

УДК 621.396.4

СОЛОВЬЕВА Е. Б.

СИНТЕЗ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭКВАЛАЙЗЕРОВ МЕТОДОМ ПРОСТЫХ ИТЕРАЦИЙ

Предложен метод «слепого» выравнивания нелинейных искажений в каналах связи, представляемых фильтрами Вольтерра. Компенсация нелинейности канала выполняется на основе алгоритма простых итераций. Полученные результаты сравниваются с результатами обработки инверсией высокого порядка и методом фиксированной точки.

Повышение требований к качеству приема информации обуславливает необходимость синтеза высокоточных методов компенсации искажений сигналов в проводных и беспроводных каналах связи. Одним из важных факторов, ограничивающим работу спутниковых, радио, телефонных и др. каналов связи, являются нелинейные искажения, вызванные присутствием в системах связи усилителей, функционирующих вблизи области насыщения.

Для устранения нежелательного эффекта нелинейности применяются эквалайзеры (компенсаторы, корректоры), методы синтеза которых можно разделить на две категории. К первой категории относятся методы компенсации нелинейности канала связи на основе фильтрации Вольтерра: методы инверсии высокого порядка [1, 2], корней уравнения Вольтерра [3], фиксированной точки [4]. Ко второй категории относятся методы синтеза эквалайзеров в виде персептронных [5], радиальных [6] и рекуррентных [7] нейронных цепей. Эти две категории различаются тем, что при фильтрации Вольтерра выполняется «слепой» синтез эквалайзеров (без использования тестового сигнала и процедуры идентификации параметров устройства), синтез эквалайзеров в виде нейронных цепей включает процесс «обучения» устройства.

Методы фильтрации Вольтерра важны в многопользовательских системах связи, когда для приемника желательно синхронизироваться от принимаемого сигнала и настраивать эквалайзер без обучаемой последовательности. Методы, основанные на теории нейронных цепей, целесообразно использовать, когда характеристики канала связи априори не известны, или они меняются во времени. В этом случае эквалайзеры проектируются так, чтобы иметь возможность приспосабливаться к характеристикам канала и при их изменении адаптироваться к этому изменению.

В статье предложен высокоточный «слепой» метод построения эквалайзеров на основе простых итераций, применяемых к функциональной модели Вольтерра канала связи.

Постановка и решение задачи нелинейной компенсации. Эквалайзер, компенсирующий нелинейность канала на приемной стороне системы связи, будем называть постфильтром, а эквалайзер, осуществляющий указанную операцию на передающей стороне, — префильтром. Структурные схемы соединения канала связи с постфильтром и префильтром показаны на рис. 1а, б соответственно. При этом $H = \sum_{k=1}^N H_k$ — нелинейный оператор канального фильтра, где H_k — оператор k -го порядка, E_{post} — нелинейный оператор постфильтра-эквалайзера, E_{pre} — нелинейный оператор префильтра-эквалайзера.

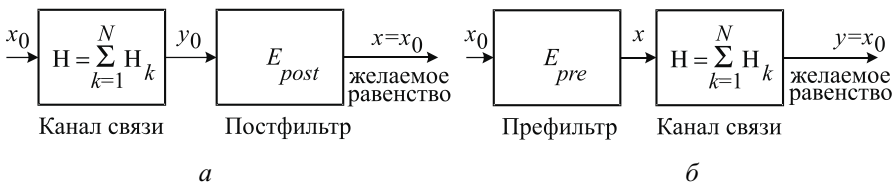


Рис. 1

Задача постфильтра-эквалайзера — устранить нелинейные составляющие в выходном сигнале $y_0(n)$ и выполнить инверсную обработку по отношению к линейной фильтрации канала связи. В результате постфильтр формирует сигнал $x(n)$, удовлетворяющий равенству

$$x(n) = E_{post} y_0(n) = E_{post} Hx_0(n) = x_0(n).$$

Следовательно, $Hx(n) = Hx_0(n)$ или

$$Hx(n) = y_0(n). \quad (1)$$

Префильтр-эквалайзер преобразует входной сигнал $x_0(n)$ таким образом, что его выходной сигнал $x(n)$ под влиянием нелинейных искажений превраща-

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Fang Y.-W., Jiao L.-C., Zhang X.-D., Pan J.* On the convergence of Volterra filter equalizers using a p^{th} -order inverse approach // *IEEE Trans. SP.*— 2001.— Vol. 49.— No. 8.— P. 1734—1744.
2. *Schetzen M.* Theory of p^{th} -order inverses of nonlinear systems // *IEEE Trans. CAS.*— 1976.— Vol. 23.— No. 5.— P. 285—289.
3. *Redfern A. L., Zhou G. T.* A root method for Volterra systems equalization // *IEEE Signal Processing Letters.*— 1998.— Vol. 5.— No. 11.— P. 285—288.
4. *Nowak R. D., Van Veen B. D.* Volterra filter equalization: a fixed point approach // *IEEE Trans. SP.*— 1997.— Vol. 45.— No. 2.— P. 377—388.
5. *Martens J.-P., Weymaere N.* An equalized error backpropagation algorithm for the on-line training of multilayer perceptrons // *IEEE Trans. Neural Networks.*— 2002.— Vol. 13.— No. 3.— P. 532—541.
6. *Jianping D., Sundararajan N., Saratchandran P.* Communication channel equalization using complex-valued minimal radial basis function neural networks // *IEEE Trans. Neural Networks.*— 2002.— Vol. 13.— No. 3.— P. 687—696.
7. *Park D.-C., Jung Jeong T.-K.* Complex-bilinear recurrent neural network for equalization of a digital satellite channel // *IEEE Trans. Neural Networks.*— 2002.— Vol. 13.— No. 3.— P. 711—725.
8. *Бахвалов Н. С., Жидков Н. П., Кобельков Г. М.* Численные методы.— М. : Наука, 1987.— 576 с.
9. *Лебедев В. И.* Функциональный анализ и вычислительная математика. — М. : Физматлит, 2000.— 296 с.
10. *Прокис Дж.* Цифровая связь / Пер. с англ.; Под ред. Д. Д. Кловского. — М. : Радио и связь, 2000.— 800 с.

Государственный электротехнический ун-т (ЛЭТИ),
г. С.-Петербург.

Поступила в редакцию 04.11.02.