стохастических системах с помощью моделирования и анализа вспомогательной стохастической системы, соответствующей уравнению Дункана–Мортенсена–Закаи;

2) фильтрация сигналов в линейных стохастических системах с помощью моделирования и анализа вспомогательной стохастической системы, соответствующей робастному уравнению Дункана–Мортенсена–Закаи;

3) фильтрация сигналов в нелинейных стохастических системах с помощью моделирования и анализа вспомогательной стохастической системы, соответствующей уравнению Дункана–Мортенсена–Закаи;

4) фильтрация сигналов в нелинейных стохастических системах с помощью моделирования и анализа вспомогательной стохастической системы, соответствующей робастному уравнению Дункана–Мортенсена–Закаи.

В случае фильтрации сигналов в линейных стохастических системах дополнительно моделируется фильтр Калмана–Бьюси, для нелинейных систем — обобщенный фильтр Калмана–Бьюси, необходимые для оценки точности и эффективности алгоритмов фильтрации сигналов с помощью анализа вспомогательных стохастических систем с обрывами и ветвлениями траекторий.

Стохастические дифференциальные уравнения, описывающие изменение состояния и измерений, решаются с помощью численных методов: метода Эйлера, модифицированного метода Эйлера, метода типа Розенброка. Для моделирования неоднородного пуассоновского потока обрывов, разрывов или ветвлений траекторий применяется метод «максимального сечения» (разрывы траекторий возникают при фильтрации сигналов в стохастических системах диффузионно-скачкообразного типа). Оценка состояния объекта наблюдения по результатам измерений строится по ансамблю траекторий вспомогательного случайного процесса с учетом обрывов и ветвлений на основе критериев минимума среднеквадратической ошибки оценивания, максимума апостериорной плотности вероятности или с помощью нахождения медианы апостериорного распределения. Для оценки плотностей вероятности строятся гистограммы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-08-00323-а).