

УДК 004.852

**Ускорение эпидемического моделирования с помощью прогрессивных автоэнкодеров**

**Сеничев С.Д.** (Университет ИТМО)

**Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, доцент ФЦТ**

**Леоненко В.Н.** (Университет ИТМО)

**Введение.** В данной работе исследуется применение прогрессивного обучения автоэнкодеров [1] для ускорения мультиагентного моделирования эпидемий. Традиционные мультиагентные модели (МАМ), хотя и обеспечивают высокую точность прогнозирования, требуют значительных вычислительных ресурсов, что ограничивает их практическое применение. Предлагается использовать суррогатную модель [2, 3] на основе автоэнкодера для эффективной аппроксимации результатов МАМ.

**Основная часть.** В данной работе представлены существенные улучшения метода суррогатного моделирования эпидемий на основе автоэнкодеров [4]. Ключевым нововведением стало применение прогрессивного обучения, где модель последовательно усложняется через три стадии, начиная с простой архитектуры и постепенно добавляя дополнительные слои. Это позволило значительно улучшить качество реконструкции эпидемических кривых.

Важным улучшением стал новый метод калибровки параметров модели ( $\alpha$ ,  $\lambda$ ) на основе начального периода эпидемии. Вместо прямого предсказания параметров используется усреднение top-k наиболее вероятных комбинаций, что повысило робастность оценок. Данный подход позволил увеличить точность предсказания дня пика заболеваемости с 38% до 82%.

Значительно улучшились и общие метрики качества модели: коэффициент детерминации  $R^2$  вырос с 0.63 до 0.89, а среднеквадратическая ошибка (RMSE) снизилась с 581 до 335. При этом время вычислений осталось примерно на том же уровне - около 200 раз быстрее исходной МАМ.

Для борьбы с проблемой нестабильности обучения, выявленной в предыдущей версии, была модифицирована функция потерь и архитектура модели. В частности, было добавлено использование KL-дивергенции в функции потерь, что помогло исправить проблемы с градиентным взрывом, что позволило стабилизировать процесс обучения при незначительном снижении вариативности предсказаний.

Эксперименты показали, что модель особенно эффективна при предсказании средне- и долгосрочной динамики эпидемии ( $R^2 = 0.88$  для периода после калибровки), что делает её практически применимым инструментом для оперативного прогнозирования развития эпидемий.

**Выводы.** Предложенный метод демонстрирует эффективность применения прогрессивного обучения автоэнкодеров для ускорения эпидемического моделирования. Несмотря на некоторые ограничения в воспроизведении стохастической природы МАМ, подход обеспечивает практически применимый компромисс между скоростью и точностью, что особенно важно для оперативного принятия решений в области общественного здравоохранения.

**Список использованных источников:**

1. Rumelhart D.E., Hinton G.E., and Williams R.J. Learning internal representations by

error propagation //Parallel Distributed Processing. Vol 1: Foundations. MIT Press, Cambridge, MA. – 1986.

2. Kingma D.P., Welling M. Auto-Encoding Variational Bayes //arXiv.org. – Dec. 20, 2013.

3. Angione C., Silverman E.S., and Yaneske E. Using machine learning as a surrogate model for agent-based simulations //PLoS ONE. – 2022. – Vol. 17, No. 2. – P. e0263150.

4. S. D. Senichev, A. A. Fandeev and V. N. Leonenko, Accelerating Multiagent Epidemic Modeling with Surrogate-Based Methods // 2024 IEEE International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON), Novosibirsk, Russian Federation, 2024, pp. 220-223

5. Forrester A.I.J., Sobester A., and Keane A.J. Engineering Design via Surrogate Modelling //Jul. 2008.

6. Jones D.R., Schonlau M., and Welch W.J. Efficient Global Optimization of Expensive Black-Box Functions //Journal of Global Optimization. – 1998. – Vol. 13, No. 4. – P. 455-492.

7. Ling M., Kothe E.J., and Mullan B.A. Predicting intention to receive a seasonal influenza vaccination using Protection Motivation Theory //Social Science & Medicine. – 2019. – Vol. 233. – P. 87-92.

8. Matveeva A., Leonenko V. Application of Gaussian process regression as a surrogate modeling method to assess the dynamics of COVID-19 propagation //Procedia Computer Science. – 2022. – Vol. 212. – P. 340-347.

9. Shlens J. Notes on Kullback-Leibler Divergence and Likelihood //arXiv.org. – Apr. 07, 2014.

10. Leonenko V., Arzamastsev S., and Bobashev G. Contact patterns and influenza outbreaks in Russian cities: A proof-of-concept study via agent-based modeling //Journal of Computational Science. – 2020. – Vol. 44. – P. 101156.