



ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA APLIKOVANÝCH VĚD

VÝKONNOST A SPOLEHLIVOST PROGRAMOVÝCH SYSTÉMŮ

SEMESTRÁLNÍ PRÁCE

SIMULACE GENETICKÉHO VÝVOJE

Jakub Váverka - A17N0095P

vaverkaj@students.zcu.cz

18. ledna 2020

# Obsah

<b>1</b>	<b>Zadání</b>	<b>1</b>
1.1	Znění . . . . .	1
1.2	Rozbor . . . . .	1
1.3	Simulace . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Implementace</b>	<b>1</b>
2.1	Cenová funkce . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Pozorování</b>	<b>2</b>
3.1	Sobecký gen . . . . .	2
3.2	Symbióza dvou druhů . . . . .	3
3.3	Velikost a čich . . . . .	3
<b>4</b>	<b>Závěr</b>	<b>5</b>

# 1 Zadání

## 1.1 Znění

Za použití buněčného simulačního nástroje budu simulovat genetický vývoj populace agentů, kteří soupeří o potravu.

## 1.2 Rozbor

Pro implementaci simulace využiji nástroje NetLogo. Jedná se o simulační framework, který umožňuje uživateli definovat jednoduché chování entitám.

## 1.3 Simulace

Konkrétní simulace je realizována na čtvercovém prostoru. Každé ráno se na okrajích plochy probudí populace mravenců, kteří mají za úkol sehnat do večera potravu. Mravenci mají 3 vlastnosti. Rychlost, která určuje o kolik políček se za jeden krok simulace mohou posunout. Velikost, která určuje jak dlouho jim trvá jídlo zkonzumovat. Čím větší mravence, tím méně času na konzumaci potřebuje. Třetí vlastností je čich, který definuje na jakou vzdálenost mravenci jídlo ucítí. Mravenci tedy náhodně prochází po ploše, dokud se na jejich čichovou vzdálenost nepřiblíží k potravě. Jakmile zavětrí jídlo, tak se k němu nejkratší vzdáleností rozběhnou. Ve chvíli kdy k jídlu doběhnou, zkonzumují ho a čekají na místě, podle toho jakou mají velikost. Poté pokračují v hledání jídla. Pokud se mravenec dostatečně najedl, v druhé půlce dne se vrací na okraj prostoru. Hladoví mravenci se v tu chvíli ještě snaží najít potravu. Mravenec umírá, pokud se nenachází na konci dne najezený a na okraji prostoru. Když se mravencovi podaří získat 2x více jídla, než potřebuje pro přežití, dojde k jeho rozmnožení. Potomek je přidán do populace a jeho vlastnosti jsou náhodně větší nebo menší než vlastnosti předka. Simulace pokračuje dalším dnem, dokud není zastavena a nebo dokud nedojde k vymření celé populace.

# 2 Implementace

Simulace je realizovaná v programovacím jazyce NetLoga. Ten pro ovládání svých entit používá 3 kontexty. Hlavním kontextem je observer, který realizuje globální kroky simulace. Další dva kontexty existují pro ovládání turtles a patches. Želva je název pro jakéhokoliv agenta v prostředí NetLoga a dílek je název jednotlivých políček, po kterých se želvy pohybují. Naše simulace tedy vytvoří dva typy želv, jeden pojmenovaný creature a druhý food.

```
1 breed [ creatures creature ]
2 breed [ food bite ]
3
4 creatures-own
5 [
6   direction
7   creature_size
8   speed
9   energy
10  smell
11  goal_food
12  eating
13 ]
```

Jednotliví mravenci vlastní několik proměnných. *Direction* určuje úhel ve kterém se mravenec právě nachází. *Creature\_size* je první ze 3 proměnných vlastností. Určuje jak dlouho mravenci trvá zkonzumovat potravu. Mravenec s větší velikostí zkonzumuje jídlo rychleji, ale je silněji penalizován na konci dne. *Speed* je druhou ze 3 proměnných vlastností. Určuje o kolik políček se mravenec pohne za jeden krok simulace. *Energy* určuje energii, kterou mravenec získává konzumací jídla. Tato hodnota je na začátku každého dne nasatvena na 0. *Smell* je třetí proměnnou vlastností. Definuje okruh ve kterém je mravenec schopný ucítit potravu. *Goal\_food* udržuje odkaz na jídlo, ke kterému mravenec právě směřuje. Pokud je nějakým jiným mravencem předběhnut, je tento odkaz vymazán a tím je mravenec schopný detekovat, že se má pokusit najít jinou potravu. *Eating* je počítadlo, které je navýšeno na hodnotu definovanou proměnou *creature\_speed* ve chvíli, kdy mravenec úspěšně zkonzumuje jídlo. Pokud je počítadlo nenulové, mravenec ho místo pohybu v každém kroku simulace sníží o jedna.

## 2.1 Cenová funkce

$$Cost = speed^3 * size^2 * smell^1$$

Mravenec za svojí vyspělost platí tím, že vyžaduje pro své přežití zkonzumovat větší množství potravy. Simulace byla navržena tak, aby pro hodnotu 50 vykazovala stabilní a vizuálně pěkný průběh. Před vložením hodnot do cenové funkce je tedy normalizují.

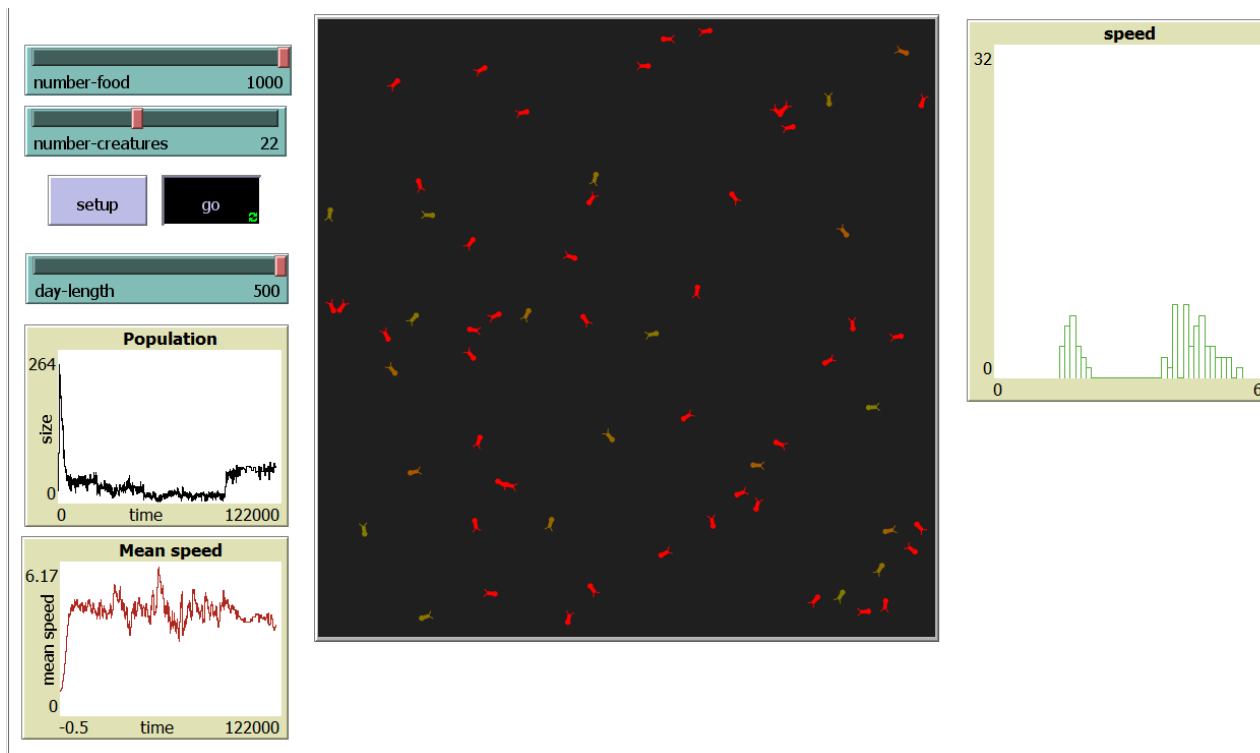
```
1 to-report energy-cost
2   report  (speed / 50) ^ 3 * (creature_size / 50) ^ 2 * smell / 50
3 end
```

## 3 Pozorování

Počáteční simulace na obrázku číslo 1 ovlivňovali jen jedinou vlastnost a tou byla rychlost. Zároveň se potomek od předka lišil touto vlastností jen o 1%. To zaručilo, že k evoluci došlo velmi pomalu. Ze simulace šlo vypožorovat, že počáteční množství mravenců bylo příliš malé. Během prvních dnů se jim povedlo sníst jen malou část celkové potravy. Příští dny se populace zvyšovala. Rychlost nárůstu populace se stále zvyšovala a tak šel odpozorovat efekt exponenciálního růstu. Populace takto narůstala, dokud se nedostala na úroveň nosné kapacity. Nosná kapacita je termín pro maximální velikost populace daného druhu, která se může na určitém území udržet.

### 3.1 Sobecký gen

Populace mravenců na této úrovni chvíli setrvala. Díky obrovské velikosti populace se začala silně projevovat evoluční část simulace. Velké množství mravenců, vytvořilo velké množství potomků. Rychlejší mravenci byly efektivnější ve sbírání potravy a se průměrná rychlost populace začala zvětšovat. Narostla až na optimální hodnotu, která se pohybovala okolo 6. Ukázalo se, že být rychlejší již zkrátka neospravedlňuje cenu zvýšení spotřeby energie. Došlo zde zároveň k dalšímu zajímavému biologickému úkazu. Tím byl důkaz existence tzv. "sobeckého genu". Tento úkaz pojmenoval biolog Richard Dawkins ve stejnojmenné knize. Gen rychlosti, který benefituje jednotlivé mravence má negativní efekt na generaci jako celek. Po zvýšení průměrné rychlosti se velikost populace drasticky snížila.



Obrázek 1: Simulace evoluce rychlosti

### 3.2 Symbióza dvou druhů

V tuto chvíli jsem nechal simulaci běžet delší dobu bez změny. Rychlost se sice mírně měnila, ale vypadá to, že rychlost 6 je pro tento systém optimální. Zvýšil jsem tedy počet potravy ze 300 na 1000. Populace se opět navýšila na novou úroveň nosné kapacity. Průměrná rychlost však překvapivě zůstala stejná. Na obrázku je vidět ještě jeden zajímavý úkaz. Z histogramu na pravé straně obrázku 1, lze zjistit, že navýšení potravy vytvořilo podmínky pro vznik nového druhu mravenců. Od rychlejších červených mravenců se oddělila skupina, která se pohybovala pomaleji. Díky většímu množství potravy mohly oba druhy vzájemně existovat. Rychlejší mravenci se na začátku dne rychle dostaly do středu plochy a těm pomalejším mravencům zůstaly zbytky jídla na okrajích. Tento stav však nebyl stabilní a po desítkách dnů došlo k převaze červených mravenců a vyhubení hnědých. Při opakování simulace k tomuto oddělení dochází jen velmi zřídka.

### 3.3 Velikost a čich

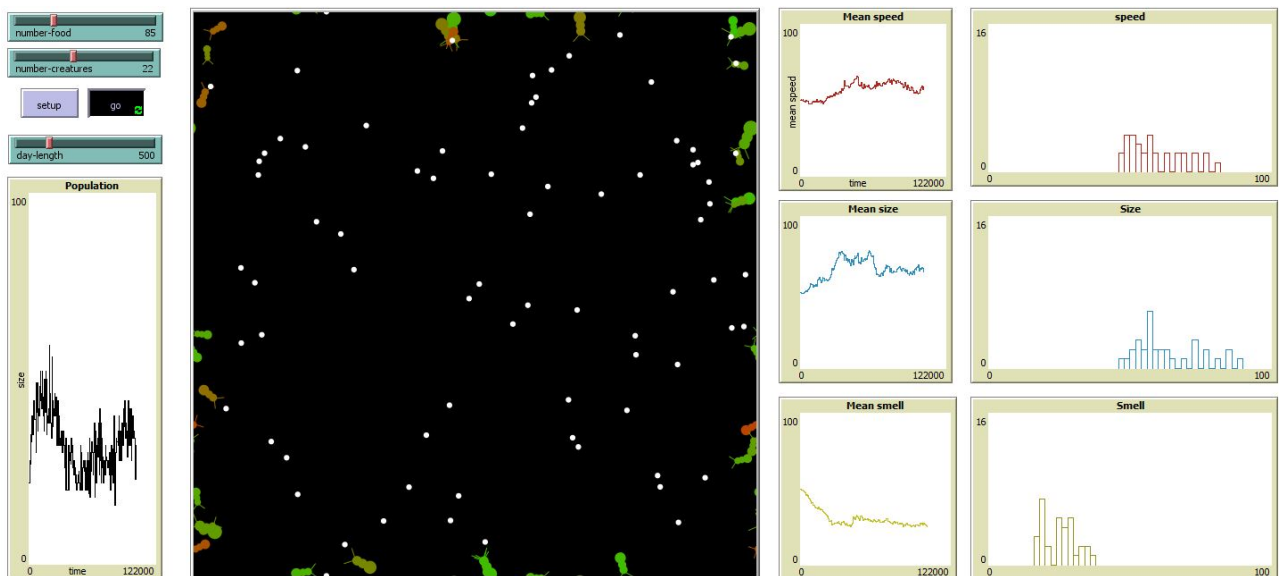
Po výsledcích z prvních simulací jsem zjistil, že budu muset současný program modifikovat. Přidal jsem tedy velikost a čich. Jak tyto vlastnosti fungují je popsáno v zadání. Také jsem se rozhodl všechny hodnoty při spuštění nastavit na 50 a simulaci upravit tak, aby byla pro tento vstup dostatečně stabilní. Odpozoval jsem, že vysoké rychlosti mravenců způsobují, že se přes políčka teleportují a cílové jídlo mohou přeskočit. Opravil jsem tedy pohyb tak, že když by k takovému přeskočení mělo dojít, dojde k přímému přesunu do cíle. Také jsem se ale rozhodl rychlost značně snížit. Kvůli snížené rychlosti musela být prodloužena délka dne. Simulace je tedy pomalejší, ale přesnější. Vlastnosti mravenců měly stejnou penalizaci, ale efekt, který vlastnosti měly na simulaci byl moc velký. Malá změna rychlosti způsobila, že se

mravenec pohyboval obrovskou rychlostí. Například velikost potřebovala příliš velký nárůst, aby se znatelně projevila. Proto jsem upravil, jakým způsobem se používají. Rychlost je například pouze vydělena 100. Mravenec s počáteční rychlostí 50 se tedy pohybuje půl dílku za jeden krok simulace. Pro přepočítání velikosti jsem tedy použil tuto rovnici.

$$wait = 100 * \frac{50^3}{velikost^3}$$

Tento vzorec zaručí, že výhoda větších mravenců bude jen malá, ale menší mravenci budou muset čekat mnohem delší časový úsek. Zároveň jsem zvětšil modifikaci vlastností potomka z 1% na 5%, aby docházelo k evoluci rychleji.

Na obrázku 2 si můžeme všimnout jaký efekt měly změny na naší simulaci.

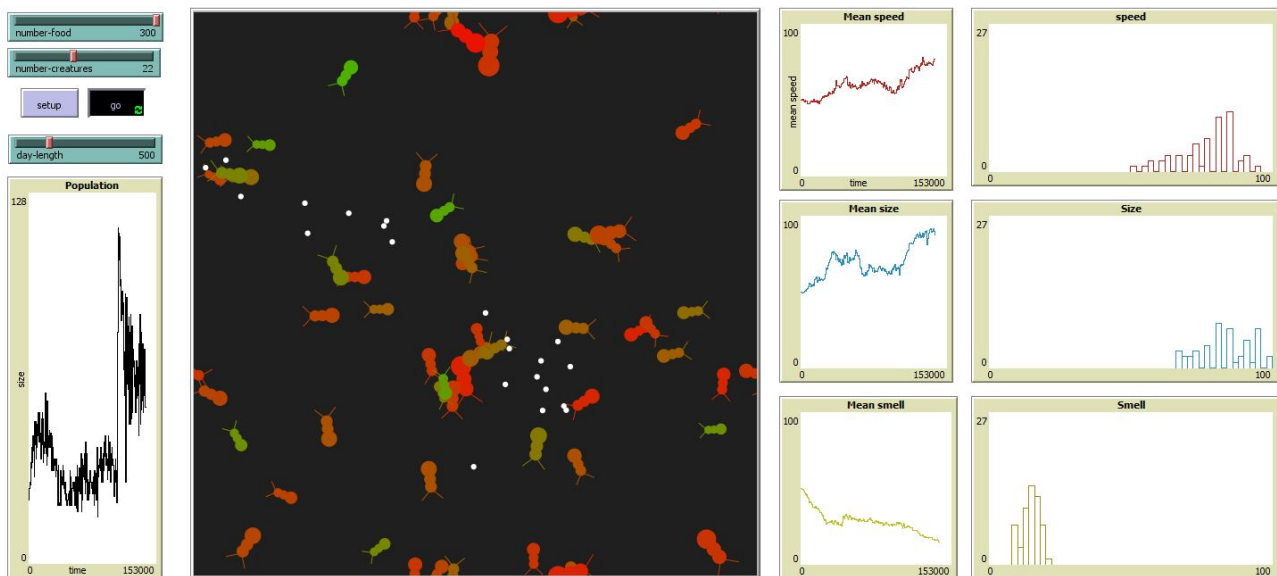


Obrázek 2: Běh upravené simulace

Všechny vlastnosti začínaly nejdříve na hodnotě 50. Rychlost i velikost se mírně zvýšily. Z histogramů lze vyčíst, že je populace rozvrstvena poměrně rovnoměrně. Co z nich však už nejde snadno vyčíst, je fakt, že mravenci s vyšší rychlostí jsou zároveň menší. Stejně tak, mravenci s nižší rychlostí jsou větší. Toto lze pozorovat na barvě a velikosti simulovaných mravenců v černém okně. Červeně zabarvení mravenci jsou menší, než ti zeleně zabarvení. Vyplatí se tedy být buď velký a nebo rychlý. Zároveň jsem tohoto pozorování jsem usoudil, že rychlost a velikost jsou silně korelované.

Co se týče čichu, jeho hodnota pouze klesala, dokud se nezastavila na zhruba polovině počáteční hodnoty. To bylo překvapující, protože cenová funkce pohybu tuto vlastnost penalizuje nejméně. V následujícím kroku simulace jsem zvýšil množství potravy na trojnásobek. Efekt lze pozorovat na obrázku číslo 3.

Velikost populace se okamžitě zvýšila a poté začala pomalu klesat. Překvapivé bylo, že jak hodnota rychlosti, tak hodnota velikosti, začali stejným způsobem narůstat. S hustějším rozdělením potravy na začátku dne, se vlastnost čichu stala ještě méně důležitou. Vznikla tedy populace mravenců, kteří mají velkou rychlost i velikost a minimální dohled. Za své vlastnosti platí velkou penalizaci a tak mě zajímalo, co se stane pokud úroveň jídla pomalu snížím zpět na původní hodnotu.



Obrázek 3: Běh upravené simulace po navýšení potravy

Na obrázku číslo 4 lze pozorovat efekt postupného snížení potravy. Populace očekávaně klesla na úroveň před navýšením. Z modrého grafu průměrné velikosti je vidět, že po snížení počtu jídla došlo i k snížení velikosti. Naopak na grafu rychlosti se tato změna téměř neprojevila. Přesto, že jsou tyto vlastnosti silně korelované, můžeme usoudit, že rychlost je stále důležitější než velikost. Dalším překvapením bylo, že přestože je jídlo v prostoru rozmístěno řídčeji, průměrná hodnota čichu se nezvýšila. Překvapivě klesla na ještě nižší hodnotu. Nechal jsem tedy simulaci v tomto stavu běžet delší dobu.

Na obrázku číslo 5 je vidět efekt dlouhodobého běhu. Hodnota čichu se očekávaně vrátila na úroveň, na které byla před navýšením počtu potravy. Rychlost mírně klesla, ale spolu s velikostí se ustálila na optimální hodnotě.

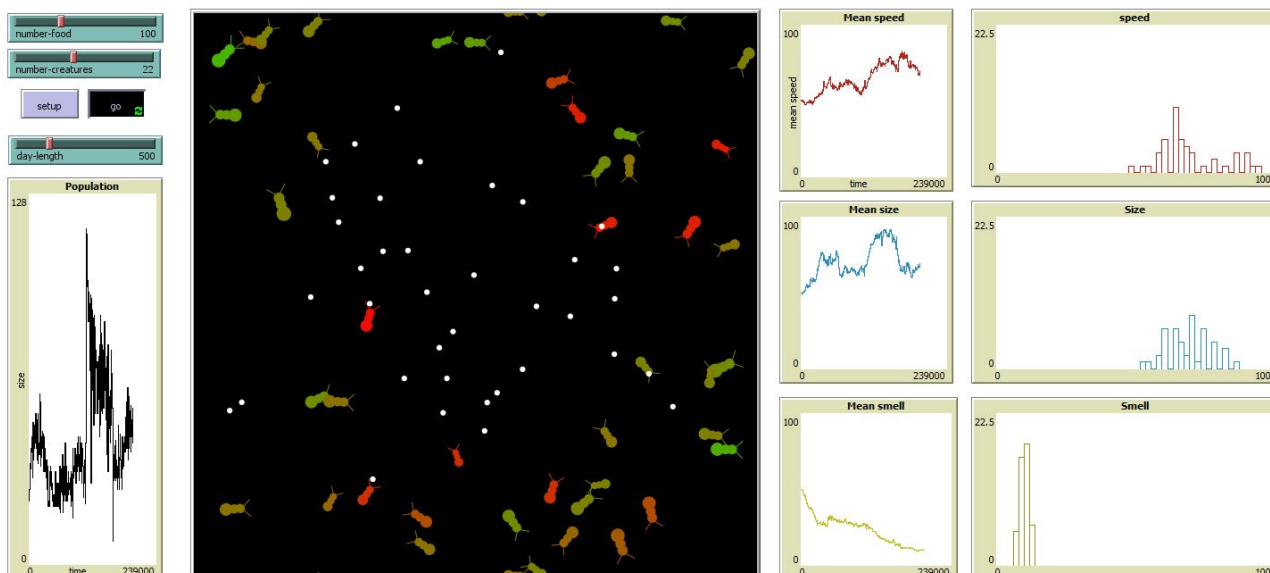
Rozhodl jsem se provést poslední úpravy a tou bylo odstranění vysoké mocniny funkce použité pro výpočet čekání. Nově vypadá tato funkce pouze takto.

$$wait = \frac{50^2}{velikost}$$

Konečný průběh simulace, si můžeme prohlédnout na obrázku číslo 6. Rychlost je stále dominantní vlastností mravenců i přesto, že je penalizována třetí mocninou. Na obrázku si také můžeme všimnout, že z počátku simulace se zvýšila jak velikost, tak čich. Tento efekt přisuzuji pouhé náhodě. Překvapivé taky je, že čím jsou jednotlivci v populaci silnější, tím se simulace stává méně stabilní. Tento efekt také přisuzuji náhodnosti. Ve chvíli, kdy jsou všichni mravenci podobně silní začne mít náhoda mnohem větší váhu. Ten mravenec s největším štěstím je schopen zkonzumovat obrovské množství jídla. Rozmnožit se může však jen jednou. Způsobí tím snížení populace v dalším dni. Díky tomu je pak příští den jídla přebytek a následující den dojde k opětovnému navýšení populace.

## 4 Závěr

Použití programovacího jazyka NetLogo bylo obtížnější než jsem zprvu předpokládal. Využití různých kontextů pro ovládání simulace je zprvu velmi matoucí. Zároveň jsem při programování



Obrázek 4: Běh upravené simulace opětovném snížení potravy

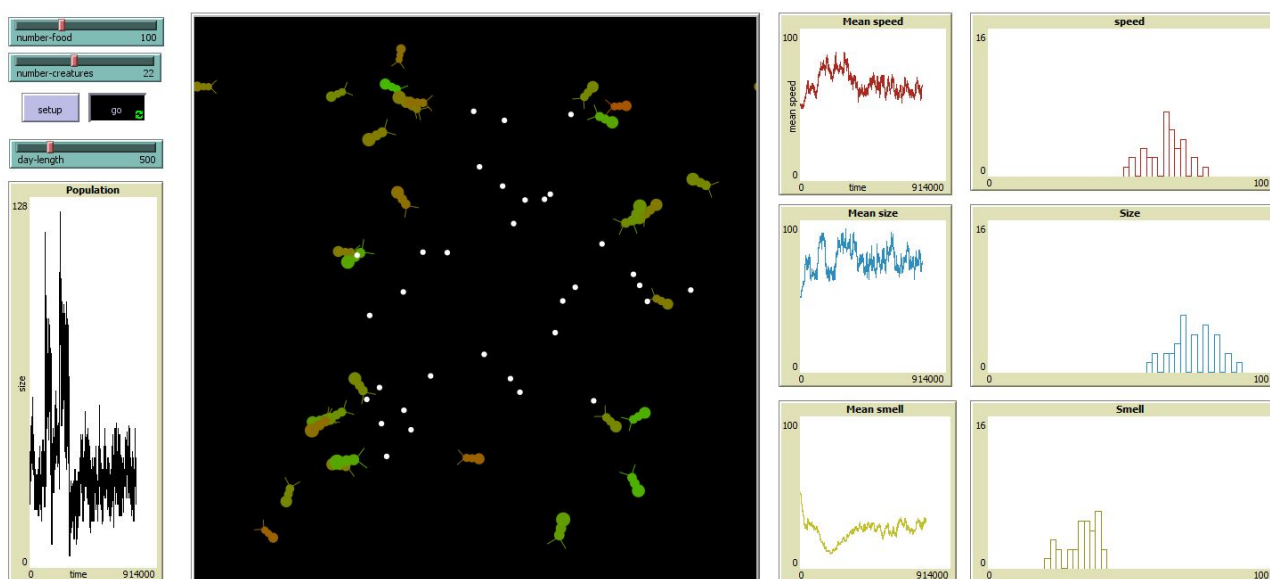
narazil na výkonnostní problémy.

Očekával jsem že samotná simulace bude mnohem stabilnější. Je velice snadné nastavit počáteční hodnoty tak, že dojde buď k vymření všech agentů a nebo k obrovskému nárůstu jedné hodnoty. Simulace zároveň obsahuje velké množství parametrů, které musí být nastaveny na nějaké dobře zvolené hodnoty.

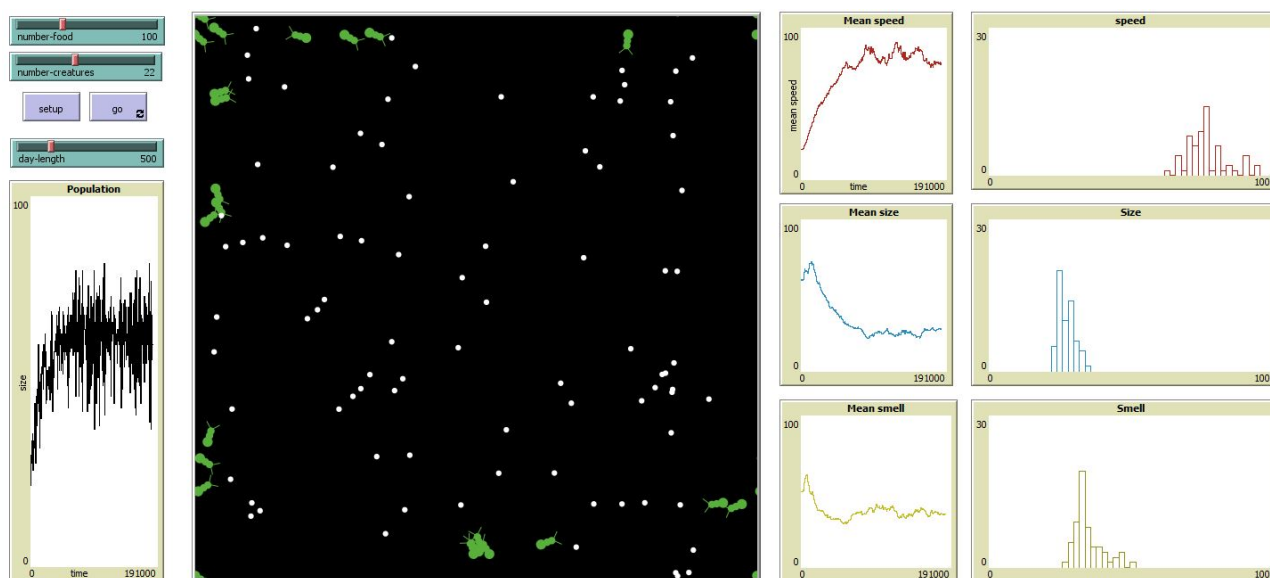
Jak už jsem výše zmiňoval, největším překvapením byla úroveň užitečnosti rychlosti pro tuto simulaci. Zkrátka jsem očekával, že budou ostatní vlastnosti mnohem užitečnější.

Dalším překvapením bylo, jak malý efekt měla změna délky dne na samotnou simulaci. Čekal jsem, že při volbě kratších dnů dojde k vývoji rychlých mravenců a při výběru delších dnů k vývoji pomalých. Ve skutečnosti se vždy vyvinou jen rychlí mravenci.





Obrázek 5: Běh upravené simulace po stabilizování



Obrázek 6: Finální běh simulace