ИМИТАЦИОННЫЙ МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ПОЛИГОН ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ ОПТИКО - ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Т.П. Малинова, В.Ю. Матвеев, Н.И.Павлов, Н.О. Раба
НИИ комплексных испытаний оптико-электронных приборов и систем.
г. Сосновый Бор, Ленинградская обл.
т. (81369)-68093 contact@niiki.ru

Рассматриваются вопросы, связанные с разработкой моделирующей среды - «математического полигона», позволяющего имитировать функционирование оптико-электронной системы (ОЭС) в условиях сложной фоно-целевой обстановки (ФЦО), оценивать критерии качества ее работы, оперативно изменять структуру и параметры создаваемой ОЭС.

Современный процесс исследования и создания оптико-электронных систем характеризуется широким использованием методов имитационного математического моделирования. Это объясняется многими причинами, основными из которых являются возросшие требования, предъявляемые к оптико-электронным системам в части точности, быстродействия, надежности и возможности работы в сложных помеховых ситуациях, а также высокой стоимостью натурных испытаний, проводимых на испытательных полигонах, и невозможностью воспроизведения всего многообразия внешних условий, в которых происходит функционирование ОЭС. Важным фактором, обусловившим активное использование методов имитационного моделирования, является сокращение сроков разработки и снижение их стоимости.

Основная тенденция в развитии методов и средств имитационного математического моделирования заключается в создании единой виртуальной среды- «математического полигона»,включающего в себя систему методик, алгоритмов, программного и аппаратного обеспечения, баз данных по характеристикам внешней среды и параметрам моделируемого изделия. В настоящее время накоплен значительный опыт в использовании методов математического имитационного моделирования в разработке ОЭС, создано и активно используется специализированное программно-алгоритмическое обеспечение и базы данных. Однако общение разработчика с математическим обеспечением осуществляется, как правило, через математика - программиста. Это обусловлено тем, что далеко не все разработчики обладают опытом и навыками необходимыми для обращения с программным обеспечением. Наличие посредника между разработчиком и программным продуктом резко снижает эффективность такого мощного инструмента разработки, как математическая модель. Создание математического полигона, ориентированного на широкий круг пользователей, не обладающих специальной подготовкой, позволит оснастить разработчиков современными средствами моделирования и разработки оптико-электронных систем.

Разработанный программно-алгоритмический комплекс предназначен для сопровождения имитационным математическим моделированием процесса разработки и исследования оптико-электронных систем. Комплекс позволяет:

- оптимизировать структуру и основные тактико-технические и функциональные характеристики вновь создаваемой системы на стадии разработки технического задания;
- оптимизировать структуру и параметры отдельных узлов и блоков системы, обеспечивающие заданные тактико-технические характеристики, исследовать

поведение системы в условиях реального применения и выработать рекомендации по ее наилучшему применению.

- сократить объем дорогостоящих натурных испытаний отдельных модулей и системы в целом путем проверки конструктивных и проектных решений на математических моделях:
- проводить численную оценку критерии эффективности работы ОЭС условиях функционирования, которые не могут быть воссозданы в условиях натурных испытаний.

Полигон включает в себя:

- модели ФЦО, в том числе модели защищаемых объектов и средств маскировки;
- модели оптико-электронных систем различных классов;
- базы данных по характеристикам формы объектов ФЦО, их отражательным и излучательным характеристикам;
- базы данных по характеристикам ОЭС и их компонент, а также параметрам оптических материалов, покрытий и т.п.;
- программно-алгоритмическая среда для реализации перечисленных выше моделей;
- интерфейсы пользователя, позволяющие в интерактивном режиме формировать сценарий работы оптико-электронных систем и мероприятия по противодействию их функционированию;
- программные средства оперативного контроля процессов моделирования и визуализации результатов.

При создании полигона использовалась технология 3 – D моделирования, в соответствии с которой воспроизводится трехмерное поле яркости пространства предметов, с учетом условий реального освещения и спектро – энергетических характеристик объектов наблюдения.

Для описания формы объектов фоно - целевой обстановки используется полигональное представление, при котором поверхность представляется набором плоских треугольных граней (фасеток). Грани определяются упорядоченным списком вершин, составляющих каждую грань, а вершины - декартовыми координатами в собственной системе координат объекта. Каждой фасетке ставятся в соответствие спектро – энергетические характеристики, которые определяют яркостное поле объектов.

При расчетах яркости объектов используется модель сферической многослойной атмосферы. Для этого оптически активный слой атмосферы высотой 100 км разбивается сферическими оболочками, при этом выделяются приземный и пограничный слои атмосферы, верхняя тропосфера и мезосфера. При расчете спектральной функции пропускания атмосферы учитываются компоненты молекулярного поглощения и рассеяния, аэрозольного ослабления и континуального поглощения водяным паром. Высотная стратификация параметров атмосферы, а также сезонные и временные вариации задаются на стадии формирования исходных данных для моделирования.

Поле освещенности фокальной плоскости оптико-электронной системы пропорционально полю яркости в сопряженных точках пространства предметов. Сопряженные точки определяются методом трассировки, позволяющим строить изображения объектов произвольной формы и учитывать эффекты затенения. Яркость сопряженной точки представляет собой суперпозицию яркости отдельных составляющих, в качестве которых рассматриваются:

- отраженное излучение Солнца;
- отраженное излучение, обусловленное подсветкой небесной сферой и подстилающей поверхностью;
- собственное тепловое излучение;
- рассеянное и собственное излучение столба атмосферы на трассе объект наблюдатель.

Идеальное изображение объекта, построенное методом трассировки, подвергается размытию путем свертки с функцией рассеяния точки (ФРТ). При расчете ФРТ учитывается молекулярное и аэрозольное рассеяние излучения атмосферой, искажение волнового фронта турбулентностью на трассе объект – наблюдатель, а также аберрации приемного блока оптической системы.

Для расчета рассеяния излучения атмосферой используется метод «Монте-Карло», позволяющий рассчитывать поля излучения в стратифицированной атмосфере при произвольных трассах наблюдения.

Для расчета свойств приемной оптики разработано специализированное программное обеспечение «Оптический конструктор», позволяющее исследовать работу приемного оптического блока ОЭС с учетом различных факторов, влияющих на его работоспособность , как внутренних, например, разъюстировки элементов системы, так и внешних – например, лазерная засветка входного зрачка.

Для иллюстрации возможностей разработанного программно – алгоритмического обеспечения на рис.1,2 приведена оптическая схема телескопа с трассировкой лучей и поле облученности фокальной плоскости при лазерной засветке его входного зрачка. На рис. 3 представлены модельные изображения земной поверхности в видимом диапазоне 0ю4-0ю6 мкм и ИК диапазоне 2.5-3 мкм при съемке с высоты 1500 км. На рис. 4 представлены графики спектральной яркости типовых ландшафтов Земли при наблюдении из космоса. На рис.5 приведены модельные изображения объекта авиационной техники и фона в видимом диапазоне 0.4-0.6 мкм и ИК диапазоне 3.5-4 мкм, рассчитанные для заданных типов оптических систем.

Таким образом, разработанное программное обеспечение позволяет моделировать широкий круг оптико-электронных систем. Наиболее типовые случаи использования полигона:

1. Принято решение о создании оптико-электронной системы, известен лишь предполагаемый алгоритм ее функционирования, требуется определить оптимальную структуру и основные параметры, обеспечивающие заданные показатели эффективности проектируемой системы или эффективности комплекса, в составе которого должна функционировать эта система
2. Система находится в стадии проектирования, определены основные параметры и характеристики, необходимо оптимизировать параметры отдельных блоков и узлов системы, обеспечивающих ее основные характеристики.
3. Система разработана и функционирует, ее структура и характеристики известны, требуется исследовать поведение системы в заданных ситуациях, оптимизировать ее параметры и способ использования для обеспечения заданных показателей качества.
4. Система разработана и функционирует, но структура ее неизвестна, требуется изучить поведение системы в различных ситуациях и оптимизировать внешние воздействия на эту систему с целью подавления ее работы.

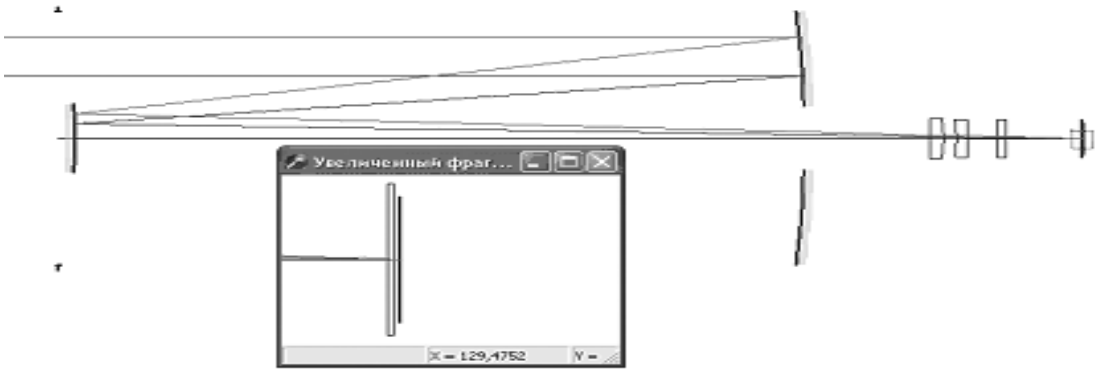

Рис. 1. Оптическая схема телескопа с трассировкой лучей.

Рис. 2. Поля засветки фокальной плоскости телескопа при центральной и боковой засветке входного зрачка лазерным пучком

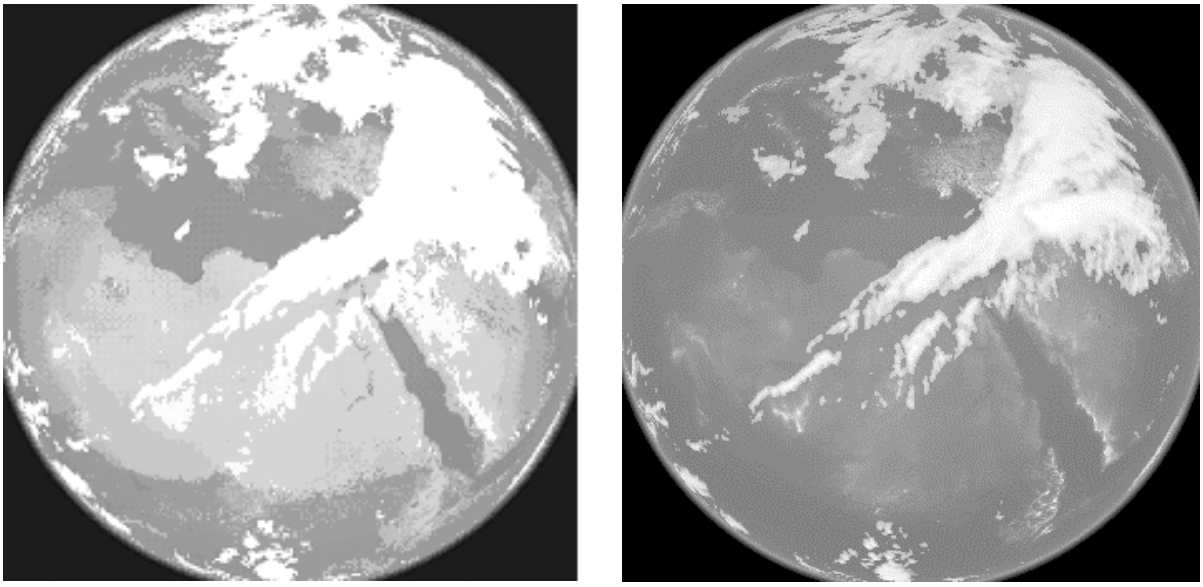

Рис. 3. Модельные изображение Земли в видимом диапазоне 0,4-0,6 мкм и в ИК диапазоне 2,5 –3 мкм при высоте орбиты 1500 км.

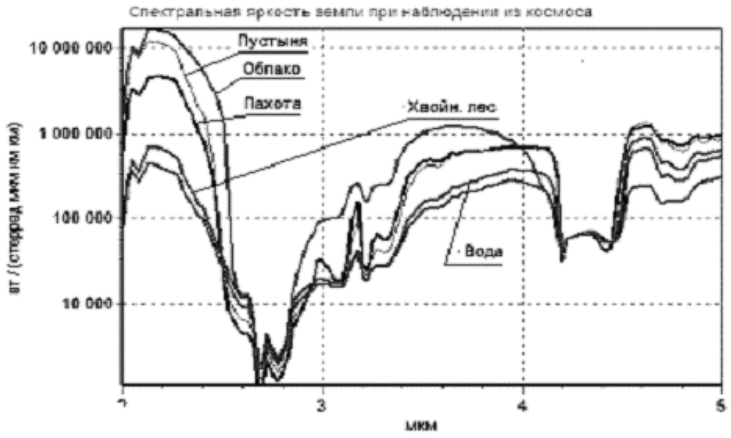

Рис. 4. Спектральная яркость типовых элементов ландшафта Земли при наблюдении из космоса в диапазоне 2 – 5 мкм.

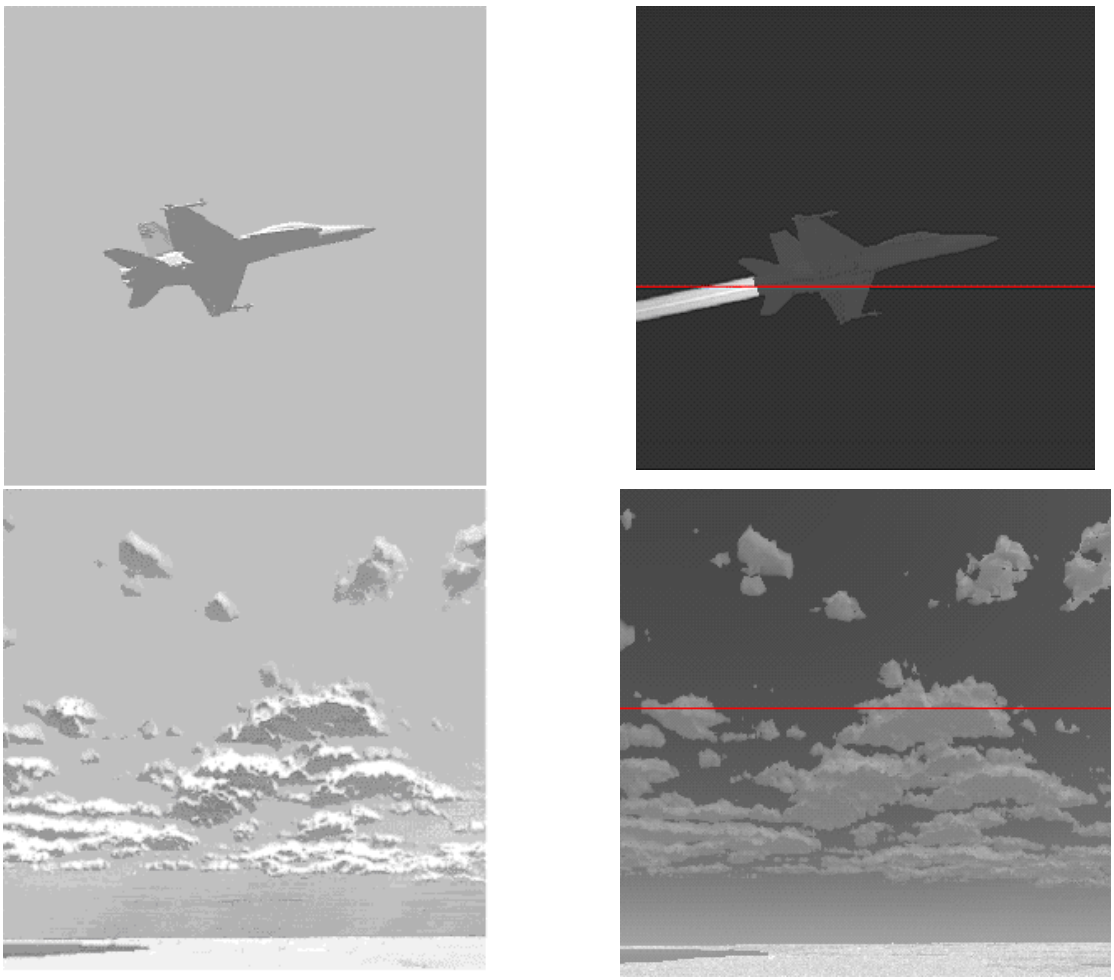

Рис. 5. Изображение самолета и облачного фона в диапазонах 0.4 – 0.6 мкм и 3.5-4 мкм.