

Рис. 8. Глазное дно (рис. 7) после высокочастотной фильтрации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fercher A. F., Briers J. D. Flow Visualization by Means of Single-Exposure Speckle Photography.— Opt. Comm., 1981, vol. 37, p. 326.
2. Fercher A. F., Briers J. D. Application of Laser Speckle Methods to Retinal Blood Flow Measurement.— In: Laser 81 Opto-Electronics: (Conf. Proc.). München, 1981, vol. 11.

Поступила в редакцию 8 августа 1982 г.

УДК 535.241.13 : 681.332

Ф. ЛАЭРИ, Т. ТШУДИ
(Дармштадт, ФРГ)

КОГЕРЕНТНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ

1. Введение. В области оптической аналоговой обработки информации широко исследованы когерентные и некогерентные схемы. В прошлом когерентные оптические методы обработки успешно использовались при распознавании изображений в реальном времени и для контроля большого числа деталей, производимых станками-автоматами на сборочных линиях [1]. Формально такие когерентные оптические процессоры можно представить как двумерные линейные фильтры [2]. Желательно расширить возможности этих процессоров введением нелинейных двумерных передаточных функций. Одно из возможных направлений реализации нелинейной характеристики передаточных функций лежит в создании двумерной оптической обратной связи. При аналоговой обработке информации применяются как когерентные [3], так и некогерентные [4] оптические методы обратной связи. Это сообщение — шаг по направлению к реализации оптических двумерных аналогов операционных усилителей.

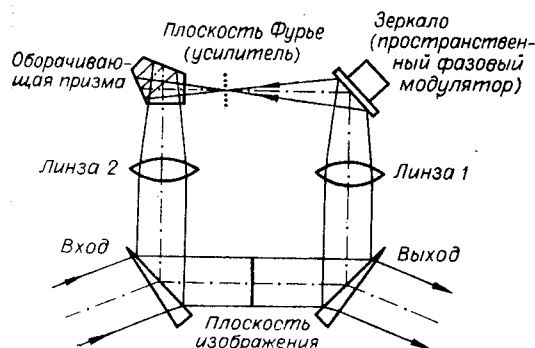


Рис. 1. Схема петли обратной связи.

оптическая обратная связь без какой-либо усиливающей среды в петле. Это связано с отсутствием когерентных усилителей изображения, имеющих необходимые характеристики.

2. Когерентная оптическая система обратной связи. На рис. 1 показана блок-схема системы с обратной связью. Выход из когерентного процессора может быть приведен ко входу простой системой зеркал. Кольцевая система имеет то преимущество, что плоскости изображения и Фурье разделены в пространстве. В связи с этим возможны модуляция и усиление каждого изображения соответствующими пространственными фильтрами и когерентными усилителями. Анализ показывает, что большее число новых передаточных функций можно генерировать введением усилителей, линейных элементов и (или) фазовых модуляторов либо в плоскость изображения, либо в плоскость Фурье системы с пассивной обратной связью.

Фазовые модуляторы используются не только для генерации изменяемых фазовых пространственных фильтров, но также и для управления полярностью обратной связи (положительная, отрицательная, комплексная) внутри петли. Полярность можно изменять однородно по всему полю изображения (посредством простого изменения длины петли в диапазоне $\lambda/2$) или индивидуально для каждой точки изображения (пространственная частотная характеристика). Возможности фазовых управляющих элементов рассмотрены в п. 4. Для достижения необходимого типа обратной связи нужно выполнить ряд важных условий.

Источник света должен иметь длину когерентности, приблизительно в 10 раз большую длины петли. В экспериментах с пассивной петлей было установлено, что когерентность, получаемая от одномодовых аргоновых лазеров, достаточно полно удовлетворяет этим условиям. Что касается многомодовых лазеров, то внимательный подбор длины петли оптической обратной связи в соответствии с периодичностью временной функции когерентности дает возможность повысить интенсивность изображения. Потери, вносимые пространственными фильтрами, недопустимы, если внутри петли нет активного или усиливающего элемента для их компенсации. Другие оптические потери внутри цепи обратной связи также должны быть сведены к минимуму. Так, например, очень важно наличие высокого качества объективов и зеркал с совершенным оптическим покрытием. Кроме того, обрабатываемая площадь изображения и соответственно пространственно-частотная характеристика ограничены геометрией петли, так как не очень легко поддерживать постоянными фазовые соотношения по всей поверхности поля изображения. В [5] нами экспериментально показано, что в результате включения в резонатор активных фазовых элементов происходит улучшение пространственно-частотной характеристики.

3. Усиление в оптической системе с обратной связью. В оптических системах, где необходимы многократные прохождения пучков через

телей электроники. Многоканальные операции вместе с возможностью интегрирования и высокая скорость оптической обработки делают эти устройства перспективными. Приведем несколько замечаний к состоянию дел.

Авторы ряда работ, рассмотренных в обзоре [3], разрабатывают когерентные оптические системы с обратной связью. К настоящему времени была реализована только пассивная двумерная когерентная

фильтры, потери, связанные с ослаблением сигнала пространственными фильтрами и другими элементами, накладывают ограничения на коэффициент полезного действия. Введение даже небольшого усиления увеличивает динамический диапазон фильтрующей функции, кроме того, возможно (для большего усиления) преобразование системы в оптический операционный усилитель. Введение усиления в когерентно-оптический процессор требует усилителей изображения, способных сохранять когерентность изображения. Со времени демонстрации усилителя на красителях [6] был внесен ряд предложений по введению усиления внутрь оптических процессоров. Недавно [7, 8] демонстрировались когерентные оптические усилители изображения, использующие красители, объединенные с однопроходными когерентными процессорами.

В [7] показано, что усилитель на красителях, оптически накачиваемый с четырех сторон лампами-вспышками, работает как усилитель изображения. Приведем его экспериментальные параметры: активная среда — Кумарин 519, насыщенный в MeOH ($\sim 10^{-3}$ моль); усиление $1,125 \text{ см}^{-1}$; активная площадь для обработки изображения 25 мм^2 ; активный объем 1 см^3 ; мощность накачки $5 \cdot 10^4 \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-3}$; полезная длительность импульса 2—3 мкс; температурные фазовые искажения меньше $\lambda/10$; возможная скорость операций 200 Гц; шум 0,1 мВт (лин/мм)².

Во время импульса продолжительностью 2—3 мкс усилитель поддерживает фазу по фронту волны входного изображения с точностью лучше $\lambda/10$. Этого времени достаточно для работы системы с обратной связью. Из-за высокого квантового шума красителей необходима интенсивность сигнала порядка 1 кВт/см^2 .

Высокие интенсивности сигнала, требующие применения мощных лазеров, не очень хорошо согласуются с концепцией будущей миниатюризации оптических вычислительных систем. Чтобы преодолеть это противоречие, мы изучаем характеристики двух других систем с усилителями изображения: 1) резонансный лазерный усилитель с возбуждением газа низкого давления (He—Ne, Ar) и твердотельные лазерные усилители (Nd-пентафосфат) в качестве активной среды, 2) усиление при помощи оптического нелинейного четырехволнового взаимодействия.

4. Переменные фазовые элементы в системах с обратной связью. При применении фазовых фильтров в прямой и обратной цепях можно независимо управлять амплитудой и фазой передаточных функций [9]. Это недостижимо для амплитудных фильтров (при сравнении обнаружено, что фазовые фильтры значительно более гибкие, чем амплитудные). Промышленность не выпускает пространственных фазовых модуляторов света с приемлемым динамическим диапазоном, хорошим разрешением и низкой ценой. Поэтому нами разработано устройство, использующее масляный слой в качестве фазового модулирующего элемента [10]. Известно, что температурные изменения в тонком масляном слое приводят к поверхностным деформациям. В нашей системе мощность поля входного излучения превращается в локализованное тепло при поглощении в самом масляном слое или в специальном поглощающем слое (рис. 2). Первый метод ограничивает диапазон спектральной чувствительности областью полос поглощения масла. Для второго метода, основанного на металлических или полупроводниковых поглощающих слоях, полоса поглощения лежит в зеленой и даже в ультрафиолетовой областях. Достигнуто пространственное разрешение лучше 30 лин/мм со слоями ZnSe. Фазовый модулятор применим там, где главное не высокая скорость

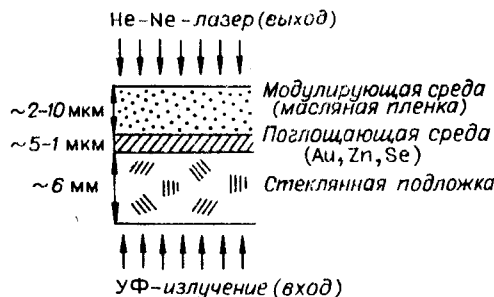


Рис. 2. Устройство пространственного фазового модулятора.

отклика ($\sim 0,1$ с), а компактность конструкции вместе с малой мощностью управления и низкой ценой.

5. Заключение. Чтобы когерентно-оптические системы с обратной связью работали на уровне аналога операционного усилителя, нужно предпринять ряд шагов. Во-первых, должен быть найден удовлетворительный усилитель изображения с высоким усилением и низким уровнем шумов. Во-вторых, наиболее перспективными, по нашему мнению, являются резонаторы с усиливающим газом (Ar, He—Ne) и оптические нелинейные эффекты, в частности четырехволновое взаимодействие. На основе фазовых модулирующих элементов можно реализовать системы с активной обратной связью, но пока это медленные системы. Для достижения более высоких скоростей нужно провести исследования перспективных пространственных фазовых модуляторов. Но даже без быстрых модуляторов такие вычислительные системы с обратной связью могут быть полезными из-за присущих им свойств — широкой полосы частот и возможности выполнения нелинейных операций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Indebetouw G., Tschudi T., Steffen J.— Appl. Opt., 1978, vol. 17, p. 911.
2. Goodmann J. W. Introduction to Fourier Optics.— McGraw-Hill, 1968.
3. Akins R. P., Athale R. A., Lee S. H.— Opt. Eng., 1980, vol. 19, p. 347.
4. Ferrano G., Häusler G.— Opt. Eng., 1980, vol. 19, p. 442.
5. Laeri F., Tschudi T.— Opt. Comm., 1981, vol. 36, p. 265.
6. Hänsch T. W., Varsanyi F., Schawlow A. L.— Appl. Phys. Lett., 1971, vol. 18, p. 108.
7. Schneeberger B., Laeri F., Tschudi T., Heiniger F.— Opt. Comm., 1981, vol. 36, p. 107.
8. Akins R. P., Lee S. H.— Appl. Phys. Lett., 1979, vol. 35, p. 660.
9. Gallagher N. C.— Appl. Opt., 1976, vol. 15, p. 882.
10. Laeri F., Schneeberger B., Tschudi T.— Opt. Comm., 1980, vol. 34, p. 23.

Поступила в редакцию 8 августа 1982 г.

УДК 681.7.22

Г. ВАЙС

(Гамбург, ФРГ)

РЕНТГЕНОВСКАЯ ТОМОГРАФИЯ НА ОСНОВЕ ОСВЕТИТЕЛЕЙ С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ

1. Введение. В настоящее время интенсивно развивается техника получения изображений с помощью синтезированной апертуры. Она применяется везде, где нет антенн или линз достаточных размеров, или там, где излучение не может быть сфокусировано. Радар [1] и радиоастрономия [2] — примеры успешного использования синтезированных апертур. Получение изображения в γ -лучах с ее помощью также привлекает большое внимание. В последнем случае имеются в виду γ -лучевая астрономия; изображения, полученные с помощью изотопов, и медицинская рентгеновская диагностика. В γ -лучевой астрономии к синтезированной апертуре прибегают для улучшения отношения сигнал/шум [3]. В других задачах более важная цель — получение томографического эффекта, т. е. изображения сечения (слоя) трехмерного объекта.

Синтезированные апертуры можно разделить на два типа: непрерывные, такие как зонные пластинки Френеля [4], и дискретные, состоящие из распределения точек [5]. Точечные распределения на практике могут быть получены в виде пассивной апертуры, содержащей матрицу рентгеновских трубок. В предлагаемой работе рассматривается принцип синтезированной апертуры, включающий проблему генерации трехмерного изображения в рентгеновских лучах.