

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V
BRNĚ
FAKULTA INFORMAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

Modelování a simulace

11 - Model pomocí celulárních automatů

Patrik Dvorščák (xdvors15)
Lada Krofingerová (xkrofi00)

2022/2023

Obsah

1	Úvod	2
1.1	Autoři a zdroje faktů	2
2	Fakta	2
3	Koncepce	2
3.1	Fungování modelu	3
4	Experimenty	4
4.1	Parametry experimentů	4
4.2	Shrnutí experimentů	5
4.3	Snímky ze simulací	6
5	Závěr	9

1 Úvod

Práce vznikla jako řešení projektu do předmětu Modelování a simulace v akademickém roce 2022/2023 na Fakultě informačních technologií Vysokého učení technického v Brně. Hlavním úkolem je provést simulaci problému z odvětví biologie, nebo jiné přírodní vědy, pomocí celulárního automatu ([3], snímek 209).

Jako téma jsme zvolili *Šíření termitů v zalesněné oblasti*. Hlavním cílem je ukázat, jak rychle se můžou termiti v lese šířit. Jako vedlejší cíl jsme si dali ukázat, jaký má na jejich šíření vliv různá teplota. Detailněji viz 3.

Téma jsme vybrali takové, protože je to podle nás celkem závažný problém a naše simulace by mohla případně upozornit, že při včasném zásahu může dojít až ke katastrofickým následkům.

1.1 Autoři a zdroje faktů

Autory práce jsou studenti třetího ročníku bakalářského studia Patrik Dvorščák a Lada Krofingrová. Model a simulace ([3], snímek 7, 8) byl zhotoven na základě článků [5], [6] a [2]. Samotné téma pro práci bylo inspirování prací [4]. Zmíněné články sloužili také při validaci našeho výsledného modelu.

2 Fakta

Pro správné vytvoření modelu bylo třeba zjistit informace k tématu. Pro nás to znamenalo nastudovat šíření termitů v přírodě. Cílem naší simulace bylo také ukázat vliv teploty na jejich šíření, proto bylo také důležité nastudovat při jaké teplotě se šíří nejlépe.

Termitům se nejlépe při vyšších teplotách (20°C a více), naopak při nižších (8°C například) je šíření podstatně nižší ([6]). Dále také závisí na nadmořské výšce i podnebí celkově, toto však naše studie nazahrnuje. Stejně tak záleží na typu dřeviny, kterou zkoumáme ([2]).

Velikost průměrných ročních srážek nemá významný vliv na růst populace termitů ([6]).

3 Koncepce

Pro ulehčení práce v simulaci jsme náš model postavili na fiktivní zalesněné oblasti ve tvaru čtyřúhelníku. Experimenty poté probíhaly ve čtvercové oblasti (více viz 4), ale model je postaven na použití jakékoliv čtyřúhelníkové s pravými úhly, záleží na zadaných parametrech.

Dále jsme pro zjednodušení modelu brali teplotu po celou dobu jako konstantu, tedy nebylo bráno v úvahu změna počasí, změna ročních období nebo jiné okolní vlivy, které by během simulace a i výsledek ovlivnili. Toto by mohlo být bráno jako rozšíření do budoucna pro další možné experimenty.

Simulace je postavená na celulárním automatu, který představuje v kódu třída `Grid`. Ta obsahuje dvě pole, a to pole stromů (`environmentField`) a pole

termitích kolonií (`termiteField`). Obě pole poté obsahují buňky automatu, jedno buňky představující, zda se na místě v poli nachází strom a případně jeho stav, druhé poté množství termitů.

Stavy pole stromů jsou poté:

- BLANK - na místě v poli není strom
- TREE_HEALTHY - na místě se nachází zdravý strom
- TREE_ATTACKED - na místě se nachází napadený strom
- TREE_DECAY - na místě se nachází strom v rozkladu

Stavy pro pole termitů jsou tyto:

- EMPTY - na místě se nenachází kolonie (počet termitů je 0)
- LOW - na místě se nachází malá kolonie (počet termitů je 10)
- MEDIUM - na místě se nachází střední kolonie (počet termitů je 100)
- HIGH - na místě se nachází velká kolonie (počet termitů je 1000)

3.1 Fungování modelu

Simulace se provádí algoritmem, který v poli vyhledává kolonie termitů a podle jejich okolí skupinu termitů buď zvětšuje nebo zmenšuje, kolonie zůstává na zdravém (HEALTHY) stromu když je její velikost malá nebo střední a svou velikost postupně zvětšuje. Při velké kolonii na zdravém stromě označíme strom jako napadený (ATTACKED) a následně se napadený strom stává uhnílym (DECAY).

Když se kolonie nachází na uhnílym stromě nebo na prázdném poli, algoritmus následně sleduje okolí kolonie. Do okolí se zahrnuje stav sousedních termitích kolonií v Moorově okolí a stav prostředí (stromů) v Moorově okolí.

V případě, že v okolí nejsou žádné zdravé nebo napadené stromy, se kolonie přesouvá na prázdné místo nebo se přidá k jiné kolonii. Je-li kolonie malá a nemá sousedy zanikne.

V případě, že jsou v okolí zdravé, napadené nebo uhnílé stromy, priorita se počítá podle stavu stromu a velikosti kolonie nebo přítomnosti jiné kolonie na stromě (viz algoritmus 0).

```

if colonySize == 0 then
    colonyPriority = 1000
else
    colonyPriority = colonySize / 1000
end if
if treeState == 0 then
    treePriority = 0
else
    treePriority = 180 * 6 / treeState
end if
P = treePriority * colonyPriority

```

Termití kolonie si vybere pole s nejvyšší prioritou, pokud je velikost kolonie velká (HIGH) kolonie se rozdělí na velkou a malou na dvě nejlepší pole podle priority. Kolonie se může rozdělit na střední a střední pokud na poli s cílovém poli již nějaká kolonie existuje. Je-li kolonie stření nebo malá vybere se jedno pole s nejvyšší prioritou a tam se kolonie přesune, je-li tato kolonie střední nebo velká, přesune se jen ta část populace aby kolonie nepřesáhla maximální velikost na jednom poli a zbytek zůstává na původním poli.

4 Experimenty

Naše experimenty spočívaly ve spuštění simulátoru v několika bžích s různými hodnotami. Cílem našich experimentů bylo zjistit a ukázat jaký vliv má na šíření termitů v oblasti okolní teplota, aby se zjistila, jak rychle a kam až může taková situace dojít, když se nezačně včas řešit.

4.1 Parametry experimentů

Všechny naše experimenty měly jako společné tyto parametry:

- Výška zalesněné plochy: 400 jednotek
- Šířka zalesněné plochy: 400 jednotek
- Zalesnění: 50%
- Velikost počátečních kolonií: střední
- Délka simulace: 50 týdnů

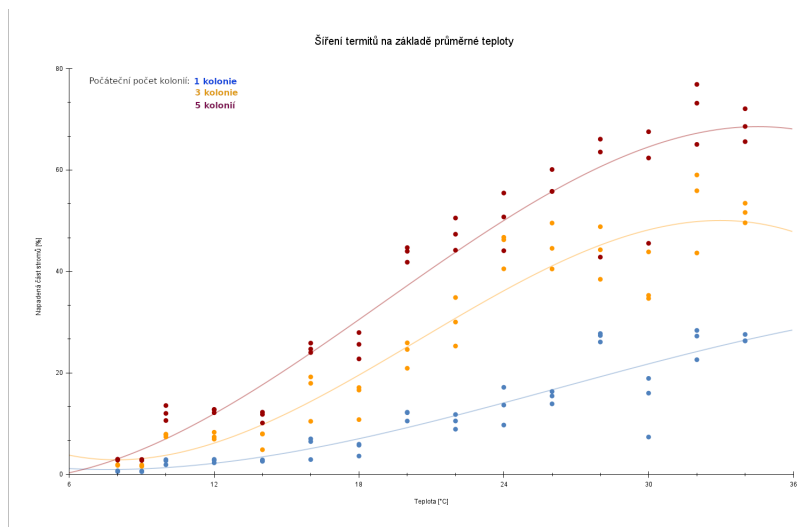
Dále jsme pro každý z experimentů vybírali tyto parametry:

- Počet kolonií na začátku simulace
- Teplota

Postupně jsme jako počet kolonií vybírali: 1, 3, 5 a 10. Jako teploty byly postupně použity hodnoty: 8°C, 9°C, 10°C, 12°C, 14°C, 16°C, 18°C, 20°C, 22°C, 24°C, 26°C, 28°C, 30°C, 32°C a 34°C.

4.2 Shrnutí experimentů

Pro každou kombinaci vybraných hodnot (viz podkapitola výše 4.1) jsme simulaci spustili třikrát. Graf 7 zobrazuje shrnuté výsledky našeho měření. Na ose x



Obrázek 1: Graf získaný z experimentů

lze vidět průměrnou teplotu a osa y poté ukazuje v procentech, jaká část stromů byla napadena po uběhnutí všech 50 týdnů. Pro lepší představu jsme do grafu přidali i průměr těchto hodnot (výsledné křivky dané barvy) pro každý počet kolonií.

Následující tabulka ukazuje pro představu přesné hodnoty zjištěné při 14°C. Sloupce **Malé**, **Střední** a **Velké** představují počet daných kolonií termitů po uběhnutí 50 týdnů. **Zdravé**, **napadené** a **Zničené** představují počet daných stromů po 50 týdnech. Poslední sloupec **počet na začátku** představuje počet středních kolonií termitů na začátku simulace

V tabulce, narozdíl od grafu, je i hodnota pro počáteční počet kolonií 10, kterou jsme do grafu nedávali. V případě zájmu jsou všechny naměřené hodnoty v příloženém souboru `out.csv`.

Z grafu, i případně tabulky, lze vidět, že rychlost šíření a napadení stromů je logicky rychlejší, když je na počátku více kolonií. Tento fakt nemůže překvapit a lze ho i očekávat, protože když je něčeho na počátku více, tak logicky bude i rychlejší. Z grafu lze ale vyčíst i to, že s přibývajícím teplotou se šíření zvětšuje. Z toho je patrné, že termitům se daří lépe v teplém prostředí, proto během letních měsíců může být tento problém závažnější.

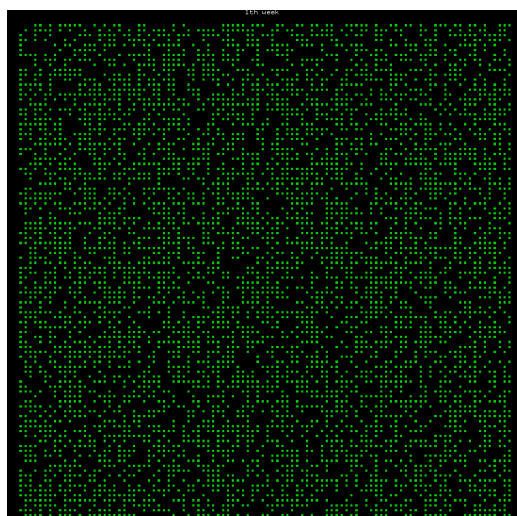
Malé	Střední	Velké	Zdravé	Napadené	Zničené	Počet na počátku
40	71	331	81813	35	2200	1
43	91	362	81805	45	2346	1
51	79	357	81733	37	2118	1
105	115	613	80244	101	3992	3
159	235	1037	77370	143	6575	3
180	236	1007	77347	142	6532	3
220	306	1241	75658	166	8358	5
209	322	1450	73729	182	9701	5
225	382	1664	73582	227	10046	5
306	536	2359	67379	265	16108	10
428	600	2628	65611	339	17983	10
425	663	2768	64985	351	18319	10

Tabulka 1: Tabulka naměřených výsledných při teplotě 14°C

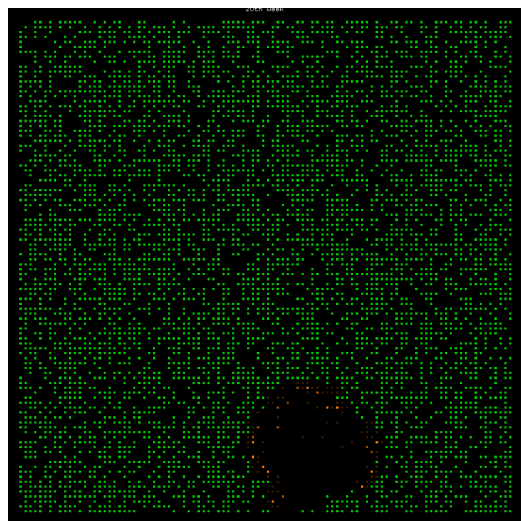
4.3 Snímky ze simulací

Pro lepší představu jsou přiloženy snímky ze simulací, pro přehlednost nebylo použito pole 400x400, ale pouze 100x100.

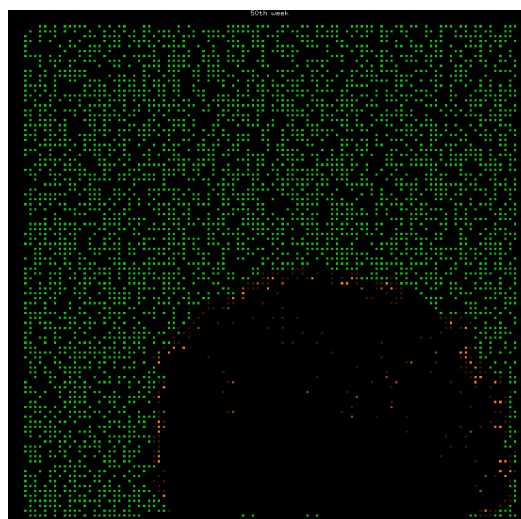
Jako první je simulace při 14°C a jedné počáteční kolonii:



Obrázek 2: První týden simulace při 14 stupních při jedné kolonii na začátku

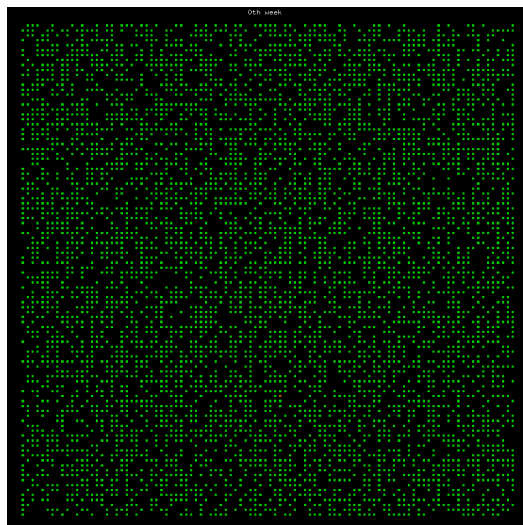


Obrázek 3: Dvacátý týden simulace při 14 stupních při jedné kolonii na začátku

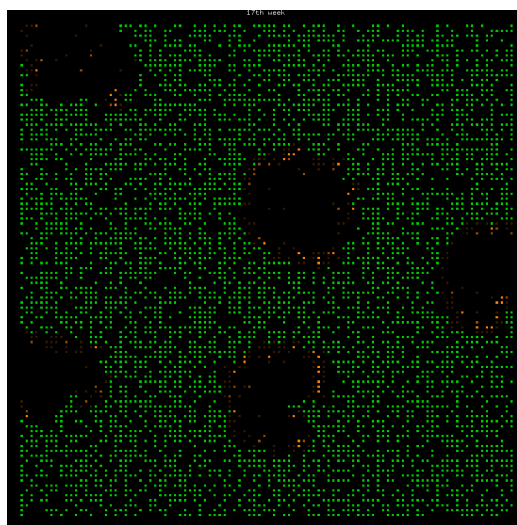


Obrázek 4: Padesátý týden simulace při 14 stupních při jedné kolonii na začátku

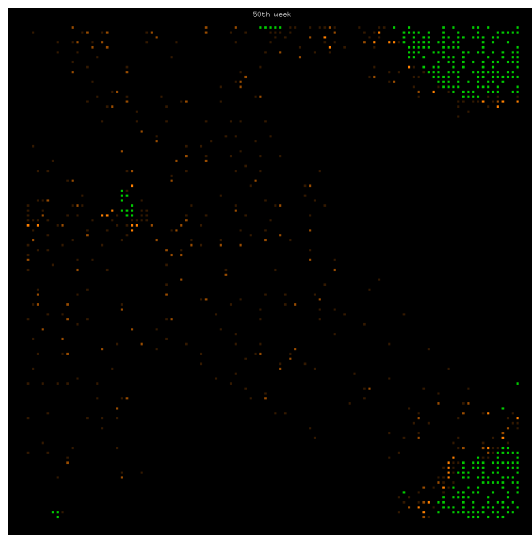
Dále stejná simulace, ale s pěti počátečními koloniemi:



Obrázek 5: Počáteční stav simulace při 14 stupních a 5 koloniích



Obrázek 6: Sedmnáctý týden simulace při 14 stupních a 5 koloniích



Obrázek 7: Padesátý týden simulace při 14 stupních a 5 koloniích

5 Závěr

Pomocí experimentů jsme ověřili, že šíření termitů v zalesněné oblasti je opravdu závažný problém, když se nijak neřeší. Samozřejmě v reálném světě by figurovalo více faktorů, které by celou situaci komplikovaly, například změna teploty během dne, změna ročních období, nebo nějaký vnější zásah, například zásah člověka, nebo jiný přírodní vliv.

Experimenty nám ukázaly, že s větší teplotou se termitům daří lépe, tedy v letních měsících bude tento problém jistě větší než například v zimních.

Pro experimenty byla implementována simulace pomocí celulárního automatu v jazyce C++ za použití knihovny OpenGL nástroje GLUT [1] pro vizualizaci.

Reference

- [1] GLUT - The OpenGL Utility Toolkit. [online].
URL https://www.opengl.org/resources/libraries/glut/glut_downloads.php
- [2] Debelo, D. G.; Degaga, E. G.: Study on termite damage to different species of tree seedlings in the Central Rift Valley of Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research*, ročník 12, č. 3, 2017: s. 161–168.
- [3] Peringer, P.; Hrubý, M.: Modelování a Simulace. [online], 15. září 2022.
URL <http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>
- [4] Tonini, F.; Hochmair, H. H.; Scheffrahn, R. H.; aj.: Stochastic spread models: A comparison between an individual-based and a lattice-based model for assessing the expansion of invasive termites over a landscape. *Ecological Informatics*, ročník 24, 2014: s. 222–230, ISSN 1574-9541.
URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574954114001277>
- [5] Vakula, J.; Gubka, A.; Galko, J.; aj.: Výskyt lykožrútov na netypických hostitelských drevinách. [online], leden 2020.
URL https://www.researchgate.net/publication/339627717_Vyskyt_lykozrutow_na_netypickych_hostitelskych_drevinachOccurence_of_the_bark_beetles_on_non-typical_host_trees_APOL_2019_vol_1_no_1_p_45-49
- [6] Zanne, A. E.; Flores-Moreno, H.; Powell, J.; aj.: Termite sensitivity to temperature affects global wood decay rates. *Science*, ročník 377, č. 6613, září 2022: s. 1440–1444.