

Univerzita Karlova v Praze
Matematicko-fyzikální fakulta

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Lucie Kučerová

Nástroj pro simulaci vlčí smečky

Katedra software a výuky informatiky

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Cyril Brom

Studijní program: Informatika, Programování

2007

Na tomto místě bych chtěla poděkovat Cyrilu Bromovi za vedení projektu a podnětné připomínky při psaní této práce.

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci napsala samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů. Souhlasím se zapůjčováním práce a jejím zveřejňováním.

V Praze dne

Lucie Kučerová

Obsah

1	Úvod	6
2	Cíle projektu	7
3	Zoologické podklady	9
3.1	Fyzické charakteristiky a schopnosti	9
3.2	Životní prostředí	10
3.3	Smečka	10
3.4	Komunikace	12
3.5	Potrava a trávení	13
3.6	Lov	14
3.7	Spánek	15
4	Příbuzné práce	16
4.1	Tyrrellova architektura	16
4.2	AlphaWolf	17
5	Model	19
5.1	Prostředí a doplňkoví agenti	19
5.2	Vlci - výběr a pořadí provádění akcí	20
5.3	Plány	21
5.4	Vizuální komunikace	22
5.5	Shrnutí	24
6	Implementace	25
6.1	Prostředí	25
6.2	Kořist	27
6.3	Vlci	28
6.4	Pozorování simulace a výstupy	30
7	Testy	31
7.1	Lov	31
7.2	Lov menších jelenů	32
7.3	Lov malé kořisti	32
7.4	Rozptýlená smečka	33

7.5	Shrnutí	34
8	Budoucí práce	35
8.1	Další části sociálního chování	35
8.2	Detailnější zpracování lovu	35
9	Závěr	37
A	Plány	39
B	Obsah CD	43

Název práce: Nástroj pro simulaci vlčí smečky
Autor: Lucie Kučerová
Katedra: Katedra software a výuky informatiky
Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Cyril Brom
e-mail vedoucího: brom@ksvi.mff.cuni.cz

Abstrakt: Cílem projektu je výzkumný nástroj pro biologa/etologa studujícího vlky. Aplikace simuluje život smečky šesti vlků pomocí zjednodušeného modelu vlčího chování. Vlci jsou simulováni pomocí autonomních agentů. Model obsahuje několik částí vlčího etogramu, hlavně ty, které jsou nepostradatelné pro přežití - hledání kořisti či vody, spaní atd. Vlci také zvládají několik základních sociálních interakcí. Aby se vlci chovali věrohodně, je třeba nastavit mnoho parametrů, například množství dostupné kořisti či dobu hladovění, po jejímž uplynutí vlk už kriticky potřebuje sehnat potravu. Částí práce bylo také najít takovou kombinaci hodnot těchto parametrů, při které model nevykazuje výrazné anomálie (např. neschopnost vlků přežít po delší dobu).

Klíčová slova: etologie, vlci, umělé bytosti

Title: A Toolkit for Simulating Wolf Pack
Author: Lucie Kučerová
Department: Department of Software and Computer Science Education
Supervisor: Mgr. Cyril Brom
Supervisor's e-mail address: brom@ksvi.mff.cuni.cz

Abstract: The aim of the project is to develop a research tool for a biologist/ethologist interested in wolves. The application simulates life of a pack of six wolves. It implements a simplified model of wolf behaviour. Wolves are simulated by means of autonomous agents. The model includes several parts of wolf ethogram, mainly those that are essential to survive - finding prey and water, sleeping etc. Wolves are also able to perform several basic social interactions. To get plausible behavior of wolves, many parameters must be set, for example the quantity of prey or the period of starving after which a wolf critically needs to feed. One part of the work was also to find rates of these parameters which ensure that the model will not embody huge abnormalities (i.e. incapability of wolves to survive for a longer period of time).

Keywords: ethology, wolves, artificial creatures

Kapitola 1

Úvod

Vlci (*Canis lupus*) jsou podle současných výzkumů jedinými předky všech plemen domácích psů. Jsou to plachá inteligentní zvířata s velmi vyvinutým sociálním chováním, které je důsledkem jejich smečkového života, během nějž jsou vlci nuceni k intenzivní vzájemné komunikaci. Bez ní by bylo takřka nemožné ulovit zvířata, která svou hmotností vlky několikanásobně převyšují - právě taková tvoří základ vlčího jídelníčku.

Cílem projektu je vytvořit výzkumný nástroj pro biologa/etologa studujícího vlky. Přesněji navrhnout model smečky vlků a jejich prostředí a implementovat tento model pomocí autonomních agentů tak, aby výsledná aplikace umožňovala rozsáhlou parametrizaci. Další částí práce je provedení testů a nalezení takových hodnot těchto parametrů, při kterých model nevykazuje výrazné anomálie (např. neschopnost vlků přežít po delší dobu).

V následující kapitole podrobněji představím cíle projektu. Kapitola 3 shrnuje základní zoologické poznatky o vlčích se zřetelem na tyto cíle, v kapitole 4 jsou popsány práce příbuzné zvolenému tématu. Kapitola 5 se zabývá sestavením abstraktního modelu pokrývajícího cíle projektu, kapitola 6 je věnována konkrétní zvolené implementaci a v kapitole 7 jsou popsány provedené testy a jejich výsledky. Další kapitola popisuje možné budoucí práce v této oblasti a kapitola 9 shrnuje výsledky.

Kapitola 2

Cíle projektu

Pro splnění hlavního cíle projektu - vytvoření parametrizovatelné aplikace simulující život smečky vlků a její otestování - je zapotřebí:

1. sestavit model chování vlka
2. vytvořit vhodné prostředí pro agenty odpovídající tomuto modelu
3. navrhnout a provést testy, z jejich výsledků vyvodit závěry

Podrobněji budou tyto kroky popsány v kapitolách 5, 6 a 7, zde je budu jen stručně charakterizovat.

Model chování vlka. Vzhledem k rozsahu a složitosti vlčího chování bylo třeba vybrat ke zpracování jen některé jeho části. Zvolila jsem ty okruhy etogramu, které se projevují každodenně a zároveň jsou esenciální pro samotné přežití vlků. Tvoří tak jakési konzistentní jádro chování, které pro simulaci krátkého časového úseku života smečky může postačovat a posléze jej lze dále rozšiřovat.

Zahrnuté části chování:

- Potravní chování - příjem potravy a její ukrývání
- Ostatní základní fyziologické potřeby - pití, spánek, odpočinek
- Orientační chování
- Lovecké chování (částečně)
- Sociální chování (jen několik fragmentů)

Vynecháno bylo zejména:

- Obranné chování
- Teritoriální chování
- Sexuální chování
- Rodičovské chování
- Infantilní chování
- Většina sociálního chování

Obranné chování se projevuje při kontaktu s další smečkou nebo s jinými živočišnými druhy, které nejsou kořistí vlků, teritoriální chování obdobně. Protože tyto okolnosti v implementaci nenastávají, vypuštění těchto okruhů se příliš neprojevuje. Sexuální, rodičovské a infantilní chování se objevuje jen v určitých obdobích, proto bylo v práci opomenuto. Ze sociálního chování pak kvůli jeho komplexitě byly vybrány jen některé části, vyskytující se během příjmu potravy a lovu. Velká část sociálního chování souvisí s dynamikou smečky, která se ovšem v krátkém časovém úseku nijak neprojevuje.

Prostředí. Vzhledem k výše uvedenému je třeba, aby prostředí vlkovi umožňovalo utišení žízně a lov zvěře, je tedy zapotřebí navrhnout alespoň jednoduché agenty reprezentující kořist. Terén nebude obsahovat žádné překážky.

Testy. Parametry testů by měly vycházet z pozorování vlků v přírodě a v ideálním případě by mu měly odpovídat i jejich výsledky.

Kapitola 3

Zoologické podklady

V této kapitole shrnu výsledky zkoumání a pozorování vlků, které už nyní vytvářejí relativně podrobnou představu o jejich fyziologii, chování a způsobu života, ačkoli stále ještě existují otázky, na které nejsou známy uspokojivé odpovědi.

3.1 Fyzické charakteristiky a schopnosti

Vlk je největším členem čeledi psovitých (pokud nepočítáme některá plemena psů), dospělí samci z většiny oblastí váží v průměru 43 až 45 kg, samice 36 až 38 kg. Vlčí anatomie je plně přizpůsobena jejich způsobu života. Protože často překonávají dlouhé vzdálenosti při cestě za potravou, je jejich tělo uzpůsobeno na dlouhý běh. Zároveň dokáží během štvání kořisti vyvinout na krátkou dobu i rychlost přesahující 40 km/h. Jejich masivní čelisti jsou přizpůsobeny především trhání masa, už méně jeho rozměňování - vlci většinou polykají maso po velkých kusech. Síla vlčího kousnutí je až ohromující. Vlk je schopen ukousnout ocas ročního losa, stejně jako je schopen zakousnout se do jeho nozder tak pevně, že se ho zvíře nedokáže zbavit jakýmkoli třepáním hlavou, včetně zvedání vlka ze země [2].

Smysly. Nejdůležitějším a nejrozvinutějším smyslem vlka je čich. Ve většině případů jsou vlci schopni zachytit pach zvířete, pokud jsou od něj po větru a méně než 300 m daleko, za některých podmínek detekují i zvíře, které je od nich přes 2 km daleko.

Vlčí sluch je taky velmi vyvinutý. Byl zaznamenán případ, kdy ochocení vlci odpověděli na pokus o vytí svého majitele (které bylo bezesporu slabší než vytí skutečných vlků), ačkoli od něj byli vzdáleni 4 míle [2]. Psi jsou schopni slyšet tóny až do frekvence 26 kHz a také dokáží rozeznat dva sousední tóny na stupnici; předpokládá se, že vlčí schopnosti jsou v tomto směru obdobné. Vlci také dokáží rozeznat "živé" vytí od jeho záznamu.

3.2 Životní prostředí

Přirozeným životním prostředím vlků jsou všechny typy prostředí severní polokoule kromě tropických deštných pralesů a pouští. Z mnoha oblastí byl už dávno vytlačen člověkem, především v Severní Americe (kde se vyskytuje takřka jen v Kanadě) a v západní a střední Evropě (které jsou spolu s východní Evropou a částí Asie oblastmi výskytu poddruhu *Canis lupus lupus*).

3.3 Smečka

Velikost smečky. Velikost smečky se většinou pohybuje mezi 2 - 8 jedinci, přičemž nejobvyklejší počet je 6 - 7 (obojí včetně vlčat). Je to především z těchto čtyř důvodů:

Nejmenší počet jedinců nutný pro nalezení a bezpečné ulovení kořisti. Vlci většinou loví kořist mnohem větší než jsou sami, takže jeden samotný vlk by s jejím ulovením měl problémy a mohlo by to pro něj být i nebezpečné. Větší počet vlků dokáže kořist nejen rychleji najít, ale i rychleji ulovit. Při pronásledování se mohou střídat nebo může např. část smečky kořisti nadběhnout. Ovšem při moc velkém počtu se naopak efektivita lovu snižuje, takže větší smečky se zpravidla rozdělí na několik menších, které loví samostatně.

Maximální počet jedinců, kteří se nasytí z kořisti. Pokud je smečka tak velká, že když se najedí nejsilnější členové, nezbude z kořisti téměř nic, ti, na které nezbylo, se odeberou na další lov. Pokud se toto děje často, nakonec dojde k rozdělení smečky. Samozřejmě tento faktor závisí na kořisti, která je v příslušné oblasti dostupná. Např. z 400 kg těžkého losa se nasytí až 40 jedinců. Ovšem zvyšování počtu nad 8 jedinců je vzácné, především z výše uvedeného důvodu.

Maximální počet ostatních členů, se kterými může jedinec navázat sociální vztah. Aby mohla smečka normálně fungovat, je nezbytně nutné, aby si každý člen vytvořil sociální vztah ke všem ostatním. Při určitém počtu vztahů už není schopen vytvářet další a sociální struktura přestane fungovat. Následkem toho dojde k rozdělení smečky.

Maximální počet sociálních konkurentů, které může každý jedinec akceptovat. Hierarchie smečky je založena na konkurenci. Logickou snahou každého jedince je dostat se výše a naopak udržet svojí pozici vůči těm níže postaveným. Pokud je konkurence moc velká, sociální struktura opět přestane fungovat a dojde k rozdělení smečky.

Složení a vznik smečky. Podle teorie L. D. Meche [2] je vlčí smečka tvořena alfa párem, jeho nedospělými nebo i dospělými potomky z předchozích vrhů a mladými vlčaty. K této teorii ho vede skutečnost, že aby smečka držela pohromadě, musí její členy spojovat silná sociální a emocionální pouta.

Jejich vznik vyžaduje psychologický sklon k vazbě ze strany obou jedinců a také jejich dlouhodobý kontakt. Tyto podmínky splňují tři typy vlčích vztahů:

1. dvoření se a páření dospělého samce a samice
2. výchova vrhu vlčat dospělými
3. růst a vývoj mláděte ve společnosti jeho sourozenců z vrhu

Pokud je tedy tato teorie platná, jsou všichni členové smečky navzájem příbuzní, kromě původního páru, kde jeden z nich mohl přijít z jiné smečky. Smečka je podle této teorie zformovaná spárováním samce a samice v pozdní zimě a pak rozšířená o jejich první vrh, obsahující zpravidla okolo šesti vlčat. Aby se naučila lovit, musí vlčata strávit s rodiči alespoň první zimu. Protože vlci dospívají až okolo dvou let, není důvod, aby alfa páru vadila přítomnost jejich rok starých potomků. To znamená, že nově zformovaná smečka, dva roky po spárování původního páru, zahrnuje tento pár, jejich poslední vlčata a jejich mladé z minulého roku. Pokud oba vrhy měly průměrnou velikost, smečka by měla obsahovat čtrnáct zvířat. Mortalita v obou vrzích pak tento počet snižuje na sedm i méně jedinců. Podle této teorie se pak smečka může rozdělovat v případech, že dospělí jedinci z předchozích vrhů si v době námluv najdou partnera z jiné smečky nebo pokud se vytvoří nový pár z dospělých vlků ve smečce a v době výchovy mláďat si každý pár založí noru na jiném místě.

Hierarchie ve smečce. Nejvýše postavenými jedinci ve smečce jsou alfa samec a alfa samice, přičemž alfa samec je vůdcem smečky. Hierarchie mezi dospělými jedinci ve smečce je organizována ve dvou liniích: jedna pro samce, druhá pro samice. V případě nedospělých jedinců je naopak tato linie jen jedna, společná pro obě pohlaví. I po dospění těchto zvířat ale může být alfa samice dominantní nad většinou samců. Hierarchie je relativně stálá, čím je smečka starší, tím je hierarchie stabilnější.

Ve vlčí smečce má dominance dva aspekty: privilegia a vůdcovství. V konkurenčních situacích má podobu privilegia. Dominantní zvířata ukáží svou iniciativu a prosadí cokoli, co chtějí. Většina členů smečky to ani nezkusí zpochybnit, jen jeden či dva jedinci s podobným statutem mohou zkusit soupeřit. Pokud se to stane, výše postavené zvíře důrazně ukáže svou dominanci a odradí své konkurenty. Byly pozorovány jen dvě výjimky z tohoto pravidla. Po narození mladých může samice normálně podřízená samci najednou převzít dominanci nad svým partnerem. Další výjimka se týká individuálního vlastnictví. Aspoň v některých případech může podřízený vlk zamezit výše postaveným zvířatům, aby mu sebrali jídlo, které tento jedinec už vlastní [2].

Druhá forma dominance, vůdcovství, je v normálním životě smečky pravděpodobně důležitější, protože kooperativní situace jsou obvykle početnější

než konkurenční. Pozorování potvrzují, že ve smečce je vždy jeden vlk, jehož iniciativu následují ostatní jedinci ve smečce. Tento vlk má taky strážní funkci. Jen občas se stane, že jiný vlk je natolik motivovaný, že na krátký čas strhne iniciativu na svou stranu. Během důležitých aspektů vlčího života, jako je cestování, lov, krmení a páření, se však alfa vlk ujímá iniciativy a je následován zbytkem smečky. Nicméně forma vlády ve vlčí smečce není striktně autokratická a vůdčí vlk bere ohledy i na zbytek smečky.

Protože vlčí smečky jsou vysoce organizovány, vládne řád. Vlci v každé smečce se obvykle chovají předvídatelně a sociální struktura skupiny je tak udržována. Velká část chování každého člena smečky je směřována k udržení nebo zvýšení jeho sociálního statutu, což vytváří tlak, který udržuje smečku stabilní. Ačkoli se ve smečce občas objeví nějaké násilné incidenty (pokud nastal důvod ke změně hierarchie, např. při smrti alfa samce; nebo pokud si vysoce postavený člen stabilní smečky vybíjí nahromaděnou agresivitu na nejnižší postaveném zvířeti), většinou vládne harmonie. K tomu přispívá submisivita - chování, které může být chápáno jako výzva k přátelství. Submisivita je základní část vlčího sociálního chování a každý člen smečky kromě alfa páru ji musí často ukazovat. Protože si je každý vlk vědom své pozice v sociálním pořádku a podle toho se patřičně chová k ostatním členům smečky, je udržována obecná sociální harmonie.

Některé sociální interakce. Každý člen smečky si udržuje své osobní, individuální "teritorium". Většinou se při narušení individuálního prostoru objevuje aktivní protest spojený s agresivním výrazem. Obecně lze vlka zařadit mezi distanční, nikoli kontaktní typy zvířat, i když existují výjimky, projevující se především při interakci dospělého vlka a vlčete [3].

Vlci ve smečce se snaží udržet kontakt s ostatními příslušníky smečky, takže se někdy hovoří o tzv. magnetickém efektu - zvířata jsou pužena do společenství a zachovávají v něm nejen kontakt, ale navzájem se strhují i k jednotně zaměřené činnosti, k útěku, lovu kořisti, útoku atd. Jako maximální vzdálenost se proto označuje vzdálenost, při které ještě působí "magnetický efekt". Je to největší odstup, při kterém je možná přímá komunikace a vzájemné ovlivňování členů společenství.

3.4 Komunikace

Hlasová komunikace. Nejznámějším způsobem vlčí komunikace je vytí. Ve skutečnosti vlci vyjí z mnoha důvodů, např. při předloveckém ceremoniálu před lovem velké kořisti, při shromažďování smečky po lovu, při komunikaci mezi smečkami, při poplachu apod. Vyjí také v případě, že se některý z nich příliš vzdálí od smečky - vytí každého vlka je specifické, takže smečka vlka podle vytí pozná a to usnadní jejich opětovné shledání.

Vizuální komunikace. Většina vizuální komunikace vlků je používána ke zdůraznění vlastního postavení, nebo akceptování vyššího postavení jiného člena smečky. To pomáhá udržovat smečku stabilní a předcházet konfliktům.

Vlci používají mnoho způsobů, jak vyjádřit svoje postavení ve smečce. Který vlk má vyšší postavení lze poznat podle polohy jeho ocasu. Alfa obvykle nosí ocas zdvižený a podřízení jedinci nosí ocasy svisle dolů. Vlci na nejnižších pozicích nosí ocas kolmo k zemi nebo stočený pod sebou. Podřízení často schovávají ocas mezi nohy, když se přiblíží alfa, čímž uznávají jeho nadřazenost. Pozice ocasu také říká, jakou má vlk náladu. Když je sebejistý, drží ocas nahoře a když je vystrašený, má ocas naopak zkroucený pod sebou. Pokud se vlk chystá zaútočit, jeho ocas je ve vodorovné poloze. Normální poloha ocasu je kolmo dolů.

Také poloha uší vyjadřuje pozici v hierarchii, nebo náladu. Alfa má vždy uši vzpřímené, zatímco níže postavení jedinci mají většinou uši přitisknuté k hlavě, zvláště když se přiblíží alfa. Když je vlk smutný nebo vystrašený, má uši přitisknuté k hlavě a když je šťastný nebo sebejistý, má uši vzpřímené. Když hrozí jinému vlkovi, jeho uši směřují dopředu.

K určení postavení může sloužit také stav srsti. Podřízený vlk má většinou srst hladkou, když alfa srst naježí. Naježená srst může znamenat buď hrozbu nebo strach. Níže postavení jedinci vždy zdraví alfu tím, že se přikrčí k zemi, sklopí uši a zlehka mu olíznou čenich. Toto chování je velmi podobné chování mladých štěňat, žebrajících o potravu.

Když se setká alfa samec s níže postaveným samcem, zůstává vzpřímeně a nehybně stát a upřeně se na něj dívá. Jeho ocas je vodorovně a s hřbetem tvoří jednu linii. Podřízený jedinec se většinou přikrčí, přičemž má ocas svisle dolů, pomalu se otočí od alfy, odvrátí zrak a sklopí uši. Při vážnějším střetnutí zatáhne koutky úst, čímž odhalí svoje zuby (výraz podřízenosti), šikmo natočí hlavu a dívá se na alfu. Tomu se říká pasivní podřízenost. Někdy se podřízený jedinec snaží alfovi olíznout pysky, což je aktivní podřízenost.

Snaží-li se podřízený vlk bránit autoritě alfy, alfa se snaží si svoji autoritu prosadit. Často mu k tomu stačí pouze přísný pohled. Vlci se na sebe dívají z očí do očí pouze když prosazují svou autoritu, nebo hrozí jinému vlkovi. Pokud pohled nestačí, alfa vycení zuby a začne vrčet. Když se chce na podřízeného vrhnout, přikrčí se k zemi. Dominantní jedinec také může pro prosazení své autority přidržet čenich podřízeného a nebo položit svou přední packu okolo jeho ramen. Je-li níže postavený vlk připraven uznat jeho autoritu, lehne si na zem a otočí se na záda. Výše postavený jedinec tento akt bere jako omluvu.

3.5 Potrava a trávení

Druhy kořisti. Vlci loví především velká zvířata, jako jsou jeleni, losi a sobi. Tato kořist tvoří 59 až 96 % jejich potravy [2]. Z menších zvířat pak

vlci loví hlavně kolouchy, bobry a zajíce, ale občas se na jejich jídelníčku vyskytnou i veverka, králíci, ptáci, ryby, ještěrky, hadi, kobylky, žížaly a lesní plody.

Spotřeba potravy. Vlk je schopen najednou zkonzumovat až 10 kg potravy. Ta je rychle strávena, takže pokud je dostatek potravy, může vlk jíst i několikrát denně. Byly pozorovány případy, kdy sedm nebo osm vlků snědlo zhruba tři čtvrtiny dospělého losa za dva dny, každý tedy sežral v průměru skoro 16 kg masa denně. Pokud je k dispozici přebytek potravy, vlci jí mnohem více, než ve skutečnosti potřebují.

Takové množství masa ale není zdaleka vždy k dispozici, smečce může trvat i několik dní, než uloví další kořist. Zdá se, že vlk je hladovění uzpůsoben stejně dobře jako hodování. Nejdelší pozorované hladovění vlka trvalo 17 dní; předpokládá se, že schopnost přežít bez potravy je u vlka zhruba stejná jako u psa. Psi dokáží bez potravy přežít i více než dva měsíce, přičemž týden trvající hladovění na nich nezanechává takřka žádné následky. Vlci pravděpodobně vydrží cestovat a hledat vhodnou kořist při hladovění trvajícím i více než dva týdny.

Jídelní zvyky a využití kořisti. Vlci se začnou rozčileně krmit ihned po zabití kořisti. Celá smečka se namačká kolem těla a začne jíst jeho nejlepší části. V případě, že je kořist příliš velká na to, aby ji smečka sežrala naráz, může být zbytek opuštěn, ale smečka se k němu většinou brzy vrátí, případně jej najde smečka jiná. V některých případech jsou zbytky kořisti zahrabány, to ale většinou jen pokud je smečka příliš malá na to, aby kořist dokázala během krátkého času sežrat - zahrabáním chrání maso od vran, havranů, supů a jiných mrchožroutů.

Po nakrmení vlci vyhledají vhodné místo na odpočinek a spánek. Cestování, lov, zabíjení a žraní jsou vyčerpávající, takže odpočinek je zapotřebí. Navíc urychluje trávení a vlci jsou zhruba po šesti hodinách schopni znovu hodovat nad případnými zbytky kořisti.

Pití. Voda je potřebná pro trávení a vlci jí potřebují dostatečné množství, hlavně poté, co se nažerou. Podle odhadů vlk potřebuje asi 2,5 litru vody denně [2].

3.6 Lov

Začínajícím prvkem celého sledu chování při lovu velké kořisti je předlovecký ceremoniál ve smečce, zahrnující vzrušené kňučení, výzvy ke hře a jiné projevy přátelství. Po něm se smečka vydává do loveckého revíru a pátrá po kořisti nebo její stopě, poté se ke kořisti přiblíží. Tyto části řetězce chování vyžadují orientaci v prostředí, schopnost používat čich a stopovat

a částečně paměť. Poslední částí lovu velké kořisti je její stržení, po kterém následuje potravní chování.

Vlci nemohou riskovat jakékoli poranění, to by pro ně mohlo znamenat vyloučení ze smečky, proto upřednostňují kolektivní způsob lovu. Jeden nebo několik vlků sleduje stádo a poutá na sebe jeho pozornost, zatímco zbytek smečky stádo obklíčí. Jakmile je stádo obklíčeno vyvolají v něm paniku, aby ho donutili k běhu. Silnější zvířata ztratí odvahu a opustí ta slabá, která by za normálních okolností chránila. Právě na tento okamžik vlci čekají. Vyberou zvíře, které se chová nějak zvláště a otestují ho během. Pokud zjistí, že je vhodnou kořistí, oddělí jej od stáda a začnou ho štvát. Při štvání běží vlci v řadě za sebou - když se ti v čele unaví, vymění si místo s těmi vzadu. To smečce dovoluje udržovat vysoké tempo po dlouhou dobu, čímž donutí kořist vydat velké množství energie. Velká rychlost, kterou dokáží vyvinout, dává kořisti jen malou šanci na únik. Při štvání vlci útočí na slabiny, břicho, nohy a čumák kořisti. Když kořist zeslábne vlivem ztráty krve a únavy, strhnou ji na zem a zadávají.

Velmi důležitým momentem lovu je okamžik střetnutí. Vlci a kořist mohou zůstat nehybně stát a upřeně se na sebe dívat. V zápětí se může kořist otočit a odejít, vlci mohou odběhnout pryč, nebo mohou zaútočit a kořist během okamžiku zabít.

Při lovu vlci používají různé strategie. Svoji taktiku mění podle terénu a také podle druhu kořisti. Na kořist útočí proti větru, aby nebyli odhaleni dříve, než se stačí dostat dostatečně blízko. Při lovu používají vyšlapaných cestiček, což jim šetří energii a umožňuje vyvinout větší rychlost.

3.7 Spánek

Vlci pravděpodobně potřebují zhruba stejné množství spánku jako psi, tedy asi 16 hodin denně. Z této doby ovšem naprostou většinu tvoří lehký spánek, kdy vlka vzbudí sebemenší podnět; opravdu hluboký spánek trvá možná jen několik minut denně.

Kapitola 4

Příbuzné práce

V této kapitole stručně představím dvě práce, které se stejně jako ta moje zabývají etologií a simulováním zvířat.

4.1 Tyrrellova architektura

Toby Tyrrell se ve své dizertační práci [5] zabýval mechanismem výběru akcí (action selection) pro umělé bytosti. Za tímto účelem vyvinul virtuální prostředí, které se snaží simulovat skutečné životní prostředí zvířat. Do tohoto prostředí byl pak zasazen autonomní agent reprezentující zvíře, který používá vybraný mechanismus výběru akcí.

V prostředí se vyskytují predátoři a kořist, dva typy rostlinné potravy, zdroje vody (některé z nich otrávené), nebezpečná místa, doupata a stromy (poskytují úkryt a stín) a příslušníci živočišného druhu, ke kterému patří agent. Ten je ovlivňován deseti pudy, jeho vnímání a orientace jsou náchylné k chybám. Má paměť se zapomínáním. Musí vykonávat následující úlohy:

- získávat potravu a vodu
- vyhýbat se predátorům a být ostražitý
- vyhýbat se nebezpečným místům a neutrálním zvířatům
- zůstat poblíž doupěte
- neztratit se
- rozmnožovat se
- spát v noci
- zabývat se komfortním chováním a regulovat svoji teplotu

Tyrrell v tomto prostředí zkoumá chování agentů řídicích se známými mechanismy - drive model, Lorenzův hydraulický model a Maesové síť se šířící se aktivací. Následně navrhuje vlastní mechanismus výběru akcí, při jehož použití je jednání agenta efektivnější než u předchozích modelů.

Tyrrellovým cílem v tomto projektu bylo vytvoření mechanismu výběru akcí, který nepoužívá učení, ale přesto je pro jednání agenta dostatečně efektivní. Narozdíl od mé práce se tedy nesnažil o plauzibilní přiblížení se skutečnému chování určitého zvířete.

4.2 AlphaWolf

AlphaWolf [4] je projekt skupiny Synthetic Characters Group sdružené kolem Bruce Blumberga, která na MIT fungovala od roku 1996 do roku 2004. Byl představen na konferenci SIGGRAPH 2001 a soustředí se na sociální schopnosti virtuálních bytostí. Jednoduchý virtuální svět připomínající severskou tundru je obydlen smečkou šesti vlků, tři z nich jsou dospělí a plně autonomní, zbylí tři jsou vlčata, která jsou ovládaná lidskými hráči pomocí mikrofону, a to vytím, vrčením, kňučením a štěkáním. Nicméně vlčata nejsou pouhými avatary, mají vlastní osobnosti a sociální vztahy, které mají vliv na jejich chování.



Obrázek 4.1: AlphaWolf [4]

Projekt klade důraz na tři stavební kameny - expresivitu, učení a vývoj. Během krátkého časového úseku (méně než 10 sekund) vlk vyjadřuje svou reakci na daného sociálního partnera, založenou na jeho momentální úrovni dominance. V časovém úseku dlouhém cca 1 minutu už je možné pozorovat

učení vlčat ohledně jejich sociálních partnerů, které je založeno na emocionální paměti. Pomocí tohoto mechanismu si každý vlk vytváří asociaci mezi sociálním partnerem a specifickým emočním stavem. Když se později znovu setká s tímto partnerem, jeho momentální emoční stav a tedy i jeho chování bude ovlivněno tímto zapamatovaným emočním stavem. Během zhruba 10 minut si pak vlče projde celým vývojem přes dorostence až po dospělého vlka, který bude plně autonomní a bude interagovat s další generací uživatelem ovládaných vlčat.

Práce se zabývala hlavně sociálními interakcemi mezi vlky a utvářením struktury smečky pomocí učení. Nijak se nevěnovala dalším okruhům vlčího etogramu, zahrnuté části chování jsou tedy úplně odlišné od mého projektu. Také byl kladem mnohem větší důraz na grafickou podobu aplikace a interaktivitu.

Kapitola 5

Model

Vytvořila jsem model, který s přiměřeným zjednodušením pokrývá vybrané okruhy chování vlků (potravní chování, biologické potřeby, orientační chování, částečně lovecké chování, několik fragmentů sociálního chování) na základě soustavy hierarchických if-then pravidel. Simulace se odehrává po jednotlivých kolech, odpovídajících času cca půl minuty. V každém kole se vlk na základě svého momentálního stavu a smyslových vjemů rozhoduje pro jednu krátkou elementární činnost, kterou vykoná (výjimečně se může jednat i o více činností).

Smečka vlků v modelu čítá šest členů, pevně seřazených v lineární hierarchii od alfy až po omegu.

Nejdříve stručně popíšu charakteristiky prostředí a doplňkových agentů reprezentujících kořist, posléze se budu věnovat vlastnostem samotných vlků a výběrem jejich akcí, načež představím způsob, jakým je v modelu řešena vizuální komunikace vlků.

5.1 Prostředí a doplňkoví agenti

V prostředí se kromě smečky vlků vyskytují dva druhy kořisti sloužící k ukojení hladu a vodní plochy pro utišení žízně. Poskytuje vlkům zrakové, čichové a sluchové vjemy.

Kořist je v modelu reprezentována maximálně zjednodušenými agenty zastupujícími vysokou zvěř a zajíce. Tito agenti nemají žádné pudy ani potřeby. Náhodně se tedy pohybují po prostředí a jsou snadnou až automatickou kořistí. Rozdíly v hmotnosti těchto dvou druhů se kromě odlišné úrovně utišení hladu projevují i v tom, že zatímco zajíce zvládne vlk bez problémů ulovit sám, na skolení vysoké zvěře je třeba spolupráce celé smečky nebo alespoň několika vlků a tedy proběhnutí zjednodušeného loveckého chování. Pokud není ulovené zvíře během krmení smečkou celé zkonsumováno, vlci zbylé části zahrabávají a v případě potřeby se k nim mohou posléze vracet.

5.2 Vlci - výběr a pořadí provádění akcí

Chování vlků je ovlivňováno především momentální žízní, hladem a množstvím energie (nízké množství energie značí vysoký stupeň únavy, tzn. potřebu spánku či odpočinku, et vice versa). Jejich úroveň je upravována (vzrůstá žízeň a hlad, klesá energie) na začátku každého kola. V případě, že žízeň nebo hlad překročí maximální mez, vlk umírá, pokud energie klesne na nulu, okamžitě usíná bez ohledu na okolní dění. Spolu se smyslovými vjemy slouží hodnoty žízně, hladu a energie k výběru akcí na základě hierarchické soustavy if-then pravidel.

Žízeň se zvyšuje o 1 každé kolo, kdy vlk nepije, po napití klesne na 0. Energie se každé kolo zvyšuje o 1, pokud vlk spí nebo odpočívá, v opačném případě o 2 klesá. Hlad každé o kolo o 1 roste, při sněžení jednoho kilogramu potravy se sníží o 15 %.

Po úpravě aktuálního stavu (pokud nenastane extrémní situace uvedená výše) začíná postup vlka if-then pravidly na začátku plánu, který je v hierarchii nejvýše (dále hlavní plán). Ten buď přímo určí akci pro toto kolo, nebo vybere vhodný plán níže v hierarchii (dále podplán), v závislosti na aktuálních vjemech, stavu a záměrech vlka. Záměry vlka jsou určeny nastavením určitých podplánů jako aktivních - např. vlk, který se na základě pocitu žízně rozhodne hledat vodu, nastaví jako aktivní podplán "pití" a v dalších kolech bude jeho jednání tímto rozhodnutím ovlivněno. Každý z vlků se řídí podle stejných plánů, drobné odlišnosti jsou jen v plánu alfa vlka - vůdce smečky.

Výběr pravidla v hlavním plánu a posléze případně v některém z podplánů se řídí jednoduchým algoritmem. Každé pravidlo může být charakterizováno trojicí (*pořadí, podmínka, akce*). Na základě výše uvedených skutečností jsou vyhodnoceny podmínky (podmínka může být i prázdná, ta je automaticky splněna). Pokud jsou splněny podmínky u více pravidel, rozhoduje jejich pořadí - pravidlo s nižším pořadím je upřednostněno. Následně je provedena akce příslušející tomuto pravidlu. Protože existují případy, kdy může vlk provádět více činností zároveň, je někdy uskutečněna i ta z akcí se splněnými podmínkami, která má druhé nejnižší pořadí. Takové případy jsou v plánech výslovně uvedeny.

Z výše uvedeného postupu plány existují dvě výjimky - vlk hledající smečku nebo chránící si svůj zbytek masa získá během kola akci navíc, jejíž výběr nebude podléhat základnímu plánu. O pokusu ukrást mu kořist je vlk okamžitě informován a provede příslušnou reakci. Reakce na vytí při hledání smečky je pak umožněna pořadím provádění akcí, které je následující:

1. Vlci, kteří mají aktivní podplán "hledání"
2. Ostatní vlci
3. Vlci, kteří mají aktivní podplán "hledání" - výběr akce je ale řízen čistě jen podplánem "hledání 2"

Nejprve popíši plány, tedy soustavu if-then pravidel, která v každém kole slouží vlkovi pro výběr vhodné akce. Posléze se budu podrobněji věnovat vizuální komunikaci nastávající při bránění si potravy.

5.3 Plány

Pro přehlednost uvádím hlavní plány alfa vlka a nealfa vlků zvlášť a vynechám úvodní kontrolu extrémních stavů. Vždy je nejdříve uvedeno pořadí pravidla, poté podmínka (případně prázdná) a po ní za šípkou následuje příslušná akce. Konstanty a proměnné jsou psány kurzívou, názvy podplánů podtrženě, logické spojky tučně. Výraz "**not podplán**" je zkratkou za "podplán je neaktivní". V této kapitole jsou na ukázkou popsány jen základní plány a podplán "pití", ostatní jsou obsaženy v Dodatku A.

Základní plán alfa vlka:

1. (*žízeň* > *kritická žízeň*) **and** (**not** pití) -> zruš všechny podplány a aktivuj pití
2. (*hlad* > *kritický hlad*) **and** (**not** jídlo) **and** (**not** lov) -> zruš všechny podplány a aktivuj jídlo
3. slyšíš vytí -> zavyj, pokračuj v procházení hlavního plánu
4. spánek **or** pití **or** jídlo **or** po jídle **or** odpočinek **or** lov **or** hledání -> vykoněj krok podle příslušného podplánu (prvního aktivního v tomto pořadí)
5. *žízeň* > *alfa žízeň* -> aktivuj pití
6. (*hlad* > *alfa hlad*) **and** (za poslední den jsi jedl maximálně jednou) **and** (z poslední kořisti zůstaly zbytky) -> aktivuj jídlo
7. (*hlad* > *alfa hlad*) **and** (za poslední den jsi jedl maximálně jednou) -> aktivuj lov
8. -> popojdi po prostředí

Základní plán nealfa vlka:

1. (*žízeň* > *kritická žízeň*) **and** (**not** pití) -> zruš všechny podplány a aktivuj pití
2. (*hlad* > *kritický hlad*) **and** (**not** jídlo) **and** (**not** lov) -> zruš všechny podplány a aktivuj jídlo
3. slyšíš vytí -> zavyj, pokračuj v procházení hlavního plánu

4. spánek or pití or jídlo or po jídle or odpočinek or lov or hledání-> vykonej krok podle příslušného podplánu (prvního aktivního v tomto pořadí)
5. *doba bez kontaktu se smečkou > kritická doba bez kontaktu* -> aktivuj hledání
6. nevidíš alfu -> zvyš *dobu bez kontaktu*, otoč se
7. poblíž vidíš vodu **and** (*žízeň > nealfa žízeň*) -> *doba bez kontaktu* = 0, aktivuj pití
8. poblíž vidíš zajíce **and** (*hlad > nealfa hlad*) -> *doba bez kontaktu* = 0, aktivuj jídlo
9. -> vykonej krok podplánu následování (následuj alfu)

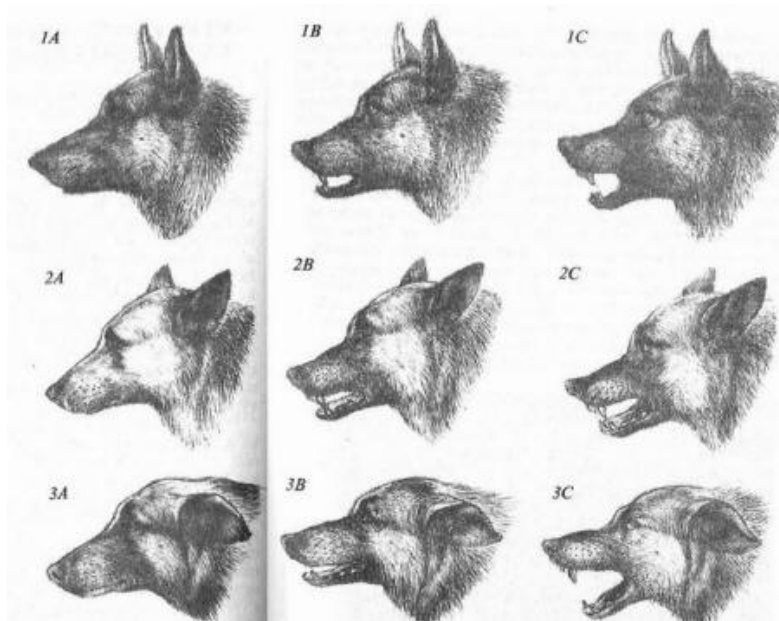
Podplán "pití":

1. jsi u vody a už ses napil -> *žízeň* = 0, deaktivuj pití, zapamatuj si polohu vody
2. jsi u vody -> napij se
3. vidíš vodu -> popojdi k ní
4. pamatuješ si nějaká místa s vodou -> popojdi k nejbližšímu z nich
5. -> popojdi

5.4 Vizuální komunikace

Vizuální komunikace se v modelu vyskytuje ve dvou situacích. Jednou z nich je předlovecký ceremoniál, při kterém vlci vyjadřují svou připravenost k lovu. Vizuální komunikace, kterou je potřeba přesně vnímat a příslušně na ni reagovat, je zastoupena jen ve druhé situaci, nastávající v okamžiku, kdy se některý vlk pokusí sebrat druhému jeho kus masa. Majitel potravy dává vizuálně najevo, že se jí nehodlá vzdát, na což okamžitě reaguje "narušitel". Jak je uvedeno v kapitole 3.3, bývá takový pokus o ukradení potravy neúspěšný. V tomto zjednodušeném modelu je neúspěšný vždy, ale umožňuje pozorovat typické rysy vlčí mimiky.

K rozhodování o reakci vlka je použito schéma konfliktu mezi agresivitou a strachem, publikované K. Lorenzem [1] (obr. 5.1). Výraz vlka je ovlivněn jeho pozicí ve smečce, náladou a samozřejmě stranou, na které vlk při komunikaci stojí - zda si brání svou kořist, nebo naopak reaguje na výhrůžku majitele kořisti. *Nálada* je abstraktní veličina, která je vypočítaná z hodnot žízně, hladu a energie, případně dalších. Cílem jejího zahrnutí do modelu je



Obrázek 5.1: Schéma konfliktu agresivita - strach [1]: zleva doprava (A - C) narůstá podíl agresivity ve výrazu, shora dolů (1 - 3) narůstá podíl strachu

možnost zahrnout do simulace fakt, že sytý a napojený vlk bude reagovat méně podrážděně, než vlk hladový a žíznivý apod. Vzhledem k abstraktnosti této veličiny model nspecifikuje metodu jejího výpočtu, ta tedy záleží na konkrétní implementaci. Pro model je důležité jen to, aby byla vhodně stanovena jedna mez, se kterou je nálada vlka porovnávána, jak vyplývá z níže uvedeného postupu. Také počítá s tím, že vyšší hodnota nálady znamená lepší naladění vlka.

Výpočet "souřadnic" výrazu vlka je následující:

1. Vlk brání si potravu

- agresivita: ($nálada < mez\ nálady$) **or** ($moje\ pozice > pozice\ druhého$) -> $agresivita = 3$, jinak $agresivita = 2$
- strach: ($moje\ pozice < pozice\ druhého$) -> $strach = B$, jinak $strach = A$

2. Stahující se narušitel

- agresivita: ($nálada < mez\ nálady$) **or** ($moje\ pozice > pozice\ druhého$) -> $agresivita = 2$, jinak $agresivita = 1$
- strach: ($moje\ pozice < pozice\ druhého$) -> $strach = C$, jinak $strach = B$

5.5 Shrnutí

V této kapitole jsem popsala navržený model smečky šesti vlků. Nejdříve jsem zmínila její životní prostředí včetně autonomních agentů reprezentujících kořist, posléze jsem se věnovala vlkům samotným. Popsala jsem, jakým způsobem je v každém kole simulace určována hodnota jejich pudů a podle jakého algoritmu si vlci vybírají své akce. Nakonec jsem se zabývala vizuální komunikací ve smečce. V další kapitole se zaměřím na charakteristiky implementace navrženého modelu.

Kapitola 6

Implementace

Projekt je napsán ve vývojovém prostředí NetLogo 3.1 [6], které bylo vyvinuto koncem devadesátých let na Northwestern University pro simulování přírodních a sociálních jevů za pomoci velkého množství autonomních agentů, a tedy umožňuje jejich efektivní programování. Toto prostředí jsem vybrala právě kvůli jeho specializaci na tento typ problémů.

Na grafickou stránku projektu je kladen minimální důraz, proto jsou využívány jen standardní prostředky vývojového prostředí NetLogo, tedy jednoduché zobrazování toho, jak zhruba vypadá "svět" a kde se v něm nacházejí jednotlivé objekty a agenti. Další důležité informace, tedy především komunikace a výrazové prostředky jednotlivých vlků, jsou zobrazovány jen textově.

V této kapitole se budu nejdříve zabývat implementací životního prostředí vlků, poté jejich kořisti (tzn. agenti *deer* - jelen a *hare* - zajíc) a vlků samotných (agent *wolf*). V závěru ještě zmíním výstupy simulace.

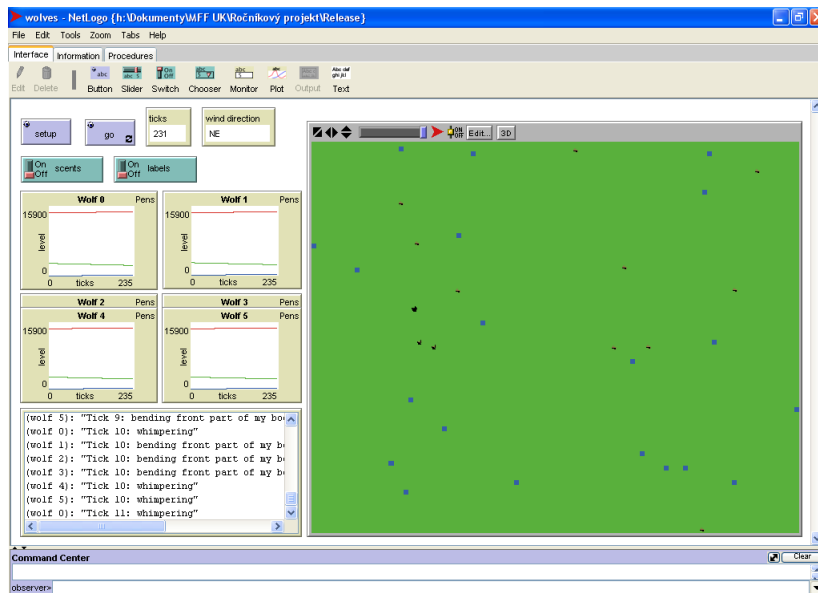
6.1 Prostředí

Čas a prostor. "Svět" má ve výchozím nastavení rozměry 101x81 polí (*patches*). Přes použití principu polí není svět v NetLogu zcela diskrétní - agent se může pohybovat i v rámci jednoho pole. Převedení reálných vzdáleností na odpovídající vzdálenosti v implementaci musí být zákonitě jen přibližné, jinak by nebylo možné zároveň simulovat události odehrávající se na velkém měřítku (např. pátrání po zvěři) a velmi malém měřítku (např. úzký kontakt mezi členy smečky). Pole zastupují buď pevnou zem - zelená barva - nebo vodu - modrá barva.

Jednomu dni v souladu s modelem odpovídá 2880 kol simulace (tj. jedno kolo odpovídá 0,5 min).

Konstanty týkající se prostředí, nastavitelné jako parametry v konfiguračním souboru:

max-scent-int Maximální intenzita pachu (viz níže).



Obrázek 6.1: Simulace vlků v NetLogu

amount-of-water Počet zdrojů vody.

noise-dist Vzdálenost, na kterou se nese vlčí vytí.

Vítr a šíření pachů. Směr větru je určen globálními proměnnými *wind-dir-x* a *wind-dir-y*, které v každém kole nabývají hodnotu z $\{-1,0,1\}$. Pokud mají obě hodnotu 1, fouká severozápadní vítr, hodnoty 0 a 1 znamenají severní vítr, dvě nuly znamenají bezvětří atp. Protože směr větru je většinou relativně stálý, je úplně náhodně určen jen na začátku běhu simulace, v každém dalším kole mají obě proměnné 75% šanci, že jejich hodnota zůstane stejná jako v minulém kole.

Poté, co je určen směr větru pro aktuální kolo, je přepočtena přítomnost a síla pachu na všech patches. Každá z nich má pro tento účel tři proměnné: *scent-deer*, *scent-hare*, *scent-wolf*.

Proměnná *scent-deer* bude nastavena následujícím způsobem:

1. pokud platí $scent-deer > 0$, sniž hodnotu o 1
2. pokud je na této dlaždici agent *deer*, nastav hodnotu na *max-scent-int* (globální konstanta)
3. všechny patches se $scent-deer > 0$ seřaď sestupně podle *scent-deer* a pak postupně pro každou z nich (= patch 1) proved' nastav dlaždici sousedící po směru větru (= patch 2) o 1 nižší *scent-deer*, než má patch 1, pokud je tato hodnota vyšší než aktuální *scent-deer* pro patch 2

Nastavení hodnot proměnných určujících pach ostatních agentů probíhá analogicky. Následně je všem dlaždicím (při zapnutém zobrazování pachů) obsahujícím nějaký pach upravena barva, aby bylo možné rozmístění pachu pozorovat - *scent-wolf* je prezentován odstíny šedé, *scent-deer* odstíny žluté a *scent-hare* odstíny růžové. V případě, že na jedné dlaždici bude přítomno více pachů, bude zobrazen jen jeden z nich. Obecně platí, že čím vyšší síla pachu, tím sytější odstín dané barvy.

6.2 Kořist

Kořist je reprezentována agenty *hare* a *deer*. Jejich počet je pevný (nastavený na začátku simulace). Po ukončení činnosti agenta (tzn. po sněžení nebo po znehodnocení mršiny) je místo něj vždy hned vytvořen agent nový, který se objeví na náhodném místě na mapě. Počáteční hmotnost těchto agentů je možné nastavit, mohou tedy reprezentovat i jiné druhy kořisti než zajíce a jelena.

Konstanty týkající se kořisti, nastavitelné jako parametry v konfiguračním souboru:

deer-weight Počáteční hmotnost jelena.

hare-weight Počáteční hmotnost zajíce.

number-of-deer Počet jelenů.

number-of-hares Počet zajíců.

bites-fatal Množství pokusů o stržení, které vedou ke smrti velké kořisti.

Atributy agenta hare:

xcor X-ová souřadnice aktuální pozice.

ycor Y-ová souřadnice aktuální pozice.

weight Aktuální hmotnost zajíce nebo jeho zbytků

life True, pokud je zajíc naživu, jinak false

owned Pokud si na zbytky zajíce dělá některý z vlků nárok, obsahuje číslo pozice tohoto vlka, jinak false

Atributy agenta deer:

xcor X-ová souřadnice aktuální pozice.

ycor Y-ová souřadnice aktuální pozice.

weight Aktuální hmotnost jelena nebo jeho zbytků

life True, pokud je jelen naživu, jinak false

owned Pokud si na zbytky jelena dělá některý z vlků nárok, obsahuje číslo pozice tohoto vlka, jinak false

bites Počet pokusů o stržení, které byly na jelena podniknuty - pokud překročí globální hranici, jelen je zabit.

buried True, pokud jsou zbytky jelena zahrabány, jinak false

remains Počet kol, po kterém budou zahrabané zbytky jelena znehodnoceny (v případě nezakrytých zbytků se jedná o dvojnásobek počtu kol ke znehodnocení)

6.3 Vlci

Vlci se v každém kole řídí plány uvedenými v kapitole 5.3 a v Dodatku A, na základě nastavených konstant a vlastních atributů.

Konstanty týkající se vlků, nastavitelné jako parametry v konfiguračním souboru:

max-thirst Nejvyšší možná hodnota žízně, po jejím dosažení vlk umírá.

max-hunger Nejvyšší možná hodnota hladu, po jejím dosažení vlk umírá.

max-energy Nejvyšší možná hodnota energie, značí nulovou únavu.

critical-thirst Hodnota žízně, po jejímž dosažení začne vlk hledat zdroj vody i za cenu toho, že se vzdálí od smečky.

critical-hunger Hodnota hladu, po jejímž dosažení začne vlk hledat potravu i za cenu toho, že se vzdálí od smečky.

alpha-thirst Hodnota žízně, po jejímž dosažení začne alfa vlk hledat zdroj vody.

alpha-hunger Hodnota hladu, po jejímž dosažení začne alfa vlk hledat potravu.

sight Vzdálenost, na kterou vlk vidí (jako počet polí).

sight-angle Zorný úhel vlka.

time-eating-kg Čas (počet kol), za který vlk sežere kilo masa.

max-hunting-time Doba (počet kol) trvání předloveckého ceremoniálu.

Atributy agenta wolf:

xcor X-ová souřadnice aktuální pozice.

ycor Y-ová souřadnice aktuální pozice.

posit Pozice vlka ve smečce, 0 značí alfu, 5 omegu.

lost Počet kol uplynulých od posledního spatření smečky.

energy Aktuální hodnota energie.

hunger Aktuální hlad.

stomach Míra zaplnění žaludku (hodnota = počet kg * 72).

thirst Aktuální žízeň.

temper Aktuální nálada.

feeding-last Počet kol uplynulých od posledního krmení.

feeding-second-last Počet kol uplynulých od předposledního krmení.

remains-meat True, pokud při ukončení posledního krmení zbývalo maso.

nearest-food Souřadnice nejbližších známých zbytků masa.

food-list Souřadnice známých zbytků masa.

water-list Souřadnice známých zdrojů vody.

nearest-water Souřadnice nejbližšího známého zdroje vody.

resting-time Počet kol uplynulých od začátku vlkova odpočinku.

feeding-time Počet kol uplynulých od začátku vlkova krmení.

drinking-time Počet kol uplynulých od začátku vlkova napájení.

hearing Hodnostní pozice a souřadnice vlků, které vlk právě slyší výt.

feeding True, pokud je aktivní podplán "jídlo".

hunting True, pokud je aktivní podplán "lov".

drinking True, pokud je aktivní podplán "pití".

sleeping True, pokud je aktivní podplán "spánek".

after-feeding True, pokud je aktivní podplán "po jídle".

resting True, pokud je aktivní podplán "odpočinek".

searching True, pokud je aktivní podplán "hledání".

Atributy *xcor*, *ycor*, *energy*, *hunger* a *thirst* lze pro každého vlka na začátku simulace nastavit z konfiguračního souboru.

6.4 Pozorování simulace a výstupy

Aplikace kromě znázorňování vlků a dalších agentů v prostředí ukazuje počet kol uběhlých od začátku simulace a směr větru. Pro každého vlka také zobrazuje graf hodnot žízně, hladu a energie v závislosti na čase. Textové popisy akcí vlků jsou vypisovány do textového panelu. Jsou rozděleny do několika kategorií, uživatel si může nechat vypisovat jejich libovolnou kombinaci. Před každým popisem je uvedena hierarchická pozice vlka provádějící akci a kolo, ve kterém byl popis vygenerován.

Kategorie popisů akcí:

1. Základní popisy (začátek a ukončení akce)
2. Doplnující popisy (informace o průběhu akce)
3. Popisy vizuální a zvukové komunikace vlků

Kromě textového panelu mohou být informace o simulaci také logovány do souboru. Buď ve stejném formátu, jako do textového panelu (vybrané kategorie se mohou pro textový panel a soubor lišit) nebo v tabulkovém módu pro další zpracování. V tomto módu každý vlk v každém kole do souboru na jednu řádku zaznamenává následující hodnoty: číslo kola, *posit*, *xcor*, *ycor*, *thirst*, *hunger*, *energy*, *stomach*, *temper*, *feeding*, *hunting*, *drinking*, *sleeping*, *after-feeding*, *resting*, *searching*.

Kapitola 7

Testy

Po dokončení aplikace jsem provedla sadu testů a pozorovala chování modelu. Globální parametry jsem se snažila nastavit podle skutečných pozorování uvedených v [2]. V případech, kdy se mi skutečné hodnoty nepodařilo zjistit (především v případech, kdy je model oproti skutečnosti zjednodušen), jsem použila odhady. Použité hodnoty parametrů jsou uvedeny v tabulce 7.1, pokud se v některém testu jejich nastavení liší, je to výslovně uvedeno.

Nyní představím jednotlivé testovací scénáře a jejich výsledky. Každý scénář byl navržen tak, aby záhy demonstroval jednu nebo více implementovaných částí chování vlka. Konfigurační soubory umožňující jejich opakování se nalézají na přiloženém CD.

7.1 Lov

Cílem testu je zjištění, zda celý sled loveckého a potravního chování a posléze i dalších činností probíhá tak, jak byl zamýšlen a jak to přibližně odpovídá skutečným pozorováním.

Popis. Výchozí nastavení parametrů aplikace - vlci se na začátku objevují uprostřed plochy, mají maximum energie a nulovou žízeň. Hodnota hladu je 14400, tedy je vyšší než α -hunger, ale nižší než critical-hunger . Vlci tedy nemají takový hlad, aby se oddělili od smečky, nicméně celá smečka by se měla organizovaně vydat na lov velké kořisti.

Test byl proveden pětkrát, simulace vždy běžela po 8640 kol (to odpovídá třem dnům).

Výsledky. Při spuštění simulace se celá smečka po proběhnutí předloveckého ceremoniálu vydává na lov. Ulovenou kořist vlci spotřebují během necelých dvou dnů, pak následuje nová lovecká výprava. Po celou dobu simulace smečka provádí všechny činnosti společně - lov, jezení, odpočinek, hledání vody, spánek i potulování se po teritoriu. Vlci tráví spánkem nebo

Název	Hodnota	Název	Hodnota
max-thirst	14400	hare-weight	5
max-hunger	74880	<i>max-scent-int</i>	20
max-energy	2880	number-of-deer	2
<i>critical-thirst</i>	8640	number-of-hares	10
<i>critical-hunger</i>	40320	amount-of-water	20
<i>alpha-thirst</i>	960	<i>time-eating-kg</i>	10
<i>alpha-hunger</i>	2880	<i>noise-dist</i>	30
<i>sight</i>	10	<i>bites-fatal</i>	5
sight-angle	180	<i>max-hunting-time</i>	10
deer-weight	150		

Tabulka 7.1: Hodnoty globálních parametrů při testech. Parametry, které byly jen odhadnuté, ať už z důvodu nepřesnosti pozorování, nebo v důsledku zjednodušení modelu, jsou psané kurzívou.

odpočinkem zhruba kýžených 16 hodin denně, uspokojování dalších potřeb také průběžně probíhá bez problémů a četnost lovu odpovídá skutečným pozorováním v situaci, kdy mají vlci dostatek kořisti.

7.2 Lov menších jelenů

Smyslem tohoto testu je odhalit chování modelu v případě, že hmotnost velké kořisti je nižší než hmotnost potravy, kterou je smečka schopna spotřebovat po jednom lovu.

Popis. Totéž jako scénář "Lov", ale tentokrát je nastaveno deer-weight = 100. Smečka je tedy schopná po ulovení kořisti během několika hodin spotřebovat celý úlovek, což vyvolává spory o potravu dříve, než v předchozím testu.

Test byl proveden pětkrát po dobu 2880 kol (jeden den).

Výsledky. Chování vlků je stejné jako v předcházejícím testu, jen s tím rozdílem, že vzhledem k nižší hmotnosti jelenů už během prvního dne nastávají spory o zbytek kořisti. Tento scénář je tedy vhodnější, pokud chceme co nejdříve pozorovat tuto komunikaci.

7.3 Lov malé kořisti

Cílem testu je pozorovat, jak proběhne vlkův lov malé kořisti a zda se posléze vrátí zpátky ke smečce.

Popis. Vlci se po spuštění scénáře objevují uprostřed plochy, mají maximum energie a nulovou žízeň. Až na jednoho také nemají hlad, jen vlk č. 4 jej má nastavený na 41000, tzn. je překonaná hranice critical-hunger. Očekávám, že potřeby vlků se postupem času vyrovnají a po uplynutí několika "dnů" simulace už nebude patrné, že výchozí nastavení potřeb jednoho vlka bylo odlišné od ostatních.

Test byl proveden pětkrát po dobu 5760 kol (dva dny).

Výsledky. Hladový vlk se okamžitě odděluje od ostatních a opatřuje si potravu v podobě malé kořisti. Po jejím spotřebování a následném odpočinku začíná hledat smečku. Pomocí vytí ji brzy nalezne a připojí se k ní, ale jen do doby, než se v její těsné blízkosti objeví zajíc. Toho se vydává ulovit a opět se tím odděluje od smečky, po krmení a odpočinku se k ní znovu připojuje. Druhý den se celá smečka na popud alfy vydává lovit. Po sežrání velké části kořisti jsou žízeň, hlad a energie vlka č. 4 naprosto srovnatelné s ostatními - z pouhých hodnot těchto atributů na konci druhého dne simulace nelze určit, který vlk začínal s odlišným nastavením.

7.4 Rozptýlená smečka

Cílem testu je vyzkoušet chování modelu v případě, kdy jsou od sebe jednotliví členové smečky vzdáleni.

Popis. V tomto scénáři jsou plně uspokojené všechny potřeby vlků kromě jediné - potřeby kontaktu se smečkou. Všichni vlci jsou rozptýleni ve vzdálenostech, které neumožňují jejich vzájemnou viditelnost (přesné polohy viz příslušný konfigurační soubor). Celá smečka se tedy musí seskupit dohromady jen na základě hlasové komunikace.

Test byl proveden desetkrát. Simulace byla vždy ukončena v okamžiku, kdy se smečka úspěšně shledala.

Výsledky. Smečka potřebovala ke shromáždění vždy 100 až 380 kol, tj. zhruba jednu až tři hodiny. To znamená, že smečka je schopna dát se dohromady dost rychle na to, aby to nijak nekomplikovalo uspokojování potřeb jednotlivých vlků. Vzhledem k neurčitému pojetí vzdáleností v implementaci kvůli potřebě simulovat zároveň události odehrávající se na velkém i velmi malém měřítku bohužel nelze čas nutný ke shledání srovnat se skutečností.

7.5 Shrnutí

Rozdíl mezi výše uvedenými scénáři se objevuje jen v krátkém čase po jejich spuštění. Důraz na soudržnost smečky a následování alfy, který prostupuje všemi plány, se ukázal být natolik silný, že po úvodní fázi hledání smečky nebo dobrovolného odloučení se od smečky v důsledku hladu se vlci opět spojují dohromady, jejich potřeby se postupně vyrovnávají a posléze již k žádnému vzdalování se od smečky nedochází. Každý ze scénářů se nakonec ustálí v prostém koloběhu lovu, pití a odpočinku, které provádí celá smečka společně.

Naprostá soudržnost smečky po celou dobu trvání scénáře (případně s výjimkou jeho počátku) je přirozeným vyústěním toho, že při použitém zjednodušení vlčího chování nemá smečka žádný důvod se rozdělovat. Všichni vlci jsou z fyziologického hlediska stejní, takže jejich potřeby se v průběhu času nemohou začít rozcházet. Kvůli podstatnému zjednodušení lovu se smečka nemůže ani krátkodobě rozdělit v jeho průběhu, což se ve skutečnosti při oddělování vybraného kusu od stáda často stává. Dalším důvodem k rozdělování smečky bývá výchova mláďat, která v modelu není vůbec zahrnuta.

Testy ukázaly, že navržený model je při nastavení parametrů odpovídajícím alespoň přibližně skutečnosti stabilní a zajišťuje soudržnost smečky a uspokojování biologických potřeb všech jejích členů. Zároveň scénáře dohromady demonstrují všechny okruhy vlčího chování, které byly zahrnuty do modelu.

Kapitola 8

Budoucí práce

V této kapitole navrhu směry, kterými by se mohlo ubírat rozšiřování tohoto projektu.

8.1 Další části sociálního chování

Hierarchie vlčí smečky je sice v krátkém časovém úseku ustálená, nicméně už při nedlouhém pozorování se ukazuje, že její dynamika je nezanedbatelná, hierarchie vlčí smečky je např. méně ustálená než hierarchie smečky psů.

Hierarchická struktura je dána rovnováhou sil. Zespodu působí tendence k sociální expanzi a proti ní působí snaha nadřazených zvířat udržet si svoje místo. Změny v postavení se často rozhodnou jediným bojem. Prohraný boj způsobí na určitou dobu psychický otřes tak silný, že zvíře může poklesnout o několik hodnostních stupňů. Tyto souboje však jen velmi zřídka končí zraněním, nebo dokonce smrtí - to souvisí s tím, že až na výjimky při boji o hodnostní postavení dochází jen k tlumené agresivitě.

Zdaleka ne vždy se ale při komunikaci mezi vlky jedná jen o signály sloužící k obraně svého vlastnictví nebo k posílení či zachování své pozice ve smečce. Vlci disponují širokou paletou výrazových prostředků sloužících k vyjádření přátelského vyladění nebo neutrálně laděného kontaktu a také si spolu často hrají, a to nejen vlčata.

Široká paleta komunikačních prostředků při soupeření o místo v hierarchii smečky a vliv jeho výsledku na jedince i smečku jako celek činí dynamiku hierarchie velmi zajímavou oblastí pozorování a tedy i zajímavým rozšířením projektu, totéž platí i o další komunikaci mezi vlky.

8.2 Detailnější zpracování lovu

V projektu je lov zahrnut hlavně jako nutná podmínka pro zisk kořisti. Proběhne symbolický předlovecký ceremoniál a poté se vlci vydají vyhledat osamocený kus zvěře, který záhy strhnou. Ve skutečnosti je lov mnohem slo-

žitější, jak je popsáno v kapitole 3.6. I při dokonalém souladu celé smečky jsou vlci v devíti případech z deseti neúspěšní. Plauzibilnější zpracování celého sledu událostí při lovu velké kořisti by obohatilo simulaci o další pozorování a model by byl opět o mnoho kompletnější. Zároveň se lov nevy-myká záběru projektu, tedy zahrnutí spíše každodenních drobných událostí a ne dlouhodobých procesů, např. vyrůstání vlčat apod.

Kapitola 9

Závěr

Vytvořila jsem zjednodušený model vlčího chování, který zahrnuje jen vybrané okruhy vlčího etogramu, a posléze jej implementovala v prostředí NetLogo. Toto prostředí se ukázalo jako velmi vhodné pro implementaci zjednodušených modelů nebo i velmi přesných modelů jednodušších jevů, nicméně v případě větší komplexity modelu by už asi bylo vhodnější použít prostředí vytvořené přímo na míru konkrétním požadavkům.

Problémy mi při vytváření modelu působil zejména fakt, že ačkoli je vlčí chování v současné literatuře velmi zevrubně popsáno, pořád ještě zbývají detaily, které je obtížné zjistit, nebo jsou pro pozorovatele celkem nepodstatné (například: Jak přesně vlk hledá kořist, pokud ji ani nevidí, ani necítí? Podle jakých zákonitostí se smečka pohybuje, když zrovna neloví?). Tyto nepřesnosti mě občas nutily chování jen přibližně napodobit. Dalším problémem byla nutnost zjednodušení modelu kvůli tomu, aby pokrýval více částí chování a alespoň trochu vlky napodoboval - do nejmenších detailů v modelu napodobit by i jeden okruh etogramu se ukázalo být velmi ambiciózním projektem, který by navíc nejspíš vyžadoval odborné zoologické vzdělání.

Testy nicméně ukázaly, že při nastavení parametrů na hodnoty alespoň přibližně odpovídající skutečnosti smečka fungující podle tohoto modelu vykazuje stabilní chování zachovávající její soudržnost a uspokojení biologických potřeb jejích členů. Zároveň jsou v modelu zahrnuty některé aspekty vlčí komunikace, výsledná aplikace by se tedy dle mého názoru dala použít kromě odborných vědeckých experimentů i pro seznamování laiků se základy etologie těchto psovitých šelem.

Literatura

- [1] Lorenz, K.: Základy etologie. Academia, Praha 1993.
- [2] Mech, L. D.: The Wolf - The Ecology and Behavior of an Endangered Species. University of Minnesota Press, Minneapolis 2003.
- [3] Mikulica, V.: Poznej svého psa. Státní zemědělské nakladatelství, Praha 1985.
- [4] Tomlinson, W.: Synthetic Social Relationships for Computational Entities. Ph.D. Thesis. Media Laboratory, Massachusetts Institute of Technologies 2002.
- [5] Tyrrell, T.: Computational Mechanisms for Action Selection. Ph.D. Thesis. Centre for Cognitive Science, University of Edinburgh 1993.
- [6] Wilensky, U.: NetLogo. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University 1999.

Dodatek A

Plány

Plány pro výběr akcí vlků, neuvedené v kapitole 5.3:

Podplán "lov":

1. (*doba ceremoniálu* > *maximální doba ceremoniálu*) **and** (*pozice* = *alfa*) -> aktivuj jídlo
2. (*doba ceremoniálu* > *maximální doba ceremoniálu*) **and** (*pozice* != *alfa*) -> vykoněj krok podplánu následování (následuj alfu)
3. -> proved' akci předloveckého ceremoniálu (kňučení, olíznutí čumáku blízko stojícího vlka nebo výzva ke hře)

Podplán "jídlo":

1. (živý zajíc zde) **and** (**not** lov) **and** (nepamatuješ si žádnou polohu masa) -> zabij zajíce, pokračuj v procházení plánu
2. (**not** mrtvý jelen zde) **and** (živý jelen zde) -> zaútoč na jelena, pokud je mrtvý, pokračuj v procházení plánu
3. (mrtvý jelen zde) **and** (*hmotnost jelena* < *kritická hmotnost*) -> pokus se přivlastnit si zbytek masa, pokud se to nepodaří, deaktivuj jídlo a lov a aktivuj po jídle, jinak pokračuj v procházení plánu
4. mrtvá kořist zde -> jez, pokud máš plný žaludek, deaktivuj jídlo a lov, zapamatuj si souřadnice zbytků a aktivuj po jídle
5. kořist, kterou jsi jedl, byla spotřebována -> deaktivuj jídlo a lov, aktivuj po jídle
6. (vidíš mrtvého jelena) **or** (vidíš jelena **and** lov) -> popojdi k nejbližšímu jelenovi

7. (vidíš zajíce) **and** (**not** lov) **and** (nepamatuješ si žádnou polohu masa)
-> popojdi k nejbližšímu zajíci
8. (cítíš jelena) **and** lov -> popojdi podle pachu
9. (cítíš zajíce) **and not** lov **and** (nepamatuješ si žádnou polohu masa)
-> popojdi podle pachu
10. (nepamatuješ si žádnou polohu masa) **and** (**not** lov **or** *pozice = alfa*)
-> popojdi
11. (nepamatuješ si žádnou polohu masa) **and** (*pozice != alfa*) -> následuj
alfu
12. jsi poblíž místa, kde by měly být zbytky, ale nevidíš je -> vymaž
polohu z paměti, pokračuj v procházení plánu
13. (nepamatuješ si žádnou polohu masa) **and** (**not** lov **or** *pozice = alfa*)
-> popojdi
14. (nepamatuješ si žádnou polohu masa) **and** (*pozice != alfa*) -> následuj
alfu
15. -> popojdi k nejbližšímu známému místu se zbytky

Podplán "po jídle":

1. *potřeba napít se* -> aktivuj pití
2. (z kořisti nezbyly zbytky) **and** (voda zde) -> popojdi
3. (z kořisti nezbyly zbytky) **and** (nepřítomnost vody) -> deaktivuj
po jídle, aktivuj odpočinek
4. (souřadnice odpovídají souřadnicím zbytků masa) **and** (zbytky jelena
zde) **and** (za poslední den jsi jedl dvakrát) **and** (zbytky masa nejsou
zahřabané) -> zahrab zbytky masa, pokračuj v procházení plánu
5. (souřadnice odpovídají souřadnicím zbytků masa) **and** (zbytky jelena
zde) -> deaktivuj po jídle, aktivuj odpočinek
6. souřadnice odpovídají souřadnicím zbytků masa -> odstraň souřad-
nice z paměti, *zbývají zbytky = false*, deaktivuj po jídle, aktivuj odpočinek
7. -> popojdi ke zbytkům masa

Podplán "odpočinek":

1. ((žaludek je prázdný) **and** ((*pozice = alfa*) **or** (*alfa* není v dohledu))) **or** ((*pozice != alfa*) **and** (*alfa* je v dohledu) **and** *alfa* nemá aktivovaný odpočinek) **and** (jedl jsi dnes nejvýše jednou) **and** (zbylo maso) -> aktivuj jídlo, deaktivuj odpočinek
2. ((žaludek je prázdný) **and** ((*pozice = alfa*) **or** (*alfa* není v dohledu))) **or** ((*pozice != alfa*) **and** (*alfa* je v dohledu) **and** *alfa* nemá aktivovaný odpočinek) -> deaktivuj odpočinek
3. -> odpočívej

Podplán "hledání":

1. v blízkosti je *alfa* -> popojdi k němu, deaktivuj hledání
2. v dohledu jsou jiní vlci -> popojdi k tomu nejvýše postavenému z nich
3. -> zavýj

Podplán "hledání 2":

1. slyšíš vytí výše postaveného vlka -> popojdi směrem k němu
2. -> popojdi

Podplán "následování":

1. (lov následovaného) **and** (**not** jídlo následovaného) -> aktivuj lov
2. (pítí následovaného) **and** (voda v blízkosti) **and** (následovaný ještě nezačal pít) -> aktivuj pítí
3. pítí následovaného -> popojdi k následovanému
4. (jídlo následovaného) **and** (jelen v blízkosti) **and** (lov **or** jelen je mrtvý) -> aktivuj jídlo
5. (jídlo následovaného) **and** (zajíc v blízkosti) **and** (**not** lov) -> aktivuj jídlo
6. jídlo následovaného -> popojdi k následovanému
7. (spánek následovaného) **and** (*energie < nealfa energie*) -> aktivuj spánek
8. -> popojdi k následovanému

Podplán "spánek":

1. ((*energie* = *maximální energie* / 2) **and** (*pozice* = *alfa* **or** *alfa* není v dohledu)) **or** (((*žízeň* > *žízeň k probuzení*) **or** (*hlad* > *hlad k probuzení*)) **and** (*energie* > *minimální energie*)) **or** (*pozice* != *alfa* **and** *alfa* v dohledu **and** *alfa* nemá aktivovaný spánek) -> deaktivuj spánek
2. -> pokračuj ve spánku

Dodatek B

Obsah CD

Na přiloženém CD se nalézají:

- zdrojový kód modelu spustitelný v NetLogu 3.1 a vyšším
- konfigurační soubory použité k testům
- uživatelská a programátorská dokumentace projektu
- tato práce ve formátu PDF