

**МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ**  
**ВІЙСЬКОВИЙ ІНСТИТУТ**  
**ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ ТА ІНФОРМАТИЗАЦІЇ**



**ХІІІ НАУКОВО-ПРАКТИЧНА**  
**КОНФЕРЕНЦІЯ**

**„Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення. Застосування підрозділів, комплексів, засобів зв’язку, автоматизації та кібербезпеки в операції Об’єднаних сил”**

**3 грудня 2020 року**

**(Доповіді та тези доповідей)**

Київ – 2020

	інформаційних технологій для організації систем спеціалізованих консультацій	
120.	<b>Семенякіна В.С., Єсіна М.В.</b> Дослідження та аналіз кандидату на перспективний постквантовий електронний підпис FALCON	242
121.	<b>Сипливець С.В., Нерознак Є.І.</b> Модель сервера віртуалізації на основі технологій контейнеризації	246
122.	<b>Сінчук В.В., Нестеренко М.М., Успенський О.А.</b> Підсистема взаємодії з користувачем системи обліку матеріальних засобів лабораторії ТЗН ВВНЗ	247
123.	<b>Сінько В.В., Могилевич В.Д.</b> Аналіз факторів, які впливають на надійність програмного забезпечення інформаційних систем спеціального призначення	248
124.	<b>Слюсар В.І.</b> ROS-M та програмна архітектура AGVRA	249
125.	<b>Слюсар В.І.</b> Тензорно-матричні основи теорії штучного інтелекту	251
126.	<b>Слюсар В.І.</b> Стратегія стандартизації у СФЕРІ UGV	253
127.	<b>Сова М.В., Олексенко В.П.</b> Концепція кібербезпеки Збройних Сил США	254
128.	<b>Совік О.В., Сергієнко А.В.</b> Розподіл частотного ресурсу сучасних широкосмугових станцій в тактичній ланці управління Збройних Сил України	255
129.	<b>Солодовник В.І., Чуйко В.В.</b> Способи підвищення енергетичної ефективності засобів військового радіозв'язку з підтримкою технології MIMO	256
130.	<b>Степаненко Є.О., Симоненко О.А.</b> Математична модель прогнозування радіозв'язності вузлів в радіомережах класу MANET	258
131.	<b>Стоцький І.В., Сонько М.М.</b> Підсистема автоматизації роботи куратора навчальної групи ВВНЗ на основі мобільного додатку	259
132.	<b>Сусь Б.А., Грохольський Я.М., Лиманська О.Л.</b> Особливості завадостійкого кодування при переході через ймовірнісну межу $P \geq 10^{-2}$	260
133.	<b>Ткаченко І.М., Величко В.П.</b> Аудит стану кіберзахисту, як складова оцінки кіберзахисту об'єктів критичної інфраструктури з урахуванням індикаторів кіберзагроз	263
134.	<b>Толкунова О.А., Симоненко О.А.</b> Модель передачі інформації в мережах спеціального призначення на основі протоколу QUIC	264
135.	<b>Троцько О.О.</b> Імітаційне моделювання процесу передачі повідомлень у каналах зв'язку з високошвидкісними об'єктами за умов нелінійного доплерівського зсуву частоти	265
136.	<b>Троянський В.О., Застело Г.І.</b> Моделювання процедури оцінювання захищеності інформаційно-телекомунікаційної системи від кібератак	267
137.	<b>Труш О.В., Мягкова Л.А., Труш І.О.</b> Забезпечення цілісності інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах спеціального призначення	268
138.	<b>Фесенко О.Д., Беляков Р.О., Радзівілов Г.Д.</b> Методика керування траєкторією БпЛА в автономному режимі польоту на основі нейромережевого алгоритму MELM – MADGWICK	270
139.	<b>Фесенко Д. О., Горбенко І. Д.</b> Використання децентралізованих технологій для засобів автентифікації автомобіля	271
140.	<b>Фесьоха Н.О., Лейник Д.М.</b> Модуль централізованого зберігання та обробки даних інформаційної системи технічного обслуговування абонентів служб технічної підтримки	274
141.	<b>Фесьоха В.В., Фесьоха Н.О., Доброштан О.С.</b> Автентифікація користувача інформаційної системи на основі поведінкової біометрії із використанням нечіткої логіки	275
142.	<b>Фриз С.П., Кальватинський О.В., Авсієвич Р.О.</b> Модель інтегрованої системи моніторингу надводної обстановки в межах виключної (морської) економічної зони України	276
143.	<b>Фтемов Ю.О.</b> Рекомендації зі створення спеціалізованого програмного забезпечення для розрахунку системи інженерних загороджень	277

## ТЕНЗОРНО-МАТРИЧНІ ОСНОВИ ТЕОРІЇ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Ефективна інтеграція систем штучного інтелекту (АІ) та великих обсягів даних стикається з проблемою пошуку швидкодіючих обчислювальних алгоритмів, які дозволяють вирішувати завдання обробки багатовимірних інформаційних масивів у реальному масштабі часу. Особливу гостроту цій проблемі надає парадигма, що запанувала на даному етапі розвитку побудови подібних систем на основі глибоких загорткових нейромереж і передбачає, зокрема, формування згорток великої розмірності. Хмарні механізми доступу до таких мегаструктур інспірували не тільки масове впровадження систем стільниковому зв'язку 5-го покоління для вирішення проблем скорочення часу передачі великих масивів даних, але й сприяли початку розробок систем зв'язку 6G, у тому числі на основі квантових мереж. Разом з тим, підвищення швидкості передачі даних є лише одним з аспектів концепції наближення сервісу АІ до споживача. Іншою стороною проблеми залишається необхідність здешевлення обчислювальних технологій, що лежать в основі алгоритмів обробки даних систем штучного інтелекту й машинного навчання.

Через це останнім часом зусилля багатьох дослідників активізувалися за напрямом адаптації розробленої в алгебрі тензорно-матричної теорії під потреби систем машинного навчання в інтересах компактної формалізації аналітичного опису алгоритмів функціонування АІ.

Одним з таких напрямів є використання торцевого добутку матриць, запропонованого автором в 1996 р. [1]. У відношенні двох матриць із однаковою кількістю рядків суть його зводиться до множення кожного елемента окремо взятого рядка лівої матриці на відповідний рядок правої. Такий підхід одержав визнання серед закордонних фахівців, підтвердженням чому стали публікації Томаса Ейле (Thomas D. Ahle) зі співавторами, присвячені аналізу ефективності так званого тензорного скетчу [2].

Тензорний скетч як метод зменшення розмірності інформаційних просторів був запропонований в 2013 р. і використовується в алгоритмах обробки великих даних, статистиці, машинному навчанні для зниження розмірності масивів даних на основі їх векторного представлення у вигляді тензорної структури. Такий скетч може бути використаний для прискорення білінійного об'єднання в нейронних мережах, зменшення кількості змінних, необхідних для реалізації пулінга і є наріжним каменем багатьох числових алгоритмів лінійної алгебри.

Суттєво, що операцію формування тензорного скетчу можна представити у вигляді добутку деякої матриці великої розмірності й тензорного добутку векторів вихідних даних. В основі варіанта зниження відповідних обчислювальних витрат, запропонованого Томасом Ейле й ін., лежить використання відносно тензорного скетчу властивості зазначеної операції торцевого добутку, що дозволяє звести матрично-тензорний добуток до поелементного множення Адамара. Із цією метою досить представити вихідну матрицю тензорного скетчу у вигляді торцевого добутку матриць меншої розмірності. В результаті вихідний формат скетчу зводиться до добутку Адамара наборів невеликих матриць із елементами 1 і -1 або гауссових матриць Джонсона-Лінденштрауса й субвекторів, що утворювали спочатку тензорний добуток з набору векторів даних.

Оскільки класичні операції матрично-векторних множень здійсненні за лінійний час, перехід до нового формату подання тензорного скетчу на основі властивості торцевого добутку дозволяє виконати множення на вектори з тензорною структурою набагато швидше, чим формувався б вихідний вираз. Для тензорів високого порядку економія в кількості операцій множення може бути досить значною. При цьому важливо, що подібне перетворення при великій кількості матриць у складі торцевого добутку задовольняє лемі Джонсона-Лінденштрауса про малі викривлення вихідних даних великої розмірності при побудові їх проєкцій.

Для згорткових нейромереж важливо, що така концепція може бути поширена на випадок формування швидкого перетворення Фур'є (БПФ) від тензорного скетчу у вигляді векторної згортки в часовій області. У результаті, перехід до спектрального представлення дозволяє замінити зазначену згортку еквівалентною операцією множення торцевого добутку БПФ-матриць у комбінації з підматрицями тензорного скетчу на кронекерівський добуток векторів даних. Це забезпечує заміну ресурсномістких обчислень простим у реалізації поелементним добутком Адамара.

Томас Ейле також запропонував підвищити за допомогою торцевого добутку продуктивність швидкого перетворення Джонсона-Лінденштрауса (FJLT) за методом SHD. З цією метою він використовував в якості випадкової матриці  $S$ , складеної з рядків, що утворюють одиничну матрицю, торцевий добуток двох аналогічних матриць меншої розмірності. Як наслідок перетворення FJLT від тензорного добутку векторів звелось до добутку Адамара. З тим же успіхом даний підхід може бути розповсюджений на інші версії FJLT – субдискретизоване рандомізоване перетворення Фур'є (Subsampled Randomized Fourier Transform) і вдосконалені модифікації субдискретизованого рандомізованого перетворення Адамара (subsampled randomized Hadamard transform). Загальна методологія розпаралелення такого роду перетворень на потоки меншої розмірності полягає в тому, що вибіркова матриця відліків  $S$  представляється торцевим добутком двох матриць із меншою кількістю елементів. У підсумку весь вихідний добуток при множенні матриці проєкції на тензорний добуток векторів розщеплюється на добуток Адамара.

Слід зазначити, що в контексті згаданої властивості торцевого добутку ідея переходу від вихідного матричного проєктора до добутку Адамара, що оперує матрицями малої розмірності, була використана в 2010 році для розв'язку завдання диференціальної приватності (differential privacy) при доступі до баз даних. Крім того, аналогічні обчислення були застосовані для реалізації ядерних методів AI.

Разом з тим, перераховані підходи торкаються лише верхівки айсберга всієї сукупності можливих застосувань апарата торцевих добутків матриць як основи тензорно-матричної теорії штучного інтелекту. Заслугове на увагу, наприклад, узагальнення розглянутих варіантів розв'язку завдання зниження розмірності даних на основі використання запропонованого автором блокового варіанта торцевого добутку матриць (БТП) [1], оскільки такі блокові структури є, як відомо, зручною формою запису багатовимірних тензорів. При певних форматах матричних блоків застосування БТП також зводиться до Адамарового добутку матрично-векторних структур або, у більш загальному випадку, - до поблочної суми добутків Адамара. Це дозволяє перетворювати багатоканальні ієрархії згорткових нейромереж до більш простих у навчанні структур.

Компактно формалізувати процес зважування аналізованих масивів даних на вході нейромережі пропонується на основі проникаючого торцевого добутку [3], який зводиться до поелементного множення лівої матриці на погоджені за розміром блоки правої блокової матриці. У випадку мультизгорткових нейромереж складної ієрархії доцільно використовувати узагальнений торцевий добуток і його блокову версію [3].

Розглянуті підходи можуть бути реалізовані програмно або на апаратному рівні в нейрочипах і будуть сприяти впровадженню AI на тактичному рівні.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Слюсар В.И. Торцевые произведения матриц в радиолокационных приложениях// Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. – 1998. – Том 41, № 3. – С. 71 – 75.
2. Ahle, Thomas. Almost Optimal Tensor Sketch. Researchgate (3 сентября 2019).
3. Слюсар В.И. Обобщенные торцевые произведения матриц в моделях цифровых антенных решеток с неидентичными каналами.//Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. – 2003. – Том 46, № 10. – С. 15 – 26.