

УДК 621.513.6

**ДЖИГАН В. И.**

### **БЫСТРЫЙ RLS-АЛГОРИТМ ЛИНЕЙНО-ОГРАНИЧЕННОЙ АДАПТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ СИГНАЛОВ**

Предложен быстрый RLS-алгоритм многоканальной адаптивной фильтрации со скользящим окном и линейными ограничениями. Данный алгоритм представляет собой быструю (вычислительно эффективную) версию аналогичного RLS-алгоритма на основе обратного QR-разложения. Его особенность — отсутствие операций извлечения квадратного корня.

Среди современных алгоритмов адаптивной обработки сигналов рекурсивные алгоритмы по критерию наименьших квадратов (recursive least squares, RLS) [1] занимают особое место, как самые эффективные с точки зрения длительности переходного процесса и уровня остаточной ошибки в установив-

шемся режиме. Во всех RLS-алгоритмах присутствует вычисление корреляционной матрицы входных сигналов адаптивного фильтра. Эта матрица может определяться на возрастающем или на скользящем (sliding window, SW) окне обрабатываемых данных. Скользящее окно позволяет адаптивному фильтру эффективно отслеживать изменения при обработке нестационарных сигналов. Алгоритмы адаптивной фильтрации обычно базируются на методах безусловной оптимизации. Однако в ряде случаев применяется условная (линейно-ограниченная, linearly constrained, LC) оптимизация. Для получения вычислительных процедур SW RLS и LC SW RLS-алгоритмов используются различные математические методы, включая QR-разложение матрицы значений входных сигналов адаптивного фильтра. Недостатком адаптивных алгоритмов на основе QR-разложения являются операции извлечения квадратного корня, требующие дополнительных вычислительных ресурсов. В RLS-алгоритмах на основе прямого QR-разложения эти операции удастся исключить путем масштабирования ряда переменных [2]. Аналогичный прием использован в [3] для LC SW RLS-алгоритма на основе обратного QR-разложения.

Настоящая работа представляет быстрый (вычислительно эффективный) вариант алгоритма [3] и является его полным математическим аналогом. Это означает, что при одинаковых параметрах адаптивных фильтров, функционирующих в одинаковых условиях, оба алгоритма обеспечивают одинаковые показатели качества адаптивной фильтрации в случае реализации алгоритмов в арифметике с плавающей точкой. Разница между алгоритмами заключается в вычислительных процедурах, а, значит, в числе арифметических операций, необходимых для выполнения одной итерации.

Часть вычислений, связанная с линейными ограничениями (шаги 19—22 и 26—29 алгоритма [3]) для обоих алгоритмов совпадают. По-разному вычисляются векторы коэффициентов Калмана  $g_{N,\chi_U}(k)$  и  $g_{N,\chi_D}(k)$ . В случае быстрого алгоритма эти векторы определяются, как показано в табл. 1, где представлена вычислительная процедура нового LC SW RLS-алгоритма адаптивной фильтрации.

Таблица 1

Вычисления	Ссылки
<b>Initialization:</b> $\chi_N(0) = 0_N, \dots, \chi_N(0-L) = 0_N, d(0) = 0, \dots, d(0-L) = 0,$ $\bar{R}_{N,\chi_D}^{-1}(0) = \delta^{-1/2} \Lambda_N^{-1/2}, \Lambda_N = \text{diag}(1, \lambda, \dots, \lambda^{N-1}, 1, \lambda, \dots, \lambda^{N-1}, 1, \lambda, \dots, \lambda^{N-1}),$ $\bar{\Gamma}_{NJ,\chi_D}^{-1}(0) = [\bar{R}_{N,\chi_D}^{-1}(0) \bar{R}_{N,\chi_D}^{-H}(0)] C_{NJ}, Q_{NJ,\chi_D}(0) = \bar{\Gamma}_{NJ,\chi_D}^{-1}(0) [C_{NJ}^H \bar{\Gamma}_{NJ,\chi_D}^{-1}(0)]^{-1},$ $h_{N,\chi_D}^{(m)}(0) = 0_N, h_{N,\chi_U}^{(m)}(0) = 0_N, E_{N,\chi_D}^{-1f(m)}(0) = \delta^{-2}, E_{N,\chi_D}^{-lb(m)}(0) = \delta^{-2} \lambda^{Nm},$ <b>create:</b> $T_{N+1}^{(m)T} S_{N+1}^{(m)}, m = 1: M, g_{N,\chi_U}^{(M)}(1) = 0_N, g_{N,\chi_D}^{(M)}(1) = 0_N,$ $K_{N,\chi_U}^{B(M)}(1) = 1, K_{N,\chi_D}^{B(M)}(1) = 1, \mu = \lambda^L, h_{N,\chi_D}(0) = Q_{NJ,\chi_D}(0) f_J$	(0)