

Моделирование пешеходных потоков

Для эффективного моделирования потоков транспортных средств необходимо уделять особое внимание и пешеходам. Их поведение является сложным феноменом, поэтому при планировании объектов с высокой плотностью пешеходного движения и ограниченным пространством для гарантированного предотвращения давки и снижения задержек необходимо проводить имитационное моделирование.

За последние несколько лет было предложено несколько моделей. Почти все они используют законы физики для моделирования движения, сводя пешеходов к частицам. Ниже приведен краткий перечень существующих моделей.

Модель магнитных сил была предложена С. Окаzuki и С. Матсушита. В ней пешеходы представлялись в виде магнитных зарядов, находящихся в магнитном поле. Пешеходы и препятствия представлялись положительным зарядом, а цель движения — отрицательным.

Модели, использующие теорию очередей для описания движения пешеходов в терминах вероятностных функций.

Клеточные автоматы — это простой и быстрый способ для моделирования движения пешеходов. В клеточных автоматах пространство представляется сеткой. В каждой ячейке может поместиться только один человек. Движение моделируется за счет перехода пешеходов между клеточками по определенным правилам;

Газо-кинетическая модель — рассматривает пешеходов как молекулы в разжиженном газе. Точная скорость и положение пешеходов-молекул неизвестны, вместо этого известно статистическое распределение частиц, исходя из уравнения Больцмана;

Модель социальных сил, разработанная Хелбингом и Молнаром, использует Ньютонскую механику для

описания движения пешеходов. Силы порождаются социальными взаимодействиями.

Модель социальных сил

Для реализации в PTV Vision® VISSIM была выбрана модель социальных сил, так как она является непрерывной, многоагентной, позволяет менять точность в зависимости от выбранного численного метода. Её единственным существенным недостатком является низкая производительность при реализации на ЭВМ. Например, имитация в PTV Vision® VISSIM одного часа пешеходного движения Олимпийского парка в Сочи на 90 000 человек заняла пять часов.

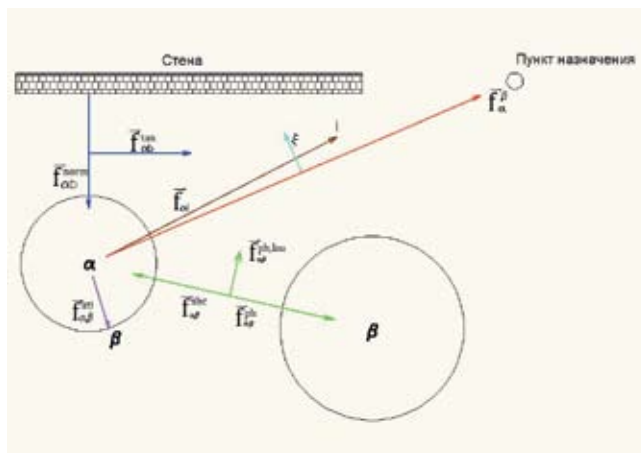
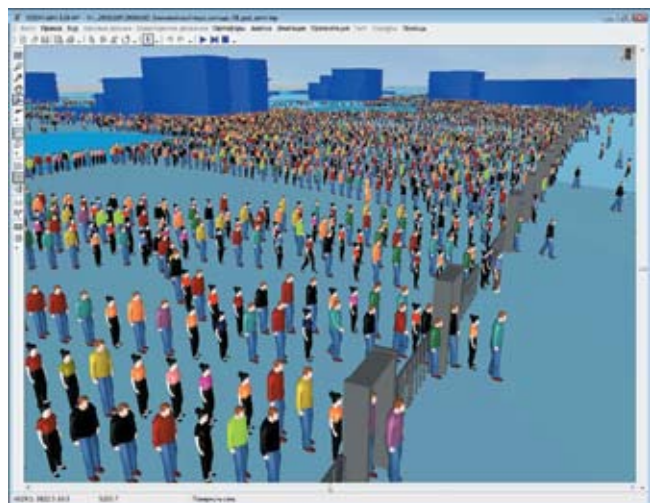


Рис.1. График модели социальных сил пешехода

Модель социальных сил была разработана D. Helbing и P. Molnar [1]. В этой модели различные мотиваторы и воздействия на пешехода выражены в форме различных сил, показанных на рис. 2.

Модель использует Ньютонскую динамику для описания движения пешеходов. Она демонстрирует несколько естественных поведенческих особенностей пешеходов в процессе движения:

- пешеходы выбирают самый короткий путь;
- пешеходы двигаются с индивидуальной скоростью, с учетом ситуации, пола, возраста, ограничений и другие;
- пешеходы держатся на определенном расстоянии друг от друга. Дистанция зависит от плотности их потока и скорости движения.



Модель социальных сил

Движение пешехода в модели социальных сил описывается суммой действующих на него сил. Решая полученную систему дифференциальных уравнений, можно узнать положение в пространстве, скорость и ускорение пешехода в любой момент времени. Существует множество численных методов для решения дифференциальных уравнений: метод Эйлера, метод предиктора-корректора, методы Рунге-Кутты, методы Гира. Они различаются по производительности и точности, имеет смысл подбирать метод для конкретной задачи. Суммарная социальная сила, действующая на пешехода, зависит не только от его положения в пространстве, но и от его скорости, поэтому метод Гира пятого порядка является оптимальным для данной задачи, так как для нахождения решения требуется меньшее число операций.

Имитационное моделирование

В PTV Vision® VISSIM как и во всех имитационных моделях принцип действия основывается на циклическом процессе. Цикл повторяется до тех пор, пока не будет достигнуто условие остановки. Упрощенно алгоритм выглядит следующим образом:

1. установить параметры модели;
2. если условие окончания цикла не достигнуто, то
 - а) для каждого пешехода рассчитать движущую силу;
 - б) для всех других пешеходов рассчитать социальную силу, добавить её к движущей силе;
 - в) для всех стен и препятствий рассчитать силу взаимодействия, добавить её к движущей силе;
 - г) рассчитать новые значения положения, скорости и ускорения пешехода;
3. окончание цикла.

После установки параметров модели управление передается в основной цикл, в котором вычисляются силы, действующие на каждого пешехода. Чтобы рассчитать силу, действующую на каждого пешехода, необходимо просуммировать силы от всех других пешеходов, стен, препятствий и аттракторов, что приводит к сложности алгоритма n^2 . Сложность алгоритма n^2 достаточно требовательна к ресурсам ЭВМ, при том, что некоторые модели потоков пешеходов имеют сложность n .

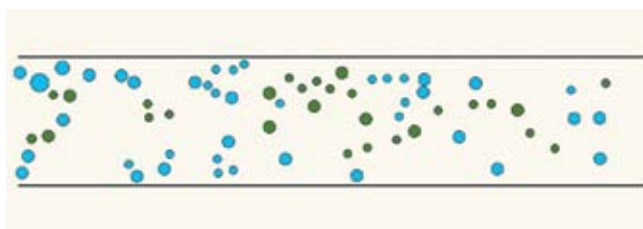


Рис. 2. Иллюстрация эксперимента движение двух встречных потоков

Для наибольшей наглядности рассмотрим экспериментальный пример, эмпирические данные для которого возьмем из работ [1,2].

Ввиду большого количества параметров не будем рассматривать их все, укажем лишь самые важные. В соответствии с данными из работ [1,2] скорость пешеходов распределена по нормальному закону с

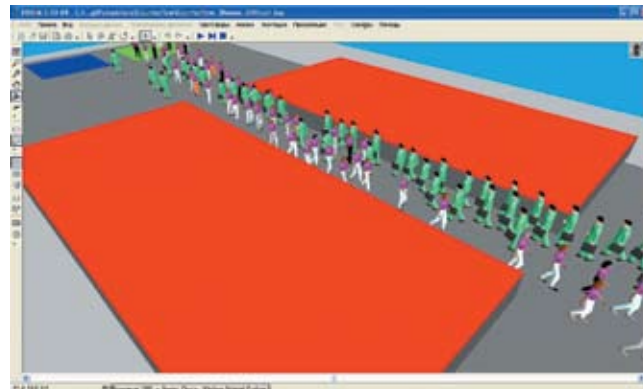


Рис. 3. Реализация движения двух встречных потоков пешеходов по пространственному коридору в программном комплексе PTV Vision® VISSIM

медианой 1.34 м/с и стандартным отклонением 0.26 м/с. Пешеходы входят в помещение в случайных позициях. Первый эксперимент моделирует движение двух встречных потоков пешеходов по пространственному коридору. На рис. 2 показано одно из состояний модели в процессе работы. На рис. 4 показана реализация движения двух встречных потоков пешеходов по пространственному коридору в программном комплексе PTV Vision® VISSIM

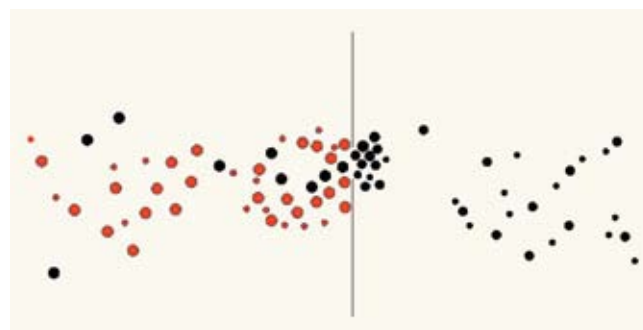


Рис. 4. Иллюстрация эксперимента прохождения дверного проема в коридоре двумя встречными потоками пешеходов

Мы видим сформированные, так называемые полосы движения, несмотря на то, что поток пешеходов начинается в случайных позициях. Движение полосами оптимально, что подтверждается жизненным опытом и математическими расчетами. Каждый пешеход руководствуется достаточно простыми правилами, но явления, демонстрируемые системой, выходят за рамки поведения пешеходов. Такие явления самоорганизации проявляются в многоагентных системах, какой модель социальных сил и является. Данный феномен был зафиксирован многими исследователями движения потоков пешеходов и исследователями модели социальных сил в частности, что говорит в пользу правильности её реализации. Следует также отметить, что количество полос движения линейно зависит от ширины коридора. Во втором эксперименте демонстрируется прохождение дверного проема в коридоре двумя встречными потоками пешеходов. На рис. 5 видно, что в то время, пока один поток пешеходов проходит через дверной проём, другой — вынужден ждать. Но через некоторое время инициатива поменяется. Такое явление самоорганизации получило название «колебание ини-



Рис. 5. Прохождение дверного проема в коридоре двумя встречными потоками пешеходов. Модель программного комплекса PTV Vision VISSIM

циативы потоков пешеходов». Оно хорошо подтверждено как наблюдателями, так и исследователями. Для того, чтобы при моделировании встречных потоков не происходило «наложения» одной модели пешехода на другую, в модели социальных сил применяется концепция упругого удара.

Примеры проектов

Модель социальных сил, реализованная в программном комплексе PTV Vision® VISSIM для имитации пешеходного движения, используется для решения следующих задач:

- массовая эвакуация людей с объектов;
- проверка работы пропускных систем;
- взаимодействие пешеходов с другими видами транспорта;
- проведение мероприятий с большим скоплением людей.

При проверке работы Олимпийского парка Сочи были решены, в том числе, и вышеперечисленные за-

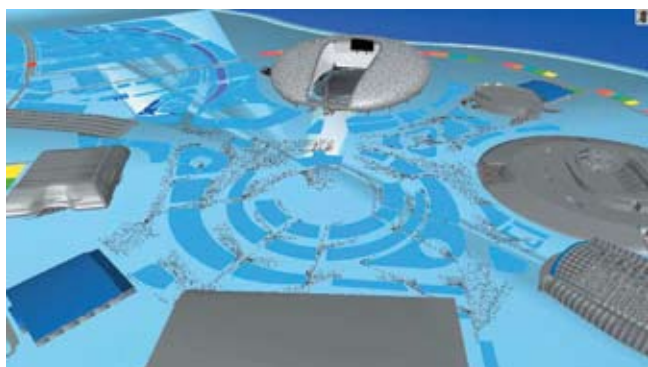


Рис. 6. Имитационная модель эвакуации в олимпийском парке в Сочи

дачи. Количество людей, которое находится в Олимпийском парке на момент эвакуации, составляет 90 730 человек. В результате выполнения моделирования были сделаны следующие предложения по сокращению времени эвакуации людей с объекта до 15 мин.: расширить существующие и добавить один эвакуационный выход.

При входе на объект Олимпийского парка стоят пропускные турникеты. В ходе выполнения имитации

работы парка была выявлена нехватка турникетов для пропуска посетителей, вследствие чего создавалась большая очередь. Количество турникетов было увеличено.

Было рассчитано максимальное и минимальное время доставки людей до спортивных объектов по каждому варианту.

Проведено сравнение двух возможных вариантов организации движения внутри Олимпийского парка, а также рассмотрен вариант строительства путепровода. По результатам сравнения к реализации был предложен один из вариантов.

Проект имитационного моделирования Олимпийского парка Сочи стал первым крупным проектом в России, где использовалась модель социальных сил. За рубежом же она применялась, например, для моделирования объектов при организации Олимпийских игр в Пекине, для имитации эвакуации в одном из крупнейших отелей Рима, моделирования пешеходного движения на площади около Бранденбургских ворот и других.

Заключение

Модель социальных сил является самой требовательной к машинным ресурсам, поэтому долгое время ей не уделялось должного внимания, но с ростом производительности ЭВМ в последние годы стало возможно производить эксперименты с большим количеством пешеходов. И с каждым годом растет потенциал ее использования. В настоящее время благодаря интеграции модели социальных сил в различные программные продукты, предназначенные для моделирования потоков, возможен анализ пешеходных потоков, который реально производить на достаточно высоком уровне. Так, с помощью данной методики были разработаны и проанализированы проекты стадионов как в ближнем (Киев) и дальнем зарубежье, так и в России (Санкт-Петербург, Сочи). ➔

Литература

1. Helbing, Social force model for pedestrian dynamics, Physical review E, May 1995.
2. Helbing, Simulation of Pedestrian Crowds in Normal and Evacuation Situations, Pedestrian and Evacuation Dynamics Springer-Verlag, Berlin; Heidelberg; New York (2002) pp. 21-58.
3. M. APEL, K.T. WALDEER, Simulation of pedestrian Flows based on the Social Force Model Using the Verlet Link Cell Algorithm, Karl-Scharfenberg-Fakult at Salzgitter, Institut fur Simulation und Modellierung.
4. Ramin Mehran, Alexis Oyama, Mubarak Shah, Abnormal Crowd Behavior Detection using Social Force Model, IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Miami, 2009.
5. Was J., Gudowski B., Matuszyk PJ: Social Distances Model of Pedestrian Dynamics. In: El Yacoubi, Chopard B., Bandini S. (eds.) ACRI 2006 LNCS, vol.4173, pp.492-501. Springer, Heidelberg (2006).