

Визуальное моделирование гибридных систем

Ю. В. Шорников, О. В. Никонова
Новосибирский Государственный Технический Университет
Г. Новосибирск, Россия

Аннотация

Рассматриваются графические компоненты визуализации моделей гибридных систем и графической интерпретации результатов решения в инструментальной системе ИСМА [1]. Выбранный способ графической визуализации структурного описания моделей обозначенного класса соответствует языку 4GL [2] и предоставляет предметному пользователю удобный входной интерфейс описания гибридных моделей. Содержательная графическая визуализация результатов решения позволяет не только исключить рутинную и трудоёмкую процедуру обработки результатов решений, но и предоставляет предметному пользователю, вместе с вычислительными процедурами, новые методологии исследования сложных систем.

Ключевые слова: Гибридные системы, инструментальные средства, структурно – текстовая визуализация, макросы, язык описания, графический интерпретатор.

1. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ИСХОДНЫХ МОДЕЛЕЙ

Класс исследуемых состояний гибридных моделей в ИСМА ограничен системами обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) с запаздыванием, которые имеют вид:

$$\begin{aligned} \dot{X} &= f[X(t), X(t - \Theta), t], t > 0, \\ X(t) &= \Psi(t), t \in [-\Theta, 0), X_0 = 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где $X \in R^n$ – вектор состояния; $f = \{f_1, \dots, f_n\}^T$ – нелинейная вектор-функция, удовлетворяющая условию Липшица; $\Psi(t)$ – m -мерная вектор-функция запаздывания, $m \leq n$; $\Theta = \{\tau_1, \dots, \tau_m\}^T$ – вектор чистых запаздываний; $X_0 = \{X_{01}, \dots, X_{0n}\}^T$ – вектор начальных условий.

Структурное редактирование и дальнейший анализ осуществляется с помощью интерпретатора схем. Структуры компонуются из набора функциональных модулей или примитивов (интегратор, нелинейность, запаздывание, и т.д.) на экране монитора средствами разработанного графического редактора.

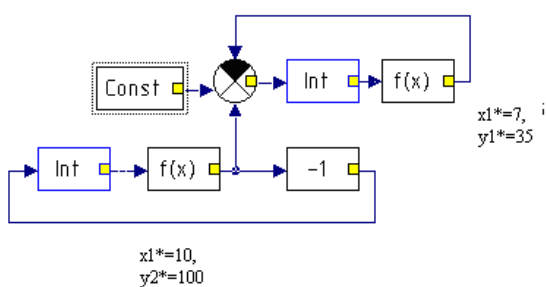


Рис.1. Структурная модель

Структурная модель состояния билиарной системы в режиме выброса желчи из желчного пузыря [3] представлена на рис.1. Важной особенностью при наборе структуры в

графическом редакторе системы ИСМА является набор нелинейных блоков $f(x)$. Нелинейные блоки задаются кусочно – линейной аппроксимацией в неубывающей последовательности координат по оси абсцисс. Причём набор координат нелинейной функции контролируется системой и визуализируется в интерфейсе нелинейного блока. На рис.2 приведён набор нелинейной функции с насыщением ($x1^*=7; y1^*=35$) для структуры, представленной на рис.1. В нелинейных блоках допускается возможность набора функций с разрывами первого рода.

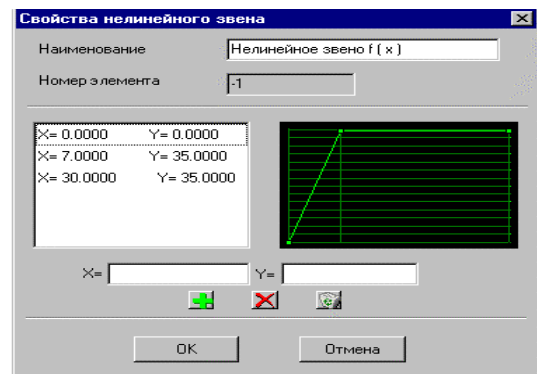


Рис.2. Набор нелинейной функции $f(x)$.

Библиотека примитивов для композиции структур может быть расширена пользователем благодаря наличию макросредств, которые компонуются пользователем из набора библиотечных, а затем сохраняются в виде нового модуля. Вложенность в макросредствах не ограничена. Для иллюстрации рассмотрим компьютерное описание модели асинхронного двигателя [5] с макроструктурой, которая представлена на рис.3.

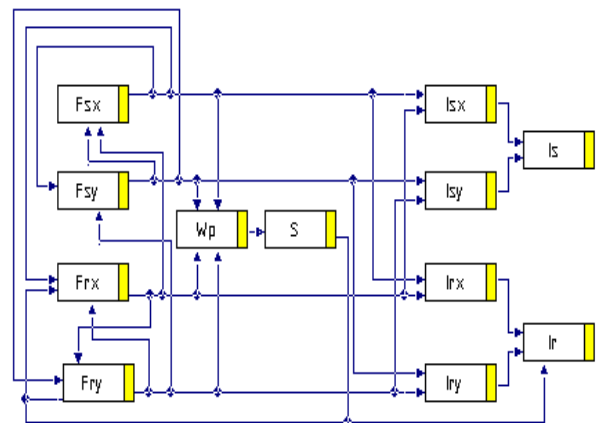


Рис.3. Макроструктура асинхронного двигателя

Для визуализации внутреннего содержания макроблока необходимо левой клавишей мышки дважды щёлкнуть на

соответствующем макроблоке. Визуализация содержимого макроблока угловой скорости W_p приведена на рис.4

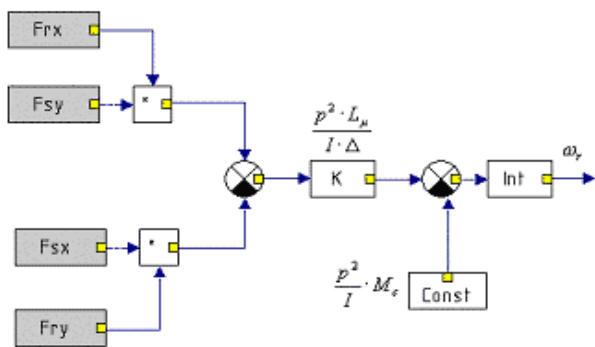


Рис.4. Макроблок угловой скорости W_p двигателя

Затемнённые блоки соответствуют внешним структурным блокам, которые при композиции структуры макросредствами соединяются с внутренними блоками необходимыми связями.

Текстовое или языковое описание подмножества динамических систем из класса (1) ориентировано на задачу Коши для неавтономных систем дифференциальных уравнений вида:

$$y' = f(t, y), \quad y(t_0) = y_0, \quad t_0 \leq t \leq t_k, \quad (2)$$

где y и f - гладкие вещественные n - мерные вектор - функции, удовлетворяющие условию Липшица; t — независимая переменная.

Для описания текстовых моделей из класса (2) разработан язык $L[<ИСМА>]$ с грамматикой $G[<ИСМА>]$. Следуя иерархии Хомского [2], $G[<ИСМА>]$ — КС-грамматика, которая легко приводится к типу $LL(1)$ - грамматик и эффективно анализируется методом рекурсивного спуска. Компьютерные модели в текстовом формате создаются встроенным в систему ИСМА текстовым редактором или любым другим текстовым редактором, допускающим текстовый формат данных (txt). В качестве иллюстрации приведём компьютерную модель системы уравнений Лоренца

```
//Уравнения Лоренца
//step =.01; //fulltime =1; //метод RK4
x1=5; x2=5; x3=5; //задание нач. условий

s=10; r=28; b=2.66667; //задание пар-ров

x1' = s * (x2 - x1);
x2' = r * x1 - x2 - x1 * x3;
x3' = x1 * x2 - b * x3;
```

Наконец, последний способ представления и визуализации моделей из класса (1) — структурно – текстовый. Этим способом в ИСМА можно специфицировать не только динамические системы из класса (1), но и более сложные так называемые событийно – непрерывные модели или сложные *гибридные системы* [4]. Характерной особенностью таких систем является мгновенный переход системы из одного состояния в другое, причём поведение системы в каждом состоянии может быть определено разными системами ОДУ из (1) – (2). Такие системы представляются разным формализмом. Например, в MVS [4] и HYTECH [8] такие системы формализованы конечными автоматами с графическим интерфейсом «картами состояний»; в Simulink визуализация производится диаграммами в Stateflow; в Dymola [7] в качестве базового

формализма используются временные сети Петри с соответствующей визуализацией состояний и допустимых переходов. В ИСМА такие системы удалось описать [3] введением бинарных компонент в правую часть (1). Временная зависимость бинарного вектора компонент предопределяет поведение системы в настоящем и будущем. Для иллюстрации спецификации сложной гибридной системы обратимся к *проблеме резервуаров* [4] или *задаче двух баков*. Подробная формализация этой задачи в ИСМА приведена в [6]. Здесь остановимся только на структурно – текстовом описании этой проблемы.

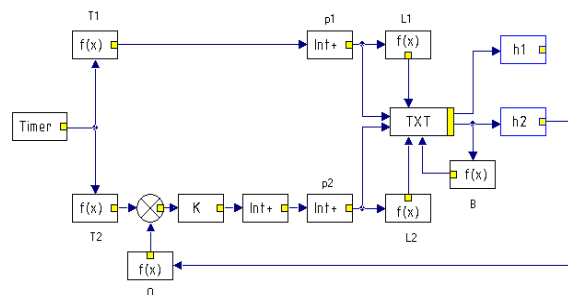


Рис.5. Структурно – текстовое представление гибридной модели «двух баков»

В библиотеке компонент графического редактора имеется текстовый блок (TXT), в свойствах которого устанавливается соответствующая коммутация входных и выходных переменных структуры. Как и в макросе для раскрытия содержания текстового блока, достаточно двойным щелчком левой клавиши манипулятора перейти в редактирование текстовой спецификации модели (Рис.6). Синтаксис программы в текстовом блоке соответствует грамматике $G[<ИСМА>]$.

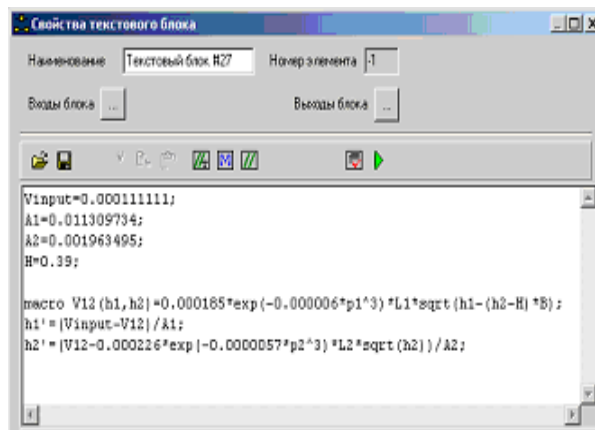


Рис.6. Свойства текстового блока

2. ГРАФИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Визуализация выходных данных в ИСМА определяется решением (1) и обрабатывается встроенным графическим интерпретатором решений GRIN (GRaphical INterpretation), который позволяет проводить разнообразную манипуляцию с временными графиками координат состояний системы, фазовым портретом и временными таблицами значений. GRIN разработан в среде Visual C++ как графическое приложение на основе многозадачного графического интерфейса пользователя – GUI (Graphical User Interface) с использованием библиотеки классов MFC. GRIN позволяет выполнять:

- отображение графиков линиями различной ширины и цвета;
- текстовое сопровождение графики;
- сплошное и сеточное фонирование графического поля с произвольным шагом сетки;
- трассировку координат графиков;
- устанавливать контрольные точки (маркеры);
- экспортировать графику в окнах GRIN и из GRIN в другие приложения;
- управление масштабom рабочей области и отображением осей координат;
- сохранение графической интерпретации;
- жесткую копию;
- управление окнами и их количеством;
- фрагментирование графических полей;

и т.д.

Графическая интерпретация решения $Wp(t)$ – переходного процесса угловой скорости асинхронного двигателя при запуске на холостом ходу приведена на рис.7.

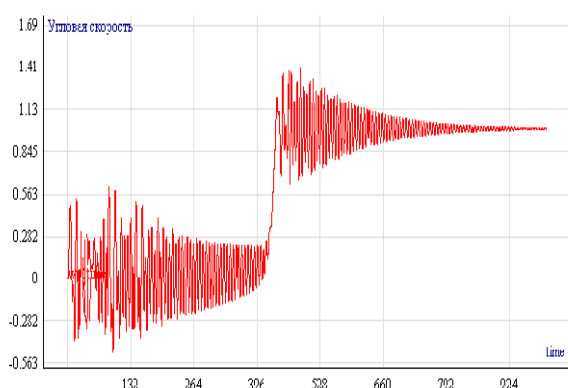


Рис.7. Переходный процесс угловой скорости двигателя

Графическая интерпретация решения $X1(X2)$ для приведённых уравнений Лоренца на фазовой плоскости имеет вид как показано на рис.8.

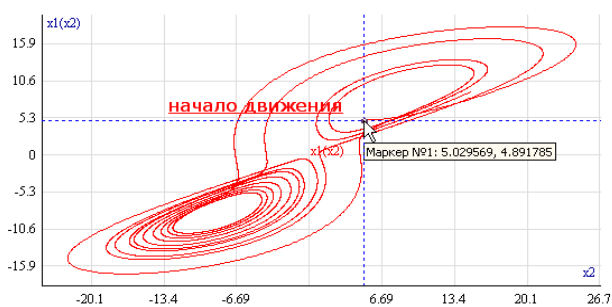


Рис.8. Фазовая траектория для уравнений Лоренца

Следует отметить, что метод фазовой плоскости как метод исследования устойчивости нелинейных систем с использованием инструментальных средств, приобретает новую более совершенную методологию. Действительно, нет необходимости выполнять трудоёмкие вспомогательные вычисления для нанесения изоклин на фазовой плоскости, определяющих вид интегральных кривых и определять направление движения системы. Эти дорогостоящие проблемы автоматически решаются в GRIN благодаря мультиоконнойconcatenation. Так, исследование нелинейной системы, представленной на рис.1, методом фазовой плоскости состоит в получении множества фазовых траекторий при задании различных начальных условий и concatenation окон с этими траекториями (рис.9)

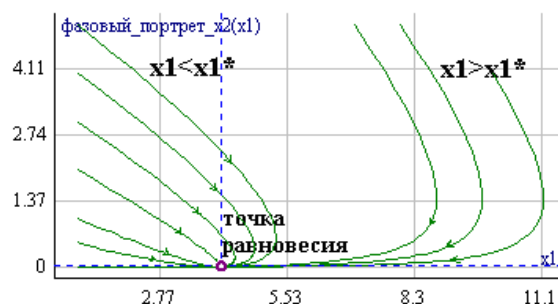


Рис. 9. Исследование системы второго порядка методом фазовой плоскости в ИСМА

Таким образом, разработанные инструментальные средства с графической визуализацией в удобной и наглядной форме демонстрируют устойчивое поведение системы при выбранных параметрах с точкой равновесия, отмеченной трассировкой. В заключении отметим, что ИСМА отличается простотой и естественной формой представления обозначенного класса моделей и не требует от предметного пользователя знаний в области программирования и особенно современных парадигм (UML, ООП и т.д.) и поэтому в списке современных перечисленных инструментов предоставляет пользователю свои функциональные преимущества.

Библиография

- [1] Шорников Ю.В. и др. Инструментальные средства машинного анализа. Свидетельство официальной регистрации программы для ЭВМ № 2005610126. – М.: © Роспатент, 2005.
- [2] А.В. Гордеев, А.Ю. Молчанов Системное программное обеспечение. - СПб.: Питер, 2001. – 736 с.
- [3] Шорников Ю.В. Компьютерное моделирование билиарной системы специализированными средствами// Научный вестник НГТУ - 2004.-№3(18), С. 31-42.
- [4] Бенькович Е.А., Колесов Ю.Б., Сениченков Ю.Б. Практическое моделирование динамических систем – СПб.:БХВ – Петербург, 2002. – 464с.:ил.
- [5] Шорников Ю.В. и др. Инструментальные средства компьютерного моделирования динамических систем// Компьютерное моделирование - 2003: Труды 4 Международной научно-технической конференции - СПб.: Нестор, 2003 - С. 250-257.
- [6] Шорников Ю.В., Афанасьев М.Ю. К задаче о двух баках в системе ИСМА //Компьютерное моделирование-2004: Труды 5 Международной научно-технической конференции. Ч.1- СПб: Нестор, 2004. - С. 163-168.
- [7] H. Elmgvist. Object – Oriented Modeling and Automatic Formula Manipulation in Dymola. SIMS'93, Scandinavian Simulation Society, 1993.
- [8] T.A. Henziger, P.-H. Ho and H. Wong-To: A User Guide to HYTECH. 1996, <http://www.eecs. Berkeley. edu/tah/HYTECH/>

Об авторах

Шорников Юрий Владимирович – к. т. н., доцент Новосибирского Государственного Технического Университета.
 Адрес: г. Новосибирск, 630087, ул. Немировича-Данченко, 136
 E-mail: shornikov@asu.cs.nstu.ru

Никонова Оксана Владимировна – аспирант
Новосибирского Государственного Технического
Университета.
Адрес: г. Новосибирск, 630087, ул. Немировича-Данченко,
136.
E-mail: deepy@mail.ru

Visual modelling of hybrid systems

Abstract

Graphic components of visualization of models of hybrid systems and graphic interpretation of results of the decision in tool system ISMA [1] are considered. The chosen way of graphic visualization of the structural description of models of the designated class corresponds to languages 4GL [2] and gives to the subject user the convenient entrance interface of the description of hybrid models.

Substantial graphic visualization of results of the decision allows not only to exclude routine and labour-consuming procedure of processing of results of decisions, but also gives to the subject user, together with the computing procedures, researches of complex systems new to methodology.

Keywords: Hybrid systems, tool means, structurally - text visualization, language of the description, the graphic interpreter.

About the authors

Shornikov Jury Vladimirovich - Cand.Tech.Sci., the senior lecturer of Novosibirsk State Technical University.
The address: Novosibirsk, 630087, Nemirovich-Danchenko street, 136
E-mail: shornikov@asu.cs.nstu.ru

Nikonova Oksana Vladimirovna - the post-graduate student of Novosibirsk State Technical University.
The address: Novosibirsk, 630087, Nemirovich-Danchenko street, 136.
E-mail: deepy@mail.ru