

ОПЫТНЫЙ ОБРАЗЕЦ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО БЛОКА АДАПТИВНОЙ ЦИФРОВОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ НА ФОНЕ МАСКИРУЮЩЕГО ШУМА

К. т. н. В. П. Рябуха, д. т. н. Д. И. Леховицкий, к. т. н. А. В. Семеняка, Е. А. Катюшин

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Украина, г. Харьков
rvr@kture.kharkov.ua

Представлен опытный образец аппаратно-программного блока адаптивной цифровой пространственной обработки сигналов на фоне маскирующих шумовых помех на основе адаптивного решетчатого фильтра, выполненный на базе программируемой логической интегральной схемы. Приведены результаты предварительных испытаний.

Ключевые слова: шумовые помехи, опытный образец, адаптивный решетчатый фильтр.

В Харьковском национальном университете радиоэлектроники на основе 15-входового 13-ступенчатого параллельного адаптивного решетчатого фильтра (рис. 1) создан опытный образец аппаратно-программного блока адаптивной цифровой пространственной обработки (АПБ АЦПО) сигналов на фоне маскирующих шумовых помех, который входит в состав программно-аппаратного комплекса, включающего также персональный компьютер (рис. 2). АПБ АЦПО создан на базе отладочной платы MDSEVM6678L фирмы Xilinx с высокоскоростной программируемой логической интегральной схемой Virtex 7. Опытный образец АПБ АЦПО позволяет одновременно защитить три основных (один суммарный и два разностных) канала от 1...12 источников шумовых помех двенадцатью компенсационными каналами ($M_{\text{сотр}} = 12$). На него получен патент №112834 от 26.12.2016.

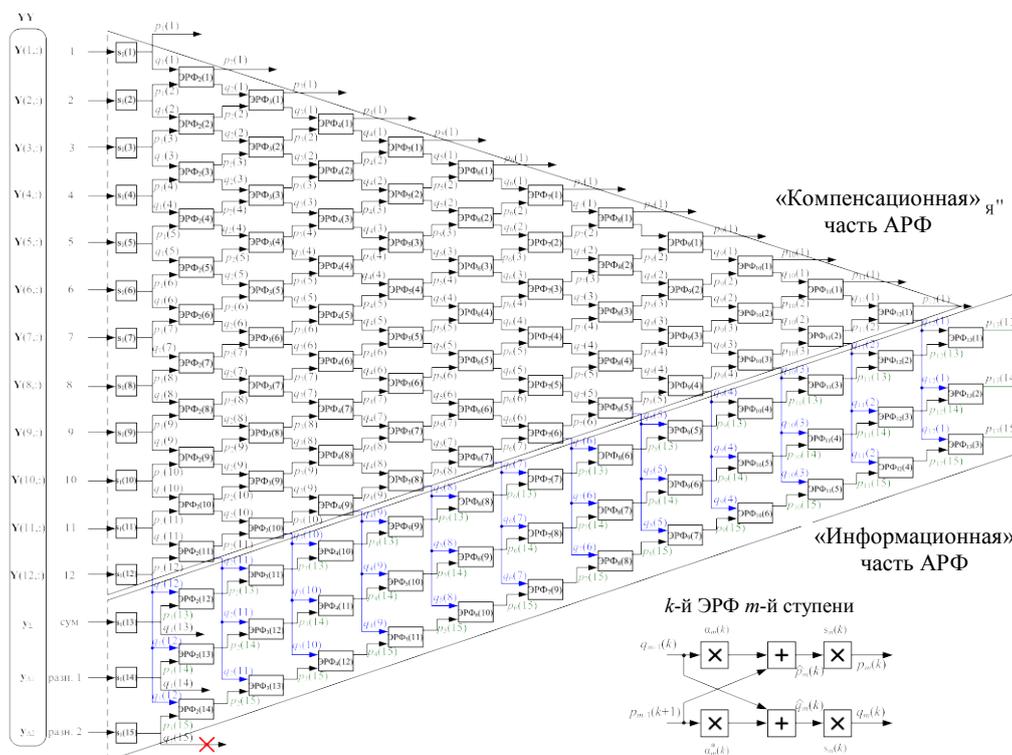


Рис. 1. Параллельный адаптивный решетчатый фильтр



Рис. 2. АПБ АЦПО

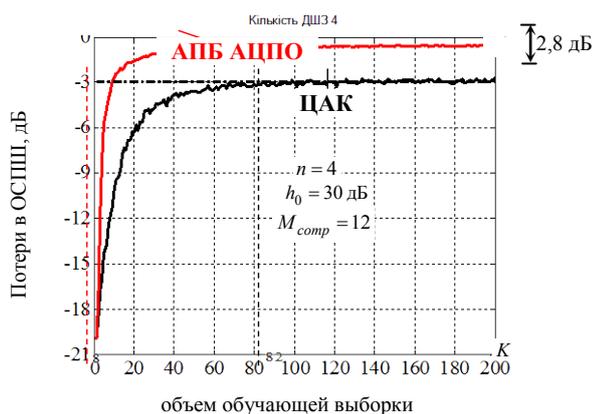


Рис. 3. Зависимость потерь в ОСПШ от объема обучающей выборки

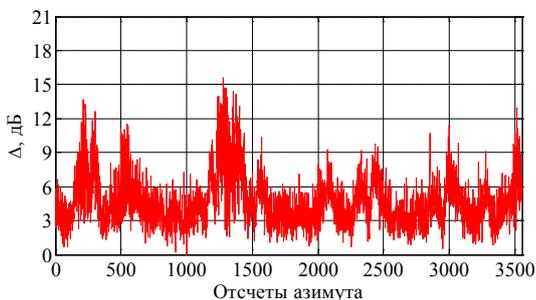


Рис. 4. Выигрыш в коэффициенте подавления

Результаты предварительных испытаний опытного образца АПБ АЦПО по смоделированным шумовым помехам и цифровым записям реальных шумовых помех показали существенный выигрыш в эффективности помехозащиты по сравнению со штатными системами существующих РЛС, в частности цифровым автокомпенсатором (ЦАК) с корреляционными обратными связями и градиентным алгоритмом настройки весовых коэффициентов. Так, на рис. 3 показана зависимость средних потерь в отношении сигнал/(помеха + шум) (ОСПШ)

$$\bar{\chi}(K) = \frac{\bar{\mu}(K)}{\mu} \leq 1$$

от объема обучающей выборки K смоделированных шумовых помех, создаваемых $n = 4$ источниками, действующими в области боковых лепестков диаграммы направленности ФАР, при отношении помеха/шум в основном (суммарном) канале $h_0 = 30$ дБ. Здесь μ — максимальное ОСПШ оптимального фильтра в гипотетических условиях полной априорной определенности.

Анализ рис. 3 показывает, что опытный образец АПБ АЦПО в переходном режиме обеспечивает быстрое действие адаптации ($K = 8$), определяемое объемом выборки K , при котором потери ОСПШ $\bar{\chi}(K)$ не превосходят допустимого уровня -3 дБ, на порядок выше, чем ЦАК ($K = 82$). Кроме того, в установившемся режиме обеспечивается также выигрыш в ОСПШ, равный $2,8$ дБ.

Существенный выигрыш $\Delta = k_{p\text{АПБ АЦПО}} - k_{p\text{ЦАК}}$ (в дБ) в коэффициенте подавления k_p опытного образца АПБ АЦПО по сравнению с ЦАК в испытаниях по цифровым записям реальных шумовых помех, создаваемых тремя источниками шумовых помех, иллюстрирует рис. 4. При этом АПБ АЦПО настраивался по обучающей выборке объемом $K = 16$, а ЦАК — объемом $K = 55$, количественно компенсационных каналов $M_{\text{сotr}} = 3$.

Таким образом, внедрение созданного опытного образца аппаратно-программного блока адаптивной цифровой пространственной обработки сигналов на фоне маскирующих шумовых помех в существующие и новые РЛС позволит обеспечить рекордные на сегодняшний день показатели эффективности адаптации.

V. P. Ryabukha, D. I. Lekhovytskiy, A. V. Semeniaka, E. A. Katiushyn

Prototype hardware and software unit for adaptive digital spatial signal processing against masking noise

The paper describes a prototype hardware-software unit for adaptive digital spatial processing of signals embedded in masking noise jamming. The prototype is built using the adaptive lattice filter based on programmable logic chip (PLC). Results of pre-testing are given.

Keywords: noise jamming, exploratory model, adaptive lattice filter.