Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

В. В. Андреева, Имитационное моделирование процесса управления технологическим объектом, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2001, выпуск 12, 165–169

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu78>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 34.239.49.27

26 апреля 2023 г., 03:03:56

Математическое моделирование и информатика

УДК 621.313 : 681.512.011

В.В. Андреева

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ

Рассматриваются проблемы, возникающие при проектировании систем управления технологическим объектом, и методы моделирования процесса управления, позволяющие на этапе проектирования выполнять проверку адекватности математической модели отображаемому объекту.

Проектирование систем управления (СУ) технологических объектов (ТО) вызывает большие затраты труда и времени. Повышение уровня автоматизации, использование установок в автоматических линиях и гибких производственных системах еще больше усложняет системы управления и их проектирование.

В этих условиях улучшения качества и производительности разработки, а также повышение технико-экономических показателей выпускаемых установок за счет совершенствования СУ, можно достигнуть только с помощью автоматизации их проектирования.

При проектировании должна рассматриваться математическая модель (Мо), описывающая процесс функционирования и управления технологическими установками и ориентированная на обработку в ЭВМ, а также моделирование работы СУ в различных режимах, позволяющее в начальной стадии проектирования обнаруживать и устранять ошибки в описании Мо и, следовательно, корректировать и оптимизировать режимы управления. При отсутствии этого этапа неадекватность может быть выявлена только в процессе наладочных работ, что значительно увеличивает стоимость и время подготовки объекта к эксплуатации. Кроме того, в сложных системах при наладочных работах высока вероятность обнаружения не всех ошибок, что приведет в процессе их эксплуатации к неправильному выполнению своих функций.

Для устранения этих недостатков разработаны методы [1], позволяющие моделировать работу СУ в различных режимах и обнаруживать ошибки в исходном описании функционирования.

Проверка адекватности описания отображаемому объекту в автоматическом режиме без участия человека невозможна, так как нельзя формализовать все ограничения и критерии, влияющие на процесс управления, все множество связей и данных, поступающих от других систем, связанных с разрабатываемой СУ. Поэтому в структуру процесса моделирования введен человек-оператор, принимающий решения о правильности полученных результатов и коррекции исходных описаний.

Исходными данными для решения задачи моделирования являются:

- система булевых уравнений;
- последовательность наборов информационных входов СУ (входных переменных X), инициирующих переход объекта из одного состояния в другое;
- список информационных выходов СУ (выходных переменных Y) с комментариями.

Системы булевых уравнений, полно и однозначно описывающие алгоритмы функционирования и управления объекта проектирования, составляются, как правило, в дизъюнктивно-нормальной форме (ДНФ). Переменные в уравнениях представлены в символах, соответствующих обозначениям исполнительных и контрольных элементов в принципиальных электрических схемах систем управления.

Левые части уравнений состоят из переменных, соответствующих входам электроавтоматики объекта (исполнительных элементов) - выходам системы управления, входам таймеров и счетчиков, входам оперативной памяти контроллера. При этом переменные левых частей уравнений, представленные со знаком инверсии, определяют условия отключения (сброса) соответствующего исполнительного элемента, памяти, таймера, счетчика, а переменные, представленные без знака инверсии, - включения (запуска). Правая часть уравнений состоит из одной или нескольких конъюнкций, соединенных дизъюнкцией.

Последовательность наборов информационных входов СУ, инициирующих переход объекта из одного устойчивого состояния в другое, определяется из таблицы состояний объекта проектирования при считывании ее левой части построчно. Последовательность входных наборов также представляется в символах, соответствующих обозначениям исполнительных и контрольных элементов в принципиальных электрических схемах систем управления.

Список информационных выходов СУ составляется по правой части таблицы состояний из заголовков колонок с учетом приведенных комментариев, описывающих физическое назначение соответствующих выходов.

В общем случае в алгоритме функционирования СУ, описанном системой булевых уравнений, в явном виде не отражена зависимость выходных переменных от времени. При компьютерном моделировании процесса необходимо учитывать динамические характеристики СУ, при этом зависимость выходной переменной Y от входных переменных X и времени в общем случае может быть выражена следующим образом:

$$Y_i = f(\{X(t_{k-1})\}, \{X(t_k)\}, \{Y(t_{k-1})\}, \{Y(t_k)\}), \quad (1)$$

где $\{X(t_{k-1})\}, \{X(t_k)\}$ - множества переменных, соответствующих входам СУ в моменты времени t_{k-1} и t_k ; $\{Y(t_{k-1})\}, \{Y(t_k)\}$ - множества переменных, соответствующих выходам СУ в моменты времени t_{k-1} и t_k .

Каждая входная и выходная переменная принимает одно значение [1] из множества

$$\{ 0, 1, d, n \}, \quad (2)$$

где d - неопределенное в момент времени t_k значение переменной X или Y , которое может быть в процессе моделирования доопределено до $\{0,1\}$ для t_k ; n - неопределенное в момент времени t_k значение переменной X или Y , которое не может быть доопределено до $\{0,1\}$ для t_k , но может быть доопределено до $\{0,1\}$ для момента времени t_{k+1} .

Наличие в системе булевых уравнений переменных, имеющих значения d и n при моделировании алгоритма управления, связано с тем, что процесс функционирования технологическими установками является параллельным процессом, а компьютерное моделирование может выполняться только последовательно.

Исследуя соотношение (1), можно сделать вывод, что в момент времени t_k значения переменных X_i принадлежат множеству $\{0,1,d\}$, а значения переменных Y_i - множеству $\{d,n\}$, причем значения X_i и Y_i определяются из соотношений

$$X_i = \begin{cases} \{0,1\}, & \text{если } X_i \in \{X(t_k)\}, \\ d, & \text{если } X_i \in \{X(t_{k-1})\}, \end{cases} \quad (3)$$

$$Y_i = \begin{cases} d, & \text{если } Y_i = f(\{X(t_{k-1})\}, \{X(t_k)\}), \\ n, & \text{если } Y_i = f(\{X(t_{k-1})\}, \{X(t_k)\}, \{Y(t_{k-1})\}, \{Y(t_k)\}). \end{cases} \quad (4)$$

Таким образом, значения переменных X_i и Y_i в общем случае могут быть доопределены до $\{0,1\}$ только в момент времени t_{k+1} .

Множество всех $X_i = \{0,1\}$, где i изменяется от 1 до m_x , рассматриваемых в t_k , образует двоичный вектор VX_j , множество всех $Y_i = \{0,1\}$, где i изменяется от 1 до m_y , рассматриваемых в t_k , образует двоичный вектор VY_j

$$VY_j = F1(VX_j, VY_{j-1}) , \quad (5)$$

где m_x, m_y - количество переменных X и Y соответственно, j - изменяется от 1 до $m_x * m_y$.

Вектор VX_j состоит из двух наборов HX_j и DX_j ,

$$VX_j = HX_j \cup DX_j , \quad (6)$$

где HX_j - набор значений X , заданных в момент времени t_k . DX_j - набор значений, доопределенных до $\{0,1\}$ по соответствующим компонентам VX_{j-1} , определенного в момент времени t_{k-1} .

Учитывая (4)-(6) и то, что процесс управления является параллельным, преобразуем (5) в рекуррентное соотношение:

$$VY_j = F2(HX_j, DX_j, VY_j, VY_{j-1}) . \quad (7)$$

Формирование VY_j выполняется следующим образом. Вычисляются все значения Y из левых частей всех уравнений, при этом в правую часть уравнений подставляются соответствующие значения X из VX_j и Y из VY_{j-1} . Если Y является функцией только X , то его значение в момент t_k определено и принадлежит множеству $\{0,1\}$, в противном случае значение Y вычисляется по рекуррентному соотношению (7):

- вычисляются все значения Y в системе уравнений;
- формируется вектор VY_j .

Вследствие рекуррентности соотношения (7) значения компонент VY_j , соответствующих (1), не определены в момент времени t_k .

Для доопределения всех компонент вектора VY_j до $\{0,1\}$ вычисляются вектора VY_j^1 , VY_j^2 , VY_j^3 и т.д. Процесс вычисления компонент вектора VY_j заканчивается в том случае, если

$$VY_j^e = VY_j^{e+1} . \quad (8)$$

Если условие (8) не выполняется, то процесс нахождения VY_j не является сходящимся; уравнения системы неадекватно отображают процесс управления и нуждаются в коррекции.

В случае выполнения (8) процесс сходится и формирование вектора VY_j заканчивается;

$$VY_j = VY_j^e \quad (9)$$

Для вычисления VY_j в соответствии с (1)-(9) требуется время, которое в общем случае зависит от m_x , m_y , объема исходной системы уравнений (количества уравнений, количества конъюнкций и дизъюнкций в уравнениях), а также количества итераций для достижения выполнения соотношения (8).

В общем случае время, необходимое для вычисления VY_j , значительно и не удовлетворяет параметрам процесса моделирования.

Для сокращения объема вычислений используем модифицированный метод определения компонент вектора VY_j , заключающийся в представлении $F1$ из соотношения (5) как суперпозиции двух функций

$$F1(VX_j, VY_{j-1}) = FN(VX_j), FZ(VX_j, VY_{j-1}) , \quad (10)$$

где $FN(VX_j)$ - компонента VY_j , независимая от Y (HY_j); $FZ(VX_j, VY_{j-1})$ - компонента VY_j , зависящая от Y (DY_j).

Так как по определению HY_j не зависит от Y , то

$$HY_j^1 = HY_j^2 = \dots = HY_j^{e-1} = HY_j^e . \quad (11)$$

Таким образом, $HY_j = HY_j^1$.

Значения компонент DY_j вычисляются из соотношения

$$DY_j = FZ(HX_j, DX_j, HY_j, DY_j, DY_{j-1}) . \quad (12)$$

Следовательно, для вычисления компонент вектора VY_j необходимо и достаточно вычислить значения компонент HY_j и e приближений компонент вектора DY_j .

Определим, какие компоненты вектора VY_j при данном VX_j не зависят от Y , т.е. определим функции FN и FZ . При этом множество значений входных и выходных переменных X и Y , описываемое (2), заменим на множество

$$\{ 0, 1, n \} , \quad (13)$$

так как в процессе вычислений значение d доопределяется либо до 0, либо до 1.

Для нахождения HY_j подставим во все уравнения системы значения компонент вектора VX_j , а вместо значений компонент вектора VY_j - значение n .

При определении независимых компонент Y_i вектора HY_j воспользуемся следующим положением - если $Y_i=1$ для данного вектора VX_j , то Y не зависит от значений компонент вектора VY_j .

Для того, чтобы избавиться от неопределенности в алфавите, заменим значения элементов множества $\{0, 1, n\}$ на соответствующие характеристические функции $\{0, 1, 2\}$, а операции логического сложения и умножения заменим на операции арифметического сложения и умножения.

Примем допущение, что для неопределенных значений Y_i с характеристикой 2, Y_i также равно 2. Тогда

$$Y_i \subset DY_j, \text{ если } Y_i < 1 \text{ или } Y_i > 1. \quad (14)$$

В противном случае $Y_i \subset NY_j$ и в дальнейших вычислениях VY_j Y_i не участвует.

Таким образом, разделение VY_j на независимую компоненту NY_j и зависимую DY_j выполнено.

Следовательно, использование априорной подстановки неопределенных значений n и характеристических функций позволяет при разделении VY_j на NY_j и DY_j заменить сложные логические проверки на простой арифметический расчет.

Поскольку при исследовании алгоритмов управления определено, что на независимую составляющую NY_j приходится от 35 до 55% от общего объема VY_j (в зависимости от исходной системы и конкретного VX_j), то замена VY_j на NY_j и DY_j позволяет значительно сократить время расчета.

При моделировании на компьютере СУ одним из наиболее важных вопросов является вопрос определения ее устойчивости. При выполнении вычислений в соответствии с (1)-(9) критерием устойчивости является выполнение соотношения (9). В общем случае процесс вычислений заканчивается за e итераций, причем e зависит от многих факторов. При этом различные компоненты VY_j имеют различные периоды колебаний из состояния 1 в 0 или наоборот, прежде, чем приходят в устойчивое состояние 0 или 1. Период колебаний определяется для Y_i соотношением

$$T_i = e_k - e_n, \quad (15)$$

где e_k , e_n - начальное и конечное значение номеров итераций, в которых Y_i сохраняет свое значение.

В случае неадекватного описания возможна ситуация, в которой по некоторым компонентам VY_j устойчивое состояние не достигается. Тогда соотношение (9) никогда не выполнится и итерационный процесс никогда не закончится. Чтобы этого не произошло, введем ограничение количества итераций $e_{\max}$:

$$e_{\max} \gg \max \{ T_i \}. \quad (16)$$

Следовательно, при возникновении автоколебаний итерационный процесс (1)-(9) заканчивается при выполнении равенства

$$e = e_{\max}. \quad (17)$$

При таком окончании процесса вычисления VY_j в результате получаются только два последних набора VY_j^{e-1} и VY_j^e . Так как периоды колебаний переменных могут быть в соответствии с (15) более 1, то при анализе наборов VY_j^{e-1} и VY_j^e определяются автоколебательные компоненты с периодом $T = 1$.

Для определения всех автоколебательных компонент RY с периодом T , большим единицы, разработан метод итераций, заключающийся в следующем.

В качестве начальных значений RY_1 автоколебательных компонент набора VY_j выбираются компоненты

$$RY_1 = \{ YI_i \} \text{ для всех } Y_i^{e-1} \neq Y_i^e, \quad (18)$$

где YI_i - идентификаторы выходных переменных из левых частей уравнений; i - индекс переменной Y , изменяющийся от 1 до m_y ; e - число итераций, $e = e_{\max}$; Y_i^{e-1} , Y_i^e - значения компонент вектора VY_j с соответствующим идентификатором YI_i , полученные в $e-1$ и e итерациях.

Затем вычисляется следующий набор автоколебательных компонент по соотношению

$$RY_{p+1} = \{ YI_i \} \text{ для всех } YI_i = f(RY_p), \quad (19)$$

где RY_{p+1} - идентификаторы выходных переменных из левых частей уравнений, в правой части которых имеются компоненты набора VY_j ; i - индекс переменной Y , изменяющийся от 1 до m_y ; p - номер итерации, изменяющийся от 1 до m_p , m_p - максимальное количество наборов RY , т.е. максимальное количество p -итераций.

Процесс формирования набора RY считается законченным, если выполняется условие

$$RY_{p-1} + RY_p = \emptyset. \quad (20)$$

В качестве результирующих значений набора автоколебательных компонент выбираются значения

$$RY = RY_p. \quad (21)$$

Если условие (20) не выполняется, то формируется новый набор RY_p в соответствии с выражением

$$RY_p = RY_p \cup (Ry_{p-1} + RY_p). \quad (22)$$

и снова выполняются вычисления по (19).

Значения компонент вектора анализируются человеком-оператором на соответствие требуемым значениям, в случае их несовпадения уравнения, неадекватно отображающие процесс управления, корректируются.

Таким образом, моделирование заключается в том, что на модель подаются искусственные наборы входных сигналов VX и на основе возникающей реакции VY в соответствии с соотношениями (1)-(22) последовательно улучшается режим работы СУ. В этом смысле моделирование рассматривается как процесс оптимизации [2] алгоритма функционирования технологического объекта.

Предложенные методы моделирования АФ и АУ являются человеко-машинными методами непосредственного имитационного моделирования [3], которые сводятся к математическому экспериментированию с последующей обработкой результатов человеком-оператором.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андреева В.В. Разработка пакетов прикладных программ исследования и синтеза систем управления на базе устройств с гибкой логикой // Алгоритмизация и автоматизация технологических процессов и технических систем. Сб. научн. тр. Куйбышев: КПТИ. 1990. С.103 - 107 .
2. Разработка САПР. В 10 кн. Кн. 3. Проектирование программного обеспечения САПР. Практич. пособие/ Б.С. Федоров, Б.Н. Гуляев; Под ред. А.В. Петрова. М.: Высш. шк. 1990. 159 с.
3. Шеридан Т.Б., Феррел У.Р. Системы человек-машина : Модели обработки информации, управления и принятия решений человеком-оператором. М.: Машиностроение. 1980. 400 с.