

А. Д. НЕСТЕРОВ

аспірант кафедри інформаційних технологій
Сумський державний університет
ORCID: 0009-0008-2796-7808

Н. А. ФЕДОТОВА

кандидат технічних наук,
доцент кафедри інформаційних технологій
Сумський державний університет
ORCID: 0000-0001-9304-1693

МУЛЬТИАГЕНТНІ СИСТЕМИ ДЛЯ СИМУЛЯЦІЇ СКЛАДНИХ СОЦІАЛЬНИХ ВЗАЄМОДІЙ NPC

Статтю присвячено розробленню концептуальних засад побудови мультиагентних систем для симуляції складних соціальних взаємодій неігрових персонажів (NPC) у відеоіграх з відкритим світом. Актуальність дослідження зумовлена суперечністю між потребою збереження авторської наративної керованості та зростаючими вимогами до автономності й адаптивності поведінки NPC, здатних формувати індивідуальні цілі, афективні стани та довгострокові плани. Традиційні підходи, зокрема скриптові моделі, кінцеві автомати станів, дерева поведінки та утилітарні системи, обмежують можливість генерації емерджентних соціальних сценаріїв і не забезпечують повноцінної інтеграції індивідуальної агентної поведінки з квестовою структурою гри.

Метою статті є розроблення концептуальної архітектури мультиагентної системи на базі великих мовних моделей та обґрунтування механізму трансформації індивідуальних планів NPC у структуровані квестові ланцюжки для гравця. У роботі проаналізовано ключові компоненти сучасних генеративних агентів – потік спостережень, ієрархічну пам'ять із механізмом рефлексії, модуль адаптивного планування дій і засоби забезпечення наративної когерентності. Обґрунтовано доцільність переходу від скриптових моделей поведінки, характерних для більшості комерційних ігор з відкритим світом, до автономних агентних архітектур, у межах яких кожен персонаж функціонує як самостійний соціальний агент.

Запропоновано концептуальну модель перетворення індивідуальних планів NPC на квестові ланцюжки для гравця, що ґрунтується на аналізі конфліктів між цілями агентів, визначенні точок перетину їхніх намірів та генерації емерджентних наративних послідовностей. Механізм реалізовано у вигляді п'ятиетапного циклу, який охоплює генерацію планів, виявлення та класифікацію конфліктів, формування структури квесту на основі інтеграції ієрархічного планування та LLM-наративізації, а також зворотний зв'язок із оновленням стану ігрового світу. Особливу увагу приділено питанням масштабованості, аналізу обчислювальних витрат і збереженню наративної когерентності в умовах одночасної роботи множини автономних агентів.

У результаті дослідження визначено ключові архітектурні принципи мультиагентної соціальної симуляції: модульність, масштабованість, когерентність і замкнений цикл взаємодії «NPC – світ – гравець». Отримані результати формують теоретичне підґрунтя для створення ігрових систем із емерджентною наративною динамікою та підвищеним рівнем поведінкового реалізму.

Ключові слова: мультиагентні системи, NPC, генеративні агенти, великі мовні моделі, емерджентний наратив, процедурна генерація квестів, ігровий штучний інтелект, соціальна симуляція.

A. D. NESTEROV

Postgraduate Student at the Department of Information Technologies
Sumy State University
ORCID: 0009-0008-2796-7808

N. A. FEDOTOVA

Ph.D., Associate Professor at the Department of Information Technologies
Sumy State University
ORCID: 0000-0001-9304-1693

MULTI-AGENT SYSTEMS FOR SIMULATION OF COMPLEX SOCIAL INTERACTIONS NPC

Multi-agent systems for simulating complex social interactions of NPCs. The article investigates the architectural foundations of multi-agent systems designed to model complex social interactions among non-player characters (NPCs) in open-world video games. Key components of contemporary generative agent architectures are examined in detail,



including observation streams that capture environmental events in natural language, hierarchical memory systems with reflection mechanisms that synthesise episodic experiences into higher-order generalisations, and adaptive planning modules that generate and dynamically revise daily action plans in response to changing contexts and social stimuli. The study draws upon landmark research such as the Generative Agents project (Stanford University, 2023), the Voyager open-ended embodied agent, and the OASIS large-scale social simulation platform to substantiate the transition from scripted NPC behaviour models – prevalent in commercially successful titles including The Elder Scrolls V: Skyrim, The Witcher 3: Wild Hunt, Mass Effect, and The Sims – toward autonomous agent architectures in which each character possesses individual goals, affective states, persistent memory, and the capacity for long-term strategic planning. A conceptual model is proposed for converting individual NPC plans into structured quest chains for the player, grounded in a five-stage cycle: plan generation, conflict analysis, conflict classification by type (resource-based, territorial, social, ideological), quest structure generation through the integration of Hierarchical Task Networks with LLM-driven narrative framing, and feedback incorporation whereby quest outcomes update the world state and trigger new agent plans. The model identifies points of intersection between agent intentions as natural sources of emergent quests, thus shifting the origin of game narrative from authorial scripting to organic inter-agent dynamics. Special attention is devoted to the scalability of such systems, computational cost analysis, the problem of maintaining narrative coherence when dozens of autonomous agents operate simultaneously, and hybrid architectures that combine LLM-based strategic planning with behaviour trees for tactical execution. The conclusions demonstrate that integrating multi-agent planning with procedural quest generation opens realistic prospects for creating game worlds with genuinely organic and unpredictable event development, while acknowledging that computational costs, hallucination risks, and coherence maintenance remain key challenges requiring further research.

Key words: multi-agent systems, NPC, generative agents, large language models, emergent narrative, procedural quest generation, game artificial intelligence, social simulation, open-world games, behaviour trees.

Постановка проблеми

Сучасна індустрія відеоігор з річним оборотом понад 300 мільярдів доларів активно розвиває візуальну складову, фізичні рушії та мережеву інфраструктуру, проте поведінковий реалізм неігрових персонажів (NPC) залишається одним із найгостріших невирішених завдань. Більшість комерційних проєктів покладається на скриптові діалогові дерева та кінцеві автомати станів, запрограмовані вручну: NPC повторюють фіксовані репліки, не реагують на зміни у світі та не формують власних цілей [1; 2]. Це створює ефект «незмінного декору», що руйнує ілюзію живого середовища та обмежує емерджентний наратив.

Фундаментальна проблема полягає у протиріччі між двома вимогами: з одного боку, авторський наратив потребує контрольованої драматургії, з іншого – відкритий світ вимагає від NPC автономності, адаптивності та соціальної координації. Серія The Sims частково пододала обмеження завдяки системі потреб і простій соціальній моделі, що породжує елементи непередбачуваної поведінки, проте без когнітивної архітектури повноцінний сюжет не виникає. Класичні методи ігрового штучного інтелекту – дерева поведінки, утилітарні функції та правилкові системи – фіксують простір можливих дій і не дозволяють генерувати принципово нові сценарії взаємодії [2; 8].

Поява великих мовних моделей (LLM) відкрила нові перспективи: дослідження Дж. С. Парка та співавторів [3] продемонструвало, що агенти з архітектурою спостереження–пам'яті–рефлексії–планування здатні породжувати правдоподібні соціальні дії без ручного скриптування. Водночас залишається відкритим питання, як індивідуальні плани автономних NPC трансформувати у структуровані квестові ланцюжки, придатні для гравця. Бракує комплексного аналізу архітектур, що поєднують мультиагентне планування з процедурною генерацією квестів, забезпечуючи наративну когерентність та обчислювальну ефективність. Саме на розв'язання цього протиріччя спрямована дана публікація.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідження мультиагентної поведінки у віртуальних світах інтенсивно розвивається після інтеграції великих мовних моделей (LLM) в агентні архітектури. Основою стала робота Дж. С. Парка та співавторів [1; 3], де запропоновано архітектуру генеративних агентів для симуляції правдоподібної людської поведінки у 2D-середовищі Smallville (натхненному The Sims). Система включає потік спостережень природною мовою, ієрархічну пам'ять з механізмом рефлексії та адаптивний планувальник, що дозволяє агентам формувати денні плани з урахуванням цілей, афективного стану та соціального контексту. Експерименти показали виникнення емерджентної соціальної динаміки (наприклад, організація вечірки) без ручного скриптування [1].

Масштабованість мультиагентних симуляцій досліджено в проєкті OASIS [4], де змодельовано до мільйона LLM-агентів у середовищах, подібних до соціальних мереж. Результати підтвердили посилення групової поляризації, стадних ефектів та інформаційних каскадів при зростанні кількості агентів, що важливо для моделювання соціальних процесів в ігрових світах.

Дослідження відкритих агентних середовищ представлено проєктом Voyager [5], де LLM-агент з безперервним навчанням у Minecraft перевершив попередні підходи (ReAct, Reflexion, AutoGPT) за кількістю відкритих предметів (у 3,3 рази) та швидкістю освоєння технологічного дерева (у 15,3 рази) завдяки автоматичному навчальному плану, бібліотеці навичок та ітеративній самоверифікації.

Процедурна генерація квестів на основі агентних планів розглядається в системі CONAN [6], де конфлікти між цілями NPC автоматично перетворюються на квестові послідовності для гравця. Порівняння з квестами комерційних MMORPG показало, що CONAN досягає рівня складності, близького до авторської роботи.

Емерджентну поведінку в LLM-керованому наративі вивчали К. С. Пенг та співавтори [7]: експерименти виявили 43 унікальні стратегії гравців, непередбачені дизайнерами, що підтверджує здатність мовних моделей генерувати логічні та несподівані сюжетні відгалуження.

Інтеграцію LLM з деревами поведінки для NPC запропоновано в роботі Дж. Ао та співавторів [8], де розроблено фреймворк автоматичної генерації behaviour trees. Комерційний потенціал демонструє платформа Inworld AI, що реалізувала прототип NEO NPC для Ubisoft (серія Tom Clancy's) з системою цілей і контекстного діалогу, а також інструмент Narrative Graph для дизайнерів [9; 10].

Попри значний прогрес, комплексна модель, яка б поєднувала мультиагентну соціальну симуляцію з процедурною генерацією квестових ланцюжків на основі аналізу конфліктів між планами NPC, залишається недостатньо розробленою. Заповнення цієї прогалини становить наукове завдання даної статті.

Формулювання мети дослідження

Метою статті є розроблення концептуальної архітектури мультиагентної системи для симуляції складних соціальних взаємодій NPC та обґрунтування механізму перетворення індивідуальних планів агентів на емерджентні квестові ланцюжки для гравця. Досягнення поставленої мети передбачає розв'язання таких завдань: проаналізувати архітектурні компоненти сучасних генеративних агентів та визначити їхній внесок у правдоподібність поведінки; систематизувати підходи до процедурної генерації квестів на основі агентного планування; запропонувати модель конвертації конфліктів між цілями NPC у структуровані квестові послідовності; оцінити масштабованість та обчислювальну ефективність запропонованого підходу.

Викладення основного матеріалу дослідження

Принципова відмінність між скриптовою та агентною парадигмами ігрового штучного інтелекту полягає в рівні автономності NPC. Скриптовий NPC діє як реактивний автомат: його поведінка жорстко визначається правилами, діалоговими деревами або кінцевими автоматами станів. Приклади – система Radiant AI в The Elder Scrolls IV: Oblivion чи дерева поведінки в The Witcher 3: Wild Hunt – демонструють обмеженість: персонажі не виходять за межі авторського сценарію [2; 8].

Агентна парадигма наділяє NPC внутрішнім станом, пам'яттю, цілями та здатністю до планування. Архітектура генеративних агентів [1; 3] складається з трьох основних модулів (табл. 1).

Таблиця 1

Архітектурні компоненти генеративного агента

Модуль	Функція	Внесок у поведінку
Потік спостережень	Фіксація подій середовища природною мовою	Ситуативна обізнаність
Ієрархічна пам'ять	Зберігання досвіду, синтез рефлексій	Когерентність дій у часі
Планувальник	Генерація та адаптація денного плану	Цілеспрямованість і автономність
Система відновлення	Динамічний пошук релевантних спогадів	Контекстна адекватність реакцій

Абляційний експеримент, проведений у рамках дослідження Smallville, засвідчив, що видалення будь-якого з компонентів – спостереження, планування чи рефлексії – призводить до статистично значущого зниження правдоподібності поведінки агента [1]. Показово, що панель зі 100 оцінювачів визнала відповіді генеративних агентів на інтерв'ю більш правдоподібними за відповіді реальних людей, які грали ролі тих самих персонажів, – результат, що засвідчує потенціал LLM-агентів перевершувати людську рольову гру за послідовністю та деталізацією [1; 3].

Перехід від індивідуального агента до мультиагентної системи породжує якісно нові феномени – емерджентну соціальну поведінку. У експерименті Smallville достатньо було задати лише один початковий імпульс (намір одного агента організувати вечірку до Дня Святого Валентина), щоб решта 24 персонажів автономно поширили запрошення, домовилися про побачення, скоординували час прибуття та навіть утворили нові дружні зв'язки [1; 3]. Якщо порівняти з Red Dead Redemption 2 від Rockstar Games, де NPC мають розгалужений денний розпорядок і реагують на присутність гравця, але в межах суворо авторського сценарію, – стає очевидним, що мультиагентна архітектура на базі LLM здатна породжувати соціальну динаміку, яку неможливо запрограмувати вручну.

Масштабування кількості агентів вносить додаткові виклики, однак водночас посилює різноманітність емерджентних явищ. Платформа OASIS продемонструвала, що при збільшенні числа агентів зростає інтенсивність групової поляризації, стадних ефектів та інформаційних каскадів [4]. Для ігрових застосувань подібне масштабування обіцяє створення населених світів, де соціальна тканина NPC формується органічно, а не за авторським сценарієм – наближаючи віртуальні міста до складності живих спільнот, а не до декорацій із фіксованими маршрутами.

Окрему увагу привертає питання перетворення індивідуальних планів NPC на квестові ланцюжки для гравця. Традиційна процедурна генерація квестів (П. Доран, І. Парберрі) розглядає квест як послідовність дій, що має типізовану структуру – збір предметів (fetch quest), усунення ворога (kill quest), доставка об’єкта, супровід NPC [6; 11]. Подібні шаблони лежать в основі квестових систем більшості MMORPG, зокрема World of Warcraft та Final Fantasy XIV, і попри ефективність для забезпечення ігрового циклу, вони швидко втрачають привабливість через передбачуваність. Агентний підхід принципово розширює модель: замість авторських шаблонів джерелом квестів стають конфлікти між цілями автономних NPC. Якщо торговець-агент прагне поповнити запаси рідкісного ресурсу, а бандит-агент планує пограбувати караван із тим самим ресурсом, зіткнення їхніх планів автоматично породжує кілька альтернативних квестових ланцюжків для гравця: супроводити караван, домовитися з бандитом, знайти альтернативне джерело ресурсу тощо.

Запропонована концептуальна модель перетворення планів NPC на квести включає п’ять послідовних етапів, що утворюють замкнений цикл (як показано на рисунку 1). Першим етапом є генерація індивідуальних планів: кожен NPC, озброєний LLM-планувальником, формує послідовність дій відповідно до власних цілей, афективного стану, соціальних зв’язків та поточного стану ігрового світу [1; 5]. На другому етапі модуль аналізу конфліктів порівнює плани всіх активних агентів, ідентифікуючи точки несумісності – ситуації, де ресурси, локації або соціальні ролі, необхідні різним агентам, перетинаються. Третій етап – класифікація конфліктів за типом (ресурсний, територіальний, соціальний, ідеологічний) та визначення потенційної драматургічної цінності конфлікту для гравця.

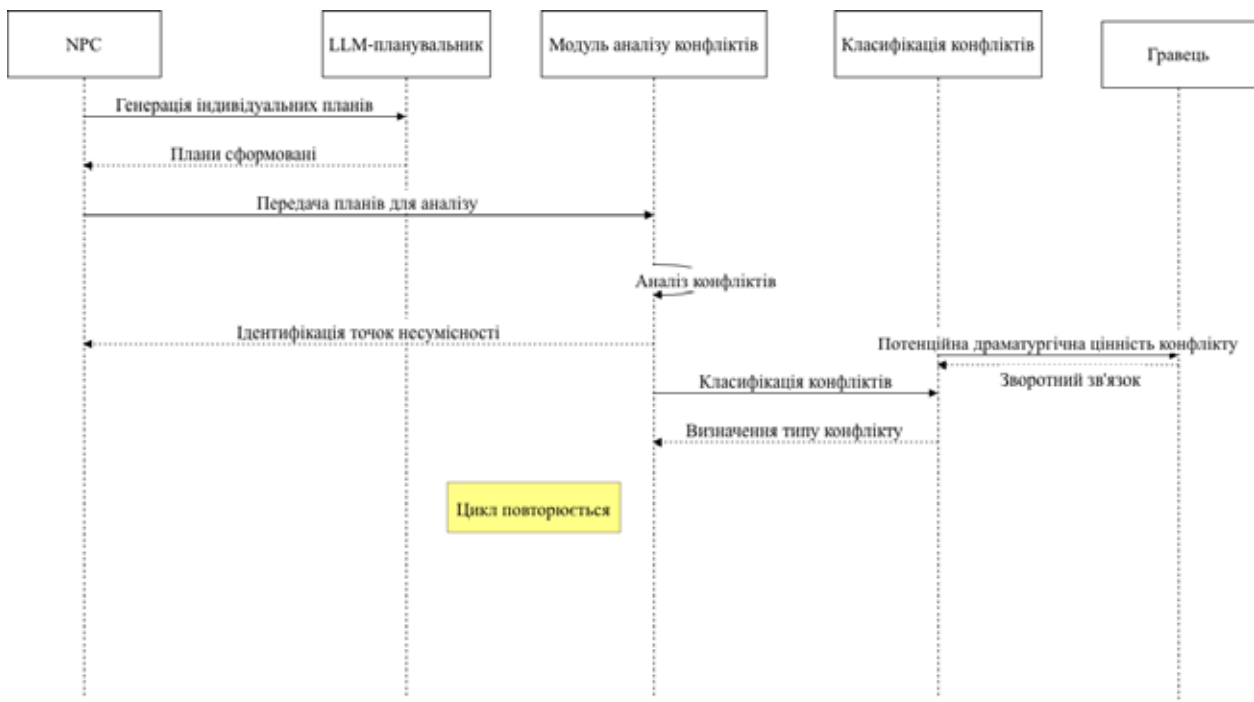


Рис. 1. Концептуальна модель п’ятиетапного циклу перетворення планів NPC на квестові ланцюжки для гравця

Четвертий етап передбачає безпосередню генерацію квестової структури: на основі класифікованого конфлікту система формує набір альтернативних шляхів розв’язання, кожен із яких стає окремою гілкою квесту. Механізм генерації спирається на поєднання ієрархічних мереж задач (Hierarchical Task Networks, HTN) із LLM-генерацією нарративного обрамлення: HTN забезпечує логічну коректність послідовності дій, тоді як LLM наповнює кожен крок діалоговим контекстом, мотивацією NPC та емоційним тлом [6; 8]. На п’ятому етапі результати виконання квесту гравцем повертаються у систему як оновлення стану світу: плани NPC адаптуються, формуються нові конфлікти, і цикл починається знову.

Суттєвою перевагою запропонованого підходу є його здатність породжувати емерджентні нарративні ланцюжки, тобто сюжетні лінії, що виникають не з авторського сценарію, а з органічної взаємодії автономних агентів. Ілюстрацією потенціалу слугує серія Mass Effect від BioWare, де розгалужена система діалогів і рішень гравця створює ілюзію живого соціуму, хоча кожна гілка – результат колосальної ручної роботи сценаристів. Мультиагентний підхід здатен досягти аналогічного ефекту без авторського втручання, оскільки соціальна

складність виникає зі взаємодії індивідуальних планів, а не з попередньо написаних розгалужень. Дослідження К. С. Пенга та співавторів підтвердило, що гравці, які взаємодіють із LLM-керованими NPC, породжують стратегії, не передбачені розробниками: маніпулюють довірою персонажів, обирають нестандартні шляхи отримання інформації або створюють союзи між ворожими фракціями [7].

Порівняльний аналіз підходів до організації агентної поведінки NPC подано в таблиці 2, де систематизовано ключові характеристики кінцевих автоматів, дерев поведінки, утилітарних систем та LLM-агентів. Як засвідчують дані, LLM-агенти суттєво переважають за критеріями адаптивності, соціальної взаємодії та генерації емерджентних сценаріїв, хоча поступаються класичним методам за обчислювальною ефективністю та передбачуваністю – саме тому гібридні рішення, де LLM відповідає за стратегію, а behaviour tree за тактику, виглядають найперспективнішими.

Таблиця 2

Порівняння підходів до організації поведінки NPC

Критерій	Кінцеві автомати	Дерева поведінки	Утилітарні системи	LLM-агенти
Адаптивність	Низька	Низька	Середня	Висока
Масштабованість	Висока	Висока	Середня	Обмежена
Соціальна взаємодія	Мінімальна	Обмежена	Обмежена	Розвинута
Емерджентність	Відсутня	Відсутня	Часткова	Повноцінна
Обчислювальні витрати	Мінімальні	Низькі	Помірні	Високі
Авторський контроль	Повний	Повний	Частковий	Обмежений
Приклад у іграх	Pac-Man, Doom	Halo, The Witcher 3	The Sims, RDR2	Smallville (дослідн.)

Обчислювальна вартість мультиагентних LLM-систем залишається ключовим обмеженням для впровадження у реальні ігрові продукти. Симуляція 25 агентів у Smallville протягом двох ігрових днів потребувала тисяч звернень до API мовної моделі [1; 3]. Для подолання обмеження дослідники пропонують кілька стратегій: квантизацію моделей (QLoRA, AWQ), що зменшує обчислювальне навантаження при збереженні якості генерації; подієву архітектуру (event-driven updates) замість постійного опитування, де агент активується лише при надходженні значущого стимулу; та ієрархічну систему моделей, де дрібні рішення обслуговуються компактними моделями, а стратегічні – потужнішими [10]. Проєкт GARP (Generative Agents Real-time Playground) продемонстрував можливість симуляції до 20 агентів у реальному часі на одній GPU NVIDIA 3090, що наближає агентні технології до практичного застосування у комерційних відеоіграх [10].

Збереження нарративної когерентності в умовах одночасної роботи десятків автономних агентів становить окрему проблему. Без координаційного механізму агенти можуть породжувати суперечливі або абсурдні ситуації: одночасне перебування кількох персонажів в одномісній кімнаті, нелогічні переміщення, порушення причинно-наслідкових зв'язків – подібні артефакти фіксувалися й у експерименті Smallville, де жителі розвинули звичку обідати у барі замість кафе [1]. Платформа Inworld AI запропонувала концепцію Narrative Graph, де розгалужена структура сюжету візуалізується та контролюється дизайнером, зберігаючи баланс між авторським задумом і агентною автономністю [9]. У контексті запропонованої моделі координаційний рівень виконує функцію фільтра когерентності, відхиляючи або модифікуючи агентні плани, що суперечать фізичним обмеженням ігрового світу або порушують встановлені нарративні інваріанти.

Інтеграція LLM-агентів із деревами поведінки, запропонована Дж. Ао та Ф. Ву, відкриває перспективу гібридних архітектур, де мовна модель відповідає за стратегічне планування та соціальну взаємодію, тоді як дерева поведінки забезпечують виконання тактичних дій із гарантованою передбачуваністю [8]. Подібний гібридний підхід дозволяє знизити обчислювальне навантаження, оскільки не кожна дрібна дія потребує звернення до мовної моделі, і водночас зберегти здатність агента до генерації непередбачених рішень на стратегічному рівні. Для протидії галюцинаціям LLM використовують графи знань (knowledge graphs), валідатори обмежень та правила симуляції як апріорні знання: наприклад, агент не може запланувати переміщення у локацію, яка ще не відкрита, або запропонувати предмет, якого немає в його інвентарі [5; 8].

Для наочної демонстрації еволюції NPC-поведінки від скриптової до агентної парадигми на рисунку 2 подано приклад інтерфейсу прототипу NEO NPC від Ubisoft та Inworld AI, де неігровий персонаж демонструє здатність до контекстного діалогу, мотивованого його внутрішніми цілями.

Враховуючи результати аналізу, можна сформулювати ключові архітектурні принципи мультиагентної системи для симуляції складних соціальних взаємодій NPC із генерацією квестових ланцюжків: модульність (незалежність перцептивного, когнітивного, виконавчого та координаційного рівнів); нарративна когерентність (наявність фільтра, що запобігає суперечливим ситуаціям); масштабованість (ієрархія моделей для оптимізації обчислювальних витрат); та зворотний зв'язок (замкнений цикл, де дії гравця впливають на плани NPC та породжують нові квести).



Рис. 2. Прототип NEO NPC від Ubisoft та Inworld AI: неігровий персонаж із контекстним діалогом, мотивованим внутрішніми цілями агента

Висновки

Проведений аналіз засвідчує, що мультиагентні системи на базі великих мовних моделей становлять якісно новий підхід до моделювання соціальних взаємодій неігрових персонажів, принципово відмінний від класичних скриптових та правилкових методів, що домінують у сучасних комерційних тайтлах – від Skyrim до Red Dead Redemption 2. Архітектура генеративних агентів, що інтегрує потік спостережень, ієрархічну пам'ять із рефлексією та адаптивне планування, уможливує появу емерджентної соціальної поведінки – спонтанного формування колективних дій, стосунків і конфліктів, не передбачених розробниками [1; 3].

Запропонована концептуальна модель перетворення індивідуальних планів NPC на квестові ланцюжки для гравця спирається на п'ятиетапний цикл: генерацію планів, аналіз конфліктів, класифікацію, генерацію квестових структур та зворотний зв'язок від результатів виконання. Ключовою перевагою моделі є здатність породжувати квести, що органічно виростають зі світу, а не накладаються на нього ззовні, що суттєво підвищує реігровальність та імерсивність ігрового досвіду.

Водночас практичне впровадження мультиагентних LLM-систем у комерційні відеоігри стримується значними обчислювальними витратами, ризиком галюцинацій мовних моделей та необхідністю забезпечення нарративної когерентності. Гібридні архітектури, що поєднують LLM-планування з деревами поведінки, ієрархічні моделі різної потужності та механізми заземлення у структурованих знаннях, пропонують практичні шляхи подолання зазначених обмежень [5; 8; 10].

Подальшу перспективу досліджень убачаємо у розробці повноцінного прототипу запропонованої архітектури, експериментальній валідації якості генерованих квестів із залученням гравців-респондентів, вивченні впливу масштабу агентної популяції на різноманітність і когерентність емерджентних наративів, а також у дослідженні етичних аспектів взаємодії гравців із високоправдоподібними штучними соціумами.

Список використаної літератури

1. Delassus D. AI Toolkit – Give a brain to your NPCs, a header-only C++ library. Medium. URL: <https://david-delassus.medium.com/ai-toolkit-give-a-brain-to-your-npcs-a-header-only-c-library-02a50ac9faed> (дата звернення: 15.05.2025).
2. Bevilacqua F. Finite-State Machines: Theory and Implementation. Envato Tuts+. 2013. URL: <https://code.tutsplus.com/finite-state-machines-theory-and-implementation--gamedev-11867t>
3. Park J. S., O'Brien J. C., Cai C. J., Morris M. R., Liang P., Bernstein M. S. Generative Agents: Interactive Simulacra of Human Behavior. arXiv preprint arXiv:2304.03442. 2023. URL: <https://arxiv.org/abs/2304.03442>

4. Yang Z., Zhang Z., Zheng Z. et al. OASIS: Open Agent Social Interaction Simulations with One Million Agents. arXiv preprint arXiv:2411.11581. 2024. URL: <https://arxiv.org/abs/2411.11581>
5. Wang G., Xie Y., Jiang Y., Mandlekar A., Xiao C., Zhu Y., Fan L., Anandkumar A. Voyager: An Open-Ended Embodied Agent with Large Language Models. Transactions on Machine Learning Research. 2023. URL: <https://arxiv.org/abs/2305.16291>
6. Breault V., Ouellet S., Davies J. Let CONAN Tell You a Story: Procedural Quest Generation. Entertainment Computing. 2021. Vol. 38. 100422. DOI: 10.1016/j.entcom.2021.100422.
7. Peng X., Quaye J., Rao S. et al. Player-Driven Emergence in LLM-Driven Game Narrative. 2024 IEEE Conference on Games (CoG). IEEE, 2024. P. 1–8. URL: <https://arxiv.org/abs/2404.17027>
8. Ao J., Wu F., Wu Y., Swikir A., Haddadin S. Enhancing Game AI Behaviors with Large Language Models and Agentic AI. Proceedings of the 33rd ACM International Conference on the Foundations of Software Engineering (FSE). 2025. DOI: 10.1145/3696630.3728553. URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3696630.3728553>
9. Inworld AI. AI-powered gameplay in experiences from Ubisoft, NVIDIA, Xbox, and indie devs at GDC 2024. Inworld Blog. 2024. URL: <https://inworld.ai/blog/gdc-2024>
10. Inworld AI. How AI agents in video games are set to transform gaming. Inworld Blog. 2024. URL: <https://inworld.ai/blog/ai-agents-in-video-games-current-and-future-state>
11. Doran J., Parberry I. A Prototype Quest Generator Based on a Structural Analysis of Quests from Four MMORPGs. Proceedings of the 2nd International Workshop on Procedural Content Generation in Games. 2011. DOI: 10.1145/2000919.2000920.
12. Kim J. H., Shin Y., Park S. LIGS: Developing an LLM-Infused Game System for Emergent Narrative. Proceedings of the Extended Abstracts of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '25). ACM, 2025. URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3706599.3720212>
13. Ashby T., Webb B. K., Knapp G., Searle J., Fulda N. Personalized quest and dialogue generation in role-playing games: A knowledge graph- and language model-based approach. Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM, 2023. P. 1–20.
14. Wang F. LLM-based Few-shot Action System for NPCs in Virtual Reality Games. AIMEDIA 2025 : The First International Conference on AI-based Media Innovation. 2025. URL: https://www.thinkmind.org/articles/aimedia_2025_1_30_40024.pdf
15. Prins V. L., Prins J., Preuss M., Gómez-Maureira M. A. Storyworld: Procedural Quest Generation Rooted in Variety & Believability. Proceedings of the AAAI Conference on AI and Interactive Digital Entertainment. 2023. Vol. 19, No. 1.

References

1. Delassus, D. (n.d.). *AI toolkit – Give a brain to your NPCs, a header-only C++ library*. Medium. <https://david-delassus.medium.com/ai-toolkit-give-a-brain-to-your-npcs-a-header-only-c-library-02a50ae9faed>
2. Bevilacqua, F. (2013). Finite-State Machines: Theory and Implementation. Envato Tuts+. <https://code.tutsplus.com/finite-state-machines-theory-and-implementation--gamedev-11867t>
3. Park, J. S., O'Brien, J. C., Cai, C. J., Morris, M. R., Liang, P., & Bernstein, M. S. (2023). Generative Agents: Interactive Simulacra of Human Behavior. arXiv preprint arXiv:2304.03442. <https://arxiv.org/abs/2304.03442>
4. Yang, Z., Zhang, Z., Zheng, Z. et al. (2024). OASIS: Open Agent Social Interaction Simulations with One Million Agents. arXiv preprint arXiv:2411.11581. <https://arxiv.org/abs/2411.11581>
5. Wang, G., Xie, Y., Jiang, Y., Mandlekar, A., Xiao, C., Zhu, Y., Fan, L., & Anandkumar, A. (2023). Voyager: An Open-Ended Embodied Agent with Large Language Models. Transactions on Machine Learning Research. <https://arxiv.org/abs/2305.16291>
6. Breault, V., Ouellet, S., & Davies, J. (2021). Let CONAN Tell You a Story: Procedural Quest Generation. Entertainment Computing, 38, 100422. <https://doi.org/10.1016/j.entcom.2021.100422>
7. Peng, X., Quaye, J., Rao, S. et al. (2024). Player-Driven Emergence in LLM-Driven Game Narrative. In 2024 IEEE Conference on Games (CoG) (pp. 1–8). IEEE. <https://arxiv.org/abs/2404.17027>
8. Ao, J., Wu, F., Wu, Y., Swikir, A., & Haddadin, S. (2025). Enhancing Game AI Behaviors with Large Language Models and Agentic AI. In Proceedings of the 33rd ACM International Conference on the Foundations of Software Engineering. ACM. <https://doi.org/10.1145/3696630.3728553>
9. Inworld AI. (2024). AI-powered gameplay in experiences from Ubisoft, NVIDIA, Xbox, and indie devs at GDC 2024. <https://inworld.ai/blog/gdc-2024>
10. Inworld AI. (2024). How AI agents in video games are set to transform gaming. <https://inworld.ai/blog/ai-agents-in-video-games-current-and-future-state>
11. Doran, J., & Parberry, I. (2011). A Prototype Quest Generator Based on a Structural Analysis of Quests from Four MMORPGs. In Proceedings of the 2nd International Workshop on Procedural Content Generation in Games. ACM. <https://doi.org/10.1145/2000919.2000920>

12. Kim, J. H., Shin, Y., & Park, S. (2025). LIGS: Developing an LLM-Infused Game System for Emergent Narrative. In Extended Abstracts of CHI '25. ACM. <https://doi.org/10.1145/3706599.3720212>
13. Ashby, T., Webb, B. K., Knapp, G., Searle, J., & Fulda, N. (2023). Personalized quest and dialogue generation in role-playing games: A knowledge graph- and language model-based approach. In Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (pp. 1–20). ACM.
14. Wang, F. (2025). LLM-based Few-shot Action System for NPCs in Virtual Reality Games. In AIMEDIA 2025: The First International Conference on AI-based Media Innovation. https://www.thinkmind.org/articles/aimedia_2025_1_30_40024.pdf
15. Prins, V. L., Prins, J., Preuss, M., & Gómez-Maureira, M. A. (2023). Storyworld: Procedural Quest Generation Rooted in Variety & Believability. In Proceedings of the AAAI Conference on AI and Interactive Digital Entertainment, 19(1).

Дата першого надходження статті до видання: 21.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 26.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 07.05.2026