

Ondřej ČERNÝ<sup>1</sup>, Pavel ŠENOVSKÝ<sup>2</sup>

## NEKONVENČNÍ METODY MODELOVÁNÍ ROZVOJE POŽÁRU

### NON-CONVENTIONAL METHODS OF THE MODELING OF THE FIRE SPREAD

#### Abstrakt

Cílem tohoto článku je navrhnout odlišný přístup k modelování rozvoje požáru pomocí multiagentních systémů a zhodnotit výhody, ale také nevýhody, které takový přístup přináší oproti v současnosti používaným „konvenčním“ modelům.

**Klíčová slova:** multiagentní systém, model rozvoje požáru, NetLogo, celulární automaty.

#### Abstract

In this article we will try to propose radically different way of modeling of the fire spread using multiagent system and will try to evaluate its strengths and weaknesses.

**Key words:** multiagent system, model of fire spread, NetLogo, cellular automata.

#### Úvod

Počítačové modelování rozvoje požáru je poměrně mladou vědní disciplínou, která prochází v poslední době dynamickým rozvojem. Modely se stále zlepšují a jsou tak schopny řešit stále složitější úlohy efektivněji a s větší přesností. Tento pokrok by nebyl možný bez soustavného vývoje, který lze charakterizovat dvěma ději: vylepšováním a zdokonalováním stávajících metod a modelů a také objevováním a implementací nových metod modelování. Oba tyto směry jsou pro celý vývoj řešené problematiky velice důležité. První směr modelování zdokonaluje, druhý rozšiřuje jeho variabilitu a tím zvětšuje šíři jeho záběru.

V tomto článku se pokusíme navrhnout radikálně odlišný přístup k modelování rozvoje požáru pomocí multiagentních systémů a pokusíme se zhodnotit výhody, ale také nevýhody, které takový přístup přináší.

#### Konvenční modely rozvoje požáru

Stávající modely v používané požární ochraně dělíme na fyzikální modely a matematické (numerické) modely [1].

**Fyzikální model** se realizuje zapálením předmětů umístěných v prostoru. Vlastnosti a rozmístění zkušebních předmětů musí odpovídat simulované situaci. Modelování může probíhat v laboratoři (většinou zmenšené modely), nebo ve zkušebním prostoru (většinou modely skutečné

<sup>1</sup> Bc., VŠB - TUO, Fakulta bezpečnostního inženýrství, Katedry ochrany obyvatelstva, Lumírova 13, 70030 Ostrava - Výškovice, e-mail: ondrej.cerny.st2@vsb.cz

<sup>2</sup> Ing., Ph.D., VŠB - TUO, Fakulta bezpečnostního inženýrství, Katedry ochrany obyvatelstva, Lumírova 13, 70030 Ostrava - Výškovice, e-mail: pavel.senovsky@vsb.cz

velikosti). Cílem je sledovat doprovodné jevy a měřit fyzikální veličiny simulovaného požáru. Na základě naměřených výsledků usuzujeme na to, jak se požár bude chovat v reálné situaci.

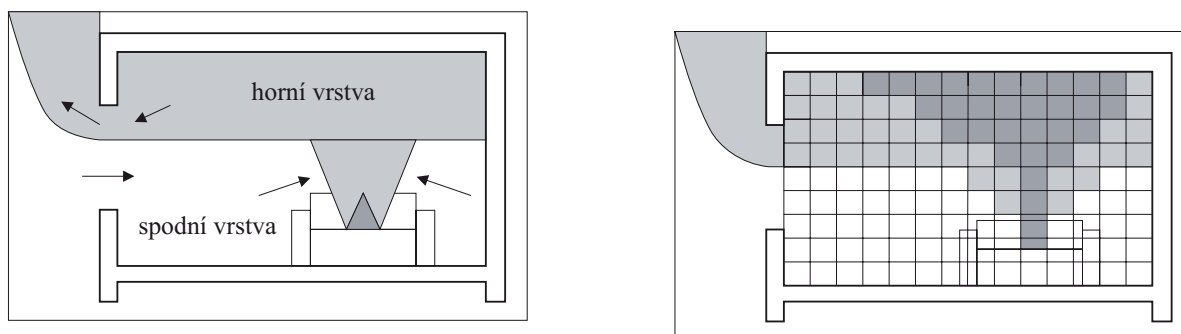
**Matematický model** je virtuální simulací požáru, přičemž vlastní numerické modelování se uskutečňuje v několika krocích:

- 1) zadání vstupních dat (výchozí podmínky modelu - proměnné rovnic apod.),
- 2) výpočet soustavy matematických rovnic,
- 3) interpretace a zhodnocení výsledků.

*Matematické modely* lze dále členit na modely deterministické a modely pravděpodobnostní. Základním rozdílem mezi těmito typy modelů je uvažování nejistoty během modelování.

*Deterministické modely* neobsahují ve své výpočtové části žádný prvek pravděpodobnosti - náhody. To znamená, že budeme-li zadávat stejná vstupní data, musíme při opakovaném výpočtu získávat stále stejné výsledky. Dále se deterministické modely v požární ochraně dělí na modely zónové a modely typu pole [2].

*Zónové modely* rozdělují prostor do několika kontrolních objemů (zón), nejčastěji dvou, a to zóny zakouření a zóny chladného, přísávaného vzduchu. *Modely typu pole* dělí prostor do několika stovek až tisíců kontrolních objemů [2]. Rozdíl mezi přístupem zónových modelů a modelů typu pole je znázorněn na obrázku 1.



**Obrázek 1:** Zónové modely vs. modely typu pole (převzato z [2])

Pravděpodobnostní model používá ve svých rovnicích princip náhody (pravděpodobnosti). Na rozdíl od deterministického modelu pohlíží na požár jako na jev stochastický - výsledná hodnota je funkcí počátečních podmínek a pravděpodobnosti. Pravděpodobnost (náhoda) bývá v počítačových modelech řešena funkcí „random“ - generací náhodných (pseudonáhodných) čísel. V takovém případě jsou při opakovaném výpočtu stejného modelu (se stále stejnými počátečními podmínkami) dosahovány vždy o něco odlišné výsledky, které ovšem jako celek naplňují určitou charakteristiku.

Výše uvedené metody, a také řada dalších jako například modely na bázi metody konečných objemů (JASMINE nebo jiné programy CFD) [3], mají společné to, že výsledný model pokrývá pouze určitý aspekt modelované situace, např. teplotní pole, proudění vzduchu apod. v modelovaném objektu. Model tedy reálnou situaci zjednodušuje tak, aby mohla být pokryta

vhodným matematickým aparátem a řešena v rozumné době - tedy v případě třírozměrných CFD modelů řádově v hodinách až dnech, v případě běžně používaných zónových modelů pak řádově v sekundách.

Tato omezení jsme všeobecně přijali a naučili jsme se používat tyto modely tak, aby byly dobře využitelné v každodenní praxi a je potřeba dodat, že tyto modely plnily, plní a ještě dlouho budou plnit svou úlohu a to velmi úspěšně.

Použitelnost modelů však automaticky neznamená, že bychom se měli vzdát vývoje modelů nových, které pohlížejí na problematiku poněkud odlišným způsobem a umožní třeba zodpovědět otázky, které současné modely zodpovědět schopny nejsou.

Alternativní pohled na problematiku nám mohou poskytnout modely odvozené z modelování procesů v živé přírodě, tzv. umělý život.

### **Modely umělého života**

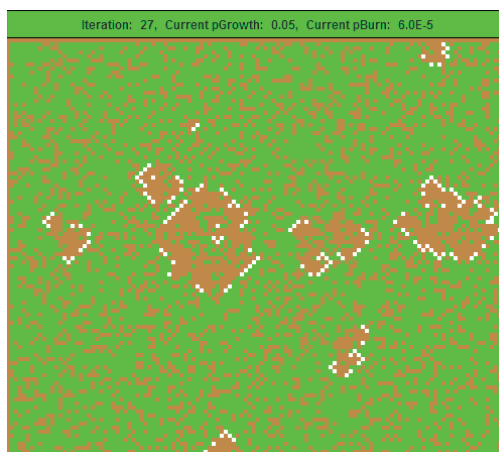
Umělý život charakterizoval Bonabeau a Theraulaz (1995) následovně (převzato z [4]): „*Umělý život je všeobecná metoda, podstatou které je generovat z jednoduchých mikroskopických spolupracujících prvků takové chování na úrovni makroskopické, které je možno interpretovat jako projev života.*“

Metody založené na umělém životě fungují tedy zásadně odlišným způsobem než v současnosti používané konvenční metody, zatímco konvenční model se komplexitu chování modelu snaží zachytit na co nejvyšší úrovni, tedy pro modelovaný systém jako celek, metody založené na umělém životě volí naopak sady velmi jednoduchých pravidel, které jsou však aplikovány (opakovaně) na nejjednodušší „stavební kameny“ modelu. Vzájemným působením těchto „stavebních kamenů“ se pak dosahuje komplexního chování modelovaného systému jako celku. Tedy konvenční modely postupují shora (top-down approach) zatímco modely založené na umělém životě postupují zdola (bottom-up approach).

První široce publikovanou aplikací pro modelování chování požáru byl model Fire, publikovaný v roce 1998 [5]. Jedná se o jednoduchý model lesního požáru. Celý model je rozdělen mřížkou na jednotlivé buňky stejné velikosti. Na tyto buňky je opakovaně aplikována jednoduchá sada pravidel, která definuje přechod mezi jednotlivými stavy buněk modelu iteracemi výpočtu:

- 1) hořící strom (bílá buňka) se stane prázdnou buňkou (hnědá buňka),
- 2) strom (zelená buňka) se stane hořícím stromem (bílá buňka) pokud alespoň jeden jeho soused hoří,
- 3) na prázdné buňce (hnědá buňka), vyroste strom s pravděpodobností  $p$ ,
- 4) strom, který nemá hořícího „sousedá“ se stane hořícím stromem s pravděpodobností  $f$ .

Jednotlivá pravidla jsou aplikována na všechny buňky zároveň a po každé iteraci je výsledek vykreslen na obrazovce. Výsledek můžete vidět na obrázku 2. Každá iterace představuje určitý časový úsek. Kvůli práci s buňkami se takovým modelům říká *celulární automaty*. Celulární automaty přitom považujeme za nejjednodušší formu tzv. *multiagentních systémů*.



**Obrázek 2:** model Fire po 27 iteracích (obrázek vygenerován pomocí appletu [6])

Multiagentní systémy lze definovat (převzato z [9]): *simulované prostředí se síťovým charakterem, v němž dochází k interakci určitých typů aktérů (agentů) mezi sebou anebo s prostředím, ve kterém se nacházejí. Tito agenti řeší společně problémy, které přesahují možnosti a znalosti každého z nich.*

Celulární automaty se od plnohodnotných multiagentních systémů liší tím, že striktně formalizují prostředí, ve kterém fungují agenti, do buněk bez ohledu na to zda ve 2D nebo 3D.

Hlavní výhody nasazení celulárních automatů lze spatřovat:

- v lokalitě pravidel - pravidla se aplikují lokálně na „stavební kamenu modelu“ (buňky),
- v relativní jednoduchosti pravidel - ve srovnání s konvenčními modely je sada pravidel jednodušší,
- a v grafické reprezentaci výsledku modelování - model je vždy jednoduše vizualizovatelný a to i pro vizualizaci vývoje modelovaného systému v čase.

Výše uvedený model je z dnešního pohledu spíše takovým zajímavým mentálním cvičením. Naskytá se otázka, zda lze použitou sadu pravidel modifikovat tak, aby byl simulován rozvoj požáru v poněkud reálnější situaci, které aspekty rozvoje požáru je možné pomocí metod umělého života (celulárních automatů nebo dalších metod) zachytit a s jakou přesností.

K pokusům s modely jsme vybrali modelovací prostředí NetLogo ve verzi 4.0.4 [7], který byl vyvinut v MIT Media Lab.

Plocha simulace zachycuje uzavřený prostor v půdoryse. V modelu se vyskytují výkonní agenti „želvy“<sup>1</sup> a dlaždice (buňky), jejichž implementace je podobná jako v modelu „Fire“, ovšem je k nim přiřazeno více vlastností, v souladu s větší složitostí modelu.

<sup>1</sup> V angličtině se grafika Logo prostředí často označuje jako tzv. turtle graphic, tedy želví grafika podle tvaru symbolu který označoval polohu „kreslicího pera“ na obrazovce.

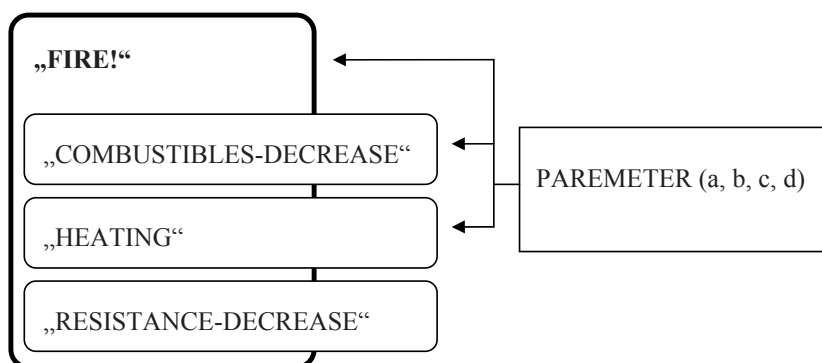
*Dlaždice*: představují hořlavý prostor, dále zdi a jiné požárně-dělicí konstrukce, zároveň jsou nositeli plamenů. Vlastnosti dlaždic reprezentují následující vlastnosti:

- *Ignition-temperature* [°C]: představuje parametr hořlavosti - jak snadno je hořlavina zapalitelná;
- *Fire-load* [kg na dlaždici]: představuje množství hořlaviny na dlaždici;
- *Temperature* [°C]: udává teplotu okolí dlaždice;
- *Fire-resistance* [min]: reprezentuje požární odolnost dlaždice. Její hodnota představuje čas v minutách, po který je konstrukce (reprezentovaná dlaždici) odolná vůči účinkům požáru;
- *Patch-time* [min]: časový úhrn v minutách, po který byl na dlaždici požár.

Výše uvedené vlastnosti zároveň vystupují jako parametry výpočtu.

*Želvy*: zastupují přítomnost plamenů. Nepohybují se, vznikají na dlaždicích, na kterých jsou podmínky pro požár, a ve chvíli, kdy podmínky přestanou být pro požár příznivé, zanikají. Na jedné dlaždici může být maximálně jediná „želva“.

Struktura modelu je znázorněna na obrázku 3.



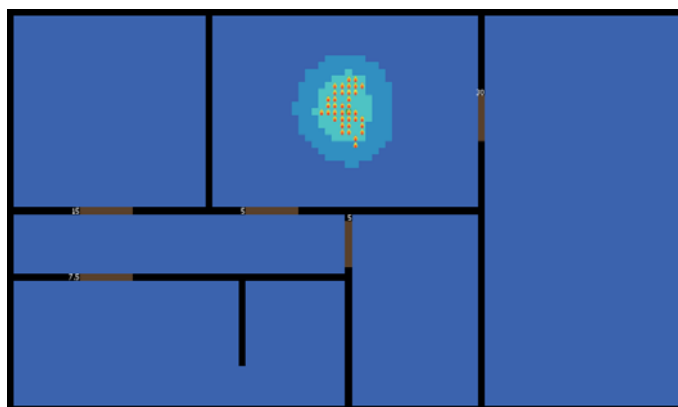
**Obrázek 3:** Struktura experimentálního modelu

Model je tvořen hlavní procedurou FIRE, která obsahuje další tři procedury ovládající vlastnosti dlaždic:

- COMBUSTIBLES-DECREASE - realizuje úbytek hořlaviny,
- HEATING - realizuje sdílení tepla,
- RESISTANCE-DECREASE - realizuje pokles požární odolnosti v důsledku působení požáru.

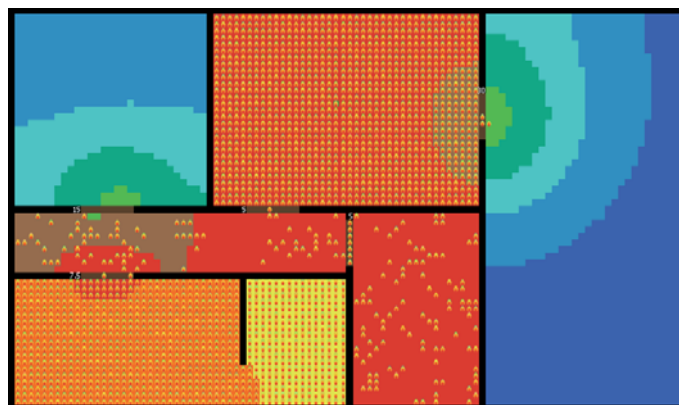
Funkce PARAMETER představuje v procedurách míru, jakou se budou provádět změny vlastností jednotlivých dlaždic.

Pro samotné odladění modelu jsme zvolili simulaci rozvoje požáru v prostředí s půdorysem jako na obrázku 4. Zvolená konfigurace modelu představuje půdorys bytového prostoru. Stěny jsou černě, volný prostor je modře. Prostupy jsou řešeny hořlavými dlaždicemi s přidělenou požární odolností (hnědě). Každý prostor má přidělenou různou hodnotu množství hořlaviny a její hořlavosti.



**Obrázek 4:** Simulace rozvoje požáru, čas simulace 0:46

Oblasti zasažené plamenem jsou symbolizovány ikonou plamene. V prostoru s původně konstantní teplotou se v důsledku požáru postupně zvyšuje teplota. Stav simulace v čase 34:03 je znázorněn na obrázku 5.



**Obrázek 5:** Simulace rozvoje požáru, čas simulace 34:03

Podrobnosti simulace je možné nalézt v bakalářské práci [8].

## **Závěr**

Experimentováním s parametry modelu se nám podařilo prokázat schopnost modelu, založeném na celulárních automatech, postihnout všechny podstatné vlastnosti skutečného požáru. Požár v modelu se šíří, jednotlivé stavební konstrukce jsou schopny odolávat po určenou dobu účinkům požáru. Model je také schopen do určité míry zachytit vývoj v teplotním poli modelovaného prostoru.

V současnosti však model není možné nasadit do praxe. Před takovým nasazením bude nutné model pečlivě verifikovat proti poznatkům z „reálných“ požárů. Doladit bude nutné především stanovení časového úseku, který je reprezentován iterací modelu a také parametry určující rychlost šíření požáru.

Po doladění modelu je však možné model dále rozvíjet směry, které v současnosti používané konvenční modely neumožňují. Je možné třeba uvažovat o „povýšení modelu“ do prostředí „plnohodnotných“ multiagentních systémů, jako je např. Swarm [10], kde by bylo možné připojit model pro evakuaci osob z ohroženého prostoru. Modelované prostředí lze zachytit v 3D apod.

Věříme, že tímto článkem přispějeme k diskuzi o vývoji v modelování rozvoje požáru a že se dostane sluchu i metodám založených na umělém životě, které jsou podle našeho názoru i přes svou relativní jednoduchost neprávem opomíjené.

### **Resume Nonconventional Methods of Fire Spread Modeling**

Computer based modeling of the fire spread is relatively young science branch, which lately experienced dynamic grow. Models get better and are capable to solve more complex tasks effectively and with higher accuracy. This advance would not be possible without continuous development characterized by two approaches: improving today's models and research and development of new methods of modeling. Both approaches are crucial. First approach improves modeling, while second widens variability of the models.

State of the art models used in fire protection can be divided to physical mathematical (numeric) models. Mathematical models can be further divided to deterministic and stochastic model, with approach to uncertainty as the main difference. These models and many others such as finite volume methods (JASMINE or other CFD programs) do share one property -the model they use covers only certain aspect of the real situation. In other words, the real situation is simplified, so that we can cover it with existing mathematical apparatus and solve it in reasonable time.

Alternative insight on the problematic of the modeling can be achieved by using models based on modeling of the properties of living nature - artificial life. Methods based on artificial life work different way than conventional models. While conventional models tries to “capture” complex behavior of the model on highest possible level (it models the system as whole), methods based on artificial life use sets of simple rules, which are applied repeatedly on “building brigs” of the model. Interaction between these “brigs” the complex behavior of the model is achieved. In other word, the conventional models focus on top-down approach while artificial life based methods focus on bottom-up approach.

For experimentation with the models we chose NetLogo 4.0.4 developed at MIT Medial Lab. Our simplified model uses following constructors: Area of the simulation is closed space plan. The model uses action agents “turtles” and tiles (cells), which use the properties - ignition temperature, fire load, temperature, fire resistance, etc.

Tiles: represent the space, walls or other construction objects; they are also holders of flames. The turtles represent presence of flames, they do not move, they emerge on the tiles with good conftions for fire spread and when these conditions change they disappear. On one tile can be only one turtle.



By experimenting with the model parameters we succeeded to model all important aspects of the real fire. In our model the fire spreads based on the local fire load, construction objects such as doors have limited fire resistance preventing the spread. Model is also capable to capture the progress of the heat field in modeled space.

Unfortunately at present time it is not possible to use the model in the praxis. Before such employment, the model must be rigorously verified based on real fire data. Especially estimation of iteration time scale seems to be the problem and also the fine-tuning of parameters governing the speed of the fire spread.

After model verification it will be possible to continue development of the model in the direction today's conventional models do not allow. It is for example possible to upgrade model into "full" multi agent system environment such as Swarm and add other multiagent based models to it such as personnel evacuation model. Also the model could be modified to work in 3D in the future, etc.

## Literatura

- [1] PEZDOVÁ, Z.: *Porovnání reálného požáru prostřednictvím modelu požáru*. Ostrava, 2008. 61 s. Diplomová práce. VŠB - TU Ostrava, FBI, Katedra požární ochrany a ochrany obyvatelstva.
- [2] MIKLÓS, J.: *Způsoby ověřování matematických modelů požáru*. Ostrava, 2008. 41 s. Diplomová práce. VŠB - TU Ostrava, FBI, Katedra požární ochrany a ochrany obyvatelstva.
- [3] Development of Standards for Fire Field Models [online]. University of Greenwich, dostupné z WWW <[http://fseg.gre.ac.uk/fire/standards\\_for\\_fire\\_field\\_models\\_proj.html](http://fseg.gre.ac.uk/fire/standards_for_fire_field_models_proj.html)> [cit. 2010-09-22].
- [4] MAŘÍK, V.; ŠTĚPÁNKOVÁ, O.; LEŽANKSKÝ, J.: *Umělá inteligence 3*. 1. vydání, Praha: Academia, nakladatelství Akademie věd České republiky, 2001. 328 s. ISBN: 80-200-0472-6.
- [5] CHOPARD, B.; DROZ, M.: *Cellular Automata Modeling of Physical Systems*. Cambridge University Press, 2005, 356 s., ISBN: 978-0521673457.
- [6] SHUELLER, A.: *Cellular Automata Fire Model* [online]. Dostupné z WWW <<http://schuelaw.whitman.edu/JavaApplets/ForestFireApplet/>> [cit. 2010-09-22].
- [7] Domácí stránky NetLogo [online]. Dostupné z WWW <<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>> [cit. 2010-09-22].
- [8] ČERNÝ, O.: *Modelování rozvoje požáru s využitím prostředků umělého života*. Ostrava, 2010, 32 s., Bakalářská práce, VŠB - TU Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, Katedra požární ochrany.
- [9] Multiagentní systém [online]. Dostupné z WWW <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Multiagentn%C3%AD\\_syst%C3%A9m](http://cs.wikipedia.org/wiki/Multiagentn%C3%AD_syst%C3%A9m)> [cit. 2010-09-22].
- [10] Swarm Developer Group Wiki [online]. Dostupné z WWW <<http://www.swarm.org/>> [cit. 2010-09-22].