Прикладные задачи нелинейной теории колебаний и волн

Изв.вузов «ПНД», т.7, № 5, 1999 УДК 517.39

МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ГРУППЫ ЛЮДЕЙ НА ОСНОВЕ РЕШЕТОЧНОГО ГАЗА С НЕЛОКАЛЬНЫМИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯМИ

М.Е. Степанцов

Для математического моделирования движения неорганизованной группы людей ранее был предложен клеточный автомат с окрестностью Марголуса, имевший ряд недостатков – в частности, движение людей рассматривалось без учета их способности выбирать оптимальное направление движения.

В данной работе предлагается модель на основе двумерного решеточного газа с нелокальными взаимодействиями, обладающая элементами искусственного интеллекта. Проведены модельные расчеты.

Необходимость моделирования поведения людей возникает при решении задач, связанных с проектированием городских коммуникаций и сооружений, рассчитанных на нахождение в них большого количества людей. При этом целесообразно рассмотреть движение людей как в штатной ситуации, так и в условиях паники, и устранить особенности конструкций, которые могут привести к заторам и давке.

Поведение достаточно большой группы людей в стандартной ситуации хорошо описывается вероятностным образом: даже если один человек будет действовать нетривиально, его действия никак не повлияют на группу в целом.

Для математического моделирования процессов, происходящих с ансамблем большого числа однородных объектов, например, молекул газа, успешно применялись упрощенные дискретные модели из класса клеточных автоматов [1]. Движение группы людей оказалось возможным описать при помощи клеточного автомата с окрестностью Марголуса [2].

Однако данный автомат имеет ряд недостатков – в частности, движение людей рассматривается без учета их способности ориентироваться в ситуации, выбирать оптимальное направление движения, обходить препятствия и создавшиеся заторы. Кроме того, в предыдущих работах на эту тему моделируемый объект назывался толпой, что вело к терминологической неточности – социальные науки называют толпой нечто другое. Поэтому в данной работе мы будем говорить о движении неорганизованной группы людей.

При построении новой модели главной целью было придание ей элементов искусственного интеллекта. Поскольку автомат с классической окрестностью Марголуса не позволяет осуществлять нелокальные зависимости, в качестве основы нового автомата был взят двумерный решеточный газ на ортогональной решетке [3].

Как и в старой модели, каждая клетка может находиться в одном из двух состояний: «1» (заполнена) или «0» (пуста). Задано также направление движения «вперед», в котором частицы движутся при отсутствии препятствий. Препятствием могут служить как другие частицы, так и стационарные препятствия (стены и т.п.), моделируемые запретом движения в соответствующих клетках. Каждый временной шаг автомата состоит из двух этапов:

1) анализ ситуации в каждой клетке автомата;

2) перемещение частиц в соответствии с правилами автомата.

Рассмотрим каждый из этих этапов.

Анализ ситуации в каждой клетке автомата производится путем подсчета вероятностей выбора одного из трех направлений («вперед», «вправо», «влево») (рис. 1). При этом учитывается состояние N клеток в каждом из этих направлений, где N (глубина анализа) является параметром модели.

Вероятности находятся по формулам

$$P_{\mathrm{F}}(i,j) = 1 - 1/N \sum_{k=1}^{N} X(i-k,j),$$

$$P_{\mathrm{R}}(i,j) = 1 - 1/N \sum_{k=1}^{N} X(i,j+k),$$

$$P_{\mathrm{L}}(i,j) = 1 - 1/N \sum_{k=1}^{N} X(i,j-k),$$

где i и j – координаты текущей клетки, X – состояние соседних клеток. Если при последовательной проверке клеток встречается стенка, то все последующие клетки считаются заполненными (X=1 для всех $k>k_0$), так как они являются недоступными.

Найденные вероятности используются на втором этапе. Вначале проверяется возможность передвижения частицы вперед, то есть отсутствие в ближайшей клетке в этом направлении частицы как в данный момент, так и на предыдущем шаге (это необходимо для предотвращения попадания двух частиц в одну клетку, что приведет к нарушению закона сохранения числа частиц). Если такая возможность есть, то с вероятностью P_{F} частица перемещается вперед.

В противном случае аналогичным способом совершаются попытки перемещения частицы вправо и влево. Варианты «сначала вправо, затем влево» и «сначала влево, затем вправо» выбираются с равной вероятностью, чтобы сохранить симметрию модели. В любом случае, если перемещение частицы удается, вся данная процедура прекращается, и автомат переходит к следующей клетке. Если же частица все еще остается на своем месте, совершается последняя попытка – переместить ее назад. Здесь перемещение осуществляется с вероятностью 1, если передвижение назад возможно, то есть соседняя клетка свободна.

Таким образом, частицы перемещаются по клеткам автомата в соответствии со следующими правилами:

• при возможности частица движется вперед (по отношению к некоторому заданному направлению);

• если движение вперед невозможно, частица двигается вправо/влево или назад;

• наличие в каком-либо направлении других частиц или стен уменьшает вероятность движения частицы в этом направлении.

Этот набор простейших правил позво-

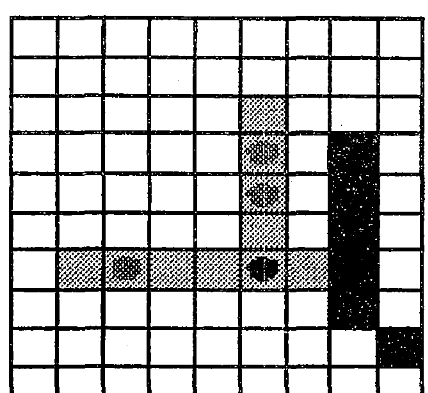

Рис. 1. Анализ ситуации для частицы при N=4. Серым цветом выделены проверяемые клетки, черным – стены. Здесь P_{F}=0.5, P_{L}=0.75, P_{R}=0.25 (в последнем случае на втором шаге встречена стенка)

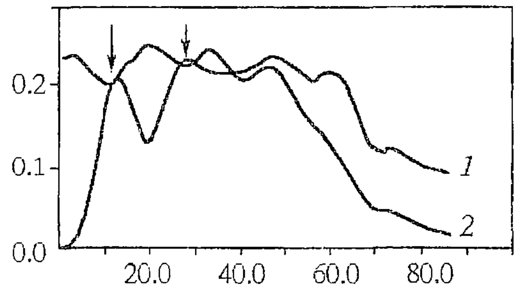

Рис. 2. Зависимости плотностей числа частиц от времени: *1* – после сужения, *2* – до сужения

ляет имитировать разумное поведение людей, движущихся в группе.

В качестве модельных задач были исследованы ситуации паники в помещении, когда группа людей пытается покинуть помещение через один или несколько выходов, и движение людей через сужающийся проход.

Исследование первой задачи показало, в частности, что эвакуация людей происходит быстрее через несколько выходов, чем через один того же полного сечения. При моделировании движения людей в сужающемся проходе рассматривался профиль сужения, который, как показано в [2], приводит в некоторых случаях к образованию «пробки». И действительно, такой эффект был получен и в данной модели.

На рис. 2 показаны зависимости плотностей количества частиц перед сужением прохода и за ним от времени. Видно, что в некоторый момент времени (первая вертикальная стрелка) они сравниваются (заполнен весь проход). Затем плотность за сужением падает, в то время как перед ним остается большое количество частиц – возникает «пробка». В дальнейшем она исчезает (вторая вертикальная стрелка), и движение продолжается без «пробок».

Построенная модель позволяет анализировать возможное возникновение заторов и давки при проектировании сооружений, рассчитанных на значительные потоки людей, а также оценивать безопасность зданий и помещений.

Библиографический список

1. *Тоффоли Т., Марголус Н.* Машины клеточных автоматов. М.: Мир, 1991.

2. *Малинецкий Г.Г., Степанцов М.Е.* Моделирование динамики движения толпы при помощи клеточных автоматов с окрестностью Марголуса // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. 1997. Т. 5, № 5. С. 75.

3. *Малинецкий Г.Г., Степанцов М.Е.* Клеточные автоматы для расчета некоторых газодинамических процессов // Журнал вычислительной математики и математической физики. 1996. Т. 36, № 5. С. 137.

Поступила в редакцию 25.05.99

DYNAMIC MODEL OF A GROUP OF PEOPLE BASED ON LATTICE GAS WITH NON-LOCAL INTERACTIONS

M.E. Stepantsov

A cellular automaton with Margolus neighbourhood was previously proposed for modelling dynamics of an unorganized group of people. However, it had a number of drawbacks, one is that the human possibility to choose the optimal direction of movement was ignored. In this paper a new model is proposed. It is based on two-dimensional lattice gas with non-local interactions and has AI elements. Model calculations are carried out.

Степанцов Михаил Евгеньевич – родился в Куйбышеве (1972). Окончил физический факультет МГУ (1995) и аспирантуру кафедры математики физического факультета МГУ (1998). Кандидат физико-математических наук. Автор 8 статей, посвященных применению клеточных автоматов для моделирования нелинейных явлений.

E-mail: sm@briz.mccme.ru