

## ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ К ПОСОБЫТИЙНОЙ ОЦЕНКЕ ПРИЦЕЛЬНОГО ПАРАМЕТРА

*К. Галактионов\*, В. Руднев, Ф. Валиев*

Санкт-Петербургский государственный университет,  
Санкт-Петербург, Россия

Оценка прицельного параметра в отдельных событиях критически важна для корректной и эффективной обработки данных в столкновительных экспериментах физики элементарных частиц и атомного ядра. Оценка прицельного параметра в реальном времени позволила бы экспериментаторам проводить предварительный отбор наиболее информативных событий еще на этапе сбора данных, до предварительной обработки. Представленные вычислительные эксперименты демонстрируют применимость нейронных сетей в сочетании с детекторами на микроканальных пластинах для прямой оценки прицельного параметра в разрабатываемых экспериментальных установках.

Evaluation of the impact parameter in a single event is crucial for correct and efficient data processing in collision-based nuclear and particle physics experiments. Real-time estimates of the impact parameter allow experimentalists to preselect the most informative events at the data acquisition stage, before any processing. The presented computational experiments prove application of neural network techniques for direct impact parameter evaluation useful for future experimental setups.

PACS: 07.05.-t; 07.05.Mh; 29.40.Wk

### ВВЕДЕНИЕ

Для проведения исследований свойств плотной барионной материи разработан ускорительный комплекс NICA (Nuclotron based Ion Collider Facility) [1]. В статье [2] был предложен быстрый монитор столкновений пучков (ФВВС) для работы с детекторами, строящимися в NICA. Задачи ФВВС — оценить характеристики события, такие как множественность, центральность и др.

Данная работа посвящена оценке прицельного параметра с использованием монитора ФВВС на микроканальных пластинах (МКП). Задача определения прицельного параметра столкновения ядер важна в экспериментах на коллайдерах, так как позволяет отбирать столкновения частиц с большей центральностью. Обычно для решения данной задачи

---

\* E-mail: st067889@student.spbu.ru

используются подходы, основанные на энергетическом распределении частиц, родившихся в результате столкновения [3]. В работе [4] был предложен подход к определению прицельного параметра с помощью нейронных сетей на основе данных, получаемых при постобработке сигналов с детектора. В данной работе мы попытались показать, что использование искусственных нейронных сетей для обработки информации о пространственном и временном распределении частиц, получаемой непосредственно с детекторов на МКП, дает хорошие оценки прицельного параметра.

### 1. МЕТОД ОЦЕНКИ ПРИЦЕЛЬНОГО ПАРАМЕТРА

Детекторы, исследуемые в данной работе, обладают рядом особенностей, которые необходимо принимать во внимание. Используя микроканальные пластины, возможно создавать детекторы малого размера для их использования внутри ионопровода, но необходимо учитывать наличие отверстия на оси пучка. Для проведения вычислительных экспериментов были взяты оценки возможных параметров геометрии детекторов в 5 см (внешний диаметр) и 3 см (внутренний). Детекторы такого типа позволяют оценивать время пролета частиц с точностью порядка 50 пс. В данной работе моделировалось разбиение детектора на 32 ячейки: на 4 кольца по радиусу и на 8 секторов (рис. 1, а).

Задача оценки прицельного параметра ставилась как задача классификации, т.е. имеющийся интервал прицельных параметров разбивался на классы. Исследовались разбиения на 4 и на 2 класса. Для обработки информации, получаемой с детекторов, и оценки класса прицельного параметра использовались методы машинного обучения с учителем —

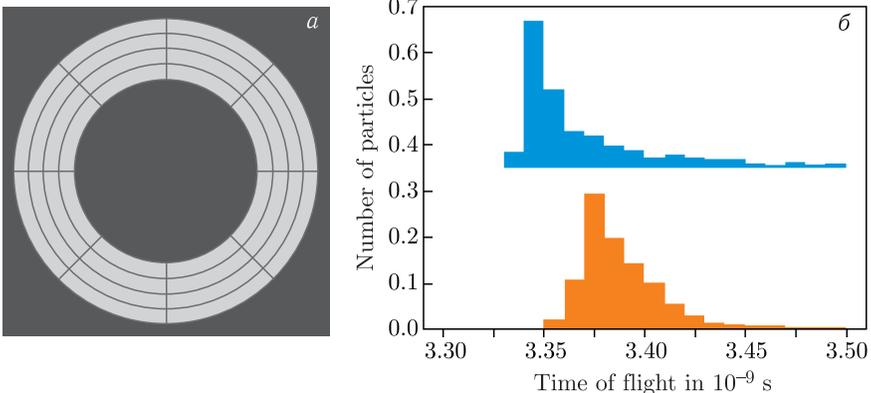


Рис. 1. Пространственная и временная информация, получаемая с детекторов: а) разбиение кольцевого детектора на 32 ячейки; б) распределения времени прилета пионов и протонов на 1 м

искусственные нейронные сети. Реализация такого подхода требует создания обучающего набора промаркированных данных. Для этого были использованы результаты моделирования 22 000 столкновений ядер золота при энергии  $\sqrt{s} = 11$  ГэВ/нуклон генератором QGSM [5]. Случайным образом этот набор данных разбивался на тренировочный и тестовый наборы в соотношении 80/20. Тренировочный набор использовался для определения весов функции, которой является искусственная нейронная сеть, чтобы как можно лучше соответствовать данным примерам. Затем параметры сети фиксировались и проводилась оценка ее работы на тестовом наборе данных.

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Результаты качества оценки прицельных параметров нейронной сетью представлены в виде матриц ошибок и общей точности. Общая точность (процент правильно определенных классов событий) дает мало информации о качестве работы нейросети. Более информативным показателем результативности являются матрицы ошибок. В такой матрице по горизонтали отложены реальные классы событий, а по вертикали — определенные сетью. Каждому событию, обработанному нейросетью, сопоставляется ячейка в такой матрице. Затем матрица нормируется на число примеров тестового набора, результаты приведены в процентах.

Главной моделью детекторов, исследуемой в данной работе, являются пары кольцевых детекторов, расположенных на оси пучка с обеих сторон от места столкновения. Из-за физической необходимости наличия отверстия на оси терется часть информации о летящих под малым углом к оси частицах. Добавлением дополнительных пар колец детекторов можно частично компенсировать эти потери. Таким образом, моделировались три пары колец детекторов на расстояниях в 1, 1,7 и 2,5 м. В качестве характеристик события использовалась информация о пространственном распределении частиц в виде номера ячейки и детектора, куда попала частица, а также о времени пролета. Общая точность в таком вычислительном эксперименте составляет около 64 %, а матрица ошибок представлена на рис. 2, а.

Учитывая, что средние времена пролета пионов и протонов различаются на малую величину (см. рис. 1, б) и что возможность различать эти два типа частиц дала бы дополнительную информацию для нейросети, можно попытаться сконструировать величину, которая бы сильнее отличалась для частиц разного сорта. Для этого по времени пролета частиц при помощи сдвига на среднее время пролета пионов и вычисления обратного значения находилась характеристика, которая затем подавалась вместо простого времени пролета. Результаты оценки работы сети, натренированной при использовании такой величины, представлены на рис. 2, б, с общей точностью около 80 %.

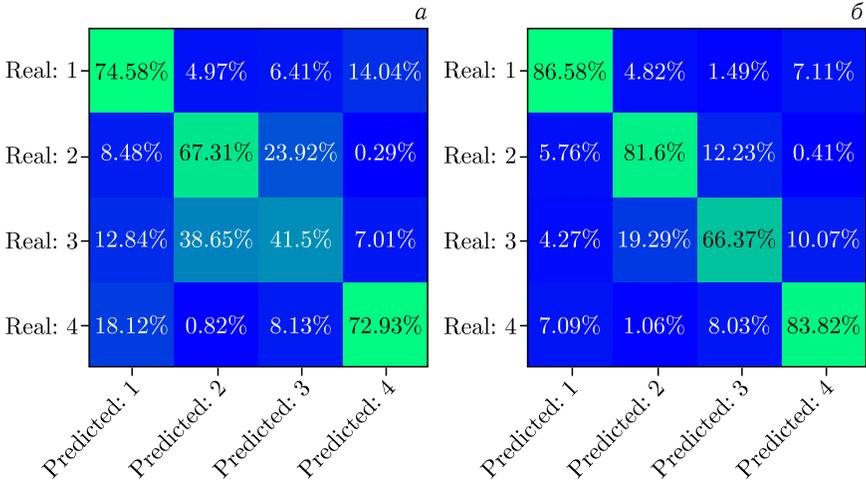


Рис. 2. Матрицы ошибок: а) для конфигурации детектора в виде трех пар колец с информацией о времени пролета; б) для конфигурации детектора в виде трех пар колец с учетом разниц времени пролета пионов и протонов

Анализируя приведенные матрицы ошибок, можно заметить, что использование такого подхода позволяет довольно хорошо выделять события с малыми или, наоборот, большими прицельными параметрами и что значительная часть ошибок приходится на различие средних классов прицельных параметров, а также что правильное использование времени пролета частиц оказывает положительное влияние на качество работы нейросети.

Так как наибольший интерес представляют события с малым прицельным параметром, в дополнение к предыдущему эксперименту был построен бинарный классификатор, который использовал ту же геометрию детекторов и ту же информацию, но проводил классификацию на два класса: менее 7 Фм или более. При такой постановке задачи нейросети не приходится находить различия между разными классами с большими прицельными параметрами, а также ошибки в этих классах теперь не влияют на общую точность, которая в данном эксперименте достигает 93%. Матрица ошибок представлена на рис. 3.

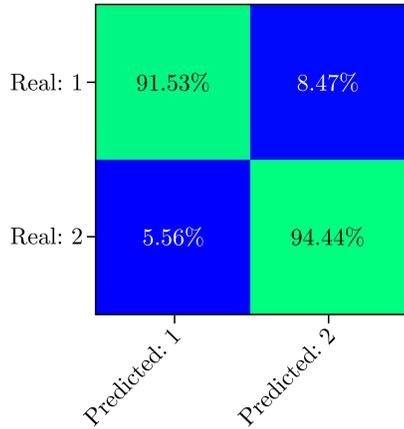


Рис. 3. Матрица ошибок для бинарного классификатора с границей между классами в 7 Фм

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные вычислительные эксперименты демонстрируют возможность использования комбинации искусственных нейронных сетей и детекторов на микроканальных пластинах для оценки прицельного параметра столкновения ядер. Использование информации о времени пролета частиц оказалось исключительно важным для построения надежного и точного классификатора событий, который может оценивать принадлежность события к одному из четырех классов с точностью в 80 % или с точностью 93 % определять события с малым прицельным параметром.

Подобный классификатор событий может быть использован как в процессе сбора данных, позволяя отбирать центральные столкновения в процессе их детектирования, так и в процессе постобработки, когда для повышения точности классификации могут быть использованы данные с других компонентов детектора.

Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований, гранты № 18-02-40104 мега и № 18-02-40097 мега. Работа выполнена при поддержке Санкт-Петербургского государственного университета, проект № 94031112.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проект NICA. <https://nica.jinr.ru/ru/>.
2. *Baldin A. A., Feofilov G. A., Har'yuzov P., Valiev F. F.* Fast Beam-Beam Collisions Monitor for Experiments at NICA // Nucl. Instr. Meth. A. 2020. V. 958. P. 162154.
3. *Golubeva M. B. et al.* Nuclear-Nuclear Collision Centrality Determination by the Spectators Calorimeter for the MPD Setup at the NICA Facility // Yad. Fiz. 2013. V. 76. P. 2.
4. *Bass S. A. et al.* Neural Networks for Impact Parameter Determination // J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 1994. V. 20. P. L21.
5. *Mashnik S. G. et al.* Production of Energetic Light Fragments in Extensions of the CEM and LAQGSM Event Generators of the Monte Carlo Transport Code MCNP6 // Phys. Rev. C. 2017. V. 95. P. 034613.