УДК 51.77

О ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРАВИЛ ПЕРЕХОДОВ В МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ ЛЮДЕЙ SIGMA.CA

***Татьяна Брониславовна Витова**, младший научный сотрудник*
Тел. 8 391 243 46 67, E-mail: vitova@icm.krasn.ru
Институт вычислительного моделирования СО РАН
http://icm.krasn.ru
***Екатерина Сергеевна Кирик**, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник*
Тел. Тел. 8 391 243 46 67, E-mail: kirik@icm.krasn.ru
Институт вычислительного моделирования СО РАН
http://icm.krasn.ru

Изложены правила переходов для модели движения людей, основанной на теории клеточных автоматов. Предложен способ реализации стратегии терпеливого человека, разрешение конфликтных ситуаций.

Ключевые слова: модель движения людей-пешеходов, клеточные автоматы, правила переходов, стратегии движения.

Введение

В работе описаны формализованные правила переходов для модели движения людей SIgMA.CA [1;2]. Модель относится к классу дискретных стохастических моделей с индивидуальным представлением людей (по классификации моделей движения людей из [3]) и основана на теории клеточных автоматов (КА) [4;5]. Динамика движения людей для данной модели хорошо изучена [6-8]. В данной работе целью ставится строгая формализация правил переходов, которые однозначно определяют модель.

Т.Б. Витова

Некоторое описание правил переходов можно найти в работах [9;10;11;12] и др. В модели SIgMA.CA была введена стратегия «терпеливого человека», что потребовало изменения правил переходов.

Процесс движения людей-пешеходов (а именно передвижение из одной точки пространства в другую) довольно сложен и подвержен различным факторам как физическим, так и психическим, социальным. Поэтому из всего множества свойств и особенностей, присущих движению людей [13;14], были выделены следующие:

Е.С. Кирик

- цель движения – достижение цели следования. Люди двигаются направленно к выбранной цели;
- движение людей – это случайный процесс. Траектория одного и того же человека при прохождении одинакового маршрута каждый раз пусть немного, но отличается от предыдущих;
- психологическое отталкивание: люди стараются избегать излишнего контакта друг с другом и не приближаться близко к стенам;
- люди выбирают кратчайший путь к цели следования. Если использование кратчайшего пути невозможно, то человек использует альтернативный путь. То есть при движении человек старается минимизировать длину пути или время пути. Такие особенности движения были названы *стратегиями кратчайшего и быстрого пути*;
- в скоплениях (например, при выходе из лекционного зала) люди в основном стоят и ждут, когда место в желаемом направлении освободится, и не совершают не

нужных метаний. Такие ситуации были названы *стратегией терпеливого человека*.

Необходимо отметить, что свойства движения человека учитываются по ходу достижения цели следования, которая задаётся изначально (обычно ближайший выход).

Модель основана на FF (floor field) модели, предложенной немецкими и японскими учёными [11;12]. В её основе лежит использование поля расстояний для моделирования движущей силы, что позволяет легко моделировать направленное движение людей. Также используется экспоненциальная форма переходных вероятностей.

Модель движения людей SIgMA.CA

Пусть пространство моделирования $\Omega \in R^2$ (включая незамкнутую границу $\partial\Omega$) представляет собой плоскую область, разбитую на ячейки. Каждая ячейка отражает часть рассматриваемого пространства размера $0{,}4 \times 0{,}4$ м^2 (это средний размер, занимаемый человеком в толпе [15]). Ячейки подразделяются на ячейки, занятые частицами (людей будем называть частицами), ячейки-препятствия и пустые. Каждая ячейка может быть занята только одной частицей, частицы могут располагаться на свободных от препятствий местах.

Пространство моделирования удобно представлять в виде двух массивов: массив частиц $F^t = \{f_{ij}^t : i = \overline{1,I}, j = \overline{1,J}\}$ и препятствий $W = \{w_{ij} : i = \overline{1,I}, j = \overline{1,J}\}$, где

$$f_{ij}^t = \begin{cases} 1, \textit{в ячейке}\,(i,j)\,\textit{частица}; \\ 0, \textit{иначе}. \end{cases} \qquad w_{ij} = \begin{cases} 1, \textit{в ячейке}\,(i,j)\,\textit{стена}; \\ 2, \textit{в ячейке}\,(i,j)\,\textit{выход}; \\ 0, \textit{иначе}. \end{cases}$$

Массив препятствий W задается изначально и не изменяется со временем. Массив частиц F^t изменяется со временем и определяет эволюцию КА. t – номер временного шага. Граница $\partial\Omega$ обычно задается ячейками-препятствиями и ячейками-выходами.

В момент времени $t = 0$ количество частиц N расположены на массиве F^0. Число N не должно превышать количества свободных от ячеек-препятствий мест.

На каждом временном шаге t частица может переместиться в одну из четырех свободных соседних ячеек или остаться на прежнем месте (т.е. используется окрестность фон Неймана). Шаблон соседства имеет вид

$$T(i,j) = \{\varphi_k(i,j) : k = \overline{0,4}\} = \{(i,j),(i-1,j),(i,j+1),(i+1,j),(i,j-1)\}.$$

$\varphi_0(i,j) = (i,j)$. $\varphi_k(i,j)$ – соответствующая соседняя клетка, которую также можно рассматривать как направление движения.

Скорость частиц в модели $V_{\max} = 1$ ячейка.

Направление движения частицы рассматривается как случайная величина и определяется на основе вероятностей переходов $p_{\varphi_k(i,j)}$ в каждом направлении $\varphi_k(i,j)$ для каждой частицы $f_{ij} = 1$ в каждый дискретный шаг времени t. Правила переходов перемещают частицы на новые позиции.

Полагается, что геометрия рассматриваемого пространства известна частицам и отражена в карте местности – поле S. Поле S совпадает с рассматриваемой областью и также дискретизировано на ячейки, $S = \{s_{ij} : i = \overline{1,I}, j = \overline{1,J}\}$. Ячейки поля содержат минимальное расстояние до ближайшего выхода.

Целью передвижения частиц является ближайший или заданный выход. Частицы не принимают решение о выборе выхода, а следуют к назначенному выходу (как правило, ближайшему).

Правила переходов

Переход в новое состояние $F^t \to F^{t+1}$ осуществляется с помощью подстановки $Transfer$, которая перемещает частицы на новые позиции согласно массиву направлений R:

$Transfer(i,j): Conf(i,j) * Conf''(i,j) \to Conf'(i,j)$, где

$Conf(i,j) = \{(f,(i,j))\}$,

$Conf'(i,j) = \{(trans,(i,j))\}$,

$Conf''(i,j) = \{(r_0,(i,j)),(r_1,(i-1,j)),(r_2,(i,j+1)),(r_3,(i+1,j)),(r_4,(i,j-1))\}$,

$$trans(i,j) = \begin{cases} 1, \text{если } \exists\, k,\ k = \overline{0,4}: r_k = (i,j); \\ 0, \text{иначе.} \end{cases}$$

$(f,(i,j)) = f_{ij}^t$ – значение массива частиц F^t в ячейке (i,j). $(r_k, \varphi_k(i,j)) = r_{\varphi_k(i,j)}$, $k = \overline{0,4}$ – значения массива направлений R в соответствующей ячейке.

Функция перехода $trans(i,j)$ назначает ячейке (i,j) значение 1 ($f_{ij}^{t+1} = 1$), если в её окрестности $T(i,j)$ на шаге t на данную ячейку имеется претендент $r_{\varphi_k(i,j)} = (i,j)$, и значение 0 ($f_{ij}^{t+1} = 0$), если в окрестности $T(i,j)$ претендентов не оказалось $r_{\varphi_k(i,j)} \neq (i,j)$, $\forall k, k = \overline{0,4}$.

Массив направлений $R = \{r_{ij} : i = \overline{1,I}, j = \overline{1,J}\}$ хранит все выбранные направления (координаты) для перемещения на шаге t:

$$r_{ij} = \begin{cases} \varphi_{k^*}(i,j), k^* \in \{0,1,2,3,4\}, \text{если } f_{ij} = 1; \\ \qquad\qquad\qquad 0, \text{если } f_{ij} = 0. \end{cases}$$

Все конфликтные ситуации разрешаются на стадии определения массива R: запрещается переходы в занятую ячейку и стены, одновременный выбор несколькими частицами одной и той же ячейки.

Режим работы КА – синхронный, т.е. правила применяются одновременно ко всем частицам.

Граничные условия. Обычно используются открытые и периодические граничные условия. Открытые граничные условия предполагают удаление частиц из расчётной области по достижению контрольного сечения (выхода). Такие условия являются естественными при рассмотрении движения из помещений. Периодические граничные условия предполагают, что в области моделирования поддерживается постоянное количество частиц. Используются при исследовании моделей для вывода динамики движения частиц на стационарный режим.

Для открытых граничных условий в функцию переходов $trans(i,j)$ вводится дополнительное условие: если $\exists\, k,\ k = \overline{0,4} : r_k = (i,j)\ \&\ w_{ij} = 2$, тогда $trans(i,j) = 0$.

При периодических граничных условиях в массив препятствий W вводятся следующие типы ячеек: c – поглотитель (что соответствует $w_{ij} = 2$ при открытых граничных условиях), a – излучатель. Если частица попадает в ячейку поглотителя, она перемещается в случайную свободную в этот момент времени ячейку излучателя, или остаётся на прежнем месте, если таковой не оказалось. Число частиц в области остаётся постоянным.

Запишем ячейки излучателя как $anod = \{((i,j): w_{ij} = a)_l : l = \overline{1,L}\}$. Если частица выбирает ячейку поглотителя, т.е. $\exists\, k,\ k=\overline{0,4}: r_k=(i,j)\&w_{ij}=c$, тогда она перемещается на случайное место в излучателе:

1. $l'=rand$, где $rand$ – случайное значение из $[1,2,\ldots,L]$;

2. если $f^{t}_{anod_{l'}}=0$ (выбранное случайное место в излучателе свободно на шаге t), тогда $f^{t+1}_{anod_{l'}}=1$ (перемещаем частицу в излучатель);

3. если $f^{t}_{anod_{l'}}=1$ (выбранное случайное место в излучателе занято на шаге t), тогда $f^{t+1}_{\varphi_k(i,j)}=f^{t}_{\varphi_k(i,j)}=1$ (оставляем частицу на прежнем месте).

Вычисление массива направлений R

Шаг 1. Вычисление переходных вероятностей

Каждой частице ставится в соответствие вероятности переходов в соседние ячейки $f^{t}_{ij}=1\to\{0,p_{\varphi_1(i,j)},p_{\varphi_2(i,j)},p_{\varphi_3(i,j)},p_{\varphi_4(i,j)}\}$. На данном шаге вероятность остаться на прежнем месте $p_{\varphi_0(i,j)}=p_{(i,j)}$ непосредственным образом не вычисляется (это связано со способом вычисления переходных вероятностей) и изначально предполагается равной нулю, поскольку считается, что частицы имеют цель – движение, а реализация возможности «остаться на месте» является мерой вынужденной.

Шаг 2. Выбор направлений.

После вычисления $p_{\varphi_k(i,j)}$ на основе ряда $\{0,p_{\varphi_1(i,j)},p_{\varphi_2(i,j)},p_{\varphi_3(i,j)},p_{\varphi_4(i,j)}\}$ выбирается направление для перемещения $\varphi_{k^*}(i,j)=direction((i,j),\{p_{\varphi_k(i,j)}:k=\overline{0,4}\})$. Применяется метод Монте-Карло [15].

$$direction((i,j),\{p_{\varphi_k(i,j)}:k=\overline{0,4}\})=\begin{cases}\varphi_0(i,j),\text{если } rand\in[0;p_{\varphi_0(i,j)}];\\ \varphi_1(i,j),\text{если } rand\in\left(p_{\varphi_0(i,j)};p_{\varphi_0(i,j)}+p_{\varphi_1(i,j)}\right];\\ \varphi_2(i,j),\text{если } rand\in\left(\sum_{k=0}^{1}p_{\varphi_k(i,j)};\sum_{k=0}^{2}p_{\varphi_k(i,j)}\right];\\ \varphi_3(i,j),\text{если } rand\in\left(\sum_{k=0}^{2}p_{\varphi_k(i,j)};\sum_{k=0}^{3}p_{\varphi_k(i,j)}\right];\\ \varphi_4(i,j),\text{если } rand\in\left(\sum_{k=0}^{3}p_{\varphi_k(i,j)};\sum_{k=0}^{4}p_{\varphi_k(i,j)}\right].\end{cases}$$

Шаг 3. Проверка выбора занятых ячеек, реализация стратегии терпеливого человека.

Для каждой частицы осуществляется проверка и запрещается выбор занятых направлений. При выборе занятого направления реализуется *стратегия терпеливого человека*.

Если выбранная целевая ячейка $\varphi_{k^*}(i,j)$ свободна ($f^{t}_{\varphi_{k^*}(i,j)}=0$), тогда это направление фиксируется: $r_{ij}=\varphi_{k^*}(i,j)$.

Если выбранная целевая ячейка $\varphi_{k^*}(i,j)$ занята ($f^{t}_{\varphi_{k^*}(i,j)}=1$), тогда происходит пересчёт переходных вероятностей и направление выбирается снова, но уже среди оставшихся свободных соседних ячеек и текущей. Вероятность перехода в занятую частицей ячейку назначается нулевой, а случаю остаться на месте приписывается сумма вероятностей переходов в занятые ячейки, остальные остаются без изменений. Ряд распределения вероятностей переходов переопределяется следующим способом:

$$p'_{\varphi_k(i,j)} = p_{\varphi_k(i,j)}(f^t_{\varphi_k(i,j)} = 1).$$

$p'_{\varphi_k(i,j)} = 0$, если $f^t_{\varphi_k(i,j)} = 1$ и $p'_{\varphi_k(i,j)} = p_{\varphi_k(i,j)}$, если $f^t_{\varphi_k(i,j)} = 0$, $k = \overline{1,4}$.

Например, пусть выбрана целевая ячейка

$\varphi_{k^*}(i,j) = (i-1,j)$ и $f^t_{(i-1,j)} = 1$, $f^t_{(i,j-1)} = 1$.

Тогда ряд распределения преобразуется в

$\{p_{(i-1,j)} + p_{(i,j-1)}, 0, p_{(i,j+1)}, p_{(i+1,j)}, 0\}$.

Таким образом, такая процедура позволяет сначала определять направление желаемого движения, а потом корректировать его в зависимости от ситуации: остаться на месте и подождать, пока желаемое направление освободится, или выбрать другое.

На данном шаге массив направлений R переопределяется следующим образом:

$$r_{ij} = \begin{cases} r_{ij}, \text{если } f^t_{ij} = 1 \& f^t_{r_{ij}} = 0; \\ direction((i,j), \{p'_{\varphi_k(i,j)} : k = \overline{0,4}\}), \text{если } f^t_{ij} = 1 \& f^t_{r_{ij}} = 0; \\ 0, \text{если } f^t_{ij} = 0. \end{cases}$$

Шаг 4. Разрешение конфликтов.

Конфликтные ситуации возникают, если две или более частицы оказались претендентами на одну ячейку. В этом случае из всех таких частиц выбирается одна для перемещения, остальные остаются на своих прежних местах. В модели такие ситуации разрешаются следующим образом.

Для разрешения конфликтных ситуаций формируется три массива. Массив $Wish^1 = \{wish^1_{ij} : i = \overline{1,I}, j = \overline{1,J}\}$ содержит количество претендентов на ячейку (i,j). Массив $Wish^2 = \{\{wish^2_k : k = \overline{1,4}\}_{ij} : i = \overline{1,I}, j = \overline{1,J}\}$ содержит координаты претендентов на ячейку (i,j):

$$(wish^2_k)_{ij} = \begin{cases} \varphi_k(i,j), \text{если } r_{\varphi_k(i,j)} = (i,j); \\ 0, \text{иначе.} \end{cases}$$

В массиве $Wish^3 = \{\{wish^3_k : k = \overline{1,4}\}_{ij} : i = \overline{1,I}, j = \overline{1,J}\}$ каждому претенденту на ячейку (i,j) (в случае, если их больше двух), ставится в соответствие некоторое случайное число $rand \in [0,1]$:

$$(wish^3_k)_{ij} = \begin{cases} rand, \text{если } (wish^2_k)_{ij} \neq 0; \\ 0, \text{иначе.} \end{cases}$$

После этого происходит непосредственно выбор частиц, которым позволено перемещение. Для всех (i,j) выполняется: если $wish^1_{ij} > 1$, то пусть

$$m\_rand(i,j) = \max_{k=\overline{1,4}} \{wish^3_k\}_{ij},$$

$$k_{\max} = k : (wish^3_k)_{ij} = m\_rand(i,j), k = \overline{1,4}.$$

Т. е. находится максимальное из назначенных случайных чисел и k-й соседпретендент на ячейку (i,j) для которого назначенное случайное число больше, чем у других. Затем переопределяется массив R :

$r_{(wish_k^2)_{ij}} = (i, j)$, если $k_{\max} = k$.

$r_{(wish_k^2)_{ij}} = (wish_k^2)_{ij}$, для всех $k = \overline{1,4} : k \neq k_{\max}$.

Таким образом, в случае возникновения конфликтных ситуаций, разрешается переместиться на новую позицию той частице, у которой больше «желание» переместиться, что контролируется массивом $Wish^3$.

На этом шаге процедура определения массива направлений R заканчивается.

Переходные вероятности

Формула переходных вероятностей имеет следующий вид:

$$p_{\varphi_k(i,j)} = \frac{\widetilde{p}_{\varphi_k(i,j)}}{Norm} = Norm^{-1}\ A^{SFF}_{\varphi_k(i,j)} A^{people}_{\varphi_k(i,j)} A^{wall}_{\varphi_k(i,j)} (1 - w_{\varphi_k(i,j)}), \quad k = \overline{1,4}.$$

$Norm = \sum_{k=1}^{4} \widetilde{p}_{\varphi_k(i,j)}$ – нормализатор, $Norm \neq 0$, $\widetilde{p}_{\varphi_k(i,j)} \geq 0$.

$A^{SFF}_{\varphi_k(i,j)} = \exp[k_S \Delta S_{\varphi_k(i,j)}]$ – главная движущая сила, $\Delta S_{\varphi_k(i,j)} = s_{\varphi_0} - s_{\varphi_k(i,j)}$.

$A^{people}_{\varphi_k(i,j)} = \exp[-k_P D_{\varphi_k(i,j)}(r^*_{\varphi_k(i,j)})]$ – учитывает плотность частиц в направлении

где $\varphi_k(i,j)$. $r^*_{\varphi_k(i,j)} \in [0;r]$ – расстояние (в ячейках) до ближайшего препятствия в направлении

$\varphi_k(i,j)$. $D_{\varphi_k(i,j)}(r^*_{\varphi_k(i,j)}) \in [0;1]$ – плотность частиц в направлении $\varphi_k(i,j)$ на расстоянии $r^*_{\varphi_k(i,j)}$.

Плотность частиц оценивается с помощью ядерной оценки плотности Розенблата-Парзена [16;17]:

$$D_{\varphi_k(i,j)}(r^*_{\varphi_k(i,j)}) = \frac{\sum_{m=1}^{r^*_{\varphi_k(i,j)}} \Phi\left(m \big/ C(r^*_{\varphi_k(i,j)})\right) \cdot (f_m)_{\varphi_k(i,j)}}{r^*_{\varphi_k(i,j)}},$$

где $\Phi(z) = \begin{cases} (0{,}335 - 0{,}067\, z^2)\ 4{,}4724, & |z| \leq \sqrt{5} \\ 0, & |z| > \sqrt{5} \end{cases}$, $C(r^*_{\varphi_k(i,j)}) = \frac{r^*_{\varphi_k(i,j)} + 1}{\sqrt{5}}$, $(f_m)_{\varphi_k(i,j)}$ – значение ячейки в направлении $\varphi_k(i,j)$ на расстоянии m от текущей.

Например, если $\varphi_k(i,j) = (i-1, j)$, то $(f_m)_{\varphi_k(i,j)} = f_{i-m,j}$.

$A^{wall}_{\varphi_k(i,j)} = \exp\left[-k_W \left(1 - r^*_{\varphi_k(i,j)} \big/ r\right) \widetilde{1}'\left(\Delta S_{\varphi_k(i,j)} - \max \Delta S_{\varphi_0}\right)\left(1 - \widetilde{1}\left(D_{\varphi_k(i,j)}(r^*_{\varphi_k(i,j)})\right)\right)\right]$ – учитывает влияние стен и других препятствий, когда в рассматриваемом направлении нет других частиц, и данное направление ведёт к выходу.

$\max \Delta S_{\varphi_0} = \max\limits_{k=\overline{1,4}} \{\Delta S_{\varphi_k(i,j)}\}$, $\widetilde{1}(z) = \begin{cases} 1, & z \neq 0 \\ 0, & z = 0 \end{cases}$, $\widetilde{1}'(z) = \begin{cases} 1, & z \geq 0 \\ 0, & z < 0 \end{cases}$.

r, k_S, k_P, k_W – параметры модели.

$r > 0$, $r \in Z$ – радиус видимости. Параметр, определяющий максимальное расстояние (в ячейках), в пределах которого окружающая обстановка влияет на принятие решения о выборе направления. При минимальном значении $r = 1$ берутся в рассмотрение только соседние ячейки.

$k_S \geq 0$ – параметр чувствительности статического поля S. Определяет степень знания «карты местности» и желание двигаться по направлению к выходу. Чем выше k_S, тем более направленно в совокупности частицы двигаются к выходу.

$k_P \geq 0$ – параметр, регулирующий влияние плотности частиц. Отвечает за психологическое отталкивание между людьми, параметр разуплотненности. $k_P = 0$ означает, что другие частицы, находящиеся в радиусе видимости, не влияют на выбор направления.

$k_W \geq 0$ – параметр, регулирующий влияние стен. $k_W = 0$ – недвижимые препятствия не учитываются.

С помощью параметров модели можно регулировать динамику движения частиц в модели. Реализация *стратегий кратчайшего и быстрого пути* зависит от взаимодействия параметров k_S и k_P: если $k_P \leq k_S$ реализуется *стратегия кратчайшего пути*, в другом случае – *стратегия быстрого пути*.

Заключение

Авторы считают, что в данной работе новыми являются следующие положения и результаты. В работе были представлены строго формализованные правила переходов для модели движения людей SIgMA.CA, основанной на теории клеточных автоматов. Вводится правило для реализации стратегии терпеливого человека, что улучшает общий вид динамики движения частиц в модели.

Литература

1. *Kirik E., Yurgel'yan T., Krouglov D. On* realizing the shortest time strategy in a CA FF pedestrian dynamics model// Cybernetics and Systems. 2011. Vol. 42(1). P. 1-15.

2. *Kirik E. , Vitova T.* Cellular Automata Pedestrian Movement Model SIgMA.CA: Model Parameters as an Instrument to Regulate Movement Regimes// Cellular Automata. Lecture Notes in Computer Science. 2014. Vol. 8751. P. 501-507.

3. *Schadschneider A., Klingsch W., Kluepfel H., Kretz T., Rogsch C., Seyfried A.* Evacuation dynamics: empirical results, modeling and applications// Encyclopedia of Complexity and System Science. 2009. V. 3. P. 3142-3176.

4. *Тоффоли Т., Марголус Н.* Машины клеточных автоматов / Пер. с англ. П. А. Власова, Н. В. Баранова. М.: Мир, 1991. − 280 с.

5. *Бандман О.Л.* Клеточно-автоматные модели пространственной динамики// Системная информатика: сб. науч. трудов / под ред. А. Г. Марчука. − Новосибирск: Издательство СО РАН, 2006. Выпуск 10: Методы и модели современного программирования. С. 59-113.

6. *Юргельян Т.Б., Кирик Е.С., Круглов Д.В.* О валидации модели движения людей SIgMA.CA по данным фундаментальных диаграмм // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева. 2010. N 5. pp. 162-166.

7. *Kirik E. , Vitova T.* On Validation of the SIgMA.CA Pedestrian Dynamics Model with Bottleneck Flow// Lecture Notes in Computer Science. Cellular Automata. 2012. Vol. 7495. P. 719-727.

8. *Витова Т.Б. О* тестировании дискретной стохастической модели движения людей SIgMA.CA в различных пространственных ситуациях // Образовательные ресурсы и технологии. 2014. № 1(4). С. 279-289.

9. *Малинецкий Г.Г., Степанцов М.Е.* Применение клеточных автоматов для моделирования движения людей // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2004. Т. 44. № 11. С. 2108-2112.

10. *Dudek-Dyduch E., Was J.* Knowledge representation of pedestrian dynamics in crowd: Formalism of cellular automata // Artificial Intelligence and Soft Computing − ICAISC 2006. Lecture Notes in Computer Science. 2006. Vol. 4029. P. 1101-1110.

11. *Nishinari K., Kirchner A., Namazi A., Schadschneider A.* Extended floor field CA model for evacuation dynamicst // IEICE Transactions on Information and Systems. V. E87-D. N. 3. 2004. P. 726-732.

12. *Kirchner A., Schadschneider A.* Simulation of evacuation processes using a bionics-inspried cellular automaton model for pedestrian dynamics // Physica A. 2002. Vol. 312. P. 260-276.

13. *Предтеченский В.М., Милинский А.И.* Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков: учеб. пособие для вузов. – М.: Стройиздат, 1979. 375 с.

14. *Helbing D.* Traffic related self-driven many-particle system // Reviews of Modern Physics. – 2001. Vol. 73(4). P. 1067-1141.

15. *Соболь И.М.* Метод Монте-Карло. М.: Наука, 1972. 64 с.

16. *Parzen E.* On estimation of probability Density Function// Ann. Math. Stat. – 1962. – V. 33. – P. 1065-1076.

17. *Rosenblat M.* Remarks on some non-parametric estimates of a density function // Ann. Math. Stat. 1956. V. 27. P. 832-837.

On formalization of the transition rules in pedestrian dynamics model SIgMA.CA

Tat'yana Vitova*, Junior Researcher, Institute of computational modeling SB RAS*
Ekaterina Kirik*, Phd, Senior Researcher, Institute of computational modeling SB RAS*

Transition rules for a pedestrian dynamics model based on cellular automata are presented. Methods of implementation of a patient man strategy, conflict resolution are proposed.

Keywords: pedestrian dynamics model, cellular automata, transition rules, movement strategies.

УДК 330.46; 519.86

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБМЕНА В ТОРГОВЫХ СИСТЕМАХ

Ирина Анатольевна Гиманова, *старший преподаватель кафедры информационных технологий и систем*
Тел.: 8 923 584 6926, e-mail: gimanowa@gmail.com,
ФГБОУ ВПО «Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова»
http://www.khsu.ru

В данной работе рассматривается вопрос моделирования потоковых процессов между участниками в торгово-посреднических системах. Разработана модель описания процессов обмена между экономическими агентами сети на локальных рынках с учётом факторов спроса и предложения.

Ключевые слова: теория активных систем, моделирование, математические модели социально-экономических процессов, торгово-посредническая сеть.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №16-46-190398.

Введение

И.А. Гиманова

Обмен товаров традиционно с древних времён происходил на рынке, где встречаются продавцы и покупатели. С современной экономической точки зрения, рынок рассматривают как систему экономических отношений и связей между группами продавцов и покупателей, обменивающимися продукцией для удовлетворения общественных потребностей. Таким образом, в основе обмена товарами или услугами лежат интересы и потребности человека. Через потребительский рынок осуществляется связь между товарным производством и потреблением.

В любой экономической деятельности, осуществляемой с помощью организационно-технических, логистических, социальных, финансовых и других хозяйственных операций, выделяют группы процессов: производство, потребление, распределение и обмен. Для исследования обменных