

них параметрів дозволяє в умовах незначної кількості початкової інформації отримати з великою точністю значення вихідної величини досліджуваного процесу.

2. Нейромережеве прогнозування потребує кропіткої роботи з вибору типу і параметрів нейронної мережі та алгоритму її навчання. Але витрати на виконання вказаних робіт значно менші витрат часу та засобів на проведення експериментальних досліджень і прогнозування іншими методами.

3. Штучні нейронні мережі доцільно використовувати як інструментарій для отримання математичних моделей вихідних технологічних параметрів, що дозволить в подальшому здійснювати оптимізаційні розрахунки технологічних процесів.

#### Література

1. Нейрокомпьютеры и интеллектуальные роботы / Амосов Н.М., Байдык Т.Н., Гольцев А.Д. и др.; под ред. Амосова Н.М. – Киев: Наукова думка, 1991. – 272 с.
2. Neural Network Toolbox User Guide / Beale M., Demuth H. – Natick: Mathworks, 1997. – 700 р.
3. Аведьян Э.Д. Алгоритмы настройки многослойных нейронных сетей // Автоматика и телемеханика. – 1995. – № 4. – С. 106–118.
4. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети: теория и практика. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 382 с.

<p>Пивовар О.Н., Вислоух С.П. <b>Прогнозирование технологических параметров методами искусственных нейронных сетей.</b> В работе рассматриваются вопросы применения искусственных нейронных сетей для прогнозирования выходных технологических параметров процесса резания. Приведены примеры прогнозирования шероховатости обработанной поверхности и периода стойкости режущего инструмента с помощью штучных нейронных сетей модуля Neural Network Toolbox системы MatLab.</p>	<p>Pivovarov O.N., Vislouh S.P. <b>A prediction of technological parameters by means of artificial neural networks methods.</b> Problems of artificial neural networks' application for the prediction of output technological parameters in the time of a cutting process are considered in this work. Examples of the prediction of a processed surface's roughness and a cutting instrument's period of durability by the means of artificial neural networks of the Neural Network Toolbox module of the MatLab system are given.</p>
---	---

Надійшла до редакції  
14 квітня 2009 року

УДК 004.75, 004.724.2

## ОБЧИСЛЮВАЛЬНИЙ КЛАСТЕР ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Порєв Г.В., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

Проаналізовано та обґрунтовано вибір апаратного-програмного забезпечення для побудови

дови обчислювального кластеру. Наведені рекомендації щодо налаштування програмного забезпечення кластеру

### **Вступ**

Певний історичний парадокс полягає в тому, що високопродуктивні комп'ютерні системи (ВПКС) з'явилися раніше персональних, тобто розвиток обчислювальної техніки в ХХ столітті йшов шляхом не тільки мініатюризації схемотехніки, але і децентралізації і персоналізації обчислювальної потужності. Кінцевим наслідком цього процесу стала поява персональних комп'ютерів.

Завдяки розвитку елементної бази сучасні персональні комп'ютери демонструють значно вищу швидкість обчислень і обробки інформації, ніж ВПКС другої половини ХХ століття. Але і в секторі високопродуктивних обчислень за цей період відбулися значні зміни — ВПКС непомітно проникають в повсякденне життя суспільства. Якщо перші справжні ВПКС призначалися для суто військових розробок, то зараз ВПКС керують національними енергетичними та транспортними мережами, вирішують різноманітні наукові математичні та біологічні задачі тощо.

Вважається, що ВПКС відрізняються передусім значною обчислювальною потужністю, яка досягається екстенсивним дизайном обчислювальних модулів, тобто паралельністю обчислень на масиві однотипних обчислювальних блоків. Потрібно відзначити, що персональні комп'ютери і навіть деякі спеціалізовані контролери мають програмні можливості для реалізації паралельних обчислень, але видима «паралельність» в такому випадку досягається швидким переключенням контексту виконуваної задачі в процесорі, який одночасно виконує лише одну послідовність машинних команд.

Сучасні процесори для персональних комп'ютерів, однак, включають в себе апаратні реалізації для справжніх паралельних обчислень, наприклад, включенням більш ніж одного «ядра» (маркетинговий термін для арифметико-логічного пристрою, АЛП) на кристал. Станом на 2009 рік, максимальна кількість ядер в процесорі становить лише 4, тоді як типові ВПКС включають сотні і тисячі вузлів.

Сучасні ВПКС також можуть, і найчастіше включають, апаратно-програмні засоби для реалізації спільної оперативної та спільної довготривалої пам'яті для всіх вузлів, але, на нашу думку, це не є принциповою характеристикою ВПКС в загальному випадку.

### **Постановка і аналіз задачі**

Позиції UNIX як індустріального лідера ринку ВПКС вперше суттєво похитнулися наприкінці 1990-х років, з розширенням функціональності та портабельності операційних систем сімейства GNU/Linux, що дозволило будувати потужні ВПКС на ядрі Linux. Маючи архітектуру, технологічно схожу з UNIX та BSD, ядро Linux, на відміну від них, є повністю безкоштовною для кінцевого користувача системою з відкритим вихідним кодом.

Протягом 10 років архітектура Linux завдяки своїй повній прозорості та зусиллям програмістів з усього світу завоювала практично весь ринок операційних систем для ВПКС. Незважаючи на вихід на ринок ВПКС корпорації Microsoft з операційною системою Windows 2008 for HPC, на сьогодні на 90% ВПКС, побудованих з неспеціалізованих рішень (суто екстенсивний дизайн), встановлена операційна система з сімейства GNU/Linux (рис.1).

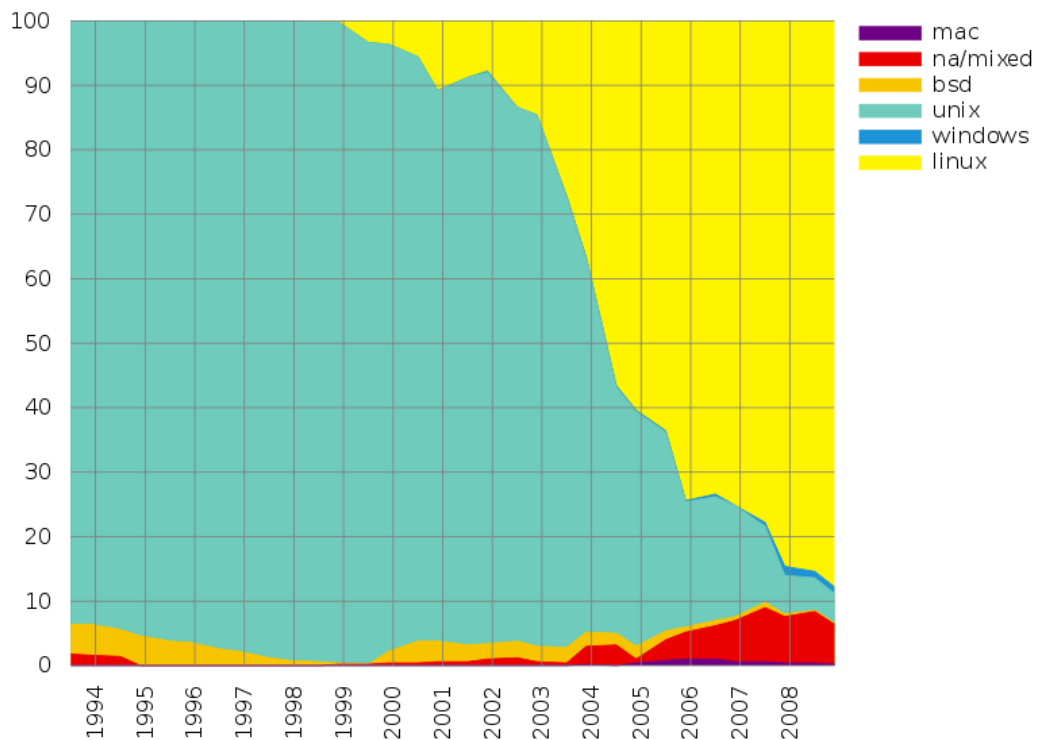


Рис.1. Доля операційних систем на ринку ВПКС в 1994-2008 рр.

### Обґрунтування вибору апаратного і програмного забезпечення

За типом комплектуючих, які використовуються для побудови ВПКС, їх можна умовно розділити на «спеціалізований» та «загальний». ВПКС спеціалізованого типу відрізняються тим, що їх апаратна частина в значній мірі проектується і виробляється для вирішення конкретного класу задач. Відповідним чином складається і бюджет проекту, який може сягати сотень тисяч євро. Такі ВПКС реалізують обчислення, специфічні для конкретної задачі апаратно, залишаючи за програмним забезпеченням функції керування. Прикладом ВПКС такого типу можуть бути як одні з перших не програмованих ВПКС так і порівняно недавні розробки комп'ютера Deep Blue — типового прикладу вузькоспеціалізованого ВПКС. Оскільки логіка його ігрової програми, в основному, була побудована на принципі перебору усіх можливих ходів та оцінки їх корисності, то базові одиниці обчислювального алгоритму були реалізовані безпосередньо в його мікропроцесорах. Відтак це потребувало роз-

робки всього програмного забезпечення з урахуванням унікальної специфіки ВПКС. У випадку Deer Blue, як маркетингового ходу корпорації IBM, це було виправдано, оскільки на Deer Blue ніколи не планувалося виконувати інші задачі, і незабаром після завершальних випробувань він був демонтований.

ВПКС загального типу, напроти, збираються з частин та деталей, доступних на користувачькому ринку серверів та їх комплектуючих. Типовий обчислювальний модуль в такому випадку може представляти собою сервер, придбаний у постачальника серверних рішень і встановлений в структуру ВПКС навіть без будь-яких апаратних модифікацій на місці монтажу. Хоча потужні ВПКС реалізують додаткові апаратно-програмні компоненти для прискорення обміну та доступу до даних, вони теж є моделями, що серійно виробляються.

З огляду на застосування ВПКС в наукових дослідженнях важливо те, що не існує формального критерію нижньої межі потужності обчислювальних одиниць. Якщо операційна система може бути встановлена на модулі і підключена в загальну систему до інших модулів, які утворюють ВПКС, то така система формально вважається ВПКС і на ній може бути задіяне відповідне програмне забезпечення.

Для побудови ВПКС (далі — кластер) нами були задіяні 9 обчислювальних модулів, кожен з яких раніше працював як персональний комп'ютер на робочому місці. Апаратні характеристики модулів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Характеристики модулів обчислювального кластеру

Ім'я вуз-ла	Кількість, тип та частота процесора	Обсяг пам'яті	Ємність диску
Leader	1×AMD K6-2	384 Мбайт	10 ГБайт
Node01	1×Pentium III	256 Мбайт	4 ГБайт
Node02	1×Pentium III	128 Мбайт	4 ГБайт
Node03	1×AMD K6-2	256 Мбайт	8 ГБайт
Node04	1×Pentium II	64 Мбайт	2 ГБайт
Node05	1×AMD K6-2	256 Мбайт	4 ГБайт
Node06	1×AMD K6-2	256 Мбайт	4 ГБайт
Node07	2×Pentium III	512 Мбайт	8 ГБайт
Node08	1×AMD K6-2	64 Мбайт	2 ГБайт

На апаратних ресурсах такого класу, очевидно, неможливо застосовувати ніяких спеціалізованих рішень ринку ВПКС, таких як мережа Infiniband, не

тільки з економічних причин, але і з огляду на те, що на такому кластері не можна розвинути обчислювально-пропускну потужність, яка б потребувала відповідних швидкостей передачі.

Зв'язність обчислювальних модулів кластеру забезпечується мережею Fast Ethernet з пропускнуою спроможністю 100 МБіт/сек і встановленим локально комутатором D-Link.

Вибір базової операційної для кластеру обмежений наступними міркуваннями. Сучасні ВПКС будуть найчастіше на базі ОС GNU/Linux, або, у деяких випадках, на базі ОС FreeBSD або ОС Windows.

Операційні системи сімейства Windows історично не мали штатних можливостей побудови обчислювальних кластерів та ВПКС взагалі, тому всі такі спроби до нещодавна потребували встановлення додаткових сторонніх компонент ПО. Лише з появою ОС Windows Server 2008 HPC Edition операційні системи від Microsoft вийшли на ринок програмного забезпечення для ВПКС. На жаль, навіть мінімальні рекомендовані характеристики системи значно вищі, ніж наявний парк комп'ютерів для даної задачі.

При виборі між GNU/Linux та FreeBSD скористаємося міркуваннями необхідності оптимізації виконуваного коду під конкретну архітектуру процесора а також тією обставиною, що наш кластер є гетерогенним за ознакою такої архітектури — в ньому поєднані процесори різних поколінь та від різних виробників (AMD та Intel). Серед усіх дистрибутивів Linux та BSD штатну, і, більше того, рекомендовану можливість оптимізації під модель процесора має метадистрибутив Gentoo Linux.

Переважна більшість інших дистрибутивів встановлює в систему вже готові, попередньо скомпільовані, орієнтовані на широкий клас процесорів бінарні пакети, тоді як Gentoo Linux надає можливість встановити систему, повністю перекомпільовану на цільовому апаратному забезпеченні з урахуванням не тільки особливостей сімейства процесорів певного виробника, але і конкретної моделі у межах сімейства. Це досягається вказуванням в опціях до компіляторів GCC умовних кодових імен процесорів та вказуванням спеціальних ключів, які можуть задіяти оптимізацію з урахуванням реалізованих в процесорі технологій (таких як MMX, SSE, SSE2 тощо).

Також при виборі дистрибутиву було враховано поточну популярність сімейств операційних систем на користувачькому ринку ВПКС як підґрунтя до наявності широкого вибору програм, широкого загалу користувачів та наявності значного обсягу матеріалу щодо наявних помилок експлуатації та методів їх виправлення.

При проектуванні та початковому налаштуванні програмного забезпечення було враховано досвід фахівців компанії CyberLogic (Квебек, Канада). Проект Adelie Linux R&D цієї компанії є обчислювальним кластером на основі метадистрибутиву Gentoo Linux. Детальний опис процесу побудови так конфігурації кластеру наведено на офіційному веб-сайті метадистрибутиву [1]. Конфігурація кластеру Adelie відрізняється підвищеним акцентом на питаннях безпеки, зок-

рема застосовано офіційні вихідні коди ядра ОС Linux (замість традиційних для Gentoo Linux спеціалізованих ядер), модулі xinetd та iptables для розділення та блокування доступу тощо. В той час як для потужних апаратних засобів та для розташування кластеру в публічному адресному просторі (у випадку проекту Adelie) ці заходи є цілком виправдані, для обчислювального кластеру, який розглядається в даній роботі, потрібно врахувати, що кожен додатковий модуль безпеки займає як дисковий ресурс, так і, що найважливіше, відбиток пам'яті (memory footprint) ядра системи. Що за наведених вище (табл.1) апаратних характеристик може виявитись критичним до швидкодії системи в цілому.

Також необхідно відзначити і ту обставину, що захист систем кластера від зловмисного доступу забезпечується топологічним відділенням його базової мережі від Інтернет, при збереженні можливості доступу ззовні завдяки системі VPN-доступу, встановленому на центральному сервері комп'ютерної мережі.

Можливість оптимізації виконуваного коду всіх компонентів ОС під конкретні сімейство та модель процесора в ОС Gentoo Linux має свої недоліки, основний з яких полягає в тому, що процес перекомпіляції всієї множини пакетів або процес оновлення пакетів до наступних опублікованих версій займає тривалий час. Так, наприклад, монолітне ядро Linux версії 2.6.29 компілюється на одному з вузлів кластера приблизно 20-30 хвилин.

Для прискорення цього процесу нами було встановлено на всіх модулях кластера програмне забезпечення для розподіленої компіляції DistCC. Це, в свою чергу, потребувало встановлення так званих кросс-компіляторів, оскільки в термінології Gentoo Linux деякі модулі кластеру мають архітектуру процесора i586, тоді як інші — i686.

Використання розподіленої компіляції, коли в будь-який момент часу над оновленням або встановленням пакету програмного забезпечення на один модуль працюють всі 9 вузлів дозволило скоротити час оновлення в середньому в 3-4 рази. Невідповідність зумовлена тим, що розподіляється по кластеру тільки безпосередній процес компіляції, а попередня конфігурація та обробка проводиться на цільовому модулі.

Для централізованого керування модулями кластеру було створено сценарій, вихідний код якого наведений нижче

```
#!/bin/bash
#
# sixth node temporarily excluded
#
nodes="leader node01 node02 node03 node04 node05 node06 node07 node08"
#
for node in ${nodes}; do {
echo === RUNNING COMMAND ON "$node" ===
ssh -l root $node "$1"
}; done;
#
```

Даний сценарій, написаний в синтаксисі командного інтерпретатора (оболонки) bash, реалізує послідовне виконання заданої команди на всіх модулях

кластеру. Отже, без доступу до керуючої консолі кожного модуля досягається одноманітність встановлених версій програмного забезпечення та конфігурації модулів, що критично для однорідної роботи обчислювального кластеру.

Для виконання безпосередніх розподілених обчислень на всі модулі кластеру було встановлено бібліотеку OpenMPI, яка реалізує стандарт обміну даними в паралельних обчислювальних системах. Оскільки не планується надавати одночасний (конкурентний) доступ до обчислювальних ресурсів кластеру, системі планування задач, таку як Torque Resource Manager встановлено не було.

Для успішної роботи OpenMPI з використанням мережної файлової системи NFS налаштовано спільний ресурс, який вказує на домашній каталог виділеного користувача, та внесено ключі SSH-авторизації для уникнення необхідності багаторазового вводу паролю під час виконання розподілених задач.

### **Висновки**

Проаналізовано та обґрунтовано вибір апаратного та програмного забезпечення для побудови обчислювального кластеру для автоматизації наукових досліджень. Такий кластер побудовано з використанням тих же технологій, які використовуються для створення потужних обчислювальних кластерних систем промислового та наукового значення.

Наведені в статті рекомендації щодо конкретних пакетів програмного забезпечення та їх конфігурації надають можливість впровадження аналогічних кластерів на кафедрах високотехнологічних спеціальностей, що, в свою чергу, сприятиме підвищенню рівня професійної підготовки студентів.

У порівнянні з аналогами даний обчислювальний кластер має менші апаратні вимоги, вищу ступінь адаптації до гетерогенного апаратного забезпечення, і, як наслідок, вищу продуктивність.

### **Література**

1. High Performance Computing on Gentoo Linux: <http://www.gentoo.org/doc/en/hpc-howto.xml>

<p><b>Порев Г.В. Вычислительный кластер для автоматизации научных исследований</b> Проанализирован и обоснован выбор аппаратно-программного обеспечения для построения вычислительного кластера. Приведены рекомендации насчёт настройки программного обеспечения кластера.</p>	<p><b>Poryev G. V. Computing Cluster to aid the Scientific Research</b> The choice for the software and hardware used to build the computing cluster was analyzed and substantiated. The recommendations concerning the software package and setup was outlined.</p>
---	--

*Надійшла до редакції  
12 березня 2009 року*