

СИТУАЦИОННОЕ КАЧЕСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Д.С.Разинков
Кафедра ЭВМ ДонГТУ
rasinkov@cs.dgtu.donetsk.ua

Abstract

Rasinkov D.S. Situation qualitative modeling for dynamic objects. A new handling of modeling for dynamic objects is proposed. Models for single mine airway are presented. A characteristic of quantitative models is given.

1. Введение

В середине 90-х годов сотрудниками института автоматизации и программного обеспечения (IAS) Штуттгартского университета в Германии был предложен метод ситуационного качественного моделирования и анализа SQMA [1-5]. Сущность метода заключается в интервальном описании переменных для характеристик объектов, табличном представлении возможных ситуаций и состояний объектов и систем с автоматической их генерацией, а также табличном представлении связей между ситуациями и состояниями.

Анализ предложенного метода показал его ориентацию на статический анализ и ограниченные возможности исследования динамических характеристик моделей. В настоящее время в Штуттгартском университете ведутся работы по усовершенствованию метода [6] в направлении учёта динамических характеристик систем.

Автором статьи предлагаются некоторые подходы к адаптации метода SQMA для анализа динамических объектов.

2. Качественное описание динамических моделей

Динамический процесс описывается дифференциальными уравнениями, отражающими непрерывный характер изменений, происходящих внутри объекта или системы. Для получения мгновенных значений параметров при моделировании обычно используются численные методы, которые требуют приведение уравнений к следующему виду:

$$\frac{dy}{dt} = f(y, t, x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

Модель может быть описана несколькими дифференциальными уравнениями, составляющими систему. В этом случае каждое уравнение системы должно быть преобразовано к виду (1).

В общем случае имеем уравнение для поиска мгновенных значений численными методами:

$$y_{t+h} = f(y_t, x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2)$$

Различные численные методы предполагают использование как постоянного, так и переменного шага n , что определяет наличие двух способов описания ситуационных качественных динамических моделей.

Способ 1. Описание ситуационной качественной динамической модели с фиксированным минимально возможным временем изменения.

Пусть i -состояние объекта по методу SQMA определяется набором значений $[X_1^i, X_2^i, \dots, X_n^i]$ интервальных переменных x_1, x_2, \dots, x_n

Имея дифференциальное описание объекта, можно получить j -состояние, в которое перейдет объект через время Δt_{\min} (рис.1).

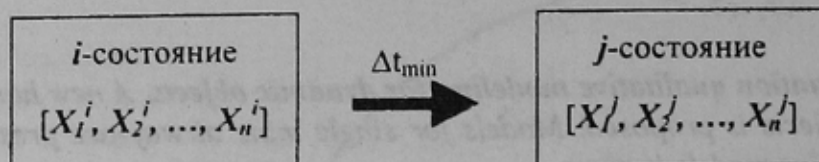


Рис.1 - Динамика ситуационной качественной модели.

Таким образом, для каждого состояния можно определить последующее состояние, в которое перейдет объект через время Δt_{\min} .

При сквозной нумерации дискретных состояний можно представить модифицированное описание состояний объекта в виде таблицы 1:

Таблица 1. Модифицированная таблица ситуаций для первого способа описания

№ состояния в момент t	Значения интервальных переменных				№ состояния в момент t+h
	x_1	x_2	...	x_n	
...
i	X_1	X_2	...	X_n	j
...

Предложенный способ не увеличивает число строк таблиц состояний, что критично для метода SQMA и описывает точный динамический характер модели.

Способ 2. Описание ситуационной качественной динамической модели с переменным временем перехода.

Данный способ отличается от способа 1 переменным значением Δt для перехода из ситуации в ситуацию. При этом для каждой ситуации время перехода в следующую может быть своим отличным от других, оно должно быть зафиксировано (Таблица 2).

Таблица 2. Модифицированная таблица ситуаций для второго способа описания

№ состояния в момент t	Значения интервальных переменных				№ состояния в момент t+ Δt	Δt
	x_1	x_2	...	x_n		
...
i	X_1	X_2	...	X_n	j	Δt_i
...

При данном способе описания устраняются недостатки первого способа, такие как возможный переход через Δt_{\min} ситуации самой в себя. Однако возникают сложности с регулярностью и применением численных методов для поиска следующей ситуации и времени перехода.

Применение обоих предложенных способов описания динамических моделей делает излишним использование таблицы переходов классического метода SQMA.

Процесс испытания модели объекта или системы, которая описана табличным способом, заключается в выборе результатов из банка данных для каждого компонента на каждом дискретном шаге времени в зависимости от входных параметров. Этот процесс может протекать очень быстро, так как не требует большого количества

вычислений. Такой подход также позволяет либо легко распараллелить процесс моделирования, либо сконцентрировать его, экономя ресурсы.

Диапазон значений и разбиение на интервалы технических параметров во многом определяют точность и сложность моделирования. Сложность в данном случае является также временным фактором, который является критичным для систем реального времени.

3. Методы борьбы со сложностью. Сокращение размеров таблиц.

Таблица данных модели, поведение которой описывается уравнением

$$Y=f(x_1,x_2,\dots,x_n), \tag{3}$$

имеет следующий размер(число строк):

$$N=N_1*N_2*..*N_n, \tag{4}$$

где N_1 - число интервалов первой переменной, N_2 - второй и так далее.

Каждый новый параметр увеличивает размер таблицы, умножая его на число своих интервалов. Имея аналитическое описание модели - функцию, можно преобразовать ее таким образом, чтобы получить совокупность функций не более двух параметров, которые в итоге дают тот же результат.

Преобразование возможно несколькими путями (рис 2).

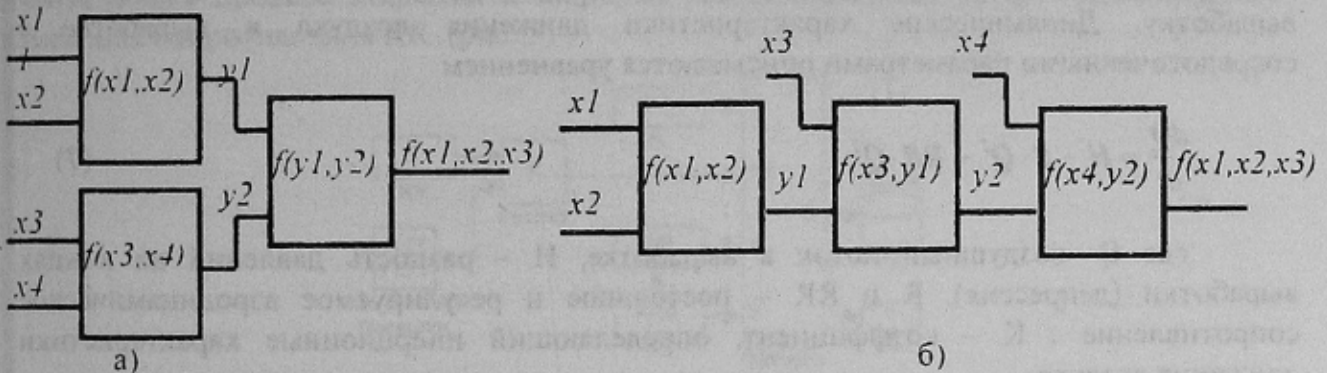


Рис. 2 - Варианты декомпозиции функции $f(x_1,x_2,x_3)$.

Очевидно, что для более быстрого получения результата наиболее подходит пирамидальная декомпозиция.

Несмотря на то, что декомпозиция добавляет новые переменные к функции, суммарный объем таблиц получается значительно меньше, так как общее число строк получается в результате сложения, а не умножения:

$$N= N_1*N_2+N_3*N_4+ ... N_{n-1}*N_n, \tag{5}$$

Увеличение времени при последовательной выборке данных из нескольких таблиц не является критическим фактором, так как альтернатива - поиск данных в огромном массиве.

Предложенный метод осуществляет упрощение табличных моделей на этапе синтеза. Следующий подход является оптимизацией созданных моделей с целью уменьшения числа хранимых данных.

Часто для моделей характерна функция с одним параметром, т.е. модель в этом случае является преобразователем:

$$y=f(X), \tag{6}$$

Для вариантов показанных на рисунке 3 возможно объединение таблиц, без потери информационного содержания.

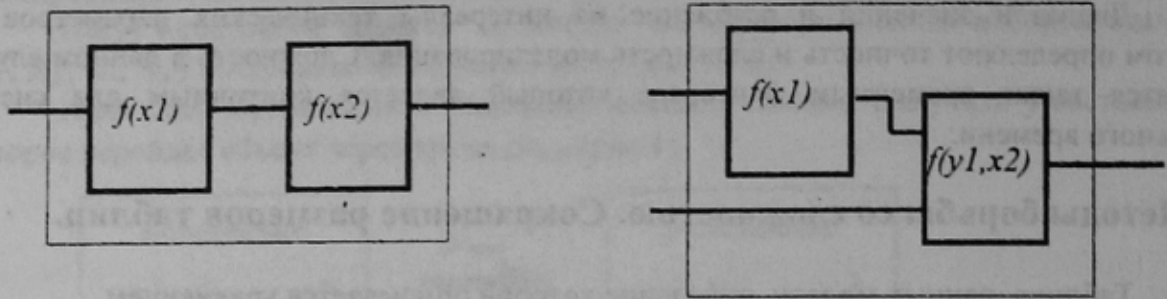


Рис. 3 - Объединение таблиц и функций.

Рассмотренные методы упрощения моделей основаны на абстрактном манипулировании математическими выражениями. Физический смысл полученных субфункций и промежуточных переменных не всегда очевиден. Но все операции корректны и дают значительный выигрыш. Абстрагирование и уход от прямого отображения физической сущности позволяют получить при построении моделей эффективные результаты.

4. Примеры построения моделей

Рассмотрим применение метода качественного моделирования для динамических объектов. В качестве объекта возьмем простую вентиляционную выработку. Динамические характеристики движения воздуха в выработке с сосредоточенными параметрами описываются уравнением

$$\frac{dQ}{dt} = H - R \cdot Q^2 - RR \cdot Q^2, \tag{7}$$

где Q- воздушный поток в выработке, H – разность давлений на концах выработки (депрессия), R и RR – постоянное и регулируемое аэродинамическое сопротивление, K – коэффициент, определяющий инерционные характеристики движения воздуха.

Для решения уравнения численным методом получим

$$Q_{t+1} = Q_t + h \frac{1}{K} (H - R \cdot Q_t^2 - RR \cdot Q_t^2), \tag{8}$$

где h=Δt – минимальное фиксированное приращение времени при поиске решения дифференциального уравнения. Приняв шаг h=1с, получим функцию вида:

$$Q_{t+1} = F(Q_t, H, RR, R, K) \tag{9}$$

Проведем декомпозицию функции следующим образом:

$$Q_{t+1} = f_1(Q, y_1) = Q_t + y_1 \tag{10}$$

$$y_1 = f_2(k, y_2) = K * y_2 \tag{11}$$

$$y_2 = f_3(y_3, y_4, H) = y_3 + y_4 + H \tag{12}$$

$$y_3 = f_4(RR, Q) = RR * Q * Q \tag{13}$$

$$y_4 = f_5(R, Q) = R * Q * Q \tag{14}$$

Функции f₂, f₄, f₅ зададим табличным способом по методу SQMA – перебором сочетаний значений интервальных переменных. Минимальный интервал значений

переменных примем исходя из характеристик точности приборов, предназначенных для измерения параметров.

Для функций f_1 и f_2 из-за простоты и высокой скорости выполнения используем непосредственную реализацию.

Ввиду отсутствия средств моделирования, оперирующих с интервальной логикой, воспользуемся средствами моделирования общего назначения. При этом верхнюю границу каждого интервала качественной переменной будем интерпретировать как интервальное значение.

Полученная модель изображена на рис. 4:

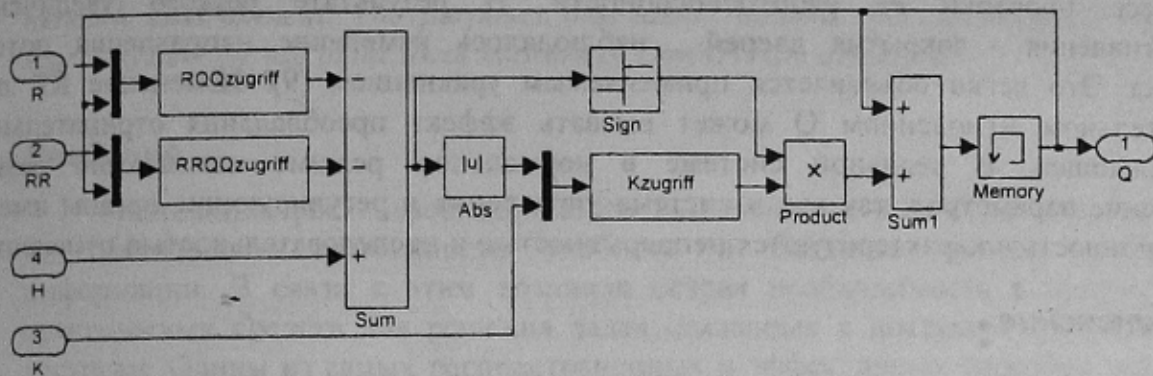


Рис. 4 - Качественная модель вентиляционного штрэка.

Для проверки реальной работоспособности модели построена система, имитирующая процесс открытия и закрытия вентиляционных штор - динамическое изменение сопротивления RR. (рис. 5)

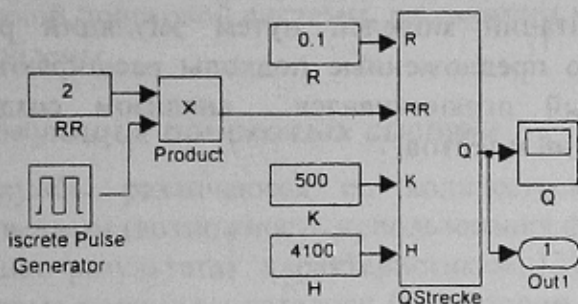


Рис. 5 - Качественная модель регулируемого воздушного потока.

С помощью данных моделей можно заполнить таблицу состояний с учетом динамических параметров (табл.2). Также возможно проводить испытания и тесты объекта, опираясь на интервальное описание параметров и дифференциальное описание процессов. В частности можно получить отчет об изменении расхода воздуха при открытии и закрытии дверей в виде графика рис.6.

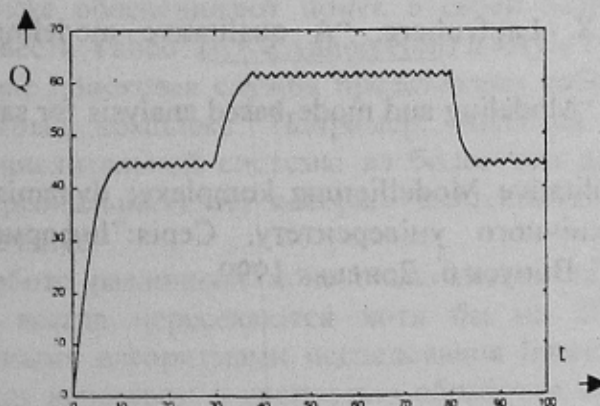


Рис. 6 - Результаты моделирования изменения расхода воздуха в штрэке

Результат весьма близок к решению уравнения (7) с помощью обычных численных методов. Но ступенчатое изменение параметра Q и колебание в устойчивом состоянии, говорят об использовании дискретного интервального ситуационного метода. Колебания относительно уровня установившегося значения объясняются дискретным представлением величин и несогласованностью интервалов нескольких переменных, участвующих совместно в определении поведения.

Исследование данной модельной системы выявило некоторые недостатки математического аппарата используемого при построении модели и применяемого в процессе проверки ее работоспособности. В результате резкого увеличения сопротивления - закрытия дверей, наблюдалось изменение направления потока воздуха. Это легко объясняется применяемым уравнением (9). Изменение RR при значительном мгновенном Q может вызвать эффект преобладания отрицательной составляющей. В реальной системе в нормальном режиме невозможно резкое изменение параметров, так как и система управления и регулирующие органы имеют инерционность и характеризуются непрерывностью и последовательностью изменений.

5. Заключение

Не отходя от основных концепций метода SQMA – табличной документированности и исчерпывающего анализа – можно расширить описание ситуаций и состояний моделей для неявного задания временных характеристик. Рассмотрены также способы устранения некоторых недостатков метода SQMA, вызванные сложностью и объемностью таблиц ситуаций.

Результаты испытаний моделей путем эмуляции реальных динамических процессов показали, что предложенные подходы расширяют возможности базового метода SQMA, который ограничивался анализом созданных моделей и не предусматривал испытаний и тестов.

6. Литература

1. Д. Разинков. "Построение качественных моделей объектов, критичных по безопасности: статический и динамический анализ", Наукові праці Донецького технічного університету. Серія: "Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка". Випуск 6. Донецьк 1999.
2. P. Fröhlich, X. Laufenberg, G. Burgbacher "A new qualitative model based approach to hazard analysis", 1994.
3. X. Laufenberg, P. Fröhlich "A qualitative model-based Approach to integrate system and hazard analysis, 1994.
4. P. Fröhlich, X. Laufenberg, "A qualitative modeling approach using fuzzy Intervals", 1994
5. X. Laufenberg, "Modeling and mode-based analysis for safety and hazard analysis", 1995.
6. S. Manz „Qualitative Modellierung komplexer dynamischer Systeme“, Наукові праці Донецького технічного університету, Серія: "Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка". Випуск 6. Донецьк 1999.