

Использование свёрточных нейронных сетей для поиска гравитационных волн

Н. Петров^{1,2}, С. Головачев³, Д. Костюнин⁴,
В. Ленок⁵, А. Михайленко⁶, В. Сотников³
astroparticle@jetbrains.com

Аннотация

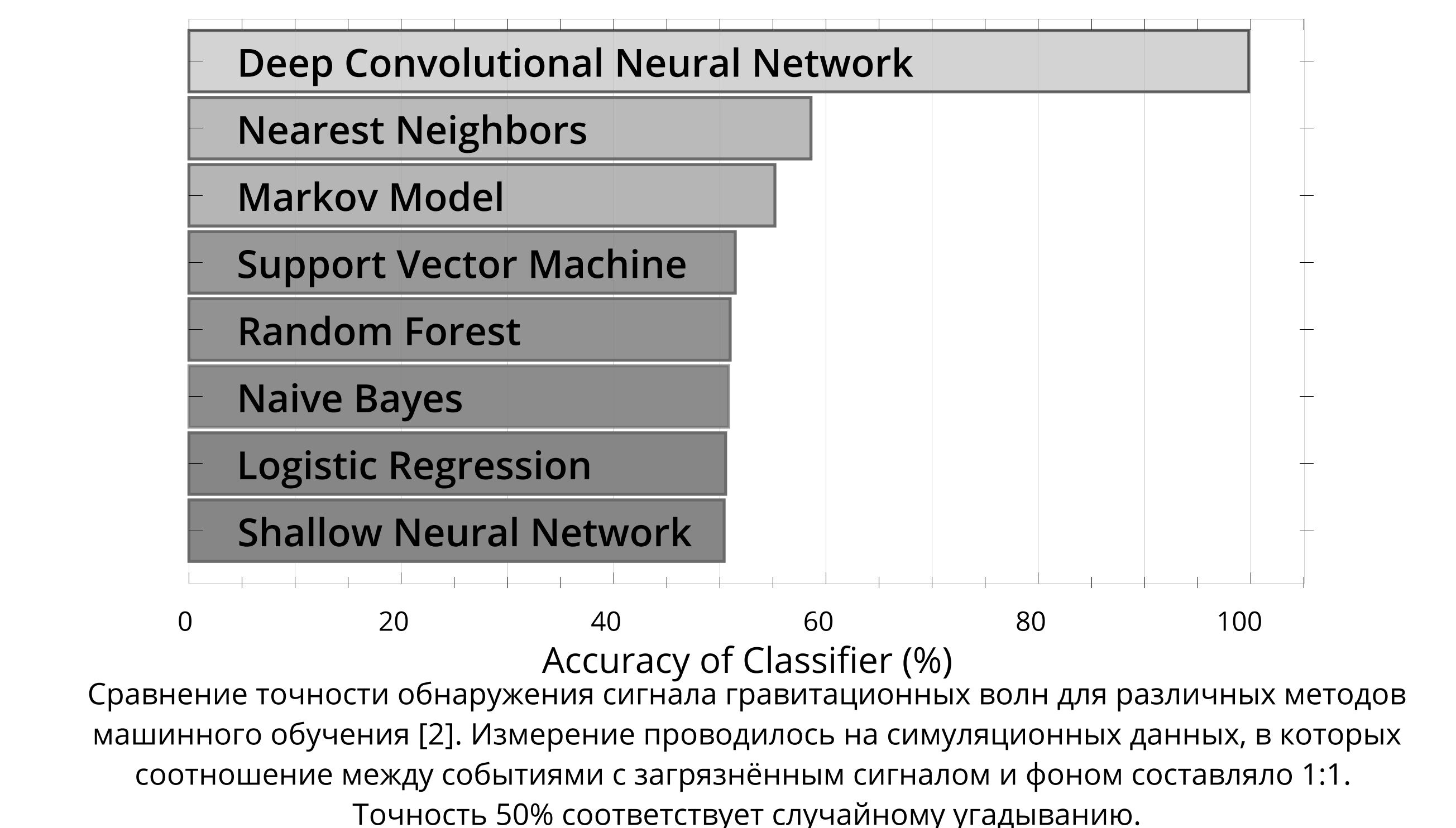
- делаем обзор методов машинного обучения для поиска гравитационных волн
- сравниваем свёрточные нейронные сети с методом согласованной фильтрации
- демонстрируем результаты применения свёрточных нейронных сетей для обнаружения сигналов от слияния чёрных дыр в данных имитационного моделирования работы детекторов LIGO/VIRGO в соревновании по программированию, организованного Европейской Гравитационной Обсерваторией (EGO) [1].

Введение

Основные методы для поиска грав. волн — методы согласованной фильтрации. Главный недостаток этих методов — их высокая вычислительная сложность. Цель: найти более быстрый и эффективный метод поиска сигналов гравитационных волн.

Свёрточные нейронные сети

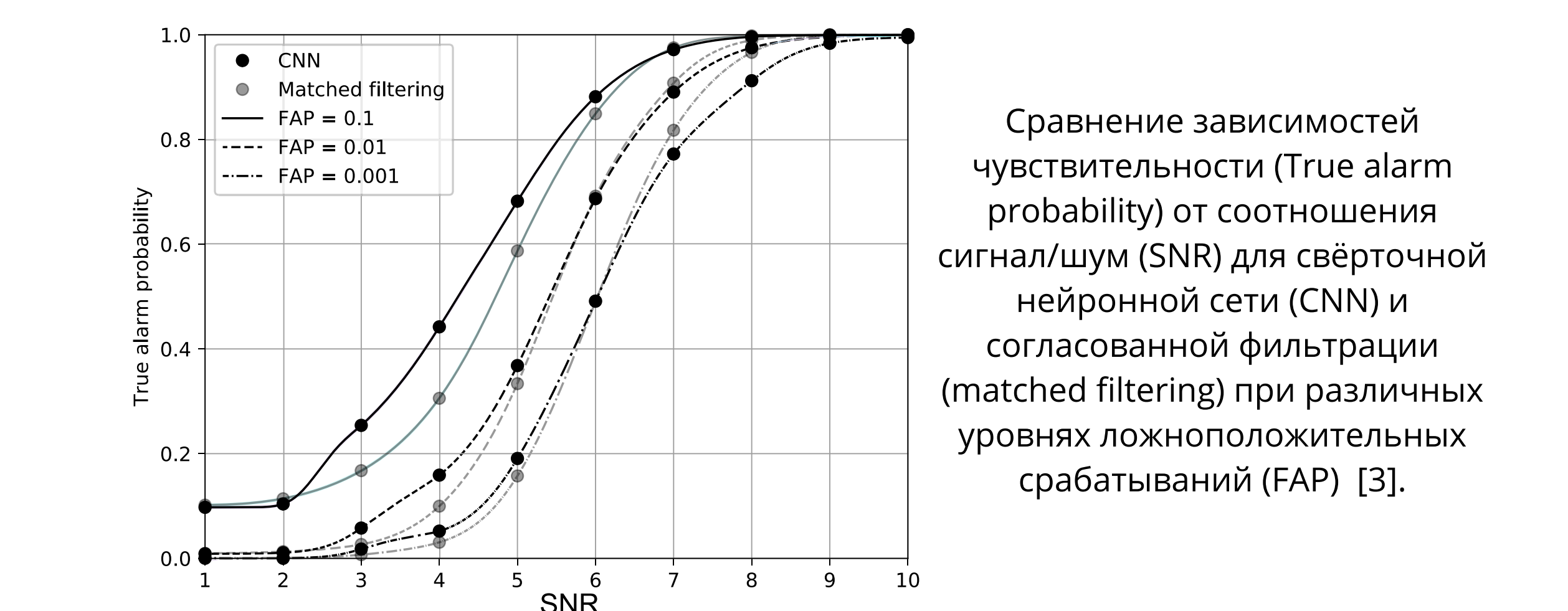
Среди методов машинного обучения наиболее подходящие кандидаты — свёрточные нейронные сети.



Список источников

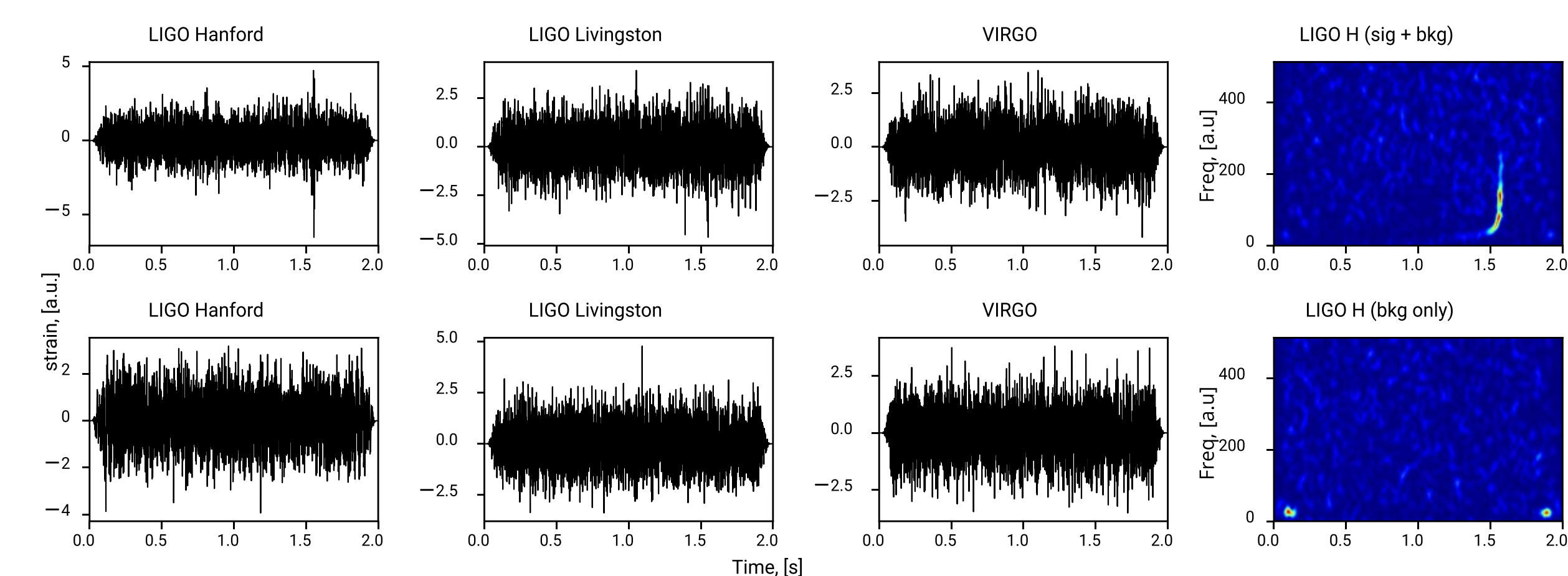
1. Kaggle.com. 2021. G2Net Gravitational Wave Detection | Kaggle. [online] Available at: <https://www.kaggle.com/c/g2net-gravitational-wave-detection> [Accessed 18 December 2021].
2. George, D. and Huerta, E., 2018. Deep neural networks to enable real-time multimessenger astrophysics. Physical Review D, 97(4).
3. Gabbard, H., Williams, M., Hayes, F. and Messenger, C., 2018. Matching Matched Filtering with Deep Networks for Gravitational-Wave Astronomy. Physical Review Letters, 120 (14).
4. Gebhard, T., Kilbertus, N., Harry, I. and Schölkopf, B., 2019. Convolutional neural networks: A magic bullet for gravitational-wave detection?. Physical Review D, 100 (6).

Свёрточные нейронные сети для поиска гравитационных волн
+ сравнимы по качеству с согласованной фильтрацией
+ превосходят согласованную фильтрацию в скорости работы
+ имеют лучшую вычислительную масштабируемость
относительно количества детекторов гравитационных волн
– нет метрики, показывающей статистическую значимость обнаружения сигнала в конкретном событии, в отличие от соотношения сигнал/шум для согласованной фильтрации.



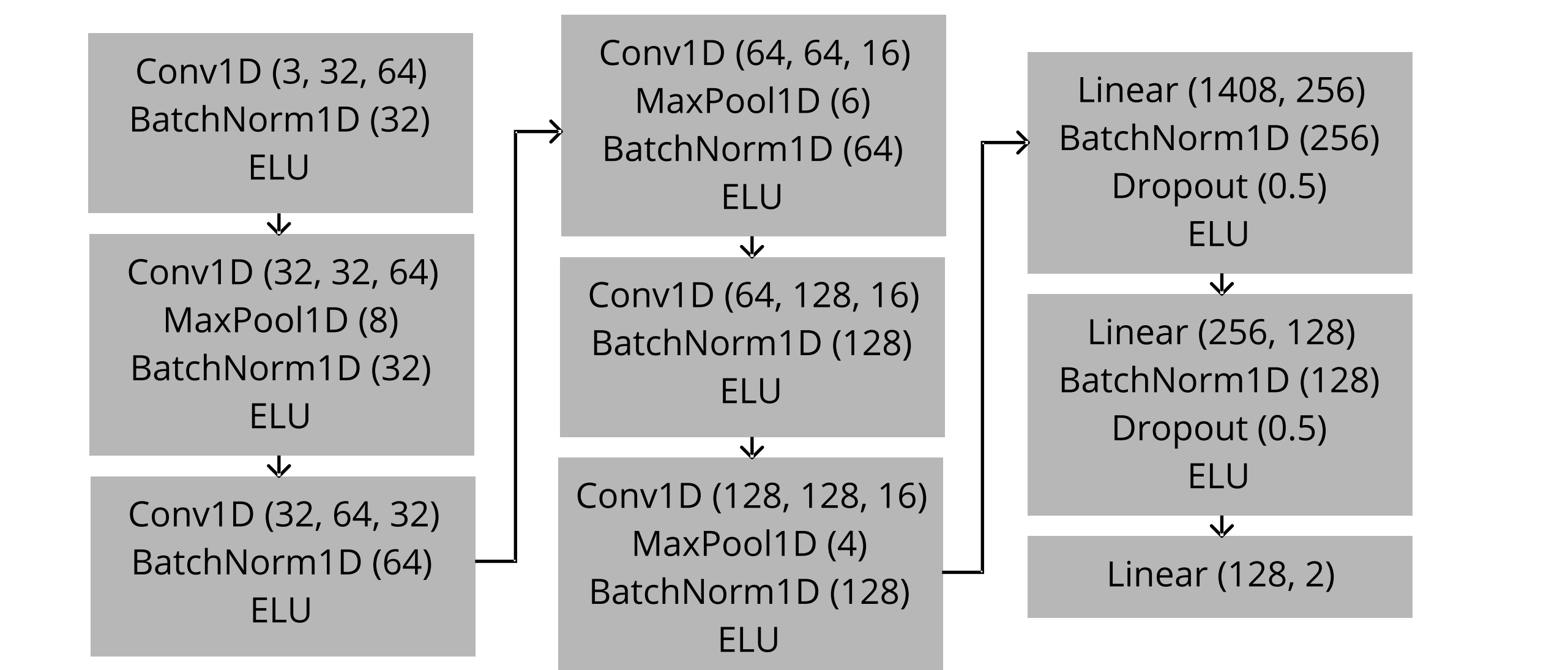
Результаты

Мы использовали свёрточную сеть для классификации сэмплов имитационного моделирования работы детекторов LIGO/VIRGO по наличию сигналов от слияния чёрных дыр в соревновании EGO.



Примеры преобработанных эквализованных событий, содержащего (верхний ряд) и не содержащего (нижний ряд) сигнал, в соревновании EGO. В трёх левых столбцах — зависимости амплитуды от времени для детекторов LIGO/VIRGO после преобработки (подаются на вход нейросети), в правом столбце — спектрограммы для LIGO Hanford. Нейросеть правильно определила наличие/отсутствие сигнала для данных примеров.

На этапе преобработки мы эквализовали данные, а затем подавали временные ряды на вход модифицированной одномерной свёрточной нейронной сети из [3], архитектура которой показана на постере.



Архитектура нейронной сети, использованной в соревновании по программированию EGO для поиска сигналов от слияния чёрных дыр. Обозначения: Conv1D – одномерный свёрточный слой (количество входных каналов, количество выходных каналов, размер ядра свёртки), BatchNorm1D – пакетная нормализация (количество входных каналов), MaxPool1D – слой субдескрипции (размер фильтра), ELU (Exponential linear unit) – функция активации, Linear – линейный слой (количество входных/выходных нейронов), Dropout – слой исключения (доля исключаемых нейронов)

По итогам наше решение попало в **12% лучших** (146 место из 1219) с результатом ROC AUC = 0.876 (против 0.885 у победителя).

Заключение

Мы провели обзор методов машинного обучения, выяснили, что свёрточные нейронные сети лучше других подходят для решения задачи поиска сигнала гравитационных волн. Мы успешно использовали одномерную свёрточную нейронную сеть для решения задачи поиска гравитационных волн в соревновании EGO.

Институты

1. Новосибирский государственный университет, Россия
2. Институт ядерной физики им. Будкера, Россия
3. JetBrains Research, Россия
4. DESY, Германия
5. Karlsruhe Institute of Technology, Institute for Astroparticle Physics, Германия
6. Санкт-Петербургский государственный университет, Россия

