

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Іванісенка Ігора Миколайовича

на тему: « МЕТОДИ БАЛАНСУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ У
РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМАХ З УРАХУВАННЯМ САМОПОДІБНИХ
ВЛАСТИВОСТЕЙ ВХІДНИХ ПОТОКІВ»,

подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за
спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Актуальність теми дослідження.

Задача підвищення ефективності розподілених комп'ютерних систем обумовлена значною вартістю використання обчислювальних ресурсів. Прикладами таких систем є локальні та глобальні мережі, GRID- кластера та системи хмарних обчислень. Разом зі збільшенням кількості інформації, що передається між обчислювальними вузлами, почали приділяти велику увагу дослідженню методів управління трафіком для підвищення якості обслуговування мереж. Одним з таких напрямків є розробка та впровадження методів і алгоритмів балансування навантаження. Однак, незважаючи на зростаючу кількість робіт, ряд питань залишається відкритим та потребують додаткової уваги. До них слід віднести дослідження методів балансування навантаження в розподілених системах, коли навантаження має фрактальні властивості.

Дисертаційна робота Іванісенка Ігора Миколайовича є науково-практичним дослідженням, метою якого є розробка методів балансування навантаження у розподілених системах з урахуванням самоподібних властивостей вхідних потоків, які дозволяють підвищити рівень використання незадіяних ресурсів кожного вузла в складі розподіленої системи, враховуючи мультифрактальні властивості адитивного трафіка.

Для вирішення цієї задачі автором розвинуті відомі та розроблені нові методи балансування навантаження, які, на відміну від існуючих, враховують



фрактальні властивості трафіка і можуть забезпечувати достатньо високий рівень ефективності виконання розподілених завдань.

Відзначаючи актуальність теми дисертації, треба також підкреслити її відповідність тематичним координаційним планам держбюджетних науково-дослідних робіт «Розробка та дослідження застосування GRID-порталу харківського ресурсно-операційного GRID-центру», договору №08-22 (08.04.07-27.06.08) і №08-22/9 (01.07.08-30.09.08) між ХНУРЕ і «ІПСА» НТУУ «КПІ» на підставі Договору «ІПСА» НТУУ «КПІ» з Міністерством освіти і науки України №ІТ/506-2013, Державної програми «Інформаційні та телекомунікаційні технології в освіті і науці» на 2006-2013 роки (№ДР 0108U008261).

Структура і склад дисертаційної роботи

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та трьох додатків.

У *вступі* наведені основні загальні характеристики роботи, такі як, актуальність, мета та задачі дослідження, визначені: наукова новизна, об'єкт та предмет дослідження, надані відомості про апробацію результатів дисертації та публікації за темою роботи.

У *першому розділі* проведено аналіз предметної області та розглянуто питання балансування навантаження в розподіленій комп'ютерній мережі. Зроблено огляд, класифікацію та аналіз загальних характеристик існуючих алгоритмів балансування навантаження. Розглянуто показники ефективності алгоритмів балансування. Наведено огляд технологій управління ресурсами і потоками даних у розподілених комп'ютерних мережах, які враховують мультифрактальні та самоподібні властивості трафіка. Сформульовані завдання дослідження, які необхідно вирішити відповідно до поставленої мети.

У *другому розділі* наведена класифікація існуючих стратегій балансування навантаження, серед яких є такі, що реалізовані як частина

спеціалізованого програмного забезпечення або включені до складу прикладних розподілених програмно-апаратних комплексів. Зроблено огляд основних класів стратегій за різними ознаками, описано види політик балансування, які використовують порогові значення завантаженості вузлів, відхилення величини навантаження вузла від середнього значення у системі та інші методи. Був проведений аналіз механізмів збору інформації щодо завантаженості системи взагалі.

Також було розглянуто основні методи та механізми забезпечення якості обслуговування в мультисервісних комп'ютерних мережах щодо застосування їх при передачі в них фрактального трафіку. Проведено аналіз методів балансування навантаження на різних рівнях мережевої моделі, вказані переваги та недоліки кожного з них. Був запропонований розрахунок загального рівня дисбалансу системи і кожного сервера окремо. У якості оцінки завантаження ресурсів вузлів запропоновано характеристики завантаження процесора, пам'яті та пропускної здатності каналу. Було введено комплексне значення дисбалансу навантаження.

Метод, що було запропоновано, дозволяє проводити розрахунок завантаження процесора, пропускної здатності каналу та пам'яті для потоків різних класів обслуговування як для кожного сервера окремо, так і для усієї розподіленої системи в цілому.

У *третьому розділі* досліджені властивості адитивного мультифрактального трафіка, виконане моделювання мультифрактальних потоків та наведений порівняльний аналіз алгоритмів балансування навантаження. Також була розроблена система балансування навантаження, яка складається з групи серверів та балансувальника навантаження. Була запропонована математична модель балансування з урахуванням самоподібності вхідного навантаження. Представлені результати численного дослідження самоподібних властивостей потоків даних. Для цього було використано модельні реалізації трафіка на основі експоненціального перетворення фрактального гауссівського шуму.

Запропоновано математичну модель системи балансування навантаження, у якій балансувальник описується за допомогою математичного апарату теорії системи масового обслуговування. Така модель дозволяє описувати поведінку розподіленої мережі протягом часу для різноманітних класів обслуговування вхідного трафіка, при заданих обмеженнях на час очікування пакета у черзі та кількість втрачених пакетів.

Результати дослідження показали, що фрактальні характеристики мультифрактального потоку зберігаються в залежності від величини відношення сигнал/шум. При збільшенні відношення сигнал/шум узагальнений показник Херста сумарного потоку наближається до показника початкового мультифрактального потоку у діапазоні позитивних значень параметра.

У *четвертому розділі* на основі мультифрактальних властивостей вхідного трафіка було розроблено динамічний метод його балансування. Цей метод балансування навантаження повинен забезпечувати статично рівномірний розподіл навантаження на серверах, високі показники продуктивності, пропускної здатності, зниження часу відгуку та кількості загублених даних.

За допомогою програмного продукту, розробленого на мові Python, було проведено імітаційне моделювання роботи запропонованого методу. Результати показали наступне: при використанні динамічного методу балансування навантаження параметри якості обслуговування мережі покращилися і кількість втрачених даних зменшилася.

Результати досліджень були впроваджені в роботу корпоративної мережі та принесли наступний ефект: підвищення ступеня використання вільних ресурсів розподіленої системи за рахунок балансування мультифрактального навантаження на менш завантажені сервери, зменшення втрат даних до 1,8% і середнього часу очікування до 4,6 мс.

Наведені у *висновках* результати достатньо повно відображають суть дисертаційної роботи і використовуються на практиці.

Додатки дисертації містять акти про впровадження результатів дисертаційної роботи, перелік використаних джерел та список публікацій здобувача за темою роботи.

Обсяг та структура дисертаційної роботи відповідають вимогам щодо тексту дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Автор використав сучасну бібліографію та наукову термінологію. Зміст та результати досліджень викладено аргументовано, результати практичної реалізації підтверджують теоретичні висновки.

Автореферат відповідає змісту дисертаційної роботи.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, отриманих в дисертаційній роботі

Викладені в дисертаційній роботі положення, отримані автором теоретичні та практичні результати мають належний ступінь обґрунтованості, який було досягнуто за рахунок використання відповідного математичного апарату теорії фрактального аналізу, обчислення виразів тощо. Достовірність результатів підтверджується тим, що отримані автором розрахунки не тільки узагальнюють результати, які було незалежно отримано раніше, а також збігаються з результатами експериментальних досліджень.

Результати роботи мають відповідну апробацію на міжнародних наукових, науково-практичних конференціях та семінарах.

Новизна наукових результатів, які отримані у роботі, полягає у наступному:

– вперше розроблено метод динамічного розподілу навантаження на основі математичної моделі системи балансування навантаження. Метод враховує мультифрактальні властивості трафіку, задані обмеження на час очікування і кількість втрачених пакетів та розрахунок дисбалансу ресурсів розподіленої системи. Він забезпечує статистично рівномірний розподіл навантаження на серверах, високі показники продуктивності і пропускну здатності, а також зниження часу відгуку і кількості втрачених даних;

– в роботі набула подальшого розвитку математична модель системи балансування навантаження, в якій балансувальник описується за допомогою системи масового обслуговування, а також враховуються самоподібні властивості вхідних потоків. Стани серверів описуються обсягом вільних ресурсів ЦПУ і обсягом вільної оперативної пам'яті. Всі значення параметрів моделі мають залежність від часу. Така модель дозволяє описувати поведінку розподіленої мережі в часі для різних класів обслуговування вхідного трафіку при заданих обмеженнях на час очікування пакета в черзі і кількість втрачених пакетів;

– запропоновано модифікований метод розрахунку дисбалансу ресурсів розподіленої системи на основі оцінки завантаження її вузлів. Цей метод дозволяє проводити розрахунок завантаження для потоків різних класів обслуговування, як для кожного сервера окремо, так і для всієї системи. Таким чином, метод дозволяє обчислити дисбаланс всіх серверів і ефективність використання ресурсів системи.

Оформлення дисертаційної роботи

Структура та обсяг роботи відповідають вимогам та правилам щодо тексту дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Дисертацію написано грамотною мовою, з використанням сучасної бібліографії та наукової термінології. Зміст та результати досліджень викладено лаконічно та аргументовано. Задачі дисертації в логічній послідовності вирішуються на всіх етапах дослідження – від аналізу проблеми до побудови моделей та методів розв'язання задач, з подальшим проведенням експериментів з конкретними чисельними даними та впровадженням результатів дослідження.

Зміст автореферату ідентичний основним положенням та висновкам дисертації.

Дисертаційна робота повністю відповідає положенням паспорту спеціальності 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

Публікації за темою дисертації

За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 29 наукових праць: з них основні результати дисертації достатньо повно викладені в 6 статтях, опублікованих у наукових фахових виданнях, 3 статті в міжнародних наукових журналах за кордоном та 20 матеріалів і тез доповідей конференцій (з них 6 входить до наукометричної бази Scopus). Зміст наведених публікацій не містить повтору. Вони повною мірою відображають зміст та результати дисертаційної роботи.

Практичне та наукове значення результатів дисертаційної роботи

Практична значимість отриманих теоретичних результатів дисертаційної роботи Іванісенка І.М. підтверджена поліпшенням продуктивності та ступеня використання каналів передачі даних розподіленої системи за рахунок перенаправлення найбільш критичних інформаційних потоків на менш завантажені альтернативні канали, підвищення якості обслуговування, зменшення втрат даних.

Зокрема, практичне вирішення теоретичних досліджень полягає у наступному: в модельній мережі було реалізовано метод динамічного балансування навантаження з урахуванням фрактальних властивостей трафіка та дисбалансу для рівномірного використання ресурсів мережі для трафіка різноманітних класів. Імітаційне моделювання показало збільшення продуктивності серверів та мережі загалом. Тобто, використання запропонованого метода при балансуванні навантаження, з урахуванням інформації про стан серверів та всієї системи, дозволяє балансувальнику виділити сервер, що здатний найкращим чином зробити обробку мультифрактального потоку задач, що надійшли.

Результати, отримані автором, слід вважати важливими для подальшого розвитку систем балансування навантаження у розподілених системах. Розроблені моделі і методи впроваджені в компанії «Ипра софт», де вони

використовуються для попередження перевантаження вузлів мережі за рахунок перерозподілу потоків даних. Крім того, деякі з цих результатів використовуються у навчальному процесі кафедри електронних обчислювальних машин ХНУРЕ для підвищення практичної складової у підготовці фахівців в галузі створення та використання глобальних розподілених систем та мереж.

Зауваження та недоліки

1. В роботі не в повній мірі визначені межі використання запропонованих методів та моделей. Недостатньо обґрунтований вибір в якості критеріїв якості обслуговування таких величин, як коефіцієнт втрат і час затримки системи.

2. В другому розділі не проведено дослідження впливу різного рівня дисбалансу системи на значення параметрів якості обслуговування розподіленої системи.

3. В третьому розділі при розгляді адитивного вхідного навантаження не обґрунтовано вибір кількості службового трафіку та його вплив на навантаження в мережі.

4. У четвертому розділі відсутній детальний опис методики проведення імітаційного моделювання, не надано рекомендацій про впровадження запропонованих методів в існуючу робочу розподілену систему.

5. В роботі не в повній мірі наведено обґрунтування отриманих результатів в порівнянні з реальними даними та існуючої статистикою в розподілених системах.

6. У тексті дисертації та автореферату зустрічаються друкарські помилки та стилістичні вади.

Однак, ці зауваження суттєво не впливають на загальну позитивну характеристику дисертаційної роботи, що має визначені вище актуальність, наукову новизну і практичну цінність.

Висновок

Дисертаційна робота Іванісенка Ігора Миколайовича «Методи балансування навантаження у розподілених системах з урахуванням самоподібних властивостей вхідних потоків» є завершеним науково-практичним дослідженням, що містить нові науково-обґрунтовані результати щодо розробки методів балансування навантаження у розподілених системах з урахуванням самоподібних властивостей вхідних потоків.

Впроваджені результати дають можливість більш продуктивно управляти процесом балансування навантаження з урахуванням оцінювання завантаження вузлів розподіленої системи та мультифрактальних властивостей трафіка.

Вважаю що дисертаційна робота відповідає вимогам п. п. 9, 11, 12-14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 №567 щодо кандидатських дисертацій, а її автор, Іванісенко Ігор Миколайович, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

Офіційний опонент
кандидат технічних наук, доцент
Куланов Віталій Олександрович,
Національний аерокосмічний університет
ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»,
доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж

Підпис доц. Куланова Віталія Олександровича засвідчую.

спеціаліст



І. В. Таїшев