

Modelování hledání potravy v mravenčí kolonii

Autor David Beinhauer¹

¹*Department of Physics, DD University*

²*Department of Science, XX University*

Submitted:

Abstract

Chování hmyzích druhů žijících v kooperujících koloniích je dodnes výzvou pro vědu. Pochopení této problematiky může vést k zdokonalení řešení řady zdánlivě nesouvisejících problémů. V práci je představen jednoduchý multiagentní model mravenčí kolonie zaměřující se na problematiku shánění potravy v různě komplexních prostředích. Návrh modelu je inspirován prací Jones [1]. Při analýze (TODO: dopsat výsledky analýzy)

Keywords: keyword 1, keyword 2

1 Úvod

Kolektivní chování řady druhů hmyzu, mezi něž patří například mravenci, je charakteristické komplexností a vysokou koordinovaností jedinců. Kolonie mravenců například společně zajišťuje potravu pro celou populaci, buduje hnízdo, strážá se o potomky, či se brání před predátory. Pochopení tohoto chování by mohlo pomoci zdokonalit řešení řady zdánlivě vzdálených problémů, mezi něž patří například problém obchodního cestujícího (TODO: reference) a řada dalších. Jedinců, komplexnosti přirozeného prostředí a nepřesnosti měřících zařízení je však exaktní studium chování a organizace těchto kolonií velmi komplikované a často značně nepřesné. V důsledku nárůstu výpočetního výkonu se v současnosti pro studium takto komplexních dějů stále častěji využívají matematické modely.

V této práci navrhujeme a analyzujeme jednoduchý multiagentní model mravenčí kolonie zaměřený na problematiku shánění potravy. Model je založen na komunikaci mravenců pomocí vypouštění a detekce rozdílné hladiny feromonů v prostředí. Z velké části je inspirován prací Jones [1], jenž studuje formování transportních drah plísně *Physarum polycephalum*. V analytické části porovnáváme chování mravenců a jejich úspěšnost při sběru potravy v různě strukturovaných prostředích. Dále zkoumáme závislosti počtu jedinců a jejich schopnosti dopředu detekovat cílovou destinaci na celkovém množství potravy dopravené do hnízda v průběhu simulace.

2 Matematický model

Při návrhu modelu jsme se zaměřili především na jednoduchou architekturu s malým množstvím snadno pochopitelných parametrů pro jednodušší analýzu fungování modelu, který vhodně popíše chování mravenců při hledání potravy. Ideálně by měl model zachytit kolektivní chování mravenců při hledání potravy. Mravenci by měli být schopni jednoduchou lokální signalizací pomocí vypouštění feromonu co nejvíce opti-

malizovat trasu pro zásobování hnízda potravou. V modelu je dále možné zkoumat různé varianty map s různě rozmístěnými překážkami, hnízdy i potravou.

3 Výsledky

V analýze modelu jsme se zaměřili především na chování mravenců v různých variantách prostředí. Dále jsme se zaměřili na závislost počtu jedinců (parametr n) a maximální vzdálenosti pro detekci hledaného objektu (parametr d). Zbylé parametry jsme zvolili pevně na základě porovnávání výsledků pro různé hodnoty.

3.1 Varianty map

Pro analýzu modelu jsme zvolili celkem 6 variant mapy s účelem otestovat chování modelu v prostředích s odlišnou charakteristikou. Zvolili jsme jednotnou velikost mřížky prostředí, jež je rovna 100×100 . Jednotlivé varianty se liší rozmístěním zdrojů potravy, mraveniště a překážek v prostředí.

Základní varianta prostředí (ozn. jako **var-0**), jež je použita také pro výběr parametrů, neobsahuje žádnou překážku. Prostředí obsahuje jediné mraveniště umístěné přibližně uprostřed mapy a dva zdroje potravy umístěné v rozích mapy na společné diagonále. Zdroje potravy se od sebe mírně liší vzdáleností od hnízda a velikostí. Další varianta (ozn. **var-1**) je téměř identická vůči variantě **var-0**. Liší se však v obklopení téměř celého zdroje potravy překážkami s pouze malým prostorem pro vstup mravenců. Následující varianta (ozn. **var-2**) je jednoduché symetrické bludiště s hnízdem na levém konci. Okolí hnízda je ohraničeno překážkami, jež vytváří podélný průchod pro mravence směrem k potravě. V pravé části mapy je umístěno rozdvojení na jejichž koncích jsou zdroje potravy. Úsek od rozdvojení k potravě je kratší než od hnízda k rozdvojení. Velmi podobné je rozložení další varianty (**var-3**). Liší se od **var-2** pouze ve vzdálenostech hnízda od rozdvo-

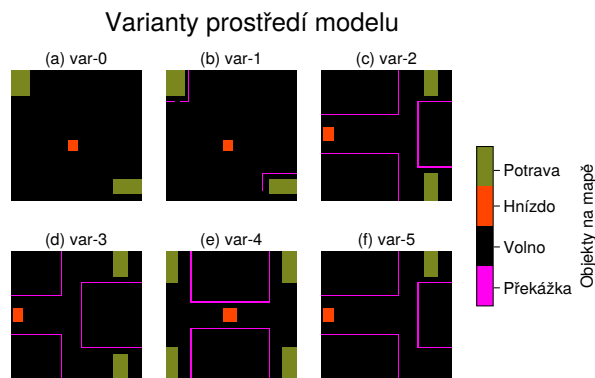


Figure 1: Zobrazení variant prostředí modelu použitých v experimentech. Barevně rozlišujeme objekty v prostředí (viz. legenda). Poznamenejme, že varianty **var-2**, **var-3**, **var-4** a **var-5** jsou koncipovány jako labyrinty a cíleně je zde část mapy nedosažitelná (ohrazená překážkami).

jení, která je kratší, a rozdvojení od zdrojů potravy, které jsou delší. Další z variant (ozn. jako **var-5**) je v rozložení téměř totožná jako **var-2**. Liší se pouze v tom, že jedna větev bludiště neobsahuje zdroj potravy. Poslední varianta (ozn. jako **var-4**) je koncipována jako průchod ve středu mapy s konci obsahujícími zdroje potravy. Hnízdo je umístěno ve středu mapy, je podélně ohrazeno překážkami vytvářející průchod. Na levém a pravém konci mapy jsou umístěny zdroje potravy. Obrázek (1) nabízí grafické znázornění rozložení variant prostředí.

3.2 Porovnání variant prostředí

V rámci ošetření fungování modelu a pochopení strategie chování mravenců jsme nejprve spustili 4000 iterací simulace modelu na všech variantách prostředí pro 400 mravenců (parametr n) a pro maximální vzdálenost detekce 10 (parametr d). Hodnoty parametrů n a d jsme zvolili tak, aby problém sbírání potravy nebyl příliš jednoduchý a nezajišťoval vždy téměř stoprocentní sesbírání potravy (vysoké hodnoty parametrů n a d). Zároveň však požadujeme, aby chování mravenců nebylo příliš náhodné (příliš nízké hodnoty parametrů n a d). Na základě opakovaného spouštění a pozorování chování simulace, vypořádané především z animací simulace pro různé hodnoty parametrů n a d , jsme se rozhodli pro volbu parametrů popsanou výše. Zbylé parametry jsme nastavili na hodnoty popsány v části (4.4). S takto zvolenými parametry jsme následně pozorovali chování modelu především na základě rozložení hladin feromonů a animací pohybu mravenců v různých variantách prostředí. Na obrázcích (2), (3) a (4) můžeme nahlédnout na hladiny feromonů na různých pozicích v daných prostředích po 300, 1000 a 4000 iteracích simulace modelu. Pro lepší pochopení je vhodné porovnat tyto obrázky s návrhy jednotlivých prostředí znázorněných na obrázku (1).

Obecně u všech variant pozorujeme vyšší koncentraci feromonu typu **food** v okolí hnízda a feromonu typu **nest** v okolí zdrojů potravy. Tato vlastnost

je pravděpodobně dána vyšší koncentrací mravenců mířících k potravě v okolí hnízda (všichni mravenci vyrazí hledat potravu ze stejného mraveniště) a naopak vyšší koncentrací vracejících se mravenců v okolí zdroje potravy (z analogického důvodu jako v případě vyrazících mravenců).

Varianty **var-0** a **var-1** se liší pouze v rozestavení překážek okolo zdrojů potravy. Rozložení hladin feromonů je mezi těmito variantami především v počáteční fázi simulace velmi podobné (viz. obrázek (2) varianty (a) a (b)). Po uplynutí více iterací simulace však můžeme nahlédnout, že v případě varianty **var-1** je hladina feromonu typu **food** rovnoměrněji rozprostřena v prostředí než u varianty **var-0** (viz. obrázky (3) a (4) varianty (a) a (b)). Tuto skutečnost si odůvodňujeme vyšší mírou náhodného prohledávání prostředí mravenci v případě varianty **var-1**, jelikož nalezení cesty k potravě je náročnější z důvodu umístění překážky téměř okolo celého obvodu zdrojů potravy. Tato hypotéza je podpořena také simulacemi (TODO: odkaz na simulace).

Podobně jako v předchozím případě stojí za zmínku porovnat chování podobných variant **var-2**, **var-3** a **var-5**. V případě 300 a 1000 iterací jsou tyto varianty od sebe téměř nerozlišitelné (viz. obrázky (2) a (3) varianty (c), (d) a (f)). Po 4000 iteracích se však rozdíl v hladinách feromonů již výrazně odlišují (viz. (4) varianty (c), (d) a (f)). Při porovnání variant **var-2** a **var-5**, jež se liší pouze slepým ramenem ve variantě **var-5**, můžeme sledovat, že ve variantě **var-5** je pozorovatelně vyšší hladina feromonu typu **nest** v ramenu se zdrojem potravy oproti oběma ramenům ve variantě **var-2**. Tato skutečnost pravděpodobně vypovídá o vyšší koncentraci mravenců v rameni s potravou v porovnání s oběma rameny s potravou v případě **var-2** a je tedy i částečným ověřením správného chování mravenců (očekáváme, že se budou spíše koncentrovat v okolí potravy než ve slepém rameni). Podobný jev lze pozorovat i v případě **var-3**, lišící se od **var-2** v poměru jednotlivých délek ramen bludiště (křižovatka je blíže hnízdu a zdroje potravy dále od křižovatky). I v tomto případě jsou koncentrace feromonů přibližně stejné v obou větvích (mírný rozdíl v koncentracích přisuzujeme náhodnému výběru mezi větvemi). Zajímavé je porovnání hladin feromonu typu **nest** mezi variantami **var-2** a **var-3** v ramenech se zdrojem potravy. V případě **var-2** je tato hladina výrazně nižší než v případě **var-3**. Tento jev je pravděpodobně způsoben rozdílnou délkou ramen. V případě kratších ramen se zdrojem potravy (**var-2**) mravenci velmi rychle zamíří ke křižovatce ramen, kde je typicky vyšší koncentrace feromonu, protože se zde slévají hladiny feromonu mravenců navracějících se z obou ramen. Naopak v případě delších ramen s potravou (**var-3**). Nejsou mravenci tak silně přitahováni ke křižovatce a mohou tvořit cyklické skupinky navzájem se ovlivňujících navracějících mravenců v jednotlivých ramenech. Problém vzniku cyklických skupinek navzájem se ovlivňujících mravenců lze také pozorovat na všech variantách **var-2**, **var-3** i **var-5** v místě křižovatky ramen, kde je typicky vysoká kon-

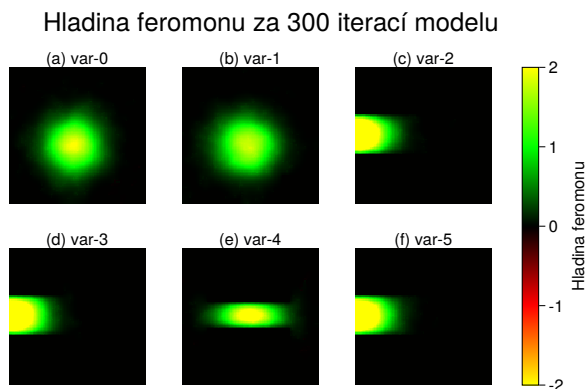


Figure 2: Hladiny feromonů obou typů v různých variantách prostředí po 300 iteracích algoritmu. Absolutní hodnota hladiny feromonu značí součet hladin obou variant feromonů (1 je maximální hladina). Znaménko hladiny feromonu je dáno feromonem s vyšší koncentrací (záporné (červené odstíny) - vyšší koncentrace feromonu typu *nest*, kladné - více feromonu typu *food*). Oblasti se žlutým odstínem jsou oblasti s vysokou koncentrací obou typů feromonů.

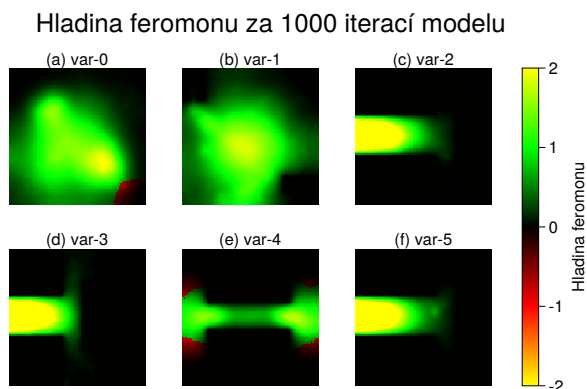


Figure 3: Hladiny feromonů obou typů v různých variantách prostředí po 1000 iteracích algoritmu. Význam hladiny feromonu je podrobněji popsán v popisku obrázku (2).

cetrace jak feromonu typu *nest*, tak i typu *food*, což svědčí o velké koncentraci mravenců navrácejících se do hnízda i hledajících potravu. Popsané vlastnosti chování mravenců ve variantách **var-2**, **var-3** a **var-5** jsou podpořeny také i animacemi simulací (viz. TODO: odkaz na animace).

Poslední varianta **var-4** prokazuje podobné vlastnosti jaké jsme popisovali v předchozích variantách **var-2**, **var-3** a **var-5**. Můžeme zde však ještě výrazněji nahlédnout na tvoření cyklických skupinek navrácejících se mravenců, jenž je způsobeno více zdroji potravy, menšími skupinkami mravenců v jednotlivých větvích a tedy také větším vlivem mezi jednotlivými mravenci (viz. obrázky (2), (3) a (4) varianta (e) a animace TODO: reference na animaci).

Hladina feromonu za 4000 iterací modelu

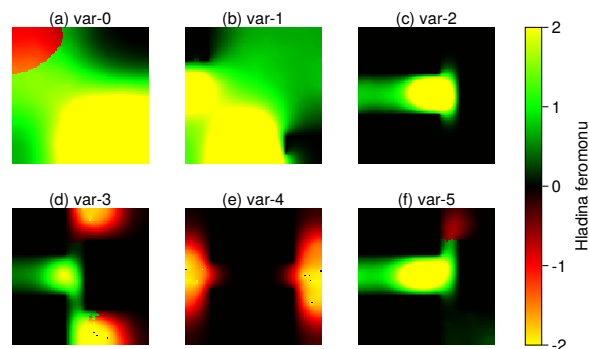


Figure 4: Hladiny feromonů obou typů v různých variantách prostředí po 4000 iteracích algoritmu. Význam hladiny feromonu je podrobněji popsán v popisku obrázku (2).

3.2.1 Různý počet mravenců

Jedním ze zkoumaných parametrů byl počet mravenců v modelu (parameter n), který jsme zkoumali pro nastavení parametrů popsáné v části (4.4) a pro nastavení parametru maximální hloubky detekce na $d = 10$.

Nahlédli jsme, že volba parametru n výrazně neovlivňuje množství sesbírané potravy v různých variantách prostředí (viz. obrázek (5)). Na základě tohoto grafu můžeme také usuzovat, že v případě proměnlivého parametru n s nami zvoleným nastavením parametrů, jsou nejobtížnější varianty pro sesbírání potravy varianty **var-2**, **var-3** a **var-5**. Naopak v případě variant **var-0**, **var-1** a **var-4** jsou v průměru sesbírány téměř veškeré zásoby potravy v prostředí. Překvapivé jsou především výsledky pro **var-4**, které prokazují dokonce lepší výsledky než v případě **var-1**. Tento fakt je částečně v rozporu s poznatkami z části (3.2), které odhadovaly zacyklení mravenců v okolí křižovatek a pravděpodobně také snížení celkového množství sesbírané potravy (nějací mravenci by vlivem zacyklení nikdy nedorazili do cíle). Důvodem rozdílných výsledků je pravděpodobně vyšší počet mravenců v průměrném případě oproti zkoumanému počtu $n = 400$ ve zmíněné části.

Poznámky zmíněné výše jsou také podpořeny závislostí sesbírané potravy na počtu mravenců při různých variantách (viz. obrázky (6) a (7)). Na základě těchto závislostí můžeme nahlédnout, že při hodnotě parametru n okolo hodnoty 500 a výše, již téměř nedochází k nárůstu sesbírané potravy. Typicky buď dochází k sesbírání veškeré potravy, nebo k ustálení na určité části celkového počtu a zbylou část potravy téměř není možné sesbírat ani s vyšší počtem mravenců. K tomuto jevu dochází především při již zmíněných variantách **var-2**, **var-3** a **var-5**, zde pravděpodobně dochází k zacyklení části navrácejících se mravenců na křižovatkách ramen a tím pádem k nemožnosti dopravit potravu do hnízda. Nejhuře v tomto ohledu dopadla varianta **var-3** s delšími rameny ke zdrojům potravy, kde pravděpodobně dochází k zacyklení mravenců ještě v jednotlivých ramenech. Ne-

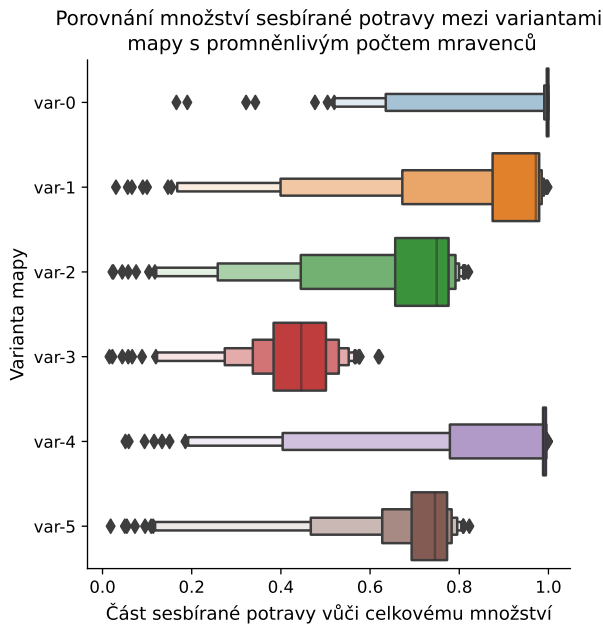


Figure 5: Znázornění distribuce množství sesbírané potravy mravenci při různém počtu mravenců (parametr n).

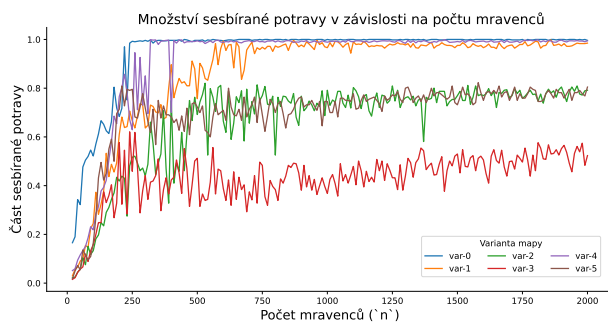


Figure 6: Porovnání závislostí množství sesbírané potravy na počtu mravenců n mezi variantami prostředí.

dosáhnou tak často ani křižovatky, kde je vyšší šance odtržení od cyklické skupinky a návratu do hnízda, jelikož je hnízdo v křižovatce blíže a není schováno za překážkou. Je tak možné, že bude v dostatečné blízkosti pro detekci mravencem a jeho odtržení od vlivu dalších mravenců. Dalším ze zajímavých poznatků je vyšší závislost na parametru n ve variantě **var-1**, způsobena pravděpodobně malým prostorem pro průchod mravenců k překážce.

3.2.2 Různá vzdálenost detekce objektu

Posledním zkoumaným parametrem je závislost maximální vzdálenosti pro detekci cílového objektu (potrava, hnízdo) (parametr d). Nastavení parametrů je podrobněji popsáno v části (4.4). Počet mravenců jsme zvolili $n = 400$.

Na rozdíl od parametru n je množství sesbírané potravy především ve variantách **var-4** a **var-5** výrazně závislé na volbě parametru d (viz. obrázek (8)). Na základě průměrného množství sesbírané potravy dopadla nejhůře varianta **var-2** následována **var-3** a **var-5**.

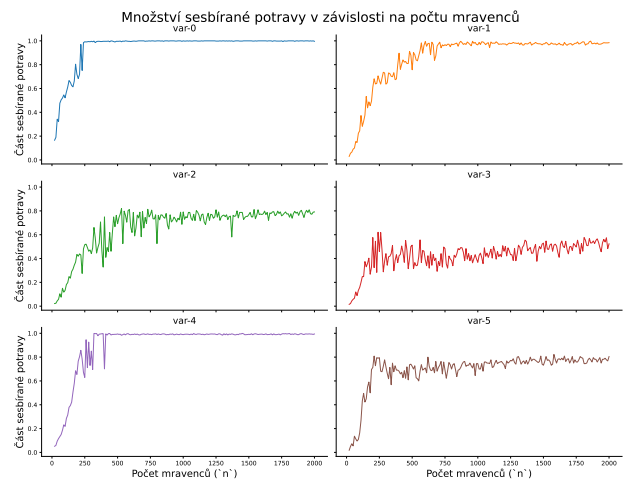


Figure 7: Závislosti množství sesbírané potravy na počtu mravenců n při různých variantách prostředí.

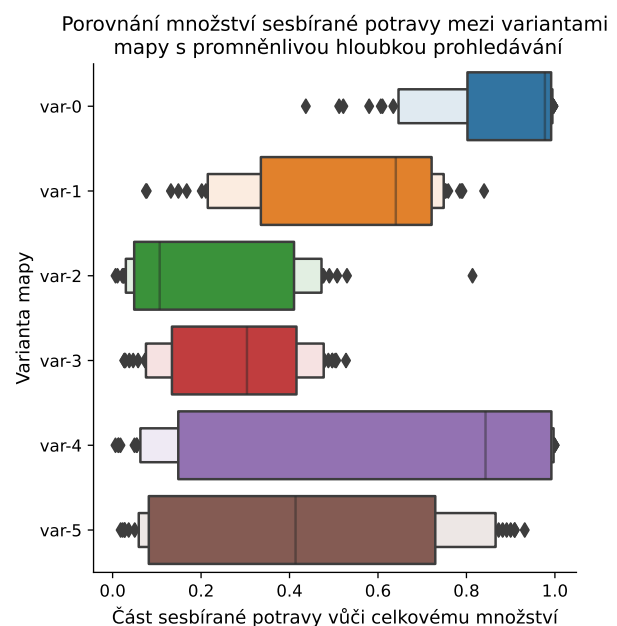


Figure 8

Vyšší závislost množství sesbírané potravy můžeme (TODO: dopsat věci ke grafu)

TODO: porovnat jednotlivé mapy

TODO: popsat závislost počtu mravenců a hloubky prohledávání na počtu potravy

4 Metody

4.1 Návrh modelu

Model staví na návrhu z práce Jones [1] modelující formování transportních drah plísňe *Physarum polycephalum* pomocí chemotaxe. Tento model jsme zvolili, jelikož je založen na podobných principech jako námi zkoumaný problém.

Použili jsme multiagentní model v diskretním prostředí. Prostředí reprezentujeme pravidelnou 2D mřížkou, v níž každá buňka odpovídá pozici v simulovaném prostředí a je popsána množinou odpovídajících proměnných popsanych v tabulce (1). V prostředí jsou

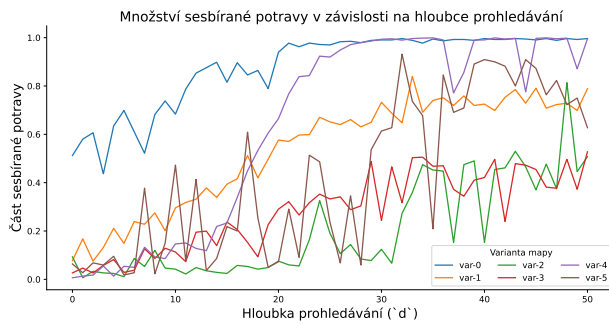


Figure 9

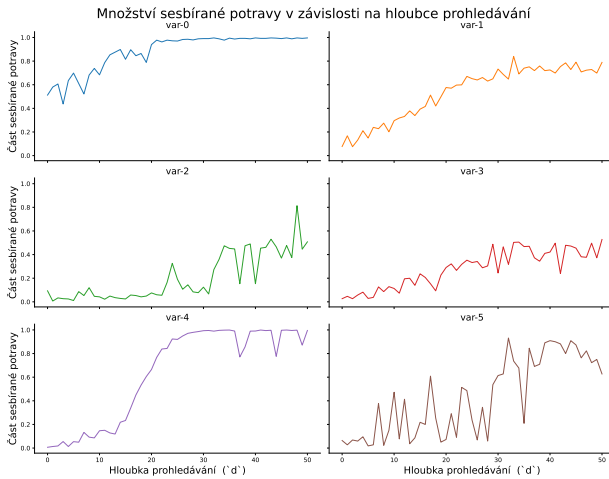


Figure 10

vždy omezené zásobárny potravy, kde každá buňka s potravou odpovídá množství zásob, které je schopen přepravit jeden mravenec. Pokud tedy mravenec sebere potravu z dané buňky, pak se veškeré zásoby potravy v buňce vyčerpají a stane se tak prázdnou. Naopak předpokládáme, že všechny buňky náležící hnízdu mají neomezenou kapacitu a je v nich možné nashromáždit neomezené množství potravy.

Agenti reprezentují jednotlivé mravence a jsou náhodně vygenerováni v mraveništi začátku simulace. Jejich počet je dán parametrem `num.ants` a v průběhu simulace je již neměnný. Jsou charakterizováni pozicí na mapě, orientací a příznakem, zda hledají potravu, nebo se s ní vrací do mraveniště. Každý agent v každém kroku simulace provede následující posloupnost akcí:

1. Podle svého stavu zkontroluje, zda se nachází u zdroje potravy (resp. v mraveništi). Pokud ano, pak sebere jednotku potravy (resp. vyloží ji v mraveništi) a náležitě změní stav.
2. Přesune se na novou pozici.
3. Vypustí jednotku odpovídajícího feromonu na nové pozici.

Mravenec má v každém kroku simulace pouze 3 možné varianty posunu, které jsou posun o 1 pozici vpřed, doleva nebo doprava. Z výběru jsou následně vyřazeny pozice s překážkami a vyskytující se mimo

Proměnná	Popis
<code>map_object</code>	Objekt v buňce (možnosti: žádný, překážka, potrava, mraveniště).
<code>food_pheromone</code>	Hladina feromonu pro sběr potravy.
<code>nest_pheromone</code>	Hladina feromonu pro návrat do mraveniště.

Table 1: Seznam proměnných jedné buňky mapy simulace.

mapu. Jestliže není ani jeden ze zmíněných pohybů možný, pak agent uniformně náhodně změní svou orientaci doleva, nebo doprava. V opačném případě je nová pozice náhodně zvolena z vážené distribuce, v níž je váha možné nové pozice p agenta a rovna:

$$weight(p, a) = pheromone(p, a) + c \quad (1)$$

Kde $pheromone$ je funkce, jejíž hodnota je rovna hladině odpovídajícího feromonu na pozici p . Pokud mravenec hledá potravu, pak sleduje hladiny `food` feromonu, v opačném případě `nest` feromonu. Parametr c slouží jako faktor pro snížení vlivu hladiny feromonu na volbu nové pozice. Navíc pokud je mravenec dostatečně blízko cílovému objektu v alespoň jednom z možných směrů (přímě, vlevo nebo vpravo) a cesta není blokována překážkou, pak se vždy posune směrem k tomuto objektu (viz. parametr d v tabulce (2)).

Pro komunikaci mravenců používáme dvě varianty feromonů. Jeden pro označení cesty ke zdroji potravy, druhý pro signalizaci cesty do mraveniště. Každý mravenec v každé iteraci simulace vypustí aktuální pozici, buď feromon typu `food`, pokud hledá potravu, nebo `nest`, pokud se s potravou vrací do hnízda. Aby nedocházelo k hromadění feromonu, je koncentrace feromonu na dané pozici shora omezena a v případě překročení hranice již nelze hladinu feromonu dále zvyšovat. Vypřichávání feromonu v čase je realizováno následující diferenční rovnicí:

$$level_p(t+1) = \begin{cases} level_p(t) - f & \text{if } level_p(t) > f \\ 0 & \text{if } level_p(t) \leq f \end{cases} \quad (2)$$

Kde $level_p(t)$ značí hladinu feromonu na pozici p v čase t a f udává rychlost vypřichávání feromonu.

Dále je v každém kroku simulace část feromonu na libovolné pozici p rovnoměrně difundována do Moorova okolí p z nějž jsou vyřazeny neplatné pozice (mimo mapu nebo překážky), množství difundovaného feromonu je dáno příslušným parametrem.

Tabulce (2) obsahuje podrobnější popis parametrů modelu.

4.2 Analýza modelu

Veškeré zdrojové kódy implementace modelu a pro analýzu výsledků společně s výsledky experimentů a jejich podrobným nastavením jsou k nahlédnutí v

Parametr	Popis
$n \in \mathbb{N}$	Počet mravenců v simulaci (<code>num_ants</code>).
$f \in (0, 1)$	Rychlost vyprchávání feromonu (<code>pheromone_fade_rate</code>).
$d \in \mathbb{N}_0$	Maximální vzdálenost pro detekování cílového objektu (<code>search_depth</code>).
$p \in (0, 1)$	Množství feromonu vypuštěného 1 mravencem (část maximální hladiny) (<code>pheromone_power</code>).
$r \in (0, 1)$	Část feromonu, jenž se při difuzi rozprostře do sousedství (<code>diffusion_rate</code>).
$c \in \mathbb{R}_0^+$	Parametr snížení vlivu feromonu (<code>normalization_parameter</code>).

Table 2: Seznam parametrů modelu.

githubovém repozitáři ¹. Model je naimplementován v jazyce Julia v prostředí Pluto. Výsledky byly analyzovány za pomoci jazyku Python v prostředí Jupyter Lab.

4.3 Výběr parametrů

V analýze modelu jsme se zaměřili pouze na vybrané parametry modelu. Zbylé parametry jsme museli vhodně zvolit. Pro ohodnocení kvality volby parametrů jsme použili množství sesbírané potravy v základním prostředí (varianta 0 TODO: asi nějaký odkaz). Zkoumali jsme rychlost vyprchávání feromonu (parametr f), množství feromonu difundovaného do sousedství (parametr r) a míru vlivu feromonu (parametr c). Parametr určující množství feromonu vypuštěného jedním mravencem (parametr p) jsme zvolili pevně ($p = 0.02$), jelikož část vlastností tohoto parametru závisí na volbě parametru f (rychlostí vyprchávání feromonu f lze upravovat míru vlivu feromonu jednoho mravence v čase) a v rámci zjednodušení analýzy parametrů jsme se rozhodli pro pevnou hodnotu. Hlavním důsledkem volby volby parametru p je maximální kapacita hladiny feromonu, která v našem případě odpovídá množství feromonu vypuštěného 50 mravenci. Počet mravenců v simulaci jsme zvolili jako $n = 400$ a maximální vzdálenost detekování cílového objektu jako $d = 10$.

Výběr parametrů jsme rozdělili na 2 části. V první části jsme porovnávali množství potravy získané během 4000 iterací simulace s parametry s hodnotami v rozmezí $f \in (0.0001, 0.001)$, $r \in (0, 1)$ a $c \in (0, 0.001)$. Z výsledků tohoto experimentu jsme vybrali 20 hodnot parametru c s nejvyšším počtem sesbírané potravy a spočítali jejich aritmetický průměr, jenž je roven 0.00045. Rozhodli jsme se zvolit mírně vyšší hodnotu $c = 0.0005$, jelikož výsledky pro hodnotu $c = 0.001$ prokazovaly v části případů lepší výsledky oproti nižším hodnotám, proto jsme také hodnotu parametru

¹https://github.com/dbeinhauer/ant_colony_model

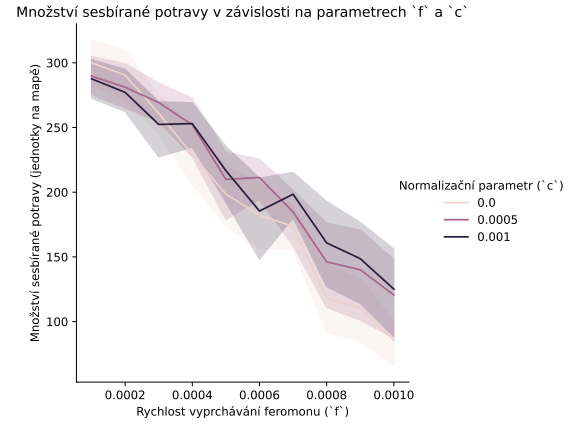


Figure 11: Množství sesbírané potravy je vyšší v případě částečně náhodného vlivu feromonu (varianty $c = 0.0005$ a $c = 0.001$). Množství sesbírané potravy klesá téměř lineárně s rostoucí rychlostí vyprchávání feromonu (parametr f).

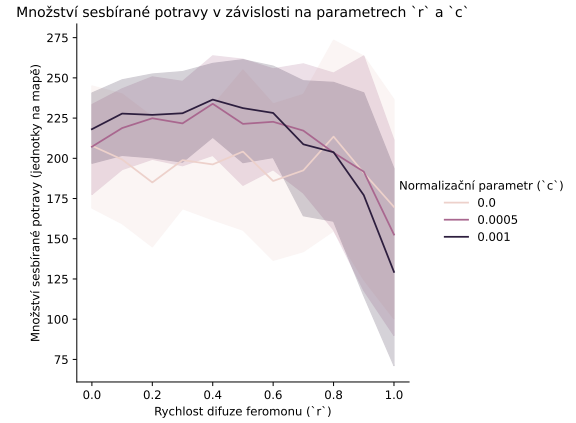


Figure 12: Množství sesbírané potravy je vyšší v případě částečně náhodného vlivu feromonu (varianty $c = 0.0005$ a $c = 0.001$). Množství sesbírané potravy není téměř ovlivněno změnou rychlosti difuze (parametr r). Výrazný pokles pozorujeme až kolem hodnoty 0.8 a vyšší.

c mírně zvýšili. Na výsledky experimentu můžeme podrobněji nahlédnout na grafech (11) a (12).

V druhé části výběru parametru jsme se zabývali pouze volbou parametru rychlosti vyprchávání feromonu $f \in (0.0001, 0.001)$ a rychlosti difuze $r \in (0, 1)$. Porovnávali jsme množství sesbírané potravy za 8000 iterací simulace. S pevně zvolenými parametry jako v případě první části a dále s parametrem $c = 0.0005$, jehož hodnotu jsme odvodili v první části. Z výsledků jsme podobně jako v případě první části vybrali 20 variant s nejvyšším počtem nasbírané potravy a vypočítali aritmetický průměr hodnot parametrů f a r . Vypočtené hodnoty jsou následující $f = 0.00021$ $r = 0.495$. Závislost vlivu parametrů je srovnatelná s výsledky první části a je znázorněna grafy (13) a (14).

4.4 Popis experimentů

Hlavní část experimentů byla zaměřena na charakteristiku chování mravenců v různých variantách

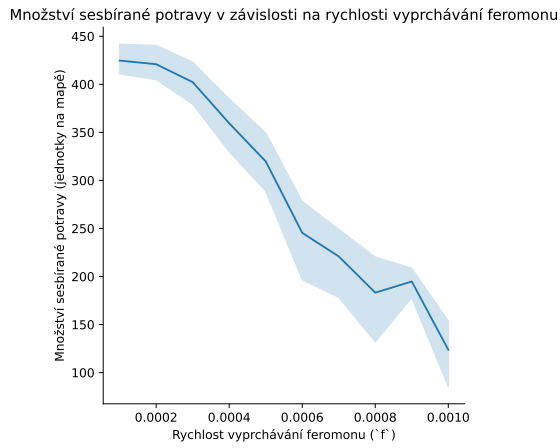


Figure 13: Množství sesbírané potravy klesá téměř lineárně s rostoucí rychlostí vyprchávání feromonu (parametr f). Vyjímku jsou hodnoty parametru f do 0.0002 u nichž je rozdíl téměř zanedbatelný.

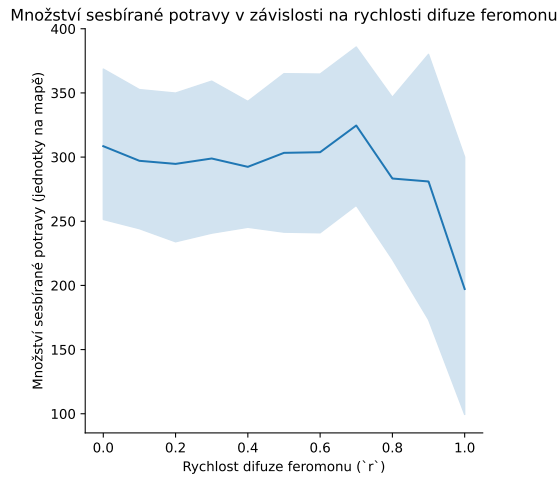


Figure 14: Množství sesbírané potravy není téměř ovlivněno změnou rychlosti difuze (parametr r). Výrazný pokles pozorujeme až kolem hodnoty 0.8 a vyšší.

prostředí s různým počtem jedinců (parametr n v rozmezí $(0, 50)$) a různou maximální vzdáleností pro detekci hledaného objektu (parametr d v rozmezí $(20, 2000)$). V experimentech jsme se zaměřovali na poměr sesbírané potravy vůči celkovému počtu potravy na mapě po uplynutí 8000 iterací simulace. Na základě výběru parametrů popsaných výše jsme pevně zvolili následující hodnoty zbylých parametrů:

- $f = 0.00021$
- $p = 0.02$
- $r = 0.495$
- $c = 0.0005$

TODO: popsat výsledky vyberu parametru

TODO: popis nastavení modelu a vlastností modelu

References

- [1] J. Jones, Characteristics of pattern formation and evolution in approximations of physarum transport networks, *Artificial life* **16**, 127 (2010).