

Лаборатория информационных технологий им. М. Г. Мещерякова

В рамках совместного проекта ЛИТ им. М. Г. Мещерякова, ЛТФ и ФБУЗ МСЧ № 9 ФМБА России на ресурсах экосистемы ML/DL/HPC гетерогенной платформы HybriLIT ведется разработка полигона для анализа и визуализации данных КТ головного мозга с целью изучения и улучшения представления внутренней структуры объектов. Цель настоящего проекта заключается в развитии методов визуализации данных КТ и МРТ и возможности улучшения снимков посредством устранения размытых зон различных областей сканирования. Полигон предназначен для апробации программных пакетов визуализации, математического моделирования для проверки научной составляющей данного проекта и ее практической реализации, разработки программного обеспечения для внедрения нового математического подхода реконструкции. В настоящее время полигон предоставляет пользователю возможность удобной визуальной работы с медицинскими данными в веб-браузере в интерактивной среде JupyterLab. После реализации и проверки предложенного математического подхода, анализа и визуализации результатов полигон поможет не только минимизировать размытые зоны снимков на этапе реконструкции

образов, но и уменьшить радиационное воздействие на пациента во время выполнения КТ-обследования.

Аникина А., Андреев Г., Андреев В., Аникин И., Беляков Д., Григоров Г., Кокорев А., Шарипов Ш., Стрельцова О., Зуев М. Полигон для визуализации компьютерной томографии головного мозга // ЭЧАЯ (принято к публ.).

Во многих экспериментах в физике высоких энергий применяется модель UrQMD на стадии дизайна для предсказаний экспериментальных данных и анализа полученных результатов. В работе используется версия модели UrQMD 3.4 для анализа экспериментальных данных коллаборации NA61/SHINE. Показано, что модель UrQMD 3.4 воспроизводит данные о рождении π^\pm , K^- , протонов и антипротонов во взаимодействиях $^{40}\text{Ar} + ^{45}\text{Sc}$ при соответствующем выборе прицельного параметра. Модель также применена для исследования спектров нейтронов, рожденных в протон-ядерных взаимодействиях. Модель хорошо воспроизводит энергетические ($E_n > 10$ МэВ) спектры нейтронов в $p + \text{Al}$, Fe, Pb при энергии 3 ГэВ в так называемом каскадном режиме. Внемассовые нейтроны доминируют при более низких энергиях нейтронов. Внемассовые нуклоны должны образовывать остаточные ядра, при девозбуждении которых должны образовываться испарительные нуклоны и легкие ядра. Для моделирования этих про-

Meshcheryakov Laboratory of Information Technologies

Within the MLIT–BLTP–FMBA joint project, we elaborate a polygon for brain computed tomography (CT) data analysis and visualization to study and improve the representation of the inner structure of objects using the ML/DL/HPC ecosystem of the HybriLIT heterogeneous platform. The goal of the project is to develop methods for visualizing CT and MRI (magnetic resonance imaging) data and enhance images by eliminating blurriness in various scanning areas. The polygon is designed for the testing of various visualization software packages and mathematical modeling to verify the scientific component of this project along with its practical implementation, as well as for software development to implement a new mathematical reconstruction approach. At the moment, the polygon provides users with convenient visual work with medical data using a web browser in the JupyterLab interactive environment. After implementing and testing the proposed mathematical approach, analyzing and visualizing the results, the polygon will help not only to minimize blurry areas in images at the image reconstruction stage, but also to reduce radiation exposure to patients during CT examinations.

Anikina A., Andreev G., Andreev V., Anikin I., Belyakov D., Grigorov G., Kokorev A., Sharipov Sh., Streltsova O., Zuev M. Polygon for Visualization of Brain Computed Tomography Data // Phys. Part. Nucl. (accepted).

Many high-energy physics experiments apply the UrQMD model at the design stage to predict experimental data and analyze the obtained results. In this paper, the new version of the UrQMD 3.4 model is used to analyze the experimental data of the NA61/SHINE collaboration. It is shown that the UrQMD 3.4 model reproduces the data on π^\pm , K^- , proton and antiproton production in $^{40}\text{Ar} + ^{45}\text{Sc}$ interactions with the appropriate choice of the impact parameter. The UrQMD 3.4 model is also applied to study the spectra of neutrons produced in proton–nucleus interactions. The model well reproduces energetic ($E_n > 10$ MeV) neutron spectra in $p + \text{Al}$, Fe, Pb at an energy of 3 GeV in the so-called “cascade” mode. Off-shell mass neutrons dominate at lower neutron energies. Off-shell nucleons have to form residual nuclei, the deexcitation of which has to produce evaporated nucleons and light nuclei. To simulate these processes, the UrQMD 3.4 model was coupled with a clustering model and a statistical multifragmentation model (SMM) using the “potential”

цессов модель UrQMD 3.4 была соединена с моделью кластеризации и статистической моделью мультифрагментации (SMM) с использованием «потенциального» режима модели UrQMD. В результате достигнуто хорошее описание энергетических распределений медленных и быстрых нейтронов, образующихся в протон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействиях. Модель UrQMD 3.4 + SMM также достаточно хорошо воспроизводит распределения по атомной массе и зарядам ядерных фрагментов в ядро-ядерных взаимодействиях. Она может применяться в экспериментах на ускорительном комплексе NICA. Работа выполнена совместно с сотрудниками ЛФВЭ.

Галоян А., Ле Т.К.Т., Тараненко А., Ужинский В. Моделирование рождения нейтронов и ядерных фрагментов в протон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействиях в модели UrQMD 3.4, дополненной моделью кластеризации и мультифрагментационной статистической моделью // Изв. РАН. Сер. физ. 2025 (направлено).

В эксперименте JUNO (Jiangmen Underground Neutrino Observatory, Китай) генерируются большие объемы данных, требующие долговременного хранения и доступности для участников международной коллаборации. ОИЯИ обеспечивает архивное хранение всего массива данных эксперимента за весь пери-

од его работы, а также оперативный доступ к данным за последние два года, которые необходимы для вычислительных задач. Для этих целей в Институте было развернуто высокопроизводительное хранилище на базе системы dCache, интегрированное с распределенной вычислительной инфраструктурой JUNO.

Система dCache, широко используемая в научных инфраструктурах для работы с большими массивами данных, имеет модульную архитектуру: управляющие сервисы, шлюзы доступа по различным протоколам, пулы хранения и сервисы координации. Такая архитектура обеспечивает гибкость и масштабируемость, но увеличивает сложность эксплуатации и предъявляет серьезные требования к контролю конфигураций и надежности работы системы.

Для повышения надежности и управляемости всей инфраструктуры используются современные подходы автоматизации: GitOps и инфраструктура как код. Конфигурации хранилища описаны на декларативном языке Puppet и хранятся в системе Git, что обеспечивает контроль версий и прозрачную историю изменений. Весь процесс внедрения изменений конфигурации автоматизирован: GitLab CI/CD обеспечивает предварительное тестирование (проверку стиля и синтаксиса), Foreman выполняет классификацию узлов, а Puppet ав-

mode of the UrQMD model. As a result, a good description of the energy distributions of slow and fast neutrons produced in proton–nucleus and nucleus–nucleus interactions was reached. The UrQMD 3.4 + SMM model also reproduces sufficiently well the atomic mass and charge distributions of nuclear fragments in nucleus–nucleus interactions. UrQMD 3.4 + SMM can be applied in the NICA experiments. The work was carried out in collaboration with VBLHEP specialists.

Galoyan A., Le T. Q. T., Taranenko A., Uzhinsky V. Simulation of Neutron and Nuclear Fragment Production in UrQMD 3.4 Model Supplemented by Clustering Model and Multi-Fragmentation Statistical Model // Izv. Russ. Acad. Sci., Phys. Ser. 2025 (submitted).

The JUNO (Jiangmen Underground Neutrino Observatory, China) experiment generates large data volumes that require long-term storage and accessibility for international collaboration participants. JINR ensures the archival storage of the entire data array of the experiment for the whole period of its operation, as well as rapid access to data for the last two years necessary for computational tasks.

For these purposes, high-performance storage on top of the dCache system, integrated with the JUNO distributed computing infrastructure, was deployed at the Institute.

The dCache system, widely used in scientific infrastructures to work with large data arrays, has a modular architecture: management services, access gateways for various protocols, storage pools, and coordination services. This architecture provides flexibility and scalability, but increases operational complexity and sets high requirements on configuration control and system reliability.

To enhance the reliability and manageability of the infrastructure, advanced automation approaches, namely, GitOps and Infrastructure-as-Code, are applied. Storage configurations are described in the declarative Puppet language and stored in the Git system, which ensures version control and a transparent change history. The entire process of implementing configuration changes is automated, i.e., GitLab CI/CD provides preliminary testing (style and syntax checking), Foreman performs node classification, and Puppet automatically applies new configurations, ensuring reproducibility and consistency across the environment.

томатически применяет новые конфигурации, что гарантирует воспроизводимость и единообразие среды.

Мониторинг состояния сервисов выполняется с использованием популярного и широко применяемого стека: Prometheus, Grafana, Loki/Alloy и Alertmanager. Он обеспечивает оперативное наблюдение за работой компонентов системы, визуализацию ключевых метрик и автоматическое оповещение при отклонениях, что помогает поддерживать высокую доступность сервиса.

Опыт эксплуатации подтверждает, что сочетание современных методологий управления, автоматизации и развитых средств мониторинга обеспечивает стабильную и надежную работу хранилища данных JUNO.

Баранов А.В., Балашов Н.А., Махалкин А.Н., Семенов Р.Н., Кашунин И.А. GitOps-управляемое распределенное хранилище данных dCache для нейтринного эксперимента JUNO в инфраструктуре ОИЯИ // ЭЧАЯ (принято к публ.).

Одной из основных задач для ТРС МРД на ускорительном комплексе NICA является реконструкция траекторий заряженных частиц. Задача усложняется чрезвычайно высокой частотой взаимодействий, что значительно увеличивает объем данных, регистрируемых детекторами. Для решения этой проблемы разработана графовая нейронная сеть (GNN) с механизмом

внимания и двухэтапной агрегацией. Модель обучалась и проходила тестирование на наборе данных из 1000 событий столкновения Au–Au, сгенерированном с помощью MPDRoot. Архитектура модели включает кодировщики узлов и ребер, начальный классификатор ребер, графовый сверточный слой с механизмом внимания, слой обновления признаков ребер и финальный классификатор ребер. Основные блоки итерационно повторяются 8 раз для достижения сходимости признаков узлов и ребер. Сравнительный анализ показал, что внедрение механизма внимания и двухэтапной агрегации повышает производительность классификации ребер, в результате достигается 96,2 % точности в сочетании с 92,6 % по метрикам чистоты и эффективности. Эффективность реконструкции треков превышает 90 % при целостности треков не выше 80 %. Модель обеспечивает беспрецедентную скорость обработки событий (~80 мс/событие) в сравнении с классическими методами (~10 с/событие).

Толочко Е., Ососков Г., Войтишин Н. Графовая нейронная сеть с вниманием и двухэтапной агрегацией для реконструкции треков частиц в ТРС МРД ускорительного комплекса NICA // Вычисления и программное обеспечение для большой науки. 2025. Т.9. С.22; <https://doi.org/10.1007/s41781-025-00153-4>.

Service status monitoring is carried out using a popular and widely used stack: Prometheus, Grafana, Loki/Alloy, and Alertmanager. It provides the rapid monitoring of system components, the visualization of key metrics, and automatic alerts in the case of deviations, which helps to maintain high service availability.

The operational experience confirms that the combination of state-of-the-art management methodologies, automation, and advanced monitoring tools ensures the stable and reliable functioning of the JUNO data storage.

Baranov A., Balashov N., Makhalkin A., Semenov R., Kashunin I. GitOps-Managed Distributed Data Storage System on Top of dCache for the JUNO Neutrino Experiment within the JINR Computing Infrastructure // Phys. Part. Nucl. (accepted).

One of the main challenges for the TPC MPD at the NICA accelerator complex is charged particle trajectory reconstruction. It is complicated by the extremely high interaction frequency, which significantly increases the volume of data recorded by the detectors. To solve this problem, a graph neural network (GNN) with an attention mechanism and two-stage aggregation was developed. A dataset of 1000 Au–Au collision events generated with

MPDRoot was utilized to train and test the GNN model. The model architecture embraces node and edge encoders, an initial edge classifier, a graph convolutional layer with an attention mechanism, an edge embedding updater, and a final edge classifier. The major blocks are iteratively repeated eight times to achieve the convergence of node and edge embeddings. The comparative analysis demonstrates that the introduction of the attention mechanism and two-stage aggregation enhances the performance of the GNN in edge classification, achieving 96.2% in accuracy and 92.6% in both purity and efficiency. Meanwhile, the track reconstruction efficiency exceeds 90% for track integrities below 80%. The model provides the unprecedented event processing rate (~80 ms/event) compared to classical methods (~10 s/event).

Talochka Ya., Ososkov G., Voytishin N. Graph Neural Network with Attention and Two-Stage Aggregation for Particle Track Reconstruction in the TPC MPD of the NICA Accelerator Complex // Comput. Softw. Big Sci. 2025. V.9. P.22; <https://doi.org/10.1007/s41781-025-00153-4>.