

АЛГОРИТМ ЛИНЕЙНО-ОГРАНИЧЕННОЙ АДАПТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ СИГНАЛОВ

Рассмотрен новый многоканальный RLS-алгоритм адаптивной фильтрации со скользящим окном и линейными ограничениями. Алгоритм базируется на обратном QR-разложении матрицы значений входных сигналов адаптивного фильтра. Особенностью алгоритма является отсутствие в нем операций извлечения квадратного корня. Эффективность алгоритма демонстрируется моделированием. В моделировании рассматривается задача идентификации трехканального линейного адаптивного фильтра, входными сигналами которого являются сигналы речи. В этой задаче новый алгоритм демонстрирует в среднем на 20 дБ большее значение параметра ERLE по сравнению с линейно-ограниченным RLS-алгоритмом с бесконечным окном.

Рекурсивные алгоритмы по критерию наименьших квадратов (Recursive Least Squares, RLS) — наиболее эффективные алгоритмы современной адаптивной обработки сигналов [1]. Адаптивные фильтры на основе RLS-алгоритмов с экспоненциально взвешенным возрастающим окном (growing window или prewindowed, PW) часто используются в приложениях, работающих с нестационарными сигналами. Однако более эффективную обработку таких сигналов можно осуществлять с помощью RLS-алгоритмов со скользящим окном (Sliding Window, SW).

В основе большинства алгоритмов адаптивной фильтрации находятся методы безусловной оптимизации. В ряде же случаев, при решении задач адаптивной фильтрации необходимо использовать методы условной оптимизации. Впервые условная оптимизация была применена в адаптивной обработке сигналов в задачах управления антенными решетками [2]. Одноканальные линейно-ограниченные (Linearly Constrained, LC) PW RLS-алгоритмы были рассмотрены в [3], а многоканальные LC SW RLS-алгоритмы — автором.

Значительная часть RLS-алгоритмов адаптивной фильтрации базируется на использовании леммы об инверсии матрицы [1]. В основе RLS-алгоритмов может также находиться факторизация Холецкого (QR-разложение) матрицы значений входных сигналов адаптивного фильтра [1]. Для получения весовых коэффициентов при линейно-ограниченной адаптивной фильтрации в RLS-алгоритмах на основе прямого QR-разложения необходимо использовать обратные подстановки, что требует дополнительных вычислительных затрат. PW RLS-алгоритм [4] на основе обратного QR-разложения вычисляет весовые коэффициенты адаптивного фильтра без обратных подстановок.

Недостаток QR RLS-алгоритмов — необходимость извлечения квадратного корня. Для адаптивных алгоритмов со скользящим окном требуется $2N$ таких операций на одну итерацию. Повышение вычислительной эффективно-

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Haykin S.* Adaptive filter theory (4-th edition). Prentice Hall, 2001.— 936 p.
2. *Frost O. L.* An algorithm for linearly constrained adaptive array processing // Proc. of the IEEE, August, 1972.— Vol. 60.— P. 926—935.

3. *Resende L. S., Romano J. M. T., Bellanger M. G.* A fast least-squares algorithm for linearly constrained adaptive filtering // IEEE Trans. Signal Processing, 1996.— Vol. 44.— No. 5.— P. 1168—1174.

4. *Alexander S. T., Ghirnikar A. L.* A method for recursive least squares filtering based upon an inverse QR decomposition // IEEE Trans. Signal Processing, 1993.— Vol. 41.— No. 1.— P. 20—30.

5. *Hsieh S. F., Liu K. J. R.* A unified square-root-free approach for QRD based recursive least squares estimation // IEEE Trans. Signal Processing, 1993.— Vol. 41.— No. 3.— P. 1405—1409.

6. *Gay S. L.* Dynamically regularized fast RLS with application to echo cancellation // Proc. ICASSP'96, May 1996.— P. 957—960.

7. *Джуган В. И.* Быстрый многоканальный RLS-алгоритм с регуляризацией и стабилизацией // Электроника.— 2004.— №1.— С. 83—90. (Изв. вузов).

8. *Slock D. T. M., Kailath T.* Numerically stable fast transversal filters for recursive least squares adaptive filtering // IEEE Trans. Signal Processing, 1991.— Vol. 39.— No. 1.— P. 92—114.

ГУП, НПЦ «ЭЛВИС», г. Москва.

Поступила в редакцию 12.03.04.