

Многорежимный принцип нечеткого управления аварийным судном в нестационарной среде

Ю. И. Нечаев, О. Н. Петров

ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
petr_oleg@mail.ru

Аннотация. Обсуждается проблема нечеткого многорежимного управления на основе современной теории катастроф. Структура системы представляется на основе концепции экстренных вычислений, реализующих контроль динамических ситуаций в режиме нечеткого управления. Многорежимный принцип управления реализован с учетом неопределенности текущей ситуации. Приведены примеры использования разработанной вычислительной технологии при обеспечении безопасности морских динамических объектов.

Ключевые слова: нестационарная среда; нечеткое управление; морской динамический объект

I. ВВЕДЕНИЕ

Развитие теоретических принципов организации динамической структуры программных сред экстренных вычислений (Urgent Computing – UC) привело к созданию интегрированных комплексов поддержки принятия решений (ППР) [1] – [7]. Наибольший интерес в рамках рассматриваемого приложения представляет интеллектуальная система (ИС) нового поколения, реализующая организацию и интеграцию интеллектуальных технологий и высокопроизводительных вычислений на основе современной теории катастроф [2]. Интеграция знаний произведена на высоком уровне абстракции с возможностью выполнения практически любого сценария многорежимного

управления при поддержке принятия решений (ППР) с помощью нечеткой формальной системы (НФС) (рис. 1).

В отличие от бортовых ИС различных приложений [1], предлагаемая структура предусматривает создание *интеллектуального ядра*, функциональные элементы которого обеспечивают генерацию концептуальных решений путем формализации задач системной интеграции, определяющих общие свойства математических объектов – связности, сложности и устойчивости. Моделирование и визуализация текущих ситуаций в процессе эволюции системы формируют процедуры ППР с целью выработки нечетких управляющих воздействий по обеспечению безопасности аварийного судна как морского динамического объекта (МДО) при возникновении критических режимов в нестационарной среде.

Интегрированный комплекс ИС предназначен для разработки оперативных и долгосрочных прогнозов и программных исследований путем автоматической свертки оперативной информации в модель функционирования в режиме UC, а также решение задач экспресс-анализа аварийной ситуации независимо от времени развития и состояния среды ветроволновых возмущений. При этом обеспечивается анализ и прогноз развития критических режимов в условиях неопределенности, особенно системных сценариев, позволяющих подчинить обработку информации долгосрочным целям и стабильности функционирования ИС.



Рис. 1. Обобщенная структура ИС: Ф-1, Ф-2, Ф-3 – функции идентификации, аппроксимации и прогноза

II. ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС НЕЧЕТКОГО МНОГОРЕЖИМНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Основная роль в интеграции новых подходов и технических решений обеспечивается программным комплексом ИС, функционирующем как открытая развивающаяся активная динамическая система (АДС) [3], обеспечивающая контроль аварийного МДО в режиме УС. Ядром ИС является многопроцессорный вычислительный комплекс, представляющая собой интеграцию динамической базы знаний и системы ППР, функционирование которых обеспечивается НФС. Оперативный контроль динамических ситуаций поддерживается путем взаимосвязи с системой датчиков измерительной информации и сервисно-ориентированной архитектурой прикладных программ (рис. 2, 3) [5].

На рис. 2 интегрируются модели контроля аварийных ситуаций $M_1 - M_5$ в рамках пяти классических случаев затопления [3], а на рис. 3 – результат интеграции программных средств гибридного моделирования: стандартных и нейродинамических моделей в рамках концепции мягких вычислений [7].

Выработка *стратегических решений* при анализе и прогнозе динамических ситуаций позволяет формализовать фундаментальную базу системной интеграции методов и средств информационной и аналитической поддерж-

ки при выработке эффективных управленческих решений на основе НФС. Общенаучная основа для решения таких задач определяется концепцией интеллектуализации и позволяет сформировать приоритетные направления комплексных междисциплинарных исследований поведения аварийного МДО в критических режимах.

Разработанный подход позволяет реализовать переход от содержательной постановки задач интерпретации к математической на основе прикладных программ СОА. В результате открываются возможности обеспечения реализации программно-аппаратной платформы под задачи различной сложности и объема вычислений.

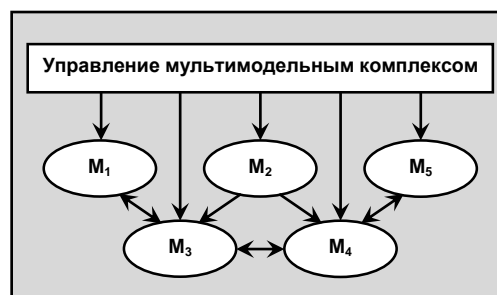


Рис. 2. Мультимодельный комплекс (ММК)

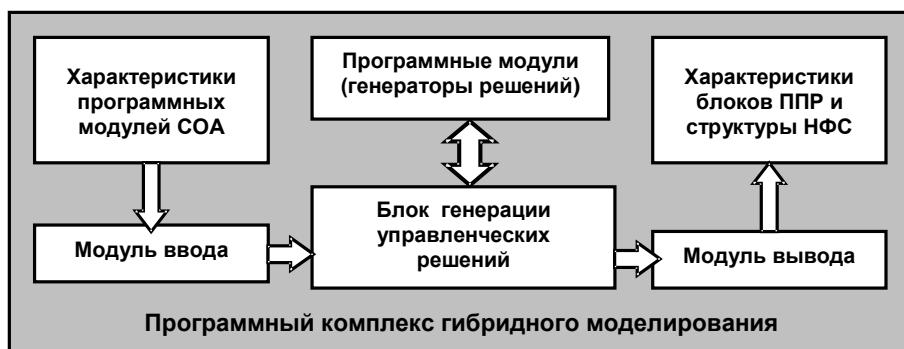


Рис. 3. Функциональные компоненты гибридного моделирования (ГМ)

III. МОДЕЛЬ НЕЧЕТКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Представление модели нечеткого управления обеспечивается с помощью переменной состояния $u \in A$ из допустимого множества функциональных элементов A интерпретирующей системы. Состояние системы взаимодействия в рассматриваемый момент времени t зависит от управляющих воздействий $u \in U$ НФС. На множестве $U \times A$ задан функционал $\Phi(u)$, определяющий эффективность функционирования ИС. Задача нечеткого управления заключается в выборе такого допустимого управления, которое при известной реакции системы максимизирует значение эффективности [3]

$$\Phi(u) \rightarrow \max (u \in U). \quad (1)$$

Организация ИС, как АДС, представляется в следующем виде:

$$ADS = \langle s \in S, Str(I, U), G(Str, Dec), Int(F), P(F, E), C(S), I(Dec), U(Dec) \rangle, \quad (2)$$

где $s \in S$ – элементы системы; $Str(I, U)$ – структура системы в виде совокупности информационных и управляющих связей; $G(Str, Dec)$ – порядок функционирования (оценка состояния МДО, генерация стратегий и выбор решения), $Int(F)$ – интервал функционирования; $P(FE)$ – предпочтения функциональных элементов; $C(S)$ – допустимые множества состояний МДО; $I(Dec)$ – информация на момент принятия решения; $U(Dec)$ – механизмы управления и правила принятия управленческих решений.

Пространство знаний (2) определяет построение логической системы управления основе НФС. Структура знаний представляет собой отображение $f: T \rightarrow X$, определяемое как сеть топологического пространства (семантиче-

ская, иерархическая, динамическая), где T – направленное множество. Сеть включена во множество $B \subset X$, если существует $t_0 < T$ такое, что

$$(t_0 < t) \Rightarrow [f_t \in B]. \quad (3)$$

Выделение функциональных зависимостей и построение модели функциональных отношений при интерпретации поведения МДО осуществлено на основе сети параметров, определяющей модели знаний на разных уровнях иерархии (рис. 4). Дуги сети отражают факт наличия функциональной зависимости, а каждое функциональное отношение имеет несколько входов и только один выход. Сеть функциональных зависимостей рассматривается как иерархия слоев, построенная на множестве параметров, описывающих вычислительный комплекс ИС на заданном уровне абстрагирования.

На содержательном уровне сеть зависимостей параметров интерпретируется как сценарий, реализующий текущую ситуацию, и как дерево целей, формирующее подцели (значения промежуточных и базовых параметров), достижение которых связано с реализацией основной цели моделирования для целевых параметров взаимодействия.

IV. МНОГОРЕЖИМНЫЙ ПРИНЦИП НЕЧЕТКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Функциональные элементы ИС интегрируются в рамках виртуальной программной среды и поддерживают моделирование и визуализацию сложных динамических картин взаимодействия при различном уровне внешних возмущений.

Особенность виртуальной среды состоит в интеграции математического описания сложного взаимодействия в

условиях многорежимного принципа нечеткого управления. Структура используемых моделей интерпретации эволюционной динамики представляет собой отображение $f : U \rightarrow U^*$ интегрированной модели контроля текущей ситуации.

А. Определение 1.

Отображение f представляется в виде направленного множества:

$$U(t_0, t_k) \Rightarrow U^*(R_1, R_2, R_3)[f_t \in \Omega]. \quad (4)$$

где $U(t_0, t_k)$ – управление на интервале реализации; $U^*(R_1, R_2, R_3)$ – функция интерпретации режимов функционирования, формирующая управление в зависимости от сложности и неопределенности контролируемой ситуации; Ω – область допустимых значений параметров взаимодействия.

В. Определение 2.

Функции интерпретации для выделенных режимов R_1, R_2, R_3 определяются кортежем [2],[3]:

$$U^*(R_1, R_2, R_3) = \langle U_1(ST, MF, ANN), U_2(ST, NF, E(ANN)), U_3(PR) \rangle, \quad (5)$$

где $U_1(\bullet)$, $U_2(\bullet)$, $U_3(\bullet)$ – структуры управления, реализующие конкурирующие вычислительные технологии на основе стандартной ST , нечеткой (матрица MF), нейросетевой ANN , нейронечеткой NF моделях, нейросетевого ансамбля $E(ANN)$ и модели вывода по прецеденту PR .

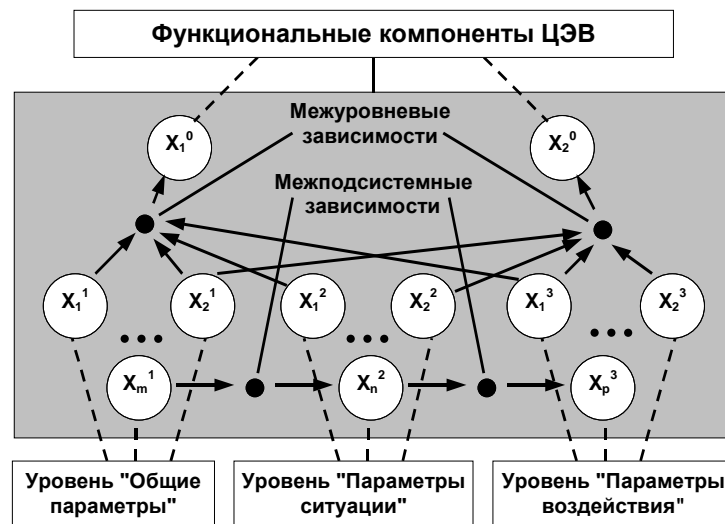


Рис. 4. Сеть функциональных зависимостей параметров, определяющих поведение МДО в текущей ситуации

V. СИСТЕМА НЕЙРОНЕЧЕТКОГО КОНТРОЛЯ

На основе выражений (4), (5) осуществляется построение системы нейронечеткого контроля поведения МДО. В зависимости от особенностей взаимодействия, определяемых выделенными режимами движения, используются различные структуры системы [2], [3]. Наиболее простая структура реализована на базе нечеткой модели с коррекцией правил. Расширенная структура дополняется блоком,

содержащим управляющий контроллер. С помощью контроллера реализуется управление адаптивной системой на основе компонент, обеспечивающих «подстройку» нейронечеткой системы логических правил с использованием нейросетевого ансамбля и базы знаний прецедентов. В особо сложных ситуациях осуществляется логический вывод по прецеденту [3] с реализацией динамической картины взаимодействия (рис. 5).

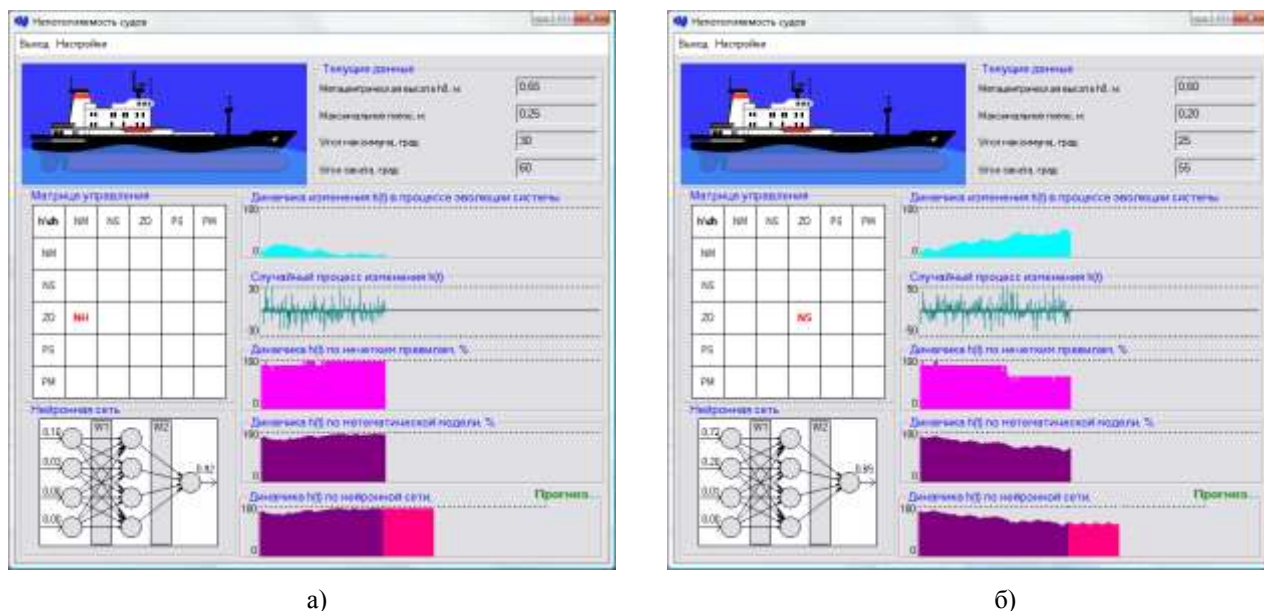


Рис. 5. Нейронечеткий контроль движения МДО к целевому аттрактору (а) и в случае возникновения катастрофы (б)

На изображениях окна слева показаны матрица нечеткого управления и нейронная сеть, реализующая функционирование нейронечеткой системы, а справа – результаты моделирования ситуации, при этом на первых двух дорожках указано изменение исследуемой характеристики (метацентрическая высота h), а также реализуемый случайный процесс ее изменения ($h(t)$). В качестве конкурирующих вычислительных технологий использованы результаты нечеткого, нейросетевого и математического моделирования на основе системы дифференциальных уравнений [3].

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Синтез системных решений и моделей ММК в рамках СОА при интерпретации поведения МДО на основе концепции УС позволил выделить структуры знаний и сформулировать общий подход к построению теоретического базиса проблемы обеспечения безопасности МДО при различном уровне внешних возмущений. Формальный аппарат интерпретации обеспечивает реализацию процедур генерации альтернатив и выбора управляющих воздействий на основе интеграции компонент пространств поведения и управления в функциональном пространстве динамической теории катастроф, а аксиоматический базис

интерпретации решений – строгость математического описания процедур преобразования информации на различных этапах эволюции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Бортовые интеллектуальные системы. Ч.1. Авиационные системы. Ч.2. Корабельные системы. М.: Радиотехника, 2006. Ч.3. Системы корабельной посадки летательных аппаратов. М.: Радиотехника, 2008.
- [2] Нечаев Ю.И. Теория катастроф: современный подход при принятии решений. Санкт-Петербург: Арт-Экспресс, 2011.
- [3] Нечаев Ю.И., Петров О.Н. Непотопаемость судов: подход на основе современной теории катастроф. Санкт-Петербург: Арт-Экспресс, 2014.
- [4] Новиков Д.А., Петраков С.Н. Курс теории активных систем. М.: СИНТЕГ, 1999.
- [5] Lublinsky B. Defining SOA as an architectural style. 9 January 2007. [Электронный ресурс]: <http://www.ibm.com/developerworks/architecture/library/ar-soastyle/>
- [6] Urgent Computing Workshop 2007. Argonne National Lab, University of Chicago, April 25-26, 2007. [Электронный ресурс]: <http://spruce.teragrid.org/workshop/urgent07.php>
- [7] Zadeh L. Fuzzy logic, neural networks and soft computing // Commutation on the ASM-1994. Vol.37. №3, p.p.77–84.