

АНОТАЦІЯ

Мороз О. Ю. Інформаційна технологія верифікації паралельних часопараметризованих програм інформаційних управляючих систем. –

Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки (Галузь знань 12 – Інформаційні технології). – Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Міністерства освіти і науки України, Харків, 2023.

Дисертація присвячена верифікації паралельних програм для інформаційних управляючих систем, що є складною та важливою задачею з багатьма проблемами та викликами.

В першому розділі розглядаються особливості процесу верифікації паралельних програм інформаційних управляючих систем. Наводиться стислий огляд публікацій за темою дисертації, робиться аналіз проблемних питань з верифікації паралельних програм, опис методів верифікації паралельних програм інформаційних управляючих систем: експертизи програмного забезпечення, статичного аналізу, динамічних та формальних методи верифікації; наводяться переваги та недоліки цих методів. Описані найпоширеніші інструментальні засоби верифікації програм з підтримкою паралельних обчислень. Приділено увагу, що на сьогодні необхідність високої ефективності паралельного програмного забезпечення інформаційних управляючих систем вимагає суттєвого розширення складу факторів, що враховуються при формальній розробці часопараметризованих мультипаралельних програм інформаційних управляючих систем.

Акцентовано, що верифікація мультипаралельних часопараметризованих програм має три складові: компіляційна верифікація; декомпіляційна верифікація та семантична верифікація. Компіляційна верифікація забезпечує перевірку синтаксичної та часової коректності формального синтезу структур семантико-числової специфікації,

декомпіляційна верифікація забезпечує перевірку логічної еквівалентності синтезованих мультипаралельних програм та текстів вхідних послідовних програм після завершення всіх етапів синтезу, а семантична верифікація полягає у перевірці збігу одиниць вимірювання фізичних величин, отриманих на основі формального синтезу часопараметризованих мультипаралельних програм інформаційних управляючих систем та одиниць вимірювання вхідних та вихідних даних, що задаються користувачами. Сформовано сучасні вимоги до суттєвого розширення складу факторів, що враховуються при формальній розробці часопараметризованих мультипаралельних програм інформаційних управляючих систем.

Формулюється задача дисертаційного дослідження, як розробка інформаційної технології верифікації паралельних часопараметризованих програм інформаційних управляючих систем з метою підвищення її ефективності за рахунок застосування компіляційної, декомпіляційної та семантичної верифікації на основі семантико-числових специфікацій. Для вирішення поставленої науково-прикладної задачі вирішено розробити ряд методів, а саме: метод компіляційної верифікації паралельних часопараметризованих програм для інформаційних управляючих систем; метод декомпіляційної верифікації паралельних часопараметризованих програм для інформаційних управляючих систем; метод семантичної верифікації паралельних часопараметризованих програм для інформаційних управляючих систем.

У другому розділі описано етапи розробки методу компіляційної верифікації паралельних програмних засобів інформаційних управляючих систем. Описані існуючі методи паралельної обробки інформації та їх сутність, показано доцільність використання сукупності методів паралельної обробки інформації при розробці паралельного програмного забезпечення інформаційних управляючих систем.

Дана загальна характеристика методу компіляційної верифікації паралельних програм інформаційних управляючих систем, представлені

основні етапи компіляційної верифікації процесів синтезу часопараметризованих мультипаралельних програм інформаційних управляючих систем. Наведено приклад компіляційної верифікації синтезу часопараметризованої паралельної програми задачі для ілюстрації її застосування. Для візуалізації результатів використовується гістограмне представлення верифікації розподілу множини часових операторів паралельної SMP-моделі по часовим ярусах з більшою деталізацією результатів верифікації, яке відображає результати перевірки коректності розташування часових операторів і множинних часових операторів на часових ярусах для часової моделі і структур семантико-числових специфікацій.

У третьому розділі описано сутність декомпіляційної верифікації часопараметризованих програмних засобів інформаційних управляючих систем. Починаючи з аналізу бінарного коду послідовної програми, проводиться його декомпіляція з метою відновлення вхідного коду. Отриманий вхідний код піддається формальній верифікації за допомогою математичних методів. Відбувається доведення коректності програми, перевірка властивостей безпеки, аналіз відповідності вимогам тощо. Аналізуючи вхідний код програми, можна виявити можливі вразливі місця, дефекти або помилки, що можуть впливати на її безпеку та надійність.

Також у розділі описані етапи постановки задачі декомпіляційної верифікації часопараметризованих паралельних програмних засобів інформаційних управляючих систем. Зокрема представлено структурну схему методу декомпіляційної верифікації часопараметризованих паралельних програмних засобів інформаційних управляючих систем та детальний опис процедур, які реалізують етапи методу.

Наведено приклади застосування методу декомпіляційної верифікації часопараметризованих паралельних програмних засобів інформаційних управляючих систем. Задля цього семантику основних етапів декомпіляційної верифікації паралельних програмних засобів інформаційних управляючих систем пояснено на прикладі паралельно-конвеєрної моделі задачі, яка

синтезована з використанням методу суміщення незалежних операцій і методу конвеєрної обробки інформації. З метою досягнення наочності зміст етапів декомпіляційної верифікації викладається та пояснюється за допомогою текстових і графічних специфікацій об'єктів і дій над ними. Зазначено, що додатковою перевагою методу є здатність перевіряти відповідність отриманого декомпільованого вихідного коду формальній специфікації та вимогам. Це дозволяє переконатися, що програма відповідає поставленим завданням та функціональним вимогам. Отже, метод декомпіляційної верифікації є потужним інструментом для забезпечення коректності та надійності програмного забезпечення. Його застосування може значно підвищити рівень довіри до програм та систем, особливо в умовах зростаючої складності та критичності інформаційних технологій.

У четвертому розділі описано метод семантичної верифікації часопараметризованих мультипаралельних програм, змістовно розглянуті основні етапи методу семантичної верифікації мультипаралельних програм та описано побудову графу, що здійснюється за допомогою засобів візуалізації паралельних апаратно-програмних об'єктів. Представлена концептуальна модель технології верифікації часопараметризованих паралельних програм інформаційних управляючих систем та змістовно описано основні компоненти архітектури технології верифікації. В більш деталізованому вигляді описана структура синтезацийного верифікатора графів та представлено структуру синтезацийного верифікатора текстів часопараметризованих мультипаралельних програм, синтезацийного верифікатора часопараметризованих мультипаралельних моделей процесів та саму структуру синтезацийного верифікатора текстів часопараметризованих мультипаралельних програм, що забезпечує декомпіляційно-семантичну верифікацію текстів синтезованих часових мультипаралельних програм з урахуванням типів та розмірностей даних, складу обчислювальних та керуючих операторів, засобів обміну даними та операторів часової синхронізації процесів.

Обрано показники ефективності технології семантико-числової верифікації інформаційних управляючих систем спрямовані на оцінку точності та надійності результатів верифікації. Оцінка показників ефективності розробленої технології проводилась по цілому ряду практичних прикладних задач. До них можна віднести: метод Гауса для рішення систем лінійних рівнянь великої розмірності, алгоритм адаптивного згладжування і екстраполяції траєкторії, алгоритм цілерозподілу, тощо.

Сукупність отриманих у дисертації нових наукових результатів, позитивна оцінка їхньої достовірності, наукової та практичної значущості дають змогу вважати сформульовану наукову задачу розробки технології верифікації паралельних часопараметризованих програм інформаційних управляючих систем з метою підвищення ефективності верифікації за рахунок застосування компіляційної, декомпіляційної та семантичної верифікації на основі семантико-числових специфікацій, – розв'язаною, а поставлену мету – досягнутою.

Ключові слова: технологія верифікації, методи верифікації, паралельні обчислювальні системи, часопараметризовані паралельні програми, мультипаралельні програми, розподілені системи, верифікація паралельних програм, інформаційні управляючі системи, компіляційна верифікація; декомпіляційна верифікація, семантична верифікація, методи семантико-числових специфікацій, методи формального синтезу, часопараметризована модель алгоритму Гауса.

ABSTRACT

Moroz O. Yu. Information technology for verification of parallel time-parameterized programs of information control systems. – Qualification scholarly paper: a manuscript.

The dissertation submitted for obtaining the Doctor of Philosophy degree in Information Technology: Speciality 122 – Computer science. V. N Karazin Kharkiv National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2023.

The dissertation is devoted to the development and verification of parallel programs for information management systems, which is a complex and important task with many problems and challenges.

The first chapter examines the features of the process of verification of parallel programs of information management systems. It provides a brief overview of publications on the topic of the dissertation, analyzes problematic issues in the verification of parallel programs, describes methods of verification of parallel programs of information management systems: software expertise, static analysis, dynamic and formal verification methods; the advantages and disadvantages of these methods is given. The most common tools for verifying programs with parallel computing support are described. Attention is focused on the fact that today the need for high efficiency of parallel software of information management systems requires a significant expansion of the composition of factors that are taken into account during the formal development of time-parameterized multi-parallel programs of information management systems.

It is emphasized that the verification of multi-parallel time-parameterized programs has three components: compilation verification; decompilation verification and semantic verification. Compilation verification provides checking the syntactic and temporal correctness of the formal synthesis of semantic-numerical specification structures. Decompilation verification provides checking the logical equivalence of synthesized multiparallel programs and input sequential program texts after completion of all stages of synthesis. And semantic verification consists

in verifying the coincidence of the units of measurement of physical quantities obtained on based on the formal synthesis of time-parameterized multi-parallel information management systems programs and units of measurement of input and output data specified by users. Modern requirements for a significant expansion of the composition of factors taken into account during the formal development of time-parameterized multi-parallel information management systems programs have been formed.

The task of the dissertation research is formulated as the development of information technology for the verification of parallel time-parameterized programs of information management systems with the aim of increasing its efficiency due to the application of compilation, decompilation and semantic verification based on semantic-numerical specifications. To solve the scientific and applied problem, it was decided to develop a number of methods, namely: the method of compilation verification of parallel time-parameterized programs for information management systems; method of decompilation verification of parallel time-parameterized programs for information management systems; method of semantic verification of parallel time-parameterized programs for information management systems.

The second chapter describes the stages of development of the method of compilation verification of parallel software tools of information control systems. It describes the existing methods of parallel information processing and their essence, shows the expediency of using a set of methods of parallel information processing in the development of parallel information management systems software.

The general characteristics of the method of compilation verification of parallel programs of information management systems are given, the main stages of compilation verification of the synthesis processes of time-parameterized multiparallel programs of information control systems are presented. An example of compilation verification of the synthesis of a time-parameterized parallel program of the problem is given to illustrate its application.

It is used a histogram representation of the verification of the distribution of multiple time operators of the parallel SMP model on time tiers with greater detail

of the verification results to visualize the results, which displays the results of checking the correctness of the location of time operators and multiple time operators on time tiers for the time model and structures of semantic-numerical specifications.

The third chapter describes the essence of decompilation verification of time-parameterized software tools of information management systems. Starting with the analysis of the binary code of the C-program, it is decompiled in order to restore the input code. The received input code is subjected to formal verification using mathematical methods. Proving the correctness of the program, checking the security properties, analyzing compliance with the requirements, etc. takes place. Analyzing the program's input code can reveal possible vulnerabilities, defects, or errors that could affect its security and reliability.

The chapter also describes the stages of setting the task of decompilation verification of time-parameterized parallel software tools of information management systems. In particular, it presents the structural scheme of the method of decompilation verification of time-parameterized parallel software tools of information management systems and a detailed description of the procedures that implement the stages of the method.

In chapter, there are examples of the application of the method of decompilation verification of time-parameterized parallel software tools of information management systems. For this purpose, the semantics of the main stages of decompilation verification of parallel software tools of information management systems are explained on the example of a parallel-conveyor model of the problem, which is synthesized using the method of combining independent operations and the method of conveyor information processing. In order to achieve clarity, the content of the stages of decompilation verification is explained with the help of text and graphic specifications of objects and actions on them. It is noted that an additional advantage of the method is the ability to check the compliance of the received decompiled source code with the formal specification and requirements. This allows to make sure that the program meets the tasks and functional requirements.

Therefore, the decompilation verification method is a powerful tool for ensuring the correctness and reliability of software. Its application can significantly increase the level of trust in programs and systems, especially in conditions of increasing complexity and criticality of information technologies.

The fourth chapter describes the method of semantic verification of time-parameterized multiparallel programs, reviews the main stages of the method of semantic verification of multiparallel programs meaningfully, and describes the construction of the graph, which is carried out using means of visualization of parallel hardware and software objects. It presents the conceptual model of the verification technology of time-parameterized parallel information management systems programs and describes the main components of the verification technology architecture meaningfully. The structure of the synthesis verifier of graphs is described in more detail. Also, the chapter presents the structure of the synthesis verifier of texts of time-parameterized multiparallel programs, and the synthesis verifier of time-parameterized multiparallel process models, and the structure of the synthesis verifier of texts of time-parameterized multiparallel programs, which provides decompilation-semantic verification of texts of synthesized temporal multiparallel programs, taking into account the types and dimensions of data, composition of computing and control operators, means of data exchange and operators of time synchronization of processes.

To solve the task, it is chosen the indicators of the effectiveness of the technology of semantic-numerical verification of information management systems, aimed at assessing the accuracy and reliability of the verification results. The evaluation of the efficiency indicators of the developed technology was carried out on a number of practical applied problems. These include: the Gaussian method for solving systems of linear equations of large dimensions, the algorithm of adaptive smoothing and extrapolation of the trajectory, the algorithm of target distribution, etc.

The set of new scientific results obtained in the dissertation, a positive assessment of their reliability, scientific and practical significance make it possible

to consider the formulated scientific task of developing a technology for the verification of parallel time-parameterized programs of information management systems in order to increase the effectiveness of verification due to the application of compilation, decompilation and semantic verification based on semantic of numerical specifications, is solved, and the set goal is achieved.

Keywords: *verification technology, verification methods, parallel computing systems, time-parameterized multi-parallel programs, distributed systems, verification of parallel programs, information management systems, compilation verification; decompilation verification, semantic verification, methods of structures of semantic-numerical specifications, methods of formal synthesis, time-parameterized model of the Gaussian algorithm.*