

АЛГОРИТМ С МНОГОКРАТНОЙ ЛИНЕАРИЗАЦИЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ОДНОГО КЛАССА ЗАДАЧ НЕЛИНЕЙНОГО ОЦЕНИВАНИЯ

Исаев А.М. (ИТМО, АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»)

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор,

член-корреспондент РАН Степанов О.А.

(ИТМО, АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»)

Введение. Среди множества задач, связанных с комплексной обработкой измерительной информации, можно выделить ряд задач оценивания, апостериорная плотность в которых, являясь многоэкстремальной в начальные моменты времени, в процессе своей эволюции принимает одноэкстремальный вид, нередко близкий к гауссовскому [1]. При их решении традиционные рекуррентные алгоритмы, основанные на гауссовской аппроксимации апостериорной плотности [2,3], оказываются неработоспособными, а алгоритмы, использующие для описания вида апостериорной плотности значительный набор параметров [4,5], например, дельта-функций, зачастую оказываются сложными в вычислительном плане, что делает их малоприменимыми для применения в режиме реального времени.

Ранее авторами предложен алгоритм, названный рекуррентным итерационным сглаживающим пачечным линейризованным фильтром (РИС-ПЛФ) [6], являющийся по своей сути нерекуррентным алгоритмом, но при этом обладающий достоинством алгоритмов, построенных с использованием рекуррентной схемы, а именно низкой вычислительной нагрузкой. Это достигается за счет того, что вместо обращения матрицы высокой размерности на каждой итерации, используется рекуррентная процедура, обеспечивающая нахождения необходимых оценок путем решения задачи сглаживания. РИС-ПЛФ способен достигать точности оптимального оценивания, начиная с момента времени, когда вид апостериорной плотности становится одноэкстремальным. В силу сказанного требуется разработать процедуру, позволяющую выявлять этот момент времени, чему и посвящена настоящая работа.

Цель настоящей работы – предложить алгоритм, обладающий достоинствами РИС-ПЛФ и способностью в онлайн режиме выявлять момент времени, при котором апостериорная плотность становится одноэкстремальной.

Рекуррентный пачечный фильтр с многократной линейризацией. В работе предлагается рекуррентный пачечный фильтр с многократной линейризацией (РИС-ПМЛФ), основная суть которого заключается в одновременном использовании набора параллельно работающих РИС-ПЛФ, точки линейризации в которых не зависят от априорного математического ожидания, а выбираются исходя из тех или иных соображений. Целесообразно, например, расположение этих точек выбирать таким образом, чтобы их окрестности в совокупности покрывали зону априорной неопределенности. В целях экономии вычислительных ресурсов, после определения момента времени, при котором апостериорная плотность становится одноэкстремальной, алгоритм переходит от решения с использованием набора нерекуррентных алгоритмов к решению задачи с использованием одного рекуррентного итерационного фильтра Калмана, который в случае одноэкстремального распределения способен достигать точности оптимального оценивания и быть состоятельным. Таким образом, предлагаемый РИС-ПМЛФ основан на комбинированном использовании рекуррентных и нерекуррентных схем [6].

Заметим, что идея использовать многократную линейризацию при построении алгоритмов фильтрации сама по себе не нова. Такие алгоритмы ранее уже были предложены, например, в работах [7,8]. Однако, в отличие от предлагаемого в настоящей работе RI-BMLS, построены они были с использованием рекуррентной схемы, что ограничивает их применения при решении обсуждаемого в настоящей работе класса задач.

Выводы. Предложен РИС-ПМЛФ, обладающий достоинствами РИС-ПЛФ и способностью в онлайн режиме определять момент времени, при котором вид апостериорной плотности становится одноэкстремальным. Эффективность предлагаемого алгоритма иллюстрируются как на методическом примере, так и при решении практической задачи

обработки навигационной информации.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-19-00626,
<https://rscf.ru/project/23-19-00626/>.*

Список использованных источников:

1. Isaev, A., Stepanov, O. & Litvinenko, Y. Comparative analysis of recursive and nonrecursive linearization-based estimation algorithms. *Int. J. Dynam. Control* 13, 95 (2025). <https://doi.org/10.1007/s40435-025-01592-y>.
2. Степанов О.А. Методы обработки навигационной измерительной информации. СПб., 2017. 196 с.
3. Simon D. *Optimal State Estimation: Kalman H_∞ and Nonlinear Approaches* // New Jersey, NJ: John Wiley & Sons, Inc. – 2006.
4. Степанов О.А., Торопов А.Б. Применение последовательных методов Монте-Карло с использованием процедур аналитического интегрирования при обработке навигационной информации. XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. 2014. С. 3324-3337.
5. Doucet A., Freitas N. De., and Gordon N. *Sequential Monte Carlo Methods in Practice* // New York, NY, USA: Springer-Verlag – 2001.
6. О.А. Степанов, В.П. Золотаревич, Ю.А. Литвиненко, А.М. Исаев, А.В. Моторин, Алгоритмы оптимизации на графах в задачах обработки навигационной информации. Отличия и взаимосвязь с байесовскими алгоритмами оценивания // Материалы XXXI Санкт-Петербургской международной конференция по интегрированным навигационным системам. 2024.
7. С. П. Дмитриев, Л. И. Шимелевич, “Обобщенный фильтр Калмана с многократной линеаризацией и его применение в задаче навигации по геофизическим полям”, *Автомат. и телемех.*, 1978, № 4, 50–55; *Autom. Remote Control*, 39:4 (1978), 505–509
8. Кошаев Д. А., Богомолов В. В. Алгоритм длиннобазовой навигации автономного необитаемого подводного аппарата при отсутствии априорных данных о его местоположении и разреженном расположении маяков // *Изв. вузов. Приборостроение*. 2024. Т. 67, № 12. С. 1052–1064. DOI: 10.17586/0021-34542024-67-12-1052-1064.