

УДК 004.414.2:004.89

АРХИТЕКТУРЫ АДАПТИВНЫХ НАРРАТИВНЫХ СИСТЕМ: ОБЗОР ПОДХОДОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

ДЬЯКОВ Сергей Владимирович

магистрант

Научный руководитель: **ЛЫСЕНКО Алексей Федорович**

кандидат технических наук, доцент

Донской государственной технической университет

г. Ростов-на-Дону, Россия

В статье рассматриваются архитектурные подходы к построению адаптивных нарративных систем. Проанализированы классические и современные модели: от линейных сценариев до гибридных архитектур, интегрирующих генеративные ИИ-технологии. Определены перспективные направления развития данной области.

Ключевые слова: адаптивный нарратив, архитектура программного обеспечения, интерактивное повествование, большие языковые модели, событийно-ориентированная архитектура, ECS, гибридные системы.

В последние годы индустрия интерактивных цифровых продуктов переживает стремительный рост, связанный с развитием компьютерных игр, симуляторов, образовательных платформ, виртуальных ассистентов и систем на основе генеративных моделей. Эти системы всё чаще включают элементы адаптивного нарратива, где результат работы программы формируется динамически и зависит от пользовательского ввода, семантического контекста и текущей конфигурации среды [5].

Расширение возможностей больших языковых моделей (LLM), систем рассуждения и мультиагентных ИИ-фреймворков стимулировало переход от статических сценариев к контекстно-зависимым нарративам, где система должна самостоятельно интерпретировать действия пользователя, поддерживать логическую целостность истории и адаптировать сюжетные ветви в реальном времени [4]. По данным крупнейших разработчиков игровых движков и платформ интерактивного контента, более 65% современных проектов включают элементы процедурной генерации, адаптивного поведения NPC или динамического формирования сценариев.

Однако рост технологий сопровождается значительным увеличением архитектурной сложности. Традиционные сценарные системы изначально не приспособлены к асинхронной обработке событий, постоянному изменению состояния мира, долговременному хранению и анализу контекста, а также к интеграции с генеративными ИИ-модулями, создающими контент с высокой вариативностью. Как отмечают М. Mateas и А. Stern в архитектуре Facade, даже ограниченная интерактивность требует сложных механизмов управления состоянием и реакциями персонажей, обеспечивающих их предсказуемость и последовательность [3, с. 94].

С развитием LLM-моделей архитектурные вызовы становятся ещё острее: генеративные системы способны создавать богатый по содержанию, но потенциально неконтролируемый контент; отсутствие строгих правил приводит к нарушению логики повествования, а нечёткое разграничение функций между генеративным и детерминированным слоями снижает предсказуемость поведения приложения [1]. Целью настоящей статьи является систематический обзор существующих архитектурных подходов к построению адаптивных нарративных систем, анализ их преимуществ и ограничений, а также определение перспективных направлений развития данной области.

1. Классические архитектуры нарративных систем

Современные адаптивные нарративные системы опираются на широкий спектр архитектурных подходов, сформировавшихся как внутри игровой индустрии, так и в исследовательской среде. К наиболее распространённым относятся линейные сценарные структуры, ветвящиеся повествовательные модели, архитектуры на основе конечных автоматов (FSM), событийно-ориентированные решения (EDA), компонентные архитектуры типа ECS, модели с централизованным контекстным хранилищем, а также архитектуры, основанные на планировании действий.

Исторически первыми были линейные и ветвящиеся сценарные архитектуры, где развитие повествования определялось заранее прописанными маршрутами. Линейная модель давала разработчикам полный контроль над историей, но полностью исключала адаптивность. Ветвящаяся модель, будучи более гибкой, столкнулась с проблемой экспоненциального роста количества сценарных узлов: каждая новая точка выбора удваивала или утраивала число возможных путей развития сюжета. Набор предопределённых веток неизбежно ограничивал глубину интерактивности, а попытки увеличить вариативность приводили к резкому росту сложности разработки и сопровождения.

Следующим этапом стали архитектуры на основе конечных автоматов (FSM), которые позволяют формализовать поведение персонажей и сценарные переходы как событий, например как при работе в микросервисных системах. FSM-подход неплохо справляется как диалоговый менеджер или для управления поведением отдельных NPC. Но, он плохо масштабируется в условиях параллельных событий и сложных миров, где требуется нелинейное развитие с большим количеством контекстов и одновременно активных состояний [7, с. 115].

2. Событийно-ориентированные и компонентные архитектуры

Усложнение интерактивных систем потребовало новых архитектурных решений, и ответом стала событийно-ориентированная парадигма (EDA). Её ключ-

чевая идея – любое изменение в виртуальном мире инициируется событием, которое асинхронно обрабатывается подписанными на него компонентами. Например, действие игрока «открыть дверь» порождает событие, на которое реагируют система анимации, звуковой модуль и, возможно, триггер сюжетного перехода. Такая реактивная модель позволяет естественно масштабировать количество параллельных процессов и чётко разграничивать зоны ответственности между детерминированной логикой мира и адаптивными модулями поведения.

Другим важным этапом развития стала компонентная архитектура ECS, впервые широко применённая в игровом движке Unity и позднее реализованная в Unreal Engine под названием Mass Entity. Принцип ECS строится на разделении сущностей на минимальные блоки данных – компоненты – и системы, которые итеративно обрабатывают эти данные. Для адаптивного повествования такой подход даёт существенные преимущества: поведение персонажа можно изменить, добавив или удалив компонент, без редактирования сценарных скриптов. R. Nystrom в своей работе отмечает, что ECS обеспечивает предсказуемое и согласованное обновление состояния даже при большом числе взаимодействующих объектов [2, с. 78].

Одновременно с этим формировался подход с централизованным хранилищем контекста – так называемая архитектура «чёрной доски» (Blackboard). Впервые она была описана в 1980-х годах в рамках проекта распознавания речи HEARSAY-II и с тех пор нашла применение в игровых ИИ-системах, включая серию Halo. Суть метода в том, что все подсистемы – от диалогового менеджера до модуля эмоций NPC – читают и записывают данные в общее пространство. Это упрощает координацию агентов и позволяет хранить в одном месте факты о мире, текущие состояния персонажей, историю взаимодействий и активные сюжетные условия.

3. Архитектуры на основе планирования

Отдельное направление образуют архитектуры, основанные на планировании. Ключевыми представителями являются GOAP (Goal-Oriented Action

Planning) и HTN (Hierarchical Task Networks) подходы, пришедшие из области исследований искусственного интеллекта. GOAP позволяет персонажам самостоятельно формировать планы на основе целей и доступных действий, обеспечивая более естественное и адаптивное поведение по сравнению с жёстко прописанными сценариями.

HTN обеспечивает многоуровневое планирование сюжетных последовательностей, позволяя декомпозировать высокоуровневые нарративные цели на последовательности конкретных действий. Этими подходами активно пользуются игровые ИИ-системы и исследовательские проекты, где требуется моделировать причинно-следственные связи и выводить развитие истории из логики происходящих событий. M.O. Riedl и R.M. Young продемонстрировали эффективность планирования для балансировки между сюжетными требованиями и действиями персонажей [5, с. 220].

4. Гибридные архитектуры и интеграция генеративных моделей

Современное поколение интерактивных систем всё чаще использует гибридные архитектуры, объединяющие сильные стороны перечисленных моделей. В таких системах события исполняют роль основного механизма синхронизации, ECS обеспечивает структурную основу мира, чёрная доска хранит контекст, а планировщики регулируют причинно-следственные связи повествования.

Генеративные модели LLM при этом интегрируются в строго ограниченных точках, выполняя функции расширения текстов, стилизации описаний, анализа пользовательского ввода или интерпретации мотивов персонажей. Опыт ведущих компаний и исследовательских лабораторий показывает, что наиболее устойчивые и управляемые адаптивные нарративные движки строятся именно на таких гибридных архитектурах, где детерминированные компоненты контролируют состояние мира, тогда как ИИ-модули решают строго ограниченные задачи [6].

Примерами успешной реализации гибридного подхода служат проекты AI Dungeon, Hidden Door, SAGA и система Generative Agents, описанная J.S. Park и соавторами [4, с. 5]. В этих системах большие языковые модели используются не для полного управления нарративом, а для обогащения заранее структурированного контента, генерации вариативных диалогов и интерпретации неоднозначного пользовательского ввода.

Такое сочетание позволяет поддерживать высокую нелинейность, сохранять когерентность сюжета и при этом обеспечивать достаточную гибкость, недоступную традиционным сценарным подходам. Здесь важным аспектом является чёткое разграничение ответственности, поэтому детерминированные компоненты предоставляют гарантированное соблюдение правил мира и логическую целостность, а генеративные модули добавляют естественность взаимодействия.

5. Проблемы и ограничения современных подходов

Несмотря на достигнутые результаты, проектирование адаптивных нарративных систем до сих пор не оформилось в самостоятельную инженерную дисциплину со своим набором паттернов и стандартов. На практике разработчики заимствуют решения из разных областей: игровые студии адаптируют поведенческие деревья из ИИ-фреймворков вроде Behavior Designer, веб-команды переносят принципы реактивного программирования из Redux или MobX, а исследователи мультиагентных систем применяют протоколы координации, изначально созданные для робототехники. Такой эклектичный подход порождает множество несовместимых реализаций – например, диалоговая система Ink от Inkle Studios и визуальный редактор Yarn Spinner используют принципиально разные модели хранения состояния, что затрудняет миграцию контента между ними.

Отдельную сложность представляет интеграция больших языковых моделей. GPT-4, Claude и подобные системы способны генерировать стилистически богатые описания и неожиданные сюжетные повороты, однако без жёстких огра-

ничений они регулярно нарушают внутреннюю логику мира. Характерный пример – в проекте AI Dungeon пользователи неоднократно фиксировали случаи, когда модель «воскрешала» погибших персонажей или приписывала NPC способности, противоречащие установленным правилам сеттинга. L.A. Hendricks и соавторы отмечают, что без механизмов валидации и фильтрации генеративный контент остаётся непредсказуемым и потенциально разрушительным для когерентности повествования [1]. Решение этой проблемы требует разработки эффективных механизмов валидации и фильтрации генерируемого контента.

Другой важной проблемой является масштабируемость. По мере роста сложности виртуального мира и увеличения числа взаимодействующих агентов вычислительная нагрузка возрастает нелинейно. Архитектуры должны обеспечивать эффективное распределение ресурсов и приоритизацию обработки наиболее релевантных для текущего контекста элементов [7, с. 203].

Проведённый анализ показывает, что развитие адаптивных нарративных систем прошло путь от простых линейных сценариев к сложным гибридным архитектурам, интегрирующим достижения событийно-ориентированного программирования, компонентного проектирования, систем планирования и генеративного искусственного интеллекта.

Гибридные архитектуры сегодня рассматриваются как наиболее эффективный вариант для построения адаптивных нарративных систем, поскольку они позволяют сочетать формальную предсказуемость детерминированных моделей и творческий потенциал генеративных ИИ-технологий, обеспечивая баланс между управляемостью и вариативностью повествования.

Высокая нелинейность интерактивных историй, необходимость реагировать на действия пользователей в реальном времени и обязательность поддержания когерентности сюжета делают архитектуру ключевым фактором устойчивости таких систем. На практике наиболее эффективными оказываются решения,

основанные на событийно-ориентированных моделях, компонентной организации сущностей, централизованном хранении контекста, реактивном отслеживании изменений и строгом разделении уровней логики и генерации.

Перспективными направлениями развития являются стандартизация архитектурных паттернов для нарративных систем, разработка специализированных фреймворков, объединяющих лучшие практики различных подходов, а также создание методологий тестирования и валидации когерентности адаптивных нарративов. Дальнейшее исследование этих направлений позволит сделать разработку интерактивных историй более систематизированной и предсказуемой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hendricks, L. A. Grounding Language Models for Compositional and Multilingual Agents / L. A. Hendricks, K. Burns, K. Saenko // *Advances in Neural Information Processing Systems*. – 2023. – Vol. 36. – P. 1-15.
2. Nystrom, R. *Game Programming Patterns* / R. Nystrom. – Geneva Benning, 2014. – 354 p.
3. Mateas, M. Structuring Content in the Facade Interactive Drama Architecture / M. Mateas, A. Stern // *Proceedings of the First AAAI Conference on Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment*. – 2005. – P. 93-98.
4. Park, J. S. Generative Agents: Interactive Simulacra of Human Behavior / J. S. Park, J. C. O'Brien, C. J. Cai [et al.] // *Proceedings of the 36th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. – 2023. – P. 1-22.
5. Riedl, M. O. Narrative Planning: Balancing Plot and Character / M. O. Riedl, R. M. Young // *Journal of Artificial Intelligence Research*. – 2010. – Vol. 39. – P. 217-268.
6. Huang, S. Language Models as Compilers: Simulating Pseudocode Execution Improves Algorithmic Reasoning in Language Models / S. Huang, L. Dong, W. Wang [et al.] // *Proceedings of the 2024 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics*. – 2024. – P. 1-12.

7. Yannakakis, G. N. Artificial Intelligence and Games / G. N. Yannakakis, J. Togelius. – Springer, 2018. – 342 p.

**ARCHITECTURES OF ADAPTIVE NARRATIVE SYSTEMS:
REVIEW OF APPROACHES AND DEVELOPMENT PROSPECTS**

DYAKOV Sergey Vladimirovich

Master's Student

Scientific supervisor: **LYSENKO Alexey Fedorovich**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Don State Technical University

Rostov-on-Don, Russia

The article examines architectural approaches to building adaptive narrative systems. Classical and modern models are analyzed: from linear scripts to hybrid architectures integrating generative AI technologies. Promising directions for the development of this field are identified.

Keywords: adaptive narrative, software architecture, interactive storytelling, large language models, event-driven architecture, ECS, hybrid systems.