

УДК 004.942  
ББК 22.18

## ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ТАКТИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ АГЕНТОВ

**Корепанов В. О.<sup>1</sup>**

*(Учреждение Российской академии наук  
Институт проблем управления РАН, Москва)*

*Приводятся результаты тестирования алгоритмов тактического поведения для агентной системы моделирования эвакуации людей из здания. Проводится их анализ и сравнение на качественном уровне.*

Ключевые слова: эвакуация, агентное моделирование, уровень тактического поведения.

### **1. Введение**

Настоящая статья посвящена разработке системы агентного моделирования эвакуации людей из здания, в более общем случае – моделирования какого-либо движения агентов на плоскости вообще.

Для программной реализации агента выбрана иерархическая модель, представленная на рис. 1, более подробное описание реализованной модели см. в [2]. Данная иерархия универсальна и типична для искусственных мультиагентных систем, но, например, в [4] описана иерархия более приближенная к человеческому, социальному поведению. На рис. 1 можно видеть тактический уровень управления движением агента, он отвечает за эффективное движение агента к выбранной цели: выбор оптимальной траектории, уход от столкновений, обход препятствий и т.п. Основная особенность агентного моделирования – это

---

<sup>1</sup> Всеволод Олегович Корепанов, аспирант ([kvsevolodo@mail.ru](mailto:kvsevolodo@mail.ru)).

возможность лёгкого изменения поведения агента, что при данной иерархической организации позволяет менять каждый уровень в отдельности. Разрабатываемая система агентного моделирования находится в свободном доступе на сайте <http://evacuation.sourceforge.net/>.

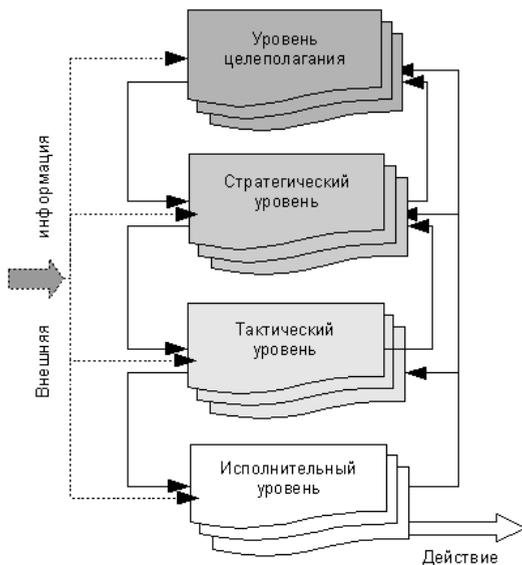


Рис. 1 Иерархическая структура агента

Можно предположить, что каждое конкретное тактическое поведение можно тоже рассматривать как последовательное применение нескольких алгоритмов. В соответствии с этим предположением были разработаны три «примитивных» поведения (соответствующих тактическому уровню): нацеливание, уход от ближайшего столкновения (вероятностный и детерминированный) и уход от скоплений. На базе этих «примитивов» были построены две тактики поведения: «Простая» и «Базовая». «Простая» состоит из последовательного применения нацеливания и ухода от столкновений. «Базовая» – нацеливание, уход от скоплений, уход от столкновений на выбранном пути. В данной

статье представляются результаты тестирования и анализ перечисленных тактик поведения, плюс две такие же тактики, только с детерминированным уходом от ближайшего столкновения.

Цель тестирования не в том, чтобы статистически строго оценить качество разработанных алгоритмов, а в том, чтобы увидеть правдоподобное «поведение» предложенных алгоритмов, заметить общие закономерности и недостатки модели.

## **2. Общее описание экспериментов**

Вид здания представлен на рис. 2. Один шаг тестирования – выход всех агентов из здания при заданных параметрах, на следующем шаге меняется один параметр (например ширина перехода) и агенты снова выходят. На каждом шаге тестирования эксперимент выполняется 30 раз и результат для данного шага есть среднее этих времён.

Моделирование передвижения агентов происходит с шагом моделирования  $dt$  по формуле  $x_n = x_{n-1} + V_{n-1} \cdot dt$ , соответственно управление передвижения сводится к управлению вектором скорости агента.

Исполнительный уровень отвечает за реализацию механических свойств движения агента. В данном случае это: минимальные и максимальные ограничения вектора скорости, изменение вектора скорости с учётом величины ускорения, зависимость поворота вектора скорости от величины его модуля; возможно, реализация примитивов движения (по прямой, по дуге, остановка и т.п.). Более подробно про исполнительный уровень и примитивы тактического поведения см. в [1]

Сначала агенты находятся в двух помещениях №1 и №4, по пятьдесят в каждом. Причём агенты в первом помещении идут в выход №3, а агенты из помещения №4 – в выход №5, такое их поведение задаётся с помощью уровня целеполагания: у агентов цель – выход 3, у других – 5, далее стратегический уровень уже отвечает за то, чтобы они дошли до цели. Таким образом, эти два потока пересекаются в помещении №2. Расположение аген-

тов – случайное (но фиксированное, т.е. сначала они расставляются случайно, и такое расположение уже фиксируется для остальных тестов). Начальные характеристики агентов (скорость, ускорение) фиксированы.

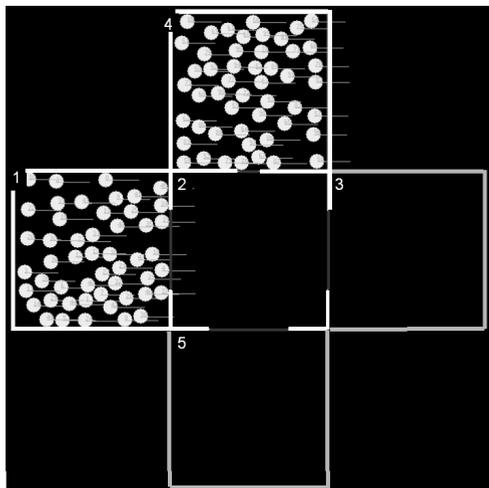


Рис. 2 Вид здания

Для каждого потока время выхода регистрируется отдельно; итоговое время выхода потока – среднее время выхода агентов.

### 1.1. ТИПЫ ТАКТИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ

1. Базовый тип тактики. Структурно состоит из последовательного применения тактик прямого нацеливания, ухода от скоплений, ухода от столкновений с другими агентами (вероятностного).

2. Простой тип тактики. Последовательно применяется тактика прямого нацеливания, а потом – тактика ухода от столкновений (вероятностная).

3. Два остальных типа тактик «Базовая детерминированная» и «Простая детерминированная» – такие же, как первые два, но

детерминированные. В них агент одним, определённым образом выбирает, как он будет избегать столкновения.

Отдельно опишем алгоритмы «примитивных» тактик.

1. **Нацеливание.** Эта тактика возвращает вектор скорости, направленный в сторону мишени. По модулю равен модулю скорости агента. Так как мишенью является отрезок (переход, дверной проём), реализуется алгоритм проекции точки (координаты агента) на отрезок.

2. **Уход от столкновений.**

*Шаг 1.* Выбираем всех агентов в поле видимости.

*Шаг 2.* Выбираем самого близкого по времени столкновения: зная координаты агентов и их скорости, вычисляется их время столкновения с агентом, делающим шаг. Найденное время столкновения соответствует либо столкновению в будущем, либо происходящему столкновению (время отрицательное, но ограниченное по модулю).

*Шаг 3.* Зная параметры столкновения, к вектору скорости применяются корректирующие правила, описанные в [1] (там же описаны существенные параметры столкновения)

3. **Уход от скоплений.** Это сканирующий алгоритм.

*Шаг 1.* Выбирается начальный угол вектора скорости для сканирования (в реализованном алгоритме это исходный угол вектора скорости минус 90 градусов).

*Шаг 2.* При выбранном угле сканирования, строится траектория до выхода: по прямой до ближайшего препятствия (столкновение с другим агентом или со стеной), затем по прямой от столкновения до мишени.

*Шаг 3.* По этой траектории производится расчёт приближительного времени движения по ней агента с расчётом, что скорость до столкновения будет максимальной, а после столкновения будет равна скорости агента с которым произошло столкновение или максимальной, если столкновение произошло со стеной.

*Шаг 4.* Данное время сохраняется.

*Шаг 5.* Вектор скорости смещается на определённый угол — шаг сканирования. Затем алгоритм повторяется с Шага 2 пока не будет достигнут конечный угол вектора скорости (в реализованном алгоритме это угол исходного вектора скорости плюс 90 градусов)

### 3. Эксперимент I. Пересечение потоков

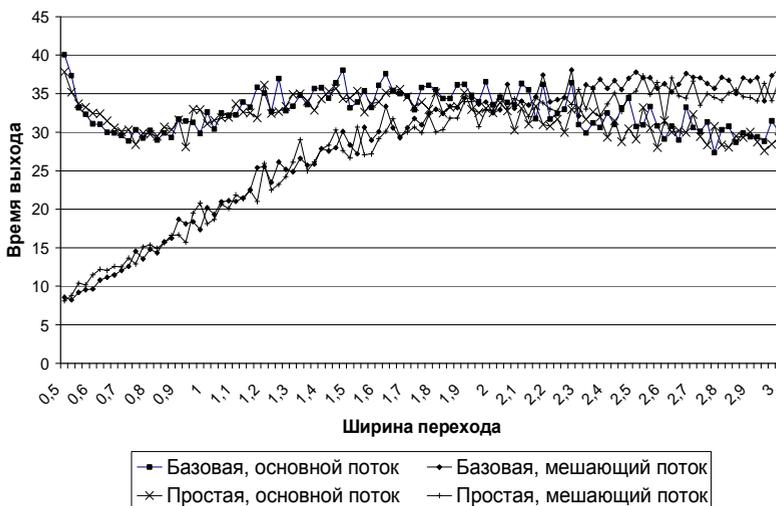


Рис. 3 Пересечение потоков

В данном эксперименте меняется ширина перехода 1, соединяющего помещения 1 и 2, с величины 0,5 м до 3 м. Основной поток – поток из помещения 1 в 3 (на пути которого и стоит переход с меняющейся шириной), второй поток – «мешающий» поток. Тактики вероятностные.

Первое, что бросается в глаза – «статистическое совпадение» графиков для «Базовой» и «Простой тактики», что говорит либо о том, что «Базовая» тактика в данном случае не имеет преимуществ, либо о том, что алгоритм ухода от скоплений неэффективен.

Второе – более важное – наблюдение, что при увеличении ширины перехода, время выхода основного потока (при ширине перехода 0,8-3м) сначала растёт, а потом падает, но незначительно (среднее значение находится в интервале 30-35 с.). При этом время выхода мешающего потока значительно возрастает. Модель свидетельствует, что увеличение ширины перехода в данном случае нецелесообразно, так как из-за возникновения пробки время только увеличивается, либо нужно выбирать между двумя размерами: 0,8 и ближе к 3 м. Но оба эти варианта имеют недостаток: при ширине перехода 0,8 метров, в панике может возникнуть сильная давка, так как перед этим переходом образуется большая пробка (что видно при визуальном моделировании, а также это можно просчитать методами, предложенными в [3]), а при ширине 3 м время выхода второго потока становится слишком велико.

Быстрое убывание графика основного потока в начале можно объяснить тем, что при малой ширине перехода мешающий поток почти свободно успевает пройти до выхода, т.е. основному потоку мешает быстро выйти только малая ширина перехода, здесь даже эффекта пересечения потоков почти не наблюдается.

При отдельном визуальном наблюдении за движением агентов можно увидеть, что при малой ширине перехода мешающий поток просто «сносит» основной (и даже графики при таких значениях более гладкие), а при равной ширине образуется большое скопление агентов во втором помещении.

Графики не гладкие, – возможно, нужно выполнять больше экспериментов на каждом шаге тестирования, так как, во-первых, здесь тестируются вероятностные тактики, а во-вторых, как будет видно из третьего эксперимента, время выхода чувствительно от начального расположения агентов, и здесь из-за случайности на каждом шаге моделирования траектории каждого агента могут сильно различаться друг от друга на каждом шаге эксперимента.

Заметно также, что графики приблизительно пересекаются при ширине перехода 2 м, т.е. когда потоки находятся теоретически в равных условиях.

#### 4. Эксперимент II. Пробка с поперечным потоком

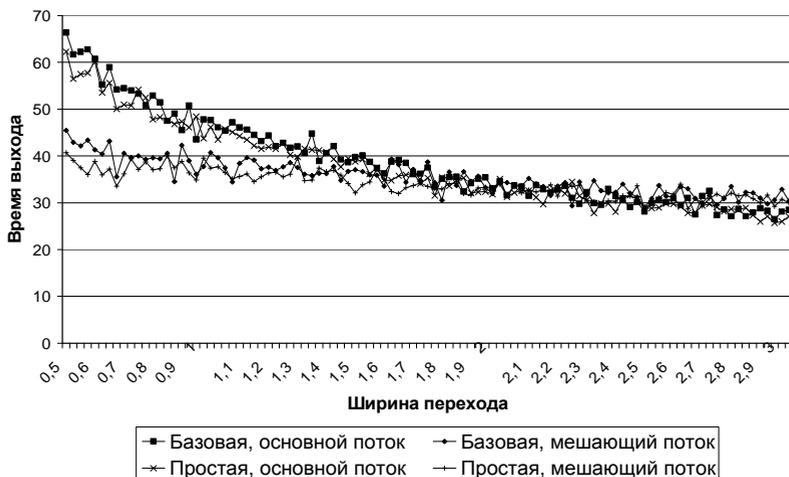


Рис. 4 Пробка с поперечным потоком

В данном эксперименте меняется ширина перехода 2, соединяющего помещение 2 с выходом 3, с величины 0,5 м до 3 м.

Здесь в принципе всё предсказуемо, также видно, что «Базовая» и «Простая» тактики практически неотличимы.

Интересно, что график мешающего потока очень близок к линейному, а график основного потока похож на «экспоненциальный»; пересекаются они также при ширине перехода примерно 2 м.

### 5. Эксперимент III. Детерминированные тактики

Данный эксперимент в постановке совпадает с экспериментом 1, только здесь тактики детерминированные. Предполагалось, что если результаты тестирования совпадут с результатами тестирования вероятностных тактик, то можно будет не проводить серию экспериментов на каждом шаге моделирования для накопления статистики, а проводить по одному эксперименту.

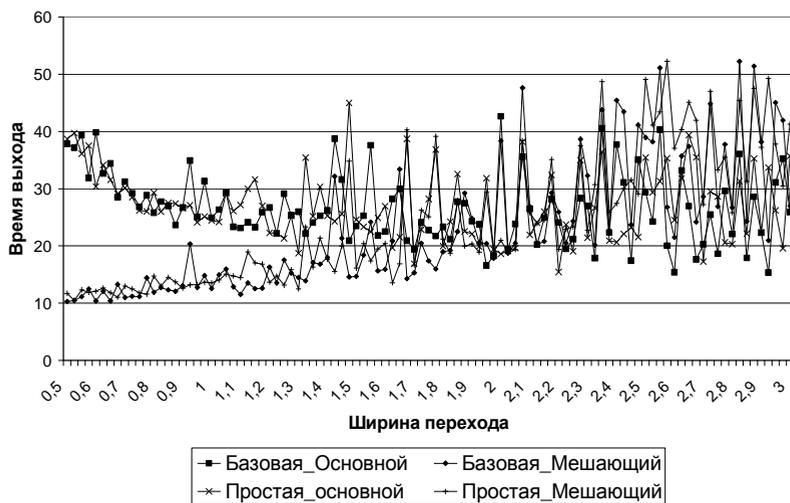


Рис. 5 Детерминированные тактики

Оказалось, что детерминированные тактики являются неустойчивыми по отношению к изменению ширины перехода. Это можно попытаться объяснить тем, что при таких тактиках изменение траектории каждого агента сразу влечёт изменение траекторий ближайших агентов, и, следовательно, сразу на всех агентов влияют такие малые изменения. Также на детерминированных тактиках при дополнительных экспериментах подтвердилось предположение о зависимости времени выхода от начального расположения агентов – см. рис. 5.

Если рассматривать графики двух потоков одной тактики (основного и мешающего: квадрат и ромб, знак умножения и знак сложения), когда они близко, то можно заметить их согласованность: пики и впадины одновременны. Здесь можно предположить, что с определённого момента, когда пробка быстро появляется, агенты обоих потоков в среднем с одинаковой частотой покидают её, что даёт схожие средние результаты их выхода, тем более что существование такой пробки возможно только при одинаковом количестве агентов обоих типов, так как при сильном различии одна сторона начинает «сметать» другую или просто обходить. Такое поведение заметно при визуальном моделировании и вытекает из физики алгоритмов движения и столкновения: пока это упругие столкновения шаров.

#### **6. Эксперимент IV. «Базовая» и «Простая» тактики**

В данном эксперименте тактики у потоков были разные, у одного «Базовая», у второго – «Простая». Но, как уже было видно в первых трёх экспериментах, практически они не различаются, соответственно и полученные в этом эксперименте графики аналогичны результатам первого эксперимента и подтверждают их неразличимость.

#### **7. Эксперимент V. Усреднение детерминированной тактики**

Так как полученные в эксперименте 3 данные говорят о неустойчивости детерминированных тактик, данный эксперимент проводился с усреднением результатов, полученных при различной начальной расстановке: агенты расставлялись случайно в помещении на каждый следующий шаг тестирования. Тип тактики уже только один – простой.

Результаты схожи с экспериментом 1, различие только в том, что у графика основного потока нет роста, т. е., в принципе, увеличение ширины перехода целесообразно, но с учётом того, что этот график убывает медленно, а график мешающего потока

постоянно линейно растёт. Также заметно относительно меньшее время выхода для обеих тактик, так как детерминированное поведение уже не предполагает колебаний в выборе направления обхода препятствий, а в вероятностном агент на каждом шаге может поменять направление обхода (только с разной степенью вероятности).



Рис. 6 Усреднение детерминированной тактики

Даже усреднённые значения начинают сильно колебаться, когда ширина перехода равна 2 м и больше.

## 8. Выводы

Агентные имитационные модели, использующие сложную иерархическую архитектуру агентов, позволяют наблюдать нетривиальные эффекты поведения, в данном случае – эффекты взаимовлияния двух потоков на основе только тактического поведения. Использование иерархического подхода также позволяет независимо исследовать разные уровни поведения агентов.

Исследованные четыре тактики не показывают реальное время выхода людей из здания, в них пока не учитывается желание агента избегать большой плотности и, как следствие, огибание реальными людьми скоплений других людей (например, конфликтных точек). Так, например, в [3], в главе посвящённой движению пересекающихся потоков, приводятся результаты, что при плотности выше 0,4 пересечение потоков невозможно (максимальная плотность людского потока вообще 0,92). С этой точки зрения визуальное наблюдение действительно показывает, что агенты с предложенными тактиками создают пробку с максимальной плотностью и движения непосредственно потоков уже нет, есть только медленный выход из пробки. Такое поведение может быть при панике людей, например. С другой стороны даже такие простые тактики показывают не совсем простое поведение, как, например, в первом эксперименте.

1. Данная реализация «Базовой» тактики по результатам не отличается от «Простой». Скорее всего, недостаточно эффективно реализован алгоритм обхода скопления.

2. Детерминированные тактики оказались тоже неустойчивыми, то есть нужно всё равно набирать статистику и усреднять результаты тестирования.

Применение агентных моделей дает возможность анализировать недостатки геометрии зданий с локальной точки зрения, то есть выявлять локальные изменения в людском потоке, которые в дальнейшем могут приводить к таким глобальным изменениям потока как перестройка, пробка, поворот и т.п. В то же время такие модели позволяют исследовать проблемы движения, связанные с самим движущимся объектом: механизм движения и способы поведения на разных уровнях абстракции.

Перспективным направлением дальнейших исследований представляется создание вариантов стратегического поведения (методов достижения цели) с привлечением аппарата теории активных систем и теории игр, не обязательно для задач эвакуации, но и, например, для задач управления группой мобильных агентов.

## Литература

1. КОРЕПАНОВ В. О. *Модели движения агентов в замкнутом пространстве* // Труды IV Всероссийской школы-семинара молодых учёных «Проблемы управления и информационные технологии (ПУИТ'08)». 2008. – С. 118.
2. КОРЕПАНОВ В. О. *Реализация иерархической структуры агента* // Труды 51 Всероссийской молодёжной научной конференции «Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук». 2008. – Ч. 1 – С. 161.
3. ПРЕДТЕЧЕНСКИЙ В. М., МИЛИНСКИЙ А. И. *Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков*. – М.: Стройиздат. – 1979.
4. XIAOSHAN PAN, CHARLES S. HAN, KEN DAUBER, KINCHO H. LAW. *A multi-agent based framework for the simulation of human and social behaviors during emergency evacuations* / AI & Society. Springer-Verlag. – October 2007. – Vol. 22, Issue 2.

## **SIMULATION MODELS OF AGENTS TACTICAL BEHAVIOR**

**Vsevolod Korepanov**, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, post-graduate student ([kvsevolodo@mail.ru](mailto:kvsevolodo@mail.ru)).

*Abstract: Results of algorithms testing are described for agent-based model of building evacuation. Analysis of algorithms and their qualitative comparison are performed.*

**Keywords:** evacuation, agent-based model, level of tactical behavior.

*Статья представлена к публикации членом редакционной коллегии Н.Н. Непейвода.*