

А.В. МАРЕЕВ, А.А. БЫКОВ

Моделирование эвакуации посредством сети Петри

УДК 004.021

Муромский институт
(филиал) ФГБОУ ВО
«Владимирский
государственный
университет имени
А.Г. и Н.Г. Столетовых»,
г. Муром

В статье разработан алгоритм моделирования эвакуации посредством сети Петри. Алгоритм позволяет создавать программы для моделирования эвакуации с использованием сетей Петри.

The article developed an algorithm simulation of evacuation through the Petri net. The algorithm allows you to create programs for modeling evacuation using Petri nets.

Ключевые слова: сеть Петри; симулирование; эвакуация; чрезвычайные ситуации.

Введение

С каждым днём население планеты увеличивается в геометрической прогрессии и для его деятельности требуются здания с достаточно большой полезной площадью и множеством помещений в них. Но жизни человека в зданиях постоянно угрожают чрезвычайные ситуации в виде пожаров, обрушений и других угроз. Для того чтобы люди смогли спастись самостоятельно до прибытия служб спасения используются планы эвакуации. Успешность эвакуации во многом зависит от своевременности и беспрепятственности эвакуации и требует планов эвакуации составленных по ГОСТу. Для облегчения задачи нахождения наиболее безопасного маршрута эвакуации можно использовать программное обеспечение.

Под планом эвакуации понимается заранее разработанный план, в котором указаны пути эвакуации, эвакуационные и аварийные выходы, установлены правила поведения людей,

порядок и последовательность действий в условиях чрезвычайной ситуации.

Современное программное обеспечение позволяет в некоторой степени промоделировать динамику изменения параметров людского потока во время эвакуации из здания, оценить общую продолжительность эвакуации и решить задачу выбора маршрутов эвакуации. Для реализации моделирования можно использовать различные программные решения, такие как:

- создание модели с использованием ИИ
- создание модели с использованием полной симуляции всех объектов моделирования;
- создание модели с использованием графов.

Приведенные в пример решения с использованием ИИ и полной симуляции по нынешним меркам очень дороги в реализации и времени разработки. Использование графов снимает эти ограничения и позволяет в короткие сроки разработать эффективную и недорогую программу для эвакуации людей. Из всех многочисленных видов графов был выбран механизм сетей Петри, который основан на графовом представлении [1].

Применение сетей Петри для построения модели зданий, позволяет отобразить структуру зданий с развитой коридорной системой, за счет представления эвакуационных путей в виде элементарных модулей и однозначного отображения на элементы сети. Метод моделирования движения людских потоков на основе аппарата сетей Петри также позволяет реализовать возможность расслоения потока по скоростям, и учесть особенность планировки зданий, их влияние на скорость эвакуации. Также скорость эвакуации зависит от типа чрезвычайной ситуации и локализации начала. Основной особенностью зданий является нестационарность распределения людей по внутренним помещениям здания, связанная с режимом работы организаций, расположенных в зданиях, что так же можно реализовать в выбранном механизме. Поэтому применение сетей Петри позволяет адекватно отобразить динамику изменения параметров людского потока при эвакуации [2].

Разработка и описание программных структур и алгоритмов

Так как исходя из приказа МЧС РФ от 30 июня 2009 г. N 382 Приложение N 2[3] расчетное время эвакуации людей t_p следует определять как сумму времени движения людского потока по отдельным участкам пути t_i по формуле:

$$t_p = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_i \quad (2.1)$$

где t_1 - время движения людского потока на первом участке, мин;

$t_1, t_2, t_3, \dots, t_i$ - время движения людского потока на каждом из следующих после первого участка пути, мин.

Время движения людского потока по первому участку пути t_1 , мин, рассчитывается по формуле:

$$t_1 = \frac{l_1}{V_1} \quad (2.2)$$

где l_1 - длина первого участка пути, м;

V_1 - скорость движения людского потока по горизонтальному пути на первом участке, м/мин (определяется по таблице 2.1 в зависимости от плотности D).

Плотность однородного людского потока на первом участке пути D_1 рассчитывают по формуле:

$$D_1 = \frac{N_1 * f}{l_1 * \delta_1} \quad (2.3)$$

где N_1 - число людей на первом участке, чел.;

f - средняя площадь горизонтальной проекции человека, $m^2/чел$. принимаемая в соответствии с пунктами 4, 5 приложения N 5 [3];

δ_1 - ширина первого участка пути, м.

Скорость V_i движения людского потока на участках пути, следующих после первого, принимают по таблице 2.1 в зависимости от интенсивности движения людского потока по каждому из этих участков пути, которую вычисляют для всех участков пути, в том числе и для дверных проемов, по формуле:

$$q_i = \frac{q_{i-1} * \delta_{i-1}}{\delta_i} \quad (2.4)$$

где δ_i, δ_{i-1} - ширина рассматриваемого i -го и предшествующего ему участка пути, м;

q_i, q_{i-1} - интенсивности движения людского потока по рассматриваемому i -му и предшествующему участкам пути, м/мин (интенсивность движения людского потока на первом участке пути q_1 определяется по таблице 2.1 по значению D_1 , установленному по формуле (2.3)).

Если значение q_i , определяемое по формуле (2.4), меньше или равно q_{\max} , то время движения по участку пути t_i , мин, равно:

$$t_i = \frac{l_i}{V_i} \quad (2.5)$$

при этом значения q_{\max} , м/мин следует принимать равными: 16,5 - для горизонтальных путей.

Если значение q_i , определенное по формуле (2.4), больше q_{\max} то ширину δ_i данного участка пути следует увеличивать на такое значение, при котором соблюдается условие:

$$q_i \leq q_{\max} \quad (2.6)$$

При невозможности выполнения условия (2.6) интенсивность и скорость движения людского потока по участку i определяют по таблице 2.1 при значении $D = 0,9$ и более. При этом следует учитывать время задержки движения людей из-за образовавшегося их скопления.

Таблица 2.1

Интенсивность и скорость движения людского потока на разных участках путей эвакуации в зависимости от плотности

Плотность потока D , м ² /м ²	Горизонтальный путь	
	Скорость V , м/мин	Интенсивность q , м/мин
0,01	100	1,0
0,05	100	5,0
0,10	80	8,0
0,20	60	12,0
0,30	47	14,1
0,40	40	16,0
0,50	33	16,5
0,60	28	16,3
0,70	23	16,1
0,80	19	15,2
0,90 и более	15	13,5

Для реализации сети Петри разделим весь маршрут по 1 метру тогда. Исходя из перечисленных формул, формула 2.3 превращается в 2.7.

$$D_1 = N_1 * f \quad (2.7)$$

Так как при использовании стохастической сети Петри при каждой новой итерации берётся одна фишка, при площади вертикальной проекции человека 0.125, тогда $D_1 = 1 * 0,125 = 0,125$.

Из таблицы следует, что полученное значение скорости движения человека равняется 80 м/минуту или 1,33м/сек. Тогда 1 м человек проходит приблизительно за 0,7 секунд, то есть $t_i = 0,7$.

Для размещения вершин в объекте, которые будут размещены каждый метр, берётся его длина и ширина округленные до метра в большую сторону. Объект представляется как сетка с ячейками 1 на 1 метр. Чтобы площадь каждой вершины была 1м², нужно у ширины и длины вычесть 0,5 метра. Пример построения вершин представлен на рисунках 2 и 3.

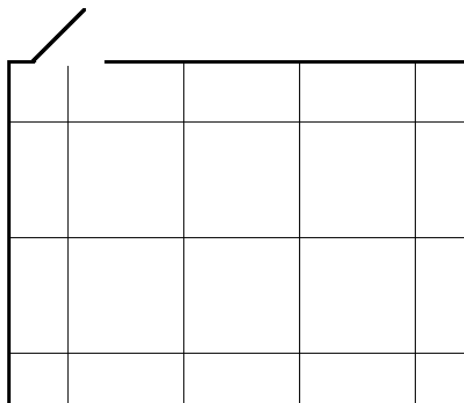


Рис. 1. Создание сетки.

По всем вершинам полученной сетки размещаются вершины. Площадь для одной вершины высчитывается как свободная площадь деленная на количество созданных вершин. Далее вершины соединяются дугами с переходом. При размещении дверей её вершина соединяется дугой с переходом к ближайшей вершине в объекте.

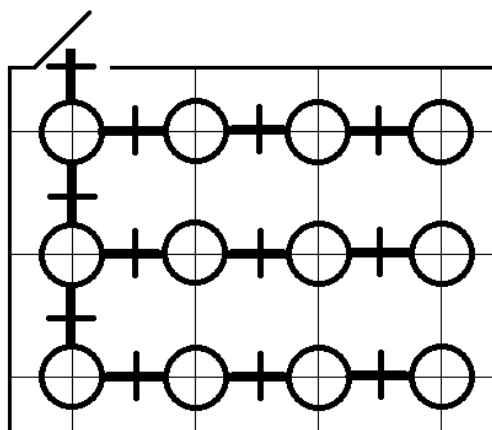


Рис. 2. Создание вершин.

При наложении на объект пути эвакуации, с помощью сетки для расстановки вершин программой, направление дуг ориентируются по направлению пути эвакуации. После добавления людей в объект, фишки по вершинам распределяются равномерно, но не больше чем вмещает объект по свободной площади, при горизонтальной площади проекции человека сверху $0,125\text{м}^2$. [3]

Исходя из [3] - Приложение N 4, следует, что скорость движения потока людей зависит от его плотности. Для решения этой задачи было решено использовать изменение вероятности срабатывания перехода. Вероятность срабатывания перехода напрямую зависит от количества людей на вершине. Если следующая вершина имеет меньшую плотность чем предыдущая, то вероятность увеличивается и наоборот. Если вершина соединена более чем с одним переходом, то выбор направления так же зависит от плотности вершины и длины пути до выхода. Для выбора перехода, который должен сработать, используется массив накопленной вероятности один из стандартных приемов в методе Монте-Карло. Для работы требуется цикл. Каждая итерация которого считается как 100мс. реального времени. Так как 1 метр человек проходит за 0,7 секунд, то задержка перехода равняется 7 итерациям цикла.

Работа с АИС должна проводиться следующим образом:

1. Специалист загружает в программу план здания с указанием параметров эвакуационных выходов, предполагаемой численности людей в здании;
2. Далее задается тип чрезвычайной ситуации: пожар, природная или техногенная авария;
3. ИС производит предварительную обработку схем помещений по заложенным в неё алгоритмам;
4. Экспертная подсистема сообщает о наличии или отсутствии потенциальных проблем, при эвакуации, дает рекомендации по устранению проблем в планировке или в системах оповещения;
5. Эксперт на основе обработанных данных, а также информации от экспертной подсистемы принимает решение об изменении планов эвакуации, перепланировке помещений и т.п.

Диаграмма вариантов использования программы представлены на рисунке 4.

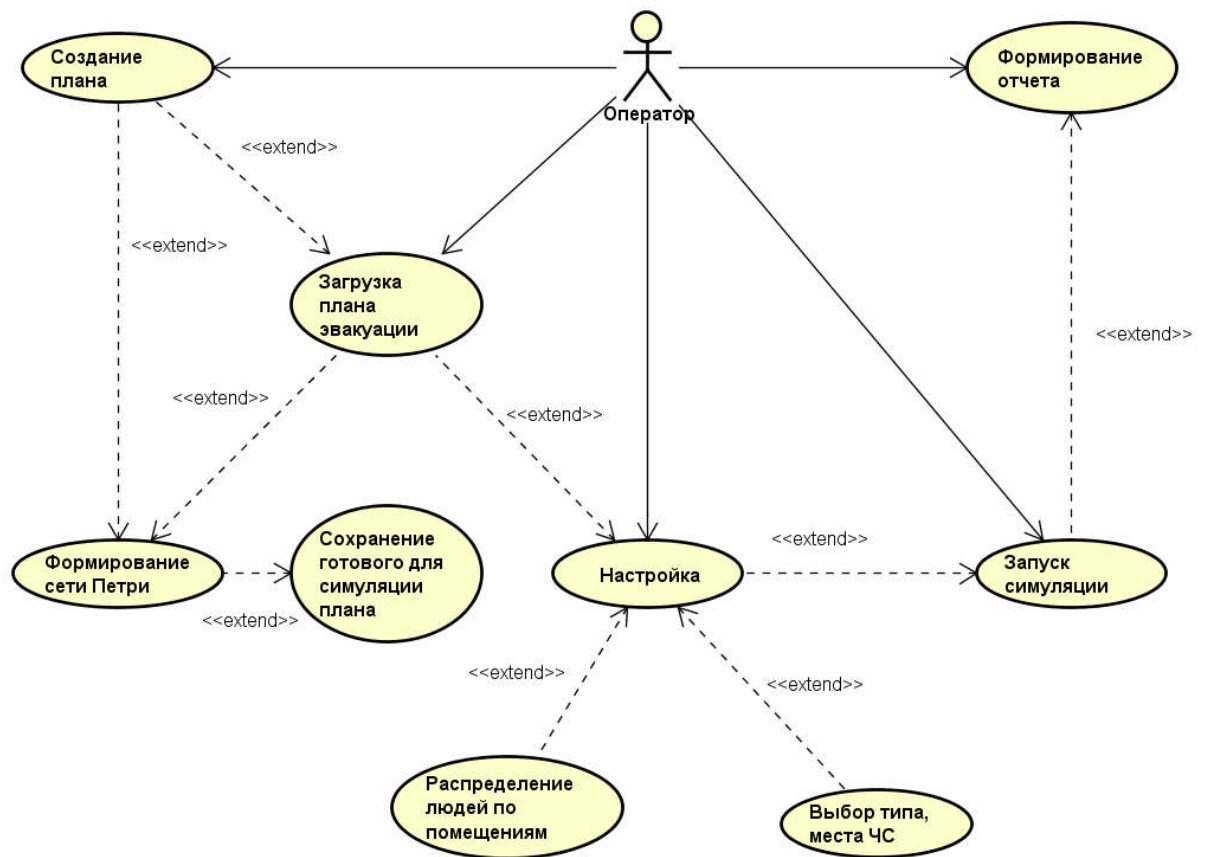


Рис. 3. Диаграмма вариантов использования.

Описание средств реализации

Для разработки приложения был использован язык программирования C#.

Интерфейс программы представлен на рисунке 5.

Так в левой части окна находится панель инструментов с 3 вкладками:

- Планировка;
- Настройка;
- Симуляция.

Для примера на рисунке 4 изображен шаблон плана эвакуации и на 5 рисунке результат работы в программе.

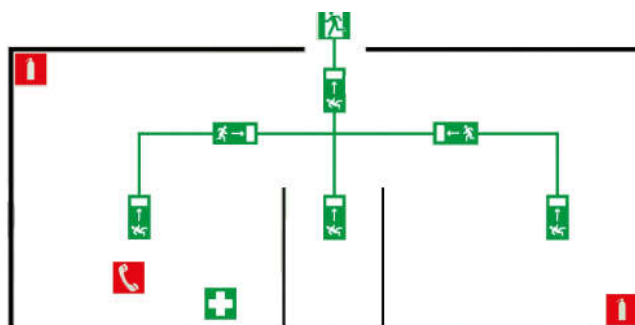


Рис.5. Шаблон плана эвакуации.

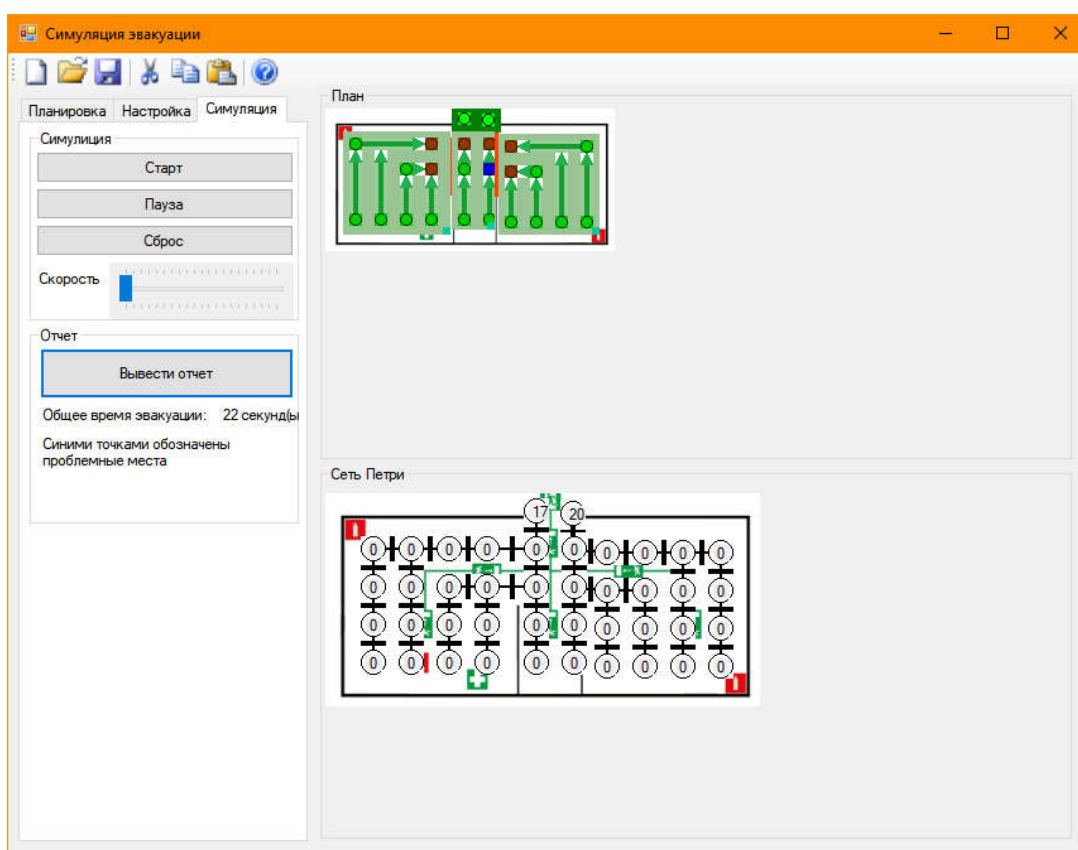


Рис. 4. Прототип программы.

Заключение

Таким образом, разработанный алгоритм моделирования движения потока людей при помощи сети Петри, позволяет проанализировать разработанный план эвакуации и найти наиболее проблемные участки для дальнейшего их устранения без риска для жизни людей и больших затрат.

Литература

1. Гриценко Ю.Б., Жуковский О.И., Загальский О.Г. Использование сетей Петри для оценки времени эвакуации людей в зданиях и сооружениях при возникновении пожара. Доклады ТУСУРа, № 1 (21), часть 2, июнь 2010

2. Разработка алгоритма оценка времени в момент эвакуации населения с применением нечетких алгебраических сетей петри Джафарова Ш.М., Суварова С.Р. DOI: 10.12737/15256 Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. Сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции 2015 г. № 7 часть 4 (18-4)

3. Приказ МЧС РФ от 30 июня 2009 г. N 382 "Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности" [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ivo.garant.ru/#/document/12169057/paragraph/732:0>