



403 Poyntz Avenue, Suite B
Manhattan, KS 66502
USA
+1.785.770.8511
www.thunderheadeng.com

г. Екатеринбург, ул. Первомайская 66 – 4
+7 (343) 319-12-62
www.pyrosim.ru

Техническое руководство

Pathfinder 2024.2

Оглавление

Оглавление.....	2
Дисклеймер	4
Благодарности	4
1. Обзор	5
1.1. Пример задачи IMO Тест 10	5
2. Геометрия	8
2.1. Элементы геометрии.....	8
3. Поведение и цели.....	12
3.1. Цели ожидания.....	12
3.2. Цели поиска.....	12
3.3. Цели.....	13
4. Поиск пути	17
4.1. Планирование пути	17
4.2. Генерация пути	20
4.3. Следование по пути.....	21
5. Режим SFPE.....	23
5.1. Параметры режима SFPE	23
5.2. Скорость	24
5.3. Движение через двери	26
5.4. Обработка столкновений/реагирование.....	27
6. Режим управляемого движения	28
6.1. Скорость	28
6.2. Ускорение.....	28
6.3. Оценка плотности агентов.....	29
6.4. Рулевое управление	30
6.5. Оценка движения	36
6.6. Состояние агентов.....	37
6.7. Приоритет.....	38
6.8. Разрешение конфликтов	38
6.9. Предотвращение столкновений/реагирование	40
6.10. Движение через двери	41
7. Агенты со средствами передвижения	42
8. Помощь при эвакуации.....	43
8.1. Цель помощи агентам	43
8.2. Цель «Ожидание помощи»	44
8.3. Алгоритм формирования коалиции	45

9. Лифты.....	48
9.1. Ожидание.....	48
9.2. Посадка	48
9.3. Высадка	49
10. Процедура решения	51
11. Формат входного файла Pathfinder	52
11.1. NODES - Узлы.....	52
11.2. VERTS - Вершины	52
11.3. NAVMESH – Навигационная сетка	52
11.4. DOORS - Двери (необязательно)	53
11.5. EDGES - Ребра (необязательно).....	54
11.6. PARAM - Параметры (необязательно)	55
11.7. EVENTS - События	57
11.8. BEHAVIORS - Поведения	57
11.9. PROFILES - Профили.....	60
11.10. TRIGGERS - Триггеры.....	63
11.11. FUNCTIONS - Функции.....	65
11.12. DISTRIBUTIONS - Распределения.....	66
11.13. COMPONENT RESTRICTIONS – Ограничения компонентов.....	67
11.14. TRIGGER SUSCEPTIBILITY – Восприимчивость к триггерам	67
11.15. OCCUPANT SHAPES – Формы агентов.....	68
11.16. ASSISTED EVACUATION TEAMS – Команды помощи эвакуации	69
11.17. OCCUPANT SOURCES – Источник агентов.....	69
11.18. TAGS - Метки.....	70
11.19. OCCUPANTS - Агенты	70
11.20. ELEVATORS - Лифты.....	71
11.21. ДРУГИЕ ПРИМЕЧАНИЯ	73
12. Формат файла видов	74
13. Дробная эффективная доза FED	75
14. Вычисление величин в области измерения	77
Библиография	78

Дисклеймер

Thunderhead Engineering не дает никаких гарантий, выраженных или подразумеваемых, пользователям Pathfinder и не несет никакой ответственности за его использование.

Пользователи Pathfinder принимают на себя исключительную ответственность в соответствии с федеральным законодательством за определение целесообразности его использования в любом конкретном случае; за любые выводы, сделанные на основе результатов его использования; и за любые действия, предпринятые или не предпринятые в результате анализа, проведенного с помощью этих инструментов.

Пользователей предупреждают, что Pathfinder предназначен для использования только теми, кто компетентен в области моделирования эвакуации. Pathfinder предназначен только для дополнения обоснованных суждений квалифицированного пользователя.

Программный пакет представляет собой компьютерную модель, которая может обладать или не обладать предсказательной способностью при применении к конкретному набору фактических обстоятельств. Отсутствие точных прогнозов модели может привести к ошибочным выводам. Все результаты должны оцениваться информированным пользователем.

Все другие названия продуктов и компаний, упоминаемые в данной публикации, являются торговыми марками, товарными знаками или зарегистрированными товарными знаками соответствующих владельцев.

Упоминание в данном документе компьютерного оборудования или коммерческого программного обеспечения не означает одобрения со стороны Thunderhead Engineering, а также не указывает на то, что эти продукты обязательно наилучшим образом подходят для предполагаемой цели.

Благодарности

Эта работа была частично профинансирована грантом Национального научного фонда США SBIR (Small Business Innovative Research) NSF.

Мы хотели бы поблагодарить компанию Rolf Jensen and Associates за помощь в тестировании и другие предложения, которые помогли в разработке симулятора.

Кроме того, мы хотели бы поблагодарить всех бета-тестеров, которые оставляли свои отзывы на веб-форумах и по электронной почте.

1. Обзор

Pathfinder является программой для моделирования эвакуации, которая использует управляемое поведение при моделировании движения агентов. Программа состоит из трех модулей: графический пользовательский интерфейс, расчетный блок и программа трехмерной визуализации результатов.

В Pathfinder используются два основных варианта моделирования движения агентов: режим SFPE и режим управляемого движения.

Режим SFPE (Глава 5)

Режим SFPE реализует идеи «Руководства SFPE по проектированию противопожарной защиты» (SFPE, Society of Fire Protection Engineers – Общество инженеров противопожарной защиты) [Нельсон и Маурер, 2002]. Это поточная модель, где скорость движения определяется плотностью людского потока в пределах каждого помещения, а поток через двери регулируется шириной двери.

Режим рулевого управления (Глава 6)

Режим управляемого движения основан на инверсном управляемом поведении. Понятие «управляемого поведения» (steering behaviors) было впервые представлено в работе Крэйга Рэйнольдса «Направления движения автономных персонажей» (Steering Behaviors For Autonomous Characters) [Рейнольдс, 1999] и позднее развито в «инверсное управляемое поведение» в работе Хени Бен Амора [Амор и др., 2006]. В режиме управляемого движения в Pathfinder могут естественным образом возникать сложные поведения, как побочный продукт алгоритмов движения: таким образом, отсутствует необходимость напрямую контролировать очереди перед дверьми и плотность потока.

Pathfinder включен в обзор NIST по моделям эвакуации Kuligowski, Peacock, and Hoskins 2010, но самый актуальный набор функций и возможностей может быть не отражен в этом документе.

1.1. Пример задачи IMO Тест 10

При обсуждении часто бывает полезно иметь пример, на котором можно проиллюстрировать те или иные моменты. Одним из часто упоминаемых примеров является тест 10 от Международной морской организации IMO [IMO 2016].

Данная тестовая задача представляет собой участок коридора между каютами, как показано на рисунке 1, каюты заселены, как указано. Население состоит из мужчин 30-50 лет с минимальной скоростью ходьбы 0,97 м/с, средней скоростью 1,30 м/с и максимальной скоростью 1,62 м/с. Задержка реакции отсутствует, а скорости ходьбы равномерно распределены между минимальной и максимальной для 23 агентов. Агентам в кабинах 5 и 6 назначен запасной выход; все остальные агенты пользуются главным выходом. Ожидаемый результат заключается в том, что назначенные агенты направляются к соответствующим выходам.

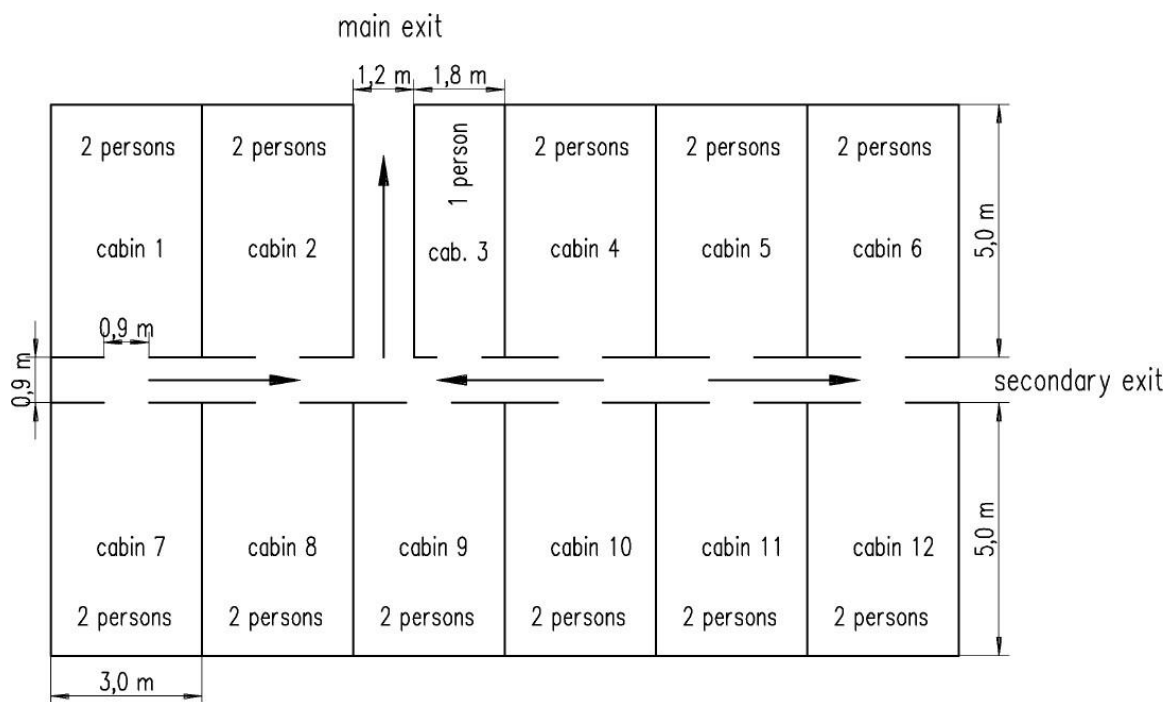


Рисунок 1. Площадь кабины (из IMO, 2002)

Отображение движения людей (рис. 2) показывает, что люди выбрали назначенные выходы. На этом экране отображаются пути всех агентов, а выбранные агенты и их пути выделены.

При анализе режима управления все агенты покинули коридор за 18,0 секунд.

Результаты для режима SFPE показаны на рисунке 3. В режиме SFPE агенты образуют очередь у главного выхода, и поток через эту дверь контролирует время выхода. При анализе SFPE все агенты вышли за 21,2 секунды. В режиме SFPE агенты могут пересекаться в пространстве во время движения и формирования очереди.

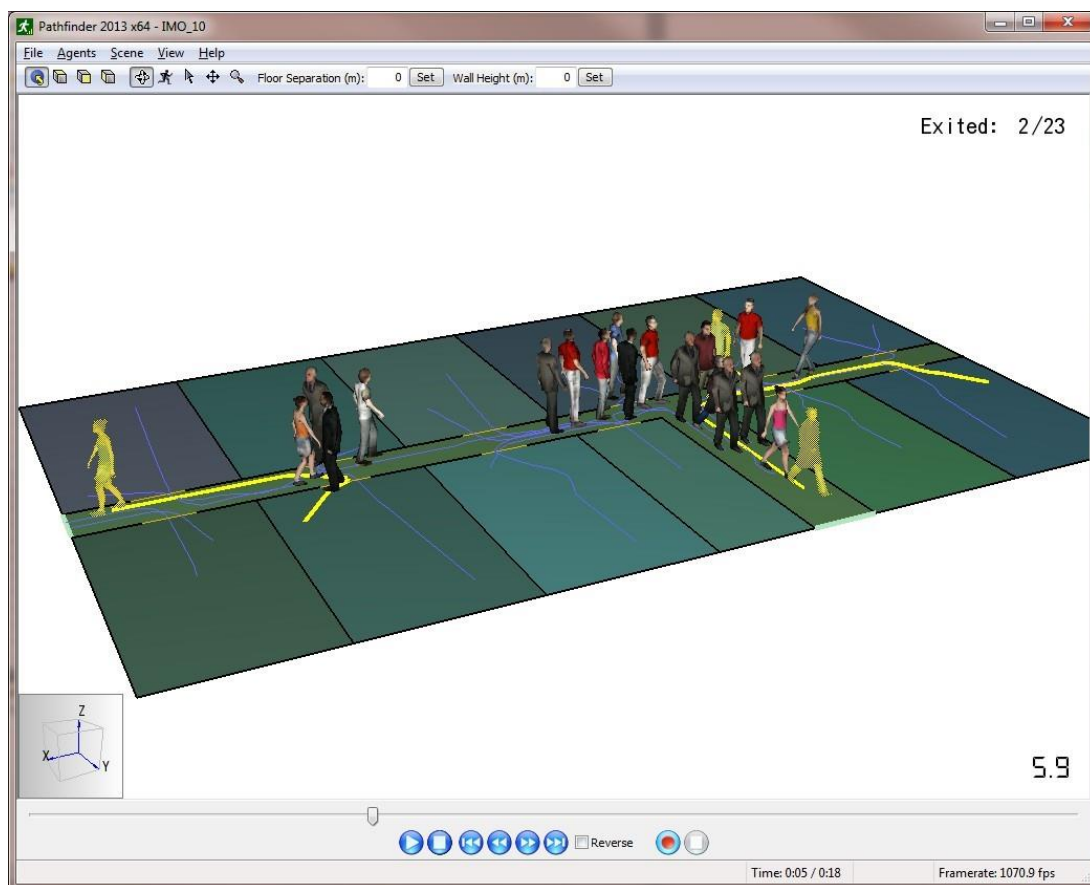


Рисунок 2. Результаты режима управления для задачи IMO 10, показывающие перемещение людей, обратите внимание, как выделенные люди перемещаются к назначенным выходам.

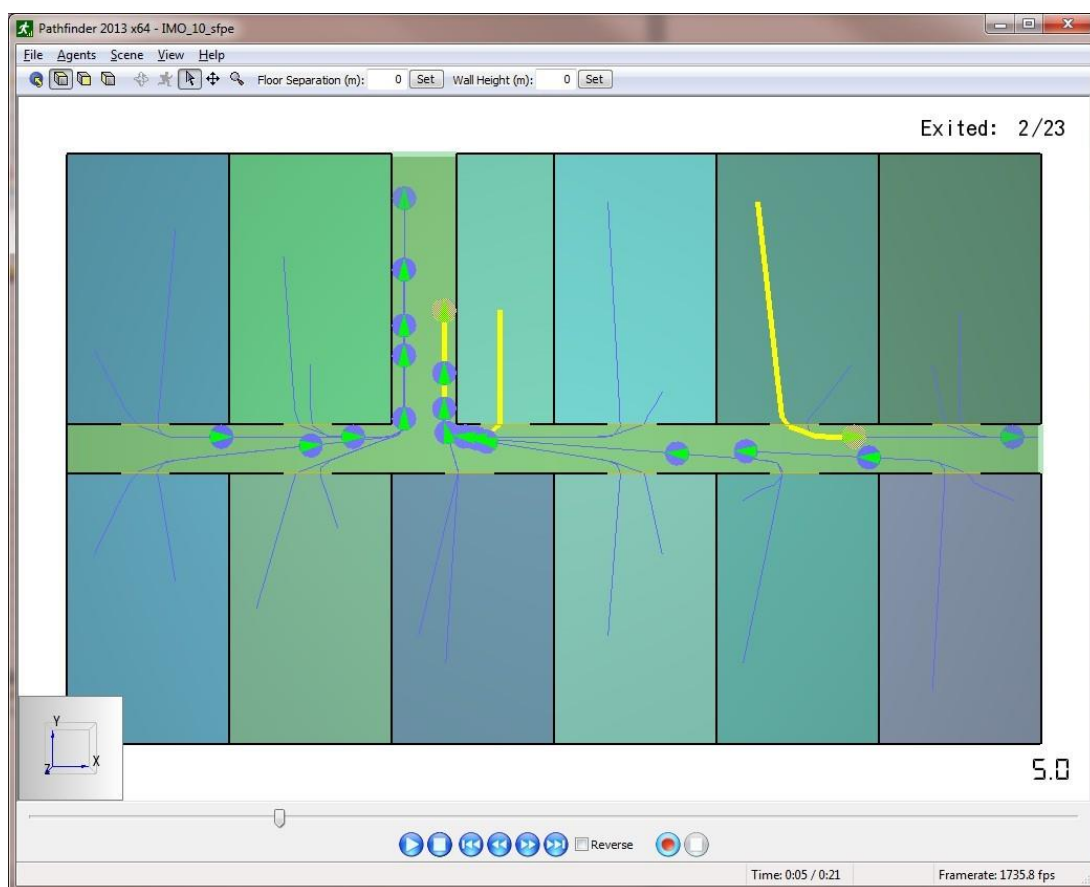


Рисунок 3. Результат режима SFPE для задачи IMO 10, обратите внимание, что несколько агентов могут занимать одно и то же место.

2. Геометрия

Pathfinder использует трехмерную геометрическую модель (Рисунок 4). На основе существующей модели создается навигационная сетка. Навигационная сетка представляет собой нерегулярную одностороннюю поверхность, представленную смежными треугольниками. Движение агента происходит в границах этой навигационной сетки.

На рисунке 4 показана трехмерная модель таунхауса, а на рисунке 5 – соответствующая ей навигационная сетка. Pathfinder поддерживает рисование или автоматическое создание навигационной сетки из импортированной геометрии, включая файлы Fire Dynamics Simulator (FDS), файлы PyroSim и распространенные форматы файлов CAD.



Рисунок 4. 3D-геометрия

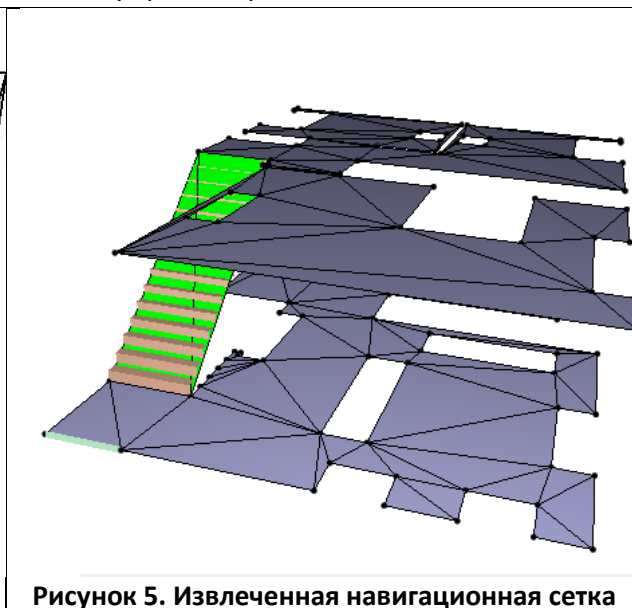


Рисунок 5. Извлеченная навигационная сетка

Как видно на рисунке 5, препятствия в Pathfinder неявно представлены в виде пробелов в навигационной сетке. Поскольку агенты могут перемещаться только по навигационной сетке, эта техника позволяет избежать влияния на моделирование препятствий, находящихся над головой агентов. Когда навигационная сетка создается путем импорта геометрии, любая область сетки, заблокированная твердым объектом, автоматически удаляется. Что касается нависающих препятствий, генератор сетки считает препятствием любое препятствие в пределах 1,8 метра (6 футов) от пола.

2.1. Элементы геометрии

Геометрия навигации организована в виде помещений произвольной формы. Каждое помещение имеет внутренние (необязательно) и внешние границы, которые не могут быть пересечены агентом.

Перемещение между двумя смежными помещениями осуществляется через двери.

Дверь, которая не соединяет два помещения и расположена на внешней границе помещения, является выходом. В модели может быть несколько выходов. Когда агент входит в выход в режиме SFPE, он ставится в очередь перед дверью и удаляется со скоростью потока, определенной SFPE. Агенты, которые входят в выходную дверь в режиме реактивного управления, удаляются из моделирования немедленно.

Рисунок 6 иллюстрирует эти понятия для задачи IMO Test 10. Помещения (и коридоры) окрашены разными цветами. Двери из отдельных помещений в коридор (просто еще одно помещение в модели) обозначены толстой оранжевой линией. Выходные двери обозначены толстой светло-зеленой линией. Агенты показаны синими точками.

На геометрию накладывается навигационная сетка.

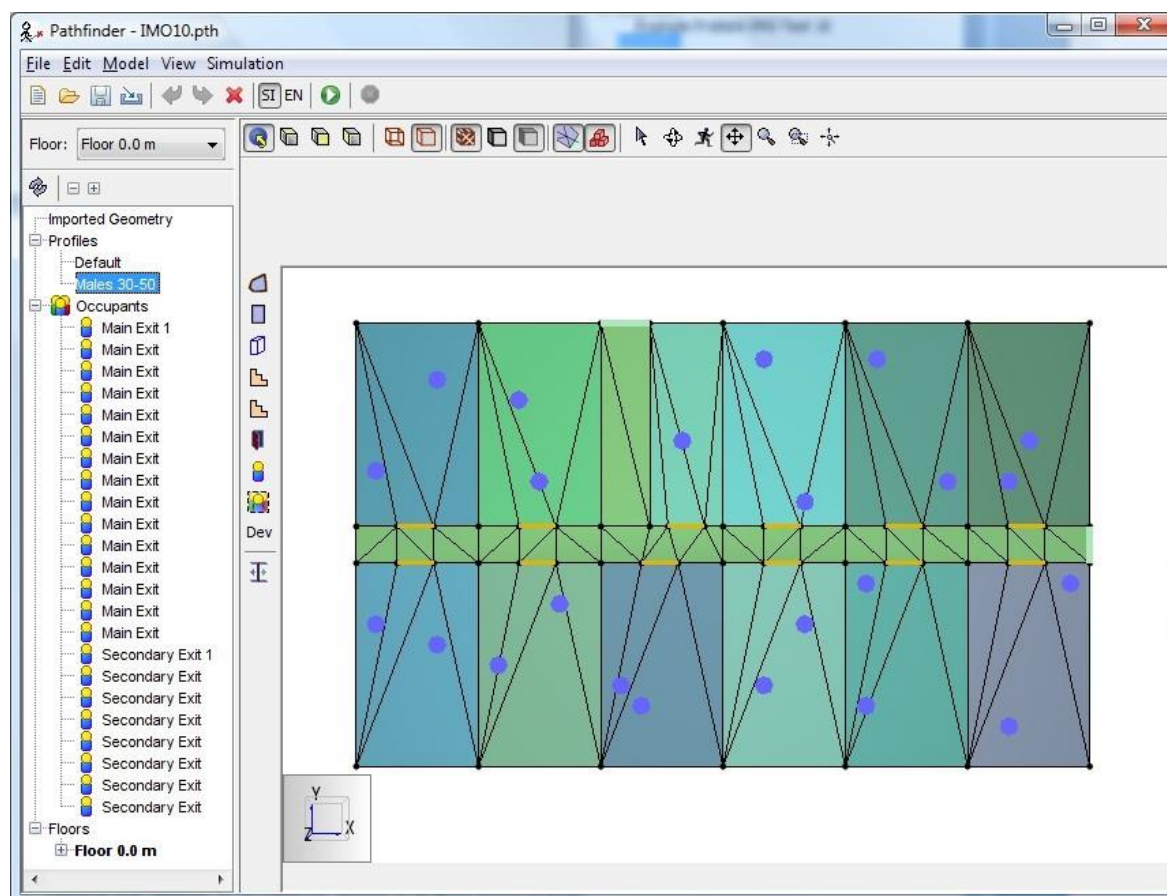


Рисунок 6. Помещения, двери, выходы и навигационная сетка в задаче IMO Test 10

Любое место на навигационной сетке может быть отнесено к одному из четырех типов местности: открытое пространство, лестницы, двери и выход. Пандусы и помещения классифицируются как открытое пространство. Каждый тип местности влияет на поведение людей на данном участке сетки.

2.1.1. Помещения

Открытое пространство внутри помещения не накладывает явных ограничений на передвижение. Помещения, созданные в пользовательском интерфейсе с помощью инструментов рисования, считаются открытым пространством с ровным рельефом, даже если их повернуть так, чтобы они имели наклон. В режиме SFPE максимальная скорость передвижения агентов зависит от плотности населения в помещении.

Примечание

Хотя помещение можно повернуть так, чтобы она стала похожа на рампу, оно все равно остается помещением и при расчете скорости считается ровной местностью.

Единственный способ создать рампу в пользовательском интерфейсе – использовать один из инструментов рисования рампы.

2.1.2. Лестницы

Лестницы соединяют помещения на разных уровнях. Они обозначают зоны, в которых максимальная скорость движения людей контролируется альтернативным расчетом, специфичным для лестничных маршей. Конкретный расчет скорости приводится в разделе «Лестница» для каждого режима моделирования.

Сверху и снизу каждой лестницы есть две двери. Хотя пользователь может редактировать ширину и события активации дверей, их нельзя напрямую перемещать или удалять независимо от лестницы. Эти двери соединяют сетку лестницы с сетками соседних помещений и функционируют так же, как и обычные двери, соединяющие помещения.

Как и двери, лестницы обычно можно проходить в любом направлении, но они также могут быть назначены как односторонние. Программа моделирует это, делая обе двери на концах лестницы односторонними.

Для каждой лестницы в интерфейсе задаются высота и глубина ступени. Отношение высоты к глубине не обязательно соответствуют геометрическому наклону лестницы. Это важно для расчета скорости движения агентов по лестнице, о чем говорится в разделе 5.2.

2.1.3. Предполагаемые лестницы

Предполагаемые лестницы обнаруживаются во время выполнения программы для каждого агента путем анализа геометрии навигационной сетки. Когда Pathfinder обнаруживает людей на предполагаемых лестницах, их скорость и расстояние корректируются путем проекции движения на наклонную диагональ, а не на исходную ступенчатую геометрию.

При определении максимальной скорости агента Pathfinder выполняет геометрический тест, используя направление движения агента и максимальную длину проступи. Если человек стоит на «открытой» области сетки (т. е. на области, которая не была назначена в качестве лестницы или пандуса), а геометрия указывает на лестничную площадку в пределах половины длины максимальной глубины проступи либо перед, либо за человеком, считается, что человек движется по предполагаемой лестнице, и эта площадка будет служить в качестве опорной ступеньки. Обратите внимание, что поскольку пользовательские лестницы представлены на навигационной сетке с помощью диагональной, а не ступенчатой геометрии, они не будут ошибочно идентифицированы или «дважды учтены» как предполагаемые лестницы. Затем Pathfinder выполняет дополнительный поиск соседней ступени для определения глубины проступи.

В случаях, когда можно определить дополнительную ступеньку, она используется для расчета глубины проступи и уклона лестницы. Если дополнительную ступень определить невозможно, Pathfinder использует значение по умолчанию для уклона.

В моделях, где включена инерция, подробные выходные данные для людей, входящих в пролет предполагаемой лестницы, могут показывать данные о скорости, превышающей максимальную скорость человека. Эта аномалия связана с проецированием исходной горизонтальной скорости агента на предполагаемую диагональ и не является признаком ошибки в базовой модели.

В выведенной системе лестниц используется несколько констант.

Таблица 1. Константы для предполагаемых лестниц

Описание	Значение
Наклон по умолчанию	32,5 градуса
Максимальный уклон	50.0 градусов
Максимальная глубина ступени	0,33 метра
Минимальный угол наклона подъема	74 градуса

В случаях, когда геометрия указывает на уклон, превышающий Максимальный уклон, скорость агента будет ограничена значением скорости агента для Максимального уклона. Чтобы «ступенька» была обнаружена как предполагаемая лестница, вертикальные треугольники сетки, образующие элемент подъема, должны образовывать с уровнем пола угол не менее Минимального угла подъема.

2.1.4. Рампы

Пандусы/рампы создаются и представляются в модели Pathfinder очень похоже на лестницы, но в расчете они обрабатываются совсем по-другому. Как и лестницы, пандусы имеют две двери на каждом конце и могут быть сделаны односторонними. Однако, в отличие от лестниц, пандусы не влияют на скорость агентов при использовании стандартных расчетов скорости пандуса SFPE. При использовании пользовательской функции скорости пандуса входной уклон является геометрическим и не может быть введен пользователем.

2.1.5. Двери (соединители)

Двери соединяют два соседних помещения между собой. В режиме SFPE они выступают в качестве основного механизма управления потоком, о чем говорится в разделе 5.3, но в режиме управления двери просто регистрируют поток между помещениями для анализа результатов, если только они явно не настроены на ограничение потока.

Обычно люди могут проходить через двери в любом направлении, однако в пользовательском интерфейсе дверь может быть помечена как односторонняя. Это ограничивает прохождение людей через дверь только в указанном направлении, если только профиль человека не диктует иное.

2.1.6. Двери (выходы)

Выходы — это особый случай дверей, обозначающих выходы из здания. Они окрашиваются в ярко-зеленый цвет, чтобы обозначить выходную дверь, а не внутреннюю соединительную дверь, которая окрашивается в коричневый цвет.

3. Поведение и цели

В пользовательском интерфейсе каждому агенту назначается поведение. Поведение диктует последовательность целей, которые агент должен достичь при моделировании.

В Pathfinder есть два основных типа целей:

- Цели ожидания

Цели, при которых агент должен ждать в определенном месте до наступления какого-либо события, например, истечения определенного интервала времени или прибытия лифта на нужный этаж.

- Цели поиска

Цели, в которых человек движется к пункту назначения, например, к точке маршрута, помещению, лифту или выходу.

- Мгновенные цели

Цели, которые достигаются за один временной интервал.

3.1. Цели ожидания

В режиме ожидания агенты ждут, пока не произойдет нужное событие. Пока агент ожидает в режиме SFPE, он стоит на месте до наступления события. Во время ожидания в режиме рулевого управления агент использует разделение для сохранения дистанции от других агентов (см. раздел 6.4.2).

Поскольку в режиме рулевого управления агент может двигаться, ему назначается область сдерживания, которая зависит от предыдущей цели поиска в его поведении. Если человек покидает эту область из-за разделения, он создает и использует временную цель поиска, чтобы вернуться в эту область.

Области определяются следующим образом:

- Если предыдущей целью поиска была путевая точка, агент старается оставаться в радиусе путевой точки.
- Если предыдущей целью поиска было помещение (в том числе лифт), человек старается оставаться в помещении, подальше от дверей, позволяя другим людям войти внутрь.
- Если не было предыдущей цели поиска, человек может двигаться в любом месте сетки.

3.2. Цели поиска

Когда агент в поиске, он пытается найти пункт назначения на сетке. Чтобы добраться до места назначения, агент использует планирование пути, генерацию пути и следование по пути, как обсуждается в главе 4.

3.3. Цели

Ниже перечислены типы целей в Pathfinder. Некоторые из них имеют соответствующее действие поведения в пользовательском интерфейсе, а другие могут быть созданы как подцели определенного действия поведения.

Помощь агентам (поиск)

Агент присоединяется к группе эвакуации и помогает клиентам, см. раздел 8.1.

Изменить поведение (мгновенно)

Приказывает агенту сменить поведение на новое поведение, выбранное случайным образом из распределения поведений.

Изменить профиль (мгновенно)

Дает указание агенту переключиться на другой профиль, выбранный случайным образом распределения профилей.

Изменить свойства профиля (мгновенно)

Дает указание пользователю изменить значение свойства по сравнению с тем, которое указано в его профиле.

Переустановить свойство профиля (мгновенно)

Приказывает агенту сбросить значение свойства до значения, указанного в его профиле.

Изменить тэги (мгновенно)

Позволяет агенту добавлять, удалять или устанавливать свои теги.

Отделиться от помощников (мгновенно)

Приводит к тому, что клиент, которому оказывается помощь, отсоединяется от своих помощников.

Создать триггер (мгновенно)

Создает триггеры в модели из набора шаблонов.

Уничтожить триггер (мгновенно)

Уничтожает все триггеры из набора шаблонов, созданных агентом.

Наполнение помещений (ожидание)

Заставляет агента искать место в помещении вдали от всех активных дверей, см. раздел «Заполнение помещений». Эта цель не добавляется явно в поведение; она следует за действием «Идти в помещение» и «Ждать» и происходит во время ожидания.

Идти к лифту (поиск/ожидание)

Определяется лифт или набор лифтов, которыми должен воспользоваться агент. Эта цель реализована в Pathfinder с помощью комбинации цели поиска помещений и цели ожидания. Как обсуждалось в главе 9, на каждом этаже, к которому прикреплен лифт, есть виртуальное помещение, представляющее лифт. Часть цели поиска помещений в лифте указывает на одно или несколько таких виртуальных помещений. Виртуальные помещения выбираются в зависимости от местоположения предыдущей цели поиска.

Если предыдущая цель поиска прикреплена к лифту на том же этаже, помещение лифта на этом этаже выбирается в качестве целевого помещения. Если нет, то проверяется следующий этаж. Так продолжается до тех пор, пока не будет достигнут нижний этаж. Если связь с лифтом не найдена, поиск продолжается на следующих этажах вверх от предыдущей цели поиска. Так продолжается до тех пор, пока не будет найдено помещение для захвата лифта, которое соединяется с предыдущей целью поиска. Как только агент входит в виртуальное помещение для захвата лифта, он переходит в состояние ожидания и ждет. Как только лифт достигает разгрузочного этажа, система управления лифтом меняет помещение агента на виртуальное разгрузочное помещение, и агент завершает выполнение задачи «Идти к лифту».

Идти к выходу (поиск)

Определяется дверь или набор дверей, к которым стремится человек. Цель достигается, как только он пересекает одну из дверей выхода. Кроме того, агент удаляется из моделирования.

Идти в помещение (поиск)

Определяется помещение или набор помещений, в которые нужно попасть. Цель будет достигнута, как только агент пересечет дверь, ведущую в одну из помещений.

Идти к путевой точке (поиск)

На сетке задается точка с радиусом. Человек пытается добраться до точки. Путевая точка будет достигнута, как только агент окажется в заданном радиусе от точки.

Идти к динамической цели (поиск)

Агент стремится к движущейся цели. Этой целью может быть другой агент или триггер. Цель может быть достигнута, как только агент достигнет радиуса цели, или же он может преследовать цель непрерывно, пока она не станет недействительной.

Ждать (ожидание)

Агент переходит в состояние ожидания и ждет, пока не истечет таймер.

Ждать до (ожидание)

Агент переходит в состояние покоя и ждет, пока не пройдет заданное значение времени моделирования.

Ждать помощи (ожидание)

Агент стоит на месте, пока все позиции прикрепленных агентов не будут заполнены помощниками. См. раздел 8.2 для получения дополнительной информации.

В пользовательском интерфейсе агенту может быть назначено действие поведения «Идти в зону безопасности». Однако в симуляторе нет соответствующей цели. Для агентов без помощи это просто становится целью «Идти в помещения».

Однако для клиентов, которым оказывается помощь, устанавливается следующая последовательность целей:

1. Идти в помещения – указывает клиенту перейти к помещениям-зонам безопасности.

2. Заполнение помещений – см. раздел «Заполнение помещений» ниже.
3. Отделиться от помощников – позволяет помощникам отделиться и продолжать помогать другим клиентам.

3.3.1. Заполнение помещений

В режиме управления, когда агентам приказано пройти в помещение и подождать, они будут стараться заполнить помещение, чтобы другие агенты тоже могли туда войти.

Заполнение помещений может быть вызвано любым из следующих сценариев:

- Поведение агента имеет цель «Идти в помещение», а затем цель «Ждать».
- Поведение агента имеет цель «Идти к лифту».
- Поведение агента было назначено действием «Идти в зону безопасности» в пользовательском интерфейсе.

Для того чтобы заполнить помещение, агенты проходят ряд этапов:

- Получение карты расстояний до двери.
- Определение идеального направления поиска, чтобы переместить человека в наиболее удаленное от дверей незанятое место.
- Решение, стоит ли двигаться в направлении идеального поиска.

3.3.2. Карта расстояний до дверей

На первом этапе заполнения помещений необходимо получить карту расстояний до дверей, которая показывает, на каком расстоянии находится дверь от любой точки помещения. Эта карта создается путем разбиения помещений на более мелкие треугольники, как показано на рисунке 7. Для каждой вершины разделенного треугольника генерируется значение расстояния, которое является минимальным расстоянием до набора дверей. Цветная версия этой карты расстояний показана на рисунке 8.

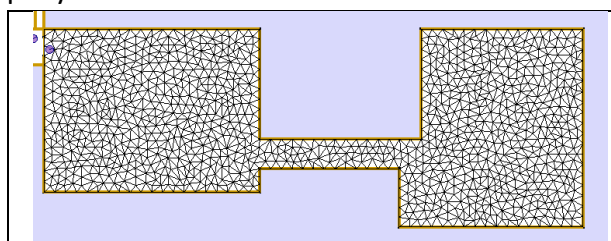


Рисунок 7. Разделение помещения на части для построения карты расстояний до дверей

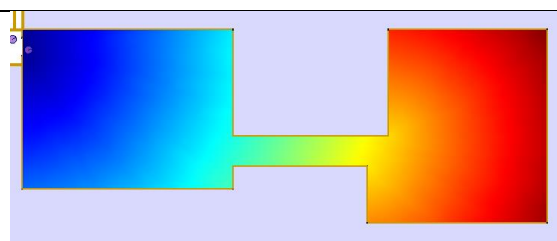


Рисунок 8. Карта расстояний до дверей

Набор дверей, используемых для создания карты расстояний, зависит от того, может ли агент передвигаться по помещению. Для людей, которым оказывается помощь и которые не могут самостоятельно передвигаться и будут оставлены в помещении, набор включает все двери, прикрепленные к помещению. Для всех остальных агентов в набор включаются только активные двери. Активная дверь — это дверь, по другую сторону которой находятся люди, ожидающие входа, или через которую в течение последних 15 секунд проходил человек в текущее помещение. Агент будет периодически проверять, не

изменилась ли карта расстояний до дверей, и соответствующим образом обновлять свои решения.

3.3.3. Идеальное направление поиска

Получив карту расстояния до дверей, агент определяет идеальное направление поиска.

Для этого агент создает пробные направления, которые находятся на расстоянии 30° друг от друга и охватывают все 360° . Для каждого пробного направления агент исследует карту расстояний, чтобы найти максимальное расстояние до двери, которое можно получить в этом направлении, и определить, как далеко до этого места. Затем агент проверяет, не столкнется ли он с другими агентами в этом направлении и как далеко до столкновения. Затем агент ограничивает расстояние, которое можно проехать в этом направлении, минимальным из расстояния до столкновения с агентом и расстояния до максимального расстояния до двери.

В соответствии с картой расстояний до дверей агент выбирает пробное направление, которое обеспечивает наибольшее расстояние до двери.

3.3.4. Решение, стоит ли двигаться

Получив идеальное направление поиска, человек решает, двигаться ли ему в этом направлении или просто оставаться на месте.

Если агенту помогают, он не может двигаться самостоятельно и остается в помещении, он всегда будет двигаться в направлении идеального поиска. В противном случае агент будет двигаться, только если в радиусе 1 метра есть другие агенты, которые находятся на отрицательной стороне плоскости. Плоскость определяется местоположением агента и идеальным направлением поиска.

4. Поиск пути

Когда у агента есть цель, к которой он стремится, ему нужен план, как достичь цели, путь, по которому он должен следовать, и способ следования по этому пути с учетом динамических препятствий на пути, таких как другие агенты.

Pathfinder может использовать два режима для моделирования движения людей в модели.

- Режим SFPE реализует методы моделирования эвакуации на основе потока, представленные в SFPE Handbook of Fire Protection Engineering (SFPE 2016) и SFPE Engineering Guide: Human Behavior in Fire (SFPE 2019).
- В режиме управляемого движения (Steering) используется комбинация механизмов рулевого управления и обработки столкновений для контроля за тем, как агент следует по кривой поиска. Эти механизмы позволяют агенту отклоняться от траектории, но при этом двигаться в правильном направлении к цели.

4.1. Планирование пути

Планирование пути — это процесс определения плана движения к цели.

Если человек стремится попасть в пункт назначения, у него может быть несколько путей, каждый из которых отличается по длине, количеству людей на пути и различным опасностям. Наивный подход к планированию маршрута заключается в выборе кратчайшего пути. Это может быть не самый быстрый или лучший путь к цели для конкретного агента, для этого ему нужно найти путь из помещения за наименьшее количество времени. В Pathfinder эта задача решается с помощью метода «локально самый быстрый».

Чтобы спланировать путь, агент использует следующие шаги:

1. Создается список локальных целей. По умолчанию локальные цели включают в себя двери, расположенные в текущем помещении, которые могут привести к цели поиска.

Примечание

Дверь ведет к цели поиска, если кратчайший путь от этой двери к цели проходит непосредственно за пределами текущего помещения или существует путь от двери к цели, который не проходит через помещения более одного раза и не проходит через текущее помещение (см. раздел 4.1.3).

Если искомая цель находится в текущем помещении, она добавляется в список локальных целей.

2. Выбор локальной цели на основе локальных и глобальных знаний о модели и предпочтений агента. Это обсуждается в разделе 4.1.2.
3. Движение к локальной цели, используя генерацию пути и следование по нему, периодически повторяя эти шаги до тех пор, пока не будет достигнута конечная цель поиска.

4.1.1. Локально самый быстрый

Локально самый быстрый — это подход к планированию маршрута, используемый в Pathfinder для решения этой проблемы. Он планирует маршрут иерархически, используя локальную информацию о текущем помещении агента и глобальные знания о здании. Предполагается, что агент знает обо всех дверях в своем текущем помещении, а также об очередях у этих дверей. Также предполагается, что агент знает, как далеко от одной из этих дверей до текущего пункта назначения (цели поиска). Локально самый быстрый использует эту информацию для выбора двери в текущем помещении на основе рассчитанной стоимости этой двери. Затем генерируется путь к этой двери, по которому агент может следовать.

4.1.2. Выбор двери

Как упоминалось на этапе 2 процесса планирования пути, агент выбирает локальную цель, рассчитывая стоимость цели и выбирая цель с наименьшей стоимостью.

Стоимость каждой цели определяется на основе множества критериев и предпочтений агента.

Критерии следующие:

- Время прохождения текущего помещения, t_l
- Время, которое потребуется агенту, чтобы достичь цели на максимальной скорости, не обращая внимания на других агентов.
- Время в очереди в текущем помещении, t_q

Если цель не является дверью, время ожидания равно 0. Если это закрытая дверь, которая больше никогда не откроется, время ожидания равно бесконечности, что исключает дверь из рассмотрения.

Если целью является открытая дверь, то время ожидания в очереди — это оценка времени ожидания агента в очереди у двери, основанная на его положении в очереди и наблюдаемой скорости потока у двери. Наблюдаемая скорость потока рассчитывается с помощью биквадратного фильтра низких частот с частотой среза .05 Гц. Если на двери нет противотока, скорость потока, которую видит агент, ограничивается таким образом, чтобы она никогда не была меньше $\text{min_flowrate_factor} * \text{door_nominal_flow}$. $\text{min_flowrate_factor}$ задается в пользовательском интерфейсе как «Минимальный коэффициент потока», а door_nominal_flow — это номинальная скорость потока на двери, рассчитанная SFPE, или скорость потока, заданная в пользовательском интерфейсе для двери.

Примечание

Частота среза фильтра в настоящее время не настраивается в пользовательском интерфейсе.

Если целью является закрытая дверь, которая откроется в будущем, например, дверь лифта, время ожидания рассчитывается как:

$t_q = t_{\text{open}} + t_{\text{qnom}}$

где t_{open} – расчетное время до открытия двери, а t_{qnom} – время ожидания в очереди с другими агентами с использованием параметра `door_nominal_flow`, как описано выше. При этом предполагается, что после открытия двери поток будет идти с номинальной скоростью, поскольку наблюдаемая скорость потока ненадежна, пока дверь закрыта.

Полное время движения, t_{gt}

Время, которое потребуется агенту, чтобы добраться от цели до текущей цели поиска с максимальной скоростью, игнорируя всех других агентов. Если цель является текущей целью поиска, это время равно 0. В глобальное время движения также включаются следующие параметры:

- Время ожидания у дверей, в том числе у локальных дверей
- Модификаторы скорости в помещении
- Время разгрузки лифта (см. раздел 9.1.1)

Расстояние, пройденное в помещении, dt

Расстояние, пройденное человеком с момента входа в текущее помещение.

У каждого агента также есть набор предпочтений по выбору двери, которые можно настроить в пользовательском интерфейсе.

Эти предпочтения таковы:

- Коэффициент стоимости времени прохождения текущего помещения, k_{lt}
- Коэффициент стоимости, связанный с временем движения по текущему помещению.
- Коэффициент стоимости времени ожидания в текущей очереди, k_q
- Коэффициент стоимости, связанный с текущим временем ожидания в помещении.

Коэффициент стоимости глобального времени в пути, k_{gt}

Коэффициент стоимости, связанный с глобальным временем движения.

Предпочтение текущей двери, p

Значение, которое отдает предпочтение последней выбранной цели. Это значение также помогает предотвратить частое переключение локальных целей.

Штрафное расстояние в текущем помещении, k_{dd}

Удвоенное расстояние, которое превращается в коэффициент стоимости. Этот коэффициент приводит к тому, что затраты на время движения увеличиваются по мере того, как человек перемещается дальше по помещению. Это приводит к тому, что люди предпочитают двери с меньшим общим расстоянием и меньшим временем, чем дальше они входят в помещения. Это упрощенный способ моделирования усталости, который помогает снизить частоту смены локальных целей.

Стоимость конкретной цели рассчитывается следующим образом:

$$C_{target} = C_l + C_g$$

$$C_g = p_d k_{gt} t_{gt}$$

$$C_l = \max(p_d k_{lt} t_{lt} | k_{qh} k_{qt} t_q)$$

$$p_d = e^{k_{dd} t_d}$$

$$k_d = \frac{\log 2}{k_{dd}}$$

В приведенном выше уравнении k_{qh} задается равным 1,0 – p для последней выбранной цели и 1,0 для всех остальных целей.

Каждый агент выбирает дверь с помощью этой техники, когда впервые входит в помещение. Выбор второй двери в помещении рандомизируется для каждого агента от 0 до 1 секунды спустя. Выбор третьей и последующих дверей происходит с интервалом в 1 секунду от выбора второй двери.

Примечание

В настоящее время этот интервал не настраивается в пользовательском интерфейсе.

4.1.3. Предотвращение обратного движения

Агенты знают только о размерах очередей и скорости потока для дверей в текущем помещении. Когда они входят в новое помещение, знания о предыдущем помещении заменяются знаниями о текущем помещении. Без какой-либо системы предотвращения обратного пути большие очереди могут привести к тому, что люди будут ходить туда-сюда между двумя помещениями, причем потенциально в течение долгого времени (пока не освободится предыдущее помещение).

В Pathfinder, как только агенту удастся выйти из помещения через определенную дверь, он закрепляется за этим решением, используя следующие правила:

1. Следующая локальная дверь, которую выберет агент, не может вести ни в одно из предыдущих помещений. Если это правило исключает все варианты (например, агент прошел через незапланированную дверь), то
2. Если функция предотвращения обратного хода отключена, агент может выбрать любую действующую локальную дверь.

4.2. Генерация пути

После того как локальная цель была выбрана с помощью планирования пути, необходимо найти путь для достижения цели. Pathfinder использует алгоритм поиска A* (Hart, Nilsson, and Raphael 1968) и триангулированную навигационную сетку. Результирующий путь представлен в виде серии точек на гранях треугольников сетки. Эти точки создают ломаную кривую до цели.

Чтобы сгладить этот неровный путь, Pathfinder использует вариацию техники, известную как «вытягивание струны» (Johnson 2006). При этом точки выравниваются таким образом,

что результирующий путь изгибается только на углах препятствий, но остается на расстоянии не менее радиуса агента от этих препятствий.

Примеры таких сгенерированных точек, называемых путевыми точками, показаны на рисунке 9.

В этом примере показан проектируемый путь человека в простом прямоугольном помещении.

Агент стоит в левом нижнем углу и планирует выйти из правого нижнего угла. Навигационная сетка показана тонкими линиями, которые образуют треугольники внутри прямоугольной области. Препятствие мешает агенту идти прямо к выходу. Планируемый путь агента показан темной линией, а путевые точки – кружками. Для каждого ребра, пересекающего путь, генерируется путевая точка.

После того как эти путевые точки найдены, Pathfinder удаляет промежуточные точки, которые лежат между двумя другими по прямой линии. Таким образом создается серия путевых точек только в тех местах, где направление движения будет меняться.

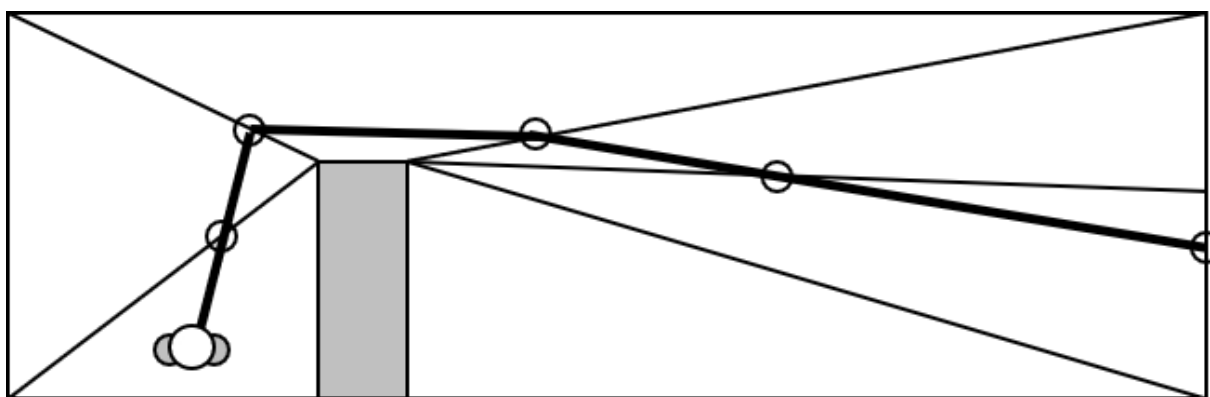


Рисунок 9. Запланированный путь агента с указанием путевых точек

4.3. Следование по пути

После того как путь сгенерирован, агенту нужно найти способ следовать по путевым точкам. Для этого он выполняет следующие действия:

1. Отслеживаются две путевые точки:
 - a. текущая путевая точка, которая изначально является самой удаленной путевой точкой на пути, определяющей изгиб пути
 - b. следующая путевая точка, определяющая следующий изгиб пути.
2. Агент проверяет, должна ли следующая путевая точка стать текущей. Это определяется путем проверки, пересек ли он бесконечную линию, соединяющую текущую и следующую путевую точку. Если линия пересечена, следующая путевая точка становится текущей и определяется новая следующая путевая точка.
3. Агент проверяет необходимость повторного прокладывания маршрута. Агенты должны изменить маршрут, если они не видят прямой линии к текущей путевой точке или если пришло время пересмотреть выбор текущей двери в соответствии с локально самым быстрым методом.

4. Для определения желаемого движения генерируется кривая поиска. В режиме SFPE эта кривая представляет собой отрезок прямой линии от текущего положения до текущей путевой точки. В режиме управляемого движения это квадратичный B-сплайн, использующий текущее положение, текущую путевую точку и контрольную точку, которая проецируется назад по направлению от текущей путевой точки к следующей.
5. Человек пытается двигаться по касательной к текущей кривой поиска.

Это движение сильно зависит от режима движения (SFPE или управляемое) и рассматривается в следующих разделах.

На следующих изображениях показаны пути и путевые точки для задачи IMO Test 10 для режимов SFPE (Рисунок 10) и управляемого (Рисунок 11). Зеленые линии указывают на текущие кривые поиска для каждого агента. Красные линии и точки указывают будущие пути и путевые точки. Обратите внимание на прямую кривую поиска в режиме SFPE по сравнению со сплайном, используемым в режиме рулевого управления.

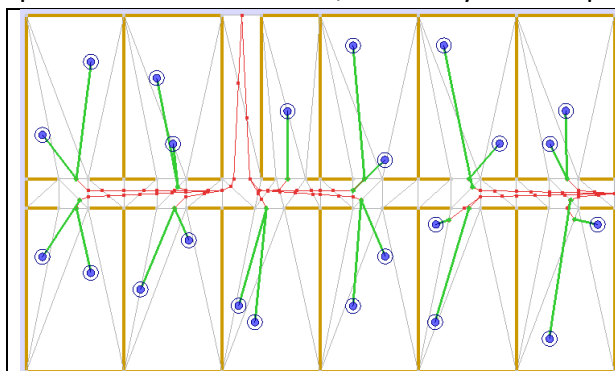


Рисунок 10. Пути и путевые точки в режиме SFPE

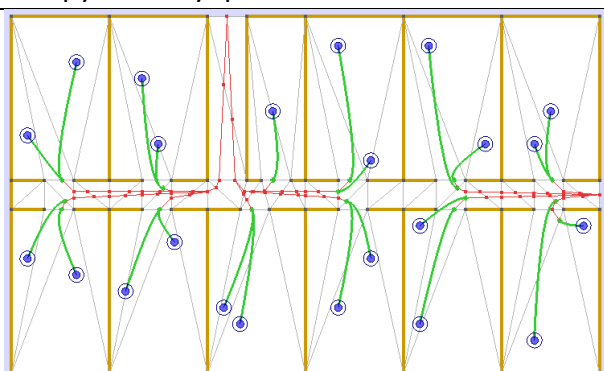


Рисунок 11. Пути и путевые точки в режиме управления

5. Режим SFPE

В Pathfinder предусмотрена возможность расчета движения в режиме SFPE. В этом режиме реализуются методы моделирования эвакуации на основе поточной модели, представленные в SFPE Handbook of Fire Protection Engineering (SFPE 2016) и SFPE Engineering Guide: Поведение человека при пожаре (SFPE 2019). Расчет SFPE, описанный в справочнике, представляет собой поточную модель, в которой определяются скорость движения и скорость потока через двери и коридоры.

В Pathfinder навигационная геометрия может быть сгруппирована в три типа компонентов: помещения, двери и лестницы. Помещения — это открытое пространство, по которому могут ходить агенты. Двери — это ограничители потока, соединяющие помещения и лестницы. Лестницы можно представить как специализированные помещения, в которых уклоны ступеней ограничивают скорость движения людей. Не существует специализированного типа коридора, как в руководстве SFPE. Вместо этого коридоры моделируются как помещения с дверями на обоих концах. Таким образом, коридоры обрабатываются так же, как и помещения, а поток регулируется дверьми.

В режиме SFPE несколько человек могут занимать одну и ту же точку на навигационной поверхности.

5.1. Параметры режима SFPE

В режиме SFPE используются следующие параметры.

Максимальная плотность помещения ($0.0 < D_{\max}$, по умолчанию=3.55 перс/м²)

Этот параметр определяет, сколько агентов смогут войти в помещение через двери и лестницы. Pathfinder использует плотность помещения для определения скорости передвижения и скорости потока дверей. Если агенты стоят в очереди у дверей, они не смогут покинуть очередь в свой ход, если это не приведет к тому, что плотность в следующем помещении будет ниже этого значения.

Пограничный слой ($0.0 \leq BL$)

Это значение контролирует эффективную ширину каждой двери в моделировании, включая двери, связанные с лестницами. Эффективная ширина двери — это

$W - 2 * BL$, где W — фактическая ширина двери. Эффективная ширина дверь контролирует скорость прохождения людей через дверь.

Примечание

Этот же пограничный слой используется при расчете плотности помещения, как определено в разделе 5.2.2.

Поток через двери при высокой плотности, использование расчетного удельного потока

(вкл./выкл., по умолчанию = вкл.)

Этот флаг управляет расчетом удельного потока через двери в зависимости от плотности. Если этот флаг установлен, удельный поток для дверей рассчитывается на основе плотности людей в соседних помещениях. Этот расчет объясняется в разделе 5.3.

Поток через двери при высокой плотности, всегда использовать максимальный удельный поток

(вкл/выкл, по умолчанию=выкл)

Этот флаг управляет расчетом удельного потока через двери в зависимости от плотности. Если этот флаг установлен, двери всегда используют максимальный удельный поток.

5.2. Скорость

Скорость (v), с которой движется агент, зависит от нескольких факторов, включая максимальную скорость агента (v_{max}), указанную в пользовательском интерфейсе, тип местности, по которой он движется, модификаторы и константы скорости, связанные с местностью, и плотность агентов в текущем помещении.

5.2.1. Базовая скорость

Базовая скорость агента (v_b) определяется как функция плотности, типа местности и кривой доли скорости, основанной на фундаментальной диаграмме SFPE. При этом не учитываются модификаторы или константы скорости на местности.

$v_b = v_{max} * v_f(D) * v_{ft}$ Где:

v_{max} – максимальная скорость агента, введенная в пользовательском интерфейсе как «Скорость».

$v_f(D)$ – доля скорости, зависящая от плотности следующим образом:

$$v_f(D) = \begin{cases} 1, & D < .55 \text{ pers/m}^2 \\ \max[v_{fmin}, \frac{1}{.85}(1 - .266D)], & D \geq .55 \text{ pers/m}^2 \end{cases}$$

v_{fmin} – минимальная доля скорости, определяемая в пользовательском интерфейсе (по умолчанию=.15), а D – плотность агентов в текущем помещении.

v_{ft} – коэффициент скорости, который зависит от типа местности, по которой движется агент.

Он определяется как: $v_{ft} = K/1.4$

Для ровной местности (помещения) и пандусов $k = 1,40$ м/с.

Для лестниц k зависит от уклона лестничного марша. В руководстве SFPE k определяется только для ограниченного набора известных уклонов ступеней следующим образом:

Таблица 2. Таблица значений k по справочнику SFPE

Ширина ступени (дюймы)	Высота ступени (дюймы)	K
7.5	10.0	1.00
7.0	11.0	1.08
6.5	12.0	1.16
6.5	13.0	1.23

Pathfinder использует эту информацию для определения значений k для любой лестницы путем построения кусочно-линейной функции, которая отображает наклон ступени на значения k , используя эти известные точки данных.

Уклон ступени определяется как:

Уклон = высота ступени/ширина ступени

Для уклонов ступеней более .75 (максимальный показатель в таблице) значения экстраполируются вниз до минимального значения k , равного .034. Это гарантирует, что очень крутые лестницы не приведут к чрезмерно низкой скорости движения людей. Для уклонов ступеней ниже 0,5 (минимальное значение в таблице) k линейно интерполируется до 1,4 при уклоне ступеней 0 (хотя это и не реалистично, но соответствует плоской лестнице). В результате получается функция k , как показано на рисунке 12.

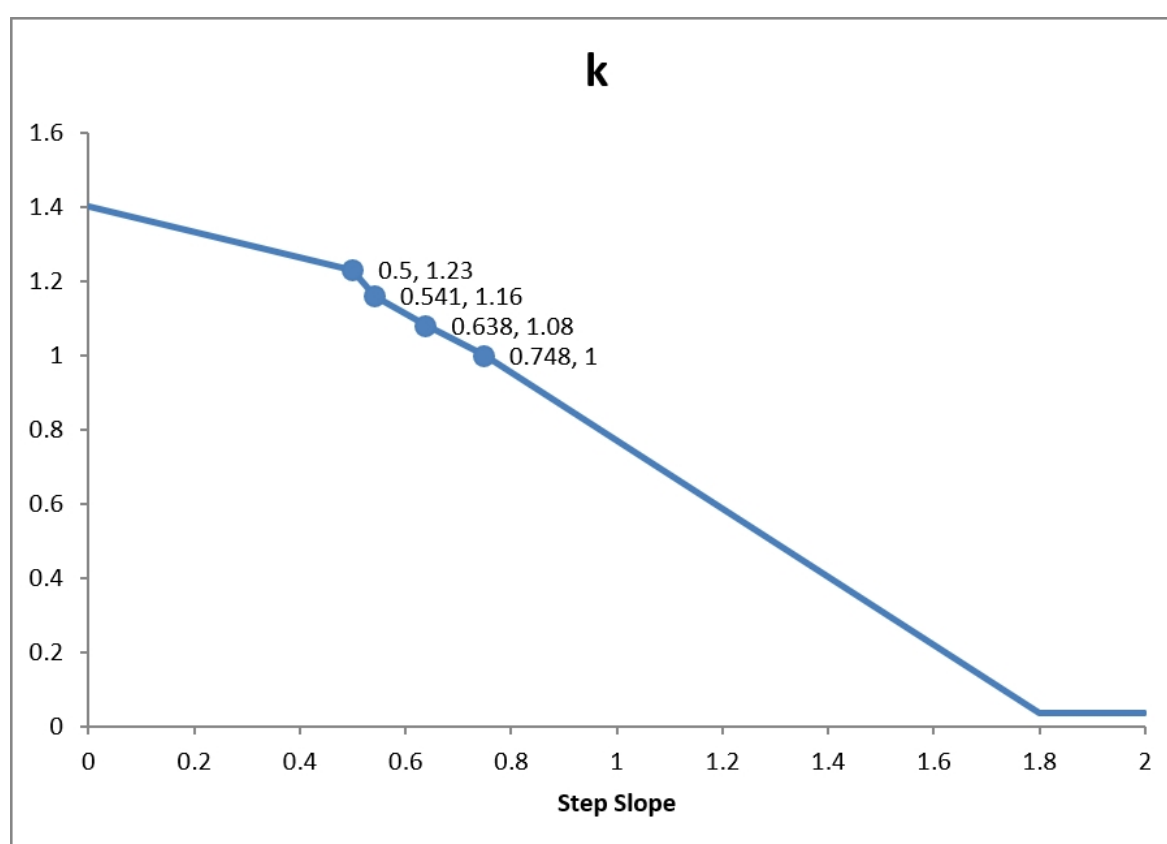


Рисунок 12. k в зависимости от наклона ступени

5.2.2. Плотность

В режиме SFPE плотность считается равномерной по всему помещению. Она рассчитывается следующим образом:

$$D = \frac{n_{\text{pers}}}{A_{\text{room}} - A_{\text{layer}}}$$

n_{pers} – количество людей в помещении

A_{room} – площадь помещения

A_{layer} – это площадь пограничного слоя, которая рассчитывается путем умножения общей длины границ помещения на параметр «Граничный слой», заданный на вкладке

«Поведение» диалогового окна «Параметры моделирования» в разделе «Пропускная способность двери», когда выбран режим SFPE.

5.2.3. Модификаторы и константы скорости

Компонентам эвакуации, таким как помещения, лестницы и пандусы, можно присваивать модификаторы скорости и константы скорости в пользовательском интерфейсе, которые можно использовать для учета влияния эффектов окружающей среды, таких как дым, и специализированной геометрии, такой как эскалаторы и движущиеся дорожки. По умолчанию все компоненты эвакуации имеют модификатор скорости, равный 1.

Когда человек входит в компонент эвакуации с модификатором скорости, его скорость на этом компоненте рассчитывается следующим образом: $v = kv \cdot vb$

где kv – модификатор скорости для данного компонента, а vb – базовая скорость агента на данном компоненте.

Если компонент имеет константу скорости, а не модификатор скорости, скорость агента зависит от параметра профиля агента «Идти по эскалатору», и значения константы скорости.

Если функция «Идти по эскалатору» включена или значение константы скорости равно 0, скорость движения агента будет равна:

$$v = vc + vb$$

Где vc – постоянная скорость компонента. В противном случае скорость агента равна: $v = vc$

5.3. Движение через двери

При использовании Pathfinder в режиме SFPE скорость потока людей через дверь определяется директивами SFPE. Для этого используется таймер задержки, который контролирует скорость прохождения людей через дверь. Изначально этот таймер установлен на ноль. Когда человек проходит через дверь, программа рассчитывает время задержки, основанное на конкретном потоке через дверь. Это время задержки добавляется к двери и должно пройти до того, как через нее сможет пройти другой агент.

У каждой двери может быть свой удельный расход в зависимости от направления движения людей через дверь и типа местности, примыкающей к двери. Удельный поток для конкретного направления движения через дверь составляет

$$Fs = (1 - 0.266 \cdot D) \cdot k \cdot D$$

Постоянная скорости эвакуации k зависит от типа местности предыдущего помещения, а D – это максимальная плотность людей в помещениях, примыкающих к двери.

Поскольку уравнение потока является квадратичным, значение D ограничено диапазоном [1,9-3,0] чел/м². Этот диапазон гарантирует, что низкие плотности не замедлят скорость потока, а высокие плотности не сведут скорость потока к нулю.

В пользовательском интерфейсе, если выбрана опция Пропускная способность при высокой плотности, использовать рассчитанный удельный поток, плотность рассчитывается, как описано выше. В противном случае она устанавливается на 1,88 чел/м², чтобы максимизировать поток.

Время, необходимое n агентам для прохождения через дверь с эффективной шириной W_e , равно:

$$T = \frac{n-1}{F_s}$$

Значение n уменьшается на 1, поскольку первому человеку, проходящему через дверь, не нужно ждать задержки.

В ситуации встречного потока агент из помещения R1 может ожидать в очереди, чтобы войти в R2, в то время как агент из R2 может ожидать, чтобы войти в R1. В этом случае очереди равномерно обмениваются следующими агентами, и оба агента проходят через дверь. Время задержки в очереди на вход становится суммой времени задержки при проходе каждого агента, что позволяет поддерживать правильную скорость потока при моделировании.

5.4. Обработка столкновений/реагирование

В режиме SFPE, хотя агенты не могут столкнуться с другими агентами, они все же могут столкнуться со стенами. Обработка столкновений происходит в два этапа. Первый этап происходит перед началом движения в течение временного шага, а второй – во время движения. На этапе, предшествующем движению, скорость движения регулируется, чтобы заставить агента скользить вдоль всех близлежащих стен. После того как скорость движения отрегулирована, человек пытается двигаться, используя эту новую скорость. На этапе движения столкновения со стенами все еще возможны, поэтому человек просто остановится при самом раннем столкновении.

6. Режим управляемого движения

В режиме управляемого движения Pathfinder использует комбинацию механизмов рулевого управления и обработки столкновений для контроля за тем, как агент следует по кривой, к которой стремится. Эти механизмы позволяют агенту отклоняться от траектории, но при этом двигаться в правильном направлении к своей цели.

6.1. Скорость

По мере продвижения по траектории движения агент рассчитывает модифицированную максимальную скорость, $v'_{\max}$, которая зависит от текущего типа местности, заданной максимальной скорости $v_{\max}$, и расстояния между окружающими агентами. Расстояние между окружающими агентами используется для оценки плотности агентов, D , как описано ниже. Эти параметры затем используются в уравнениях для расчета v в режиме SFPE, который становится $v'_{\max}$.

В режиме управления $v_f(D)$ и v_{ft} , используемые для расчета $v'_{\max}$, могут быть оставлены по умолчанию SFPE или заданы пользователем в профиле агента как кусочно-линейные функции. $v_f(D)$ вводится как функция плотности агентов, а v_{ft} вводится как функция уклона лестничной ступени или уклона пандуса, в зависимости от типа пути. Уклон ступеней лестницы вводится в пользовательском интерфейсе путем указания ступени и высоты ступени лестницы. Уклон пандуса определяется нормалью треугольника, принадлежащего узлу пандуса, и не может быть введен пользователем напрямую.

Наклон треугольника вычисляется следующим образом:

$$\text{slope} = \frac{\sqrt{n_x^2 + n_y^2}}{n_z}$$

n_x , n_y и n_z – компоненты нормали к треугольнику. Кроме того, определить различные функции $v_f(D)$ и v_{ft} для случаев, когда человек поднимается или спускается по лестнице или пандусу. Это отличается от расчетов SFPE, в которых используется одна и та же функция функции для движения вверх и вниз.

После того как $v'_{\max}$ вычислено, оно используется системой рулевого управления расчета желаемого вектора скорости, как описано в разделе 6.4.

6.2. Ускорение

Ускорение агента разделяется на несколько компонентов в зависимости от желаемого вектора скорости, рассчитанного системой рулевого управления.

Тангенциальная составляющая ускорения рассчитывается как:

$$a_{fmax} = \frac{v_{max}}{t_{accel}}$$

Где t_{accel} – параметр профиля агента, время ускорения.

Тангенциальная обратная составляющая ускорения: $a_{bmax} = 2 * a_{fmax}$

Радиальная составляющая ускорения равна: $a_{rmax} = 1.5 * a_{fmax}$

Эти компоненты объединяются для определения конечного вектора ускорения.

6.3. Оценка плотности агентов

Чтобы рассчитать $v'_{\max}$ для конкретного агента, необходимо знать плотность агентов D в месте его нахождения.

Pathfinder оценивает плотность, используя расстояние между ближайшими агентами и зависимость плотности от среднего продольного и поперечного расстояния, продемонстрированную в главе 3 (Fruin and Strakosch 1987), как показано на рисунке 13.

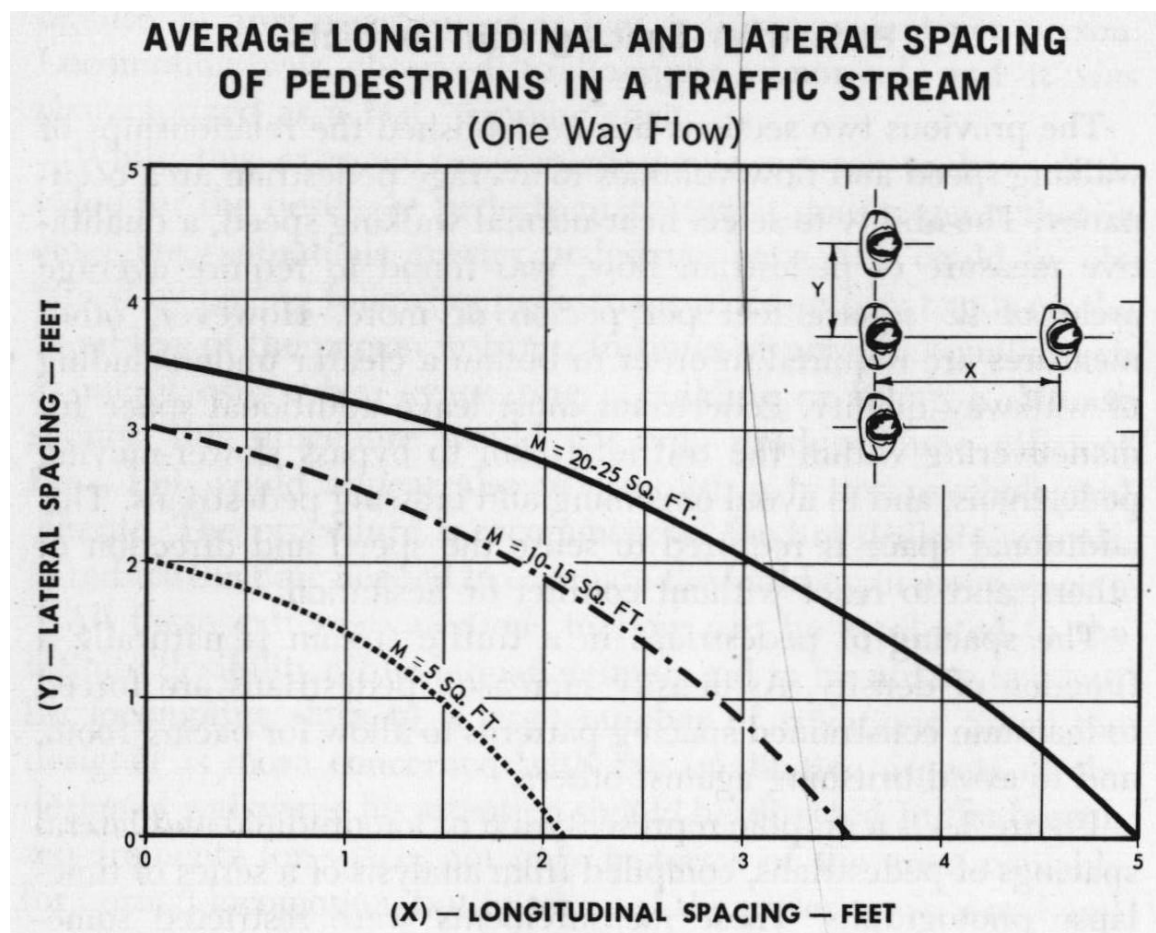


Рисунок 13. Среднее продольное и поперечное расстояние между пешеходами в системе движения (Рисунок 3.4 из книги Фруина «Планирование и проектирование движения пешеходов»).

В Pathfinder линии плотности на рисунке рассматриваются как контуры, каждый из которых оценивается как эллипс. Контуры зеркально отображаются относительно $Y=0$.

Чтобы рассчитать плотность для агента, ось X на рисунке совмещается с текущей скоростью агента, а начало координат устанавливается на его местоположение, формируя локальную систему координат. Затем для каждого ближайшего агента его местоположение преобразуется в эту локальную систему координат. Если локальная координата для другого агента имеет значение x меньше 0, то этот агент игнорируется. Это позволяет избежать влияния на скорость агента тех, кто находится позади него. Для агентов при локальном $x \geq 0$, плотность интерполируется или экстраполируется из плотности контура. Максимальная из этих плотностей затем используется в качестве плотности для агента.

6.4. Рулевое управление

Система рулевого управления в Pathfinder перемещает агента так, чтобы он примерно следовал своей текущей кривой поиска и мог реагировать на изменение обстановки. Инверсное рулевое управление, используемое в Pathfinder, — это процесс оценки набора дискретных направлений движения агента и выбора направления, которое минимизирует функцию затрат. Пример пробных направлений см. на рис. 14. Функция затрат оценивается путем комбинирования нескольких типов поведения рулевого управления для получения стоимости. Используемые типы поведения рулевого управления определяются текущим состоянием агента, а количество пробных направлений зависит от состояния агента и его текущей скорости.

Более подробную информацию о состояниях см. в разделе 6.6.

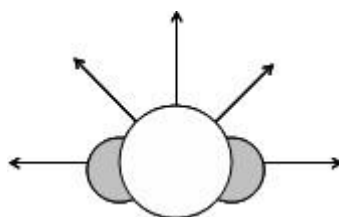


Рисунок 14. Пробные направления в режиме рулевого управления

В Pathfinder определено несколько моделей поведения рулевого управления: поиск, разделение в ожидании, разделение в поиске, разделение со стенами, избегание стен, избегание агентов, проход, тропинки и огибание углов.

Большинство моделей поведения присваивают стоимость от 0 до 1 для каждого направления.

Чистая стоимость для направления представляет собой взвешенную сумму этих значений.

6.4.1. Поиск

Поведение при поиске направляет агента на движение по кривой поиска. Для выбранного пробного направления v и кривой поиска sc , поведение поиска основывает свою стоимость на величине угла между v и касательной к sc .

Стоимость рассчитывается следующим образом:

$$C_{seek} = \frac{\theta_t}{2\pi}$$

где θ_t — угол между v и касательным вектором к sc .

6.4.2. Разделение в ожидании

Поведение разделения в ожидании управляет агентами, чтобы поддерживать желаемое расстояние от других агентов, и используется, когда агенты находятся в состоянии ожидания. Это поведение работает несколько иначе, чем обратная система рулевого управления, поскольку перед тем, как рассматривать пробные направления, поведение разделения вычисляет желаемый вектор абсолютного движения (направление и расстояние).

Этот вектор движения рассчитывается как среднее значение векторов разделения агентов следующим образом:

$$\overline{m} = \frac{1}{n_{\text{occ}}} \sum_{i=1}^{n_{\text{occ}}} \overline{m}_i$$

Где n_{occ} – количество агентов, от которых агент хотел бы отделиться.

Если i -ый агент находится в покое, $\overline{m}_i$ рассчитывается как:

$$D_{\text{gap}} = |\overline{p} - \overline{p}_i| - r - r_i$$

$$\overline{m}_i = (D_{\text{gap}} - D_{\text{sep}}) \frac{\overline{p} - \overline{p}_i}{|\overline{p} - \overline{p}_i|}$$

где $\overline{p}$ – положение агента, r – радиус агента, а D_{sep} – это желаемое расстояние до агента (задается с помощью входного параметра «Персональная дистанция»).

Если i -ый агент находится в поиске, то вместо этого рассчитывается $\overline{m}_i$, которая перпендикулярна направлению движения i -го агента, а ее величина определяется как:

$$|\overline{m}_i| = r + r_i + D_{\text{sep}} - D_{\text{path}}$$

где D_{path} – расстояние агента до ближайшей точки на линии, касательной к кривой поиска i -го агента.

После определения вектора движения поведение «Разделение» работает так же, как и другие инверсные поведения рулевого управления.

Стоимость рассчитывается следующим образом:

$$C_{i\text{sep}} = 1 - (\overline{m}_i \cdot \overline{d}_s)$$

где $\overline{d}_s$ – пробное направление.

6.4.3. Избегание стен

Поведение избегания стен обнаруживает стены и направляет агента так, чтобы избежать столкновения с ними. Это поведение проецирует движущийся цилиндр впереди агента в направлении проецируемой точки. Стоимость, сообщаемая этим поведением, основана на расстоянии, которое может пройти агент в направлении проецируемой точки. На нее также влияет угол, под которым агент ударяется о стену. Стоимость уменьшается, если агент ударяется о стену под малым углом к желаемому направлению.

$$D_{min} = \frac{\dot{v}_{curr}^2}{2a_{bmax}}$$

$$D_{max} = D_{min} + \max \left[\frac{\dot{v}_{max}^2}{2a_{bmax}}, \dot{v}_{curr} t_{wcr} \right]$$

$$C = 1 - \frac{D_{coll} - D_{min}}{D_{max} - D_{min}}$$

$$C_{aw} = \begin{cases} 1, & \overline{d_{slide}} \cdot \overline{d_{des}} \leq 0 \\ C * (1 - \overline{d_{slide}} \cdot \overline{d_s}), & \overline{d_{slide}} \cdot \overline{d_{des}} > 0 \end{cases}$$

где:

t_{wcr} – максимальное время, за которое агент отреагирует на столкновение со стеной (фиксированное значение – 2 с).

a_{bmax} – максимальное тангенциальное замедление

D_{coll} – расстояние столкновения

d_{slide} – направление скольжения агента при ударе о стену.

d_{des} – желаемое направление движения d_s – пробное направление.

Результирующая стоимость приводится к диапазону от 0 до 1.

6.4.4. Избегание агентов

Поведение избегания агентов направляет агента, чтобы избежать столкновений с другими агентами. Сначала это поведение создает список агентов в пределах конуса, размер и форма которого зависят от скорости агента. Затем поведение проецирует движущийся цилиндр впереди агента в пробном направлении. Этот цилиндр проверяется на столкновение с другим движущимся цилиндром для каждого находящегося вблизи агента. Если ни один из движущихся цилиндров не столкнулся, стоимость равна нулю, в противном случае стоимость зависит от того, как далеко может пройти агент до столкновения. Чем ближе точка столкновения, тем выше стоимость поведения рулевого управления.

Стоимость основана на самом раннем столкновении с другим агентом в пробном направлении и оценивается следующим образом:

$$D_{min} = D_{sep} + \frac{\dot{v}_{curr}^2}{2a_{max}}$$

$$D_{max} = D_{min} + \max \left[\frac{\dot{v}_{max}^2}{2a_{max}}, \dot{v}_{curr} t_{cr} \right]$$

$$C_{ao} = 1 - \frac{D_{coll} - D_{min}}{D_{max} - D_{min}}$$

где:

D_{sep} – желаемое расстояние между агентом и столкнувшимся агентом (задается с помощью входного параметра «Персональная дистанция»)

tcr – максимальное время, в течение которого агент реагирует на столкновение (задается с помощью входного параметра профиля «Время на избегание столкновения»)

$Dcoll$ – расстояние столкновения.

Результирующая стоимость приводится к диапазону от 0 до 1.

6.4.5. Разделение в поиске

Поведение «Разделение в поиске» распределяет агентов так, чтобы максимально увеличить их скорость движения, как рассчитывается по кривой «скорость-плотность» и зависимости «расстояние-плотность» Фруина (см. Рисунок 13).

Для пробного направления будущее местоположение агента в этом направлении прогнозируется с помощью v_{max} и интервала обновления рулевого управления, задаваемого в пользовательском интерфейсе. Кроме того, прогнозируется местоположение окружающих агентов, используя их текущую скорость и интервал обновления рулевого управления. На основе этих прогнозируемых местоположений оценивается плотность D , как описано в разделе 6.3. Затем на основе плотности и кривой «скорость-плотность» прогнозируется скорость в данном месте. Прогнозируемая скорость затем используется для расчета стоимости.

$$C_{ssep} = 1 - \left(\frac{v_{pred}}{v_{max}} \right)^2$$

где:

v_{max} – максимальная скорость агента с учетом его плотности.

v_{pred} – прогнозируемая скорость.

6.4.6. Разделение от стен в поиске

Поведение «разделение от стен при поиске» ориентирует людей на то, чтобы они находились на расстоянии пограничного слоя от стен. Как и в случае с поведением «Разделение в поиске», местоположение агента прогнозируется вдоль пробного направления с помощью v_{max} и интервала обновления рулевого управления. Ближайшая к этому местоположению стена затем используется для расчета стоимости.

$$C_{swsep} = 1 - \frac{d_w - r - bl}{bl}$$

где:

d_w – расстояние до ближайшей стены (стены, расположенные на расстоянии более 90° от пробного направления, игнорируются)

r – радиус агента

bl – это пограничный слой, заданный в профиле агента.

Стоимость приводится к диапазону от 0 до 1,25.

6.4.7. Тропинка

Поведение при движении по тропинкам направляет агента, когда обнаруживает, что он находится во встречном потоке с другими агентами. Оно работает, направляя агента к центру масс впереди идущих агентов, которые не находятся во встречном потоке. Другие агенты считаются находящимися впереди, если их центр находится в пределах 60° от касательной к кривой стремления агента. Для этих агентов, находящихся впереди, вектор к их центру масс рассчитывается следующим образом:

$$\overline{v_{cen}} = -\overline{p_{occ}} + \frac{1}{n_{occ}} \sum_{i=1}^{n_{occ}} \overline{p_i}$$

где:

p_{occ} – местоположение агента

n – количество агентов впереди

p_i – местоположение i -го агента впереди.

Стоимость, Clanes, для поведения на тропинках определяется в следующем порядке:

1. Если агент считается лидером, стоимость равна 0. Агент является лидером, если впереди нет агентов, которые не находятся во встречном потоке.
2. Если пробное направление не приводит к противотоку, стоимость равна 0. Пробное направление приводит к противотоку, если хотя бы один вектор от агента к агенту, движущемуся против потока, составляет угол менее 36° с пробным направлением.
3. Стоимость рассчитывается как угол между пробным направлением и v_{cen} .

6.4.8. Проход

Поведение при проходе ориентирует агентов так, что они предпочитают идти позади более быстро движущихся агентов. Для каждого пробного направления агент рассчитывает вероятность столкновения с другими агентами в этом направлении, рассматривая других агентов как неподвижных. Если столкновение обнаружено, стоимость рассчитывается по ближайшему столкновению следующим образом:

$$C_{pass} = 1 - \frac{v_o}{v_{max}}$$

где:

v_o – скорость другого агента

v_{max} – максимальная скорость агента, без учета других агентов.

Стоимость приводится к диапазону [0-1]. Поведение прохода не используется, если обнаружен противоток.

6.4.9. Огибание углов

Поведение при огибании углов направлено на то, чтобы агенты могли совершать широкие повороты в составе группы, не подрезая друг друга. Это позволяет им лучше использовать широкие коридоры/рампы с поворотами. В определенной степени этого уже добиваются

модели поведения «избегать агентов» и «разделение в поиске», но поведение при огибании углов улучшает эту задачу.

Поведение работает аналогично избеганию агентов, но при расчете пересечений между траекториями движения агентов по-разному учитываются размеры и положение близлежащих агентов. Размер близлежащего агента увеличивается на 50 %, а его положение перемещается на расстояние, равное 150 % радиуса агента вдоль его последнего направления движения.

Кроме того, направление потока рассчитывается по соседним агентам, находящимся перед ним, следующим образом:

$$\overline{v_{flow}} = \sum_{i=1}^n \overline{d_{if}}$$

где:

n – количество находящихся впереди агентов

d_{if} – направление, в котором находится i -й агент.

Стоимость, C_{snr} , рассчитывается следующим образом:

1. Если обнаружены пересечения, стоимость рассчитывается так же, как и в случае с избеганием агентов, только с расширенным радиусом и скорректированными позициями.
2. Если угол пробного направления с касательной к кривой поиска больше 60° , а угол пробного направления с v_{flow} больше 90° , стоимость равна 1,0.
3. В противном случае стоимость равна 0.

6.4.10. Окончательная стоимость направления

Итоговая стоимость для пробного направления представляет собой взвешенную сумму индивидуальных поведенческих затрат:

$$C_{ds} = .5C_{seek} + w_{isep}C_{isep} + w_{ao}C_{ao} + w_{aw}C_{aw} + w_{ssep}C_{ssep} + w_{swsep}C_{swsep} + w_{lanes}C_{lanes} + w_{cnr}C_{cnr} + w_{pass}C_i$$

Весовые коэффициенты зависят от текущего состояния агента и определяются в следующей таблице.

Таблица 3. Весовые коэффициенты по штатам

Бес	В покое	В поиске
Wao	1	1
Waw	1	1
Wisep	1	0
Wssep	0	2
Wswsep	0	1

Wlanes	0	1
Wcnr	.2	.2
Wpass	0	.5

6.5. Оценка движения

После определения направления, требующего наименьших затрат, рассчитываются скорость и ускорение рулевого управления, при которых агент будет двигаться в направлении рулевого управления.

Наряду со стоимостью, каждое поведение рулевого управления рассчитывает максимальное расстояние, которое должно быть пройдено в пробном направлении. Это максимальное расстояние затем используется чтобы определить величину желаемой скорости v_{des} , следующим образом:

$$D_{stop} = \frac{v_{curr}^2}{2a_{max}}$$

$$|\bar{v}_{des}| = \begin{cases} 0, & D_{max} \leq D_{stop} \\ v_{max}, & D_{max} > D_{stop} \end{cases}$$

$$\bar{v}_{des} = |\bar{v}_{des}| \bar{d}_{des}$$

где:

D_{max} – максимальное расстояние для пробного направления с наименьшими затратами,

d_{des} – пробное направление с наименьшими затратами,

v_{curr} – текущая скорость агента.

Ускорение рассчитывается следующим образом (Reinolds 1999)

$$\bar{a} = \frac{\bar{v}_{des} - \bar{v}_{curr}}{|\bar{v}_{des} - \bar{v}_{curr}|} a_{max}$$

Затем используется явное интегрирование Эйлера для расчета скорости и положения каждого агента на следующем временном шаге на основе ускорения его рулевого управления. Скорость и положение рассчитываются следующим образом:

$$\bar{v}_{next} = \bar{v}_{curr} + \bar{a} \delta t$$

$$\bar{p}_{next} = \bar{p}_{curr} + \bar{v}_{next} \delta t$$

где: δt – величина шага по времени, p_{curr} – текущее положение, а p_{next} – положение после шага по времени.

6.6. Состояние агентов

В зависимости от текущего сценарного поведения агент будет находиться в одном из двух состояний:

- Поиск

Агент пытается следовать по пути, ведущему к определенной цели.

- Ожидание/покой

Агент ожидает определенное время.

6.6.1. Влияние на поведение

Состояние агента оказывает непосредственное влияние на то, какие модели поведения комбинируются для определения направления движения с наименьшими затратами.

Во время бездействия агент сочетает разделение, избегание людей и избегание стен. Это позволяет агенту сохранять дистанцию с другими агентами, отходить от других людей, которые могут пытаться искать рядом с ним, и одновременно избегать других агентов и стен.

При поиске агент совмещает поиск, избегание агентов, избегание стен, разделение в поиске, разделение от стен, тропинки и огибание углов. Это позволяет агенту избегать столкновений с другими агентами и стенами и следовать своей кривой поиска. В определенной степени поведение избегания агентов интегрирует разделение, поэтому отдельное поведение разделения не требуется. Во время поиска агент может временно перейти в состояние бездействия, если он почувствует другого агента с более высоким приоритетом или если он переместился таким образом, что коснулся другого агента. Временно переключившись в состояние бездействия, он может отодвинуться от другого агента, чтобы сохранить желаемое разделение.

6.6.2. Влияние на пробное направление

Состояние агента также влияет на количество пробных направлений, используемых для инверсного рулевого управления.

В состоянии покоя тестируются 8 направлений, расположенных на расстоянии 45° друг от друга, а также «нулевое» направление, которое проверяет неподвижность. Это позволяет агенту двигаться на 360°, чтобы он мог легко отделиться от других.

Во время поиска агент проверяет различные направления в зависимости от скорости движения. В качестве начального направления используется направление, касательное к кривой поиска агента. Если скорость агента относительно низкая, он рассматривает еще 7 пробных направлений, расположенных на расстоянии 45° друг от друга, как при ожидании. Если скорость движения выше, то пробные направления выбираются на расстоянии 15° друг от друга, до 75° в каждую сторону, что создает 9 пробных направлений. Скорость агента считается «медленной», если верно следующее:

$$v_{curr} \leq f_{slow} \dot{v}_{max}$$

где f_{slow} задается с помощью входного параметра профиля «Коэффициент замедления», а v'_{max} – измененная максимальная скорость агента. В дополнение к пробным направлениям Нулевое направление также рассматривается для поиска.

6.7. Приоритет

В Pathfinder предусмотрена система приоритетов, которая работает на основе дискретных уровней приоритетов, назначаемых каждому агенту. Когда агенты сталкиваются с другими агентами с тем же уровнем приоритета, что и у них, они ведут себя так, как указано выше (обычный случай). Однако если они обнаруживают рядом и перед собой другого агента с другим приоритетом, они немного изменяют вышеуказанное поведение.

Если другой агент имеет более низкий приоритет, он не будет отделяться и будет использовать комфортное расстояние, равное нулю, что позволит ему прижаться к другому агенту, если это необходимо. Поскольку не существует понятия, что агенты оказывают друг на друга давление, другой агент должен реагировать соответствующим образом.

Таким образом, в обратном случае, когда агент обнаруживает другого агента с более высоким приоритетом на комфортном расстоянии, он проигнорирует свое поведение поиска и вместо этого использует поведение отделения, даже если его цель переводит его в состояние поиска. Это позволит им отступить от агента с более высоким приоритетом, давая ему возможность пройти дальше.

Уровни приоритетов относительны. Например, если встретятся три агента с приоритетами 5, 7 и 12, их поведение по отношению друг к другу будет точно таким же, как если бы их приоритеты были 0, 1 и 2 соответственно. Агенты с более высокими значениями приоритетов имеют более высокий приоритет над другими агентами.

6.8. Разрешение конфликтов

Существуют некоторые сценарии, в которых движение агента вступает в конфликт с движением другого агента из-за ограничений геометрии. В таких ситуациях агенты должны договориться о том, как разрешить эти конфликты, чтобы они могли продолжить движение. Следующие примеры иллюстрируют, как могут возникать подобные ситуации:

Рисунок 15 Несколько человек одновременно движутся в одном направлении и приближаются к физически узкой зоне, которая не позволяет пройти всем сразу (например, узкая дверь или узкий коридор).

Рисунок 16 В переполненном коридоре агенты движутся в противоположных направлениях (встречный поток).

Рисунок 17 Агенты втиснулись в тесное пространство и не могут отойти назад из-за стены или односторонней двери.

Рисунок 18 Агенты движутся в противоположных направлениях в коридоре, который физически не позволяет им пройти.

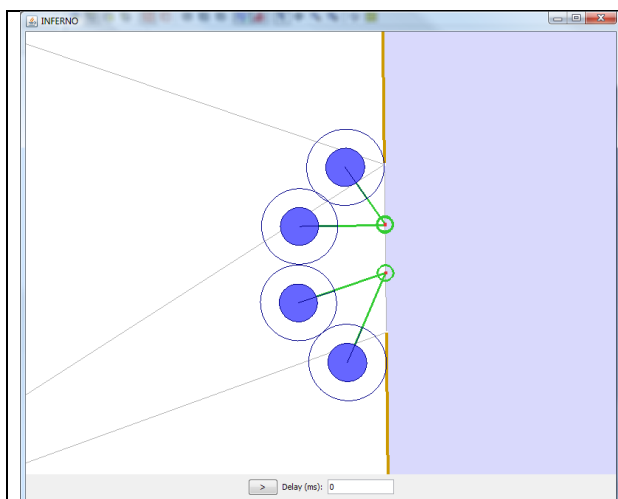


Рисунок 15. Агенты направляются к одной, конфликтующей путевой точке

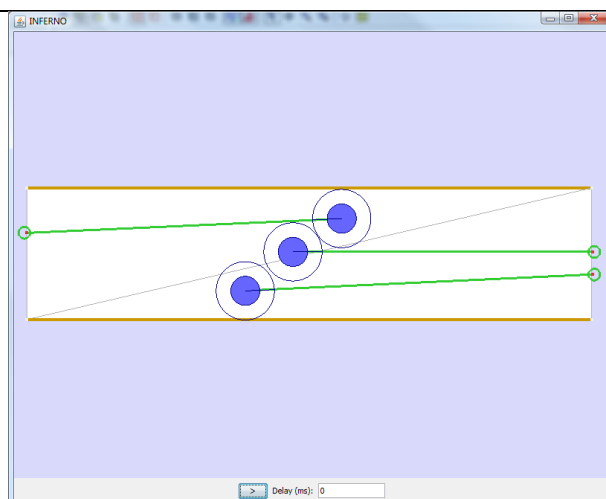


Рисунок 16. Агенты направляются к противоположным точкам в переполненном коридоре

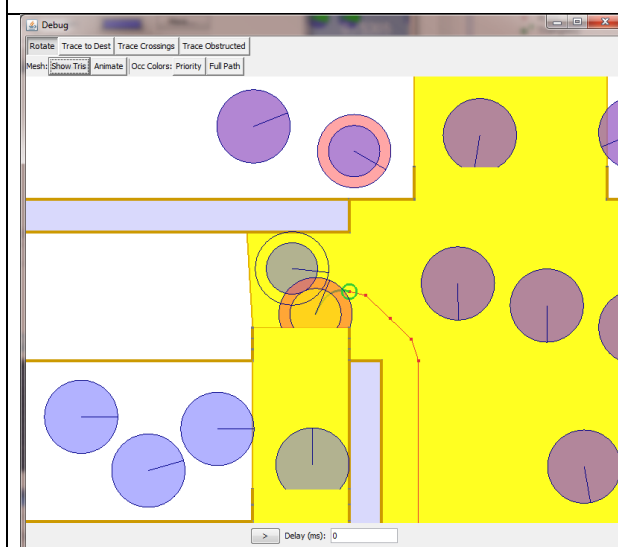


Рисунок 17. Сжатие агентов

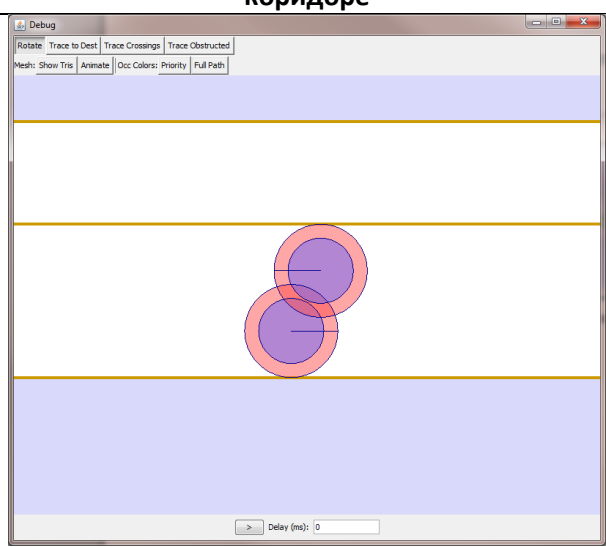


Рисунок 18. Агенты, находящиеся в противотоке, прижались друг к другу

В Pathfinder используется специальное управление, чтобы разрешить эти конфликты при движении и предотвратить застревание агентов. Это происходит в рамках поведения каждого агента следующим образом:

1. Агент выполняет свои действия по управлению, как описано ранее, и определяет, что направление движения с наименьшими затратами – это либо стоять на месте, либо двигаться против желаемого направления движения из-за другого агента.
2. Агент выполняет тест на «свободный проход», как описано ниже. Если агент получает свободный проход, он продолжает следующий шаг. В противном случае он возвращается к предыдущему состоянию.
3. Агент пересчитывает возможность движения с локально повышенным приоритетом.

Локально повышенный приоритет – это такой приоритет, при котором агент кажется более приоритетным для других агентов того же уровня приоритета, но для других агентов с более высоким уровнем приоритета он все равно кажется более низким.

4. Если агент добивается прогресса при выполнении нового расчета направления движения, он повышает свой приоритет до этого нового локально повышенного приоритета (если он еще не был повышен) и возвращает новый расчет направления движения. Если же агент не достиг прогресса, он переходит к следующему шагу.

ПРИМЕЧАНИЕ

Когда агент повышает свой приоритет, он также запускает таймер обратного отсчета (задается через входной параметр, «Время повышения приоритета») или продлевает предыдущий таймер, если приоритет уже был повышен. Кроме того, радиус агента уменьшается на коэффициент уменьшения (задается через входной параметр «Коэффициент сжатия»), что позволяет ему протиснуться мимо других агентов. Если другие агенты обнаруживают такого агента, они тоже уменьшат радиус на установленные коэффициенты сжатия.

5. Если агент еще не установил таймер, он вернет результат «Нет прогресса».

Если они установили таймер, то переходят к следующему шагу.

6. Если таймер агента еще не истек после предыдущего расчета, он остается неподвижным с локально повышенным приоритетом в надежде, что другие агенты расступятся из-за повышенного приоритета. Однако если таймер истек, они переходят к следующему шагу.
7. Агент сохраняет повышенный приоритет и переходит в состояние, в котором он может пройти через других агентов, которые находятся непосредственно на его пути.

6.8.1. Свободный проход

В режиме управления агент получает свободный проезд, если хотя бы одно из следующих условий справедливо для всех находящихся рядом агентов:

- Другой агент имеет меньший приоритет.
- Другой агент имеет тот же приоритет и меньшую вероятность достичь пересечения их путей раньше, чем рассматриваемый агент.

6.9. Предотвращение столкновений/реагирование

Хотя поведение, направленное на избегание стен и людей, будет пытаться обойти препятствия, это не всегда удастся. Такое часто происходит в местах скопления людей, когда агенты не могут избежать плотного прижатия к стенам и другим агентам. В таких ситуациях необходима дополнительная обработка столкновений, чтобы предотвратить переход расчете в недопустимое состояние. Существует два сценария обработки столкновений: один, когда сталкиваются два или более агентов, и другой, когда агент сталкивается с границей навигационной сетки (т. е. со стеной).

Если обработка столкновений включена, агент остановится при самом раннем столкновении либо со стеной, либо с другим агентом на данном временном шаге. Если

обработка столкновений выключена, агент остановится только при самом раннем столкновении со стеной.

6.10. Движение через двери

По умолчанию моделирование в режиме управляемого движения не предусматривает никаких дополнительных ограничений для людей при прохождении через двери. Однако ограничение потока можно включить либо с помощью параметра моделирования «Удельный поток», либо с помощью параметра «Скорость потока» на отдельных дверях.

В режиме управляемого движения ограничение потока работает так же, как и в режиме SFPE. Более подробная информация приведена в разделе 5.3. Основные различия между ограничениями расхода в этих двух режимах заключаются в следующем:

- В режиме управления ограничение потока может быть задано только как фиксированное значение. Оно не может быть основано на плотности людей в помещении, как в режиме SFPE.
- Фактически достигнутый поток в режиме управления часто будет меньше указанного предела. Это связано с моделью ускорения и уходом от агентов, используемой в режиме управления. Когда агент останавливается у двери, ему приходится снова ускоряться, чтобы покинуть дверной проем и дать возможность войти другому агенту.
- Агенты, проходящие через дверь с ограничением потока в режиме управления, могут столкнуться с небольшим замедлением на пороге двери, даже если им не нужно задерживаться у двери для достижения ограничения потока. Это происходит потому, что каждый агент всегда должен быть зарегистрирован у двери, когда он пересекает порог, чтобы логика ограничения потока выполнялась должным образом. Этот этап регистрации полностью останавливает агента. В подобных ситуациях дверь немедленно освободит посетителя, но при этом будет потерян некоторый импульс. Этот эффект замедления зависит от размера временного шага моделирования. Он будет сильнее при больших временных шагах.

7. Агенты со средствами передвижения

Агентам можно назначить форму тела, отличную от цилиндра. В качестве формы тела агента может быть использован любой выпуклый многоугольник. Обнаружение и предотвращение столкновений с многоугольными фигурами сложнее, чем при рассмотрении только круглых фигур. В этом разделе мы называем агентов с многоугольной формой агентами со средствами передвижения (кресла-коляски, носилки и т.д.).

Движение средств передвижения отличается от движения людей. Средства передвижения не могут двигаться боком, их вращение ограничено, и они движутся по другой кривой.

Pathfinder использует разность Минковского для предотвращения столкновений между средствами передвижения и стенами, а также между несколькими средствами передвижения и комбинациями средств передвижения и агентов круглой формы.

Для предотвращения столкновений важно уметь определять расстояние до столкновения двух фигур. Для многоугольных фигур это расстояние вычисляется с помощью разности Минковского. Разность Минковского состоит из выпуклого корпуса каждой точки на границе одной фигуры, вычитаемого из каждой точки на границе другой фигуры. Это можно рассматривать как процесс сжатия одной фигуры при одновременном расширении другой.

Расстояние от начала координат до ближайшей точки полученной фигуры – это расстояние столкновения. Этот метод находит расстояние столкновения трансформирующихся фигур. Поскольку средства передвижения могут вращаться вокруг своей оси, необходимо также учитывать вращение фигур. Вращение не учитывается при расчете расстояния столкновения. Однако обнаружение столкновения (определение того, может ли средство передвижения повернуться на определенный градус без столкновения) включает в себя вращение в своих расчетах движения. Подробнее об этом расчете можно узнать из статьи «Обнаружение столкновений для чайников» (Firth 2011).

Многоугольные фигуры часто оказываются в состоянии, из которого трудно или невозможно выехать, например, когда прямоугольное средство передвижения касается стены одним из своих краев или когда оно проезжает через узкие двери или коридоры.

Так как основным направлением развития Pathfinder является стремление никогда не застревать, в сложных ситуациях средствам передвижения разрешается частично пересекаться с препятствиями.

8. Помощь при эвакуации

В сценарии оказания помощи при эвакуации помощники помогают клиентам перемещаться к различным целям. Чтобы получить помощь, клиенты должны использовать средство передвижения, в котором есть хотя бы одно закрепленное место для агента. Помощники неоднократно выбирают клиентов, помогают им достичь цели и возвращаются, чтобы помочь другим клиентам. При запросе помощи клиент не может двигаться до тех пор, пока помощники не будут прикреплены к нему во всех закрепленных позициях средства передвижения.

В Pathfinder помощь при эвакуации осуществляется с помощью целей агентов (более подробная информация о целях приведена в главе 3). В следующих разделах описываются цели, назначенные агентам с различными ролями в сценарии эвакуации.

8.1. Цель помощи агентам

Эта цель задается как действие поведения «Помочь агентам» в пользовательском интерфейсе.

Эта цель позволяет ассистенту помогать всем клиентам, которые запрашивают или будут запрашивать помощь у определенной команды, пока все эти клиенты не исчерпают свои цели или не отсоединятся от своих ассистентов.

Ниже приводится подробная пошаговая инструкция по достижению цели помощи агентам:

1. Агент начинает выполнять цель «Помочь агентам» и присоединяется к команде эвакуации.
2. Ассистент проверяет, есть ли среди текущих или будущих агентов из источника агентов те, кто когда-либо станет клиентами этой команды. Если это условие выполняется, помощник переходит к шагу 3. В противном случае помощник пропускает следующие шаги, покидает команду и продолжает работу над своей следующей целью.
3. Ассистент переходит в состояние ожидания и ждет, когда клиенты обратятся за помощью к команде.
4. Ассистент выбирает одного клиента, до которого можно добраться из своего текущего местоположения и который соответствует одному из следующих критериев:
 - a. У этого клиента больше помощников, чем у других.
 - b. Ни один другой клиент не соответствует критерию «а», клиент находится в списке приоритетов команды, как определено в пользовательском интерфейсе, и клиент имеет наивысший приоритет.
 - c. Ни один другой клиент не соответствует критериям «а» или «b», и этот клиент ближе, чем все остальные.

5. Ассистент предлагает помощь выбранному клиенту. Если клиент отклоняет предложение, ассистент повторяет шаги 4 и 5. Клиент может отказаться, если он получил сразу больше предложений, чем у него осталось свободных мест.
6. Ассистент направляется к выбранному клиенту. Как только клиент достигнут, ассистент прикрепляется к нему в одном из закрепленных мест в средстве передвижения клиента.
7. Ассистент становится пассивным и ждет, пока клиент отсоединится от него.
8. Ассистент повторяет шаги со 2 по 8.

Для каждого помощника цель «Помочь агентам» далее декомпозируется на три другие подцели:

Ожидание

Ассистент находится в состоянии ожидания, пока не будет выбран клиент.

Цель «Присоединиться к клиенту»

Включается после выбора клиента. Ассистент направляется к назначенному месту в средстве передвижения клиента. Когда ассистент достигает этой позиции, он становится пассивным.

Цель «Пассивный режим»

Как только ассистент прикрепляется к клиенту, он становится пассивным. Это означает, что их движение будет зависеть от движения клиента. Клиент сообщает ассистенту обновленную позицию для навигации, и ассистенту остается только изменить свой вектор скорости таким образом, чтобы переместить его в эту заданную позицию. Ассистент остается в этом состоянии до тех пор, пока клиент не отсоединится.

Процесс распределения этих целей в многопоточном приложении может привести к таким проблемам, как потеря детерминизма, исключения параллелизма или увеличение времени работы из-за необходимой синхронизации. Все эти проблемы решает алгоритм формирования коалиции, описанный в разделе 8.3.

8.2. Цель «Ожидание помощи»

Эта цель указывается в пользовательском интерфейсе как действие «Ожидание помощи».

Процедура достижения этой цели выглядит следующим образом:

1. Агент начинает «Ожидание помощи», становясь клиентом набора команд.
2. Клиент бесконечно долго ждет, пока помощник из одной из команд предложит ему помощь.
3. Из всех агентов, предложивших помощь, клиент выбирает ближайших и назначает их на оставшиеся свободными места прикрепленных агентов. Если есть лишние предложения, они отклоняются.
4. Клиент повторяет шаги 2 и 3 до тех пор, пока не будут заполнены все закрепленные за ним места.

5. Клиент расширяет форму своего транспортного средства, чтобы включить в нее местоположение прикрепленных помощников. Это изменение не видно в представлении результатов, но его можно наблюдать в отладке. Клиент завершает цель «Ожидание помощи».

В этот момент у клиента есть помощники. Затем клиент продолжает работу над своими следующими целями, как обычно. Он отсоединяется от своих помощников, как только происходит одно из следующих событий:

- Если клиент сталкивается с целью «Идти к выходу», он отсоединяется от всех помощников незадолго до того, как пройти через выход, и затем проходит через выход самостоятельно, даже если не может двигаться без посторонней помощи. После этого он удаляется из расчета.
- Если клиент сталкивается с целью «Отсоединиться от помощников», он отсоединяется от всех помощников и продолжает движение к следующей цели самостоятельно.
- Если клиент достигает всех целей, он отсоединяется от всех помощников и удаляется из расчета.

Примечание

В пользовательском интерфейсе агенту может быть назначено действие поведения «Идти в зону безопасности». В симуляторе нет соответствующей цели.

Вместо этого клиент получает следующую последовательность целей:

1. Идти в помещения – указывает клиенту перейти к помещениям-зонам безопасности.
2. Заполнить помещение – указывает на то, что клиент должен отойти от входных дверей и продолжать движение до тех пор, пока не встретит препятствие. Это позволит заполнить помещение.
3. Отделиться от помощников – позволяет ассистентам отделиться и продолжать помогать другим клиентам.

8.3. Алгоритм формирования коалиции

Pathfinder – это многопоточное приложение, в котором агенты принимают решение о своем движении на шаге «до движения» и обновляют свое состояние на шаге «обновить». Каждый из этих шагов может выполняться агентами параллельно. Эвакуация требует от агентов координации и сотрудничества. Такое поведение создает множество проблем при реализации, поскольку требует детерминированных взаимодействий между агентами.

На каждом этапе моделирования движков симулятора выполняет следующие основные действия:

- Агенты и цели перед движением
- Обновление агентов
- Обновление целей

Обратите внимание, что цели обновляются так же, как и агенты. Эти три этапа должны быть разделены, чтобы сохранить детерминизм.

Ниже перечислены процедуры, добавленные в Pathfinder для поддержки помощи при эвакуации:

Агенты до движения

Поведение ассистентов меняется на этом шаге, только если они находятся в пассивном режиме, в этом случае их расчет движения основывается на положении, требуемом клиентами. Поведение клиентов не меняется.

Цели до движения

На этом этапе агентам разрешается действовать друг на друга. Если ассистент решает помочь клиенту, он бронирует место у этого клиента. Аналогично, если помощник решает прекратить оказывать помощь клиенту, он отменяет свою бронь. Когда клиент получает резервирование, он сохраняет его в списке резервирований. Обратите внимание, что порядок этого списка в данный момент не является детерминированным. Ассистенты также заново вычисляют расстояния до всех возможных клиентов и, возможно, выбирают новую цель.

Обновление агентов

Клиенты вычисляют новые позиции для ассистентов. Они также разрешают резервирование следующим образом:

1. Список бронирований сортируется по расстоянию от ассистента до клиента.
2. Первые бронирования в отсортированном списке выбираются для свободных мест в средстве передвижения.
3. Список резервирования очищается.

Обновление целей

На этом этапе агентам разрешается читать состояния друг друга. Ассистенты проверяют свои бронирования, чтобы узнать, было ли им выделено место, к которому они должны прикрепиться. Если да и клиент полностью зарезервирован, помощник устанавливает новую цель по отношению к клиенту. Если клиент не полностью зарезервирован, ассистент должен решить, оставаться ли ему с этим клиентом или уйти и помочь другим клиентам. Это решение принимается следующим образом:

1. Ассистент находит ближайшего другого частично занятого клиента.
2. Ассистент сравнивает предварительно вычисленное расстояние до этого клиента с минимальным из предварительно вычисленных расстояний ассистентов, которые зарезервировали место у другого клиента. Сторона, у которой расстояние больше, остается, а другая сторона должна отменить свое бронирование и переключиться на другого клиента, забронировав место на этапе, предшествующем перемещению.

Таким образом помощники вместе минимизируют расстояние до клиента, которому они собираются помочь.

Примечание

Это вычисление полностью распределено, поскольку каждый агент выполняет сравнение и принимает решение о своем поведении отдельно.

3. Если ассистент не нашел других частично занятых клиентов, он будет искать клиентов, которым требуется помощь только одного агента, и резервировать за ним место (на этапе предварительного перемещения). Также на этом шаге ассистенты могут стать пассивными (когда прикреплены к клиенту). Этого нельзя сделать на шаге перед перемещением, потому что агенты учитывают пассивное состояние других агентов при принятии решения о своем перемещении.

9. Лифты

Лифты в Pathfinder состоят из узла высадки и любого количества уровней лифта. Вместо того чтобы моделировать лифты с помощью динамических геометрических элементов (например, пола, который движется вверх и вниз), Pathfinder представляет лифты с помощью обычных помещений. На каждом уровне, которого касается лифт, есть помещение, а двери соединяют помещения лифта с каждым уровнем. На уровне высадки находится одно помещение высадки. Есть несколько помещений посадки, по одной на каждом уровне посадки.

Агенты, вошедшие в помещение посадки, перемещаются непосредственно в помещение высадки, минуя все геометрические фигуры между ними. При этом они продолжают двигаться, как будто находятся в движущемся помещении, когда их перемещают в помещение высадки. Лифтовые помещения, которые в данный момент не обслуживаются лифтом, блокируются с помощью закрытых дверей.

Работу лифта можно разделить на три основных этапа:

1. Ожидание
2. Посадка
3. Высадка

9.1. Ожидание

В начале моделирования каждый лифт простаивает. Все двери, соединяющие все уровни с лифтом, закрыты, лифт находится на этаже высадки, и он ждет вызова с одного из уровней посадки. После вызова он переходит к этапу посадки.

9.1.1. Вызов лифта

Чтобы агент мог вызвать лифт, ему должна быть назначена цель вызова лифта. Если в цели лифта указано несколько лифтов на выбор, агент использует модифицированную версию локально быстрого для выбора наилучшего варианта. В этой версии локально быстрого в список целей добавлены двери лифта на уровне, ближайшем к местоположению агента. Глобальное время движения для каждой двери лифта отражает оценку времени, которое потребуется лифту, чтобы добраться до уровня, где находится дверь, а также время, необходимое для поездки в лифте на уровень высадки и прогулки до ближайшего выхода.

Выбрав одну из дверей лифта, агент идет к ней. Когда он находится в пределах 0,5 м от выбранной двери лифта, а лифт находится в состоянии ожидания, происходит вызов лифта.

Если лифт входит в группу вызова, вызываются все лифты в этой группе.

9.2. Посадка

Когда уровень посадки вызывает лифт, лифт движется к этому уровню. Если лифт одновременно вызван с нескольких уровней, лифт направляется к тому из них, который имеет наивысший приоритет, указанный в пользовательском интерфейсе. По мере движения к уровню лифт продолжает отслеживать вызовы. Если вызов поступает с уровня

с более высоким приоритетом до того, как лифт достигнет текущего уровня, лифт переключается на другой уровень. Время достижения уровня перехвата задается в пользовательском интерфейсе.

Когда лифт достигает уровня посадки, он открывает двери и ждет, пока истечет таймер обратного отсчета. Затем лифт закрывает двери и переходит на этап высадки.

9.2.1. Таймер обратного отсчета

Когда двери лифта открываются на уровне посадки, лифт начинает таймер обратного отсчета, инициализированный временем, указанным входным параметром «Задержка открытия». Как только этот таймер достигнет нуля, двери лифта закроются. Пока таймер ведет обратный отсчет и в лифте есть место для агентов, могут произойти два события, которые могут повлиять на таймер:

- Агент входит в лифт.
- Агент находится вне лифта, желая войти в него, движется в направлении лифта со скоростью, превышающей 10% от максимальной, и находится в пределах 7 м от одной из дверей лифта.

Если происходит одно из этих событий, таймер обратного отсчета сбрасывается до значения, большего из его текущего значения или входного параметра «Задержка открытия».

9.2.2. Загрузка

Процесс загрузки лифта и достижения заданной пользователем номинальной нагрузки контролируется агентами и их поведением при движении, а не логикой лифта.

Pathfinder предоставляет различные механизмы для достижения номинальной нагрузки в зависимости от режима моделирования.

В режиме SFPE достижение номинальной нагрузки является довольно простым делом. Обычно помещению присваивается максимальная плотность людей из параметров моделирования. Двери, ведущие в это помещение, используют запорный механизм, чтобы предотвратить вход людей, если это приведет к превышению максимальной плотности в помещении. Для лифтовых помещений максимальная плотность людей определяется из номинальной нагрузки как номинальная_нагрузка/площадь. Поскольку в режиме SFPE люди могут перекрывать друг друга, нет необходимости в дополнительной работе для обеспечения номинальной нагрузки.

Однако в режиме управления Pathfinder требует дополнительных действий для обеспечения номинальной нагрузки. Это связано с тем, что каждое помещение имеет физический предел вместимости, обусловленный формой помещения, размером агентов и их поведением. Чтобы лифты могли достичь номинальной нагрузки, столкновения отключаются, но при этом агенты могут избегать друг друга.

9.3. Высадка

После загрузки лифта на уровне посадки он движется к уровню высадки. Время, необходимое для достижения уровня высадки, равно времени, затрачиваемому на

перемещение от уровня посадки до уровня высадки, как указано в пользовательском интерфейсе. Как только лифт достигает уровня высадки, он открывает двери. Когда лифт опустеет, он закроет двери и снова перейдет в состояние ожидания.

10. Процедура решения

Pathfinder работает в цикле моделирования, который рассчитывает движение на дискретных временных шагах. Для каждого временного шага выполняются следующие действия:

1. Обновление текущей целевой точки каждого агента. Этот шаг занимает больше всего времени на первом временном шаге, поскольку каждый агент должен найти путь к своей цели.
2. Расчет скорости каждого агента. Скорость рассчитывается по-разному в зависимости от того, активен ли режим SFPE или режим управляемого движения.
3. Увеличение текущего временного шага.
4. Перемещение каждого агента. Это включает в себя несколько этапов:
 - a. Расчет скорости для текущего времени. Если включен режим рулевого управления, то из желаемой скорости будет вычислена желаемая сила рулевого управления, а затем с помощью интегрирования будет вычислена фактическая скорость. В режиме SFPE это значение будет просто установлено на желаемую скорость.
 - b. Если включена функция предотвращения столкновений, обнаружение потенциальных столкновений и изменение желаемой скорости, чтобы избежать столкновений.
 - c. Интегрирование конечной скорости, чтобы найти максимальное расстояние перемещения, и перемещение по сетке до тех пор, пока это расстояние не будет достигнуто или пока не произойдет самое раннее столкновение.
 - d. Обновление выходных файлов.

11. Формат входного файла Pathfinder

Часть симулятора Pathfinder может опционально использовать входной файл для запуска симуляций. По умолчанию этот входной файл записывается каждый раз, когда происходит расчет. В этом разделе описывается входной файл, включая его формат и все параметры.

11.1. NODES - Узлы

Помещения, двери и лестницы представлены узлами. В любой момент времени во время моделирования каждый агент либо находится в одном из узлов, либо вышел из моделирования.

[nodes]

name <node display index>, <animation id>,

[optional: «count» <max occupant count in pers> or **«dens»** <max occupant density in pers/m²>]

Таблица 4. Узлы

name: string	Имя узла
node display index: int	Индекс свойств отображения узла
animation id: int	Индекс анимации узла
max occupant count in pers: int	Максимальное количество агентов, допустимое в узле
max occupant density in pers/m ² : float	Максимальная плотность населения, допустимая в узле

11.2. VERTS - Вершины

Этот раздел содержит все вершины, которые будут использоваться геометрией (треугольниками и ребрами) во входном файле.

[verts]

x y z

...

Таблица 5. Вершины

x : float	x-координата
y : float	y-координата
z : float	z-координата

11.3. NAVMESH – Навигационная сетка

Этот раздел определяет пространство для движения в рамках моделирования.

[navmesh]

ixnode ttype ixverta ixvertb ixvertc

...

Таблица 6. Сетка

ixnode : int	Индекс узла, связанного с этим треугольником
ttype : string	Тип местности: [горизонтальный (open), лестница (stair)].
ixverta : int	Индекс первой вершины
ixvertb : int	Индекс второй вершины
ixvertc : int	Индекс третьей вершины

Примечание

Порядок расположения трех вершин имеет значение. Для определения вершины элемента сетки используйте правило правой руки.

11.4. DOORS - Двери (необязательно)

В этом разделе определяются двери, которые будут использоваться, если включена опция `use_door_queues`. Ассоциирование дверного входа с узлом приводит к тому, что этот узел распознается симулятором как дверной узел и предотвращает использование расчета плотности для управления скоростями агентов в треугольниках, связанных с этим узлом. В этом разделе не определены геометрические грани, которые представляет собой дверь.

Примечание

Агенты не войдут в очередь к двери, пока не пересекут специальную границу двери (определена в разделе EDGES).

Выходные двери должны соединяться только с одним помещением, а внутренние двери – с двумя помещениями. Эти двери используются для предотвращения переполненности помещений при переходе людей из одной помещения в другое и для более сложных расчетов слияния.

[doors]

ixnode eff_width ixnodeA ixnodeB flowrate doorDir

...

Таблица 7. Двери

ixnode : int	Индекс узла, соответствующего этой двери
eff_width : float	Эффективная ширина этой двери
ixnodeA : int	Индекс помещения, примыкающей к двери (используйте тире «-» для обозначения отсутствия)

ixnodeB : int	Индекс помещения, примыкающей к двери (используйте тире «-» для обозначения отсутствия)
flowrate: float	Скорость потока через дверь
doorDir: string	Укажите либо «dir+» (для положительного направления), либо «dir-» (для отрицательного направления), либо используйте тире «-» для разнонаправленного направления.

11.5. EDGES - Ребра (необязательно)

Записи в этом разделе представляют геометрическую часть сущностей, которые в NAVMESH определены как ребра.

[edges]

etype <зависит от etype>

...

Таблица 8. Ребра

etype : string	Тип ребра: [граница, дверь, выход_дверь].
----------------	---

boundary ixverta ixvertb

Этот тип ребра представляет собой границу, за которую агенты не будут заходить.

Таблица 9. Граница

ixverta : int	Индекс первой вершины
ixvertb : int	Индекс второй вершины

door ixnode ixverta ixvertb

Этот тип ребра представляет внутреннюю дверь. Двери этого типа не будут включены в поиск ближайшего выхода и должны иметь два смежных узла, определенных в соответствующей записи о двери.

Таблица 10. Дверь

ixnode : int	Индекс узла, соответствующего этой двери
ixverta : int	Индекс первой вершины
ixvertb : int	Индекс второй вершины

exit_door ixnode ixverta ixvertb

Этот тип ребра представляет выходную дверь. Двери этого типа будут включены в поиск ближайшего выхода и должны иметь один прилегающий узел, определенный в соответствующей записи о двери.

Примечание

Определения ребер должны совпадать с определениями ребер в NAVMESH. Если дверь образована тремя вершинами A, B и C, она должна быть задана как два ребра: A B и B C. Ребра, которые не соответствуют ребрам в NAVMESH (например, A C), являются недопустимыми и могут привести к сбою моделирования или иному неожиданному поведению.

11.6. PARAM - Параметры (необязательно)

Этот раздел позволяет настроить глобальные параметры моделирования. Формат представляет собой список пар ключ-значение.

[param]

key value

...

Таблица 11. Структура раздела параметров

key : string	Имя параметра моделирования
value : mixed	Значение для параметра моделирования (тип зависит от ключа)

Таблица 12. Параметры

Название	Значение по умолчанию	Описание
max_time	0	Ограничение времени моделирования в секундах (0=бесконечное)
show_vis	0	Включение/выключение визуализации отладки (0=off, 1=on)
dt_init	0.025	Размер временного шага моделирования (с)
dt_vis	0.25	Частота вывода визуализации (с)
dt_wall_meta	0.5	Частота появления метаданных о ходе моделирования (с)
dt_csv_data	1.0	Приращение времени печати данных CSV (с)
dt_snapshot	120.0	
handle_collisions	1	Включить/выключить обработку столкновений (0=off, 1=on)

reactive_steering	1	Включение/выключение реактивного рулевого управления (0=off, 1=on)
inertia	1	Включение/выключение инерции (0=off, 1=on)
vel_from_density	1	Включение/выключение расчета скорости на основе плотности (0=off, 1=on). Применяется только при выключенной инерции.
density_max	3.55	Максимальная плотность заполнения помещения. Применяется только при активной очереди дверей.
specific_flowrate_max	1.32	Максимальный удельный расход для дверей.
door_flow_from_density	1	Включение/выключение скорости потока двери в зависимости от плотности (0=off, 1=on)
door_flow_density_min	1.9	Нижняя граница плотности для расчета удельного расхода через двери (чел./м2)
door_flow_density_max	3.0	Верхняя граница плотности для расчета удельного расхода через двери (чел./м2)
boundary_layer	0.150	Пограничный слой, используемый для моделирования SFPE (м)
min_flowrate_factor	0.1	Влияет на расчет минимальной скорости потока дверей. Более низкие значения улучшают распознавание агента ми медленной очереди к дверям, но могут привести к чрезмерному переключению очереди.
attr_default_idle_time	900.0	Соответствует значению Idle аттрактора по умолчанию
		Время в пользовательском интерфейсе.
dynamictarget_search_dt	0.25	Количество времени между попытками найти целевого обитателя для цели goto dynamic_target.
out_summary	summary.txt	Сводная информация о времени освобождения помещений и дверей.
out_performance	performance.txt	Сводная информация о производительности для завершенной расчете.

out_snapshot_base	snapshot	Базовое имя для сгенерированных снимков.
out_results	results.pfr	Файл «Результаты 3D».
out_occ_time_history	vis.pfd	Вывод воспроизведения видео (история времени).
out_geom_time_history	geomvis.pfg	Вывод воспроизведения видео (история времени) для геометрии.
out_room_usage	rooms.csv	Использование помещений с течением времени.
out_door_usage	doors.csv	Использование двери с течением времени.
out_attractor_info	triggers.csv	Использование триггера с течением времени.

11.7. EVENTS - События

Записи событий описывают события, которые произойдут во время моделирования.

[events]

time event

...

Таблица 13. События

_time_float	время моделирования, в которое произойдет событие
event	один из следующего списка

- close_door< door index > - закрыть дверь
- open_door< door index> - открыть дверь
- change_door_dir< координата x >< координата y >< индекс двери> - изменить направление двери
- set_speed_mod <"CONSTANT" или «FACTOR">< значение модификатора> - установить модификатор скорости

11.8. BEHAVIORS - Поведения

Эти записи представляют собой описания искусственного интеллекта для агентов-симуляторов.

[behaviors]

key value

...

Поведения хранятся в формате JSON ключ-значение. Поддерживаются следующие ключи: name и script. Сценарий содержит список действий, разделенных точкой с запятой. Ниже приведена таблица доступных действий для поведения агента в Pathfinder.

Таблица 14. Поведение

Действие	Формат	Пример
Идти к выходу(ам)	goto exit <comma separated list of exit door indices>	goto exit 1, 2
Идти к любому выходу	goto exit any	
Идти к точке	goto point (x, y, z) radius	goto point (1.5, 2.5, 0.0) 1.5
Идти в помещение(я)	goto room <comma separated list of room indices>	goto room 1, 3
Идти в лифт	goto elevator <comma separated list of elevator indices>	goto elevator 0, 1
Идти к любому лифту	goto elevator any	
Идти к агенту	goto dynamic_target \"<json configuration for target>\"	goto dynamic_target \"{ \"target\": { \"type\": \"BasicTaggedOccSupplier\", \"logic\": \"ALL\", \"tags\": [\"a\", \"b\", \"c\"], \"distPref\": \"NEAREST\", \"tracking\": \"DYNAMIC_CONTINUOUS\", \"arrivalDist\": 1.0, \"targetNotFound\": \"WAIT\", \"targetUnreachable\": \"RESTART\" } }
Идти к текущему триггеру	goto dynamic_target \"<json configuration for target>\"	goto dynamic_target \"{ \"target\": { \"type\": \"CurrentAttractor\", \"tracking\": \"DYNAMIC_ONCE\", \"arrivalDist\": 1.0, \"targetNotFound\": \"SKIP\", \"targetUnreachable\": \"SKIP\" } }
Ждать заданное количество времени на основе распределения	wait curve <curve index>	wait curve 0
Ждать заданное время	wait <value>	wait 60.0
Ждать до указанного времени	wait_until IWaitUntilSrc.SIMPLE <curve index>	wait_until IWaitUntilSrc.SIMPLE 1
Ждать до указанного времени по кругу	wait_until IWaitUntilSrc.CYCLE <initial delay curve index> <cycle period curve index>	wait_until IWaitUntilSrc.CYCLE 1 3

Ждать до следующего времени в расписании	wait_until IWaitUntilSrc.LIST <space-separated list of curves>	wait_until IWaitUntilSrc.LIST 2 3 4 7 9
Ждать помощи от команды помощи	get_assistance <comma separated list of indices of assisted evacuation teams>	get_assistance 0, 1
Заполнить текущее помещение, отходя от дверей	fill_room	
Заполнить текущее помещение, если предыдущая цель говорит о том, что это необходимо	fill_room_if_necessary	
Отделиться от помощников	detach_assistants	
Помогать агентам	assist <index of assisted evacuation team>	assist 0
Создать триггер	create_attractor <location; must be one of FOLLOW_OCC, CURRENT_LOCATION, or FIXED_LOCATION> <(x, y, z) only if FIXED_LOCATION> <comma separated list of attractor template IDs>	create_attractor FIXED_LOCATION (1.0, 2.0, 0.0) 0,1
Удалить триггер	destroy_attractor <comma separated list of attractor template IDs>	destroy_attractor 0,1
Добавить метку	tag (<comma separated list of tags>)	tag (last_goal_started)
Удалить метку	untag (<comma separated list of tags>)	untag (some_tag)
Установить метку	set_tag (<comma separated list of tags>)	set_tag (some_tag, some_other_tag)
Ждать пока все агенты будут помечены	wait_until_all_tagged (<comma separated list of tags>)	wait_until_all_tagged (+, finished)

Установить свойство профиля	set_prop <key>, <value>	set_prop OccProfile.REMOVE_WHEN_FINISHED, {{val:{{{false{:1.0}}}}}}
Установить свойство профиля на значение профиля	set_prop_to_profile <key>	set_prop_to_profile OccProfile.REMOVE_WHEN_FINISHED
Удалить агента из моделирования	remove_self	

Пример строки поведения:

2: {"name":"Behavior01","script":"goto point (-7.0, 3.0, 0.0) 1.5; tag (last_goal_started); goto exit any"}

11.9. PROFILES - Профили

В этом разделе перечислены все свойства, определенные для профиля агента. Профили хранятся в формате JSON ключ-значение. В следующей таблице показаны доступные ключи и значения для профиля. Обратите внимание, что в файл записываются только те свойства, значения которых не являются значениями по умолчанию. Кроме того, в файл записываются только те профили, которые используются любым агентом или источником агентов.

[profiles]

key value

...

Таблица 15. Профили

Key: «OccProfile._»	Формат	Пример
ACCEL_TIME	<index of acceleration time curve>	0
ATTRACTOR_SUSCEPTIBILITY_IDLE	<index of attractor-susceptibility>	0
ATTRACTOR_SUSCEPTIBILITY_SEEK	<index of attractor-susceptibility>	0
BOUNDARY_LAYER	<index of wall boundary layer curve>	0
COLLISION_RESPONSE_TIME	<index of collision response time curve>	0
COLOR	<color in RGBA 0-1 format>	[1.0,0.0,0.0,1.0]
CURR_DOOR_PREF	<index of current door preference curve>	0

DIST_TRAVELLED_DOUBLE_DIST	<index of current room distance penalty curve>	0
DESC	<String description of the profile>	"My profile"
FUNDAMENTAL	<index of speed-density profile function>	0
INIT_ORIENT	<index of initial orientation curve>	0
LOCAL_QUEUE_TIME_FACTOR	<index of current room queue time curve>	0
LOCAL_TRAVEL_TIME_FACTOR	<index of current room travel time curve>	0
MAXVEL	<index of speed curve>	0
MIN_SQUEEZE_FACTOR_CONST	<reduction factor between 0.0 and 1.0>	0.7
NAME	<name of the profile>	"Default"
OBEY_ONEWAY_DOORS	<whether one-way-doors should be obeyed>	[{"false":1.0}]
OCCMODEL	<list of occupant models with associated weights>	[{"md5 /AsWom0003 /AsWom0003. bea":0.5}, {"md5 /BMan0001 /BMan0001. bea":0.5}]
PERSIST_TIME	<index of persist time curve>	0
PRINT_EXTRA_OUTPUT	<whether CSV data should be printed>	[{"true":1.0}]
PRIORITY_LEVEL	<priority level, 2 in following example>	[{"2":1.0}]
FUNDAMENTAL_RAMP_DOWN	<speed density ramp down function>	{"x":[0.55,3.23], "y":[0.93,0.15], "type":"pw», "extrapolate": false}
FUNDAMENTAL_RAMP_UP	<speed density ramp up function>	{"x":[0.55,3.23], "y":[0.93,0.15], "type":"pw»,

		"extrapolate": false}
SPEED_RAMP_DOWN	<index of ramp down speed function>	0
SPEED_RAMP_UP	<index of ramp up speed function>	0
REAC_TIME	<index of reaction time curve>	0
REMOVE_WHEN_FINISHED	<whether occupants should be removed when finished>	{"true":1.0}
REQUIRES_ASSISTANCE	<whether occupants require assistance to move>	{"true":1.0}
RESTRICTED_COMPONENTS	<index of the component restrictions line in the [component- restrictions] section>	0
SLOW_FACTOR	<index of slow factor curve>	0
PROP_SPACING	<comfort distance curve>	{"val": {"min":"0.08 m», "max":"0.1 m», "type":"unif"}, "type": "COMFORT_DIST"}
FUNDAMENTAL_STAIR_DOWN	<speed density stair down function>	{"x":[0.55,3.23], "y":[0.93,0.15], "type":"pw», "extrapolate": false}
FUNDAMENTAL_STAIR_UP	<speed density stair up function>	{"x":[0.55,3.23], "y":[0.93,0.15], "type":"pw», "extrapolate": false}

SHAPE	<index of occupant shape>	0
SPEED_STAIR_DOWN	<index of stair down speed function>	0
SPEED_STAIR_UP	<index of stair up speed function>	0
TAIL_TIME_FACTOR	<index of global travel time curve>	0
WALK_ON_ESCALATORS	<whether occupants can walk on escalators>	[{"true":1.0}]

Пример строки профиля:

0: {"OccProfile.NAME":"Profile00","OccProfile.SHAPE":1, «OccProfile.COLOR»:[0.2,0.4,0.8,1.0]}

11.10.TRIGGERS - Триггеры

[attractors]

key value

...

Триггеры определяют объекты, которые могут изменять поведение агентов в зависимости от их местоположения. Триггеры хранятся в формате JSON ключ-значение. В следующей таблице приведены доступные ключи и значения для триггеров.

Примечание

Триггеры называются «аттракторами» во входном файле.

Таблица 16. Триггер

Ключ	Значение	Пример значения
"name"	<Trigger Name>	"Food Vendor"
"id"	<integer ID of Trigger. Must be unique across all triggers>	0
"resultsId"	<integer ID of Trigger. Must be unique across all objects with Results IDs>	4004856695989207 946
"type"	<whether this Trigger exists at the start of the simulation or is a template to be created later. Must be one of: «PLACED», "TEMPLATE">	
"awareness"	<awareness type. Must be one of: «LINE_OF_SIGHT», "ROOM_ONLY", "ROOMS", "GLOBAL">	"LINE_OF_SIGHT"
"behavior"	<index of behavior>	0

"rank"	<priority of trigger when comparing it to others>	0
"requiresCompletion"	<whether or not to resume this trigger's behavior after interruption by another trigger>	false
"location"	[<comma-separated list of 3 values if awareness is «LINE_OF_SIGHT» or «ROOM_ONLY»>]	[-11.5,3.0,0.0]
"radius"	<influence radius in meters if awareness is «LINE_OF_SIGHT»>	2.0
"rooms"	[<comma-separated list of node indexes if awareness is «ROOMS»>]	[0,1,5]
"forceConsiderationIfUnaware"	<whether or not to allow use of this trigger if an occupant delays response to it and is no longer aware of it when they planned to respond>	false
"influence"	<starting influence of trigger as a fraction>	1.0
"influenceCurve"	<influence of trigger as a fraction over time>	[{ «time»: 1.0, «influence»: 0.5}, {"time": 2.0, «influence": 1.0}]
"influenceFrom"	<timeline that « influenceCurve » is relative to. Must be one of: «ATTRACTOR_CREATION», "SIMULATION_START">	"ATTRACTOR_CREATION"

Примеры строк для триггеров:

0:

```
{"influenceFrom": "ATTRACTOR_CREATION", "reactTime": {"type": "IWaitUntilSrc.AUTO"}, "forceConsiderationIfUnaware": false, "type": "PLACED", "influence": 1.0, "requiresCompletion": false, "awareness": "LINE_OF_SIGHT", "name": "Trigger00", "rank": 0, "influenceCurve": [{"time": 0.0, "influence": 1.0}], "location": [-11.5, 3.0, 0.0], "id": 0, "behavior": 0, "radius": 2.0, "resultsId": 3344795672643861211}
```

1:

```
{"influenceFrom": "ATTRACTOR_CREATION", "reactTime": {"type": "IWaitUntilSrc.DELAY", "value": 0}, "forceConsiderationIfUnaware": false, "type": "PLACED", "influence": 0.005, "requiresCompletion": false, "awareness": "ROOM_ONLY", "name": "Trigger01", "rank": 1, "influenceCurve": [{"time": 0.0, "influence": 0.005}], "location": [-6.5, 3.5, 0.0], "id": 1, "behavior": 1, "resultsId": 6503696226418774782}
```

2:

```
{"rooms": [0, 1], "influenceFrom": "ATTRACTOR_CREATION", "reactTime": {"type": "IWaitUntilSrc.A
```



```
UTO"},"forceConsiderationIfUnaware":true,"type":"PLACED"},"influence":0.0,"requiresCompletion":true,"awareness":"ROOMS"},"name":"Trigger02"},"rank":5,"influenceCurve":[{"time":0.0,"influence":0.0},{"time":5.0,"influence":0.01}],"id":2,"behavior":2,"resultsId":-6550229411727727488}
```

3:

```
{"influenceFrom":"ATTRACTOR_CREATION"},"reactTime":{"type":"IWaitUntilSrc.SIMPLE"},"waitTime":1,"forceConsiderationIfUnaware":true,"type":"PLACED"},"influence":0.01,"requiresCompletion":false,"awareness":"GLOBAL"},"name":"Trigger03"},"rank":0,"influenceCurve":[{"time":0.0,"influence":0.01}],"id":3,"behavior":2,"resultsId":7988560072977203853}
```

4:

```
{"influenceFrom":"ATTRACTOR_CREATION"},"reactTime":{"type":"IWaitUntilSrc.AUTO"},"forceConsiderationIfUnaware":false,"type":"TEMPLATE"},"influence":1.0,"requiresCompletion":false,"awareness":"LINE_OF_SIGHT"},"name":"Trigger04"},"rank":0,"influenceCurve":[{"time":0.0,"influence":1.0}],"id":4,"behavior":3,"radius":4.0,"resultsId":-5205728161478884737}
```

11.11.FUNCTIONS - Функции

[functions]

key value

...

Функции используются для сопоставления независимой переменной x с зависимой переменной y .

Pathfinder поддерживает два типа функций: кусочно-линейные и постоянные.

Функции хранятся в формате JSON ключ-значение. В следующей таблице показаны доступные ключи и значения для кусочно-линейной функции.

Таблица 17. Кусочно-линейная функция

Ключ	Значение	Пример значения
"x"	[<comma separated list of x values>]	[0.1, 0.7, 1.5]
"y"	[<comma separated list of y values>]	[1.9, 0.65, 2.3]
"type"	<type of function, «pw» for piecewise linear>	"pw"
"extrapolate"	<true/false depending on whether points that are out of scope of x values should be extrapolated>	false

Таблица 18. Постоянная функция

Ключ	Значение	Пример значения
"val"	<constant value>	0.1
"type"	<type of function, "const" for constant>	"const"

Пример строки с функцией:

```
0: {"x":[0.55,3.2779887218045123],"y":[1.0,0.15],"type":"pw","extrapolate":false}
```

11.12.DISTRIBUTIONS - Распределения

[distributions]

key value

...

Распределения в Pathfinder представляют собой либо кривые, либо ящики. Кривые представляют непрерывные распределения, а ящики – дискретные.

В настоящее время поддерживаются следующие четыре типа кривых: постоянная кривая, равномерная кривая, стандартная нормальная кривая и логарифмическая нормальная кривая. Кривые хранятся в ключе JSON.

Таблица 19. Постоянная кривая

Ключ	Значение	Пример значения
"val"	<constant value>	"12.2 cm"
"type"	<type of curve, «cc» for constant>	"cc"

Таблица 20. Равномерная кривая

Ключ	Значение	Пример значения
"type"	<type of curve, «unif» for uniform>	"unif"
"min"	"<minimum of the uniform interval>"	"5.5 cm"
"max"	"<maximum of the uniform interval>"	"6.5 cm"

Таблица 21. Стандартная и логарифмическая нормальная кривая

Ключ	Значение	Пример значения
"type"	<type of curve, «stdNorm» for standard normal, «logNorm» for log normal>	"stdNorm"
"mean"	<mean value>	"6 cm"
"stDev"	<standard deviation>	"0.5 cm"
"min"	<minimum of the uniform interval>	"5.5 cm"
"max"	<maximum of the uniform interval>	"6.5 cm"

Пример кривой:

```
2: {"min":"45.58 cm","max":"50.58 cm","type":"unif"}
```

Ящики также хранятся в JSON в формате ключ-значение. Строка ящика содержит два ключа: «urn» и «type». Ключ «urn» содержит массив пар, каждая пара содержит значение, относящиеся к своей вероятности. Сумма всех вероятностей должна быть равна 1. Ключ «type» содержит тип переменных в ящике. Поддерживаются следующие типы: «int» для целых, «bool» для истина/ложь, «string» для строк и «ud» значений с единицами измерения.

Пример строки:

```
3: {"urn":[{"2.0 s":0.33},{"8.0 s":0.33},{"15.0 s":0.33999999999999997}],"type":"ud"}
```

11.13.COMPONENT RESTRICTIONS – Ограничения компонентов

[component-restrictions]

key value

...

В этом разделе определяются ограничения компонентов для агентов и профилей. Ограничения компонентов хранятся в формате JSON ключ-значение. В следующей таблице показаны доступные ключи и значения для ограничений компонентов.

Таблица 22. Ограничения компонентов

Ключ	Значение	Пример значения
"components"	<indices of components that the occupants can or cannot access>	[0,4,1]
"action"	_<whether the components are accepted or rejected. Possible values are «accept» and «reject"> _	"reject"

11.14.TRIGGER SUSCEPTIBILITY – Восприимчивость к триггерам

[attractor-susceptibility]

key value

...

В этом разделе определяются восприимчивости к триггерам для агентов и профилей агентов. Восприимчивость к триггерам хранятся в формате JSON ключ-значение. В следующей таблице показаны доступные ключи и значения для восприимчивости к триггерам.

Примечание

Триггеры называются «аттракторами» во входном файле.

Таблица 23. Восприимчивость к триггеру

Ключ	Значение	Пример значения
"value"	<if used in a values list, specifies a constant susceptibility value to apply to a specific trigger as a fraction. If not used in the values list, specifies the susceptibility for all triggers>	.20
"curve"	<if used in a values list, specifies the index of a susceptibility curve to apply to a specific trigger. If not used in the values list, specifies the index of a susceptibility curve for all triggers>	0
"values"	<list of susceptibility entries for triggers with non-zero susceptibility.>	[{"item":0,"value":1.0}, {"item":2,"curve":0}]
"item"	<index of trigger>	0

Примеры восприимчивости к триггеру:

0: {"values":[{"item":0,"value":.25},{"item":2,"curve":0}]}

1: {"value":.2}

2: {"curve":0}

11.15.OCCUPANT SHAPES – Формы агентов

В этом разделе определяются формы людей, как для многоугольных, так и для цилиндрических людей.

[occshapes]

type height attachedAgentsPositions anim model

...

Таблица 24. Многоугольный агент

type	poly <number of points> <space separated x, y, z coordinates of points>
height	<height in meters>
attachedAgentsPositions	<number of attachment positions> <space separated x, y, z coordinates of attachment positions>
anim	<animation>
model	<3D model>

Пример многоугольной формы агента:

0: type=poly 4 -0.66 -0.38 0.0 0.66 -0.38 0.0 0.66 0.38 0.0

-0.66 0.38 0.0, height=1, attachedAgentsPositions=1 -0.71 0.0

0.0, anim=wheelchair, model=props/Wheelchair/Wheelchair.bea

Таблица 25. Цилиндрический агент

type	cylinder
diameter	<diameter in meters>
height	<height in meters>
[optional]	
diameterdist	<index of diameter distribution>
heightdist	<index of height distribution>
geomdiameter	<geometry diameter in meters>

Примечание

Диаметр и высота могут быть заданы либо как постоянные величины, либо как распределения. Распределения ссылаются на порядок, в котором они указаны в разделе DISTRIBUTIONS. Параметр geomdiameter является необязательным. Если он опущен, то в качестве геомдиаметра используется полученный диаметр.

Пример цилиндрической формы агентов:

1: type=cylinder, diameterdist=10, height=1.8288, geomradius=0.33

2: type=cylinder, diameter=.42, heightdist=3

11.16.ASSISTED EVACUATION TEAMS – Команды помощи эвакуации

В этом разделе дается определение команд помощи при эвакуации.

[assisted-evac-teams]

goals name

...

Таблица 26. Команда эвакуации

goals	<bar separated list of occupant ids OR NA if the order to assist is not specified>
name	<name of the assisted evacuation team>

Пример строки группы помощи при эвакуации:

1: goals=3|1,name=AETeam00

11.17.OCCUPANT SOURCES – Источник агентов

[occupant-sources]

key value

...

В этом разделе определяются источники агентов. Источники агентов хранятся в формате JSON ключ-значение. В следующей таблице показаны доступные ключи и значения для источников жильцов.

Таблица 27. Источник агентов

Ключ	Значение	Пример значения
"name"	<name of the occupant source>	"OccSource00"
"component"	<index of a node to which the source is attached>	2
"behaviors"	<distribution of behaviors>	see the example below
"profiles"	<distribution of profiles>	see the example below
"bounds"	<bounding box of the occupant source specified by min and max points>	see the example below
"flowrate"	<index of the flow rate function>	3
"enforceFlowrate"	<whether the flow rate should be enforced regardless of occupants in the way>	false

Пример исходной строки для агентов:

1: {"component":13,"behaviors":{"urn":{"2":0.4},

```
{
  "0": 0.6,
  "enforceFlowrate": false,
  "name": "OccSource01",
  "profiles": {
    "urn": {
      "0": 0.25,
      "1": 0.25,
      "2": 0.25,
      "3": 0.25
    },
    "bounds": {
      "min": (-3.0686769149632847, 5.422381629126958, 0.0),
      "max": (-2.2558769149632854, 5.422381629126958, 0.0)
    },
    "flowrate": 4
  }
}
```

11.18.TAGS - Метки

[tags]

key value

...

Метки хранятся в формате JSON ключ-значение. В следующей таблице показаны доступные ключи и значения для меток.

Таблица 28. Метки

Ключ	Значение	Пример значения
"name"	<name of the tag>	"last_goal_started"
"desc"	<description of the tag>	"Last goal started"
"predefined"	<whether the tag is predefined. Predefined tags include: finished, exited, report_refuge_reached>	false

Пример строки:

```
0: {"name": "last_goal_started", "predefined": false, "desc": "Last goal started"}
```

11.19.OCCUPANTS - Агенты

[occupants]

key value

...

В этом разделе описываются агенты, присутствующие в начале моделирования. Начальный узел для каждого агента определяется на основе его местоположения. Свойства агентов хранятся в формате JSON ключ-значение. В разделе «Агенты» хранятся только те свойства, которые отличаются от свойств профиля агента. В следующей таблице приведены только те свойства, которые должны присутствовать всегда, поскольку не существует соответствующих свойств профиля (или по причинам реализации). Все свойства профиля также могут быть определены для отдельных агентов.

Однако кривые заменяются конкретными значениями, а единицы измерения опускаются.

Предполагается, что эти значения вводятся в единицах СИ.

Таблица 29. Агенты

Ключ	Значение	Пример значения
"name"	<name of the occupant>	"00001"
"id"	<id of the occupant>	0

"behavior"	<index of the behavior of the occupant>	1
"loc"	<initial location of the occupant>	"-2.1 -0.3 0.0"
"OccProfile.REAC_TIME"	<reaction time of the occupant>	"0.1"
"OccProfile.DIST_TRAVELLED_DOUBLE_DIST"	<current room distance penalty>	« 0.019"

Если переопределить одно из значений «OccProfile.ATTRACTOR_SUSCEPTIBILITY_IDLE» или «OccProfile.ATTRACTOR_SUSCEPTIBILITY_SEEK», восприимчивость определяется так же, как и в разделе 11.14, за исключением того, что ключевое слово «curve» не допускается.

В дополнение к предыдущим свойствам можно дополнительно указать следующие для каждого агента, чтобы изменить форму агента как цилиндра:

Таблица 30. Дополнительное переопределение параметров агента

Ключ	Значение	Пример значения
"OccProfile.DIAMETER"	<diameter of the occupant in meters>	«.4"
"OccProfile.GEOM_DIAMETER"	<geometry diameter of the occupant in meters>	«.33"
"OccProfile.HEIGHT"	<height in meters>	"1.8"

Примечание

Если для строки агентов указаны оба параметра «OccProfile.DIAMETER» и «OccProfile.SHAPE», то параметр диаметра имеет приоритет над параметром формы.

Если указаны «OccProfile.DIAMETER» и «OccProfile.GEOM_DIAMETER» опущен, диаметр также используется в качестве диаметра геометрии. Если параметр «OccProfile.HEIGHT» опущен, используется значение по умолчанию 1,8288.

Пример строки для агентов:

```
0: {"OccProfile.DIAMETER":».5», «loc":-2.017382141545266 -0.320219
0.0», "OccProfile.CURR_DOOR_PREF":"0.55», "profile":0, "name": "00001"
```

11.20.ELEVATORS - Лифты

[elevators]

key value

...

Лифты хранятся в формате JSON ключ-значение. В следующей таблице показаны доступные ключи и значения для лифтов.

Таблица 31. Лифты

Ключ	Значение	Пример значения
"name"	<name of the elevator>	"Elevator01"
"id"	<id of the elevator>	0
"initial_floor"	<id of the elevator room that the elevator will be at when the simulation starts>	0
"double_deck"	<whether the elevator is a double-deck elevator>	false
"lower_deck_discharge"	<lower deck discharge id of a double-deck elevator, only available for double-deck elevators>	6
"upper_deck_discharge"	<upper deck discharge id of a double-deck elevator, must be directly above the lower deck discharge, only available for double-deck elevators>	7

В следующем разделе содержится дополнительная информация о лифте.

[elevator-discharge]

discharge open-time close-delay size-factor max-density

...

Таблица 32. Высадка

discharge: int	index of discharge node
open-time: double	minimum time the elevator doors are open for pickup (s)
close-delay: double	delay between the last entering occupant and the doors closing for pickup (s)
size-factor: double	always 0.0
max-density: double	nominal load/elevator area

В следующем разделе содержится информация, относящаяся к уровням лифтов.

[elevator-level-data]

elevator-id pickup level-id open-time close-time pickup-time discharge-time delay

...

Таблица 33. Данные об уровне лифта

elevator-id: int	index of the elevator
pickup: int	index of pickup level node
level-id: int	index of floor

open-time: double	time it takes to open the doors (s)
close-time: double	time it takes to close the doors (s)
pickup-time: double	time it takes to go from the discharge floor to the pickup floor, excluding door open/close times (s)
discharge-time: double	time it takes to go from the pickup floor to the discharge floor, excluding door open/close times (s)
delay: double	delay for when this level can start picking up occupants (s)

Следующий дополнительный раздел определяет связанные лифты.

[elevator-links]

<comma separated list of elevator indices>

...

Следующий дополнительный раздел определяет приоритеты уровней лифта.

[elevator-priority]

elevator-id, <comma separated list of elevator level indices>

...

11.21.ДРУГИЕ ПРИМЕЧАНИЯ

Строки, начинающиеся с символа комментария («#»), будут игнорироваться.

Строки считаются разделенными пробелами и запятыми. Строки, содержащие пробелы и запятые, должны быть заключены в двойные кавычки. Следующие три определения VERT идентичны для решателя.

1, 1, 0

1.0 1. 0.

1, 1 0

12. Формат файла видов

В главе 8 руководства пользователя Pathfinder описано, как сохранить положение камеры (Виды), которые можно вызвать позже, а также для создания маршрутов камеры, которые позволяют пролететь по модели. Данные, определяющие эти виды и маршруты, содержатся в файле view.json. В этом файле используются пары имен/значений JSON и формат упорядоченного списка.

Таблица 34. Вид

Название	Описание
"name"	Name of the view.
"type"	"camera_view"
"state"	Data that defines the view. This is a list.
"loc"	XYZ coordinates of camera
"ref"	XYZ coordinates of point camera is looking at.
"up"	Vector that defines up direction (should be orthogonal to view direction from location to reference).
"zoom"	Factor >0 that results from mouse scroll wheel movement.
"zoomloc"	Screen location of cursor when scroll wheel was zoomed.
"near"	Not used.
"far"	Not used.
"near"	Not used
"fov"	Field of view in radians.

Таблица 35. Маршрут

Название	Описание
"name"	Name of the tour.
"type"	"camera_script"
"tstart"	Start time of the tour
"loop"	Tour returns to first view.
"repeat"	Repeat sequence.
"crsalpha"	Controls shape of camera path between tour views. 0.0→Uniform, 0.5→Centripetal, 1.0→Chordal.
"node"	Data that defines the tour. This is a list that includes the view parameters.
"treach"	Amount of time to reach the node.
"twait"	Amount of time to wait at the node.

13. Дробная эффективная доза FED

Для расчета дробной эффективной дозы (FED) в Pathfinder используются уравнения, описанные в SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 5th Edition, Vol 3, Chapter 63, pages 23082428 (SFPE 2016). Реализация такая же, как и в FDS-EVAC (Korhonen 2018), с использованием только концентраций удушливых газов CO, CO₂ и O₂ для расчета значения FED. См. руководство пользователя FDS (McGrattan et al. 2021) для получения дополнительной информации о расчетах FED в FDS.

$$FED_{tot} = FED_{CO} \times V_{CO_2} + FED_{O_2}$$

В этот расчет не входит эффект цианистого водорода (HCN), а эффект CO₂ обусловлен только гипервентиляцией. Углекислый газ не оказывает токсического действия при концентрации до 5 %, но он стимулирует дыхание, что увеличивает скорость поглощения других продуктов горения.

Доля выводимой из строя дозы CO рассчитывается по уравнению 63.18 SFPE:

$$FED_{CO} = 3.317 \times 10^{-5} [CO]^{1.036} (V) (t) / D$$

где:

CO= Концентрация угарного газа (ppm v/v 20° C)

V= Объем воздуха, вдыхаемого каждую минуту, литр/мин. Значение 25 л/мин для активности уровень легкой работы – ходьба до выхода.

t= Время (минуты)

D= Экспозиционная доза (процент COHb). Значение составляет 30% для уровня активности легкой работы (ходьба до выхода).

Гипервентиляция, вызванная углекислым газом, может увеличить скорость всасывания других токсичных продуктов пожара (например, CO). Коэффициент умножения определяется следующим образом (Уравнение SFPE 63.34)

$$V_{CO_2} = \exp(0.1903 \times \%CO_2 + 2.0004) / 7.1$$

где:

%CO₂= объемная доля CO₂ (v/v)

Доля выводимой из строя дозы гипоксии из-за низкого содержания O₂ рассчитывается по уравнениям SFPE 63.27 и 63.30

$$FED_{O_2} = \frac{t}{\exp[8.13 - 0.54(20.9 - \%O_2)]}$$

где:

t= Время (минуты)

%O₂= объемная доля O₂ (v/v)

В результате составления этого уравнения даже в условиях, которые считаются безопасными, при гипоксии с пониженным содержанием кислорода получаются ненулевые значения. При концентрации кислорода 20,9% (уровень моря) это уравнение

дает $FEDO2 = 1,0$ через 2,36 дня. При концентрации кислорода 20,78% (содержание кислорода в воздухе по умолчанию в FDS) это уравнение дает $FEDO2 = 1,0$ через 2,21 дня.

Например, (OSHA 1995) устанавливает предел низкого содержания кислорода для безопасных условий труда на уровне 19,5%, а (Purser 2010) утверждает, что «большинство людей могут переносить гипоксию, вызванную низкой концентрацией кислорода во вдыхаемом воздухе, вплоть до 11%, не испытывая серьезных последствий».

Чтобы предотвратить вводящее в заблуждение накопление FED для агентов, находящихся в безопасных условиях, Pathfinder позволяет указать предел в пользовательском интерфейсе, чтобы контролировать, когда член $FEDO2$ будет способствовать FED – в терминах верхней границы концентрации кислорода. Значение по умолчанию составляет 19,5%.

Поскольку концентрации CO , $CO2$ и $O2$ изменяются во времени и пространстве, уравнения интегрируются с учетом текущей экспозиции агента для расчета FED.

Место измерения для отбора проб количества FED составляет 90% от роста человека. Например, данные FED для агента ростом 1,8 м будут отобраны на высоте 1,62 м над местом нахождения человека. Если человек не находится в ячейке FDS, расчет FED приостанавливается до тех пор, пока человек не войдет в другую ячейку.

14. Вычисление величин в области измерения

Для расчета плотности и скорости в областях измерения используется реализация метода Штеффена и Сейфрида на основе диаграммы Вороного (Steffen and Seyfried 2010). В этом методе создается диаграмма Вороного для разделения пространства между агентами.

Плотность каждого агента рассчитывается на основе размера его ячейки на диаграмме Вороного. Затем эти плотности объединяются с помощью средневзвешенного значения, где весом является часть области измерения, которая пересекает ячейку Вороного.

Агенты, чье местоположение находится на расстоянии до 1,41 метра за пределами области измерения, будут участвовать в измерении, но более удаленные агенты будут игнорироваться.

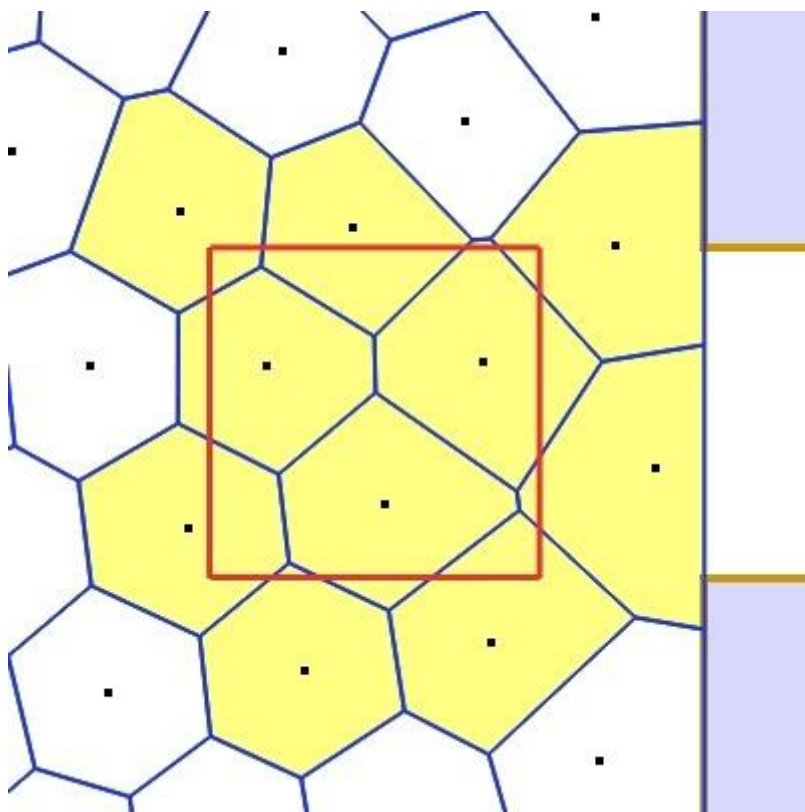


Рисунок 19. Пересечение области измерения и близлежащих ячеек Вороного агентов.

Диапазон 1,41 м соответствует максимальной площади воздействия 4 м² кв. для каждого человека.

Библиография

- Amor, Heni Ben, Jan Murray, Oliver Obst, and others. 2006. Fast, Neat, and under Control: Arbitrating between Steering Behaviors. *AI Game Programming Wisdom*. Vol. 3.
- Firth, Paul. 2011. "Collision Detection for Dummies (Wayback)." <https://web.archive.org/web/20190801002050/https://wildbunny.co.uk/blog/2011/04/20/collision-detection-for-dummies/>.
- Fruin, J.J., and G.R. Strakosch. 1987. *Pedestrian Planning and Design*. Elevator World. <https://books.google.com/books?id=vrckAQAAMAAJ>.
- Hart, Peter E., Nils J. Nilsson, and Bertram Raphael. 1968. "A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths." *IEEE Trans. Systems Science and Cybernetics* 4: 100–107.
- IMO. 2016. "IMO Guidelines for Evacuation Analysis for New and Existing Passenger Ships. MSC.1/Circ.1533." 4 Albert Embankment, London, Great Britain: International Maritime Organization.
- Johnson, Geraint. 2006. Smoothing a Navigation Mesh Path. *AI Game Programming Wisdom*. Vol. 3.
- Korhonen, Timo. 2018. *Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+Evac, Technical Reference and User's Guide*. Sixth Edition. VTT Technical Research Centre of Finland: VTT. http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/fdsevac/documents/FDS+EVAC_Guide.pdf.
- Kuligowski, Erica D., Richard D. Peacock, and Bryan L. Hoskins. 2010. "A Review of Building Evacuation Models, 2nd Edition." Technical Note (NIST TN). National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA, and Lund University, Lund, Sweden. <https://www.nist.gov/publications/review-building-evacuation-models-2nd-edition>.
- McGrattan, Kevin, Simo Hostikka, Randall McDermott, Jason Floyd, and Marcos Vanella. 2021. *Fire Dynamics Simulator User's Guide, NIST Special Publication 1019*. Sixth Edition. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA: NIST.
- OSHA. 1995. "Precautions and the Order of Testing before Entering Confined and Enclosed Spaces and Other Dangerous Atmospheres." Occupational Safety and Health Administration. United States Department of Labor: OSHA. <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1915/1915.12>.
- Purser, D.A. 2010. "4 – Asphyxiant Components of Fire Effluents." In *Fire Toxicity*, edited by Anna Stec and Richard Hull, 118–98. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9781845698072.2.118>.
- Reinolds, C. 1999. "Steering Behaviors For Autonomous Characters.» In *Proceedings of the Game Developers Conference 1999*, 763–82. Miller Freeman Game Group, San Francisco, California, USA.
- SFPE. 2016. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. 5th ed. Springer-Verlag New York. <https://www.springer.com/us/book/9781493925643>.
- — —. 2019. *SFPE Guide to Human Behavior in Fire*. 2nd ed. Springer International Publishing. <https://www.springer.com/gp/book/9783319946962>.

Steffen, B., and A. Seyfried. 2010. "Methods for Measuring Pedestrian Density, Flow, Speed and Direction with Minimal Scatter." *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications* 389 (9): 1902–10. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2009.12.015>.