

*В.А. Швеи, к.т.н., А. В. Швеи
(Национальный авиационный университет, Украина)*

*В.В. Швеи
(Европейский университет, Украина)*

Импульсная характеристика пространственного фильтра как аналог корреляционной матрицы помехи в адаптивной антенной решетке навигационных систем GPS, ГЛОНАСС, GALILEO

Представлен метод прямого вычисления обратной корреляционной матрицы помехи для решения уравнения Виннера-Хопфа в адаптивных антенных решетках и формировании "нуля" диаграммы направленности при устранении помех навигационным системам GPS, ГЛОНАСС, GALILEO.

Актуальность повышения помехоустойчивости аппаратуры спутниковой навигации становится все более значительной по мере расширения сферы применения спутниковых технологий. Особое внимание ей уделяется при использовании глобальных навигационных систем. Многообразие источников помех обуславливает целый ряд направлений борьбы с ними. Наиболее действенным способом устранения помех на сегодняшний день признано применение адаптивных антенных решеток (ААР). Адаптивная решетка с помощью весовых коэффициентов в тракте приема формирует "ноль" в диаграмме направленности на источник помехи. Основным выражением при вычислении весовых коэффициентов является уравнение Винера-Хопфа (1), в котором используется обратная корреляционная матрица помехи.

$$\mathbf{w} = \mathbf{R}_{\Pi}^{-1} \cdot \mathbf{s} \quad (1)$$

где: \mathbf{w} — вектор весовых коэффициентов, \mathbf{R}_{Π}^{-1} — обратная корреляционная матрица помехи, \mathbf{s} — вектор амплитудно-фазового распределения сигнала в каналах приема ААР.

Предложенные методы [1,2] предполагают априорные знания одного из элементов уравнения (1), как правило, это полная или частичная информация о сигнале. На практике характеристики помехи и сигнала не только неизвестны, но и постоянно изменяются. Поэтому необходимо обновлять значения весового вектора, чтобы отслеживать изменение сигнально-помеховой обстановки. Это приводит к постоянной оценке вектора сигнала \mathbf{s} и матрицы помехи \mathbf{R} .

В настоящее время предлагается применять прямые методы оценки корреляционной матрицы помехи [3], однако, основная трудность в этом методе заключается в обращении плохо обусловленной матрицы помехи \mathbf{R} или, что эквивалентно, в решении плохо обусловленной системы линейных уравнений с матрицей помехи \mathbf{R} .

Устранить эту трудность можно следующим образом. Предположим, что первичным датчиком в источнике помех является генератор белого шума, корреляционная окраска помехи появится при прохождении трактов передатчика, пространственного канала передачи (это основной окрашиваемый канал) и трактов приемника навигационных сигналов или адаптивной антенной системы.

Согласно разделу 2.2 [4] спектральная плотность мощности помехи определяется корреляционной функцией.

Тогда импульсную характеристику формирующего фильтра можно определить через корреляционную функцию помехи

$$h(t) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\omega_c} \left[\int_0^{\tau} R(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau \right]^2 e^{j\omega t} d\omega. \quad (2)$$

Выражение (2) можно записать в матричном виде для дискретных сигналов

$$\mathbf{h} = \mathbf{W}^* \mathbf{W} \mathbf{r} \frac{1}{2} \quad (3)$$

где: $\mathbf{W} = e^{-j\frac{2\pi kn}{N}}$ — матрица поворачивающих множителей дискретного преобразования Фурье, \mathbf{W}^* — матрица комплексно-сопряженная к \mathbf{W} , \mathbf{r} — вектор значений корреляционной функции, \mathbf{h} — вектор импульсной характеристики.

Исходя из того, что ААР является пространственным фильтром выражение (3) можно записать для двумерного вида размерности $N \times N$

$$\mathbf{H} = \mathbf{W}^* \mathbf{W} \mathbf{R} \frac{1}{2}, \quad (4)$$

Найдем обратную корреляционную матрицу из (4). После возведения (4) в квадрат получим

$$\mathbf{H}^2 = \mathbf{W}^{*2} \mathbf{W} \mathbf{R}. \quad (5)$$

Проведем умножение справа обеих частей (5) на \mathbf{R}^{-1}

$$\mathbf{H}^2 \mathbf{R}^{-1} = \mathbf{W}^{*2} \mathbf{W} \mathbf{R} \mathbf{R}^{-1} = \mathbf{W}^{*2} \mathbf{W} \mathbf{I} = \mathbf{W}^{*2} \mathbf{W}. \quad (6)$$

Умножим слева обе части (6) на $(\mathbf{H}^2)^{-1}$

$$\begin{aligned} \mathbf{H}^2{}^{-1} \mathbf{H}^2 \mathbf{R}^{-1} &= \mathbf{H}^2{}^{-1} \mathbf{W}^{*2} \mathbf{W}, \\ \mathbf{I} \mathbf{R}^{-1} &= \mathbf{H}^2{}^{-1} \mathbf{W}^{*2} \mathbf{W}, \\ \mathbf{R}^{-1} &= \mathbf{H}^2{}^{-1} \mathbf{W}^{*2} \mathbf{W}. \end{aligned} \quad (7)$$

где: \mathbf{R}^{-1} — обратная корреляционная матрица помехи, \mathbf{H} — матрица импульсной характеристики источника помехи, \mathbf{I} — единичная матрица. Таким образом (7) является выражением для определения обратной корреляционной матрицы помехи.

В выражении (7) матрица \mathbf{H} , как и матрица \mathbf{R} является неизвестной. Получить импульсную характеристику фильтра можно воспользовавшись методом *идентификации системы*. Под термином *идентификация системы* понимают определение характеристики $h(n)$, если она не известна.

Выход системы связан с ее входом следующим соотношением (сверткой)

$$y(n) = \sum_{m=0}^n h(m)x(n-m) = h(n) \otimes x(n)$$

где: $y(n)$ — выходная последовательность (помеха с корреляционной функцией r), $x(n)$ — входная последовательность (нормальный белый шум), $h(n)$ — искомая импульсная характеристика формирующего фильтра.

Таким образом, имея в ААР генератор белого шума из входной последовательности (т. е.) с выходов усилителей промежуточной частоты методом идентификации системы определяется импульсная характеристика, необходимая для вычисления обратной корреляционной матрицы в выражении (1).

Список литературы

1. Лосев Ю. И. Адаптивная компенсация помех в каналах связи / Ю. И. Лосев, А. Г. Бердников, Э. Ш. Гойхман, Б. Д. Сизов; Под ред. Ю. И. Лосева. — М.: Радио и связь, 1988. — 208 с. — ISBN 5-256-000-30-6.
2. Монзинго Р. А. Адаптивные антенные решетки: Введение в теорию / Р. А. Монзинго, Т. У Миллер / Пер. с англ. / Под ред. В. А. Лексаченко. — М.: Радио и связь, 1986. — 448с.
3. Ратынский М. В. Адаптация и сверхразрешение в антенных решетках / М. В. Ратынский. — М.: Радио и связь, 2003. — 200 с. — ISBN 5-256-01698-9.
4. Быков В. В. Цифровое моделирование в статистической радиотехнике / В. В. Быков. — М.: Советское радио, 1971. — 328 с.