

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ В.Н. КАРАЗІНА

ЯНКО АЛІНА СЕРГІЇВНА



УДК 681.142

МЕТОДИ ТА КОМПОНЕНТИ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ШВИДКОЇ
ОБРОБКИ ДАНИХ, ПРЕДСТАВЛЕНИХ У ЗАЛИШКОВИХ КЛАСАХ

05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Полтавському національному технічному університеті імені Юрія Кондратюка Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Краснобаєв Віктор Анатолійович,
Харківський національний університет
імені В.Н. Каразіна, професор кафедри
електроніки та управляючих систем.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Борисенко Олексій Андрійович,
Сумський державний університет,
завідувач кафедри електроенергетики;

доктор технічних наук, професор
Кривуля Геннадій Федорович,
Харківський національний університет
радіоелектроніки, професор кафедри
автоматизації проектування обчислювальної
техніки.

Захист відбудеться «___» _____ 2016 року о ___ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.051.29 в Харківському національному університеті імені В.Н. Каразіна за адресою: 61022, м. Харків, майдан Свободи, 4.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна за адресою: 61022, м. Харків, майдан Свободи, 4.

Автореферат розісланий «___» _____ 2016 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

Є.П. Колованова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Характерною рисою індустріального суспільства є розробка та використання нових прогресивних інформаційних технологій, заснованих на широкому використанні комп'ютерних систем і компонентів (КСК). У даний час існує ряд галузей та напрямків науки й техніки, де необхідні швидкі, надійні та високоточні цілочисельні арифметичні обчислення: арифметичні операції над цілими числами та поліномами; цілочисельне лінійне програмування; операції над числами і множинами; рішення багатовимірних NP-повних задач; реалізація алгоритмів маршрутизації; множення векторів і матриць; задачі швидкого перетворення Фур'є та їх застосування; нейромережеві системи обробки даних; задачі військового призначення; цифрова обробка сигналів; цифрова обробка зображень; криптографічні перетворення; цілочисельна арифметика високої точності; рішення задач, пов'язаних з дослідженням космічного простору; високоточні цифро-аналогові й аналого-цифрові перетворення тощо.

Результати досліджень, що проводилися протягом останніх десятиліть, методів підвищення продуктивності та достовірності обчислень комп'ютерних систем і засобів обробки даних, представлених в цілочисельному вигляді, показали, що в межах позиційних систем числення (ПСЧ) цього домогтися практично неможливо. Це обумовлено, у першу чергу, основним недоліком сучасних комп'ютерних систем обробки цілочисельних даних (КСОЦД), що функціонують у ПСЧ: наявність міжрозрядних зв'язків між операндами, що обробляються. Це впливає на архітектуру КСОЦД і методи реалізації арифметичних операцій, ускладнює апаратуру та обмежує швидкодію виконання арифметичних операцій. У зв'язку з цим підвищення продуктивності КСОЦД у ПСЧ здійснюється, перш за все, за рахунок підвищення тактової частоти, розвитку та застосування методів і засобів паралельної обробки даних.

Застосування основних методів підвищення продуктивності в ПСЧ, на основі розпаралелювання обчислень, шляхом використання деяких властивостей задач і алгоритмів, що реалізуються, не в усіх випадках дозволяє підвищити продуктивність КСОЦД. Сфера їх застосування обмежується класом задач, що вирішуються. Крім цього, сам процес штучного розбиття алгоритму, визначення та виділення незалежних обчислювальних гілок і суміжних операцій вимагає великих трудовитрат, причому, не завжди можливо розпаралелювання довільних алгоритмів взагалі. Відзначимо, що всі існуючі методи підвищення продуктивності в ПСЧ мають загальний недолік: неможливість максимально розпаралелити алгоритми, що вирішуються, на рівні елементарних операцій. Дана обставина зумовила необхідність пошуку шляхів підвищення продуктивності, наприклад, на основі використання нових архітектурних рішень при створенні КСОЦД, шляхом застосування непозиційної машинної арифметики. Зокрема, на основі використання непозиційної системи числення в залишкових класах (СЗК).

Результати досліджень в області створення швидкодіючих КСОЦД відомих авторів (Валаха М., Свободи А., Сабо Н., Акушського І. Я.,

Юдицького Д. І., Николайчука Я. М., Долгова О. І., Торгашова В. А., Амербаєва В. М., Shimbo A., Paulier P., Thornton M. A., Dreschler R., Miller D. M. та ін.) показали, що використання СЗК як системи числення КСОЦД, призначеної для реалізації цілочисельних арифметичних операцій додавання, віднімання і множення чисел, в додатному числовому діапазоні, істотно підвищує швидкодію вирішення задач певного класу.

Необхідно відзначити, що існує клас задач і алгоритмів, де крім виконання цілочисельної арифметичної операції множення та операції піднесення залишків цілих чисел до довільного степеня натурального числа за модулем в додатному числовому діапазоні, існує необхідність реалізації перерахованих вище операцій і в від'ємному числовому діапазоні. Крім цього, безліч важливих типових цілочисельних задач містить велику кількість операцій порівняння цілих чисел. У СЗК операція порівняння даних відноситься до складних (позиційних) часових операцій. Значний час виконання операцій арифметичного та алгебраїчного порівняння, а також низька точність результату операції порівняння істотно звужує область ефективного використання СЗК як системи числення КСОЦД.

Таким чином, невирішеність вище перелічених задач, пов'язаних, у першу чергу, з арифметичною операцією множення та з операцією піднесення залишків цілих чисел до довільного степеня натурального числа за модулем у від'ємному числовому діапазоні, а також з операцією цілочисельного порівняння чисел у СЗК, визначили мету роботи, загальну науково-технічну задачу дисертації, часткові задачі досліджень, тему і зміст даної дисертаційної роботи.

Науково-технічна задача дисертації – розробка методів і цифрових компонентів комп'ютерної системи швидкої обробки цілочисельних даних на основі застосування непозиційної системи числення в залишкових класах.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дослідження, результати яких викладені в дисертації, проводилися відповідно до державних планів НДР, програм та договорів, які виконувалися в Полтавському національному технічному університеті імені Юрія Кондратюка, в Харківському національному університеті імені В.Н. Каразіна, в Харківському національному аерокосмічному університеті імені М.Є. Жуковського «ХАІ» і в Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка:

– «Розробка та дослідження моделей, методів, комп'ютерних систем і компонентів швидкої обробки даних на основі застосування непозиційної системи числення у системі залишкових класів» (Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, ДР № 0115 U 002419, 2015-2017 рр.);

– «Дослідження потокових симетричних шифрів та потокових режимів блокових симетричних шифрів» (Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна. Договір № 51-14 на виконання НДР, шифр «Струмок», 2014-2015рр.);

– «Теоретические основы, методы и информационные технологии разработки программно-технических комплексов критического применения в условиях ресурсных ограничений» (Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». Отчёт по госбюджетной НИР (итоговый). Гос. регистрационный номер 0112U001058. Том 1., 2014 г.);

– «Формулювання концепції та принципів, розробка методів, алгоритмів і засобів передачі, обробки, представлення та зберігання інформації, а також розробка методів завадостійкого кодування, контролю та корекції помилок даних на основі непозиційної системи числення у системі залишкових класів» (Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, ДР № 0115 U 002545, 2015-2018 рр.).

Участь автора в зазначених науково-дослідних темах і проектах, в яких здобувачка була безпосереднім виконавцем, полягає в розробці методів і засобів підвищення швидкодії реалізації цілочисельних операцій на основі застосування непозиційних кодових структур у СЗК.

Мета та задачі досліджень. Метою дисертаційної роботи є підвищення продуктивності комп'ютерної системи обробки даних, представлених в цілочисельному вигляді.

Виходячи із сформульованої загальної науково-технічної задачі дисертації, визначено наступні часткові задачі досліджень дисертаційної роботи, вирішення яких забезпечить досягнення мети досліджень:

1. Дослідити методи підвищення продуктивності комп'ютерної системи обробки цілочисельних даних.

2. Удосконалити метод табличної реалізації арифметичної операції множення двох чисел у СЗК.

3. Розробити метод піднесення залишків цілих чисел до степеня натурального числа за довільним модулем СЗК.

4. Удосконалити метод порівняння двох цілих чисел у СЗК.

5. Провести розрахунок і порівняльний аналіз продуктивності комп'ютерної системи обробки цілочисельних даних, що функціонує в СЗК.

Об'єкт досліджень – процеси обробки даних у системі залишкових класів, представлених в цілочисельному вигляді.

Предмет досліджень – методи та цифрові компоненти комп'ютерної системи швидкої обробки цілочисельних даних, представлених у системі залишкових класів.

Методи досліджень. В основу проведених у роботі досліджень були покладені принципи системного аналізу, теорія чисел, теорія обчислювальних процесів і систем. При вирішенні першої часткової задачі досліджень використовувалися основні принципи побудови комп'ютерних систем і компонентів. При вирішенні другої, третьої і четвертої задач досліджень використовувалася теорія чисел (розділи: теорія подільності та теорія порівнянь) і теорія обчислень. При вирішенні п'ятої задачі дослідження дисертації використовувалася теорія обчислювальних процесів і систем.

Наукова новизна отриманих результатів. Нові наукові результати дисертації відображені в наступних трьох пунктах:

1. Удосконалено метод табличної реалізації операції множення двох чисел у системі залишкових класів за рахунок можливості виконання операції множення, як в додатному, так і в від'ємному числових діапазонах, шляхом застосування спеціального кодування чисел, що підвищує швидкодію реалізації операції множення в системі залишкових класів.

2. Вперше отримано метод піднесення залишків цілих чисел за довільним модулем системи залишкових класів до степеня натурального числа, який на відміну від відомих, заснований на властивостях системи залишкових класів, шляхом використання табличного принципу обробки даних, що підвищує швидкодію виконання операції піднесення цілих чисел до степеня.

3. Удосконалено метод швидкого порівняння двох цілих чисел у системі залишкових класів за рахунок підвищення точності порівняння, шляхом подання чисел у штучній формі, що розширює область ефективного використання комп'ютерної системи обробки цілочисельних даних у системі залишкових класів.

Практичне значення отриманих результатів досліджень полягає в наступному:

1. Розроблені та вдосконалені в дисертаційній роботі методи обробки даних є науково-методологічною основою для практичного створення високопродуктивної КСОЦД, що функціонує в СЗК.

2. Використання методу табличної реалізації операції множення двох чисел і методу піднесення залишків цілих чисел за довільним модулем СЗК до степеня натурального числа є подальшим розвитком практичного застосування методу табличної реалізації модульних операцій у СЗК. При цьому застосування даних методів дозволило, в залежності від величини довжини розрядної сітки КСОЦД, в 1,5-2,5 рази, у порівнянні з ПСЧ, підвищити швидкодію реалізації арифметичних операцій, що підвищує продуктивність КСОЦД.

3. Використання вдосконалених методів швидкого арифметичного та алгебраїчного порівняння даних у СЗК для однобайтової, двобайтової, трьохбайтової, чотирьохбайтової і восьмибайтової числових розрядних сіток КСОЦД, відповідно, на 16%; 37%; 50%; 58% і 72% ефективніше за часом порівняння чисел, ніж використання найбільш швидкодіючого з існуючих методів порівняння чисел у СЗК, заснованого на принципі нулевізації. Застосування вдосконалених у дисертації методів швидкого порівняння двох цілих чисел підвищує точність процесу цілочисельного порівняння чисел, що забезпечує достовірність результату операції порівняння в СЗК.

4. На основі розроблених методів швидкої обробки даних у СЗК в дисертації синтезовані алгоритми для їх реалізації. Відповідно до цих алгоритмів запропоновано клас технічних засобів, на які отримано 10 патентів України, що підтверджує новизну, науково-практичну значимість і практичну реалізованість отриманих результатів дисертаційної роботи.

5. Отримані в дисертаційній роботі науково-практичні результати досліджень, а також результати розрахунків і порівняльного аналізу продуктивності показали, що, наприклад, при вирішенні задачі множення матриць, використання в якості системи числення СЗК дозволяє, в порівнянні з ПСЧ, у 3 рази підвищити продуктивність КСОЦД.

6. Результати аналізу проведених розрахунків показали, що зі збільшенням довжини розрядної сітки КСОЦД, що характерно для сучасної тенденції розвитку комп'ютерних систем і засобів обробки великих масивів інформації у реальному часі, ефективність використання непозиційної системи числення в СЗК для підвищення продуктивності обробки даних, у порівнянні з ПСЧ, зростає.

Результати наукових досліджень впроваджено на ПАТ «Інститут інформаційних технологій», м. Харків, акт впровадження від 27.04.2016 р.; на кафедрі безпеки інформаційних систем і технологій Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна при виконанні НДР «Дослідження потокових симетричних шифрів та потокових режимів блокових симетричних шифрів» (договір № 51-14 на виконання НДР, шифр «Струмок», 2014-2015 рр.), акт впровадження від 05.02.2016 р., а також в навчальному процесі кафедри комп'ютерної інженерії Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка в дисциплінах «Комп'ютерні системи», «Паралельні та розподілені обчислення», акт впровадження від 04.05.2016 р.

Особистий вклад автора полягає в розробці та вдосконаленні методів і засобів реалізації операції арифметичного табличного множення, операції піднесення залишків цілих чисел до довільного степеня натурального числа за модулем, а також операції порівняння цілих чисел у СЗК. Отримані наукові результати забезпечують вирішення поставлених у дисертації часткових задач досліджень. Усі основні наукові та практичні результати дисертації отримані особисто автором. Роботи [22, 23] були опубліковані без співавторів. У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачці належать: удосконалення методу арифметичного порівняння даних, представлених у СЗК [1]; розробка методу піднесення залишків цілих чисел за довільним модулем СЗК до степеня натурального числа [2]; обґрунтування переваг методу табличної реалізації операції множення двох чисел у СЗК [3]; розробка математичної моделі та алгоритму піднесення цілих чисел у квадрат за довільним модулем СЗК [4]; розрахунок продуктивності комп'ютерної системи обробки цілочисельних даних, що функціонує в СЗК [5]; проведення порівняльного аналізу продуктивності комп'ютерної системи обробки цілочисельних даних, представлених в непозиційній системі числення в залишкових класах і в звичайній двійковій позиційній системі числення [6]; проведення аналізу результатів дослідження продуктивності комп'ютерної системи обробки цілочисельних даних у СЗК [7]; обґрунтування переваг основних властивостей непозиційної системи числення в СЗК [8]; аналіз задач і алгоритмів обробки цілочисельних даних у СЗК [9]; аналіз методу корекції помилок у СЗК [10];

удосконалення методу контролю даних у СЗК [11]; удосконалення алгоритму модульного множення двох чисел у СЗК [12]; розробка алгоритму піднесення цілих чисел у СЗК до степеня натурального числа [13]; удосконалення алгоритмів арифметичного та алгебраїчного порівняння двох цілих чисел у СЗК [14]; розробка алгоритму реалізації операції множення двох чисел у СЗК [15]; розробка алгоритму перетворення позиційного двійкового коду в залишки за двома довільними модулями СЗК [16]; розробка алгоритму перетворення позиційного двійкового коду в залишок за довільним модулем СЗК [17]; розробка алгоритму множення двох залишків чисел за модулем СЗК [18]; розробка алгоритму табличної реалізації арифметичних операцій множення та додавання чисел за довільним модулем СЗК [19]; розробка алгоритму множення двох залишків за довільним модулем СЗК [20]; розробка алгоритму множення залишків числа за довільним модулем СЗК [21]; обґрунтування переваг методу швидкого порівняння двох цілих чисел у СЗК [24].

Апробація результатів дисертації. Основні результати наукових досліджень доповідалися, обговорювалися та були схвалені на міжнародних науково-технічних семінарах, науково-технічних конференціях і форумах: Х Наукова конференція «Новітні технології – для захисту повітряного простору» (м. Харків, Україна, 9-10 квітня 2014 р.); II Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми информатизации» (м. Київ, Україна, 12-13 квітня 2014 р.); III Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми информатизации» (м. Черкаси, Україна, 12-13 листопада 2015 р.).

Публікації. Основні результати дисертації опубліковані у 24 друкованих роботах: 1 стаття в Міжнародному науково-теоретичному журналі Академії наук України [1], 2 статті в науково-технічних журналах [2, 9], 7 статей у збірниках наукових праць [3-8, 10], 1 стаття в науково-теоретичному та практичному журналі [11], 10 патентів України [12-21], а також 3 тези доповідей у збірниках науково-технічних конференцій [22-24].

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків по дисертації, списку використаних джерел та одного додатку. Повний обсяг дисертації – 166 сторінок, у тому числі: 136 сторінок основного тексту, рисунків і таблиць на 12 окремих сторінках, бібліографія з 85 найменувань на 11 сторінках, 1 додаток на 7 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ дисертаційної роботи містить: обґрунтування актуальності теми дослідження; інформацію про зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами; мету роботи та часткові задачі досліджень; формулювання об'єкту, предмету та методів дослідження; характеристику наукової новизни та практичного значення отриманих результатів досліджень, а також особистого внеску здобувачки; представлено дані щодо реалізації, апробації та публікації наукових і практичних результатів дисертації.

У першому розділі вирішено першу задачу досліджень дисертації. Уточнено та систематизовано можливі галузі науки й техніки, де є необхідність

швидких, надійних і високоточних цілочисельних обчислень. Показано, що в ПСЧ домогтися значного «прориву» в цьому напрямку практично неможливо. Фактично ефективне застосування ПСЧ в електроніці досягло своєї межі, що обумовлює неможливість істотного підвищення продуктивності існуючих КСОЦД. Таким чином, до сьогоденного часу не вирішено важливу й актуальну науково-технічну задачу з розробки методів і цифрових компонентів істотного підвищення продуктивності КСОЦД, що функціонує в ПСЧ.

Результати проведених у розділі досліджень методів підвищення продуктивності показали, що в ПСЧ задача підвищення продуктивності не може бути ефективно вирішена без погіршення деяких основних техніко-економічних показників КСОЦД. У той же час існують позитивні результати досліджень, які показали ефективність застосування непозиційної системи числення в СЗК для підвищення швидкодії реалізації цілочисельних арифметичних операцій додавання, віднімання і множення в додатній числовій області. Однак до теперішнього часу відсутні ефективні методи та комп'ютерні засоби швидкої реалізації таких операцій як: операції табличного множення чисел у від'ємній числовій області; операції арифметичного та алгебраїчного порівняння чисел та операції піднесення залишків цілих чисел до довільного степеня натурального числа за модулем СЗК. Це обмежує область ефективного застосування КСОЦД у СЗК і, у свою чергу, вимагає розробки методів і комп'ютерних засобів підвищення швидкодії реалізації вищеназваних цілочисельних операцій на основі застосування СЗК.

Таким чином, необхідність розробки методів та комп'ютерних засобів підвищення швидкодії реалізації перерахованих вище операцій на основі застосування СЗК визначила мету, науково-технічну задачу та тему дисертаційної роботи, а також об'єкт і предмет досліджень. Це, у свою чергу, дозволило сформулювати часткові задачі досліджень, які вирішено в наступних розділах дисертаційної роботи.

У другому розділі вирішено другу і третю задачі досліджень, отримано перший і другий наукові результати. Результати досліджень методів реалізації цілочисельних арифметичних операцій показали, що використання методу табличної обробки даних у додатному числовому діапазоні забезпечує максимально високу швидкодію виконання операцій додавання, віднімання і множення в СЗК. Результат арифметичних модульних операцій може бути отримано в момент надходження вхідних чисел на табличний суматор, тобто в один такт. У цьому випадку час виконання арифметичних операцій у СЗК співрозмірний з тактовою частотою обчислювача, що принципово неможливо в позиційних двійкових КСОЦД при існуючій елементній базі.

У розділі вдосконалено математичну модель (ММ) процесу табличного виконання операції множення в СЗК, яка представлена сукупністю аналітичних виразів на основі використання спеціально введеного коду інформаційного стиснення даних (КІСД) у вигляді:

$$\begin{aligned} a'_i &= [\gamma'_{a_i}, (a'_i)^*], \\ b'_i &= [\gamma'_{b_i}, (b'_i)^*], \end{aligned} \quad (1)$$

де γ'_{a_i} – ознака КІСД залишку a'_i числа $A'_{\text{сзк}}$ за модулем m_i .

Для m_i – парного числа:

$$\gamma'_{a_i}(\gamma'_{b_i}) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } 0 \leq a'_i(b'_i) \leq m_i / 2, \\ 1, & \text{якщо } m_i / 2 < a'_i(b'_i) \leq m_i - 1. \end{cases} \quad (2)$$

Для m_i – непарного числа:

$$\gamma'_{a_i}(\gamma'_{b_i}) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } 0 \leq a'_i(b'_i) \leq (m_i - 1) / 2, \\ 1, & \text{якщо } (m_i - 1) / 2 < a'_i(b'_i) \leq m_i - 1. \end{cases} \quad (3)$$

Числова частина $(a'_i)^* [(b'_i)^*]$ КІСД залишку $a_i(b_i)$ відповідних залишків a_i та b_i визначається наступним чином.

Для m_i – парного числа:

$$(a'_i)^* [(b'_i)^*] = \begin{cases} a'_i(b'_i), & \text{якщо } 0 \leq a'_i(b'_i) \leq m_i / 2; \\ \overline{a'_i(b'_i)} = m_i - a'_i(b'_i), & \text{якщо } m_i / 2 < a'_i(b'_i) \leq m_i - 1, \end{cases} \quad (4)$$

при цьому $0 \leq (a'_i)^* [(b'_i)^*] \leq m_i / 2$.

Для m_i – непарного числа:

$$(a'_i)^* [(b'_i)^*] = \begin{cases} a'_i(b'_i), & \text{якщо } 0 \leq a'_i(b'_i) \leq (m_i - 1) / 2; \\ \overline{a'_i(b'_i)} = m_i - a'_i(b'_i), & \text{якщо } (m_i - 1) / 2 < a'_i(b'_i) \leq m_i - 1, \end{cases} \quad (5)$$

при цьому $0 \leq (a'_i)^* [(b'_i)^*] \leq (m_i - 1) / 2$.

Результат $(a'_i \cdot b'_i) \bmod m_i$ операції множення залишків a'_i та b'_i за модулем m_i представляється в КІСД, тобто у вигляді $\{\gamma'_i, [(a'_i)^* (b'_i)^*] \bmod m_i\}$. Тоді:

$$(a'_i \cdot b'_i) \bmod m_i = \begin{cases} [(a'_i)^* \cdot (b'_i)^*] \bmod m_i, & \text{якщо } (\gamma'_{a_i} + \gamma'_{b_i}) = 0 \pmod{2}; \\ m_i - [(a'_i)^* \cdot (b'_i)^*] \bmod m_i, & \text{якщо } (\gamma'_{a_i} + \gamma'_{b_i}) = 1 \pmod{2}, \end{cases} \quad (6)$$

при цьому $0 \leq [(a'_i)^* \cdot (b'_i)^*] \bmod m_i \leq m_i - 1$.

З урахуванням співвідношень (2)÷(6), значення $A' \cdot B'$ визначається наступним чином:

$$\begin{aligned} A' \cdot B' &= (a'_1, a'_2, \dots, a'_i, \dots, a'_n) \cdot (b'_1, b'_2, \dots, b'_i, \dots, b'_n) = \\ &= \left[(a'_1 \cdot b'_1) \bmod m_1, (a'_2 \cdot b'_2) \bmod m_2, \dots, (a'_i \cdot b'_i) \bmod m_i, \dots, (a'_n \cdot b'_n) \bmod m_n \right] = \\ &= (\{ [\gamma'_{a_1}, (a'_1)^*] \cdot [\gamma'_{b_1}, (b'_1)^*] \} \bmod m_1, \{ [\gamma'_{a_2}, (a'_2)^*] \cdot [\gamma'_{b_2}, (b'_2)^*] \} \bmod m_2, \dots, \\ &\quad \{ [\gamma'_{a_i}, (a'_i)^*] \cdot [\gamma'_{b_i}, (b'_i)^*] \} \bmod m_i, \dots, \{ [\gamma'_{a_n}, (a'_n)^*] \cdot [\gamma'_{b_n}, (b'_n)^*] \} \bmod m_n) = \\ &= (\{ \gamma'_1, [(a'_1)^* \cdot (b'_1)^*] \bmod m_1 \}, \{ \gamma'_2, [(a'_2)^* \cdot (b'_2)^*] \bmod m_2 \}, \dots, \\ &\quad \{ \gamma'_i, [(a'_i)^* \cdot (b'_i)^*] \bmod m_i \}, \dots, \{ \gamma'_n, [(a'_n)^* \cdot (b'_n)^*] \bmod m_n \}). \end{aligned} \quad (7)$$

З урахуванням отриманого виразу (7), результат операції $(A \cdot B)'$ алгебраїчного множення двох чисел у СЗК визначається відповідно до виразу (8):

$$(A \cdot B)' = f(A', B') = \begin{cases} A' \cdot B', & \text{якщо } A' \text{ та } B' \text{ однакової парності,} \\ A' \cdot B' + \frac{M}{2}, & \text{якщо } A' \text{ та } B' \text{ різної парності.} \end{cases} \quad (8)$$

Сукупність співвідношень (2) ÷ (6) являють собою математичну модель процесу табличної реалізації операції алгебраїчного множення двох чисел у СЗК. На підставі цієї моделі удосконалено метод табличної реалізації операції множення двох чисел у СЗК. Суть удосконалення полягає в можливості виконання модульної операції множення, як в додатному, так і в від'ємному числових діапазонах. Удосконалення методу здійснюється шляхом застосування спеціального кодування чисел у штучній формі (ШФ), на основі використання табличного принципу обробки даних. Використання вдосконаленого методу підвищує швидкодію реалізації цілочисельної модульної арифметичної операції множення, що підвищує продуктивність КСОЦД у СЗК.

У дисертації розроблено математичну модель процесу піднесення залишків цілих чисел за довільним модулем до степеня довільного натурального числа. Для реалізації процесу виконання операції піднесення залишків цілих чисел за довільним модулем СЗК до степеня натурального числа, як в додатному, так і в від'ємному числових діапазонах, передбачається представити вихідне число $A_{\text{сзк}} = (a_1, a_2, \dots, a_{i-1}, a_i, a_{i+1}, \dots, a_n)$ в ШФ A' :

$$\begin{cases} A'_{\text{сзк}} = \frac{M}{2} + |A_{\text{сзк}}|, & \text{якщо } A \geq 0, \\ A'_{\text{сзк}} = \frac{M}{2} - |A_{\text{сзк}}|, & \text{якщо } A < 0, \end{cases}$$

тобто для додатних чисел маємо: $A'_{\text{сзк}} = \frac{M}{2} + |A_{\text{сзк}}|$, а для від'ємних –

$A'_{\text{сзк}} = \frac{M}{2} - |A_{\text{сзк}}|$, де $M = \prod_{i=1}^n m_i$. Щоб розробити даний метод спочатку необхідно

синтезувати математичну модель $(A_{\text{сзк}}^k)' = f(A'_{\text{сзк}})$ процесу піднесення залишків цілих чисел $A_{\text{сзк}}$, представлених у СЗК, за довільним модулем до степеня k натурального числа. У цьому випадку треба отримати аналітичний вираз $(A_{\text{сзк}}^k)' = f(A'_{\text{сзк}})$, що визначає залежність результату $A_{\text{сзк}}^k$ операції піднесення числа $A_{\text{сзк}}$ у СЗК до степеня k , представленого в ШФ, від значення числа $A'_{\text{сзк}}$, безпосередньо представленого в ШФ.

На початку, як приклад, визначимо ММ $(A_{\text{сзк}}^k)' = f(A'_{\text{сзк}})$ для значень $k = 2$ та $m_1 = 2$. У цьому випадку в СЗК маємо, що:

$$M = \prod_{i=1}^n m_i = (0, 0, \dots, 0, 0, 0, \dots, 0) \quad (9)$$

та

$$\frac{M}{2} = \prod_{i=2}^n m_i = (1, 0, \dots, 0, \dots, 0) \quad (10)$$

(n – кількість модулів СЗК).

Відповідно до визначення ШФ чисел у СЗК маємо, що:

$$\begin{cases} A'_{\text{СЗК}} = \frac{M}{2} + A_{\text{СЗК}} \\ (A_{\text{СЗК}}^k)' = \frac{M}{2} + A_{\text{СЗК}}^k \end{cases} \quad (11)$$

З урахуванням числових діапазонів зміни величин $A_{\text{СЗК}}$ та $A'_{\text{СЗК}}$ співвідношення (11) можна представити у вигляді:

$$(A_{\text{СЗК}}^k)' = \left(\frac{M}{2} + A_{\text{СЗК}}^k \right) \bmod M. \quad (12)$$

Проведемо наступні числові перетворення:

$$(A'_{\text{СЗК}})^2 = A'_{\text{СЗК}} \cdot A'_{\text{СЗК}} = \left(\frac{M}{2} + A_{\text{СЗК}} \right) \cdot \left(\frac{M}{2} + A_{\text{СЗК}} \right) = A_{\text{СЗК}}^2 + A_{\text{СЗК}} \cdot M + \frac{M}{2} \cdot \frac{M}{2}. \quad (13)$$

З огляду на вирази (9) та (10) отримаємо, що:

$$\begin{aligned} A_{\text{СЗК}} \cdot M &= (a_1, a_2, \dots, a_{i-1}, a_i, a_{i+1}, \dots, a_n) \times \\ &\times (0, 0, \dots, 0, 0, 0, \dots, 0) = (0, 0, \dots, 0, 0, 0, \dots, 0) = 0 \text{ та} \\ \frac{M}{2} \cdot \frac{M}{2} &= (1, 0, \dots, 0, 0, 0, \dots, 0) \times (1, 0, \dots, 0, 0, 0, \dots, 0) = (1, 0, \dots, 0, 0, 0, \dots, 0) = \frac{M}{2}. \end{aligned}$$

У цьому випадку вираз (13) представляється у вигляді:

$$(A'_{\text{СЗК}})^2 = A_{\text{СЗК}}^2 + \frac{M}{2}. \quad (14)$$

З іншого боку маємо, що: $(A'_{\text{СЗК}})^2 = \frac{M}{2} + A_{\text{СЗК}}^2$, або $A_{\text{СЗК}}^2 = (A'_{\text{СЗК}})^2 - \frac{M}{2}$. (15)

Підставляючи значення $A_{\text{СЗК}}^2$ (15) у вираз (14) отримаємо, що

$$\begin{aligned} (A'_{\text{СЗК}})^2 &= (A_{\text{СЗК}}^2)' - \frac{M}{2} + \frac{M}{2} \text{ або:} \\ (A'_{\text{СЗК}})^2 &= (A_{\text{СЗК}}^2)'. \end{aligned} \quad (16)$$

Аналітичне співвідношення (16) є ММ процесу піднесення цілих чисел у квадрат за модулем СЗК. Аналогічним чином можна отримати ММ для загального випадку, коли $k > 2$ у вигляді $(A_{\text{СЗК}}^k)' = (A'_{\text{СЗК}})^k$. У цьому випадку, очевидно, що:

$$(A_{\text{СЗК}}^k)' = (A_{\text{СЗК}}^{k-1})' \cdot A'_{\text{СЗК}}. \quad (17)$$

На підставі ММ розроблено метод піднесення залишків цілих чисел за довільним модулем до степеня натурального числа. Метод заснований на

використанні відомих властивостей СЗК, шляхом використання табличного принципу обробки даних. Застосування розробленого методу підвищує швидкодію виконання цілочисельної операції піднесення залишків цілих чисел до степеня натурального числа, що підвищує продуктивність КСОЦД у СЗК.

На основі отриманих методів були отримані алгоритми реалізації операції множення двох чисел у СЗК та алгоритми піднесення залишків цілих чисел за довільним модулем СЗК до степеня натурального числа, відповідно до яких синтезовані пристрої для їх реалізації. Дані технічні пристрої, на які отримано патенти України, рекомендовані до використання при практичній реалізації КСОЦД, що функціонує як в СЗК, так і в ПСЧ.

У третьому розділі вирішено четверту задачу дослідження та отримано третій науковий результат. У розділі розглянуто методи швидкого арифметичного та алгебраїчного порівняння двох чисел у СЗК, які засновані на отриманні та використанні позиційної ознаки непозиційного коду (ПОНК) чисел. Використання даних методів швидкого порівняння даних у СЗК для однобайтової, двобайтової, трьохбайтової, чотирьохбайтової і восьмибайтової числових розрядних сіток КСОЦД, відповідно, на 16%; 37%; 50%; 58% і 72% ефективніше за часом порівняння чисел, ніж використання найбільш швидкодіючого з існуючих методів порівняння чисел у СЗК, який заснований на принципі нулевізації.

Суть удосконалення полягає в можливості виконання операції швидкого порівняння двох цілих чисел у СЗК, як в додатному, так і в від'ємному числових діапазонах, на основі використання ПОНК, шляхом подання чисел у ШФ, що підвищує точність порівняння чисел у СЗК. Запропоновані методи забезпечують максимальну точність порівняння при мінімальній кількості обладнання. Дана обставина дозволяє отримати достовірний результат операції порівняння двох чисел у СЗК. На основі розроблених методів було отримано алгоритми порівняння даних, відповідно до яких синтезовано пристрій для їх реалізації. Технічний пристрій, на який отримано патент України, рекомендований до використання при практичній реалізації КСОЦД, яка функціонує в СЗК.

У четвертому розділі вирішено п'яту задачу досліджень. Проведено розрахунок і порівняльний аналіз продуктивності КСОЦД у СЗК. Для проведення порівняльного аналізу продуктивності КСОЦД в ПСЧ і в СЗК розглянуто три широко поширені практичні задачі. Перша задача – задача множення двох A та B квадратних матриць розмірністю $N \times N$. Друга задача – задача маршрутизації, суть якої полягає у визначенні найкоротшої довжини шляху між будь-якою парою абонентів комп'ютерної мережі, представленої у вигляді неорієнтованого графа. Третя задача – вирішення базової задачі центру автоматичної комутації (ЦАК) – задачі вибору шляху передачі формалізованого повідомлення (розрахунок алгоритму вибору шляху (АВШ)).

Основні результати проведених досліджень ефективності використання СЗК в якості системи числення КСОЦД представлені в таблицях 1-3.

Таблиця 1 – Розрахункові дані та порівняльний аналіз ефективності використання СЗК, при множенні двох A та B квадратних матриць розмірністю $N \times N$

l	N	$K_{ef}^{(l)}$					
		Звичайна процедура			Прискорена процедура		
		$T_M^{(ПСЧ)}$	$T_M^{(СЗК)}$	$K_{ef}^{(l)}$	$T_M^{(ПСЧ)}$	$T_M^{(СЗК)}$	$K_{ef}^{(l)}$
$l = 1$	2	1084	12	90	147	3	47
	4	8912	112	80	158	7	22,6
	8	72256	960	75	173	15	11,5
	10	$1415 \cdot 10^2$	$19 \cdot 10^2$	74	188	19	9,8
	100	$14285 \cdot 10^4$	$199 \cdot 10^4$	72	233	199	1,2
$l = 2$	2	4220	12	352	543	3	181
	4	34256	112	306	574	7	82
	8	276032	960	287	605	15	40,3
	10	$5399 \cdot 10^2$	$19 \cdot 10^2$	284	636	19	33,5
	100	$54269 \cdot 10^4$	$199 \cdot 10^4$	273	729	199	3,6
$l = 3$	2	9404	12	784	1199	3	399,6
	4	75984	112	678	1246	7	178
	8	610880	960	636	1293	15	86,2
	10	$11943 \cdot 10^2$	$19 \cdot 10^2$	629	1340	19	70,5
	100	$119853 \cdot 10^4$	$199 \cdot 10^4$	602	1481	199	7,4
$l = 4$	2	16636	12	1386	2111	3	703,6
	4	134096	112	1197	2174	7	310,6
	8	$10768 \cdot 10^2$	960	1122	2237	15	149,1
	10	$21047 \cdot 10^2$	$19 \cdot 10^2$	1108	2300	19	121
	100	$211037 \cdot 10^4$	$199 \cdot 10^4$	1060	2489	199	12,5
$l = 8$	2	66044	12	5504	8319	3	2773
	4	530384	112	4736	8446	7	1207
	8	$42512 \cdot 10^2$	960	4428	8573	15	572
	10	$83063 \cdot 10^2$	$19 \cdot 10^2$	4372	8700	19	458
	100	$831773 \cdot 10^4$	$199 \cdot 10^4$	4180	9081	199	46

Таблиця 2 – Розрахункові дані та порівняльний аналіз ефективності використання СЗК, при вирішенні задачі маршрутизації

N	l = 2			l = 3			l = 4			l = 8		
	$T_{\text{марш.}}^{(ПСЧ)}$	$T_{\text{марш.}}^{(СЗК)}$	$K_{\text{еф}}^{(l)}$									
4	36	10,5	3,4	52	10,5	4,9	68	10,5	6,5	132	10,5	12,5
8	38,5	15,5	2,5	54,5	15,5	3,5	70,5	15,5	4,5	134	15,5	8,6
10	41	20,5	2	57	20,5	2,8	73	20,5	3,5	137	20,5	6,7

Таблиця 3 – Значення показників продуктивності КСОЦД при реалізації АВШ

	ПСЧ	СЗК
		Табличний принцип
Користувальницька продуктивність П [АВШ/сек].	3	500

У додатку А наведено акти реалізації дисертаційних досліджень.

ВИСНОВКИ

У дисертації вирішено нову, важливу й актуальну науково-технічну задачу з розробки методів і цифрових компонентів комп'ютерної системи швидкої обробки цілочисельних даних на основі застосування непозиційної системи числення в залишкових класах. Проведені в дисертації дослідження, результати вирішення часткових наукових задач, а також результати розрахунків і порівняльного аналізу, отриманих значень швидкодії реалізації цілочисельних операцій і продуктивності КСОЦД, дали змогу отримати наступні наукові та практичні результати:

1. У процесі досліджень методів підвищення продуктивності КСОЦД уточнено та систематизовано можливі галузі науки й техніки, де є необхідність швидких, достовірних і високоточних цілочисельних обчислень. Результати проведених у розділі досліджень показали, що в ПСЧ задача підвищення продуктивності КСОЦД не може бути ефективно вирішена без погіршення деяких основних техніко-економічних показників КСК. У той же час існують позитивні результати досліджень, які показали ефективність застосування непозиційної системи числення в СЗК для підвищення швидкодії реалізації цілочисельних арифметичних операцій додавання, віднімання і множення в додатній області. Однак до теперішнього часу відсутні методи та комп'ютерні засоби швидкої реалізації таких операцій як: операції множення чисел у від'ємній числовій області; операції точного арифметичного та алгебраїчного порівняння чисел та операції піднесення залишків цілих чисел до довільного степеня натурального числа за модулем СЗК.

Дана обставина істотно обмежує область ефективного застосування СЗК як системи числення КСОЦД. Це, у свою чергу, потребує вирішення наступних науково-практичних задач: удосконалити метод табличної реалізації арифметичної операції множення двох чисел у СЗК; розробити метод

піднесення залишків цілих чисел до довільного степеня натурального числа за модулем СЗК; удосконалити метод порівняння двох цілих чисел у СЗК.

2. Результати досліджень методів реалізації цілочисельних арифметичних операцій додавання, віднімання і множення в СЗК показали, що використання табличного методу обробки даних забезпечує максимально високу швидкодію виконання арифметичних операцій. У дисертації вдосконалено математичну модель процесу табличного виконання операції множення в СЗК. На підставі цієї моделі удосконалено метод табличної реалізації операції множення двох чисел у СЗК. Суть удосконаленого методу табличної реалізації арифметичної операції множення двох чисел у СЗК полягає в можливості виконання модульної операції множення, як в додатному, так і в від'ємному числових діапазонах. Удосконалення методу табличної реалізації операції множення двох чисел у СЗК здійснюється шляхом застосування спеціального кодування чисел, що підвищує швидкодію реалізації операції множення в СЗК.

3. У дисертації розроблено математичну модель процесу піднесення залишків цілих чисел за довільним модулем до довільного степеня натурального числа. На підставі ММ розроблено метод піднесення залишків цілих чисел за довільним модулем СЗК до степеня натурального числа. Метод заснований на використанні властивостей СЗК, шляхом використання табличного принципу обробки даних. Застосування розробленого методу підвищує швидкодію виконання цілочисельної операції піднесення цілих чисел до степеня натурального числа, що підвищує продуктивність КСОЦД у СЗК.

4. У дисертації розглянуто методи швидкого арифметичного та алгебраїчного порівняння двох чисел у СЗК, які засновані на отриманні та використанні ПОНК чисел. Використання даних методів швидкого порівняння даних у СЗК для однобайтової, двобайтової, трьохбайтової, чотирьохбайтової і восьмибайтової числових розрядних сіток КСОЦД, відповідно, на 16%; 37%; 50%; 58% і 72% ефективніше за часом порівняння чисел, ніж використання найбільш швидкодіючого з існуючих методів порівняння чисел у СЗК, заснованого на принципі нулевізації. Суть удосконалення полягає в можливості виконання операції швидкого порівняння двох цілих чисел у СЗК, як в додатному, так і в від'ємному числових діапазонах, на основі використання ПОНК, шляхом подання чисел у ШФ. Запропоновані методи підвищують точність порівняння двох чисел у СЗК, що забезпечує достовірність результату. Застосування цих методів розширює область ефективного використання СЗК як системи числення КСОЦД.

5. На основі розроблених методів обробки даних, представлених у СЗК, в дисертації отримано алгоритми табличної реалізації арифметичної операції множення двох чисел, алгоритми піднесення залишків цілих чисел до довільного степеня натурального числа за модулем та алгоритми порівняння двох цілих чисел у СЗК. Відповідно до отриманих алгоритмів, синтезовано пристрої для їх реалізації, на які отримано 10 патентів України.

6. У дисертації проведено розрахунок і аналіз продуктивності КСОЦД у СЗК для конкретних практичних задач реалізації цілочисельних алгоритмів, в

які входять як арифметичні операції, так і операції порівняння двох чисел. Було розглянуто три задачі. Перша задача – задача множення двох A та B квадратних матриць розмірністю $N \times N$. Друга задача – задача маршрутизації, суть якої полягає у визначенні найкоротшої довжини шляху між будь-якою парою абонентів комп'ютерної мережі, представленій у вигляді неорієнтованого графа. Третя задача – базова задача обробки даних ЦАК – задача вибору шляху передачі формалізованого повідомлення (алгоритм вибору шляху – АВШ). Так, наприклад, при вирішенні другої задачі для ($l=1,4,8$) в залежності від кількості N вузлів комп'ютерної мережі ($N=4, 8$ та 10), застосування СЗК, відповідно, в 1,5; 2,5; 3,5; 4,5 і 8,5 разів ефективніше за продуктивністю КСОЦД, ніж двійкова ПСЧ.

7. Достовірність отриманих у дисертації науково-практичних результатів підтверджується коректним використанням положень теорії чисел і результатів відомих теоретичних досліджень при розробці методів і цифрових компонентів для підвищення продуктивності КСОЦД на основі застосування СЗК.

8. Наукові та практичні результати дисертаційної роботи доцільно використовувати в наступних напрямках: при проведенні науково-дослідних робіт з розробки методів і засобів підвищення продуктивності КСОЦД, що функціонує в СЗК; при проведенні інженерно-конструкторських робіт з модернізації існуючих чи зі створення нових КСОЦД і цифрових компонентів, орієнтованих на підвищення продуктивності обробки даних у реальному часі; при вивченні навчальних дисциплінах, пов'язаних з дослідженням комп'ютерних систем і компонентів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в наукових фахових виданнях України:

1. Янко, А. С. Метод арифметического сравнения данных, представленных в системе остаточных классов [Текст] / В. А. Краснобаев, А. С. Янко, С. А. Кошман // Кибернетика и системный анализ. – 2016. – Том 52, №1. – С.157-162.

2. Янко, А. С. Метод возведения остатков целых чисел по произвольному модулю системы остаточных классов в степень натурального числа [Текст] / В. А. Краснобаев, А. С. Янко, С. А. Кошман // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Х.: ХАІ, 2015. – №1(71) – С. 54-63.

3. Янко, А. С. Метод табличной реализации операции умножения в классе вычетов [Текст] / В. А. Краснобаев, А. С. Янко, С. А. Кошман // Системи обробки інформації : зб. наук. пр. / Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. – Х.: ХУПС, 2014. – Вип. 4(120). – С. 121-127.

4. Янко, А. С. Математические модели и алгоритмы возведения целых чисел в квадрат по произвольному модулю класса вычетов [Текст] / В. А. Краснобаев, А. С. Янко, С. А. Кошман // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. – Х.: ХУПС, 2014. – Вип. 1(38). – С. 132-137.

5. Янко, А. С. Расчет и сравнительный анализ производительности компьютерной системы обработки целочисленных данных, функционирующей

в системе остаточных классов [Текст] / В. А. Краснобаев, А. С. Янко, П. Н. Гроза, С. А. Кошман, А. П. Гроза, Ю. П. Бендес // Системи обробки інформації : зб. наук. пр. / Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. – Х.: ХУПС, 2015. – Вип. 1(126). – С. 111-117.

6. Янко, А. С. Расчет и сравнительный анализ производительности компьютерной системы обработки целочисленных данных, представленных в системе остаточных классов [Текст] / В. А. Краснобаев, А. С. Янко, С. А. Кошман, В. Н. Курчанов, Ю. П. Бендес // Системи обробки інформації : зб. наук. пр. / Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. – Х.: ХУПС, 2015. – Вип. 3(128). – С. 57-61.

7. Янко, А. С. Исследование производительности компьютерной системы обработки целочисленных данных, функционирующей в системе остаточных классов [Текст] / В. А. Краснобаев, А. С. Янко, С. А. Кошман, С. В. Сомов, Ю. П. Бендес // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. – Х.: ХУПС, 2015. – Вип. 1(42). – С. 48-52.

8. Янко, А. С. Основные свойства непозиционной системы счисления [Текст] / В. А. Краснобаев, С. В. Сомов, А. С. Янко // Системи управління, навігації та зв'язку: зб. наук. пр. / Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. – П.: ПолтНТУ, 2013. – Вип. 1(25). – С. 110-113.

9. Yanko, A. S. The analysis of the tasks and algorithms of data integer processing in the residual classes system [Text] / V. A. Krasnobayev, A. S. Yanko, V. N. Kurchanov, S. A. Koshman // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Х.: ХАІ, 2016. – №1 (75). – С. 19-28.

Статті в наукових зарубіжних виданнях:

10. Yanko, A. S. The method of error correction in the system of residual classes [Text] / V. A. Krasnobayev, A. S. Yanko, S. A. Koshman // Chemia i chemiczne technologie techniczne nauki ekologia nauk biologicznych geografia i geologia rolnictwo medycyna. – Przemysł : Nauka i Sdudia, 2015. – 5(136). – P. 51-62.

11. Янко, А. С. Метод контроля данных в системе остаточных классов [Текст] / В. А. Краснобаев, А. С. Янко, Ю. П. Бендес, С. А. Кошман // Оралдың ғылым жаршысы. – Орал, 2015. – №5 (136). – С. 103-117.

ДП України на корисну модель та ДП України на винахід:

12. Пат. №108828 Україна, МПК (2015.01) G06F 7/52 (2006.01), G06F 7/72 (2006.01), H03M 7/00, H03M 7/18 (2006.01). Пристрій для реалізації операції модульного множення двох чисел, які представлені у системі залишкових класів [Текст] / В. А. Краснобаєв, І. Д. Горбенко, А. С. Янко, С. О. Кошман, Ю. І. Горбенко. – № а 2014 10608; заявл. 29.09.2014; опубл. 10.06.2015. Бюл. № 11. – 12 с.

13. Пат. №95060 Україна, МПК G06F 7/60 (2006.01). Пристрій для піднесення цілих чисел, що представлені у класі лишків, до степеня натурального числа [Текст] / В. А. Краснобаєв, А. С. Янко, С. О. Кошман. – № и 2014 06854; заявл. 18.06.2014; опубл. 10.12.2014. Бюл. № 23. – 7 с.

14. Пат. №92069 Україна, МПК G06F 7/04 (2006.01). Пристрій для арифметичного та алгебраїчного порівняння двох чисел класу лишків [Текст] /

В. А. Краснобаєв, А. С. Янко, С. О. Кошман. – № и 2014 02480; заявл. 12.03.2014; опубл. 25.07.2014. Бюл. № 14. – 11 с.

15. Пат. №91321 Україна, МПК G06F 7/52 (2006.01). Пристрій для реалізації операції множення двох чисел у класі лишків [Текст] / В. А. Краснобаєв, А. С. Янко, С. О. Кошман. – № и 2014 01726; заявл. 24.02.2014; опубл. 25.06.2014. Бюл. № 12. – 8 с.

16. Пат. №91894 Україна, МПК (2014.01) G06F 5/00. Пристрій для перетворення позиційного двійкового коду у лишки за двома довільними модулями [Текст] / І. Д. Горбенко, А. С. Янко, В. А. Краснобаєв, О. А. Замула, Ю. І. Горбенко. – № и 2013 13980; заявл. 02.12.2013; опубл. 25.07.2014. Бюл. № 14. – 4 с.

17. Пат. №92155 Україна, МПК G06F 11/08 (2006.01). Пристрій для перетворення позиційного двійкового коду у лишок за довільним модулем m_i [Текст] / І. Д. Горбенко, А. С. Янко, В. А. Краснобаєв, О. А. Замула, Ю. І. Горбенко. – № и 2013 12587; заявл. 28.10.2013; опубл. 11.08.2014. Бюл. № 15. – 3 с.

18. Пат. №110913 Україна, МПК G06F 7/52 (2006.01), G06F 7/523 (2006.01). Пристрій для множення лишків a_i та b_i чисел за модулем m_i [Текст] / І. Д. Горбенко, В. А. Краснобаєв, В. М. Курчанов, А. С. Янко, С. О. Кошман, Ю. І. Горбенко. – № а 2015 05097; заявл. 25.05.2015; опубл. 25.02.2016. Бюл. № 4. – 9 с.

19. Пат. №106343 Україна, МПК (2014.01) G06F 7/72 (2006.01), G06F 7/50 (2006.01), G06F 7/60 (2006.01), H03M 7/00, H03M 7/18 (2006.01). Пристрій для табличної реалізації арифметичних операцій множення та додавання чисел за модулем m_i класу лишків [Текст] / В. А. Краснобаєв, А. С. Янко, С. О. Кошман. – № а 2013 15558; заявл. 30.12.2013; опубл. 11.08.2014. Бюл. № 15. – 7 с.

20. Пат. №92403 Україна, МПК G06F 7/49 (2006.01). Пристрій для множення двох лишків за довільним модулем класу лишків [Текст] / В. А. Краснобаєв, А. С. Янко, С. О. Кошман. – № и 2014 03259; заявл. 31.03.2014; опубл. 11.08.2014. Бюл. № 15. – 5 с.

21. Пат. №110901 Україна, МПК G06F 7/52 (2006.01), G06F 7/523 (2006.01). Пристрій для множення лишків a_i та b_i числа за довільним модулем m_i системи залишкових класів [Текст] / І. Д. Горбенко, В. А. Краснобаєв, А. С. Янко, С. О. Кошман, Ю. І. Горбенко. – № а 2015 01377; заявл. 18.02.2015; опубл. 25.02.2016. Бюл. № 4. – 6 с.

Наукові праці апробаційного характеру:

22. Янко, А. С. Метод реализации арифметической операции умножения двух чисел в классе вычетов [Текст] / А. С. Янко // II Международная научно-техническая конференция «Проблемы информатизации». Тезисы докладов. – Киев. – 12-13 апреля 2014. – С. 91-92.

23. Янко, А. С. Метод возведения остатков целых чисел по модулю класса вычетов в произвольную степень натурального числа [Текст] / А. С. Янко // X Наукова конференція «Новітні технології – для захисту повітряного простору». Тези доповідей. – Харків. – 9-10 квітня 2014 – С. 185-186.

24. Янко, А. С. Метод быстрого сравнения двух целых чисел в системе остаточных классов [Текст] / А. С. Янко, В. Н. Курчанов, В. А. Краснобаєв // III Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми інформатизації». Тези доповідей. – Черкаси. – 12-13 листопада 2015. – С. 45.

АНОТАЦІЯ

Янко А.С. Методи та компоненти комп'ютерної системи швидкої обробки даних, представлених у залишкових класах. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти. – Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Міністерство освіти і науки України, Харків, 2016.

У дисертаційній роботі вирішується науково-технічна задача – розробка методів і цифрових компонентів комп'ютерної системи швидкої обробки цілочисельних даних на основі застосування непозиційної системи числення в залишкових класах (СЗК).

Мета роботи – підвищення продуктивності комп'ютерної системи обробки даних, представлених в цілочисельному вигляді.

У дисертаційній роботі вперше отримано метод піднесення залишків цілих чисел за довільним модулем СЗК до степеня натурального числа, який на відміну від відомих, заснований на властивостях системи залишкових класів, шляхом використання табличного принципу обробки даних, що підвищує швидкодію виконання операції піднесення цілих чисел до степеня. У роботі вдосконалено метод табличної реалізації операції множення двох чисел у СЗК за рахунок можливості виконання операції множення, як в додатному, так і в від'ємному числових діапазонах, шляхом застосування спеціального кодування чисел, що підвищує швидкодію реалізації операції множення, а також метод швидкого порівняння двох цілих чисел у СЗК за рахунок підвищення точності порівняння, шляхом подання чисел у штучній формі, що розширює область ефективного використання комп'ютерної системи обробки цілочисельних даних, що функціонує в СЗК.

Ключові слова: комп'ютерна система обробки цілочисельних даних, продуктивність комп'ютерної системи обробки даних, система залишкових класів, система числення, табличний принцип обробки даних, штучна форма.

АННОТАЦИЯ

Янко А.С. Методы и компоненты компьютерной системы быстрой обработки данных, представленных в остаточных классах. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – компьютерные системы и компоненты. – Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Министерство образования и науки Украины, Харьков, 2016.

В диссертационной работе решается научно-техническая задача – разработка методов и цифровых компонентов компьютерной системы быстрой обработки целочисленных данных на основе применения непозиционной системы счисления в остаточных классах (СОК).

Цель работы – повышение производительности компьютерной системы

обработки данных, представленных в целочисленном виде.

В диссертационной работе впервые получен метод возведения остатков целых чисел по произвольному модулю СОК в степень натурального числа, который в отличие от известных, основан на свойствах системы остаточных классов, путем использования табличного принципа обработки данных, что повышает быстродействие выполнения операции возведения целых чисел в степень. В работе усовершенствован метод табличной реализации операции умножения двух чисел в СОК за счет возможности выполнения операции умножения, как в положительном, так и в отрицательном числовых диапазонах, путем применения специального кодирования чисел, что повышает быстродействие реализации операции умножения, а также метод быстрого сравнения двух целых чисел в СОК за счет повышения точности сравнения, путем представления чисел в искусственной форме, что расширяет область эффективного использования компьютерной системы обработки целочисленных данных, функционирующей в СОК.

Ключевые слова: искусственная форма, компьютерная система обработки целочисленных данных, производительность компьютерной системы обработки данных, система остаточных классов, система счисления, табличный принцип обработки данных.

SUMMARY

Yanko A.S. Methods and components of a computer system of fast processing of data presented in the residual classes. – Manuscript.

Dissertation on competition scientific degree a candidate of technical sciences by specialty 05.13.05 – computer systems and components. – V.N. Karazin Kharkiv National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2016.

The dissertational work is solved scientific and technical problem of development of methods and digital components of a computer system fast integer data processing based on the application non-positional numeral system in the residual classes.

The main objective of this research is improving the performance of computer data processing system represented in integer form.

Based on general scientific and technical task of the dissertation, the following specific research tasks are formulated:

- to explore methods to improve integer processing performance of a computer system;
- to improve implementation of the tabular method arithmetic operation of multiplying two numbers in the residue number system;
- to develop a method for the construction of the remnants of integers in the arbitrary degree of a natural number in modulus residue number system;
- to improve method for comparing of two integers in the residue number system;

– to make a calculation and comparative analysis of computer integer data processing system performance in the residue number system.

The object of this investigation – the data processing in the residual class system, represented in integer form.

Subject of study – methods and digital components of a fast processing computer system of integer data, presented in the residue number system.

The aim of this thesis is to develop methods and digital components to improve the computer system performance by the implementation of integer operations presented in the residual classes.

The basis of researches is the principles of the system analysis, theory of numbers, the theory of computing processes and systems. At the decision problem of the first research is used the basic principles of computer systems and component. At the decision the second, third and fourth research tasks used the theory of numbers (charters: divisibility theory and the theory of comparisons) and the theory of computation. At the decision fifth dissertation research problem is used the theory of computing processes and systems.

In the dissertation work for the first time obtained the method of raising the remnants of integers, arbitrary module residue number system, to the power of a natural number, which is, in contrast to already known methods, based on the properties of the residue number system, by using the table principle of data processing, that increases the operation speed of raising integers to a power.

An improved method for a table implementing multiplication of two numbers in the residue number system by using the possibility of performance multiplication operation, both the positive and negative numerical ranges, using a special coding numbers improves the performance of the operations implementation at multiplication in residue number system.

Improved method for a quick comparison of two integers in the residual class system by increasing the accuracy of the comparison, by using the representation of numbers in the artificial form, expands the scope of effective use of the computer integer data processing systems in the residue number system.

Scientific and practical results of the dissertational work could be used in the following areas:

– in conducting research works to develop methods and means to improve the performance of computer integer data processing system operating in the residue number system;

– during the engineering and design work for modernization of existing and creation of new integral computer data processing systems and digital components aimed at improving the performance the data processing in real time;

– educational disciplines, related to the study of computer systems and components.

Key words: a computer system integer data processing, artificial form, numeral system, performance of a computer data processing system, the principle of the tabular data processing, the residual classes system.

ЯНКО АЛІНА СЕРГІЇВНА

УДК 681.142

**МЕТОДИ ТА КОМПОНЕНТИ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ШВИДКОЇ
ОБРОБКИ ДАНИХ, ПРЕДСТАВЛЕНИХ У ЗАЛИШКОВИХ КЛАСАХ**

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підписано до друку «5» вересня 2016 р.
Формат паперу 60x90/16. Папір офсетний.
Умовн.-друк.арк. 0,9.
Тираж 100. Замовлення № .

Видавець Шевченко Р.В.
36000, Полтава, вул. Остроградського, 2
тел. (0532) 502-708
050 346 23 75
Свідоцтво серія ДК №1139 від 04.12.2002 р.