

ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЙ КОРРЕЛЯТОР С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ РАКУРСА ИЗОБРАЖЕНИЯ

В. А. Зубов, А. В. Крайский, Т. Т. Султанов

УДК 621.378.9:772.99

Рассмотрена работа коррелятора с модифицированной схемой интерферометра Маха-Цендера в режиме определения ракурса опознаваемого изображения. Выполнен анализ чувствительности схемы. Получены экспериментальные подтверждения проведенного анализа.

В интерференционном корреляторе, основанном на схеме модифицированного интерферометра Маха-Цендера /1-3/, легко может быть реализовано определение ракурса изображения объекта при опознавании образов /4/. Это достигается простым вращением фильтра с изображением опознаваемого образа, расположенного в одном из плеч интерферометра. В работе рассматривается вариант, связанный лишь с определением ракурса, действие помех, для простоты, анализироваться не будет.

При освещении фильтра плоской монохроматической волной с единичной амплитудой формируется поле с комплексной амплитудой

$$E_T(\xi, \eta) = E_T [(\xi - \xi_T) \cos \Omega t + (\eta - \eta_T) \sin \Omega t, \quad (I) \\ - (\xi - \xi_T) \sin \Omega t + (\eta - \eta_T) \cos \Omega t],$$

где ξ_T, η_T - координаты центра вращения, Ω - угловая скорость вращения. Во втором плече интерферометра располагается транспарант с входной информацией, содержащей также изображение объекта.

Комплексная амплитуда поля в этом канале имеет вид

$$E_s(\xi, \eta) = E_s(\xi - \xi_s, \eta - \eta_s), \quad (2)$$

где ξ_s, η_s — координаты образа объекта, соответствующие центру вращения фильтра. Оптическая система, расположенная на выходе интерферометра, выполняет для полей (1) и (2) операцию преобразования Фурье.

В задней фокальной плоскости этой системы находится приемная площадка фотозлектрического приемника, фототок которого содержит составляющие, связанные как с засветкой излучением из каждого плеча интерферометра, так и с интерференцией полей. Ток, обусловленный фоновой засветкой, может быть исключен при использовании схемы регистрации с емкостным входом. Зависящая от времени компонента тока дает функцию автокорреляции для сигнала

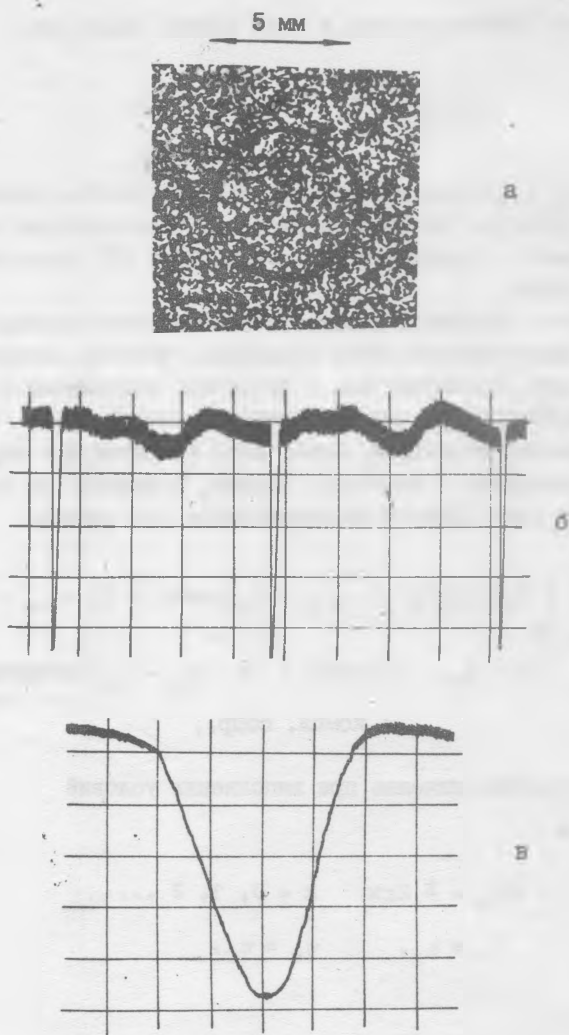
$$J_{sR}(t) \propto \int_{\xi\eta} E_s(\xi, \eta) E_R^*(\xi + \xi_s - \xi_R, \eta + \eta_s - \eta_R) \cos \Omega t + (\eta + \eta_s - \eta_R) \sin \Omega t, \\ - (\xi + \xi_s - \xi_R) \sin \Omega t + (\eta + \eta_s - \eta_R) \cos \Omega t) d\xi d\eta + \\ + \text{компл. сопр.}, \quad (3)$$

имеющую пиковое значение при выполнении условий

$$\Omega t_m = \pm 2k\pi \quad k = 0, 1, 2 \dots \\ \xi_s = \xi_R, \quad \eta_s = \eta_R, \quad (4)$$

которые соответствуют совпадению волновых фронтов из двух плеч интерферометра.

Иллюстрация работы коррелятора в таком режиме представлена на рис. 1. Транспарант со случайной структурой получался при фотографировании светового поля, образованного матовым стеклом.



Р и с. 1. Иллюстрация характера работы схемы коррелятора:
 а) - негатив транспаранта, сплошная линия ограничивает рабочую область; б), в) - осциллограммы выходного тока, скорость развертки соответственно 2мс/дел и 0,05 мс/дел

Осциллограммы характеризуют полезную составляющую выходного тока приемника $J_{sr}(t)$ при условии $\xi_s = \xi_T$, $\eta_s = \eta_T$.

Выполним анализ чувствительности схемы к повороту изображения объекта. Для упрощения ограничимся корреляционным импульсом, соответствующим $t_m = 0$ (см. (4)), и достаточно малыми временными интервалами $t \ll 1/\Omega$, так как для анализа существенна лишь длительность корреляционного импульса. В этом случае (3) при $\xi_s = \xi_T$, $\eta_s = \eta_T$ имеет вид

$$J_{sr}(t) \approx \int_{\xi\eta} E_s(\xi, \eta) E_T^*(\xi + \eta\Omega t, -\xi\Omega t + \eta) d\xi d\eta + \text{компл. сопр.} \quad (5)$$

Воспользуемся моделью, позволяющей выполнить расчеты в аналитическом виде. Разобьем транспарант на отдельные элементы площадью $S_1 = \Delta\xi_1 \Delta\eta_1$, которые достаточно малы, чтобы для интервалов времени $t \ll 1/\Omega$ можно было не учитывать поворот элемента. Но, с другой стороны, площадь элемента достаточно велика, чтобы функция автокорреляции для элемента $K_1(t)$ в своей основной части совпадала с функцией автокорреляции для всего транспаранта $K_\Omega(t)$. Кроме того, примем, что эта функция не меняется при переходе от одного элемента к другому и смещение элемента на край транспаранта превосходит радиус функции. В рамках такой модели можно ввести плотность функции корреляции $K(\xi, \eta)$ следующим образом

$$K_1(t) = K(\xi(t), \eta(t)) S_1. \quad (6)$$

Это дает

$$\begin{aligned} K_\Omega(t) &= \sum_1 K((\eta_1 + \Delta\eta)\Omega t, -(\xi_1 + \Delta\xi)\Omega t) S_1 \approx \\ &\approx \int_S K(\eta_1 \Omega t, -\xi_1 \Omega t) d\xi_1 d\eta_1, \end{aligned} \quad (7)$$

где S — полная площадь рабочей области транспаранта. Длительность импульса корреляции $2\Delta t$ будем определять по временному

интервалу между точками, соответствующими уменьшению тока импульса в m раз от пикового значения

$$K_{\Omega}(\Delta t) = K_{\Omega}(0)/m. \quad (8)$$

Положение пиков функции автокорреляции определяется условиями (4) и их величина имеет одинаковые значения для смещения и вращения, так как она связана лишь с совпадением волновых фронтов, т.е.

$$K_{\Omega}(0) = \int_S K(0,0) d\xi_1 d\eta_1 = K(0,0)S. \quad (9)$$

С учетом (8) получаем

$$K_{\Omega}(\Delta t) = \int_S K(\eta_1 \Omega \Delta t, -\xi_1 \Omega \Delta t) d\xi_1 d\eta_1 = K(0,0)S/m. \quad (10)$$

Если в (10) выполнить замену переменных

$$\eta_1 \Omega t = u, \quad -\xi_1 \Omega t = v, \quad (11)$$

то под интегралом в рамках принятой модели можно считать, что $K(u, v)$ является плотностью функции корреляции для транспаранта. Окончательно получаем

$$(\Delta \beta)^2 = (\Omega \Delta t)^2 = m \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} K(u, v) du dv \right\} / K(0,0)S, \quad (12)$$

где $2\Delta\beta$ — ширина импульса корреляции для поворота, определенная указанным выше способом. Переход к бесконечным пределам интегрирования возможен потому, что вклад периферийных участков мал.

Для конкретной модели плотности функции корреляции с аксиальной симметрией вида

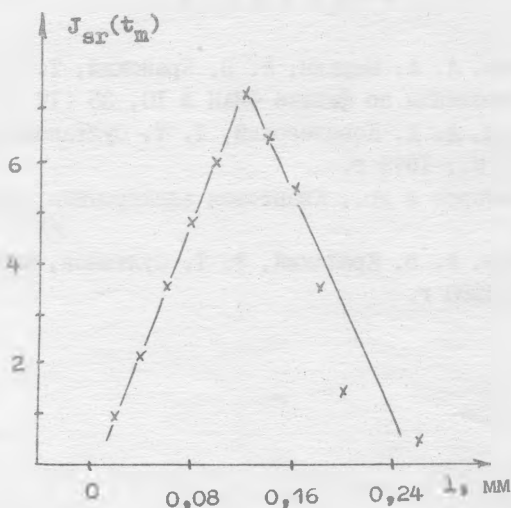
$$K(r) = \begin{cases} 1 - r/2\Delta r, & \text{при } r \leq 2\Delta r, \\ 0, & \text{при } r > 2\Delta r, \end{cases} \quad (13)$$

где r - смещение картины по радиусу, $2\Delta r$ - ширина импульса корреляции для смещения, из (12) имеем

$$\Delta r = (3/2\sqrt{2})\Delta\beta R. \quad (14)$$

В этом выражении R - радиус окружности, ограничивающей рабочую область.

Результаты экспериментов, выполненных для транспаранта со случайной структурой (см. рис. 1а), представлены на рис. 2.



Р и с. 2. Результаты измерения чувствительности схемы к смещению изображения при вращении фильтра. $J_{sr}(t_m)$ - величина корреляционного импульса в относительных единицах, l - смещение транспаранта с изображением объекта в мм, крестики соответствуют экспериментальным точкам

Количественные измерения ширины корреляционного импульса на половине высоты ($m = 2$) для транспаранта с $2R = 4,5$ мм дают $2\Delta\varphi = 0,084$ рад и на основании расчета по (14) $2\Delta r \approx 0,11$ мм. Эксперименты (см. рис. 2) дают величину $2\Delta r \approx 0,12$ мм. Совпадение результатов показывает, что предложенная модель и соотношение (12) могут быть использованы для оценки чувствительности к повороту интерференционного коррелятора, работающего с определением ракурса.

Поступила в редакцию
24 марта 1980 г.

Л и т е р а т у р а

1. В. А. Зубов, А. А. Меркин, А. В. Крайский, Т. Т. Султанов, Краткие сообщения по физике ФИАН № 10, 35 (1978).
2. В. А. Зубов, А. Д. Ковалевский, Т. Т. Султанов, Препринт ФИАН № 10, М., 1979 г.
3. А. И. Золотарев и др., Квантовая электроника, б. № 11, 2460 (1979).
4. В. А. Зубов, А. В. Крайский, Т. Т. Султанов, Препринт ФИАН № 11, М., 1980 г.