

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерної інженерії та управління  
(повна назва)

Кафедра Автоматизації проектування обчислювальної техніки  
(повна назва)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)  
(рівень вищої освіти)

**МОДЕЛІ КІБЕРСОЦІАЛЬНОГО КОМП'ЮТИНГУ НА ОСНОВІ  
ФЕДЕРАТИВНОГО НАВЧАННЯ**  
(тема)

Виконав: студент II курсу, групи СКСм-22-1  
Каракаш`ян Д. В.  
(прізвище, ініціали)

Спеціальність  
123 – Комп'ютерна інженерія  
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми  
освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма  
Спеціалізовані комп'ютерні системи  
(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Литвинова Є.І.

Допускається до захисту

Зав. каф. АПОТ



(підпис)  
2023 р.

Чумаченко С.В.  
(прізвище, ініціали)

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет \_\_\_\_\_ Комп'ютерної інженерії та управління \_\_\_\_\_  
Кафедра \_\_\_\_\_ Автоматизації проектування обчислювальної техніки \_\_\_\_\_  
Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ другий (магістерський) \_\_\_\_\_  
Спеціальність \_\_\_\_\_ 123\_ Комп'ютерна інженерія \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)  
Тип програми \_\_\_\_\_ Освітньо-професійна \_\_\_\_\_  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)  
Освітня програма \_\_\_\_\_ Спеціалізовані комп'ютерні системи \_\_\_\_\_  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:  
Зав. кафедри АПОТ



\_\_\_\_\_ Чумаченко С.В.  
(підпис)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФАКАЦІЙНУ РОБОТУ**

студентові \_\_\_\_\_ Каракаш`яну Данилу В`ячеславовичу \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Моделі кіберсоціального комп'ютингу на основі федеративного навчання

затверджена наказом по університету від 03 листопада 2023 р. № 1282 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 19 січня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

Моделі, методи, архітектури кіберсоціального комп'ютингу

Федеративне навчання

Елементи булевої логіки

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі \_\_\_\_\_

Аналіз предметної області

Архітектури кіберсоціального FML-комп'ютингу

Приклад реалізації кіберсоціального комп'ютингу на основі федеративного навчання

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) \_\_\_\_\_  
слайди презентації – 15 \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_


6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1 )


Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів	Примітка
1	Отримання завдання	01.09.2023-05.09.2023	
2	Аналіз предметної області, напрямки сучасного комп'ютерного маркетингу	07.09.2023-21.09.2023	
3	Моделі і методи кіберсоціального FLM-комп'ютерного маркетингу	22.09.2023-15.10.2023	
4	Архітектури кіберсоціального FLM-комп'ютерного маркетингу	16.10.2023-06.11.2023	
5	Приклад реалізації кіберсоціального комп'ютерного маркетингу на основі федеративного навчання	07.11.2023-07.12.2023	
6	Оформлення пояснювальної записки	08.12.2023-30.12.2023	
7	Оформлення графічного матеріалу	02.01.2024-05.01.2024	
8	Перевірка виконаного проекту керівником	06.01.2024-12.01.2024	

Дата видачі завдання 01 вересня 2023 р.

Студент  Каракашьян Д.В.  
(підпис)

Керівник роботи  проф. Литвинова Є.І.  
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 55 с., 26 рис., 90 джерел.

МОДЕЛЬ, МЕТОД, АРХІТЕКТУРА, КІБЕРФІЗИЧНИЙ КОМП'ЮТИНГ, КІБЕРСОЦІАЛЬНИЙ КОМП'ЮТИНГ, КІБЕРПРОСТІР, МАШИННЕ НАВЧАННЯ, КІБЕР-СОЦІАЛЬНИЙ ML-КОМП'ЮТИНГ, ЦИФРОВИЙ ДВІЙНИК, ФЕДЕРАТИВНЕ НАВЧАННЯ.

У магістерській роботі розглядаються питання, пов'язані зі створенням кіберсоціальних моделей, методів, архітектур на основі федеративного навчання.

Мета дослідження – підвищення якості моніторингу та цифрового управління соціальними процесами шляхом розробки моделей, методів, архітектур та алгоритмів кіберсоціального комп'ютингу на основі федеративного навчання.

Задачі дослідження: проаналізувати сучасні технологічні тенденції; виконати аналітичний огляд моделей та методів кіберсоціального комп'ютингу; вдосконалити архітектури кіберсоціального комп'ютингу на основі федеративного навчання; виконати імплементацію моделей, методу, архітектур на основі федеративного навчання.

Об'єкт дослідження – теорія та технології цифрового комп'ютингу для кіберсоціальних процесів на основі федеративного навчання.

Предмет дослідження – кіберсоціальний комп'ютинг для метричного моніторингу та цифрового управління соціальними процесами з метою забезпечення якості державних сервісів та збереження екології регіонів.

## ABSTRACT

The explanatory note contains: 55 pages, 26 figures, 90 sources according to the list of links.

MODEL, METHOD, ARCHITECTURE, CYBER SOCIAL COMPUTING, CYBER SPACE, MACHINE LEARNING MANAGEMENT, CYBER PHYSICAL COMPUTING, CYBER SOCIAL ML-COMPUTING, DIGITAL TWIN OF CYBER SOCIAL COMPUTING, FEDERATED LEARNING.

The master's work examines issues related to the creation of cyber-social models, methods, architectures based on federated learning.

The purpose of the research is to improve the quality of monitoring and digital management of social processes by developing models, methods, architectures, and algorithms of cyber-social computing based on federated learning.

Research tasks: to analyze modern technological trends; perform an analytical review of cybersocial computing models and methods; to improve architectures of cyber-social computing based on federated learning; implement models, methods, architectures based on federated learning.

The object of research is the theory and technologies of digital computing for cyber-social processes based on federated learning.

The subject of the research is cyber-social computing for metric monitoring and digital management of social processes to ensure the quality of state services and preserve the ecology of the regions.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	8
ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	11
1.1 Напрямки сучасного комп'ютингу .....	11
1.2 FML підхід у комп'ютингу на основі огляду джерел .....	15
1.3 Висновки до розділу 1 .....	20
2 МОДЕЛІ І МЕТОДИ КІБЕРСОЦІАЛЬНОГО FML-КОМП'ЮТИНГУ.....	22
2.1 Поняття та визначення .....	22
2.2 Метрики та структури даних .....	24
2.3 ML-модель та ML-комп'ютинг .....	28
2.4 Висновки до розділу 2.....	30
3 АРХІТЕКТУРИ КІБЕРСОЦІАЛЬНОГО FML-КОМП'ЮТИНГУ.....	31
3.1 Детермінований цифровий комп'ютинг.....	31
3.2 Стійкість кіберсоціальної системи.....	33
3.3 Рівняння та архітектури комп'ютингу .....	34
3.4 Цифровий двійник .....	36
3.5 Комп'ютинг як процес обміну даними.....	38
3.6 FML Computing .....	41
3.7 Висновки до розділу 3 .....	44
4 РЕАЛІЗАЦІЯ FML-КОМП'ЮТИНГУ .....	46
4.1 Вдосконалена архітектура кіберсоціального комп'ютингу.....	46
4.2 Імплементация.....	47
4.3 Тестування .....	52
4.4 Висновки до розділу 4.....	53
ВИСНОВКИ .....	54
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	56

ДОДАТОК А Графічний матеріал до кваліфікаційної роботи (презентація)	68
ДОДАТОК Б Тези доповіді .....	75
Відомості кваліфікаційної роботи.....	80

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,  
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

- AI – штучний інтелект (Artificial Intelligent);  
AI-ML – штучний інтелект – машинне навчання;  
ASI – штучний соціальний інтелект (Artificial Social Intelligence);  
CIS – Computational Intelligence Society;  
CPS (Cyber Physical System) – кіберфізична система;  
CSS (Cyber Social System) – кібер-соціальна система;  
FEL (Food Exchange List) – стандарт обміну харчовими продуктами;  
FL – федеративне навчання;  
FML (Federated Machine Learning) – федеративне машинне навчання;  
ML (Machine Learning) – машинне навчання;  
QEC – квантова корекція помилок;  
БПЛА – безпілотний літальний апарат;  
FER (Facial Expression Recognition) – розпізнавання емоцій за виразом  
обличчя;  
ІІ – штучний інтелект.



## ВСТУП

У магістерській роботі розглядаються питання, пов'язані зі створенням кіберсоціальних моделей, методів, архітектур на основі федеративного навчання.

Мета дослідження – підвищення якості моніторингу та цифрового управління соціальними процесами шляхом розробки моделей, методів, архітектур та алгоритмів кіберсоціального комп'ютингу на основі федеративного навчання.

Задачі дослідження: проаналізувати сучасні технологічні тенденції; виконати аналітичний огляд моделей та методів кіберсоціального комп'ютингу; вдосконалити архітектури кіберсоціального комп'ютингу на основі федеративного навчання; виконати імплементацію моделей, методу, архітектур на основі федеративного навчання.

Об'єкт дослідження – теорія та технології цифрового комп'ютингу для кіберсоціальних процесів на основі федеративного навчання.

Предмет дослідження – кіберсоціальний комп'ютинг для метричного моніторингу та цифрового управління соціальними процесами з метою забезпечення якості державних сервісів та збереження екології регіонів.

Створення колективного кібер-розуму людства сьогодні проходить через федеративне машинне навчання як технології розумного використання громадян і термінальних пристроїв. Все це стало можливим завдяки появі 5G-технологій зв'язку, хмарних структур, соціальних мереж, мобільних пристроїв та експертів, що у сукупності створюватимуть толерантний цифровий світ та інтелекту планети.

Розглядається новий кіберсоціальний комп'ютинг та computer engineering technologies, цілеспрямовані на гармонійний сталий розвиток суспільства, що виключає соціальні колізії, революції та війни, на основі моніторингу та цифрового управління. Для формування сталого

кіберсоціального світу використовуються основні процеси та явища кіберфізичного простору. Наводиться огляд досліджень та розробок, спрямованих на цифровий моніторинг та управління ресурсами та соціальними процесами без участі людини.

Аналізуються інноваційні моделі, методи та алгоритми для формування масштабованого кіберсоціального online комп'ютингу без участі людини. Кіберсоціальна модель суспільства розглядається як критична система, некоректне управління якою призводить до катастрофічних втрат ресурсів.

Розглядається ML-модель у формі таблиці істинності для опису процесу, явища, людини, соціальної групи, суб'єкта, де метричними параметрами виступають морально та соціально значущі показники.

Аналізується структура хмарно-мобільної програми Cyber Social Computing, яка характеризується наявністю штучного інтелекту у вигляді двох ML-таблиць істинності та кубітних структур даних для паралельного моделювання соціальних процесів. Розглядається модель Digital Twin Computing, яка характеризується порівнянням двох ML-таблиць істинності, що моделюють ідеальну та реальну поведінку людини з виставленням її метричних оцінок за соціальну активність та значимість, прийнятих у співтоваристві.

Реалізується вдосконалена модель-архітектура кіберсоціального FML-комп'ютингу, що відрізняється суміщенням процесу навчання, тестування, функціонування та розподілом ML-терміналів у просторі, та надає можливість на порядок зменшити час навчання та підвищити якість сервісів з розпізнавання-прийняття рішень при обслуговуванні громадян. Використовується вдосконалена архітектура cloud-edge кіберсоціального комп'ютингу для алгоритмів федеративного навчання, яка включає чотири фази: локальне навчання (Training), завантаження параметрів (Upload) у хмарну модель, агрегування (Aggregating) параметрів на хмарі та повернення параметрів моделі до терміналів.

## 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

Наводиться стан сучасного комп'ютингу на основі огляду літературних джерел та технологічних трендів Gartner Research Group. Аналізуються публікації, що підтверджують ефективність FML-комп'ютингу у широкому спектрі сервісного обслуговування громадян.

### 1.1 Напрямки сучасного комп'ютингу

Глобальний комп'ютинг можна зобразити на рис. 1.1, де L – стан глобального інтелекту удосконалюється у бік зменшення відмінностей між законами F та традиціями T у соціумі. Важливим з точки зору продуктивності для функціонування глобального комп'ютингу є канали зв'язку. Продуктивність може бути збільшена завдяки впровадженню технологій кодування та стиснення даних.

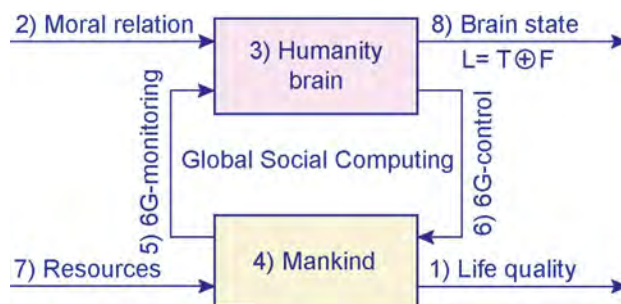


Рисунок 1.1 – Кіберсоціальний комп'ютинг (у глобальному сенсі)

Метрика комп'ютингу містить 8 складових, що утворюють довільну систему: 1) мета, ідея проекту; 2) відносини, що формуються статутом, традиціями та законодавством, – найголовніший у всіх системах атрибут, що визначає якість, надійність, відмовостійкість та працездатність усієї інфраструктури для досягнення мети; 3) управління для створення та функціонування проекту; 4) виконання, представлене кадрами та

допоміжними механізмами; 5) моніторинг механізму виконання; 6) цифрові сигнали точної актуації компонентів виконання; 7) ресурси (фінансові та матеріальні) для забезпечення роботи механізму виконання; 8) стан системи у процесі виконання проекту чи завдання.

На сьогоднішній день бібліографія Cyber Social Computing представлена тисячами джерел у бібліотеці IEEE Xplore, а також сотнями книг, опублікованих Springer. Наприклад, [1–6]. Дослідження щодо онлайн цифрового управління соціальними процесами та явищами на основі метричного моніторингу, представлені недостатньо.

Комплексне дослідження кіберсоціального комп'ютингу присвячене наступним технологіям та напрямкам: 1) відображення фізичних та соціальних процесів у кіберпросторі; 2) аналітика великих даних прийняття рішень; 3) застосування моделей та методів ШІ для прийняття рішень експертами; 4) надання найпростіших хмарних послуг громадянам від держави та підприємств; 5) моніторинг соціальних мереж як реакція на виконавчий вплив силових структур; 6) розпізнавання деструктивного контенту для подальшого блокування сайтів та медіаканалів; 7) системи прийняття експертних рішень у кіберпросторі з урахуванням аналізу великих даних; 8) зелені технології соціальних обчислень для морального управління поведінкою громадян; 9) застосування Cloud-Fog-Edge-Peer2Peer Computing для всебічного моніторингу соціальних процесів; 10) створення соціальних роботів для онлайн-сервісу громадянина у медицині, повсякденному житті, подорожах; 11) квантові структури та алгоритми для ефективного вирішення завдань аналізу великих даних, комплексного моніторингу та цифрового управління соціальними процесами.

Слід зазначити, що практично всі вказані напрямки відзначені дослідженнями комп'ютирової школи ХНУРЕ, представленими сукупністю публікацій [1, 7, 13, 19, 20, 26, 32, 35–67].

Сьогодення диктує тематику ринку технологій для практики, науки та освіти. Серед них знаходяться на топі: 1) Quantum Computing; 2) Cyber Social

Computing; 3) Artificial Intelligence Computing. Перший має вирішити всі найскладніші комбінаторні проблеми людства, але у комбінації із класичним комп'ютигом.

Професор Сун-Сінг Нг (Soon-Xin Ng) робить цікаві висновки про кооперативну класичну та квантову комунікацію [Семінар QCIT, 6 липня 2021 р.: <https://qcit.committees.comsoc.org/files/2021/07/agenda1.pdf>]. Відповідно до закону Мура кількість транзисторів у кристалі подвоюється кожні два роки. Прагнення до мініатюризації та вищої обчислювальної потужності наблизить розміри транзисторів до атомного масштабу. Поведінка на атомному рівні регулюється законами квантової фізики, які відрізняються від законів класичної фізики. Квантовий паралелізм дозволяє Q-Computing виконувати операції паралельно та швидко вирішувати задачі комбінаторної оптимізації. Перешкодою для практичного застосування Q-обчислень є чутливість квантових станів до руйнування, коли вони взаємодіють із середовищем. Щоб захистити Q-стани квантових комунікаційних структур від руйнування, потрібні сильні коди квантової корекції помилок (QEC).

Професор Марко Чіані (Marco Chiani) пропонує тему квантових методів «спільного використання». У традиційних телекомунікаційних мережах зазвичай шукають і синхронізують шаблони символів у потоках, щоб вставити дані або керуючі символи у пакети. У квантовій мережі ці операції неможливі, оскільки кожен вимір руйнує квантову суперпозицію. Перешкодою для практичного застосування Q-комп'ютерів є чутливість квантових станів до руйнування при взаємодії з навколишнім середовищем.

Актуальним завданням є суміщення класичної інформації з кубітним потоком, захищеним кодом квантової корекції помилок. Поєднання квантових потоків може полегшити синхронізацію, керування та використання квантових систем та мереж.

Cyber Social Computing покликаний усунути соціальні проблеми та забруднення планети.

Artificial Intelligence Computing має на меті створити human-free підходи сталого саморозвитку кіберфізичних механізмів та інфраструктур. При цьому комп'ютинг означає online прийняття цифрових рішень у відповідь на точний вичерпний метричний моніторинг процесу або явища.

Згадані тренди корелюються з напрямками розвитку технологій 2021 року Gartner's Priorities [68]. Тут йдеться про комбінаторику інновацій, що створюють нові властивості кіберфізичних систем, направлених на якість життя громадян та збереження екології планети.

Першим трендом є глибока орієнтованість на потреби людей, що включає розвиток інтернету етичної поведінки, узагальнення досвіду в різних сферах та впровадження в керування людиною, підвищення конфіденційності даних під час обробки.

Другий тренд представлений розподіленими хмарними сервісами, операційними діями, інваріантними до геолокації суб'єктів, що масштабуються мережами кібербезпеки процесів та явищ.

Третій тренд – стійке постачання в умовах світової нестабільності формується інтелектуальним композитним та гнучким бізнесом, надійними засобами AI-engineering, гіперавтоматизацією всього, що можна автоматизувати вдома, у компанії, державі.

Gartner Research Group показує явно позначене технологічне зрушення у бік алокальних операцій на кіберфізичній інфраструктурі з безперервним операційним часом виконання. Наголошується на перевагу критичних умінь, але не ролей, на розподілені обчислення та суттєву модернізацію основних бізнес-понять (рис. 1.2).

Правила диктуються обстановкою у світі останніх років, пов'язаних з пандемією, яка стала потужним підсилювачем-актюатором для дизрапторної зміни технологічного укладу у бік цифровізації, децентралізації, безперервності, автономізації, просторово-часової алокації при виконанні роботи.



Рисунок 1.2 – Напрямки впливу моделей інфраструктури та операцій на бізнес

### 1.2 FML підхід у комп'ютингу на основі огляду джерел

Федеративне навчання FL [79] привертає все більшу увагу як перспективний підхід до управління величезною кількістю кінцевих пристроїв за допомогою штучного інтелекту (ШІ). Проте складно гарантувати ефективність FL, враховуючи ненадійність кінцевих пристроїв та каналів пристрій-сервер. Запропоновано систему SAFA, напівсинхронний протокол FL, для вирішення проблем федеративного навчання за невисокої ефективності раунду, коли клієнти часто відключаються від мережі. Представлені нові конструкції на етапах поширення моделі, вибору клієнтів та глобального агрегування з метою пом'якшення відставання, збоїв та старіння моделі, підвищення ефективності та якості глобальної моделі. Проведено експерименти з типовими завданнями машинного навчання. Запропонований протокол ефективний з погляду скорочення тривалості федеративного циклу, зменшення втрат локальних ресурсів та підвищення точності глобальної моделі за умови прийнятної якості зв'язку.

У [80] запропоновано полегшений контекстно-залежний алгоритм онлайн-навчання, а саме FML, з перевіреною межею продуктивності та гарантованою збіжністю. FML використовує грубу інформацію про місцезнаходження користувача та об'єднує отримані дані, щоб навчатися та адаптуватися до свого середовища. Проведено широке тестування з використанням реалістичних моделей трафіку, отриманих із Google Maps. Оцінка показує, що FML дозволяє базовим станціям mmWave досягати

оптимальної продуктивності протягом 33 хвилин після розгортання, вивчаючи доступний контент. Більше того, FML залишається в межах  $\sim 5\%$  від оптимальної продуктивності за рахунок швидкої адаптації до системних змін, блокування та трафіку.

У роботі [81] запропоновано систему емоційного вираження на основі нечіткої мови розмітки (FML). Бази знань та правил запропонованої системи формуються за допомогою FML. Визначено механізм нечіткого висновку для емоційного задоволення та збудження очного робота. Механізм передачі протоколу відправляє очному роботу емоційні рухи. Результати експериментів показують, що очний робот може допомогти новачкам у грі Go зберігати напругу-розвагу.

У зв'язку зі збільшенням числа повних людей у роботі [82] представлена система на основі FML для ресторанів, що дозволяє вивести рекомендований рівень ресторану, вказавши розрахункову кількість калорій в їжі, відстань до ресторану і ціну їжі. За допомогою стандарту списку обміну харчовими продуктами (FEL) можна оцінити калорійність різних видів їжі. Використовується FML для створення бази знань та правил рекомендаційної системи на основі пропозицій експертів у предметній галузі дієти. З урахуванням розрахункових калорійності їжі, відстані до ресторану та ціни на їжу робиться висновок про рекомендований рівень ресторану, щоб люди могли насолоджуватися смачною їжею та робити вправи.

У роботі [83] йдеться про федеративне машинне навчання (FML), що створює екосистему для спільної роботи кількох сторін синтезу моделей, одночасно захищаючи конфіденційність даних для учасників. Вимірювання вкладу кожної сторони FML дозволяє справедливо розподіляти кредити. Запропоновано методи справедливого розрахунку вкладів кількох сторін у FML у контексті як горизонтального, так і вертикального FML, які відчиняють двері для дослідження вкладу моделей та розподілу кредитів у контексті федеративного машинного навчання.



Глобальне потепління викликає зростання стихійних лих та загрожує життю людей та безпеці майна. У нестабільному середовищі ефективність та дієвість енерго-менеджменту є важливим аргументом. У [84] пропонується підхід до управління енергоспоживанням, який оптимізує взаємозв'язок між змінними, такими як час, області, країни, користувачі, сезони, методи оцінки та різні види виробництва енергії, такі як атомна енергія, вода, біомаса, вітер, сонце. Тут поєднуються підходи онтології та нечіткої мови розмітки (Fuzzy Markup Language) з теоріями про невизначеність для оцінки застосовності виробництва енергії на основі технологічних інновацій, економічного розвитку, соціальної безпеки, захисту навколишнього середовища, регіональних характеристик та часу. Результати моделювання показують, що запропонований підхід може забезпечити альтернативу енергоменеджменту з погляду людей, урядів та підприємств. Очікується, що в майбутньому надаватиметься оптимізована модель прийняття рішень з управління енергоспоживанням для різних осіб, які приймають рішення, та користувачів.

Технологія FML IEEE Computational Intelligence Society (CIS) [85] є стандартом від 2016 року, який підтримується мовою на основі XML, що дозволяє проектувальнику створювати бази знань та правил розробленої системи нечіткої логіки. Запропоновано агента лінгвістичної класифікації на основі FML для популярних пісень у середовищі соціальних мереж. Тексти пісень витягуються з Youtube, Facebook або Google+, до яких застосовується механізм обробки природної мови (NLP) для попередньої обробки документів. Робот Fujisoft PALRO отримує класифіковані пісні та відтворює їх для користувачів за їх неявним бажанням.

Transactions on Computers включає теорію розрахунків та обчислювальних процесів, проектування та тестування апаратури, системну архітектуру, програмне забезпечення, штучний інтелект та комп'ютерні науки. Дослідження є агрегування областей знань: глобальна мережа, 5G-технологій зв'язку, комп'ютинг, machine learning. ML включають математику, комп'ютерну інженерію, статистику, цифрову обробку сигналів, а також

теорію інформації та кодування. Термін ML був придуманий в 1959 Артуром Самуелем при створенні комп'ютерної програми для гри в шашки, яка вчиться виробляти (але не описувати, як в DC) поведінка, не запрограмована автором [86].

Вже не дивно звучить, що вперше в історії наукової інженерної спільноти номер за червень 2021 р. журналу IEEE Computer [87] вийшов під актуальною темою Governments and Technology. Це означає одне, що виникає все більш відчутний тиск на державні структури з боку технологічної еліти щодо імплементації сучасного комп'ютера в соціальну сферу, де некомпетентність політиків і державних службовців у цифровому управлінні призводить до катастрофічних наслідків. У журналі розглядаються ML-технології для вирішення соціальних проблем, а також: БПЛА – виявлення шкідливих рослин (борщівник), турбулентності, розпізнавання емоцій за виразом обличчя (FER – Facial Expression Recognition), з урахуванням контексту (міміка, звук, текст, поза, хода). Так, наприклад, Marc Canellas, New York University намагається допомогти правосуддю та засудженим, пояснюючи переваги при імплементації комп'ютера до юриспруденції. Норберт Вінер: «Яким рішенням більше довіри, що йдуть від машин із металу чи від машин із плоті та крові, організованих до судів, армії та корпорації? Правильні відповіді припускають детермінізм правильних питань. Двічі два рівно чотирьом, відповідь комп'ютер, але не людина. Суб'єктивність вибору призводить до тисяч фатальних помилок у юриспруденції. Вибір добра (комп'ютера) і зла (завжди суб'єктивізму людини) стукає в наші двері». Інтелектуальна недостатність системи правосуддя змушує інженерів створювати сертифіковані Hardware/Software продукцію та сервіси, здатні виключати юридичні помилки та точно встановлювати відповідність правопорушення юридичним розумним контрактам чи законам прямої дії.

Слід зазначити, що FML-технологія успішно розвивається понад 10 років суспільством IEEE CS, провідними ІТ-компаніями планети, включаючи Google, Apple, Amazon, Alibaba. Одне з актуальних завдань, де беруть участь

мільйони водіїв у синтезі ML-моделі: побудувати граф часових переходів між усіма критичними координатами міської інфраструктури у просторі та у часі означає – навчити будь-який транспортний засіб пересуватися оптимальним маршрутом у будь-який час доби. Проблема потребує постійного вдосконалення таблиці істинності, оскільки існує сталий розвиток міської інфраструктури, нарощування потужності автопарку та миттєві колізії, які потребують миттєвої обробки. Таке ж рішення слід використовувати і для авіаційного транспорту, де погодні умови щогодини вносять зміни до авіаційної повітряної інфраструктури. Надзвичайно важливо, що у навчанні беруть участь лише фахівці, зацікавлені як кінцеві сервіси. Що стосується ML-моделі соціального комп'ютингу, тут також беруть участь громадяни, зацікавлені державними послугами. Проста наявність зворотного зв'язку, як реакції глибинних громадян на укази, що видаються або пропоновані, позбавлять державу бунтів, революцій і соціальних колізій. Це також федеративне машинне навчання державного ML-механізму для оптимального управління соціальними групами з метою підвищення якості життя громадян. Першими таку технологію використовувала компанія Google, яка досягла фантастичних результатів у точності та продуктивності за мінімальний час навчання.

Таким чином, створення колективного кібер-розуму людства проходить через FML-технології ненав'язливого та розумного використання самого людства. Все це стало можливим завдяки появі 5G-технологій зв'язку, хмарних структур, соціальних мереж, мобільних пристроїв та геніальних експертів, що створюють цифровий світ та інтелект планети.

Кіберсоціальний комп'ютинг дозволить уникнути в кожній країні багатомільярдні доларові збитки в економіці, історії, культурі, науці, освіті.

Рівняння кіберсоціального комп'ютингу характеризується обчислювальним процесом усунення протиріч у існуючих суспільних відносинах між законотворчістю та глибинними традиціями, що дає змогу

виключати соціальні колізії, створювати потужну економіку та ефективну державність.

Федеративна архітектура кіберсоціального комп'ютингу характеризується інтерактивним обміном ML-моделей між хмарними сервісами та термінальними обчислювачами користувачів, що дає можливість суттєво зменшити час навчання та покращити якість розпізнавання процесів та явищ без обміну персональними даними, з метою синтезу кіберсоціального мозку суспільних відносин.

### 1.3 Висновки до розділу 1

Проналізовано стан сучасного комп'ютингу на основі огляду літературних джерел та прогнозів американської дослідницької та консалтингової компанії Gartner Research Group.

Визначено computer engineering technologies, спрямовані на гармонійний сталий розвиток суспільства, що виключає соціальні колізії, революції та війни, на основі метричного вичерпного моніторингу та морального цифрового управління. Інтегровано всі сучасні технології для online управління оцифрованим людством без участі самої людини.

Показано відсутність практичних досліджень та розробок, спрямованих на замкнутий цикл вичерпного метричного моніторингу та цифрового управління ресурсами та соціальними процесами без участі людини.

На підставі огляду літературних джерел та сучасних технологічних тенденцій визначено ефективність FML-комп'ютингу. Можна зробити висновок, що створення моделей, методів, архітектур на основі FML надасть можливість реалізації кіберфізичного та кіберсоціального федеративного комп'ютингу для вичерпного моніторингу та цифрового управління соціальними процесами.

Таким чином, FML як найефективніший апарат масового навчання на шляху реалізації штучного інтелекту людства вже сьогодні використовується

при створенні комп'ютингу розпізнавання та прийняття рішень у наступних сферах людської діяльності: медицина, транспорт, енергетика, культура, музика, фільми, індустрія, фінанси, управління, клімат, освіта, соціологія.

Мета дослідження – підвищення якості моніторингу та цифрового управління соціальними процесами шляхом розробки моделей, методів, архітектур та алгоритмів кіберсоціального комп'ютингу на основі федеративного навчання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати сучасні технологічні тенденції;
- виконати аналітичний огляд моделей та методів кіберсоціального комп'ютингу;
- проаналізувати та вдосконалити архітектури кіберсоціального комп'ютингу на основі федеративного навчання;
- виконати імплементацію моделей, методу, архітектур на основі федеративного навчання.

Об'єкт дослідження – теорія та технології цифрового комп'ютингу для кіберсоціальних процесів на основі федеративного навчання.

Предмет дослідження – кіберсоціальний комп'ютинг для метричного моніторингу та цифрового управління соціальними процесами з метою забезпечення якості державних сервісів та збереження екології регіонів.

## 2 МОДЕЛІ І МЕТОДИ КІБЕРСОЦІАЛЬНОГО FML-КОМП'ЮТИНГУ

Розглядаються основні поняття, моделі, методи та технологічні рішення, орієнтовані на створення кіберсоціального FML-комп'ютингу, який поєднує підходи комп'ютерної інженерії, електронних технологій та соціальної інженерії.

### 2.1 Поняття та визначення

Кіберфізичний простір – телекомунікаційна інфраструктура cloud-edge сервісів та розумних сенсорів, що поєднує сукупність адресованих, метрично взаємодіючих, оцифрованих, віртуальних і реальних процесів та явищ з вираженими функціями моніторингу, обчислення, зберігання, транзакцій та управління.

Комп'ютинг – галузь знань, що займається розвитком теорії та практики надійного цифрового управління віртуальними, фізичними та соціальними процесами та явищами на основі метричних відношень між механізмами управління та виконання, вичерпного моніторингу кіберфізичного простору шляхом використання cloud-edge сервісів та розумних сенсорів для збору та інтелектуальної обробки великих даних з метою створення продукції та/або сервісів при заданих ресурсах.

Кіберфізична система Cyber Physical System (CPS) – сукупність комунікаційно пов'язаних віртуальних і реальних компонентів, що адресуються, в оцифрованому просторі з функціями метричного моніторингу та оптимального cloud-edge управління в реальному масштабі часу для досягнення поставлених цілей.

Кібер-соціальний комп'ютинг – галузь знань, що займається розвитком теорії та практики оцифрування моральних соціальних відносин для оптимального cloud-edge управління суспільними процесами та громадянами

на основі вичерпного онлайн-моніторингу з метою підвищення якості життя людей та збереження екології планети.

Federated Machine Learning – структура машинного навчання, яка дозволяє створювати колективну модель з даних, розподілених за репозиторіями, що належать різним організаціям або пристроям, з дотриманням вимог конфіденційності та безпеки.

Федеративний ML Computing – система розпізнавання та прийняття рішень, що стійко еволюціонують, на основі просторово-часового масового cloud-edge навчання шляхом обміну моделями, але не приватними даними, між механізмом управління та виконання.

Кібер-соціальна система Cyber Social System (CSS) – сукупність телекомунікаційно пов'язаних кіберфізичних об'єктів і соціальних суб'єктів, що адресуються, в оцифрованому просторі моральних відносин з функціями метричного моніторингу та оптимального cloud-edge управління громадянами в реальному масштабі часу для досягнення поставлених цілей.

Компетентність – метрична оцінка духовної, фізичної, емоційної, інтелектуальної та професійної культури індивідуума, яка визначає його значущість для можливого застосування знань, умінь та навичок у виконанні соціальної ролі, спрямованої на підвищення якості життя людей та збереження екосистеми планети.

Відношення – першопричина стійкої гармонійної зміни природи та суспільства, яка формується геномікою, законами, мовами, традиціями, історією, культурою, релігіями, що задають програму розвитку матеріального світу та біо-соціальних утворень у метриці «простір-час, матерія-енергія». Все існує у світі через відношення.

Метрика – спосіб виміру відстані (подібності-відмінності) між процесами або явищами в загальному просторі заданих параметрів.

Якість – сукупність метричних властивостей процесу чи явища, визначальних його придатність задовольняти заданим потребам відповідно до призначенням.

Явище – інтегральне чуттєве сприйняття людиною фрагментів навколишнього світу.

Процес – упорядкована у часі послідовність дій задля досягнення мети.

Модель – сукупність відношень між компонентами, із заданою адекватністю описує властивості процесу чи явища.

Метод – сукупність дій у просторі та часі для досягнення мети.

Алгоритм – часова послідовність дій задля досягнення результату.

Підхід – система відношень, що інтегрує сукупність методів для дослідження та перетворення процесів та явищ.

Система – сукупність відношень між компонентами та зовнішнім середовищем із вираженими функціями моніторингу та управління для досягнення поставлених цілей.

## 2.2 Метрики та структури даних

Таблиця істинності – ідеальна форма структур даних організації спеціалізованих обчислювачів, до яких належить і ML-computing.

Таблиця істинності є цифровий автомат (умовно) з одним станом.

Таблиця переходів алгоритму – формою не відрізняється від таблиці істинності. Обидві реалізують сукупність умов (if – then) для розпізнавання патернів та прийняття рішення. Фактично, таблиця переходів є скорочена чи неповністю певна таблиця істинності. Об'єднання умов if – then створює метрику суттєвих параметрів для форматування всіх рядків – умов у межах таблиці істинності.

Можна автоматизувати процес синтезу таблиці істинності: якщо параметр вхідної умови відсутній у метриці, він додається у вектор змінних. При цьому всі інші рядки таблиці істинності, де цього параметра не було, міститимуть на його координаті символ невизначеності чи інваріантності. Така процедура ефективно працюватиме під час створення ML-структур даних



з урахуванням єдиної таблиці істинності. Умова для перевірки коректності таблиці – перетин усіх пар рядків між собою дорівнює порожній множині.

Приклад 2.1. Розглянемо синтез умов. Нехай

if a, then 1; if b then 0; if ab then 2; if c then 3; if bcd then 4; if ae then 1.

Таблиця істинності для перелічених умов має вигляд:

1	2	3	4	5	y
a					1
	b				0
a	b				2
		c			3
	b	c	d		4
a				e	1

Розв'язок за таблицею істинності визначається як об'єднання станів виходів  $Y_i$  для рядків таблиці  $(T_i, Y_i)$ , що мають непустий результат перетину з вхідною умовою  $Y = \cup Y_i \leftarrow T_i \cap X \neq \emptyset$  у форматі метрики параметрів. Будь-який комп'ютинг можна зобразити за допомогою таблиці істинності з примітивним автоматом управління, який реалізує синхронізацію в один стан. Метрика комп'ютингу задається як добуток простір-час  $n = S \times T$ , що має взаємно однозначну відповідність з імплементацією даних параметрів в аналогічну пару логіка-пам'ять  $n = L \times M$ .

Відхід від паралелізму квантово-аналогових обчислень у комбінаторних схемах призводить до появи механізмів, що потребують багато часу для отримання результатів, оскільки вони перетворюють просторові фрагменти в послідовні часові рамки елементарних обчислень. Замість однієї великої таблиці істинності ви отримуєте багато менших таблиць, обробка яких синхронізована у часі. Це стало можливим завдяки введенню вже нетривіальних керуючих автоматів (алгоритмів), які координують роботу малих таблиць істинності та мікрооперацій. Цей алгоритм діє як конвертер, який перетворює простір таблиці істинності в обчислювальний інтервал часу, необхідний для отримання результату:  $S \rightarrow A \rightarrow T$ .

Чим складніший алгоритм, тим більше необхідно часу на його обробку. Простір та час створюють добуток  $n = S \times T$ , який має враховуватись експертами при розробці спеціалізованих обчислювачів. Зменшення простору тягне за собою зниження швидкодії і навпаки.

Приклад 2.2. Три точки на кривій (рис. 2.1) формують однаковий добуток, що дорівнює

$$n = S \times T = 8 \times 2 = 4 \times 4 = 2 \times 8 = 16.$$

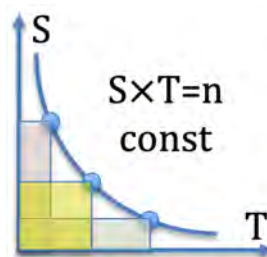


Рисунок 2.1 – Графік просторово-часової залежності комп'ютингу

Тут створюється пам'ять для зберігання проміжних результатів обчислень і стану алгоритму. Алгоритми, пам'ять і час є мірами складності обчислювального пристрою або вартості зменшення простору таблиці істинності. Фактично, ускладнення структур даних не приносить нічого позитивного. Чим він простіший, тим швидша логіка обробки та більша обчислювальна потужність. Немає нічого краще або простіше таблиці істинності для опису комбінованих структур даних людини і машини. Технології машинного навчання та нейронної мережі були успішно розроблені таким табличним способом. Потім структура почала ускладнюватися, додалися зв'язки пам'яті та часу, що призвело до детермінованих обчислень. Новий раунд конкуренції розробників, часткове повернення до забутого старого, сьогодні відкриває квантовий комп'ютинг. Комбінаторні цифрові методи як набір безадресних логічних елементів (таблиць) подібні до квантових обчислень. Його суть проста: це метод отримання результатів шляхом паралельної обробки таблиць істинності при розв'язуванні

комбінаторних задач. Звичайно, це рішення лежить в рамках класичної комп'ютерної двоступеневої комбінаторної схеми з паралельним розподілом аналогових сигналів від входу до виходу. Але мета квантового комп'ютингу полягає в тому, щоб наблизити його продуктивність до швидкості світла для транзакцій «дані-дані» та змоделювати вплив усіх можливих входів на логічні схеми паралельно.

Таким чином, зростання складності структур даних, від таблиць істинності до їх розбиття, парадоксальним чином призводить до появи складних алгоритмів, які використовують пам'ять, що призводить до значного збільшення часу обчислювального процесу для отримання результату. Враховуючи те, що пам'яті сьогодні достатньо для зберігання таблиць істинності великих розмірів, необхідно повернути архітектуру комп'ютера до найпростіших структур даних: примітивних алгоритмів управління, заснованих на таблицях і логіці. Крім того, слід мати на увазі, що достатньо зберігати лише вектор (кубіт) у його початковому стані, а не всю таблицю. Це штовхає спеціалізовані обчислення далі до векторних структур даних і примітивних логічних алгоритмів для їх обробки.

Практичний висновок: вектор, таблиця та матриця є найбільш технологічними структурами даних, до яких слід наводити великі дані їх подальшої тривіальної обробки. Тому ML-Computing, що оперує таблицями, є актуальним ринково-орієнтованим апаратом для розпізнавання та прийняття рішень.

Загальна картина відношень кіберсоціального комп'ютингу регулюється трьома видами законів: 1) вертикаль управління – від керівника до кожного громадянина; 2) вертикаль моніторингу – від громадянина до керівника; 3) горизонталь виконання – формує відношення між соціальними групами та громадянами. Природно, що головне тут – горизонтальні толерантні відносини між громадянами як основа соціальної стійкості, безконфліктності, здорового морально-психологічного клімату, які формують заможну економіку та високий рівень життя в країні.

Точне діагностування суспільства за метрикою соціальних переваг є умовою цифрового управління шляхом вироблення очікуваних законів. Кластеризація традицій шляхом матричного еквівалентування соціальних груп  $P_i$  за метрикою  $(P_i \cap_{\forall(i \neq j)} P_j)$  and  $(\cup_{i=1,n} P_i = P)$  є аналітичною процедурою, що випереджає випуск толерантних законів. При цьому матриця традицій соціальної групи технологічно легко створюється у форматі двійкової (нормованої) метрики, що містить параметри відносин.

### 2.3 ML-модель та ML-комп'ютинг

ML-модель використовує: (1) вхідні дані, (2) метрику кількісного визначення помилки або відстані між поточною та ідеальною поведінкою, (3) механізм зворотного зв'язку, використовує отриману відстань для вибору кращої стратегії поведінки у наступних подіях. Сказане вкладається у конволюційне рівняння комп'ютингу

$$T \oplus F \oplus L = 0, \quad (2.1)$$

яке одним із своїх трьох варіантів створює формулу машинного навчання:  $L = T \oplus F$ , де  $T$  – вхідні дані,  $F$  – ідеальна модель (таблиця істинності),  $L$  – відстань (нормована та/або структурна) між ними (рис. 2.2).

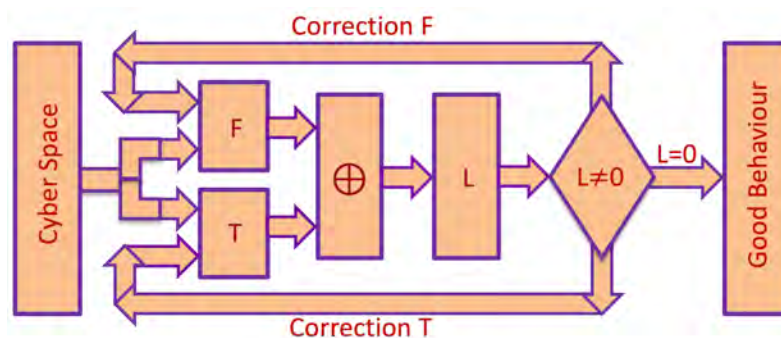


Рисунок 2.2 – ML-комп'ютинг навчання коректної (ідеальної) поведінки

ML-комп'ютинг (рис. 2.3) є цілеспрямоване та візуалізоване агрегування двох процесів розпізнавання та прийняття рішень в інфраструктурі механізмів управління та виконання за наявності ресурсів (data) та відносин (code) [78, 86]. Відмінність від класичного ML полягає у циклічності, автономності, замкнутості, безперервності навчання, тестування та функціонування. Кіберсоціальний ML-комп'ютинг відрізняється пунктом 2, де він оперує відносинами у вигляді законів та традицій.

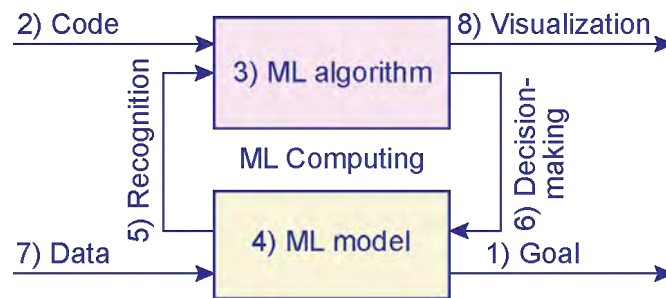


Рисунок 2.3 – ML-комп'ютинг функціонування

Машинне навчання – це синтез комп'ютерних алгоритмів, які автоматично покращуються в міру накопичення досвіду для інтелектуального аналізу даних, виведення загальних правил з метою автоматичного вивчення та задоволення інтересів користувачів [2, 68, 78, 86]. Алгоритми мають бути примітивними та швидкодіючими, які обробляють стійкі на час структури даних – інтерпретативні таблиці істинності. Виходячи з цього, далі слідує визначення, дещо відмінне від традиційного.

Машинне навчання – виконання алгоритму просторово-часового синтезу логічної моделі  $T$  (таблиці істинності) шляхом її наближення до специфікації  $F$  (реального процесу чи явища) у метриці послідовного рутинного усунення колізій  $L = T \oplus F$  для розпізнавання та прийняття рішень.

## 2.4 Висновки до розділу 2

Наведено аналіз моделей, методів, структур даних, орієнтованих на створення кіберсоціального FML-комп'ютингу, який поєднує підходи комп'ютерної інженерії, електронних технологій та соціальної інженерії.

Визначено моделі процесів та явищ кіберфізичного простору з метою їх використання для формування сталого кіберсоціального світу.

Розглянуто кіберсоціальну модель суспільства як критичну систему, аморальне управління якої призводить до катастрофічних втрат ресурсів, людських життів, економіки, історії, культури, науки, освіти та державності.

Проаналізовано ML-модель у вигляді таблиці істинності для описи процесу, явища, людини, соціальної групи, суб'єкта, де метричними параметрами виступають моральні соціально значимі показники.

Проаналізовано можливість застосування універсальної хог-метрики конволюції цифрового кіберпростору, яка дає можливість вимірювати будь-які кіберсоціальні процеси та явища, а також визначати їх ступінь відмінності для розпізнавання та усунення соціальних колізій  $L$  на основі рівняння (2.1).

Проаналізовано універсальну модель кіберсоціального комп'ютингу, яка характеризується нульовою відстанню між трьома компонентами, пов'язаними конволюційним рівнянням (2.1), що дає можливість ефективно визначати колізії між процесами та явищами для їх подальшого усунення.

### 3 АРХІТЕКТУРИ КІБЕРСОЦІАЛЬНОГО FML-КОМП'ЮТИНГУ

Розглядаються архітектури кіберсоціального комп'ютингу на основі федеративного навчання.

#### 3.1 Детермінований цифровий комп'ютинг

Детермінований цифровий комп'ютинг завжди має перевагу перед будь-якою імовірнісною технологією, як машинне навчання, нечітка логіка, штучний інтелект, нейромережі, еволюційні алгоритми. Всі AI-технології мають на меті досягти у своїй досконалості чи навчанні детермінізму класичного комп'ютера. Метрикою для досягнення такої досконалості є критичні параметри: Yield – якість обчислювача або розпізнавання та Time-to-Market – час досягнення такої якості. Співвідношення між штучним інтелектом та класичним комп'ютигом становить інтерес у метриці точності або якості розв'язання задачі та часу для досягнення Yield – Time-to-Market створення придатного на практиці обчислювача (рис. 3.1).

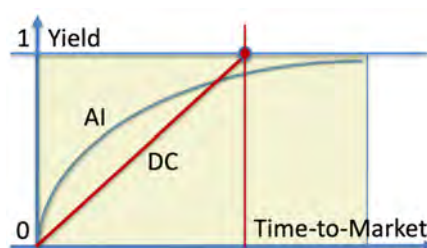


Рисунок 3.1 – Метричне відношення між штучним інтелектом та детермінованим комп'ютигом

Виходить, що дедуктивні методи, що мають апріорну точність логічних виразів або аналітичних формул, є кращими для їх імплементації в практику, ніж індуктивні методи, що вимагають тривалого навчання та верифікації для

впровадження у виробничі або ринкові процеси. Але залишається велике поле невизначених (неповних, нечітких) знань про процес або явище, де тимчасовим виходом із ситуації може служити ймовірнісне ШІ рішення задачі. Метрично визначити приналежність задачі до потенційного детермінізму чи ймовірнісного підходу до її вирішення є важливим на полі Emerging Computing.

Кожна людина також передбачає у своєму розвитку Time-to-Market, який визначається періодом, необхідним для отримання компетентності, достатньої для виконання функціональних соціальних обов'язків, які оцінюються грошовим еквівалентом. Цей період містить виховання та навчання у школі, професійному чи вищому навчальному закладі. Мета такої освіти – досягнення стандартів зі знань, умінь та навичок, які можуть бути потрібні на ринку праці державою, компаніями та університетами. Можна розглядати два типи особистостей, що характеризуються різними кривими розвитку (рис. 3.2): 1) спринтер, який все робить швидко, але й утомлюється від діяльності теж швидко, тому вони сходять з дистанції і в майбутньому стають повторювачами та гарними виконавцями чужих ідей; 2) стаєр, що повільно запрягає, але швидко їде,  $L=T \oplus F$ , де  $T$  – рівень його знань,  $F$  – визнаний стандарт освіти.

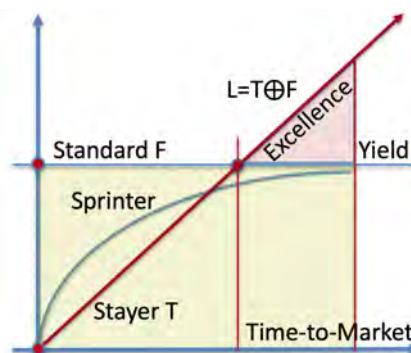


Рисунок 3.2 – Залежність розвитку особистості, процесу або явища



Описана модель розвитку може бути використана як для людини, але й будь-якого виробу, сервісу, університету, компанії, держави.

### 3.2 Стійкість кіберсоціальної системи

Стійкість розглядається як здатність кіберсоціальної системи зберігати (працездатний) стан у часі та просторі за наявності зовнішніх впливів, включаючи колізії та навмисні деструктивні дії. Якщо врахувати, що метрика соціальних відношень у бінарному цифровому просторі може бути визначена як сума за модулем два відношень хог (відстаней) між  $n$  ( $n=1,2,3, \dots$ ) компонентами, що дорівнює нулю  $\bigoplus_{i=1,n} d_i=0$ , то транзитивне замикання в даній метриці матиме такий вигляд:  $F \oplus T \oplus L=0$ , де  $F$  – законодавчі державні відносини,  $T$  – глибинні народні традиції,  $L$  – соціальні колізії між двома першими. З цієї метрики випливає аксіома-рівняння соціальної стійкості держави (суспільства, компанії, університету, соціальної групи):  $F \oplus T = L$ , де  $L=0$ .

Таким чином, критерій стійкості визначається метрикою:  $\bigoplus_{i=1,n} A_i$ , де  $A$  – атрибути різноманіття за кожним метричним параметром. Найдивовижніше тут, що тиражування одного атрибуту в  $n$  суб'єктах створює оцінку на основі перетину, що дорівнює одному атрибуту:  $\bigoplus_{i=1,n} A_i = \cap A_i$ . Якщо всі атрибути різні, оцінка формується об'єднанням атрибутів:  $\bigoplus_{i=1,n} A_i = \cup A_i$ .

Як відомо з комп'ютерної інженерії, мережева структура «кільце» є набагато ненадійнішою, ніж «зірка». Але найнадійніша і стійка обчислювальна структура – сильний граф, де кожен компонент пов'язані з іншими. За таким сценарієм побудована блокчейн інфраструктура, яку можна порівняти з сукупністю рівноправних і унікальних взаємопов'язаних точок-суб'єктів на колі. Це і є досяжна сьогодні ідеальна модель стійкості толерантних та моральних стосунків між людьми у кіберсоціальному

просторі. Таким чином, максимально стійкою структурою-фігурою в кіберсоціальному просторі є коло, яке має нескінченну кількість помітних, безпосередньо взаємодіючих між собою і рівноправних суб'єктів.

### 3.3 Рівняння та архітектури комп'ютингу

Таким чином, кіберсоціальні системи з погляду управління людьми сьогодні є найбільш критичними. Вилучення людини з механізму управління суспільством – головна проблема людства, вирішення якої може врятувати людей та планету.

Комп'ютинг, кібер-фізичний та кібер-соціальний, є ізоморфними поняттями, в основу яких покладено точне управління процесами на основі вичерпного метричного моніторингу об'єктів. З іншого боку, ключовим поняттям будь-якого комп'ютингу є відношення між процесами та/або явищами, яке обчислюється на основі метрики визначення відстані (подібності-відмінності) між ними:  $\sum_{i=1}^m d_i = 0$ , що показано на рис. 3.3.

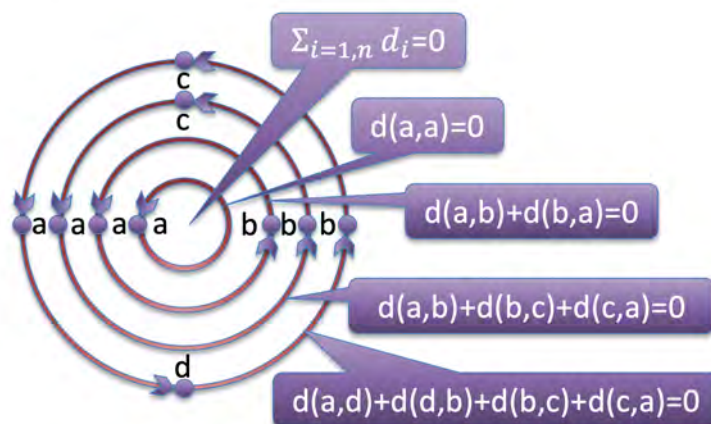


Рисунок 3.3 – Метрична конволюція простору

Основне інноваційне рівняння комп'ютингу, включаючи кіберфізичний та кіберсоціальний, оперує трьома компонентами метрики, які завжди створюють конволюцію 0-простору  $T \oplus F \oplus L = 0$  за допомогою хор-операції

(єдина логічна функція для вимірювання всіх процесів та явищ у цифровому світі). Дане метричне рівняння є універсальним та канонічним у комп'ютингу: 1) тестування цифрових систем; 2) кіберзахисту даних; 3) машинного навчання роботів-автоматів; 4) розпізнавання образів; 5) управління автономними об'єктами; 6) навчання студентів в університеті; 7) генній інженерії; 8) державного управління соціальними групами. Для останнього виду комп'ютингу, що визначається як кіберсоціальний, канонічне рівняння оперує такими компонентами-відносинами:  $T$  – традиції соціальної групи,  $F$  – існуюче законодавство,  $L$  – колізії між двома видами згаданих відносин. Природно, що мінімум колізій чи протиріч між існуючими традиціями та законотворчістю:  $L = T \oplus F = 0$ .

Існує головний критерій стійкості державного, економічного, політичного, культурного, наукового, освітнього розвитку.

Звісно, щоб забезпечити стійкість суб'єкта міжнародної діяльності, необхідно реалізувати наступну структуру кіберсоціального комп'ютингу, в основу якого покладено технологію машинного навчання (рис. 3.4) для фази управління відносинами між законотворчістю та традиціями на основі ефективної схеми контролю. Таблиця істинності та тестування визначаються в однаковому форматі векторів семантичних параметрів, що визначаються експертами або NLP-процесорами. Останні синтезують параметри таблиць на основі парсеризації контенту законів або опису існуючих у суспільстві традицій.

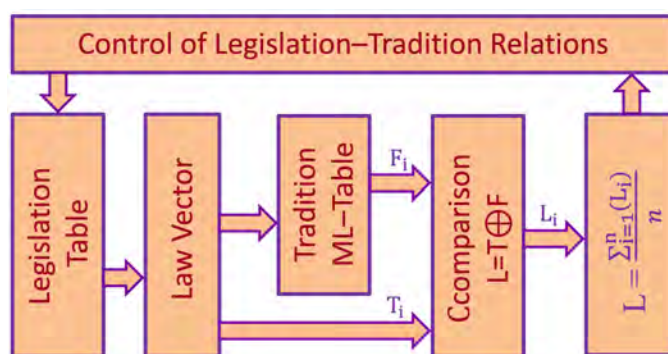


Рисунок 3.4 – Кіберсоціальний ML-комп'ютинг

Відносини правлять світом. У макросвіті – це відносини між матерією та енергією, простором та часом, гравітацією та великим вибухом. У мікросвіті – це відношення когерентної суперпозиції кубітів (але аж ніяк не самі кубіти), що створюють фантастичний паралелізм квантового комп'ютингу для вирішення комбінаторних задач. У соціальному світі – це відносини законодавства, традицій, історії, культури, освіти. Моральні (справедливі) метричні відносини роблять успішною компанію, університет, державу, коли рівень соціальних колізій між законом і традиціями, компетентністю кадрів та технологічним укладом, владою та народом близький до нуля (рис. 3.5).

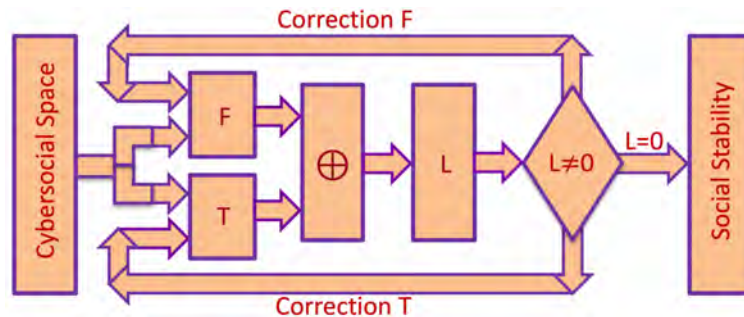


Рисунок 3.5 – Cybersocial computing for state sustainable development

### 3.4 Цифровий двійник

Практика створення цифрового двійника *igold* для соціального моніторингу та управління собою *iam* на основі універсальної  $F \oplus T \oplus L=0$  моделі комп'ютингу (рис. 3.6): 1) метрика для вимірювання активності людини, що включає: переваги, конструктивізм, негативізм, соціальну значущість та соціальну небезпеку; 2) комплекс *cloud-edge* додатків з кіберсоціального цифрового управління етикою та естетикою поведінки людини на основі вичерпного самомоніторингу; 3) будь-яка дія, пов'язана з наукою, освітою, роботою, відпочинком, спортом, творчістю, волонтерством, метрично оцінюється системою з виставленням балів, які інтегрально характеризують кожну людину, формуючи її моральний та професійний

портрет; 4) будь-які протиправні чи аморальні дії також відслідковуються та метрично оцінюються системою з виставленням мінусових оцінок, що формують негативний бік діяльності кожної людини; 4) формування інтегрального критерію щодо позитивної та негативної діяльності дає підстави для вироблення керуючих впливів щодо кожної людини, які полягають у конструктивних попередженнях з метою запобігання негативним наслідкам від подальших невірних, аморальних чи неправомірних дій; 6) вироблення керуючих впливів щодо схвалення конструктивної діяльності та/або позитивних намірів у частині задекларованої самоактивності.

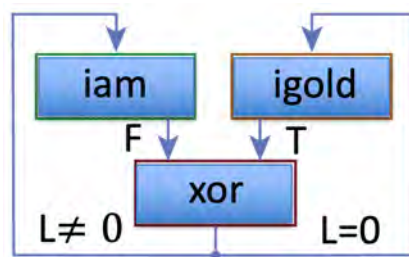


Рисунок 3.6 – Комп’ютинг цифрового двійника

Інновації цифрових подвійних систем (двійників) відрізняються від активних обчислювальних цифрових зображень окремих осіб. Активне обчислення дає змогу контролювати поведінку індивіда, надаючи йому нормалізований онлайн-рейтинг (цифровий профіль) із показниками соціальної важливості та фіксуючи всю інформацію. Цифрову обчислювальну систему можна реалізувати як мобільну програму на iPhone (смартфоні) і надавати корисні функції для соціальних мереж, таких як Facebook

Модель Digital Twin Computing характеризується порівнянням двох ML-таблиць істинності, що моделюють ідеальну та реальну поведінку людини з виставленням їй метричних оцінок за її соціальну активність та значимість, прийнятих у співтоваристві.

### 3.5 Комп'ютинг як процес обміну даними

Комп'ютинг як процес обміну даними – транзакції даних між об'єктами чи явищами. Транзакція є read-write операція між об'єктами, суб'єктами, явищами. Комп'ютинг є транзакція. Детерміноване управління виникає, коли у соціальні процеси втручається людина, яка створила цифру.

За відсутності людини керівну роль відіграють закони розвитку природних явищ і геном як найпростіший і найскладніший алгоритми відповідно. Поява цифри (адрес) як найпростішої моделі природи в людському мозку створила послідовну детерміновану основу для людських обчислень (рис. 3.7). Без людей існували б лише аналогові обчислення без природних або квантових адрес Всесвіту, небесних тіл, живої та неживої природи, керовані законами, геномами та взаємозв'язками.

Відмінність класичного від квантового комп'ютингу полягає в метриці адресації даних, яка замінюється простором, а також у метриці детермінізму, який підміняється аналоговою природою електромагнітної або гравітаційної взаємодії. Будь-яке відношення є комп'ютингом:

- 1) логіка на адресованих даних;
- 2) закони на адресованих даних;
- 3) транзакції на адресованих даних;
- 4) логіка у просторі даних;
- 5) закони у просторі даних;
- 6) транзакції у просторі даних.

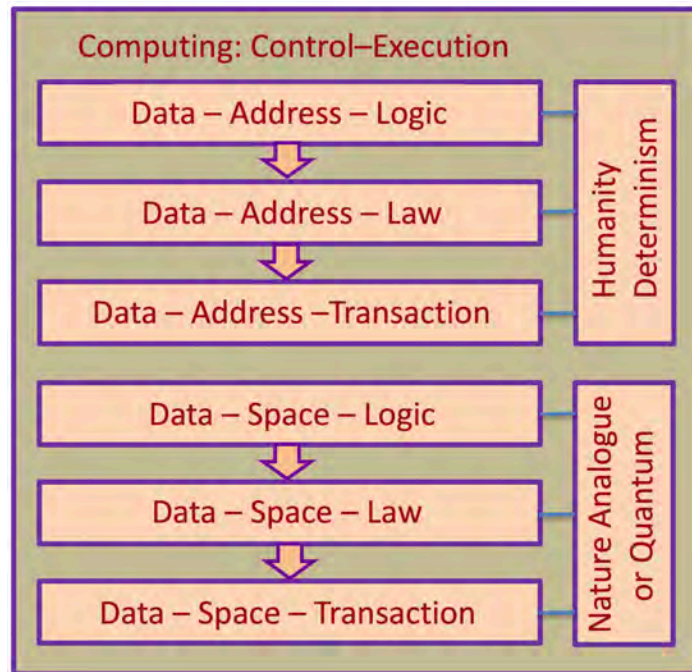


Рисунок 3.7 – Комп'ютинг – процес обміну даними

Але чи дані створюють комп'ютинг? Дані можна замінити на суб'єкти чи об'єкти (рис. 3.8). Загальна властивість тут – розподіл функціональних обов'язків, пов'язаних із механізмами управління та виконання. Один об'єкт (суб'єкт) реалізує комп'ютинг із собою. Два об'єкти ділять повноваження за принципом «провідний – ведений». Три об'єкти призначають керівника та виконавців.

Приклад 3.1. Гармонія комп'ютингу визначається Сонячною системою. Два центри управління неможливі у природі. Біполярний світ міжнародних відносин – причина не тільки конкуренції та розвитку, но й колізій, воєн та соціальних катаклізмів:  $L=F \oplus T$ .

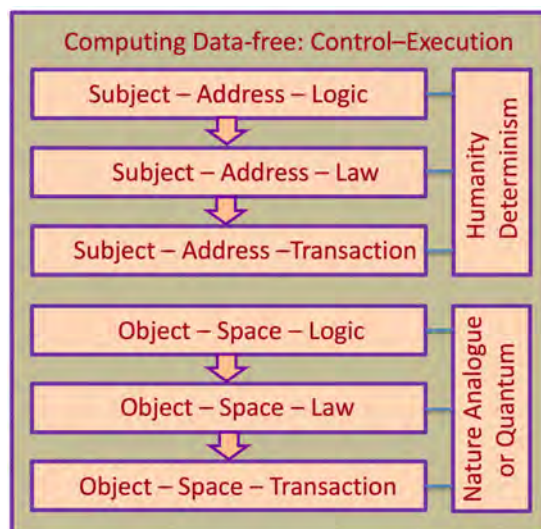


Рисунок 3.8 – Комп'ютинг – відношення між явищами

Практично будь-яке електромагнітне випромінювання впливає на матерію, що завжди знаходиться у фізичному просторі. Якщо останнім помістити субатомні частинки, то вони змінять свій стан. На цьому взаємодії частинок і електромагнітних хвиль створюються квантові комп'ютери. Тоді можна стверджувати, що тут (рис. 3.9) задекларовано специфічний вид безадресного комп'ютингу, коли суб'єкт або об'єкт випромінює хвилі-дані в простір, які можуть вважатися іншим суб'єктом або об'єктом.

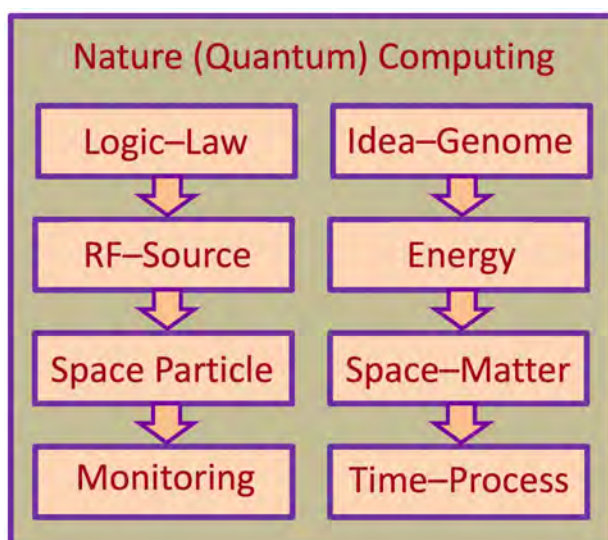


Рисунок 3.9 – Nature (Quantum) Computing



Таким чином, природний аналоговий або квантовий комп'ютинг відкриває та пояснює можливості щодо запису та зчитування даних за допомогою заповненого матерією простору, що приймає, зберігає та передає інформацію.

### 3.6 FML Computing

Модель універсального комп'ютингу складається з 8 компонентів, які є шаблоном для створення будь-якої замкнутої системи моніторингу-управління (рис. 3.10).

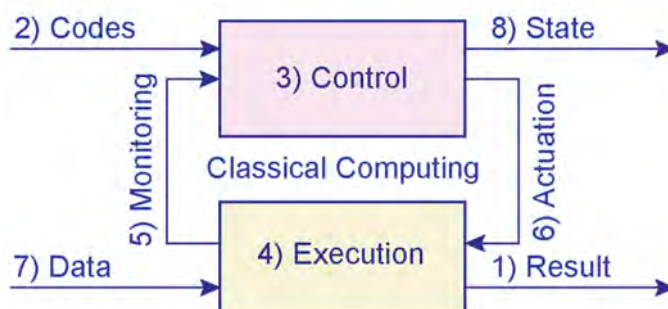


Рисунок 3.10 – Класична структура комп'ютингу

Тут механізми управління та виконання зв'язуються за допомогою сигналів актуації та моніторингу, що дає можливість ефективно використовувати цю архітектуру для практично будь-яких обчислювальних процесів, включаючи кіберсоціальний комп'ютинг.

Federated Machine Learning визначає структуру машинного навчання [78, 88, 89], яка дозволяє створювати колективну модель з даних, розподілених по репозиторіям, що належать різним організаціям або пристроям, з дотриманням вимог до конфіденційності та безпеки. Стандарт визначає архітектуру та рекомендації щодо його застосування для федеративного машинного

навчання, включаючи опис, навчання, категорії, сценарії, продуктивність, нормативні вимоги.

Для роботи з великими даними необхідно об'єднання даних з різних джерел для побудови моделі машинного навчання, що вважається незаконним відповідно до чинної нормативної бази. Мета федеративного машинного навчання – надати реальне рішення, яке дозволяє ML-додаткам використовувати локально розподілені дані для навчання без їхнього обміну між терміналами, рис. 3.11.

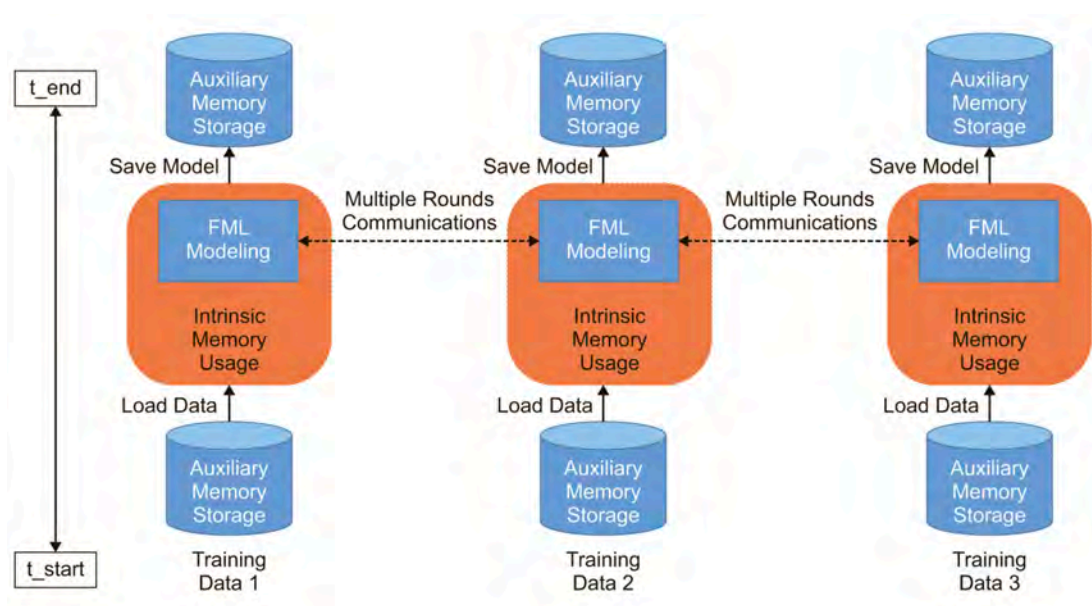


Рисунок 3.11 – Федеративне машинне навчання: training time

Алгоритм FML вважається ефективним, якщо він використовує розумну кількість часу та прийнятний обсяг пам'яті у кіберфізичному просторі. Після запуску алгоритму ефективність FML має бути оцінена відповідно до чотирьох метричних показників: час навчання та тестування обсяг внутрішньої (for data) та допоміжної пам'яті (for code). Структура для тестування ML-моделі відрізняється від ML-training назвами алгоритмічних процедур (рис. 3.12).

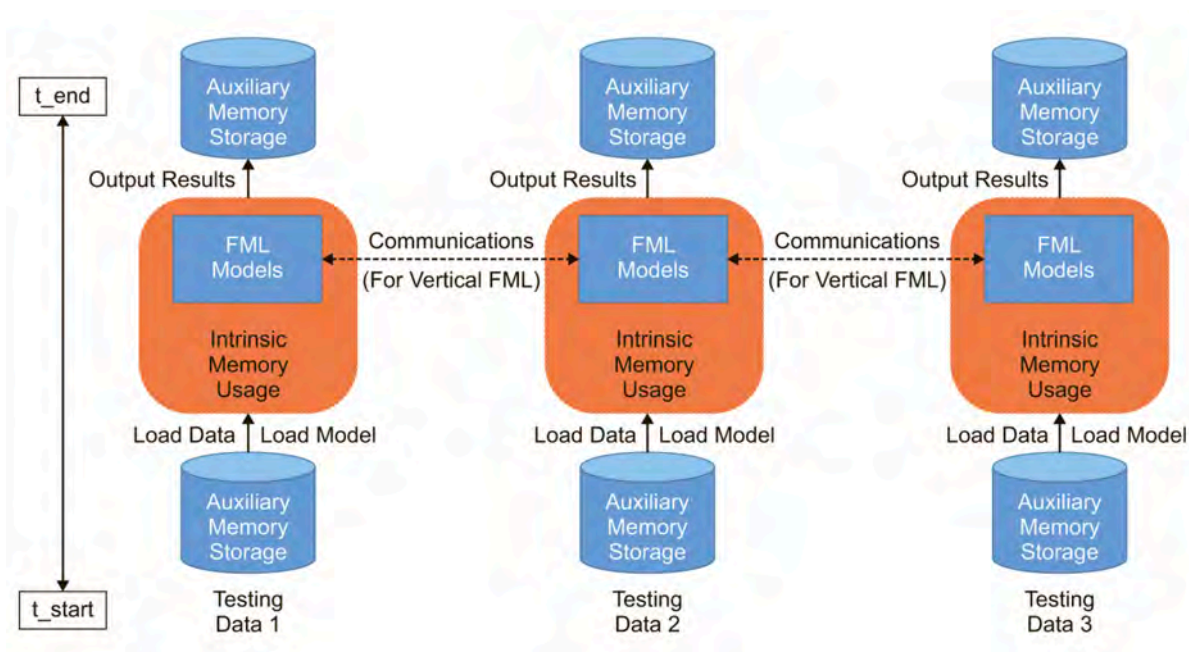


Рисунок 3.12 – Федеративне машинне навчання: testing time

Моделі FML незабаром можуть досягти еквівалентної або конкурентоспроможнішої продуктивності в порівнянні з централізованими ML-обчислювачами, який збирає дані для навчання від усіх терміналів. Відмінність точності розпізнавання представлено на рис. 3.13.

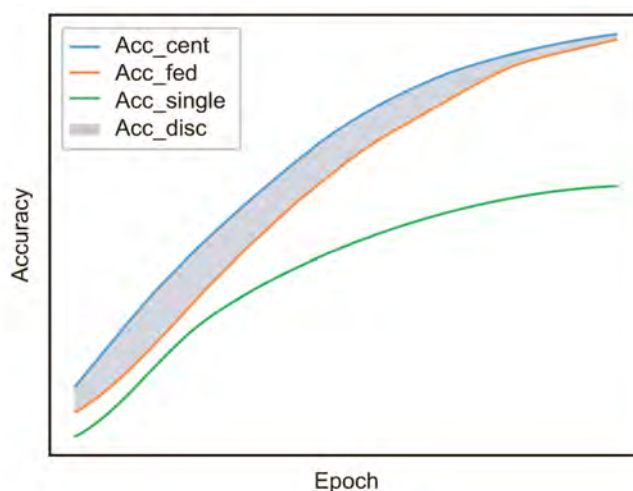


Рисунок 3.13 – FML model accuracy distance

Федеративне машинне навчання просуватиме та полегшуватиме співпрацю між користувачами-власниками джерел даних, коли

конфіденційність користувачів та інформаційна безпека захищені. Стандарт сприятиме використанню розподілених джерел даних без порушення правил або етичних міркувань, а також створенню та підвищенню загального інтелекту cloud-edge computing або кібер інтелекту людства.

Федеративний ML Computing (рис. 3.14) – просторово-часова масова cloud-edge система навчання на основі обміну моделями, але не приватними даними, між механізмом управління та виконання з метою стійкого підвищення якості розпізнавання та прийняття рішень.

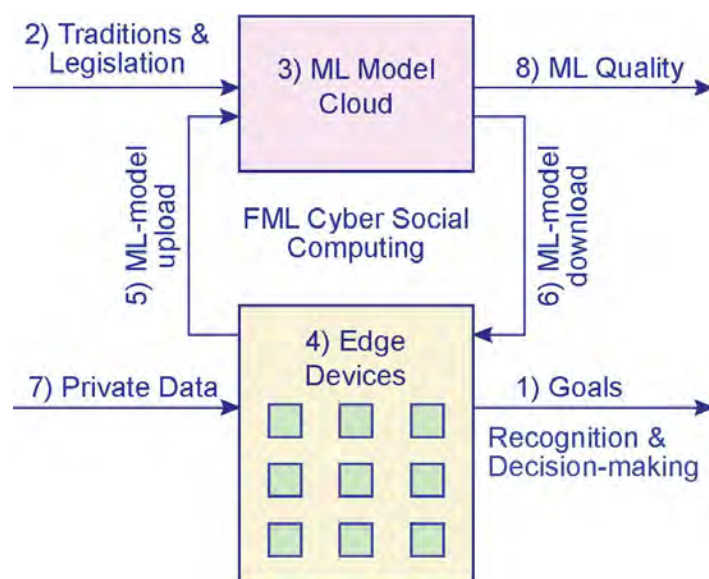


Рисунок 3.14 – FML Cyber Social Computing

### 3.7 Висновки до розділу 3

Концептуально будь-який комп'ютинг визначається в рамках метрики розпізнавання процесів та явищ для прийняття адекватного рішення.

Аналізується вдосконалена модель-архітектура кіберсоціального FML-комп'ютингу відрізняється від стандартної суміщенням процесу навчання, тестування, функціонування та розподілу ML-терміналів у просторі, що дає можливість на порядок зменшити час навчання та підвищити якість сервісів з розпізнавання-прийняття рішень при обслуговуванні громадян.

При цьому існує обмін параметрами та моделями між механізмами керування та виконання, а дані в процесі навчання зберігаються на обчислювальних терміналах користувачів. Тестування ML-моделі, представленої у вигляді багатозначної чи бінарної таблиці істинності, є функція хмарного сервісу.

#### 4 РЕАЛІЗАЦІЯ FML-КОМП'ЮТИНГУ

Використовуються логічна метрика якості розпізнавання шаблонів, помилок і колізій, які разом з комп'ютинговим рівняннями дозволяють формувати всі структуровані та стандартизовані оцінки в процесі навчання. Пропонується вдосконалена архітектура кібер-соціального комп'ютингу хмарного краю (cloud-edge) для алгоритмів федеративного навчання. Вона включає локальне навчання, завантаження параметрів у хмарну модель, агрегування параметрів у хмарі і параметри моделі.

##### 4.1 Вдосконалена архітектура кіберсоціального комп'ютингу

Вдосконалена архітектура кіберсоціального комп'ютингу хмарного краю (cloud-edge) подана на рис. 4.1. Для алгоритмів федеративного навчання вона включає наступні фази: Training – локальне навчання, Upload – завантаження параметрів до хмарної моделі, Aggregating – агрегування параметрів на хмарі, Download – завантаження до терміналів.

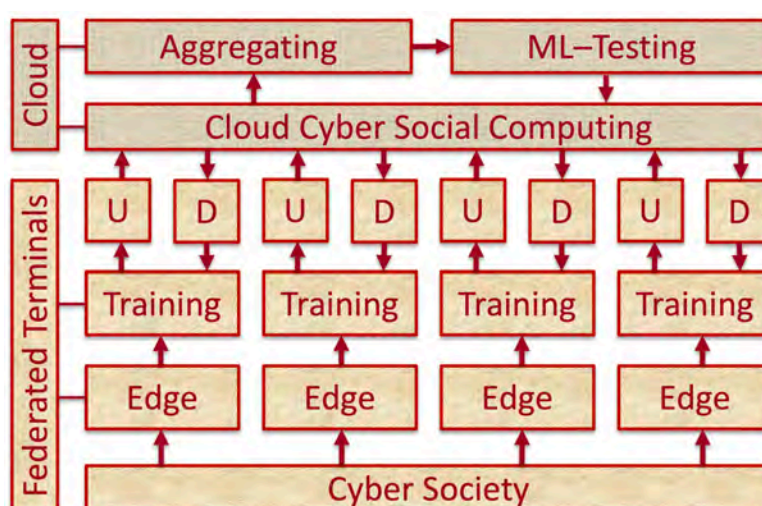


Рисунок 4.1 – Комп'ютинг федеративного навчання з використанням ML для створення адекватної моделі

## 4.2 Імплементация

Реалізація моделі, методу та архітектури виконується на основі хмарних периферійних обчислень, керованих FML та спрямованих на впровадження метрик розпізнавання образів для прийняття рішень на ринках цифрових послуг. Щоб прискорити процес навчання моделі ML, представленої таблицею істинності, навчалася та сама структура даних локально за допомогою комп'ютерних терміналів, розподілених у просторі. Структура патернів була представлена сукупністю синтаксично визначених параметрів і групою атрибутів, позначених червоними крапками на рис. 4.2, які мають семантичні топологічні властивості і тому їх важко розпізнати.

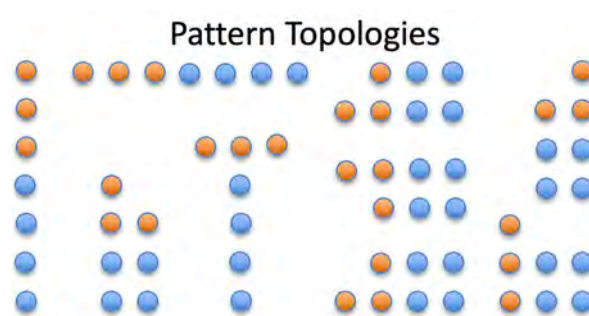


Рисунок 4.2 – Топологія-семантика патернів для розпізнавання

Для ідентифікації останніх було побудовано топологічну модель просторово-координатної кореляції детермінованих та ймовірнісних параметрів у двовимірній матричній структурі, після чого проводилось навчання всіма агентами за єдиною метрикою таблиці із залученням представницької вибірки (>1000) актуальних патернів.

Приклад 4.1. ML-таблиця істинності у форматі

$$(Y, X_1, X_2, X_3, X_4, f) \quad (4.1)$$

матриці топології представлено на рис. 4.3;  $Y$  – семантичний компонент шаблону, який необхідно визначити;  $X$  – синтаксично визначений НЛП атрибут;  $f$  (стовпець 6 таблиці істинності) – частота появи шаблону в потоці даних. Права частина представляє топологічну структуру для ідентифікації шаблонів з цифровими ідентифікаторами (від 1 до 5) щодо центральної комірки. Тому в лівій частині рядка таблиці істинності представлені суттєвими номерами координат матриці, в яких фігурують ідентифікатори атрибутів патерну.

1	0	55	53	54	56	2	11	12	13	14	15	16	17	18	19
2	0	55	35	45	0	2	21	22	23	23	25	26	27	28	29
3	45	55	53	54	0	47	31	32	33	34	35	36	37	38	39
4	52	55	53	54	0	27	41	42	43	44	45	46	47	48	49
5	25	55	35	45	0	12	51	52	53	54	55	56	57	58	59
6	45	55	54	0	65	2	61	62	63	64	65	66	67	68	69
7	52	0	53	54	0	2	71	72	73	74	75	76	77	78	79
8	45	55	35	25	0	1	81	82	83	84	85	86	87	88	89
9	25	55	45	35	0	1	91	92	93	94	95	96	97	98	99
10	54	55	65	0	0	6									
11	45	55	65	75	35	1									
12	85	55	65	75	0	1									
13	44	55	45	54	0	1									
14	45	55	56	65	35	1									
15	45	55	65	75	85	1									

Рисунок 4.3 – Приклад ML-таблиці істинності у матриці топології

З метою прискорення тренінгу будуються дві таблиці істинності для навчання та тестування. Це дозволяє суттєво скоротити час на останній стадії верифікації ML-таблиці істинності, а також підвищити якість результуючої моделі за рахунок з'єднання двох таблиць. Отже, час навчання моделі тривав 2 тижні, а її якість становила 0,98. При цьому 2 відсотки припадає на суму ТН (істинно негативний), рис. 4.4.



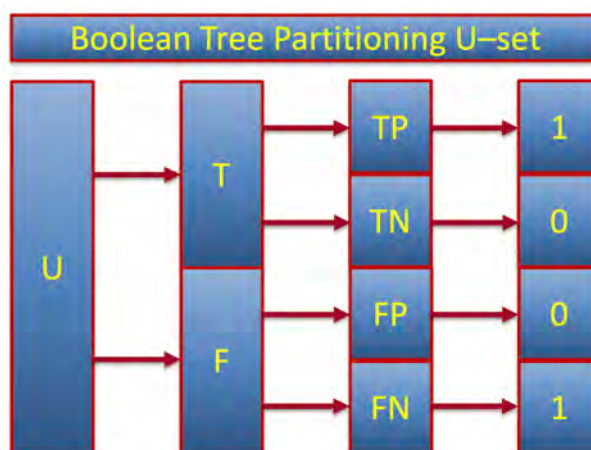


Рисунок 4.4 – Варіанти відповідей при розпізнаванні патернів

Суть вимірювального алгоритму для формування оцінки якості розпізнавання образів становить послідовний розподіл області патерну на чотири підмножини. У той же час цей розподіл заснований на введенні двох булевих змінних і призводить до застосування апарату бінарних дерев розв'язків для отримання всіх можливих розбивок, створюючи обчислювальну процедуру пошуку закономірностей. Тут кінцева вершина є двійковим станом булевої функції з двох змінних, яка ідентифікує еквівалентну функцію як зворотну до операції xor. Оцінка якості формується за кроками:

1. Виявлення відповідностей (TP, TN, FP, FN) між патернами, що входять до множини

$$(\text{Pats}, \overline{\text{Pats}}): \text{TP} = \text{Pats} \oplus \text{FN}; \text{TN} = \overline{\text{Pats}} \oplus \text{FP}; \quad (4.2)$$

$$\text{FP} = \overline{\text{Pats}} \oplus \text{TN}; \text{FN} = \text{Pats} \oplus \text{TP} \quad (4.3)$$

для подальшого одержання чотирьох оцінок розпізнавання.

2. Вимірювання параметрів розпізнавання патернів, що пов'язані з формуванням 4-х оцінок якості розпізнавання (рис. 4.5):

$$\text{Accuracy} = \frac{TP+TN}{TP+FP+FN+TN}; \quad (4.4)$$

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP}; \quad (4.5)$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP+FN}; \quad (4.6)$$

$$\text{F1 Score} = \frac{2 \times (\text{Recall} \times \text{Precision})}{\text{Recall} + \text{Precision}} = \frac{2 \times (\frac{TP}{TP+FN} \times \frac{TP}{TP+FP})}{\frac{TP}{TP+FN} + \frac{TP}{TP+FP}}. \quad (4.7)$$

Тут представлені такі оцінки:

Точність (Accuracy) – відношення правильно розпізнаних шаблонів до загальної кількості шаблонів;

Точність (Precision) – відношення позитивно виявлених шаблонів до загальної кількості позитивних спостережень;

Пригадування (Recall, Sensitivity – чутливість) – співвідношення правильно розпізнаних шаблонів до спостережень у поточному класі;

Оцінка F1 (Score – середньозважене значення точності та відповіді) є функцією хибнопозитивних і хибнонегативних результатів через нерівномірний розподіл класів.

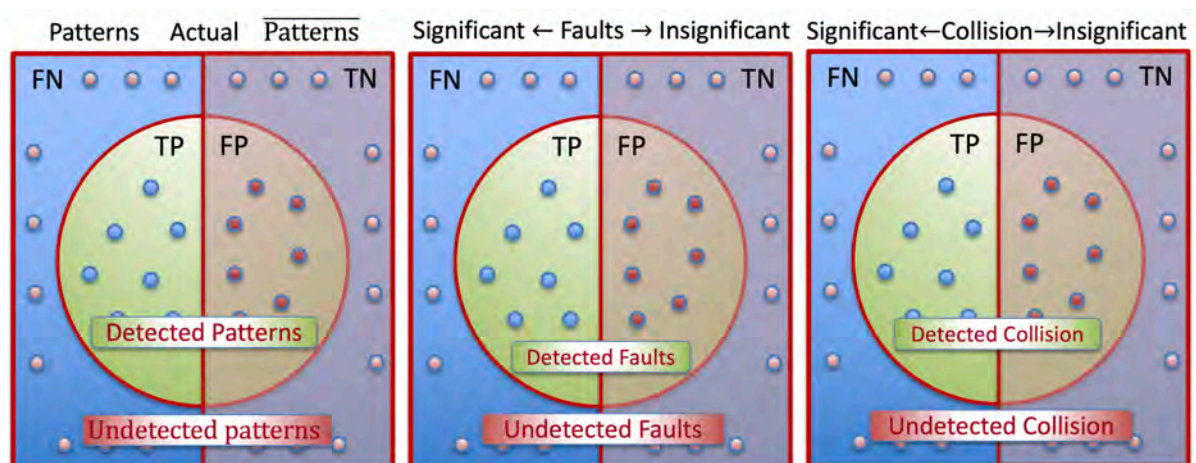


Рисунок 4.5 – Діаграма-метрика якості розпізнавання патернів, дефектів та колізій

Діаграма сформованості якості навчання має універсальні властивості, які можна застосовувати до всіх сфер людської діяльності.

Для діагностування дефектів у комп'ютерних системах на основі характеристичного рівняння конволюції

$$F \oplus T \oplus L = 0 \quad (4.8)$$

де  $L$  – несправності обчислювача,  $T$  – перевіряючий тест,  $F$  – функціональність поля діаграми інтерпретуються як:  $TP$  ( $FP$ ) – суттєві (несуттєві) дефекти, що виявляються тестом,  $FN$  ( $TN$ ) – суттєві (несуттєві) дефекти, що не виявляються тестом. Фактично алгоритми тестування та діагностування спрямовані на процес навчання моделі, яка прагне у своїй досконалості до якості тесту Recall, що дорівнює 1.

Формально тривіальним стає завдання тестування відносин у соціумі з урахуванням характеристичного рівняння комп'ютингу  $F \oplus T \oplus L = 0$ , де  $L$  – помилки чи колізії між традиціями  $T$ , які тестують на «вошивість» закони  $F$ . Тут поля діаграми інтерпретуються як:  $TP$  ( $FP$ ) – суттєві (несуттєві) соціальні колізії, що виявляються тестом,  $FN$  ( $TN$ ) – суттєві (несуттєві) колізії, які не виявляються тестом. Фактично алгоритми тестування та діагностування абсолютно передбачуваних соціальних конфліктів у відносинах спрямовані на процес навчання моделі, яка також прагне у своїй досконалості до якості тесту Recall, що дорівнює 1.

Карта Карно як not-xor логіка якості розпізнавання представлена на рис. 4.6 not-xor операцією, де  $P$  – pattern,  $D$  – detected. Слід пам'ятати, що корекції підлягають і традиції, які можна скориговані законами, якщо перші суперечать загальнолюдським цінностям.

	P	N		D	$\bar{D}$		D	$\bar{D}$
T	1	0	P	TP	TN	P	11	10
F	0	1	$\bar{P}$	FP	FN	$\bar{P}$	01	00

$$L=TP \vee FN; \bar{L}=FP \vee TN. L=TP \cup FN; \bar{L}=FP \cup TN.$$

$$L=TP \oplus FN=1; \bar{L}=FP \oplus TN=1.$$

Рисунок 4.6 – Карта Карно pot-хог логіки якості розпізнавання

Таким чином, рівняння комп'ютингу (4.8) дає можливість примітивно та технологічно формалізувати транзакцію розпізнавання–прийняття рішення або їх ізоморфних аналогів у матриці процесу чи явища, що належить кіберфізичному чи кіберсоціальному простору.

### 4.3 Тестування

Результати тестування моделі ML для розв'язання задачі розпізнавання адрес 1:

1. Розпізнано 1071 вибірку у 500 фрагментах, не розпізнано 25, число фрагментів 1096.
2. Виявлено 338 фрагментів без зразків.
3. Кількість фрагментів з одним або декількома зразкам дорівнює 162.
4. Кількість нерозпізнаних зразків – 25.
5. Якість розпізнавання тест-таблиці за навчальною вибіркою дорівнює 98 відсоткам.

Гістограма розподілу зразків на двовимірній топології представлена на рис. 4.7 де зайнятий лівий верхній квадрант матриці.

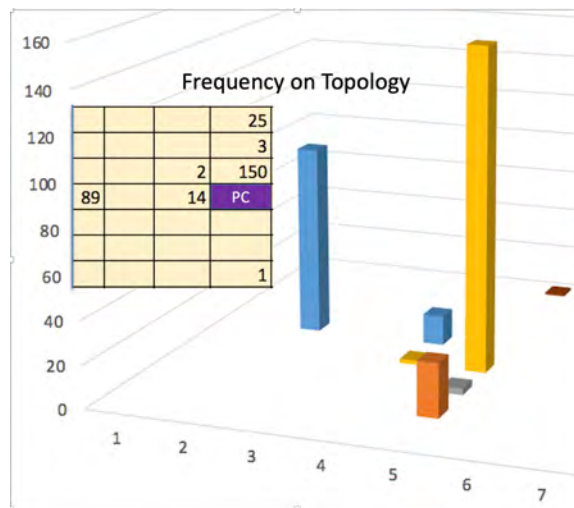


Рисунок 4.7 – Діаграма частотності розподілу зразків на двовимірній топології

#### 4.4 Висновки до розділу 4

Універсальна модель кіберсоціального комп'ютингу характеризується нульовою дистанцією (4.8) між трьома компонентами може ефективно ідентифікувати та усувати колізії між процесами та явищами.

Адаптована логічна метрика для якості розпізнавання шаблонів, помилок і колізій у поєднанні з рівнянням комп'ютингу (4.8) можна формувати всі структуровані та стандартні оцінки в процесі навчання.

Запропонована система розпізнавання шаблонів і прийняття рішень перевірена за допомогою репрезентативної вибірки тестових впливів і може бути використана на ринку цифрових технологій.

## ВИСНОВКИ

У магістерській роботі було розглянуто питання, пов'язані зі створенням кіберсоціальних моделей, методів, архітектур на основі федеративного навчання.

Для досягнення мети дослідження – підвищення якості моніторингу та цифрового управління соціальними процесами шляхом розробки моделей, методів, архітектур та алгоритмів кіберсоціального комп'ютингу на основі федеративного навчання – було виконано наступні задачі: проаналізовано сучасні технологічні тенденції; наведено аналітичний огляд моделей та методів кіберсоціального комп'ютингу; розглянуто архітектури кіберсоціального комп'ютингу на основі федеративного навчання; наведено приклад імплементації кіберсоціального комп'ютингу у вигляді моделі, методу, архітектури на основі федеративного навчання.

Реалізовано вдосконалену архітектуру cloud-edge кіберсоціального комп'ютингу для алгоритмів федеративного навчання, яка включає чотири фази: локальне навчання (Training), завантаження параметрів (Upload) у хмарну модель, агрегування (Aggregating) параметрів на хмарі та повернення параметрів моделі.

Створення колективного кібер-розуму держави та людства проходить через FML-технології розумного використання громадян та термінальних пристроїв. Все це стало можливим завдяки появі 5G-технологій, хмарних структур, соціальних мереж, мобільних пристроїв та досвідчених експертів, які ініціюють створення цифрового світу та інтелекту планети.

Новий кіберсоціальний комп'ютинг моральних відносин між державою та громадянами призваний до створення моральних та матеріальних цінностей, підвищення якості життя та збереження екології.

Універсальну модель кіберсоціального комп'ютингу характеризується нульовою відстанню між трьома компонентами  $F \oplus T \oplus L = 0$  та дає

можливість ефективно визначати колізії між процесами та явищами для їх подальшого усунення. Логічна метрика якості розпізнавання шаблонів, дефектів та колізій разом із рівнянням комп'ютерінгу дає можливість формувати всі структурні та нормовані оцінки в процесі навчання.

Логічна метрика якості розпізнавання патернів, дефектів та колізій разом із рівнянням комп'ютерінгу дає можливість формувати всі структурні та нормовані оцінки в процесі навчання.

Вдосконалена модель-архітектура кіберсоціального FML-комп'ютерінгу відрізняється від стандартної суміщенням процесу навчання, тестування, функціонування та розподілу ML-терміналів у просторі, що дає можливість на порядок зменшити час навчання та підвищити якість сервісів з розпізнавання-прийняття рішень при обслуговуванні громадян.

Результати відображено у тезах доповіді на науковій конференції [90] (додаток Б).

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Vladimir Hahanov. *Cyber Physical Computing for IoT-driven Services* New York: Springer 2018. 279 p.
2. Hai Zhuge. *Cyber-Physical-Social Intelligence*. Springer edition. Singapore. 2020. 351 p. DOI 10.1007/978-981-13-7311-4
3. Ivor Goodson, Michele Knobel, Colin Lankshear, and J. Marshall Mangan. *Cyber Spaces/Social Spaces. Culture Clash in Computerized Classrooms*. Palgrave Macmillan US. 2002. 172 p. DOI 10.1057/9780230602151
4. Xun Liang. *Social Computing with Artificial Intelligence*. Springer Singapore. 2020. 289 p. DOI 10.1007/978-981-15-7760-4
5. Ant Ozok, Panayiotis Zaphiris. *Online Communities and Social Computing*. 5th International Conference, OCSC 2013, Las Vegas, NV, USA, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 452 p. DOI 10.1007/978-3-642-39371-6
6. Mariarosaria Taddeo, Ludovica Glorioso. *Ethics and Policies for Cyber Operations* NATO Cooperative Cyber Defence Centre of Excellence Initiative. Springer International Publishing. 2017. 252 p. DOI 10.1007/978-3-319-45300-2
7. V. Hahanov, S. Chumachenko, E. Litvinova and A. Hahanova, "Cyber-physical social monitoring and governance for the state structures," 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), 2018, pp. 123-129, doi: 10.1109/DESSERT.2018.8409112.
8. Sheth, P. Anantharam and C. Henson, "Physical-Cyber-Social Computing: An Early 21st Century Approach," in *IEEE Intelligent Systems*, vol. 28, no. 1, pp. 78-82, Jan.-Feb. 2013, doi: 10.1109/MIS.2013.20.
9. N. K. Giang, R. Lea and V. C. M. Leung, "Exogenous Coordination for Building Fog-Based Cyber Physical Social Computing and Networking Systems," in *IEEE Access*, vol. 6, pp. 31740-31749, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2844336.



10. L.-L. Shi et al., "Human-Centric Cyber Social Computing Model for Hot-Event Detection and Propagation," in *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, vol. 6, no. 5, pp. 1042-1050, Oct. 2019, doi: 10.1109/TCSS.2019.2913783.

11. W. Zhang, X. Chen, J. Sun and Q. Xi, "A Distributed DBSCAN Algorithm for Massive Data in Cyber Physical and Social Computing," 2020 International Conferences on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData) and IEEE Congress on Cybermatics (Cybermatics), 2020, pp. 426-433, doi: 10.1109/iThings-GreenCom-CPSCom-SmartData-Cybermatics50389.2020.00081.

12. K. H. Lee, A. Lippman, A. S. Pentland and P. Maes, "Just-in-Time Social Cloud: Computational Social Platform to Guide People's Just-in-Time Decisions," 2013 IEEE International Conference on Green Computing and Communications and IEEE Internet of Things and IEEE Cyber, Physical and Social Computing, 2013, pp. 1259-1266, doi: 10.1109/GreenCom-iThings-CPSCom.2013.219.

13. V. Hahanov, S. Chumachenko, E. Litvinova, A. V. Hacimahmud, A. Hahanova and T. Soklakova, "Cyber Social Computing," 2018 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), 2018, pp. 1-8, doi: 10.1109/EWDTS.2018.8524663.

14. Sheth, "Computing for human experience: Semantics-empowered sensors, services, and social computing on the ubiquitous Web," in *IEEE Internet Computing*, vol. 14, no. 1, pp. 88-91, Jan.-Feb. 2010, doi: 10.1109/MIC.2010.4.

15. S. K. Das, "Cyber-physical-social convergence in smart living: Challenges and opportunities," 2016 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communication Workshops (PerCom Workshops), 2016, pp. 1-1, doi: 10.1109/PERCOMW.2016.7457093.

16. X. Zhou, W. Liang, S. Huang and M. Fu, "Social Recommendation With Large-Scale Group Decision-Making for Cyber-Enabled Online Service," in *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, vol. 6, no. 5, pp. 1073-1082, Oct. 2019, doi: 10.1109/TCSS.2019.2932288.

17. J. J. Zhang et al., "Cyber-Physical-Social Systems: The State of the Art and Perspectives," in *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, vol. 5, no. 3, pp. 829-840, Sept. 2018, doi: 10.1109/TCSS.2018.2861224.

18. Z. Su, Q. Qi, Q. Xu, S. Guo and X. Wang, "Incentive Scheme for Cyber Physical Social Systems Based on User Behaviors," in *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, vol. 8, no. 1, pp. 92-103, 1 Jan.-March 2020, doi: 10.1109/TETC.2017.2671843.

19. A. Hahanova, S. Chumachenko, V. Hahanov, A. V. Hacimahmud, K. L. Man and A. Mishchenko, "Emerging Culture of Social Computing," 2019 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/EWDTS.2019.8884429.

20. V. Hacimahmud, O. Mishchenko, V. H. Kharkov and T. Soklakova, "Moral cyber-social computing for state and university," 2017 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109/EWDTS.2017.8110032.

21. S. Dhelim, H. Ning, F. Farha, L. Chen, L. Atzori and M. Daneshmand, "IoT-Enabled Social Relationships Meet Artificial Social Intelligence," in *IEEE Internet of Things Journal*, doi: 10.1109/JIOT.2021.3081556.

22. R. Dautov, S. Distefano, D. Bruneo, F. Longo, G. Merlino and A. Puliafito, "Data Processing in Cyber-Physical-Social Systems Through Edge Computing," in *IEEE Access*, vol. 6, pp. 29822-29835, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2839915.

23. A. Abramovich and R. Khunagov, "Harmonization of Cyber-physical Society," 2013 IEEE International Conference on Green Computing and Communications and IEEE Internet of Things and IEEE Cyber, Physical and Social Computing, 2013, pp. 1473-1478, doi: 10.1109/GreenCom-iThings-CPSCom.2013.260.

24. X. Wang, L. T. Yang, X. Xie, J. Jin and M. J. Deen, "A Cloud-Edge Computing Framework for Cyber-Physical-Social Services," in *IEEE*

Communications Magazine, vol. 55, no. 11, pp. 80-85, Nov. 2017, doi: 10.1109/MCOM.2017.1700360.

25. Huang, J. Marshall, D. Wang and M. Dong, "Towards Reliable Social Sensing in Cyber-Physical-Social Systems," 2016 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops (IPDPSW), 2016, pp. 1796-1802, doi: 10.1109/IPDPSW.2016.132.

26. V. Hacimahmud et al., "Structure and Metrics of Emerging Computing," 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), 2020, pp. 920-925, doi: 10.1109/TCSET49122.2020.235571.

27. S. Wang, A. Zhou, M. Yang, L. Sun, C. Hsu and F. Yang, "Service Composition in Cyber-Physical-Social Systems," in IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing, vol. 8, no. 1, pp. 82-91, 1 Jan.-March 2020, doi: 10.1109/TETC.2017.2675479.

28. Y. Zhou, F. R. Yu, J. Chen and Y. Kuo, "Cyber-Physical-Social Systems: A State-of-the-Art Survey, Challenges and Opportunities," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 22, no. 1, pp. 389-425, Firstquarter 2020, doi: 10.1109/COMST.2019.2959013.

29. H. Xia, F. Xiao, S. -S. Zhang, X. -G. Cheng and Z. -K. Pan, "A Reputation-Based Model for Trust Evaluation in Social Cyber-Physical Systems," in IEEE Transactions on Network Science and Engineering, vol. 7, no. 2, pp. 792-804, 1 April-June 2020, doi: 10.1109/TNSE.2018.2866783.

30. V. Porkodi et al., "Resource Provisioning for Cyber-Physical-Social System in Cloud-Fog-Edge Computing Using Optimal Flower Pollination Algorithm," in IEEE Access, vol. 8, pp. 105311-105319, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2999734.

31. A. F. Abate, C. Bisogni, L. Cascone, A. Castiglione, G. Costabile and I. Mercuri, "Social Robot Interactions for Social Engineering: Opportunities and Open Issues," 2020 IEEE Intl Conf on Dependable, Autonomic and Secure Computing, Intl Conf on Pervasive Intelligence and Computing, Intl Conf on Cloud and Big Data

Computing, Intl Conf on Cyber Science and Technology Congress (DASC/PiCom/CBDCom/CyberSciTech), 2020, pp. 539-547, doi: 10.1109/DASC-PiCom-CBDCom-CyberSciTech49142.2020.00097.

32. V. Hahanov, M. A. A. Hussein, A. Hahanova and K. L. Man, "Cyber physical computing," 2016 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), 2016, pp. 1-8, doi: 10.1109/EWDTS.2016.7807670.

33. N. Arora and G. Gabrani, "Significant Machine Learning and Statistical Concepts and their Applications in Social Computing," 2018 First International Conference on Secure Cyber Computing and Communication (ICSCCC), 2018, pp. 57-61, doi: 10.1109/ICSCCC.2018.8703329.

34. X. Wang and H. Zhang, "Propagation of Social Emotion in Cyber Space Based on Cognitive Social Psychology," in IEEE Access, vol. 5, pp. 1005-1012, 2017, doi: 10.1109/ACCESS.2016.2631732.

35. W. Gharibi, V. Hahanov, K. L. Man, S. Chumachenko, E. Litvinova and I. Hahanov, "Quantum Deterministic Computing," 2020 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/EWDTS50664.2020.9224950.

36. V. Hahanov et al., "Cyber Physical Social Systems - future of Ukraine," Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS 2014), 2014, pp. 1-15, doi: 10.1109/EWDTS.2014.7027108.

37. V. Hahanov, O. Guz and N. C. Umerah, "Process models for analyzing associative data structures," 2011 11th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM), 2011, pp. 344-347.

38. V. Hahanov, O. Guz, N. C. Umerah and V. Olhovoy, "Process models for analyzing associative data structures," 2010 East-West Design & Test Symposium (EWDTS), 2010, pp. 123-127, doi: 10.1109/EWDTS.2010.5742151.

39. V. I. Hahanov, E. I. Litvinova, S. V. Chumachenko, B. A. A. Abbas and E. A. Mandefro, "Qubit model for solving the coverage problem," East-West Design

& Test Symposium (EWDTS 2013), 2013, pp. 1-4, doi: 10.1109/EWDTS.2013.6673167.

40. V. Hahanov, A. Mishchenko and V. Varetsa, "Metrics of vector logic algebra for cyber space," 2010 East-West Design & Test Symposium (EWDTS), 2010, pp. 204-207, doi: 10.1109/EWDTS.2010.5742149.

41. V. Hahanov, I. Hahanova, O. Guz and Murad Ali Abbas, "Quantum models for data structures and computing," Proceedings of International Conference on Modern Problem of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, 2012, pp. 291-291.

42. V. Abdullayev, E. Litvinova, A. Arefiev, V. Hahanov, D. Farid and Y. Hahanova, "Cloud service — Cyber social democracy and smart university," 2015 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), 2015, pp. 1-5, doi: 10.1109/EWDTS.2015.7493104.

43. Hahanov, T. B. Amer, I. Hahanova, S. Dementiev and A. Arefiev, "Automaton MQT-model for virtual computer design," The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, 2015, pp. 66-69, doi: 10.1109/CADSM.2015.7230798.

44. V. Hahanov, S. Chumachenko and K. Mostovaya, "Metrics of vector logic algebra for cyber space," 2011 11th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM), 2011, pp. 183-185.

45. V. Hahanov, E. Litvinova and A. Priymak, "Table data structures for cyber space," 2010 East-West Design & Test Symposium (EWDTS), 2010, pp. 118-122, doi: 10.1109/EWDTS.2010.5742150.

46. V. Hahanov and V. Miz, "Quantum computing approach for shortest route finding," East-West Design & Test Symposium (EWDTS 2013), 2013, pp. 1-4, doi: 10.1109/EWDTS.2013.6673095.

47. V. Hahanov, S. Chumachenko, Baghdad Ammar Avni Abbas and M. Maksimov, "Multimatrix processor for cyberspace analysis," Proceedings of

International Conference on Modern Problem of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, 2012, pp. 243-243.

48. V. Hahanov and V. Miz, "Big data driven healthcare services and wearables," *The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics*, 2015, pp. 310-312, doi: 10.1109/CADSM.2015.7230864.

49. V. Hahanov, V. Miz, E. Litvinova, A. Mishchenko and D. Shcherbin, "Big Data driven cyber physical systems," *The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics*, 2015, pp. 76-80, doi: 10.1109/CADSM.2015.7230800.

50. T. Soklakova, I. Iemelianov, T. B. Amer and I. Hahanov, "Technological Culture of Big Data," 2016 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET), 2016, pp. 549-552, doi: 10.1109/TCSET.2016.7452111.

51. H. Vladimir, C. Svetlana and L. Eugenia, "Logical analysis of information in tabular form," 2010 IEEE Region 8 International Conference on Computational Technologies in Electrical and Electronics Engineering (SIBIRCON), 2010, pp. 72-79, doi: 10.1109/SIBIRCON.2010.5555313.

52. V. Hahanov, S. Chumachenko, A. Mishchenko, V. Sergienko and Y. Hahanova, "Cloud services of Smart Cyber University," 2016 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET), 2016, pp. 540-544, doi: 10.1109/TCSET.2016.7452109.

53. V. Hahanov, A. Hahanova and V. Zakaryan, "Cyber space evolution," 2010 East-West Design & Test Symposium (EWDTS), 2010, pp. 208-214, doi: 10.1109/EWDTS.2010.5742127.

54. V. Hacimahmud, O. Mishchenko, V. H. Kharkov and T. Soklakova, "Moral cyber-social computing for state and university," 2017 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109/EWDTS.2017.8110032.

55. V. I. Hahanov, W. Gharibi, E. I. Litvinova and N. C. Umerah, "Logic associative multiprocessor for information analysis," 2010 12th Biennial Baltic Electronics Conference, 2010, pp. 169-172, doi: 10.1109/BEC.2010.5630712.

56. V. Hahanov, W. Gharibi, Dong Won Park and E. Litvinova, "Cybercomputer for information space analysis," 2011 9th East-West Design & Test Symposium (EWDTS), 2011, pp. 66-71, doi: 10.1109/EWDTS.2011.6116416.

57. V. Hahanov, E. Litvinova, S. Chumachenko and M. Liubarskyi, "Qubit description of the functions and structures for computing," 2016 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), 2016, pp. 1-6, doi: 10.1109/EWDTS.2016.7807659.

58. W. Gharibi, V. Hahanov and E. Litvinova, "Associative logical information analysis for cyber space," 2011 11th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM), 2011, pp. 190-199.

59. V. Hahanov, S. Chumachenko, E. Litvinova and A. Hahanova, "Cyber-physical social monitoring and governance for the state structures," 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), 2018, pp. 123-129, doi: 10.1109/DESSERT.2018.8409112.

60. V. Hahanov, E. Litvinova, M. Brazhnikova and A. Hahanova, "Cyber democracy and digital relationship," 2016 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET), 2016, pp. 545-548, doi: 10.1109/TCSET.2016.7452110.

61. V. Hahanov, O. Mishchenko, E. Litvinova and S. Chumachenko, "Big Data Driven Smart Cyber University," 2016 IEEE World Congress on Services (SERVICES), 2016, pp. 134-141, doi: 10.1109/SERVICES.2016.33.

62. V. Hahanov, W. Gharibi, E. Litvinova and S. Chumachenko, "Big Data Driven Cyber Analytic System," 2015 IEEE International Congress on Big Data, 2015, pp. 615-622, doi: 10.1109/BigDataCongress.2015.94.

63. A. Hahanova, S. Chumachenko, V. Hahanov, A. V. Hacimahmud, K. L. Man and A. Mishchenko, "Emerging Culture of Social Computing," 2019 IEEE

East-West Design & Test Symposium (EWDTS), 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/EWDTS.2019.8884429.

64. O. Mishchenko, V. Abdullayev, E. Litvinova, V. Hahanov, S. Chumachenko and A. Hahanova, "Cloud service for university E-government," 2016 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), 2016, pp. 1-10, doi: 10.1109/EWDTS.2016.7807660.

65. V. Hacimahmud et al., "Big Data Critical Computing Based on the Similarity-Difference Metric," 2020 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/EWDTS50664.2020.9225110.

66. V. Hahanov, M. A. A. Hussein, A. Hahanova and K. L. Man, "Cyber physical computing," 2016 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), 2016, pp. 1-8, doi: 10.1109/EWDTS.2016.7807670.

67. V. Hahanov, S. Chumachenko, A. Hahanova, A. Mishchenko, M. A. A. Hussein and I. Filippenko, "CyUni service — Smart cyber university," 2015 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), 2015, pp. 1-8, doi: 10.1109/EWDTS.2015.7493103.

68. Kasey Panetta. Distributed cloud, AI engineering, cybersecurity mesh and composable business drive some of the top trends for 2021. <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-strategic-technology-trends-for-2021/>

69. H. B. McMahan, E. Moore, D. Ramage, et al., "Federated learning of deep networks using model averaging," in International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS), Fort Lauderdale, FL, USA, Apr. 2017.

70. K. He, X. Zhang, S. Ren, et al., "Deep residual learning for image recognition," in 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Las Vegas, NV, USA, Jun. 2016.

71. A. T. Suresh, F. X. Yu, S. Kumar, et al., "Distributed mean estimation with limited communication," in International Conference on Machine Learning (ICML), Sydney, Australia, Aug. 2017.



72. J. Konecny and P. Richtarik, "Randomized distributed mean estimation: Accuracy vs communication," *Frontiers in applied mathematics and statistics*, vol. 4, pp. 2297–4687, Dec. 2018.

73. M. Courbariaux, Y. Bengio, and J.-P. David, "Binary connect: Training deep neural networks with binary weights during propagations," in *Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS)*, Montreal, QC, Canada, Dec. 2015.

74. J. Xu, W. Du, Y. Jin, et al., "Ternary compression for communication-efficient federated learning," *IEEE Transaction on Neural Networks and Learning Systems*, pp. 1–15, Dec. 2020. DOI: 10.1109/TNNLS.2020.3041185.

75. Hubara, M. Courbariaux, D. Soudry, et al., "Binarized neural networks," in *Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS)*, Barcelona, Spain, Dec. 2016.

76. Y. Lecun, L. Bottou, Y. Bengio, et al., "Gradient-based learning applied to document recognition," *Proceedings of the IEEE*, vol. 86, no. 11, pp. 2278–2324, 1998.

77. D. Kingma and J. Ba, "Adam: A method for stochastic optimization," in *International Conference on Learning Representations (ICLR)*, San Diego, CA, USA, May 2015.

78. "IEEE Guide for Architectural Framework and Application of Federated Machine Learning," in *IEEE Std 3652.1-2020*, vol., no., pp.1-69, 19 March 2021, doi: 10.1109/IEEESTD.2021.9382202.

79. W. Wu, L. He, W. Lin, R. Mao, C. Maple and S. Jarvis, "SAFA: A Semi-Asynchronous Protocol for Fast Federated Learning with Low Overhead," in *IEEE Transactions on Computers*, vol. 70, no. 5, pp. 655-668, 1 May 2021, doi: 10.1109/TC.2020.2994391.

80. A. Asadi, S. Müller, G. H. Sim, A. Klein and M. Hollick, "FML: Fast Machine Learning for 5G mmWave Vehicular Communications," *IEEE INFOCOM 2018 - IEEE Conference on Computer Communications*, 2018, pp. 1961-1969, doi: 10.1109/INFOCOM.2018.8485876.

81. C. Lee et al., "FML-based emotional expression system for computer Go application," 2012 IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 2012, pp. 1-8, doi: 10.1109/FUZZ-IEEE.2012.6251157.

82. W. Lin, M. Wang, C. Lee, K. Kurozumi and Y. Majima, "FML-Based Recommender System for Restaurants," 2013 Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence, 2013, pp. 234-239, doi: 10.1109/TAAI.2013.54.

83. G. Wang, C. X. Dang and Z. Zhou, "Measure Contribution of Participants in Federated Learning," 2019 IEEE International Conference on Big Data (Big Data), 2019, pp. 2597-2604, doi: 10.1109/BigData47090.2019.9006179.

84. M. Wang, P. Hsieh, C. Lee, D. L. St-Pierre and C. Liu, "An optimization model for FML-based decision support system on energy management," 2014 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), 2014, pp. 850-856, doi: 10.1109/FUZZ-IEEE.2014.6891744.

85. C. Lee, M. Wang, S. Lai, N. Shuo and N. Kubota, "FML-based linguistic classification agent for social media application," 2017 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109/FUZZ-IEEE.2017.8015757.

86. Ameet Joshi. Machine Learning and Artificial Intelligence. Springer Nature Switzerland AG. 2020. 261 p. DOI 10.1007/978-3-030-26622-6

87. M. Canellas, "Defending IEEE Software Standards in Federal Criminal Court". Computer, vol. 54, no. 06, pp. 14-23, 2021. doi: 10.1109/MC.2020.3038630

88. *Хаханова Г.В.* (2021) Кіберсоціальний федеративний комп'ютинг. Modern scientific researches. Issue 16. Part 1, 45-64. DOI: 10.30889/2523-4692.2021-16-01-034

89. Хаханов В.І. Моделі і методи пошуку шкідливих кодів на архітектурі федеративного машинного навчання [Текст] / В.І. Хаханов, А.С. Саприкін // Міжнародний науковий журнал "Modern Scientific Researches." – Мінськ, Білорусь. – 2021. – Вип. 16. – С. 25-38.

90. Каракашьян Д.В. Моделі та архітектури кіберсоціального FML-комп'ютингу / 27-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у ХХІ столітті». Зб. матеріалів форуму. Т. 5. – Харків: ХНУРЕ. 2023. – С. 106-107.