

Model lesného požiaru

Martin Tuček (524838), Adam Džadoň (524839)

Správa

Predstavenie modelu

Náš model simuluje požiar v lese. Model je realizovaný tzv. celulárnym automatom. Každá bunka (cell) v automate je reprezentovaná jedným z nasledujúcich objektov:

- Strom (zelená bunka)
- Uhasené prostredie (modrá bunka)
- Oheň (červená bunka)
- "Tlejúci popol" (embers) (spektrum buniek od červenej po tmavo červenú)
- Prázdny priestor (čierna bunka)

Šírenie ohňa je ovplyvňované nasledujúcimi nastaviteľnými parametrami:

- Hustota lesa
- Smer vetra
- Rýchlosť vetra
- Hasiaca stratégia

Šírenie ohňa je ďalej ovplyvňované skrytými parametrami vo vnútri modelu:

- Polomer (veľkosť) počiatočného ohňa
- Pravdepodobnosť šírenia ohňa bez vetra
- Základná frekvencia šírenia ohňa (jedenkrát za X iterácií modelu sa oheň rozšíri)
- Frekvencia hasenia (jedenkrát za X iterácií prebehne hasenie)
- Veľkosť plochy, ktorú pokryje hasenie (1 hod vody)
- Počiatočný čas, v ktorom sa začne hasiť

Náš model popisujúci šírenie ohňa je ovplyvnený predpokladmi, ktoré sme doňho vložili. Tieto predpoklady máme však podložené výskytmi požiarov v našom fyzickom svete. Prvým z našich predpokladov je, že požiar je ovplyvnený vetrom, a to konkrétne tak, že požiar sa šíri v smere vetra ([odkaz na článok popisujúci túto skutočnosť](#)). Tento predpoklad je v našom modeli realizovaný tým, že šírenie ohňa v protismere má zníženú pravdepodobnosť, ktorej hodnota závisí na rýchlosti vetra (čím väčšia rýchlosť, tým menšia pravdepodobnosť šírenia v protismere). Treba však poznamenať, že nastavenie miery zmeny tejto pravdepodobnosti zásadne ovplyvňuje samotné šírenie, a teda bolo by ideálne empiricky túto pravdepodobnosť odhadnúť (na čo však pochopiteľne nemáme prostriedky). Zároveň čím rýchlejšie fúka vietor, tým rýchlejšie sa oheň šíri v smere vetra a zároveň sa horšie šíri v protismere.

V základnej verzii modelu sa oheň šíri nasledovne: Pre každú horiacu bunku v automate sa pozriem na jej susedov a zapálím ich. V rozšírenej verzii je pre každú bunku susednú bunku zistí, či je v smere alebo protismere vetra a na základe toho je jej pridelená pravdepodobnosť zapálenia. Dôsledok tejto zmeny je, že bude pre danú fixnú hustotu s veľkou

pravdepodobnosťou spálená menšia plocha, pretože na rozdiel od pôvodného modelu, v modeli s vetrom nie je 100% šanca, že sa okolie horiaceho stromu zapáli. Okrem toho však táto zmena prirodzene simuluje vietor, a teda oheň sa šíri v jeho smere.

Cieľ modelu: Na základe daných podmienok nájsť optimálnu taktiku hasenia.

Pri tom za optimálnu taktiku považujeme takú taktiku, ktorá minimalizuje počet zhorených stromov.

Hasenie lesov vo fyzickom svete prebieha najčastejšie hádzaním určitého objemu vody pomocou helikoptér ([odkaz na zdroj](#)). Hasenie bude v našom modeli teda implementované týmto spôsobom, s tým, že hasenie prebieha raz za určitý počet iterácií nášho modelu (jeden zo skrytých parametrov).

Čo sa týka problematiky spätných väzieb, vietor pôsobí ako negatívna spätná väzba pretože čím rýchlejší je vietor, tým menej lesa pravdepodobne zhorí. Naopak hustota lesa pôsobí ako pozitívna väzba, pretože čím viac stromov je, tým viac ich zhorí. Náš model lesa bez hasenia má tzv. fázový prechod, kde pri určitej hodnote hustoty lesa nastane prudký nárast zhorenej oblasti. Toto chovanie je zachované aj po pridaní vetra.

Popis simulácie

Pri hľadaní optimálnej stratégie budeme porovnávať niekoľko vybraných stratégií na viacerých druhoch prostredia, a podľa výsledkov analýz sa budeme snažiť nájsť najlepšiu hasiacu stratégiu pre daný druh prostredia.

Predstavenie hasiacich stratégií:

- **Baseline stratégie:**
 - **Uniform:** Táto stratégia hádže vodu na náhodne vybratú horiacu bunku
 - **No fighting:** Táto stratégia nehádže vodu vôbec
- **Pokročilejšie stratégie:**
 - **Wind:** Stratégia, ktorá hádže vodu vždy na horiacu bunku, ktorá je najďalej v smere vetra.
 - **Fire density:** Stratégia, ktorá hádže vodu na bunku, ktorá je v strede hustého požiaru, pričom za hustotu požiaru považujeme počet horiacich buniek v určitom pevne danom okolí.
 - **Density & wind:** Stratégia, ktorá berie do úvahy aj hustotu požiaru aj smer vetra, teda uprednostňuje bunky ktoré sú ďaleko v smere vetra a zároveň je okolo nich veľa horiacich buniek.

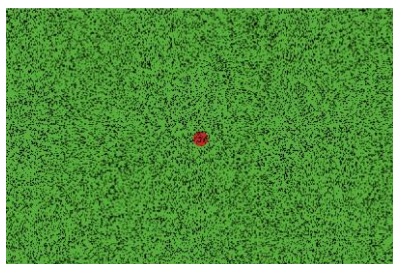
Ilustračný beh modelu

Pre ilustráciu behu nášho modelu si vyberieme konkrétne hodnoty parametrov a model spustíme. Pre počiatočné nastavenie nastaviteľných parametrov:

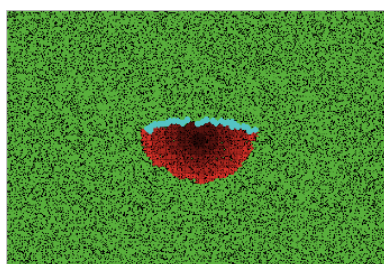
- Hustota lesa = 80%
- Smer vetra = "N" (Sever)
- Rýchlosť vetra = 58

- Hasiaca taktika = „Wind“ (Berie do úvahy smer vetra)

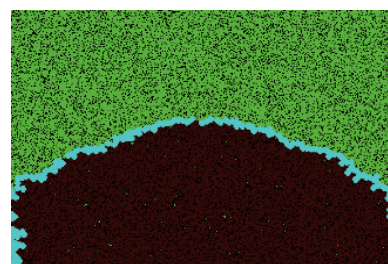
Simulácia prebehne takto:



Inicializácia



Priebeh



Záver

Popis výsledkov simulácie

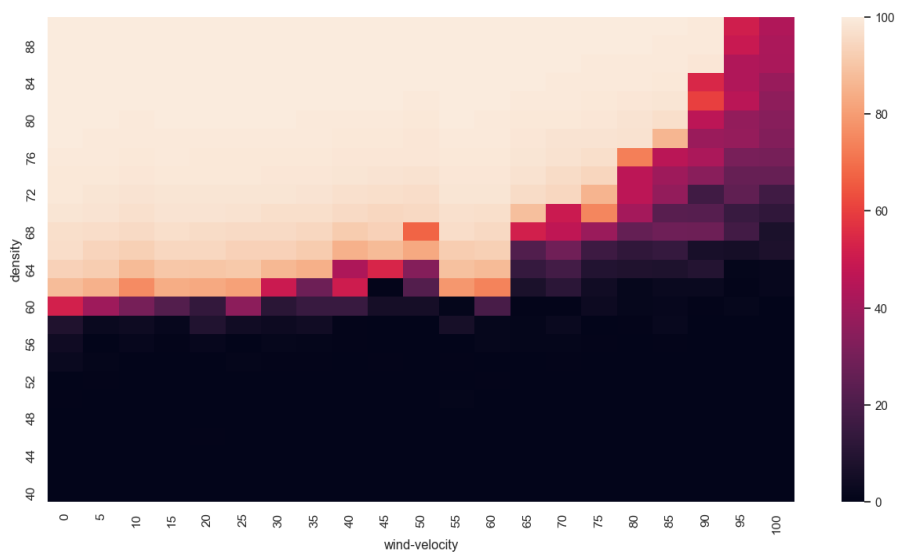
Výsledok simulácie je % zhoreného počtu stromov k celkovému počtu stromov. Je to vlastne číslo, ktoré by mala optimálna stratégia minimalizovať.

Výsledok ilustračnej simulácie:

percent burned
40.3

Správanie počtu zhorených stromov v závislosti na hodnotách parametrov:

Správanie nášho modelu v závislosti na parametroch je zhrnuté v nasledujúcom grafe:



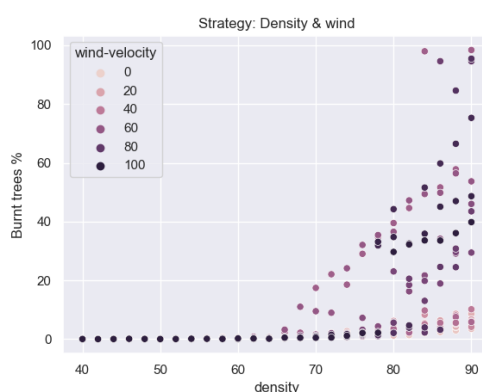
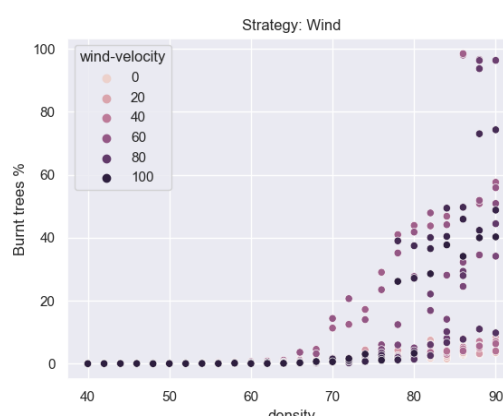
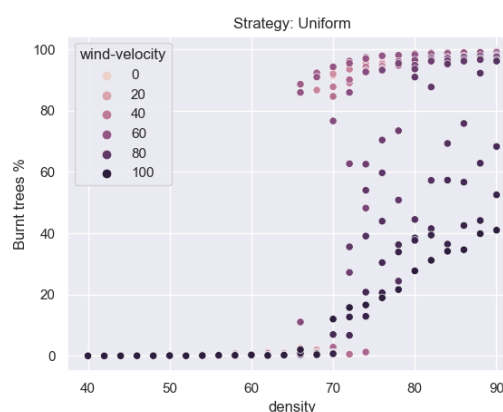
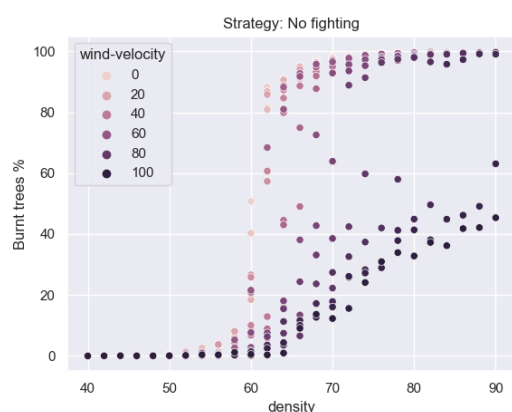
Na x-ovej ose sa zobrazujú hodnoty rýchlosti vetra a na y-ose sa zobrazujú jednotlivé hustoty lesa. Zafarbenie danej bunky určuje % zhorených stromov. Čím svetlejšia bunka je, tým viac stromov zhorelo. Z tohto pozorovania vidíme, že čím je väčšia hustota a čím menej fúka, tým lepšie sa požiar šíri.

Analýza jednotlivých stratégií

Na úvod by sme chceli poznamenať, že pre účely nášho pozorovania budeme za les považujeme plochu s aspoň 40% hustotou stromov a zároveň najviac 90% hustotou stromov, pretože práve takéto lesy sa najčastejšie vyskytujú vo fyzickom svete.

Postupne teda spustíme simuláciu na prostrediach s hustotami od 40% po 90% a zároveň s rýchlosťami vetra od 0 po 100. Každú simuláciu spúšťame s rovnakým smerom vetra, pretože situácie s iným smerom vetra sú symetrické a teda by priniesli rovnaké hodnoty zhorenej plochy. Možným rozšírením modelu by bolo pozorovať zmeny vetra v reálnom čase a ako to vplýva na šírenie ohňa.

Výsledky analýz jednotlivých stratégií sú zachytené v nasledujúcich grafoch a tabuľke:



Z grafov vyplýva viacero zaujímavých informácií. Prvá z nich je, že do určitej hodnoty hustoty lesa vôbec nie je nutné hasiť, a teda môžeme konštatovať, že pre riedke lesy je jedno akú stratégiu použijeme, teda aj žiadne hasenie (No fighting) je v tomto prípade validné, keďže pod určitú hranicu hustoty všetky stratégie dosahujú rovnaké výsledky, a žiadne hasenie je najúspornejší spôsob.

Ďalšia zaujímavosť je prítomnosť tzv. fázového prechodu, kde od určitej hranice hustoty lesa značne vzrastie počet zhorených stromov. Tento prechod je značne ostrejší pri stratégiách, ktoré sa neriadia vetrom. Zároveň vidíme, že čím rýchlejší vietor, tým je počet zhorených stromov menší, takže vietor brzdí rast požiaru.

Ďalej môžeme pozorovať, že stratégia, ktorá berie do úvahy hustotu požiaru a hádže vodu do stredu hustých oblastí (Fire density) nie je oveľa lepšia ako náhodne hasenie. Možným vysvetlením tohto javu je, že stratégia nehasí kraje požiaru, ktorými sa požiar šíri ďalej.

Z grafov vyplýva, že stratégie berúce do úvahy smer vetra (Wind a Density & wind) prinášajú pri požiaroch (hlavne v hustých lesoch) výrazne zlepšenie. Na druhej strane vidíme, že ani týmito stratégiám sa nepodari oheň uhasiť vždy. Deje sa to hlavne v prípadoch, kde vietor nie je až taký výrazný a teda hasenie v smere vetra nie je až také účinné, pretože oheň sa šíri pomerne dobre aj v ostatných smeroch.

Nasledujúca tabuľka uvádza pre každú stratégiu aritmetický priemer (mean) % zhorených stromov a medián (median) % zhorených stromov:

	Mean % burned	Median % burned
Wind	5.73	0.45
Fire density	31.06	0.37
Density & wind	5.69	0.44
Uniform	33.58	0.49
No fighting	46.47	29.91

Z tabuľky vidíme, že stratégie berúce do úvahy smer vetra (Wind a Density & wind) dosahujú lepšie výsledky, teda menej zhorených stromov. Zároveň vidíme, že stratégia, ktorá berie do úvahy smer vetra aj hustotu (Density & wind) dosahuje o niečo lepšie výsledky, no rozdiely sú veľmi malé, a teda konštatujeme, že hlavným faktorom, ktorý by sa mal brať do úvahy je smer vetra.

Ďalším pozorovaním vyplývajúcim z tabuľky je, že väčšina stratégií dosahuje oveľa väčší aritmetický priemer ako medián. Tento jav je zapríčinený tým, že v riedkych lesoch nezhorelo

nikdy skoro nič, čo medián značne ťahá dole. Na druhej strane vo fyzickom svete nás skôr zaujíma hasenie hustých lesov, preto považujeme za smerodajnejší aritmetický priemer.

Záver analýz

Z našich analýz modelu vyplýva, že stratégie berúce do úvahy smer vetra dosahujú lepšie výsledky. Konkrétne stratégia, ktorá berie do úvahy aj smer vetra aj lokálnu hustotu požiaru (Density & wind) dosahuje najlepšie výsledky, a teda za optimálnu stratégiu považujeme práve túto stratégiu. Táto stratégia však predstavuje len malé zlepšenie oproti stratégií Wind, a teda aj táto stratégia je podľa nás veľmi účinná pri hasení hustých lesov. Ostatné stratégie nedosahovali oveľa lepšie výsledky ako stratégia No fighting resp. stratégia Uniform, a teda ich nasadenie na hasenie hustých lesov na základe výsledkov analýz nie je optimálne.

Medzi zaujímavé pozorovania považujeme fakt, že stratégia berúca do úvahy iba lokálnu hustotu (Fire density) požiaru dosahovala podobné výsledky ako náhodné hasenie (Uniform).

Diskusia možných rozšírení:

Náš model je pomerne jednoduchý a celkom zjavne ho je možné rozšíriť.

Medzi možnosťami rozšírenia patrí napríklad:

- a) **Vlhkosť prostredia** : Takýto doplnok by nám pomohol pri priblížení k fyzickému svetu. Ideálne by bolo vymyslieť komplexnejšie generovanie vlhkých alebo nehorľavých častí v lese (jazero, močiar, skala, rieka...), šlo by o doplnok, pre ktorý by bolo možné navrhnuť nové stratégie hasenia a bolo by zaujímavé sledovať ako vlhkosť ovplyvní výsledky simulácií.
- b) **Georeliéf** : Táto možnosť by predstavovala šancu pridať rôzne pohoria/nížiny, bolo by zaujímavé sledovať či by sa výsledky našich simulácií líšili.
- c) **Typy stromov a ich rozličná horľavosť** : Medzi ďalšie zaujímavé rozšírenie by mohlo byť pridanie parametru typu stromov. Je vedecky známe že stromy medzi sebou majú rozdielnu horľavosť a po vhodnej úprave nášho modelu by bolo zaujímavé sledovať či nejaké hasiace stratégie nefungujú lepšie pri určitých typoch stromov.
- d) Ďalším rozšírením modelu, ktoré stojí za zmienku by mohlo byť pridanie **zmien smeru vetra** počas simulácie (v aktuálnom modeli je pre konkrétny beh simulácie smer vetra zafixovaný).
- e) Ako posledné uvádzame možnosť rozšírenia modelu o schopnosť „znovu zapálenia“ horúceho popolu zo spálených stromov, teda možnosť **vzniku požiaru na už prehorenej oblasti**.

Zhodnotenie záverov simulácie

Realita je oproti nášmu modelu výrazne komplexnejšia. Podstatou modelovania je však abstrahovať a zdôrazniť to podstatné. Najdôležitejší záver z našej analýzy (použiť pri hasení smer vetra) je fakt, ktorý aj samotní hasiči používajú pri hasení. Hasiči pokladajú smer vetra ako jednu z najdôležitejších informácií pri hasení a prispôsobia tejto informácii aj svoj prístup.