

Мультиагентное моделирование импульсных процессов на нечетких когнитивных картах

Ю. И. Нечаев, А. В. Лютин

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

Аннотация. Рассматривается проблема мультиагентного моделирования в сложных динамических средах. Сформулированы теоретические основы и выделены задачи построения когнитивных карт различного назначения. Основное внимание уделяется моделированию импульсных процессов на основе мультиагентных систем с использованием нечетких когнитивных карт.

Ключевые слова: мультиагентная система; интеллектуальный агент; когнитивный подход; когнитивная карта

ВВЕДЕНИЕ

Идеи когнитивной парадигмы открывают большие возможности управления сложными динамическими объектами на основе современных достижений в области интеллектуального нейрорегулирования и когнитивного подхода в трудноформализуемых средах [1–7]. Одним из путей реализации когнитивного подхода является использование когнитивных карт, обеспечивающих обработку информации в режиме экстренных вычислений [7]. Это позволяет получить когнитивный образ, феномен которого обладает высокой динамичностью и информативностью.

Среди когнитивных карт следует выделить базовую модель, представляющую собой векторный функциональный граф (ВФГ) $\Phi = \langle G, X, P \rangle$, где $G = \langle V, E \rangle$ – орграф, X – множество параметров вершин V ; $P = E(X, E)$ – функция преобразования вершин. В зависимости от функции $E(X, E)$ вводится расширение понятия ВФГ в виде модификаций когнитивной карты:

- знаковый орграф как частный случай ВФГ, в котором используются знаки преобразования пути от x_i к x_j в виде $+1$, если рост (падение) x_i влечет за собой рост (падение) x_j и -1 , если рост (падение) x_i влечет за собой падение x_j .
- Взвешенный знаковый орграф, в котором вместо $+1$ и -1 используются веса $+\omega_{ij}$ и $-\omega_{ij}$.
- Простой функциональный граф, в котором вместо $+1$ и -1 используются функции $+f_{ij}$ и $-f_{ij}$.
- Параметрический взвешенный функциональный граф $\Phi_{\Pi} = \langle \langle V, E \rangle, X, F, \theta \rangle$, где $\langle V, E \rangle$ – орграф; X – множество параметров вершин; F – функционал преобразования дуг; θ – пространство преобразования вершин.

- Модифицированные Ф-графы, которые используются для отображения динамики процесса, с использованием нечетких и иерархических когнитивных карт.

В настоящей работе мультиагентное моделирование импульсных процессов выполнено на базе МАС с интеллектуальным лидером [3], поскольку другие интерпретации [1],[2],[5],[6] содержат многочисленных агентов, реализующих простое поведение и не воспринимающих сложных процедур обработки информации, свойственные используемой МАС [3].

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ БАЗИС КОГНИТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Интерпретация информации на основе когнитивной парадигмы может быть реализована в рамках концепции самоорганизующихся систем. Формально модель знаний эволюционной динамики системы может быть представлена в виде структуры [4]:

$$M(\text{Cogn} - \text{Know}) = \{F/m\} : J(\text{Imp}) \rightarrow J(\text{Out}), \quad (1)$$

где $\{F/m\}$ – когнитивная структура, реализующая динамическую модель катастрофы; $J(\text{Imp})$, $J(\text{Out})$ – вход и выход модели.

Оператор оценки истинности (адекватности) когнитивной структуры динамической модели катастрофы имеет вид:

$$J\{Cat(a/A)\} \rightarrow J\{Cat(b/B)\}, \quad (2)$$

где $J\{Cat(a/A)\}$, $J\{Cat(b/B)\}$ – оператор, преобразующий элементы знания когнитивной структуры на входе и выходе интерпретирующей системы.

Многообразие результатов работы когнитивной структуры эволюционной динамики системы определяется как

$$\langle F(a/A), F(b/B), F(c/C) \rangle. \quad (3)$$

Здесь $F(a/A)$, $F(b/B)$, $F(c/C)$ – функции интерпретации, описывающие элементы знания на входе, выходе и при описании результатов работы когнитивной структуры.

Эволюция когнитивной структуры пространства поведения (поле импульсов) в процессе развития текущей ситуации определяется в виде потока информации

$$Imp: J(e/E): \{J(a/A)\} \rightarrow \{J(b/B)\}, \quad (4)$$

где $J(e/E)$ – энергия импульсов, задающих поток информации как эволюционной динамики в модельно-параметрическом пространстве развития текущей ситуации.

Траектория, реализуемая преобразованием (4) представляет собой последовательность состояний, смена которых осуществляется в зависимости от уровня действующих возмущений и особенностей поведения интеллектуальных агентов (ИА). Управление МАС в процессе развития эволюции пространства взаимодействия ИА формируется нечеткой формальной системой (НФС) [4] на основе данных измерений, интегрированной системы знаний и моделирования на основе стандартных, нечетких и нейросетевых моделей.

Соотношения (1) – (4) позволяют представить текущую ситуацию и управление в пространстве поведения:

$$\begin{aligned} Str(\tau/T): J\{Imp(a/A, b/B, c/C)\} &\rightarrow \\ &\rightarrow J\{Out(a/A, b/B, c/C)\}, \\ U: Imp(\tau/T) &\rightarrow Out(\tau_0/T), \end{aligned}$$

где τ_0/T – целевой аттрактор системы, движение к которому формируется на базе концептуальных решений в динамической среде МАС, а в условиях неопределенности – с помощью гипотез и упрощающих предположений в рамках синергетической парадигмы.

II. КОГНИТИВНЫЕ КАРТЫ В СИСТЕМЕ МАС

Особенность когнитивной карты состоит в том, что с помощью такого представления можно моделировать разнообразие ситуаций в интерпретируемых системах.

При формировании когнитивного процесса используется информация о текущей ситуации, отражающая изменения модели поведения эволюционирующей среды. Эта информация получается как результат когнитивного восприятия, которая включает набор когнитивных функций обработки информации распознавания образов и целей, а также построение модели взаимодействия. Функции *сегментации* разделяют целевое поведение на элементы, а функция *управления* обеспечивает согласованность действий с новым поведением. Функция *селекции* выбирает нужный сценарий и соответствующий набор алгоритмов поведения. Реализация эволюционного процесса достигается путем разработки формализованных когнитивных концепций, принципов самоорганизации и самоуправления.

III. ИЕРАРХИЧЕСКАЯ КОГНИТИВНАЯ КАРТА

Методология иерархической когнитивной карты (ИКК) позволяет объяснять механизмы явлений в динамике взаимодействия, разрабатывать альтернативные сценарии развития текущих ситуаций и стратегии оценки генерируемых решений. На уровне ИКК каждая связь раскрывается до соответствующего уровня, который может содержать различные типы переменных. Иерархичность присущая сложным системам, позволяет представить ИКК как совокупность обобщенных объектов (вершин) верхнего уровня и составляющие их объекты нижних уровней.

IV. КОГНИТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ СИСТЕМ

Динамические картины взаимодействия в условиях самоорганизации могут быть рассмотрены на основе когнитивного моделирования, позволяющего представить эволюционную динамику морского динамического объекта (МДО) в виде когнитивной карты (рис.1). Когнитивная карта интерпретации этой экстремальной ситуации отображает последовательность символов $W \rightarrow Y$ или $W \rightarrow Z$ в зависимости от особенностей эволюции МДО в условиях «потенциальной ямы». Возникновение ситуации «брочинг» (символ В – broaching) определяется явлением «захвата» МДО набегающей волной (символ С – capture).

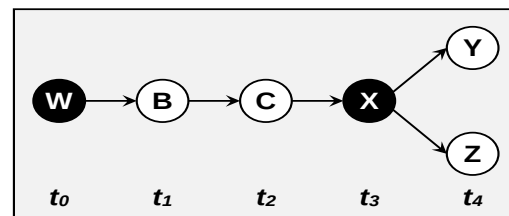


Рис. 1. Динамические картины интерпретации поведения МДО в режиме «брочинг» на основе когнитивной карты

При выходе из состояния «захвата» (символ X) МДО оказывается в «потенциальной яме», глубина которой характеризуется символами Y и Z. Ситуация Y связана с «потенциальной ямой» недостаточной глубины и МДО продолжает эволюцию в виде неуправляемого разворота на волнении. В случае глубокой «потенциальной ямы» (символ Z) МДО теряет остойчивость и опрокидывается при воздействии интенсивных возмущений W.

Исследования процессов самоорганизации МДО позволило разработать универсальную когнитивную карту, особенность которой иллюстрирует рис. 2, на котором представлена эволюционная динамика развития ситуации в рамках концепции «Динамика МДО на волнении», рассматриваемой три типичные ситуации, определенные во время испытаний самоходных радиоуправляемых моделей на естественном волнении.

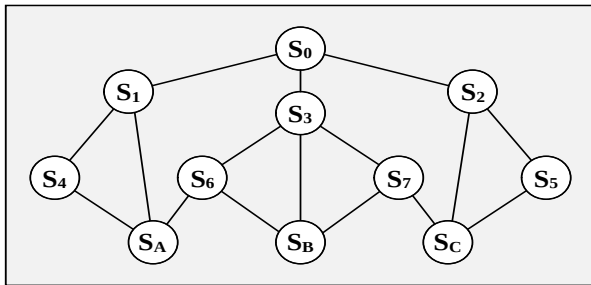


Рис. 2. Универсальная когнитивная карта, отображающая экстремальные ситуации

На рисунке отображены возможные переходы из исходной ситуации S0 и управляющие воздействия при реализации системы ППР. При этом S1, S2, S3 – ситуации, определяющие возникновение полной потери устойчивости, резонансных режимов и «брочинга»; S4, S5 – ситуации, определяющие оценку опасности потери устойчивости и резонансных режимов качки; S6, S7 – ситуации, характеризующие выход из «потенциальной ямы» и потерю устойчивости в условиях интенсивных возмущений; SA, SB, SC – управляющие воздействия в ситуациях S1, S2, S3. Корректировка когнитивной карты производится при увеличении внешнего возмущения в процессе развития ситуации, что позволяет повысить надежность системы ППР.

V. НЕЧЕТКИЕ КОГНИТИВНЫЕ КАРТЫ

Отображение информации в виде нечетких когнитивных карт (НKK) являются важным средством для описания ситуаций, представляемых концептами (переменными) и взаимосвязями между ними.

Исходными данными при решении задачи определения оптимального пути являются: нечеткий ориентированный граф $G = (E, W)$, где E – множество вершин графа (концептов), характеризующих особенности эволюции МДО в пространствах поведения и управления динамической теории катастроф; W – множество связей между ними.

Практический пример НKK показан на рис. 3 для последовательности оценки состояния МДО при функционировании программного комплекса МАС. Использование алгоритма позволяет «извлекать» информацию из построенных моделей.

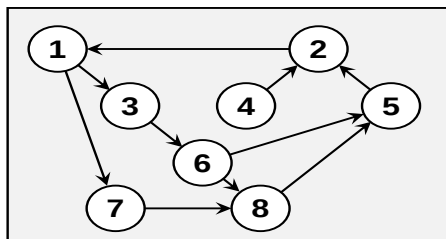


Рис. 3. Модель НKK при оценке безопасности МДО в критической ситуации: 1 – уровень безопасности; 2 – критерияльный базис; 3 – интерпретирующая модель; 4 – принцип конкуренции; 5 – концепция УС [7]; 6 – объем вычислений; 7 – генерация управленческих решений; 8 – уровень ППР

VI. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ НА КОГНИТИВНЫХ КАРТАХ

Разработанная модель импульсного моделирования представлена на рис. 4 в виде знакового ориентированного графа G1 с тремя вершинами A, B, C и соответствующей матрицей смежности $A(G1)$:

$$M(G_1) = F_1(A, B, C), \quad A(D_1) = F_2(A, B, C),$$

где A – вершина определяющая текущую ситуацию; B – вершина характеризующая уровень информационного обеспечения; C – вершина, определяющая уровень интеллектуальной поддержки системы ППР.

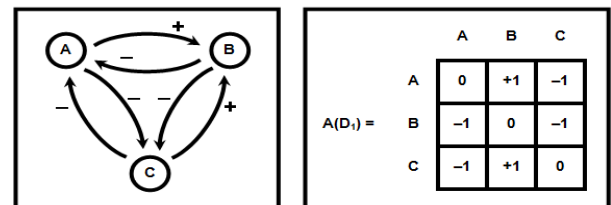


Рис. 4. Ориентированный граф $M(G_1)$ и матрица смежности $A(D_1)$

Для придания динамичности используем импульсные процессы, с помощью которых в заданную вершину анализируемого графа G1 вносится внешнее возмущение и рассматривается распространение этого импульса в виде последовательного изменения вершин в ходе импульсного процесса. Знак + на рис. 4 означает усиливающее воздействие, а знак минус – ослабляющее. На рис. 5 рассмотрена модель оценки скачкообразных явлений, вызванных нестационарными порывами ветра.

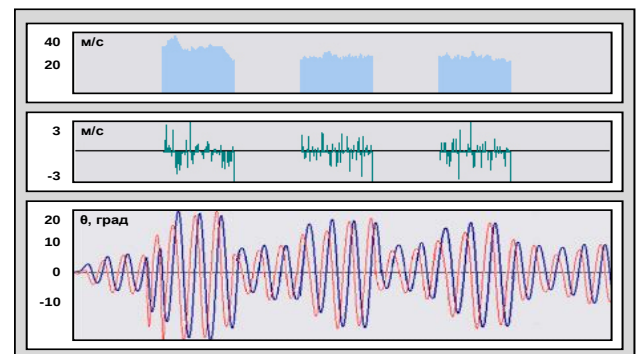


Рис. 5. Функциональное пространство моделирования импульсных воздействий ветровых потоков

Моделирование выполнено с использованием модифицированного уравнения Матье [4]. В правой части этого уравнения введена импульсная функция, отображающая случайную последовательность имитации ветровых шквалов. На двух верхних дорожках изображены случайные нестационарные ветровые возмущения и флуктуации внутри отдельных отображений шквала, а на нижней дорожке – динамика взаимодействия с характерными скачкообразными изменениями поведения системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Бухановский А.В., Балахонцева М.А. Мультиагентное моделирование процесса эвакуации пассажиров аварийного судна в штормовых условиях // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. № 8. С. 614-620.
- [2] Князьков К.В., Ковальчук С.В., Бухановский А.В. Интерактивные композитные приложения: технология для разработки информационно-измерительных и управляющих систем в распределенных средах // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2012. №11. С. 40-46.
- [3] Нечаев Ю.И., Лютин А.В. Мультиагентные технологии в сложных адаптивных системах искусственного интеллекта // Сборник докладов XIV Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям SCM-2011. Санкт-Петербург. 2011. т.2, с. 64-68.
- [4] Нечаев Ю.И. Теория катастроф: современный подход при принятии решений. Санкт-Петербург: Арт-Экспресс, 2011. 392 с.
- [5] Klügl F. A validation methodology for agent-based simulations // Proceedings of the 2008 ACM symposium on Applied computing. ACM, 2008. Pp. 39-43.
- [6] Panait L., Luke S. Cooperative multi-agent learning: the state of the art // Autonomous agents and multi-agent systems. 2005. Vol.11. №3, pp. 387-434.
- [7] Urgent Computing Workshop 2007. Argonne National Lab, University of Chicago, April 25-26, 2007. URL: <http://spruce.teragrid.org/workshop/urgent07.php> (дата обращения 30.05.2007)