

2. побудову уніфікованої моделі світу у вигляді графа знань;
3. агентне прийняття рішень із генеративними властивостями;
4. адаптивний контур зворотного зв'язку між сприйняттям і плануванням.

Очікуваними результатами є:

1. підвищення стійкості логістичних систем до невизначеності та неповноти даних;
2. скорочення часу ухвалення рішень у динамічному середовищі;
3. покращення узгодженості між сенсорними спостереженнями та діями системи.

Таким чином ця робота закладає основи для створення інтелектуальних автономних логістичних систем, здатних працювати у складних або ворожих умовах – від кризових гуманітарних місій до військових операцій.

Список джерел:

1. Bajcsy R. Active Perception. *Proceedings of the IEEE*. 1988. P. 996–1005.
2. Baltrušaitis T., Ahuja C., Morency L.-P. Multimodal Machine Learning: A Survey and Taxonomy. *ArXiv:1705.09406*. 2018.
3. Chen T., Guestrin C. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System. *ArXiv:1603.02754*. 2016.
4. A Comprehensive Survey on Graph Neural Networks. / Z. Wu et al. *ArXiv:1901.00596*. 2019.
5. ReAct: Synergizing Reasoning and Acting in Language Models. / S. Yao et al. *ArXiv:2210.03629*. 2022.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ МОДЕЛІ ЕВОЛЮЦІЙНОЇ ГРИ В ІМЕНУВАННЯ / EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE EVOLUTIONARY NAMING GAME MODEL

Сітков І.П.¹, Гуляєва Н.М.^{1,2} / Sitkov I.¹, Gulayeva N.^{1,2}

¹Національний університет “Києво-Могилянська Академія” / ¹National University of Kyiv-Mohyla Academy,

²Університет Севільї / ²Universidad de Sevilla

¹04655, Київ, вул. Григорія Сковороди, 2, факультет інформатики, кафедра інформатики

²Departamento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial, Universidad de Sevilla, E.T.S. Ingeniería Informática, Avda. Reina Mercedes s/n, 41012 Sevilla, Spain

E-mail: i.sitkov@ukma.edu.ua, gulayeva@ukma.edu.ua

Agent-based modelling is the principal method for studying natural language emergence and evolution due to the extreme complexity of the process. Lipowskis' Evolutionary Naming Game model lacks statistically-based studies on its reproducibility and sensitivity to parameter variations. Our research aims to analyse the effect of the model parameters on its dynamics and to verify the reproducibility of known results. We implemented the Evolutionary Naming Game model and conducted a series of experiments described by Lipowskis. Our experimental analysis confirmed the reproducibility of main behavioural patterns and demonstrated the model general robustness to parameter variations, although some mismatches in numerical values were observed. The statement suggesting a correlation between agents' languages and their learning abilities was refuted.

Причини виникнення та механізми розвитку природної мови залишаються предметом досліджень у лінгвістиці, біології та комп'ютерній науці протягом багатьох років. Вивчення еволюції мови в реальних умовах є складним через тривалість мовотворчих процесів, динамічність соціального середовища та велику кількість зовнішніх чинників. У зв'язку зі сказаним, основним методом дослідження мовотворчих процесів стає обчислювальне моделювання.

У роботі розглядається агентна модель виникнення та розвитку мови – Еволюційна Гра в Іменування (ЕГІ) [1-3]. Модель представлена популяцією агентів, розміщених у двовимірній квадратній сітці з довжиною сторони L . Кожен агент характеризується навчальною здібністю, віком, словником та рівнем знань (сума ваг слів словника). Симуляція відбувається протягом фіксованої кількості ітерацій, де на кожній ітерації виконуються $L \times L$ операцій над агентами. Модель передбачає два типи операцій: комунікацію агентів та оновлення популяції. Під час комунікації випадковий агент виконує роль мовця та пропонує випадкове слово зі свого словника агенту-слухачу, обраному серед сусідів мовця. Якщо словник агента-слухача містить пропонуване слово, то комунікація є успішною та обидва агенти збільшують вагу слова у своїх

словниках на значення навчальної здібності. В іншому разі агент-мовець зменшує вагу слова на значення навчальної здібності, а агент-слухач додає невідоме слово до свого словника. Під час оновлення популяції агент або утворює нащадка, або гине (визначається ймовірністю виживання). Утворений нащадок або отримує випадковий словник та навчальну здібність, або успадковує ці дані від батька (визначається ймовірністю мутації). Модель ЕГІ характеризується низкою параметрів, такими як кількість ітерацій, розмір агентної сітки, розмір словника агентів, ймовірність комунікації (p_{comm}), ймовірність мутації, міра впливу віку та рівня знань агентів на ймовірність їх виживання тощо.

У роботах [1-3] описано такі властивості моделі ЕГІ. По-перше, популяція агентів за певної ймовірності комунікації здійснює біолінгвістичний перехід (БЛП) – різкий перехід від лінгвістично неоднорідного стану до монологічності, від низьких значень навчальних здібностей та успішності комунікації до високих. Відзначимо, що в [1, 2] наявність БЛП розглядається як демонстрація ефекту Болдвіна. По-друге, у роботах [1-3] заявлена стійкість моделі до зміни значень її параметрів, при цьому в [3] наголошується на чутливості алгоритму до певних модифікацій. По-третє, у [3] акцентується увага на кореляції між кластерами агентів, що володіють спільною мовою та мають однакові навчальні здібності.

Зазначимо, що в роботах [1-3] відсутні детальні описи умов проведення експериментів та не наведені статистичні дані, на основі яких були зроблені висновки. Тож складається враження, що частина висновків зроблена за результатами лише одного прогону алгоритму, а висновок про кореляцію між мовами та навчальними здібностями агентів спирається лише на візуальне порівняння кластерів. Зі сказаного випливає необхідність перевірки відтворюваності результатів та проведення статистично обґрунтованого аналізу властивостей моделі.

Нами було виконано програмну реалізацію моделі ЕГІ відповідно до опису алгоритму в [1, 2] та скоригованого псевдокоду з [3] (виправлено ймовірність мутації мови й навчальної здібності, усунуто зайве оновлення популяції). Було відтворено такі експерименти з [1-3]:

1 – виконання перших 8000 ітерацій із $p_{comm}=0.02$ та використання $p_{comm}=0.98$ для наступних 42000 ітерацій;

2 – виконання 100000 ітерацій з лінійним збільшенням p_{comm} від 0.1 до 0.5;

3 – збільшення (зменшення) p_{comm} з кроком 0.01 та зі сталою кількістю ітерацій на одне значення p_{comm} .

Аналіз стійкості моделі був проведений для таких значень параметрів:

10. розмір словника агентів (1, 5, 1000);
11. довжина сторони агентної сітки L (20, 30, 40, 60, 70);
12. початковий вік агентів (0, 1, 5, 10);
13. вплив віку на ймовірність виживання (0, 0.005, 0.05, 0.1, 0.5, 4);
14. визначення множини сусідів (окіл Мура, окіл фон Неймана, 4 сусіди на діагоналях).

Порівняльний аналіз отриманих результатів із заявленими в [1-3] засвідчив часткову відтворюваність поведінкових патернів моделі. Експериментально були підтверджені загальні тенденції у розвитку популяцій агентів, зокрема, БЛП, зворотний БЛП, кластеризація агентів за мовами та навчальними здібностями, уніфікація мов та навчальних здібностей у ході еволюції, а також сигмоїдна форма графіків у експерименті 1. Утім, не було досягнуто точного збігу в значеннях ймовірності комунікації БЛП та формі графіків навчальних здібностей і успішності комунікації. Наприклад, у експерименті 2 ймовірність комунікації БЛП у [2] склала 0.4, у [3] – 0.12, у наших експериментах – 0.16875 ± 0.01031 . Розбіжності в результатах можна пояснити відмінностями в умовах проведення експериментів та відсутністю достатньої кількості зібраних статистичних даних.

Результати експериментів 1-3 підтвердили стійкість моделі до зміни значень досліджуваних параметрів: були зафіксовані кількісні зміни в показниках ЕГІ (ймовірність комунікації БЛП, чисельність популяції, середній вік та рівень знань агентів) при збереженні загальних тенденцій.

Кореляцію між мовами та навчальними здібностями агентів було перевірено з використанням метрик кластерного аналізу. Результати експериментів продемонстрували повну відповідність між множинами кластерів за відсутності мутацій та комунікації. Застосування мутації порушило повну узгодженість кластерів. Долучення операції комунікації призвело до зниження кореляції до рівня випадкової, що, у підсумку, дозволило спростувати твердження.

Список використаних джерел

1. Lipowski A., Lipowska D. Bio-linguistic transition and Baldwin effect in an evolutionary naming-game model. *International Journal of Modern Physics C*. 2008. Т. 19, вип. 3. С. 399–407. URL: <https://doi.org/10.1142/S0129183108012248>.
2. Lipowska D. Naming Game and Computational Modelling of Language Evolution. *Computational Methods in Science and Technology*. 2011. Т. 17, вип. 1-2. С. 41–51. URL: <https://doi.org/10.12921/CMST.2011.17.01.41-51>.
3. Moloney P. Evolutionary Naming Game: an Agent-based Model for the Emergence of Language : M.Sc. Computer Science - Augmented and Virtual Reality / Trinity College Dublin. Dublin, 2021. URL: <https://publications.scss.tcd.ie/theses/diss/2021/TCD-SCSS-DISSERTATION-2021-042.pdf> (дата звернення: 31.10.2025).

GPU-ОРІЄНОВАНА БІДІАГОНАЛІЗАЦІЯ В АЛГОРИТМІ СИНГУЛЯРНОГО РОЗКЛАДУ З ШВИДКОЮ ДЕФЛЯЦІЄЮ ТА ПАРАЛЕЛЬНИМ РОЗБИТТЯМ / GPU-NATIVE BIDIAGONAL SVD WITH OPPORTUNISTIC DEFLATION AND PARALLEL SPLITTING

Сухарський С. С. / Sukharskyi S. S.

Інститут програмних систем НАН України

Київ, 03187, Україна, Проспект Академіка Глушкова, 40, корп. 5, +38 (044) 526-33-19

E-mail: serhii.sukharskyi@gmail.com

This research focuses on a GPU-native bidiagonal SVD that performs scale-aware, opportunistic deflation with immediate splitting into independent subproblems. We replace full upper/lower sweeps with an implicit-shift (Wilkinson) paired left/right Givens bulge-chasing, sharply reducing iterations. Householder reduction uses operations optimization techniques, and rotations on U and V are applied in tiled, GEMM-like passes. Avoiding per-rotation kernel launches and improving inter-block coordination yield 2–3× speedups over the initial version [5]. Early splitting exposes parallelism across subblocks, improving SM occupancy and time-to-solution for large dense matrices. The method preserves numerical stability and near-Jacobi orthogonality via scale-aware tests. We also propose a “step-0” heuristic targeting the largest-magnitude bidiagonal entries to hasten early deflation. Ongoing evaluation benchmarks against Jacobi, QR/DC, and polar-decomposition SVDs across different matrix sizes and conditions.

У роботі розглянуто GPU-орієнтований алгоритм SVD, що намагається усунути проблеми традиційних підходів завдяки масштабованій, опортуністичній дефляції на бідіагональній формі з негайним розбиттям на незалежні підзадачі. Таке раннє розбиття перетворює один великий, послідовний конвеєр складності $O(n^3)$ на кілька менших, паралельних ядер, що покращує використання локального кешу, підвищує завантаження поточкових мультипроцесорів (SM) та забезпечує ефективні за пропускну здатністю, GEMM-подібні оновлення накопичених ортогональних матриць U та V . У підсумку істотно зменшується час обчислень для великих щільних матриць, що є критично важливим для задач на кшталт аналізу основних компонент (PCA), спектральної фільтрації та аналітики даних.

Наявні бібліотеки зазвичай надають перевагу надійним методам: однобічному Якобі (відмінна ортогональність; сильний у пакетній обробці малих/середніх задач) [4, 5], класичним QR/Розділяй-і-Пануй (DC) (висока надійність, але часто повільніші на GPU без ретельного блокування) [1], а також новішим SVD на основі полярного розкладу (висока швидкість на дуже великих щільних задачах) [2]. Існують багаторічні GPU-розклади — перетворення щільних матриць у бідіагональну форму (інколи через проміжну стрічкову), — однак подальша бідіагоналізація часто лишається «вузьким місцем» [3] через притаманну послідовність переслідування «горба» (bulge chasing) та відсутність якнайранішої дефляції з динамічним плануванням підзадач. Це окреслює потребу для розробки алгоритму бідіагоналізації як частини алгоритму сингулярного розкладу з використанням усіх можливостей графічних процесорів, що поєднує неявні зсуви, жадібну дефляцію й розбиття, а також ефективне паралельне застосування обертань до накопичених множників U і V .

Завдання цього дослідження спроектувати та оцінити повний алгоритм SVD, оптимізований під сучасні графічні процесори, який охоплює: початкову редукцію матриці до бідіагональної форми з використанням ефективних перетворень Хауссхолдера; механізм бідіагоналізації з неявним зсувом і негайною дефляцією та розбиттям; застосування накопичених обертань до матриць U і V у паралельних проходженнях; ефективне планування підзадач за допомогою окремих ядер і динамічних черг на сучасних архітектурах GPU. Кінцева мета —