

ІНЖЕНЕРНИЙ СОЦІАЛЬНИЙ КОМП'ЮТИНГ

Хаханов В. І. – д-р техн. наук, професор кафедри автоматизації проектування обчислювальної техніки, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.

Чумаченко С. В. – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри автоматизації проектування обчислювальної техніки, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.

Литвинова Є. І. – д-р техн. наук, професор кафедри автоматизації проектування обчислювальної техніки, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.

Хаханова Г. В. – д-р техн. наук, професор кафедри автоматизації проектування обчислювальної техніки, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.

Хаханов І. В. – канд. техн. наук, асистент кафедри автоматизації проектування обчислювальної техніки, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.

Обрізан В. І. – канд. техн. наук, докторант кафедри автоматизації проектування обчислювальної техніки, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.

Хаханова І. В. – д-р техн. наук, професор кафедри автоматизації проектування обчислювальної техніки, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.

Максимова Н. Г. – аспірантка кафедри автоматизації проектування обчислювальної техніки, Харківський національний університет радіоелектроніки, Канада.

АНОТАЦІЯ

Актуальність. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю усунення протиріч між менеджментом та виконавцями шляхом запровадження інженерного соціального комп'ютингу, що забезпечує моральне управління соціальними процесами на основі їх метричного моніторингу.

Мета. Мета дослідження – розробка інженерних архітектур моніторингу та управління соціальними процесами на основі векторної логіки.

Метод. Дослідження орієнтоване на розробку інженерних векторно-логічних схем та архітектур управління соціальними процесами на основі їх вичерпного метричного моніторингу з метою створення комфортних умов для творчої праці. Даються визначення основних понять AI-розвитку. Вводиться рівняння комп'ютингу, як транзитивне замикання у тріаді відносин – як помилки, що створює нові структури, процеси чи явища. Розробляються механізми інтелектуального комп'ютингу, які поєднують алгоритми та структури даних детермінованого та ймовірного AI-комп'ютингу. Пропонуються механізми побудови моделей на основі універсуму примітивів, які мають Similarity по відношенню до їх використання для моделювання процесів (in-hardware synthesis, in-software programing, in neural network training, in-qubit quantization, in-memory modeling, in-truth table logic generation). Запроваджується метрика інтелектуального комп'ютингу, яка використовується для вибору архітектури та моделей обчислювальних процесів з метою отримати ефективні рішення практичних завдань.

Результати. Запропоновано: 1) рівняння комп'ютингу як транзитивне замикання у тріаді відносин – як помилка, що створює нові структури, процеси чи явища; 2) механізми інтелектуального комп'ютингу, орієнтовані на істотне зниження часових та енергетичних витрат при вирішенні практичних завдань за рахунок обнулення алгоритмів обробки великих даних завдяки експоненційній надмірності розумних та надмірних AI-моделей; 3) механізми побудови моделей на основі універсуму примітивів, які мають Similarity по відношенню до їх використання для моделювання процесів.

Висновки. Наукова новизна полягає у розробці наступних інноваційних рішень: 1) запропоновано тріаду відносин на основі хог-операції для вимірювання процесів та явищ у кіберсоціальному світі; 2) запропоновано архітектуру інтелектуального комп'ютингу для управління соціальними процесами на основі їх вичерпного моніторингу; 3) реалізації схем в архітектурі in-методу комп'ютингу, що дає можливість не використовувати інструкції процесора, тільки read-write транзакції на логічних векторах, що економить час та енергію для виконання алгоритмів аналізу великих даних; 4) запропоновано механізми синтезу векторно-логічних моделей соціальних процесів або явищ на основі унітарного кодування патернів на універсумі примітивів, орієнтованих на верифікацію, моделювання та тестування прийнятих рішень. Практична значимість дослідження полягає в тому, що запропонована метрика інтелектуального комп'ютингу використовується як метод для вибору архітектури та моделей обчислювальних процесів для одержання ефективних рішень практичних завдань. Інженерний соціальний комп'ютинг покликаний сприяти побудові миролюбних, справедливих і відкритих суспільств задля досягнення Цілей сталого розвитку ООН (ЦСР 16).

КЛЮЧОВІ СЛОВА: мозок людства, інтернет-інфраструктура, інтелектуальні комп'ютинг, artificial intelligence, розумні структури даних, моделі комп'ютера, історія комп'ютера, метрика комп'ютера, AI-Industry, Modeling for simulation, цілі сталого розвитку, peaceful society.

АБРЕВІАТУРИ

AI – Artificial Intelligence;
AMD – Advanced Micro Devices;
API – Application Programming Interface;
ASIC – Application-Specific Integrated Circuit;
CAD – Computer-Aided Design;
CNN – Convolutional Neural Networks;
RNNs – Recurrent Neural Networks;
EDA – Electronic Design Automation;
EWDTS – East-West Design and Test Symposium;
FPGA – Field-Programmable Gate Array;
GenAI – Generative AI;
GPU – Graphics Processing Unit;
IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers;
IP-core – Semiconductor Intellectual Property Core;
ML – Machine Learning;
NN – Neural Network;
NoSQL – Not Only SQL databases;
NVMe (NVM Express) – Non-Volatile Memory Host
Controller Interface Specification;
SSD – Solid State Drives;
LLM – Large Linguistic Models;
RAG – Retrieval Augmented Generation;
RISC-V (risk-five) – Reduced Instruction Set Computer;
SECT – Standard для Embedded Core Test;
SoC – System-on-Chip;
SQL – Structured Query Language;
TSMC – Taiwan Semiconductor Manufacturing Company;
VLC – Vector-Logical Computing;
VLSI – Very-Large-Scale Integration;
VVV – Volume, Velocity, Variety (обсяг, швидкість генерування та різноманітність);
VHDL – Very high speed integrated circuits Hardware Description Language;
АЛП – арифметико-логічний пристрій;
ІІ – штучний інтелект;
ПК – персональний комп'ютер;
ТІ – таблиця істинності;
ЦСР – Цілі сталого розвитку.

НОМЕНКЛАТУРА

X – вхідні набори;
 X_i – вхідний ефект;
 Y – вихідні сигнали;
 n – кількість логічних змінних;
 2^n – кількість бітів;
 T – тест (реалізація, актуальна модель);
 A – алгоритм;
 M – модель (пам'ять);
 M_i – біт логічного вектора;
 F – помилки (виміряні помилки);
 L – ідея (векторна логіка, специфікація);
 xor – сума за модулем два або хог-операція;
 d_i – відстані між компонентами.

ВСТУП

Будь-яке цілеспрямоване відношення є комп'ютинг. Інтелектуальний комп'ютинг – це гармонійні відносини між ресурсами та метою, що використовують надмірність розумних структур даних. Модель комп'ютингу вперше запропонував John von Neumann у 1945 році. Вона містила пристрої управління, виконання (АЛП) та пам'ять. Усього три компоненти, які працюють у просторі планети, і не лише, © Хаханов В. І., Чумаченко С. В., Литвинова Є. І., Хаханова Г. В., Хаханов І. В., Обрізан В. І., Хаханова І. В., Максимова Н. Г., 2025
DOI 10.15588/1607-3274-2025-3-17

вже 80 років. Історично модель комп'ютингу можна розглядати як певну гармонію взаємодоповнюючих протилежностей (управління та виконання), що призводять до гармонії мети та витрат для її досягнення. Тут одна з цілей – це гармонія відносин між людиною та довкіллям. «Скажи мені – і я забуду, покажи мені – і я запам'ятаю, дай мені зробити – і я зрозумію», – Конфуцій, V ст. до нашої ери. Цією давньою фразою представлений сучасний комп'ютинг навчання та бізнесу у форматі «слово – образ – дія» або «алгоритм – модель – моніторинг-управління». Для людини образ – структурна простота наочної надмірності слова чи модель, що активує канал зору. Слово призначене для слуху, образ – для зору. Надмірність – благо для будь-якого комп'ютингу, зокрема, навчання. Людина має п'ять інформаційних каналів. Більше 90% інформації надходить до нас через зір та слух з них на зір припадає 90% інформації. Будь-яке цілеспрямоване відношення (взаємно-доповнюючих протилежностей) є комп'ютингом. Суть комп'ютингу – виявлення гармонії між витратами та метою.

Об'єкт дослідження – кібер-фізичний та кібер-соціальний комп'ютинг на основі векторно-логічних моделей фізичних та соціальних процесів та явищ.

Предмет дослідження – інженерне метричне управління соціальними процесами.

Проблема дослідження – це усунення протиріч між менеджментом та виконавцями шляхом запровадження інженерного соціального комп'ютингу, що забезпечує моральне управління соціальними процесами на основі їх метричного моніторингу.

Мета дослідження – розробка інженерних архітектур моніторингу та управління соціальними процесами на основі векторної логіки.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Існує три види комп'ютингу (рис. 1) в просторі і часі на основі кінцевого результату обчислень (inference): 1) печерний комп'ютинг – відображення f буття X (інформація) на будь-якому носії Y для прийняття рішень людиною $Y=f(X)$; 2) пасивний (імітаційний, simulation) комп'ютинг – моделювання вхідних ефектів X на модель L процесу або об'єкта з метою отримання висновку (inference) $Y=L(X)$ (прогнозування, діагностика, розпізнавання, кластеризація, класифікація). Ідеальним варіантом комп'ютингу є ситуація, коли при моделюванні вхідний ефект X_i зводиться до транзакцій читання-запису (read-write) за векторною логікою L в M -пам'яті $M_i=L[M(X_i)]$, без участі процесора. Ця технологія відповідає сучасному ІТ-тренду «Low Code/No Code» [1]; 3) активний (істинний) комп'ютинг – це генерація сигналів виконавчого механізму A для автоматичного управління процесом або об'єктом на основі двійкового кодування сигналів моніторингу X . Керуюча формула $A_i=f(X_i, A_{i-1})$ є моделлю автомата першого роду за В. М. Глушковым.

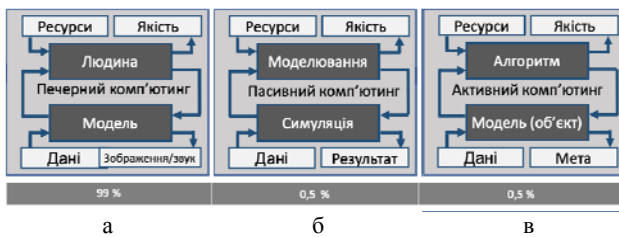


Рисунок 1 – Три типи комп'ютинг: а – печерний, б – пасивний, в – активний

Розглядається задача синтезу моделі (розумних структур даних) для моделювання будь-яких вхідних наборів – modeling for simulation.

Розв'язок задачі полягає у процесі синтезу (тренінгу) моделі за заданими вхідно-вихідними наборами сигналів. Simulation – процес визначення станів виходів моделі на заданих наборах вхідних сигналів

Нехай задані навчальні XY -набори, моделювання несправностей $f = X \text{ xor } Y$.

Практичне завдання полягає у синтезі ML-моделі (modeling) за допомогою XY -наборів $f = X \text{ xor } Y$ з метою подальшого тестування smart моделі та моделювання (simulation) на ній будь-яких вхідних X -наборів для визначення вихідних Y -сигналів, $Y = f(X)$.

Завдання дослідження: 1) аналіз інженерного комп'ютингу управління фізичними та соціальними об'єктами та процесами; 2) розробка концептуальних метрик, моделей та архітектур управління соціальними процесами на основі їх вичерпного моніторингу; 3) векторно-логічний метричний комп'ютинг соціальних процесів.

2 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Механізм комп'ютингу – це активація на основі моніторингу. Таблиця істинності – логічні відношення між вхідними та вихідними сигналами чи найуніверсальніша модель комп'ютингу на вирішення всіх завдань у всі часи. Таблиця істинності – це розумні структури даних, які мінімізують витрати виконання алгоритму їхньої обробки рахунок надмірності своєї простоти. Правильне вирішення проблеми – це завжди математично красиве і водночас просте, як цегла.

Бізнес-комп'ютинг – цілеспрямовані відношення між механізмами управління та виконання з функціями моніторингу, моделювання та актуації бізнес-процесу. Модель бізнес-процесу – це гра детермінованих та імовірнісних структур даних. Цифровізація – це цифрове (двійкове) кодування процесів та явищ на універсумі примітивів для точного управління фізичними та соціальними об'єктами на основі вичерпного моніторингу, що дозволяє скоротити час на обробку даних та підвищити якість сервісного обслуговування. Правильне рішення – це коли «просто, зрозуміло і красиво».

Промпт-комп'ютинг – цілеспрямовані відношення між механізмами управління та виконання з функціями інтелектуального формування вичерпної відповіді

на правильно сформульований запит клієнта. Промпт-комп'ютинг формує відповіді на запитання.

Бот-комп'ютинг – це цілеспрямовані відношення між бот-додатком та клієнтом з функціями верифікації та корекції відповідей клієнта на правильно сформульовані запити бота. Бот-комп'ютинг формує питання на відповіді.

1. Актуальність створення RAG-бота-автомата для обслуговування клієнта в банку. GenAI та великі мовні моделі (LLM) представили нові можливості та ефективності. Розмір світового ринку LLM оцінювався в 4,35 млрд. доларів США в 2023 році і, за прогнозами, зростатиме з річним темпом зростання 36% з 2024 по 2030 рік [2].

2. Тисячі компаній і більше сотні урядів мають керівництва, структури або принципи використання штучного інтелекту (ШІ) для управління на основі моніторингу. Аналіз практики, що розвивається, використання AI-engine і використовуваних в них мов дає важливі відомості про те, як поширюються і змінюються AI-норми (рис. 2), управління суспільством і компаніями, та напрямок руху до інтелектуального prompt-computing [3].

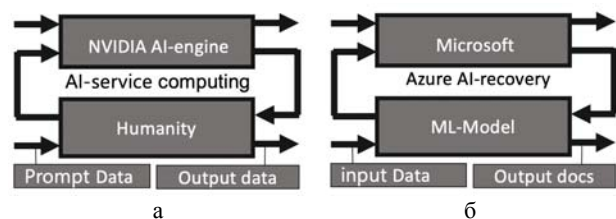


Рисунок 2 – Приклади Industry AI: а – AI-service computing (ШІ-сервіс комп'ютинг), де AI-engine – ШІ-двигун; Humanity – людство; б – Azure AI-recovery (Azure ШІ-оновлення), де Prompt Data – дані запитів; Output Data – вихідні дані; Input Data – вхідні (початкові) дані; Output docs – вихідні документи

Rufus LLM використовує генерацію доповненого пошуку (RAG) для отримання інформації з джерел, які вважаються надійними, таких як каталог продукції, відгуки клієнтів та повідомлення спільноти питань та відповідей; він також може викликати відповідні API магазинів Amazon. Система RAG надзвичайно складна як через різноманітність джерел даних, що використовуються, так і через різну релевантність кожного з них залежно від питання. Кожен LLM та кожне використання генеративного ШІ – це робота в процесі. Щоб Rufus ставав краще з часом, йому потрібно дізнатися, які корисні відповіді, а які можна поліпшити. Клієнти – найкраще джерело цієї інформації. Amazon заохочує клієнтів надавати Rufus зворотний зв'язок, даючи моделі знати, чи сподобалася або ні їм відповідь, і ці відповіді використовуються в процесі навчання з підкріпленням. Згодом Rufus навчається на зворотному зв'язку клієнтів та покращує свої відповіді, щоб надавати найбільш релевантну та корисну відповідь на будь-яке задане запитання. Іноді це означає розгорнуту текстову відповідь, але іноді це корот-

кий текст або «клікабельне» посилання для навігації магазином. Потрібно переконатися, що подана інформація слідує логічному потоку. Якщо не згрупувати і не відформатувати все правильно, можна отримати заплутану відповідь, яка не дуже корисна для клієнта. Саме тому Rufus використовує передову поточкову архітектуру доставки відповідей. Клієнтам не потрібно чекати, поки довга відповідь буде повністю згенерована – натомість вони отримують першу частину відповіді, поки генерується решта її частини. Rufus заповнює поточкову відповідь правильними даними (процес, званий гідратацією), надсилаючи запити у внутрішні системи. Крім генерації контенту для відповіді, він також генерує інструкції форматування, які визначають, як повинні відображатися різні елементи відповіді [4].

3) З іншого боку, є AI-продукти на ринку IT, які присвячені відновленню та генерації документів. Зразок такої системи – продукт компанії Microsoft, який вирішує завдання визначення даних та заголовків для швидкого навчання AI-механізму. Однак на сьогоднішній день ця Azure-система є пасивною і не вирішує завдання керування-бізнес процесом на основі аналізу документів та текстів [5].

У роботах [6, 7] розглядається інноваційне вирішення проблеми економіки при обробці великих даних та тестування цифрових пристроїв. Пропонується векторно-логічний енергозберігаючий комп'ютинг великих даних у пам'яті, вільний від команд процесора. Відмінність запропонованого комп'ютингу полягає у зменшенні обчислювальної складності алгоритмів до нуля шляхом збільшення надмірності пам'яті для суперпозиції розумних та явних структур даних. Логічний двійковий вектор розглядається як універсальна форма моделі уявлення процесів та явищ, структур та функціональностей. Логічний вектор на адресному просторі 2^n його бітів утворює таблицю істинності для n -змінних, яка використовується як основа структур даних для вирішення комбінаторних завдань комп'ютингу. Адреса розглядається як двійковий n -розрядний вектор, що ідентифікує належність елемента універсуму до кінцевого числа тестових n або інших патернів. Тому адресний вектор використовується для кодування великих даних (несправностей) з метою обробки на таблиці істинності без програмування. На основі адресного кодування даних на таблиці істинності в паралельному режимі обробки n змінних вирішуються завдання: моделювання тестових наборів та несправностей, логічний аналіз графових структур, кластеризація великих даних, ідентифікація та розпізнавання патернів. На логічному векторі синтезується матриця відстаней між тестом та таблицею істинності, що формує матрицю активності логічної функціональності. Ці матриці зводять алгоритми моделювання несправностей та побудови тесту до разової матричної процедури синтезу карти тестування логічної функціональності. У цьому зменшенні складності алгоритмів синтезу відбувається рахунок

експоненціальних витрат пам'яті, необхідні явної суперпозиції матриць і таблиць істинності. Розроблені моделі та методи тестування цифрових виробів орієнтовані на стандарт граничного сканування IEEE 1500 SECT, який зменшує складність обчислювального виробу завдяки розбиттю складної SoC на сукупність простих IP-core. Структура дослідження містить дві частини: 1) in-мемогу моделювання тестів та несправностей, як адрес, цифрових систем та елементів; 2) in-мемогу аналіз великих даних, як адрес, для розпізнавання патернів. Усі запропоновані моделі та алгоритми аналізу даних є інноваційними та не мають аналогів у світі. Валідність отриманих результатів підтверджується обґрунтованим доказом основних теоретичних положень та численними експериментами на програмних додатках, виконаних мовою Python. Запропоновані обчислювальні механізми можуть бути корисними для фахівців, які займаються розробкою, тестуванням та верифікацією цифрових виробів, а також студентів, які вивчають курси комп'ютерної інженерії.

Пам'ять та процесори. NVMe SSDs up to 4TB. Не варто впадати в оману: AMD та Intel – безумовно, найнадійніші конкуренти Nvidia. Вони поділяють історію розробки успішних чіпів та створення програмних платформ для них. Але серед менших, менш перевірених гравців виділяється один: Cerebras. Компанія, яка спеціалізується на ШІ для суперкомп'ютерів, викликала фурор у 2019 році з Wafer Scale Engine, гігантським шматком кремнію розміром із пластину, упакованим 1,2 трильйона транзисторів. Остання ітерація Wafer Scale Engine 3 підвищує ставки до 4 трильйонів транзисторів.

Домінування Nvidia у сфері ШІ. Заснована в 1993 році, Nvidia залишила свій слід у тоді ще новій області графічних процесорів (GPU) для персональних комп'ютерів. Але чіпи AI компанії, а не графічне обладнання для ПК, вивели Nvidia до лав найдорожчих компаній світу. Виявляється, графічні процесори Nvidia також добре підходять для ШІ. В результаті її акції стали більш ніж у 15 разів кориснішими, ніж на початку 2020 року; виручка зросла приблизно з 12 мільярдів доларів США у 2019 фінансовому році до 60 мільярдів доларів у 2024 році; а передові чіпи цієї електростанції (генератора) штучного інтелекту так само рідкісні і бажані, як вода в пустелі. Groq – це ідеальна форма для функції та з унікальним підходом до обладнання ШІ. Переваги: відмінна продуктивність виведення ШІ. Недоліки: в даний час програма обмежена виведенням. Підхід Groq зосереджений на тісному поєднанні пам'яті та обчислювальних ресурсів для прискорення швидкості, з якою велика мовна модель може відповідати на запити. «Їхня архітектура заснована на пам'яті. Пам'ять тісно пов'язана із процесором. Було б краще мати більше вузлів, але ціна за токен та продуктивність – це божевілля», – каже Мурхед. «Токен» – це базова одиниця даних, яку обробляє модель; у LLM це зазвичай слово або частина

слова. Продуктивність Groq ще більше вражає, враховуючи, що її чіп, званий Language Processing Unit Inference Engine, виготовлений з використанням 14-нанометрової технології GlobalFoundries, яка на кілька поколінь відстає від технології TSMC, що використовується в Nvidia H100. У липні Groq опублікував демонстрацію швидкості виведення свого чіпа, яка може перевищувати 1250 токенів за секунду, працюючи на LLM Meta's Llama 3 з 8 мільярдами параметрів. Це перевершує навіть демо Samba Nova, яке може перевищувати 1000 токенів за секунду [8].

Інтелектуальний комп'ютинг [9] – нова парадигма обчислень, яка з'єднує людину з комп'ютером, традиційні обчислення з перцептивним, когнітивним та автономним інтелектом та сприяє цифровій революції в епоху великих даних, ШІ та Інтернету речей за допомогою нових обчислювальних теорій, архітектур, методів, систем. Інтелектуальний комп'ютинг – це історія обчислень за час існування людства, що має на меті – управління процесами та явищами на основі їх моніторингу. Інтернет – це мозок людства з функціями комунікацій, моніторингу та управління. Глобальна мета інтелектуального комп'ютингу – створення мозку людства в рамках інтернет-інфраструктури.

Восени 2024 року в Єревані зібралися три конференції (East-West Design and Test Symposium, Micro Electronic Forum, INDUSTRY.AI), присвячені AI вирішенню актуальних технологічних проблем в області design and test комп'ютингу. Симпозіум IEEE East-West Design & Test 2024 року досліджує нові тенденції у тестуванні, діагностиці та ремонті мікроелектронних систем, а також кібербезпеці, автомобілебудуванні, Інтернеті речей та штучному інтелекті [9, 10]. Він об'єднав вчених планети з 27 країн світу. Було запрошено 17 ключових доповідачів (keynotes), що є рекордом за всю 20-річну історію EWDT-симпозіуму [10]. Тематика симпозіуму була представлена багатьма напрямками CAD і EDA, які дедалі більше пронизані інструментами AI. Кожен день роботи симпозіуму було відзначено круглим столом наукових дискусій, за яким експерти в галузі AI-комп'ютингу обговорювали питання технологічної досконалості у сфері управління якістю продуктів, виробів процесів та сервісів. Безумовним технологічним AI-лідером виступає спонсор EWDT-симпозіуму – компанія Synopsys-Вірменія під керівництвом її лідера та головного архітектора Yervant Zorian, який протягом 20 років несе технологічну досконалість до університетів, компаній та держав Сходу та Заходу. «Through East-West-cooperation to the harmony of excellence» – девіз симпозіуму. Це знайшло відображення в засіданні вчених, бізнесменів і дослідників, присвячених інтелектуалізації освіти та індустрії у Вірменії, коли у величезній залі одночасно зібралося понад 1000 осіб, які хочуть впроваджувати AI-механізми у всі сфери людської діяльності маленької, але технологічно досконалої держави. Запрошені keynotes представили доповіді, що відображають сучасні тенденції в AI-комп'ютингу

(якість мікроелектронних 3D-виробів, AI-computing in design and test; prompt AI-engeniring) [10–12]. Регулярні доповіді (70 papers) на симпозіумі були представлені відомими науковими школами: професора Vazgen Melikyan (80 захищених дисертацій), професора Samvel Shukurian, професорів Paolo Prinetto, H. Fatih Ugurdag, Zainalabedin Navabi).

3 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Впровадимо наступні визначення, метрику та механізми комп'ютингу.

Intelligent Computing (Vladimir Hahanov) – це галузь знань, яка займається теорією, практикою та економікою гармонійних відношень між детермінованим та ймовірнісним (AI) комп'ютингом за метрикою <час – ресурси – якість> для управління процесами та явищами на основі моніторингу оцифрованих та розумно-пов'язаних між собою соціального, фізичного та інформаційного просторів.

Big Data – великі дані – кількість та форма інформації, що важко сприймається свідомістю людини. Метрика великих даних VVV: volume, velocity, variety (обсяг, швидкість генерування та різноманітність).

Data Science – наука, що вивчає життєвий цикл та форми даних з метою отримання актуальної інформації для прийняття рішення. Використовує підходи: дискретна математика та статистика, штучний інтелект та хмарні обчислення для аналізу великих обсягів даних під час вирішення завдань класифікації, регресії, кластеризації. Ключові інструменти: R, Python, Apache Hadoop, MapReduce, Apache Spark, NoSQL Databases, Cloud computing, GitHub.

Machine learning – алгоритми пошуку закономірностей у вхідних даних без програмування на основі розумних механізмів їх структуризації з метою розпізнавання патернів та прийняття рішення. «Ніхто машину не навчає». Наприклад, висловлювання «я навчаю комп'ютер» або «ми навчили нейромережу» звучать щонайменше наївно, на думку авторитетів у даній галузі (Daniel Faggella) [13].

Розумні (пов'язані) структури даних дозволяють без програмування вирішувати завдання структуризації корисної інформації шляхом суперпозиції таблиць та матриць, векторів. Ця ідея є основою в механізмах технічної діагностики, машинного навчання, включаючи нейронні мережі як тип розумних структур даних.

Artificial Intelligence (штучний інтелект) – це комп'ютинг, що моделює людське мислення з метою прийняття раціональних рішень на основі обробки природної мови, розпізнавання мови та зображень.

Neural Networks (NN) – штучні нейронні мережі є механізми-алгоритми машинного навчання рекурентних чи конволюційних структур даних. Вони складаються з шарів нейронів, що мають ваги вхідних дуг, та поріг-активатор на виході. Якщо вихідні дані вузла перевищують поріг, він активується для передачі даних на наступний рівень мережі. Convolutional neural

networks (CNN) – це аналог комбінаційної схеми. Recurrent neural networks (RNNs) – аналог схеми з глобальними зворотними зв'язками. З допомогою NN вирішуються завдання машинного зору, розпізнавання мови, обробки природної мови.

Інженерний соціальний комп'ютинг – практичне впровадження ідей, наукових теорій, формул вченого у практику життя соціальної групи. Приклади інженерного комп'ютингу – промпт-інженерія (чат-боти) компаній NVIDIA, Microsoft, Google, DeepSeek AI.

Інтелектуальний комп'ютинг використовує метрику хог двійкових оцифрованих процесів, що конволюційно (згортково) замикають відстань між ними до нуля: $\sum_{xor} d_i = 0$. Така метрика за трьома компонентами або процесами стає метрикою для будь-якого комп'ютингу. Всі моніторингові моделі управління соціальними і фізичними процесами на основі моніторингу використовують єдине рівняння інтелектуального комп'ютингу $TxorLxorF=0$ (T – актуальна модель, L – специфікація, F – помилка) для вирішення всього трьох завдань: 1) $F=LxorT$ – верифікація або тестування, $L=TxorF$ – синтез специфікації, $T=LxorF$ – синтез (тренінг) актуальної моделі. Метрика інтелектуального комп'ютингу враховує наступні чинники: 1) економіка обчислень; 2) надмірність моделей чи розумних структур даних; 3) мінімальна затримка під час обробки вхідних запитів; 4) мінімальне енергоспоживання під час обробки великих даних; 5) гармонія між метою та засобами для її досягнення; 6) обнулення алгоритму обробки структур даних (моделі) рахунок їх експоненційної надмірності; 7) використання транзитивного замикання бінарного відношення $TxorL=F$ для вдосконалення та генерації нових властивостей обчислювачів; 8) збереження та нарощування історії обчислень при обробці інших типів даних; 9) цифровізація будь-яких процесів та явищ на введеному універсумі примітивів для керування на основі моніторингу; 10) безперервна масштабованість комп'ютерних архітектур для обробки процесів та явищ на основі інфраструктури edge-fog-cloud; 11) використання однієї з двох процедур modeling або synthesis при створенні моделі для виконання simulation вхідного впливу з метою отримання вихідного результату; 12) використання всієї сучасної палітри обчислювальних архітектур (AI, quantum, classical, in-memory, processor, програмування алгоритмів, FPGA, RISC-V, ASIC, VLSI, matrix processor) для організації економних та швидких обчислень.

Механізми комп'ютингу. Механізм комп'ютингу являє собою гармонійне відношення між моделлю і алгоритмом, що дозволяє мінімізувати час обчислень за рахунок збільшення надмірності (redundancy)

пам'яті і навпаки. Модель і алгоритм взаємодіють спрощено як дві сполучені судини $M+A=1$. Це співвідношення має два крайні стани: $M=1, A=0$; $M=0, A=1$. Обчислювальний механізм – це гармонійне співвідношення між моделлю і алгоритмом, метою і витратами. Як модель сучасного комп'ютингу, вона має тенденцію до інтелектуалізації в бік надмірності (redundancy) моделі та обнулення алгоритму. Формулу «Інь-Ян механізму» комп'ютингу $MxA=const$ важливо враховувати для синтезу нових архітектур і методів.

Модель функціональності – це система відношень між вхідними та вихідними сигналами. Встановлення таких відношень по кожному патерну – це шлях до автоматичної побудови моделі бізнес-процесу та його компонентів. Комп'ютинг – це цілеспрямовані відношення між структурами даних та алгоритмом. Мета – побудова моделі для комп'ютингу бізнес-процесу за форматом чат-бота або із залученням оператора. Автоматизація – це синтез моделі (алгоритму) зі стійкою тенденцією до повторення результату інших даних. Кожна міні-функція має заголовки, що повторюються на бізнес потоці, і унікальні неповторювані на бізнес-потоці дані, унітарно-закодовані на універсумі примітивів. AI-computing – це логічне відношення між алгоритмом та моделлю, що призводить у процесі навчання до створення смарт-моделі, що обнуляє алгоритм за рахунок надмірності розумних структур даних. Smart model або ML-модель – це розумні структури даних, які створюють стійкі логічні зв'язки під час навчання вхід-вихідними даними для використання отриманої логіки для моделювання будь-якого іншого вхідного набору даних без алгоритму. Алгоритм – це логіка обробки вхідних даних на смарт-моделі для автоматичного визначення відносин між компонентами вхідної інформації. Тут computing алгоритм замінюється на data set для smart model. Навчання чи синтез моделі – це процес встановлення логічних зв'язків між компонентами розумних структур даних на навчальному data set з метою подальшого адекватного моделювання будь-якого вхідного набору даних. У процесі навчання логіка роботи modeling-алгоритму перетворюється на надмірність розумних структур даних під актуаторним впливом вхідних даних.

Існує пряма аналогія між процесом навчання ML-моделі та синтезом комбінаційної схеми. Обидві моделі не мають пам'яті та навчаються завдяки синтезу логічних зв'язків між вихідними та вихідними сигналами (рис. 3).

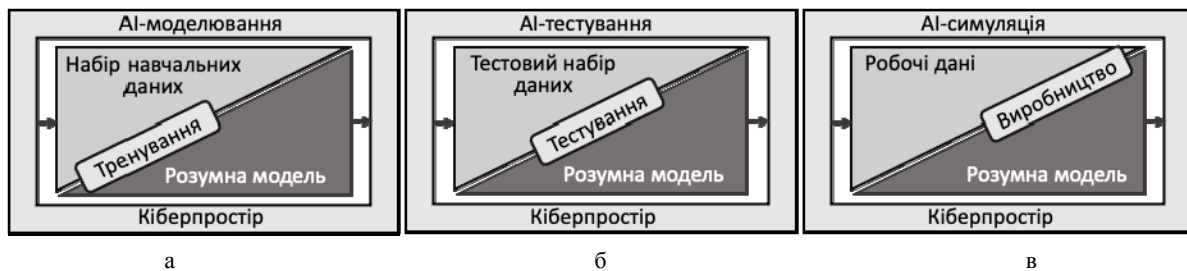


Рисунок 3 – Моделі AI-computing – три фази життєвого циклу: а – AI-моделювання; AI-тестування; AI-симуляція

Суть AI-computing – синтез ML-моделі (modeling) за допомогою навчальних (відомих) XY -наборів $f=XY$ з метою подальшого тестування smart моделі та моделювання (simulation) на ній будь-яких вхідних X -наборів для визначення вихідних Y -сигналів $Y=f(X)$. Інакше: синтез моделі (розумних структур даних) для моделювання будь-яких вхідних наборів або modeling for simulation. Modeling – процес синтезу (тренінгу) моделі за заданими вхідно-вихідними наборами сигналів. Simulation – процес визначення станів виходів моделі на вхідних наборах сигналів, як зазначено у [6].

Тут йдеться про карту тестування, як продукт modeling and simulation (рис. 4). Карта синтезується за логічним вектором функціональності і є smart-модель для design and test промпт-інжинірингу.



Рисунок 4 – Схема моделювання та симуляції для карти тестування

Таким чином, у загальному випадку intelligent computing – це синтез моделі на вхідних-вихідних наборах для подальшого моделювання будь-яких вхідних наборів. Intelligent computing is modeling for simulation. Modeling – це синтез моделі (логічного вектора) на вхідних наборах. Simulation – це визначення стану виходу моделі за вхідним набором та синтезованою моделлю (логічним вектором). Перевагою запропонованого дослідження є доведення моделей та алгоритмів до рівня простих механізмів інженерного використання.

4 ЕКСПЕРИМЕНТИ

Існує повна аналогія процесів modeling та simulation (рис. 5) на основі векторно-логічних та ін-

телектуальних моделей. Smart model – розумні структури даних для моделювання будь-якого вхідного набору сигналів для визначення стану виходів без програмування алгоритму. AI-modeling – це синтез моделі за відомими станами входів-виходів.

AI (forward) simulation – це процес визначення стану виходів за відомими станами входів. Це також робочий режим формування inference. AI backsimulation (backpropagation) – це процес визначення стану входів за відомими станами виходів, що застосовується при пошуку помилок та оптимізації smart-моделі. Testing map – це карта тестування функціональності, що вирішує всі питання: моделювання та діагностування несправностей, синтезу мінімального тесту та оцінки його якості.

Всі зазначені процеси оперують трьома компонентами рівняння ($T \text{ xor } L \text{ xor } F = 0$), серед яких два повинні бути відомі для пошуку третього. Але є виняток. Якщо відома генетична модель помилок, можна по одному компоненту згенерувати два інших. Це промпт-комп'ютинг.

У [6, 7] запропоновано нову технологію верифікації та моделювання несправностей, засновану на інтегрованому промпт-комп'ютингу. Сенс запропонованих інновацій полягає у побудові карти тестування функціональності за її логічним вектором. При цьому алгоритм побудови карти практично обнулюється за рахунок експоненційної надмірності розумних структур даних (рис. 6). Modeling for simulation – це розумні прості та доступні для розуміння механізми щодо проблем тестування та верифікації.

Далі розглядаються 10 експериментів над різними схемами, що моделюють фізичні та соціальні процеси. Враховувався час: підготовки схем, тестування схем та пошуку трьох дефектів. Результати наведені в таблиці 1, де VHDL – це базовий варіант, заснований на описі схеми за допомогою HDL-мови; VLC – запропонований варіант, заснований на використанні векторної логіки для тестування цифрових схем і систем. При виконанні експерименту інформація про схему вводиться малюнком на екрані за допомогою GUI. Експерименти були проведені аспірантами та студентами факультету комп'ютерної інженерії ХНУРЕ.



Рисунок 5 – Схема «Modeling for simulation»



Рисунок 6 – Карта тестування несправностей для логіки 0011100000011100

Таблиця 1 – Результати експериментів

Експерименти	Час, хвилини					
	підготовки схем		тестування схем		пошуку дефектів	
Механізми	VHDL	VLC	VHDL	VLC	VHDL	VLC
Schneider	23	12	17	10	14	5
c17	20	6	15	14	13	4
c23	15	9	10	13	18	8
Trigger	19	10	15	16	11	7
M4-1	25	15	20	10	10	9
Coder 4-1	22	12	18	8	13	8
Adder	29	9	22	18	17	11
Recover	27	17	21	17	16	7
Dedec 4	25	20	20	10	20	6
Sell 4	30	19	27	15	24	9
S 432	36	25	32	17	13	9

5 РЕЗУЛЬТАТИ

Результати експериментів з оцінки часу підготовки та тестування схем, а також пошуку дефектів у них показані на графіках (рис. 7–9). Розрахунки проводяться для 11 пристроїв (вісь абсцис). По осі ординат відраховується час у хвилинах.

1. Підготовка схем (див. рис. 7) за допомогою мови опису апаратури VHDL (верхній графік) та на основі векторної логіки VLC (нижній графік).

2. Тестування схем (див. рис. 8) передбачає роботу додатка та роботу фахівця, який вручну визначає мінімальний тест перевірки одиночних несправностей за результатами моделювання.

3. Пошук дефектів (див. рис. 9) з використанням отриманої інформації про моделювання несправності на тестах: необхідно знайти три несправності у схемі.

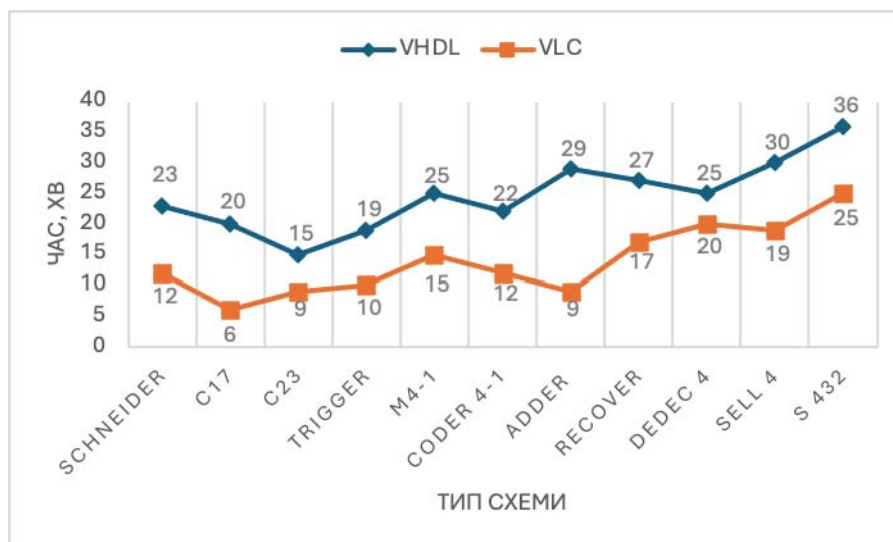


Рисунок 7 – Графіки часу підготовки схеми

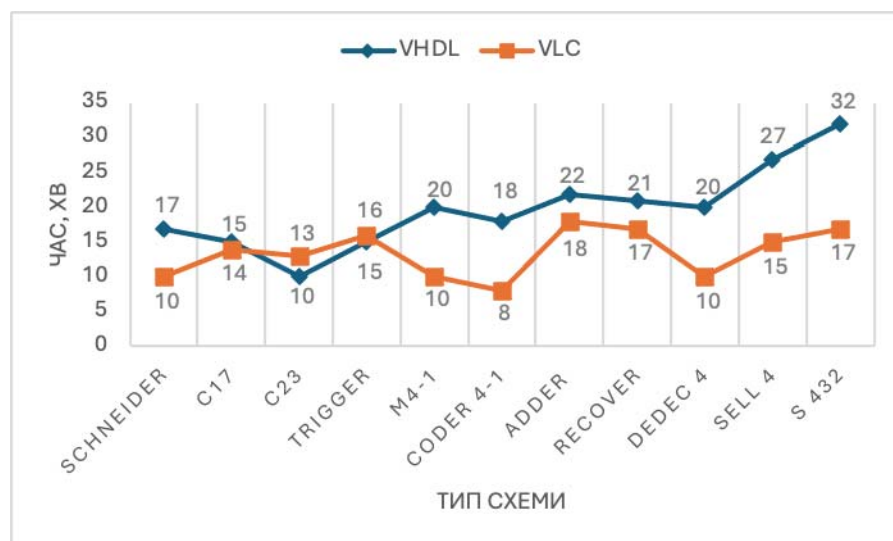


Рисунок 8 – Діаграма часу тестування схеми

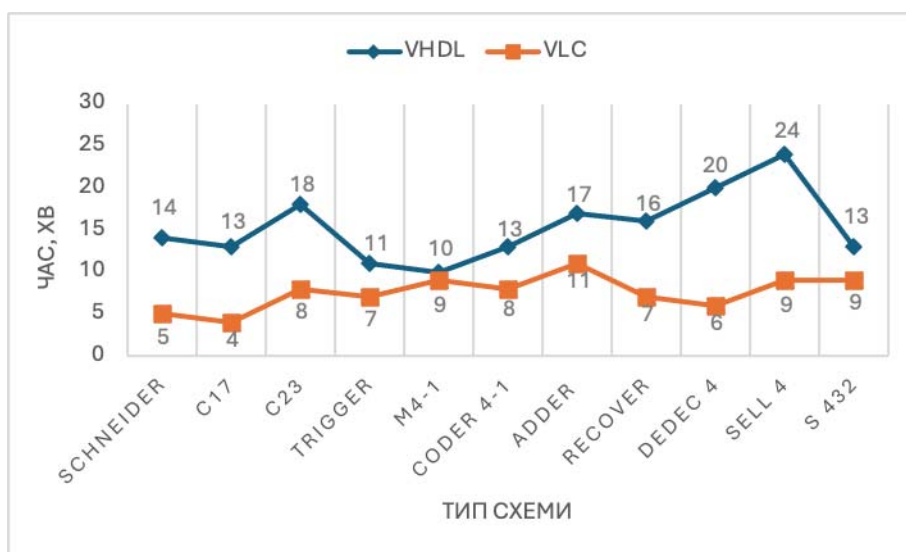


Рисунок 9 – Часові діаграми пошуку дефекту

Таким чином, запропоновано:

1) рівняння комп'ютингу як транзитивне замикання у тріаді відношень – як помилки, що створює нові структури, процеси чи явища;

2) механізми інтелектуального комп'ютингу орієнтовані на суттєве зниження часових та енергетичних витрат при вирішенні практичних завдань за рахунок обнулення алгоритмів обробки великих даних завдяки експоненційній надмірності розумних та надмірних AI-моделей;

3) механізми побудови моделей на основі універсуму примітивів, які мають Similarity по відношенню до їх використання для моделювання процесів (in-hardware synthesis, in-software programing, in neural network training, in-qubit quantization, in-memory modeling, in-truth table logic generation);

Наведено метричне порівняння механізмів моделювання несправностей, які є у промислових системах. Оцінено також векторне моделювання несправностей у цій метриці координат.

6 ОБГОВОРЕННЯ

Порівняння отриманих в ході експериментів результатів з аналогами демонструє наступне.

1. Під час підготовки схем переможцем є підхід, заснований на VLC (див. рис. 7). За рахунок наявності GUI він суттєво випереджає базовий варіант з малювання елементів та за верифікацією моделі.

2. Робота програми при тестуванні схем в обох випадках, як VHDL, так і VLC, займає менше секунди, інше – ручна обробка (див. рис. 8).

3. При пошуку дефектів на основі отриманої інформації про моделювання несправностей знову виграє новий варіант VLC, оскільки синтезована карта тестування – це явна форма завдання тестових наборів і комбінація несправностей, яка перевіряє кожен тестовий набір (див. рис. 9).

Таким чином, для відпрацювання навичок тестової верифікації необхідно використовувати прості технології введення інформації про схему та інженерні механізми побудови карт тестування цифрових логічних функціональностей. Мови опису апаратури (VHDL, Verilog) потрібно використовувати тільки у великих проектах, які потребують інтеграції великої кількості інженерів, які займаються проблемами тестування та верифікації. Більш технологічного та простого інженерного апарату, ніж механізми векторної логіки побудови карт тестування та моделювання, у світі на сьогоднішній день відсутні. Йдеться про дві альтернативи. Перша – це складні алгоритми ймовірнісної обробки текстів та даних для подальшого управління соціальним процесом. Друга – це детермінований vector-logic in-memory комп'ютинг, який використовують розумні моделі, лінійні алгоритми моделювання соціальних процесів. У результаті виходить інженерний комп'ютинг для моніторингу та управління соціальними процесами, який використовують добре напрацьовану теорію моделювання цифрових систем.

Платою за таку стійку технологію modeling for simulation є препроцесор отримання двійкової моделі та постпроцесор дешифрації одержаного результату до форми, що є зручною для очей людини. Слід зазначити, що двійкова векторна модель соціального процесу легко верифікуються, завдяки напрацьованим простим інженерним механізмам побудови карт тестування з урахуванням промпт-інженерії [14, 15]. Тому новий перспективний науковий напрямок можна ідентифікувати як «VLC social modeling for simulation», де VLC – Vector Logic in-memory Computing, економіка якого строго спрямована на мінімізацію часу та енергії.

Тріада – це відношення між трьома компонентами. Виникає питання – навіщо потрібний третій компонент, яку функцію він виконує серед двох інших? Як не дивно, але третій компонент виконує дуже важливу функцію метричного виміру двох об'єктів, що утворюють якісну бінарність. Так виникає найпростіша модель сучасного комп'ютингу $LxorT=F$, L – ідея, T – реалізація, F – виміряні помилки між ідеальним та актуальним рішенням. Така проста тріада відношень дозволяє: 1) метрично оцінити одержаний актуальний розв'язок $F=LxorT$; 2) скоригувати цей розв'язок з метою усунення зафіксованих помилок $T=LxorF$; 3) скоригувати ідею для одержання нової якості комп'ютингу $L=TxorF$.

Тріада відношень формує процес синтезу (modeling) моделі як у детермінованому, так і ймовірнісному комп'ютингу. Помилки між ідеальним та актуальним розв'язком – це шлях до досконалості проекту шляхом їх виправлення, а також створення нового виробу, де помилка – це корисна інновація. Транзитивне замикання у тріаді відношень – це помилка, що створює нові структури, процеси чи явища у Всесвіті, природі, соціумі, комп'ютингу. Помилки призводять до нових результатів.

ВИСНОВКИ

Наукова новизна полягає у розробці наступних інноваційних рішень:

1) запропоновано тріаду відношень на основі хог-операції для вимірювання процесів та явищ у кіберсоціальному просторі;

2) запропоновані архітектури інтелектуального комп'ютингу для управління соціальними процесами на основі їх вичерпного моніторингу. Механізми інтелектуального комп'ютингу орієнтовані на істотне зниження часових і енергетичних витрат під час вирішення практичних завдань рахунок обнулення алгоритмів обробки великих даних, завдяки експоненційній надмірності розумних і надлишкових AI-моделей;

3) механізми побудови моделей на основі універсуму примітивів, які мають Similarity по відношенню до їх використання для моделювання процесів (in-hardware synthesis, in-software programing, in neural network training, in-qubit quantization, in-memory modeling, in-truth table logic generation). Експонентна

надмірність таблиці істинності 2^n від n змінних породжує супер-експоненційну надмірність $2^{(2^n)}$ логічних функцій, що обнуляє алгоритми обробки структур даних або робить їх лінійними.

Практична значимість дослідження. Реалізація запропонованих рішень в архітектурі in-memory комп'ютингу дає можливість не використовувати інструкції процесора, тільки read-write транзакції на логічних векторах, що економить час та енергію для виконання алгоритмів аналізу великих даних. Запропонована метрика інтелектуального комп'ютингу використовується для вибору архітектури та моделей обчислювальних процесів з метою отримання ефективних розв'язків практичних завдань.

Перспективи дослідження. Запропоновані механізми синтезу векторно-логічних моделей соціальних процесів або явищ на основі унітарного кодування патернів на універсумі примітивів, які орієнтовані на верифікацію, моделювання та тестування прийнятих рішень.

Інженерний соціальний комп'ютинг покликаний сприяти побудові миролюбних, справедливих та відкритих суспільств для досягнення цілей сталого розвитку. Для цього необхідні ефективні та засновані на активній участі широких верств населення державні інститути, здатні забезпечити якісну освіту та охорону здоров'я, справедливу економічну політику та всеосяжний захист довкілля [16].

ЛІТЕРАТУРА

1. Low Code/No Code Meets the Metaverse // [G. F. Hurlburt, G. K. Thiruvathukal, N. Kshetri and N. Ahmad] / Computer. – 2025. – Vol. 58, No. 03. – P. 22–28. DOI: 10.1109/MC.2024.3520883.
2. Shan R. Certifying Generative AI: Retrieval-Augmented Generation Chatbots in High-Stakes Environments / R. Shan // Computer. – 2024. – Vol. 57, No. 09. – P. 35–44. DOI: 10.1109/MC.2024.3401085.
3. The Evolution of AI Governance / [S. Chesterman, Y. Gao, J. Hahn, and V. Sticher] // Computer. – 2024. – Vol. 57, No. 09. – P. 80–92. DOI: 10.1109/MC.2024.3381215.
4. Chilimbi T. How We Built Rufus, Amazon's AI-Powered Shopping Assistant. A custom language model uses new techniques to answer shoppers' questions quickly [Electronic resource] / T. Chilimbi // IEEE Spectrum. – 04 Oct 2024. – Access mode: <https://spectrum.ieee.org/shipt>
5. Azure AI Document Intelligence [Electronic resource] / Access mode: <https://azure.microsoft.com/en-us/products/ai-services/ai-document-intelligence>
<https://github.com/labelmeai/labelme>
6. Vector Synthesis of Fault Testing Map For Logic / [V. Hahanov, W. Gharibi, S. Chumachenko, E. Litvinova] // IAES International Journal of Robotics and Automation (IJRA). – 2024. – Vol. 13, No. 3. – P. 293–306. DOI:10.11591/ijra.v13i3.pp293-306
7. In-Memory Intelligent Computing / [V. I. Hahanov, V. H. Abdullayev, S. V. Chumachenko et al.] // Radio Electronics, Computer Science, Control. – 2024. – №1. – P. 161–174. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2024-1-15>
8. Matthew S. Smith. Challengers are coming for Nvidia's Crown [Electronic resource] / S. Matthew // IEEE Spectrum. – 03 Sep 2024. <https://spectrum.ieee.org/europa-clipper-2669391232>
9. Intelligent Computing: The Latest Advances, Challenges, and Future [Electronic resource] / [Shiqiang Zhu, Ting Yu, Tao Xu et al.] // Intell Comput. – 2023. – 2:0006. DOI:10.34133/icomputing.0006
10. East-West Design & Test Symposium [Electronic resource] / Access mode: <https://conf.ewdtest.com>
11. Testing for Electromigration in Sub-5-nm FinFET Memories / [M. Mayahinia, M. Tahoori, G. Tshagharyan et al.] // IEEE Design & Test. – Dec. 2024. – Vol. 41, No. 6. – P. 54–61. – doi: 10.1109/MDAT.2024.3411527.
12. Tahoori M. Special Issue on Silicon Lifecycle Management / M. Tahoori, Y. Zorian // IEEE Design & Test. – Aug. 2024. – Vol. 41, No. 4. – P. 5–6. DOI: 10.1109/MDAT.2024.3392620.
13. Faggella D. What is Machine Learning? Comprehensive Overview [Electronic resource] / [D. Faggella] // February 26, 2020. – Access mode: <https://emerj.com/ai-glossary-terms/what-is-machine-learning/>.
14. Vector-Logical In-Memory Simulation of Faults as Truth Table Addresses / [V. Hahanov, E. Litvinova, H. Hahanova et al.] // 2024 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), Yerevan, Armenia, 2024, P. 1–6. DOI: 10.1109/EWDTS63723.2024.10873615.
15. Prompt-Testing of Logic / [V. Hahanov, D. Devadze, I. Hahanov et al.] // 2024 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS). – Yerevan, Armenia, 2024. – P. 1–5. DOI: 10.1109/EWDTS63723.2024.10873774.
16. Sustainable Development Goals [Electronic resource] – Access mode: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/peace-justice/>

Стаття надійшла до редакції 22.04.2025.
Після доробки 06.07.2025.

ENGINEERING SOCIAL COMPUTING

Hahanov V. I. – Dr. Sc., Professor of the Design Automation Department, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine.

Chumachenko S. V. – Dr. Sc., Professor, Head of the Design Automation Department, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine.

Lytvynova E. I. – Dr. Sc., Professor of the Design Automation Department, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine.

Khakhanova H. V. – Dr. Sc., Professor of the Design Automation Department, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine.

Hahanov I. V. – PhD, Assistant of the Design Automation Department, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine.

Obrizan V. I. – PhD, Post-Doctoral Student of the Design Automation Department, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine.

Hahanova I. V. – Dr. Sc., Professor of the Design Automation Department, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine.

Maksymova N. G. – Postgraduate student of the Design Automation Department, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine.

ABSTRACT

Context. The relevance of the study is due to the need to eliminate contradictions between management and performers by introducing engineering social computing, which ensures moral management of social processes based on their metric monitoring.

Objective. The goal of the investigation is to develop engineering architectures for monitoring and managing social processes based on vector logic.

Method. The research is focused on the development of engineering vector-logical schemes and architectures for management of social processes based on their comprehensive metric monitoring in order to create comfortable conditions for creative work. Definitions of the main concepts of AI development are given. Interesting fragments of the history of computing are given. The computing equation is introduced as a transitive closure in a triad of relations – in the form of an error that creates new structures, processes or phenomena. Mechanisms of intelligent computing are developed that combine algorithms and data structures of deterministic and probabilistic AI computing. Mechanisms for constructing models based on the universe of primitives that have Similarity in relation to their use for process modeling (in-hardware synthesis, in-software programming, in neural network training, in-qubit quantization, in-memory modeling, in-truth table logic generation) are proposed. An intelligent computing metric is introduced, which is used to select the architecture and models of computing processes in order to obtain effective solutions to practical problems.

Results. The following is proposed: 1) the computing equation as a transitive closure in a triad of relations – in the form of an error that creates new structures, processes or phenomena; 2) mechanisms of intelligent computing aimed at a significant reduction in time and energy costs in solving practical problems by zeroing out algorithms for processing big data, due to the exponential redundancy of smart and redundant AI models; 3) mechanisms for constructing models based on the universe of primitives that have Similarity in relation to their use for modeling processes.

Conclusions. Scientific novelty concludes the following innovative solutions: 1) a triad of relations based on the xor-operation for measuring processes and phenomena in the cyber-social world is proposed; 2) intelligent computing architectures are proposed for managing social processes based on their comprehensive monitoring; 3) the implementation of these schemes in the in-memory computing architecture makes it possible not to use processor instructions, only read-write transactions on logical vectors, which saves time and energy for the execution of big data analysis algorithms; 4) mechanisms for synthesizing vector-logical models of social processes or phenomena based on unitary coding of patterns on the universe of primitives are proposed, which are focused on verification, modeling and testing of decisions made. The practical significance of the study lies in the fact that the metric of intelligent computing is proposed, which is used as a method for selecting the architecture and models of computing processes to obtain effective solutions to practical problems. Engineering social computing is designed to contribute to the construction of peaceful, fair and open societies to achieve the Sustainable Development Goals (SDG 16).

KEYWORDS: human brain, internet infrastructure, intelligent computing, artificial intelligence, smart data structures, computing models, computing history, computing metrics, AI-Industry, Modeling for simulation, Sustainable Development Goals, peaceful society.

REFERENCES

1. Hurlburt G. F., Thiruvathukal G. K., Kshetri N. and Ahmad N. Low Code/No Code Meets the Metaverse, *Computer*, 2025, Vol. 58, No. 03, pp. 22–28. DOI: 10.1109/MC.2024.3520883.
2. Shan R. Certifying Generative AI: Retrieval-Augmented Generation Chatbots in High-Stakes Environments,

- Computer*, 2024, Vol. 57, No. 09, pp. 35–44. DOI: 10.1109/MC.2024.3401085.
3. Chesterman S., Gao Y., Hahn J., and V. Sticher. The Evolution of AI Governance, *Computer*, 2024, Vol. 57, No. 09, pp. 80–92. DOI: 10.1109/MC.2024.3381215.
4. Chilimbi T. How We Built Rufus, Amazon's AI-Powered Shopping Assistant. A custom language model uses new techniques to answer shoppers' questions quickly [Electronic resource], *IEEE Spectrum*, 04 Oct 2024. Access mode: <https://spectrum.ieee.org/shipt>
5. Azure AI Document Intelligence [Electronic resource] / Access mode: <https://azure.microsoft.com/en-us/products/ai-services/ai-document-intelligence> <https://github.com/labelmeai/labelme>
6. Hahanov V. Gharibi W., Chumachenko S., Litvinova E. Vector Synthesis of Fault Testing Map For Logic, *IAES International Journal of Robotics and Automation (IJRA)*, 2024, Vol. 13, No. 3, pp. 293–306. DOI:10.11591/ijra.v13i3.pp293-306
7. Hahanov V. I. Abdullayev V. H., Chumachenko S. V., E. I. Lytvynova, I. V. Hahanova In-Memory Intelligent Computing, *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2024, №1, pp. 161–174. – <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2024-1-15>
8. Matthew S. Smith. Challengers are coming for Nvidia's Crown [Electronic resource], *IEEE Spectrum*, 03 Sep 2024. <https://spectrum.ieee.org/europa-clipper-2669391232>
9. Shiqiang Zhu, Ting Yu, Tao Xu, Hongyang Chen, Schahram Dustdar, Sylvain Gigan, Deniz Gunduz, Ekram Hossain, Yaochu Jin, Feng Lin, Bo Liu, Zhiguo Wan, Ji Zhang, Zhifeng Zhao, Wentao Zhu, Zuoning Chen, Tariq S. Durrani, Huaimin Wang, Jiangxing Wu, Tongyi Zhang, Yunhe Pan Intelligent Computing: The Latest Advances, Challenges, and Future [Electronic resource], *Intell Comput*, 2023, 2:0006. DOI:10.34133/icomputing.0006
10. East-West Design & Test Symposium [Electronic resource]. Access mode: <https://conf.ewdtest.com>
11. Mayahinia M., Tahoori M., Tshagharyan G., Amirkhanyan K., Ghukasyan A., Harutyunyan G., Zorian Y. Testing for Electromigration in Sub-5-nm FinFET Memories, *IEEE Design & Test*, Dec. 2024, Vol. 41, No. 6, pp. 54–61. DOI: 10.1109/MDAT.2024.3411527.
12. Tahoori M., Zorian Y. Special Issue on Silicon Lifecycle Management, *IEEE Design & Test*, Aug. 2024, Vol. 41, No. 4, pp. 5–6. doi: 10.1109/MDAT.2024.3392620.
13. Faggella D. What is Machine Learning? Comprehensive Overview [Electronic resource], February 26, 2020. Access mode: <https://emerj.com/ai-glossary-terms/what-is-machine-learning/>.
14. Hahanov V., Litvinova E., Hahanova H., Chumachenko S., Davitadze Z., Hahanova I., Kulak H., Ponomarova V., Abdullayev V. H. Vector-Logical In-Memory Simulation of Faults as Truth Table Addresses, *2024 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*. Yerevan, Armenia, 2024, pp. 1–6. DOI: 10.1109/EWDTS63723.2024.10873615.
15. Hahanov V., Devadze D., Hahanov I., Chumachenko S., Litvinova E., Obrizan V., Dmytro P., Mishchenko A., Maksymova N. Prompt-Testing of Logic, *2024 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*. Yerevan, Armenia, 2024, pp. 1–5. DOI: 10.1109/EWDTS63723.2024.10873774.
16. Sustainable Development Goals [Electronic resource] – Access mode: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/peace-justice/>