

Раздел V. Моделирование сложных систем

В.Е. Золотовский, В.П. Яковенко

СИСТЕМА СТРУКТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МАНЁВРОВ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В РАЙОНЕ ЦЕЛИ

Введение. Моделирование объектов физической природы, описываемых множеством нелинейных дифференциальных уравнений высокого порядка, требует высокого быстродействия, достижимого только на многопроцессорных вычислительных системах (МВС). Однако, традиционное программирование МВС в данном случае весьма затруднительно. Преодоление этой трудности можно найти в использовании идей и методов структурного моделирования. Суть такого моделирования заключается в том, что каждому объекту моделируемой физической системы ставится в соответствие некоторое количество ресурсов вычислительной среды. Каждый объект функционирует как самостоятельная формальная процедура, а взаимодействие между объектами реализуется на уровне передачи данных. Это позволяет выполнять отдельные процедуры параллельно либо на выделенных аппаратных средствах МВС, либо на последовательной системе с разделением времени, что, с одной стороны, существенно уменьшает время моделирования, а, с другой - упрощает процесс программирования.

Как правило, реальные физические системы представляют композицией большого числа объектов. Динамическое поведение каждого объекта описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений, поэтому моделирование сводится к решению общей системы дифференциальных уравнений. С ростом числа компонент, растет порядок общей системы и, следовательно, возрастает трудоемкость формирования и вычисления полученной математической модели. Персональные компьютеры, как правило, не обеспечивают необходимое время моделирования, а суперкомпьютеры существенно повышают стоимость расчётов. Необходимую эффективность (минимальные затраты на моделирование за заданное время) могут обеспечить только многопроцессорные или многомашинные комплексы. Однако, использование многопроцессорных вычислителей создаёт определенные трудности при программировании задачи. Решение данной проблемы предлагается проводить с помощью понятий и методов структурного моделирования.

Идеи структурного моделирования опираются на следующие принципы [1,2]. Моделируемая система формируется как некоторое множество компонент, число которых соответствует количеству реальных физических объектов. Каждой подсистеме уравнений, описывающих состояние объекта, ставится определенное количество аппаратных ресурсов, в оптимальном случае каждому объекту ставится в соответствие один процессор системы. Таким образом, моделируемые подсистемы функционируют параллельно, и их взаимодействие обеспечивается за счет обмена данными в многопроцессорной системе. Данный подход отражает естественное функционирование системы и позволяет, во-первых, повысить скорость моде-

лирования за счет параллельных вычислений, во-вторых, упростить программирование задач вследствие уменьшения сложности исходной системы.

Таким образом, моделирование сложной системы сводится к симуляции работы отдельных компонент этой системы и реализации процедур взаимодействия между ними. Перечислим основные задачи, которые необходимо решить при применении этих методов:

- задача формализации представления объектов как отдельных подсистем;
- формирование правил объединения объектов (подсистем) в единую систему моделирования;
- реализация моделей, описывающих поведение компонент;
- обеспечение параллельной работы всех моделей.

1. Структура системы. Задача симуляции физических объектов методами структурного моделирования требует разработки алгоритмов и специального программного обеспечения, реализующие их. Ниже описывается программная система моделирования. Она имеет следующую структуру:

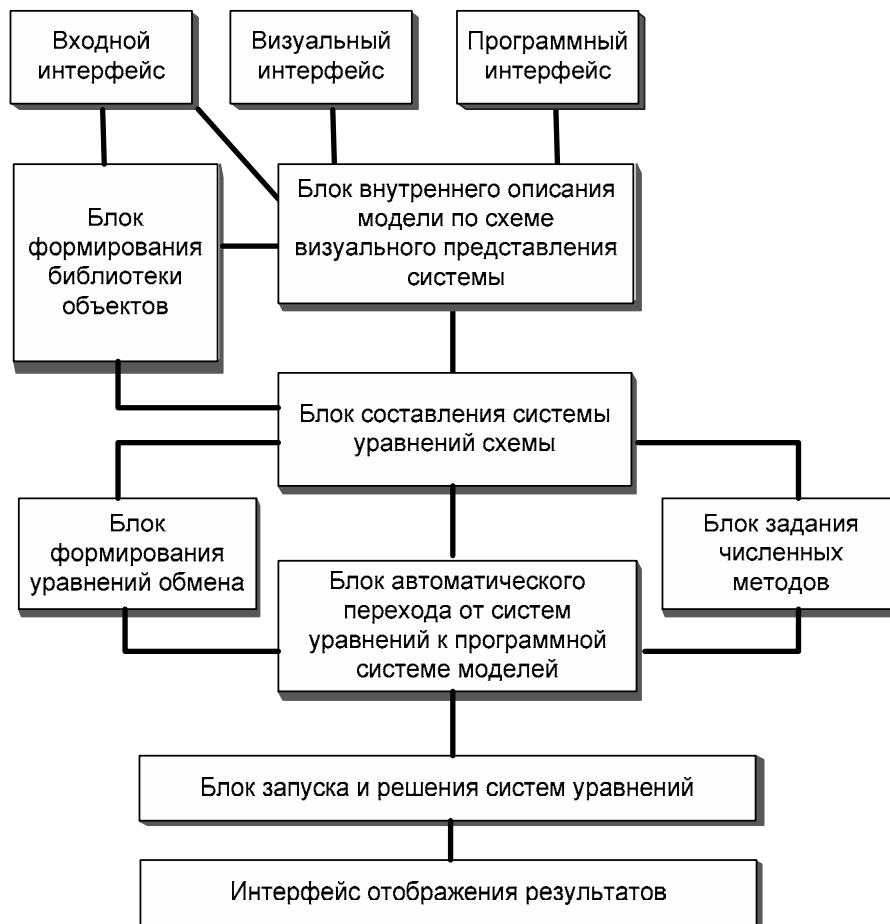


Рис.1. Структура системы моделирования

Далее отдельные модели komponуются в общую модель (систему уравнений). Полученная система уравнений, включающая уравнения обмена, размещается по процессорам в соответствии с архитектурой базового вычислителя. Чаще разбиение проводится по объектам на основе заданной структуры моделируемой системы. Как будет показано ниже, существуют различные способы формирования математического описания исследуемой системы. Полученная система уравнений решается при помощи численных методов. Поддержка нескольких численных методов позволяет проводить оценку точности решения при минимуме затраченного времени. Моделирование сложных систем требует распределённого решения полученной системы уравнений на многопроцессорной или многомашинной системе. Для каждого отдельного процесса определяются его собственные условия завершения процесса моделирования. Ведущий процессор производит проверку условий завершения всех вычислителей, а так же осуществляет сбор данных мониторинга. Результатом моделирования являются временные и фазовые графические зависимости параметров исследуемой системы.

Применение структурных принципов предполагает наличие библиотек предопределённых элементов. При этом процесс программирования заключается в композиции библиотечных элементов и определение функциональных связей.

2. Интерфейсы системы моделирования. Входной интерфейс обеспечивает ввод решаемой задачи в систему. Традиционно основным средством описания исследуемой системы объектов является командный язык среды моделирования. Этот язык обладает высокой гибкостью и значительно облегчает описание больших однородных схем. Однако, в системах структурного моделирования целесообразнее использовать визуальный интерфейс графического ввода схемы [3,4]. Данный способ позволяет скрыть сложность синтаксических конструкций командного языка, более нагляден и удобен, чем операторный способ описания систем. При вводе в систему моделирования больших сложных схем необходимо использовать принцип группировки моделей – иерархического представления схемы. Эти задачи успешно решаются при помощи визуального интерфейса.

При этом композиция схемы осуществляется из базового множества элементов системы моделирования (библиотеки элементов). Именно наличие библиотеки предопределённых элементов позволяет значительно сократить время описания больших схем. Процесс постановки задачи состоит из следующих этапов:

- определение исходной моделируемой системы в виде набора элементов и определения их взаимодействия друг с другом;
- поиск модели, соответствующей каждому элементу исходной системы в библиотеке моделей; если модель отсутствует, то вызывается процедура создания новой модели;
- формирование структуры решаемой задачи посредством вызова и добавления в схему необходимых моделей из библиотеки, а так же установки коммутаций между моделями.

Таким образом, входной интерфейс представляет собой редактор компонент, позволяющий набирать схему из библиотечных элементов и определять связи и параметры элементов. Так же во входной интерфейс включается редактор библиотеки, позволяющий определять новые компоненты.

3. Представление моделей. Рассмотрим представление модели на примере задания в качестве объекта летательного аппарата.

При решении задачи использовались земная экваториальная, нормальная (рис.2) и траекторная (рис.3) системы координат.

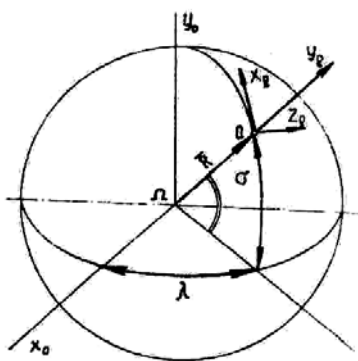


Рис.2. Земная экваториальная и земная нормальная системы координат

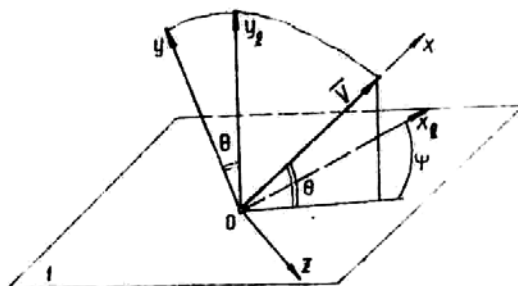


Рис.3. Положение траекторной системы $oxyz$ относительно местной горизонтальной плоскости (I) и местной вертикали

Начало траекторной системы $oxyz$ в центре масс ЛА. Ось ox направлена вдоль вектора скорости, oz – перпендикулярно ox в местной горизонтальной плоскости направо, ось oy – вверх перпендикулярно плоскости oxz .

У земной нормальной системы $oxg ygzg$ ось oyg направлена вдоль местной вертикали вверх, ось oxg – в местной горизонтальной плоскости направлена вдоль меридиана на север, ось ozg – в местной горизонтальной плоскости направлена вдоль параллели на восток.

У земной экваториальной системы $ox_0 y_0 z_0$ (сферическая, экваториальная, вращающаяся) начало помещено в центр Земли Ω или в центре масс ЛА, ось ox_0 направлена по линии пересечения плоскости гринвичского меридиана с плоскостью экватора.

Связь земной экваториальной и нормальной систем координат определяется следующей матрицей L_{0g} направляющих косинусов:

$$\begin{pmatrix} -\cos \lambda \sin \sigma & \cos \sigma & \sin \lambda \sin \sigma \\ \cos \lambda \cos \sigma & \sin \sigma & -\sin \lambda \cos \sigma \\ -\sin \lambda & 0 & -\cos \lambda \end{pmatrix} \quad (1)$$

Уравнения движения имеют вид:

$\dot{Z} = D(t, z)$, где

$$D(t, z) = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{g}{z_1} (ny(t) \cdot \cos(\gamma) - \cos(z_2)) \\ \frac{-g}{z_1 \cdot \cos(z_2)} \cdot ny(t) \cdot \sin(\gamma) \\ z_1 \cdot \sin(z_2) \\ z_1 \cdot \cos(z_2) \cdot \cos(z_3) \\ z_1 \cdot \cos(z_2) \cdot \sin(z_3) \end{bmatrix}, \quad Z = \begin{bmatrix} v \\ \theta \\ \psi \\ H \\ L \\ Z \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Рассматривается три вида маневра в районе цели:

- пикирование на малую или сверхмалую высоту с целью избежать обнаружения,
- горизонтальный полёт на малой или сверхмалой высоте (маршевый участок),
- кабрирование с целью обнаружения цели (маневр по курсу в горизонтальном полёте на маршевом участке).

Каждый манёвр задаётся соответствующими параметрами на входах А, В, С, (описание назначения портов смотри ниже).

Рассмотрим способы представления моделей в системе структурного моделирования. Динамика поведения природных объектов описывается дифференциальными уравнениями. Взаимодействие между объектами могут быть описано посредством алгебраических уравнений. Таким образом, поведение системы физических объектов, которая сама представляет собой некий физический объект, может быть описано с достаточной точностью системой дифференциально-алгебраических уравнений.

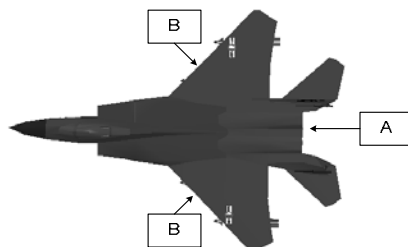
Каждый объект в библиотеке объектов представляется тремя компонентами входными/выходными портами, описанием модели (задается в математической нотации) и визуального представления. В общем, виде это можно представить следующим образом (рис.4).

Порты	Тип объекта	Порты
А	Математическое описание	А
В		В
С		С

Рис.4. Формат библиотечного представления объекта

Для представления модели используются три компоненты:

1. Графическое представление:



2. Математическое описание: система дифференциальных уравнений, описывающая движение летательного аппарата.

3. Список задаваемых параметров: параметры управления движением.

Для описания взаимодействия объектов введём классификацию связей между ними. Можно выделить три класса обменов:

- направленный обмен данными;
- ненаправленный обмен данными;
- смешанный обмен.

В первом случае объекты обмениваются независимыми переменными определению, которых происходит внутри самих объектов. Здесь различаются однонаправленные связи, когда передача идет в одном направлении, например, от объектов с младшими номерами к объектам с большими номерами.

Двунаправленные связи, когда обмен идет как в прямом, так и в обратном направлении. Общим случаем являются двунаправленные связи с переменным числом параметров, когда обмен идет в прямом и обратном направлении с числом параметров больше двух.

Во втором случае обмен идет дуально связанными переменными, т.е. переменными которые входят в оба объекта и вычисление отдельных из них может отсутствовать.

Смешанный обмен появляется, когда оба описанных случая появляются одновременно.

Направленный обмен описывается следующим образом. Пусть имеется два объекта (рис.5).

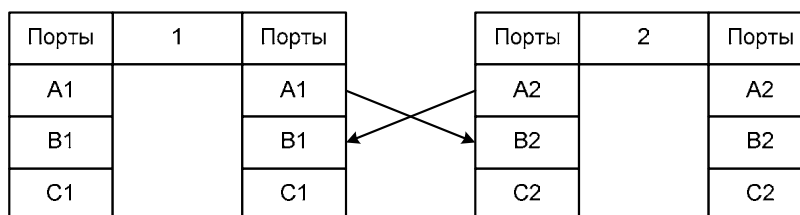


Рис.4. Связывание двух объектов при направленном обмене

Каждый объект описывается системой уравнений $\dot{X} = FJ(X, Y)$, где $XJ = \{X_{j1}, X_{j2}, \dots, X_{jn}\}$ множество искоемых переменных. Например, для системы уравнений

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= F_1(X_1) + f_1(X_{2j}); \quad (1) \\ X_2 &= F_2(X_2) + f_2(X_{1j}); \quad (2) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где $X_1 = \{X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1n}\}$, $X_2 = \{X_{21}, X_{22}, \dots, X_{2m}\}$.

Всё множество переменных, которые участвуют в обмене, в единое множество $A \in A_{\text{вх}} \cup A_{\text{вых}}$.

Для первого объекта $A_{\text{вх}} = \{X_{2j}\}$, где $X_{2j} = \{x_{2j}, x_{2(j+1)}, \dots, x_{2(j+m)}\}$, а $A_{\text{вых}} = \{X_{1j}\}$, где $X_{1j} = \{x_{1j}, x_{1(j+1)}, \dots, x_{1(j+n)}\}$.

Таким образом, при направленном обмене достаточно подключить к соответствующим портам переменные вычисляемые в объекте.

Ненаправленный обмен между двумя объектами может быть описан следующим образом

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= F_1(X_1); \\ X_2 &= F_2(X_1) + f_1(Y); \end{aligned} \right\} (1) \quad \left. \begin{aligned} X_1 &= F_1(X_2); \\ X_2 &= F_2(X_2) + f_2(Y); \end{aligned} \right\} (2) \quad (4)$$

где x_1 – множество вычисляемых переменных первого блока $X_1 \in (X_1 \vee X_2)$; x_2 – множество вычисляемых переменных второго блока $X_2 \in (X_1 \vee X_2)$; Y – множество переменных, связывающих первый и второй объекты.

Подсистема уравнений (1) и (2) в системе (4) записаны, так как они задаются в библиотеке объектов. После объединения объектов (рис.6) система определяет связанные переменные.

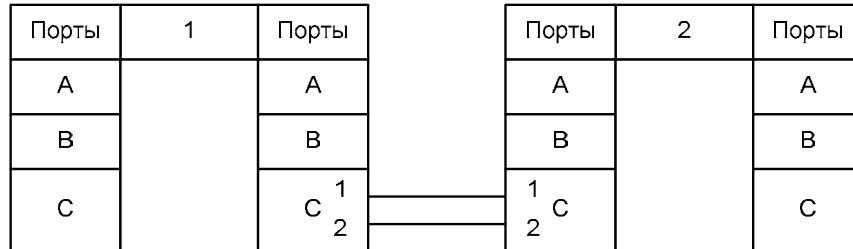


Рис.6. Связывание двух объектов при направленном обмене

Действительно, для того чтобы система (2) была замкнутой, вычисляемые переменные куда входят и переменные обмена должны быть равными, т.е.

$$X_2 = X_1. \quad (5)$$

Соответственно уравнения для X_1 и X_2 образуют множество \tilde{X} , определяющие систему связи объектов. А в случае, если какая-либо переменная Y_j из множества переменных Y входит в несколько уравнений множества \tilde{X} , являющимися подмножеством \tilde{X} , то должно быть задано тождество, связывающее эти

переменные. Например, если в \tilde{X}_2 входят переменные X_1, X_2, X_3 , то соответствующее тождество может иметь вид

$$Y = V(X_1, X_2, X_3),$$

где Y – известное или вычисляемое значение, например, константа: V -функция, связывающая переменные X_1, X_2, X_3 .

Смешанный обмен включает одновременно включает первый и второй тип обменов.

Наличие системы обмена, библиотек объектов позволяет создавать значительные по размерам физические системы, которые исследуются на основе компьютерного моделирования без значительных затрат ручного труда. А это в свою очередь, существенно уменьшает число ошибок и время подготовки системы к исследованиям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гузик В.Ф., Золотовский В.Е., Третьяков В.С. Система моделирования объектов промышленной энергетики. – М.: Наука – производству, №1, 1999.
2. Гузик В.Ф., Золотовский В.Е., Ляпунова Е.В. Исследование электрических сетей на структурных моделях // Сборник научных трудов “Компьютерные технологии в инженерной и управленческой деятельности”. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1999.
3. Guzik V.Ph., Zolotovskiy V.E., Chernukhin Y.V., Tretyakov S.V., Dougal R.A. Structural Modeling for Simulation of Power Electronic Systems. “The 7th workshop on computers in power electronics” IEEE, Blacksburg, Virginia, 2000.
4. Гузик В.Ф., Золотовский В.Е., Чернухин Ю.В. Структурное моделирование силовых систем. – Таганрог: Известия ТРТУ, № 1, 2001.
5. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. – Н.: Наука, 1973. – 350 с.

В.И. Финаев, С.Б. Мальков

МОДЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАНЯТОСТИ ВТОРИЧНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ

Степень интенсивности эксплуатации каналов связи в сетях - важный показатель функционирования, который интегрируется с временем задержки сообщений в практике проектирования вторичных сетей, т.к. прибыль от эксплуатации вторичной сети образуется в процессе использования каналов для работы с сообщениями пользователей. Теория массового обслуживания позволяет производить количественную оценку степени интенсивности использования каналов связи, т.к. процесс обслуживания требований в СМО идентичен процессам выполнения операций с сообщениями в сети.

Предполагается, что каждый абонент соединен через канал связи с отдельным портом и задержки при передаче сообщений абонента не происходит. На рис.1 показано образование периода занятости. Π_i – поток i -го канала связи; t_i - время занятости сети передачей сообщений.