

ФИЛЬТРАЦИЯ ФАЗОВЫХ ШУМОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ГОЛОГРАММ

К.И. Воляк, А.И. Маляровский, А.Р. Сидоров

Исследуется метод фильтрации фазовых шумов в системе оптической обработки информации при прохождении через транспарант, фиксирующий изображение волны, комплексно-сопряженной его функции пропускания.

Одной из причин ошибок при оптической обработке информации является фазовый шум исследуемых изображений. В настоящей работе исследован метод компенсации фазовых шумов транспарантов, фиксирующих изображение, и рабочей оптики, основанный на голографической фильтрации. При дифракции считывающего пучка, направленного навстречу опорному, на голографическом фильтре, который несет информацию о полезном сигнале и фазовых шумах, формируется волна, комплексно-сопряженная предметной. При прохождении этой волны через исследуемый транспарант с комплексной функцией пропускания мнимая ее часть, соответствующая фазовым шумам, компенсируется, и на выходе транспаранта получаем плоскую волну, амплитуда которой пропорциональна квадрату реальной части функции пропускания транспаранта.

Впервые, по-видимому, это свойство голограмм было установлено в работах /1, 2/. В данной работе это явление использовано в области оптической обработки информации.

Существенным преимуществом рассматриваемого метода по сравнению с согласованной фильтрацией Вандер-Люгта /3/ является то, что для проведения голографической фильтрации не требуются априорные знания характеристик сигнала и шума. Единственным ограничением является чисто фазовый характер фильтруемых шумов.

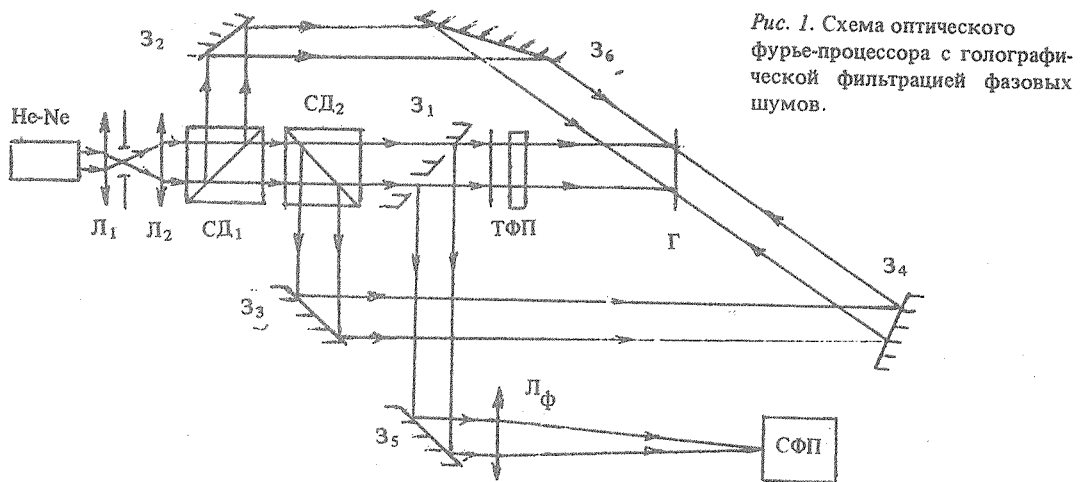


Схема экспериментальной установки представляет собой оптический фурье-процессор, дополненный системой голографической фильтрации (рис. 1). С помощью коллимированного линзами L_1 и L_2 светового пучка He-Ne лазера такой процессор формирует двумерное пространственное преобразование Фурье исходного изображения в фокальной плоскости линзы L_Φ . Светоделители $СД_1$, $СД_2$ и зеркала $З_2$ - $З_4$ служат для формирования предметного, опорного и считывающего, направленного навстречу

опорному, пучков. В качестве транспаранта Т использовался двумерный тест-объект (сетка) с фурье-спектром, приведенным на рис. 2а. Фазовые шумы вводились с помощью фазовой пластинки ФП неоднородной толщины, расположенной в плоскости транспаранта. Эти шумы существенно искажали спектр исходного тест-объекта (рис. 2б). В приведенной схеме записываемый голографический фильтр Г является голограммой Френеля. На этапе считывания очищенное от шумов изображение, полученное после прохождения волны, комплексно-сопряженной предметной, через фазовую пластинку и транспарант, подвергалось линзой L_{Φ} двумерному пространственному преобразованию Фурье и спектр его фиксировался фотоприемником.

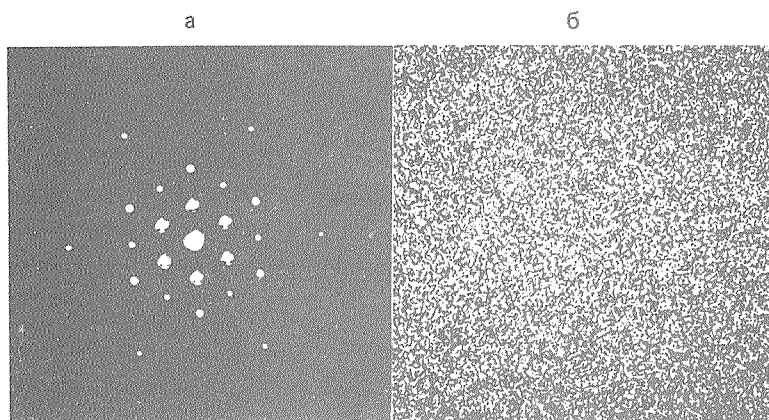


Рис. 2. Фурье-спектр тест-объекта: а) исходный; б) с фазовым шумом.

Спектр тест-объекта, отфильтрованный с помощью голографического фильтра, записанного при одинаковых интенсивностях опорного и предметного пучков, приведен на рис. 3а. Относительно высокий уровень шумов связан с интермодуляционным шумом, появлением ложных изображений в промежутках между соседними дифракционными максимумами и спекл-шумами, обусловленными диффузным рассеянием считывающего пучка на голограмме.

Шумовую помеху, вызванную двумя первыми причинами и связанную с нелинейным характером зависимости пропускания голограммы от экспозиции, удастся уменьшить, снизив отношение интенсивностей предметного и опорного пучков (рис. 3б). При этом ухудшается дифракционная эффективность голографического фильтра. Сглаживание спекл-шумов достигается за счет периодического углового сканирования считывающего пучка с амплитудой $10''$ (рис. 3в).

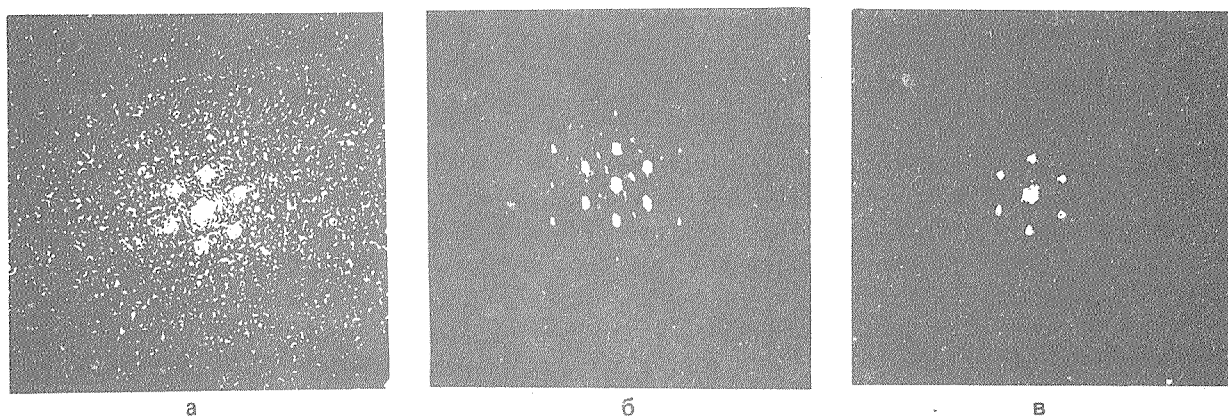


Рис. 3. Фурье-спектр тест-объекта после фильтрации фазовых шумов: а) отношение интенсивностей предметного и опорного пучков $a^2 = 1$; б) $a^2 = 4$; в) $a^2 = 4$, спекл-шум сглажен сканированием считывающего пучка.

Причиной неустранимых дополнительных шумов, не связанных со свойствами голографического фильтра, явилась неидеальность элементов оптической системы, использованной в эксперименте. Покажем, что при специальных условиях записи голограмм возможна также компенсация и амплитудных искажений.

Пусть на плоскость голограммы (u, v) падает перпендикулярно ей вдоль оси z предметная волна, фронт которой определяется как комплексной функцией пропускания транспаранта $f(u)$, так и амплитудным распределением света в пучке $o(u)$:

$$e_n(u) = o(u) f(u). \quad (1)$$

В выражении (1) будем считать для простоты, что $e_n(u)$ не зависит от координаты v . Предположим также, что в качестве опорного пучка используется аналогичная волна $a^{-1} o(u) \exp(-iv)$, падающая под углом Θ_0 к оси предметного пучка; a — отношение амплитуд предметного и опорного пучков; $\nu = 2\pi \sin \Theta_0 / \lambda$; λ — длина волны света. После проявления голограммы до контрастности γ , амплитудный коэффициент ее пропускания при $a \ll 1$ имеет вид:

$$T(u) \approx a^\gamma [o(u)]^{-\gamma} [1 - (\gamma a/2) f^*(u) \exp(-iv) - (\gamma a/2) f(u) \exp(iv)]. \quad (2)$$

Если теперь в качестве считывающей использовать волну с таким же поперечным распределением амплитуды, как и у опорной, но распространяющуюся навстречу ей, на выходе голограммы в первом порядке дифракции имеем распределение света:

$$e(u) = (1/2) a^\gamma \kappa \gamma [o(u)]^{1-\gamma} f^*(u), \quad (3)$$

где κ — отношение амплитуд считывающей и опорной волны. Как следует из выражения (3), при условии $\gamma = 1$ получаем требуемую волну, т.е. комплексно-сопряженную предметной, но уже свободную от амплитудных искажений.

Диаметр фокального пятна фурье-процессора в отсутствие объекта составлял $9 \cdot 10^{-2}$ см. Путем фильтрации амплитудных искажений, вносимых оптическими элементами и неоднородностью распределения света, удалось с помощью фильтра, проявленного до оптимальной контрастности $\gamma = 1$, уменьшить диаметр фокального пятна вплоть до $1,5 \cdot 10^{-2}$ см. Отличие этого размера от теоретического дифракционного предела $3,2 \cdot 10^{-3}$ см связано с тем, что компенсация искажений оптики происходит только перед фурье-объективом, и его собственные искажения остаются неисправленными.

Следует отметить, что для проведения фильтрации фазовых шумов в реальном масштабе времени весьма перспективным представляется использование для записи голограмм фоторефрактивных кристаллов типа ПРИЗ и ПРОМ /4/.

Авторы благодарны Ф.В. Бункину за плодотворные обсуждения и ряд полезных замечаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kogelnik H. Bell Syst. Tech. J., 44, 2451 (1965).
2. Leith E.N., Upatnieks J. J. Opt. Soc. Am., 56, 533 (1966).
3. Vander Lugt A. IEEE Trans. Inform. Theory, IT-10, 139 (1964).
4. Боярчук К.А., Воляк К.И., М а л я р о в с к и й А.И. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 7, 5 (1986).