

И. Пелеванюк, А. Царегородцев

DIRAC Interware — единый интерфейс к распределенным вычислениям

В ОИЯИ полным ходом идет разработка детекторов для коллайдера NICA. Когда ускоритель и детекторы будут запущены в эксплуатацию, они породят огромные объемы экспериментальных данных. Помимо экспериментов на NICA в ОИЯИ проводятся исследования и на других больших научных установках: Baikal-GVD, JUNO и др. Проводимые исследования часто требуют большого количества вычислительных ресурсов и ресурсов хранения для моделирования, обработки и анализа как теоретических, так и экспериментальных данных. Вычислительная инфраструктура в современных экспериментах является таким же ключевым компонентом, как и сама научная установка.

ОИЯИ обладает большим количеством разных вычислительных ресурсов: кластеры Tier-1/Tier-2, суперкомпьютер «Говорун», облако, кластер NICA. Ресурсы каждого из них можно использовать для достижения

целей компьютеринга экспериментов на коллайдере NICA. Основной трудностью в данном случае является то, что эти ресурсы совершенно разные с точки зрения архитектуры, процедур доступа и авторизации, способов применения. Для того чтобы обеспечить их эффективное использование, необходимо, с одной стороны, интегрировать ресурсы в единую систему, а с другой стороны, не помешать их текущей эксплуатации и выполнению других задач.

Для интеграции перечисленных выше разнородных ресурсов было решено использовать платформу DIRAC Interware [1]. DIRAC (Distributed Infrastructure with Remote Agent Control) выполняет функцию промежуточного слоя между пользователями и аппаратными мощностями, предоставляя общий интерфейс к поставщикам разнородных ресурсов. Изначально платформа DIRAC разрабатывалась силами коллаборации LHCb для организации компьютеринга. В 2008 г.

I. Pelevanyuk, A. Tsaregorodtsev

DIRAC Interware — Unified Interface to Distributed Computing

The development of detectors for the NICA collider is in full swing at the Joint Institute for Nuclear Research (JINR). When the accelerator and detectors are put into operation, they will generate huge amounts of experimental data. In addition to the NICA experiments, studies at other large-scale scientific facilities (Baikal-GVD, JUNO, etc.) are conducted at JINR. These studies often require a large amount of computing and storage resources for modeling, processing and analyzing both simulated and experimental data. A computing infrastructure in modern experiments is as a key component as the scientific facility itself.

JINR has a large number of different computing resources: Tier-1/Tier-2 clusters, “Govorun” supercomputer, cloud, NICA cluster. The resources of each of them can be used to achieve the goals of computing for the NICA ex-

periments. The major difficulty in this case is that these resources differ from each other in terms of the architecture, access and authorization procedures, methods of their use. To ensure their efficient use, it is required, on the one hand, to integrate the resources into a unified system, and on the other hand, not to interfere with their current operation and performance of other tasks.

To integrate the above heterogeneous resources, it was decided to use the DIRAC Interware platform [1]. DIRAC (Distributed Infrastructure with Remote Agent Control) acts as a middleware between users and hardware capacity, ensuring a common interface to heterogeneous resource providers. Initially, the DIRAC platform was developed by the LHCb collaboration to organize computing. In 2008, it began to develop as an open-source product aimed at

она стала развиваться как продукт с открытым исходным кодом, предназначенный для организации распределенных вычислений на основе гетерогенных вычислительных ресурсов. На сегодня DIRAC активно используется в экспериментах LHCb, BES-III, Belle II, ILC, CLIC и др.

Платформа DIRAC обладает следующими преимуществами.

- Хорошая производительность. Для LHCb — это десятки миллионов задач в год средней продолжительностью 10 ч.
- Единая система для управления задачами, данными, метаданными, правами доступа, автоматизацией и для предоставления аккаунтинга.
- Возможность дорабатывать функционал системы под собственные нужды.
- Большое и активное сообщество пользователей и разработчиков. Ежегодно проходят рабочие совещания, собирающие около 40 человек из 25 институтов мира, на которых определяется текущее состояние и планы развития платформы.

Платформа DIRAC была установлена в ОИЯИ в 2017 г. в экспериментальном режиме. Для оценки эффективности ее работы использовались типовые задачи моделирования для экспериментов VM@N и MPD,

а также не привязанные к экспериментам тестовые задачи. В дальнейшем DIRAC в ОИЯИ развивался с расчетом на удовлетворение требований разных экспериментов и научных групп.

В 2018 г. проводились работы по интеграции облачных инфраструктур ОИЯИ и стран-участниц Института в распределенную платформу на основе DIRAC [2]. Для этого потребовалось разработать специальный модуль, который позволял бы DIRAC инициировать создание виртуальных машин в системе OpenNebula, на базе которой построено вычислительное облако ОИЯИ и облака стран-участниц. Модуль был разработан специалистами ЛИТ и добавлен в исходный код DIRAC [3]. На сегодня разработанный модуль не только активно используется в ОИЯИ, но и включен в инфраструктуры экспериментов BES-III и JUNO. Интеграция облаков партнерских организаций стран-участниц ОИЯИ в распределенную платформу на основе DIRAC (рис. 1) открывает им новые возможности участия в вычислениях для экспериментов мега-сайенс-проекта NICA.

Одновременно с интеграцией вычислительных облаков прорабатывалось решение об интеграции разнородных вычислительных ресурсов на основе DIRAC для действующего в настоящее время эксперимента

organizing distributed computing based on heterogeneous computing resources. Today DIRAC is actively used in the LHCb, BES-III, Belle II, ILC, CLIC and other experiments.

The DIRAC platform has the following advantages:

- Good performance. For LHCb, this is tens of millions of jobs per year with an average duration of 10 h.
- Unified system for managing jobs, data, metadata, access rights, automation and for providing accounting.
- Ability to modify the system functionality for one's own needs.
- Large and active community of users and developers. Workshops, at which the current state and development plans of the platform are defined, are held annually, bringing together about 40 specialists from 25 institutes of the world.

In 2017, the DIRAC platform was installed at JINR in an experimental mode. To evaluate its efficiency, typical simulation jobs for the VM@N and MPD experiments, as well as test jobs not related to the experiments, were used. Subsequently, DIRAC at JINR was developed to meet the requirements of different experiments and scientific groups.

In 2018, work to integrate the cloud infrastructures of JINR and its Member States into the DIRAC-based distributed platform was performed [2]. This entailed the development of a special module that would allow DIRAC to initiate the creation of virtual machines in the OpenNebula system, on the basis of which the JINR computing cloud and the Member States' clouds were built. The module was developed by specialists of the JINR Laboratory of Information Technologies and added to the source code of DIRAC [3]. At present, the developed module is actively used not only at JINR, but is also included in the infrastructures of the BES-III and JUNO experiments. The integration of the clouds of the JINR Member States' organizations into the DIRAC-based distributed platform (Fig. 1) opens up new opportunities for the Member States to participate in computing for the experiments of the NICA megascience project.

Simultaneously with the integration of computing clouds, a solution on the integration of heterogeneous computing resources based on DIRAC for the current VM@N experiment, as well as for the future MPD experiment at the NICA collider under construction, was worked out. The bandwidths of storage systems on disk

BM@N, а также для будущего эксперимента MPD на базе строящегося коллайдера NICA. Были изучены пропускные способности систем хранения на дисковых и ленточных накопителях, проведено стресс-тестирование всех основных ресурсов, разработаны подходы к решению стандартных задач генерации, обработки и передачи данных [4].

В августе 2019 г. первая группа задач моделирования Монте-Карло данных для эксперимента MPD была отправлена через DIRAC на ресурсы грид-кластеров Tier-1 и Tier-2. Далее в платформу распределенных вычислений был интегрирован суперкомпьютер «Говорун». Летом 2020 г. были добавлены кластер NICA и кластер Национального автономного университета Мексики (UNAM). В качестве систем хранения были интегрированы системы dCache, под управлением которой находятся дисковые и ленточное хранилища, и EOS. Стоит отметить, что кластер UNAM стал первым вычислительным ресурсом, находящимся за границей Европы и Азии и включенным в инфраструктуру DIRAC в ОИЯИ. Схема интеграции географически распределенных гетерогенных ресурсов на основе DIRAC Interware представлена на рис. 2.

С применением этой инфраструктуры выполняется программа централизованной генерации Монте-

Карло данных для эксперимента MPD NICA [5]. Более 500 000 задач были успешно выполнены с использованием DIRAC для моделирования событий с помощью генераторов UrQMD, GSM, 3 Fluid Dynamics и vHLLU. UrQMD для эксперимента MPD (рис. 3). Время счета каждой задачи составляло в среднем 5 ч. Обычно процесс выполнения задачи включает в себя загрузку исходных данных, непосредственно сами вычисления и выгрузку полученных результатов в систему хранения. В качестве систем хранения используются EOS для записи на дисковое хранилище и dCache для доступа к ленточному хранилищу. Под управлением DIRAC было записано около 1 млн файлов с данными для MPD, общий размер которых уже превысил 130 Тбайт.

Другой сферой использования платформы DIRAC в ОИЯИ стало участие в добровольных вычислениях, связанных с исследованиями вируса SARS-CoV-2 в рамках проекта Folding@Home [6]. Для исследований по COVID-19 успешно задействованы свободные от основной деятельности ОИЯИ облачные ресурсы как Института, так и организаций его стран-участниц. Вклад всех облачных инфраструктур учтен как в аккаунтинге Folding@Home в рамках группы «Joint Institute for Nuclear Research» [7], так и в рамках системы аккаунтинга самого DIRAC.

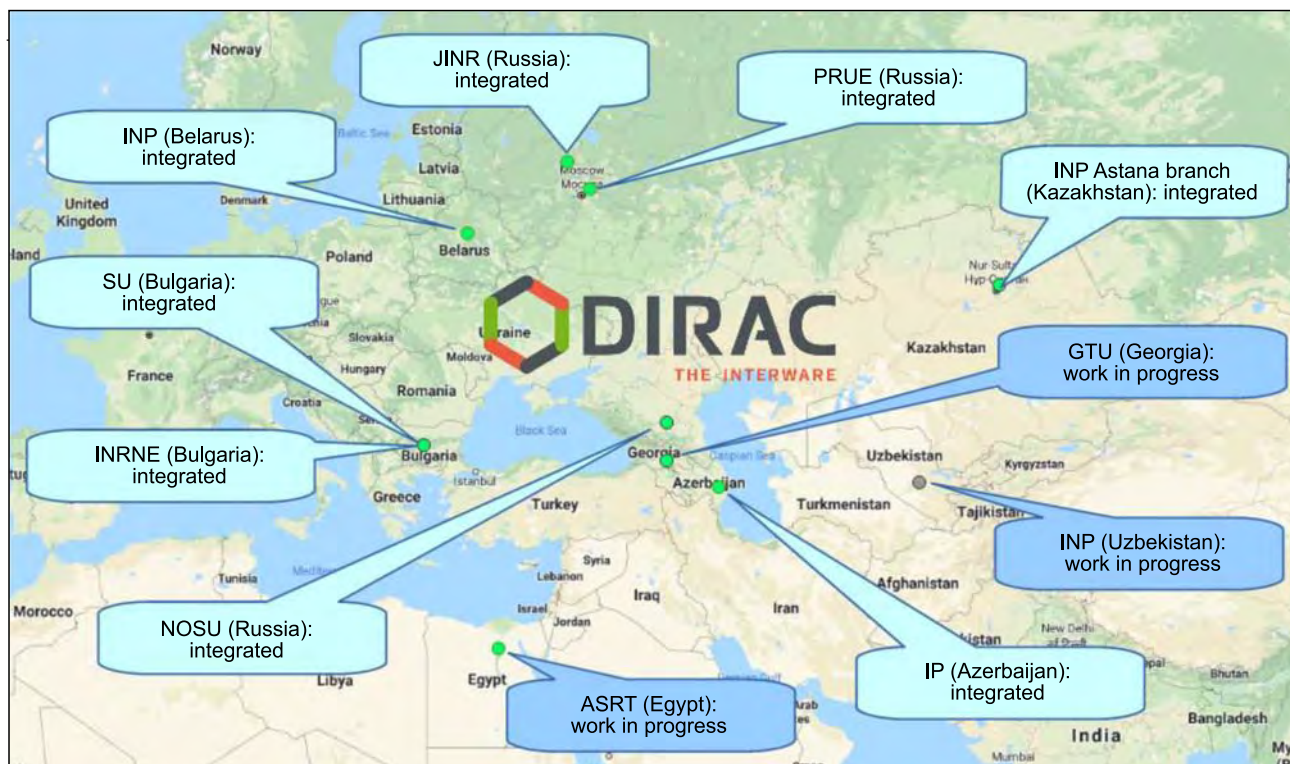


Рис. 1. Облака организаций стран-участниц ОИЯИ, интегрированные в распределенную информационно-вычислительную среду на основе платформы DIRAC

Fig. 1. Clouds of the JINR Member States' organizations integrated into the distributed information and computing environment based on the DIRAC platform

Рис. 2. Схема интеграции географически распределенных гетерогенных ресурсов на основе DIRAC Interware

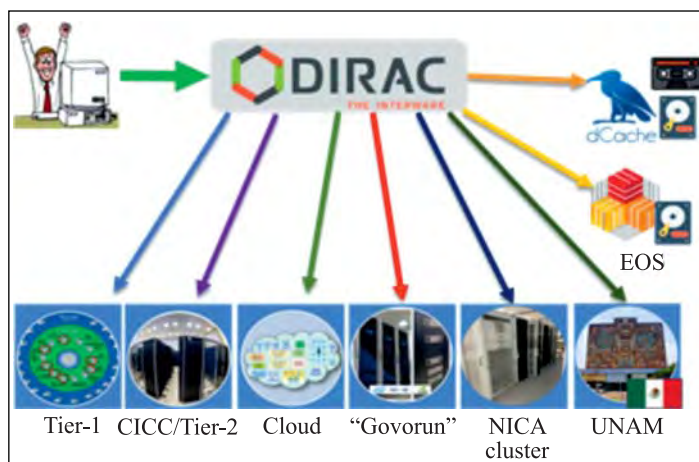


Fig. 2. Scheme of the integration of geographically distributed heterogeneous resources based on the DIRAC Interware

and tape drives were studied, stress testing of all the main resources was conducted, approaches to solving standard tasks of data generation, processing and transfer were elaborated [4].

In August 2019, the first set of Monte Carlo data simulation jobs for the MPD experiment was sent to the resources of the Tier-1 and Tier-2 grid clusters via DIRAC. Then the "Govorun" supercomputer was integrated into the distributed computing platform. In the summer of 2020, the NICA cluster and the cluster of the National Autonomous University of Mexico (UNAM) were added. dCache, which manages disk and tape storages, and EOS were integrated as storage systems. It is noteworthy that the UNAM cluster became the first computing resource located outside Europe and Asia and included in the DIRAC infrastructure at JINR. The scheme of the integration of geographically distributed heterogeneous resources based on the DIRAC Interware is shown in Fig. 2.

Using this infrastructure, a program of the centralized Monte Carlo data generation for the MPD experiment of the NICA megascience project is performed [5]. Using DIRAC, more than 500 000 jobs were successfully completed for event modeling with the help of the UrQMD, GSM, 3 Fluid Dynamics and vHLLU_UrQMD generators for the MPD experiment (Fig. 3). The calculation time for each job reached about 5 h. The process of performing a job usually comprises the loading of initial data, calculations themselves, and the uploading of the results to the storage system. As storage systems, EOS is used to write to disk storage, and dCache is used to access tape storage. About one million data files, the total size of which already

Рис. 3. Распределение выполненных задач между вычислительными ресурсами с помощью DIRAC во время централизованной генерации данных для MPD

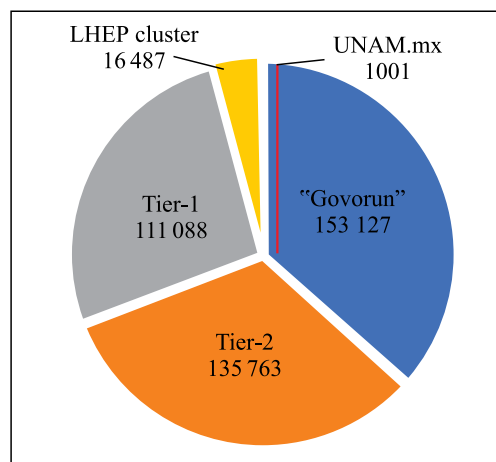


Fig. 3. Distribution of completed jobs between the computing resources using DIRAC during centralized data generation for MPD

exceeded 130 TB, were written for MPD under the management of DIRAC.

The participation in voluntary computing related to the study of the SARS-CoV-2 virus within the Folding@Home project became another area of using the DIRAC platform at JINR [6]. Cloud resources of both the Institute and its Member States' organizations that are free from the major activity of JINR are successfully involved in the COVID-19 research. The contribution of all the cloud infrastructures is taken into consideration in the accounting of Folding@Home within the "Joint Institute for Nuclear Research" group [7] and in the frames of the accounting system of DIRAC itself.

The integration of computing resources based on the DIRAC platform is an important step in the development of distributed data processing at JINR. This integration allows one to include any kind of computing resources into a unified system and provide them to users via a unified web interface, a command line interface or a programming interface. Work on the development of the functionality of the system is in progress. The developed system is open to new tasks, new users, and new computing resources.

Интеграция вычислительных ресурсов на базе платформы DIRAC — это важный шаг в развитии распределенной обработки данных в ОИЯИ. Такая интеграция позволяет включить практически любой вид вычислительных ресурсов в единую систему и предоставить их пользователям через единый веб-интерфейс, интерфейс командной строки или программный интерфейс. Работы по развитию функциональных возможностей системы продолжаются. Разработанная система открыта для новых задач, новых пользователей и новых вычислительных ресурсов.

Список литературы / References

1. *Gergel V., Korenkov V., Pelevanyuk I., Sapunov M., Tsaregorodtsev A., Zrellov P.* Hybrid Distributed Computing Service Based on the DIRAC Interware // *Commun. Comp. Inform. Sci.* 2017. V.706; https://doi.org/10.1007/978-3-319-57135-5_8.
2. *Baranov A.V. et al.* New Features of the JINR Cloud // *CEUR Workshop Proc.* 2018. V.2267. P.257–261.
3. *Balashov N., Kuchumov R., Kutovskiy N., Pelevanyuk I., Petrunin V., Tsaregorodtsev A.* Cloud Integration within the DIRAC Interware // *CEUR Workshop Proc.* 2019. V. 2507. P. 256–260.
4. *Korenkov V., Pelevanyuk I., Tsaregorodtsev A.* Integration of the JINR Hybrid Computing Resources with the DIRAC Interware for Data Intensive Applications // *Commun. Comp. Inform. Sci.* 2020. V. 1223; https://doi.org/10.1007/978-3-030-51913-1_3.
5. *Pelevanyuk I. et al.* Integration of Distributed Heterogeneous Computing Resources for the MPD Experiment with DIRAC Interware // *Phys. Part. Nucl.* (submitted).
6. *Zimmerman M.I. et al.* Citizen Scientists Create an Exascale Computer to Combat COVID-19. *bioRxiv* 2020.06.27.175430; [doi:https://doi.org/10.1101/2020.06.27.175430](https://doi.org/10.1101/2020.06.27.175430).
7. <https://stats.foldingathome.org/team/265602>.