

УДК 681.3.01

**АРХІТЕКТУРА ВЕБ-ОРІЄНТОВАНОЇ СИСТЕМИ ВІРТУАЛЬНИХ
ЛАБОРАТОРІЙ В ГРІД-ІНФРАСТРУКТУРІ****Сальніков А.О., Слюсар Є.А., Анісімов М.І.,
Левченко Р.І., Мар'яновський В.А., Десятник Н.П.,
Чередарчук А.І., Судаков О.О. Бойко Ю.В.****Київський національний університет імені Тараса Шевченка**

Описано результати аналізу ряду існуючих систем керування завданнями в Грід. На Грід ресурсі Київського національного університету проведено тестування трьох систем: LAP, P-GRADE, BIOSIMGRID. Здійснено порівняння характеристик проаналізованих систем керування. Розроблено вимоги до архітектури комплексної веб-орієнтованої системи віртуальних лабораторій та інтерактивного керування завданнями в GRID-інфраструктурі високопродуктивних обчислень для наукових та освітніх установ України.

Ключові слова: грід, портал, кластер, віртуальна організація, прикладна програма, авторизація.

Вступ

Сьогодні існує велика кількість світових та європейських проектів з розвитку GRID – систем для різних застосувань [1]. Завдання створення інтероперабельної Грід-інфраструктури в Україні наразі вирішено [2]. Установи Національної Академії Наук України та Міністерства освіти і науки України мають обчислювальні ресурси на базі яких працюють елементи Грід-інфраструктури: обчислювальні, збереження даних, членства у віртуальних організаціях, авторизації [3, 4]. Головною проблемою є практичне застосування створених ресурсів, оскільки використання Грід для прикладних задач вимагає певної кваліфікації в галузі Unix-систем та розподілених систем. Ця проблема може бути вирішена створенням інтуїтивно зрозумілих інтерфейсів користувача з використанням графічних WWW-браузерів та інших графічних середовищ. Метою даної роботи є аналіз сучасних систем керування задачами в Грід та формулювання вимог до комплексної системи підтримки віртуальних лабораторій для Грід -інфраструктури високопродуктивних обчислень наукових та освітніх установ України, яку в подальшому планується реалізувати в рамках науково-технічної розробки за замовленням Міністерства освіти і науки України.

Грід-інфраструктура високопродуктивних обчислень для наукових та освітніх установ України

Сьогодні Україна має Грід -інфраструктуру, яка була створена в основному впродовж останніх трьох-чотирьох років і до якої входять обчислювальні ресурси близько двадцяти наукових та освітніх установ України. Перші українські Грід-ресурси [3, 4] були створені у 2005 році на базі обчислювального кластера [5] Інформаційно-обчислювального центру Київського національного університету імені Тараса Шевченка за ініціатииви Інституту теоретичної фізики НАНУ ім. Боголюбова за допомогою фахівців Європейського центру ядерних досліджень CERN. У 2006 р. використовуючи цей досвід був створений Український академічний Грід. У 2006 р. Міністерство освіти і науки України прийняло програму "Інформаційні та комунікаційні технології в освіті і науці" на 2006-2010 р., в рамках якої було створено кластери та Грід-ресурси в ряді освітніх установ України.

Грід-інфраструктура — це набір ресурсів, які приєднані до мережі Інтернет і взаємодіють між собою за допомогою проміжного програмного забезпечення Грід. Кожен ресурс містить керуючі компоненти, такі як інформаційна система, обчислювальний елемент, елемент збереження даних. Також можуть працювати такі підсистеми як служба підтримки віртуальних організацій, служба авторизації Му_проху, тощо.

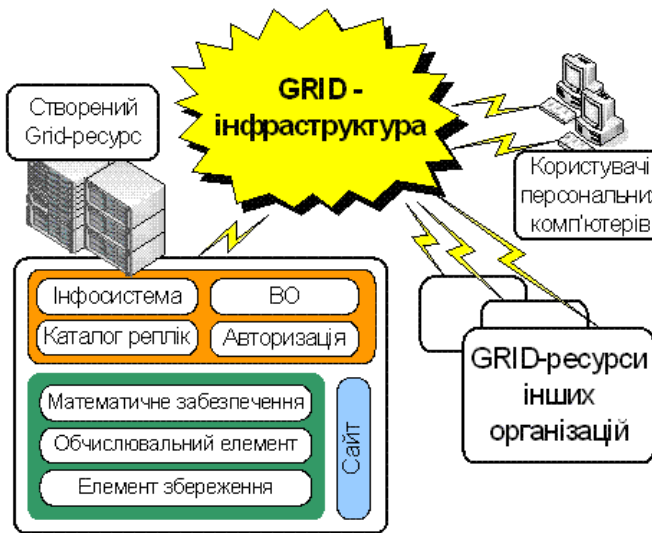


Рис. 1. Схема Грід-інфраструктури

забезпечення значно покращує характеристики та спрощує налаштування і адміністрування кластера. На практиці часто обчислювальна потужність кластерів нарощується поступово, по мірі придбання нових вузлів, тому в одному кластері часто працюють вузли з різним апаратним забезпеченням.

Робота ресурсів у Грід здійснюється за допомогою проміжного програмного забезпечення (middleware). В Українській Грід інфраструктурі використано програмне забезпечення NorduGrid middleware або Advanced Resource Connector (ARC) [6] – це відкрите програмне забезпечення, що надає доступ до ресурсів grid систем. ARC забезпечує надійну та стабільну роботу, масштабованість обчислювальних систем та високу продуктивність middleware інтегрує в єдину систему обчислювальні потужності кластерів учасників системи та файлові архіви для збереження даних.

ARC побудовано згідно стандартів відкритих протоколів OpenLDAP, OpenSSL, SASL та бібліотек Globus Toolkit. Основні компоненти Nordugrid middleware:

1. Grid Manager, що здійснює загальне керування задачами та ресурсами системи;
2. ARC/NorduGrid GridFTP server, що використовується для завантаження задач в спеціальну директорію сесій для подальшого запуску;
3. Інформаційна схема ресурсу NorduGrid schema;
4. Інтерфейс користувача;
5. Мова програмування xRSL (extended Resource Specification Language);
6. Система моніторингу.

Деякі кластери, зокрема кластер Київського національного університету імені Тараса Шевченка мають інстальоване програмне забезпечення glite [7]. Це найбільш універсальний пакет проміжного програмного забезпечення, що використовується проектом EGEE. Він базується на відкритих стандартах архітектури GRID-систем (Open Grid Standards Architecture, OGSA), що значно підвищує його сумісність із іншими пакетами. Крім того, це програмне забезпечення є масштабованим і дозволяє без особливих змін у налаштуваннях підтримувати будь-яку кількість віртуальних організацій, ресурсів та користувачів завдяки розподілу навантаження між декількома вузлами, що підтримують певну службу. Отже, gLite можна застосовувати як у межах національного GRID-сегменту, так і у складі EGEE.

Також більшість кластерів мають проміжне програмне забезпечення AliEn [8] — це спеціалізоване проміжне програмне забезпечення, що було розроблено в Міжнародному центрі ядерних досліджень (CERN) для симуляції та аналізу даних, що будуть надходити із Великого адронного колайдера (LHC) – найбільшого у світі прискорювача елементарних частинок, а саме із експериментальної установки ALICE (A Large Ion Collider Experiment) для вивчення кварк-глюонної плазми.

Порівняльна характеристика вищезгаданих пакетів проміжного програмного забезпечення приведена у Таблиці № 1. Всі три пакети підтримують стандартні протоколи доступу до даних, що дозволяє під'єднувати нові сховища без розгортання на них повного набору проміжного програмного забезпечення. Наявність Web-інтерфейсів до служб моніторингу у всіх пакетах дозволяє користувачам отримувати актуальну інформацію про ресурс, не потребуючи для цього розгортання компонентів проміжного програмного забезпечення на своїх комп'ютерах.

Таблиця № 1.

*Характеристики GRID-служб GRID-ресурсу інформаційно-обчислювального центру
Київського національного університету імені Тараса Шевченка*

Служба	ARC	gLite	AliEn
CE (обчислювальний елемент)	“Grid-manager”	LCG-CE, CREAM	AliEn CE
SE (елемент збереження даних)	GridFTP, SRM, HTTPS		
FC (файловий каталог)	Globus RLS, RC	LCG-FC (LFC)	AliEnFS
GRIS / GIS (інформаційна система)	Globus MDS	BDII	ClusterMonitor
MON (система моніторингу)	“Load Monitor”	R-GMA	MonALISA
WM (система розподілу навантаження)	–	WMS + LB	JM + RB
CA (центр сертифікації)	myProxy		–
VOMS (служба віртуальних організацій)	EGEE VOMS		–

До служб керування належить інформаційна система, служба членства у віртуальних організаціях, служба авторизації тургоху. Інформаційна система працює на кожному кластері, що використовує програмне забезпечення ARC. Кожен кластер може бути зареєстрований на будь-якому з інших кластерів.

Служба членства у віртуальних організаціях (BOMC, VOMS) — це база даних, де зберігається інформація про сертифікати користувачів, які об'єднані в групи, що називаються віртуальними організаціями. Сьогодні в Українській Ґрід-інфраструктурі працює лише один такий сервер у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка (<http://grid.org.ua/voms/>). На момент написання в Українській Ґрід-інфраструктурі діє п'ять віртуальних організацій:

Ukraine — всі, хто бере участь у розробці Української Ґрід-інфраструктури

Virgo.ua — Virtual Gamma and Roentgen Observatory — Ґрід-система для обробки даних з супутників

Testbed.univ.kiev.ua — віртуальна організація для тестування навчання Ґрід у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка.

Moldyngrid — Спільний проєкт Київського національного університету імені Тараса Шевченка та Інституту молекулярної біології і генетики НАНУ [9].

Academia — Києво-Могилянська академія.

Інтерфейси запуску та керування завданнями в Ґрід

Огляд літератури показує зацікавленість тематикою розподілених обчислень не лише наукових, але й комерційних структур. Потужна веб-система створена на базі підрозділів Каліфорнійського університету (<http://www.ucgrid.org/>), в університеті Кембриджу створена ґрід-система CCPN, адаптована для розрахунків задач ЯМР (<http://www.ccpn.ac.uk/>), в Італійському національному інституті ядерної фізики було створено навчальний портал GILDA (<https://gilda.ct.infn.it/>), проєкт Gridipedia (<http://www.gridipedia.eu>) пропонує ряд

комплексних рішень для аграрної сфери, туризму та текстильної промисловості [10]. Частина проектів поки що не використовують веб-інтерфейси взагалі. Це можна пояснити тим, що в них беруть участь лише наукові установи, для яких інформаційні технології є одним з базових напрямів. Одним з великих проектів такого типу є Interactive European Grid (<http://www.i2g.eu/>). Однак, загальною є така тенденція: будь-які застосування Грід в комерційній сфері, або в науках, що не пов'язані з комп'ютерами безпосередньо (наприклад, хімія чи біологія) ведуть до необхідності створення веб-інтерфейсу грід-системи.

Частина проектів використовує власні закриті розробки, частина користується програмним забезпеченням з відкритим кодом. Найпопулярнішими веб-середовищами роботи з Грід, які мають стабільні працюючі версії є три – Lunarc, G-Lite (Gridsphere), BioSimGrid.

Gridsphere та P-Grade

Базове середовище розробки (framework) Gridsphere створено об'єднанням дослідників університету Каліфорнія (Сан-Дієго), центру суперкомп'ютингу та мереж (Познань) та Інституту Альберта Ейнштейна. Цей проект продовжує розвиватись. На базі Gridsphere створено веб-портал з розширеною функціональністю, що має назву P-Grade (<http://portal.p-grade.hu/>). Базове середовище розробки (framework) Gridsphere створено об'єднанням дослідників університету Каліфорнія (Сан-Дієго), центру суперкомп'ютингу та мереж (Познань) та Інституту Альберта Ейнштейна. Цей проект продовжує розвиватись. На базі Gridsphere створено веб-портал з розширеною функціональністю, що має назву P-Grade (<http://portal.p-grade.hu/>).

Як серверна, так і частково клієнтська частина даного продукту базуються на технології Java (клієнтська частина – Java Web Start). Серверна частина виконується під управлінням веб-серверу Apache Tomcat. Робочою одиницею для організації обчислень в порталі P-Grade є “набір задач” (workflow). Його можна редагувати, запускати на виконання і спостерігати за процесом обчислень на віддалених ресурсах. Права на доступ до них визначаються за сертифікатом користувача. Такий набір задач є направленим ациклічним графом, для кожної вершини якого вказано обчислювальний ресурс і програму для обробки даних (задачу), що буде на ньому виконуватись. Ребра цього графа відображають інформаційні канали, що з'єднують вхідні і вихідні точки (що в термінології P-Grade називаються портами) окремих задач. Особливістю такої схеми є можливість паралельного виконання незалежних задач.

Авторизація для роботи з порталом реалізована шляхом перевірки імені та паролю, які користувач отримує при реєстрації в системі. Для делегації роботи в Грід використовується сервер MyProху. Кожного разу, коли дослідник проводить розрахунок задачі в Грід, необхідно отримати делегацію від сервера MyProху у відповідній секції керування сертифікатами Workflow Manager. Засобів для створення сертифікатів турпроху портал не має, що прив'язує користувачів до необхідності використовувати для цього командний рядок. Це є недоліком.

Lunarc Application Portal

Lunarc Application Portal – належить центру наукових та технічних обчислень Лунду, Швеція (Lund Center for Scientific and Technical Computation) (http://laportal.sourceforge.net/docs/users_guide.pdf). Робота порталу базується на сервері застосувань WebWare для Python, що являє собою набір програмних компонент для створення об'єктно-орієнтованих веб-застосувань. Реалізацією WebWare для Python є модуль, що компілюється для веб-сервера Apache. Для створення інтерфейсів користувача до певного програмного забезпечення надано набір вбудованих бібліотек для мови Python. Бібліотеки дозволяють розробити CGI-сценарій інтерфейсу, що інтегрується в портал. Функції постановки завдання в Грід також покладаються на створений сценарій і реалізовані в зазначених бібліотеках. Взаємодія здійснюється тільки з грід-середовищем, що працює під управлінням ARC, і вимагає наявності інтерфейсу користувача (а саме його реалізації мовою Python), що розповсюджується разом з ARC.

На відміну від P-Grade, структурною одиницею для LAP є одне завдання. Для того, щоб розпочати роботу з порталом, необхідно завантажити дійсний проксі-сертифікат на сервер, що одночасно виконує функції ідентифікації користувача і надає можливість делегувати завдання в Ґрід. Для операційної системи Windows розробники створили програму «Grid Certificate Manager». Програма дозволяє не тільки генерувати проксі-сертифікати на основі ключів, але й посилати запит на отримання та продовження сертифікату користувача. Також корисною функцією є автоматичне завантаження проксі-сертифікату на сервер LAP з відкриттям вікна веб-браузера.

BioSimGrid

Проект університетів Саусхемптон (Southampton) та Оксфорд, орієнтований на дослідження молекулярної динаміки [11]. Проект є закритим, доступ до вихідних кодів та файлів проекту надається тільки за умови особистої співпраці з авторами, а інсталяція порталу орієнтована на розширення власне BioSimGrid. Неможливим є самостійне використання порталу сторонніми організаціями чи застосування методик до дослідження інших проблем.

На відміну від P-Grade та LAP, робота BioSimGrid зосереджена на іншій проблемі автоматизації – роботі та оперування з даними. Портал розв’язує проблему збереження траєкторій молекулярної динаміки та даних про них. Інформація про посилання на URL траєкторії в системі збереження Ґрід (Analyse Data) та опис параметрів проведення розрахунку (Simulation Data) містяться в базі даних. Серверна частина бази даних базується на програмному забезпеченні Oracle.

Сам портал являє собою виключно веб-інтерфейс до бази даних, що реалізує набір операцій з траєкторіями, в тому числі, наприклад, візуалізацію (рендеринг) об’єкту досліджень. Розрахунок траєкторій проводиться за допомогою стандартних засобів командного рядку – використовується мова програмування Python та Perl для реалізації взаємодії з Ґрід та базою даних.

Авторизація на порталі проводиться за іменем та паролем, що користувач отримав в процесі реєстрації. Для оперування з системою збереження в Ґрід необхідний проксі-сертифікат користувача: портал передбачає або завантаження створеного сертифікату з комп’ютера дослідника, або використання служби MyProxu.

Застосований підхід вирішує проблему автоматизації роботи з системою збереження Ґрід, а використання бази даних траєкторій забезпечує прив’язку до параметрів обрахунку. Проте, робота з завданнями і контроль алгоритму розрахунку повинен здійснюватись користувачем за допомогою засобів командного рядку UNIX, створених мовою Python.

Порівняння інтерфейсів користувача наведено в Таблиці № 2.

Таблиця № 2.

Порівняльні характеристики веб-інтерфейсів Ґрід

Назва проекту	P-Grade	Lunarc	BioSimGrid
1	2	3	4
Доступ до вихідного коду	відкритий	відкритий	закритий
Середовище роботи	JSR 168 Sun Java + Apache Tomcat	Python + WebWare + Apache	Python + Perl + Oracle
Метод авторизації	Логін, пароль + делегація MyProxu або сертифікат	Проксі-сертифікат	Логін, пароль + делегація MyProxu
Ґрід-середовище проміжного рівня	LCG, gLite 3.0	ARC	Адаптер Python для різних середовищ
Структура завдань	Граф завдань	Сценарії мовою Python	

1	2	3	4
Взаємодія з зовнішніми програмами			Бібліотека інтерфейсів мовою Python
Керування завданнями	Інформаційна система у вигляді таблиці завдань		
Система збереження	Явний запис URL		База даних

Вимоги до архітектури комплексної системи віртуальних лабораторій в Грід-інфраструктурі

На основі аналізу існуючих систем керування завданнями в Грід та власного досвіду розробників можна сформулювати основні вимоги до інтегрованого середовища роботи в Грід:

- середовище має базуватись на стандартних та відкритих протоколах зв'язку без використання специфічного програмного забезпечення;
- середовище має виконувати інтеграцію з віртуальними організаціями на рівні застосувань Грід;
- середовище повинне надавати інтерфейси постановки та керування розрахунками;
- середовище повинне передбачати взаємодію з зовнішніми застосуваннями;
- середовище повинне дозволяти працювати з різним програмним забезпеченням проміжного рівня.

Архітектура системи

Для того, щоб задовольнити вказаним вимогам, було запропоновано архітектуру інтерфейсу керування та запуску задач в Грід, або порталу (Рис. 2).



Інтерфейс було названо комплексною системою віртуальних лабораторій, оскільки вона дасть можливість науковцям використовувати прикладні програми в Грід без знання особливостей роботи в Грід. Робота з прикладним програмним забезпеченням здійснюється через веб-інтерфейс, який можна зробити близьким до інтерфейсу лабораторної установки чи зручного інтерфейсу прикладної програми. Основна ідея – адаптувати особливості інтерфейсу прикладної програми з проміжним програмним забезпеченням Грід та веб-інтерфейсу користувача. Це буде здійснюватись шляхом розробки спеціальних програмних адаптерів. Для спрощення створення таких адаптерів буде надано бібліотеки (API).

Рис. 2. Архітектура системи віртуальних лабораторій

Головною вимогою є мобільність інтегрованого середовища, тобто використання технологій, які не вимагають специфічного програмного забезпечення чи операційної системи на комп'ютері дослідника, надаючи можливість працювати в будь-якому середовищі, що є для нього зручним. Для мобільності серверних компонент їх реалізація має використовувати стандартні та відкриті протоколи, а також мінімізувати можливий негативний вплив залежності від програм сторонніх розробників. Дані, що накопичуються на сервері, повинні легко резервуватися та відновлюватися. Небажаною є залежність від сторонніх баз даних чи систем управління сайтами (наприклад, безкоштовні системи типу Joomla), в яких ніхто не може гарантувати безпеку та стабільність.

Авторизація

Для порталу необхідно створити єдиний механізм аутентифікації та авторизації користувачів. Інтегроване середовище, як частина ґрід-інфраструктури, повинно будуватись на тих самих засадах і концепціях, що закладені в Ґрід. Персональним посвідченням користувача в Ґрід є його сертифікат, що може бути використаний в тому числі і для авторизації на порталі.

Сертифікат генерується на локальній машині користувача за допомогою наявних утиліт. Наявність файлу сертифікату є достатньою умовою для надання доступу до ґрід-ресурсів. Термін дії сертифіката встановлюється невеликим, що підвищує його безпеку.

Перевага проксі-сертифікату полягає в тому, що конфіденційна інформація (пароль) не передається з локального комп'ютера користувача в мережу. А доступ до порталу в обхід систем безпеки має бути неможливим.

Концепцією Ґрід, що закладена вже в його визначенні, є робота в рамках віртуальних організацій. Всі розглянуті середовища інтеграції з Ґрід працюють з окремими користувачами.

Метою створення інтегрованого середовища є автоматизація роботи певної віртуальної організації, тому робота з ВО має бути закладена вже на рівні застосувань Ґрід. Всі реалізації програмного забезпечення проміжного рівня Ґрід, працюють за принципом “single sign-on” – авторизація в системі відбувається тільки один раз, а за допомогою делегацій служби взаємодіють між собою без запитів інтерактивних дій від користувача.

Наприклад, якщо користувач пройшов авторизацію на обчислювальному елементі, то обчислювальний елемент може звернутися до елемента збереження. Створення середовища, яке інтегрується в Ґрід як складова системи, повинно також наслідувати цей принцип, а саме, отримання делегації сервером порталу має відбуватися автоматично, без додаткових дій користувача після першої успішної авторизації (Рис. 3).

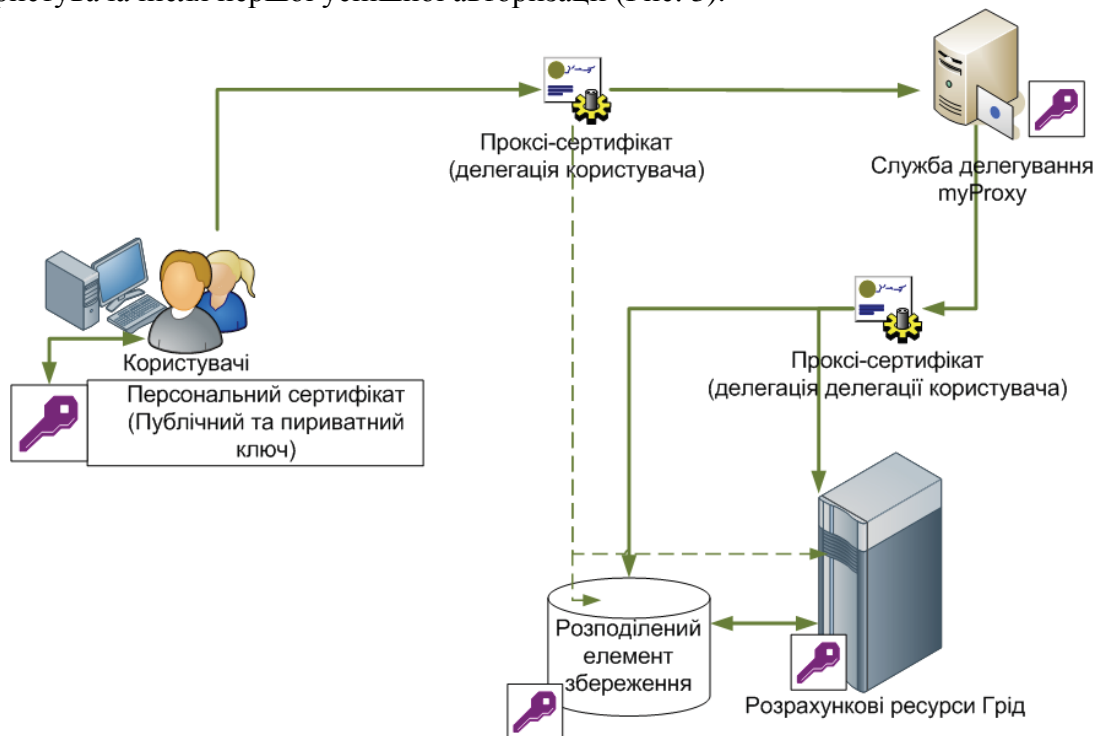


Рис. 3. Делеґація користувачів та сервер MyProxу

Зв’язок з програмним забезпеченням Ґрід.

Необхідно передбачити роботу порталу з різним програмним забезпеченням проміжного рівня з можливістю підтримки нових версій. Прив’язка до вибраного програмного забезпечення значно обмежить сферу використання інтегрованого середовища.

Найбільш гнучкою є технологія використання адаптерів (англ. wrapper), яка використовується в BioSimGrid. Для проведення досліджень з великою кількістю інформації необхідна база даних, що забезпечить її структурування по параметрах досліджень. Кожна задача в Грід має свій унікальний ідентифікатор. Процес виконання завдання відображається в інформаційній системі за цим ідентифікатором.

Віртуальні організації.

Множина даних про завдання, яку містить інформаційна система, не включає віртуальної організації. Якщо користувач бере участь в дослідженнях більш ніж однієї віртуальної організації, то відрізнити задачі різних ВО засобами виключно інформаційної системи неможливо. Тому потрібен механізм, що надасть порталу можливість оперувати з завданнями окремої ВО.

Не виключена розробка зовнішніх застосувань, що використовуються віртуальною організацією для роботи з Грід. Необхідно передбачити інтерфейси для їх інтеграції з порталом в одне середовище.

Портал повинен містити інформацію про всі віртуальні організації в рамках конкретної грід-системи. Дослідник, що вперше користується порталом, повинен мати можливість відразу зареєструватися в обраній ВО. Наприклад, в Lunar Application Portal існує можливість надіслати заявку адміністратору ВО електронною поштою.

Службові функції.

Користувач грід-системи повинен займатися розрахунками, навіть не будучи знайомим з внутрішньою структурою Грід. Портал має проводити постійний моніторинг наявних ресурсів Грід та видавати отриману інформацію в зручному та зрозумілому вигляді. В тій чи іншій мірі це реалізовано в P-Grade, в LAP ця функція відсутня взагалі.

Реалізація та тестування

Система наразі знаходиться в стадії реалізації. Спільно з Інститутом молекулярної біології і генетики НАН України реалізовано і протестовано прототип системи, що частково містить запропоновані функції і називається MolDynGrid [9]. Ця система призначена для моделювання молекулярної динаміки в Грід. Система працює на кластерах Грід-інфраструктури НАН України [3, 4]. Інтерфейс (Рис. 4) дає можливість поставити завдання для обрахунку в Грід, переглядати результати розрахунку, здійснити аналіз результатів.



Рис. 4. Інтерфейс системи MolDynGrid

Віртуальна лабораторія MolDynGrid успішно використовується працівниками Інституту молекулярної біології і генетики НАН України, що доводить ефективність вибраного підходу і запропонованої архітектури.

Висновки

1. Запропонована авторами архітектура комплексної системи віртуальних лабораторій є ефективною, що підтверджено практичним застосування запропонованого підходу у віртуальній лабораторії MolDynGrid.

2. В майбутньому планується повністю реалізувати всі компоненти запропонованої архітектури і практично перевірити з різними типами прикладного програмного забезпечення, такими як засоби квантово-механічного моделювання, реалістичного моделювання структур головного мозку, тощо.

Подяки

Робота виконувалась за фінансової підтримки Міністерства освіти і науки України. Окремі результати були одержані в рамках спільного проекту з Інститутом молекулярної біології і генетики Національної Академії Наук України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Foster, I., Kesselman, C. and Tuecke, S. The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations. *International Journal of High Performance Computing Applications*, 15 (3). 200-222. 2001. www.globus.org/research/papers/anatomy.pdf.
2. Розроблення і впровадження GRID інфраструктури та програмних засобів високопродуктивних науково-технічних розрахунків для наукових та освітніх установ України. (договір № IT/505-2007 з МОН, від 22 серпня 2007 р., № державної реєстрації 0107U007659) 2007—2008 рр.
3. Ю.В. Бойко, М.Г. Зинов'єв, С.Я. Свістунів, О.О. Судаков. Український академічний Грід: досвід створення й перші результати експлуатації. // *Математичні машини і системи*. — 2008. — №1. — С. 67–84.
4. Mykhaylo Zynovyev, Sergiy Svistunov, Oleksandr Sudakov, Yuriy Boyko. *Ukrainian Grid Infrastructure: Practical Experience*. // *Proc. 4-th IEEE Workshop IDAACS 2007, September 6-8, 2007, Dortmund, Germany* P. 165-169.
5. Бойко Ю.В., Судаков О.О., Ничипорук Т.В., Короткова Т.П. Оптимізація продуктивності обчислювального кластера на базі розподілених слабкозв'язаних компонентів // *Математичні машини і системи*. – 2004. – №4. – С.57–65.
6. M.Ellert et al. "Advanced Resource Connector middleware for lightweight computational Grids". *Future Generation Computer Systems* 23 (2007) 219-240.
7. Large Hadron Collider Computing Grid (LCG), European Organization for Nuclear Research (CERN), <http://lcg.web.cern.ch/LCG/>.
8. P. Saiz, P. and others, AliEn - ALICE environment on the GRID, *Nucl. Instrum. Meth.*, A502 (2003) 437-440.
9. A.O. Salmikov, I.A. Sliusar, O.O. Sudakov, O.V. Savytskyi, A.I. Kornelyuk. *Proc. IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications 21-23 September 2009, Rende (Cosenza), Italy*. pp. 237-240.
10. Dorian Gorgan, Victor Bacu, Teodor Stefanut, Denisa Rodila, Danut Mihon *Computer Science Department, Technical University of Cluj-Napoca*. Grid based Satellite Image Processing Platform for Earth Observation Application Development // *IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications 21-23 September 2009, Rende (Cosenza), Italy*. pp. 247-252
11. Wu, B. A Web / Grid Portal Implementation of BioSimGrid: A Biomolecular Simulation Database / B. Wu, D. Matthew, et al.—http://eprints.soton.ac.uk/22809/01/Wu_04.pdf: University of Southampton and University of Oxford, 2004.—March 31.