

В. Ф. ФАТЕЕВ, В. Н. ЛАГУТКИН, А. П. ЛУКЬЯНОВ, Е. Н. ПОДКОРЫТОВ,
Ю. В. СЛЫНЬКО, А. М. СТАРОСТЕНКО

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Разработана модель формирования входной информации оптической аппаратуры малых космических аппаратов при наблюдении за природными объектами, учитывающая динамику атмосферных процессов, оптические свойства облаков различного микрофизического состава, а также земной поверхности.

Ключевые слова: Математическое моделирование, динамика атмосферных процессов, оптическое наблюдение Земли, малые космические аппараты, многоспектральные наблюдения.

Введение. Существует концепция создания целого ряда малых космических аппаратов (МКА), предназначенных для решения разнообразных задач [1—3]. В настоящей статье ограничимся рассмотрением МКА, оборудованных аппаратурой, предназначенной для наблюдения Земли в оптическом диапазоне [4]. Система таких МКА на низких орбитах способна получать изображения поверхности Земли и облачного покрова с высоким пространственным и спектральным разрешением [5] для решения ряда специфических задач мониторинга чрезвычайных и аномальных ситуаций на поверхности Земли и в атмосфере. Одной из таких задач является мониторинг метеорологических явлений, в частности, гроз, тайфунов, с использованием метода пеленгации облаков по снимкам, получаемым одновременно с двух МКА, либо с одного МКА при пролете над районом наблюдения.

В концептуальном плане использование МКА не подразумевает замену традиционных космических систем мониторинга, а должно дополнять и уточнять их информацию там, где это практически необходимо.

Для извлечения необходимой информации о состоянии поверхности Земли и облачной атмосферы из многоспектральных и стереоскопических изображений требуется разработка достаточно сложных алгоритмов обработки. Методы, лежащие в основе этих алгоритмов, основываются на решении обратных задач восстановления параметров по известным закономерностям их влияния на получаемые изображения. Для разработки и тестирования таких алгоритмов необходимо иметь компьютерную модель обеспечения, адекватно описывающую входную информацию оптической аппаратуры и ее изменения в зависимости от географического района, времени суток, сезона.

Структура и принципы работы модели. Из анализа задач мониторинга Земли вытекают следующие требования к модели входной оптической информации:

- трехмерность, для описания пространственных форм облаков и земной поверхности;
- динамичность, для учета изменений во времени расположения и формы облаков;
- многоспектральность, для получения одновременных изображений наблюдаемой сцены в разных спектральных диапазонах;
- многопозиционность, для получения стереоизображений.

В соответствии с этими требованиями модель должна включать модули, представленные на структурной схеме (рис. 1).

Принципиальными моментами принятого в модели подхода к формированию изображений Земли из космоса являются [6, 7]:

- использование подробной карты рельефа и оптических свойств земной поверхности;

— трехмерное моделирование изменений атмосферных параметров и поля ветров в квазигеострофическом приближении, описывающем основные атмосферные процессы и не требующем значительных затрат вычислительных ресурсов;

— трехмерное моделирование процесса формирования и развития состояния облачного покрова;

— моделирование оптических свойств облаков различного микрофизического состава в произвольных спектральных диапазонах видимого и ИК-спектров (модель позволяет получать гиперспектральное разрешение);

— учет эффектов ослабления излучения в атмосфере, взаимного затенения облаков и земной поверхности при формировании изображений;

— моделирование цифровых изображений, получаемых оптической аппаратурой с учетом дифракции в оптической системе и фотоэлектронного преобразования в матрице фотоприемника.



Рис. 1

Результаты моделирования.

На рис. 2 представлены результаты моделирования последовательности многоспектральных изображений Земли при движении МКА на восходящей ветви орбиты (ряды сверху вниз — зенитные углы наблюдения 19, 48, 57°) в трех диапазонах длин волн (столбцы слева направо — 1,6, 2,5, 5,5 мкм).

Спектральные диапазоны работы аппаратуры МКА выбраны в существенно различных областях инфракрасного спектра. Первый спектральный диапазон (в районе 1,6 мкм) соответ-

ствует полосе пропускания атмосферы. Второй диапазон (2,5 мкм) находится вблизи полосы сильного поглощения атмосферы. В обоих диапазонах основной вклад в получаемые изображения вносит рассеянное облаками и земной поверхностью излучение Солнца. В третьем диапазоне (5,5 мкм) рассеянное солнечное излучение незначительно по сравнению с собственным тепловым излучением Земли.

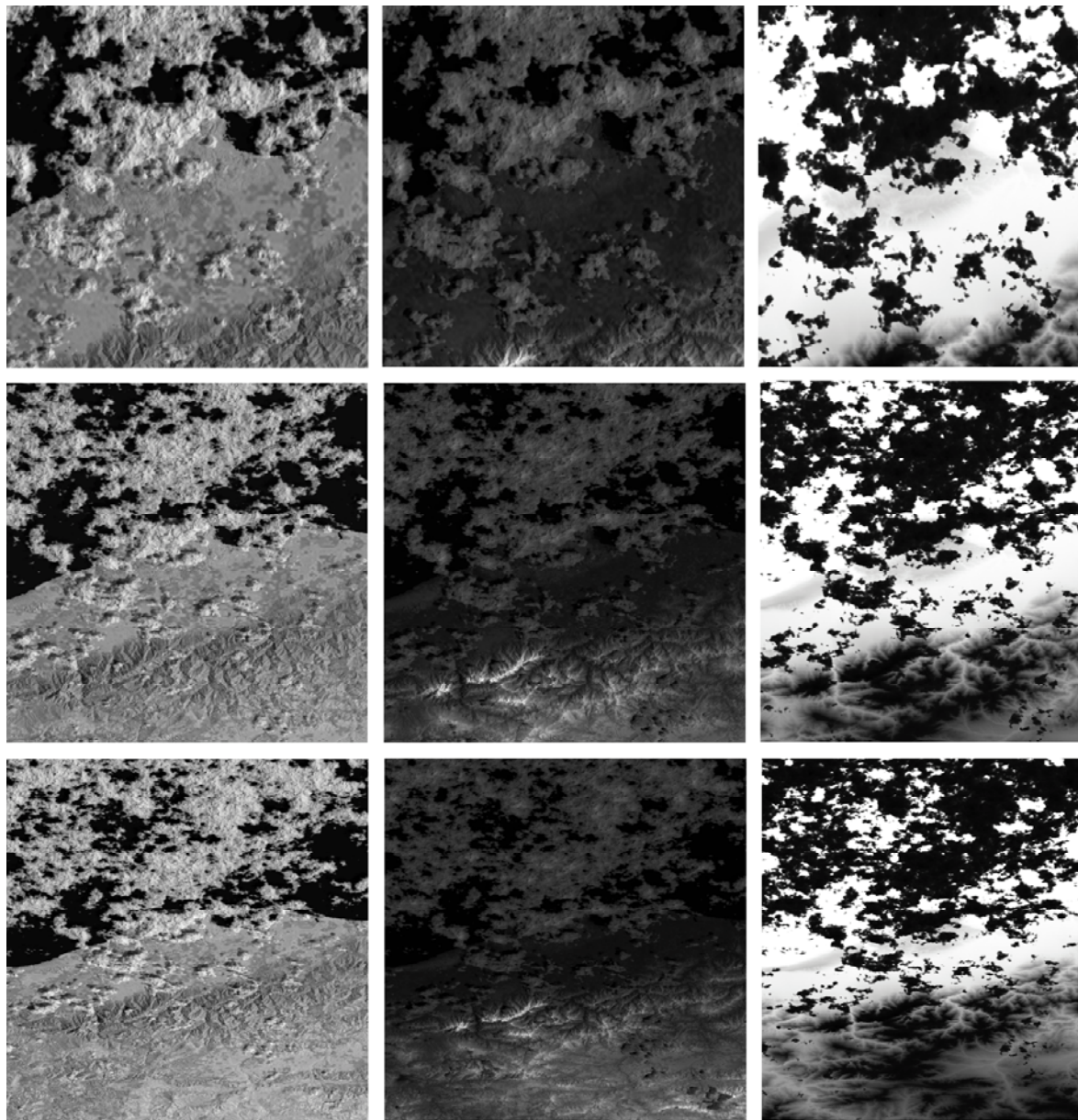


Рис. 2

Сравнение изображений различных спектральных диапазонов выявляет их основные особенности. Изображение в диапазоне прозрачности атмосферы напоминает типичные изображения видимого диапазона. При переходе в диапазон поглощения атмосферы проявляется значительное ослабление излучения земной поверхности (за исключением горных вершин) по сравнению с излучением облаков. Облака становятся самыми яркими излучающими объектами. В тепловом диапазоне можно наблюдать фактически температурную карту Земли. Облака и горные вершины как более холодные объекты излучают меньше и их изображения относительно темные. Геометрическая трансформация изображений в целом достаточно очевидна — можно отметить эффект параллакса, особенно хорошо заметный при рассмотрении кажущихся смещений облаков над береговой линией.

Закключение. Разработанная модель позволяет формировать изображения постоянно существующих либо регулярно возникающих природных объектов. К перспективным направлениям работ по ее совершенствованию можно отнести включение в ее состав объектов, возникающих при чрезвычайных и аномальных ситуациях на поверхности Земли и в атмосфере.

В части практического использования модели можно отметить такое перспективное направление, как решение задачи разработки алгоритмов обнаружения и классификации естественных и искусственных объектов с помощью многоспектральных многопозиционных снимков с МКА. Наличие подробной модели формирования входных изображений позволяет получать оценки потенциальной чувствительности разрабатываемых алгоритмов обнаружения различных объектов с высокой точностью восстановления их параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ардашов А. А. Основные тенденции в конструировании МКА // Изв. вузов. Приборостроение. 2004. Т. 47, № 3. С. 9—15.
2. Фатеев В. Ф. Концепция создания орбитальных группировок сверхмалых космических аппаратов в интересах информационного обеспечения северных территорий России // Изв. вузов. Приборостроение. 2004. Т. 47, № 3. С. 5—9.
3. Зайцев И. Е., Сайбель А. Г., Фатеев В. Ф. Система контроля наземных объектов с использованием перспективных МКА // Изв. вузов. Приборостроение. 2004. Т. 47, № 3. С. 22—27.
4. Фатеев В. Ф., Миньков С. А. Новое направление развития МКА дистанционного зондирования Земли // Изв. вузов. Приборостроение. 2004. Т. 47, № 3. С. 18—22.
5. Мальцев Г. Н., Козин И. А., Фатеев В. Ф. Методы выбора наиболее информативных спектральных каналов при дистанционном зондировании Земли с малых космических аппаратов // Изв. вузов. Приборостроение. 2007. Т. 50, № 6. С. 23—31.
6. Лагуткин В. Н., Лукьянов А. П., Подкорытов Е. Н., Ретин В. Г. Трехмерная динамическая модель полей яркости фона, использующая расчетные индикатрисы многократного рассеяния излучения в облаках и изображения, полученные метеорологическими спутниками // Вопросы радиоэлектроники. Сер. РЛТ. 2004. Вып. 1. С. 101—117.
7. Лагуткин В. Н., Лукьянов А. П., Ретин В. Г. Физико-статистическая модель пространственно-временных полей метеорологических параметров для имитации условий наблюдения оптических средств // Вопросы радиоэлектроники. Сер. РЛТ. 2006. Вып. 1. С. 78—88.

Сведения об авторах

Вячеслав Филиппович Фатеев	— д-р техн. наук, профессор; президент ОАО „МАК „Вымпел“, Москва, кафедра информационных систем; E-mail: vimpel@vimpel.ru
Владимир Николаевич Лагуткин	— канд. техн. наук, доцент; начальник сектора ОАО „МАК „Вымпел“, Москва, кафедра информационных систем; E-mail: vlagutkin@mail.ru
Александр Петрович Лукьянов	— канд. техн. наук, доцент; ведущий научный сотрудник ОАО „МАК „Вымпел“, Москва, кафедра информационных систем; E-mail: kikkolo@mail.ru
Евгений Николаевич Подкорытов	— инженер; ОАО „МАК „Вымпел“, Москва, кафедра информационных систем
Юрий Вячеславович Слынько	— инженер; ОАО „МАК „Вымпел“, Москва, кафедра информационных систем; E-mail: urassl@gmail.com
Алексей Михайлович Старостенко	— инженер; ОАО „МАК „Вымпел“, Москва, кафедра информационных систем

Рекомендована Ученым советом
ВКА им. А. Ф. Можайского

Поступила в редакцию
20.10.08 г.