



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧЕРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЕ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени М.В.ЛОМОНОСОВА»
ФИЛИАЛ мгу В Г.ДУБНЕ
НАПРАВЛЕНИЕ 03.04.02 «ФИЗИКА»
ПРОФИЛЬ «ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ»

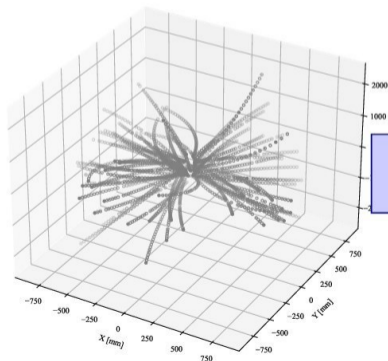
Разделение треков заряженных частиц по событиям в
эксперименте SPD методами глубокого машинного обучения

Студент: Омелянчук Савелий Сергеевич
Научный руководитель: к.ф.-м.н Леонтьев Владимир Викторович
Научный консультант: к.ф.-м.н Войтишин Николай Николаевич

Задача: классификация восстановленных треков по событиям.

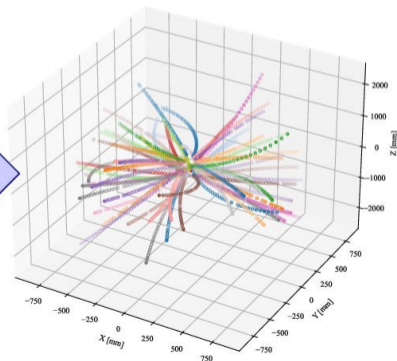
Метод: использование глубоких нейронных сетей на всем этапе реконструкции.

Raw SPD Timeslice



Processing

SPD Timeslice after processing





Неудачные решения: классические методы кластеризации, фильтр Калмана и его вариации.

Первая попытка: сиамская нейронная сеть (SNN) с кодировщиком треков [M.Borisov, P.Goncharov... 2024](#).

Точность SNN при фиксированном числе событий: 89%

Точность SNN при нефиксированном числе событий: 65%

Новый подход: иерархически обученная графовая нейронная сеть с кодировщиком и механизмом внимания (GANN).

Точность GANN при нефиксированном числе событий: 97%

Общий алгоритм генерации временных срезов:

$$n_{tr} \sim U[2, n_{tr}^{max}] \quad P(k) = \frac{\bar{N}_{ev}^k}{k!} e^{-\bar{N}_{ev}} \quad t_{L/R}^i = \frac{i \mp 0.49(r+1)}{N_{ev} - 1}$$

Треки из симуляции SPD:

■ Основные особенности:

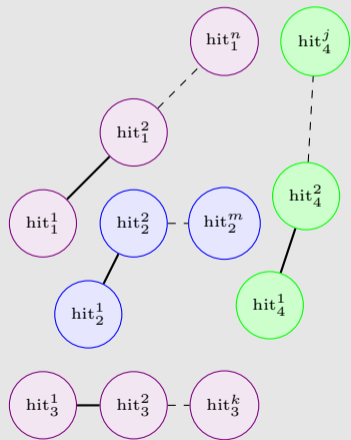
- 1 Хиты в треке ограничены по $r_\phi^{min} = 150 \text{ mm}$, $r_\phi^{max} = 850 \text{ mm}$ и эквидистантны по $r_\phi = \sqrt{x^2 + y^2}$.
- 2 Каждый трек состоит из большого числа хитов в пределах (28, 35).

Треки из TrackML:

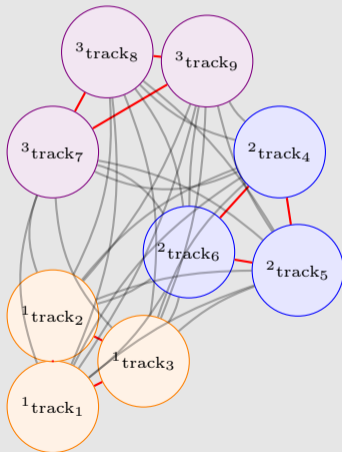
■ Основные особенности:

- 1 Хиты в треке ограничены по $r_\phi^{min} = 50 \text{ mm}$, $r_\phi^{max} = 1000 \text{ mm}$ и не эквидистантны по $r_\phi = \sqrt{x^2 + y^2}$.
- 2 Каждый трек состоит из небольшого числа хитов в пределах (3, 20).

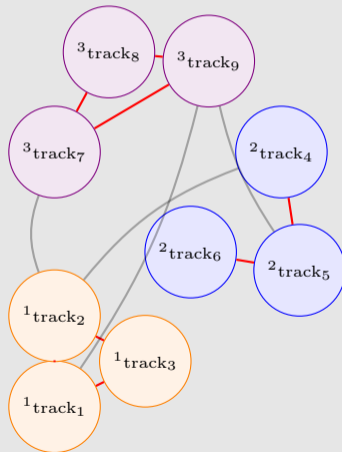
Graph of Hits



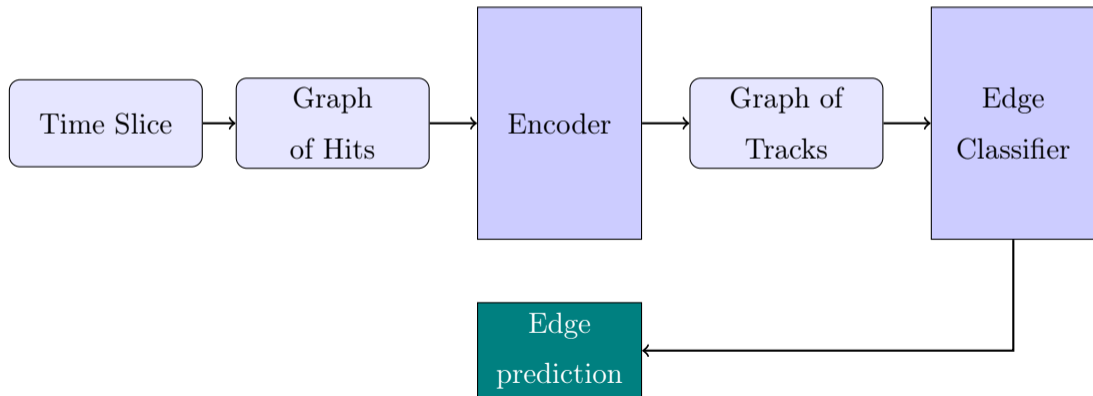
Graph of Tracks



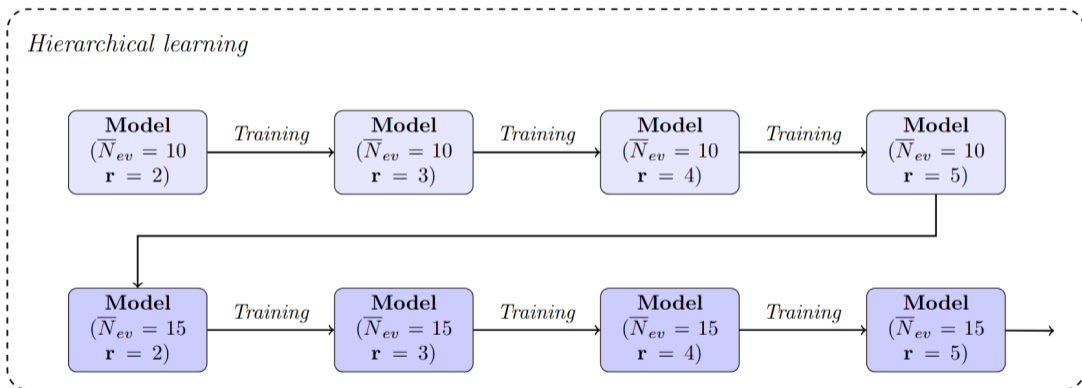
Final Graph



Общая архитектура модели включает 2 блока: Encoder и Classifier.

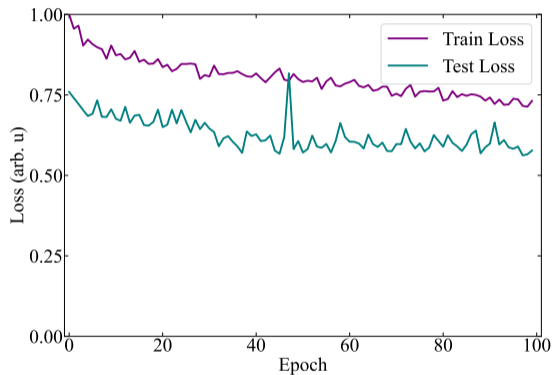
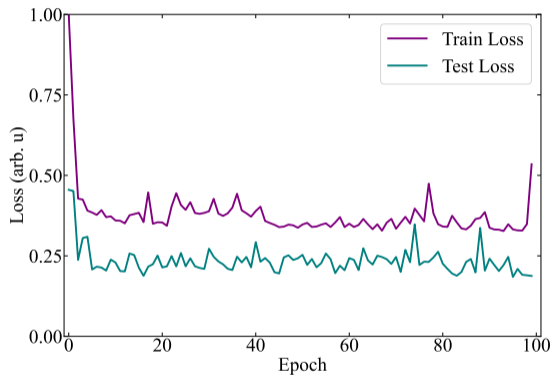


Основная идея заключается в последовательном дообучении модели.

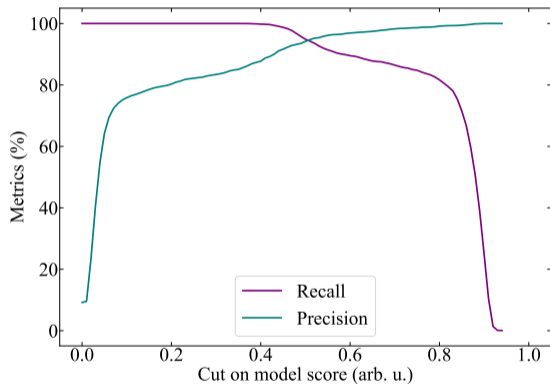
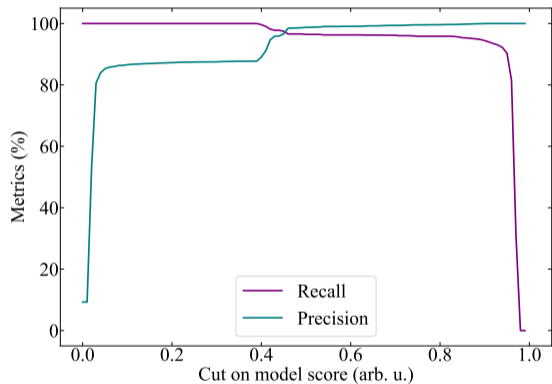


Эпоха обучения: 800 временных срезов. Параметры целевой выборки:

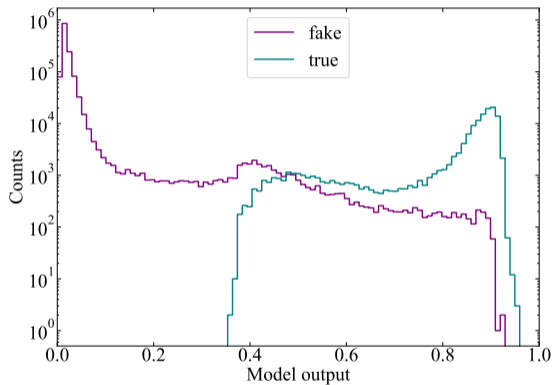
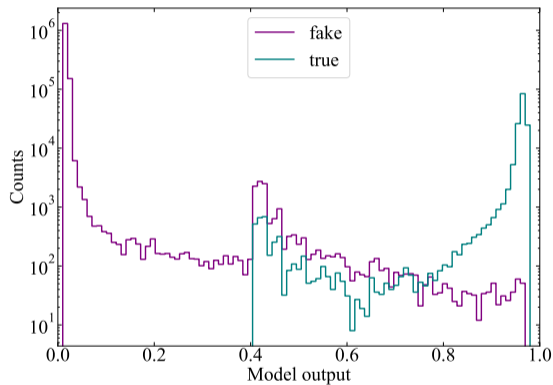
$\bar{N}_{ev} = 15$, $n_{tr}^{max} = 6$, $r = 5$. Время одной эпохи обучения ~ 1 мин.



Функция ошибки SPD-GANN5 (слева) и TrackML-GANN5 (справа).



Зависимость метрик от порога отсекания SPD-GANN5 (слева) и TrackML-GANN5 (справа).



Распределение значения меток для истинных и ложных ребер SPD-GANN5 (слева) и TrackML-GANN5 (справа).

Успехи:

- 1 Модель демонстрирует превосходную точность как на первичной симуляции, так и на треках из TrackML. Все метрики классификации после применения Лувенского метода $> 95\%$.
- 2 Иерархическое обучение позволяет корректировать модель под новые данные.
- 3 Скорость обработки на Nvidia V100 Tesla GPU: ~ 10 временных срезов/сек.

Ограничения:

- 1 Требуется достаточное временное разрешение треков.

Планы:

- 1 Проверка модели на комплексной симуляции эксперимента SPD.
- 2 Использование GANN для решения задачи восстановления параметров трека.

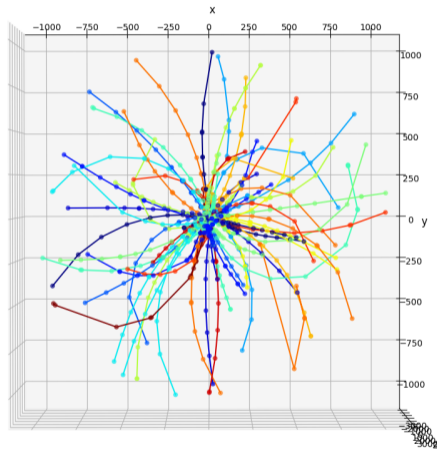
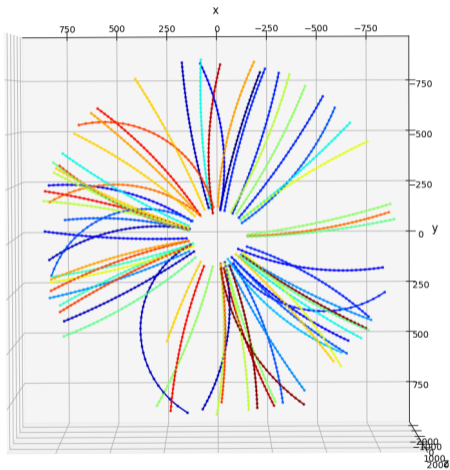


Спасибо за внимание!

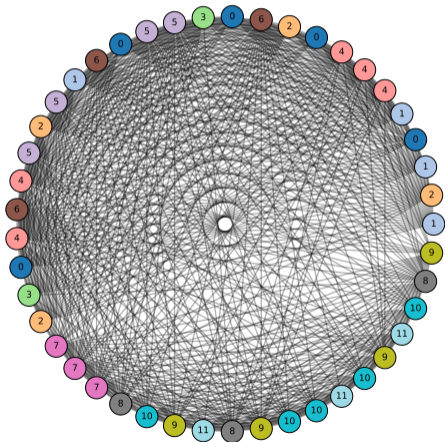
TrackGANN: <https://github.com/SavelyOm/TrackGANN/>



x	y	z	track_id	event_id	time_left	time_right
-35.64	-132.12	-115.31	0	9	0.384	0.999
-41.67	-151.88	-113.44	0	9	0.384	0.999
-47.79	-171.59	-111.46	0	9	0.384	0.999
-54.03	-191.24	-109.38	0	9	0.384	0.999
-32.40	-552.65	247.86	1	0	0.000	0.307
-36.00	-573.12	254.47	1	0	0.000	0.307
-39.79	-593.44	261.17	1	0	0.000	0.307
-43.74	-613.80	268.04	1	0	0.000	0.307
-47.87	-634.24	274.66	1	0	0.000	0.307
-52.16	-654.65	281.30	1	0	0.000	0.307
210.12	710.05	-1167.82	2	13	0.692	1.00
210.25	731.33	-1202.57	2	13	0.692	1.00
209.99	752.79	-1237.73	2	13	0.692	1.00
209.35	774.46	-1272.85	2	13	0.692	1.00
208.41	795.95	-1307.93	2	13	0.692	1.00



Graph of Tracks



Graph of Tracks after processing

