

КАДРОВОЕ ФОТОГРАФИРОВАНИЕ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ НА КАМЕРЕ С ЛИНЕЙНОЙ РАЗВЕРТКОЙ

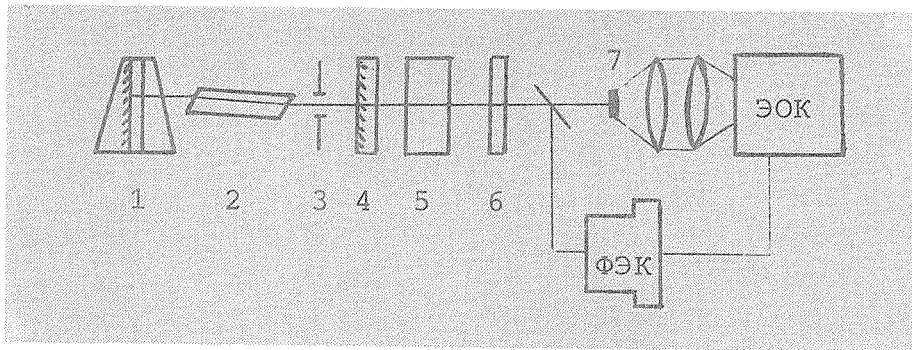
В.К. Беляев, В.П. Дегтярева, И.А. Дубовой, В.К. Чевокин

УДК 537.533.3; УДК 535.825

Описан метод кадрового фотографирования быстропротекающих процессов на электронно-оптической камере с линейной разверткой. Экспериментально зарегистрирована скорость локального кадрового фотографирования $6,6 \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1}$

Среди множества методов кадрового фотографирования быстропротекающих процессов [1 – 5] рекордным по минимальной длительности кадра является метод зондирования исследуемого объекта ультракороткими лазерными импульсами с регистрацией на электронно-оптической камере (ЭОК). Здесь длительность кадра равна длительности лазерного импульса и достигает пикосекунд [6, 7]. Однако при регистрации исследуемых объектов на ЭОК, работающей в режиме линейной развертки, при скоростях развертки 10^9 см/с и более происходит смазывание изображения и, как следствие, потеря пространственной информации. В [8] методом подсвечивающих ультракоротких (10 пс) строб-импульсов при скорости развертки 10^8 см/с достигнуто пространственное разрешение лучше 10 пар линий/мм. При дальнейшем увеличении скорости развертки пространственное разрешение падает. Для его сохранения воспользуемся методом, предложенным в [9], суть которого заключается в наложении на исследуемое изображение маски, имеющей определенное число отверстий, и развертки ее изображения вдоль временной оси на ЭОК. При этом из всего изображения вырезается количество элементов, равное количеству отверстий в маске, и каждое отверстие маски разворачивается во времени. Очевидно, что элементы изображения, не попавшие в маску, выпадают, зато можно проследить временной ход каждого фиксированного отверстия в маске. Затем путем машинной обработки можно реставрировать изображение.

Схема эксперимента показана на рис. 1. Одиноким импульсом длительностью 50 пс, выделенный из дуга, генерируемого лазером на иттриево-алюминиевом гранате, преобразовывался во вторую гармонику с помощью кристалла KDP и облучал маску.



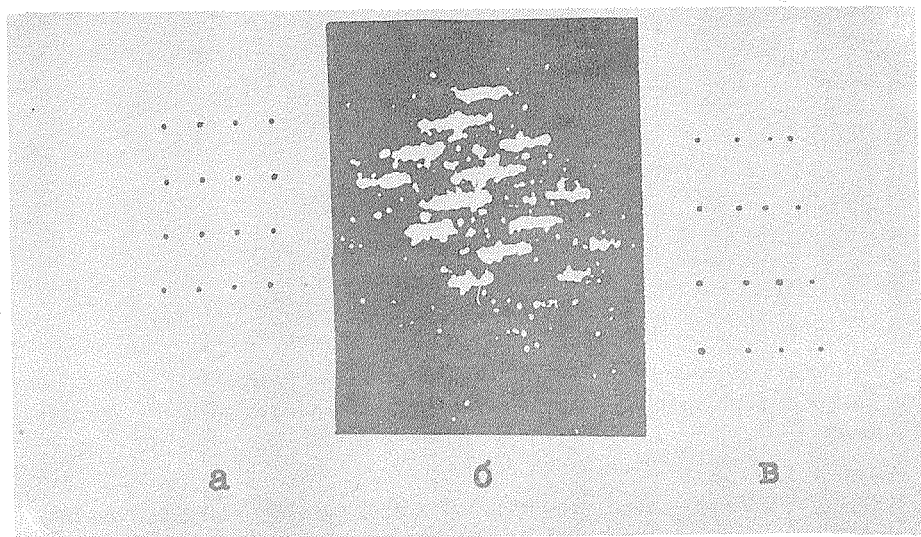
Р и с. 1. Схема эксперимента: 1 – 100-процентное зеркало с кюветой; 2 – активный элемент; 3 – диафрагма; 4 – выходное зеркало; 5 – кристалл КДР; 6 – фильтр; 7 – маска.

Маска формировалась с помощью мини-ЭВМ типа НР-2100 в интерактивном режиме. В качестве входных параметров задавались: размер маски, шаг, размер отверстий в элементах изображения, число отверстий в строке и столбце маски. Сформированная маска выводилась на фотопластинку микроденситометра барабанного типа Р1700. Реальные размеры маски таким образом были кратными размеру раstra Р1700 (25, 50 и 100 мкм). Для повышения контраста маска дважды подвергалась контактному фотографированию.

Двумя объективами "Гелиос-44" изображение маски переносилось на катод электронно-оптической камеры "Сапфир" /10/. Камера работала в режиме линейной развертки со скоростью до $1,5 \cdot 10^9$ см/с. Электронно-оптическое увеличение было 1:1, фотографирование производилось контактным способом на пленку РФ-3.

Были изготовлены маски с разным числом отверстий в строке и в столбце и различным размером отверстий. В каждом конкретном случае размер маски и ее конфигурация определяются условиями данного эксперимента, а именно, размером исследуемого изображения, скоростью развертки и т.д. и могут быть самыми различными.

Для иллюстрации описанной методики на рис. 2а показана исходная маска, имеющая по четыре отверстия в строке и в столбце. Размер отверстия 50 мкм, расстояние между отверстиями в направлениях строка-столбец 0,5 и 1 мм соответственно. В эксперименте также использовались маски с 10-ю отверстиями в строке и столбце. Чтобы избежать переналожения временной развертки двух соседних отверстий, маска ориентировалась под углом 30° относительно направления развертки.



Р и с. 2. Пример локального кадрового фотографирования с использованием маски.

На рис. 2б показана фотография временной развертки маски при скорости развертки 10^9 см/с. Для получения количественной информации о свойствах исследуемого процесса развернутые изображения его отдельных элементов (отверстий в маске) обрабатывались следующим образом. Фото-негатив с записью изображения с экрана ЭОК устанавливался на считывающий барабан микроденситометра Р1700 таким образом, чтобы ось барабана была параллельна направлению развертки. Изображение оцифровывалось и записывалось на диск мини-ЭВМ НР-2100, затем по специально разработанной программе производилось интегрирование его плотности (для элемента изображения, соответствующего развертке каждого отверстия маски). Полученной таким образом интегральной плотностью заполнялся элемент результирующего изображения, причем его координаты привязывались к координатам исходной маски с точностью, определяемой погрешностями, связанными с юстировкой исходной маски, а также с шумовыми характеристиками пленки. На рис. 2в представлена обработанная фотография временной развертки маски.

Представленные выше результаты относятся к режиму однокадровой съемки, т.е. маска подсвечивалась только одним лазерным импульсом. Режим многокадровой съемки легко достигается путем деления лазерного импульса с помощью зеркал на несколько импульсов равной интенсивности

/11/. При размере маски $5 \times 5 \text{ мм}^2$ на камере "Сапфир" (диаметр экрана 30 мм) можно получить пять кадров, т.е. при скорости развертки 10^9 см/с достигается скорость съемки $2 \cdot 10^9$ кадров/с. Так как динамическое пространственное разрешение камеры составляет величину не хуже 7 пар линий/мм, то минимально разрешимый временной интервал между двумя соседними отверстиями маски составляет 0,15 мм. При скорости развертки 10^9 см/с это означает, что время экспозиции каждого отверстия маски равно 15 пс, и, согласно /9/, зарегистрированная скорость кадрового фотографирования каждого отдельного элемента маски составляет $6,6 \cdot 10^{10}$ кадров/с.

В заключение важно отметить, что описанный метод кадрового фотографирования быстротекущих процессов осуществляется на обычной ЭОК с линейной разверткой, а дальнейшее увеличение скорости съемки может быть достигнуто увеличением скорости развертки и уменьшением длительности лазерного импульса.

Поступила в редакцию 22 октября 1984 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. L a v i r o n E., D e l m a r e C. Proc. of the 9th Intern. Congress on High Speed Photography (ICHSP) 198, 1970.
2. K a l i b j a n R. Proc. of the 12th Intern. Congress on High Speed Photography and Photonics (ICHSP) 269, 1976.
3. L i e b e r A.J., S u t p h i n. Appl. Opt., 18, 745 (1979).
4. B a g g s M.R. et. al. Abstracts of the 16th ICHSP, 11, 1984.
5. M a j u m d a r S. ibid, 228, 1984.
6. M a a s w i n k e l A.G.M. et al. Rev. Sci. Instr., 55, № 1, 48 (1984).
7. R i c h a r d s o n M.C., S a l a K. Appl. Phys. Lett. 23, № 8, 420 (1973).
8. К о р о б к и н В.В., М а л ю т и н А.А., Щ е л е в М.Я. В кн. Электронно-оптические преобразователи и их применение в науке и технике. Сер.В, вып. 1, М., ВНИИОФИ, 1972, с.159.
9. N i u H., C h a o T., S i b b e t t W. Rev. Sci. Instr., 52, № 8, 1190 (1981).
10. Б е л я е в В.К. и др. Препринт ФИАН № 16, М., 1984.
11. B r a d l e y D.J. et al. Appl. Phys. Lett. 20, 219 (1972).