

УДК 681.513

АДАПТИВНЫЙ ФИЛЬТР С ДИНАМИЧЕСКИМ ВЫБОРОМ ПОРЯДКА

К. т. н. А. Ю. Линович

Рязанский государственный радиотехнический университет

Россия, г. Рязань

rsreu-ryazan@yandex.ru

Предложен метод динамического выбора порядка адаптивного нерекурсивного фильтра. Приводятся результаты эксперимента для случая решения задачи обратного моделирования динамической системы при использовании четырехканального адаптивного фильтра.

Ключевые слова: адаптивный фильтр, динамический выбор порядка.

Точность настройки адаптивного фильтра (АФ) в значительной мере определяется его порядком, то есть числом настраиваемых весовых коэффициентов. Чем больше весовых коэффициентов, тем точнее можно воспроизвести желаемую импульсную характеристику. В реальности число весовых коэффициентов приходится ограничивать некоторой конечной величиной. При этом важно учитывать, что постоянные флуктуации весовых коэффициентов около оптимального решения создают дополнительный шум. Кроме того, с ростом порядка растут вносимая фильтром задержка, вычислительные затраты, постоянная времени адаптации. Возникают вопросы — как выбрать правильно порядок АФ; можно ли автоматизировать процесс такого выбора, сделать его динамическим? В данном докладе предлагается метод динамического выбора порядка АФ и рассматриваются результаты настройки АФ, построенного на основе такого метода.

Одним из наиболее известных адаптивных алгоритмов является нормированный алгоритм наименьших средних квадратов (НСК) [1—3]. Если входной сигнал и обучающая последовательность адаптивного линейного сумматора являются стационарными, то среднеквадратическая ошибка настройки, обусловленная ограничением порядка АФ, для алгоритма НСК определяется выражением [2, 3]

$$J(L) \approx J_{\min}(L) \left(1 + \mu \sum_{i=1}^L \lambda_i \right),$$

где L — порядок АФ, λ_i ($i = \overline{1, L}$) — собственные числа корреляционной матрицы входного сигнала, μ — изменяемый шаг адаптации, $J_{\min}(L)$ — минимально достижимая средняя ошибка. При малых значениях μ выполняется $J(L) \approx J_{\min}(L)$, поэтому увеличение L повышает точность настройки АФ.

Предлагается ввести процедуру динамического выбора порядка АФ, основанную на сравнении двух сигналов ошибки. Допустим, что в некоторый момент времени kT (T — шаг дискретизации, k — дискретная переменная) порядок АФ равен L . Ошибка восстановления в момент времени kT определяется для нормированного НСК выражением [3]

$$e[kT] = d[kT] - \mathbf{w}^H[kT] \mathbf{x}[kT],$$

где $d[kT]$ — желаемый отклик фильтра (отсчет обучающего сигнала), $\mathbf{w}^H[kT]$ — комплексно-сопряженный и транспонированный вектор весовых коэффициентов (ВВК) длиной L , $\mathbf{x}[kT]$ — вектор отсчетов входной последовательности (сигнала, подлежащего восстановлению). Введем в рассмотрение «вложенный фильтр», который отличается от основного фильтра меньшим порядком: $L_{\text{вл}} = L - \Delta L$, где ΔL — некоторая константа. Данный фильтр образован подмножеством весовых коэффициентов основного фильтра. Введем в рассмотрение дополнительный сигнал ошибки:

$$\hat{e}[kT] = d[kT] - \hat{\mathbf{w}}^H[kT] \hat{\mathbf{x}}[kT].$$

Векторы $\hat{\mathbf{w}}$ и $\hat{\mathbf{X}}$ отличаются от \mathbf{w} и \mathbf{X} отсутствием крайних ΔL -элементов, то есть длина их меньше на ΔL . Введем операцию усреднения по мощности: $P_e[kT] = \langle |e[kT]|^2 \rangle$ и $\hat{P}_e[kT] = \langle |\hat{e}[kT]|^2 \rangle$.

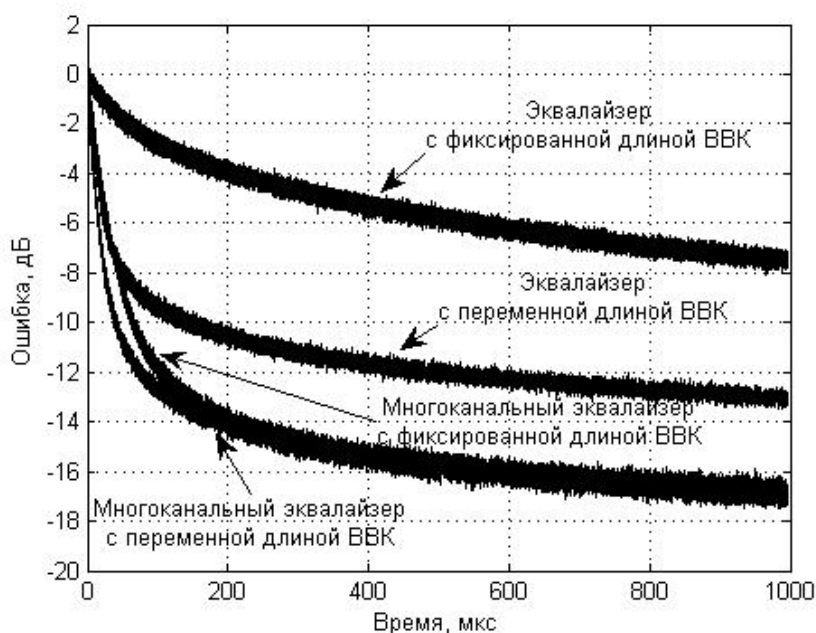
С учетом введенных обозначений запишем правило выбора порядка АФ:

$$L[(k+1)T] = L[kT] + \text{sign}(\hat{P}_e[kT] - P_e[kT]).$$

Мощность сигнала ошибки складывается из двух составляющих:

$$P_e[kT] = P_y[kT] + P_u[kT].$$

Первая составляющая $P_y[kT]$ обусловлена усечением импульсной характеристики АФ. Вторая составляющая $P_u[kT]$ представляет собой шум, вызванный флуктуациями весовых коэффициентов АФ. В процессе настройки АФ выбирает наилучший в смысле минимизации средней мощности сигнала ошибки порядок $L_{\text{опт}}.$



Обучающие кривые, полученные в эксперименте для одноканального и четырехканального АФ при фиксированной длине ВВК и при использовании процедуры динамического выбора

Результаты проведенных экспериментов (см. рисунок) подтверждают эффективность предложенного метода. Введение предложенной выше процедуры динамического выбора порядка АФ способствует повышению скорости процесса адаптации и позволяет достичь более точной настройки АФ.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Уидроу Б. и др. Комплексная форма алгоритма НСКО // ТИИЭР.— 1975.— № 3.— С. 49—51.
2. Уидроу Б., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов / пер с англ.— Москва: Радио и связь, 1989.
3. Haykin S. Adaptive Filter Theory. — London: Pearson, 2013.

Linovich A. Yu.

Adaptive filter with dynamic order adaptation

A dynamic order adaptation method for the adaptive non-recursive filter is suggested. The paper presents results of the experiment for the case of solving inverse modeling problem of the dynamic system when four-channel adaptive filter is applied.

Keywords: *adaptive filter, dynamic order adaptation.*