

УДК (UDC) 65.0(075.8)

Мороз
Ольга Юрївна

старший викладач кафедри теоретичної та прикладної системотехніки факультету комп'ютерних наук; Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, майдан Свободи, 6, м. Харків, Україна, 61022, e-mail: o.moroz@karazin.ua
<https://orcid.org/0000-0002-4920-4093>.

Технологія семантико-числової верифікації часопараметризованих паралельних програм для інформаційних і управляючих систем

У статті проведено аналіз останніх досягнень та публікацій з використання часопараметризованих мультипаралельних програм у сфері високоефективних інформаційних технологій та інформаційних і керуючих систем. Об'єктом дослідження є методи автоматичного програмування часопараметризованих мультипаралельних програм, які можуть обробляти великі обсяги даних за короткий час. Стаття передбачає визначення часопараметризованих мультипаралельних програм як конструкцій, що відповідають специфікації об'єктів даних, операцій/функцій, статичних зв'язків, впорядкованості операцій/функцій у динаміці паралельного обчислювального процесу, розділення на часові фрагменти, розбиття команд на підмножини та інформацію про фізичні величини. даних.

Предметом дослідження є ефективність використання технологій верифікації часопараметризованих мультипаралельних програм, зокрема застосування формату структури семантико-числової специфікації, що дозволяє формалізувати та автоматизувати процес верифікації. Розроблена технологія семантико-числової верифікації часопараметризованих паралельних програм для інформаційних і управляючих систем забезпечує перевірку синтаксичної та часової коректності формального синтезу структур семантико-числової специфікації.

У статті також представлена концептуальна модель технології верифікації часопараметризованих паралельних програм для інформаційних і керуючих систем. Основою для підтримки автоматичного характеру верифікації є формовані на всіх етапах синтезу структури семантико-числової специфікації. Формальний характер процесів верифікації часопараметризованих мультипаралельних програм заснований на побудові їх математичних моделей у термінах теорії множин. Робота сприятиме подальшому розвитку досліджень у сфері часопараметризованих мультипаралельних програм та забезпечення

Ключові слова: технології паралельного програмування, паралельні обчислювальні системи, часопараметризована мультипаралельна програма, модель технології верифікації, технологія семантико-числової верифікації.

Як цитувати: Мороз О. Ю. Технологія семантико-числової верифікації часопараметризованих паралельних програм для інформаційних і управляючих систем. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна, сер. «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління»*. 2022. випуск. 55. С.32-37. <https://doi.org/10.26565/2304-6201-2022-55-03>

How to quote: Moroz O. Yu. Technology of semantic-numerical verification of time-parameterized parallel programs for information and control systems." *Bulletin of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Mathematical modelling. Information technology. Automated control systems*, vol. 55. P.32-37. 2022. <https://doi.org/10.26565/2304-6201-2022-55-03>

1. Аналіз останніх досягнень і публікацій. Постановка проблеми.

В наш час науково-технічний прогрес характеризується швидким розвитком нових перспективних напрямків науки, техніки та виробництва, таких як: дослідження космосу, атомної енергетики, телекомунікації, криптографії, розвитку медицини та генної інженерії, «інтелектуальної» робототехніки, управління складними системами в реальному часі та ін. Задля успішного рішення цих задач необхідне використання високоефективних інформаційних технологій (ІТ) та інформаційних і управляючих систем (ІУС), невід'ємними компонентами яких є програмне та технічне забезпечення, а також бази даних.

Для збільшення обсягів оброблюваних даних та зменшення часу на саму обробку все частіше застосовують паралельні програми. Аналіз літератури показує, що одним з перспективних напрямів розвитку технологій паралельного програмування є дослідження в області автоматичного програмування часопараметризованих мультипаралельних програм [1–3].

Часопараметризована мультипаралельна програма визначається що містить в явному виді специфікації наступних категорій інформації:

□ множини об'єктів – даних, над якими повинні виконуватися дії (що задаються складом операцій/функцій алгоритмічної мови високого рівня);

- множини дій (операцій/функцій), які мають бути виконані над даними для вирішення завдання;
- множини статичних зв'язків, що задають стосунки впорядкованості операцій/функцій за даними і по управлінню;
- впорядкованість операцій/функцій в динаміці паралельного обчислювального процесу, що задається множиною моментів часу початку виконання операцій/функцій;
- розділення множини операцій/функцій на часові фрагменти (множинні часові оператори, МВО), що включають сукупність операцій/функцій, виконання яких починається одночасно в конкретний момент дискретного часу;
- розділення множини даних фрагменти даних, поставлені в однозначну відповідність множинним часовим операторам і використовувані у відповідні моменти дискретного часу;
- наявність інформації про розбиття множини команд різних фрагментів на підмножини (нитки), що виконуються відповідними модулями/процесорами;
- наявність інформації про одиниці виміру фізичних величин даних.

Новизна класу часопараметризованих мультипаралельних програм робить необхідним рішення наукової задачі розробки нових технологій верифікації, орієнтованих на застосування формату структур семантико-числової специфікації [4–6], що дозволяє формалізувати процес верифікації та автоматизувати його.

2. Дослідження та результати

На рис. 1 представлено концептуальну модель технології верифікації часопараметризованих паралельних програм для ІУС

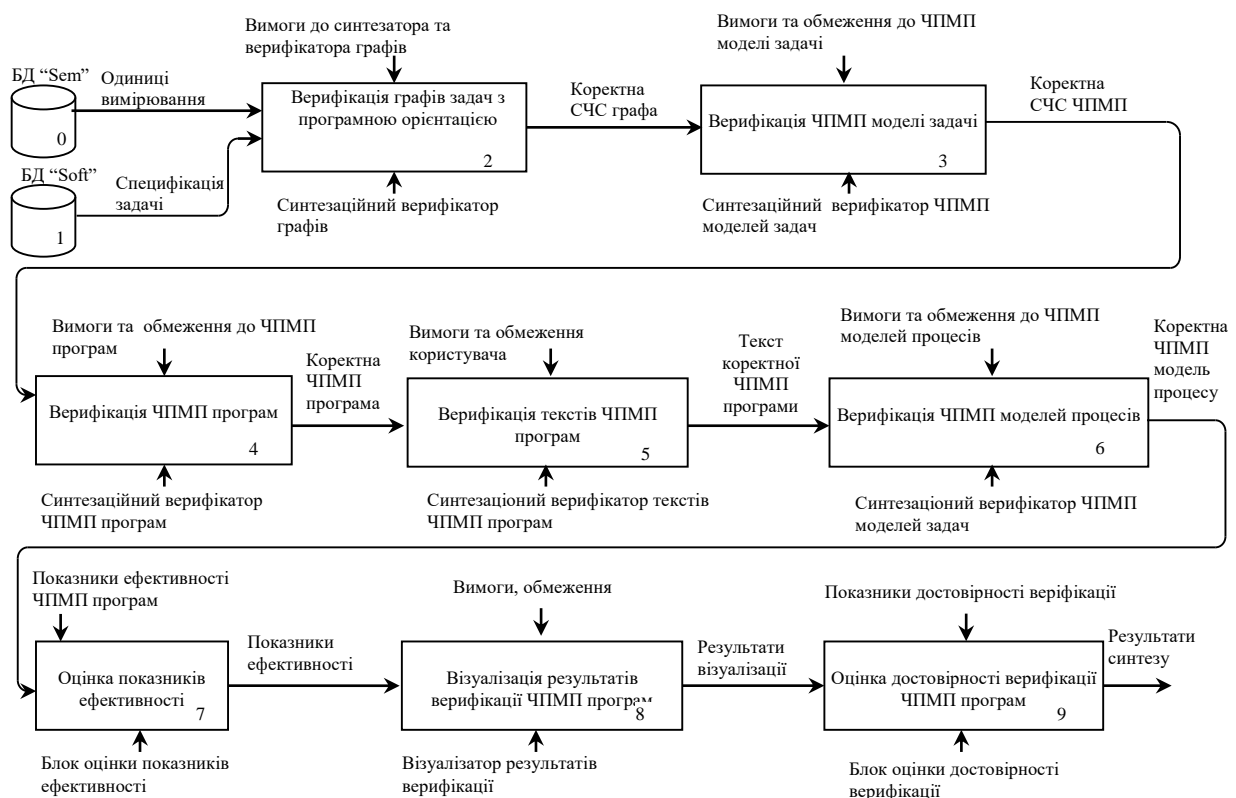


Рис. 1. Концептуальна модель технології верифікації часопараметризованих паралельних програм для ІУС.

Вхідними даними, які використовуються технологією для верифікації паралельних програмних засобів є:

- тексти послідовних програм завдань ІУС, для яких синтезуються часові паралельні програми;

–склад типів даних, операторів або функцій мови програмування високого рівня (наприклад, Сі) та процедур обміну повідомленнями;

–бібліотека тривалості виконання (у процесорних тактах) операторів або функцій процесорами різних типів (наприклад, суперскалярного типу).

До основних компонентів архітектури технології верифікації часопараметризованих паралельних програм відносяться наступні.

Зберігання одиниць вимірювання фізичних величин, які використовуються для перевірки семантичної коректності формального синтезу програмних засобів паралельних обчислювальних систем зберігається в базі даних «*Sem*» (символ 0, рис.1).

Синтезаційний верифікатор графів, представлений символом 2 (рис.1), здійснює синтез семантико-числової специфікації графів задач та їх верифікацію. Забезпечується проведення компіляційно-семантичної (CSV) та декомпіляційно-семантичної (DSV) верифікації графів вихідних програм задач та структур їх семантико-числової специфікації.

В більш деталізованому вигляді структура Синтезаційного верифікатора графів представлена на рис.2.

Результатами роботи синтезаційного верифікатора графів є:

- коректна, с точки зору верифікації, семантико-числова специфікація (СЧС) вихідного тексту послідовної програми;
- графічна специфікація вихідної послідовної програми.

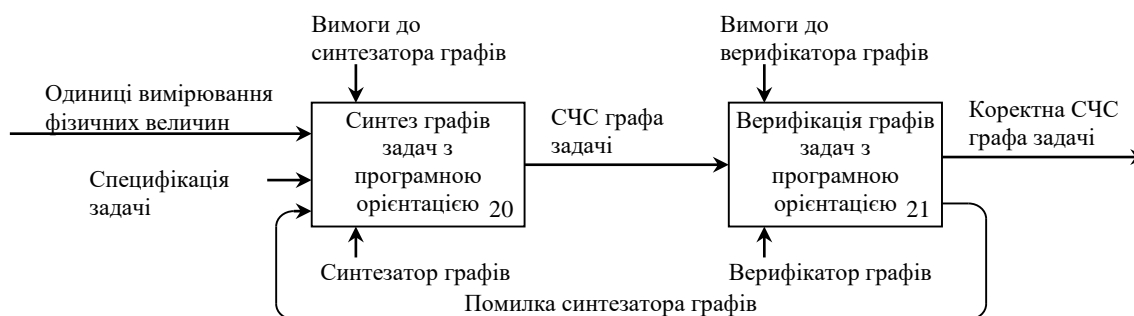


Рис.2. Синтезаційний верифікатор графів.

Синтезаційний верифікатор ЧПМП моделей задач (символ 3, рис.1) здійснює формальний синтез часових мультипаралельних моделей вихідних послідовних програм, синтезованих з урахуванням характеристик архітектури паралельних обчислювальних систем (ОС) і заданих вимог, та їх верифікацію. Структура синтезаційного верифікатора ЧПМП моделей задач представлена на рис. 3. Верифікатор забезпечує компіляційно-семантичну (CSV) та декомпіляційно-семантичну (DSV) верифікацію часових мультипаралельних моделей вихідних послідовних програм, орієнтованих на конкретні класи ОС та задані вимоги.

Результатом роботи синтезаційного верифікатора ЧПМП моделей задач є коректна семантико-числова специфікація часопараметризованої архітектурно-орієнтованої моделі вихідної послідовної програми.

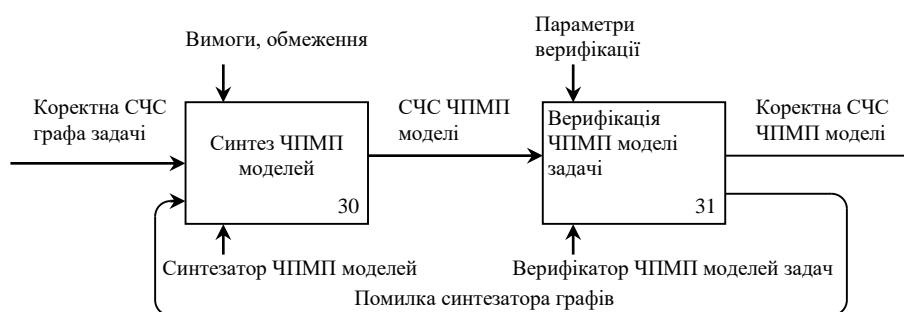


Рис.3 Синтезаційний верифікатор ЧПМП моделей задач

Синтезаційний верифікатор ЧПМП програм (символ 4, рис.1) проектує ЧПМП програму з урахуванням вимог та обмежень замовника та класу паралельної обчислювальної системи на основі часпараметризованої архітектурно-орієнтованої моделі вихідної послідовної програми, яка представлена відповідними коректними семантико-числовими специфікаціями. В ході виконання етапу також забезпечується компіляційно-семантична та декомпіляційно-семантична верифікація структур семантико-числової специфікації синтезованих ЧПМП програм. На рис.4 представлено структуру синтезаційного верифікатора ЧПМП програм.

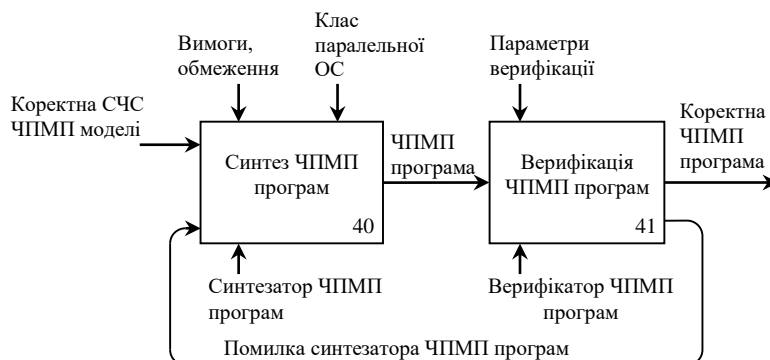


Рис.4 Синтезаційний верифікатор ЧПМП програм

Верифіковані тексти часопараметризованих мультипаралельних програм та часові моделі їх виконання з урахуванням вимог та обмежень, які задаються користувачами, автоматично синтезуються верифікатором текстів ЧПМП програм (символ 5, рис.1). Даний етап також забезпечує декомпіляційно-семантичну верифікацію текстів синтезованих часових мультипаралельних програм (з урахуванням типів та розмірностей даних, складу обчислювальних та керуючих операторів/функцій, засобів обміну даними та операторів часової синхронізації процесів). Структуру синтезаційного верифікатора текстів ЧПМП програм представлено на рис. 5.

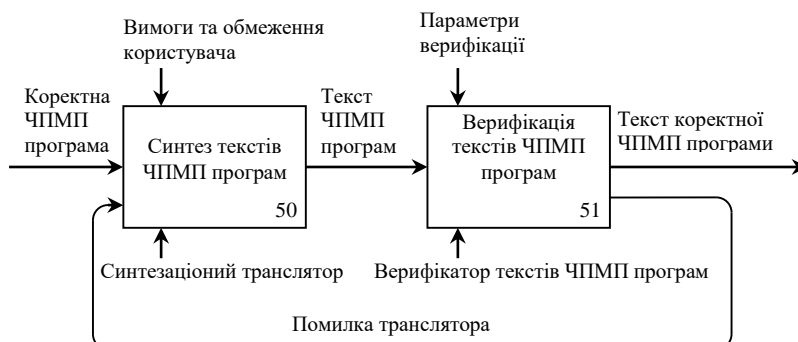


Рис.5 Синтезаційний верифікатор текстів ЧПМП програм

Синтезатор моделей процесів виконання ЧПМП програм (символ 6, рис.2) забезпечує синтез множини моделей процесів, що задовольняють вимогам та обмеженням замовника, а також компіляційно-семантичну (CSV) декомпіляційно-семантичну (DSV) верифікацію часових моделей. На рис.6 представлено структуру синтезаційного верифікатора ЧПМП моделей процесів.

Одним з важливіших етапів розробки паралельних програм є оцінка показників їх ефективності. Блок оцінки показників ефективності ЧПМП програм здійснює розрахунок показників ефективності паралельних алгоритмів та програм: часу паралельної реалізації програми (Траг), прискорення (Sp), ефективності (Ef) залежно від кількості паралельних процесорних елементів (символ 7, рис.1).

Візуалізатор результатів верифікації (символ 8, рис.1) забезпечує зручну для користувачів наочну форму представлення вихідних результатів технології верифікації ЧПМП програм.

Оцінка достовірності верифікації ЧПМП програм є останнім етапом розробленої технології. Він забезпечує генерацію операторів – «дефектів» – зовнішніх впливів різних типів, що спотворюють відповідні статичні і часові елементи семантико-числових і графічних специфікацій об'єктів, що верифікуються, і виконує оцінку достовірності, як відношення кількості виявлених дефектів до кількості дефектів, фактично введених у паралельну програму (символ 9, рис.1).

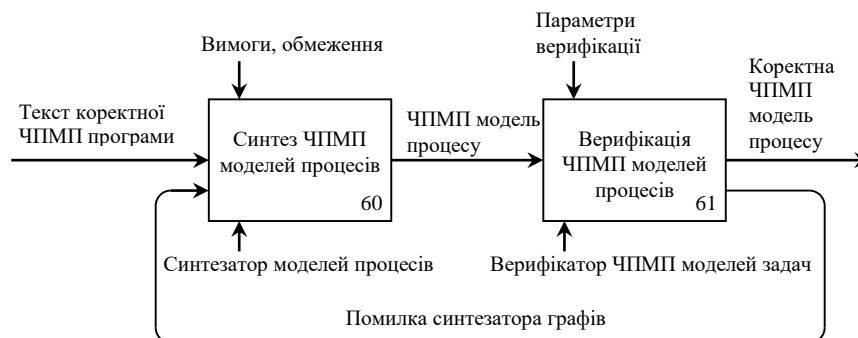


Рис.6 Синтезаційний верифікатор ЧПМП моделей процесів

Висновки.

1. Розроблена технологія семантико-числової верифікації часопараметризованих паралельних програм для ІУС забезпечує перевірку синтаксичної та часової коректності формального синтезу структур семантико-числової специфікації перерахованих вище об'єктів верифікації в динаміці проектування цих об'єктів з одночасною перевіркою збігу одиниць вимірювання фізичних величин, отриманих та одиниць вимірювання вхідних та вихідних даних задачі, що задаються користувачами.

2. Вихідними даними та основою для підтримки автоматичного характеру верифікації є формовані на всіх етапах синтезу структури семантико-числової специфікації (послідовних програм задач; часових паралельних моделей задач; часопараметризованих паралельних програм).

3. Формальний характер процесів верифікації часопараметризованих мультипаралельних програм заснований на побудові їх математичних моделей у термінах теорії множин, використанні для специфікації об'єктів статичних і часових структур семантико-числової специфікації та на формальних перетвореннях структур СЧС (і об'єктів, що їх представляють) з використанням бібліотеки операцій алгебри просторово-часової семантико-числової специфікації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Семеренко В. П. Технології паралельних обчислень : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2018. 104 с.
2. Кузьма К.Т., Мельник О.В. Паралельні та розподілені обчислення: навчальний посібник для вищих закладів освіти. Миколаїв : ФОП Швець В. М., 2020. 172 с.
3. Коцовський В. М. Теорія паралельних обчислень: навчальний посібник. Ужгород: ПП «АУТДОР-Шарк», 2021. 188 с.
4. Дорогий Я. Ю., Цуркан В. В. Огляд методів верифікації параметризованих моделей. Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова. Миколаїв : НУК, 2020. № 1 (479). С. 82–90. URI <http://eir.nuos.edu.ua/handle/123456789/3802>.
5. Толстолузький Є.Д., Бердніков А.Г., Будько В.В., Толстолузька О. Г., Мороз О. Ю. Розробка та верифікація СЧС моделі мережевого планування. Вісник Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління». 2021. Вип. 51. С.81–86. <https://doi.org/10.26565/2304-6201-2021-51-09>
6. Ольга Мороз, Олена Толстолузька, Використання методів формального синтезу та верифікації паралельних часопараметризованих моделей для рішення системи лінійних рівнянь

методом Гауса , Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління». 2021. Вип 52 С. 52–70. <https://doi.org/10.26565/2304-6201-2021-52-07>.

REFERENCES

1. Semerenko V.P. Technologies of parallel computing: study guide. Vinnytsia: VNTU, 2018. 104p. [in Ukrainian].
2. Kuzma K.T., Melnyk O.V. Parallel and distributed computing: a textbook for higher education institutions. Mykolaiv: FOP Shvets V. M., 2020. 172 p. [in Ukrainian].
3. Kotsovsky V. M. The theory of parallel computing: a textbook. Uzhhorod: PE "AUTDOR-Shark", 2021. 188 p. [in Ukrainian].
4. Dorogy Y.Yu., Tsurkan V.V. Review of methods of verification of parameterized models. Collection of scientific works of the Admiral Makarov National Shipbuilding University. Mykolaiv: NUK, 2020. No. 1 (479). P. 82–90. [in Ukrainian] URL: <http://eir.nuos.edu.ua/handle/123456789/3802>. (Last accessed: 28.11.2022).
5. Tolstoluzkyi, Y., Berdnikov, A., Budko, V., Tolstoluzhskaya, E., & Moroz, O. (2021). Development and verification of SCS network planning model. Bulletin of V.N. Karazin Kharkiv National University, Series «Mathematical Modeling. Information Technology. Automated Control Systems», 51, P. 81–86. [in Ukrainian] URL: <https://doi.org/10.26565/2304-6201-2021-51-09> (Last accessed: 23.10.2022).
6. Moroz, O., & Tolstoluzka, O. (2021). Using the methods of formal synthesis and verification of parallel time-parameterized models for solving the system of linear equations by Gaussian elimination. Bulletin of V.N. Karazin Kharkiv National University, Series «Mathematical Modeling. Information Technology. Automated Control Systems», 52, P.52–70. [in Ukrainian] URL: <https://doi.org/10.26565/2304-6201-2021-52-07>. (Last accessed: 20.11.2022).

Moroz Olha

Senior lecturer of the Department of Theoretical and Applied Systems Engineering, Faculty of Computer Science; VN Karazin Kharkiv National University, 6 Svobody Square, Kharkiv, Ukraine, 61077

Technology of semantic-numerical verification of time-parameterized parallel programs for information and control systems

The article analyzes the publications and the latest advancements in the usage of time-parameterized multi-parallel programs in the field of highly effective information technologies, as well as, information and control systems. The object of research is the methods of automatic programming of time-parameterized multi-parallel programs that can process large volumes of data in a short time. The article provides for the definition of time-parameterized multiparallel programs as constructions that correspond to the specification of data objects, operations/functions, static relationships, ordering of operations/functions in the dynamics of a parallel computing process, division into time fragments, division of commands into subsets, and the information about physical data values.

The subject of the study is the effectiveness of using technologies of verification of time-parameterized multi-parallel programs, in particular, using the semantic-numerical specification structure format, that allows formalizing and automating the verification process. The developed technology of semantic-numerical verification of time-parameterized parallel programs for information and control systems provides verification of the syntactic and temporal correctness of the formal synthesis of semantic-numerical specification structures.

The article also presents the conceptual model of the verification technology of time-parameterized parallel programs for information and control systems. The basis for supporting the automatic nature of verification is the semantic-numerical specification structure formed at all stages of synthesis. The formal nature of the verification processes of time-parameterized multiparallel programs is based on the construction of their mathematical models in terms of set theory.

The article will contribute to the further development of research in the field of time-parameterized multiparallel programs.

Keywords: parallel programming technologies, parallel computing systems, time-parameterized multi-parallel program, verification technology model, semantic-numerical verification technology.