

ПЕРВЫЙ  
СОВЕТСКО-ЗАПАДНОГЕРМАНСКИЙ СЕМИНАР  
«ОПТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ»

УДК 535.41 : 522.2 : 578

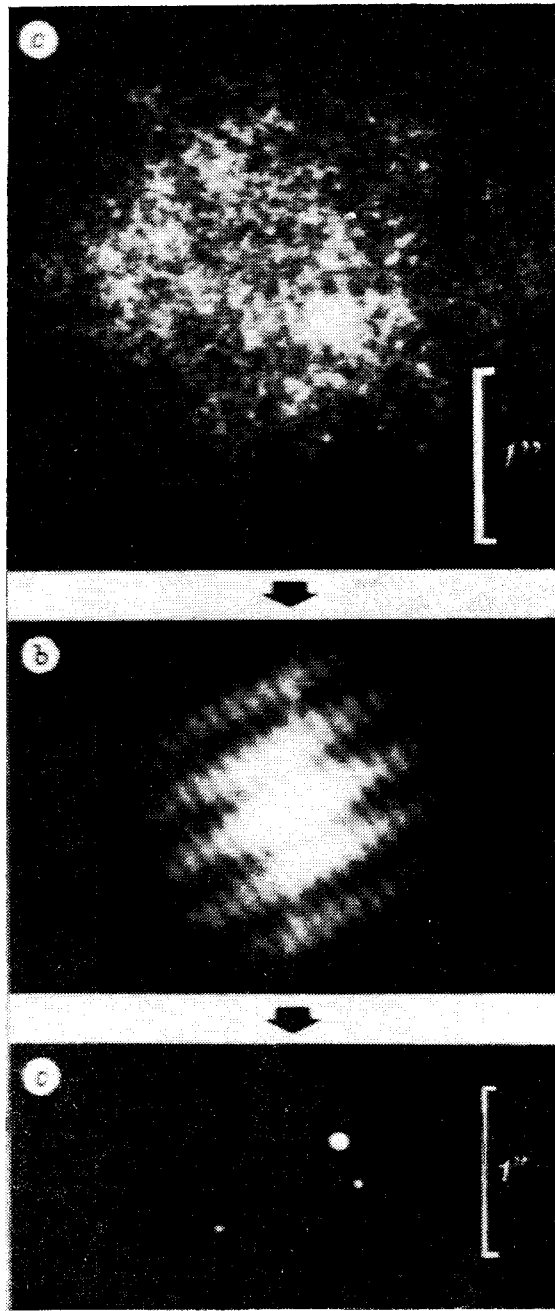
Г. ВЕЙГЕЛЬТ  
(*Ерланген, ФРГ*)

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ  
В АСТРОНОМИИ И БИОЛОГИИ

**Введение.** Колебания коэффициента преломления земной атмосферы ограничивают разрешение традиционной астрофотографии примерно до  $1''$ . Однако ухудшение изображений из-за атмосферных флуктуаций и аберраций телескопа можно устранить спекл-методами. К ним относятся звездная спекл-интерферометрия Лабейри [1], которая позволяет получить с высоким разрешением автокорреляцию исходного объекта, а также различные методы восстановления изображений [2—13]. Ниже кратко обсуждаются спекл-голографические [2, 3] и спекл-маскирующие [7] методы восстановления изображений. Возможности спекл-голографического метода иллюстрируются на примере обработки данных, полученных на итальянском 1,8-метровом телескопе и 3,6-метровом телескопе Европейской Южной обсерватории [14, 15]. Кроме того, нами рассмотрены корреляционные методы измерения средней скорости движения микроорганизмов и гистограмм векторов смещения многих объектов [16]. Преимущество таких корреляционных методов состоит в возможности одновременного измерения большого числа объектов ( $\sim 10^3$ ). Этим методом исследовались бактерии *Rhizobia* и другие микроорганизмы.

**Высокоразрешающая астрофотография.** В спекл-интерферометрических системах высокое угловое разрешение получают путем усреднения большого числа мгновенных фотографий, выполненных с короткой экспозицией. Время экспозиции должно быть менее 0,1 с для того, чтобы «заморозить» турбулентность атмосферы. В этом случае фотографии, зарегистрированные с помощью больших телескопов, состоят из случайных интерференционных структур. Поэтому такие фотографии называются спекл-интерферограммами. Их спекл-структура несет информацию об объекте. Эта информация может быть расшифрована различными спекл-методами [1—13]. В спекл-интерферометрии обрабатывается множество спекл-интерферограмм, при этом усредняются их спектры мощности, а затем вычисляется автокорреляция объекта. Что касается спекл-голографии, то она дает прямое изображение, если вблизи объекта существует подходящий точечный источник. Изображение объекта восстанавливается с помощью спекл-интерферограммы точечного источника, являющегося ключом для десвертки. Эта техника детально представлена в работах [2, 3, 14, 15].

На рис. 1 показаны результаты спекл-голографических измерений тройной звезды ADS 3358. Высокоразрешающее изображение тройной звезды (рис. 1, *с*) восстановлено по 240 спекл-интерферограммам, зарегистрированным на итальянском 1,8-метровом телескопе. Одна из таких спекл-интерферограмм изображена на рис. 1, *а* (в том же масштабе, что



*Рис. 1.*

и на рис. 1, *c*), а усредненный по 240 спекл-интерферограммам спектр мощности — на рис. 1, *b*.

На рис. 2 представлены результаты спекл-голографических измерений двойной звезды Zeta Aquarii A — C. Высокоразрешающее изображение двойной звезды (рис. 2, *b* слева и рис. 2, *c*) было восстановлено по 100 спекл-интерферограммам, полученным на 3,6-метровом телескопе ESO. Одна из этих спекл-интерферограмм показана на рис. 2, *a*. Левое спекл-облако относится к звезде Zeta Aquarii A, а правое — к звезде Zeta Aquarii B. Из этих измерений видно, что Zeta Aquarii A — действительно очень близкая двойная звезда с угловым расстоянием  $0,064''$  (эпоха 1978.964). Оба спекл-голографических измерения дали разрешение, в 30 раз превышающее разрешение обычной астрофотографии (см. [14, 15]).

Данные обрабатывались также спекл-маскирующим методом. При этом было получено разрешение  $0,03''$ . Экспериментальные результаты приведены в годовом отчете нашего института за 1982 г. Ранние модельные эксперименты изложены в [7].

Некоторые спекл-интерферометрические измерения представлены в [17, 18]. Нам удалось разрешить скопления звезд, астероиды, близкие спектральные двойные звезды, галактические ядра и своеобразный центральный объект в туманности Doradus 30.

Спекл-методы можно применять для исключения влияния не только земной атмосферы, но также и сильных aberrаций гигантских телескопов будущего [19] и aberrаций космических телескопов [20].

**Изучение движения мик-**

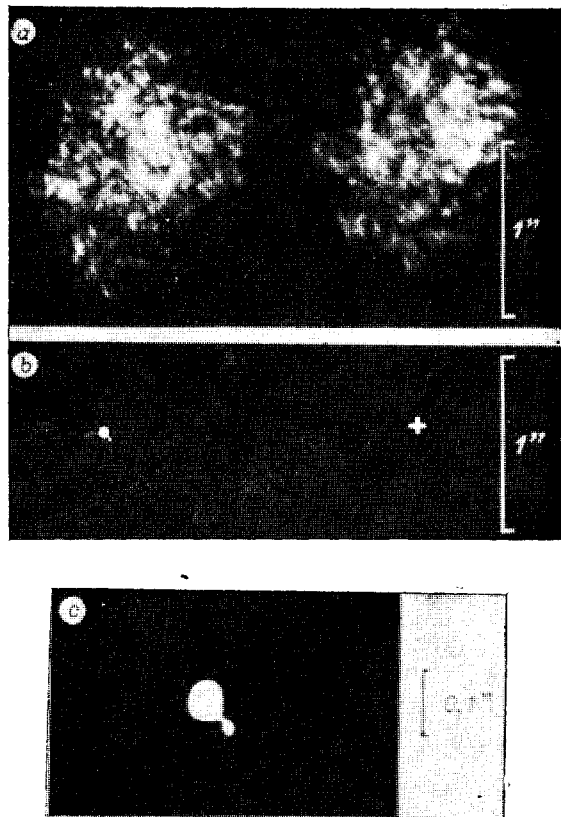


Рис. 2.

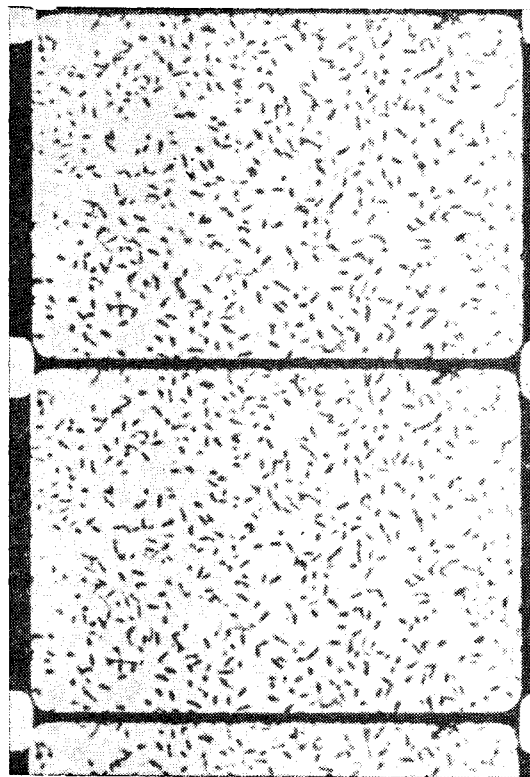


Рис. 3.

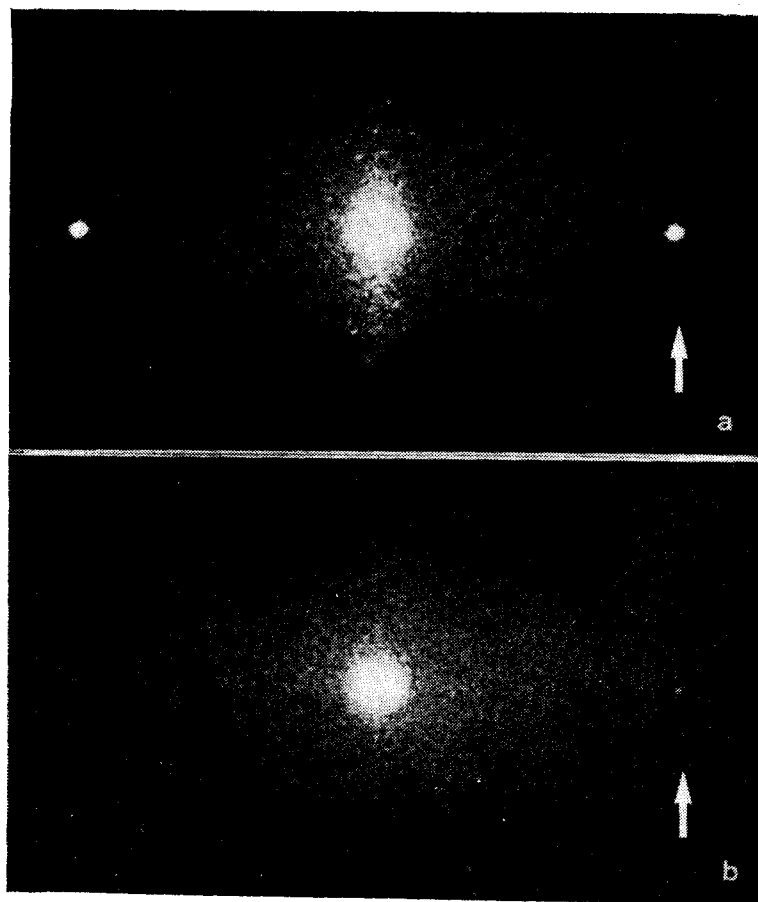


Рис. 4.

**роорганизмов.** В нашей лаборатории разработаны корреляционные способы изучения различных характеристик движения микроорганизмов, предполагающие сначала их регистрацию на кинолентку (в виде фильма), затем с помощью корреляционного метода определение подвижности объектов (модуля средней скорости движения [16], гистограммы векторов смещения всех объектов за определенный промежуток времени, гистограммы всех направлений движения и других статистических характеристик). Пример такого фрагмента фильма движущихся бактерий *Rhizobia* показан на рис. 3 (16-миллиметровая пленка, 64 кадра/с). Рис. 4 иллюстрирует методику измерения подвижности (средней скорости движения) бактерий, показанных на рис. 3. Внеосевые пики на двух фотографиях рис. 4 соответствуют ансамблю усредненных корреляционных функций соседних кадров двух различных фильмов. Скорость съемки двух фильмов 64 кадра/с (рис. 4, *a* — сильная корреляция) и 8 кадров/с (рис. 4, *b* — слабая корреляция). Таким путем можно оценить подвижность бактерий и получить гистограммы векторов смещения (подробнее см. [16]). Эти методы применялись для исследования бактерий [16], движения протоплазмы в клетках растений и примитивных водорослей *Euglena gracilis* (в сотрудничестве с доктором Крамлом, Институт ботаники, Эрлангенский университет). Ценность этих методов — в высокой статистической точности, основанной на очень большом количестве наблюдаемых объектов.

Автор благодарит А. Ломанна за многочисленные интересные обсуждения, Немецкое научное общество за финансовую поддержку, проф. Росино, а также Европейскую Южную обсерваторию за предоставление времени для проведения экспериментов.

## 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-