

АНОТАЦІЯ

Ковальчук Д.М. Моделі та методи швидкої обробки даних на основі застосування системи залишкових класів. – 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, 2024.

Дисертація присвячена підвищенню швидкості обробки інформації програмно-апаратними системами і комплексами з елементами штучного інтелекту за рахунок використання моделей та методів швидкої обробки даних на основі застосування системи залишкових класів (СЗК).

В першому розділі аналізуються проблеми побудови програмно-апаратних систем і комплексів з елементами штучного інтелекту. Проведений аналіз можливостей програмно-апаратних систем і комплексів з елементами штучного інтелекту свідчить про те, що вони не задовольняють збільшеним вимогам до швидкості обробки інформації, що обумовлює актуальність дослідження нових моделей і методів.

Проаналізовано сучасний стан та напрями підвищення швидкодії програмно-апаратних систем і комплексів з елементами штучного інтелекту, за рахунок застосування спеціальних технологічних та архітектурних рішень, а також математичних методів для їх застосування в штучному інтелекті (ШІ). Відмічено, що застосування паралельної обробки даних на основі СЗК дозволяє значно підвищити швидкодію операцій обробки даних.

За результатами проведеного аналізу теоретичних основ СЗК визначено основні її переваги над позиційними системами числення (незалежність залишків, що дає можливість розпаралелення процесу обчислень; рівноправність залишків, що дає можливість підвищити відмовостійкість програмно-апаратних систем і комплексів з елементами штучного інтелекту та малорозрядність залишків, що дає можливість підвищити швидкодію

програмно-апаратних систем і комплексів з елементами штучного інтелекту) та її недоліки (труднощі при виконанні операції порівняння та ділення чисел, визначення переповнення допустимого діапазону), обґрунтовано необхідність використання СЗК в операційних пристроях програмно-апаратних систем і комплексів з елементами штучного інтелекту.

Формулюються задачі дисертаційного дослідження: удосконалення методу додавання та віднімання залишків чисел по модулю СЗК; удосконалення методу табличної реалізації множення двох залишків чисел за рахунок можливості виконання операції в комплексній області; удосконалення математичної моделі процесу піднесення залишків цілих чисел до довільного ступеня натурального в СЗК; практичне підтвердження працездатності та вірогідності розроблених моделей і методів. Які будуть вирішуватись в наступних розділах дисертаційної роботи.

У другому розділі дістав подальший розвиток метод додавання і віднімання залишків чисел по модулю СЗК, який враховує конструкції суматорів по модулю з величиною корекції $\Delta Q_R > 0$.

Розроблена HDL-модель суматора по модулю $m_i = 17$ на мові Verylog. Розроблена суматора по модулю $m_i = 17$ в середовищі Quartus II.

Розглянуті приклади та результати моделювання реалізації методу модульного додавання для різних значень x_i і y_i по модулю m_i СЗК, підтверджують практичну реалізованість запропонованого методу.

Розроблена HDL-модель виконання операції віднімання на суматорі по модулю $m_i = 17$ на мові Verylog та структурна схема в середовищі Quartus II.

Розглянуті приклади та результати моделювання реалізації операції віднімання $(x_i - y_i) \bmod m_i$ по модулю m_i СЗК для різних залишків x_i і y_i , підтверджують практичну реалізованість запропонованого методу.

У третьому розділі вдосконалено метод табличної реалізації множення двох залишків чисел в системі залишкових класів за рахунок можливості виконання операції в комплексній області, на основі використання першої фундаментальної теореми Гауса про ізоморфізм між множиною дійсних і

комплексних чисел, що підвищує швидкодію реалізації операції множення в системі залишкових класів.

Вдосконалено математичну модель процесу піднесення цілих чисел до довільного степеня натурального числа в СЗК за рахунок можливості виконання операції піднесення цілих чисел до степеня, як у додатному, так і в від'ємному числових діапазонах, що підвищує швидкодію реалізації операції піднесення цілих чисел до степеня в системі залишкових класів.

Результати комп'ютерного моделювання середовищі Microsoft Visual Studio 2015 підтверджують практичну реалізованість запропонованого методу.

Четвертий розділ присвячено розробці операційного пристрою програмно-апаратних систем і комплексів з елементами штучного інтелекту, що функціонують в системі залишкових класів та проведенню аналізу швидкодії обробки даних в позиційній системі числення та системі залишкових класів.

Розроблено операційний пристрій програмно-апаратних систем і комплексів з елементами штучного інтелекту, що функціонує в системі залишкових класів.

В основу винаходу операційного пристрою програмно-апаратних систем і комплексів з елементами штучного інтелекту, що функціонують в системі залишкових класів, поставлено мету: розширити функціональні можливості наявного вже операційного пристрою. Розширення можливостей операційного пристрою досягається завдяки тому, що, крім виконання операції додавання залишків чисел x_i і y_i по модулю m_i СЗК, пристрій ще додатково виконує операцію модульного віднімання $(x_i - y_i) \bmod m_i$ в СЗК.

Пристрій функціонує у двох режимах роботи. В першому режимі знаходиться результат операції додавання залишків чисел $(x_i + y_i) \bmod m_i$ по модулю m_i СЗК. А у другому режимі знаходиться результат операції віднімання $(x_i - y_i) \bmod m_i$ по модулю m_i СЗК.

Наведено приклади виконання операцій додавання $(x_i + y_i) \bmod m_i$ і віднімання $(x_i - y_i) \bmod m_i$ залишків чисел по модулю СЗК, що підтверджує практичну можливість використання запропонованого винаходу операційного пристрою програмно-апаратних систем і комплексів з елементами штучного

інтелекту в СЗК.

Проведено розрахунок та порівняльний аналіз швидкодії обробки даних програмно-апаратних систем і комплексів з елементами штучного інтелекту у СЗК для математичної моделі штучного нейрону.

Розрахунки та порівняльна оцінка швидкодії, проведені в дисертаційній роботі, показали, що зі збільшенням розрядності сітки програмно-апаратних систем і комплексів з елементами штучного інтелекту ефективність застосування непозиційної системи числення в СЗК значно зростає.

Сукупність отриманих у дисертації нових наукових результатів, позитивна оцінка їхньої достовірності, наукової та практичної значущості дають змогу вважати сформульовану наукову задачу підвищення швидкості обробки інформації програмно-апаратними системами і комплексами з елементами штучного інтелекту за рахунок використання моделей та методів швидкої обробки даних на основі застосування системи залишкових класів, – розв'язаною, а поставлену мету – досягнутою.

***Ключові слова:** комп'ютерні системи, комп'ютерні компоненти, швидкодія обробки даних, математична модель, моделі та методи швидкої обробки даних, система залишкових класів, китайська теорема про залишки, двійковий однорозрядний суматор, суматор по модулю, табличний принцип обробки даних, кодування, код табличного множення, паралельний принцип обробки даних, цифрові пристрої, мова опису апаратних засобів, моделювання, інформаційна достовірність, моделі реального часу, дискретна система, штучний інтелект, програмно-апаратні системами і комплекси з елементами штучного інтелекту.*

ABSTRACT

Kovalchuk D.M. Models and methods for fast data processing based on the use of a residual class system. – 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 increasing the speed of information processing by software and hardware systems and complexes with elements of artificial intelligence due to the use of models and methods of fast data processing based on the application of the residual class system (RCS).

The first chapter analyzes the problems of constructing hardware and software systems and complexes with elements of artificial intelligence. The analysis of the capabilities of software and hardware systems and complexes with elements of artificial intelligence indicates that they do not meet the increased requirements for information processing speed, which makes it urgent to study new models and methods.

The current state and directions for increasing the performance of software and hardware systems and complexes with elements of artificial intelligence are analyzed through the use of special technological and architectural solutions, as well as mathematical methods for their application in artificial intelligence (AI). It is noted that the use of parallel data processing based on RCS can significantly increase the speed of data processing operations.

Based on the results of the analysis of the theoretical foundations of RCS, its main advantages over positional number systems were determined (independence of remainders, which makes it possible to parallelize the calculation process; equality of remainders, which makes it possible to increase the fault tolerance of software and hardware systems and complexes with elements of artificial intelligence and low-bitness of remainders, which makes it possible to the ability to increase the performance of software and hardware systems and complexes with elements of artificial intelligence) and its disadvantages (difficulties in performing the operation

of comparing and dividing numbers, determining the overflow of the permissible range), the need to use RCS in the operating devices of software and hardware systems and complexes with elements of artificial intelligence is substantiated.

The objectives of the dissertation research are formulated: improvement of the method of adding and subtracting remainders of numbers modulo RCS; improvement of the method of tabular implementation of multiplication of two remainders of numbers due to the ability to perform the operation in the complex domain; improvement of the mathematical model of the process of raising remainders of integers to an arbitrary degree of natural in RCS; practical confirmation of the performance and likelihood of the developed models and methods. Which will be addressed in the following sections of the dissertation.

In the second chapter, the method of adding and subtracting the remainders of numbers modulo RCS was further developed, taking into account the design of modulo adders with a correction value $\Delta Q_R > 0$.

An HDL model of a modulo $m_i = 17$ adder in Verilog has been developed. An adder of a modulo $m_i = 17$ has been developed in the Quartus II environment.

The considered examples and simulation results of the implementation of the modular addition method for various values of x_i and y_i modulo m_i RCS confirm the practical implementation of the proposed method.

An HDL model for performing a subtraction operation on a modulo adder $m_i = 17$ in the Verylog language and a block diagram in the Quartus II environment have been developed.

The considered examples and simulation results of the implementation of the subtraction operation $(x_i - y_i) \bmod m_i$ modulo m_i RCS for various residues x_i and y_i confirm the practical implementation of the proposed method.

In the third chapter, the method of tabular implementation of multiplication of two remainders of numbers in a RCS is improved due to the possibility of performing the operation in the complex domain, based on the use of Gauss's first fundamental theorem on isomorphism between the set of real and complex numbers, which increases the speed of implementation of the multiplication operation in the

RCS.

The mathematical model of the process of raising integers to an arbitrary power of a natural number in the RCS has been improved due to the possibility of performing the operation of raising integers to a power in both positive and negative numerical ranges, which increases the performance of the implementation of the operation of raising integers to a power in the RCS.

The results of computer modeling in the Microsoft Visual Studio 2015 environment confirm the practical implementation of the proposed method.

The fourth chapter is devoted to the development of an operating device for software and hardware systems and complexes with elements of artificial intelligence that operate of the residual class system and analysis of the speed of data processing in the positional number system and the residual class system.

An operating device for software and hardware systems and complexes with elements of artificial intelligence operating in a RCS has been developed.

The basis for the invention of an operating device for software and hardware systems and complexes with elements of artificial intelligence operating in a RCS is the goal of expanding the functionality of an existing operating device. Expanding the capabilities of the operating device is achieved due to the fact that, in addition to performing the operation of adding the remainders of numbers x_i and y_i modulo m_i of the RCS, the device additionally performs the operation of modular subtraction $(x_i - y_i) \bmod m_i$ in the RCS.

The device operates in two operating modes. In the first mode, the result of the operation of adding the remainders of the numbers $(x_i + y_i) \bmod m_i$ modulo m_i RCS is found. And in the second mode, the result of the subtraction operation $(x_i - y_i) \bmod m_i$ modulo m_i RCS is found.

Examples are given of performing the operations of addition $(x_i + y_i) \bmod m_i$ and subtraction $(x_i - y_i) \bmod m_i$ of the remainders of numbers modulo RCS, which confirms the practical possibility of using the proposed invention of the operating device of software and hardware systems and complexes with elements of artificial intelligence in RCS.

A calculation and comparative analysis of the data processing speed of

software and hardware systems and complexes with elements of artificial intelligence in the RCS for the mathematical model of an artificial neuron was carried out.

Calculations and comparative evaluation of performance carried out in the dissertation work showed that with an increase in the grid capacity of software and hardware systems and complexes with elements of artificial intelligence, the efficiency of using a non-positional number system in RCS increases significantly.

The totality of new scientific results obtained in the dissertation, a positive assessment of their reliability, scientific and practical significance allow us to consider the formulated scientific task of increasing the speed of information processing by software and hardware systems and complexes with elements of artificial intelligence through the use of models and methods of fast data processing based on the use of a RCS - solved, and the goal set - achieved.

Keywords: *computer systems, computer components, speed of data processing, mathematical model, models and methods of fast data processing, residual class system, residue number system, Chinese Remainder Theorem, binary single-digit adder, modulo adder, tabular principle of data processing, coding, tabular multiplication code, parallel principle of data processing, digital devices, hardware description language (HDL), modeling, simulation, information reliability, real time models, discrete system, artificial intelligence, software and hardware systems and complexes with elements of artificial intelligence.*