

Венхан Джиан

АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ В ИОЭ

Исследования по адаптивной оптике и ее развитие в Китае начались в 1979 г. В 1980 г. была открыта первая лаборатория адаптивной оптики в Институте оптики и электроники (ИОЭ) Китайской академии наук. С этого времени в лаборатории было построено несколько адаптивных оптических систем. В их числе система коррекции волнового фронта, работающая на основе алгоритма «восхождения на холм», адаптивная оптическая система, включающая интерферометр сдвига, экспериментальное оборудование, использующее гартмановский датчик волнового фронта и 37-элементное деформируемое зеркало. В настоящей статье обсуждаются принципы, структура и экспериментальные результаты работы этих систем.

1. Система коррекции волнового фронта, реализующая алгоритм «восхождения на холм» [1–3]

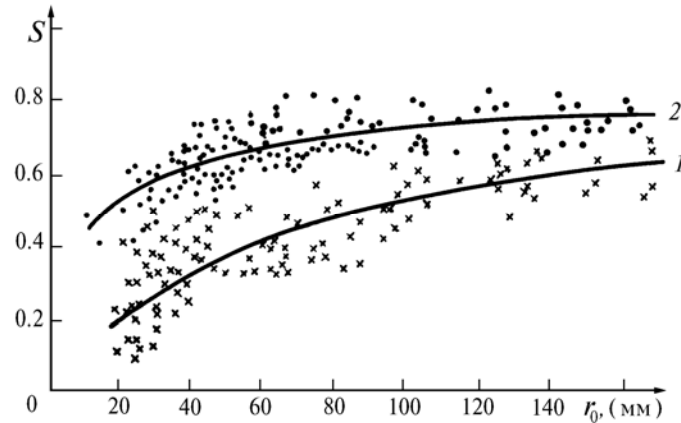
Эта система была создана для коррекции статических искажений волнового фронта. Коррекция проводилась с целью улучшения качества лазерного пучка. В системе используется 19-элементное адаптивное зеркало, управление осуществляется на основе «восхождения на холм» по последовательным модуляциям. Концентрация энергии в фокальном пятне измеряется фотоумножителем, помещенным в фокальной плоскости позади точечного отверстия. Выходной сигнал с фотоумножителя синхронно с сигналом модуляции регистрируется пороговым усилителем, полярность выходного сигнала которого указывает правильное направление итерационного шага коррекции. Актюатор деформируемого зеркала, управляемый шаговым двигателем, соединенным в цепь с потенциометром и высоковольтным усилителем, смещается в направлении, обеспечивающем проход через точечное отверстие максимального количества энергии; 19 актюаторов шагового двигателя соединены с системой контроля контура колебаний. После нескольких итерационных шагов ошибка волнового фронта может быть скорректирована, и резкость в фокальной плоскости достигнет своего максимума. Чтобы избежать 2π -неопределенности, актюатор деформируемого зеркала сканирует во всем диапазоне допустимых смещений и основной максимум концентрации энергии определяется с использованием микрокомпьютера, после чего процесс колебаний осуществляется около основного максимума [3]. Эта система успешно используется в Шанхайском институте оптики и точной механики для коррекции ошибок волнового фронта, обусловленных ошибками в процессе изготовления и согласования оптических элементов, а также неоднородностями рабочих сред технологических лазерных систем.

2. Адаптивная оптическая система, использующая сдвиговый интерферометр [2, 4–6]

Эта система используется для коррекции динамических ошибок волнового фронта, например, ошибок, обусловленных атмосферной турбулентностью. Система состоит из интерферометра сдвига, работающего в режиме постоянного тока, 21-элементного деформируемого зеркала и электроники управления. Две линзы и матрицы фотоумножителей используются для детектирования сигналов модуляции от сдвиговых интерферограмм, которые образуются двумя решетками Ронки, вращающимися соответственно в X и Y направлениях. Сигналы с фотоумножителей фазово-дискриминированы с опорным сигналом. Продетектированные фазовые сигналы, представляющие наклоны волнового фронта на субапертурах, обрабатываются в целях восстановления волнового фронта и получения сигналов управления на каждом из 21 актюатора. Ширина полосы системы 300 Гц.

После окончания предварительных лабораторных экспериментов в 1982–1984 г. установка была объединена с 250-мм телескопом системы Кассегрена. Эксперименты по компенсации атмосферной турбулентности на горизонтальной трассе проводились в 1987 г. Гелий-неоновый лазер использовался как объект наблюдения. Расстояние между объектом и телескопом равнялось 340 м, поднятие горизонтальной оптической трассы над землей составляло 15 м. На рисунке приведены экспериментальные результаты при различных измерениях значения радиуса Фрида r_0 . Ординаты графика — это отношение измеренной энергии в пределах круга с диаметром, равным размеру первого темного кольца Эйри к дифракционному пределу.

В 1990 г. в эту систему была включена 32-канальная электронная схема, работающая на выходе усилителя в режиме счета фотонов и цифровой процессор с TMS 320C25 DSP. Система была объединена с 1,2-м телескопом Кунмингской астрономической обсерватории. В сентябре 1990 г. была реализована первая успешная проверка компенсации атмосферной турбулентности с использованием астрономических объектов.



Экспериментальные результаты коррекции атмосферной турбулентности на горизонтальной оптической трассе: кривая 1 — контур обратной связи разомкнут; 2 — обратная связь замкнута

3. Модовая адаптивная оптическая система апертурного зондирования [7, 8]

Используя поддержку фонда по разработке Большого Европейского Солнечного Телескопа (БЕСТ), исследовалась модовая многовибраторная адаптивная оптическая система увеличения резкости изображения. В предлагаемой системе используются два зональных деформируемых зеркала, одно для возбуждения колебаний, второе — для коррекции. Оптические трассы распространения зондирующего и информационного сигналов были разделены. Используя преобразователи мода — зона, представляющие собой аналоговые цепи, модовые зондирующие сигналы и сигналы управления преобразуются в зональные сигналы деформируемых зеркал, так что зональное деформируемое зеркало корректирует фазовые ошибки в соответствии с абберационными модами Цернике. Распределение интенсивности детектируется высокоскоростным матричным детектором. Рассчитывается функция резкости изображения, сигналы модового управления снимаются с пороговых усилителей. Для предложенной схемы обсуждаются отношение сигнал-шум измеренного модального сигнала, точность аппроксимации зеркалом различных полиномов Цернике, а также ограничения системы [7, 8].

4. Экспериментальное оборудование с гартмановским датчиком волнового фронта

В 1990 г. для лабораторных экспериментов была построена адаптивная оптическая система с 37-элементным деформируемым зеркалом и гартмановским датчиком волнового фронта. В этой системе в качестве корректора волнового фронта использовалось 37-элементное деформируемое зеркало с 18 дополнительными актюаторами, предназначенными для улучшения функции влияния внешних актюаторов. Гартмановский датчик волнового фронта состоял из массива призм и камеры ретикон. Алгоритм прямого управления градиентами волнового фронта субапертур сравнивался с методами, основанными на традиционном восстановлении волнового фронта. Сопоставление показало, что алгоритм управления градиентами более простой, результаты его являются легко интерпретируемыми [9]. В систему для расчета смещений центров тяжести изображений от субапертур и матричного умножения был включен цифровой процессор, состоящий из пяти элементов TMS 320 C 25 DSP. Частота снятия отсчетов гартмановского датчика 380 Гц, а ширина полосы системы порядка 50 Гц. Входящее в систему высокочастотное управляемое зеркало использовалось для коррекции общего наклона.

1. Wenhan Jiang, Shufu Huang, Ning Ling, Xuben Wu. //SPIE Proc. 1988. V. 965. P. 266–272.
2. Wenhan Jiang. //SPIE Proc. 1989. V. 1114. P. 65–72.
3. Yudong Zhang, Wenhan Jiang. //Chinese Journal of Lasers. 1990. V. 17. № 4. P. 193–197.
4. Wenhan Jiang. //Acta Optica Sinica. 1988. V. 8. № 5. P. 441–447.
5. Wenhan Jiang, Peiying Yan, Mingquan Li, Zichang Dai //Acta Optica Sinica. 1990. V. 10. № 6. P. 558–564.
6. Wenhan Jiang, Peiying Yan, Mingquan Li, Zichang Dai, Mei Li, Yonghong Duan, Bingchen Li. //Publication of the Beijing Astronomical Observatory. 1990. № 15. P. 41–50.
7. Wenhan Jiang, Yueai Liu, Zhang Yi, Fang Shi, Guomao Tang // LEST Report. 1988. № 30. P. 1–19.
8. Wenhan Jiang, Ning Ling, Xuejun Rao, Fang Sci //SPIE Proc. 1991. V. 1542.
9. Wenhan Jiang, Huagui Li, Shufu Huang, Xubin Wu //SPIE Proc 1990. V. 1271. P. 82-93.

Wenhan Jiang. **Adaptive Optical Systems in IOE.**

The research and development on Adaptive Optics in China began in 1979. In 1980 the first laboratory on Adaptive Optics was established in the Institute of Optics and Electronics (IOE), Chinese Academy of Sciences. Since then, several adaptive optical systems have been built in this Laboratory. Among them are: (1) hill-climbing wavefront correction system, (2) adaptive optical system using shearing interferometers, (3) experimental setup with Hartmann-Shack wavefront sensor, and 37-element deformable mirror. In this paper the principles, structures, and experimental results will be briefly reported.