

РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА

© 2023 К. А. Федутинов¹, И. Л. Каширина²

Воронежский государственный университет (Воронеж, Россия)

В статье предлагается комплекс алгоритмов анализа потоковых данных, основанных на нейро-нечетких сетях семейства ART для реализации задач обработки мониторинговой информации с целью интеллектуализации поддержки принятия решений в условиях частичной неопределенности. Рассматриваются модификации алгоритмов обучения сетей архитектуры Fuzzy ART для кластеризации потоковых данных, Fuzzy ARTMAP для их классификации и Cascade ARTMAP для автоматизированного формирования управленческих решений.

Ключевые слова: поддержка принятия решений, нейронные сети, теория адаптивного резонанса.

Благодаря прогрессу в сфере информационных технологий появилась возможность накопления огромных объемов данных, которые можно использовать для улучшения методов управления организационными системами с использованием средств машинного обучения. Наблюдается расширение сфер деятельности, в которых проводится непрерывное отслеживание объектов управления, обеспечивающее возможность активного влияния на контролируемую систему и автоматического формирования управленческих решений [1].

Предлагаемое исследование направлено на совершенствование методов машинного обучения в рамках системы поддержки принятия решений для автоматизированного формирования управленческих воздействий. Данная задача является актуальной при разработке систем автоматизированного мониторинга функционирования современных организационных систем и используется для динамического назначения и корректировки действий, направленных на устранение отклонений от нормы контролируемых показателей (рис. 1).

Идея использования мониторинговых данных для принятия управленческих решений не нова, в настоящее время, в эпоху «больших данных» и с учетом государственной политики в области данных, этому уделяется повышенное внимание. Данные становятся ключевым ресурсом цифровой экономики. По мере того, как организации все больше ориентируются на данные, быстрое увеличение объема доступных данных, как правило, опережает темпы роста способности управлять этими данными и использовать их для принятия решений.

В качестве перспективной технологии обработки больших массивов данных предлагается рассмотреть семейство нейронных сетей, функционирующих по принципам теории адаптивного резонанса [2, 3]. Особенность сетей этого семейства заключается в том, что при анализе данных они сочетают в себе свойства стабильности и пластичности. Сети ART организованы на основе принципа инкрементного обучения, то есть они постоянно доучиваются при поступлении на вход новых данных. Стабильность при этом заключается в том, что характерные шаблоны, обнаруженные в данных, сохраняются на всем протяжении функционирования сети, то есть новые данные не стирают старую память. Пластичность при этом проявляется в способности к запоминанию новой информации. Такое сочетание свойств достигается за счет того, что сети ART имеют растущую архитектуру. То есть при поступлении новых данных, не соответствующих обнаруженным ранее шаблонам, к сети добавляются нейроны и формируются новые нейронные связи.

¹ Федутинов Константин Александрович – Воронежский государственный университет, преподаватель, e-mail: fedutinovv@gmail.com

² Каширина Ирина Леонидовна – Воронежский государственный университет, профессор, e-mail: kash.irina@mail.ru

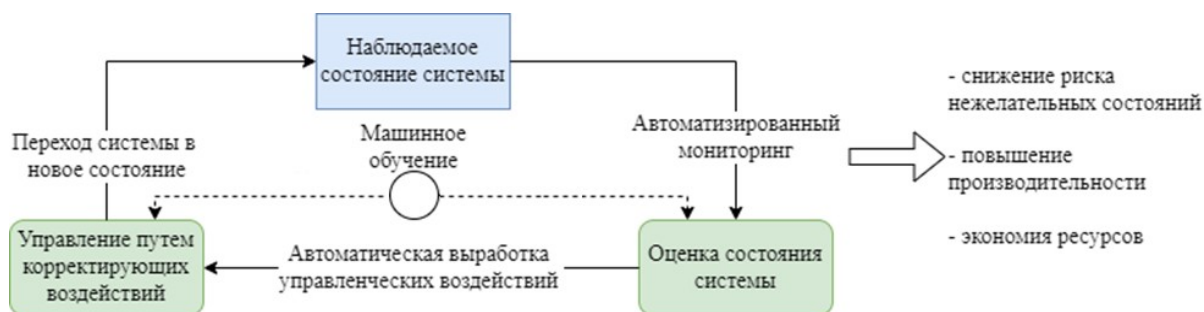


Рисунок 1. Принятие решений на основе данных мониторинга.

Все сети семейства *ART* объединяют входные наборы данных в категории (кластеры), даже если они предназначены для решения задачи классификации (в этом случае каждая категория на следующем шаге связывается с одним из существующих классов).

Семейство сетей *ART* включает более 10 различных моделей, при этом часть из них (*Fuzzy ART*, *Fuzzy ARTMAP* и *Cascade ARTMAP*) функционирует с использованием принципов нечеткой логики. Именно данные архитектуры целесообразно использовать при обработке мониторинговых данных, так как они обеспечивают наиболее гибкий и адаптивный подход к анализу потоковой информации. Нейро-нечеткие технологии могут распознавать образы и тренды во временных рядах мониторинговых данных, что позволяет находить в них скрытые закономерности. Многие показатели мониторинга могут быть неопределенными, содержать пропуски и шумы. Нейро-нечеткая логика предоставляет инструменты для обработки таких данных и принятия эффективных решений на их основе.

Наиболее известными нейро-нечеткими архитектурами являются сети *ANFIS* (*Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*) и *TSK* (*Takagi-Sugeno-Kang*). Модель *ANFIS* – это нейронная сеть, состоящая из нечетких нейронов и использующая алгоритм обучения для автоматической настройки их параметров на основе тренировочной выборки. *TSK* – это система нечеткого логического вывода, представленная в виде линейной сетевой архитектуры со встроенным механизмом обучения параметров правил.

В отличие от данных архитектур, сети семейства *ART* не используют явных методов фаззификации и дефаззификации при обработке данных. Нечеткая логика в этих сетях используется для определения принадлежности входных данных к разным категориям. Сети *ART* определяют наилучшее соответствие входного вектора сохраненным шаблонам на основе нечетких соотношений принадлежности. Вместо использования жестких пределов или пороговых значений, нечеткая логика позволяет осуществлять более гибкое сравнение, учитывая различные степени принадлежности к разным категориям. Нечеткая логика также применяется для адаптации весовых коэффициентов сети с использованием нечетких операций сложения и умножения. В целом, нечеткая логика в сетях *ART* позволяет учитывать неопределенность и шумы в данных, что делает ее более подходящей для обработки мониторинговой информации, где нет четких граней между различными категориями входных показателей.

Обладая несомненными достоинствами в качестве инструмента обработки потоковых данных, сети семейства *ART* не лишены ряда недостатков. К их числу относятся:

- неконтролируемое увеличение размеров сети при обработке непрерывно поступающих данных;
- недостаточно высокая точность алгоритмов классификации на основе сетей данного семейства (в отличие от алгоритмов кластеризации, которые выдерживают конкуренцию с другими современными подходами);
- невозможность решения задачи классификации в условиях пересекающихся классов (при обработке мониторинговой информации один и тот же набор входных показателей может соответствовать сразу нескольким проблемным ситуациям).

Данные недостатки могут быть преодолены путем внесения определенных модифика-

ций в существующие алгоритмы обучения этих сетей. В частности, в [4] описывается предлагаемая авторами данной статьи модификация сети *Fuzzy ART*, позволяющая ограничить число создаваемых ей категорий (a , значит, и размер самой сети) за счет добавления механизма объединения кластеров в процессе функционирования сети и замены функции, проверяющей соответствие входного вектора уже существующим категориям.

В [5] авторами предлагается архитектура ансамбля на основе сетей *Fuzzy ARTMAP*, позволяющего повысить точность алгоритмов классификации, не увеличивая при этом временных затрат (за счет распараллеливания процесса обучения ансамблевой модели).

В [6] предлагается модификация нейронной сети *Fuzzy ARTMAP* в условиях пересекающихся классов. В основе данной модификации лежит разрешение каждой сформированной категории (кластеру схожих значений входных показателей) быть одновременно связанной с несколькими классами, то есть метка класса для такой категории имеет тип запись, состоящую из нескольких полей. Когда входной вектор связывается с такой категорией, ему назначается нечеткое членство в каждом из классов (при необходимости ему можно определить основной класс на основе относительных величин соответствия каждому из классов). При этом первоначально проверяется, может ли вектор быть однозначно отнесен к одному из классов (чтобы избежать излишней размытости границ классов).

В [7] рассматривается задача автоматизированного построения решающих правил на основе сети *Cascade ARTMAP*. Архитектура данной сети представляет собой нейро-нечеткий классификатор, организованный по принципу, схожему с *Fuzzy ARTMAP*. В силу использования при обработке входных данных операций нечеткой логики, формируемые этой сетью кластеры имеют форму многомерных параллелепипедов, то есть могут быть описаны как «показатель x_1 находится в диапазоне от k_1 до k_2 », «показатель x_2 находится в диапазоне от k_3 до k_4 » и т.п. В сети *Cascade ARTMAP* каждому такому кластеру может быть автоматическим образом назначено решающее правило вида: «Если показатель x_1 находится в диапазоне от k_1 до k_2 , а показатель x_2 находится в диапазоне от k_3 до k_4 , то следует применить управляющее воздействие U_1 ». Такая сеть позволяет обрабатывать непрерывно поступающие мониторинговые данные и вовремя реагировать на комбинации параметров мониторинга, которые требуют оперативного вмешательства управляющего органа.

Разработанные алгоритмы были применены для решения задачи автоматизированной обработки мониторинговых экологических данных. Структура реализованного на языке программирования Python программного комплекса приведена на рисунке 2. Программный комплекс позволяет точнее выявлять проблемные в экологическом отношении территории, принимать и реализовывать на них в приоритетном порядке управленческие решения по охране окружающей среды.

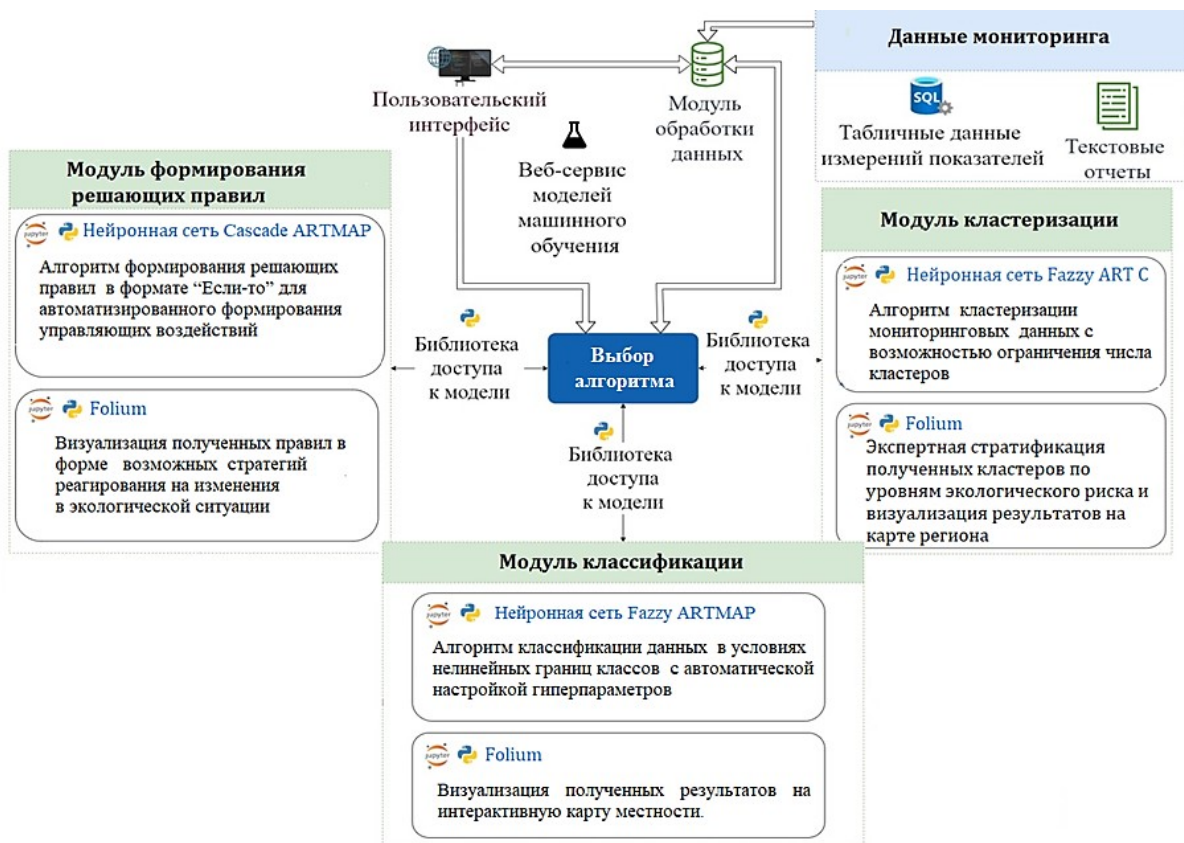


Рисунок 2. Структура модулей программного комплекса для интеллектуальной поддержки принятия решений на основе данных экологического мониторинга.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Оптимизация цифрового управления в организационных системах / Я. Е. Львович, И. Я. Львович, О. Н. Чопоров [и др.]. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр, 2021. – 191 с.
2. Carpenter G. A. Adaptive Resonance Theory / G. A. Carpenter, S. Grossberg // The Handbook of Brain Theory and Neural Networks. – Cambridge, MA: MIT Press. – 2003. – PP. 87-90.
3. Carpenter G. A. ARTMAP: Supervised real-time learning and classification of nonstationary data by a self-organizing neural network / G. A. Carpenter, S. Grossberg, J. H. Reynolds // Neural Networks. – 1991. – № 4. – P. 565-588.
4. Каширина И. Л. Кластеризация непрерывного потока данных на основе обобщенной модели нейронной сети семейства ART / И. Л. Каширина, К. А. Федутин // Системы управления и информационные технологии. – 2018. – Т. 71. – № 1. – С. 33-39.
5. Каширина И. Л. Применение сети FUZZY ARTMAP в интеллектуальных системах обнаружения вторжений / И. Л. Каширина, К. А. Федутин // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2018. – Т. 6. – № 3 (22). – С. 243-257.
6. Федутин К. А. Модификация нейронной сети FUZZY ARTMAP в условиях пересекающихся классов / К. А. Федутин // Управление большими системами: материалы XVI Всероссийской школы-конференции молодых ученых. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019. – С. 449-454.
7. Каширина И. Л. Построение решающих правил с помощью нейронной сети ARTMAP / И. Л. Каширина, К. А. Федутин // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2019. – Т. 7. – № 3. – С. 140-147.

DEVELOPMENT OF INTELLIGENT DECISION SUPPORT TOOLS BASED ON MONITORING DATA

© 2023 K. A. Fedutinov, I. L. Kashirina

Voronezh State University (Voronezh, Russia)

The article proposes a set of algorithms for analyzing streaming data based on neuro-fuzzy networks of the ART family for implementing the tasks of processing monitoring information in order to intellectualize decision support under conditions of partial uncertainty. Modifications of Fuzzy ART network learning algorithms for streaming data clustering, Fuzzy ARTMAP for their classification, and Cascade ARTMAP for automated generation of management decisions are considered.

Keywords: decision support, neural networks, adaptive resonance theory.