

КИРЕЕВ С.В., КОНДРАШОВ А.А., КУСМАНКУЛОВ Б., МАРШИН Н.А., ГИЛЬМУЛЛИН А.Р.
Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Россия

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ ЦИФРОВЫХ АДАПТИВНЫХ ФИЛЬТРОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ (СИГНАЛОВ), ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ МЕТОДА TDLAS, ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ГАЗОВ

В работе проведен сравнительный анализ эффективности различных адаптивных фильтров на примере фильтрации экспериментальных спектров газов. Реализованы и исследованы алгоритмы адаптивных фильтров LMS, NLMS и RLS. Оценена их производительность в условиях наличия шумов и искажений, характерных для экспериментальных спектров. Представлены результаты фильтрации, проведен анализ преимуществ и ограничений каждого алгоритма, а также предложены рекомендации по выбору фильтра для обработки спектральных данных.

KIREEV S.V., KONDRASHOV A.A., KUSMANKULOV B., MARSHIN N.A., GILMULLIN A.R.
National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE OPERATION OF DIGITAL ADAPTIVE FILTERS WHEN PROCESSING EXPERIMENTAL DATA (SIGNALS) OBTAINED USING THE TDLAS METHOD FOR VARIOUS GASES

This study presents a comparative analysis of the effectiveness of various adaptive filters applied to the filtering of experimental gases spectra. Implemented and examined algorithms include LMS, NLMS, and RLS. Their performance was evaluated under conditions of noise and distortions typical for experimental spectra. The results of the filtering are presented, along with an analysis of the advantages and limitations of each algorithm. Recommendations are provided for selecting the most suitable filter for spectral data processing.

В спектроскопии поглощения одной из ключевых задач является улучшение отношения сигнал/шум, так как наличие шумов значительно затрудняет анализ экспериментальных спектров. Для повышения качества обработки данных и устранения искажений применяются методы цифровой фильтрации. Особенно актуальными являются адаптивные фильтры, которые позволяют эффективно работать в условиях изменяющихся характеристик шума [1].

В рамках исследования были реализованы и протестированы три алгоритма адаптивной фильтрации:

1. LMS (Least Mean Squares) — алгоритм с минимизацией среднеквадратичной ошибки, простой в реализации.
2. NLMS (Normalized LMS) — модификация LMS с нормализацией, обеспечивающая стабильность работы при изменении уровня сигнала.
3. RLS (Recursive Least Squares) — алгоритм с рекурсивным методом наименьших квадратов, обеспечивающий быструю сходимости [2].

На основании анализа экспериментальных данных, были протестированы фильтры LMS, NLMS и RLS, примененные к спектрам поглощения газов, искаженным шумами различной природы.

По результатам обработки экспериментальных данных сигналов поглощения диоксида углерода в ближнем ИК диапазоне спектра, наилучший результат продемонстрировал LMS-фильтр, обеспечив максимальное улучшение SNR на 7,7 дБ. Этот фильтр рекомендован для задач, где требуется высокая степень подавления шума. Следует отметить, что наибольшую скорость сходимости показал RLS фильтр.

Итоги анализа подтверждают, что использование адаптивных фильтров значительно повышает точность обработки спектров, что особенно важно для спектроскопических измерений. Выбор фильтра следует осуществлять с учетом уровня шума, характеристик спектра и требований к скорости обработки данных.

Список литературы

1. Xiaonan Liu, Shunda Qiao, and Yufei Ma, "Highly sensitive methane detection based on light-induced thermoelastic spectroscopy with a 2.33 μm diode laser and adaptive Savitzky-Golay filtering," *Opt. Express* 30, 1304-1313 (2022).
2. Джиган В.И., Адаптивная фильтрация сигналов теория и алгоритмы. Москва: Техносфера, 2013. – 528 с., ISBN 978-5-94836-342-4.