

## **АДАПТАЦИЯ КАРТ ВЛИЯНИЯ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В МНОГОМЕРНЫХ ПРОСТРАНСТВАХ НА ОСНОВЕ ИЕРАРХИИ ОГРАНИЧИВАЮЩИХ ОБЪЕМОВ**

**Горевой И.А.<sup>1</sup>, Бравичев К. А.<sup>1</sup>**

**Научный руководитель – преподаватель практики Бравичев К. А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

gorevoi\_ivan@mail.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР «Адаптация карт влияния для возможности применения в многомерных пространствах».

### **Введение**

Карты влияния представляют собой метод пространственного представления знаний в игровом искусственном интеллекте, при котором игровое пространство оценивается через скалярные поля тактического влияния, генерируемые различными объектами сцены. Каждый источник создаёт вокруг себя поле влияния, интенсивность которого затухает с расстоянием согласно заданной функции. Агенты ИИ анализируют суммарное влияние в различных точках пространства и принимают решения, выбирая позиции с максимальным дружественным или минимальным враждебным влиянием. Такой подход позволяет централизованно хранить тактическую информацию, доступную всем агентам одновременно, что обеспечивает согласованное коллективное поведение [1, 2].

Традиционно карты влияния создаются в виде двумерных сеток, из-за чего они теряют практическую эффективность в современных играх с многоуровневыми ландшафтами, воздушными и подводными зонами. Прямое расширение классического подхода на трёхмерное пространство приводит к экспоненциальному росту вычислительных затрат из-за увеличения количества ячеек создаваемой сетки, что делает его неприемлемым для динамичных сцен, обрабатываемых в реальном времени [3].

Актуальной задачей является улучшение систем карт влияний путем применения эффективного метода пространственного представления, сохраняющего преимущества системы при переходе к многомерным пространствам без критического ущерба для производительности игрового цикла.

### **Основная часть**

В рамках научно-исследовательской работы проведен сравнительный анализ структур пространственного разбиения. В качестве оптимального решения выбрана иерархия ограничивающих объемов с нисходящим алгоритмом построения и медианным разбиением по доминирующей оси [4].

Иерархия ограничивающих объемов – древовидная структура данных, в которой каждый узел содержит ограничивающий объем, выровненный по осям координат, охватывающий все объекты его дочерних узлов. Данная структура обеспечивает эффективное пространственное индексирование без избыточных затрат памяти. При построении дерева нисходящим алгоритмом с применением медианного разбиения на каждой итерации множество объектов текущего узла сортируется по координате центраида их ограничивающего объема, вдоль оси с максимальной длиной стороны, и делится пополам. Так, с применением дерева, время поиска сокращается с  $O(N)$  до  $O(\log N)$ , где  $N$  – количество объектов в структуре [4, 5].

На основе выбранной структуры спроектирована модульная архитектура системы, включающая три взаимосвязанных компонента.

Influence Component инкапсулирует параметры источника влияния – радиус действия, силу, функцию затухания, идентификатор команды и ограничивающий объем. Для данного компонента применен механизм порогового обновления, отсеивающий незначительные перемещения объектов и минимизирующий избыточные перестройки иерархии.

BVN Tree разработан в виде бинарного дерева с последовательным хранением узлов для повышения кэш-эффективности обхода. Главная задача дерева – быстрое выполнение запросов на поиск в радиусе. Алгоритм поиска выполняет быстрое отсечение ветвей по минимальному расстоянию до ограничивающих объемов, затем проверяется расстояние до каждого оставшегося источника в листовых узлах.

Influence Map Subsystem является центральной точкой входа и координирует взаимодействие компонентов и дерева. Для улучшения производительности были выполнены ряд оптимизаций. Изменения дерева не применяются сразу, вместо этого они накапливаются до достижения пороговых значений, после чего выполняется асинхронная перестройка в фоновом потоке. Для обеспечения непрерывной доступности данных применен механизм двойной буферизации: в то время как старое дерево обслуживает запросы в основном потоке, новое дерево строится параллельно, затем происходит атомарная замена указателей этих деревьев. Для повышения тактической достоверности системы интегрирована физическая модель движка с проверкой укрытий через line trace запросы.

В рамках производственной практики описанная система разработана на платформе Unreal Engine 5 с применением C++ и системы асинхронных задач Task System. Выполнена интеграция со встроенной системой запросов к окружению, что позволяет агентам ИИ принимать тактические решения на основе многомерных карт влияния в рамках стандартного фреймворка движка.

### **Выводы**

Проведено сравнительное тестирование с наивным подходом (сортировка полного списка объектов и выбор  $N$  ближайших). В сцене с 464 источниками влияния и радиусом запроса 2500 единиц предложенный BVN-подход показал значительное преимущество по времени выполнения: при учёте 4 источников – 0.05 мс против 0.37 мс у наивного подхода, при 464 источниках – 0.89 мс против 1.26 мс. Наибольший выигрыш достигается при малом количестве учитываемых объектов, что характерно для локальных тактических решений агентов. Перестройка дерева практически не влияет на время, требуемое для обновления кадра, даже при интенсивном перемещении множества агентов благодаря применению порогового обновления и системы асинхронных задач.

Разработанная система преодолевает фундаментальное ограничение классических карт влияния – экспоненциальный рост вычислительных затрат при переходе в 3D-пространство. Предложенная архитектура предоставляет разработчикам игрового ИИ готовый к интеграции инструмент для тактического анализа многомерного пространства с сохранением стабильной частоты кадров. Гибкость настройки позволяет применять систему в широком спектре игровых жанров. Подтверждена гипотеза исследования – применение BVN-иерархии позволяет достичь существенного прироста производительности по сравнению с наивным подходом, сохраняя точность тактической оценки.

### **Литература**

1. Mark D., Modular Tactical Influence Maps // Game AI Pro 2: Collected Wisdom of Game AI Professionals. Boca Raton: A K Peters/CRC Press, 2015. P. 343–364.
2. DeLoura M. Game Programming Gems 2. - 1 изд. - Burlington: Charles River Media, 2001. - 575 с.
3. Lewis M., Escaping the Grid: Infinite-Resolution Influence Mapping // Game AI Pro 2: Collected Wisdom of Game AI Professionals. Boca Raton: A K Peters/CRC Press, 2015. P. 327–342.
4. Samet H., Foundations of Multidimensional and Metric Data Structures. - 1 изд. - Burlington, Massachusetts, USA: Morgan Kaufmann Publishers, 2006. - 1024 с.
5. Kopta D., Ize T., Spjut J. et al. Fast, effective BVH updates for animated scenes // Proceedings of the ACM SIGGRAPH Symposium on Interactive 3D Graphics and Games. 2012. P. 197–204.