

А.А. Феоктистов, В.С. Артемков, В.П. Попов

**ОСОБЕННОСТИ УЧЁТА АТМОСФЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ
ДАННЫХ САМОЛЁТНОЙ МНОГОКАНАЛЬНОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ**

Приводится описание физических принципов, лежащих в основе алгоритмов нормализации и автоматизированной тематической обработки данных самолетной многоканальной сканирующей системы.

На данные дистанционного зондирования (ДДЗ) подстилающей поверхности в оптическом диапазоне спектра существенное влияние оказывают процессы многократного рассеяния и поглощения солнечного излучения в атмосфере. Значительный вклад в формирование поля излучения вносят также неортоотропный характер отражения излучения подстилающей поверхностью и многократное переотражение излучения в системе «атмосфера—подстилающая поверхность» [1, 2]. Поэтому для повышения точностных характеристик автоматизированной обработки ДДЗ необходимо проводить радиационную коррекцию, которая базируется на решении краевой задачи переноса излучения в атмосфере. В работах [1, 3] рассматриваются усовершенствованные классические аналитические методы решения уравнения переноса и приводятся примеры их использования для решения задач дистанционного зондирования. Сравнение вычислительных возможностей методов ординат, Монте-Карло, последовательных приближений, сферических гармоник и усовершенствованного метода сферических гармоник приведено в [3]. Практическое применение высокоточных методов решения уравнений переноса для проведения радиационной коррекции больших потоков аэрокосмической видеoinформации в квазиреальном масштабе времени затруднено, так как необходимы значительные затраты машинного времени и большие объёмы оперативной памяти ЭВМ. Кроме того, требуется знание большого числа оптических параметров, характеризующих состояние атмосферы во время регистрации ДДЗ. Обычно такие данные отсутствуют, поскольку на современном этапе проведение синхронных измерений оптических параметров атмосферы представляет собой достаточно сложную техническую задачу. Поэтому для практической реализации радиационной коррекции видеоданных при наличии приближённых значений оптических параметров атмосферы, полученных в результате применения процедур их оценки с использованием самих видеоданных, представляют интерес приближённые аналитические решения краевой задачи переноса излучения в системе «атмосфера—подстилающая поверхность».

Приближённое аналитическое решение может быть получено при решении уравнения переноса с приближенным аналитическим выражением для функции источников, которое получается при различных упрощающих предположениях [4–6]. В рамках двухпоточкового приближения [5, 6] на первом этапе вычислений рассчитываются восходящий и нисходящий потоки, а на втором — интенсивности.

В подходе [5] для расчётов дымки атмосферы (отражающая поверхность отсутствует) на первом этапе вычислений индикатриса рассеяния атмосферы аппроксимируется двумя дельта-функциями, так как аэрозольная индикатриса рассеяния атмосферы сильно вытянута в прямом направлении. Для интенсивности дымки фона (диффузное излучение, хотя бы один раз отражённое от подстилающей поверхности) на первом этапе вычислений предполагается независимость от направления распространения в пределах верхней и нижней полусферы. В рамках подхода [6] такое предположение о независимости делается и для интенсивности дымки атмосферы, и дымки фона.

Для проведения количественной оценки влияния атмосферных эффектов и неортоотропности отражения подстилающей поверхности на интенсивность восходящего излучения использовалась модификация подходов [5, 6], в которой процесс взаимодействия диффузного излучения с атмосферой описывается более точно [7, 8]. Были промоделированы условия весенней съёмки посевов озимой пшеницы с высоты 10 км самолетной многоканальной сканирующей системой (СМСС) с углом сканирования в пределах $\pm 25,6^\circ$ от надира [8]. Для численного эксперимента использовались спектральные отражательные характеристики посевов озимой пшеницы в четырех состояниях, полученные с помощью модели Нильсона—Кууска, основанной на концепции мутной горизонтально-однородной среды [9]. Было показано, что при заданных условиях для достижения допустимой погрешности классификации посевов озимой пшеницы по состояниям необходимо провести атмосферную коррекцию в рамках подхода [8] при условии, что оптическая толщина атмосферы τ_0 известна с точностью порядка 0,005 при длине волны 0,55 мкм.

Отсутствие возможностей точной оценки оптических параметров атмосферы во время съёмки стимулировало развитие подходов к коррекции видеоданных СМСС, основанных на использовании статистических характеристик самих массивов видеоданных. Отметим, что штатный цикл автоматизированной обработки в рамках созданной впервые в мировой практике во ВНИЦ «АИУС—агроресурсы» технологической схемы обработки видеоданных СМСС предусматривает работу с массивом, содержащим 80—120 шестиканальных кадров размером 512×512 элементов. Указанный массив состоит из

серий кадров, соответствующих прямолинейным параллельным съёмочным маршрутам самолета [10, 11]. Значительное изменение освещенности (время съемки до 4-х часов) и зависимость атмосферных эффектов и индикатрисы отражения сельскохозяйственных объектов от угла сканирования, приводящие к сильному дрейфу спектральных сигнатур, потребовали существенного усовершенствования метода статистического выравнивания [12]. В частности, в настоящее время коррекция изменения освещенности осуществляется с учетом перемещения самолёта. Для учета угловых искажений рассчитывается усредненный в пределах каждой серии кадров угловой профиль интенсивности — по фрагментам изображений с однородным распределением объектов разных тематических классов по углу сканирования.

Полиномиальная аппроксимация зависимости среднего углового профиля интенсивности от угла сканирования и времени съемки позволила реализовать более эффективный процесс компенсации вариабельности интенсивности. Дополнительное «выравнивание» осуществляется за счет приведения данных, относящихся к разным сериям, к одному среднему значению интенсивности [10, 11].

Учет остающегося некомпенсированным дрейфа спектральных сигнатур реализуется с помощью нового типа классификатора с полиномиальной аппроксимацией зависимости обучающих данных от времени [10, 11]. С целью дальнейшего повышения точностных характеристик в расчетной схеме проводится прямой учет индивидуальных угловых трендов каждого класса; разработан оригинальный способ оценки параметров угловой зависимости эталонных данных с использованием полос перекрытия, снимаемых СМСС дважды на соседних маршрутах [13, 14].

В заключение следует отметить необходимость коррекции достаточно существенного влияния дымки фона, принципиально неустранимого в рамках рассмотренного статистического алгоритма коррекции; в связи с этим возникает необходимость абсолютной калибровки регистрирующей аппаратуры.

1. Кондратьев К. Я., Смоктий О. И., Козодеров В. В. Влияние атмосферы на исследования природных ресурсов из космоса. М.: Машиностроение, 1985. 272 с.
2. Имитационное моделирование в задачах оптического дистанционного зондирования / Г. М. Креков, В. М. Орлов, В. В. Белов и др. Новосибирск: Наука, 1988. 165 с.
3. Смоктий О. И. Моделирование полей излучения в задачах космической спектрофотометрии. Л.: Наука, 1986. 352 с.
4. Соболев В. В. Рассеяние света в атмосферах планет. М.: Наука, 1972. 325 с.
5. Wezernak S. T., Turner R. E., Lyzenga D. C. Spectral reflectance and radiance characteristics of water pollutions. Report NASA-CR-2665. 1976. P. 218.
6. Kaufman Y. J. // J. Geophys. Res. 1979. V. 84. № С6. P. 3165—3172.
7. Попов В. П., Феоктистов А. А. // Экспресс-информация № 1-87. Материалы к межотраслевому совещанию «Использование результатов авиационных и космических исследований Земли в интересах Агропрома СССР». Л.: Наука, 1987. С. 18—19.
8. Попов В. П., Феоктистов А. А. // Вопросы создания автоматизированной системы аэрокосмического мониторинга сельскохозяйственных ресурсов М.: ВНИЦ «АИУС-агроресурсы», 1987. С. 104—122.
9. Артемков В. С., Горшкова И. И., Росс К. Ю. Сравнение некоторых моделей отражения радиации растительным покровом // Экспресс-информация № 1-87. Материалы к межотраслевому совещанию «Использование результатов авиационных и космических исследований Земли в интересах Агропрома СССР». Л.: Наука, 1987. С. 12—13.
10. Попов Г. С., Скоробогатов Ю. Б., Феоктистов А. А. и др. Исследовать, разработать и внедрить в Главном и Региональных центрах системы «АИУС-агроресурсы» математическое и картографическое обеспечение автоматизированной обработки материалов дистанционного зондирования. Промежуточный отчет. М.: ВНИЦ «АИУС-агроресурсы», 1986. 198 с. Деп. в ВНИИЦ, инв. № 02.87.0074598.
11. Попов Г. С., Скоробогатов Ю. Б., Феоктистов А. А. Исследовать, разработать и внедрить в Главном и Региональных центрах системы «АИУС-агроресурсы» математическое и картографическое обеспечение автоматизированной обработки материалов дистанционного зондирования. Промежуточный отчет. М.: ВНИЦ «АИУС-агроресурсы», 1987. 241 с. Деп. в ВНИИЦ, инв. № 02.88.0024600.
12. Алферов Г. А., Артемков В. С., Феоктистов А. А. и др. // Дистанционные методы контроля агроресурсов в задачах управления сельскохозяйственным производством. М.: ВНИЦ «АИУС-агроресурсы», 1985. С. 72—84.
13. Артемков В. С., Феоктистов А. А. Проблема дрейфа спектральных сигнатур в задачах дистанционного зондирования агроресурсов с помощью самолетной многоканальной сканирующей системы // Экспресс-информация № 8-87. Материалы Всесоюзной школы-семинара «Использование аэрокосмической информации при изучении энергомассообмена экосистем». Л.: Наука, 1987. С. 23—24.
14. Артемков В. С., Феоктистов А. А. // Использование авиационной и космической техники в интересах Госагропрома СССР. М.: ВНИЦ «АИУС-агроресурсы». 1988. С. 38—46.

Всесоюзный научно-исследовательский центр «АИУС-агроресурсы»,
Москва

Поступило в редакцию
27 января 1989 г.

A. A. Feoktistov, V. S. Artemkov, V. P. Popov. Some Peculiar Features of an Automated Processing' of Data of Multichannel Airborne Scanning System Concerning the Account for Atmospheric Effects.

The paper describes specific features of the procedure for taking into account the atmospheric effects in the course of automated thematic processing of the data of multichannel airborne scanner based on the use of their statistical properties.