

Э. А. Ковалевский, канд. техн. наук., В. В. Конин, доктор техн. наук (НАУ, Украина)

АНТЕННАЯ СИСТЕМА С АДАПТАЦИЕЙ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗА О СИГНАЛЬНО-ПОМЕХОВОЙ ОБСТАНОВКЕ

Рассмотрен вариант построения адаптивной антенны GNSS с вычислением весовых коэффициентов на основе априорной информации. Приведены результаты исследования на математической модели.

Адаптивная антенная решетка, спутниковая радионавигация

I. Введение

Проблема защиты от помех связных, локационных и навигационных радиоканалов обуславливает поиск новых научно-технических решений. Актуальным исправлением для борьбы с помехами является разработка адаптивных антенно-приемных систем (ААПС) на базе антенных решеток [1,2]. Принципиальным моментом использования антенных решеток (АР) является переход к многоканальной системе приема информации. Это обуславливает многовариантность подходов к построению адаптивных антенн.

В [3] был рассмотрен вариант ААПС аппаратуры спутниковой радионавигации, основанный на измерении (расчете) углов прихода помех и сигналов.

В нем по рассчитанным углам прихода навигационных сигналов и измеренным углам прихода помех определяются весовые коэффициенты и формируются провалы в диаграмме направленности в направлении помех.

В данной работе этот вариант развивается на случай прогнозирования сигнально-помеховой обстановки.

II. Принцип построения

При известных углах прихода сигналов и помех весовые коэффициенты для адаптации диаграммы направленности (ДН) антенной системы (АС) вычисляются согласно выражению [3]

$$W = \Phi^{-1} \cdot B, \quad (1)$$

где W – вектор весовых коэффициентов, Φ – матрица фазовых сигнальных и помеховых составляющих на элементах антенной решетки, B – вектор, состоящий из 1 в сигнальных и 0 в помеховых строках системы уравнений (1).

Весовые коэффициенты W можно определять, задаваясь прогнозируемыми значениями углов прихода сигналов и помех.

Углы прихода сигналов навигационных спутников можно прогнозировать по оперативной (эффемериды) и неоперативной (альманах) информации, передаваемой со спутников [4], зная координаты носителя АС.

В зависимости от обстановки вокруг носителя ААПС можно предполагать о наличии переотражений от местных предметов.

При навигационных определениях обрабатываются сигналы всех доступных спутников. Однако необходимым является наличие четырех спутников.

Выбираются 4 спутника с максимальным геометрическим фактором.

Рассмотрим следующие варианты задания адаптационных режимов.

Вариант 1. Диаграмма направленности ААПС формируется с максимумом в направлении прихода 4-х сигналов и провалами равномерно распределенными между ними. (Рис.1).

На рис.1 χ – обозначены направления прихода сигналов, Δ – помех.

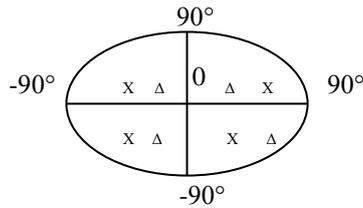


Рис.1 Подавление приема между сигнальными направлениями

Вариант 2. Подавление приема сигналов с боковых направлений.

Максимумы ДН формируем в направлениях прихода сигналов, а подавление приема приводит в боковом угловом секторе Ω (рис.2).

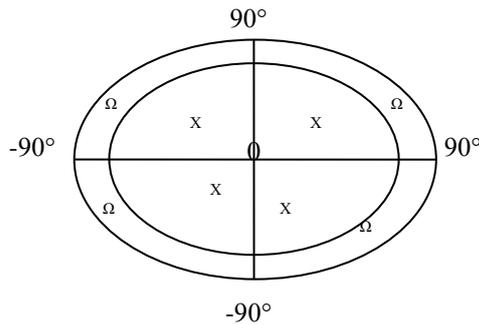


Рис.2 Подавление приема сигналов в боковых направлениях

Возможно различное сочетание вариантов 1 и 2.

Количество реализуемых вариантов увеличивается с увеличением размеров антенной решетки.

III. Моделирование

Исследуем модель ААПС с 8-ми элементной антенной решеткой, состоящей из блоков входной сигнально-помеховой обстановки, вычисления коэффициентов адаптации и показателей подавления помех.

Сигнал представим в виде

$$U_k = U_i \cdot e^{-j \frac{2\pi d}{\lambda} \sin \alpha_i \cdot k}$$

где $k \in (0 \dots n-1)$ – номер элемента, d – расстояние между элементами АР, λ – длина волны, U_i , α_i – амплитуда и угол прихода i -го сигнала.

Помехи представлены в виде $U_{nk} = U_{nl} \cdot e^{-j \frac{2\pi d}{\lambda} \sin \Theta_l \cdot k}$,

где Θ_l – угол прихода, U_{nl} – амплитуда l -ой помехи.

В блоке адаптации решается система уравнений (1).

Показатели подавления помехи вычисляются соответственно выражению

$$E_{m,n} = 20 \lg h_1(\Theta_m) - 20 \lg h_1(\alpha_n),$$

где Θ_m – угол прихода m -помехи, α_n – угол прихода n -го сигнала, h_1 – адаптивная ДН системы.

Дополнительно введен показатель

$$P_\alpha = \left[\begin{array}{cc} \alpha_2 & \alpha_2 \\ \int_{\alpha_1} h(\alpha) d\alpha & \int_{\alpha_1} h_1(\alpha) d\alpha \end{array} \right]$$

где $h(\alpha)$ – ДН неадаптированной системы, α_1 - α_2 – угловой сектор приема сигналов, характеризующий отношение пространственных плотностей принимаемых сигналов двумя системами.

Рассмотрим ситуацию рис.2

Эксперимент 1. Исходные данные – параметры АР:

$$d = 1, \lambda = 2, N = 8;$$

$$\text{параметры сигналов: } U_1 = U_2 = U_3 = U_4 = 10^{-3};$$

$$\alpha_1 = -60^\circ, \alpha_2 = -30^\circ, \alpha_3 = 30^\circ, \alpha_4 = 60^\circ, \text{ параметры помех: } U_n = 1,$$

$$\Theta_1 = -90^\circ, \Theta_2 = -80^\circ, \Theta_3 = 80^\circ, \Theta_4 = 90^\circ; \text{ параметры интегрирования: } \alpha_1 = 80^\circ, \alpha_2 = 90^\circ.$$

В результате моделирования получено:

$$E_{m,n} \approx -198\text{дБ при } m \in (0,3), n \in (0,3).$$

$$P_\alpha = 54\text{дБ}.$$

Введение ошибок вычисления углов α_i с математическим ожиданием 5° и среднеквадратическим отклонением 5° существенно не сказывается на результате формирования адаптивной диаграммы направленности. Поэтому точность прогноза направлений прихода навигационных сигналов не критична.

Эксперимент 2. Ситуация рис.1

Исходные данные: в отличие от эксперимента 1

$$\Theta_0 = -50^\circ, \Theta_1 = -40^\circ, \Theta_2 = 40^\circ, \Theta_3 = 50^\circ.$$

Получаем следующие результаты:

$$E_{m,n} \approx -198\text{дБ } m \in (0..3), n \in (0..3).$$

$$P_\alpha = 0.75\text{дБ, при } \alpha_1 = -90^\circ, \alpha_2 = +90^\circ;$$

$$P_\alpha = 18\text{дБ, при } \alpha_1 = \pm 80^\circ, \alpha_2 = \pm 80^\circ;$$

Графически результаты моделирования представлены на рис.3.

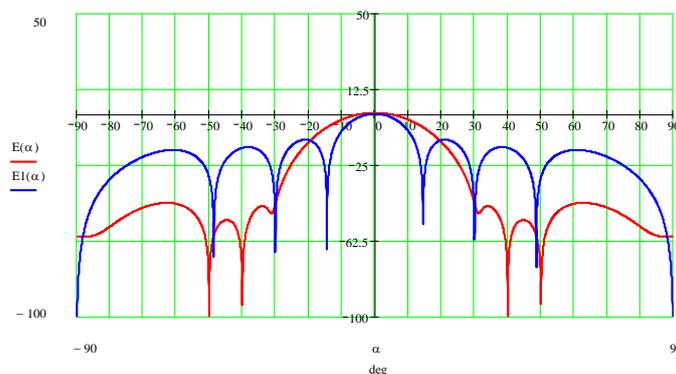


Рис.3 Графическое изображение адаптированной и неадаптированной ДН

Изменение уровней сигналов и помех не влияет на эффективность работы системы.

Были проведены также эксперименты с моделью ААПС, содержащей 4-х элементную антенную решетку.

Из данных экспериментов следует, что предлагаемая ААПС:

- обеспечивает существенное подавление прогнозируемых помех независимо от уровней помех и сигналов;

- значительно подавляются помехи, пришедшие с выбранных направлений, расположенных произвольно относительно направлений сигналов;

– наиболее эффективное подавление помех в зоне бокового приема сигналов $\pm(80-90)^\circ$.

Адаптивный алгоритм прост в реализации и не требует применения когерентных каналов преобразования СВЧ-сигналов в цифровые отсчеты, что значительно упрощает построение ААПС.

IV. Заключение

Как показало моделирование, предлагаемая адаптивная антенно-приемная система позволяет осуществлять подавление помех при различных прогнозируемых ситуациях сигнально-помеховой обстановки.

Алгоритм адаптации прост, устойчив и не требует заметного усложнения аппаратуры при реализации.

Эффективность системы возрастает при увеличении числа элементов антенной решетки.

Список литературы

1. Монзинго Р. А., Миллер Т. У. Адаптивные антенные решетки. М.: Радио и связь. 1986. – 448 с.
2. Williams D., Clark S., Cook J. et al. Four-Element Adaptive Array Evolution for United States Navy Airborne Applications / ION GPS 2000, 19-22 September 2000, Salt Lake City, T, p. 2523-2532.
3. Ковалевский Э.А. Адаптивные антенно-приемные системы средств спутниковой аэронавигации//Матеріали V Міжнародної конференції “Авіо-2003”, 23-25 квітня 2003, т.2 “Аерокосмічні системи моніторингу та керування”, Київ, НАУ, 2003, с.21.14-21.17.
4. Бабак В.П., Конін В.В., Харченко В.П. Супутникова радіонавігація, Київ, Техніка, 2004. – 328с.