

07;12

## Повышение чувствительности измерений при оптической обработке в реальном времени изображений объектов с периодической структурой

© А.М. Ляликов

Гродненский государственный университет им. Я. Купалы,  
230023 Гродно, Белоруссия

(Поступило в Редакцию 23 июля 1998 г.)

Сообщается о возможности визуализации в реальном времени крупномасштабных объектов с повышением чувствительности измерений при использовании некогерентного освещения.

Для визуализации перемещений, деформаций, макроскопических дефектов, а также рельефа поверхности может быть использовано как искусственно нанесенное на исследуемый объект покрытие в виде сеток или ретрокрасок [1,2], так и сама естественная структура поверхности, например различного рода включения и характерные образования [3,4]. Данные оптические методы в расшифровке информации о состоянии и параметрах объекта схожи со спекл-фотографией и голографической интерферометрией, но в отличие от них позволяют исследовать объекты значительных размеров, например многоэтажные здания, используя при этом просто естественное солнечное освещение. Регулирование чувствительности измерений при исследовании объектов с периодической структурой поверхности достигается только на стадии оптической обработки снимков с изображением таких объектов [5].

В данной работе показана возможность повышения чувствительности измерений при некогерентной оптической обработке в реальном времени изображений объектов с периодической структурой. Применение некогерентного освещения позволяет использовать методику повышения чувствительности измерений для исследования крупномасштабных объектов при освещении последних источниками белого света или просто солнечным светом.

Предположим, что оптической системой сформировано изображение объекта с периодической структурой поверхности. Примером таких объектов являются амплитудные экраны типа щелевых масок [3], различного рода строительные сооружения с кирпичной кладкой или облицованные плиткой [4]. Распределение освещенности в изображении периодической структуры практически для всех случаев таких объектов при ориентации оси  $y$  вдоль изображения периодической структуры можно представить в виде разложения в ряд Фурье

$$I(x, y) \sim \sum_{n=1}^{+\infty} a_n \cos \left[ \frac{2\pi nx}{T} + n\varphi(x, y) \right]. \quad (1)$$

где  $a_n$  — коэффициенты,  $T$  — период изображения структуры.

Функция  $\varphi(x, y)$  в зависимости от объекта может определять отклонение исследуемой формы поверхности от плоскости [3] или просто ориентацию объекта в пространстве [4]. Задачей исследований такого рода объектов является визуализация поведения  $\varphi(x, y)$ .

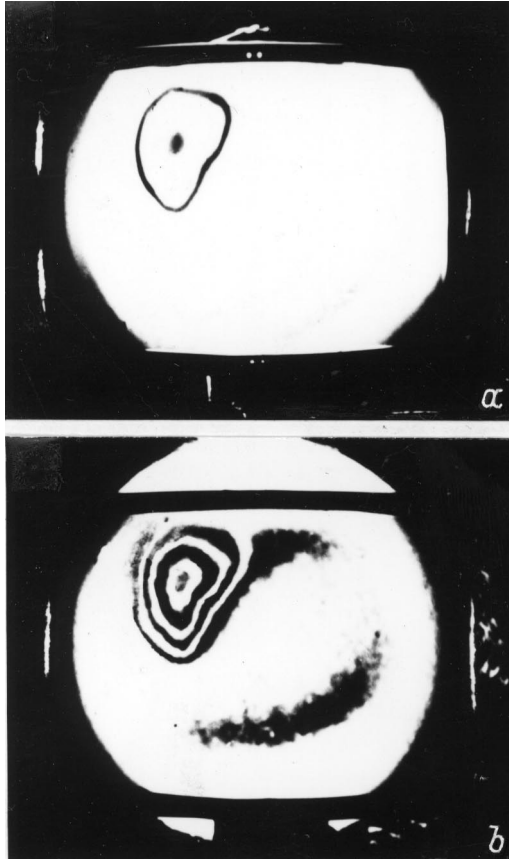
Для повышения чувствительности измерений визуализации  $\varphi(x, y)$  в реальном времени в отличие от более ранних методик [5,6] предлагается изображение периодической структуры объекта проецировать на эталонный транспарант в виде амплитудной дифракционной решетки с периодом несущих полос  $T_1 = T/m$ , где  $m = 2, 3, 4, \dots$ . Ранее такой подход использовался в интерферометре Тальбота для повышения чувствительности измерений при визуализации фазовых объектов [7], а также при визуализации пространственной ориентации сфотографированных зданий, но в последнем случае только на стадии оптической обработки снимков [8].

Если необходимо визуализировать в реальном времени пространственную ориентацию плоских поверхностей, например зданий, по методике [6], то для повышения чувствительности измерений в качестве эталонного транспаранта будет использоваться обычная амплитудная решетка с соответствующим уменьшением периода несущих полос. Но если форма поверхности исследуемого объекта отличается от плоской и требуется визуализировать в реальном времени с повышением в  $m$  раз чувствительности измерений, например его макродефекты при сравнении с эталонным объектом, то в качестве эталонного транспаранта должен быть использован снимок с амплитудным пропусканием

$$\tau(x, y) \sim \cos^2 \left[ \frac{\pi mx}{T} + \frac{m}{2} \varphi_0(x, y) \right], \quad (2)$$

где  $\varphi_0(x, y)$  — определяет отклонение формы поверхности эталонного объекта от плоскости.

Для этого регистрируют снимок эталонного объекта в нелинейных условиях, а затем его перезаписывают в системе перезаписи снимков [9] при выделении волн, дифрагированных в  $\pm l$ -е порядки дифракции, где  $l = m/2$ . Регистрация снимка эталонного объекта в нелинейных условиях обеспечивает появление высших порядков ( $|l| > 1$ ) дифракции на изображении периоди-



Муаровые картины, визуализирующие макродефект поверхности щелевой маски телевизионного кинескопа, без повышения (*a*) и с двукратным повышением (*b*) чувствительности измерений.

ческой структуры нелинейного снимка. При перезаписи снимка увеличение оптической системы должно быть строго равно единице, а условия регистрации — желателно линейными для исключения высших гармоник, усложняющих трактовку визуализируемой картины.

При наблюдении исследуемого объекта через эталонный транспарант вида (2) распределение освещенности будет определяться произведением  $I(x, y)\tau(x, y)$ . Можно показать, что для описания картины муаровых полос, возникающих на совмещенном изображении исследуемого объекта с эталонным транспарантом, достаточно ограничиться лишь произведением

$$\frac{1}{2} a_m \cos \left\{ \frac{\pi m x}{T} [\varphi_0(x, y) + \varphi(x, y)] \right\} \times \cos \left\{ \frac{\pi m x}{T} [\varphi_0(x, y) - \varphi(x, y)] \right\}. \quad (3)$$

Низкая видность изображения периодической структуры исследуемого объекта будет соответствовать областям, для которых второй косинус в (3) обращается в нуль. Уравнения семейства муаровых полос в этом

случае

$$\frac{\pi x}{T} [\varphi_0(x, y) - \varphi(x, y)] = (2N + 1) \frac{\pi}{2m}, \quad (4)$$

где  $N = 0, 1, 2, \dots$ .

Наличие в правой части (4) множителя  $1/m$  указывает на то, что при визуализации макродефекта, который определяется разницей  $[\varphi_0(x, y) - \varphi(x, y)]$ , чувствительность измерений возросла в  $m$  раз в сравнении с обычной муаровой картиной [4–6].

Для экспериментального подтверждения данной методики в качестве исследуемого объекта были выбраны щелевые маски телевизионных кинескопов. Визуализация в реальном времени отклонений макрорельефа поверхности исследуемой маски от эталонной, характеризующих макродефекты поверхности, проводилась по схеме, описанной в первой части работы [5]. Следует отметить, что форма поверхности исследуемых щелевых масок отличалась от плоской [3]. На рисунке приведены муаровая картина, визуализирующая в реальном времени макродефект поверхности (*a*), и муаровая картина с двукратным повышением чувствительности измерений (*b*). В качестве эталонного транспаранта использовался снимок эталонной маски, перезаписанный в  $\pm$  первых порядках дифракции. Рисунок, *b* за счет повышения чувствительности измерений более информативен.

Работа поддержана министерством образования Республики Беларусь.

## Список литературы

- [1] Wadsworth N., Marchant M., Billing B. // Optics and Laser Technology. 1973. Vol. 5. N 3. P. 119–123.
- [2] Власов Н.Г., Штанько А.Е. // Материалы IX Всесоюз. школы по голографии. Л.: ЛИЯФ, 1977. С. 256–266.
- [3] Ляликов А.М. // Оптический журнал. 1994. Т. 61. № 5. С. 23–25.
- [4] Ляликов А.М. // Там же. 1995. Т. 62. № 8. С. 78–79.
- [5] Ляликов А.М. // Там же. 1995. Т. 62. № 1. С. 28–31.
- [6] Ляликов А.М. // Там же. 1997. Т. 64. № 1. С. 82–83.
- [7] Patorski K. // Appl. Opt. 1988. Vol. 27. N 18. P. 3875–3878.
- [8] Ляликов А.М. // Оптический журнал. 1998. Т. 65. № 3. С. 54–57.
- [9] Ляликов А.М. // Там же. 1996. Т. 63. № 5. С. 73–77.