

Нечеткая формальная система управления моделированием нестационарной динамики подводных объектов

Ю. И. Нечаев, Д. В. Никущенко

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

Санкт-Петербург, Россия

nechaev@mail.ifmo.ru

Аннотация. Обсуждается теоретический базис построения нечеткой формальной системы управления моделированием нестационарной динамики подводных объектов (ПО). Процедуры нечеткого управления реализованы в функциональных пространствах современной теории катастроф в режиме экстренных вычислений. Наибольший интерес представляют задачи контроля смены состояний, резких скачкообразных отклонений и критических ситуаций в поведении ПО при различном уровне внешних возмущений.

Ключевые слова: нейродинамические модели; активные динамические системы; подводный объект

I. ВВЕДЕНИЕ

Создание новых перспективных технических средств освоения океана определяется общими тенденциями развития техники и технологий современного общества. Принципы обработки информации при выборе решений предусматривают использование методов и средств информационного и программного обеспечения процесса функционирования ПО новых поколений [1]–[5].

Основная роль в интеграции новых подходов и технических решений нестационарной динамики ПО принадлежит имитационному моделированию. Как показывает практика, в связи с ограниченным объемом данных физического эксперимента при разработке сложных управленческих решений все большее внимание уделяется использованию методов компьютерного моделирования на основе достижений искусственного интеллекта (ИИ). Принцип сложности, реализуемый при построении и интерпретации математических моделей, приводит к необходимости пересмотра традиционных подходов к интерпретации решений [4].

Ниже рассматривается проблема создания многофункционального программного комплекса МПК нестационарной динамики ПО, функционирование которого обеспечивается на основе нечеткой формальной системы (НФС) [1]. Система управления и формальный аппарат этой системы разработаны в рамках теоретических принципов нестационарной динамики в режиме экстренных вычислений (Urgent Computing – UC) [5].

II. КОНТРОЛЬ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ДИНАМИКИ ПО

Синтез моделей обработки информации на основе СТК [3] определяет методы исследования динамики ПО в различных ситуациях. В этих приложениях актуальны проблемы создания эволюционно-самоорганизующихся баз знаний и систем адаптивного синтеза информационно-вычислительных конфигураций системы ИП на основе НФС (рис. 1).



Рис. 1. Поток информации, реализующий концепцию ИП при функционировании МПК

В рамках такой интеграции сочетаются строгие формальные методы обработки информации анализа при решении задач динамики ПО с эвристическими методами и моделями, базирующимися на достижениях современной теории катастроф и интеллектуальных технологий (рис. 2).

III. НЕСТАЦИОНАРНАЯ ДИНАМИКА ПО В СРЕДЕ СТК

Среда МПК включает ряд взаимодействующих между собой модулей в соответствии с общей стратегией функционирования. Помимо традиционных для систем ИП модулей система содержит модули имитации, анализа и прогноза проблемных ситуаций (моделирование и визуализация), организации различных видов интерфейса.

Концептуальная модель обработки информации при функционировании системы ИП в эволюционирующей среде МПК (рис. 2) имеет вид:

$$S(U, DM) = (P(C) : T(U) \times Q(DB) \times X(In) \rightarrow Y(R)), \quad (1)$$

где $S(U, DM)$ – множество стратегий управления и принятия решений на основе НФС; $P(C)$ – множество элементов, реализующих принцип конкуренции; $T(U)$ – рассматриваемые моменты времени при интерпретации решений; $Q(DB)$ – элементы оперативной базы данных; $X(In)$ – значения вектора входных воздействий; $Y(R)$ – множество правил обобщения информации.



Рис. 2. Концептуальная модель МПК

Анализ задач, решаемых в рамках ИП на основе динамической модели СТК [3], позволяет выделить ряд особенностей:

- сложность алгоритмов и большое количество исходных данных Big Data [4] с существенно различной структурой;
- жесткие требования к производительности программной системы, необходимость вычислений в интерактивном режиме УС [5];
- операции с множеством объектов гибридного моделирования [4] и отношений между ними.

Реализация проектных решений достигается с помощью геометрической и аналитической интерпретации динамических ситуаций в виде следующих функциональных пространств [3]:

$$R(Brch, t) \times R(U, t) \rightarrow R(Cat); \quad (2)$$

где $R(Brch, t)$ и $R(U, t)$ – пространства поведения и управления СТК $Y(Cat)$.

Геометрическая интерпретация динамической модели СТК отображается в виде множеств $B(\theta, t)$, $GZ(\theta, t)$, $C(\theta, t)$, которые являются интегральными характеристиками процесса взаимодействия ПЛ с внешней средой при различном уровне внешних возмущений.

При построении этих множеств учитывается реальная картина поведения ПО, определяющая модель взаимодействия в исследуемой ситуации.

Аналитическая интерпретация динамической модели СТК [3] отображает среду эволюционной динамики на базе следующего представления:

$$R(\tilde{N}R) \times R(CI) \times R(Syn) \times A(ND) \rightarrow A(Cat); \quad (3)$$

где $R(CR)$ – критериальные уравнения, $R(S, H)$ – теория стохастических и хаотических систем; $R(Syn)$ – синергетическая парадигма; $A(ND)$ – теории нейродинамических систем.

Особую актуальность приобретает анализ и синтез динамики ПО на основе нелинейных нестационарных систем [4]. Теоретическая база классических моделей ПО совершенствуется в направлении решения сложных проблем эволюционной динамики в различных научно-технических приложениях. При этом выделяются подмножества допустимых и запрещенных решений, которые определяются соотношениями:

$$\{R_A(t)\}_k^\beta = F_\beta(\{R_A(t)\}, R_A(t)_k, k); \quad (4)$$

$$\{R_A(t)\}^\beta = \bigcup_{k=1}^q \{R_A(t)_k\}^\beta; \quad (5)$$

$$\{P_A(t)\}_l^\alpha = \{P_A(t)\} \setminus \{R_A(t)\}^\beta; \quad (6)$$

$$(k = 1, \dots, q, l = 1, \dots, p).$$

Здесь $\{R_A(t)\}_k^\beta$ и $\{R_A(t)\}^\beta$ – подмножества запрещенных решений для всей системы и для отдельных подсистем; $\{P_A(t)\}_l^\alpha$ – подмножество допустимых решений.

МПК обрабатывает поток информации в интерактивном режиме в зависимости от особенностей рассматриваемой задачи. Реализация этих методов и технологий достигается путем применения специально созданной базы данных интеллектуальной поддержки процесса моделирования и обработки информации. База данных программного комплекса МПК может быть интегрирована в общее хранилище данных, обеспечивающее единое информационное пространство для организации ИП вычислительных процедур.

IV. МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ПО В СРЕДЕ МПК

Разработка и формализация модели динамики ПО в среде МПК состоит в формальном представлении и концептуализации знаний исследуемой предметной

области, предполагающей описание множества объектов и понятий, знаний о них и связей между ними.

Определение 1. *Предметная область* – это система взаимодействия ПО с внешней средой (интерпретирующая система), подлежащая отражению на основе СТК и интеллектуальных технологий с целью получения новой информации о ее свойствах. Таким образом, при формализации знаний среда МПК интерпретируется как часть реального мира, имеющая определенную семантическую локализацию – пространственную, временную, функциональную.

Определение 2. *Семантическая локализация* связана с определением границ раздела в семантическом пространстве общей проблемной области. Входящие в проблемную область компоненты можно рассматривать как множество присущих им семантических свойств:

$$M_{RP-1} = \{S_{11}, S_{12}, \dots, S_{1m}\}, \dots, M_{RP-N} = \{S_{N1}, S_{N2}, \dots, S_{Nm}\}, \quad (7)$$

При этом имеем пересечение множеств семантических свойств различных областей

$$M_{RP-1} \cap \dots \cap M_{RP-N} \neq 0, \quad (8)$$

что позволяет записать *критерий локализации* в семантическом пространстве

$$M_{RP-1} \cap \dots \cap M_{RP-N} = 0, \quad (9)$$

Необходимым критерием существования множеств M_{RP} является *различимость* ее свойств в представленной семантической локализации. Для множества свойств S данной модели определяется ее однозначная идентификация

$$\forall s, s \in S \Rightarrow M_{RP}. \quad (10)$$

При этом считается, что свойства остаются тождественными себе на время, достаточное для построения интерпретирующей модели и ее использования в формализованной системе знаний НФС при реализации *аспектно-ориентированной* технологии моделирования и программирования.

IV. СИНТЕЗ ЗНАНИЙ В СИСТЕМЕ ИП

Организация знаний в среде МПК и функциональном блоке системы ИП связана с представлением знаний в отдельных подсистемах (координатные знания) и о системе в целом (синтетические знания). Взаимосвязь координатных и синтетических знаний определяют условия (принципы) их согласования. Практическая реализация технических решений при интеграции знаний потребовала создания технологии согласования сетей, моделирующих «коллективный интеллект». Описание знаний различных предметных областей, составляющих общую проблемную область МПК достигнуто с помощью «функции выбора» (ФВ), которая задается на «полях выбора» и является теоретико-множественным

отображением набора ситуаций, используемых в предметной области динамики ПО. Ситуации фиксируются как множество допустимых решений в соответствующих подмножествах эффективных решений.

В терминах сложных систем координатные ФВ определяют знания в рамках отдельных подсистем и общую концепцию интегрированной системы знаний, а синтетические ФВ – описание требований к системе в целом. Общие условия совместимости баз знаний, отвечающие содержательному классу задач ИП, представляют собой отношения, ограничивающие операции синтеза исследуемой предметной области. Выделенная таким образом операция синтеза представляется в виде вычислительных процедур информационной модели НФС.

Реализация операции синтеза знаний связана с организацией системы интеграции знаний ИП, предполагающей решение прямых и обратных задач. Прямые задачи операции синтеза знаний связаны с получением новых знаний (правдоподобные гипотезы – синтетические знания) на основе знаний экспертов по отдельным аспектам проблемы и правилам согласования. В обратных задачах по знаниям о системе в целом устанавливаются согласованные знания о ее подсистемах. Формулировка концепции преобразования координатных знаний в синтетические определяет решение задач и условий их согласования.

Формальная система синтеза знаний в интегрированной среде МПК обеспечивает ИП в наиболее сложных ситуациях с использованием параллельных алгоритмов оценки последствий выбора альтернатив и преодоление сложности принятия решений.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, разработка и совершенствование теоретических основ моделирования NN-систем – одно из наиболее сложных направлений исследования эволюционной динамики в условиях нестационарных ветроволновых возмущений, где традиционные методы оценки взаимодействия теряют физический смысл, а понятие о потере остойчивости (опрокидывании) требует уточнения в зависимости от конфигурации волнового поля и физических эффектов взаимодействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Барсегян А.А., Куприянов М.С., Степаненко В.В., Холод И.И. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2004. 336 с.
- [2] Колмогоров А.Н. Теория информации и теория алгоритмов. М.: Наука, 1987.
- [3] Нечаев Ю.И. Теория катастроф: современный подход при принятии решений. Санкт-Петербург: Арт-Экспресс, 2011. 392 с.
- [4] Нечаев Ю.И. Современные проблемы информатики и вычислительной техники. Санкт-Петербург: Арт-Экспресс, 2018. 384 с.
- [5] Urgent Computing Workshop 2007. Argonne National Lab, University of Chicago, April 25-26, 2007.