

И.Ю. ГРИШИН, канд. техн. наук, доц. Республиканского высшего учебного заведения "Крымский гуманитарный университет" (г. Ялта)

МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

В работе рассмотрены основные подходы к моделированию измерительной информационной системы на примере радиолокационного комплекса обеспечения испытаний баллистических ракет и ракет-носителей. Модель включает в себя два основных модуля: модуль формирования зоны обзора радиолокационного комплекса в пространстве; модуль формирования траекторий движения ракет. Представлен математический аппарат, используемый при моделировании, а также пример реализации разработанной модели.

Ключевые слова: моделирование, информационная система, радиолокационный комплекс, зона обзора, траектория движения ракеты.

Постановка проблемы. При формировании технического задания на разработку измерительных информационных систем (ИИС), а также в ходе самой разработки, важно определить соответствие проектируемой системы ее будущему предназначению и возможность выполнять поставленные задачи. В частности, при проектировании радиолокационных комплексов (РЛК) обеспечения испытаний баллистических ракет (БР) и ракет-носителей, чрезвычайно важно знать временные и геометрические характеристики нахождения испытуемой ракеты в зоне обзора такого комплекса. К рассматриваемым параметрам можно отнести: время нахождения в зоне обзора, точки входа в зону обзора и выхода из нее, взаимное расположение зоны обзора и траектории ракеты, другие параметры.

Проведение натуральных экспериментов часто оказывается невозможным на начальных стадиях разработки вследствие высокой их стоимости.

Моделирование позволяет проверить правильность теоретических представлений, уточнить сущность тех или иных явлений, предсказать течение различных процессов. Использование методов и средств моделирования позволяет ускорить и сократить расходы на разработку более совершенных информационных систем, а также облегчает выбор места монтажа и эксплуатации, а также подготовку обслуживающего персонала. Поэтому разработка несложных моделей, позволяющих оценить возможности разрабатываемых, или уже эксплуатируемых (но в нестандартных условиях) информационных систем, является актуальной проблемой.

Анализ литературы. В работе [1] проведен анализ основных подходов к моделированию основных элементов радиолокационных систем, приведены методы их моделирования, учитывающие статистический характер обрабатываемой информации, однако методы моделирования целевой обстановки почти не затронуты.

В [2] рассматриваются принципы математического моделирования радиотехнических систем. Приводятся алгоритмы моделирования на ЭВМ детерминированных и случайных радиосигналов, линейных и нелинейных систем. Излагаются основные методы обработки результатов математического моделирования. Приведены примеры математических моделей различных радиотехнических систем. Алгоритмы, предназначенные для оценки комплексных временных параметров не рассмотрены.

Работы [3 – 7] посвящены рассмотрению методик моделирования отдельных элементов радиотехнических систем, достаточно полно изложены особенности их статистических моделей, показаны методы обработки результатов статистического эксперимента, однако вопросы комплексной оценки возможностей таких систем по сопровождению объектов, времени их нахождения в зоне обзора не рассмотрены.

Цель статьи состоит в разработке методики моделирования целевой обстановки, а также зоны обзора измерительных информационных систем обеспечения испытаний баллистических ракет и ракет носителей на примере радиолокационного комплекса.

Структура модели. Известно [2], что любая ИИС может быть укрупненно представлена в виде структурной схемы, изображенной на рис. 1.

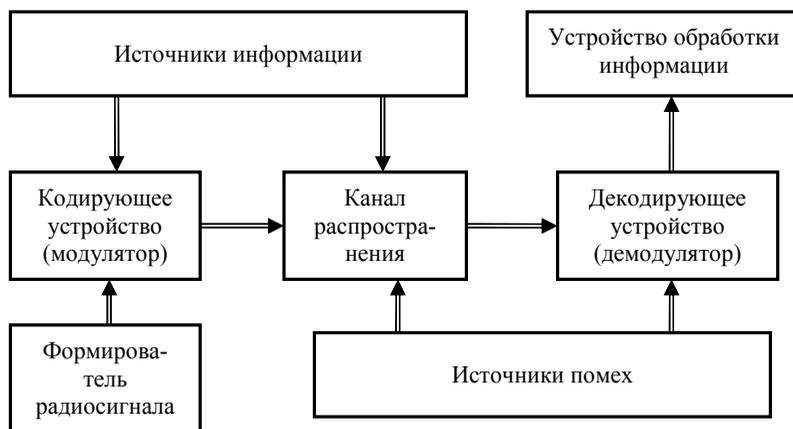


Рис. 1. Структурная схема ИИС

Информационное содержание радиосигнал приобретает в канале распространения вследствие воздействия на его параметры физических свойств среды (отражение сигнала от сопровождаемой ракеты). Такой способ характерен для радиолокационных систем.

Следует отметить, что изучение влияния воздействия помех на отраженный от цели сигнал, а также обработка информации в ИИС достаточно подробно рассмотрены в ряде работ [8, 9] и не являются объектом изучения данной статьи.

Таким образом, для решения поставленной задачи необходимо сформировать траекторию полета ракеты в виде совокупности точек, соответствующих возможным моментам проведения измерений её параметров, а также оценить принадлежность этих точек зоне обзора радиолокатора.

Следовательно, рассматриваемая модель должна включать в себя следующие модули:

- формирования целевой обстановки (модуль формирования траектории движения ракеты);
- формирования параметров зоны обзора радиолокатора (формирования зоны обзора РЛК в пространстве);
- выработки решения о принадлежности цели зоне обзора и расчета временных параметров.

Модуль формирования траектории движения ракеты. Методика формирования траектории движения БР осуществляется на основе решения обратной задачи баллистики [10] при известных координатах точек старта (долгота λ_0 , широта φ_0 , высота h_0) и падения (долгота λ'_n , широта φ'_n), а также угла бросания ракеты Θ_0 (рис. 2).

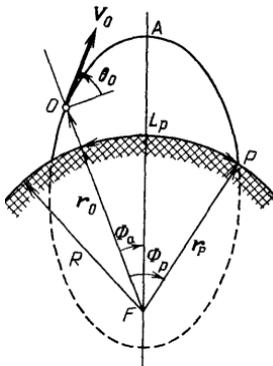


Рис. 2. Дальность полета БР

Абсолютные значения координат в предположении, что Земля не вращается, вычисляются по формулам

$$\lambda_n = \lambda'_n + \omega_3 t_n, \quad (1)$$

$$\varphi_n = \varphi'_n, \quad (2)$$

где угловая скорость вращения Земли $\omega_3 = 0,727211 \cdot 10^{-4}$ рад/с, t_n – время полета БР.

В результате анализа рис. 2 дальность полета БР может быть определена из простого соотношения

$$L_n = R\Phi_n. \quad (3)$$

При этом угловая дальность Φ_n вычисляется из выражения

$$\Phi_n = \arccos \left[\sin \varphi_0 \sin \varphi_n + \cos (\lambda_n - \lambda_0) \cos \varphi_0 \cos \varphi_n \right]. \quad (4)$$

Для вычисления начальной скорости полета V_0 найдем параметр $v_0 = r_0 V_0^2 / \mu$ из следующего выражения

$$v_0 = \frac{2(1 + tg^2 \Theta_0) tg^2 \frac{\Phi_n}{2}}{(\tilde{r}_0 + 1) tg^2 \frac{\Phi_n}{2} + 2tg \Theta_0 tg \frac{\Phi_n}{2} + \tilde{r}_0 - 1}, \quad (5)$$

где $\tilde{r}_0 = r_0 / R$, причем, если пренебречь высотой активного участка ($h_0 = 0$), то $\tilde{r}_0 = 1$.

В этом случае выражение (5) принимает вид

$$v_0 = \frac{(1 + tg^2 \Theta_0) tg \frac{\Phi_n}{2}}{tg \frac{\Phi_n}{2} + tg \Theta_0}. \quad (6)$$

Время полета ракеты может быть определено путем преобразования уравнения Кеплера из соотношения [10]

$$t_n = \frac{2p}{1 - e^2} \sqrt{\frac{p}{\mu}} \left(\frac{1}{\sqrt{1 - e^2}} \arccos \frac{1 - v_0}{e} + tg \Theta_0 \right). \quad (7)$$

Здесь гравитационный параметр Земли $\mu = 398600,5$ км³/с²; $p = r_0 v_0 \cos^2 \Theta_0$ – фокальный параметр орбиты; $e = \sqrt{1 - (2 - v_0) v_0 \cos^2 \Theta_0}$ – эксцентриситет орбиты.

Вследствие зависимости уравнения (1) от t_n время полета не может быть найдено однозначно, поэтому приходится применять итерационный алгоритм, задавая начальное приближение исходя из предполагаемой дальности стрельбы.

Результаты моделирования показывают некритичность алгоритма к значению начального приближения, поскольку после первой итерации t_n оказывается близким к искомому. Количество итераций для нахождения времени полета с точностью 0,001 с не превышает шести.

Найдя время полета, а также имея две точки траектории БР, можно определить орбиту (вектор положения $\mathbf{X}_0 = (X_0, Y_0, X_0)^T$ и вектор скорости $\dot{\mathbf{X}}_0 = (\dot{X}_0, \dot{Y}_0, \dot{X}_0)^T$ в геоцентрической системе координат в момент t_0), используя известную методику [11].

Наиболее простой вид дифференциальные уравнения движения БР имеют в геоцентрической системе координат, однако формировать в этой системе точки траектории БР нецелесообразно, поскольку преобразование их в радиолокационную систему координат потребует значительных вычислительных ресурсов. Целесообразно воспользоваться системой дифференциальных уравнения движения в топоцентрической прямоугольной системе координат [12], начало ее находится на поверхности Земли в точке расположения РЛК, ось y направлена в зенит по нормали к поверхности, а оси x и z лежат в горизонтальной плоскости, направление оси z задается азимутом A_3 (A_3 – угол, отсчитываемый от направления на север по часовой стрелке до оси z), ось x дополняет систему до правой.

Указанная система имеет следующий вид

$$\begin{aligned}\ddot{x} &= -\mu x r^{-3} - 2(\dot{z}\omega_y - \dot{y}\omega_z) + x\omega_3^2 - m\omega_x; \\ \ddot{y} &= -\mu(y+r_3)r^{-3} - 2(\dot{x}\omega_z - \dot{z}\omega_x) + (y+r_3)\omega_3^2 - m\omega_y; \\ \ddot{z} &= -\mu z r^{-3} - 2(\dot{y}\omega_x - \dot{x}\omega_y) + z\omega_3^2 - m\omega_z.\end{aligned}\quad (8)$$

Здесь $m = x\omega_x + (y+r_3)\omega_y + z\omega_z$; $\mathbf{r} = (x, y+r_3, z)$ – радиус-вектор БР относительно центра Земли, проекции вектора угловой скорости вращения Земли на оси топоцентрической системы координат $\omega_x = \omega_3 \cos \varphi_3 \sin A_3$, $\omega_y = \omega_3 \sin \varphi_3$, $\omega_z = \omega_3 \cos \varphi_3 \cos A_3$.

Система трех дифференциальных уравнений второго порядка (8) сводится к системе шести дифференциальных уравнений первого порядка [12], а затем решается численно методом Рунге-Кутты четвертого порядка с начальными условиями $\mathbf{x}_0 = (x_0, y_0, z_0)^T$, $\dot{\mathbf{x}}_0 = (\dot{x}_0, \dot{y}_0, \dot{z}_0)^T$ в момент t_0 .

В результате получается массив точек траектории БР с дискретностью Δt в следующем виде

$$\mathbf{X}_{mp} = \begin{bmatrix} x_{t_0} & x_{t_0+\Delta t} & \dots & x_{t_n} \\ y_{t_0} & y_{t_0+\Delta t} & \dots & y_{t_n} \\ z_{t_0} & z_{t_0+\Delta t} & \dots & z_{t_n} \\ \dot{x}_{t_0} & \dot{x}_{t_0+\Delta t} & \dots & \dot{x}_{t_n} \\ \dot{y}_{t_0} & \dot{y}_{t_0+\Delta t} & \dots & \dot{y}_{t_n} \\ \dot{z}_{t_0} & \dot{z}_{t_0+\Delta t} & \dots & \dot{z}_{t_n} \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Затем этот массив преобразуется в радиолокационную систему координат (вторая сферическая система координат R, ε, γ [11] или другую, применяемую в моделируемом РЛК) и принимает следующий вид

$$\mathbf{R}_{mp} = \begin{bmatrix} R_{t_0} & R_{t_0+\Delta t} & \dots & R_{t_n} \\ \varepsilon_{t_0} & \varepsilon_{t_0+\Delta t} & \dots & \varepsilon_{t_n} \\ \gamma_{t_0} & \gamma_{t_0+\Delta t} & \dots & \gamma_{t_n} \\ \dot{R}_{t_0} & \dot{R}_{t_0+\Delta t} & \dots & \dot{R}_{t_n} \\ \dot{\varepsilon}_{t_0} & \dot{\varepsilon}_{t_0+\Delta t} & \dots & \dot{\varepsilon}_{t_n} \\ \dot{\gamma}_{t_0} & \dot{\gamma}_{t_0+\Delta t} & \dots & \dot{\gamma}_{t_n} \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Модули формирования зоны обзора РЛК в пространстве и выработки решения о принадлежности цели зоне обзора. Зона обзора в пространстве формируется в виде сегмента шара в радиолокационной системе координат, путем определения минимального ε_{\min} и максимального ε_{\max} значений азимута, минимального γ_{\min} и максимального γ_{\max} значений угла места, а также максимальной дальности обнаружения R_{\max} .

Для принятия решения о нахождении цели в зоне обзора осуществляется последовательная проверка выполнения условий

$$\begin{aligned} R_{\min} &\leq R_i \leq R_{\max}; \\ \varepsilon_{\min} &\leq \varepsilon_i \leq \varepsilon_{\max}; \\ \gamma_{\min} &\leq \gamma_i \leq \gamma_{\max}. \end{aligned} \quad (11)$$

В первый момент времени выполнения этих условий фиксируется время входа цели в зону обзора t_{ex} , в последний – время выхода $t_{\text{вых}}$. Время нахождения цели в зоне обзора (время сопровождения) вычисляется по формуле

$$t_{\text{сопр}} = t_{\text{вых}} - t_{\text{ex}}. \quad (12)$$

Предложенная модель реализована в среде MathCad. Для формирования массива точек траектории БР при полете на 6000 км с дискретностью 1 с и определения временных характеристик радиолокатора требуется не более 25 – 30 с.

Выводы. В результате проделанной работы разработана методика моделирования целевой обстановки и модель, которая может быть использована для уточнения технических заданий при разработке измерительных информационных систем, а также для оценки соответствия существующих группировок радиолокационных средств предъявляемым к ним требованиям.

Список литературы: 1. Моделирование в радиолокации / Под ред. *А.И. Леонова*. – М.: Сов. радио, 1979. – 264 с. 2. *Монаков А.А.* Основы математического моделирования радиотехнических систем: Учебн. пособие. – СПб.: ГУАП, 2005. – 100 с. 3. *Борисов Ю.П.* Математическое моделирование радиосистем: Учебн. пособие для вузов. – М.: Сов. радио, 1976. – 296 с. 4. *Борисов Ю.П., Цветнов В.В.* Математическое моделирование радиотехнических систем и устройств. – М.: Радио и связь, 1985. – 176 с. 5. *Быков В.В.* Цифровое моделирование в статистической радиотехнике. – М.: Сов.радио, 1971. – 328 с. 6. *Советов Б.Я., Яковлев С.А.* Моделирование систем: Учеб. пособие для вузов по специальности АСУ. – М.: Высш. шк., 1988. – 135 с. 7. *Шальгин А.С., Палагин Ю.И.* Прикладные методы статистического моделирования. – Л.: Машиностроение, 1986. – 320 с. 8. *Кузьмин С.З.* Цифровая радиолокация. Введение в теорию. – Киев: КВЦ, 2000. – 428 с. 9. Вопросы перспективной радиолокации / Под ред. *А.В. Соколова*. – М.: Радиотехника, 2003. – 512 с. 10. *Сихарулидзе Ю.Г.* Баллистика летательных аппаратов. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 352 с. 11. *Иванов Н.М., Лысенко Л.Н.* Баллистика и навигация космических аппаратов. – М.: Дрофа, 2004. – 544 с. 12. *Камке Э.* Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. – М.: Наука, 1971. – 576 с.

УДК 519.95:518.0

Модель для оцінки часових характеристик вимірювальної інформаційної системи / Грішин І.Ю. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 13. – С. 39 – 45.

Розглянуто основні вимоги і методи моделювання головних елементів статистичної вимірювальної інформаційної системи на прикладі радіолокаційного комплексу забезпечення випробувань балістичних ракет та ракет-носіїв. Модель включає два основні модулі: модуль формування зони огляду радіолокаційного комплексу в просторі; модуль формування траєкторій руху ракет. Представлено математичний апарат, використовуваний при моделюванні, а також приклад реалізації розробленої моделі. Іл.: 2. Бібліогр.: 12 назв.

Ключові слова: моделювання, інформаційна система, радіолокаційний комплекс, зона огляду, траєкторія руху ракети.

UDC 519.95:518.0

Model for estimation of measuring information system time characteristics / Grishin I.Y. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – № 13. – P. 39 – 45.

In paper are considered the main requirements and simulation methods of the major units of a statistical measuring information system on example of the radar complex of support of ballistic missiles and carrier rockets trials. The model includes two main units: the unit of creation of the radar-tracking complex browse allowed band in space; the unit of creation of a rockets movement trajectories. The mathematical apparatus used at modelling, and also an example of implementation of the developed model is presented. Figs: 2. Refs: 12 titles.

Key words: modelling, an intelligence system, the radar-tracking complex, browse allowed band, a rocket movement trajectory.

Поступила в редакцію 10.04.2009