

УДК 621.396.965:621.391.26

РЕКУРРЕНТНЫЕ АЛГОРИТМЫ НАСТРОЙКИ АДАПТИВНЫХ РЕШЕТЧАТЫХ ФИЛЬТРОВ

Д. т. н. Д. И. Леховицкий, к. т. н. В. П. Рябуха, Д. С. Рачков, А. В. Семеняка

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Украина, г. Харьков
lekhovytskiy david@gmail.com

Анализируются алгоритмы коррекции параметров адаптивных решетчатых фильтров (АРФ) при $K \geq 1$ -ранговой модификации оценочной корреляционной матрицы в «скользящем» по времени (дальности) окне данных. Синтезируется комбинированный алгоритм (КА) $K \geq 1$ -ранговой модификации, уже однократное использование которого решает задачу коррекции параметров АРФ в этих условиях. Теоретически и по результатам экспериментов показывается, что предложенный КА снижает вычислительную сложность и повышает численную устойчивость процедуры коррекции параметров АРФ по сравнению с методами на основе алгоритмов одноранговой модификации.

Ключевые слова: пространственно-временная обработка сигналов; адаптивный решетчатый фильтр; частный коэффициент корреляции; вычислительная сложность; численная устойчивость; конечная разрядность.

Адаптивные решетчатые фильтры (АРФ) – эффективное средство решения широкого круга задач пространственно-временной обработки сигналов в различных радиотехнических системах в реальных условиях параметрической априорной неопределенности [1–3].

Важнейший составной этап адаптивной обработки на основе АРФ – его настройка, в процессе которой должны устанавливаться такие параметры сомножителей (ступеней АРФ), при которых их (не формируемое явно) произведение пропорционально матрице, обратной используемой оценке КМ или той или иной ее аппроксимации [4, 5]. В свою очередь АРФ часто настраивается по обучающей выборке, элементы которой берутся из временного "окна" конечной протяженности.

В типичных для практики условиях входных воздействий, стационарных только на ограниченном временном интервале, это окно "скользит" по времени (в радиолокационных приложениях – по дальности). При этом используемая оценка КМ для $(n+1)$ -го элемента дальности часто представляет собой сумму $\hat{\Phi}(n+1) = \hat{\Phi}(n) + \Phi_K$ оценки $\hat{\Phi}(n)$ КМ n -го элемента и модифицирующей матрицы $\Phi_K = \sum_{i=1}^K \Phi_i$ ранга $r = K \geq 1$, образованной суммой K матриц Φ_i , $i \in 1, K$ единичного ранга. В этих случаях сомножители обратной матрицы для "перенастройки" АРФ в принципе можно получить путем K -кратной модификации матриц $\Phi_{mod}(i) = \Phi_{mod}(i-1) + \Phi_i$, $i \in 1, K$, $\Phi_{mod}(0) = \hat{\Phi}(n)$ матрицами Φ_i ранга $r = 1$ [1–3].

Возможен, однако, принципиально другой путь, предполагающий не K -кратную коррекцию параметров АРФ по алгоритмам одноранговой модификации ОФЛ, а их однократный пересчет, но по алгоритмам K -ранговой модификации. Такой путь должен уменьшать вычислительную сложность процедуры настройки и повышать ее численную устойчивость, поскольку в этом случае не должны накапливаться ошибки, возникающие в каждом из K циклов одноранговой модификации.

Доклад посвящен синтезу соответствующих алгоритмов и демонстрации их преимуществ по сравнению с традиционными.

Эти алгоритмы синтезируются для случая, когда оценочная КМ $(n+1)$ -го шага

$$\tilde{\Phi} = \{\tilde{\Phi}_{ij}\}_{i,j=1}^M = \Phi + \mathbf{F} \cdot \Lambda \cdot \mathbf{F}^+, \quad \mathbf{F} = \{\mathbf{f}_i\}_{i=1}^K, \quad \Lambda = \text{diag} \{(-1)^i\}_{i=1}^K = \Lambda^{-1} \quad (1)$$

отличается от КМ Φ n -го шага матрицей $\mathbf{F} \cdot \Lambda \cdot \mathbf{F}^+$ произвольного ранга $K \geq 1$, равного числу столбцов \mathbf{f}_i матрицы \mathbf{F} . В широком классе практически важных ситуаций $K \geq 4$.

Показывается, что, по аналогии с одноранговой, K -ранговую коррекцию также можно реализовать на основе априорных или апостериорных ошибок предсказания [3], однако соответствующие алгоритмы K -ранговой коррекции оказываются неоправданно сложными – объем вычислений увеличивается не в K , а в K^2 раз по сравнению с их одноранговыми аналогами. В связи с этим разработан комбинированный алгоритм (КА) $K \geq 1$ -ранговой коррекции. В нем используются ошибки предсказания обоих видов, за счет чего объем вычислений параметров АРФ оказывается примерно в K раз меньше, чем при K -кратном использовании алгоритмов одноранговой коррекции.

Алгоритм строится в 2 этапа.

На первом этапе (инициализации) вычисляются "новые" нормирующие множители первой степени АРФ, 2 вспомогательных скаляра, а также $K \geq 1$ -мерные векторы входные априорных и апостериорных ошибок предсказания "старого" и "нового" АРФ соответственно.

На втором (основном) этапе настройки по этим вспомогательным скалярам и векторам априорных и апостериорных ошибок вычисляются "новые" частные коэффициенты корреляции, "новые" вспомогательные скаляры и нормирующие множители очередной степени АРФ, позволяющие определить априорные и апостериорные ошибки предсказания и вспомогательные скаляры для коррекции параметров следующей степени АРФ. "Новые" параметры (22) для анализируемого элемента дальности становятся "старыми" для ее следующего элемента.

В заключительной части доклада приводятся результаты испытаний КА, в частности, показанные на рис. 1 и 2, и его практической реализации на современной элементной базе, показывающие его высокую эффективность и численную устойчивость.

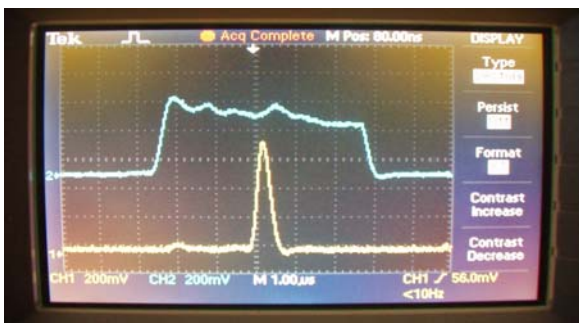


Рис. 1. Вид экрана амплитудного индикатора (двухлучевого осциллографа) при выключенном (верхний луч) и включенном АРФ

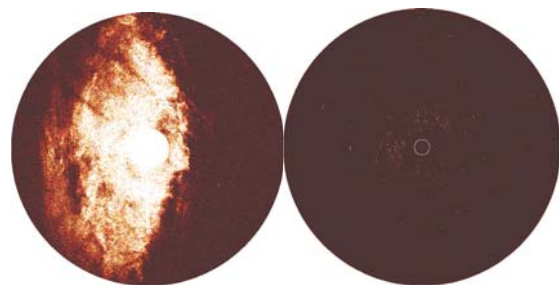


Рис. 2. Вид экрана ИКО при выключенном (а) и включенном (б) АРФ

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Friedlander B. Lattice filters for adaptive processing // IEEE Proc.— 1982.— Vol. 70.— N 8, P. 829–867.
2. Cowan C.F.N., Grant P.M. Eds., Adaptive Filters, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc., 1985.
3. Sayed A.H., Fundamentals of Adaptive Filtering, Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc., 2003.
4. Lekhovytskiy D.I., Abramovich Y.I. Adaptive lattice filters for band-inverse (TVAR) covariance matrix approximations: theory and practical applications // Proc. of the Int. Radar Symposium 2009, Hamburg, Germany.— 2009.— P. 535–539.
5. Lekhovytskiy D.I. Thirty years experience in development of adaptive lattice filters theory, techniques and testing in Kharkiv // Proc. of the VIII Int. Conf. Antenna Theory and Techniques.— Kyiv, Ukraine.— 2011.— P. 51–56.

D. I. Lekhovytskiy, V. P. Riabukha, D. S. Rachkov, A. V. Semeniaka
The recursive algorithms for the adaptive lattice filters adjustment

We analyze the algorithms intended for correction of adaptive lattice filters (ALF) parameters under $K \geq 1$ -rank modification of estimate correlation matrix within a "sliding" over the time (range) data window. The combined algorithm (CA) of $K \geq 1$ -rank modification is synthesized. We demonstrate, through both the theoretical analysis and results of scaled-down experiments, that proposed CA reduces the computational complexity and enhances the numerical stability of procedure of ALF parameters correction as compared with the competing methods based on algorithms of rank-one modification.

Keywords: *space-time signal processing, adaptive lattice filter, partial correlation coefficients, computational complexity, numerical stability, finite capacity.*