

ведение тензора  $W$  порядка  $k$ . Помимо мультипликативных отношений механика взаимодействия может также включать нелинейные, логические или причинно-следственные операторы.

Реакция на взаимодействие показывает изменение предполагаемого ответа в присутствии элементов из нескольких модальностей [2]. Тип модального взаимодействия зависит от задачи прогнозирования или контекста. Для одного и того же набора элементов в разных модальностях, различные задачи ввода могут влиять на тип взаимодействий, задействованных между модальностями ввода, их механику и реакцию на взаимодействие. Контекст показывает влияние задачи прогнозирования на тип взаимодействия.

#### Список литературы

- 1 **Friedman, Jerome H.** Predictive learning via rule ensembles / H. Friedman, Jerome, E. Popescu Bogdan // The annals of applied statistics. – 2008. – Vol. 2. – P. 916–954.
- 2 **Liang, P. P.** Foundations and recent trends in multimodal machine learning: Principles, challenges, and open questions / P. P. Liang, A. Zadeh, L.-P. Morency // arXiv preprint arXiv:2209.03430. – 2022.
- 3 **Lombard, E.** Le signe de l'élévation de la voix / E. Lombard // Annales des Maladies de L'Oreille du Larynx du Nez et du Pharynx. – 1911. – Vol. 37. – P. 101–119.
- 4 Multimodality in VR: A survey / D. Martin [et al.] // ACM Computing Surveys (CSUR). – 2022. – Vol. 54, no. 10. – P. 1–36.
- 5 **Oviatt, Sharon.** Multimodal system processing in mobile environments / Sharon Oviatt // In Proceedings of the 13th annual ACM symposium on User interface software and technology. – 2000. – P. 21–30.
- 6 Detecting statistical interactions with additive groves of trees / D. Sorokina [et al.] // Proceedings of the 25th international conference on Machine learning. – 2008. – P. 1000–1007.
- 7 **Tobisková, N.** Multimodal Augmented Reality and Subtle Quidance for Industrial Assembly—A Survey and Ideation Method / N. Tobisková, L. Malmköld, T. Pederson // In International Conference on Human-Computer Interaction. – Springer. – Cham. – 2022. – P. 329–349.
- 8 **Tsang, M.** Detecting statistical interactions from neural network weights / M. Tsang, D. Cheng, Y. Liu // arXiv preprint arXiv:1705.04977. – 2017.
- 9 Feature interaction interpretability: A case for explaining ad-recommendation systems via neural interaction detection / M. Tsang [et al.] // arXiv preprint arXiv:2006.10966. – 2020.

УДК 004.8, 624.9

### ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ХЕББА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*О. И. КОС, В. Ю. СМЕРНОВ*

*Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация*

В настоящее время реализуется схема, которая называется «управление техническим состоянием СТС по нормативу». Для реализации более прогрессивной стратегии необходимо в любой заданный момент времени иметь возможность оценить техническое состояние всех элементов сложных технических систем (СТС) и СТС в целом. Предлагается использовать интеллектуальный алгоритм для классификации текущего технического состояния элементов СТС.

В нашей стране эксплуатируется огромное количество СТС. Для того, чтобы снизить затраты на эксплуатацию и одновременно обеспечить заданный уровень надежности, необходимо применение вероятностных методов и алгоритмов при принятии управленческих решений.

Рассмотрим следующие уровни технического состояния СТС.

- 1 Дефекты отсутствуют.
- 2 Присутствуют мелкие дефекты, не оказывающие влияния на влияющие на безотказность работы.
- 3 Дефекты, развитие которых создаст угрозу безотказности работы.
- 4 Серьезные дефекты, оказывающие влияние на безотказность работы, требуют особых условий эксплуатации вплоть до введения ограничений.

Классификация элементов СТС по перечисленным уровням предлагается производить с помощью адаптированного алгоритма Хебба [3]. На основании входных значений описывающих повре-

ждения, которые были обнаружены при проведении определенного обследования СТС, рассчитываются выходные значения. На основании данных значений за стабилизировавшихся с определенной точностью, с помощью алгоритма Хебба определяется уровень технического состояния СТС, т. е. СТС относится к определенному классу. В начале обучения все веса нейронной сети Хебба инициализируются случайными значениями или нулями. Далее задается набор входных значений, соответствующий повреждениям, которые были обнаружены при проведении определенного обследования в СТС. На каждом нейроне рассчитывается сумма взвешенных входных значений и затем к нему применяется активационная функция. Таким образом рассчитывается выходное значение. Для каждого набора входных значений нейронная сеть обновляет свои веса в соответствии с формулой

$$w_{ij}(t) = w_{ij}(t-1) + \alpha y_i^{(n-1)} y_j^{(n)}, \quad (1)$$

где  $y_i^{(n-1)}$  – выходное значение нейрона  $i$ -го слоя ( $n-1$ );  $y_j^{(n)}$  – выходное значение нейрона  $j$ -го слоя  $n$ ;  $w_{ij}(t)$  и  $w_{ij}(t-1)$  – весовой коэффициент синапса, соединяющего эти нейроны, на итерациях  $t$  и  $(t-1)$  соответственно;  $\alpha$  – коэффициент скорости обучения. Здесь и далее для общности под  $n$  подразумевается произвольный слой сети.

Таким образом, результаты данного исследования подтверждают целесообразность и эффективность применения алгоритма Хебба в системах классификации состояний сложных технических систем. Это открывает новые возможности для дальнейших исследований и внедрения передовых методов искусственного интеллекта в область технической диагностики и прогнозирования.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы.

- 1 Задача разработки алгоритма классификации состояния СТС является актуальной и важной.
- 2 Принятый подход определения технического состояния СТС не всегда обеспечивает правильный результат, так как эксперты обладают разным уровнем квалификации, опытом, субъективны и не всегда замечают изменения состояний СТС из-за временных ограничений на обследование.
- 3 Для решения задачи классификации технического состояния СТС применен модифицированный алгоритм Хебба, модификация которого состоит в ортогонализации исходных образов, передаваемых в нейронную сеть.
- 4 Разработанная программа позволяет учесть все дефекты элементов СТС, например, искусственного сооружения, а также их взаимное влияние друг на друга.
- 5 В результате вычислений по созданной программе определяется уровень технического состояния каждого СТС путем отнесения его к одной из 4 категорий: «Дефекты отсутствуют», «Присутствуют мелкие дефекты, не влияющие на безопасность», «Дефекты, развитие которых создает угрозу безопасности», «Серьезные дефекты, оказывающие влияние на безотказность работы и требующие изменения условий эксплуатации».
- 6 Проведенные расчеты с помощью разработанной программы подтвердили, что применение алгоритма Хебба дает высокую точность классификации технического состояния и программа может успешно использоваться для решения задач мониторинга и диагностики СТС, предсказания возможных отказов с целью обеспечения надежности и безопасности эксплуатации СТС.
- 7 Определение уровня технического состояния с помощью применения алгоритма Хебба позволяет оценить качество проведенных ранее ремонтов СТС, чтобы выработать рекомендации для последующих ремонтов.

#### Список литературы

- 1 **Кос, О. И.** Program module for calculating the optimal interval of preventive substitutions / О. И. Кос, В. У. Смирнов // Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies : Proceedings 2017 IEEE International Conference (IT&QM&IS). – 2017. – P. 282–283.
- 2 **Кос, О. И.** Математическая модель управления техническим состоянием элементов сложных технических систем на основе закона распределения функции отказов элементов / О. И. Кос, В. Ю. Смирнов // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2022. – № 6. – С. 3–10.
- 3 **Кос, О. И.** Применение генетического алгоритма в задаче оптимизации замены элементов системы / О. И. Кос, В. Ю. Смирнов // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2022. – № 5. – С. 76–89.