

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет комп'ютерної інженерії та управління
(повна назва)

Кафедра електронних обчислювальних машин
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Моделі багаторівневого паралелізму
високопродуктивних хмарних обчислень

(тема)

Виконав:

студент II курсу, групи СПМ-21-3
Голець В.В.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-наукова
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Системне програмування
(повна назва освітньої програми)

Керівник: доц. Янковський О.А.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри ЕОМ

(підпис)

Коваленко А.А.

(прізвище, ініціали)

2023 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ комп'ютерної інженерії та управління _____

Кафедра _____ електронних обчислювальних машин _____

Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____

Спеціальність _____ 123 «Комп'ютерна інженерія» _____
(код і повна назва)

Тип програми _____ освітньо-наукова _____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма _____ Системне програмування _____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

“ _____ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студенту _____ Голецю Владиславу Вадимовичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Моделі багаторівневого паралелізму високопродуктивних хмарних обчислень _____

затверджена наказом по університету від “ 03 ” _____ квітня _____ 2023 р. № _____ 318 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____ 17 травня 2023 р.

3. Вхідні дані до роботи _____

Моделі хмарних обчислень.

Постачальники хмарних послуг (AWS, GCP, Azure).

Методи оцінки продуктивності хмарних платформ.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі _____

Аналіз предметної області.

Аналіз та вибір моделей хмарних сервісів.

Проведення експериментів

Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Презентація 13 слайдів

6. Консультанти розділів роботи (заповнюється за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз предметної області	03.04.23 – 06.04.23	
2	Розробка моделей	06.04.23 – 12.04.23	
3	Реалізація алгоритмів	13.04.23 – 20.04.23	
4	Розробка структури програмних засобів	21.04.23 – 25.04.23	
5	Розробка програмних модулів	26.04.23 – 30.04.23	
6	Оформлення матеріалів атестаційної роботи	01.05.23 – 10.05.23	
7	Подання атестаційної роботи керівникові та її попередній захист	11.05.23 – 14.05.23	
8	Подання атестаційної роботи на рецензування	14.05.23 – 17.05.23	

Дата видачі завдання 03 квітня 2023 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

доц. Янковський О.А.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 63 с., 10 рис., 4 табл., 1 дод., 64 джерела.

БАГАТОРІВНЕВИЙ ПАРАЛЕЛИЗМ, ХМАРНІ ПЛАТФОРМИ, СЕРВІСИ, ВИСОКОПРОДУКТИВНІ ОБЧИСЛЕННЯ, МОДЕЛІ ПАРАЛЕЛЬНИХ ОБСИСЛЕНЬ

У роботі оцінюється вплив використання багаторівневого паралелізму на обчислювально інтенсивні паралельні завдання, розміщені на хмарному віртуалізованому кластері НРС. Ми використовуємо багаторівневий паралелізм через набір експериментів, використовуючи як передавання повідомлень, так і багатопотокові методи. Наша оцінка стосується двох основних аспектів: продуктивності додатків і вартості роботи додатків НРС у хмарах. Ми використовуємо мільйони операцій за секунду (MOPS) і прискорення для оцінки обчислювальної продуктивності. Для оцінки вартості ми використовуємо долар США/MOPS (USD/MOPS). Експерименти на двох різних хмарах порівнюються один з одним і з опублікованими результатами для хмари Amazon EC2. Результати показують, що балансування робочого навантаження між процесами та потоками для кожного процесу є ключовим фактором для підтримки високої продуктивності за прийнятною вартості.

ABSTRACT

Master's thesis: 63 pages, 10 figures, 4 tables, 1 appendice, 64 sources.

MULTI-LEVEL PARALLELISM, CLOUD PLATFORMS, SERVICES,
HIGH-PERFORMANCE COMPUTING, PARALLEL COMPUTING MODELS.

The major goal of this thesis is the impact of using multi-level parallelism on computationally intensive parallel tasks hosted on a cloud virtualized HPC cluster. We exploit multilevel parallelism through a set of experiments using both message passing and multithreading techniques. Our evaluation addresses two main aspects: application performance and the cost of running HPC applications in the cloud. We use millions of operations per second (MOPS) and acceleration to measure computing performance. We use US Dollar/MOPS (USD/MOPS) to estimate value. Experiments on two different clouds are compared to each other and to published results for the Amazon EC2 cloud. The results show that balancing the workload between processes and threads for each process is a key factor in maintaining high performance at an acceptable cost.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	7
ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	10
1.1 Огляд хмарних обчислень.....	10
1.2 Дослідження постачальників хмарних послуг.....	11
1.2.1 Amazon Web Services (AWS)	13
1.2.2 Хмарна платформа Google	15
1.2.3 Microsoft Azure Cloud	15
1.3 Оцінка продуктивності та аналіз публічних хмарних обчислювальних платформ	16
1.4 Оцінка НРС на хмарних обчисленнях	18
1.5 Вплив використання гібридної моделі процесів і потоків на НРС.....	19
2 АНАЛІЗ ТА ВИБІР МОДЕЛЕЙ ХМАРНИХ СЕРВІСІВ	21
2.1 Дослідження хмарних сервісів	21
2.2 Порівняння хмарних сервісів.....	24
2.3 Порівняння провайдерів за моделями надання послуг	27
2.3.1 Зберігання даних	27
2.3.3 Сервіси інфраструктури	31
2.3.4 Особливості вибору провайдера хмарних обчислень	33
3 ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ	35
3.1 Конфігурація експериментального кластеру та методологія оцінки	35
3.2 Еталонна архітектура гібридного МРІ.....	36
3.3 Продуктивність та прискорення при використанні.....	37
ВИСНОВКИ.....	48
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	49
ДОДАТОК А Графічний матеріал кваліфікаційної роботи.....	56

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ
І ТЕРМІНІВ

- ІТ – інформаційні технології
- США – Сполучені Штати Америки
- MOPS – мільйон операцій за секунду
- ПЗ – програмне забезпечення
- ПК – персональний комп'ютер
- ЦП – центральний процесор
- API – Application Programming Interface
- AWS – Amazon Web Services
- CRM – Customer Relationship Management
- EC2 – Elastic Compute Cloud
- GCP – Google Cloud Platform
- HPC – High Performance Computing
- IaaS – Infrastructure as a Service
- IoT – Internet of Things
- HTTP – HyperText Transfer Protocol
- MIPS – Million Instructions Per Second
- MPI – Message Passing Interface
- MPICH – Message Passing Interface CHameleon
- NPB – NAS parallel benchmark
- PaaS – Platform as a service
- SaaS – Software as a service
- SOAP – Simple Object Access Protocol
- SSD – Solid-State drive
- WDS – бездротова розподільча система (англ., Wireless Distribution System)
- USD – United States dollar

ВСТУП

Інтернет збільшує можливості багатьох сфер суспільства. Здебільшого програмне та апаратне забезпечення повністю доступно на комп'ютері клієнта та інформація і проекти клієнта зберігаються на його комп'ютері [1]. Відповідальність за захист даних, а також підтримку прикладного та системного програмного забезпечення на відповідності стандартам лежить на плечах відповідного відділу та користувача всередині організації [2].

Термін «хмара» використовується для позначення Інтернет ресурсів. «Обчислення» — це процес, у якому комп'ютерна технологія використовується для виконання завдань для досягнення мети, включаючи проектування та розробку програмного та апаратного забезпечення. Коли термін «хмара» додається до обчислень, це надає багатовимірні можливості обчисленням.

На відміну від розміщення всієї інформації та програм на одному з комп'ютерів або серверів, можливо розміщення усього «у хмарі» [3]. У хмарі можливо розмістити додатків, бази даних, електронну пошту, адміністрування записів, потужну обробку великих даних, пам'ять та інші послуги. На думку деяких аналітиків і постачальників, хмарні обчислення схожі на звичайний процес аутсорсингу, коли комп'ютерні ресурси споживаються за межами брандмауера організації, і цей процес називають обчисленнями «в хмарі» [4].

Використання високопродуктивних обчислень (HPC) поступово зростає в наукових дослідженнях і промисловості. Хмарні обчислення приваблюють користувачів HPC через свою надзвичайну економічну ефективність. Зменшення вартості є результатом успішного застосування багаторівневої віртуалізації, що забезпечує динамічний еластичний розподіл ресурсів між різними орендарями.

Обчислювальні хмари [5,6] – це обчислювальні моделі на основі

Інтернету, вони надають спільні конфігуровані, віртуалізовані пули обчислювальних ресурсів, які можна швидко поширювати та надавати без зусиль адміністратора постачальники послуг, при цьому реалізується принцип доступу, а рахунок виставляється за використання. Cloud представляє різні моделі обслуговування.

Засоби високої продуктивності [7] регулярно залучаються для наукових досліджень у промисловості та дослідницькому світі. Взаємозв'язок між програмним і апаратним забезпеченням на платформах високопродуктивних обчислень сильно поєднується. Кластери НРС включають повторювану синхронізацію та міжпроцесорний зв'язок, що вимагає складного керування кластером, яке зазвичай обробляється складним програмним забезпеченням, що працює на потужному хості [8].

Хмарні обчислення дозволяють користувачам модифікувати свою обчислювальну платформу відповідно до їх фінансового плану та потреб програми. Дослідники [9] відзначили, що хмарні обчислення підходять для додатків НРС через такі їх характеристики, як віртуалізація та еластичність ресурсів.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Огляд хмарних обчислень

У хмарних обчисленнях організація, яка спеціалізується на хмарних обчисленнях, надає клієнту обмежену кількість ІТ-ресурсів (щодо серверного простору, доступу до програмування або обох) через хмару. Таким чином, клієнт отримує свої ІТ-вимоги, орендуючи їх у організації, що надає послуги хмарних обчислень, витрачаючи лише ті апаратні/програмні ресурси, які є найважливішими для клієнта. Це дозволяє невеликим організаціям мати доступ до ресурсів, які можуть бути куплені в цілому тільки великими організаціями через високі витрати на купівлю, експлуатацію та обслуговування. Зрештою, це допомагає підприємствам, від малих до великих, процвітати завдяки концепції різноманітних ІТ-можливостей організації на місці за допомогою Інтернету [5].

Таким чином, вилічину прибутку можна легко підтримувати та покращувати, не роблячи великих інвестицій у створення з нуля потужної ІТ-інфраструктури, навчання нового персоналу та ліцензування нового програмного забезпечення [6]. Хмарні обчислення мають три моделі (IaaS, PaaS і SaaS) з різними рівнями доступу та безпеки. Кожна модель в основному використовується для обчислень, зберігання та інфраструктурних послуг, тому споживачеві дуже важко вибрати модель хмарних обчислень. Немає єдиної моделі, яка найкраще підходить для кожної компанії та вимог до обробки інформації, тому, якщо будь-яка організація вирішує свої потреби та обирають свою модель використання послуг [7].

Від клієнта потрібно правильно визначитися з вибором моделі. Огляд хмарних обчислень показано на рисунку 1.1 [8]. Дослідження висвітлюють важливі функції кожної служби, які допоможуть організації вибрати модель і послугу хмарних обчислень.

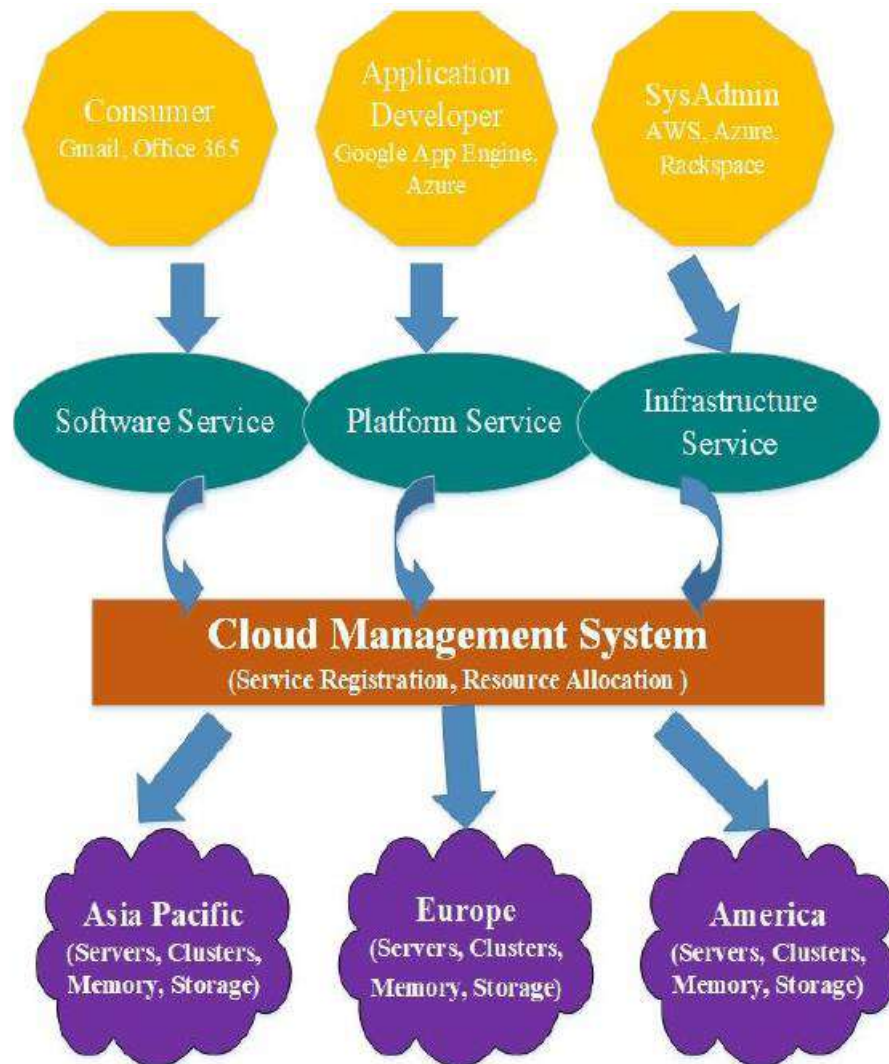


Рисунок 1.1 – Огляд хмарних обчислень

1.2 Дослідження постачальників хмарних послуг

Існує кілька хмарних платформ, таких як Amazon EC2, Microsoft Windows Azure і хмара IBM. Ці платформи підходять для додатків НРС. Інтерес до розміщення НРС у загальнодоступних хмарах зростає через їхню величезну обчислювальну потужність, широку доступність і покращення продуктивності, особливо при об'єднанні.

Такі особливості спонукали багато робіт до впровадження хмарних обчислень для НРС-додатків [9]. Було проведено багато досліджень, щоб перевірити застосовність віртуальних НРС, головним чином з точки зору

продуктивності. Однак деякі результати минулих досліджень були такими песимістичними. Вони визначили деякі основні обмеження, такі як неоднорідність ресурсів, недостатня продуктивність мережі та багатокористувацький доступ до багатоядерних програм HPC, розміщених у хмарі [10].

Застосування гібридної моделі дозволяє використовувати два рівні зв'язку (міжсерверний і внутрішній зв'язок), використовуючи внутрішньосерверне розпаралелювання, яке існує в багатоядерних процесорах через OpenMP, і використовуючи міжсерверний паралелізм через MPI для масштабування на величезну кількість ядер [11]. Ця гібридна модель покращує продуктивність багатоядерних HPC. В результаті підвищення рівня паралелізму, використання потоків між процесами долає накладні витрати віртуалізованої мережі.

Вплив накладних витрат на мережу в разі використання багаторівневого паралелізму на продуктивність і масштабованість HPC можна оцінити за допомогою реалізації інтерфейсу передачі повідомлень (MPI) тесту NAS parallel benchmark (NPB) і гібридної реалізації MPI+OpenMP НПБ багатозонний (НПБ-M3).

NPB і NPB-MZ — це набори тестів NAS, які зазвичай використовуються для оцінки бібліотек, мов і проміжного ПЗ для HPC (Бейлі та ін., 1991). Набір NAS пропонує набір тестів для HPC-додатків, даних оцінки та транспортування зв'язку між процесами та потоками на додаток до цілої продуктивності та продуктивності з плаваючою комою. Реалізація NPB-MZ використовує дворівневий паралелізм через гібридні коди MPI+OpenMP. Він містить три програми: блочну тридіагональ (BT), скалярну пентадіагональ (SP) і нижньо-верхню симетричну Гаусса-Зейделя (LU). Однак у версії MZ LU обмежений 16 процесами MPI [11]).

У роботі ми оцінюємо вплив використання багаторівневого паралелізму за допомогою серії експериментів із використанням обох методів передачі повідомлень і багатопоточності. Наша оцінка стосується

двох основних точок зору:

- продуктивність додатків HPC визначається з точки зору MOPS і прискорення;
- вартість запуску HPC-додатків у хмарах визначається в доларах США/MOPS.

Ми використовуємо хмару Windows Azure із розширенням 128 ядер, які використовуються кластером із 16 віртуальних машин (ВМ). Ми використовуємо тести NPВ і NPВ-MZ для проведення ряду експериментів, що працюють у середовищах OpenMPI і MPICH2. Платформа Microsoft Windows Azure є однією з найпопулярніших публічних хмар. Це придатна та практична платформа для розміщення додатків HPC, особливо для некомунікаційних додатків. Microsoft Azure використовує віртуалізацію апаратного рівня, щоб пропонувати потужні обчислювальні ресурси та ресурси зберігання. Вона пропонує можливість обчислень на віртуальних паралельних кластерах. Наші експерименти показали, що підвищення рівня паралелізму має великий вплив на систему, компенсуючи накладні витрати на віртуалізацію.

Розглянемо особливості основні платформи хмарних обчислень з точки зору надання хмарних послуг.

1.2.1 Amazon Web Services (AWS)

Окрема особа, організація (державна, приватна та державна) може придбати AWS у формі обчислювальних ресурсів на вимогу на основі платіжного стилю виставлення рахунків. Хмарні веб-адміністрації пропонують кілька різних, цілеспрямованих інфраструктур і відповідних будівельних блоків і пристроїв для потреб обробки [9]. Від Amazon Amazon Elastic Compute Cloud надає такі засоби, що дозволяють клієнтам отримувати постійний доступ до віртуальної групи ПК за допомогою Інтернету. У цьому режимі клієнт отримує такі функції, ніби він або вона має якісне апаратне

забезпечення ПК разом з обладнанням (ЦП і ГП для потреб обробки, ОЗП для вимог до пам'яті, жорстке коло, SSD для зберігання інформації); вибір робочих рамок; встановлення; і розробка прикладних програм із попереднім стеком, наприклад, CRM, бази даних, сервери для розміщення веб-сайтів, тощо [10].

Сервери AWS по всьому світу підтримуються системою резервного копіювання Amazon [11]. Вартість придбання їхніх послуг залежить від поєднання різних варіантів, таких як використання інструментів, ОС, дизайн програми, функції організації, вибрані через спонсора, необхідний рівень доступності, безпеки та набору інструментів для адміністративних завдань. Клієнт може заплатити за виділений віртуальний комп'ютер AWS, виділений фізичний комп'ютер або комбінацію кожного типу. Важливий аспект угоди про членство Amazon забезпечує безпеку інфраструктури клієнта. AWS поширена в різних геологічних регіонах світу [12]. У 2017 році AWS досягла понад дев'яносто адміністрацій, охоплюючи різні сфери, такі як керування інформаційними базами даних, накопичення, адміністрування додатків, обладнання, що використовується в інженерії, обладнання, пов'язане з Інтернетом речей (IoT) [13]. Основна лінійка продуктів включає AS3 та EC2. Кінцеві клієнти не отримують більшу частину адміністрування безпосередньо, а через API щоб інженери могли використовувати їх у своїх програмах для досягнення поставленого завдання. Тепер AWS охопив HTTP, і він використовує структурний стиль REST і конвенцію SOAP [14]. Amazon продає AWS індосантам як спосіб отримання великих обмежень на визначення масштабу швидше й економніше, ніж створення справжньої фізичної серверної ферми [15]. Усі адміністрації стягують плату залежно від використання, але кожна адміністрація оцінює використання по-різному. AWS має загальну домінуючу хмару, тоді як Microsoft і Google слідують за AWS [16].

1.2.2 Хмарна платформа Google

Як випливає з назви, GCP надається Googleв якості набіру адміністраторів хмарних обчислень. Вона працює на тій самій платформі, яку використовує сам Google для запуску своїх служб кінцевого клієнта, таких як YouTube, Google Search [17].

За допомогою платформи клієнт може легко виконувати різні хмарні адміністративні завдання, такі як накопичення інформації, формування інформації, перевірка даних і машинне навчання. Платіжна картка або деталі книги, необхідні для процесу реєстрації [18]. GCP надає фундаменту етап керування та умови безсерверної реєстрації. [19]. Google представила App Engine у квітні 2008 року, що послужило етапом для створення та полегшення веб-додатків у фермах серверів, які контролює Google. Він стосувався головним чином адміністрування розподілених обчислень. Завдяки зростанню популярності, було виявлено, що він широко використовується в листопаді 2011 року, і в результаті Google долучився до впровадження різних хмарних адміністраторів на цьому етапі [20]. Google Cloud Platform — це підрозділ Google, який об'єднує відкриту хмарну структуру GCP, лише використовуючи G Suite, галузеві адаптації Android і Chrome OS, а також інтерфейси прикладного програмування (API), спрямовані на штучний інтелект (AI) і адміністрування карт [21].

1.2.3 Microsoft Azure Cloud

Microsoft Azure Cloud призначена для адміністрування хмарних обчислень, підготовлених Microsoft для організації, аналізу, розгортання та керування додатками центром обробки даних, яким керує Microsoft [22]. Він пропонує SaaS, PaaS і IaaS і підтримує широкий спектр програмних мов, машин і структур, а також явний і вихідний програмний дизайн і фреймворки Microsoft. У жовтні 2008 року Microsoft Azure було запусчено як проект під

назвою «Project Red Dog» [23]. Microsoft Azure витратила гроші на хмарні обчислення, наприклад, сотні мільйонів доларів, для надання кількох масштабованих хмарних рішень, які допомагають споживачам і дозволяють їм виконувати їхні вимоги та надії [24]. Microsoft Azure дозволяє власникам додатків використовувати свій продукт у мережі разом із практично необмеженим пулом ресурсів майже без попередніх інвестицій, а також завдяки обмеженим операційним витратам [25]. Хмарні обчислення — це мережеві обчислення, які об'єднують різноманітні машини в різні категорії мережі, такі як приватна, публічна та гібридна інфраструктура [26]. Тренд пошуку AWS, GCP і Microsoft Azure, показаний на рисунку 1.2 [27].

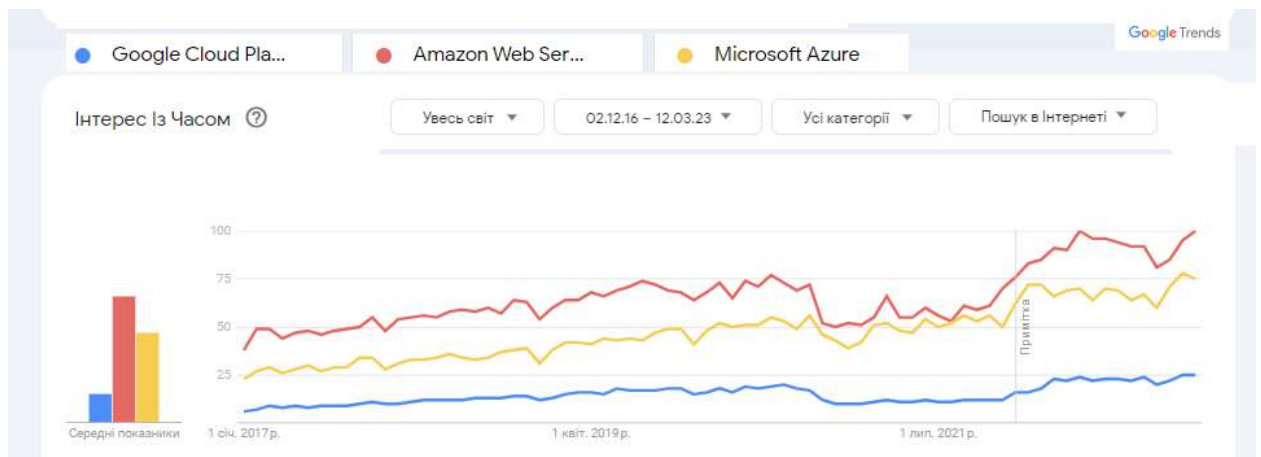


Рисунок 1.2 – Тенденції пошуку в Google

1.3 Оцінка продуктивності та аналіз публічних хмарних обчислювальних платформ

У [10] оцінена продуктивність екземплярів, розміщених на Amazon EC2. Він порівнює продуктивність екземплярів EC2 із продуктивністю реальної машини за допомогою NPВ, а також проаналізував ефективність мережі за допомогою тесту MPP MPI. Він показав, що існує величезна різниця в продуктивності між традиційним кластером і кластером EC2 під

час проведення HPC-обчислень. Цей проміжок у продуктивності виникає не лише в продуктивності MPI паралельних програм із розподіленою пам'яттю, але, крім того, у продуктивності OpenMP паралельних програм із спільною пам'яттю на одному обчислювальному вузлі.

В роботі [11] оцінили вплив віртуалізації на продуктивність мережі Amazon EC2, вимірявши затримку пакетів спільного використання процесора, втрату пакетів і пропускну здатність TCP/UDP між віртуальними машинами (примірниками), розміщеними на Amazon EC2. Вони показали, що навіть незважаючи на те, що в мережі є невелике завантаження, значна ненадійність пропускну здатності та нерегулярні відхилення затримки можуть бути результатом віртуалізації.

В [12] продемонстрована адекватність віртуальних машин HPC і проілюстрував характеристики продуктивності віртуалізації в хмарних обчисленнях. Вони проводили свої експерименти за допомогою HPCSS benchmark, NCHC Application Suite і програм Net PIPE. Їх результати показали, що кращу продуктивність віртуалізації можна отримати, використовуючи платформу Xen PV, а не платформи KVM FV і Xen FV. Вищу продуктивність віртуальної кластерної системи або хмарних обчислень можна досягти, якщо вона побудована за допомогою технології Xen PV. Технологія Xen PV забезпечує кращу продуктивність системи.

В роботі [13] оцінили продуктивність алгоритму множення щільної матриці з використанням паралельних потоків на різних платформах, розміщених на Windows Azure, ці платформи мають різні операційні системи та різні середовища виконання. Вони виявили, що якщо вартість є єдиним фактором, який розглядається, Linux має бути кращим вибором. Тоді як, якщо врахувати фактори вартості та продуктивності, Windows має бути кращим вибором.

1.4 Оцінка HPC на хмарних обчисленнях

Gupta та Milošević [13] оцінили програми HPC у хмарі. Вони представили оцінку додатків HPC, розміщених на різних платформах, починаючи від хмарних до розширених кластерів HPC. Вони оцінили продуктивність і обмін витратами. Вони виявили, що програми з низьким рівнем комунікацій, як-от дуже паралельні та деревовидні обчислення, мають низьку вартість, якщо працюють у хмарах. Покращений кластер HPC є найкращим.

В роботі [14] оцінили ймовірність запуску HPC-додатків у Microsoft Windows Azure. Вони оцінили майстерність хмарних обчислень з точки зору вартості та продуктивності. Вони порівняли ефективність і продуктивність роботи NPВ на Amazon EC2, реальній машині та Windows Azure. Результати показали, що Azure має кращу продуктивність для загальних тестів. У порівнянні з реальною машиною, її продуктивність знижується, коли є величезна кількість зв'язку через збільшення накладних витрат. У порівнянні з хмарою Amazon, Azure має кращу продуктивність завдяки комунікації. Вони довели, що Azure є реалістичною платформою для HPC.

В [15] оцінили продуктивність наукових програм і тестових ядер, які виконуються в кластері віртуальних машин, традиційному середовищі HPC і кластері Amazon HPC EC2. Вони використовували макротести NAS Parallel, мікротест OSU MPI і два величезних коди наукових програм. Вони перевірили інформацію про час виконання та паралельну масштабованість, отриману від системи моніторингу продуктивності IPM. Вони успішно створили коди додатків, розміщених у традиційному HPC, і упаковали їх у віртуальні машини, розміщені як у публічній, так і в приватній хмарі. Вони продемонстрували цінність і ефективність спілкування в додатку, як воно обмежує додатки короткими повідомленнями на двох віртуалізованих платформах.

В [16] оцінили масштабованість і продуктивність додатків HPC у

кластері Amazon EC2, використовуючи екземпляри CC1 і CC2, використовуючи NPВ і NPВ-MZ, використовуючи до 512 ядер, і оцінили продуктивність зв'язку як у спільній пам'яті, так і в 10-гігабітному Ethernet. Вони виявили, що масштабованість програми HPC залежить від продуктивності зв'язку, яка залежить від рівня віртуалізації та мережевої структури.

Використання кількох рівнів паралелізму є найкращим рентабельним і масштабованим варіантом для виконання додатків HPC, розміщених на платформі Amazon EC2 CC.

Ву та ін. [17] використовували хмарні HPC-ресурси, щоб оцінити вплив високопродуктивних хмарних обчислень на швидкість оптимізації додатків із інтенсивними обчисленнями. Потім порівнюється продуктивність програм, які працюють на локальних машинах. Open FOAM (пакет CFD з відкритим кодом) використовується для моделювання теплопередачі блоку сухого трансформатора. Вони виявили, що HPC на основі хмари забезпечує більшу швидкість обчислень, що робить параметричне дослідження оптимізації стратегії трансформатора швидшим. Контейнери Microsoft Azure від UberCloud допомогли користувачам Open FOAM швидше досягти свого результату. Вартість використання хмари низька порівняно з кластером HPC з такою ж обчислювальною потужністю.

1.5 Вплив використання гібридної моделі процесів і потоків на HPC

Вплив можливості та непокопу моделей програмування на HPC чистий OpenMP, Pure MPI та гібридний MPI+OpenMP наведено в [18]. Для оцінки вони використовували бенчмарк NPВ-MZ. Вони визначили ситуації, коли гібридний MPI+OpenMP насправді може бути кращим рішенням для зменшення передумов зв'язку та споживання пам'яті та покращення балансу навантаження.

В роботі [19] оцінили прибутки від гібриду MPI+OpenMP і

використання ресурсу в системі НРС за допомогою NPВ-MZ. Результати показали ефективність гібридної моделі для підвищення чисельної збіжності та балансу навантаження.

Гібридний підхід зменшив використання пам'яті та витрати, спричинені викликами MPI. Модель MPI+OpenMP можлива для кодування на кластерах SMP.

2 АНАЛІЗ ТА ВИБІР МОДЕЛЕЙ ХМАРНИХ СЕРВІСІВ

2.1 Дослідження хмарних сервісів

Дослідники підготували кілька робіт про важливість хмарних сервісів. Важливість IoT у хмарних обчисленнях надзвичайно зростає. Хмарні сервіси, такі як Google Compute Engine, Azure IoT Edge, Amazon Web Services, а також їх інтеграція з IoT і сферою обробки даних, були висвітлені в дослідженнях [28].

Через зростаючий попит на розгортання веб-додатків зі зниженою вартістю та оптимальною масштабованістю хмарних обчислень порівняння монолітної та мікросервісної архітектур також було ретельно вивчено. Безсерверні обчислення є набагато кращою послугою; Саме тому організації переходять до хмари, щоб покращити свої послуги, оскільки хмара дешевша порівняно з власною інфраструктурою організації. [29]. Функція як послуга (FaaS), також відома як хмарні функції, використовується для запуску розподілених програм, було проаналізовано дослідниками шляхом оцінки основних постачальників хмарних функцій, зокрема Microsoft, Google. хмара підтримує різноманітні функції та різноманітні компоненти. Хмарні обчислення мають багато функцій, які є підтримкою для всіх малих, середніх і великих організацій. Через неоднорідність, кожен компонент постачальника може брати участь в інфраструктурі хмарних обчислень [30]. Дослідники також опублікували статтю про зростання проблем конфіденційності, довіри та безпеки під час використання ресурсів через хмарні обчислення. Безпека — це питання людини, оскільки хмарні сервіси доступні для організації через Інтернет, і кілька загроз безпеці присутні в Інтернеті різними способами. Якщо організація хоче використовувати різні послуги CSP, це також є проблемою для цієї організації через проблеми безпеки, конфіденційності та довіри між двома хмарами. Крім того, це недолік хмарних обчислень CSP, які

надають підтримку організаціям з точки зору безпеки, конфіденційності та довіри, але все ж CSP потребують вдосконалення [31]. Кілька постачальників хмарних обчислень порівнювалися один з одним з використанням кількох факторів у дослідженнях, таких як середовища хмарних обчислень IaaS, PaaS і SaaS, щоб знайти найбільш підходящий хмарний сервіс щодо різноманітних вимог клієнта. Кожен CSP має інший підхід до свого CSP потребують вдосконалення [31]. Кілька постачальників хмарних обчислень порівнювалися один з одним з використанням кількох факторів у дослідженнях, таких як середовища хмарних обчислень IaaS, PaaS і SaaS, щоб знайти найбільш підходящий хмарний сервіс щодо різноманітних вимог клієнта. Кожен CSP має інший підхід до свого CSP потребують вдосконалення [31]. Кілька постачальників хмарних обчислень порівнювалися один з одним з використанням кількох факторів у дослідженнях, таких як середовища хмарних обчислень IaaS, PaaS і SaaS, щоб знайти найбільш підходящий хмарний сервіс щодо різноманітних вимог клієнта. Кожен CSP має інший підхід до свого користувач; тобто причина, коли організація вибирає вибраний CSP, трохи заплутана, оскільки вона повинна спочатку зрозуміти можливості, які надає CSP, а потім приймати рішення. IaaS, PaaS і SaaS — це моделі обслуговування хмарних обчислень, але кожен CSP має різні функції для цих моделей обслуговування [32]. Дослідження також показало, що корпоративні безсерверні платформи хмарних обчислень набувають популярності; існує кілька варіантів використання та досліджень на цих платформах, які вимагають подальших досліджень, щоб зменшити існуючі проблеми, а також розширити їх застосування в різних сферах. Безсерверні хмарні обчислення корисні для організацій, оскільки організації повинні платити за використання ресурсів, а не за фіксовані суми.

Постачальники послуг щодня намагаються покращувати послуги, і від цього виграють як споживачі, так і провайдери. Безсерверні обчислення зараз стають популярними, тому що вони дешевші [33].

Дослідження також вказують на те, що хмарні обчислення у формі хмарних функцій (FaaS) набувають всесвітньої популярності в роботі розподілених програм, і дослідники представили систему порівняльного аналізу для оцінки їх продуктивності. Хмарні обчислення підтримують різноманітні функції та працюють із кількома постачальниками одночасно. Хмарні обчислення підтримують споживачів з багатьох моделей послуг і послуг проектування, що стосуються організацій або споживачів [34]. Дослідники також вказали на зростаючу потребу в додаткових дослідженнях і розробках, пов'язаних із службами хмарних подій, присутніми в хмарних обчисленнях з використанням реальних програм.

Проводяться дослідження служб подій з погляду хмарних обчислень на додатки, які набагато краще підтримують численні додатки організацій, і в цьому відношенні багато дослідників досліджують аналіз хмарних обчислень для додатків [35]. Було проведено дослідження, щоб продемонструвати той факт, що за допомогою шаблонів, які зустрічаються у звичайних хмарних обчисленнях, можна оптимізувати мобільні хмарні обчислення, щоб використовувати менше ресурсів. Хмарні обчислення використовують ресурси для надання послуг споживача, але як хмарні обчислення використовують менше ресурсів і надавати більше послуг споживачам, тому кілька способів використання для оптимізації в хмарних обчисленнях. Декілька дослідників підкреслили переваги досліджень і розробок у сфері хмарних обчислень у своїх доповідях на конференціях, як-от проблеми розробки програмного забезпечення в хмарних додатках, переваги застосування хмарних обчислень у розповсюдженні океанографічних даних у глобальному масштабі, розробка програмного забезпечення для розробки додатків для посередництва. хмарних сервісів зберігання [36].

Дослідження, проведене дослідниками, вказує на швидке зростання кількості CSP на ринку через популярність хмарних обчислень, а також було представлено порівняння цих послуг на основі різних параметрів. У порівняннях багатьох CSP було представлено послуги щодо кращих послуг.

Кожен CSP має деякі переваги, а також деякі недоліки з усіх аспектів, таких як ціна, обчислення, інфраструктура, зберігання [37]. Автор підкреслив той факт, що переваги хмарних обчислень не завжди пов'язані з грошовими вигодами, але можуть бути й в інших формах, наприклад, легко збільшити масштабованість, безпеку, резервування. іноді організації вибирають CSP з економічної придатності; ось чому аналіз хмарних обчислень з економічної точки зору також корисний, оскільки резервування та безпека є основною частиною економіки CSP [38]. Аналіз витрат проводився з використанням веб-сервісів Google, Microsoft, Amazon шляхом застосування їх у прикладі моніторингу затримок у системі громадського транспорту. Вибір CSP впливає на ціноутворення.

Ціноутворення або вартість є фактором імпорту, і всі CSP намагаються знизити ціни на послуги, оскільки вони зазвичай обирають дешевші хмарні послуги порівняно з дорогими, але в цьому випадку надійність є ще одним фактором, який впливає на ціновий фактор. Якщо ціна низька, але надійність сервісу не хороша, то жодна організація не вибере дешевше, але якщо надійність хороша і ціна хмарного сервісу нормальна, то це добре для організацій [39].

2.2 Порівняння хмарних сервісів

Хмарні обчислення – це швидша технологія, яка дозволяє використовувати ІТ-навички всюди відповідно до потреб користувача або відповідно до корпоративних вимог [40].

Amazon є основним постачальником відкритих хмарних переваг і є піонером на ринку розподілених обчислень [41]. Amazon AWS пропонує практично все, що стосується розподілених обчислень. AWS домінує в багатьох цікавих місцях, таких як проектування та моніторинг [42]. AWS, здебільшого, користується перевагою в бізнесі через його широкий і масштабний внесок, корисне адміністрування, досягнення в усьому світі,

відкриті та адаптовані функції.

AWS, Azure так само пропонує повний спектр адміністрування та відповідей для людей і асоціацій щодо основи, потужності процесу, зберігання, організації тощо. Якістю Microsoft Azure є його реєструюча сила [43]. Корпорація Майкрософт дає змогу надсилати та керувати віртуальними машинами в масштабі, який може обчислювати будь-який ліміт за хвилини. Це новий елемент порівняно з Amazon і Google.

Крім того, Microsoft Azure дозволяє ефективно інтегруватися з інструментами Microsoft, пропонує підтримку з відкритим вихідним кодом, а також переваги напівкрової хмари [44].

Спеціалізовані навички Google є значними, і її провідні в галузі пристрої для глибокого навчання та комп'ютеризованого міркування, уваги та дослідження інформації є критично важливими перевагами. Google Cloud пропонує для інженерів колекцію хмарних адміністраторів.

Google Cloud надає підтримку з відкритим кодом, можливість переміщення, знижки та адаптовані контракти [45]. Google Cloud унікально призначений для хмарних організацій і має талант DevOps для підтримки груп [46]. Оскільки Google виник на аналітичній основі Витрати Amazon виключно зосереджені на всіх інших хмарах.

Amazon пропонує кожну годину в розстрочку для використання основних моментів [47]. Amazon також надає безкоштовну можливість обмеженої ємності та можливості реєстрації, що може бути цінним для людей і нових компаній, перш ніж вони купують.

Модель оцінки за інтересами, спортом і проведена. Може платити місяць за місяць за користування адміністрацією погодинно. Він також може перевірити оцінку за допомогою їхньої оцінювальної машини [48]. Корпорація Майкрософт оцінює різницю й залежить від типів елементів, які використовує команда розробників. Корпорація Майкрософт пропонує дострокову оплату або регулярні виплати за ціною, що визначається на кожному моменті використання. Як має бути очевидно, Microsoft дуже

універсальна, і оцінка здійснюється за запитом щодо миттєвих обов'язків [49].

Google Cloud має найкращу оцінку серед трьох спеціалізованих організацій. GCP має компенсацію за кожну хвилину або секунду використання [50].

Неминучою вигідною позицією Amazon є досвід. Amazon працює в цій хмарі вже близько 14 років і має ідеальних у світі та досвідчених розробників та архітекторів. AWS завдяки великій кількості розробок у цих пристроях. Веб-сервіси Amazon створюють жорстку конкуренцію своїм конкурентам. Тим не менш, вартість інфраструктури AWS може збентежити [48]. Завдяки цьому досвіду Amazon є найактивнішим кооперативом спеціалістів із хмарних технологій, який дозволяє будь-кому без зусиль спробувати AWS [51].

Microsoft Azure — це найшвидша хмарна система, доступна на даний момент. Це доцільно для розвитку великого бізнесу, оскільки воно має високу здатність обчислення, а інші підкреслюють, що Microsoft об'єднує його в одну структуру та процедуру, пропонуючи більше потужності. Ще одним хорошим конкурентом AWS є Microsoft Azure. Microsoft Azure має основну основу (підтримує Windows). Він намагається отримати взаємодію з ними. [52]. GCP пропонує одну з найкращих хмарних систем безпеки в бізнесі [53]. Він пропонує інший вимір хмарної безпеки, ніж решта його конкурентів, і більше 500 інженерів безпеки намагаються над цим. Для топових заходів безпеки, наприклад, банківська справа, фінанси, оборонні програми, GCP буде найкращим рішенням [54].

2.3 Порівняння провайдерів за моделями надання послуг

2.3.1 Зберігання даних

Основа хмарних обчислень – це датацентри та ресурси зберігання даних. Насправді це пул ресурсів, доступних для клієнтів на вимогу. Розглянемо найбільш поширені типи сервісів зберігання даних (таблиця 2.1).

Зберігання об'єктів як частину інформації відбувається з наданням прав доступу. Інформація зберігається в окремих сховищах на відміну від файлів у папках і швидко проходить через пов'язані метадані та ексклюзивний ідентифікатор для обробки групи зберігання.

Зберігання файлів: зберігається інформація про певну частину даних у папці для створення зв'язків з іншою інформацією. Це так само відоме як категоризоване зберігання, що дублює техніку зберігання паперових файлів. Під час очікування доступу до інформації, система управління обирає шлях доступу до файлу.

Блок зберігання: даний сервіс розділяє папку на окремі блоки інформації, а також попередньо зберігає ці блоки, наприклад, незв'язані частини інформації/даних. Для кожної порції інформації береться несхожа адреса. Тому вони не можуть залишатися на зберіганні у вигляді файлів [55].

Окрім цього є додаткові сервіси, які обслуговують процеси зберігання даних.

Аварійне відновлення: це дуже корисна функція хмари, оскільки в даний час більшість даних малих і середніх організацій зберігаються в хмарі, і якщо помилково або через зловмисний трафік дані пошкоджуються або втрачаються, то за допомогою аварійного відновлення організації можуть відновити дані легко. Цей засіб дозволяє резервне копіювання, а також відновлення віддалених технологій, орієнтованих на хмару. Відповідь на аварійне відновлення, орієнтована на хмару, дозволяє споживачеві оцінити все хмарне рішення DRP як більш-менш різноманітне. [56].

Резервне копіювання: це також важлива особливість хмари від CSP. Кожен споживач може створити резервну копію своїх даних, а також доступні кілька варіантів, як-от погодинна резервна копія, щоденна резервна копія, щотижнева резервна копія. Резервне копіювання, також добре відоме як резервне копіювання в режимі онлайн або віддалене резервне копіювання, – це підхід, призначений для передачі копії віртуальної бази даних у підпорядковане місце за межами сайту для захисту в разі збою пристрою. Вторинний сервер, а також методи зберігання часто розміщуються через стороннього постачальника засобів, який надає споживачеві заплановану ємність зберігання, пропускну спроможність передачі даних, кількість споживачів, кількість серверів або кількість даних про час доступу.

Таблиця 2.1 – Сервіси зберігання даних

Сервіси	Постачальники хмарних сервісів		
	AWS (Amazon)	Azure (Microsoft)	GCP (Google)
Object Storage	Amazon S3	Blob Storage	Google Cloud Storage
Block Storage	Amazon Elastic Block Store	Azure Managed Disk (Built-in Service)	Persistent Disk
File Storage	Amazon Elastic File System	Azure Files	Cloud Filestore
Disaster Recovery	Pilot light to Hot standby environment	Enterprise Scale or SMB DR	Not good DR or backup service
Backup	S3 is used often for backup	Backup service	
Archive Storage	S3 or S3 Glacier	Azure Archive Storage	Archival Cloud Storage
Bulk Data Transfer	AWS Import/Export and Snowball	Azure Import/Export and Data Box Disk Service	STS (Storage Transfer Service)

Архівація: це хмарний підхід, коли деякі дані не використовуються в цей час, тому організації використовують техніку архівування, створюють окремий пристрій зберігання та архівують це дані в цьому пристрої. Процедура довготривалого переміщення інформації, яка, звичайно, більше не використовується, відправляється на окремий пристрій зберігання даних. Архівна інформація зберігається в сховищі на незначних витратах, що допомагає зменшити споживання найважливіших обсягів зберігання та пов'язані з цим витрати. Важливою характеристикою підходу компанії до архівування даних є запис цих даних і визначення того, які дані претендують на архівування [57].

2.3.2 Сервіси обчислень

Існують спеціальні сервіси, які обслуговують процеси обчислень. Наведемо основні з них (таблиця 2.2).

Віртуальний сервер: це також важлива особливість сучасної хмари. Як правило, організації використовують віртуальні сервери (VS) через деякі переваги. Сучасна ера технологій хмарних сервісів має деякі моделі, наприклад SaaS, PaaS та IaaS. VS розподіляє апаратні та програмні ресурси новою ОС, на відміну від виділених серверів. Однією з переваг VS є те, що вони менш дорогі та забезпечують швидший контроль ресурсів, а VS є поширеним у веб-хостингу. Бажано, щоб VS імітував закріплені функції сервера. Багато VS виконуються на одному сервері [58].

Платформа як послуга: це хороша функція хмари, у якій, якщо хтось хоче розробити будь-яку програму, не турбуйтеся про інфраструктуру чи платформу. Організуйте хмарні пристрої для певного програмного забезпечення, навіть якщо вони використовуються переважно для функцій. PaaS надає дизайнерам структуру, яку вони можуть створювати та

використовувати для створення модифікованих програм. Цілими серверами, сховищем і мережею можна керувати через організацію або стороннього постачальника, тоді як розробники можуть зберегти адміністрування програми. Платформа з інструментами для тестування надається PaaS, у тому ж середовищі розробляють і розміщують програми. Відсутність потреби турбуватися про первинну інфраструктуру допомагає компаніям зосередитися на зростанні: безпека, операційні системи, серверне програмне забезпечення та резервне копіювання, яким керують постачальники[59].

Таблиця 2.1 – Сервіси обчислень

Сервіси	Постачальники хмарних сервісів		
	AWS (Amazon)	Azure (Microsoft)	GCP (Google)
Virtual Servers	EC2	Virtual Machines	Compute Engine
PaaS	Elastic Beanstalk	Microsoft Azure Cloud Services	Google App Engine
Scaling	Auto Scaling	Autoscale and Virtual Machine Sets	Via Managed Instance Pools
Virtual Private Server	LightSail	Virtual Machine Image	Not Available

Масштабування: це також важлива функція. Тому що без масштабування, зазвичай організація знає про необхідні у часі ресурси, тобто у який час і скільки ресурсів потрібно. Здатність ІТ-ресурсу вміло керувати розширенням або зменшенням викликів називається масштабуванням. Це один із найбільш захоплюваних і корисних аспектів хмари, оскільки корпорації знають, як виміряти вище або визначити потреби на основі сезону, планів, розвитку тощо. Дозвольте ресурсам розширюватися в міру розширення бізнесу або компанії, запровадивши хмарну масштабованість, і навпаки [60].

Віртуальні приватні сервери: це дуже часто використовувана функція,

оскільки VPS не дорогий, а також CSP надають цілодобову підтримку клієнтам. Організації, які не можуть керувати приватною хмарою через інфраструктуру, використовують послуги CSP, а CSP керує багатьма VPS на одному фізичному сервері. Іноді хостинг, також відомий як «приватна хмара», залежить від серверів, створених за допомогою механізму віртуалізації. VPS має кілька окремих виділених слотів на одній віртуальній машині з однією архітектурою. Для кожного слота можна призначити виділені ресурси. Однак, як правило, технологічний механізм базується на тенденції розподілу часу або ресурсів. Зазвичай VPS дешевше, ніж хмарні сервери. Користувачі VPS на спільному сервері не мають доступу до файлів або даних. Якщо потрібно, один VPS можна перезапустити, не заважаючи іншим VPS на спільному сервері [61]. Таблиця 2.2 надає важливі сервісні характеристики обчислень щодо CSP.

2.3.3 Сервіси інфраструктури

Після зберігання та обчислення функції розглянемо важливі функції керування або інфраструктури, які показані нижче (Таблиця 2.3).

Служби керування сервером: це функція інфраструктури хмарних обчислень. Зазвичай адміністрація хмари згадує засоби на вимогу, запропоновані в моделі IaaS. Простий шаблон розповсюдження хмари – IaaS, який дозволяє отримати доступ до конфігурованих ресурсів спільних пулів. Комп'ютер, сервери, мережі, сховище, програми та служби – усе це включено до настроюваних ресурсів. Спільне використання та зберігання даних є функцією хмари. Через мережу чи Інтернет уся інформація, ресурси та мережі передаються та зберігаються на фізичних серверах. CSP обслуговують і контролюють ці фізичні сервери за допомогою Cloud Management Services (CMS), власники галузі можуть глибоко зосередитися на цілях своєї організації. CMS – це точне рішення для надання якісних послуг у хмарній інфраструктурі [62].

Таблиця 2.2 – Сервіси інфраструктури

Сервіси	Постачальники хмарних сервісів		
	AWS (Amazon)	Azure (Microsoft)	GCP (Google)
Server Management Services	Systems Manager	Operational Insights	N/A
Cloud Deployment	Cloud Formation	Resource Manager	Resource Manager and Cloud Deployment Manager
Logging and Monitoring	CloudWatch and CloudTrail	Azure Monitor with Log Analytics and Application Insights	StackDriver
Server Automation	OpsWorks, Lambda and Service Catalog	Automation and VM Extension	N/A

Хмарне розгортання: це функція, яка використовується для хмарного розгортання відповідно до потреб організації або організаційної ієрархії. Хмарне розгортання говорить про розгортання IaaS, PaaS, SaaS, які, можливо, можуть отримати на вимогу споживачі. Патерн хмарної реалізації говорить про категорію архітектури хмарних обчислень. Хмарне розгортання включає обов'язкові етапи конфігурації та інсталяції, які необхідно застосувати до того, як може відбутися підготовка споживача. Після завершення розгортання хмари для рішення IaaS, SaaS або PaaS клієнтська ініціалізація може відбуватися на основі запитів споживачів, при цьому доступ до хмарних ресурсів залежить від таксономії користувача як надійного чи ненадійного об'єкта. Надійні об'єкти можуть отримати схвалення доступу до керованої хмари, гібридної хмари.

Ведення журналів: функція, яка використовується всіма організаціями через їх критичну потребу. Усі журнали, з яких відомо про історію

обчислень, можуть переглядати функцію журналювання. Ведення журналів – це інформаційна технологія або мережева архітектурна модель замість централізованого прийому та збору будь-яких записів, файлів журналів, що надходять із будь-якого конкретного місця чи джерела, наприклад програм, серверів, пристроїв. Записи нормалізуються або уточнюються для реорганізації та надсилання іншим необхідним системам для обробки як власних записів, які можна обробляти раніше, представляти та остаточно підготувати відповідно до попередньо визначеної програми зберігання на основі будь-якого критерію.

Моніторинг: також важлива функція моніторингу; дані та записи відстежуються, а за допомогою цієї функції збирається інформація з кожного вузла. Це структура, яка дозволяє розміщувати функції моніторингу для кількох інших об'єктів і програм у хмарі. Онлайн-моніторинг стану є дуже поширеною програмою, яка постійно відстежує надійні умови мереж, програм, систем, подій або будь-якої частини, яка може бути організована всередині хмари [64].

Автоматизація сервера: це необхідна базова функція хмарних обчислень. Автоматизація серверів допомагає споживачеві керувати системою або мережею за допомогою правильних рішень. Це комплексне рішення, яке систематизує або автоматизує специфікації, виправлення, а також конфігурацію операційних систем, компонентів програми та ресурсів зберігання через загальнодоступні, віртуальні та фізичні хмарні системи. Це також спрощує робочі процеси для продуктивного виконання ускладнень віртуалізованих середовищ, що постійно змінюються [65].

2.3.4 Особливості вибору провайдера хмарних обчислень

На основі концентрованого аналізу, проведеного протягом цього дослідження, було створено широкий перелік важливих обмежень, які мають серйозний вплив на вибір CSP. Наприклад, якщо хтось хоче вибрати хмарну

службу IaaS для своєї організації, потрібно знати, що серед AWS, Azure або GCP, який постачальник послуг має найкраще рішення для IaaS з точки зору організації чи галузі? Також слід пам'ятати про функції постачальника послуг, які більше відповідають його/її вимогам, доступні відповідно до послуг зберігання, обчислень та інфраструктури. Усі три постачальники хмарних послуг використовують різні функції послуг. Після перегляду багатьох документів деякі функції сервісів, які використовуються постачальниками хмарних сервісів, були належним чином описані в цій роботі. Ця дослідницька робота розбиває всі функції сервісу на три види, тобто функції зберігання, функції обчислень та функції керування. У таблиці 2.1 перераховані всі функції зберігання, які зазвичай використовуються постачальниками послуг, щоб можна було легко знайти відповідь на запитання, наприклад, яку функцію послуги використовує який постачальник послуг. У таблиці 2.2 перераховані функції обчислення, а в таблиці 2.3 – функції керування.

3 ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

В цьому розділі наведено результати експериментів. Основна мета – показати статистику продуктивності та вартість запуску програм з різними моделями паралелізму: чистого MPI та гібридного MPI+OpenMP на віртуалізованому кластері HPC, розміщеному на платформі Windows Azure. Ми також проводимо порівняння продуктивності програм HPC, розміщених на трьох різних платформах хмарних обчислень (Azure, Amazon і невелика приватна хмара).

3.1 Конфігурація експериментального кластеру та методологія оцінки

Експерименти проводилися на 64 (A10) віртуальних машинах, що працюють на платформі Windows Azure з 512 ядрами. У Таблиці 3.1 показано конфігурації кожної віртуальної машини Azure.

Таблиця 2.2 – Сервіси інфраструктури

Хмарна платформа	Тип	Ядра	Процесор	Пам'ять	Тип пам'яті	Віртуалізація	Мережа
Azure	A10	8	2IntelXeon E5-2670@ 2.6 GHz	56 GB	DDR3	Hyper-V	10 gigabit ethernet
Amazon	CC1	8	2IntelXeon X5570 Nehalem @2.93 GHz	23 GB	DDR3	Xen HVM 64-bit platform	10 gigabit ethernet
Google	CC	8	2IntelXeon E5-2670@ 2.6 GHz	23 GB	DDR3	KVM	10 gigabit ethernet

Операційною системою та тестами, обраними для експерименту, були CentOS 6.5, NPВ і NPВ-MZ. Оцінка продуктивності, масштабованості та впливу використання багаторівневого паралелізму проводилася з використанням ядер NPВ (NPВ-MPI версії 3.3) і для гібридних кодів MPI+OpenMP, NPВ-MZ Suite використовується версія 3.3.1 (Jin and Van Der Wijngaart, 2004).

Робочі навантаження NPВ з класу С були обрані через те, що ефективність проміжного програмного забезпечення зв'язку має великий вплив на їх продуктивність, крім того, це найбільші робочі навантаження, які можна реалізувати в одній віртуальній машині A10 VM.

Метрики, які ми використовували в оцінці ядер NPВ, це швидкість і MOPS. MOPS вимірює виконані операції в бенчмарку. Прискорення — це співвідношення між часом послідовного виконання та часом паралельного виконання. Вартість використання цих ядер на платформі Windows Azure оцінювалася в доларах США за MOPS (USD/MOPS), враховуючи кількість ядер, що використовуються.

Результати оцінки були отримані шляхом повторних випробувань, щоб гарантувати точність оцінки.

3.2 Еталонна архітектура гібридного MPI

MPI (MPI, <http://www.mpi-forum.org>) – це фактичний опис зв'язку між процесами, які демонструють паралельну програму, що виконується в системі розподіленої пам'яті. OpenMP (<http://openmp.org/>) є фактичним описом паралельного програмування з використанням спільної пам'яті. OpenMP демонструє спільний доступ між потоками, що вносять внесок, використовуючи просту переважну техніку (Ernsting and Kuchen, 2012).

Гібридна модель MPI-OpenMP допускає два рівні шаблонів зв'язку, які розрізняють зв'язки між серверами та зв'язки між ними. Крім того, внутрішньосерверний зв'язок виконується через спільний доступ до спільної

пам'яті кожного сервера.

Для забезпечення обчислення даних перед використанням використовується відповідна синхронізація та зберігається синхронізація на рівні потоку. І навпаки, зв'язок між серверами досягається через передачу повідомлень між різними вузлами, що неявно накладає синхронізацію на рівні вузла для підтвердження правильного використання даних і порядку виконання.

Гібридна модель зменшує потребу в ресурсах (таких як мережа та пам'ять), що може бути надзвичайно важливим для виконання дуже великих завдань. Для певного класу додатків із багаторівневим паралелізмом, який легко використовувати, гібридна модель може потенційно зменшити зусилля з розробки додатків. У гібридній моделі MPI призначений для зв'язку через сервери розподіленої пам'яті, а OpenMP призначений для детального розпаралелювання всередині сервера. Завдяки використанню MPI та OpenMP гібридна модель підвищує крос-серверну продуктивність за допомогою MPI, зменшуючи кількість процесів MPI, необхідних на сервері, і зменшуючи запит на ресурси. Такі функції мають велике значення для виконання величезних завдань. Рисунок 3.1 ілюструє різницю між чистим MPI і гібридом MPI+OpenMP. MPI можна використовувати, щоб запропонувати паралелізм на рівні процесів між серверами. Хоча OpenMP можна використовувати для використання паралелізму на рівні циклу всередині сервера шляхом використання директив компілятора.

3.3 Продуктивність та прискорення при використанні

На рисунку 3.2 показано послідовну продуктивність ядер NPВ/NPВ-MZ в Azure. Результати показують, що використання багаторівневого паралелізму в ядрах NPВ-MZ забезпечує високу продуктивність, оскільки дає кількість MOPS, більшу, ніж чистий NPВ.

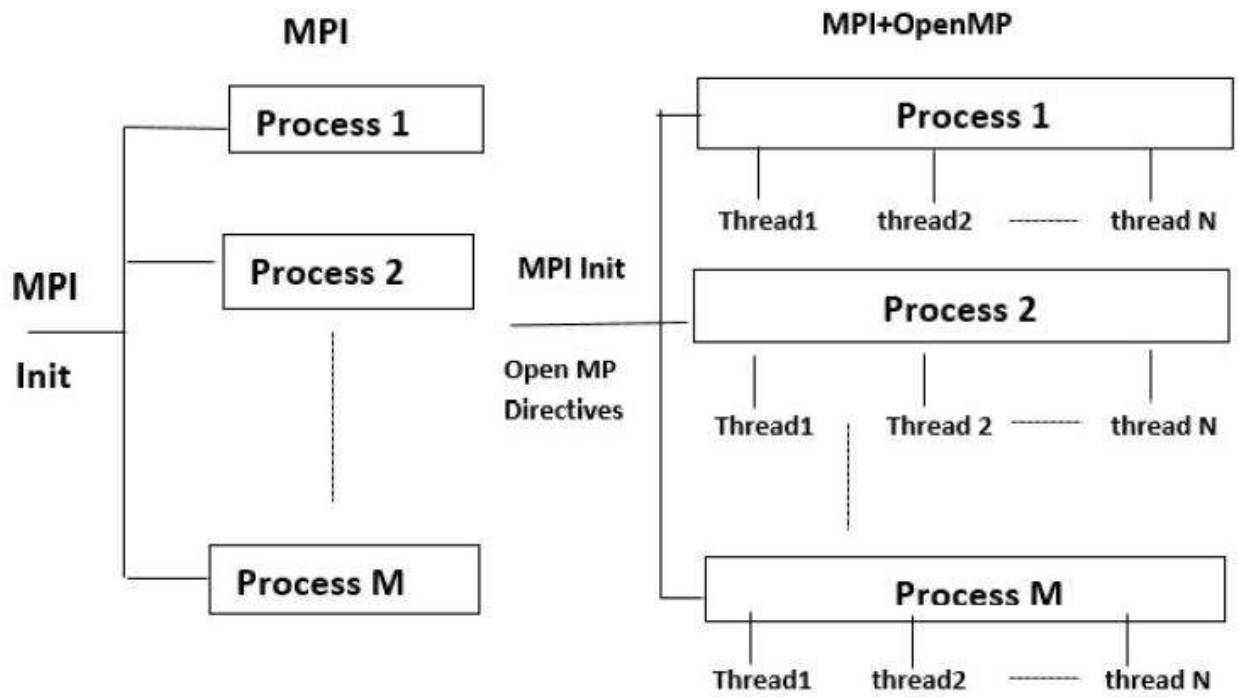


Рисунок 3.1 – Різниця між чистим MPI і гібридом MPI+OpenMP

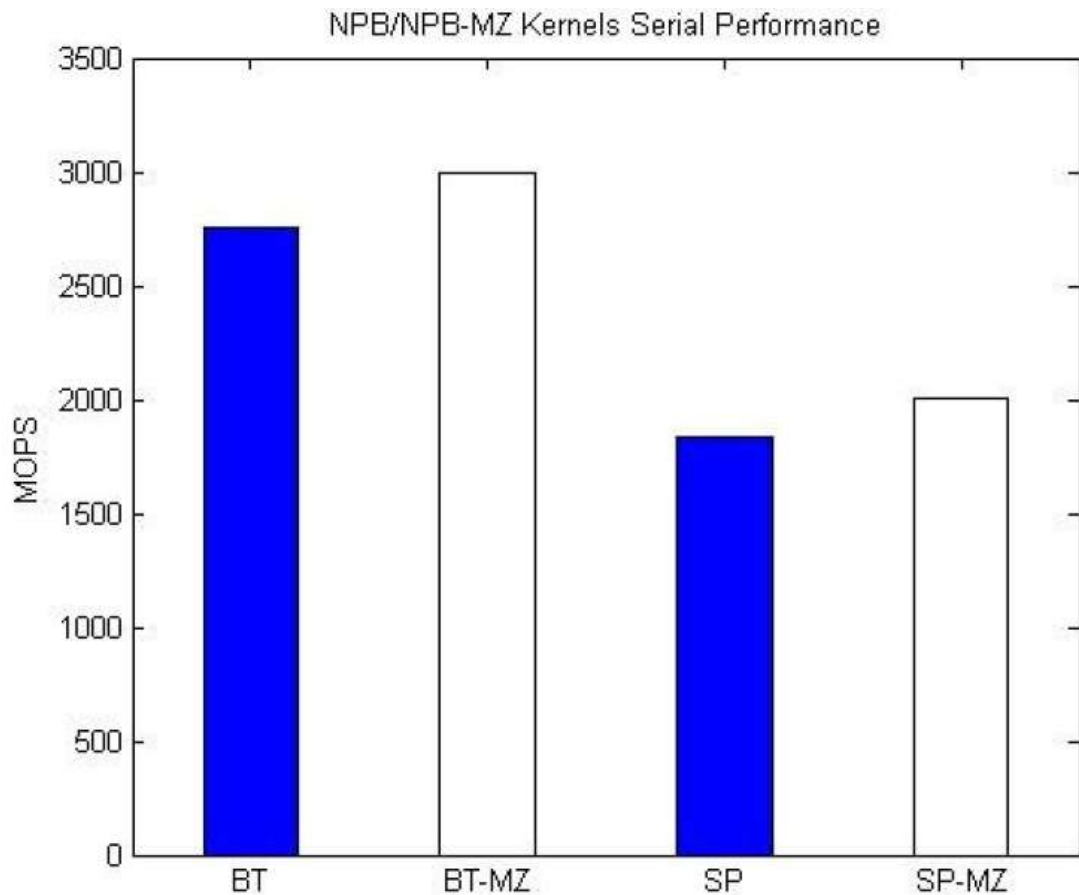


Рисунок 3.2 – Послідовна продуктивність ядер NPB/NPB-MZ

Продуктивність гібридного NPВ-MZ та їх еквіваленти NPВ розраховуються в термінах MOPS і прискорення. На рисунку 3.3 показано дослідження результатів продуктивності, коли розмір кластера з точки зору ядер збільшується, а рисунок 3.4 демонструє збільшення прискориння (speedup) в залежності від кількості ядер.

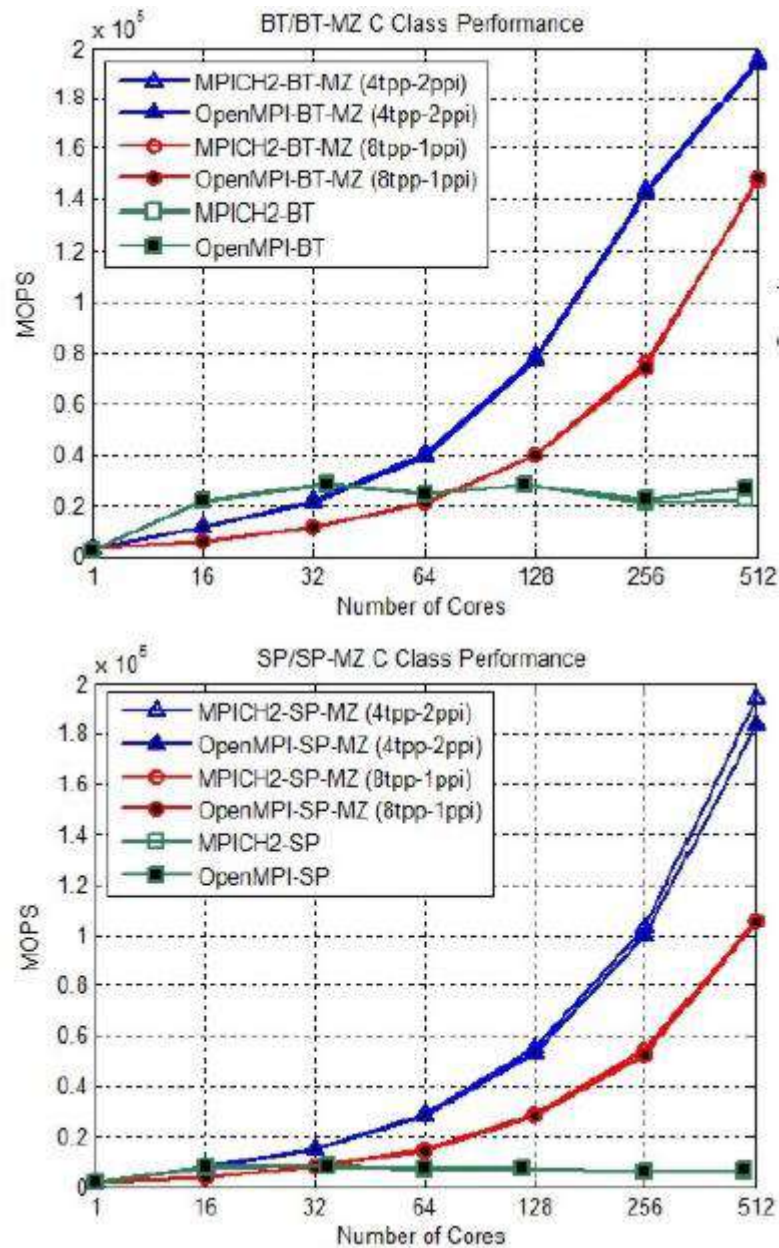


Рисунок 3.3 – Продуктивність і масштабованість ядер NPВ/NPВ-MZ в екземплярах Azure

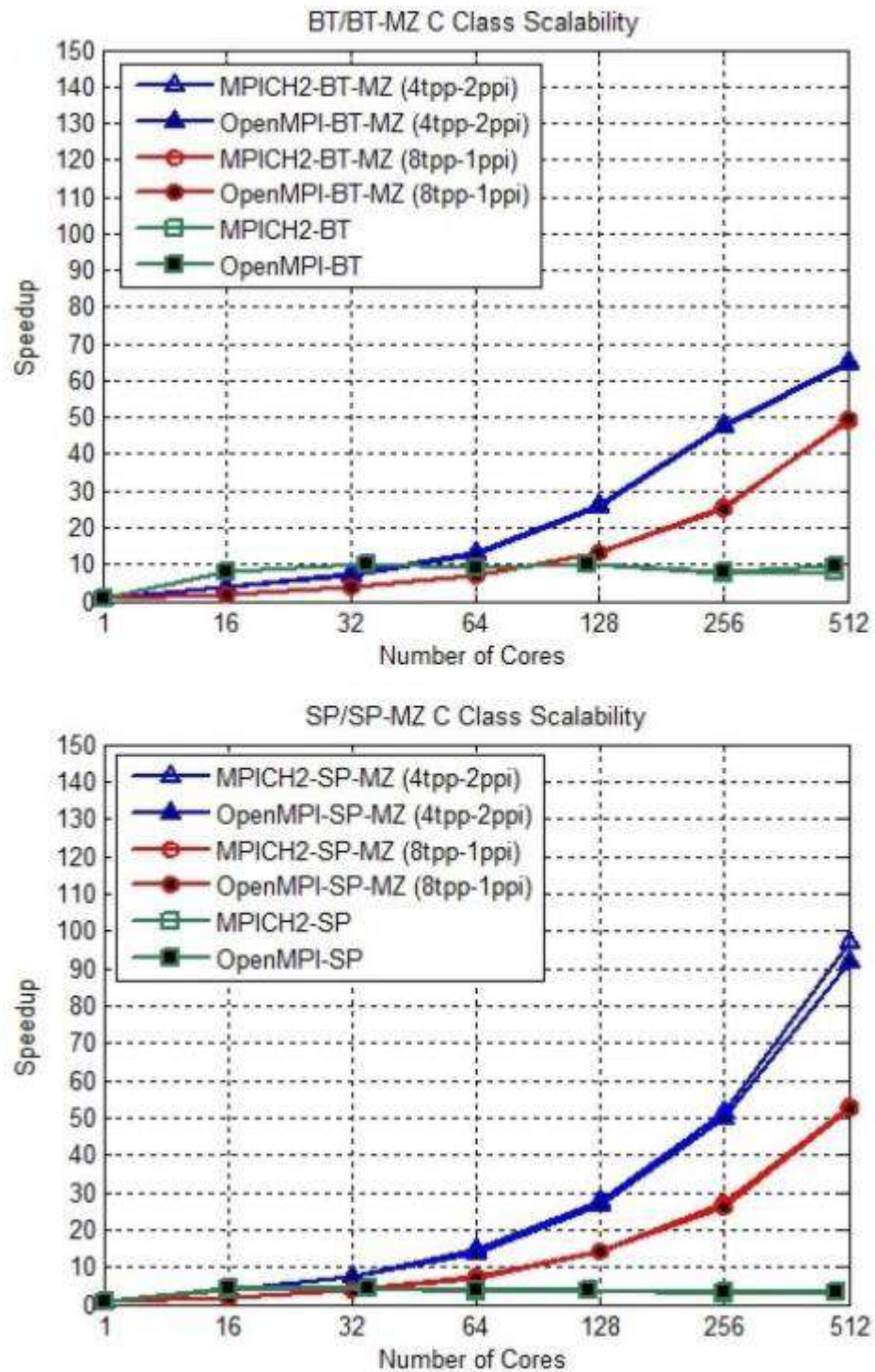


Рисунок 3.3 – Прискориння і масштабованість ядер NPВ/NPВ-MZ в екземплярах Azure

Програми NPВ-MZ виконано з такими конфігураціями:

- а) один процес MPI на екземпляр (1 рpi) із стільки потоків OpenMP, скільки ядер на екземпляр (тобто вісім потоків на процес, 8 tpp);
- б) два процеси MPI на екземпляр (2 рpi) з такою ж кількістю потоків

OpenMP, де множення кількості процесів MPI та кількості потоків OpenMP дорівнює загальній кількості ядер на екземпляр (тобто чотири потоки на процес, 4 tpp).

Результати показали деякі важливі факти:

а) ядра NPВ-MZ значно перевершують ядра NPВ (максимальне досягнуте прискорення становить 96 на 512 ядрах для SP-MZ), оскільки передача повідомлень через мережу зменшується до лише одного або двох процесів MPI, які спілкуються на екземпляр, що означає: змішування потоків і процесів дає більше продуктивність;

б) VT і SP досягають найкращої продуктивності, використовуючи 2 ppi і 4 tpp, що, враховуючи це, правильну рівновагу між процесами MPI та потоками OpenMP необхідно розраховувати для кожної окремої програми.

3.4 Аналіз вартості обчислень

Вартість розраховується як (USD/MOPS). Рисунок 3.4 показує поведінку вартості MOPS. Цей вимірний показник залежить від кількості використовуваних ядер. Вартість кожного екземпляра становить 1,16 \$/год за кожну годину для кожного екземпляра A10 (<http://azure.microsoft.com/blog/2015/03/05/newa10a11-azurecompute-sizes/>).

Наші результати показали, що вартість ядер обернено пропорційна розміру кластера. Це означає, що краще використовувати великий кластер, а не маленький з точки зору вартості та продуктивності. З іншого боку, якщо поведінка вартості прямо пропорційна розміру кластера, тоді рішення стає дорогим із розширенням кластера. Тому немає необхідності використовувати великі кластери.

Ефективна вартість операції досягається при мінімальному значенні кривої продуктивності, що вказує на низьку вартість операції порівняно з дорогими операціями при максимальному значенні кривої.

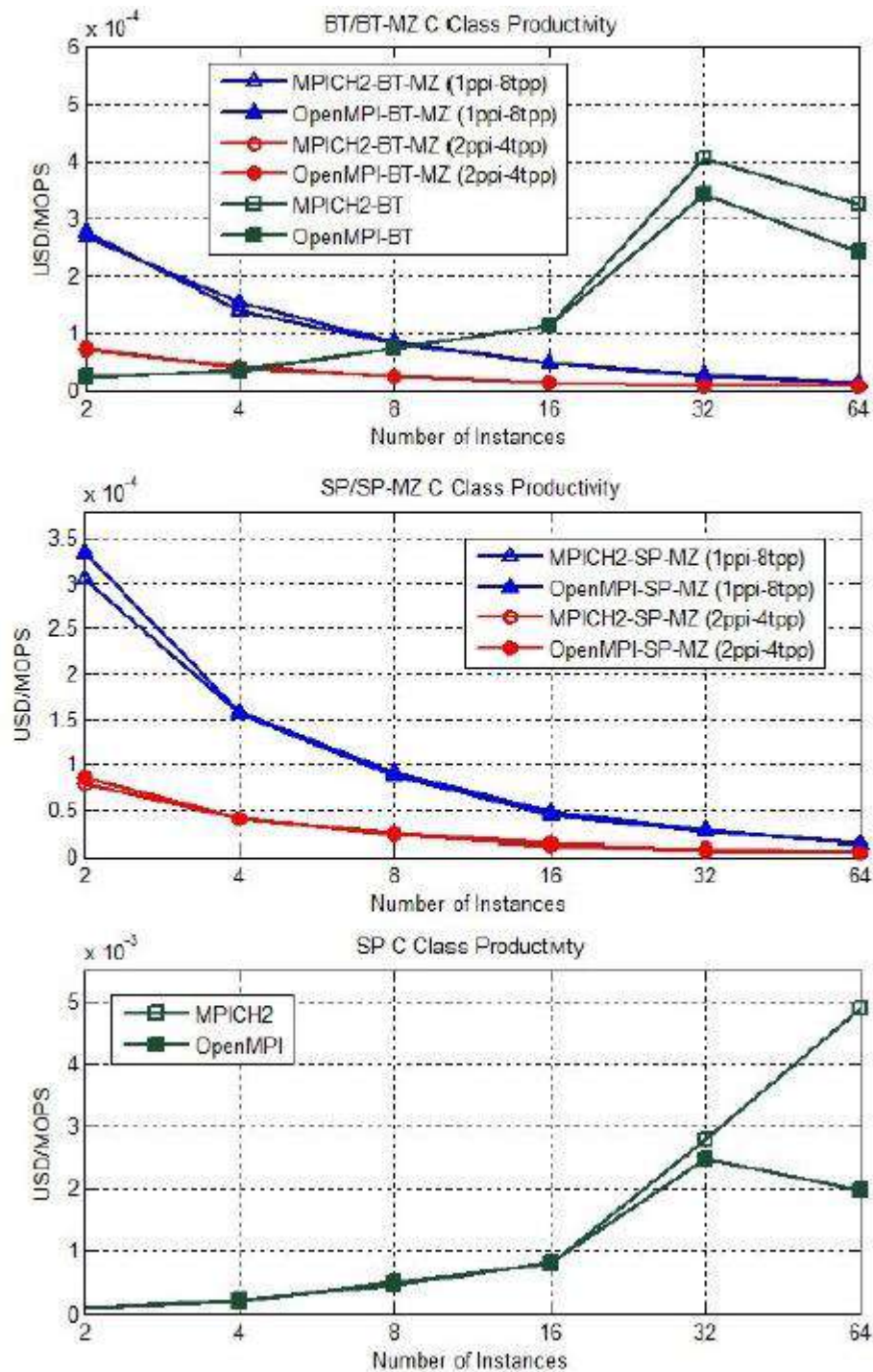


Рисунок 3.4 – Продуктивність ядер NPВ/NPВ-MZ на платформі Azure

Результати також показують, що:

а) BT-MZ і SP-MZ отримали краще співвідношення ціна/продуктивність, ніж BT і SP;

б) конфігурація двох процесів MPI і чотирьох потоків дала найкращу продуктивність і найнижчу вартість;

в) оптимальна вартість VT-MZ і SP-MZ отримана на 64 примірниках (512 ядер), які сумісні з результатом на рисунку 3.3.

3.5 Порівняння продуктивності на різних хмарних платформах

У цьому підрозділі представлено порівняння для оцінки продуктивності, масштабованості та впливу використання багаторівневого паралелізму на кластер HPC, розміщений на різних хмарних платформах. Порівняння ведеться у вигляді тестів NPВ і NPВ-MZ на трьох різних хмарних платформах (публічна хмара Amazon, мала приватна хмара та публічна хмара Azure).

Метрика, яка використовується в оцінці NPВ і NPВ-MZ, це швидкість. Оцінка продуктивності проводилася на кластері з 64 віртуальних машин (екземплярів) з 512 ядрами, за винятком приватної хмари з використанням кластера з 8 віртуальних машин з 64 ядрами. У таблиці 2.2 описано конфігурацію кожного екземпляра (VM), розміщеного на різних хмарних платформах. Програми НПВ-МЗ виконано з такими конфігураціями:

Конфігурація 1. Один процес MPI на екземпляр (1 ppi) із стільки потоків OpenMP, скільки ядер на екземпляр (тобто вісім потоків на процесор, 8 tpp).

Конфігурація 2. 2 Два процеси MPI на екземпляр (2 ppi) з такою ж кількістю потоків OpenMP, де множення кількості процесів MPI на кількість потоків OpenMP дорівнює загальній кількості ядер на екземпляр (тобто 4 потоки на процес; 4 tpp).

На рисунку 3.5 показано результати для прискорення ядер VT/VTMZ, а на рисунку 3.6 показано прискорення ядер SP/SP-MZ на трьох різних хмарних платформах.

Результати двох малюнків показують, що:

а) хмарна платформа Amazon забезпечує найкращу продуктивність, ніж Azure і приватні хмари;

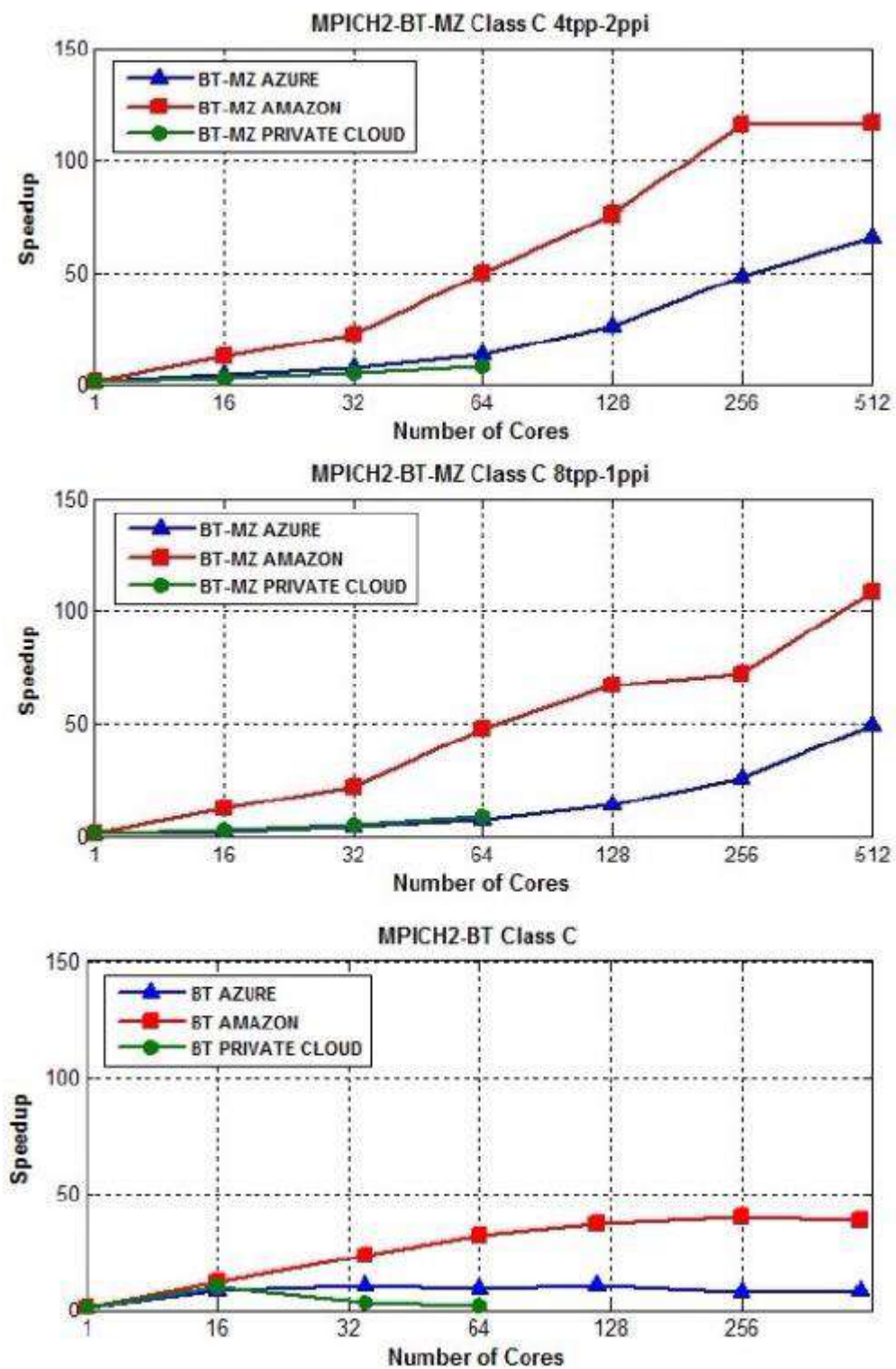


Рисунок 3.5 – Порівняння масштабованості ядер BT/BT-MZ

- б) Продуктивність Azure і приватної хмари приблизно еквівалентна: 4 tpp-2 ppi і 8 tpp-1 ppi;
- в) продуктивність приватної хмари нижча, ніж Azure, за винятком 16 ядер, які використовують ядра NPВ (чистий BT і чистий SP).

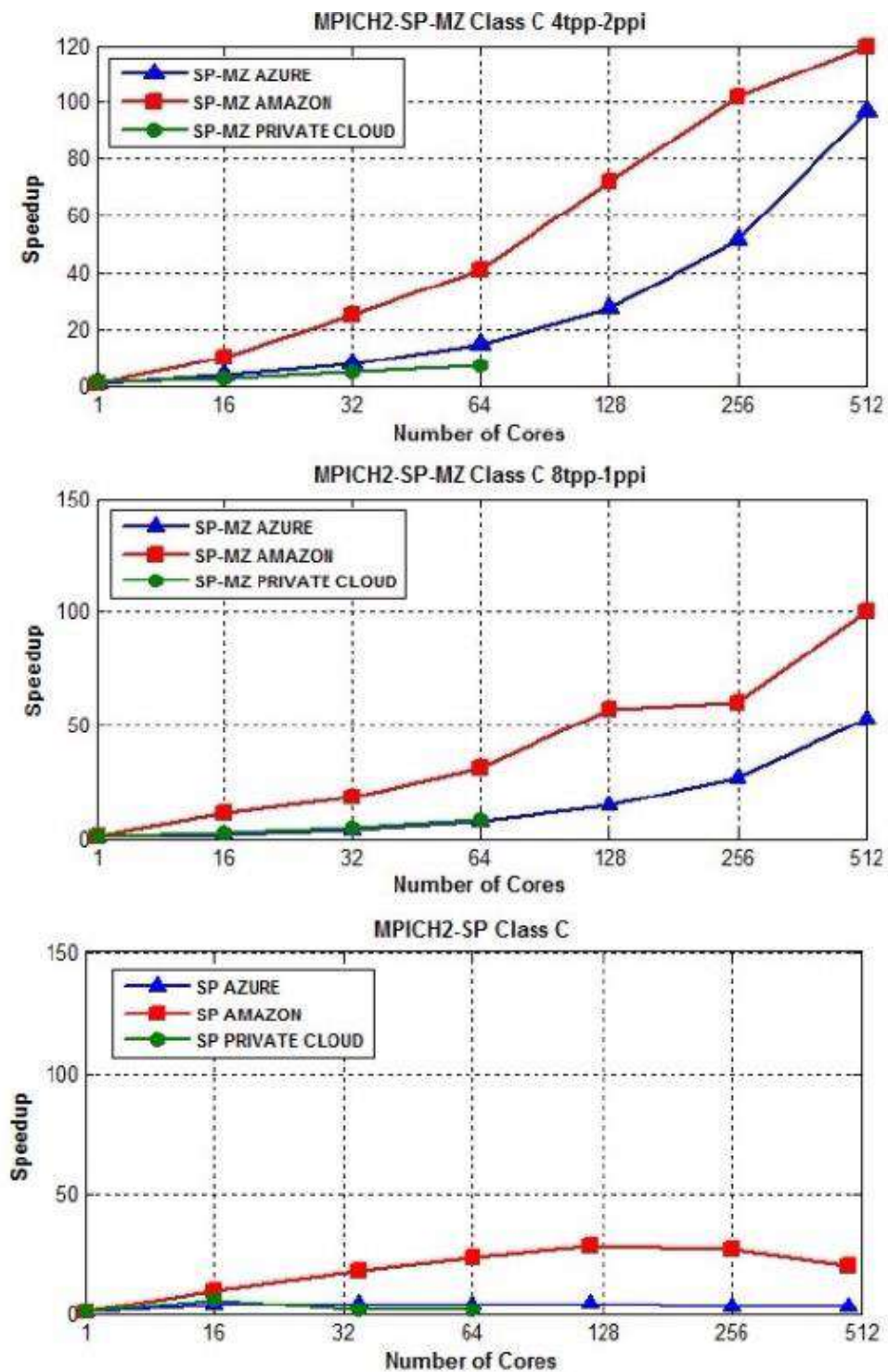


Рисунок 3.6 – Порівняння масштабованості ядер SP/SP-MZ

г) ядра NPВ-MZ перевершують ядра NPВ, оскільки передача повідомлень через мережу зменшується до лише одного або двох процесів MPI, які спілкуються на ядро;

д) VT і SP досягають найкращої продуктивності, використовуючи 2 ppi і 4 tpp.

Враховуючи це, правильну рівновагу між процесами MPI та потоками OpenMP потрібно розрахувати для кожної конкретної програми.

Ситуація показала, що навіть із вдосконаленою архітектурою процесора в Azure Amazon забезпечила нам набагато кращу продуктивність для представлених ситуацій. Підвищення продуктивності для Amazon є результатом вищої фактично запропонованої пропускної здатності для розмірів повідомлень, які ми використовували.

Дослідники [17] провели кілька експериментів, щоб кількісно визначити розмір повідомлення ядер NPВ-MZ на додаток до двох програм (SPECenv і SPECseis) з точки зору зв'язку «точка-точка» через 10 Gigabit Ethernet. Їхні результати показали, що при використанні розміру проблеми класу (C) із 16 і 32 процесами розміри повідомлень для таких процесів становили від 170 КБ до 180 КБ для BT-MZ і від 130 КБ до 155 КБ для SP-MZ. На рисунку 3.7 червоними смужками показано вимірний розмір повідомлення. У нашому прикладі максимальна кількість використаних процесів становила 128.

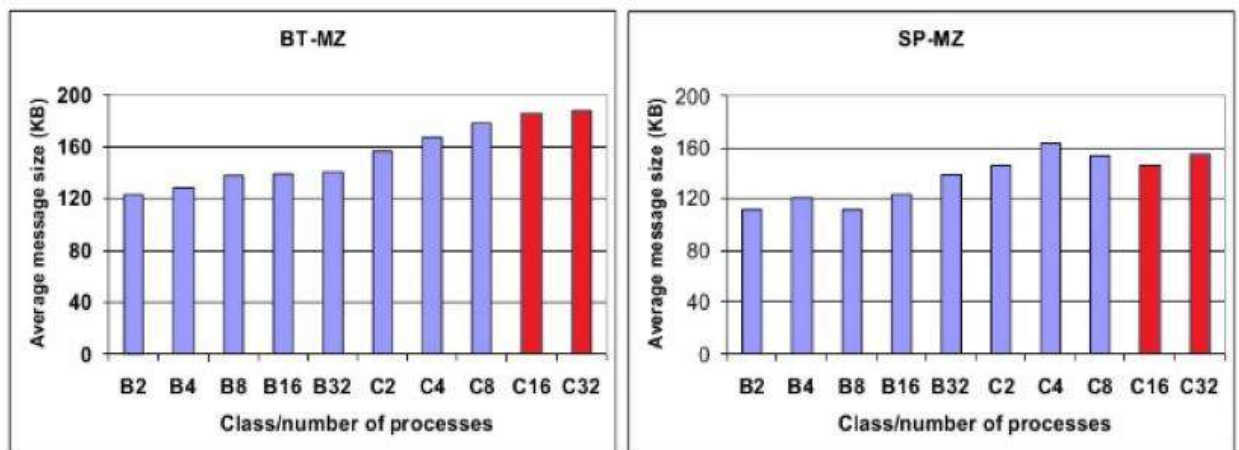


Рисунок 3.7 – Середній розмір повідомлення BT-MZ і SP-MZ

Як показано на рисунку 3.7, збільшення кількості процесів суттєво збільшує розмір повідомлення. Ми досліджували пропускну здатність зв'язку «точка-точка» щодо розміру повідомлення для Amazon і Azure відповідно, як

показано на рисунку 3.8.

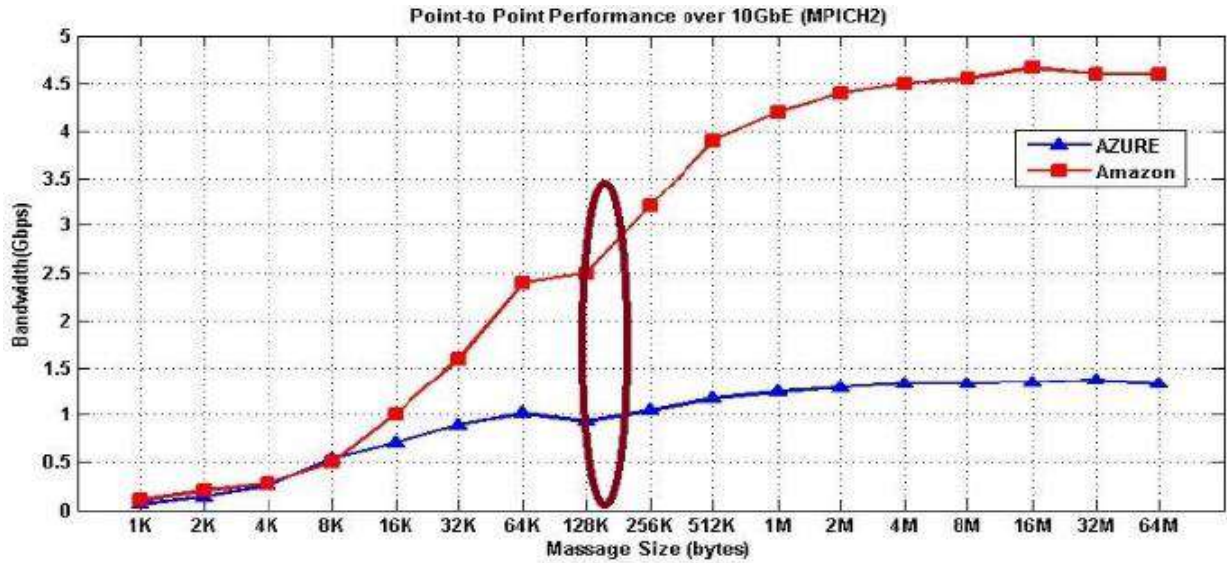


Рисунок 3.8 – Порівняння продуктивності зв'язку «точка-точка» через 10 гігабіт Ethernet між вузлами Amazon

Як показано на рисунку 3.8, коли розмір повідомлення дорівнює або понад 130 тис. фактично запропонованої пропускної здатності, Amazon замінює фактичну запроповану пропускну здатність Azure.

ВИСНОВКИ

В роботі обговорюються сервіси та функції, які пропонують компанії CSP, а також порівнюються провайдери хмарних послуг AWS, GCP і Microsoft Azure. Мета порівняння CSP і виділення сервісних особливостей Microsoft Azure, Google Cloud Platform і Amazon Web Services полягає в тому, щоб відповісти на запитання, важливі для організацій при виборі CSP. Було вказано лише важливі сервіси, а саме ті, які виконують функції зберігання, обчислення та управління інфраструктурою. Усі три функції послуги впливають на вибір CSP.

HPC як послуга хмарних обчислень є важливим активом у сучасних наукових дослідженнях і промисловості. У цій роботі ми оцінили вплив використання багаторівневого паралелізму на інтенсивні обчислювальні паралельні завдання. Наші експерименти проводилися на віртуалізованому кластері HPC, розміщеному в хмарі Microsoft Azure. Крім того, ми порівняли результати цих експериментів з Amazon і невеликою приватною хмарою. Експерименти показали продуктивність і вартість використання багаторівневого паралелізму з використанням як передачі повідомлень, так і багатопотокової техніки тестів NPВ і NPВ-MZ, що працюють у середовищах Open-MPI і MPICH2.

Результати показали, що підвищення рівня паралелізму має великий вплив на систему, компенсуючи накладні витрати віртуалізації. Крім того, експерименти показали, що експлуатаційні витрати можна зменшити без впливу на продуктивність, якщо підтримувати правильний баланс між кількістю процесів і потоками на та кількість процесорів. Майбутня робота може включати проведення більш масштабних тестів на різних платформах віртуалізації в різних комерційних хмарах.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Chiang, M. and Zhang, T., 2016. Fog and IoT: An overview of research opportunities. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(6), pp.854-864.
2. Chen, M., Ma, Y., Song, J., Lai, C.F. and Hu, B.,. Smart clothing: Connecting human with clouds and big data for sustainable health monitoring. *Mobile Networks and Applications*, 21(5), 2016, pp.825-845.
3. Kumar, V., Laghari, A.A., Karim, S., Shakir, M. and Brohi, A.A., 2019. Comparison of Fog Computing & Cloud Computing. *International Journal of Mathematical Sciences and Computing (IJMSC)*, 5(1), pp.31-41.
4. Jayaraman, P.P., Perera, C., Georgakopoulos, D., Dustdar, S., Thakker, D. and Ranjan, R., 2017. Analytics-as-a-service in a multi-cloud environment through semantically-enabled hierarchical data processing. *Software: Practice and Experience*, 47(8), pp.1139-1156.
5. Laghari, A.A., He, H., Karim, S., Shah, H.A. and Karn, N.K., 2017. Quality of experience assessment of video quality in social clouds. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2017.
6. Power, B. and Weinman, J., 2018. Revenue Growth is the Primary Benefit of the Cloud. *IEEE Cloud Computing*, 5(4), pp.89-94.
7. Benlian, A., Kettinger, W.J., Sunyaev, A., Winkler, T.J. and GUEST EDITORS, 2018. The transformative value of cloud computing: a decoupling, platformization, and recombination theoretical framework. *Journal of management information systems*, 35(3), pp.719-739.
8. Akherfi, K., Gerndt, M. and Harroud, H., 2018. Mobile cloud computing for computation offloading: Issues and challenges. *Applied computing and informatics*, 14(1), pp.1-16.
9. Mitra, A., O'Regan, N. and Sarpong, D., 2018. Cloud resource adaptation: A resource-based perspective on value creation for corporate growth. *Technological Forecasting and Social Change*, 130, pp.28-38.

10. Díaz, M., Martín, C. and Rubio, B., 2016. State-of-the-art, challenges, and open issues in the integration of the Internet of things and cloud computing. *Journal of Network and Computer Applications*, 67, pp.99-117.
11. Vrable, M., Savage, S. and Voelker, G.M., 2012, February. BlueSky: A cloud-backed file system for the enterprise. In *Proceedings of the 10th USENIX conference on File and Storage Technologies* (pp. 19-19). USENIX Association.
12. Coppolino, L., D'Antonio, S., Mazzeo, G. and Romano, L., 2017. Cloud security: Emerging threats and current solutions. *Computers & Electrical Engineering*, 59, pp.126-140.
13. Marinescu, D.C., 2017. *Cloud computing: theory and practice*. Morgan Kaufmann.
14. Sultan, N., 2015. The implications of cloud computing for global enterprise management. *Global enterprise management* (pp. 39-56). Palgrave Macmillan, New York.
15. Galloway, S., 2017. *The four: the hidden DNA of Amazon, Apple, Facebook and Google*. Random House.
16. Gajbhiye, A. and Shrivastava, K.M.P., 2014, September. Cloud computing: Need, enabling technology, architecture, advantages and challenges. In *2014 5th International Conference-Confluence The Next Generation Information Technology Summit (Confluence)* (pp. 1-7). IEEE.
17. Aruna Irani, A.R., Manjula, D. and Sugumaran, V., 2019. Task scheduling techniques in cloud computing: A literature survey. *Future Generation Computer Systems*, 91, pp.407-415.
18. Verma, A., Pedrosa, L., Korupolu, M., Oppenheimer, D., Tune, E. and Wilkes, J., 2015, April. Large-scale cluster management at Google with Borg. In *Proceedings of the Tenth European Conference on Computer Systems* (p. 18). ACM.
19. Varghese, B. and Buyya, R., 2018. Next-generation cloud computing: New trends and research directions. *Future Generation Computer Systems*, 79, pp.849-861.

20. Marston, S., Li, Z., Bandyopadhyay, S., Zhang, J. and Ghalsasi, A., 2011. Cloud computing—The business perspective. *Decision support systems*, 51(1), pp.176-189.
21. Laghari, A.A., He, H., Shafiq, M. and Khan, A., 2017, May. Impact of storage of mobile on quality of experience (QoE) at the user level accessing the cloud. In *2017 IEEE 9th international conference on communication software and networks (ICCSN)* pp. 1402-1409.
22. Aljamal, R., El-Mousa, A. and Jubair, F., 2018, April. A comparative review of high-performance computing major cloud service providers. In *2018 9th International Conference on Information and Communication Systems (ICICS)* (pp. 181-186). IEEE.
23. Ranjan, R., Benatallah, B., Dustdar, S. and Papazoglou, M.P., 2015. Cloud resource orchestration programming: overview, issues, and directions. *IEEE Internet Computing*, 19(5), pp.46-56.
24. Belgaum, M.R., Soomro, S., Alansari, Z. and Alam, M., 2018. Cloud service ranking using checkpoint-based load balancing in real-time scheduling of cloud computing. In *Progress in Advanced Computing and Intelligent Engineering* (pp. 667-676). Springer, Singapore.
25. Belgaum, M.R., Soomro, S., Alansari, Z., Musa, S., Alam, M. and Su'ud, M.M., 2017. Challenges: Bridge between cloud and IoT. In *2017 4th IEEE International Conference on Engineering Technologies and Applied Sciences (ICES)* (pp. 1-5). IEEE.
26. Nayar, K.B. and Kumar, V., 2018. Cost-benefit analysis of cloud computing in education. *International Journal of Business Information Systems*, 27(2), pp.205-221.<https://trends.google.com/trends/>
27. Mohamed, K.S., 2019. IoT Cloud Computing, Storage, and Data Analytics. In *The Era of Internet of Things* (pp. 71-91). Springer, Cham.
28. Pérez, A., Moltó, G., Caballer, M. and Calatrava, A., 2018. Serverless computing for container-based architectures. *Future Generation Computer Systems*, 83, pp.50-59.

29. Figiel, K., Gajek, A., Zima, A., Obrok, B. and Malawski, M., 2018. Performance evaluation of heterogeneous cloud functions. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 30(23), p.e4792.
30. Graupner, H., Torkura, K., Berger, P., Meinel, C. and Schnjakin, M., 2015, October. Secure access control for multi-cloud resources. In *2015 IEEE 40th Local Computer Networks Conference Workshops (LCN Workshops)* (pp. 722-729). IEEE.
31. Joshi, N. and Shah, S., 2019. A comprehensive survey of services provided by prevalent cloud computing environments. In *Smart Intelligent Computing and Applications* (pp. 413-424). Springer, Singapore.
32. Lynn, T., Rosati, P., Lejeune, A. and Emeakaroha, V., 2017, December. A preliminary review of enterprise serverless cloud computing (function-as-a-service) platforms. In *2017 IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom)* (pp. 162-169). IEEE.
33. Laghari, A.A., He, H., Halepoto, I.A., Memon, M.S. and Parveen, S., 2017. Analysis of quality of experience frameworks for cloud computing. *IJCSNS*, 17(12), p.228.
34. McGrath, G., Short, J., Ennis, S., Judson, B. and Brenner, P., 2016, June. Cloud event programming paradigms: Applications and analysis. In *2016 IEEE 9th International Conference on Cloud Computing (CLOUD)* (pp. 400-406). IEEE.
35. Laghari, A.A, RA Laghari, AA Wagan, AI Umrani;2019. Effect of Packet Loss and Reorder on Quality of Audio Streaming, SIS, EAI DOI: 10.4108/eai.13-7-2018.160390
36. Vakili, A. and Navimipour, N.J., 2017. A comprehensive and systematic review of the service composition mechanisms in cloud environments. *Journal of Network and Computer Applications*, 81, pp.24-36.
37. Islam, N. and Islam, Z., 2018. An economic perspective on major cloud computing providers. arXiv preprint arXiv:1810.05088.
38. Pérez-Arteaga, Pedro, Cristian Castellanos, Harold Castro, Dario Correal, Luis Guzmán, and Yves Denneulin. "Cost Comparison of Lambda

Architecture Implementations for Transportation Analytics using Public Cloud Software as a Service." Special Session on Software Engineering for Service and Cloud Computing (2018): 855-862.

39. Dave, D., Meruliya, N., Gajjar, T.D., Ghoda, G.T., Parekh, D.H. and Sridharan, R., 2018. Cloud Security Issues and Challenges. In *Big Data Analytics* (pp. 499-514). Springer, Singapore.

40. Kotas, C., Naughton, T. and Imam, N., 2018, January. A comparison of Amazon Web Services and Microsoft Azure cloud platforms for high-performance computing. In *2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)* (pp. 1-4). IEEE.

41. Mukiri, R.R. and Prasad, D.B., 2019. Developing Secure Storage of Cloud with IoT Gateway. *Available at SSRN 3446640*.

42. Sharma, S., Chang, V., Tim, U., Wong, J. and Gadia, S., 2016. Cloud-based emerging services systems. *International Journal of Information Management*, pp.1-12.

43. Riti, P., 2018. Introduction to DevOps. In *Pro DevOps with Google Cloud Platform* (pp. 1-18). Apress, Berkeley, CA.

44. Lee, I., 2019. Pricing schemes and profit-maximizing pricing for cloud services. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 18(2), pp.112-122.

45. Jain, A. and Mahajan, N., 2017. Introduction to Cloud Computing. In *The Cloud DBA-Oracle* (pp. 3-10). Apress, Berkeley, CA.

46. Kash, I.A. and Key, P.B., 2016. Pricing the cloud. *IEEE Internet Computing*, 20(1), pp.36-43.

47. Dewangan, M., Deshmukh, R.K. and Mishra, A., 2018. Comparative Study Between Existing Cloud Service Providers. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 9(2), p.537.

48. Safonov, V.O., 2016. *Trustworthy cloud computing*. John Wiley & Sons.

49. Meena, M. and Bharadi, V.A., 2018, August. A Novel Architecture of Hybrid Wavelet Techniques Used by CBIR System for Microsoft Azure Public Cloud SaaS Model. In *2018 Fourth International Conference on Computing*

Communication Control and Automation (ICCUBEA) (pp. 1-6). IEEE.

50. Thakurratan, R.S., 2018. Google Cloud Platform Administration: Design highly available, scalable, and secure cloud solutions on GCP. Packt Publishing Ltd.

51. Franklin, Jr, C. and Chee, B., 2019. Securing the Cloud: Security Strategies for the Ubiquitous Data Center. Auerbach Publications.

52. Gutierrez, F.O., Garcia, V.C., Cardoso, J.F.S., Jamir, T., Neto, J.R., Assad, R. and Barreto, M., 2017, September. storage-A Storage Architecture to Provide Block-Level Storage Through Object-Based Storage. In *European Conference on Service-Oriented and Cloud Computing* (pp. 213-228). Springer, Cham.

53. Mary, A.A. and Chitra, K., 2017, February. Study on Disaster Recovery in Cloud Environment. In *2017 World Congress on Computing and Communication Technologies (WCCCT)* (pp. 165-167). IEEE.

54. Patil, S.R., Shiraguppi, R.M., Sivakumar, G., Terry, M.A. and Trevathan, M.B., International Business Machines Corp, 2015. *Selective monitoring of archive and backup storage*. U.S. Patent 9,063,966.

55. Mohapatra, S., Mohanty, S., Pattanayak, S. and Hota, A., 2017. Comparison of various platforms in cloud computing. *International Journal of Computer Applications*, 162(7).

56. Abro, A., Deng, Z., Memon, K.A., Laghari, A.A. and Mohammadani, K.H., 2019. A Dynamic Application-Partitioning Algorithm with Improved Offloading Mechanism for Fog Cloud Networks. *Future Internet*, 11(7), p.141.

57. Laghari, A.A., He, H., Laghari, R.A., Khan, A., Yadav, R., Passy, R.A., Ovenden-Hope, T., Kolb, P., Sijmons, S., McArdle, M.R. and Taher, H., 2019. Cache Performance Optimization of QoC Framework. *EAI Endorsed Trans. Scalable Information Systems*, 6(20), p.e7.

58. Telenyk, S., Rolik, O., Bukasov, M. and Halushko, D., 2015. Models and methods of resource management for VPS hosting. *Czasopismo Techniczne*.

59. Laghari, A.A., He, H., Shafiq, M. and Khan, A., 2019. Application of

quality of experience in networked services: Review, trend & perspectives. *Systemic Practice and Action Research*, 32(5), pp.501-519.

60. Mangtani, K., Jalagam, S., Nagaraja, V. and Winterfeldt, D., VMware Inc, 2015. System to generate a deployment plan for a cloud infrastructure according to logical, multi-tier application blueprint. U.S. Patent 9,052,961.

61. Rittinghouse, J.W. and Ransome, J.F., 2017. *Cloud computing: implementation, management, and security*. CRC press.

62. Maes, S.H., Newman, M.S., Kuchler, K. and Goepel, T., Hewlett-Packard Enterprise Development LP, 2017. *Managing a cloud service*. U.S. Patent 9,825,823.

63. Saavedra, P.H., Teloip Inc, 2016. System, apparatus and method for providing improved performance of aggregated/bonded network connections with cloud provisioning. U.S. Patent 9,426,029.

64. Botta, A., De Donato, W., Persico, V. and Pescapé, A., 2016. Integration of cloud computing and the internet of things: a survey. *Future generation computer systems*, 56, pp.684-700.