

В. И. ВАЩЕНКО, И. И. МОХУНЬ, Н. И. ЯКОБИШЕНА, В. В. ЯЦЕНКО
(Черновцы)

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ИСКАЖЕНИЙ ВХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ВЫХОДНОЙ СИГНАЛ ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО КОРРЕЛЯТОРА

Геометрические искажения входного изображения, присущие электронным, телевизионным и другим преобразователям, в значительной степени ограничивают применение оптических когерентных корреляторов [1]. В литературе имеются данные [2] о влиянии изменения масштаба и поворота входной информации на отношение сигнал/шум (ОСШ) на выходе коррелятора. Однако эти данные носят в основном эмпирический, зачастую противоречивый характер и не дают возможности проанализировать поведение ОСШ при геометрических искажениях входного изображения, не приводится также методика расчета изменения ОСШ.

Целью настоящей работы является оценка влияния изменения масштаба и поворота входных изображений на ОСШ в корреляционной плоскости для различной по пространственно-частотному спектру входной информации и конструктивных особенностей системы (размер обрабатываемых изображений, фокусные расстояния фурье-объективов).

Изменение масштаба и поворота входного сигнала можно представить как частотную ошибку преобразования сигнала. Под частотной ошибкой понимаем отклонение положения компонент спектра Фурье в частотной плоскости от положения тех же компонент эталонного спектра.

Известно [3], что вклад в интенсивность корреляционного пика (приведенную к единице) в зависимости от частотной ошибки $\delta\xi$ не превышает величины

$$Q \leq \exp\{-[(S\delta\xi)/(\lambda f)]^2\} \leq 1, \quad (1)$$

где S — поперечный размер входного изображения; λ — длина волны; f — фокусное расстояние фурье-объектива коррелятора.

При изменении масштаба входного изображения $\delta\xi$ имеет вид

$$\delta\xi = \xi(1 - 1/\gamma), \quad (2)$$

где ξ — координата в частотной плоскости; γ — коэффициент изменения масштаба. Тогда (1) можно записать в виде

$$Q \leq \exp\left\{-\left[\left[S_x u \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right)\right]^2 + \left[S_y v \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right)\right]^2\right]\right\}, \quad (3)$$

где $u = \xi/(\lambda f)$; $v = \eta/(\lambda f)$.

При повороте входного изображения на некоторый небольшой угол G формула (1) имеет вид

$$Q \leq \exp\{-[SuG]^2\} \leq 1. \quad (4)$$

Анализируя соотношения (3) и (4), необходимо подчеркнуть роль величины линейных размеров S входных изображений, поскольку именно ее значение определяет структурность фурье-спектра (минимальный размер дифракционного порядка $\Delta u_{\min} = (\lambda f)/S$). Учитывая этот факт и соотношения (3), (4), можно заключить, что для узкополосных фильтров изменение ОСШ при геометрических искажениях входных изображений определяется прежде всего линейными размерами обрабатываемых изображений, величиной геометрических искажений, мало зависит от конкретного вида обрабатываемых изображений. Очевидно, что чем больше u , тем больше зависит ОСШ от геометрических искажений входных изображений.

Можно показать, что изменение ОСШ, обусловленное геометрическими искажениями входных изображений для полосы частот $\Delta u_n = u_{n \max} - u_{n \min}$, определяется соотношением

$$Q \sim \left(\int_{u_{n \min}}^{u_{n \max}} \mathcal{F}\{u\} Q du \right) \left/ \left(\int_{u_{n \min}}^{u_{n \max}} \mathcal{F}\{u\} du \right), \quad (5)$$

где $\mathcal{F}\{u\}$ — фурье-образ входной информации.

Из (3)–(5) следует, что для фильтров с широкой полосой пропускания изменение ОСШ определяется прежде всего частотной ошибкой, возникающей для компонент пространственно-частотного (ПЧ) спектра, переносящих основную энергию, и может быть выражено соотношением (3), в котором u имеет значение средней ПЧ этой полосы. Для объектов типа отверстия в экране, изображения буквы и т. п. основная энергия излучения переносится низкими ПЧ, и поэтому для них влияние изменений масштаба (угла поворота) незначительно (например, при изменении масштаба на 10–15% ОСШ падает на 20–30% [4]). При усложнении объекта, его структуры, существенная часть энергии переносится более высокими ПЧ, соответственно увеличивается вклад этих пространственных частот в формирование корреля-

ляционного пика, что, в свою очередь, при изменении масштаба (угла поворота) входных изображений приводит к резкому уменьшению ОСШ [2, 3].

Были сделаны теоретические оценки изменения ОСШ при различных геометрических искажениях входных изображений и проведены экспериментальные исследования. Эксперименты проводились в схеме, приведенной на рис. 1.

Параллельный пучок когерентного света I от He-Ne-лазера ($\lambda = 0,63$ мкм) через фурье-преобразующий объектив O_1 освещает объект T , помещенный в плоскость P_0 . На расстоянии z от P_0 в плоскости P_1 записывается голограмма-фильтр H . Кольцевая диафрагма D в опорном пучке 2 выделяет определенную частоту спектра объекта T . На стадии восстановления опорный пучок 2 закрывался и в плоскости P_2 исследовался корреляционный пик. Масштаб фурье-образа менялся в небольших пределах изменением расстояния z , а угол — поворотом объекта T вокруг оптической оси.

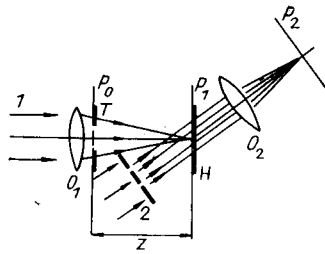


Рис. 1. Оптическая схема эксперимента

Проводились исследования влияния изменения масштаба и угла поворота входных изображений на ОСШ в выходной плоскости коррелятора для различных по ПЧ-спектру и размеру входных изображений.

В качестве тест-объектов использовались транспаранты: отверстия в непрозрачном экране (основная энергия в спектре переносится низкими ПЧ); диапозитив с изображением земной поверхности (аэрофотоснимок) (интенсивность ПЧ-спектра плавно убывает по всему спектру ПЧ от нулевой ПЧ к высоким).

Результаты теоретических оценок и экспериментальных исследований приведены на рис. 2, а, б, рис. 3, а, б. Из графиков видно, что существенное влияние на падение ОСШ при геометрических искажениях входных изображений оказывают их линейные размеры и полоса рабочих частот. Так, например, для объектов (аэрофотоснимок) с линейным размером $S = 3$ мм, $S = 6$ мм, $S = 10$ мм и $u = 6,3-12,7$ мм⁻¹ изменение масштаба на 2% приводит к падению ОСШ соответственно на 60, 75% и практически до нуля, а изменение угла поворота на 1° — соответственно на 35, 75, 85%.

Анализируя результаты теоретических оценок и экспериментальные данные, можно сделать следующие выводы.

1. Полученные соотношения применимы для оценки изменения ОСШ на выходе голографического коррелятора при изменении масштаба и угла поворота поступающих на вход системы изображений.

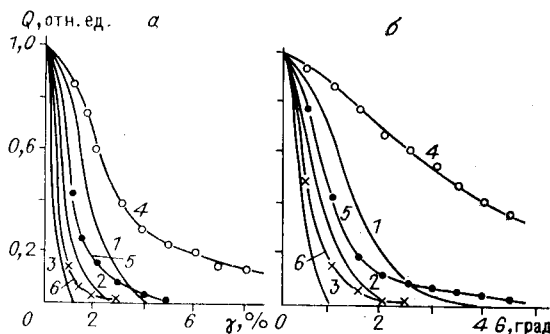


Рис. 2. Графики зависимости изменения ОСШ для случая, когда объект — аэрофотоснимок размером 6×6 мм:

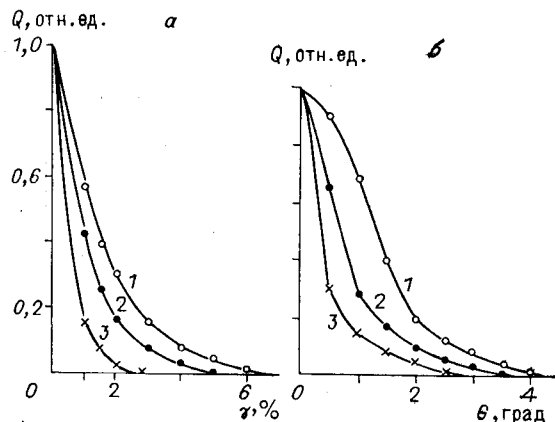
а — от изменения масштаба:
1-3 — рассчитанные теоретически (мм⁻¹): 1 — $u = 6,3$; 2 — $u = 12,7$; 3 — $u = 19,0$; 4-6 — экспериментальные для полос (мм⁻¹): $u = 0-6,3$; $u = 6,3-12,7$; $u = 12,7-19,0$ соответственно;

б — от изменения угла поворота входного изображения:
1-3 — рассчитанные теоретически (мм⁻¹): 1 — $u = 6,3$; 2 — $u = 12,7$; 3 — $u = 19,0$; 4-6 — экспериментальные для полос ПЧ (мм⁻¹): $u = 0-6,3$; $u = 6,3-12,7$; $u = 12,7-19,0$ соответственно

Рис. 3. Экспериментальные графики зависимости ОСШ для $u = 6,3-12,7$ мм⁻¹ (объект — аэрофотоснимок):

а — от изменения масштаба (мм):
1 — $S = 3 \times 3$; 2 — $S = 6 \times 6$; 3 — $S = 10 \times 10$;

б — от угла поворота входных изображений (мм): 1 — $S = 3 \times 3$; 2 — $S = 6 \times 6$; 3 — $S = 10 \times 10$



2. Изменение ОСШ на выходе коррелятора при изменении масштаба и угла поворота изображений, поступающих на вход системы, зависит от: а) распределения энергии в спектре анализируемых изображений; б) поперечных размеров анализируемого изображения; в) полосы рабочих пространственных частот.

А. Для фильтров с широкой полосой пространственных частот изменение ОСШ определяется прежде всего средним значением частоты в полосе частот спектра, которой переносится основная энергия.

Б. Для узкополосного фильтра изменение ОСШ при геометрических искажениях входной информации определяется прежде всего размерами анализируемого изображения и мало зависит от конкретного вида обрабатываемых изображений.

3. Проведенные теоретические оценки и экспериментальные результаты могут быть использованы при конструировании систем оптической обработки информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Василенко Г. И., Цибулькин Л. М. Голографические распознающие устройства.— М.: Радио и связь, 1985.
2. Кейссент Д., Псалтис Д. Новые методы оптических преобразований для распознавания образов // ТИИЭР.— 1977.— 65, № 1.
3. Ващенко В. И., Мохунь И. И., Яценко В. В. Анализ голографических корреляционных систем с абберрационными и дифракционными погрешностями преобразования сигнала.— Томск, 1989.— Деп. в ВИНТИ 28.02.89, № 1377-В 89.
4. Кольер Р., Беркхарт К., Лин Л. Оптическая голография.— М.: Мир, 1973.

Поступило в редакцию 4 января 1990 г.

УДК 772.932.45

О. В. ГАЛАБУРДА, В. А. ОКУШКО, Б. Н. ТЮШКЕВИЧ
(Минск)

ГОЛОГРАФИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР НА БАЗЕ ДВУХИМПУЛЬСНОГО РУБИНОВОГО ЛАЗЕРА С ФОТОТЕРМОПЛАСТИЧЕСКОЙ РЕГИСТРАЦИЕЙ

При регистрации голограмм в созданном на базе рубинового лазера двухэкспозиционном голографическом интерферометре [1] применяется галогенидосеребряная фотоэмульсия. Несмотря на высокую фоточувствительность, галогенидосеребряные материалы обладают весьма существенным недостатком: длительность процесса химической обработки этих материалов значительно снижает оперативность при восстановлении и считывании голографической информации. Хотя отечественные фототермопластические носители (ФТПН) по отдельным параметрам уступают галогенидосеребряным, их использование позволяет избавиться от указанного недостатка. ФТПН успешно применяются при регистрации голографических интерферограмм с использованием непрерывных газовых лазеров [2, 3] или твердотельных лазеров, работающих в режиме свободной генерации [4].

Для регистрации голографических интерферограмм диффузно отражающих объектов методом двух экспозиций нами создано устройство фототермопластической записи, состоящее из ячейки-держателя и электронного блока управления. В ячейке-держателе, световая апертура которой составляет 25×30 мм, предусмотрено крепление как ленточного ФТПН, так и ФТПН на стеклянной подложке. Управление режимами записи осуществляется с помощью электронного блока, который задает режимы зарядки и тепловой обработки ФТПН. Кроме того, в нем предусмотрено формирование импульсов для управления блоком питания и накачки двухимпульсного твердотельного лазера. Основными узлами электронного блока управления являются субблок логики, формирующий все необходимые временные соотношения работы остальных узлов; высоковольтный блок для зарядки ФТПН; блок управления нагревом и блок питания. В целом по своим функциональным возможностям устройство позволяет производить последовательный (зарядка, экспонирование и проявление разнесены во времени), параллельный (зарядка, экспонирование и проявление производятся одновременно) и смешанный режимы фототермопластической записи.

Выбор оптимальных режимов произведен на основании исследований результатов записи на ФТПН двухэкспозиционных голографических интерферограмм диффузно отражающих объектов*. Оптическая схема и состав голографического интерферометра, включая рубиновый лазер, работающий в режиме двух гигантских импульсов с перестраиваемым временным интервалом между ними, аналогичны опи-

* Основные результаты исследований доложены на Всесоюз. науч.-техн. конф. «Оптический, радиоволновой и тепловой методы неразрушающего контроля» (Могилев, Могилевский машиностроит. ин-т, 23—25 мая 1989 г.).