

**Пилипенко А.Г.**

<https://orcid.org/0009-0008-2861-7906>

Харківський національний університет радіоелектроніки

## МУЛЬТИАГЕНТНІ МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ КОРЕЛЯЦІЙНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ У РІЗНОРІДНИХ ДАНИХ

У роботі досліджено мультиагентні методи виявлення кореляційних залежностей у різномірних даних на основі архітектури MSMAA (Modal-Segregated Multi-Agent Architecture). Запропоновано розглядати процес формування рішень як структуровано організований конвеєр інтеграції семантичних, символічних і топологічно обумовлених інформаційних сигналів, у якому ключову роль відіграє графово-керований механізм допустимості контексту пов'язаних об'єктів. На відміну від підходів, орієнтованих на максимізацію прогнозової точності, дослідження зосереджене на аналізі архітектурно зумовлених поведінкових ефектів системи.

Емпіричну перевірку виконано на вибірці з 1639 спостережень типу «тикер–день» для 39 акцій за період 2023 року. Для кожного спостереження система формує категоріальний напрям (Up/Down/Neutral) та рівень впевненості. Порівняння здійснюється між двома режимами функціонування однієї архітектури: AGG (без використання контексту пов'язаних компаній) та GRAPH (із графово-керуваним допуском такого контексту). Встановлено, що перехід до режиму GRAPH супроводжується зміною напрямку рішення у 29,7% випадків та рівня впевненості у 27,8% випадків, що свідчить про наявність систематичного поведінкового ефекту.

Показано, що основний вплив пов'язаний із зменшенням невизначеності через трансформацію нейтральних станів у напрямлені рішення, тоді як прямі інверсії напрямів спостерігаються значно рідше. Частка явного відображення контексту пов'язаних компаній у текстових поясненнях становить 67,8%, що вказує на часткову спостережуваність механізму інтеграції інформаційних сигналів. Додатково зафіксовано покращення агрегованих результатних показників для режиму GRAPH, що підтверджує змістовність виявлених ефектів.

Отримані результати свідчать, що мультиагентні методи, засновані на структурованому допуску та інтеграції різномірних даних, забезпечують більш узгоджене формування рішень і відкривають перспективи для подальшого розвитку методів виявлення кореляційних залежностей у складних інформаційних середовищах.

**Ключові слова:** мультиагентні методи, різномірні дані, кореляційні залежності, граф знань, інформаційні системи, прийняття рішень, машинне навчання.

**Постановка проблеми.** У сучасних інформаційних системах, орієнтованих на формування рішень в умовах аналізу складних динамічних процесів, спостерігається зростаюча потреба в архітектурно організованій обробці різномірних джерел даних [1, с. 24] [2, с. 1219]. До таких джерел належать текстові потоки новин, числові часові ряди та структуровані відомості про взаємозв'язки між об'єктами, що можуть бути представлені у вигляді графів знань. Відмінність природи цих даних, різна семантика та часові характеристики ускладнюють їх узгоджену обробку в межах єдиного підходу до формування рішень.

Традиційні підходи до виявлення кореляційних залежностей у різномірних даних переважно орієнтовані або на однорідні джерела, або на

їх попередню уніфікацію у спільному просторі ознак [3, с. 408] [4, с. 7]. При цьому текстові, числові та структурні сигнали часто інтегруються у межах єдиного простору ознак, що призводить до втрати модально-специфічної інформації та зниження інтерпретованості результатів. У таких підходах різномірні сигнали інтегруються у змішаному просторі ознак без явного урахування ролі кожного типу даних у формуванні кінцевого рішення. Останні досягнення у галузі великих мовних моделей відкрили можливості інтеграції текстових і числових сигналів у межах єдиних генеративних систем [3, с. 408] [4, с. 7]. Однак у більшості випадків така інтеграція реалізується у вигляді відносно монолітного мультимодального контексту, де різномірні сигнали подаються



до моделі без чітко визначеної структурної організації [1, с. 24] [5, с. 1]. Це ускладнює контроль процесу формування рішення, підвищує ризик некоректної інтерпретації числових даних та не забезпечує явного механізму врахування міжоб'єктних залежностей.

Окремою проблемою є використання інформації про взаємозв'язки між об'єктами, зокрема між компаніями у корпоративному середовищі. Хоча графові моделі широко застосовуються для представлення таких залежностей, їх інтеграція з текстовими та числовими сигналами часто здійснюється або на рівні векторних подань, або через евристичне розширення контексту [6, с. 8912] [7, с. 8315]. У результаті відсутній формалізований механізм визначення того, які саме інформаційні сигнали пов'язаних об'єктів є структурно допустимими для використання у конкретному завданні формування рішення [6, с. 8912–8913] [7, с. 8315–8316].

Таким чином, існує протиріччя між потребою у комплексній обробці різномірних даних при формуванні рішень та відсутністю методів, що забезпечують їх структуровано організовану інтеграцію з урахуванням модальної специфіки та міжоб'єктних залежностей. Це обумовлює необхідність розробки мультиагентних методів, у яких різні типи інформаційних сигналів обробляються у функціонально спеціалізованих компонентах, а їх інтеграція здійснюється за формалізованими правилами. У цьому контексті актуальним є створення методів, що дозволяють:

- розділяти обробку різних модальностей даних із збереженням їх семантичної автономності [1, с. 24] [2, с. 1219];
- формалізувати процес інтерпретації числових сигналів через протокольно-обумовлені процедури [8, с. 1] [9, с. 10036];
- використовувати графові структури не лише як джерело ознак, а як механізм керування допустимістю контексту [6, с. 8912] [7, с. 8315];
- забезпечувати контрольований процес синтезу рішення з урахуванням можливих конфліктів між сигналами [10, с. 1].

Розв'язання зазначеної проблеми пропонується здійснити шляхом розробки мультиагентного методу, що реалізує модально-розділену архітектуру обробки інформаційних сигналів та графово-керований механізм допуску контексту пов'язаних об'єктів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У суміжній літературі останніх років спостерігається активний розвиток підходів до побудови

систем підтримки прийняття рішень на основі великих мовних моделей, зокрема у задачах фінансового аналізу та короткострокового прогнозування [3, с. 408] [11, с. 2509]. Такі системи, як правило, поєднують новинний контекст, ринкові сигнали або їх комбінації з метою формування категоріальних рішень і супровідних текстових пояснень [3, с. 408] [11, с. 2509]. Водночас значна частина цих досліджень зосереджується насамперед на оцінюванні результативності через агреговані метрики – точність класифікації, прибутковість або результати ретроспективного тестування, – тоді як внутрішня організація процесу формування рішення зазвичай не виступає самостійним об'єктом аналізу [4, с. 7].

Для задач короткого горизонту така орієнтація створює суттєве методологічне обмеження. У випадках, коли система одночасно оперує текстовими, числовими та міжоб'єктними сигналами, важливим стає не лише кінцевий результат, а й спосіб, у який різні джерела інформації допускаються, інтерпретуються та інтегруються у процесі формування рішення. Саме питання архітектурної організації цього процесу в значній частині суміжних робіт залишається недостатньо формалізованим [1, с. 24] [2, с. 1219].

Окремий напрям досліджень становлять мультиагентні та рольово-організовані системи, у яких різні компоненти відповідають за аналіз окремих аспектів предметної області – новинного контексту, фундаментальних факторів або технічних сигналів [1, с. 24] [2, с. 1219]. Такі підходи демонструють потенціал функціонального розподілу ролей між агентами та модульної організації обробки інформації. Проте у більшості випадків рольова декомпозиція використовується переважно як принцип координації або розподілу функцій, а не як формалізований механізм побудови рішення. Виходи окремих агентів часто агрегуються за допомогою евристичних правил або спрощених схем узгодження, що не враховують різний статус модальностей у формуванні фінального рішення і не забезпечують контрольованої інтеграції різномірних сигналів у межах єдиного керованого конвеєра [1, с. 24] [5, с. 1].

Значну увагу в сучасних дослідженнях також приділено поєднанню великих мовних моделей із графами знань та механізмами контекстного видобутку. У таких системах граф, як правило, використовується для розширення інформаційного контексту, видобутку релевантних фактів або включення сигналів пов'язаних об'єктів до подальшого аналізу [6, с. 8912] [7, с. 8316]. Осно-

вна мета при цьому полягає у покращенні контекстного покриття та підвищенні повноти інформації, доступної моделі. Разом з тим така постановка зазвичай орієнтована на розширення контексту, а не на його структурне обмеження. У результаті відсутній формалізований механізм визначення того, які саме сигнали пов'язаних об'єктів є допустимими для використання у конкретному процесі формування рішення [6, с. 8912–8913] [7, с. 8316]. Це особливо важливо у задачах короткострокового аналізу, де надлишковий або слабо пов'язаний контекст може спотворювати інтерпретацію сигналів і змінювати характер фінального рішення.

Паралельно розвиваються підходи, у яких генеративні моделі поєднуються з формалізованими правилами, обмеженнями та структурованими процедурами інтерпретації. У межах таких робіт підкреслюється важливість зменшення довільності reasoning-процесу, особливо під час роботи з числовими або логічно структурованими сигналами [8, с. 1] [9, с. 10036]. Використання зовнішніх протоколів, правил узгодженості та проміжних представлень дозволяє зробити обробку більш відтворюваною та зменшити ризик некоректної інтерпретації. Однак у більшості таких підходів подібні механізми залишаються локальними інструментами контролю або уточнення генерації, а не розглядаються як повноцінні структурні компоненти мультиагентної архітектури формування рішення [8, с. 1] [9, с. 10036].

Ще один важливий напрям досліджень пов'язаний із аналізом конфліктів між інформаційними сигналами та забезпеченням можливості аудиту рішень. У таких роботах конфлікт між джерелами інформації розглядається як невід'ємна характеристика складних аналітичних задач, що потребує спеціалізованих механізмів обробки. Одночасно зростає інтерес до забезпечення прозорості процесу формування висновку, зокрема через аналіз текстових пояснень або трасування використаного контексту. Проте більшість існуючих систем або не забезпечують явного зв'язку між допущеним контекстом і текстовими поясненнями, або не мають формалізованого механізму контролю того, які саме сигнали були включені до процесу прийняття рішення. Це обмежує можливості відтворюваного аналізу та зовнішньої перевірки результатів [10, с. 1].

Таким чином, аналіз сучасних досліджень дозволяє виділити кілька ключових обмежень: відсутність чітко визначеної архітектурної організації процесу формування рішення у системах, що

працюють із різнорідними сигналами; недостатню формалізацію ролі окремих модальностей у побудові фінального виходу; використання графових структур переважно як інструментів розширення контексту, а не механізмів контролю його допустимості; обмежене використання символічно-протокольних процедур як повноцінних структурних компонентів архітектури; відсутність системного підходу до обробки конфліктів сигналів і аудиту рішень.

У цьому контексті запропоноване дослідження розташовується на перетині кількох суміжних напрямів – систем підтримки прийняття рішень на основі великих мовних моделей, мультиагентних архітектур, графово-інтегрованих підходів та формалізованих механізмів інтерпретації. Водночас його внесок не зводиться до жодного з них окремо. Запропонований підхід розглядає процес формування рішення як архітектурно організовану процедуру, у якій різні модальності обробляються у функціонально спеціалізованих агентах, контекст пов'язаних об'єктів визначається через графово-керований механізм допустимості, а інтеграція сигналів здійснюється за допомогою конфліктно-чутливого протоколу. Саме така постановка дозволяє перейти від відносно неструктурованого мультимодального аналізу до керованої системи формування рішень.

**Постановка завдання.** Метою роботи є розроблення та дослідження мультиагентної архітектури формування рішень MSMAA (Modal-Segregated Multi-Agent Architecture), а також аналіз того, як архітектурна організація обробки, структурного допуску та інтеграції різнорідного інформаційного evidence впливає на поведінку категоріальних рішень системи [1, с. 24] [5, с. 1]. Об'єктом дослідження є процес архітектурно організованої обробки, відбору, допуску, інтерпретації та інтеграції інформаційних сигналів у мультиагентній архітектурі MSMAA, який охоплює семантичну інтерпретацію подієвого контексту, символічно-протокольну обробку числових даних, топологічно обумовлений допуск контексту пов'язаних об'єктів та конфліктно-чутливий синтез рішення [8, с. 1] [6, с. 8912]. У центрі уваги перебуває організація цього процесу як керованого конвеєра, у межах якого реалізуються різні мультиагентні методи роботи з різнорідними даними, що забезпечують інтерпретацію кореляційних залежностей у процесі формування рішення [1, с. 24] [5, с. 1]. Предметом дослідження є мультиагентні методи та механізми структурованої обробки, допуску, інтерпретації та інтеграції інформацій-

них сигналів у межах архітектури MSMAA, через які виявляються кореляційні залежності між різними типами даних [9, с. 10036] [7, с. 8315].

**Виклад основного матеріалу.** У цій роботі архітектура MSMAA розглядається як модально-розділена мультиагентна архітектура формування рішень, у якій різні типи інформаційних сигналів обробляються у функціонально спеціалізованих агентах, а фінальний категоріальний вихід формується через структурований протокол інтеграції [1, с. 24] [5, с. 1]. На відміну від підходів, у яких різномірні сигнали інтегруються у межах відносно монолітного reasoning-процесу без експліцитно зафіксованої архітектурної ролі модальностей, у MSMAA реалізовано поетапну організацію процесу формування рішення [1, с. 24] [2, с. 1219]. У її межах семантичний, символічний і топологічний компоненти мають різні функції та різний статус у формуванні фінального рішення [1, с. 24] [5, с. 1].

Архітектурно MSMAA складається з чотирьох основних функціональних агентів (рис. 1):

- агент семантичної інтерпретації подієво-новинного контексту;
- агент протокольно-обумовленої технічної обробки сигналів;
- агент відбору контексту пов’язаних компаній на основі механізму активації залежностей;

– агент фінального конфлікт-чутливого синтезу рішення.

Запропонований метод формування рішення реалізується як послідовність функціонально впорядкованих етапів, кожен з яких реалізується окремим агентом та виконує визначене перетворення інформаційних сигналів. Наведемо формалізований опис цього мультиагентного методу.

Нехай,  $V$  – множина корпоративних сутностей (компаній),  $G=(V,E,\tau E)$  – онтологічний граф знань, де  $E\subseteq V\times V$  – множина відношень,  $\tau E:E\rightarrow T$  – типізація відношень;  $D_{text}(u,t)$  – множина текстових документів (новин), пов’язаних із сутністю  $u\in V$  у момент часу  $t$ ;  $X(u,t)$  – вектор технічних (числових) ознак, обчислених для сутності  $u$  у момент часу  $t$ ;  $\Delta t$  – допустиме часове вікно валідності сигналів. Ціль роботи методу – для заданої сутності  $v\in V$  у момент часу  $t$  сформулювати рішення:

$$Y(v,t+1)\in\{Up,Down,Neutral\}.$$

Метод MSMAA задається як композиція чотирьох відображень:

$$Y(v,t+1)=F_{final}\circ F_{graph}\circ(F_{tech}\circ F_{sem}),$$

де кожне відображення відповідає окремому агенту.

Етап 1. Формування семантичних подієвих сигналів. Здійснюється оброблення неструктурова-

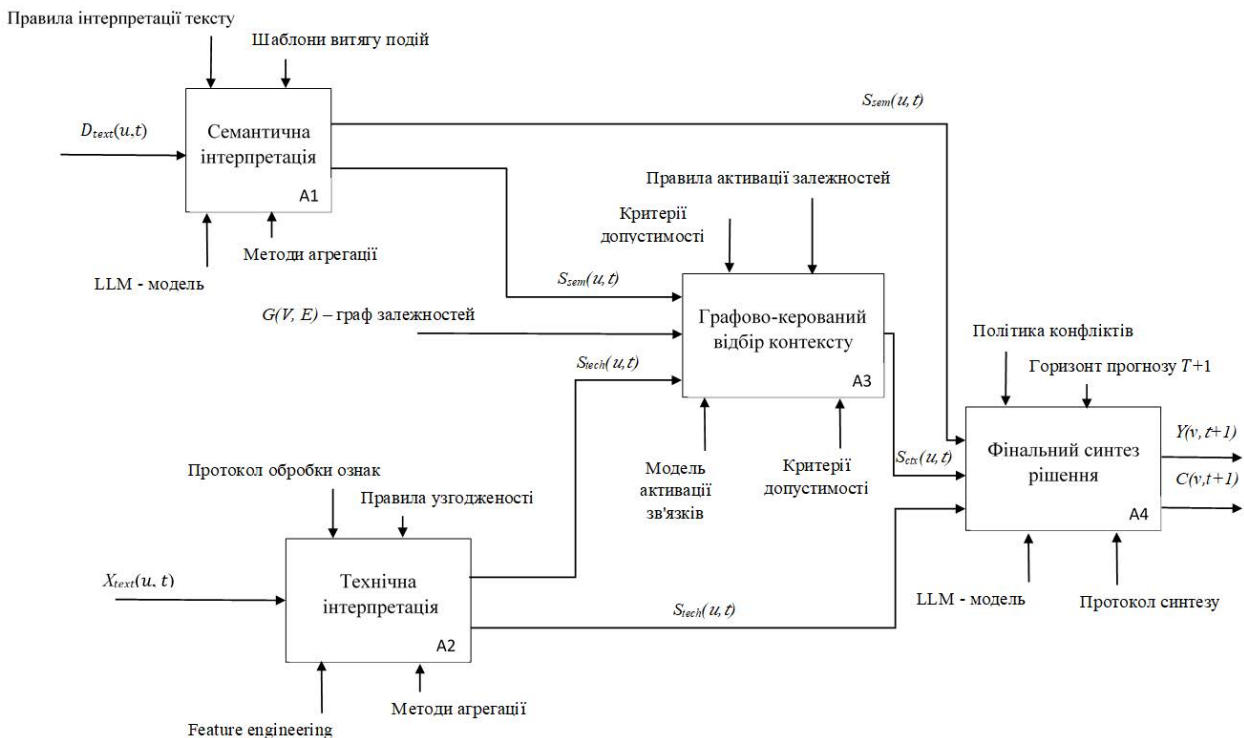


Рис. 1. Модально-розділена мультиагентна архітектура системи формування рішень

ного новинного та подієвого контексту, пов'язаного з цільовою сутністю. На данному етапі виконується інтерпретація текстових даних, виділяються події фактори, формується агрегований семантичний сигнал для цільового об'єкта у заданий момент часу. Визначимо відображення семантичного агента як  $F_{sem} : D_{text}(u, t) \rightarrow S_{sem}(u, t)$ , де  $S_{sem}(u, t)$  – агрегований семантичний сигнал. Тоді, формально

$$S_{sem}(u, t) = Agg_{sem}$$

де  $f_{LLM}$  – функція інтерпретації окремого документа;  $Agg_{sem}$  – оператор агрегації. На виході етапу отримуємо семантичний сигнал цільового рівня.

Етап 2. Протокольно-обумовлена інтерпретація технічних сигналів. Виконується оброблення числових (технічних) даних у межах заздалегідь визначеного символічного протоколу [8, с. 1] [9, с. 10036]. Етап включає: структурування ознак за функціональними групами, усунення дублюючих сигналів, перевірку узгодженості між групами, застосування правил консервативної інтерпретації. Визначимо  $F_{tech} : X(u, t) \rightarrow S_{tech}(u, t)$ , де  $S_{tech}(u, t)$  – структурований технічний сигнал. Формально,  $S_{tech}(u, t) = \Pi(X(u, t))$ , де  $\Pi$  – детермінований протокол інтерпретації, що включає групування ознак, селекцію репрезентативних індикаторів, правила узгодженості, функцію гейтингу. На виході етапу формується структурований технічний висновок.

Етап 3. Відбір структурно допустимого контексту пов'язаних компаній. Реалізується відбір інформаційних сигналів пов'язаних компаній на основі: онтологічного графа знань та моделі умовної активації залежностей [6, с. 8912] [7, с. 8315]. Етап передбачає: ідентифікацію потенційно пов'язаних компаній, перевірку умов активації залежностей, відбір лише тих сигналів, що є структурно допустимими. Визначимо множину потенційно пов'язаних компаній:

$$N_k(v) = \{u \in V \mid \exists \text{ шлях } P(u \rightarrow v), |P| \leq k\}.$$

Функція активації залежностей  $D_{active}(u, v, t) \in \{0, 1\}$  формує множину допустимого контексту:

$$C(v, t) = \{u \in N_k(v) \mid D_{active}(u, v, t) = 1\},$$

та задає відображення графового агента:  $F_{graph} : (S_{sem}, S_{tech}, G) \rightarrow S_{ctx}(v, t)$ , де  $S_{ctx}(v, t) = \{S_{sem}(u, tu), S_{tech}(u, tu) \mid u \in C(v, t)\}$ . Таким чином, на виході третього етапу створюється контекст пов'язаних компаній, допущений до інтеграції.

Етап 4. Конфлікт-чутливий синтез рішення. На завершальному етапі здійснюється інтегра-

ція: семантичного сигналу, технічного висновку та структурно допустимого контексту пов'язаних об'єктів. Синтез виконується за правилами: пріоритетності сигналів цільового рівня, умовного врахування зовнішнього контексту, врахування конфліктів між сигналами, консервативного вибору нейтрального рішення у випадку невизначеності [8, с. 1] [9, с. 10036]. Фінальний агент визначається як

$$F_{final} : (S_{sem}(v, t), S_{tech}(v, t), S_{ctx}(v, t)) \rightarrow Y(v, t + 1),$$

і формально реалізує функцію синтезу, яка враховує пріоритет сигналів цільового рівня, умовний вплив контексту, конфлікти сигналів та обмежуючі правила.

Емпіричне дослідження виконано у контрольованому середовищі для аналізу поведінкових ефектів мультиагентної архітектури MSMAA [12, с. 18851, 18858]. Експеримент проведено на вибірці з 1639 спостережень типу «тикер–день» (39 акцій, період – пів року). Для кожного спостереження система формує категоріальний напрям (Up/Down/Neutral) та рівень впевненості (Low/Medium/High). Усі рішення приймаються лише на основі інформації, доступної до моменту часу  $t$ , що забезпечує коректну постановку для горизонту  $T+1$  [13, с. 70]. Порівнюються два режими функціонування однієї архітектури: AGG (без використання контексту пов'язаних компаній) та GRAPH (із графово-керованим допуском такого контексту). Обидва режими працюють на однаковому базовому інформаційному наборі, що створює підстави інтерпретувати зафіксовані відмінності як пов'язані насамперед з архітектурною організацією режимів AGG і GRAPH [12, с. 18858] [13, с. 70].

Результати свідчать, що перехід від режиму AGG до режиму GRAPH супроводжується помітними змінами у поведінці системи. У цьому контексті режим AGG відповідає базовому варіанту функціонування архітектури, в якому рішення формується виключно на основі інформаційних сигналів цільової компанії (семантичних і технічних), тоді як режим GRAPH додатково використовує інформаційні сигнали пов'язаних компаній, допущені через графово-керований механізм структурної допустимості [6, с. 8912–8913] [7, с. 8315–8316]. Кількісно встановлено, що приблизно у 29,7% спостережень змінюється категоріальний напрям рішення, а у 27,8% випадків – рівень впевненості. Це свідчить про те, що включення структурно обумовленого контексту пов'язаних компаній асоціюється зі змінами як

у виборі напряму, так і у ступені визначеності рішення. Отримано 95% довірчі інтервали для обох показників (27,4–32,6% для напряму та 25,3–29,5% для впевненості) отримано із використанням moving block bootstrap-підходу, який застосовується для апроксимації розподілу статистик за наявності часової залежності між спостереженнями [14, с. 3497–3499]. У цілому це дає підстави інтерпретувати відмінності між AGG і GRAPH як відтворюваний поведінковий ефект, асоційований з архітектурним механізмом інтеграції додаткового контексту, а не як випадкові флуктуації в межах цього експериментального налаштування.

Як додатковий контекст для інтерпретації поведінкових відмінностей у таблиці 1 наведено агреговані показники для базового варіанта та досліджуваних режимів архітектури.

У межах даного експериментального налаштування режим GRAPH демонструє вищі агреговані показники порівняно з AGG. Водночас ці результати розглядаються лише як допоміжний контекст для інтерпретації зафіксованих поведінкових відмінностей і не використовуються як підстава для тверджень про загальну перевагу архітектури.

Отримані результати узгоджуються з припущенням, що графово-керований механізм допуску контексту пов'язаних компаній асоціюється зі змінами у поведінці мультиагентної архітектури. Його дія проявляється у зміні категоріальних рішень, модифікації рівнів впевненості та зменшенні невизначеності через уточнення нейтральних станів. Таким чином, архітектурна організація процесу інтеграції різнорідних даних у межах MSMAA може розглядатися як чинник, пов'язаний зі спостережуваними відмінностями у формуванні категоріальних рішень і рівнів упевненості між режимами AGG і GRAPH [12, с. 18851, 18858].

**Висновки.** У роботі досліджено мультиагентну архітектурну організацію формування рішень у різнорідних даних, реалізовану в межах архітектури MSMAA, де методи виявлення кореляційних

залежностей інтегровані у структурований процес обробки, допуску та інтеграції інформаційних сигналів. Ключовим елементом є графово-керований механізм допустимості контексту пов'язаних компаній, який визначає структурно релевантну область додаткових інформаційних сигналів і забезпечує їх контрольовану інтеграцію [6, с. 8912–8913] [7, с. 8315–8316].

Емпіричний аналіз на вибірці з 1639 спостережень показав, що перехід від режиму AGG до режиму GRAPH супроводжується відтворюваними поведінковими змінами: у 29,7% випадків змінюється категоріальний напрям рішення (95% CI: 27,4–32,6%), а у 27,8% – рівень впевненості (95% CI: 25,3–29,5%). Встановлено, що основний ефект проявляється у зменшенні невизначеності через перехід від стану Neutral до прямих рішень. Частка явного відображення контексту пов'язаних компаній у текстових поясненнях становить 67,8%, що вказує на часткову спостережуваність механізму його впливу [10, с. 1]. Додатково, у межах обмеженого експериментального сценарію, зафіксовано покращення агрегованих результатів для режиму GRAPH (зокрема, дохідність 13,42% та коефіцієнт Шарпа 1,95 у режимі close→close), однак ці результати розглядаються лише як допоміжний контекст для інтерпретації виявлених поведінкових ефектів, а не як універсальний доказ переваги архітектури [12, с. 18851, 18858].

Таким чином, показано, що мультиагентні методи, побудовані на принципах структурованого допуску та інтеграції різнорідних даних, асоціюються зі спостережуваними змінами у структурі формування рішень і дозволяють інтерпретувати кореляційні залежності між інформаційними сигналами у межах архітектурно організованого процесу. Подальші дослідження доцільно спрямувати на: перевірку стабільності отриманих результатів у багаторазових прогонах; розширення моделей графових залежностей; поглиблений аудит відповідності текстових пояснень фактично використаному контексту; застосування запропонованої архітектурної рамки до інших предметних областей різнорідних даних.

Таблиця 1

Strategy	Порівняння результатів у режимі (close→close)			
	Final return	Sharpe	Max drawdown	Hit rate
TA	-4.35%	-1.00	-7.24%	-3.43%
AGG	3.58%	0.58	-5.50%	50.30%
GRAPH	13.42%	1.95	-3.43%	56.21%

Список літератури:

1. Niu B., Song Y., Lian K., Shen Y., Yao Y., Zhang K., Liu T. Flow: A Modular Approach to Automated Agentic Workflow Generation. *ArXiv*. 2025 <https://www.doi.org/10.48550/arXiv.2501.07834>.
2. Liu J., Yu C., Gao J., Xie Y., Liao Q., Wu Y., Wang Y. LLM-Powered Hierarchical Language Agent for Real-time Human-AI Coordination. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2024)*, Vol 1., p. 1219–1228. 2024. <https://doi.org/10.65109/ZDXP6361>.
3. Li X., Chan S., Zhu X., Pei Y., Ma Z., Liu X., Shah S. Are ChatGPT and GPT-4 General-Purpose Solvers for Financial Text Analytics? A Study on Several Typical Tasks. In *Proceedings of the 2023 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing: Industry Track*, p. 408–422. 2023. <https://www.doi.org/10.18653/v1/2023.emnlp-industry.39>
4. Jadhav A., Mirza V. Large Language Models in equity markets: applications, techniques, and insights. *Frontiers in Artificial Intelligence*, Vol. 8, p.1608365. 2025. <https://www.doi.org/10.3389/frai.2025.1608365>.
5. Tao W., Zhou Y., Wang Y., Zhang W., Zhang H., Cheng Y. MAGIS: LLM-Based Multi-Agent Framework for GitHub Issue Resolution. *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2024)*, Vol 37. 2024. <https://www.doi.org/10.52202/079017-1647>.
6. Zhu X., Xie Y., Liu Y., Li Y., Hu W. Knowledge Graph-Guided Retrieval Augmented Generation. In *Proceedings of the 2025 Conference of the Nations of the Americas Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies*, Vol. 1: Long Papers, p. 8912–8924. 2025. <https://www.doi.org/10.18653/v1/2025.naacl-long.449>.
7. Sui Y., He Y., Liu N., He X., Wang K., Hooi B. FiDeLiS: Faithful Reasoning in Large Language Models for Knowledge Graph Question Answering. *Findings of the Association for Computational Linguistics: ACL 2025*, p. 8315–8330. 2025. <https://www.doi.org/10.18653/v1/2025.findings-acl.436>.
8. Zhang H., Kung P.-N., Yoshida M., Van den Broeck G., Peng N. Adaptable Logical Control for Large Language Models. *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2024)*. Vol 37. 2024. <https://www.doi.org/10.52202/079017-3670>.
9. Bonlarron A., Régis F., De Maria E., Régis J.-C. Large Language Model Meets Constraint Propagation. In *Proceedings of the Thirty-Fourth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-25)*, p. 10036–10044. 2025. <https://www.doi.org/10.24963/ijcai.2025/1115>.
10. Turpin M., Michael J., Perez E., Bowman S. R. Language Models Don't Always Say What They Think: Unfaithful Explanations in Chain-of-Thought Prompting. *Advances in Neural Information Processing Systems*, Vol. 36. 2023. <https://doi.org/10.52202/075280-3275>.
11. Li H., Cao Y., Yu Y., Javaji S. R., Deng Z., He Y., Jiang Y., Zhu Z., Subbalakshmi K. P., Huang J., Qian L., Peng X., Suchow J. W., Xie Q. INVESTORBENCH: A Benchmark for Financial Decision-Making Tasks with LLM-based Agent. In *Proceedings of the 63rd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, Vol. 1: Long Papers, p. 2509–2525. 2025. <https://www.doi.org/10.18653/v1/2025.acl-long.126>.
12. Tjuatja L., Neubig G. BehaviorBox: Automated Discovery of Fine-Grained Performance Differences Between Language Models. In *Proceedings of the 63rd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, Vol. 1: Long Papers, p. 18851–18873. 2025. <https://www.doi.org/10.18653/v1/2025.acl-long.923>.
13. Bergmeir C., Hyndman R. J., Koo B. A note on the validity of cross-validation for evaluating autoregressive time series prediction. *Computational Statistics & Data Analysis*, Vol. 120, p. 70–83. 2018. <https://www.doi.org/10.1016/j.csda.2017.11.003>.
14. Pilavakis D., Paparoditis E., Sapatinas T. Moving block and tapered block bootstrap for functional time series with an application to the K-sample mean problem. *Bernoulli*, Vol. 25(4B) p. 3496-3526. 2019. <https://www.doi.org/10.3150/18-BEJ1099>

**Pylypenko A.H. MULTI-AGENT METHODS FOR DETECTING CORRELATION DEPENDENCIES IN HETEROGENEOUS DATA**

*This paper investigates multi-agent methods for detecting correlation dependencies in heterogeneous data based on the MSMAA (Modal-Segregated Multi-Agent Architecture). The decision-making process is modeled as a structurally organized pipeline for integrating semantic, symbolic, and topologically conditioned information signals, where a graph-governed admissibility mechanism for related entities plays a key role. Unlike approaches focused on maximizing predictive performance, this study emphasizes the analysis of architecture-induced behavioral effects of the system.*

*The empirical evaluation is conducted on a dataset of 1,639 “ticker-day” observations covering 39 stocks over the 2023 period. For each observation, the system produces a categorical direction (Up/Down/Neutral), a confidence level, and a protocolized textual explanation. The comparison is performed between two operational modes of the same architecture: AGG (without using related-company context) and GRAPH (with graph-governed inclusion of such context). The results show that switching to the GRAPH mode leads to a change in decision direction in 29.7% of cases and a change in confidence level in 27.8% of cases, indicating a systematic behavioral effect.*

*It is shown that the primary effect is associated with uncertainty reduction through transitions from neutral states to directional decisions, while direct inversions are relatively rare. The share of explicit references to related-company context in textual explanations is 67.8%, indicating partial observability of the integration mechanism. Additionally, improved aggregated performance metrics are observed for the GRAPH mode, supporting the substantive nature of the detected effects.*

*The findings demonstrate that multi-agent methods based on structured admissibility and integration of heterogeneous data enable more consistent decision formation and provide a foundation for further development of correlation detection methods in complex information environments.*

**Keywords:** multi-agent methods, heterogeneous data, correlation dependencies, knowledge graph, information systems, decision support, machine learning.

Дата першого надходження статті до видання: 15.03.2026  
 Дата прийняття статті до друку після рецензування: 13.04.2026  
 Дата публікації (оприлюднення) статті: 19.05.2026