

Проблема эквифинальности в гидрологическом прогнозировании стока

Э. Хузин¹, Д. Абрамов²

¹Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)

²Сколковский институт науки и технологий

Проблемой эквифинальности (от англ. “equal finality” — буквально “одинаковый результат”) обозначают явление, когда несколько моделей и/или одна и та же модель с разными гипер параметрами имеет сопоставимые результаты предсказаний¹. Например, когда линейная регрессия и градиентный бустинг на одних и тех же данных выдают одни и те же значения, выдают прогнозы сопоставимого качества, т.е. с близкими значениями метрик. В таком случае ставится вопрос: действительно ли модель способна к обобщению данных, выявлению обоснованных зависимостей между ними?² Этот вопрос становится особенно актуальным, когда (1) используются модели глубокого обучения и когда (2) от систем прогнозирования требуется надёжность.

Первая (1) обозначенная причина — это про потенциальную сложную интерпретируемость больших нейронных сетей и других подобных моделей из-за большого количества как весов самой модели, так и возможных гипер параметров. В совокупности, это приводит ко второй (2) ценности исследования. Как известно, сверточные нейронные сети иногда “хакают” датасет и вместо выявления признаков, свойственных, например, собакам, учат определять принадлежность картинки к классу по цвету фона³. В задача гидрологического прогнозирования от data-driven моделей ожидается изучение закономерностей реального мира (холодно — падает снег; тепло — снег тает, паводок). Выучивание моделью интуитивных закономерностей позволяет делать выводы о её надёжности, обобщающей способности и, как следствие, о потенциале переноса на другие бассейны рек⁴.

В рамках работы производится исследование моделей типа Random Forest и Gradient Boosting на основе библиотеки [XGBoost](#) и моделей типа Long Short-Term Memory (LSTM) (т.к. к ним есть интерпретация⁵ и как представленная к исследованию со стороны руководителя) — и то, как различные статические характеристики влияют на качество их предсказаний.

В качестве статических характеристик используется открытые датасеты [HydroATLAS](#)

В качестве временных рядов используются датасеты, предоставленные руководителем, содержащие `t_min`, `t_max`, `t_mean`, `prcp`, `lvl_sm` и `q_mm_day` — соответственно три характеристики температур за день, количество осадков, уровень воды и протекшее её количество.

Все гидрологические посты, где снимались замеры, располагаются на территории Евразии.

Анализ проводится с помощью библиотеки [SHAP](#) (SHapley Additive exPlanations), которая реализует анализ методом Шепли из теории игр: фактически, ставится вопрос, насколько ухудшаются результаты предсказаний, если некоторую подгруппу из признаков “испортить”, т.е. сделать бессмысленными.

Ожидаемый вид результата:

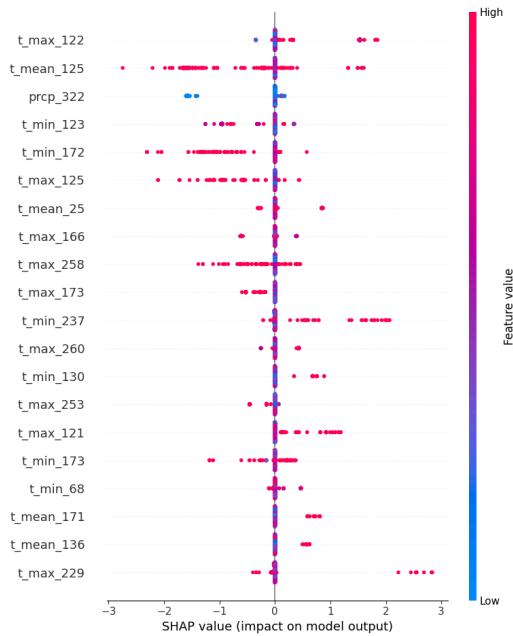
¹ Keith Beven, “A Manifesto for the Equifinality Thesis,” *Journal of Hydrology* 320, no. 1–2 (March 2006): 18–36, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.07.007>.

² Keith Beven and Andrew Binley, “The Future of Distributed Models: Model Calibration and Uncertainty Prediction,” *Hydrological Processes* 6, no. 3 (July 1992): 279–98, <https://doi.org/10.1002/hyp.3360060305>.

³ Robert Geirhos et al., “Shortcut Learning in Deep Neural Networks,” *Nature Machine Intelligence* 2, no. 11 (November 2020): 665–73, <https://doi.org/10.1038/s42256-020-00257-z>.

⁴ Frederik Kratzert et al., “HESS Opinions: Never Train a Long Short-Term Memory (LSTM) Network on a Single Basin,” *Hydrology and Earth System Sciences* 28, no. 17 (2024): 4187–4201, <https://hess.copernicus.org/articles/28/4187/2024/hess-28-4187-2024.html>.

⁵ Frederik Kratzert et al., “Rainfall-Runoff Modelling Using Long Short-Term Memory (LSTM) Networks,” *Hydrology and Earth System Sciences* 22, no. 11 (November 22, 2018): 6005–22, <https://doi.org/10.5194/hess-22-6005-2018>.



Только со статическими характеристиками. Данный результат был получен на малом датасете примерно одинаковых рек. Как результат, она на них и не обратила никакого внимания.

Литература:

- Beven, Keith. “A Manifesto for the Equifinality Thesis.” *Journal of Hydrology* 320, no. 1–2 (March 2006): 18–36. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.07.007>.
- Beven, Keith, and Andrew Binley. “The Future of Distributed Models: Model Calibration and Uncertainty Prediction.” *Hydrological Processes* 6, no. 3 (July 1992): 279–98. <https://doi.org/10.1002/hyp.3360060305>.
- Geirhos, Robert, Jörn-Henrik Jacobsen, Claudio Michaelis, Richard Zemel, Wieland Brendel, Matthias Bethge, and Felix A. Wichmann. “Shortcut Learning in Deep Neural Networks.” *Nature Machine Intelligence* 2, no. 11 (November 2020): 665–73. <https://doi.org/10.1038/s42256-020-00257-z>.
- Kratzert, Frederik, Martin Gauch, Daniel Klotz, and Grey Nearing. “HESS Opinions: Never Train a Long Short-Term Memory (LSTM) Network on a Single Basin.” *Hydrology and Earth System Sciences* 28, no. 17 (2024): 4187–4201. <https://hess.copernicus.org/articles/28/4187/2024/hess-28-4187-2024.html>.
- Kratzert, Frederik, Daniel Klotz, Claire Brenner, Karsten Schulz, and Mathew Herrnegger. “Rainfall–Runoff Modelling Using Long Short-Term Memory (LSTM) Networks.” *Hydrology and Earth System Sciences* 22, no. 11 (November 22, 2018): 6005–22. <https://doi.org/10.5194/hess-22-6005-2018>.