

УДК 621.396.96

СЛЕЖЕНИЕ ЗА УГЛОМ ОРИЕНТАЦИИ ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ

А.И. ЛОГВИН, А.В. СТАРЫХ

Рассматриваются варианты построения систем слежения за углом ориентации плоскополяризованной электромагнитной волны.

Ключевые слова: система слежения, плоскополяризованная электромагнитная волна, угол ориентации.

В процессе распространения плоскополяризованная электромагнитная волна может испытывать изменение угла ориентации относительно выбранной системы координат, что затрудняет прием такого сигнала или ухудшает характеристики принимаемого сигнала. Для устранения этого явления или минимизации его влияния на характеристики приемного устройства следует обеспечить непрерывное слежение за изменениями угла ориентации плоскости поляризации волны. Такие устройства слежения применяются во многих современных радиолокационных станциях, но они не всегда являются оптимальными по своим реализуемым характеристикам.

Получить оптимальную (квазиоптимальную) схему слежения за углом ориентации плоскости поляризации электромагнитной волны можно путем использования методов нелинейной марковской фильтрации, что было показано в [1]. В этой работе была принята вероятностная модель для изменения значений угла ориентации $\beta(t)$ в виде равномерного закона, т.е.

$$W(\beta) = \frac{1}{\pi}, -\pi/2 \leq \beta \leq \pi/2, \quad (1)$$

где $W(\beta)$ - плотность распределения угла ориентации.

Кроме того, при решении интегро-дифференциального уравнения нелинейной марковской фильтрации было принято предположение о нормальном виде апостериорной плотности распределения угла ориентации, т.е. было использовано так называемое гауссовское приближение в теории нелинейной марковской фильтрации [2].

Однако это достаточно упрощенный случай, не соответствующий реальным условиям эксплуатации конкретных образцов радиолокационных станций. Поэтому в данной работе мы рассмотрим более сложный случай, когда апостериорная плотность распределения вероятностей угла ориентации определяется следующим выражением, полученным в [3]

$$W(\beta) = \frac{\exp(q \cdot \cos\beta)}{\int_{-\pi/2}^{\pi/2} \exp(q \cdot \cos\beta) d\beta}, \quad (2)$$

где q – коэффициент, определяемый отношением сигнал/шум на входе устройства слежения и параметрами схемы слежения за углом ориентации.

Нетрудно видеть, что при $q=0$ $W(\beta) = \frac{1}{\pi}$, а при $q = \infty$, $W(\beta)$ трансформируется в дельта-функцию. Другими словами, в начальный момент времени плотность распределения угла ориентации рассматривается как равномерная, далее при переходе в стационарный режим работы плотность распределения угла ориентации $\beta(t)$ описывается выражением (2), и при условии устремления коэффициента q (определяемого отношением сигнал/шум) в бесконечность функция плотности распределения вероятностной $W(\beta)$ переходит в дельта-функцию.

Если посмотреть на знаменатель в формуле (2), то может показаться, что там представлена модифицированная функция Бесселя $J_0(\beta)$, однако это не так. Форма записи в знаменателе соотношения (2) была бы действительно модифицированной функцией Бесселя нулевого порядка, если бы пределы интегрирования в интеграле были бы либо от 0 до 2π , либо от $-\pi$ до π . Однако при пределах интегрирования от $-\pi/2$ до $\pi/2$ функция Бесселя не получается, а выражение в этом случае выглядит более сложно.

Анализ показал, что выражение в знаменателе соотношения (2) может быть представлено в следующем виде, если его обозначить в виде функции $L(q)$

$$L(q) = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \exp(q \cdot \cos\beta) d\beta = \pi J_0(q) + 4 \sum_{k=2i+1}^{\infty} (-1)^i \cdot \frac{1}{k} J_k(q), i = 0, 1, 2, \dots, \quad (3)$$

где $J_0(q)$, $J_k(q)$ - модифицированные функции Бесселя нулевого и k -го порядков.

Приведем здесь несколько значений функции $L(q)$, а именно:

$$\begin{aligned} q = 0, L(q) &= \pi; \\ q = 1, L(q) &= 6,208; \\ q = 3, L(q) &= 29,937; \\ q = 10, L(q) &= 17691,463. \end{aligned}$$

Решая основное интегро-дифференциальное уравнение нелинейной марковской фильтрации, приведенное в [2], без применения гауссовского приближения, мы получим уравнение оптимальной фильтрации угла ориентации $\beta(t)$, на основе которого получаем оптимальную схему фильтрации, показанную на рис. 1.

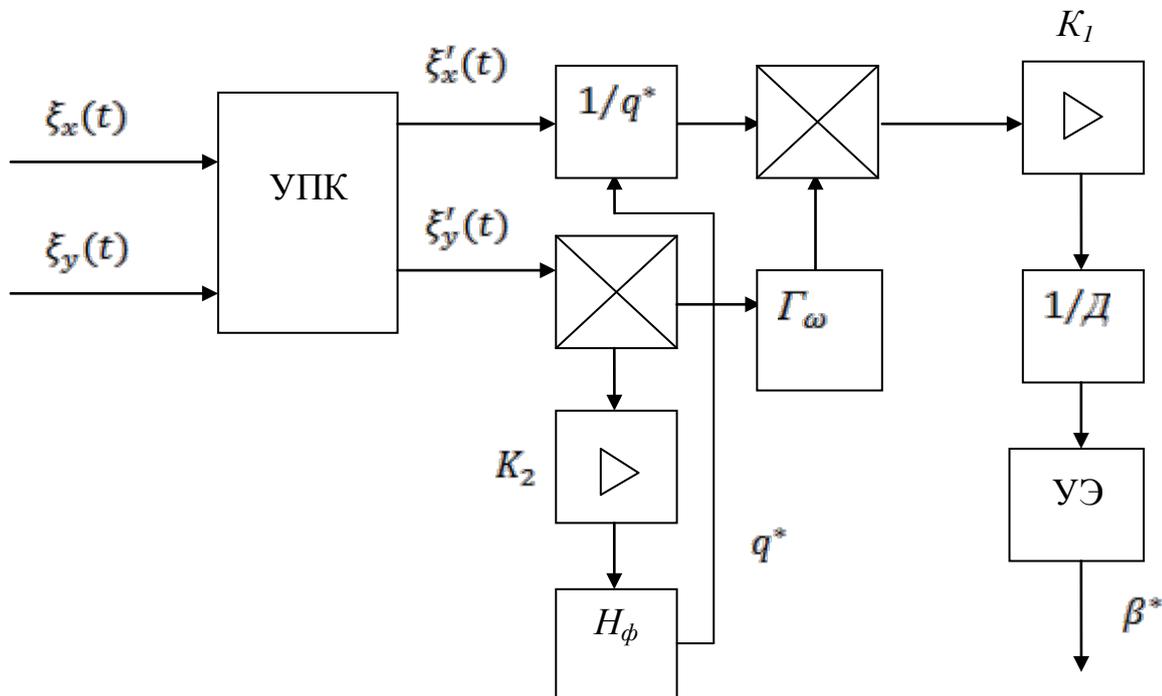


Рис. 1. Структурная схема, реализующая алгоритм оптимальной фильтрации угла ориентации $\beta(t)$

На рис. 1 приняты следующие обозначения: $\xi_x(t), \xi_y(t)$ – входные ортогональные компоненты поляризованного сигнала; УПК – устройство преобразования координат, подробно описанное в [1]; $\xi'_x(t), \xi'_y(t)$ – преобразованные ортогонально поляризованные компоненты входного сигнала; K_1, K_2 – коэффициенты усиления усилителей; УЭ – управляющий элемент; $1/D$ – оператор интегрирования; Γ_ω – опорный генератор для гетеродинамирования; H_ϕ – нелинейный фильтр, который имеет следующую передаточную функцию

$$\ell(q) = \frac{L(q)}{L(q) - L'(q)}, \quad (4)$$

где $L'(q)$ – производная от L-функции, которая может быть представлена в следующем виде

$$L'(q) = \pi J_1(q) + 2 \sum_{k=2i}^{\infty} (-1)^{i+2} \cdot \left[\frac{1}{k+1} J_k(q) + \frac{1}{k+1} J_{k+2}(q) \right].$$

Звездочки при β и q показывают оценочные значения, получаемые в процессе фильтрации.

Таким образом, реализация оптимальной схемы фильтрации угла ориентации $\beta(t)$, в отличие от квазиоптимальной схемы, приведенной в [1], требует введения нелинейного фильтра с передаточной функцией, описываемой соотношениями (4). Реализация такого фильтра в настоящее время трудностей не вызывает.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дистанционные методы исследования морских льдов / под ред. А.И. Козлова. - СПб.: Гидрометеоздат, 1993.
2. Ярлыков М.С. Применение марковской теории нелинейной фильтрации в радиотехнике. - М.: Сов. радио, 1980.
3. Logvin A.I., Kozlov A.I. Optimal Polarization Processing of Radio Signals for Remote Sensing Theory and Experimental Results. 1990 International Symposium Digest Antennas and Propagation. Dallas, USA, 1990.

TRACKING FOR ORIENTATION ANGLE POLARIZATION PLATE ELECTROMAGNETIC WAVE

Logvin A.I., Staryh A.V.

Variants construction tracking system for orientation angle plate polarization electromagnetic wave are considered.

Key words: tracking system, plate polarization electromagnetic wave, orientation angle.

Сведения об авторах

Логвин Александр Иванович, 1944 г.р., окончил КГУ (1966), доктор технических наук, профессор МГТУ ГА, заслуженный деятель науки РФ, академик Российской академии транспорта, автор более 500 научных работ, область научных интересов - техническая эксплуатация РЭО, радиолокация, системы УВД.

Старых Александр Васильевич, 1957 г.р., окончил МИИГА (1985), доктор технических наук, профессор МГТУ ГА, автор более 70 научных работ, область научных интересов – радиолокация, микро-волновая радиометрия.