

Copyright © 2015 by Academic Publishing House *Researcher*

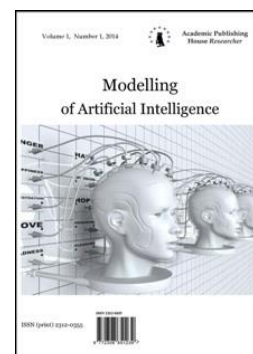
Published in the Russian Federation  
Modeling of Artificial Intelligence  
Has been issued since 2014.

ISSN: 2312-0355

E-ISSN: 2413-7200

Vol. 8, Is. 4, pp. 238-241, 2015

DOI: 10.13187/mai.2015.8.238

[www.ejournal11.com](http://www.ejournal11.com)

UDC 004.89

## Instrumental Analysis of Heterogeneous Hybrid Systems

Yury V. Shornikov

Novosibirsk State Technical University, Russian Federation  
20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073  
Doctor of Technical Sciences, Professor  
E-mail: shornikov@inbox.ru

### Abstract

The description of instrumental analysis of hybrid systems (HS) mode with increased rigidity. The algorithm simulation of hybrid systems based on explicit schemes of Runge-Kutta methods. We formulate the general requirements for a modern modeling tool environment HS. On the example of ISMA shows how to implement some of the requirements.

**Keywords:** stiffness, hybrid system, numerical analysis, simulation.

### Введение

Сложные системы, поведение которых определено дискретной сменой непрерывных режимов или состояний, называют гибридными или событийно-непрерывными [1, 2]. Такие объекты зачастую являются гетерогенными, сочетающими различную физическую природу: механическую, электрическую, химическую, биологическую и др.

В работах, посвященных анализу гибридных систем (ГС), как правило, рассматриваются объекты, режимное поведение которых определяется на решении дифференциально-алгебраических уравнений. Также непрерывное поведение может определяться: обыкновенными дифференциальными уравнениями (ОДУ) с запаздыванием; не разрешенными относительно производной ОДУ; дифференциальными уравнениями в частных производных (ДУЧП) и др. В отличие от традиционных математических моделей, режимное поведение ГС дополнено некоторыми ограничениями [2], как правило, неравенствами, определяющими условия существования режима или условия перехода в другое состояние. Наличие данных ограничений существенно затрудняет аналитическое исследование совокупного поведения ГС. Поэтому в настоящее время актуальным направлением является создание программных средств инструментального моделирования сложных систем. Их разработка становится самостоятельной фундаментальной задачей исследования [3, 4], которая связана с решением комплекса важных научных проблем.

### Результаты

К инструментальным средствам моделирования ГС, предъявляются следующие, иногда противоречивые, требования [1]. Спецификация компьютерных моделей должна осуществляться в форме, доступной как предметному, так и неподготовленному пользователю. Язык спецификации может быть как унифицированным для различных

предметных задач, так и специализированным. Средства трансляции программной модели в исполняемый код должны обладать высоким быстродействием и надежностью, предоставлять содержательную диагностику ошибок. Часто расчетные модели обладают высокой размерностью, являются жесткими и чувствительными к точности расчета. Наличие смены режимов вносит дополнительные ограничения на выбор шага интегрирования. Поэтому алгоритмы численного анализа необходимо проектировать с учетом указанных особенностей ГС. Для представления результатов расчета пользователю необходимо использовать средства графической интерпретации процессов и манипуляции.

Перечисленные требования обосновывают необходимость рассмотрения средств компьютерного моделирования ГС как совокупности инструментов, предназначенных для спецификации, интерпретации, анализа и визуализации поведения сложных динамических систем. Рассмотрим реализацию некоторых компонентов инструментальной среды на примере авторского программного комплекса ИСМА [1, 5].

Спецификация ГС в ИСМА выполняется на универсальном текстовом языке LISMA. Формат записи языковых конструкций соответствует традиционной математической форме, что способствует быстрому освоению системы при моделировании традиционных динамических систем. Кроме того, язык включает возможность спецификации дискретного поведения ГС. На рис. 1 представлена гибридная модель абсолютно упругого отскока тела, записанная на языке LISMA.

```

1  const g =9.81;
2
3  v' = -g;           // Исходный режим
4  y' = v;
5  y (0) = 10;       // Начальные условия
6                      // (по умолчанию - нулевые Н.У.)
7
8  state up (y<0) {   // Состояние "взлет"
9    v' = -g;
10   y' = v;
11   set v = -v;      // Мгновенное действие
12                      // (в момент отскока)
13 } from init, down;
14
15 state down (v<0) { // Состояние "падение"
16   v' = -g;
17   y' = v;
18 } from init, up;
```

Рис. 1. Модель упругого отскока в среде ИСМА

Также язык LISMA\_PDE позволяет описывать уравнения в частных производных. На рис. 2 представлен фрагмент задачи диффузии, где использованы специальные

конструкции для задания пространственных переменных, частных производных и граничных условий.

```

1 // пространственная переменная
2 var x[0,1] arx 20;
3 // дучп
4 u' = D(u, x, 2) + D(u, y, 2);
5 // начальные условия
6 u(0) = exp(rom(x-0.5, 2) + rom(y-0.5, 2)/0.02);
7 // краевые условия Дирихле
8 edge u = 0 on x both;
9 edge u = 0 on y both;
```

Рис. 2. Фрагмент задачи диффузии на языке LISMA\_PDE

Предметно-ориентированными языками являются: язык структурных схем LISMA\_SCH для систем автоматического управления, язык уравнений химической кинетики LISMA\_CHK [6], язык принципиальных схем электроэнергетических систем LISMA\_EPS [7].

Анализ режимного поведения выполняется решателями, построенными на основе явных схем Рунге-Кутта [8] и полуявных (m,k)-методов. Выбор алгоритмов обусловлен особенностями исследуемого класса систем. Для расчета жестких режимов используются алгоритмы с контролем устойчивости вычислений. При анализе систем высокой размерности явные схемы характеризуются менее выраженным ростом вычислительных затрат, чем неявные. Кроме того, использование неявных схем может привести к «проскакиванию» момента смены режима на гладких задачах вследствие выбора большого шага интегрирования. Для задач с разрывами первого рода, характерных для систем с мгновенными переключениями, неявные схемы приводят к некорректным результатам.

В случае, когда размерность задачи превышает десятки тысяч уравнений, использование последовательных методов становится неэффективным. В такой ситуации обсчет локальных состояний ГС с использованием кластерных технологий может значительно повысить качество и эффективность расчетов. В ИСМА включены параллельные реализации алгоритмов RK2ST, RK3ST и др. В качестве технологии распараллеливания использован стандарт MPI в реализации MPJExpress для Java-платформы.

Для управления шагом интегрирования при приближении к границе режима используется алгоритм асимптотического приближения к границе режима ГС [1].

Средства графической интерпретации результатов моделирования в ИСМА обеспечивают построение временных и фазовых диаграмм с возможностью масштабирования, катенации и трассировки.

Таким образом, в работе сформулированы общие требования к современным инструментальным средам моделирования ГС. На примере системы ИСМА показаны способы реализации некоторых требований.

#### Примечания:

1. Новиков Е.А., Шорников Ю.В. Компьютерное моделирование жестких гибридных систем: монография. Новосибирск: Издательство НГТУ, 2012. 450 с.

2. Esposito J., Kumar V., Pappas G.J. Accurate Event Detection for Simulating Hybrid Systems // Springer: Hybrid Systems: Computation and Control (HSCC). 1998. vol. LNCS 2034.
3. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. М.: Наука. 1981. 488 с.
4. Яненко Н.Н., Карначук В.И., Коновалов А.Н. Проблемы математической технологии // Численные методы механики сплошных сред, Новосибирск: ВЦ СО АН СССР. 1977, Т.8, №3. С. 129-157.
5. Шорников Ю.В. Инструментальные средства машинного анализа / Ю.В. Шорников, В.С. Дружинин, Н.А. Макаров, К.В. Омельченко, И.Н. Томилов // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2005610126. М.: Роспатент, 2005.
6. Томилов И.Н. Математическое и программное обеспечение для решения прямых задач химической кинетики // Системы управления и информационные технологии. №3.2(37). 2009. С. 286-290.
7. Шорников Ю.В. Инструментально-ориентированный анализ гибридных систем различной природы / Ю.В. Шорников, Д.Н. Достовалов, И.Н. Томилов // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. 2013. № 3. С. 102-110.
8. Новиков Е.А. Явные методы для жестких систем. Новосибирск: Наука, 1997. 192 с.

### References:

1. Novikov E.A., Shornikov Yu.V. Komp'yuternoe modelirovanie zhestkikh gibridnykh sistem: monografiya. Novosibirsk: Izdatel'stvo NGTU, 2012. 450 s.
2. Esposito J., Kumar V., Pappas G.J. Accurate Event Detection for Simulating Hybrid Systems // Springer: Hybrid Systems: Computation and Control (HSCC). 1998. vol. LNCS 2034.
3. Moiseev N.N. Matematicheskie zadachi sistemnogo analiza. M.: Nauka. 1981. 488 s.
4. Yanenko N.N., Karnachuk V.I., Konovalov A.N. Problemy matematicheskoi tekhnologii // Chislennye metody mekhaniki sploshnykh sred, Novosibirsk: VTs SO AN SSSR. 1977, T.8, №3. S. 129-157.
5. Shornikov Yu.V. Instrumental'nye sredstva mashinnogo analiza / Yu.V. Shornikov, V.S. Druzhinin, N.A. Makarov, K.V. Omel'chenko, I.N. Tomilov // Svidetel'stvo ob ofitsial'noi registratsii programmy dlya EVM № 2005610126. M.: Rospatent, 2005.
6. Tomilov I.N. Matematicheskoe i programmnoe obespechenie dlya resheniya pryamykh zadach khimicheskoi kinetiki // Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii. №3.2(37). 2009. S. 286-290.
7. Shornikov Yu.V. Instrumental'no-orientirovannyi analiz gibridnykh sistem razlichnoi prirody / Yu.V. Shornikov, D.N. Dostovalov, I.N. Tomilov // Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2013. № 3. S. 102-110.
8. Novikov E.A. Yavnye metody dlya zhestkikh sistem. Novosibirsk: Nauka, 1997. 192 s.

УДК 004.89

## Инструментальный анализ гетерогенных гибридных систем

Юрий Владимирович Шорников

Новосибирский государственный технический университет, Российская Федерация  
630092, г. Новосибирск, пр-т Карла Маркса, 20  
Доктор технических наук, профессор  
E-mail: shornikov@inbox.ru

**Аннотация.** Дано описание инструментального анализа гибридных систем(ГС) с режимами повышенной жесткости. Алгоритм моделирования гибридных систем основан на явных схемах типа Рунге–Кутты. В работе сформулированы общие требования к современным инструментальным средам моделирования ГС. На примере системы ИСМА показаны способы реализации некоторых требований.

**Ключевые слова:** жесткость, гибридная система, численный анализ, моделирование.