

УДК 681.3.07

¹М.Б. Гумен, к.т.н.
²О.А. Багіна
²Т.Ф. Гумен**ПОБУДОВА СУПЕРКОМП'ЮТЕРА НА ПЛАТФОРМІ РОЗПОДІЛЕНИХ ОБЧИСЛЕНЬ**¹Національний авіаційний університет, e-mail: mbgumen@nau.edu.ua²Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут",
e-mail: magney2008@mail.ru; bela_09@ukr.net

Досліджено особливості організації платформи розподілених обчислень для навчальних закладів. Розглянуто різні архітектури мережі, що відрізняються кількістю серверів та швидкістю видачі завдань кінцевим обчислювачам. Обґрунтовано вибір платформи VOINC. Представлено оптимальний спосіб налаштування серверної частини з погляду ефективного використання каналу передачі даних.

Ключові слова: Суперкомп'ютер, платформи розподілених обчислень, ґрид-система, сервер, клієнт, база даних, моделювання, обчислювальна потужність.

Вступ. Дослідження в галузі високопродуктивних обчислень перш за все спрямовані на підвищення швидкості розрахунків, розробку більш потужного апаратного, прикладного та системного програмного забезпечення, нових математичних моделей, а також продуктивну організацію обчислень. Проте актуальною є проблема забезпечення ефективного використання наявної обчислювальної техніки.

Сучасний рівень розвитку комп'ютерної техніки, мережевих технологій та програмного забезпечення спричинили якісні зміни в організації обчислювального процесу. За єдиними технологіями об'єднуються як у локальній мережі, так і розташовані на відстані тисячі кілометрів один від одного сервери, стаціонарні комп'ютери, ноутбуки, смартфони, планшети тощо. Без додаткових фінансових витрат можна підібрати засоби з великою обчислювальною потужністю.

У статті оцінюються перспективи створення суперкомп'ютера в навчальному закладі з використанням його існуючої інфраструктури та наявного обладнання і надано рекомендації для впровадження мережі на платформі VOINC. Запропонований підхід дає змогу швидко масштабувати, оновлювати та збільшувати обчислювальну потужність наявних ресурсів додаванням або заміною кінцевих обчислювачів.

Аналіз останніх досліджень. Концепція розподілених обчислень виникла як відповідь на наявні потреби у великих інформаційно-обчислювальних ресурсах, що динамічно виділяються, для вирішення складних завдань у науковій, індустріальній, адміністративній та комерційній діяльності. Об'єднання декількох комп'ютерів для вирішення однієї обчислювальної складної задачі, що розділена на підзадачі, називається сіткою (ґридом) [1]. При такому об'єднанні, кожен комп'ютер вирішує кілька підзадач, а результати окремих обчислень поєднуються. Об'єднання різнорідних комп'ютерів реалізується спеціальним програмним забезпеченням, яке віртуально пов'язує всі комп'ютери мережі в єдиний суперкомп'ютер.

Ідея ґрид виникла в 90-х роках, коли з розвитком засобів комп'ютерних комунікацій об'єднання географічно віддалених один від одного комп'ютерів стало дешевшим, простішим і потенційно більш потужним засобом підвищення продуктивності, ніж нарощування потужності одного суперкомп'ютера [2]. Ґрид-системи можна класифікувати за масштабом і типом. За типом їх можна розділити на сервісні ґрид та desktop ґрид [3]. Сервісні ґрид об'єднують спеціально виділені сервери і використовують їх у монопольному режимі.

Desktop ґрид – це об'єднання в якості єдиного логічного суперкомп'ютера великої кількості не спеціалізованих обчислювачів (персональних комп'ютерів, ноутбуків і навіть смартфонів). Головні переваги цієї технології при відповідній реалізації є такими: практично необмежена масштабованість, а отже, велика пікова продуктивність ґрид-системи, стійкість до збоїв і мінімальна собівартість створення і супроводу.

На поточний момент кількість великих desktop ґрид перевищує 100. Вони об'єднують понад 250 тисяч активних користувачів, що мають більше 400000 комп'ютерів із сумарною піковою продуктивністю більш ніж 9 петафлопс (Пфлопс).

Згідно рейтингу суперкомп'ютерів станом на листопад 2013 найпотужнішим є Tianhe-2 у

обчислювальному центрі Гуаньчжоу, Китай [4]. Його обчислювальна потужність становить 33,8 Пфлопс. Він складається з 16000 вузлів, кожний з яких має 2 процесора IntelXeon E5-2692 на архітектурі IvyBridge кожний з 12 ядрами (частота 2,2 ГГц) і 3 спеціалізованих співпроцесора IntelXeonPhi 31S1P. За оцінками створення такого суперкомп'ютера обійшлося у 300 мільйонів доларів. Більшість суперкомп'ютерів побудовані у США. Країни СНД мають скромніші результати. Найбільш швидкодіючий має комп'ютерний центр МГУ з потужністю 0,9 Пфлопс, а найшвидший суперкомп'ютер України СКІТ знаходиться в інституті кібернетики ім. В. М. Глушкова та має потужність у 25,6 Тфлопс, тобто більш ніж на три порядки меншу за Tianhe-2 [5, 6].

Для організації грид створено чимало програмних платформ [7-9]:

- Condor – відкрита система управління високопродуктивними грид, що розробляється університетом Вінконсену. Цікавою особливістю є наявність серверу контрольних точок, який зберігає проміжні дані [7];

- X-Com – розробка науково-дослідного центру МГУ. Побудована на основі моделі «ведучий-ведені» та клієнт-серверної архітектури з двома типами базових компонентів [8];

- OurGrid – розробка HP Labs та бразильського інституту Кампіна-Гранді. Для передачі даних використовується технологія однорангового обміну даними точка-точка, а для передачі службової інформації - відкритий протокол обміну миттєвими повідомленнями XMPP;

- SARD – розробка, яка має на меті стандартизувати протоколи обміну даними, принципи взаємодії та побудови систем розподілених обчислень;

- BOINC – відкрита програмна платформа університету Берклі для грид обчислень є сукупністю програмних засобів для організації розподілених обчислень [9]. BOINC – це універсальна платформа для проектів у галузі математики, молекулярної біології, медицини, астрофізики та кліматології. Має простий інтерфейс клієнтської та серверної частини та вбудовані інструменти для створення проекту.

Невирішені проблеми. Науковий потенціал будь-якого науково-дослідницького центру, інституту, лабораторії в значній мірі залежить від того, наскільки швидкі та складні обчислення вони здатні проводити. В межах навчального закладу існує безліч наукових задач, для розв'язання яких потрібні потужні обчислювальні системи. Бажано щоб ці системи були доступними за вартістю та мали потрібні технічні характеристики. Існуючі суперкомп'ютери є дорогими і до того ж погано масштабуються і оновлюються.

Мета і завдання. Метою роботи є визначення принципів організації суперкомп'ютера на платформі розподілених обчислень. Для цього на основі інформації про існуючу телекомунікаційну мережу потрібно обрати платформу і провести дослідження її структури, визначити вимоги до серверу з урахуванням очікуваного навантаження, визначитись з можливостями розширення мережі.

Основна частина. На основі проведеного аналізу існуючих програмних платформ для організації грид, враховуючи наявність клієнтів під різноманітні платформи та операційні системи, простоту та невелику вартість реалізації, наявну можливість залучити до обчислень мобільні термінали (смартфони, планшети), а також за сукупністю переваг, встановлено, що платформа BOINC найбільш підходить для реалізації віртуального суперкомп'ютера в навчальному закладі.

Переваги платформи BOINC [9]:

– наявність можливості здійснювати керування та контроль централізовано за допомогою спеціалізованої програми управління, яка забезпечує пріоритетність обчислюваних проектів, керування відсотком виділених обчислювальних ресурсів;

– обмін даними в локальній мережі (або мережі Інтернет) здійснюється тільки для отримання нових завдань та відправки результатів обчислення. При цьому розрахунки зберігаються на кінцевому пристрої до підключення. Таким чином, можна зменшити мережеву активність, завантажуючи клієнтів декількома завданнями і відправляючи результати у часи найменшої завантаженості мережі;

– наявність програм-клієнтів для Windows, Linux, MacOS і навіть Android, що дає змогу використовувати потенціал смартфонів та планшетів.

Платформа BOINC має успішні приклади реалізації: університет Вестмінстеру (1880 персональних комп'ютерів) для симуляції молекул протеїну; у технологічному інституті Карлсруе у Німеччині застосовується платформа для симуляції космічного випромінювання; Національна Академія Наук України використовує платформу в області матеріалознавства.

Сервер BOINC складається мінімум із одного веб-сервера, який обробляє вхідні і вихідні дані, та сервера баз даних, який відстежує стан підзадач і відповідні їм результати, а також зберігає інформацію про клієнтів та їх продуктивність. Ці сервери можуть бути розгорнуті і на одному

комп'ютері. На вказаних серверах функціонують різні служби, які періодично перевіряють стан бази даних і виконують необхідні роботи з обслуговування системи та розподілу підзадач.

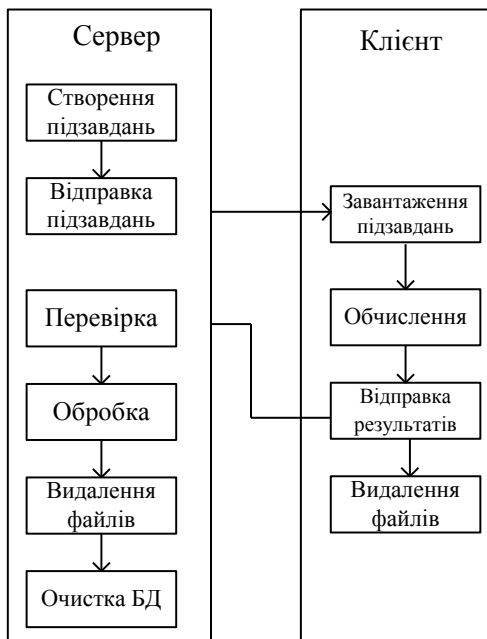


Рис.1. Взаємодія між сервером та клієнтом

зв'язку. Це завдання вирішує програмний міст, при цьому фактична реалізація моста може залежати від особливостей проекту, в рамках якого здійснюються обчислення.

Розглянемо можливість практичної реалізації суперкомп'ютера з мінімальними витратами на базі кампусу НТУУ «КПІ», в якому всі навчальні корпуси підключені до мережі КПІ-Телеком. Спочатку проведемо розрахунок необхідних параметрів серверу VOINC.

У інститутах та на факультетах НТУУ «КПІ» обладнано 223 комп'ютерних класи з 4220 робочими місцями.

Розрахунок необхідних параметрів серверу проведено окремо для кожної складової системних ресурсів, що використовує сервер VOINC:

- web-сервер для реєстрації користувачів та редагування налаштувань проектів під управлінням Apache;
- база даних під управлінням MySQL, до якої звертаються служби та web-сервер;
- служби, що обслуговують сервер VOINC.

Моделювання навантаження проведемо на тестовому стенді, до складу якого входить комп'ютер із двоядерним процесором Intel Core i5-3210M (тактова частота 2,5 ГГц одного ядра) та операційною системою Linux Mint 16. Тестування навантаження для 300 користувачів здійснимо з застосуванням програм Apache benchmark, Apache JMeter, GNU top. Кількість відліків дорівнює 10.

За результатами розрахунків загальний об'єм оперативної пам'яті баз даних MySQL, сервера Apache і системи служб VOINC становить приблизно 11564 Мб [10].

З урахуванням очікуваного навантаження, розрахованої кількості оперативної пам'яті, а також ціни та простоти експлуатації обираємо сервер HP ProLiant BL460c із процесором Intel Xeon E5640 2,66 ГГц та об'ємом оперативної пам'яті у 16 Гб, компоненти якого розміщені на загальній стійці для зменшення об'єму у серверній шафі. Такий підхід дає змогу за потреби легко підключити додаткові сервери.

Оскільки обмін даними між сервером і клієнтами створює додаткове навантаження на мережу, змодельовано обмін даними між клієнтом VOINC та сервером завдань у програмі OPNET IT Guru. Для моделювання даних задамо параметри, у відповідності до реальних умов: інтервали з'єднання з сервером; розмір даних; якість обслуговування.

Результати моделювання засвідчують, що якщо один клієнт для передачі даних потребує пропускну здатність не меншою за 100 Кбіт/с, то вже 1000 клієнтів, за умови відсутності іншого трафіку в мережі, завантажать канал на 100%.

У зв'язку з тим, що більшість занять проводиться у проміжку між 8:00 та 17:00 доцільно встановити час з'єднання від 17:00 до 8:00. Це можна зробити у файлі налаштувань або за допомогою графічного інтерфейсу клієнта.

Сервер VOINC вимагає для установки ряду допоміжних програм. Крім того, для успішного його функціонування необхідно налаштувати базу даних MySQL. Для цього створюється новий користувач бази даних.

Разом із базою даних розроблено проект для виконання на клієнтських машинах. Для розміщення інформації стосовно мети проекту, найновіших розробок, повідомлень тощо створюється веб-портал для користувачів, який має інтерфейс для адміністраторів проекту. Це дає змогу здійснювати контроль за виконаною роботою, управляти завданнями, змінювати налаштування тощо.

Оскільки парк комп'ютерів дуже різноманітний, зробимо оцінку обчислювальної потужності утвореного суперкомп'ютера, ґрунтуючись на таких трьох припущеннях щодо середнього рівня обчислюваної потужності комп'ютерів відповідно від більш застарілого обладнання до сучасного: 1) у середньому клієнти мають обчислювальні потужності, еквівалентні процесору Intel Pentium 4; 2) у середньому клієнти мають обчислювальні потужності, еквівалентні процесору Core 2 Duo E6700; 3) у середньому клієнти мають обчислювальні потужності, еквівалентні процесору Intel Core i7-975 XE.

Спираючись на зазначені припущення, а також дані фірми Intel про потужність процесорів персональних комп'ютерів [11], оцінювання обчислювальної потужності утвореного суперкомп'ютера можна здійснити за діаграмою на рис. 2, на якому перша літера Р позначає процесори Pentium, а С – процесори Core.

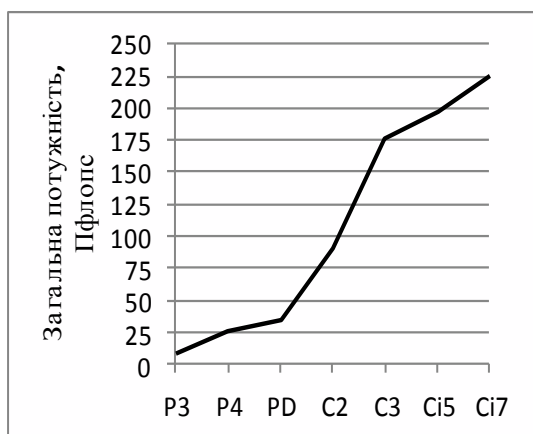


Рис. 2. Залежність загальної обчислювальної потужності від середньої

налаштування тощо.

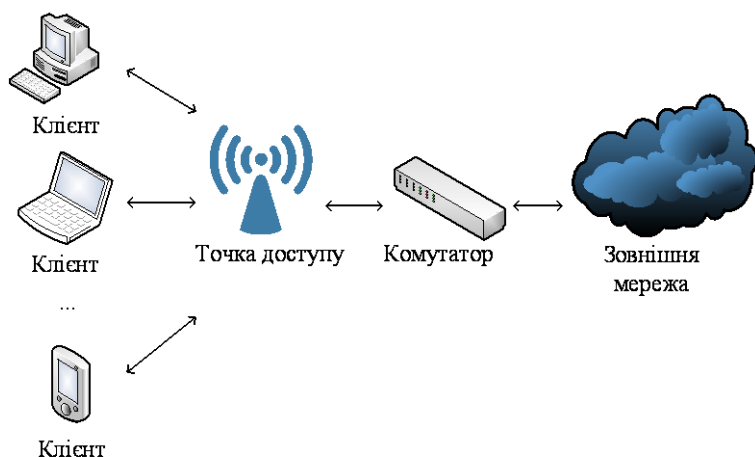


Рис. 3. Схема побудованої мережі

Сервер VOINC вимагає для установки наявності ряду допоміжних програм [12]. При цьому, якщо необхідні програми відсутні, вони можуть бути завантажені з мережі Інтернет. Оскільки проект VOINC перебуває у стадії активної розробки, найкращим способом установки буде завантаження програмного коду з сайта розробника з метою подальшої компіляції.

Крім того, для успішного функціонування сервера необхідно налаштувати базу даних MySQL. Для цього створюється новий користувач бази даних.

Разом із базою даних розроблено проект для виконання на клієнтських машинах. Для розміщення інформації стосовно мети проекту, найновіших розробок, повідомлень тощо створюється веб-портал для користувачів, який має інтерфейс для адміністраторів проекту. Це дає змогу здійснювати контроль за виконаною роботою, управляти завданнями, змінювати

При підключенні нових підрозділів або створенні нових комп'ютерних робочих місць, доцільно використовувати бездротові технології для організації мережі. З одного боку це забезпечить підключення додаткових абонентських пристроїв до мережі без нової прокладки кабелю, з іншого – дасть змогу залучити до обчислень мобільні пристрої, що знаходяться у радіусі дії мережі. Через широку поширеність мережевих пристроїв стандарту 802.11 та їх невелику вартість, для організації доступу доцільно використовувати саме цю групу стандартів.

Оскільки кількість кінцевих пристроїв заздалегідь невідома, з міркувань запасу масштабованості доцільно вибрати стандарт 802.11n. Топологія утвореної мережі зображена на рис. 3. Центральним

елементом у цій мережі є точка доступу. Оскільки якість сигналу (а відповідно і швидкість передачі) залежить в основному від неї, то до вибору обладнання слід підходити максимально відповідально. Так як будівлі навчальних корпусів мають багатокімнатне планування, доцільно скористатися такою перевагою стандарту 802.11n, як MIMO.

Комутатор треба вибирати з міркувань наявності необхідної мінімальної функціональності (повинен бути керованим та мати підтримку PoE для живлення точок доступу), вартості та кількості портів. Потужність процесорів мобільних пристроїв (смартфони, планшети) зростає дуже швидко. Хоча новітні моделі за обчислювальною потужністю наблизися до персональних комп'ютерів, потужність пристроїв середнього класу (яких більшість) зростає не так швидко.

Враховуючи перспективи зростання потужності мобільних пристроїв та їх кількості, перспективною є ідея розширення університетської мережі за межі навчальних приміщень. Розширення дозволить залучити до обчислень всі мобільні термінали, що перебувають в зоні дії мережі та мають відповідне програмне забезпечення. Організувати таку мережу можна, використовуючи недорогі вуличні точки доступу.

Моделювання покриття мережі проведено у програмі AirMagnet Planner 5.0. Комбінуванням направлених та ненаправлених антен досягнуто задовільного рівня сигналу на всій території кампусу з використанням лише 8 точок доступу. Застосування направлених антен дає змогу без суттєвого зменшення зони покриття знизити потужність випромінювача.

Цей етап розгортання мережі є більш затратним у порівнянні з розгортанням на базі існуючої мережі, проте у перспективі він може істотно підвищити загальну обчислювальну потужність суперкомп'ютера. Для ефективної видачі завдань кінцевим обчислювачам важливо правильно обрати структуру грид. Установлено, що ієрархічна структура грид забезпечує кращі результати при видачі завдань у порівнянні з централізованою структурою. Зі збільшенням розміру даних, що пересилаються, збільшується і ефективність ієрархічної структури. Для реальних проектів BOINC, розмір завдання рідко перевищує 100 Мб, а отже, доцільно використовувати централізовану структуру грид, яка незначною мірою буде поступатися ієрархічній за швидкістю, але не потребує встановлення додаткових проміжних серверів.

Висновки. поступаючись локальним суперкомп'ютерам за питомою продуктивністю на одиничний процесор, грид системи можуть мати більшу продуктивність за рахунок залучення великої кількості кінцевих обчислювачів, в тому числі і мобільних. такий підхід дає змогу швидко масштабувати, оновлювати та збільшувати обчислювальну потужність шляхом додавання або заміни кінцевих обчислювачів, в той час як оновлення звичайного суперкомп'ютера є нетривіальною задачею.

За результатами проведеного дослідження можна стверджувати, що перспективним напрямком розвитку університетських грид систем є покриття території кампусу точками доступу Wi-Fi з залученням мобільних терміналів до обчислень, що у перспективі спричинить значний приріст загальної обчислювальної потужності мережі. Впровадження такого грид забезпечує обчислювальну потужність, порівнювану з потужністю сучасних суперкомп'ютерів.

Список літературних джерел

1. Демичев А. П. Введение в грид-технологии / А. П. Демичев, В.А. Ильин, А.П. Крюков – М., НИИЯФ МГУ, 2007. – 87с.
2. Foster I. What is the Grid? / I. Foster // Argonne National Laboratory & University of Chicago. – 2002. – 4с.
3. Классификация грид-систем [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: <http://software.intel.com/ru-ru/blogs/2010/02/09/2003069>.
4. November 2013 TOP500 Supercomputer Sites [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: <http://top500.org/lists/2013/11/>
5. Зачем Украине суперкомпьютер? [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: http://www.tehnichka.com/index.php?option=com_content&view=article&id=912:zачем-украине-суперкомпьютер&catid=15:prikladnaja-nauka&Itemid=136.
6. СКІТ-4 [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: <http://uk.wikipedia.org/wiki/СКІТ>.
7. Computing with HTCondor [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: <http://research.cs.wisc.edu/htcondor/>
8. X-COM [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: <http://x-com.parallel.ru/about.html>
9. BOINC [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: <http://boinc.berkeley.edu/>
10. MySQL — How much memory do I need? [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: <http://www.onh.cc/mysql/>
11. Intel Product Information [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: <http://ark.intel.com/>
12. Установка BOINC сервера [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: http://desktopgrid.ru/wp-content/uploads/2012/11/tutorial_v6.pdf