

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

професора кафедри комп'ютерної інженерії та програмування

Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»,

доктора технічних наук, професора

Сергія Юрійовича Леонова

на дисертаційну роботу Мамчича Олександра Олександровича «Моделі, методи та інформаційна технологія хмарних обчислень на основі мобільних пристроїв»,
подану на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 12 «Інформаційні технології»
за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології»

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Мамчича Олександра Олександровича присвячена підвищенню енергоефективності розподілених хмарних обчислювальних систем шляхом залучення мобільних пристроїв, розроблення моделей і методів оцінювання та прогнозування енергоспоживання і створення інформаційної технології їх застосування. Обрана тема є актуальною, оскільки розвиток хмарних сервісів, високопродуктивних обчислень, штучного інтелекту та оброблення потокових даних супроводжується збільшенням енергетичних витрат обчислювальної і мережевої інфраструктури.

Сучасні смартфони мають потужні SoC оснащені потужними CPU, GPU та NPU, тому їх сукупний обчислювальний ресурс може використовуватися для паралельних задач із сприятливим співвідношенням продуктивності та спожитої енергії. Водночас така архітектура є гетерогенною та динамічною: пристрої відрізняються апаратним і програмним стеком, політиками керування живленням, температурними режимами, продуктивністю мережі й доступністю для виконання задач. За цих умов потрібна не лише експериментальна оцінка окремих платформ, а відтворювана інформаційна технологія, яка перетворює виміряні характеристики вузлів, опис обчислювальної роботи, стратегію розподілу і вимоги безпеки на прогноз енергоспоживання та рекомендацію щодо вибору архітектури. Такий результат відповідає предметному полю спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології», тоді як апаратні вимірювання виконують роль джерела параметрів для моделей і засобу їх верифікації.

2. Наукова новизна та практична цінність отриманих результатів

Перша наукова новизна полягає в запропонованому методі порівняння енергетичних витрат мобільних і стаціонарних платформ на основі алгоритмічно зіставної референсної задачі з контрольованим обсягом обчислень. Метод забезпечує отримання параметрів енергоефективності конкретного вузла для конкретного навантаження.

Друга наукова новизна полягає в уніфікованій моделі та методі прогнозування витрат енергії розподіленої системи. Формальне ядро утворюють моделі обчислювальної системи, обчислювальної роботи та стратегії розподілу. Така декомпозиція дає змогу змінювати склад вузлів, граф задач і політику планування без перебудови всього опису.

Третя наукова новизна полягає в удосконаленні моделі шляхом урахування енергетичних накладних витрат механізмів надійності та інформаційної безпеки.

У роботі розглянуто повторне виконання задач при відмовах, верифікацію результатів, використання довірених вузлів, репутаційні оцінки та обмеження експозиції даних. За прийнятими припущеннями розрахункове зменшення енергоспоживання мобільної конфігурації після врахування безпекових накладних витрат становить від 58,5 % до 61 %.

Практичне значення результатів полягає у можливості попередньо порівнювати мобільні, стаціонарні й змішані конфігурації розподілених обчислювальних систем, оцінювати енергетичну ціну передавання даних та механізмів захисту, а також досліджувати стратегії розподілу без фізичного розгортання та виконання повного обчислення. Запропонована інформаційна технологія може бути корисною під час проєктування інформаційних систем для обчислювально інтенсивних задач, якщо перед її застосуванням виконано бенчмаркінг саме цільового навантаження.

Дисертацію виконано на кафедрі електронних обчислювальних машин в межах науково-дослідної роботи «Система асистованого супроводу динамічних об'єктів». Результати дослідження використано під час виконання зазначеної НДР

3. Оцінка змісту, структури та практичного значення роботи

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків.

У **першому** розділі проаналізовано хмарні, високопродуктивні, крайові та волонтерські обчислення, відомі підходи до оцінювання енергоспоживання і чинники, що обмежують використання мобільних вузлів. Огляд дає підстави для постановки задачі, пов'язаної з модульним прогнозуванням енергоспоживання гетерогенної системи.

У **другому** розділі запропоновано метод оцінювання енергетичної ефективності окремого пристрою. Описано вимірювання за апаратною телеметрією, зовнішнім стендом і ємністю акумулятора, процедуру відокремлення фонових споживання, вимоги до референсного навантаження та розрахунок операцій на одиницю енергії.

У **третьому** розділі формалізовано вузли, мережеві інтерфейси, задачі, артефакти, залежності та стратегію розподілу. Доступність мобільних вузлів подано двостановим марковським процесом. Перевірку проведено на задачі трасування променів, а застосовність підходу додатково продемонстровано на інференсі моделей комп'ютерного зору та порівнянні платформ для просторової орієнтації.

У **четвертому** розділі модель стратегії розподілу розширено підмоделями перевірки достовірності результатів і обмеження доступу до інформаційних артефактів. На основі розроблених компонентів сформовано інформаційну технологію, подану IDEF0-діаграмами. Її етапи охоплюють формування бенчмарку, вимірювання характеристик вузлів, побудову моделей системи, роботи і стратегії, урахування безпекових обмежень, симуляцію альтернатив та формування рекомендаційного висновку.

У **висновках** узагальнено основні результати дослідження та обґрунтовано доцільність використання розроблених моделей для прогнозування енергетичних витрат в розподілених обчислювальних системах.

4. Повнота оприлюднення результатів

За фактичним переліком у додатку результати дисертації оприлюднено в 11 працях: чотирьох статтях і семи тезах конференцій. Публікації охоплюють метод оцінювання енергоспоживання, уніфіковану модель прогнозування, безпекове розширення та прикладне порівняння платформ. У вступі наведено особистий внесок здобувача у співавторські праці.

5. Академічна доброчесність

За результатами перевірки дисертації спеціалізованою системою та аналізу відповідного звіту ознак академічного плагіату не виявлено. Посилання на використані джерела оформлено належним чином, особистий внесок здобувача у працях, опублікованих у співавторстві, зазначено

Тому можна зробити висновок про відповідність роботи вимогам академічної доброчесності.

6. Зауваження та дискусійні питання дисертаційної роботи

Позитивно оцінюючи дисертаційну роботу загалом, вважаю за необхідне висловити такі зауваження та питання.

1. У моделі вузла на с. 89–90 апаратні та програмні особливості платформи фактично звужуються та узагальнюються до продуктивності, пропускну здатності, енерговитрат за такт і параметрів доступності. Для інформаційної технології, що має адаптуватися до різних типів пристроїв, доцільно було б прив'язати дані параметри до умов вимірювання: режими роботи обчислювальних модулів, тротлінг, температура, версія ОС, драйвери, компілятор.

2. Основні мобільні експерименти виконано на пристроях Apple, тоді як Android-платформи відрізняються складом SoC, API, планувальниками, політиками фонові роботи та доступністю енергетичної телеметрії (с. 70–85). Метод принципово допускає інші вузли, але його зовнішню валідність доцільно було б підтвердити хоча б на одній Android-конфігурації.

3. У розділі 2 реалізації Metal і CUDA названо структурно ідентичними (с. 77–81), а в розділі 3 зіставляються реалізації трасування променів на C++, CUDA та Metal. Функціональна і математична еквівалентність вихідного коду не гарантує однакової кількості машинних інструкцій, звернень до пам'яті та оптимізацій компілятора. Для повнішого обґрунтування міжплатформного порівняння варто навести параметри компіляції та перевірку числової еквівалентності.

4. Формула (3.11) на с. 93 потребує уточнення. Формула, названа кількістю даних для передавання, але фактично є формулою кількості фрагментів даних для передавання. Варто узгодити словесний запис із фактичним формальним записом.

5. На с. 111 синтетичні ймовірності переходів online/offline описані для мобільного вузла. Водночас у лістингу 3.3 на с. 113–114 конфігурація iPhone має $rate_{ON} = 1$ і $rate_{OFF} = 0$, тобто постійну доступність. Потрібно пояснити, чому саме даний експеримент враховує постійну доступність вузла.

6. У розділі 1 наведено широкий огляд підходів, однак заяви про першість методу та уніфікованої моделі доцільно було б підкріпити прямою порівняльною таблицею з найближчими аналогами. Для кожного підходу варто зіставити підтримувані типи вузлів, модель роботи, урахування мережі й відмов, параметризацію, безпекові механізми, вихідні показники та експериментальну похибку. Це чіткіше показало б, за якими саме критеріями запропонована інформаційна технологія перевершує відомі рішення, не зводячи перевагу до окремих сценарних відсотків.

Наведені зауваження мають уточнювальний і рекомендаційний характер. Вони визначають межі інтерпретації окремих результатів та напрями подальшого вдосконалення формального і програмного опису, але не заперечують працездатності запропонованого підходу в досліджених сценаріях і не змінюють загальної позитивної оцінки роботи.

7. Загальний висновок

Дисертаційна робота Мамчича Олександра Олександровича «Моделі, методи та інформаційна технологія хмарних обчислень на основі мобільних пристроїв» є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому отримано нові науково обґрунтовані результати щодо оцінювання та прогнозування енергоспоживання гетерогенних розподілених систем із залученням мобільних пристроїв.

Сукупність методу бенчмаркінгу, моделей системи, роботи і стратегії розподілу, програмного симулятора, безпекових розширень та процедури підтримки прийняття рішень утворює інформаційну технологію. Тому зміст і характер основного результату відповідають спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології», попри істотну роль апаратного експерименту в параметризації та перевірці моделей.

За актуальністю, обсягом виконаних досліджень, науковою новизною, обґрунтованістю основних положень і практичною цінністю дисертація відповідає вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44. Вважаю, що Мамчич Олександр

Олександрович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології».

Офіційний опонент:

професор кафедри

комп'ютерної інженерії та програмування

Національного технічного університету

«Харківський політехнічний інститут»,

доктор технічних наук, професор

Сергій ЛЕОНОВ