

УДК 621.391.82

ПРОСТОЙ МЕТОД УСКОРЕНИЯ АДАПТИВНОЙ НАСТРОЙКИ СИСТЕМ КОМПЕНСАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПОМЕХ

К. т. н. А. И. Неврев

Одесский национальный политехнический университет
Украина, г. Одесса
a.i.nevrev@gmail.com

Рассмотрена трехслойная модификация классического стохастического градиентного метода адаптивной настройки систем компенсации помех. Показано, что для реального увеличения быстродействия в этом случае необходимо использовать оценку корреляционной матрицы помех, полученную методом «скользящего окна».

Ключевые слова: адаптивные алгоритмы, системы компенсации помех.

Взрывной рост технологий микроэлектроники обеспечивает все возрастающие возможности цифровой обработки сигналов. Это стимулирует интерес к использованию более сложных алгоритмов адаптивной настройки систем компенсации помех [1–5]. Цель работы — указать вычислительные модификации известных алгоритмов настройки, имеющие существенно большую практическую скорость сходимости по уровню компенсации помех.

Одним из простейших является стохастический градиентный алгоритм вида [1, 3–5]

$$W_{n+1} = W_n - \gamma(X_n X_n^* W_n - S), \quad (1)$$

где X_n — N -мерный вектор комплексной огибающей выборки помех;
 $M[X_n X_n^*] = R$ — корреляционная матрица помех;

W_n и S — N -мерные векторы комплексной огибающей весового вектора системы компенсации и полезного сигнала соответственно;

γ — скалярный коэффициент усиления алгоритма настройки.

Необходимое условие стохастической устойчивости [1, 4, 5] определяет возможный выбор коэффициента $\gamma \leq 1/TrR$. При этом вектор настройки сходится в окрестность оптимального решения $W_{opt} = R^{-1}S$ [1, 4, 5].

Детерминированный алгоритм для стохастического метода (1) может быть представлен как результат его статистического усреднения $M[W_{n+1}] = M[W_n - \gamma(X_n X_n^* W_n - S)]$:

$$\dot{W}_{n+1} = \dot{W}_n - \gamma(R\dot{W}_n - S), \quad \dot{W}_n = M[W_n] \quad (2)$$

и требует для работы априорного знания корреляционной матрицы помех R .

В [2, 3] для ускорения скорости сходимости алгоритмов вида (2) предложена его крайне простая модификация в виде «трехслойного» алгоритма настройки, использующая нисходящую разность векторов настройки \dot{W}_n :

$$\dot{W}_{n+1} = \dot{W}_n + \beta(\dot{W}_n - \dot{W}_{n-1}) - \gamma(R\dot{W}_n - S), \quad (3)$$

показавшая значительное преимущество в скорости подавления помех по сравнению с (2). При этом для устойчивости алгоритма можно выбрать большие значения γ :

$$\gamma \leq 2(1+\beta)/TrR,$$

что и позволяет получить существенно большую скорость сходимости.

Однако корреляционная матрица помех R , как правило, априорно неизвестна. Попытка же использовать для ускорения сходимости практический стохастический вариант трехслойного алгоритма (3) [4, 5], не требующий априорного знания корреляционной матрицы R ,

$$W_{n+1} = W_n + \beta(W_n - W_{n-1}) - \gamma(X_n X_n^* W_n - S) \quad (4)$$

показала, однако, что найденное в [4] условие устойчивости стохастического алгоритма (4)

$$\gamma \leq (1-\beta^2)/TrR \quad (5)$$

требует уменьшения коэффициента усиления γ при любом значении β .

В результате скорость сходимости стохастического трехслойного алгоритма оказывается не выше простейшего градиентного метода (1). Вместе с тем, использование для стохастической аппроксимации алгоритма (3) оценки корреляционной матрицы помех R по p обучающим выборкам X_n :

$$R_n^{оц} = \frac{1}{p} \sum_{i=p(n-1)}^{pn} X_i X_i^*, \quad (6)$$

$$\text{когда } W_{n+1} = W_n + \beta(W_n - W_{n-1}) - \gamma(R_n^{оц} \cdot W_n - S), \quad (7)$$

все же позволяет с увеличением p повысить скорость сходимости алгоритма (7) по сравнению с (1) и (2).

При этом условие стохастической устойчивости метода (7), как показано в [4], переходит в

$$\gamma \leq 2p(1-\beta^2)/[(1+\beta)+p(1-\beta)TrR]. \quad (8)$$

При $p=1$ получаем условие (5), а при $p \gg 1$ оно совпадает с условием устойчивости детерминированного алгоритма (3).

Таким образом, можно существенно повысить скорость сходимости алгоритма (4), используя вместо $X_n X_n^*$ более точную оценку корреляционной матрицы помех $R_n^{оц}$ (6). Однако оценка матрицы (6) требует накопления матрицы по p интервалам взятия выборки X_i , и только после этого производится вычислительная итерация вида (7) по настройке системы. При этом по числу использованных выборок помех X_i скорость сходимости может даже уменьшиться по сравнению с алгоритмом (1).

Выходом из данной ситуации может послужить оценка матрицы $R_n^{оц}$ методом скользящего окна:

$$R_n^{оц} = \frac{1}{p} \sum_{i=n-p+1}^n X_i X_i^*, \quad (9)$$

использующая на каждой вычислительной итерации только одну выборку помех X_i . Это, при условии когда время собственно вычислений по (7) и (9) значительно меньше интервала взятия выборок X_i , позволяет приблизиться по скорости сходимости к детерминированному алгоритму (3).

Результаты математического моделирования, приведены в [4, 5] для 10-канального компенсатора при воздействии двух точечных пространственных помех с потенциальным уровнем подавления -40 дБ. При этом для алгоритма (7), (9) при $p=10$ уровень подавления помех -37 дБ достигается уже на 40-й итерации и на 15-17 дБ превышает результаты работы простого градиентного метода (1) при равном суммарном объеме использованных обучающих выборок X_i .

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Монзинго Р. А., Миллер Т. У. Адаптивные антенные решетки.— Москва: Радио и связь, 1986.
2. Shonfeld T. J, Schwartz M. Rapid Converging Second-Order Tracking Algorithm for Adaptive Equalization. // IEEE Trans. Inform. Theory.— 1971.— IT-17.— № 5.— P. 572—579.
3. Поляк Б. Т. Сравнение скорости сходимости одношаговых и многошаговых алгоритмов оптимизации при наличии помех. // Известия АН СССР. Техническая кибернетика.— 1977.— № 1.— С. 9—12.
4. Абрамович Ю. И., Неврев А. И. Итеративные алгоритмы, использующие разность оценок вектора настройки // Радиотехника и электроника. — 1983.— № 11.— С. 2138—2143.
5. Абрамович Ю. И., Неврев А. И. Исследование эффективности стохастических итеративных методов адаптивной настройки систем компенсации помех с произвольным объемом элементарной обучающей выборки. // Радиотехника и электроника.— 1984.— № 7.— С. 1295—1300.

A. I. Nevrev

Simple convergence rate accelerating method for adaptive compensation of spatial jammers.

The second-order modification of the classical stochastic gradient method for adaptive adjustment of jammer compensation systems is considered. It has been shown that for a real increase of the convergence rate it is necessary to use an estimate of the jammer correlation matrix obtained by "data windowing" method.

Keywords: *adaptive algorithms, jammer compensation system.*