

А.Б. Гаврилович

ВИДЕОСПЕКТРОПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АТМОСФЕРНО-ОПТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Создан программно управляемый видеоспектрополяриметрический комплекс. Он позволяет получать поляризационные изображения объектов, сформированные рассеянным излучением в пассивном и активном режимах. Приемная оптическая система представляет набор сменных объективов с угловой апертурой от 2 до 100°. Фотоприемные модули образуют четыре оптических канала на ПЗС-матрицах, а для низкоуровневых сигналов – на супервидиконе. Перестройка по спектру производится с помощью блока полосовых фильтров. Временная структура сигнала анализируется оптическим каналом на фотоэлектронном умножителе. В состав комплекса входит лазерный излучатель на алюмоиттриевом гранате с деколлиматором излучения. Управление комплексом, обработку информации и построение поляризационных изображений осуществляет ПЭВМ IBM PC/AT.

1. Введение

Разработка технических средств для атмосферно-оптических исследований вызывает все возрастающий интерес в связи с необходимостью контроля динамики атмосферных процессов и оценки степени воздействия различных факторов на окружающую среду. Эти и другие подобные задачи существенно многопараметричны. Их решение требует проведения исследований с применением технических средств, обеспечивающих параллельную регистрацию информации по совокупности признаков, отражающих различные эффекты взаимодействия излучения и среды. Так, например, для целей дистанционного контроля параметров природных объектов использование рассеянного оптического излучения в качестве источника информации представляется эффективным лишь на основе синхронной регистрации и анализа его угловой, спектрально-поляризационной и временной структур.

Такие комплексные распределения поля рассеянного излучения оказываются более чувствительными к изменениям физико-химических и структурных свойств исследуемых объектов по сравнению с их обычными изображениями, отображающими угловое распределение интенсивности [1–3]. Объектами исследования в таких случаях могут быть воздушная среда, ее газовая и аэрозольная компоненты, граница раздела, поверхностный слой водной среды, облачный и земной покровы.

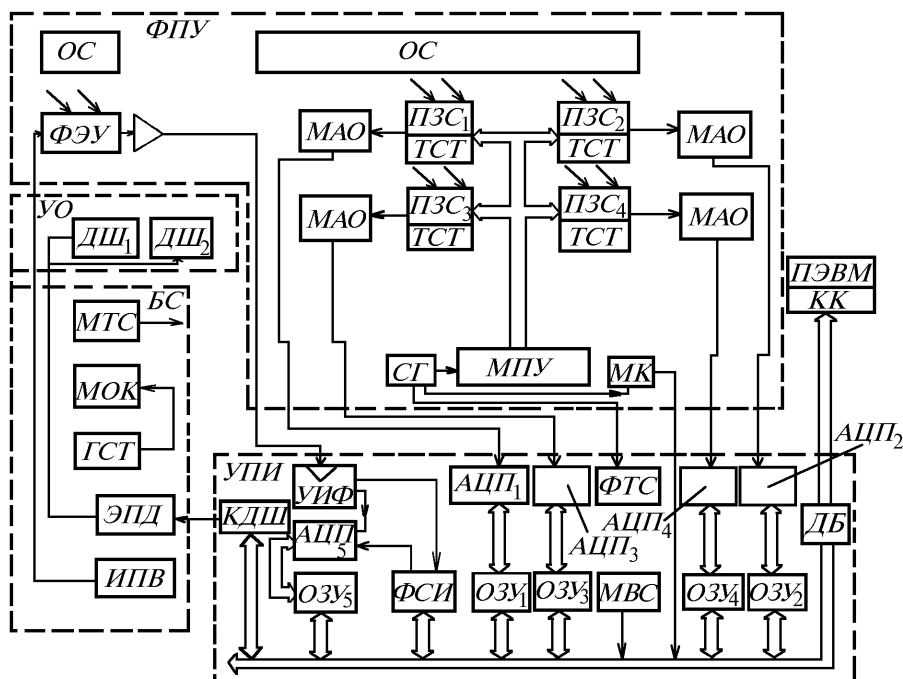
Для атмосферно-оптических исследований в Институте физики и ЦКБ с ОП Академии наук Беларуси создан панорамный программно управляемый поляриметрический комплекс (ППК). Он позволяет получать комплексные изображения исследуемых объектов, сформированные рассеянным излучением с учетом его поляризации.

2. Описание комплекса

Структурная схема системы регистрации ППК приведена на рисунке. Она включает в себя фотоприемное устройство *ФПУ*, устройство ориентирования *УО*, устройство преобразования информации *УПИ*, блок силовой *БС*.

Приемная оптическая система *ОС* выполнена в виде набора объективов с угловой апертурой от 2 до 100° и снабжена поляризационными элементами, установленными по симметричной схеме. Перестройка *ОС* по длинам волн производится путем использования блока полосовых спектральных фильтров. Фотоприемные модули системы образуют четыре оптических канала на ПЗС-матрицах типа ФППЗ-13М с числом элементов 128×128. Номинальный тепловой режим матриц обеспечивается термоэлектрическими стабилизаторами *ТСТ*. Электронный блок *ФПУ* включает в себя модуль преобразователей уровня *МПУ*, модуль коррекции *МК*, синхрогенератор *СГ*, модули аналоговой обработки *МАО*. *МПУ* вырабатывает необходимые для ПЗС-матриц постоянные и импульсные сигналы управления. *МАО* содержит буферный

усилитель, низкочастотный фильтр, устройство двойной коррелированной выборки. Синхронизатор *СГ* формирует последовательность тактовых импульсов, обеспечивающих работу матричных формирователей видеосигнала. Видеосигналы от каждого из четырех каналов ФПУ поступают на устройство преобразования информации *УПИ*, где аналого-цифровые преобразователи *АЦП₁–АЦП₄* обеспечивают квантование входного сигнала. Оперативные запоминающие устройства *ОЗУ* по каждому каналу позволяют запомнить 4 последовательных кадра изображения. В составе *УПИ* имеются также модуль выделения кадровых и строчных синхроимпульсов *МВС* и формирователь тест-сигнала *ФТС*. Это позволяет подключать к системе регистрации любую ТВ камеру, имеющую стандартный видеосигнал.



Блок-схема системы регистрации ППК

Для регистрации временной зависимости сигнала используется амплитудный канал, построенный на фотоэлектронном умножителе *ФЭУ-84*. Он обеспечивает также запуск системы регистрации в момент прихода сигнала, отраженного от исследуемого объекта. Кроме фотодетектора с программируемым коэффициентом усиления он включает формирователь синхроимпульсов *ФСИ*, устройство измерения и вычитания фона *УИФ*, компараторы скорости нарастания сигнала. Сигнал *ФЭУ* после вычитания фона и усиления преобразуется *АЦП₅* и записывается в *ОЗУ₅*. Для фиксации начала регистрации используется либо цифровой, либо аналоговый компараторы, выбор которого осуществляется программно. Временной диапазон регистрации сигнала определяется числом выборок (1024) и переменной частотой дискретизации (максимальная частота 10 МГц). По окончании регистрации *ФСИ* вырабатывает соответствующий сигнал и переходит в режим хранения.

Силовой блок *БС* содержит модуль термостабилизатора *МТС*, генератор стабилизированного тока *ГСТ*, модуль оптической калибровки *МОК*, электропривод шаговых двигателей *ЭПД*, источник питания высоковольтный *ИПВ* для *ФЭУ*.

Устройство ориентирования *УО* через шаговые двигатели *ДШ₁* и *ДШ₂* обеспечивает требуемую ориентацию *ФПУ*, задаваемую полярным θ и азимутальным φ углами. Управление двигателями производится программно через контроллер *КДШ*, размещенный в *УПИ*. В конструкции *УО* обеспечена возможность и ручного ориентирования *ФПУ*. Общее управление комплексом осуществляется *ПЭВМ* типа *IBM PC/AT* через дешифратор блока *ДБ* и контроллер *КК*.

3. Возможности дистанционного контроля

В пассивном режиме при солнечном освещении регистрация изображений производится при внешнем запуске системы. В режиме импульсной регистрации изображения имеют временную привязку к моменту запуска системы от первых квантов, рассеянных исследуемым объектом.

Для активной подсветки в составе комплекса имеется лазерный излучатель на алюмоиттриевом гранате, снабженный деколлиматором излучения с перестраиваемой в широких пределах угловой апертурой. Излучатель механически не связан с системой регистрации, и вместе они образуют бистатическую схему. Область пространства, контролируемая системой в нестационарном режиме, имеет форму эллипсоида, в одном из фокусов которого находится излучатель, в другом – система регистрации.

Размеры контролируемой зоны существенно зависят от мощности излучателя, чувствительности фотодетекторов и величины угловых, спектральных и временных интервалов, в пределах которых производится накопление сигнала.

При низких уровнях сигналов в измерительном комплексе предусмотрена система регистрации на супервидиконе, осуществляющая прием при освещенности порядка $5 \cdot 10^{-3}$ лк. Каждый элемент (i, j) изображения в зависимости от апертуры объектива однозначно определяет фиксированное направление визирования $(\theta_{ij}, \varphi_{ij})$. Используемая при этом система координат связана с ФПУ. Для визуального контроля размеров исследуемой зоны служит визирное устройство, механически связанное с ФПУ.

Расстояние l до контролируемого объема в направлении $(\theta_{ij}, \varphi_{ij})$ зависит от удаления d_n излучателя, величины эксцентриситета ε эллипсоида, ориентации η его оси в вертикальной плоскости и оценивается по отсчету l на временной шкале

$$l(t) = (1 - \varepsilon)^2 d_n / [2 \varepsilon (1 + \varepsilon \cos \eta)], \quad (1)$$

где $\varepsilon = \varepsilon(\theta_{ij}, \varphi_{ij}, t)$ находится на основании геометрических построений.

Оптические свойства среды оцениваются по сигналам четырех матричных каналов. Это предъявляет повышенные требования к взаимной ориентации матриц. С помощью специальной системы ориентации обеспечена однозначность пространственного соответствия каждого элемента во всех матрицах с точностью до 0,5 элемента.

Поляризационные характеристики света, рассеянного заданным объемом среды, при симметричной схеме анализатора определяются по сигналам I_1, I_2, I_3, I_4 , принятым в каждом из четырех каналов. При этом интенсивность вычисляется по формуле

$$I = \frac{2}{3} (I_1 + I_2 + I_3). \quad (2)$$

Здесь и ниже опущены определяемые при калибровке множители, учитывающие неидеальность поляризационных элементов на различных длинах волн в пределах области спектральной чувствительности фотодетектора. Азимут поляризации, задающий ориентацию большой оси эллипса поляризации, имеет вид

$$\chi = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{U}{Q} + \frac{\pi}{4} (1 - \operatorname{sign} Q) \operatorname{sign} U, \quad (3)$$

где $Q = \frac{2}{3} (2 I_1 - I_2 - I_3)$; $U = \frac{2\sqrt{3}}{3} (I_2 - I_3)$ и слагаемое $\frac{\pi}{4} (1 - \operatorname{sign} Q) \operatorname{sign} U$ учитывает доопределение χ .

Степень поляризации запишем в виде

$$P = (Q^2 + U^2 + V^2)^{1/2} / I, \quad (4)$$

где $V = (I + Q \cos 2\chi - 2 I_4) / \sin 2\chi$ находится с использованием сигнала I_4 в четвертом канале с фазовым компенсатором). Угол эллиптичности

$$\beta = \frac{1}{2} \arcsin \frac{V}{I}. \quad (5)$$

В приведенных формулах для упрощения опущены индексы i, j, l, λ , указывающие на принадлежность к фиксированному направлению визирования, удалению исследуемого объема, длине волны излучения. Выражения, входящие в (2)–(5), образуют вектор Стокса $\mathbf{I} = \{I, Q, U, V\}$, являющийся исчерпывающей характеристикой рассеянного излучения. Использование в составе комплекса персонального компьютера дает возможность на базе указанных характеристик строить комплексные (поляризационные) изображения. Обычные изображения следуют из них как частные реализации с усеченным объемом информации.

1. Solomon J. E. // Appl. Opt. 1981. V. 20. N 9. P. 1537–1544.
2. Egan W. G. // Proc. 17th Int. Symp. Remote Sens. Environ., Ann Arbor, Mich, 9–13 May. 1983. V. 2. P. 479–497.
3. Clemens W. R., Leach P. D. // Opt. Eng. 1987. N 9. P. 924–929.

Институт физики АН Беларуси,
Минск

Поступила в редакцию
15 июля 1994 г.

A. B. Gavrilovich. Videospectropolarimetric System for Atmosphere-Optical Investigations.

The computer-controlled videospectropolarimetric system is created for investigations in the atmosphere optics. This system allows one to receive the polarization images of subjects which are formed by scattered optical radiation in passive and active regimes. The receiving optical system comprises the set of removable lenses with the angular aperture from 2 to 100 degrees. The photoreceiving modules form four identical optical stages based on CCD-matrices; for low-level signals the system uses the supervidicon. The spectral rearrangement is made by a set of spectral filters. The time dependent signal's structure is analysed by optical stage in photo-electronic multiplexor. The system uses a YAG-laser equipped with a decollimator of radiation. The control of the system, the information processing and building of polarimetric images are made using IBM PC/AT.