

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ И ВАРИАЦИЯ РАЗРЕШЕНИЯ
В ПРОЦЕССЕ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ

В. А. Зубов, Т. Т. Султанов

УДК 621.378.9 : 772.99

Выполнено исследование схемы корреляционной обработки оптической информации с использованием нестационарной опорной волны. Показано, что использование пространственной фильтрации в плоскости регистрации позволяет снизить требования к качеству транспаранта с входной информацией и к точности его установки.

При выполнении корреляционной обработки оптической информации с использованием нестационарной опорной волны с линейным изменением частоты по сечению /I-3/ плоскость регистрации информации xu является плоскостью пространственных частот для исходной информации. Использование в этой плоскости фильтра пространственных частот позволяет в значительной степени варьировать разрешение корреляционного метода обработки. Проанализируем этот процесс фильтрации. Переменная составляющая выходного тока фотоэлектрического приемника, характеризующая полезный сигнал в схеме типа интерферометра Маха-Цендера, описывается выражением /3/

$$I_{\sim}(t) \sim \frac{1}{4\pi^2} \int_{xu} F_0 \left(\frac{\omega x}{cT}, \frac{\omega y}{cT} \right) F_R^* \left(\frac{\omega x}{cT}, \frac{\omega y}{cT} \right) \times \\ \times \exp \left[i \frac{\omega}{c} \frac{x(\xi_T + vt - \xi_0) - y(\eta_T - \eta_0)}{T} \right] d \left(\frac{\omega x}{cT} \right) d \left(\frac{\omega y}{cT} \right) + \text{к.с.} (I)$$

Для количественных оценок рассмотрим случай, когда картины в сигнальном канале и в канале опорной волны характеризуются ограниченным спектром пространственных частот. Примем следующее, удобное для расчетов, описание этого спектра

$$F_0 \left(\frac{\omega x}{c f} \right) = F_T \left(\frac{\omega x}{c f} \right) = \begin{cases} \cos \left(\frac{\pi}{2} \frac{\omega x}{c f} / \frac{\omega a}{c f} \right), & x \leq a, \\ 0, & x > a. \end{cases} \quad (2)$$

Величина a характеризует ширину спектра. Вычисление переменной составляющей выходного тока в соответствии с (1) дает для $x_0 \leq a$

$$\begin{aligned} I_{\sim}(t) &\approx \int_{-x_0}^{x_0} \cos^2 \left[\frac{\pi}{2} \frac{\omega x}{c f} / \left(\frac{\omega a}{c f} \right) \right] \exp \left[i \frac{\omega x}{c f} (\xi_T + vt - \xi_0) \right] d \left(\frac{\omega x}{c f} \right) \approx \\ &\approx 2 \sin \left[\frac{\omega x_0}{c f} (\xi_T + vt - \xi_0) \right] / \left[\frac{\omega x_0}{c f} (\xi_T + vt - \xi_0) \right] + \\ &+ \sin \left[\frac{\omega x_0}{c f} (\xi_T + vt - \xi_0 + \pi \frac{c f}{\omega a}) \right] / \left[\frac{\omega x_0}{c f} (\xi_T + vt - \xi_0 + \pi \frac{c f}{\omega a}) \right] + \\ &+ \sin \left[\frac{\omega x_0}{c f} (\xi_T + vt - \xi_0 - \pi \frac{c f}{\omega a}) \right] / \left[\frac{\omega x_0}{c f} (\xi_T + vt - \xi_0 - \pi \frac{c f}{\omega a}) \right]. \quad (3) \end{aligned}$$

Для $x_0 > a$ $I_{\sim}(t)$ описывается аналогичным выражением с заменой x_0 на a . Иллюстрация получающейся ситуации представлена на рис. 1. Положение максимума пика корреляции $I_{\sim}(t)$ определяется первым слагаемым в выражении (3). Условие максимума дает

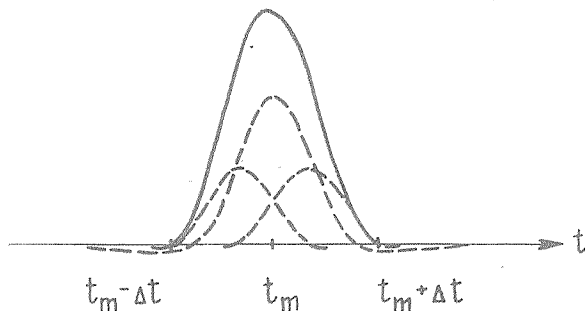
$$t_m = (\xi_0 - \xi_T) / v. \quad (4)$$

Обращение корреляционной функции в ноль совпадает приблизительно с обращением в ноль второго и третьего слагаемых в (3), т.к. вклад первой компоненты в этих областях незначителен, а стремление к нулю выражено достаточно резко. Положение минимумов (нулей) описывается условиями

$$\begin{aligned} \frac{\omega x_0}{c f} (\xi_T + vt - \xi_0 + \pi \frac{c f}{\omega a}) &= \pm \pi, & x_0 \leq a, \\ \frac{\omega a}{c f} (\xi_T + vt - \xi_0 + \pi \frac{c f}{\omega a}) &= \pm \pi, & x_0 > a. \end{aligned} \quad (5)$$

Используя выражение (4) и принимая половину ширины пика функции корреляции равной $\Delta t = |t_m - t_0|$, получаем

$$\Delta t = \begin{cases} \frac{\lambda F}{2v} \left(\frac{1}{\lambda_0} + \frac{1}{a} \right), & x_0 \leq a, \\ \frac{\lambda F}{2v} \frac{2}{a}, & x_0 > a. \end{cases} \quad (6)$$



Р и с. 1. Иллюстрация модельного расчета переменной составляющей фототока, характеризующей пик функции корреляции, для объекта и фильтра с ограниченным спектром пространственных частот. Пунктирные кривые соответствуют отдельным слагаемым в формуле (3)

Эксперименты выполнялись в схеме корреляционной обработки типа интерферометра Маха-Цендера /3/. В качестве объекта использовалась система отверстий, хаотически расположенных на плоскости, причем диаметры отверстий составляли 0,1 – 0,4 мм. В качестве фильтра использовалась часть объекта, содержащая 12 отверстий из 22. Экспериментальные результаты, показывающие зависимость половины длительности пика корреляции по основанию от ширины щели, используемой для подавления высоких пространственных частот, приведены в табл. I. Приведенные цифры получены в результате усреднения 10 – 15 измерений длительностей импульса на осциллограммах, представляющих зарегистрированный сигнал.

Для оценки величины a в выражении (6) воспользуемся экспериментальными результатами. Видно, что для $2x_0$, превосходящих 0,3 мм, ширина пика корреляции меняется медленно. Примем в соответствии с

экспериментом, что этому соответствует среднее значение $\Delta t \approx 55$ мкс для трех первых ширин щели-фильтра

$$\Delta t = \lambda f / v a \sim 55 \text{ мкс.}$$

Таблица I

$2x_0, \text{мм}$	0,82	0,42	0,30	0,19	0,10	0,05
$\Delta t, \text{мкс}$	45	58	60	90	110	175

Принимая следующие значения параметров, используемые при выполнении эксперимента: $\lambda = 0,63 \cdot 10^{-3}$ мм, $f \sim 150$ мм, $v = 11300$ мм/с, находим

$$a = \lambda f / v \Delta t \approx 0,15 \text{ мм,} \quad (7)$$

что естественно соответствует экспериментальному значению $x_0 \approx \approx 0,15$ мм. Результаты расчетов по формуле (6) с учетом полученного значения a приведены в табл. 2.

Таблица 2

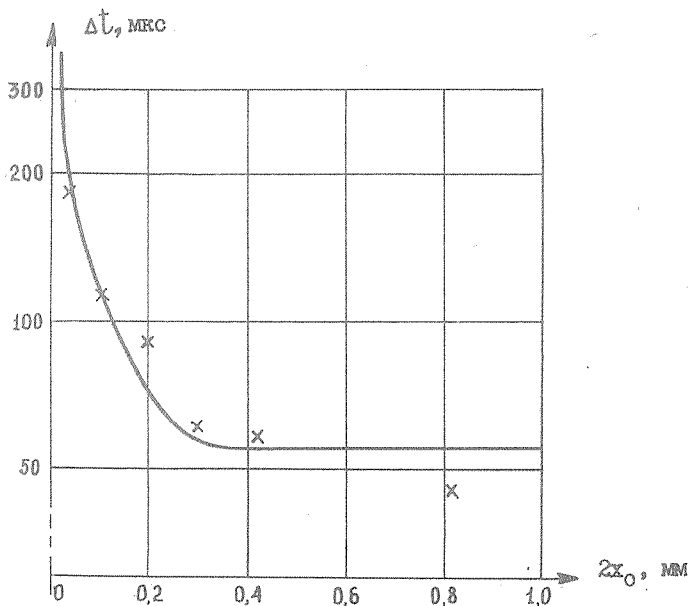
$2x_0, \text{мм}$	1,0	0,5	0,3	0,2	0,1	0,05	0,025
$\Delta t, \text{мкс}$	55	55	55	70	105	195	365

Для сопоставления с экспериментом результаты расчета по формуле (6) приведены на графике (рис. 2), там же нанесены экспериментальные точки. Видно, что имеет место удовлетворительное согласие расчета с экспериментом в рамках рассмотренной модели (2), (3). Можно оценить характерный масштаб неоднородностей объекта на основе простейших соотношений дифракции

$$\delta \xi \sim \lambda f / 2a \sim 0,3 \text{ мм.} \quad (8)$$

Учитывая приближенный характер принятой модели и размер отверстий объекта, найденное значение величины $\delta \xi$ можно считать вполне удовлетворительным.

Таким образом, выполняя пространственную фильтрацию в плоскости регистрации, можно существенным образом снизить требования к установке фильтра, т.е. при подавлении высоких пространственных частот можно работать в более грубых условиях. Экспериментальные результаты, полученные для сопоставления выделен-



Р и с. 2. Сопоставление расчетов с экспериментальными результатами. Кривая получена по формуле (6), крестики соответствуют экспериментальным точкам

ного спектра пространственных частот $\omega x_0 / 2\pi c t$ с смещением фильтра $\Delta \xi = v \Delta t$ в пределах ширины пика корреляции (см. табл. 3), показывают, что требования к установке фильтра могут быть

Таблица 3

$2x_0$, мм	0,82	0,42	0,30	0,19	0,10	0,05
$\omega x_0 / 2\pi c t$, мм ⁻¹	4,3	2,2	1,6	1,0	0,5	0,26
$\Delta \xi$, мм	0,50	0,66	0,68	1,02	1,24	1,98

весьма мягкие, т.е. для корреляционной обработки может использоваться грубый фильтр при грубой установке. При этом, естественно, снижается соответствующим образом точность определения местоположения объекта, т.е. грубая обработка может выполняться как

предварительный этап. На следующем этапе обработка проводится с большей точностью за счет включения высоких пространственных частот, что позволяет различать во входной плоскости даже однородные объекты /4/.

Поступила в редакцию
4 ноября 1978 г.

Л и т е р а т у р а

1. В. Г. Зайцев, В. А. Зубов, А. В. Крайский, М. М. Сушинский, Квантовая электроника, 4, № 2, 369 (1977).
2. В. А. Зубов, А. В. Крайский, М. М. Сушинский, Квантовая электроника, 4, № II, 2398 (1977).
3. В. А. Зубов, А. В. Крайский, А. А. Меркин, Т. Т. Султанов, Краткие сообщения по физике ФИАН № 10, 35 (1978).
4. В. Г. Зайцев, В. А. Зубов, Е. В. Моргунова, в сб. "Использование оптических квантовых генераторов в современной технике" (материалы научно-практической конференции), изд. ЛДНТП, Ленинград, 1977 г., стр. 60.