УДК 004.9

М.О. Пустовіт

Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля ДСНС України

МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ ПОЖЕЖІ ВСЕРЕДИНІ БУДІВЕЛЬ У ТРИВИМІРНОМУ ПРОСТОРІ МЕТОДОМ КЛІТИННИХ АВТОМАТІВ

В статті розглянуто моделювання поширення пожежі всередині будівель у тривимірному просторі. Вказано на основні відмінності моделей клітинних автоматів, наведені приклади їх застосування на практиці. Розроблено математичну модель поширення пожежі на основі клітинних автоматів утривимірному просторі для подальшого використання в комп'ютеризованому тренажерному комплексі підготовки пожежного-рятувальника.

Ключові слова: *математичне моделювання, поширення пожежі, клітинні автомати, тривимірний простір.*

Вступ

Актуальність проблеми. Математичні моделі поширення пожежі та задимлення дозволяють імітувати реальну обстановку об'єкта з високою точністю в реальному часі, створювати практично всі можливі ситуації при його застосуванні, у тому числі вводити можливі аварійні ситуації й режими роботи обладнання для відпрацьовування дій персоналу в особливих режимах і ситуаціях, створювати візуальну картину навколишнього простору і його зміни в процесі роботи.

Моделювання поширення вогню та диму при пожежі всередині будівель в двовимірному просторі може відбуватись за багатьма методами та способами.

Одним з багатьох є метод клітинних автоматів. Основними перевагами методу є висока швидкість обробки даних, що закладено в математичну модель, достатня достовірність отриманих результатів, відображення результатів в графічному вигляді.

Дослідниками в переважній більшості випадків метод клітинних автоматів використовується для прогнозування поширення пожежі лісових масивів, відкритого простору тощо. В деяких випадках зустрічається його застосування для прогнозування пожеж всередині приміщень.

Аналіз та вдосконалення моделі поширення пожежі методом клітинних автоматів дозволить в подальшому її використання в комп'ютеризованому тренажері підготовки пожежного-рятувальника.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз існуючих математичних моделей поширення пожежі не виявив готових і апробованих рішень для використання в тренажерах, що значною мірою пов'язано з відсутністю достатньо відпрацьованих теорії і практики розв'язання подібних задач у рамках підготовки пожежного-рятувальника.

Класифіковано математичні моделі за основними їх характеристиками.В якості досліджуваних обрано моделі, що базуються на методі клітинних автоматів. За допомогою клітинних автоматів (КА) авторами [1] моделюється процес поширення лісової пожежі. Описано стани клітини на різні моменти часу, проте не враховано властивості пожежного навантаження. Автори [2] використовують КА для розрахунку розповсюдження пожежі та задимлення у великих будівлях. Основним недоліком даного методу є значний розмір клітини, і як наслідок – низька точність прогнозування.

Дослідником[3] моделюється процес поширення пожежі в будівлях. Використовується вектори швидкостей повітряних потоків для визначення параметрів задимлення. Головною проблемою, що може виникнути при застосуванні пропонованого методу – необхідність вимірювання швидкостей повітряних потоків в різних умовах, що не завжди є можливим.

Найбільш оптимально з точки зору можливого застосування моделі поширення пожежі за допомогою методу клітинних автоматів пропонують автори [4]. Позитивною рисою є можливість масштабування клітини для отримання більш точних результатів.

Постановка завдання

Метою дослідження є аналіз існуючих математичних моделей розвитку пожежта вдосконалення найбільш оптимальних для використання в комп'ютеризованому тренажері підготовки пожежного-рятувальника.

Математичні моделі поширення пожежі що базуються на методі клітинних автоматів можливо застосувати для моделювання складних динамічних систем, базою яких є місцева динаміка компонентів. Додатковою перевагою при використанні клітинних автоматів є відображення результатів в графічному вигляді, що полегшує розуміння дискретної динаміки досліджуваної системи. Використання КА в якості засобу моделювання виявилось досить зручним під час розробки штучних сценаріїв, в основному в тих областях, де інші методи не є підходящими.

Основними вимогами, що висуваються нами до математичної моделі поширення пожежі у тривимірному просторі є:

- масштабування клітин для прискорення обрахунків або збільшення їх точності;
- проведення обрахунків приміщень довільної форми (не лише прямокутних);
- проведення обрахунків в режимі реального часу;
- графічне відображення результатів моделювання в тривимірному просторі для полегшення сприйняття використання в тренажері підготовки пожежного-рятувальника.

Основний матеріал досліджень

Завдання розробки математичної моделі поширення пожежі в одному або декількох приміщеннях довільної форми вдалося вирішити із застосуванням методу імітаційного моделювання.

Суть цього методу при дослідженні систем полягає в тому, що процес імітується за допомогою арифметичних і логічних операцій в тій послідовності елементарних актів, яка характерна для модельованого процесу. При цьому загальною математичною моделлю функціонування системи виступає моделюючий алгоритм, відповідно до якого в ЕОМ виробляється інформація, що описує елементарні явища досліджуваного процесу з урахуванням їх взаємного впливу.

Використання моделюючого алгоритму дозволяє отримати не лише конкретні значення характеристик процесу, але і провести якісні дослідження для цієї системи [5].

У розробленій моделі об'єм поверху будівлі представляється у вигляді безлічі елементів - розрахункових одиниць об'єму (що відповідають кубічному метру, сантиметру і тому подібне), кожен з яких має свої характеристики горючого навантаження, у тому числі, лінійну швидкість поширення полум'я. Поширення пожежі в тому або іншому напрямі від джерела запалення визначається вірогідністю загоряння кожного такого елементу. Таким чином, розроблена модель є імітаційною імовірнісною моделлю.

Просторова область процесу поширення пожежі (полігон) являє собою тривимірний простір, представлений тривимірним масивом з наступними максимальними значеннями по кожному виміру: x_{max} - число індексів по виміру "x"; y_{max} - число індексів по виміру "y"; z_{max} - число індексів по виміру "z"[6]. Належність індексу до відповідного виміру визначається таким чином:

$$x \in \{1, 2, ..., x_{max}\};$$
$$y \in \{1, 2, ..., y_{max}\};$$
$$z \in \{1, 2, ..., z_{max}\}.$$

Кожен компонент тривимірного масиву являє собою клітинний автомат процесу поширення пожежі. Конфігурація сусідства клітинного автомата з ортогональними з ним клітинними автоматами визначається його координатами в тривимірному векторному просторі. Існує обмежена кількість конфігурацій K = {k_1, k_2, ... , k_{26}}:

$$k|_{x,y,z} = \begin{cases} k_1(0 < x_0+1 < x_{max}) \wedge (z = z_0) \wedge (y = y_0); \\ k_2(0 < x_0-1 < x_{max}) \wedge (z = z_0) \wedge (y = y_0); \\ k_3(0 < y_0+1 < y_{max}) \wedge (x = x_0) \wedge (z = z_0); \\ k_4(0 < y_0-1 < y_{max}) \wedge (x = x_0) \wedge (z = z_0); \\ k_5(0 < z_0+1 < z_{max}) \wedge (x = x_0) \wedge (y = y_0); \\ k_6(0 < z_0-1 < z_{max}) \wedge (x = x_0) \wedge (y = y_0). \end{cases} \quad (1)$$

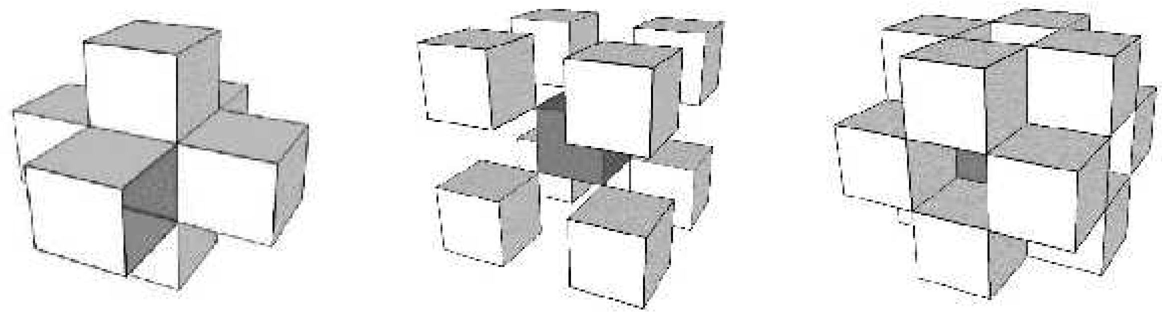
де x_0, y_0, z_0 – координати джерела спалахування

Узагальнена конфігурація сусідства клітинного автомата показана на рис. 1.

Конкретне k-е сусідство клітинного автомата визначається значенням координати клітинного автомата, що знаходиться в невидимій зоні на рис. 1 (а), і залежністю (1).

Координати клітинних автоматів, розташованих у кутах полігону визначаються такою залежністю:

$$k|_{k\in K}=\begin{cases} k_7(0<x_0+1<x_{max})\wedge(0<y_0+1<y_{max})\wedge(0<z_0+1<z_{max}); \\ k_8(0<x_0-1<x_{max})\wedge(0<y_0+1<y_{max})\wedge(0<z_0+1<z_{max}); \\ k_9(0<x_0+1<x_{max})\wedge(0<y_0-1<y_{max})\wedge(0<z_0+1<z_{max}); \\ k_{10}(0<x_0-1<x_{max})\wedge(0<y_0-1<y_{max})\wedge(0<z_0+1<z_{max}); \\ k_{11}(0<x_0+1<x_{max})\wedge(0<y_0+1<y_{max})\wedge(0<z_0-1<z_{max}); \\ k_{12}(0<x_0-1<x_{max})\wedge(0<y_0+1<y_{max})\wedge(0<z_0-1<z_{max}); \\ k_{13}(0<x_0-1<x_{max})\wedge(0<y_0-1<y_{max})\wedge(0<z_0-1<z_{max}); \\ k_{14}(0<x_0+1<x_{max})\wedge(0<y_0-1<y_{max})\wedge(0<z_0-1<z_{max}). \end{cases} \quad (2)$$



а – для (1) б – для (2) в – для (3)

Рис. 1. Узагальнена конфігурація сусідства клітинного автомата з координатами КА-та, визначеними

Узагальнена конфігурація сусідства клітинного автомата з координатами, визначеними у (2), показана на рис. 1 (б).

КА, координати якого представлені в (2), забарвлений в темний колір.

Координати клітинних автоматів, розташованих на ребрах полігону і віддалених від його кутів визначаються як:

$$k|_{k\in K}=\begin{cases} k_{15}(0<x_0+1<x_{max})\wedge(0<y_0+1<y_{max})\wedge(z=0); \\ k_{16}(0<x_0-1<x_{max})\wedge(0<y_0+1<y_{max})\wedge(z=0); \\ k_{17}(0<x_0+1<x_{max})\wedge(0<y_0-1<y_{max})\wedge(z=0); \\ k_{18}(0<x_0-1<x_{max})\wedge(0<y_0-1<y_{max})\wedge(z=0); \\ k_{19}(x=0)\wedge(0<y_0+1<y_{max})\wedge(0<z_0+1<z_{max}); \\ k_{20}(x=0)\wedge(0<y_0-1<y_{max})\wedge(0<z_0+1<z_{max}); \\ k_{21}(x=0)\wedge(0<y_0+1<y_{max})\wedge(0<z_0-1<z_{max}); \\ k_{22}(x=0)\wedge(0<y_0-1<y_{max})\wedge(0<z_0-1<z_{max}); \\ k_{23}(0<x_0+1<x_{max})\wedge(y=0)\wedge(0<z_0+1<z_{max}); \\ k_{24}(0<x_0-1<x_{max})\wedge(y=0)\wedge(0<z_0+1<z_{max}); \\ k_{25}(0<x_0+1<x_{max})\wedge(y=0)\wedge(0<z_0-1<z_{max}); \\ k_{26}(0<x_0-1<x_{max})\wedge(y=0)\wedge(0<z_0-1<z_{max}). \end{cases} \quad (3)$$

Узагальнена конфігурація сусідства клітинного автомата з координатами, визначеними у (3), показана на рис. 1 (в).

Загоряння клітини (x, y, z) впливає на одну з прилеглих клітин (x_1, y_1, z_1).

Ймовірність займання визначається виходячи з матеріалів, що горять, і розташовані в сусідніх клітинах. Ці ймовірності укладені в структурі багатовимірного масиву для всієї сітки: три з них (x, y та z), вказують положення у сітці для вихідної комірки (x_0, y_0, z_0), а четвертий k показує положення сусідніх клітин).

FIXED _ PROB _ F (1: N, 1: M, 1:L, 1:26),

де її елементи є ймовірностями:

FIXED _ PROB _ F (x, y, z, k) $\in$ [0,1],

N, M і L є розмірами сітки (наша сітка має NxMxL клітин), і ми маємо 26 сусідів кожної клітини, які є рівноцінними (рис. 1)

Перед перемальовуванням кожного кадру анімації по формулі (4) робиться обчислення вірогідності загоряння кожного елементу з урахуванням його характеристик і наявності сусідніх елементів, що горять

$$FIXED\_PROB\_F=\frac{V\cdot FP}{4}, \quad (4)$$

де V — лінійна швидкість поширення полум'я, виражена в одиницях [елемент/кадр анімації]; FP — параметр, що характеризує кількість і відносне розташування сусідніх елементів, що горять. Він може набувати значення в інтервалі [0…50]

$$FP = 3n_o+2n_d + n_a \quad (5)$$

де n_o - кількість елементів, що горять, розташованих ортогонально по відношенню до того, що розглядається; n_d - кількість елементів, що горять, розташованих по діагоналі відносно того, що розглядається, n_a - кількість елементів, що горять, розташованих в кутах того, що розглядається

Перехідні правила стосовно КА поширення пожежі для осередку (x, y, z) на крок за часом t, позначається A(x, y, z)t (6):

A(x,y,z)$_t$=

$$=\begin{cases} 0\ if(A(x,y,z)_{t-1}=0) \\ or(A(x,y,z)_{t-1}=2)and(time\_expired(x,y,z)=0) \\ 1\ if(A(x,y,z)_{t-1}=1) \\ 2\ if(A(x,y,z)_{t-1}=1)and(random<FIXED\_PROB\_F) \\ or(A(x,y,z)_{t-1}=2)and(time\_expired(x,y,z)>0) \end{cases}$$

де time_expired (x, y, z) є лічильником, який зменшується від максимального значення τmax на кожен часовий крок, поки значення КА не досягне 0.

У загальному вигляді алгоритм реалізації імовірнісної моделі поширення пожежі в тривимірному просторі показаний на рис. 2.

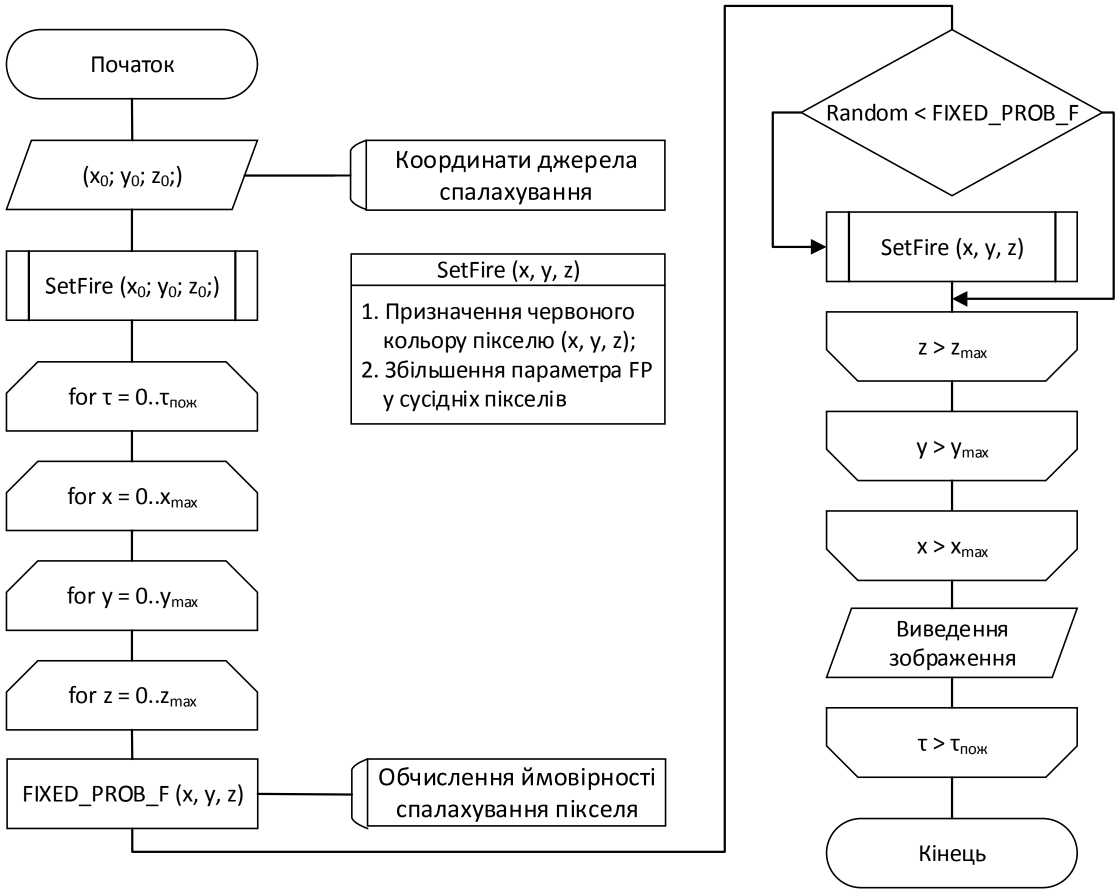


Рис. 2. Загальний алгоритм реалізації імовірнісної моделі поширення пожежі в тривимірному просторі

Висновок

Підводячи підсумок вищевикладеному, можна сказати, що отримана імовірнісна модель поширення пожежі в тривимірному просторі, що дозволяє отримати площу і об'єм (кількісно) і форму пожежі при будь-яких введених користувачем конфігураціях приміщень, характеристиках горючого навантаження і довільній кількості джерел запалення.

Подальшими перспективними дослідженнями є синтез з інтегральною математичною моделлю пожежі, що дозволить, як в реальному, так і в прискореному режимі часу моделювати не лише розвиток пожежі, але і відображати динаміку різних параметрів стану газового середовища в усіх приміщеннях будівлі.

Дана математична модель вирішить питання візуалізації пожежі в комп'ютеризованому тренажері підготовки пожежного-рятувальника.

Список літератури

1. Sullivan A. L., Knight I. K. A hybrid cellular automata/semi-physical model of fire growth, Proceedings of the 7th Asia-Pacific Conference on Complex Systems Cairns Converntion Centre, Cairns, Australia 6-10th December 2004.

2. Muzy A., Innocenti E., Aiello A., Santucci J.-F.,Wainer G., "Cellular Automata Based Simulation for Smokeand Fire Spreading in Large Buildings", Simulation, vol. 81, no 2, pp.103-117, 2005.

3. Daniel-Ioan Curiac «Fire Spreading Simulation in Large Buildings Based on Cellular Automata», ADVANCES in DYNAMICAL SYSTEMS and CONTROL, vol. 45, no 3, pp. 159-162, 2010.

4. СубачеваА.А., СубачевС.В. Имитационное моделирование развития и тушения пожаров в системе подготовки специалистов противопожарной службы[Текст]// Прикладная информатика. – 2008. – № 4. – С. 27 – 37.

5. Соколов С.В. Методологические основы разработки и использования компьютерных имитационных систем для исследования деятельности и проектирования аварийно-спасательных служб в городах [Текст] : дис.... док. техн. наук : 05.13.10 / Соколов Сергей Викторович. - М., 1999. - 295 с.

6. Филиппенко И. Г., Головко А. В. Клеточные автоматы – основа построения математической модели процесса распространения пожара// Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – Вып. № 3/5 (45). – С. 8 – 13.

Надійшла до редколегії 17.12.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.М. Рудницький, Черкаси.
Черкаський державний технологічний університет,

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЖАРА ВНУТРИ ЗДАНИЙ В ДВУМЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ МЕТОДОМ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ

М.А. Пустовит

В статье рассмотрено моделирование распространения пожара внутри зданий в трехмерном пространстве. Указаны основные отличия моделей клеточных автоматов, приведенных применение на практике. Разработана математическая модель распространения пожара на основе клеточных автоматов в трехмерном пространстве для дальнейшего использования в компьютеризированном тренажерном комплексе подготовки пожарного спасателя.

***Ключевые слова**: математическое моделирование, распространение пожара, клеточные автоматы, трехмерное пространство.*

MODELING THE SPREAD OF FIRE INSIDE THE BUILDING I N TWO-DIMENSIONAL SPACE USING CELLULAR AUTOMAT

M.O. Pustovit

The paper considers the modeling of the spread of fire inside the building in three-dimensional space. Shows the main differences between cellular automata models, examples of their application in practice. Developed the mathematical model of the spread of fire on the basis of cellular automata in three-dimensional space for further use in a computerized firefighter training complex.

***Keywords**: mathematical modeling, fire spread, cellular automata, three-dimensional space.*