

Бородавкин В.А.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ВОЗДЕЙСТВИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Локальные военные конфликты и опыт проведения антитеррористических операций показывают необходимость развития и совершенствования высокоточных летательных аппаратов (ЛА) с системами самонаведения (ССН) и самоприцеливания (ССП) для более эффективного их применения в различных тактических, географических, сезонно-климатических и метеоусловиях.

Решение проблемы оценки функционирования, показателей точности и помехозащищенности ССН и СПП, находящихся под воздействием многомерных случайных возмущений и помех, имеющих сложную пространственно-временную структуру, требует создания соответствующих математических имитационных моделей, позволяющих воспроизводить условия применения ЛА на различных этапах функционирования. Разрабатываемые имитационные модели входных воздействий в виде случайных полей сопрягаются с моделями динамики движения ЛА, систем управления, информационных каналов, внешней среды. Поэтому к задачам имитации случайных полей добавляются системные требования, с позиций которых модели условий применения высокоточных ЛА являются лишь частью общей модели функционирования сложной стохастической системы.

При разработке моделей условий применения высокоточных ЛА необходимо учитывать следующие основные требования:

- возможность получения показателей точности и помехозащищенности во всем заданном диапазоне условий использования и способов применения, в том числе при таких условиях и способах, которые не могут быть реализованы при натурных испытаниях;
- обеспечение заданной точности моделирования процессов функционирования ССН и СПП и достоверности воспроизведения входных воздействий;
- максимально возможное сокращение объема, продолжительности и стоимости испытаний.

Предлагается комплексная имитационная модель процессов функционирования и условий применения высокоточных ЛА с ССН и ССП на основе разработанных методов моделирования физических полей турбулентности атмосферы в приземном слое и на больших высотах, тепловых изображений ландшафтных объектов и антропогенных объектов сложной формы в различных спектральных диапазонах, рельефа земной поверхности с использованием параметрических моделей случайных полей и фрактальной геометрии.

Модель турбулентности атмосферы (ТА) рассматривается в виде случайного поля $W_a(x, t) = W_0(x, t) + W(x, t)$, где $x = (x_1, x_2, x_3)$ – вектор пространственных координат,

t – время. $W_0 = (W_{01}^-, W_{02}^-, W_{03}^-)$ – постоянная составляющая поля скорости $W = (W_1, W_2, W_3)$ – пульсационная составляющая поля скоростей. Постоянная составляющая W_0 описывается в виде случайного вектора в горизонтальной плоскости, компоненты которого определяются соотношениями $W_{01}^- = U \cos \psi$, $W_{02}^- = 0$, $W_{03}^- = U \sin \psi$, где U – величина скорости ветра, ψ – направление ветра в земной системе координат. При отсутствии данных о розе ветров в данной местности полагают $\psi = \text{Rand}[0, 2\pi]$. В нижних слоях атмосферы на величину скорости ветра оказывает влияние подстилающая поверхность. Это влияние учитывается профилем скорости ветра $U = U(x_3)$, x_3 – высота над подстилающей поверхностью. Пульсационная составляющая ТА в свободной атмосфере $W(x, t)$ рассматривается в виде однородного и случайного изотропного векторного поля с гауссовским распределением компонент и нулевым математическим ожиданием. Гауссовское векторное случайное поле определяется матричной корреляционной функцией $R(\tau) = [r(\tau)]$ или соответствующей ей матричной спектральной плотностью $S(u) = [s(u)]$

Рельеф подстилающей земной поверхности является важным фактором, влияющим на условия функционирования ССН и ССП. В задачах обнаружения существенны экранирующие свойства рельефа. Наличие холмов и впадин препятствует прямому наблюдению и может создавать дополнительный помеховый сигнал. Для воспроизведения рельефа с привязкой к конкретному региону используются модели макроструктуры и микроструктуры. Построение макроструктуры осуществляется на основе цифровых карт местности. Моделирование микроструктуры рельефа проводится методом стохастической интерполяции, основанным на авторегрессион-

моделях. Такой подход позволяет в максимальной степени учесть априорную информацию о районах предполагаемого применения рассматриваемых систем.

Математическое описание сложной пространственной структуры рельефа основывается на методах теории случайных функций. Рельеф рассматривается как m -мерное однородное случайное поле (для поверхности суши $m = 2$). Известны типовые модели $S_n(\omega)$ спектральных плотностей и получены формулы связи параметров σ_ξ, α с используемыми в геоморфологии показателями вертикальной и горизонтальной расчлененности рельефа. Показатель глубины расчлененности a определяется как средняя разность высот соседних экстремумов, показатель горизонтальной расчлененности b – как среднее расстояние между точками экстремумов. Формулы связи имеют вид:

$$\sigma_\xi = c_1 a; \quad \alpha = \frac{c_2}{b}, \quad \text{где } c_1, c_2 - \text{некоторые постоянные.}$$

Разработанные алгоритмы моделирования рельефа земной поверхности основаны на параметрических моделях случайных полей. Описание рельефа задается в виде гауссовского двумерного изотропного случайного поля с нулевым средним

$$\eta_N(x) = \sqrt{\frac{2}{N}} \sigma_\xi \sum_{j=1}^N z_j \sin[\nu_j (x \cos \varphi_{1j} + y \sin \varphi_{2j}) + \varphi_{3j}],$$

где $\varphi_{ij} \approx \text{Rav}[0, 2\pi]$; величины z_j принимают равновероятно значения ± 1 ; ν_j – независимые реализации положительной случайной величины с плотностью распределения

$$f(y) = -2y \int_0^{\infty} \frac{s'(\omega)}{\sqrt{\omega^2 - y^2}} d\omega.$$

Применение метода параметрических моделей случайных полей позволяет строить достаточно экономичные алгоритмы моделирования рельефа подстилающей поверхности. Дальнейшее сокращение объема вычислений может быть достигнуто путем применения методов фрактальной геометрии, позволяющих с помощью простых правил создавать сложные «реалистические» изображения. Моделирование и анализ изображений на основе фрактальных методов базируется в основном на двух предпосылках:

1. Изображения различных природных объектов являются фрактальными с различной размерностью.
2. Изображения объектов жизнедеятельности человека не являются фрактальными.

Для построения «реалистических» изображений рельефа с «привязкой» к карте местности конкретного региона модифицирован алгоритм последовательных случай-

ных сложений, используемый в основном при моделировании обобщенного броуновского движения. Моделируемая площадь подстилающей поверхности представляется в виде сетки, состоящей из одинаковых квадратных ячеек. Исходными данными являются значения высот подстилающей поверхности в узлах сетки, которые могут быть получены экспериментально, по карте региона, либо заданы исходя из условий решаемой задачи. Применение алгоритма позволяет заполнить промежутки между узлами элементарных ячеек путем дальнейшего их разбиения и вычисления значения высоты вновь образовавшихся узлов.

Разработана структурно-статистическая модель изображений ландшафтных сюжетов на входе многоканальных оптико-электронных систем. Для воспроизведения микроструктуры тепловых фоновых полей в различных спектральных диапазонах использован следующий обобщенный вид двумерной спектральной плотности

$$S(u) = \frac{4\sigma^2 r_x r_y \Gamma(n + 0.5)}{\pi (n - 0.5) \left((u_x r_x)^2 + (u_y r_y)^2 \right)^{n + 0.5}}$$

Здесь r_x, r_y – интервалы корреляции вдоль осей Ox, Oy , соответственно.

Разработана методология построения комплексной модели, базирующаяся на обобщенных позициях и использующая следующие положения:

- модель рассматривается как информационная система;
- система имеет сетевую распределенную структуру;
- система имеет функциональную иерархию уровней;
- система топологически однородна, состоит из модулей;
- техническая реализация системы рассчитана на максимальное применение стандартных аппаратных, программных средств и элементной базы;
- система строится как открытая, позволяет при модульной структуре оперативно добавлять новые блоки и производить замену морально устаревших аппаратных программных средств, что обеспечивает развитие системы, расширение ее функций, адаптацию к новым условиям.