

ЛИТЕРАТУРА

1. Labeyrie A.—Astron. Astrophys., 1970, vol. 6, p. 85.
2. Liu C. Y. C., Lohmann A. W.—Opt. Comm., 1973, vol. 8, p. 372.
3. Bates R. H. T., Gough P. T., Napier P. J.—Astron. Astrophys., 1973, vol. 22, p. 319.
4. Lynds C. R., Worden S. P., Harvey J. W.—Astrophys. J., 1976, vol. 207, p. 174.
5. Knox K. T., Thomson B. J.—Astrophys. J. (Lett.), 1974, vol. 193, p. L45.
6. Ehn D. C., Nisenson P.—J. Opt. Soc. Am., 1975, vol. 65, p. 1196.
7. Weigelt G. P.—Opt. Comm., 1977, vol. 21, p. 55.
8. Rogers G. L.—Opt. Comm., 1979, vol. 30, p. 1.
9. Bates R. H. T., Milner M. O., Lund G. I., Seager A. D.—Opt. Comm., 1978, vol. 26, p. 22.
10. Von der Heide K.—Astron. Astrophys., 1978, vol. 70, p. 777.
11. Fienup J. R.—Opt. Lett., 1978, vol. 3, p. 27.
12. Walker J. G.—Optica Acta, 1981, vol. 28, p. 1047.
13. Roddier C., Roddier F., Vernin J.—In: ESO Conf. Proc. «Scientific Importance of High Angular Resolution at Infrared and Optical Wavelengths». Garching, 1981, p. 165.
14. Weigelt G. P.—Appl. Opt., 1978, vol. 17, p. 2660.
15. Weigelt G. P.—Optica Acta, 1979, vol. 26, p. 1351.
16. Böhm H., Lohmann A. W., Weigelt G. P.—Opt. Lett., 1981, vol. 6, p. 162.
17. Baier G., Ebersberger J., Lohmann A., Weigelt G. P.—Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng., 1980, vol. 264, p. 58.
18. Weigelt G. P.—In: FSO Conf. Proc. «Scientific Importance of High Angular Resolution at Infrared and Optical Wavelengths». Garching, 1981, p. 95.
19. Weigelt G. P. Speckle Interferometry and Related Techniques with Advanced Technology Optical Telescopes.—Submitted to Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng., 1982.
20. Lohmann A. W., Weigelt G. P.—In: Conf. Proc. of the ESA/ESO Workshop on «Astronomical Uses of the Space Telescope». Geneva, Feb. 1979.

Поступила в редакцию 8 августа 1982 г.

УДК 681.7.014.3

А. ЛОМАНН, Г. ХЕСЛЕР

(Эрланген, ФРГ)

ТЕЛЕВИЗИОННО-ОПТИЧЕСКАЯ И ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ

Введение. Работа посвящена «гибридной» обработке изображений, включающей некогерентную оптику, телевизионную электронику и цифровые устройства. По нашему мнению, комбинация таких средств позволяет расширить возможности обработки, что невозможно осуществить, применяя по отдельности оптические, электронные или цифровые системы. Примеры проектов гибридных систем, разработанных в Эрлангене, приведены в списке литературы. Предложенная нами гибридная система характеризуется гибкостью и возможностью обработки в реальном времени. Термин «реальное время» означает, что определенные задачи могут быть решены за время длительности одного или в крайнем случае нескольких телевизионных кадров. За счет гибкости системы возможна реализация не только линейных пространственно-инвариантных операций.

Оптические, телевизионно-электронные и цифровые системы. В этом разделе рассматривается ряд свойств различных систем в терминах «теории систем» с учетом технических ограничений. Проиллюстрируем эти особенности некоторыми приложениями.

Оптические системы с точки зрения поставленных нами задач могут характеризоваться терминами «двумерные, параллельные, пространственно-инвариантные, линейные». При некогерентном освещении легко реализовать низкочастотную фильтрацию. Нами использовалась эта возможность, например, при итеративной инверсной фильтрации [1, 2]. В данном случае для выполнения следующих друг за другом итераций необходимо найти быстрый метод обработки. Это также справедливо для всех методов с обратной связью, например в оптических операционных усили-

звать U одномерное преобразование Фурье и получить в реальном времени спектр речевых сигналов [6].

В оптических системах могут также применяться эффекты пространственной коррекции изображения. Например, можно установить деформируемое зеркало между объектом и телекамерой для компенсации геометрических искажений телевизионной системы [7]. Требуется значительное время, чтобы убрать эти искажения исключительно цифровыми средствами.

Выше были названы некоторые положительные свойства оптических систем. Рассмотрим их недостатки. Некогерентные системы работают только с положительными сигналами. Вследствие этого нельзя непосредственно выполнить высокочастотную фильтрацию или вычитание, которые являются весьма важными операциями. Иногда можно применить для этой цели когерентное освещение, однако многие объекты при этом подвергаются диффузному рассеянию. Поэтому необходимы преобразования некогерентного света в когерентный, которые не так хорошо разработаны, как хотелось бы.

С другой стороны, преобразователи «некогерентный свет — электрический сигнал» (и наоборот) хорошо отработаны и имеются в продаже. Телевизионная обработка обладает большими возможностями, чем обработка изображений с кинофильма. Электрические сигналы могут быть биполярными, и тогда легко осуществить высокочастотную фильтрацию и вычитание для увеличения глубины фокуса [8—10] и реализации отрицательной обратной связи [3].

Конечно, телевизионные сигналы одномерны (временные сигналы). Тем не менее возможны некоторые виды одномерной и даже двумерной фильтраций [10].

Контроль задержки телесигналов небольшими сдвиговыми регистрами использовался для обработки псевдостереокартин [11].

Нелинейные преобразования электрических сигналов выполняются, конечно, проще, чем оптических. Гибкое решение, содержащее оптическую и телевизионные системы, приведено в [12, 13]. Там оптико-электронная нелинейность применяется, например, для вычисления энтропии [14]. Заметим, что генерация итераций обратной связи в пространстве и времени [15] или создание аналоговых компьютеров с обратной связью [4] невозможны без следующих свойств видеосистем: вычитание, усиление и память. Остановимся на недостатках телевизионных систем. Телекамерам свойственны геометрические искажения и низкий динамический диапазон (обычно менее 8 бит). Сигнал ухудшается из-за шума усилителя и ярких пятен на мишени камеры, которые обычно не видны, но появляются после обработки, например, высокочастотной фильтрации. Обе погрешности мешают практическому применению систем с обратной связью. Оптическими средствами (7) можно в значительной степени скорректировать искажения, но не пространственный шум.

Дальнейшая трудность заключается в том, что часто необходима память на один (или более) телекадр, например, для исследования временных эволюций, усреднения и т. п. Аналоговые устройства памяти, подобные дисковым, ленточным или видиконным ЗУ, не очень точны (имеются геометрические искажения!).

Покажем, что сопряжение *цифровой телевизионной памяти* с телевизионно-оптической системой значительно расширяет область возможной обработки. Хотелось бы подчеркнуть, что мы не стремились к созданию только цифровой системы обработки. Наша цель — обработка кадра (фото-снимка) в реальном времени. *Оптика* реализует предобработку (например,

фазовый контраст, поляризация, интерференция) либо используется в петле обратной связи (например, низкочастотная фильтрация, коррекция искажений и т. п.). Телевизионная электроника производит обращение сигналов, высокочастотную фильтрацию и т. п. Цифровая система применяется для коррекции аналоговых подсистем и как память. Цифровые системы довольно быстро выполняют множество простых операций. В наших экспериментах цифровая телевизионная память и система обработки [16] содержат 512×512 точек с динамическим диапазоном 16 бит и со свободным доступом к каждой точке и каждому битовому уровню. Таким образом удается запомнить 2 восьмибитовые или 16 однобитовых картин. Интенсивность нелинейно преобразуется с помощью предварительно составленных таблиц. Входная и выходная картины так же, как и различные части памяти, связаны простыми арифметическими или логическими операциями. Эти свойства обработки в реальном времени применены для компенсации «шума мишени» [17]. Влияние такого шума устраняют логарифмированием и вычитанием. Другим примером является временное усреднение. Заметим, что с помощью упорядоченных пространственных сдвигов и соответствующих перемножений сдвинутых картин возможна также реализация пространственной свертки. Конечно, для этого потребуется время, равное N телекадрам, для функции, состоящей из N отсчетов, однако при этом будет получен точный результат. Последнее очень важно при решении дифференциальных уравнений, где ошибка накапливается при прохождении сигнала через петлю обратной связи. Наконец, соответствующим образом связывая последовательность телекадров, можно осуществить временную фильтрацию движущихся сцен [18].

Таким образом, в рассмотренных задачах целесообразно применять аналоговую обработку, при этом важное значение имеет каждая подсистема (оптическая, телевизионная и цифровая) в зависимости от задачи, наличия современных комплектующих изделий и личных взглядов авторов. Такие гибридные системы по-настоящему гибки, в них отсутствует резкий переход от аналоговой обработки к цифровой.

Заключение. Концепция гибридной обработки привела к созданию телевизионно-оптической и цифровой систем. Таким образом, за счет объединения возможностей параллельной оптической обработки, электронной высокочастотной фильтрации и быстрой универсальной цифровой арифметики получается гибкая система обработки изображений в реальном времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Maitre H. Iterative Picture Restoration Using Video-Optical Feedback.— Comp. Graph. and Image Proc., 1981, vol. 16, p. 95.
2. Ferrano G., Maitre H. TV-Optical Iterative Picture Resolution: Experimental Results.— Opt. Comm., 1981, vol. 38, p. 336.
3. Götz J., Häusler G., Sesselmann R. Television-Optical Operational Amplifier.— Appl. Opt., 1979, vol. 18, p. 2754.
4. Götz J., Häusler G., Lohmann A., Simon M. Solving Differential Equations with TV-optical Feedback.— In: Proc. of the International Opt. Computing Conf. London, 1978.
5. Ferrano G., Häusler G. TV-Optical Feedback Systems.— Opt. Eng., 1980, vol. 19, p. 442.
6. Brenner K.-H., Häusler G. TV-Optical Measurement of the Instantaneous Frequency Spectrum in Real-Time.— Annual Report, 1981.
7. Häusler G., Streibl N. Optical Compensation of Distortion by a Deformable Mirror.— Annual Report, 1981.
8. Häusler G. A Method to Increase the Depth of Focus by Two Step Image Processing.— Opt. Comm., 1972, vol. 6, p. 38.
9. Götz J., Häusler G., Papp W. V. Expansion of Depth of Focus by TV-Optical Image Processing.— Annual Report, 1978, p. 11.
10. Götz J., Körner E. An Application of a Two-Dimensional Real-Time Electronic Video Filter.— Annual Report, 1981.
11. Götz J., Lohmann A. TV-on-Line-Generation of Pseudo-Stereo Images.— Annual Report, 1980, p. 40.

12. Lohmann A. W. Suggestions for Hybrid Image Processing.— Opt. Comm., 1977, vol. 22, p. 165.
13. Götz J., Jahns J. An Opto-Electrical Nonlinear Component.— Accepted for Publication in Opt. Comm., 1982.
14. Götz J., Thum C. Texture Discrimination by Local Statistical Properties in Real-Time.— Annual Report, 1981.
15. Häusler G., Simon M. Generation of Space and Time Picture Oscillations by Active Incoherent Feedback.— Optica Acta, 1978, vol. 25, p. 327.
16. Gerbig V. Our Digital Television Picture Processing System (DTVPPS) for Support of Optical Information Processing Methods.— Annual Report, 1980, p. 9.
17. Häusler G., Mitzinneck A. Some Errors of TV-Optical Image Processing Systems and their Correction.— Annual Report, 1981.
18. Ferrano G., Maitre H. A Video Loop used as a Picture Memory.— Optica Acta, 1981, vol. 28, p. 553.

Поступила в редакцию 8 августа 1982 г.

УДК 621.378.3

А. ФЕРХЕР

(Эссен, ФРГ)

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНЫХ СПЕКЛ-МЕТОДОВ В ОФТАЛЬМОЛОГИИ

Введение. Исследованы две возможности применения лазерных спекл-методов в офтальмологии. В настоящее время работа находится в той стадии, когда видны перспективы и ограничения обоих методов. Для выделения из изображений сосудов глазного дна с равными скоростями тока крови использовались чистые спекл-методы [1]. Вначале делалась попытка применять эти же методы для измерения растяжений глазного яблока (дилатаций), вызванных периодическим колебанием кровяного давления. Для этого входной зрачок глаза освещался лазерным пучком. По нашим предположениям, свет, диффузно рассеянный сетчаткой, должен был интерферировать со светом, отраженным от роговицы. Таким образом надеялись осуществить измерения дилатаций глазного яблока, т. е. зафиксировать изменение расстояния от роговицы до сетчатки. Фактически, как показали эксперименты, от роговицы отражается сферическая волна, а от сетчатки — плоская, так что измерения дилатации можно выполнять классическими интерференционными методами [2]. В предлагаемой работе представлены оба метода. Все измерения проведены непосредственно на человеческом глазе.

Измерения дилатаций глаза. Рассмотрим три граничных случая отражения света от глаза, когда последний освещен ослабленным лазерным пучком. Глаз освещался гелий-неоновым лазером мощностью 20 мкВт (см. рис. 2, 3 и 4). Диаметр пучка на уровне $1/e^2$ составлял 1,3 мм. Ход

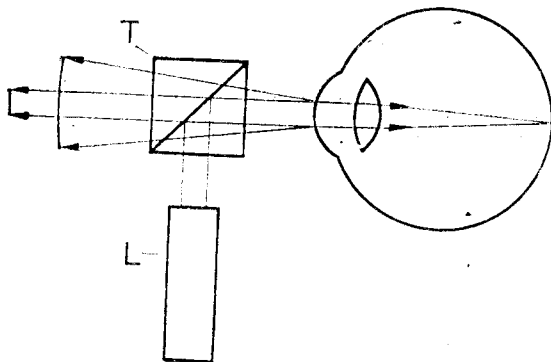


Рис. 1. Ход лучей для освещения глаза и наблюдения глазного дна при помощи лазера:
L — лазер, T — светоделительный кубик.

лучей показан на рис. 1. Лазер L освещает входной зрачок глаза через светоделительный кубик T. Глаз аккомодирован на бесконечность и видит резкую яркую точку, т. е. сфокусированный лазерный пучок. В свете, отраженном от глаза, можно отметить три стадии. Распределение яркости на выходном зрачке глаза, представленное на рис. 2, характерно для первой стадии. Четко видны края зрачка, ограниченные присовой диафрагмой.