

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОССТАНОВЛЕНИЯ СИГНАЛА АДАПТИВНЫМ ВЫРАВНИВАТЕЛЕМ

Пак А.А.

Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики
(технический университет)

Москва, Россия

Адаптивный выравниватель (АВ) предназначен для корректировки частотной характеристики канала связи и представляет собой цифровой фильтр с изменяемыми весовыми коэффициентами (ВК), перестройка которых осуществляется в соответствии с алгоритмом выравнивания. Если у канала связи частотная характеристика неравномерна в полосе частот, занимаемой спектром сигнала, то неизбежно возникают искажения, что в свою очередь влияет на качество приема. При сильных искажениях правильное детектирование становится невозможным, а увеличение мощности передаваемого сигнала не дает положительных результатов.

Все алгоритмы выравнивания можно разделить на две группы: с применением обучающей последовательности и выравнивание вслепую. В первом случае в передаваемый сигнал необходимо вносить дополнительную служебную последовательность, по которой АВ «обучается». В процессе приема сигнала возможны случайные сбои, вследствие чего необходима повторная передача обучающей последовательности, что усложняет протоколы связи. Во втором случае «обучение» АВ осуществляется только на основе анализа параметров сигнала, при этом обучающей последовательности в сигнал не добавляется. Все алгоритмы выравнивания вслепую направлены на минимизацию определенного критерия (функции стоимости), параметры которого выбираются в зависимости от передаваемого сигнала.

Одним из наиболее известных и эффективных критериев выравнивания вслепую является критерий (функция стоимости) Годара.

Функция стоимости Годара может быть записана в виде [1]:

$$J_p = \left(|y_k|^p - R_p \right)^2, \quad (1)$$

где y_k – k -ый отсчет сигнала на выходе АВ; $p > 0$ – целое число; R_p – положительная константа.

При этом алгоритм выравнивания выглядит следующим образом [1]:

$$C_{k+1} = C_k - \Delta \left(|y_k|^p - R_p \right) |y_k|^{p-2} y_k X_k^*, \quad (2)$$

где C_k – текущий вектор ВК АВ; C_{k+1} – вычисляемый вектор ВК АВ; Δ – шаг подстройки; X_k^* – вектор входных комплексно-сопряженных отсчетов.

Алгоритм Годара (2) показывает хорошие результаты при обработке сигналов с постоянной огибающей.

На основе алгоритма Годара (2) разработан новый алгоритм выравнивания, ориентированный на структуру ММС-сигнала (манипуляция минимальным сдвигом), являющегося одним из видов семейства модулированных сигналов с непрерывной фазой (МНФ) и широко применяющегося в современных системах связи. Алгоритм основан на нескольких функциях стоимости, которые могут быть записаны в виде:

$$J_1 = \left(\left(\left(\arg(y_k) - \frac{p}{4} \right) \bmod \left(\frac{p}{2} \right) - \frac{p}{4} \right)^Q + (|y_k|^p - R_p)^2 \right), \quad (3)$$

$$J_2 = \left(\left(\left(\arg(y_k) - \frac{p}{2} \right) \bmod \left(\frac{p}{2} \right) - \frac{p}{4} \right)^Q + (|y_k|^p - R_p)^2 \right), \quad (4)$$

где $Q = 2, 4, \dots$; R_p – константа ($R_p > 0$); $p = 2, 4, \dots$; y_k – очередной отсчет на выходе АВ.

На основании функций стоимости (3) подстройка вектора ВК осуществляется по формуле:

$$C_{k+1} = C_k - \Delta Q i S \left(\left(\left(\arg(y_k) - \frac{p}{4} \right) \bmod \left(\frac{p}{2} \right) - \frac{p}{4} \right)^{Q-1} \frac{1}{|y_k|^2} y_k X_k^* - \right. \\ \left. 2\Delta p (|y_k|^p - R_p) |y_k|^{p-2} y_k X_k^* \right), \quad (5)$$

где $S = 1$ при $\arg(y_k) - \frac{p}{4} \geq 0$; $S = -1$ при $\arg(y_k) - \frac{p}{4} < 0$; i – комплексное число: $\text{Re}(i)=0$; $\text{Im}(i)=1$.

На основании функции стоимости (4) подстройка вектора ВК осуществляется по формуле:

$$C_{k+1} = C_k - \Delta Q i S \left(\left(\left(\arg(y_k) - \frac{p}{2} \right) \bmod \left(\frac{p}{2} \right) - \frac{p}{4} \right)^{Q-1} \frac{1}{|y_k|^2} y_k X_k^* - \right. \\ \left. 2\Delta p (|y_k|^p - R_p) |y_k|^{p-2} y_k X_k^* \right). \quad (6)$$

Для предлагаемого алгоритма определен следующий порядок обработки отсчетов входного ММС-сигнала:

1. На границах соседних информационных символов применяется формула (5).
2. В середине информационных символов применяется формула (6).
3. Для остальных отсчетов применяется формула (2).

Оценивать качество восстановления адаптивным выравнителем переданного сигнала, искаженного каналом распространения, предлагается по следующему алгоритму:

$$Q_{AB} = \left\langle \arg \left(\frac{s_{k-d}}{y_k e^{-ij_{AB}}} \right)^2 \right\rangle, \quad (7)$$

где Q_{AB} – показатель качества восстановления; s_{k-d} – отсчет исходного сигнала, задержанный на d тактов для совмещения исходной и восстановленной последовательности; y_k – отсчет на выходе АВ; φ_{AB} – фазовый сдвиг, вносимый АВ.

В данном алгоритме идеальное восстановление сигнала достигается при $Q_{AB} = 0$.

Результаты исследования алгоритма (7) при компьютерном моделировании представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Оценка качества восстановления сигнала адаптивным выравнителем.

E/N₀, dB	Алгоритм выравнивания Годара (p = 4)	Предложенный алгоритм выравнивания (Q = 4; p = 4)
20	0.0676	0.0553
19	0.0741	0.0597
18	0.0827	0.0694

Из таблицы 1 видно, что предложенный алгоритм выравнивания, показал более высокое качество восстановления сигнала АВ согласно предложенному критерию (7).

ЛИТЕРАТУРА

1. Dominique N. Godard Self-recovering equalization and carrier tracking in two-dimensional data communication systems // IEEE Transactions on communications, Vol. COM-28, №11, Nov. 1980. – PP. 1867-1875.