

УДК: 61:681.3.002.6:001.891

СУЧАСНІ КОМП'ЮТЕРНІ ГРІД - ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В МЕДИЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

Корнелюк О.І.¹, Мінцер О.П.²

¹Інститут молекулярної біології і генетики НАН України

²Національна медична академія післядипломної освіти імені П.Л. Шупика МОЗ України

Розглянуті питання розробки та застосування в медицині та біології новітнього перспективного інформаційного напрямку - Грід-технології. Найважливішою рисою цієї технології є можливість відкриття шляху до перетворення глобальної мережі комп'ютерів в єдиний, практично необмежений обчислювальний комп'ютерний ресурс, що може мати вирішальне значення для розвитку медицини і біології.

Ключові слова: новітні інформаційні технології, Грід-комп'ютинг, національна Грід-інфраструктура.

СОВРЕМЕННЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ ГРИД - ТЕХНОЛОГИИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В МЕДИЦИНСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Корнелюк А.И.¹, Минцер О.П.²

¹Институт молекулярной биологии и генетики НАН Украины

² Национальная медицинская академия последипломного образования имени П.Л.Шупика МЗ Украины

Рассмотрены вопросы разработки и применения в медицине и биологии новейшего перспективного информационного направления - Грід - технологии. Важнейшей ее чертой является возможность открытия пути к преобразованию глобальной сети компьютеров в единый, практически неограниченный вычислительный компьютерный ресурс, который может иметь решающее значение для развития медицины и биологии.

Грід также определяют как универсальную инфраструктуру, объединяющую компьютеры и суперкомпьютеры в одну общую территориально - распределенную систему.

Безусловным лидером по созданию Грід - сетей в мире являются США, где с 2004 года реализуется стратегическая Грід - программа, направленная на создание единого национального пространства для высокомошных вычислений.

В Европе с апреля 2004 года осуществляется большой проект ENABLING GRIDS FOR E-SCIENCE, в рамках которого создается общеевропейская инфраструктура, базирующаяся на Грід-технологиях.

Биомедицина - одно из направлений, выбранное в Европе для разработки и внедрения Грід-технологий. В первую очередь это касается проблем создания баз данных наследственных заболеваний пациентов. С другой стороны, биомедицинские Гріды создаются для составления баз данных различных клиник с целью создания виртуального госпиталя.

Грід-медицина - это инфраструктура Грїда, содержащая специализированный компьютерный сервис, адаптированный для проблем обработки биомедицинских данных. Соответственно, ресурсами в Грід - медицине являются компьютерные ресурсы, специализированные базы медицинских данных, специализированные медицинские приборы и комплексы.

Уже первые применения Грід-технологий продемонстрировали важность парадигмы Грід-комп'ютинга для геномных исследований и обработки медицинских изображений, в частности в таких областях, как онкология, нейрохирургия, радиотерапия.

Ключевой концепцией Грід-технологии является создание виртуальной организации - группы распределенных территориально пользователей, имеющих общую цель и которые будут делиться своими ресурсами.

Рассмотрены некоторые примеры созданных виртуальных лабораторий и проектов в области Грід - медицины:

Область 1. Медицинская графика и обработка изображений.

Область 2. Моделирование тела пациента для выбора тактики лечения и хирургического вмешательства.

Область 3. Грід-технологии в фармации.

Область 4. Грід в геномной медицине.

Область 5. Виртуальные биомедицинские университеты и электронное обучение.

В Украине с 2005 года выполняется программа информатизации Национальной академии наук, в рамках которой впервые создан Украинский национальный Грід.

По инициативе Министерства образования и науки Украины в 2007 году объявлено о начале работ по созданию общенациональной Грід - инфраструктуры для обеспечения научных исследований и образования в Украине.

Использование уже созданного первого Грид-сегмента Национальной академии наук и в перспективе общенациональной сети предоставит возможность успешно интегрироваться в международные научные проекты, которые выполняются в Европе и в других мировых научных центрах. Несомненно, что развитие Грид - технологий и их внедрение в практическое здравоохранение, научные исследования и образовательный процесс, позволит вывести уровень подготовки студентов-медиков и медицинских специалистов на уровень наилучших мировых стандартов.

Ключевые слова: новейшие информационные технологии, Грид-компьютинг, национальная Грид-инфраструктура.

UP-TO-DATE COMPUTER GRID-TECHNOLOGIES AND THEIR APPLICATION IN MEDICAL RESEARCHES

O.I. Kornelyuk¹, O.P. Mintser²

¹*Institute of Molecular Biology and Genetics of National Academy of Sciences of Ukraine*

²*National Medical Academy of Post-Graduate Education by
P.L. Shupyk of Ministry of Public Health of Ukraine*

Issues of developing and applying of the newest perspective information direction - Grid-technology in medicine and biology are considered. Its major feature is an opportunity of opening the way of transforming a global network of computers into an integral practically unlimited computing resource which can have a crucial importance for development of medicine and biology.

Grid is also defined as an universal infrastructure uniting computers common territorial - distributing system.

The time leader on Grid creation networks in the world is the USA where since 2004, a strategic Grid - Program directed to the creation of integral national space for high-power calculations.

In Europe since April, 2004 a big project ENABLING GRIDS FOR E-SCIENCE within the framework of which the all-European infrastructure based on Grid - technologies has been carrying out.

Biomedicine is one of the directions, chosen in Europe for developing and implementing Grid - technologies. First of all, it concerns problems of creating databases of patient's hereditary diseases. On the other hand, biomedical Grids are created for drawing up databases of various clinics with the purpose of creating a virtual hospital.

Grid - medicine is a Grid infrastructure containing a specialized computer service, adapted for problems of processing biomedical data. Accordingly, resources in Grid - medicine are computer resources, specialized bases of medical data, specialized medical devices and complexes.

The first applications of Grid-technologies have shown the importance of Grid-computing paradigm for genomes researches and processing of medical images, in particular in such areas as oncology, neurosurgery, radiotherapy.

The key concept of Grid - technologies is creating a virtual organization - a group the users distributed territorially having common aim and which will share their resources.

Some examples of the created virtual laboratories and projects in area Grid - medicine are considered:

Area 1. Medical graph and images processing.

Area 2. Modeling a patient's body for choosing treatment tactics and surgical intervention.

Area 3. Grid - technologies in pharmacy.

Area 4. Grid in genome to medicine.

Area 5. Virtual biomedical universities and electronic training.

For the first time a Program of information of the National Academy of Sciences within the framework of which a Ukrainian National Grid has been realized in Ukraine since 2005.

In 2007, under the initiative of the Ministry of Education and Science of Ukraine National Grid - infrastructures for maintenance of scientific researches and educations were created in Ukraine.

The use of the firstly created Grid segment of the National Academy of Sciences and in perspective a national network will give an opportunity to successfully integrate into the international scientific projects which are carried out in Europe and in other world centers of science. Undoubtedly, the development Grid - technologies and their implementation into practical public health services, scientific researches and educational process will allow one to lead the level of training medical students and medical specialists to the level of the best world standards.

Keywords: up-to-date information technologies, Grid-computing, national Grid-infrastructure.

ВСТУП. Комп'ютерні технології набувають все ширшого застосування в медицині. Грід-технології (або Грід-комп'ютинг) є новітнім перспективним напрямком, що виник в кінці 90-х років минулого століття. Вперше термін Грід-комп'ютинг використали

Я.Фостер і К.Кессельман у 1998 році, які ввели визначення: "Грід - це погоджене, відкрите і стандартизоване комп'ютерне середовище, що забезпечує гнучке, скоординоване та безпечне розподілення комп'ютерних ресурсів в рамках віртуальної організації"

[1,2]. Грід можна також визначити як універсальну інфраструктуру, що об'єднує комп'ютери та суперкомп'ютери в одну загальну територіально - розподілену систему [3]. Грід використовує нові програмні технології разом з відомими, раніше створеними мережевими та Інтернет - протоколами, що дозволяє як спільне використання комп'ютерних можливостей, так і збереження великих масивів експериментальних даних. В перспективі Грід відкриває шлях до перетворення глобальної мережі комп'ютерів в єдиний, практично необмежений обчислювальний комп'ютерний ресурс [4].

Сьогодні безумовним лідером щодо створення Грід-мереж у світі є США. З 2004 року в США реалізується стратегічна Грід-програма, основною метою якої є створення єдиного національного простору для високопотужних обчислень. Вже функціонують 4 національні Грід-мережі, які фінансують державні відомства, в тому числі комп'ютерна мережа Національного фонду наукових досліджень. Під керівництвом Пенсільванського університету на базі Грід-технологій створений Національний цифровий центр мамографії із загальним обсягом 5,6 петабіт, який дає медикам можливість швидкого доступу до записів мільйонів пацієнтів в США.

ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ПРОЕКТ ENABLING GRIDS FOR E-SCIENCE

З квітня 2004р. в Європі здійснюється великий проєкт ENABLING GRIDS FOR E-SCIENCE (EGEE), в рамках якого створюється загальноєвропейська інфраструктура, що базується на Грід-технологіях [5]. Ця інфраструктура об'єднає всі національні, регіональні та тематичні розробки в галузі Грід-технологій в єдину інфраструктуру для наукових досліджень, що надасть усім дослідникам доступ до найбільш потужних обчислювальних ресурсів, незалежно від їх географічного положення.

Біомедицина - один з напрямків, котрий обраний в Європі для розробки та впровадження Грід-технологій. Насамперед це стосується проблем створення баз даних спадкових захворювань пацієнтів. З іншого боку, біомедичні Гріді мають за мету складання баз даних різних клінік для організації віртуального госпіталю.

В проєкті EGEE беруть участь 70 організацій з 27 країн. В результаті виконання проєкту буде створений найбільший Грід в світі з обчислювальною потужністю 20000 процесорів.

У 2005 році Єврокомісія підготувала спеціальну програму вартістю 13 млрд. євро, в рамках якої Грід-комп'ютинг відводиться роль стимулятора та най-

важливішого ресурсу для перетворення Євросоюзу в " найбільш конкурентоспроможну в світі економіку знань".

DATA GRID -ПРОТОТИП БІОМЕДИЧНОГО ГРІДУ

Грід-медицина - це інфраструктура Грід, що містить спеціалізований комп'ютерний сервіс, адаптований для проблем обробки біомедичних даних. Відповідно, ресурсами в Грід-медицині є комп'ютерні ресурси, спеціалізовані бази медичних даних, спеціалізовані медичні прилади та комплекси.

Перший біомедичний Грід був запропонований в рамках проєкту Data Grid IST - www.edg.org [6]. Метою проєкту було створення нового оточення для підтримки глобально розподілених комп'ютерних даних, обсягами до мультитерабайт-масивів. Уже перші застосування Грід-технологій продемонстрували важливість парадигми Грід-комп'ютингу для геномних досліджень та обробки медичних зображень.

Для розвитку Грід-медицини ключовими вважаються такі фактори:

1. *Забезпечення безпеки медичних даних.* Передача медичних даних (до рівня їх конфіденційності) повинна бути забезпечена досконалою механізми захисту від несанкціонованого доступу.

2. *Забезпечення права власності на медичні дані пацієнтів.*

3. *Розробка нових комп'ютерних інструментів для роботи з розподіленими базами даних, засобами управління даними та нових експертних систем.*

4. *Створення та підтримка стандартів даних медичної інформації, що є необхідною для інтеграції та забезпечення доступу до великих баз даних.*

5. *Розробка та впровадження бізнес-орієнтованих прикладних застосувань Грід-технологій.*

На теперішній час більшість прикладних застосувань Грід-технологій в медицині зводиться до обробки великих масивів даних для покращення діагностики та розуміння механізмів перебігу різних захворювань людини, отримання медичних зображень в таких галузях як онкологія, нейрохірургія, радіотерапія.

Віртуальні лабораторії

Ключовою концепцією Грід-технологій є створення віртуальної організації - групи територіально розподілених користувачів, які мають загальну мету і прагнуть поділитися своїми ресурсами [7]. Подібний підхід реалізований в проєкті GPCALMA до групи госпіталів. Він дозволяє застосовувати загальні програми скринінгу для ранньої діагностики раку грудей, і, в перспективі, раку легенів. Для обробки і ана-

лізу зображень використовується метод нейронних сіток, який є корисним для покращення проведення радіологічної діагностики.

Грід-сервіс дозволяє провести remote аналіз зображень та інтерактивну online-діагностику. Прототип цієї системи, що базується на AliEn грід-сервісі [7], вже є доступним і включає центральний сервер, котрий виконує загальні сервіси [8], та декілька клієнтів, які приєднані до нього. Мамограми можуть бути отримані в будь-якому місці; відповідна інформація, що її необхідно відібрати та забезпечити доступ, зберігається в загальному сервісі, котрий носить назву Data Catalogue. Модуль PROOF забезпечує використання запиту як входу для алгоритмів аналізу, що виконуються на нодах, де зберігаються зображення. Селективний підхід дозволяє уникнути передачі даних з негативним діагнозом, а також дозволяє проводити діагностику майже в реальному часі для набору зображень з високою вірогідністю наявності раку.

ПРОЕКТ INFOGENMED

Проект Infogenmed [9] є віртуальною лабораторією для забезпечення доступу та інтеграції генетичної медичної інформації з метою наступного використання в цілях охорони здоров'я (<http://www.infogenmed.net>). Проект Infogenmed фінансується як пріоритетний європейський проект у галузі інформаційно-комунікаційних технологій.

В останні роки створена досить велика кількість віртуальних лабораторій і проектів в галузі Грід-медицини. Розглянемо деякі з них.

Область 1. Медична графіка та обробка зображень.

Цей напрямок займає важливе місце, оскільки в процесах медичної діагностики та лікування використовується, як правило, велика кількість зображень: рентгенівські знімки та томограми, скановані зображення, ультразвукові зображення, ЯМР-томограми тощо. Вони займають великі обсяги даних і вимагають детального опису та інтерпретації, тому виникає потреба в зберіганні цих знімків, їх комп'ютерній обробці та використанні.

Проект Grid PACS.

Для архівування та аналізу зображень розроблено відповідне програмне забезпечення - GRID PACS (Picture Archiving and Communication System) [10]. GRID PACS дозволяє проводити менеджмент та аналіз зображень великих масивів. Архітектура GRID PACS розроблена для підтримки широкого переліку біомедичних застосувань в клінічних дослідженнях, що використовують велику кількість зображень. Вони дають метаболічну та анатомічну інформацію від макроскопічних даних до мікроскопічних (напри-

клад, цифрових зображень зрізів тканин). Така інформація може значно покращити розуміння загальної патології, а також забезпечити якісну діагностику захворювань у пацієнтів. Системи PACS використовуються в багатьох госпіталях з метою управління медичними даними і мають великі перспективи для розвитку Грід-медицини.

Проект MammoGrid.

Проект MammoGrid спрямований на розробку загальноєвропейської бази даних мамограм, що використовуються у важливих медичних прикладних рішеннях, та може в значній мірі сприяти розвитку співробітництва в Європейському співтоваристві між спеціалістами в цій області [11].

Проект GridCAD.

Потенціальні переваги використання Грід-технологій для обробки медичних зображень демонструє GridCAD, що є програмним забезпеченням, котре розроблено з використанням Грід-архітектури Національного інституту раку США. GridCAD дозволяє користувачам входити до локальних та віддалених баз даних, аналізувати зображення і одночасно застосовувати алгоритми CAD для обраних зображень. Зазначене програмне забезпечення може підтримувати як локальне, так і віддалене співробітництво щодо досліджень та клінічної практики завдяки ефективному, безпечному та надійному розділеному використанню ресурсів для аналізу даних зображень та їх архівування [12].

Область 2. Моделювання тіла пацієнта для вибору тактики лікування та хірургічного втручання.

В останні роки завдяки розвитку обчислювальних засобів досягнуті значні успіхи в моделюванні тіла людини. Відповідно, Грід-технології отримують широкі перспективи для застосування в цій області. Прикладом можуть бути цифрові атласи окремих органів та тіла людини, використання яких різко прискорює медичні дослідження. Перші спроби моделювання тіла людини здійснені в проектах *Virtual Human* та *Living Human Project*.

Проект DICOM.

Технологія DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) використовується для радіологічної інтероперабельності та обміну даних зображень [13]. Проект Globus Medicus розширює DICOM до Globus-базуючої Грід-інфраструктури (<http://dev.globus.org/wiki/Incubator/medicus>).

Інтерактивна реконструкція обсягів та вимірювань у Гріді.

Запропоновано для використання в клінічній практиці метод РТМ 3D, як інструмент для реконструкції

обсягу та вимірювань [14]. Створена віртуальна лабораторія для аналізу даних зображень, що отримані сучасними методами магнітного резонансу.

Віртуальний госпіталь та електронна медицина.

Мета телемедицини - забезпечити рівний доступ до медичного обслуговування на високому рівні - може бути реалізована тільки шляхом розвитку віртуальних госпіталів, цифрової медицини і створення містків між різними регіонами світу [15]. Для цього Грід-концепція повинна бути інтегрована з іншими комунікаційними мережами та платформами.

У віртуальному госпіталі будуть виконуватись передопераційне планування, професійне сполучення під час оперативного втручання, невелика інвазивна хірургія. Прикладами медичних застосувань Грід-технологій у віртуальному госпіталі є 3D візуалізація в реальному часі та маніпуляція з даними пацієнта для планування індивідуалізованого спілкування, створення розподілених баз даних медичних зображень.

Область 3. Грід-технології у фармації.

Грід-технології застосовуються в фармацевтичній науці, в першу чергу, для розподілених обчислень, створення комп'ютерних ресурсів доступу до великих обсягів даних в автоматичному режимі, структурування даних у відповідності з визначеними алгоритмами та правилами.

Область 4. Грід в геномній медицині.

Постгеномна ера в біології відкрила широкі перспективи для розвитку геномної медицини та переходу її на новий якісний рівень. Розшифровка геному людини в проєкті Human Genome Project привела до якісних змін у підходах до діагностики і лікування багатьох захворювань, оскільки дала можливість отримати нові знання про взаємовідношення будови генів, їх мутації та виникнення різних патологій людини. В постгеномну еру виникла можливість описати всі патологічні зміни в експресії білків та їх мутацій, що дає молекулярні основи для розуміння механізмів складних захворювань і приведе до появи нових методів лікування.

Область 5. Віртуальні біомедичні університети та електронне навчання.

В світі спостерігається вибухове зростання віртуальних біомедичних університетів, де впроваджується електронне навчання із застосуванням інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ). Застосування ІКТ поширюється від використання комп'ютерних програм для навчання й до створення та моделювання віртуальних пацієнтів [16 - 22]. Як в розвинених країнах, так і в країнах, що розвиваються, використовується дистанційне навчання для тренування лікарів в галузях медичної інформатики.

Моделювання віртуального пацієнта є розповсюдженим в медичних школах США та Канади і дає значні переваги при навчанні [17]. Широкий доступ та кооперативне використання ресурсів дозволяє медичним школам суттєво підсилити свої курси навчання. Технологія моделювання віртуального пацієнта повинна включати дані фундаментальної науки для більш інтегрованого навчання, а також наслідки прийнятого медичного рішення [17].

В Тайвані створена віртуальна медична школа - центр електронного навчання, що інтегрує спільне та самостійне середовище для навчання шляхом створення віртуальних груп, аудиторій та бібліотеки [18]. Система автоматично конвертує обрані клінічні випадки з бази даних інформаційної системи госпіталю у віртуальних пацієнтів. Усі студенти-медики мають можливість навчатися на цих типових прикладах в режимі on-line. Система використовує міжнародний стандарт SCORM 1.2 для розробки навчального матеріалу, та використовується спільно зі стандартами HL7 v2.4, CDA v 1.0 для підключення до системи електронних медичних записів госпіталю. Ця система забезпечує доступ до спільних ресурсів медичних центрів, використовуючи високу швидкість комунікації Грід-мережі, інтегрованої з відеоплатформами.

У Франції створений віртуальний медичний університет, де з 2002 року здійснюється як початкове навчання для студентів, так і продовжене професійне навчання для практикуючих лікарів [19, 21, 22]. Система цього віртуального університету включає електронні підручники, аналіз різних клінічних випадків та використовує базу медичних знань ADM (Aide au Diagnostic Medical). В рамках університету створено віртуальний простір, де індивідуальні пацієнти, їх сім'ї, а також цілі асоціації пацієнтів можуть отримати медичну інформацію високої якості щодо профілактики різних захворювань.

Грід в Україні

З 2005 року в Україні виконується програма інформатизації Національної академії наук, в рамках якої вперше створений Український національний Грід (рисунок 1) [3]. Ініціатива створення Грід у Україні належить групі фізиків Інституту теоретичної фізики НАН України на чолі з академіком А.Г.Загороднім та професорами Г.М.Зінов'євим та Є.С.Мартинівим. Сьогодні Україна вже є повноправним членом WLCG (Worldwide LHC Computing Grid Project).

До створення Українського національного Грід залучені вчені різних спеціальностей, у тому числі біологи. В 2006 - 2007 роках були побудовані нові

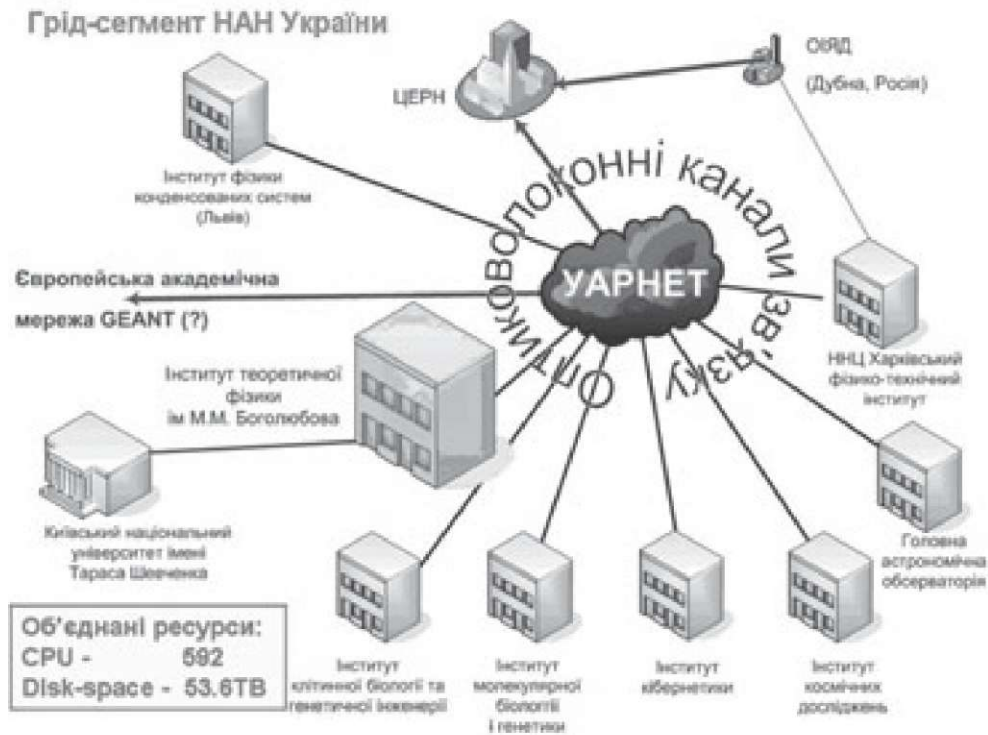


Рис.1. Грід-сегмент НАН України.

Грід - кластери в Інституті молекулярної біології і генетики НАН України та в Інституті клітинної біології і генетичної інженерії НАН України.

За ініціативою Міністерства освіти та науки України в 2007 році оголошено про початок робіт щодо створення загальнонаціональної Грід-інфраструктури для забезпечення наукових досліджень та освіти в Україні. Проект Грід-інфраструктури має такі цілі:

- добудувати та об'єднати науково-освітню обчислювальну та комунікаційну інфраструктуру в національну Грід - інфраструктуру;
- взяти активну участь у формуванні нової концепції Європейської Грід-інфраструктури, створення якої як координуючого органу для національних інфраструктур починається в Європі;
- провести розробку нових оригінальних Грід - застосувань в галузі телемедицини для співробітників Чорнобильської атомної станції, а також для дистанційного навчання в Централіно - Східно - Європейському віртуальному університеті (СЕЕVU);
- забезпечити обслуговування Українського відділення Міжнародного центру даних.

ВИСНОВОК. Грід-технології швидко та ефективно впроваджуються як в біомедичні дослід-

ження, так і в медичну освіту. Наукові організації інтенсивно використовують концепцію Грід для створення унікальної інфраструктури, що забезпечує глобальну інтеграцію інформаційних та обчислювальних ресурсів, причому одним з найголовніших її пріоритетів є використання для медичних досліджень. Науково - медичні заклади України мають можливість успішно залучитись до цього процесу в повному обсязі, використовуючи вже створений перший Грід-сегмент Національної академії наук та, в перспективі, всю загальнонаціональну мережу Грід. Така можливість дозволить успішно інтегруватись в міжнародні наукові проекти, що виконуються в Європі та в інших світових наукових центрах. Безсумнівно, що розвиток Грід-технологій та їх впровадження в практичну охорону здоров'я, наукові дослідження та освітній процес в медичних університетах України, створення українських Грід - проектів в галузі медицини (створення віртуальних лабораторій та госпіталів), організація українського віртуального медичного університету в перспективі дозволить вивести рівень підготовки студентів-медиків та медичних спеціалістів на рівень найкращих світових стандартів.

Література

1. Foster I. What is the Grid? A Three Point Checklist. - July 20, 2002. - 4p.
2. Foster I., Kesselman C. The Grid 2 Blueprint for a New Computing Infrastructure. Second Edition. - Elsevier, 2003. - 777 p.
3. Загородній А.Г., Зінов'єв Г.М., Мартинов С.С., Свистунов С.Я., Шадура В.Н. Грід - нова інформаційно-обчислювальна технологія для науки. // Вісник НАН України. - № 6. - 2005. - С. 17-25.
4. Foster I., Kesselman C., Tuecke S. The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations // International Journal of High Performance Computing Applications. -2001. - 15 (3). - P. 200-222.
5. Foster I., Kesselman C., Nick J., Tuecke S. The Physiology of the Grid: An Open Grid Services Architecture for Distributed Systems Integration. - <http://www.globus.org/research/papers/ogsa.pdf>.
6. Breton V., Medina R., Montagnat J. DataGrid, prototype of a biomedical grid // Methods of Information in Medicine. -2003. - 42(2). - P. 143-147.
7. Cerello P. et al. GPCALMA: a Grid-based Tool for Mammographic Screening // Methods of Information in Medicine. - 2005. - 44 (2). - P. 244-248.
8. <http://gpcalma.to.infn.it>.
9. Oliveira I.C., Oliveira J.L., Sanchez J.P., Lopez-Alonso V., Martin-Sanchez F., Maojo V., Sousa Pereira A. Grid requirements for the integration of biomedical information resources for health applications // Methods of Information in Medicine. - 2005. - 44(2). - P. 161-167.
10. Hastings S., Oster S., Langella S., Kurc T.M., Pan T., Catalyurek U.V., Saltz J.H. A grid-based image archival and analysis system // Am. Med. Inform. Assoc. - 2005. - Vol. 12, № 3. - P. 286-295.
11. Warren R., Solomonides A.E., del Frate C., Warsi I., Ding J., Odeh M., McClatchey R., Tromans C., Brady M., Highnam R., Cordell M., Estrella F., Bazzocchi M., Amendolia S.R. MammoGrid - a prototype distributed mammographic database for Europe // Clin. Radiol. - 2007. - 62 (11). - P. 1044-1051.
12. Pan T.C., Gurcan M.N., Langella S.A., Oster S.W., Hastings S.L., Sharma A., Rutt B.G., Ervin D.W., Kurc T.M., Siddiqui K.M., Saltz J.H., Siegel E.L. Informatics in radiology: GridCAD: grid-based computer-aided detection system // Radiographics. - 2007. - 27 (3). - P. 889-897.
13. Erberich S.G., Silverstein J.C., Chervenak A., Schuler R., Nelson M.D., Kesselman C. Globus MEDICUS - Federation of DICOM Medical Imaging Devices into Healthcare Grids // Stud Health Technol Inform. - 2007. - 126. - P. 269-278.
14. Germain-Renaud C., Osorio A., Texier R. Interactive Volume Reconstruction and Measurement on the Grid // Methods of Information in Medicine. - 2005. - 44(2). - P. 227-232.
15. Grasczew G., Roelofs T.A., Rakowsky S., Schlag P.M., Heinzlreiter P., Kranzlmuller D., Volkert J. Virtual hospital and digital medicine - why is the GRID needed? // Stud. Health Technol. Inform. - 2006. - 120. - P. 295-304.
16. Beux P.L., Fieschi M. Virtual biomedical universities and e-learning // Int. J. Med. Inform. - 2007. - May - Jun; 76 (5-6). - P. 331-335.
17. Huang G., Reynolds R., Candler C. Virtualpatient simulation at US and Canadian medical schools // Acad. Med. - 2007. - May; 82 (5). - P. 446-451.
18. Shyu F.M., Liang Y.F., Hsu W.T., Luh J.J., Chen H.S. A problem-based e-Learning prototype system for clinical medical education // Medinfo. - 2004. - 11 (Pt 2). - P. 983-987.
19. Medelez Ortega E., Burgun A., Le Duff F., Le Beux P. Collaborative environment for clinical reasoning and distance learning sessions // Int. J. Med. Inform. - 2003. - Jul; 70 (2-3). - P. 345-351.
20. Riley J.B., Austin J.W., Holt D.W., Searles B.E., Darling E.M. Internet-based virtual classroom and educational management software enhance students' didactic and clinical experiences in perfusion education programs // J Extra Corpor. Technol. - 2004. - Sep; 36 (3). - P. 235-239.
21. Seka L.P., Duvauferrier R., Fresnel A., Le Beux P. A virtual university Web system for a medical school // Medinfo. - 1998. - 9 (Pt 2). - P. 772-776.
22. Morin A., Benhamou A.C., Spector M., Bonnin A., Debry C. The French language virtual medical university // Stud. Health Technol. Inform. - 2004. - 104. - P. 213-219.
23. Tobias J., Chilukuri R., Komatsoulis G.A., Mohanty S., Sioutos N., Warzel D.B., Wright L.W., Crowley R.S. The CAP cancer protocols - a case study of caCORE based data standards implementation to integrate with the Cancer Biomedical Informatics Grid // BMC Med. Inform. Decis. Mak. - 2006. - Jun. 20; 6. - P. 25.
24. Olabariaga S.D., Nederveen A.J., Snel J.G., Belleman R.G. Towards a virtual laboratory for FMRI data management and analysis // Stud. Health Technol. Inform. - 2006. - 120. - P. 43-54.
25. Jacq N., Salzemann J., Legre Y., Reichstadt M., Jacq F., Zimmermann M., Maass A., Sridhar M., Vinod-Kusam K., Schwichtenberg H., Hofmann M., Breton V. Demonstration of in silico docking at a large scale on grid infrastructure // Stud. Health Technol. Inform. - 2006. - 120. - P. 155-157.
26. Pan T.C., Gurcan M.N., Langella S.A., Oster S.W., Hastings S.L., Sharma A., Rutt B.G., Ervin D.W., Kurc T.M., Siddiqui K.M., Saltz J.H., Siegel E.L. Informatics in radiology: GridCAD: grid-based computer-aided detection system // Radiographics. - 2007. - May - Jun; 27 (3). - P. 889-897.
27. Oliveira I.C., Oliveira J.L., Sanchez J.P., Lopez-Alonso V., Martin-Sanchez F., Maojo V., Sousa Pereira A. Grid requirements for the integration of biomedical information resources for health applications // Methods Inf. Med. - 2005. - 44 (2). - P. 161-167.