

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ И УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

Ю. Ю. ГАТЧИНА, О. Ф. НЕМОЛОЧНОВ

Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: gatchina@mail.ifmo.ru

Предложена функциональная схема моделирования информационно-измерительной и управляющей системы. Получены соотношения для оценки состояния системы, позволяющие путем компьютерного моделирования усовершенствовать структуру системы и уточнить ее качественные и количественные параметры.

Ключевые слова: *моделирование оптических систем, информационно-измерительная и управляющая система, математическая модель, имитационная модель.*

Моделирование технических систем — важный этап выбора варианта проектного решения и принятия окончательного решения о стратегии функционирования системы в зависимости от исходных данных. Известны три метода моделирования — физическое, математическое и моделирование с использованием реальной аппаратуры. Не умаляя достоинств первого и третьего методов, заметим, что математическое моделирование обладает явными преимуществами, например, в плане ресурсных и временных затрат, а также возможности прогнозирования поведения системы в будущем. Однако процесс моделирования системы возможен при преобразовании математической модели в компьютерно-ориентированную, полнота отображения и адекватность которой реальной системе охватывает основные и существенные ее закономерности, но может не отражать второстепенные факторы. В этой связи создание корректной структурно-функциональной модели системы, а соответственно и имитационной модели, описывающей функциональные свойства системы в реальном масштабе времени, позволит отражать и второстепенные факторы [1—5].

Особым классом технических систем являются информационно-измерительные и управляющие системы (ИУС). Рассмотрим задачу построения имитационной модели ИУС, ориентированной на определение основных характеристик системы и качества ее функционирования. Построение этой модели включает в себя следующие этапы :

- анализ функционального состава системы;
- построение структурно-функциональной схемы;
- анализ типовых режимов функционирования системы и их взаимосвязей;
- анализ влияния внешней среды на функционирование системы;
- построение модельных модулей отдельных устройств на основе анализа их поведения;
- построение модуля, генерирующего проигрываемую в модели ситуацию;
- построение модуля, производящего оценку качества функционирования системы в моделируемой ситуации.

В общем случае под анализом системы или ее подсистем будем понимать анализ свойств и характеристик, которыми обладает исходная структура ИУС, а сама система описывается векторно-матричными дифференциальными уравнениями вида [1]

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) + G\xi(t); \\ y(t) &= Dx(t); \\ z(t) &= Cx(t); \\ x(0) &= x_0; \\ x \in R^n; u \in R^m; \xi \in R^q; y \in R^l; z \in R^k, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где x — вектор состояния системы; u — вектор управлений; ξ — вектор возмущений; y — вектор выхода; z — вектор измерений; A, B, C, D и G — матрицы параметров, определяющих функционирование системы.

Как известно, полная аналитическая зависимость, описывающая функционирование ИУС и воздействие внешних факторов, практически не пригодна для компьютерного моделирования ввиду крайней сложности системы. В этой связи целесообразно применение имитационного моделирования, что позволяет описывать ИУС набором алгоритмов, отображающих по исходным данным реальные процессы в системе. Функциональная схема имитационного моделирования ИУС, в частности космического назначения, может быть представлена совокупностью модулей $M_1 — M_{14}$ (см. рисунок), имеющих следующее назначение:

M_1 — предназначен для имитации условий функционирования ИУС (задает форму и способы выдачи предварительных указаний; тип наблюдаемого объекта; параметры его траектории движения; тип помех; состояние внешней среды);

M_2 — моделирует процедуру выдачи указания целей и „канал“ их передачи (в этом „канале“ могут быть отображены характеристики предварительного оптического поиска и система его реализации);

M_3 — имитирует влияние атмосферы на сигнал;

M_4 — генерирует помехи, вырабатываемые наблюдаемым объектом;

M_5 — генерирует траектории движения цели в заданной системе координат;

M_6 — имитирует преобразование координат (метрики);

M_7 — реализует анализ режимов захвата и „срыва“ слежения и выбор программы поиска цели (в пределах поля зрения ИУС) в зависимости от анализируемой ситуации;

M_8 — предназначен для переключения режимов работы ИУС;

M_9 — содержит модели регуляторов режимов работы ИУС, а также модель прогнозирования поведения наблюдаемого объекта, которая применяется при „срыве“ слежения для ускорения восстановления режима сопровождения и повышения точности наведения;

M_{10} — содержит модели привода;

M_{11} — содержит модели оптического тракта; преобразователей оптического излучения в сигналы управления; выделения сигнала рассогласования (модель пеленгационного устройства);

M_{12} — предназначен для моделирования работы измерителя с учетом квантования по времени (дискретность измерения) и квантования по уровню (разрядность и точность измерителя);

M_{13} — моделирует канал дальности;

M_{14} — содержит алгоритм обработки результатов моделирования и сервисные программы.

Функционирование ИУС может быть описано также совокупностью математических моделей.

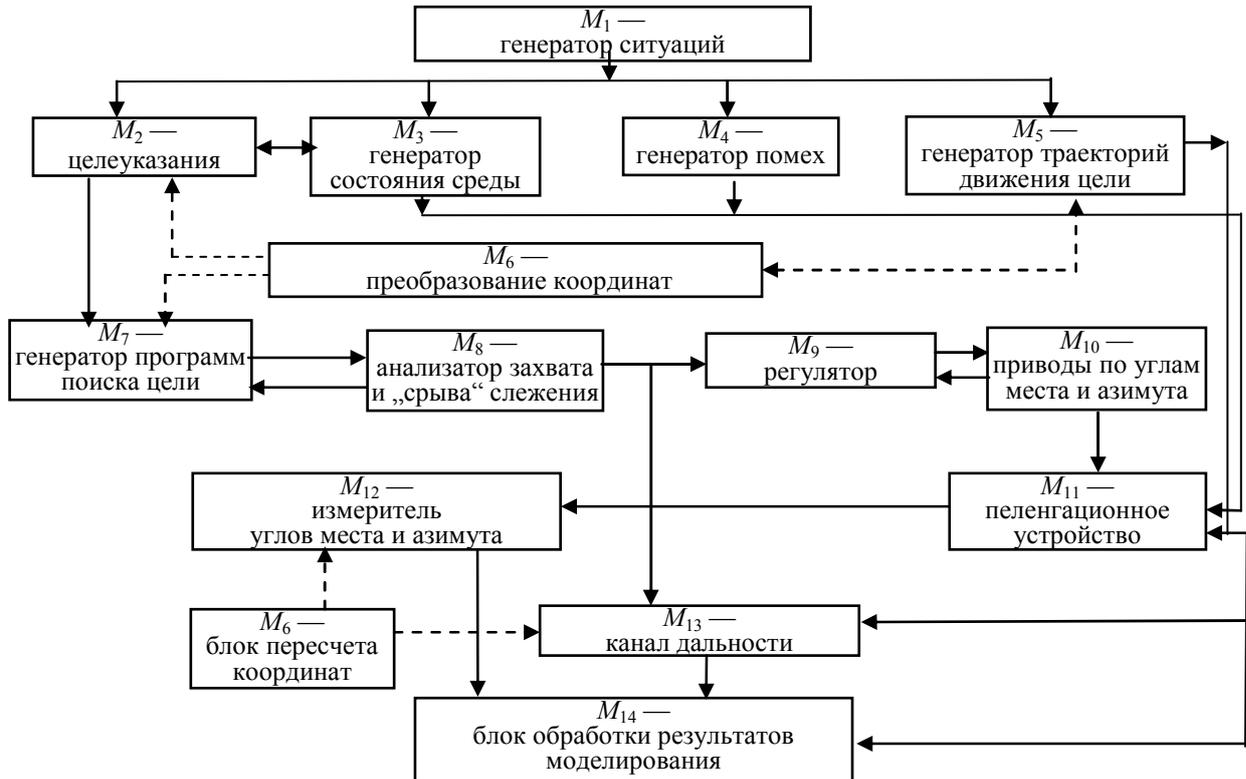
1. Математическая модель движения центра масс наблюдаемого объекта (цели):

$$\dot{q} = f(q, q_n) + Q(t)F(t);$$

$$f(q, q_n) = [q_1, g(q, q_n)]^T;$$

$$q^T(t) = [q_0^T(t), q_1^T(t)],$$

где $q_0(t), q_1(t)$ — соответственно вектор положения и вектор скорости центра масс наблюдаемого объекта в выбранной системе координат; q_n — вектор параметров движения цели; $F(t)$ — векторная функция внешних сил; $Q(t)$ — матрица параметров управления; t — время.



2. Математическая модель траектории движения центра поля зрения (зоны оптического обнаружения) ИУС в пространстве предметов:

$$\left. \begin{aligned} e(t) &= \int_0^T v_e(t) dt; \\ b(t) &= \int_0^T v_b(t) dt, \end{aligned} \right\}$$

где $e(t), b(t)$ — угол места и азимут цели соответственно; $v_e(t), v_b(t)$ — скорость изменения угла места и азимута цели соответственно; T — период поиска цели.

3. Математическая модель процесса измерения параметров движения цели:

$$z(t_k) = K_k q(t_k) + h_k,$$

где K_k — вектор функции параметров измерителей; h_k — ошибка измерения; k — число, характеризующее последовательность интервалов измерений.

4. Математическая модель процесса управления ИУС — модель полностью аналогична системе уравнений (1), описывающих исходную ИУС (с заменой обозначений, соответствующих носителю).

5. Математическая модель анализа режимов работы систем оптического поиска и наведения. При построении этой модели учитываются следующие основные режимы работы ИУС:

- поиск цели по предварительному указанию;
- установление оптического контакта;
- совмещение линии визирования с направлением на цель и последующее ее сопровождение (результат — выработка параметров движения цели);
- повторный поиск цели при „срыве“ режима сопровождения или режима захвата;
- наведение линии визирования на цель с последующим выстрелом.

Функционирование ИУС в каждом из перечисленных режимов зависит от многих факторов и носит случайный характер. Для анализа работы системы и выработки требований к отдельным режимам, с точки зрения достижения конечного результата (поражение цели), целесообразно построить математическую модель переходов с режима на режим на основе марковских цепей [2, 6]. При построении модели каждый из режимов будем считать состоянием марковской цепи, а именно:

- состояние 1 — работа системы в режиме поиска;
- состояние 2 — работа системы в режиме захвата;
- состояние 3 — работа системы в режиме измерения;
- состояние 4 — работа системы в режиме повторного поиска;
- состояние 5 — работа системы в режиме наведения линии визирования на цель.

В соответствии с графом переходов марковской модели составим разностное уравнение, описывающее изменение в дискретные моменты времени ($m \in \{1, 2, \dots, n\}$; $t = m\tau$) вероятности пребывания системы в том или ином состоянии:

$$P(m) = [P_1(m); P_2(m); P_3(m); P_4(m); P_5(m)]^T.$$

Для распределения вероятностей работы системы в том или ином режиме, а также переходных вероятностей в соответствии с графом марковской модели должны выполняться следующие соотношения:

$$\left. \begin{aligned} P^T(m+1) &= P^T(m)\Pi(m); \\ \Pi(m) &= \begin{bmatrix} P_{11}(m) & 1-P_{11}(m) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & P_{22}(m) & P_{23}(m) & P_{24}(m) & 0 \\ 0 & P_{32}(m) & P_{33}(m) & P_{34}(m) & P_{35}(m) \\ 0 & P_{42}(m) & P_{43}(m) & P_{44}(m) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \\ P_{22}(m) + P_{23}(m) + P_{24}(m) &= 1; \\ P_{32}(m) + P_{33}(m) + P_{34}(m) + P_{35}(m) &= 1; \\ P_{42}(m) + P_{43}(m) + P_{44}(m) &= 1. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Соотношения (2) являются решением разностного уравнения и определяют вектор распределения вероятностей состояний системы в момент времени $t = m\tau$. При этом каждая компонента вектора $P_i(m)$ определяет вероятность того, что в данный момент времени ($t = m\tau$) ИУС работает в том или ином режиме, а в целом система работает в режиме наведения как конечном. В этой связи функция $P_5(m)$ может служить вероятностным критерием качества функционирования ИУС (или сравнительным критерием оценки качества функционирования системы при различных вариантах ее построения).

Как известно, в целом действие на ИУС внешних факторов является нестационарным, однако учитывая, что время эффективной работы системы невелико по сравнению с време-

нем ее „жизни“, можно вести моделирование относительно стационарной модели. Такое упрощение ни в коей мере не снижает достоверности получаемых результатов, так как при моделировании можно задавать несколько ситуаций, а поскольку система не меняет своих внутренних свойств, то конечный результат может быть экстраполирован (в вероятностном смысле) на любые другие ситуации. В этой связи произведение матриц, характеризующих нестационарные процессы, можно заменить операцией возведения в степень m матрицы переходных процессов с постоянными элементами. При этом значение P'_5 может быть принято за пороговое, а время достижения системой этого состояния (t_n) будет характеризовать быстрдействие ИУС как комплекса. Иными словами, ИУС за время t_n с вероятностью P'_5 успешно решает задачу по наведению оружия в точку упреждения и производит пуск в нужный момент времени.

Однако следует заметить, что изменение во времени значения $P_5(m)$, а следовательно, и времени t_n достижения пороговой вероятности P'_5 при заданном распределении начальных вероятностей $P_i(0)$, является функцией значений переходных вероятностей P_{ij} , которые, в свою очередь, зависят от количественных показателей работы ИУС в отдельных режимах. Таким образом, если имеется возможность конструктивно изменять количественные показатели, т.е. изменять значения переходных вероятностей P_{ij} , то в качестве вероятностного критерия необходимо выбрать время работы ИУС, соответствующее тактико-техническим характеристикам системы для исходной ситуации, когда $P^T(0) = [1; 0; 0; 0; 0]$, т.е. когда работа системы начинается с режима поиска. Анализ влияния вероятности P_{ij} на время $t_n(P'_5)$, если в качестве исходных параметров при проектировании ИУС заданы величины P'_5 и t_n , позволяет предъявить требования к динамике отдельных режимов работы системы в виде желаемых значений вероятностей перехода. Аналитическая зависимость от показателя t_n при высоких порядках системы (матрицы $\Pi(m)$) вызывает большие затруднения, поэтому, как отмечалось выше, целесообразно производить моделирование ИУС для набора ситуаций, что, например, позволяет вести анализ с применением метода агрегирования марковских моделей, согласованных с исходной системой, соответствующей проектируемой или испытываемой ИУС.

Разработанная функциональная схема моделирования информационно-измерительной и управляющей системы, а также полученные соотношения для оценки ее состояния позволяют путем компьютерного моделирования определить необходимые параметры системы для выполнения тактико-технических требований по ее функционированию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демин А. В., Копорский Н. С. Имитационное моделирование информационно-измерительных и управляющих систем. СПб: СПбГУ ИТМО, 2007. 139 с.
2. Демин А. В., Копорский Н. С. Имитационное моделирование систем наведения // Изв. вузов. Приборостроение. 2006. Т. 49, № 6. С. 30—34.
3. Барбашев Е. А., Демин А. В., Кулагин В. С., Начкебия А. Б. Имитационное моделирование при исследовании временных характеристик дискретных систем // Изв. вузов. Приборостроение. 2009. Т. 52, № 3. С. 29—31.
4. Торшина И. П. Компьютерное моделирование оптико-электронных систем первичной обработки информации. М.: Логос, 2009.
5. Максимей И. В. Имитационное моделирование на ЭВМ. М.: Радио и связь, 1988. 232 с.
6. Кемени Дж., Снелл Дж. Конечные цепи Маркова. М.: Наука, 1970.

Сведения об авторах

Юлия Юрьевна Гатчина

— соискатель; Университет ИТМО; кафедра оптико-цифровых систем и технологий; E-mail: gatchina@mail.ifmo.ru

Олег Фомич Немолочнов

— д-р техн. наук, профессор; Университет ИТМО; кафедра информатики и прикладной математики-1

Рекомендована кафедрой
оптико-цифровых систем и технологий

Поступила в редакцию
31.08.15 г.

Ссылка для цитирования: Гатчина Ю. Ю., Немолочнов О. Ф. Имитационная модель информационно-измерительной и управляющей системы // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 11. С. 895—900.

SIMULATION MODEL OF INFORMATION-MEASURING AND CONTROL SYSTEM

Yu. Yu. Gatchina, O. F. Nemolochnov

ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia

E-mail: gatchina@mail.ifmo.ru

A functional diagram is proposed for modeling information, measurement, and control system. Several relations are obtained to assess the system state, the relations makes it possible to improve the system structure and to refine the system qualitative and quantitative parameters with the use of computer modeling.

Keywords: modeling of optical systems, information-measuring and control systems, modeling of optical systems, mathematical model, simulation model, simulation.

Data on authors

Yuliya Yu. Gatchina — ITMO University, Department of Optical and Digital Systems and Technologies; Applicant; E-mail: gatchina@mail.ifmo.ru

Oleg F. Nemolochnov — Dr. Sci., Professor; ITMO University, Department of Computer Science and Applied Mathematics-1

For citation: Gatchina Yu. Yu., Nemolochnov O. F. Simulation Model of Information-Measuring and Control System // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroyeniye. 2015. Vol. 58, N 11. P. 895—900 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-11-895-900