



## ПАРАЛЕЛЬНІ АЛГОРИТМИ ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДНИХ ІЄРАРХІЧНО-МЕРЕЖЕВИХ СИСТЕМ

**Михайло ЯДЖАК**

*Інститут прикладних проблем механіки і математики  
ім. Я. С. Підстригача НАН України, м. Львів, Україна;  
Львівський національний університет  
імені Івана Франка, м. Львів, Україна*

**Вступ.** Складні системи (СС) з ієрархічно-мережевою структурою [1, 2] використовують у різних галузях людської діяльності: на транспорті (транспортні системи країн, великих міст), в енергопостачанні (системи електро-, газо-, нафто- та тепlopостачання), торгівлі (мережі торговельних центрів та виробників і постачальників готової продукції), банківській справі (банківська система країни), освіті (мережі загальноосвітніх і професійно-технічних навчальних закладів і закладів вищої освіти), медицині (державна система охорони здоров'я), військовій справі (збройні сили країни) тощо. Необхідно зазначити, що складність систем тут пов'язана не лише з великою кількістю та різноманіттям типів їх складників (елементів, підсистем різних рівнів ієрархії), але і з характером взаємодій цих складників між собою та випадковим або регулярним впливом на них певних внутрішніх і зовнішніх чинників.

Під час дослідження таких систем зазвичай використовують значні обсяги вхідних даних про стан і процес функціонування їх об'єктів. Крім цього, більшість СС необхідно досліджувати в режимі реального часу, щоб вчасно реагувати на виявлені недоліки для їх повного усунення. У дослідженні [3] запропоновано методика комплексного оцінювання складних ієрархічно-мережевих систем (СІМС), яка поєднує методи локального, прогностичного, агрегованого та інтерактивного оцінювання їх складників. Для ефективної реалізації цієї методики на сучасних обчислювальних засобах необхідно розробляти та досліджувати відповідні паралельні алгоритми обчислень. Далі коротко опишемо розроблені паралельні алгоритми оцінювання.

**Великоблокове розпаралелювання.** У дослідженні [4] запропоновано загальний підхід до оптимізації обчислень під час комплексного оцінювання СІМС на основі розпаралелювання. Він ґрунтується на попередньому опрацюванні в режимі реального часу вхідних даних та одночасному виконанні блоків із заданих сукупностей. Залежно від типу СС та кінцевої мети оцінювання, можуть аналізувати всі або лише деякі з виокремлених сукупностей блоків обчислень. Для кожного з наборів блоків здійснюють великоблокове розпаралелювання. У цьому разі алгоритм є сукупністю повністю автономних або слабозв'язаних паралельних гілок, кожна з яких має значний обсяг. Зазначимо, що залежно від конкретної задачі оцінювання, окремі набори блоків можна виконувати одночасно. Запропоновано відповідні алгоритмічні конструкції для організації паралельних обчислень та одержано оцінки прискорення, які підтверджують їх високу ефективність. Для подальшого зменшення часу обчислень є можливість їх розпаралелювання в межах кожного з виділених блоків під час локального оцінювання елементів, агрегованого оцінювання елементів і підсистем, прогнозування оцінок і поведінки характеристик та інтерактивного оцінювання об'єктів системи.

**Локальне оцінювання елементів.** У праці [5] запропоновано паралельно-последовний спосіб оптимізації процедури локального оцінювання за заданим параметром характеристики елемента СІМС. Побудовано паралельні алгоритми оцінювання у разі відсутності будь-яких обмежень на обчислювальні ресурси (обсяг пам'яті, кількість процесорів (ядер), вузлів кластера; продуктивність комунікаційного

середовища) і коли такі обмеження існують. Для обчислення значень параметрів локального оцінювання застосовано схему, близьку до повного бінарного дерева. Одержано оцінки прискорення, що підтверджують ефективність запропонованих паралельних алгоритмів.

### **Агреговане та прогностичне оцінювання складників системи.**

На підставі аналізу методики агрегованого оцінювання поведінки деякої характеристики системи, що функціонує в заданому режимі, у дослідженні [6] для розпаралелювання обчислень побудовано дерево аналізу, яке має чотири яруси. У вершинах кожного ярусу обчислюють оцінки певного рівня узагальнення (локальні, 1–3 рівня). Для розпаралелювання обчислень під час оцінювання процесу функціонування СІМС загалом пропонують використати дерево, що має три яруси. У ньому обчислення в кожній з вершин першого ярусу можна подати деревом, описаним вище. У вершинах другого ярусу обчислюють зважені оцінки 4 рівня узагальнення, а у вершині третього ярусу – оцінку процесу функціонування системи. На основі згаданих дерев запропоновано ефективні алгоритмічні конструкції для виконання паралельних обчислень.

Стосовно прогностичного оцінювання можна сказати, що загалом прогнозують як поведінку характеристик об'єктів системи, так і самі оцінки (локальні, агреговані, інтерактивні). Для паралельного виконання процедури прогностичного оцінювання запропоновано паралельний алгоритм з  $p$  автономними гілками. У разі однакової обчислювальної складності гілок його прискорення набуває свого оптимального значення, тобто є близьким до  $p$ .

**Інтерактивне оцінювання об'єктів СІМС.** Інтерактивне оцінювання здійснюють на рівні аналізу взаємодії таких складників СІМС, як потоки й лінія, що є послідовністю вузлів і ребер. Основною метою цього оцінювання є виявлення й локалізація саме регулярних негативних чинників, які зумовлюють відхилення від встановленого графіка руху потоків. У праці [7] формалізовано процедуру інтерактивного оцінювання об'єктів СІМС, яка складається з п'яти кроків, на кожному з яких обчислюють оцінки вузлів і ребер, починаючи від локальних і закінчуючи оцінкою 4 рівня узагальнення. Для реалізації такої процедури побудовано паралельні алгоритми. Одержано оцінки прискорення, що підтверджують доцільність застосування цих алгоритмів.

Розроблені паралельні алгоритми оцінювання орієнтовані на реалізацію на обчислювальних засобах універсального призначення зі спільною та розподіленою пам'яттю.

**Висновок.** Запропоновано ефективні паралельні алгоритми для комплексного оцінювання СІМС на сучасних обчислювальних засобах (комп'ютерах із багатоядерними процесорами, кластерах, гібридних архітектурах, високопродуктивних обчислювальних середовищах тощо). Одержані результати можуть бути використані для дослідження в режимі реального часу об'єктів природних і штучних СС, які мають ієрархічно-мережеву структуру.

**Ключові слова:** складна система, ієрархічно-мережева структура, оцінювання, агрегація, прогнозування, паралельний алгоритм, прискорення.

## Список використаних джерел

1. Polishchuk O. Issues of regional development and evaluation problems / O. Polishchuk, D. Polishchuk, M. Tyutyunnyk, M. Yadzhak // AASCIT Communications. – 2015. – 2(4). – P. 115–120.
2. Бербюк В. Є. Параметрична оптимізація ходи та пружних характеристик пасивних приводів двоногого крокуючого робота / В. Є. Бербюк, М. В. Демидюк, Б. А. Литвин // Вісник Київського університету. Серія: Кібернетика. – 2002. – № 3. – С. 17–20.
3. Поліщук Д. О. Комплексне детерміноване оцінювання складних ієрархічно-мережевих систем. Частина I. Опис методики / Д. О. Поліщук, О. Д. Поліщук, М. С. Яджак // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2015. – № 1. – С. 21–31.
4. Яджак М. С. Оптимізація методики комплексного оцінювання складних систем на підставі паралельних обчислень / М. С. Яджак, О. Д. Поліщук, М. І. Тютюнник // Інформатика та математичні методи в моделюванні. – 2016. – № 4. – С. 347–356.
5. Поліщук О. Д. Організація паралельних обчислень для локального оцінювання якості функціонування складних систем / О. Д. Поліщук, М. І. Тютюнник, М. С. Яджак // Відбір і обробка інформації. – 2010. – Вип. 32(108). – С. 119–124.
6. Поліщук О. Д. Оцінка якості функціонування складних систем на основі паралельної організації обчислень / О. Д. Поліщук, М. І. Тютюнник, М. С. Яджак // Відбір і обробка інформації. – 2007. – Вип. 26(102). – С. 121–126.
7. Поліщук О. Д. Мережеві структури та системи: IV. Паралельне опрацювання результатів неперервного моніторингу / О. Д. Поліщук, М. С. Яджак // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2019. – № 2. – С. 105–114.