

Широкий А.А.

Модели и методы естественных вычислений в управлении рисками сложных систем

Аннотация: Под естественными вычислениями (natural computing) принято понимать совокупность моделей и вычислительных методов, вдохновленных природой, а также рассматривающих происходящие в живой природе явления с точки зрения обработки информации. Поскольку жизнедеятельность живых организмов происходит в условиях переменного окружения, являющегося как источником всевозможных угроз, так и возможностей для развития, идея применения биоинспирированных подходов для решения задач управления рисками сложных систем является вполне естественной. Настоящий материал посвящен выявлению моделей и методов естественных вычислений, наиболее подходящих для решения фундаментальных и прикладных задач управления рисками сложных систем.

Ключевые слова: риск, сложные системы, управление рисками, естественные вычисления, задача эффективного управления, задача минимизации риска

Термин *«естественные вычисления»* обычно определяют как область исследований, изучающую модели и вычислительные методы, вдохновленные природой, а также исследующую происходящие в природе явления с точки зрения обработки информации [1]. Задача выживания в условиях переменного окружения, являющегося источником как предсказуемых, так и непредсказуемых угроз, которую постоянно решают живые организмы, является частным случаем управления рисками. При этом демонстрируемые ими модели поведения, применяемые механизмы защиты от внешних угроз и формируемые структуры группового управления характеризуются высокой эффективностью, достигнутой в ходе эволюционного развития.

В настоящей работе представлен результат анализа основных известных видов естественных вычислений на предмет их применимости в задачах управления рисками. Краткий обзор

моделей и методов естественных вычислений, вывод критериев применимости, а также результаты исследования сравнительной распространенности этих подходов представлены в [2].

Под сложными системами мы будем понимать системы с бесконечным разнообразием реакций на внешние воздействия. Задача управления сложной системой в общем случае заключается в нахождении множества *эффективных* управляющих воздействий, переводящих ее в целевое состояние.

Риск системы определим согласно [3] как системный параметр, свойство системы управления, в частности ЛПР, принимать решения в условиях неопределенности, которые могут повлечь за собой как нежелательные (опасные), так и существенно выигрышные последствия.

Можно показать эквивалентность математических постановок задачи управления сложной системой в условиях неопределенности и задачи минимизации риска – см., например, [4].

Задачи управления рисками сложных систем можно разделить на две большие группы:

- 1) фундаментальные задачи;
- 2) прикладные и технологические задачи.

К первой группе отнесем задачу идентификации компонентов системы (1), задачу моделирования поведения объектов, являющихся ее частью (2), задачу выявления аномалий в их поведении (3), а также задачу прогнозирования развития системы. Постановки этих задач не зависят от специфики управляемой системы.

Ко второй группе задач относится задача параметризации пространства состояний системы (1), задача классификации объектов системы и ее окружения (2), задача поддержки принятия решений по управлению рисками (3), а также задача разработки алгоритмического и программного обеспечения для управления рисками. Эти задачи ставятся с учетом специфики рассматриваемой системы.

Исходя из особенностей постановок перечисленных выше задач, можно сформулировать критерии отбора моделей и методов, подходящих для их решения, а именно:

1) универсальность применения, т.е. возможность реализовать произвольный алгоритм или приблизить произвольную функцию с заданной точностью;

2) наличие формальной модели в основе метода;

3) обучаемость;

4) наличие технической реализации.

Теперь, на основе представленных критериев, проанализируем применимость моделей и методов естественных вычислений для решения задачи управления рисками сложных систем. Их подробный обзор можно найти, например, в [5]. Здесь же просто приведем их список и их *краткие обозначения*, которые будем использовать в дальнейшем:

Формальные грамматики:

1) мембранные вычисления (P-системы) | *P-sys*;

2) системы Линденмайера (L-системы) | *L-sys*.

Элементные базы:

1) ДНК-вычисления | *DNA*;

2) амебные вычисления | *Physarum*;

3) бактериальные вычисления | *Bacterial*.

Математические модели:

1) клеточные автоматы | *CA*;

2) искусственные нейронные сети | *ANN*;

3) хаотические вычисления | *Chaos*;

4) вычисления «реакция-диффузия» | *Chem*;

5) вычисления, основанные на столкновениях | *Billiard*.

Эвристические алгоритмы или их семейства:

1) искусственные иммунные системы | *AIS*;

2) роевой интеллект | *Swarm*;

3) аморфные вычисления | *Amorphous*;

4) эволюционные вычисления | *Evolutionary*.

В работе [2] все вышеперечисленные модели и методы подробно проанализированы с точки зрения их применимости для решения фундаментальных и прикладных задач управления рисками сложных систем. В таблице 1 представлен консолидированный результат этого анализа.

Таблица 1 – Перечень моделей и методов естественных вычислений с указанием выполнения критериев применимости для решения задач управления рисками сложных систем

| Вид вычислений | Универсальность применения | Формальная модель в основе | Обучаемость | Наличие технической реализации |
|---------------------|----------------------------|----------------------------|--------------|--|
| <i>P-sys</i> | UC | Да | Нет | Программная |
| <i>L-sys</i> | SC | | | |
| <i>DNA</i> | UC | Да | Нет | Самособи- рающиеся ДНК-плитки |
| <i>Physarum</i> | UC | Нет | Нет | Вычисли- тельная система с амебой <i>Physarum polycephalum</i> (L.) |
| <i>Bacterial</i> | UC (?) | Нет | Нет | Модиф. <i>E. Coli</i> (L.) |
| <i>CA</i> | UC | Да | Адаптивность | Программная |
| <i>ANN</i> | UC | Да | Да | Аппаратная и программная |
| <i>Chaos</i> | UC | Да | Нет | Аппаратная и программная |
| <i>Chem</i> | UC | Да | Нет | Программная |
| <i>Billiard</i> | UC | Да | Нет | Программная |
| <i>AIS</i> | UA (?) | Да | Да | Программная |
| <i>Swarm</i> | UA (?) | Нет | Нет | Программная |
| <i>Amorphous</i> | UC | Нет | Нет | Программная |
| <i>Evolutionary</i> | N/A | Да | Нет | Программная |

Обозначения:

UC – универсальный вычислитель,

UA – универсальный аппроксиматор,

SC – символьный вычислитель,

(?) – вопрос не исследовался, либо отсутствует строгое доказательство.

Таким образом, с точки зрения сформулированных выше критериев, для решения задач управления рисками сложных систем наилучшим образом подходят искусственные нейронные сети, клеточные автоматы и искусственные иммунные системы. Отметим, что первый подход получил широкое распространение в обсуждаемой области, тогда как последние два сравнительно менее популярны. В связи с этим, представляется целесообразным развить методы управления рисками сложных систем на основе клеточных автоматов и искусственных иммунных систем в будущих исследованиях.

Литература:

1. Handbook of Natural Computing/Rozenberg, G., Bäck, T., Kok, J.N. (eds.). – Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2012. – 2105 p.
 2. Широкий А.А., Калашиников А.О. Применение методов естественных вычислений для управления рисками сложных систем // Проблемы управления. – 2021. – № 4. – С. 3-20.
 3. Кононов Д.А. Исследование безопасности систем управления на основе анализа их системных параметров / Материалы XXVIII Международной конференции «Проблемы управления безопасностью сложных систем» (ПУБСС-2020) (16 декабря 2020 г. Москва). – М.: ИПУ РАН, 2020. – С. 102-108.
 4. Калашиников А.О. Управление информационными рисками организационных систем: общая постановка задачи // Информация и безопасность. – 2016. – Т. 19. № 1. – С. 36-45.
 5. Nemade M.N., Rane M.D. A Review on Bio-Inspired Computing Algorithms and Application / Proceedings of National Conference on Recent Trends in Computer Science and Information Technology (NCRTCST-2016). – Nagpur, India, 2016. – P. 12-19.
-
-