

Динамическая визуализация поведения морских объектов в нестационарной среде

Ю. И. Нечаев¹, К. В. Пшеничная², А. С. Тобольченко³
 Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
¹nechaev@mail.ifmo.ru, ²pshenichnaya@mail.ru, ³tobolchenko@gmail.com

Аннотация. Рассматривается динамическая визуализация поведения морских объектов (МО) в нестационарной среде на основе мультифункционального программного комплекса (МПК), управляемого нечеткой формальной системой (НФС) в режиме экстренных вычислений (Urgent Computing – UC).

Ключевые слова: динамическая визуализация; нечеткая формальная система; мультифункциональный программный комплекс; экстренные вычисления

I. ВВЕДЕНИЕ

Развитие методов управления информационными процессами при разработке системы динамической визуализации осуществляется на базе достижений современной компьютерной математики, формирующей новое направление в обеспечении безопасности МО при различном уровне внешних возмущений. Ассоциативный аппарат этой технологии позволяет организовать процесс управления нестационарной динамикой МО на основе интеграции знаний, методах программирования в ограничениях и аппарата недоопределенных моделей [2].



Рис. 1. Концептуальный базис динамической визуализации

Ниже рассмотрены общие принципы построения и использования интегрированной среды нестационарной динамики, обеспечивающие на основе НФС интеллектуальную поддержку (ИП) при управлении

процессом моделирования и динамической визуализацией сложного взаимодействия МО с внешней средой. Интерпретация текущих ситуаций в среде МПК обеспечивается с помощью операций абстрагирования и идеализации, представлению текущей ситуации в виде динамического образа (ДО) интегрированной среды на основе формального аппарата теории стратегического планирования [3].

II. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ БАЗИС ДИНАМИЧЕСКОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Совокупность технологий и методов интерпретации, формирующих ядро (сущность) концептуального базиса динамической визуализации [3], определяют парадигму вычислительного интеллекта при реализации МПК, функционирующего в режиме UC в мультипроцессорной вычислительной среде под управлением НФС [1] (рис. 2).



Рис. 2. Виртуальная среда динамической визуализации

Среди компьютерных технологий, используемых в системе динамической визуализации в сложной динамической среде, следует выделить структуры:

$$MCT = \langle DM, BD, DH, DS \rangle, \quad (1)$$

где MCT – область знаний, интегрирующая вычислительные технологии [13]; DM (Data Mining) [1] – алгоритмы анализа данных и выявление «скрытых» закономерностей; BD (Big Data) [3] – методы и модели, определяющие поиск и формирование сложных, больших, разбросанных, меняющихся массивов данных; DH (Digital Hummanity) – процедуры, определяющие построение массивов структурированных данных на основе неструктурированной информации; DS (Data Science) – работа с данными, направленная на понимание «скрытых» закономерностей, формирование нового знания.

Рассматривая структуры (1) с позиции создания формирующего ядра интерпретации знаний в системе ИП:

- выявление общих закономерностей эволюционной динамики при интерпретации взаимодействия ПО в пространствах поведения и управления динамической модели современной теории катастроф (СТК);
- построение комбинаций данных с целью создания интерпретирующих структур (функций интерпретации) для поиска и выделения массивов данных, определяющих формирование процедур идентификации, аппроксимации и прогноза на интервале реализации;
- интеграция системы динамической визуализации «скрытых» закономерностей и результатов анализа и моделирования процессов эволюционной динамики в условия неопределенности и неполноты исходной информации.

Представленные направления интерпретации знаний определяют наиболее важные аспекты приложения достижений современной компьютерной математики (СКМ) при функционировании МПК в интегрированной среде высокопроизводительных вычислений.

$$\text{Inf}(CAM) = \langle D(O), S(A), T(C_R, O) \rangle, \quad (2)$$

где структура $\text{Inf}(Cam)$ определяет информационную интеграцию данных прикладного моделирования в рамках широкого круга задач ИП в динамических ситуациях: оценка качества моделей $D(Q)$ и их структурной адекватности $S(A)$; использовании множества альтернативных решений и методов многокритериальной оптимизации $T(C_R, O)$ при оценке функциональности моделей.

III. ПРОСТРАНСТВО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СРЕДЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

При интерпретации нестационарной динамики ПЛ в среде динамической визуализации динамики рассматривается двухуровневое пространство взаимодействия. Модель взаимодействия в пространствах поведения R^r и управления R^n СТК формирует множества $\Omega(\text{Beh})$ и $\Omega(\text{Con})$ со следующей характеристической функцией [3]:

$$\Omega(\text{Int}) = \begin{cases} \Omega(\text{Beh}) \in R^r; \\ \Omega(\text{Con}) \in R^n, \end{cases} \quad (3)$$

где $\Omega(\text{Beh})$ – множество, отображающее модели идентификации, аппроксимации и прогноза; $\Omega(\text{Con})$ – множество альтернатив, выбора предпочтительной технологии и выработки управляющих воздействий.

Синтез генерируемых решений в среде динамической визуализации определяется в соответствии со структурой:

$$\begin{aligned} E \cap \overline{X \cup Y} &= (E \cap \bar{X}) \cup (E \cap \bar{Y}), \\ E \cap \overline{E \cap X} &= E \cap \bar{X}. \end{aligned} \quad (4)$$

где E – заданное множество преобразования информации; X – подмножество множества E , определяющее аксиоматический базис и формальный аппарат ИП; $E \cap \bar{X}$ – множество замыкания X относительно E ; Y – множество в структуре E , реализующее процедуры обработки информационных объектов на основе фрактальных и когнитивных отображений.

Процедуры эволюционной динамики отображаются в виде фрактальных представлений и граф-структур [3] с использованием преобразований, включающих объединение и пересечение отображений. Операции преобразования интегрированной структуры отображения $G_0 \rightarrow G_i$ ($i = 1, \dots, n$) определяется в зависимости от начальной организация системы динамической визуализации G_0 .

Разработанные концептуальные решения в системе динамической визуализации предполагают рассмотрение поведения МО как сложной, открытой активной динамической системы (АДС), представляющей собой совокупность динамических структур, согласованно выполняющих операции анализа и прогноза критических ситуаций. Реализация новой вычислительной технологии на основе методов современной компьютерной математики потребовала широкого использования процедур моделирования и высокопроизводительных средств обработки информации [1].

IV. СТРАТЕГИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Модель динамической визуализации ψ_a представляется в следующем виде [4]:

$$\psi_a = \langle x, y, z, f, g \rangle, \quad (5)$$

$$\langle x_0(t), \dots, x_k(t) \rangle, \langle y_1(t), \dots, y_m(t) \rangle, \langle z_1(t), \dots, z_n(t) \rangle, \quad (6)$$

$x=x(t)$, $y=y(t)$ – входные и выходные данные, представляющие собой конечное множество функционального состояния ситуации; $z(t)$ – переменная состояния, характеризующая конечное множество функций, значения которых в заданный момент времени позволяет определять выходные характеристики модели ψ_a ; f и g – функционалы (глобальные уравнения системы), задающие текущие значения выходного сигнала $y(t)$ и внутреннего состояния $z(t)$:

$$y_1(t) = g(z(t), x(t)), \quad (7)$$

$$z(t) = f(z(t_0), x(\tau), \tau \in [t_0, t)), \quad (8)$$

Соотношения (7) и (8) называют уравнением наблюдаемости и уравнением состояния на основе аксиом:

Аксиома 1. Для системы (5) определены пространство состояний Z , в которых находится система, и параметрическое пространство T , в котором задано поведение объектов ситуации.

В связи с этим математическое описание (7) называют динамической системой, так как оно отражает способность системы изменять состояние в параметрическом пространстве T .

Аксиома 2. Пространство состояний системы динамической визуализации может находиться в разных конфигурациях в зависимости от параметров, определяемых соотношениями (6).

Аксиома 3. Система взаимодействия, определяемая моделью динамической визуализации, обладает свойством функциональной эмерджентности (целостности). Это свойство системы S не сводится к сумме свойств составляющих ее элементов и не выводится из них:

$$S \neq \sum_1^m y_i, \quad (9)$$

где y_i – характеристика системы; m – число систем.

Формализация задачи динамической визуализации при построении образов в пространстве решения R^2 предполагает минимальное искажение структурных связей при отображении векторов из пространства R^L в R^2 . Условие преобразования исходной структуры F_0 в структуру ее образов F_0^* имеет вид [1]

$$E = \min_W (F_0, F_0^*). \quad (10)$$

Здесь $E(\cdot)$ – функционал, определяющий рассогласование структур; W – совокупность частных условий и критериев отображения. С учетом особенностей восприятия и обработки данных графический образ F_0^* представляется матрицей, позволяющей построить изображение, отвечающее физическому содержанию задачи и реализуемой динамической сцене.

V. ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ МО В НЕСТАЦИОНАРНОЙ СРЕДЕ

Рассмотрим практические приложения динамической визуализации. Гидродинамическая модель волнения в рамках концепции «климатического спектра», задается в виде уравнения баланса волновой энергии [2]:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial N}{\partial \varphi} \dot{\varphi} + \frac{\partial N}{\partial \theta} \dot{\theta} + \frac{\partial N}{\partial k} \dot{k} + \frac{\partial N}{\partial \beta} \dot{\beta} + \frac{\partial N}{\partial \omega} \dot{\omega} = G. \quad (11)$$

Здесь N — спектральная плотность волнового действия как функция от широты φ , долготы θ , волнового числа k и угла β между направлением волнового вектора и параллелью, а также от частоты ω и времени t . В системе динамической визуализации поле морского волнения представляется в виде реальной морской поверхности (рис. 3).

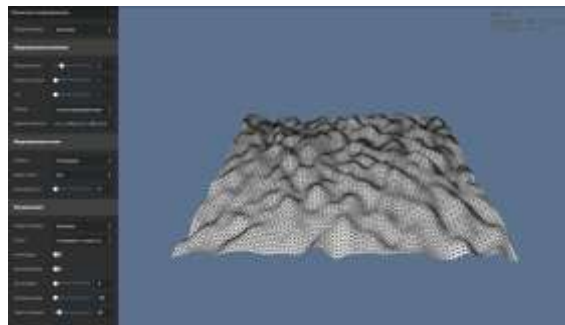


Рис. 3. Режим моделирования волнения

Слева отображается панель, с помощью которой настраиваются параметры моделирования нестационарной среды имитации волнения. Интегрируя на каждом шаге систему уравнений нестационарной динамики МО в точке с координатами центра поля, получаем значения перемещений, соответствующих наиболее важным с точки зрения безопасности судна видами качки – бортовой θ (Rolling), килевой ψ (Pitching) и вертикальной ζ (Heaving) качки (рис. 4).



Рис. 4. Режим моделирования нестационарной динамики

Основное назначение программы динамической визуализации – отображение результаты моделирования поведения МО в нестационарной среде. Динамическая модель ситуации реконструируется путем изменения управляющих воздействий – курсового угла волны φ и скорости МО V_S . В зависимости от интенсивности ветра U и волнения W для различных V_S и φ происходит непрерывное изменение показателей мореходности, в том числе и текущих значений амплитуд качки – θ, ψ, ζ [2].

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эволюция программных технологий в системе динамической визуализации охватывает все новые прикладные области нестационарной динамики ПЛ, отражая различный характер формирования управляющих воздействий в МПК. На низшем уровне иерархии программная технология обеспечивает сбор, обработку, хранение и поиск информации. На более высоком уровне иерархии программа включает задачи синтеза процедур динамической визуализации в системе ИП.

Таким образом, процессы преобразования информации в системе моделирования и динамической визуализации носят сложный и разноплановый характер, а программное обеспечение определяется усложнением и повышением наукоемкости функциональных модулей МПК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Нечаев Ю.И. Теория катастроф: современный подход при принятии решений. Арт-Экспресс. 2011. 292 с.
- [2] Нечаев Ю.И. Современные проблемы информатики и вычислительной техники. Санкт-Петербург: Арт-Экспресс: 2018. 384 с.
- [3] Urgent Computing Workshop 2007. Argonne National Lab, University of Chicago, April 25-26, 2007. <http://spruce.teragrid.org/workshop/urgent07.php>