

У статті представлено результати дослідження впливу віртуалізації мережного середовища на час взаємодії вузлів обчислювального кластера. Існуюча спрощена модель виконання паралельного алгоритму доповнена параметром тривалості обміну даними між вузлами кластера і встановлені математичні вирази для часу такої взаємодії. Інструментальна складова математичної моделі визначається експериментальним шляхом

Ключові слова: віртуальна машина, обчислювальний кластер, мережна взаємодія, трасувальник процесів

В статье представлены результаты исследования влияния виртуализации сетевой среды на время взаимодействия узлов вычислительного кластера. Существующая упрощенная модель выполнения параллельного алгоритма дополнена параметром длительности обмена данными между узлами кластера и установлены математические выражения для времени такого взаимодействия. Инструментальная составляющая математической модели определяется экспериментальным путем

Ключевые слова: виртуальная машина, вычислительный кластер, сетевое взаимодействие, трассировщик процессов

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІРТУАЛІЗАЦІЇ МЕРЕЖІ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ КЛАСТЕРІВ

В. В. Нікітченко

Старший викладач, доцент

Кафедра мереж зв'язку

Одеська національна

академія зв'язку ім. О. С. Попова

вул. Ковальська, 1, м. Одеса, Україна, 65029

E-mail: vncentaurus@gmail.com

1. Вступ

В сучасних умовах успіх у вирішенні складних наукових питань та промислових задач суттєво залежить від рівня розвитку обчислювальної техніки, яка є важливим компонентом процесу обчислень і обробки даних. Традиційно, збільшення обчислювальної потужності відбувалось за екстенсивним шляхом, тобто через збільшення тактової частоти процесорних елементів, але даний шлях має суттєві недоліки, такі як фізичні обмеження на розмір електронних компонентів та висока вартість виробництва. Тому в даний час поширена паралельна форма обчислень, основною характеристикою якої є можливість одночасного застосування для обробки інформації декількох обчислювальних вузлів.

Одним з відгалужень від загального напрямку розвитку паралельних обчислень можна вважати хмарні обчислення. Паралельні та хмарні обчислення поділяють спільні риси, такі як використання багатопроекторних і багатомашинних систем, однак присутня і суттєва відмінність між ними. Так, хмарні обчислення спрямовані на надання оренди самих різних послуг великому колу користувачів, а не тільки можливості виконання паралельних програм.

Паралельні та хмарні обчислення можна комбінувати, використовуючи обчислювальну хмару для створення кластера типу НРС (High performance computing). Серед іншого це передбачає віртуалізацію мережних зв'язків між вузлами такого кластера. Тому актуальним є дослідження мережної взаємодії вузлів віртуалізованого кластера, спрямоване на визначення складових часу обміну повідомленнями, та їх математичне подання.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Дослідження в області паралельних обчислень ведуться доволі інтенсивно, внаслідок чого констатуємо наявність значної кількості формальних моделей, покликаних відобразити різні аспекти цього процесу. Тому використаємо одну з уже наявних математичних моделей, корегуючи та доповнюючи її залежно від потреб конкретного завдання.

Наразі говоримо про обчислювальний кластер як такий, не уточнюючи наявності в ньому засобів віртуалізації обчислювальних ресурсів. Враховуючи його конструктивні особливості, що визначають спосіб обміну даними між виконуваними паралельно процесами чи потоками одного процесу, стверджуємо про відповідність цілому класу моделей паралельних обчислень, а саме моделям обміну повідомленнями. Типовими представниками таких моделей є мережі процесів Кана [1], потокові моделі [2], моделі Карпа-Міллера [3] і моделі Денніса [4].

Подальший розвиток математичних моделей паралельних обчислень призвів до появи моделі графів потоків даних [5] та гібридної часової хвильової системи [6], а класична модель Хоара була доповнена параметром часу [7]. Дослідження моделей паралельних обчислень може бути проведене методами алгебраїчної топології [8].

Можуть бути використані й інші математичні інструменти, що їх універсальність дозволяє описувати паралельну взаємодію довільної структури. Тут вирізняється група моделей на базі сіток Петрі [9], а також декілька різновидів систем переходів [10].

Обираючи поміж такої великої кількості моделей, потрібно врахувати особливості поставленої задачі.

Так, засоби математичного апарату сіток Петрі дозволяють відобразити докладну картину міжпроцесної взаємодії в багатьох аспектах, проте в нашому випадку це не є конче необхідним. До того ж така модель виглядає досить складною і громіздкою. Ми не цікавимось наявністю блокувань в роботі паралельного алгоритму, алгоритм тут потрібен лише як послідовність операцій.

Таким особливостям відповідає проста модель паралельного процесу або паралельної системи у вигляді ациклічного орієнтованого графа $G(V, E)$ [11]. Описуючи паралельний алгоритм, із вершинами графа ототожнюються його дії, а впорядкована послідовність таких дій поєднується дугами графа. У випадку дослідження паралельної системи вершини графа позначають відповідні пристрої, а дуги відображають існуючі зв'язки між апаратними пристроями.

При переміщенні обчислювального кластера у віртуальну площину отримуємо відображення віртуальних машин на фізичні сервери, а також віртуалізацію ліній, що поєднують такі віртуальні машини. Це обумовлює необхідність доопрацювання математичної моделі традиційного кластера, з метою врахувати всі особливості та додаткові витрати, привнесені за рахунок технологій віртуалізації. Тобто важливо з прийнятним ступенем вірогідності визначити часові межі виконання деякої групи паралельних процесів для традиційного кластера, що безпосередньо використовує наявні апаратні засоби, та аналогічного кластера, організованого в обчислювальній хмарі.

3. Мета і задачі дослідження

Метою даної роботи було дослідження особливостей мережної взаємодії між віртуальними машинами, створеними в хмарі типу IaaS (Infrastructure as a Service), і поєднаними в обчислювальний кластер.

Заявлена мета досягається рішенням наступних задач:

- врахування часу обміну даними між обчислювальними вузлами в існуючій спрощеній моделі виконання паралельного алгоритму;
- детальне визначення математичних виразів для часу мережної взаємодії, в тому числі із застосуванням методу статико-динамічного аналізу;
- експериментальне визначення тривалостей різних етапів проходження мережного пакета між вузлами віртуального кластера.

4. Математичне подання мережної складової часових характеристик роботи обчислювального кластера

В даній роботі встановлено часові показники функціонування обчислювального кластера, створеного у типових конфігураціях хмарного оточення. Однією з визначальних особливостей обчислювальної хмари є використання технологій апаратної віртуалізації, що вони призводять до зниження продуктивності обчислювальних операцій. Вплив віртуалізації на роботу обчислювального кластера позначається наступними проявами:

- поява додаткового коду гіпервізора, що повинен бути виконаний для безпосереднього здійснення інструкцій паралельного застосування;

– поява додаткового коду гіпервізора, що повинен бути виконаний для обміну мережними повідомленнями між різними компонентами паралельної програми, розподіленої на різні обчислювальні вузли.

Не акцентуємо увагу на особливостях виконання гіпервізором інструкцій програм користувачького рівня, натомість особливості мережної взаємодії будуть головним об'єктом дослідження. Тобто говоримо про шлях проходження окремого пакета від моменту його створення джерелом повідомлення, і до моменту отримання обчислювальним вузлом призначення.

Можливі кілька варіантів такого шляху. У випадку традиційного кластера він співпадає з трасою проходження пакета мережним стеком ядра операційної системи. Проте у випадку кластера в обчислювальній хмарі з'являються додаткові етапи, котрі спричинені мережним стеком гостей операційних систем, і мережною частиною гіпервізора.

Для відокремленої на фізичному вузлі віртуальної машини пакет спочатку проходить через мережний стек гостьової системи, потім вже готовий Ethernet-кадр потрапляє до гостьового паравіртуального драйвера virtio-net, звідки, через буфер TX Ring, відправляється до хостового ядра, а саме до паравіртуального драйвера vhost-net. Далі завдяки віртуальному інтерфейсу TUN/TAP кадр потрапляє на віртуальний міст, а через нього – на мережний інтерфейс. При прийманні даних мережна карта отримує із фізичного середовища кадр, відправляє його до linux-мосту, котрий передає його до відповідного TUN/TAP інтерфейсу і потім до драйвера vhost-net, що через буфер RX Ring доставляє кадр до мережного стеку гостьової системи. Тут він проходить стандартні етапи приймання пакетів у стеку TCP/IP ядра операційної системи.

Якщо пакети відправляються між двома віртуальними машинами, розташованими на одному фізичному сервері, то віртуальний міст, після отримання пакета від TUN/TAP інтерфейсу першої віртуальної машини, відправляє його відразу до інтерфейсу TUN/TAP другої віртуальної машини, оминаючи мережну карту сервера.

Згідно з [12] можлива послідовність реалізації кроків паралельного алгоритму задається розкладом $\{(i, P_i, t_i): i \in V\}$, де i – поточна до виконання операція, P_i – номер призначеного їй процесорного елемента, t_i – час початку виконання. Коректність втілення алгоритму потребує дотримання двох умов. Перша говорить про неможливість призначення процесорного елемента одночасно двом і більше операціям: $\forall i, j \in V: t_i = t_j \rightarrow P_i \neq P_j$, і залишається в оригінальному формулюванні. Інша вимога буде доповнена у відповідності до умов поточної задачі.

Переважає більшість джерел використовує спрощення моделі паралельного виконання алгоритму за рахунок ідеалізації можливостей апаратних пристроїв. Час виконання елементарної дії процесорним елементом приймається рівним 1, тоді як обмін даними вважається миттєвим. Створювана в даній роботі модель потребує врахування дійсних значень цих компонентів. Насправді обмін даними мережею займає деякий проміжок часу, а час виконання елементарних операцій процесором не обов'язково дорівнює 1. Враховуючи це, другу умову запишемо у вигляді:

$$\forall i, j \in E \rightarrow t_j \geq t_i + (\tau_F + \tau_N), \quad (1)$$

де τ_F – загальний час виконання однієї елементарної дії процесором; τ_N – загальний час передавання даних між обчислювальними вузлами.

Складові τ_F і τ_N визначають залежно від типу кластера – апаратний або в хмарному середовищі. В загальному вигляді для часу виконання τ_F можемо записати:

$$\tau_F = \tau_{FP} + \tau_{FH}, \quad (2)$$

де τ_{FP} – час виконання однієї елементарної дії власне процесором; τ_{FH} – додаткові витрати часу гіпервізора в перерахунку на одну елементарну дію. Складова наявна лише для кластера в обчислювальній хмарі.

Аналогічно для часу мережної взаємодії τ_N :

$$\tau_N = \tau_{NLS} + \tau_{NHS} + \tau_{PHY}, \quad (3)$$

де τ_{NLS} – час проходження пакета стандартним мережним стеком ядра операційної системи; τ_{NHS} – час проходження пакета через мережні конструкції гіпервізора. Складова наявна лише для кластера в обчислювальній хмарі; τ_{PHY} – час проходження пакета дійсною мережею. Може бути збільшений при наявності віртуальної мережі в хмарному оточенні.

По аналогії з [12] та враховуючи введені уточнення, для часу виконання алгоритму як максимального значення часу використовуваного у розкладі можемо записати:

$$T_p(G, S_p) = \max_{i \in V} (t_i + (\tau_F + \tau_N)), \quad (4)$$

де G – граф обчислювального алгоритму; S_p – вибраний розклад виконання алгоритму.

Більшість співвідношень, визначених в [12, 13], також мають місце і модифікуються лише з урахуванням складової ($\tau_F + \tau_N$).

Детально розглянемо складову мережної взаємодії між вузлами обчислювального кластера, котра відрізняється для фізичних вузлів та кластера у віртуальному середовищі. Визначимо компоненти, які здатні чинити вплив на шукані значення часу мережної взаємодії, і додатково до параметрів виразу (3) введемо час між завершенням посилання останнього пакета з відправного вузла, і завершенням приймання останнього пакета отримувачем повідомлення [12].

Як приклад візьмемо довільну типovu топологію з'єднання фізичних вузлів, і розглянемо конфігурації віртуального оточення. Стверджуємо про два варіанти побудови:

– кластер із віртуальних вузлів цілковито в межах одного фізичного комп'ютера;

– кластер із віртуальних вузлів, що відображені на різні фізичні машини.

В першому варіанті можливо поєднати дві довільні віртуальні машини прямим з'єднанням, розділеним навпіл елементом віртуального мосту. При цьому час обміну даними переважно буде визначатись тривалістю службових операцій по формуванню мережних пакетів на боці передавача, та тривалістю розбирання пакетів на боці отримувача. Тобто, швидкістю віртуальної мережі можна знехтувати.

Для часу мережної взаємодії можемо записати:

$$\tau_N = \begin{cases} \left(\sum_{i=1}^{\mu_1} \tau_{s_i} + \left(\sum_{j=1}^{\mu_2} \tau_{r_j} + \tau_{BR} \right) n \right), & \text{якщо } \sum_{i=1}^{\mu_1} \tau_{s_i} < \sum_{j=1}^{\mu_2} \tau_{r_j}, \\ \left(\sum_{i=1}^{\mu_1} \tau_{s_i} + \tau_{BR} \right) n + \sum_{j=1}^{\mu_2} \tau_{r_j}, & \text{якщо } \sum_{i=1}^{\mu_1} \tau_{s_i} > \sum_{j=1}^{\mu_2} \tau_{r_j}, \end{cases} \quad (5)$$

де $\sum_{i=1}^{\mu_1} \tau_{s_i}$ – час для формування пакета всіма рівнями мережного стеку; μ_1 – кількість рівнів в напрямі передавання пакета; $\sum_{j=1}^{\mu_2} \tau_{r_j}$ – час розбирання пакета на

приймальному боці; μ_2 – кількість рівнів в напрямі приймання; τ_{BR} – час, за який має спрацювати віртуальний міст; n – кількість мережних пакетів.

Другий варіант ускладнюється за рахунок появи фізичних вузлів, поєднаних зв'язками із деякою топологією. Вираз для часу мережної взаємодії:

$$\tau_N = \sum_{i=1}^{\mu_1} \tau_{s_i} + \sum_{j=1}^{\mu_2} \tau_{r_j} + (n + D(G)) \tau_{LINK} + 2\tau_{BR}, \quad (6)$$

де $D(G)$ – діаметр топології з'єднання фізичних вузлів; τ_{LINK} – час проходження пакетом однієї ланки мережного шляху.

Дамо кількісне наповнення складовим, що в загальному вигляді присутні в формулах (5, 6), скориставшись існуючою методикою статико-динамічного аналізу [14]. Середній час виконання ділянки коду XY_p визначається формулою:

$$\bar{T}(d) = \left[\left(\frac{\tilde{X}_p}{d} L \right) * \frac{d}{K} * \frac{K}{L} + \gamma \frac{d}{K} \left(\frac{K}{L} - 1 \right) \Delta \bar{a} \right] * c = \left[\tilde{X}_p + \gamma \frac{d}{K} \left(\frac{K}{L} - 1 \right) \Delta \bar{a} \right] * c,$$

де \tilde{X}_p – оцінка середнього значення кількості цільових процесорних циклів; d – кількість біт для опрацювання в буферному регістрі; K – кількість біт, що вибираються з буфера за одне звернення; L – розрядність процесорного елемента; $\Delta \bar{a}$ – середня кількість процесорних циклів, що витрачається на внутрішні перетворення у випадку $K \neq L$; c – тривалість одного циклу процесора; γ – коефіцієнт, що його величина залежить від того, обрано послідовне або конвеєрне опрацювання K -розрядного слова.

Підставивши значення оцінки тривалості окремих ділянок коду в (5), та спрощуючи вирази отримаємо:

$$\tau_N = \begin{cases} c \left[(\mu_1 + n \cdot \mu_2 + n) \gamma \frac{d}{K} \left(\frac{K}{L} - 1 \right) \Delta \bar{a} + \left(\sum_{i=1}^{\mu_1} \tilde{X}_{s_i} + n \cdot \sum_{j=1}^{\mu_2} \tilde{X}_{r_j} + n \cdot \tilde{X}_{BR} \right) \right], & \text{якщо } \sum_{i=1}^{\mu_1} \tau_{s_i} < \sum_{j=1}^{\mu_2} \tau_{r_j} \\ c \left[(\mu_2 + n \cdot \mu_1 + n) \gamma \frac{d}{K} \left(\frac{K}{L} - 1 \right) \Delta \bar{a} + \left(\sum_{j=1}^{\mu_2} \tilde{X}_{r_j} + n \cdot \sum_{i=1}^{\mu_1} \tilde{X}_{s_i} + n \cdot \tilde{X}_{BR} \right) \right], & \text{якщо } \sum_{i=1}^{\mu_1} \tau_{s_i} > \sum_{j=1}^{\mu_2} \tau_{r_j} \end{cases} \quad (7)$$

Аналогічно підставляючи значення оцінки тривалості окремих ділянок коду в (6), отримуємо:

$$\tau_N = c \cdot \left[(\mu_1 + \mu_2 + 2) \cdot \gamma \frac{d}{K} \left(\frac{K}{L} - 1 \right) \Delta \bar{a} + \left(\sum_{i=1}^{\mu_1} \tilde{X}_{s_i} + n \cdot \sum_{j=1}^{\mu_2} \tilde{X}_{r_j} \right) + 2 \cdot \tilde{X}_{BR} \right] + (n + D(G)) \cdot \tau_{LINK} \quad (8)$$

Таким чином ми конкретизуємо зміст загальних формул (5, 6), надаючи можливість визначення часу проходження пакета кожною з ділянок шляху між двома обчислювальними вузлами.

5. Визначення мережної складової часових характеристик роботи обчислювального кластера шляхом безпосередніх вимірювань

Частиною формул (7), (8) є інструментальна складова, що визначається експериментальним шляхом, через безпосереднє вимірювання часових параметрів проходження пакетів у дійсній системі. Вихідними даними до експерименту слугує тестовий стенд у складі двох однакових комп'ютерів на базі процесора AMD Athlon X2, з'єднаних мережею Fast Ethernet. На кожному встановлено дистрибутив GNU/Linux з ядром 3.5.7, а середовищем віртуалізації є kvm версії 1.2.0, що в ньому налаштована однопроцесорна віртуальна машина. Гостьовою операційною системою виступає GNU/Linux з ядром 3.6.11, котре дозволяє виконувати трасування та профілювання не лише мережного стеку ядра, а і паравіртуального драйвера virtio_net. Поток пакетів між вузлами створюється за допомогою генератора трафіка iperf.

Класичною методикою вимірювань є фрагментація програмного коду на частини, і впровадження туди спеціальних лічильників, котрі вимірюють час виконання кожного фрагменту. При великій кількості функцій дані операції можуть бути доволі трудомісткими, тому в якості інструмента вимірювання використаємо спеціальний засіб профілювання та трасування ftrace. Ftrace дозволяє проводити динамічне та статичне трасування, а також виконувати профілювання функцій ядра операційної системи з мінімальними накладними витратами, що досягається завдяки повній інтеграції коду ftrace в ядро Linux.

В першому експерименті вимірюємо час, за який окремий пакет переміщується між користувачькими додатками двох віртуальних

машин, розміщених на різних фізичних вузлах. Відстежуємо шлях пакета, та підраховуємо час, який витрачається на його обробку різними рівнями мережного стеку операційної системи кожної віртуальної машини, мережного стеку фізичних вузлів, та у середовищі передачі. Результати вимірювань, а саме тривалість проходження пакета через кожен окремий рівень, такий як паравіртуальний драйвер vhost_net, інтерфейс TUN/TAP та інші, представлені на рис. 1.

Під час другого експерименту обидві віртуальні машини розташовані на одному фізичному вузлі. Спочатку пакет йде шляхом, аналогічним попередньому експерименту, до моменту потрапляння його на інтерфейс TUN/TAP. Далі пакет проходить через віртуальний міст, і опиняється на інтерфейсі TUN/TAP іншої віртуальної машини. Наступний відтинок шляху також повторює відповідний фрагмент попереднього експерименту. Отримані результати проходження пакета через всі ділянки шляху представлені на рис. 2.

У такому випадку з шляху пакета виключено зовнішні лінії передачі, мережний комутатор та мережні інтерфейси фізичних комп'ютерів. Швидкість передачі мережних пакетів при цьому обмежена лише швидкістю процесора, та ефективністю програмної реалізації паравіртуальних драйверів і віртуалізованих пристроїв, таких як віртуальний міст і інтерфейс TUN/TAP.

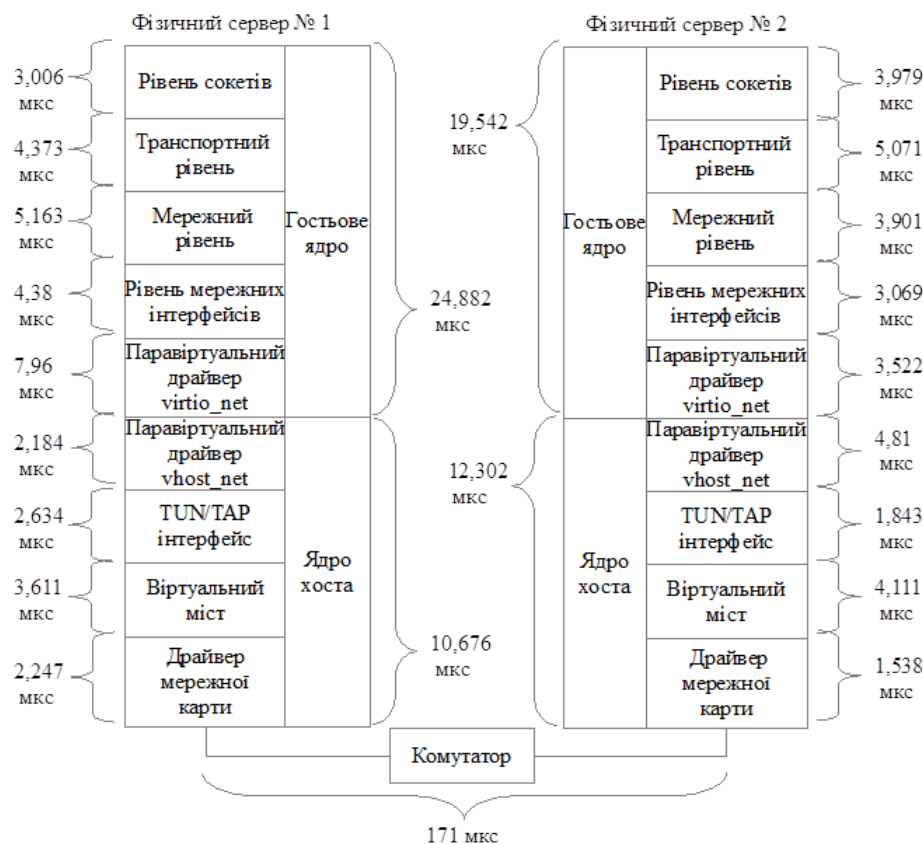


Рис. 1. Проходження пакета між двома віртуальними машинами, розміщеними на різних фізичних вузлах



Рис. 2. Проходження пакета через віртуалізовану мережу у випадку, коли віртуальні машини знаходяться на одному фізичному вузлі

Отримані в двох експериментах дані можуть бути використані для підстановки у вирази (7, 8) в якості часових параметрів. Крім того, ці значення можливо перерахувати для довільної апаратної архітектури, використовуючи відповідні положення статико-динамічного аналізу.

6. Висновки

В даній роботі запропоновано підхід до визначення часових характеристик роботи обчислювального кластера, створеного у віртуальному оточенні. Розглядається варіант розміщення різних віртуальних

машин в межах одного фізичного сервера, а також відображення різних віртуальних машин на різні фізичні вузли.

Існуюча спрощена модель виконання паралельного алгоритму доповнена параметром тривалості обміну даними між вузлами кластера. Також враховано дійсний час виконання елементарних операцій процесорним елементом.

Визначено складові часу затримки взаємодії між обчислювальними вузлами, та в загальному вигляді отримано їх математичне подання. Змістовне наповнення компонент формул конкретизується шляхом використання положень статико-динамічного аналізу програм. Додатково це забезпечує можливість перерахунку часу затримки для довільної апаратної архітектури обчислювальних вузлів.

Частиною отриманих математичних виразів є інструментальна складова, котра визначається через безпосереднє вимірювання часових параметрів проходження пакетів у створеному макеті віртуалізованого кластера. Для двох варіантів побудови макета встановлено тривалість обробки пакета різними рівнями мережного стеку операційної системи кожної віртуальної машини, мережного стеку фізичних вузлів, та час проходження пакета середовищем передачі.

Результати даної роботи можуть бути використані для аргументованого прийняття рішення про переміщення довільної обчислювальної задачі у віртуалізований кластер.

Література

1. Josephs, M. B. Models for Data-Flow Sequential Processes [Text] / M. B. Josephs. – Електрон. дан. – Lecture Notes in Computer Science, 2005. – P. 85–97. – Available at : <http://www.bcim.lsbu.ac.uk/ccsv/josephmb/PreprintOfLNCS3525pp85-97.pdf> doi: 10.1007/11423348_6
2. Kahn, G. The semantics of a simple language for parallel programming [Text] / G. Kahn. – Stockholm.:Proceedings of IFIP Congress 74, 1974. – P. 471–475. – Available at : <http://www.cs.princeton.edu/courses/archive/fall07/cos595/kahn74.pdf>
3. Алгоритмы, математическое обеспечение и архитектура многопроцессорных вычислительных систем / под ред. В. Е. Котова, Й. Миклошко. – М.: Наука, 1982. – 336 с.
4. Ключев, А. О. Программное обеспечение встроенных вычислительных систем [Текст] / А. О. Ключев, П. В. Кустарев, Д. Р. Ковязина, Е. В. Петров. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. – 212 с.
5. Сергиенко, А. М. Пространственный граф синхронных потоков данных [Текст] / А. М. Сергиенко // Вісник НТУУ «КПІ» Інформатика, управління та обчислювальна техніка. – 2009. – № 50. – С. 140–146.
6. Трещев, И. А. Математическая модель гибридной временной волновой системы [Текст] / И. А. Трещев // Системы управления и информационные технологии. – 2007. – № 4 (30). – С. 19–21.
7. Гайтан, Е. Н. О временном представлении теории взаимодействующих процессов Хоара [Текст] / Е. Н. Гайтан // Математичні машини і системи. – 2011. – № 3. – С. 130–134.
8. Хусаинов, А. А. Исследование математической модели параллельных вычислительных процессов методами алгебраической топологии [Текст] / А. А. Хусаинов, В. Е. Лопаткин, И. А. Трещев // Сиб. журн. индустр. матем. – 2008. – Т. 11, № 1. – С. 141–151.

9. Murata, T. Petri Nets: Properties, Analysis and Applications [Text] / T. Murata // Proceedings of the IEEE. – 1989. – Vol. 77, Issue 4. – P. 541–580. – Available at: <http://www.cs.unc.edu/~montek/teaching/spring-04/murata-petrinets.pdf> doi: 10.1109/5.24143
10. Nielsen, M. Models for concurrency [Text] / M. Nielsen, G. Winskel. – Aarhus.: Preprint DAIMI PB-429, 1993. – 187 p.
11. Воеводин, В.В. Математические модели и методы в параллельных процессах [Текст] / В. В. Воеводин. – М.: Наука, 1986. – 296 с.
12. Гергель, В. П. Основы параллельных вычислений для многопроцессорных вычислительных систем [Текст] : уч. пос. / В. П. Гергель, Р. Г. Стронгин. – Новгород.: ННГУ, 2001. – 184 с. – Режим доступа: <http://hpc.icc.ru/documentation/unn/gergel.pdf>
13. Bertsekas, D. P. Parallel and Distributed Computation: Numerical Methods [Text] / D. P. Bertsekas, J. N. Tsitsiklis. – Belmont: Athena Scientific, 2003. – 730 p.
14. Топорков, В. В. Модели распределенных вычислений [Текст] / В. В. Топорков. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 320 с.

Розглянуто задачу дослідження структурних властивостей нестационарних широкополосних сигналів з метою отримання виміральної інформації про технічний стан об'єкту спостереження. Запропоновано узагальнений алгоритм реалізації методу дослідження для інформаційно-вимірвальних систем на прикладі статистичної моделі вимірального сигналу. Проведено аналіз ефективності застосування методу дослідження

Ключові слова: структурний аналіз, спектральний аналіз, вейвлет-перетворення, інформаційно-вимірвальні системи

Рассмотрена задача исследования структурных свойств нестационарных широкополосных сигналов с целью получения измерительной информации о техническом состоянии объекта наблюдения. Предложен обобщенный алгоритм реализации метода исследования для информационно-измерительных систем на примере статистической модели измерительного сигнала. Проведен анализ эффективности применения метода исследования

Ключевые слова: структурный анализ, спектральный анализ, вейвлет-преобразование, информационно-измерительные системы

УДК 681.3

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.37404

МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НЕСТАЦІОНАРНИХ СИГНАЛІВ У ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

Д. С. Шантир

Кандидат технічних наук

Кафедра автоматизації

експериментальних досліджень

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

E-mail: shantyr@meta.ua

1. Вступ

Найбільш цінною та повною інформацією про технічний стан об'єкту є інформація, що характеризує енергетичні джерела, тому в основі методів отримання виміральної інформації, що рекомендовані нормативними документами, покладено вимірювання та моніторинг енергетичних характеристик (наприклад, потужності енергетичного спектра). Практично ж застосувати ці методи до сигналу отриманого з складного об'єкту неможливо, оскільки вони не дозволяють визначити характеристики окремих елементів, які мають вплив на технічний стан. Однак структура вимірального сигналу має жорсткий зв'язок з процесами у об'єкті спостереження.

Під технічним станом об'єкта мається на увазі наявність чи відсутність відхилень від штатного режиму, ознаками якого є зміни в структурі вимі-

рювального сигналу. Відповідно в основі отримання інформації про технічний стан лежить виявлення, вимірювання та визначення тенденцій розвитку цих змін у часі.

Сучасний рівень розвитку теоретичної бази в області обробки сигналів та інформаційних технологій дозволяє значно збільшити об'єм інформації, що отримується шляхом аналізу змін структурних властивостей вимірального сигналу [1].

Слід також зазначити, що новітні технології проектування, виробництва та експлуатації складних об'єктів мають тенденцію до зменшення значень величин, що характеризують зміни їх технічного стану відносно штатного. Це спричинює підвищення інформаційної прихованості, отже актуальною науковою проблемою залишається задача отримання кількісної інформації про властивості об'єктів дослідження та процесах у них, методами чутливими до малих відносних змін па-