

Diplomová práce

Rozšiřující SW robotů,
vycházející z poznatků etologie a genetiky
(MODEL ADAPTACE CHOVÁNÍ)

Obsah:

1. PŘEDMLUVA	4
2. ÚVOD	Chyba! Záložka není definována.
3. MOBILNÍ ROBOTY A JEJICH ŘÍDÍCÍ SYSTÉMY	Chyba! Záložka není definována.
3.1 HISTORIE	Chyba! Záložka není definována.
3.2 ŘÍDÍCÍ SYSTÉMY MOBOTŮ	Chyba! Záložka není definována.
3.2.1 Klasický řídicí systém.....	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
3.2.2 Vrstvený řídicí systém	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
3.3 ETOLOGICKÉ PRINCIPY V ŘS MOBOTŮ	Chyba! Záložka není definována.
4. ETOLOGIE.....	Chyba! Záložka není definována.
4.1 FYZIOLOGICKÉ MECHANISMY CHOVÁNÍ.....	Chyba! Záložka není definována.
4.1.1 Dědičně koordinované neboli instinktivní chování.....	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
4.1.2 Vrozený spouštěcí mechanismus (AAM)	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
4.1.3 Komplexní systémy chování	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
4.2 ADAPTIVNÍ MODIFIKACE CHOVÁNÍ.....	Chyba! Záložka není definována.
4.2.1 Procesy učení.....	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
4.3 TECHNICKÉ VYUŽITÍ POZNATKŮ ETOLOGIE	Chyba! Záložka není definována.
5. EVOLUCE A GENETIKA	Chyba! Záložka není definována.
5.1 VÝVOJ TEORIE EVOLUCE.....	Chyba! Záložka není definována.
5.2 BIOLOGICKÁ EVOLUCE.....	Chyba! Záložka není definována.
5.3 EVOLUČNÍ MECHANISMY	Chyba! Záložka není definována.
5.4 GENETIKA.....	Chyba! Záložka není definována.
5.5 OBLASTI TECHNICKÝCH APLIKACÍ	Chyba! Záložka není definována.
6. UMĚLÁ INTELIGENCE	Chyba! Záložka není definována.
6.1 VÝVOJ UI	Chyba! Záložka není definována.
6.2 PŘEHLED METOD A ALGORITMŮ UI.....	Chyba! Záložka není definována.
6.3 APLIKAČNÍ OBLASTI UI.....	Chyba! Záložka není definována.
6.4 EVOLUČNÍ ALGORITMY	Chyba! Záložka není definována.
6.4.1 Historie EA	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
6.4.2 Jednotlivé směry v EA.....	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
6.5 NEURONOVÉ SÍTĚ.....	Chyba! Záložka není definována.
6.5.1 Umělé neuronové sítě.....	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
6.5.2 Typy neuronových sítí.....	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
6.5.3 Aplikační oblasti NS.....	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>

6.5.4 <i>Expertní systémy na bázi NS</i>	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
7. NÁVRH A ŘEŠENÍ PROJEKTU	Chyba! Záložka není definována.
7.1 NÁVRH PROJEKTU	Chyba! Záložka není definována.
7.1.1 <i>Definice požadavků na systém</i>	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
7.1.2 <i>Specifikace modelu systému</i>	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
7.1.3 <i>Definice prostředí simulátoru</i>	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
7.1.4 <i>Volba řídicího systému</i>	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
7.1.5 <i>Definice mechanismu adaptace systému</i>	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
7.2 REALIZACE PROJEKTU	Chyba! Záložka není definována.
7.2.1 <i>Model systému</i>	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
7.2.2 <i>Adaptace systému</i>	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
7.3 SMĚRY DALŠÍHO MOŽNÉHO VÝVOJE PROJEKTU	Chyba! Záložka není definována.
7.4 POPIS FUNKCE A OVLÁDÁNÍ PROGRAMU	Chyba! Záložka není definována.
8. ZÁVĚR	Chyba! Záložka není definována.
9. POUŽITÁ LITERATURA	Chyba! Záložka není definována.
10. PŘÍLOHY	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.
10.1 OBSAH PŘILOŽENÉ DISKETY	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.

1. Předmluva

Již od nepaměti se člověk z přírody učil a tyto poznatky pak využívat v získávání potravy, obraně před dravci či ochraně před počasím. Později, jak se postupně oprostil od přímé závislosti na přírodě, začal tyto znalosti využívat, buď jako inspirační zdroj pro svou kreativní činnost v umění či technice, nebo k tomu, aby hlouběji porozuměl základním zákonům přírody.

Člověk se snaží tyto zákony formulovat, a to pokud možno co nejobecněji, aby měli co nejširší platnost. Tento trend, vytváření univerzálně platných zákonů, graduje v posledních desetiletích, kdy dochází ke slučování jednotlivých, dříve izolovaných teorií a vzniká např. *Teorie elektromagnetického pole* nebo *Obecná teorie relativity*.

K podobné situaci dochází i v případě Darwinovi teorie „**O původu druhů**“ (Teorie evoluce) a Mendelovi „**Nauky o dědičnosti**“ (Genetiky), kdy v 40. a 50. letech tohoto století na základě spojení poznatků obou teorií vzniká tzv. *Syntetická teorie evoluce*. Evoluční zákony mají nejen zásadní význam z hlediska vzniku a vývoje života, ale v obecnější podobě jsou patrně jedním z hlavních principů vzniku a vývoje světa - vesmíru, hmoty.

Využívání různých přírodních principů v technice není sice ničím novým, ale v poslední době je znatelný nástup technologií přímo vycházejících z oborů jako je biologie, genetiky, evoluce, etologie, psychologie a další.

2. Úvod

Moje diplomová práce je součástí výzkumu skupiny mobotiky působící na katedře řídicí techniky na ČVUT FEL Praha pod vedením Doc. ing. Pavla Nahodila CSc.

Výzkum této skupiny je zaměřen na vývoj hardwarových a softwarových prostředků pro autonomní mobilní roboty (moboty), které budou schopny rychlých reakcí na zvolené podněty, a které budou na tyto podněty reagovat z pohledu uživatele „inteligentně“. V současné době je součástí našeho výzkumu snaha začlenit nové poznatky o způsobu „řízení“ chování živočichů z oblastí biologie, které se zabývají studiem chování živočichů, jako je např. etologie, sociologie a psychologie. Záměrem je pak využít takové metody a modely řízení, které umožňují velmi rychlé a spontánní reakce systému mobota (instinktivní chování), podobně jak je tomu u živočichů.

Cílem mojí diplomové práce je vytvořit „model adaptace chování“ jedince (mobota) v určitém prostředí, na kterém bych demonstroval základní principy evolučních a behavioristických teorií, popř. i ukázal možnosti využití těchto principů pro technické aplikace. Tím se analýza a řešení problému dělí na dvě základní části.

Cílem první části mé práce je vytvořit takový *model chování*, který by co nejlépe odpovídal poznatkům o chování živých systémů, byl zároveň snadno technicky realizovatelný, a který by byl otevřený případným modifikacím při adaptaci. Cílem tedy není vytvořit přesný model chování, resp. řízení chování, jaký je v živých systémech, ale využít vlastnosti a principy výhodné a perspektivní pro aplikace v technických systémech. Některé myšlenky týkající se tohoto modelu jsem již uvedl pod názvem „Model chování“ v loňském ročníku studentské odborné konference „POSTER 96“.

Cílem druhé části je vytvořit *model adaptace chování* systému v daném prostředí. Tato adaptace vychází ze základních evolučních principů a je založena na modifikacích vlastností systému a následném výběru výhodných modifikací. Tento výběr je prováděn na základě zvolených kritérií, vycházejících z charakteru prostředí a vlastností chování systému v tomto prostředí. Cílem je pak „nastavit“ u jednotlivých jedinců takové chování, které by bylo pro dané prostředí nejvýhodnější.

Text diplomové práce je členěn na následující kapitoly:

- První a druhá kapitola předmluva a úvod.
- Ve třetí kapitole se zaměřím na popis vývoje a současného stavu v oblasti mobilních robotů, resp. autonomních instinktivních mobilních robotů a to především z pohledu koncepce řídicích systémů.
- Ve čtvrté kapitole podrobněji nastíním základní teze etologie. Vytvořím zde stručný přehled principů a modelů, které se k jednotlivým typům chování živočichů vztahují a naznačím jejich možné využití v aplikované robotice.
- V páté kapitole se zaměřím na popis teorie evoluce a genetiky. Popíši jejich hlavní principy, ze kterých jsem vycházel při koncipování adaptace chování a naznačím oblasti jejich možné aplikace.
- V šesté kapitole se budu věnovat umělé inteligenci a jejím metodám. Zaměřím se především na oblast neuronových sítí a genetických algoritmů, které ve své práci využívám.
- V sedmé kapitole popíši návrh řešení a způsob realizace vlastního projektu.
- Kapitoly osm, devět a deset pak obsahují závěr, seznam použité literatury a přílohy.

3. Mobilní roboty a jejich řídicí systémy

Tato kapitola je stručným přehledem vývoje a současného stavu v oblasti robotů. Zaměřím se zde především na mobilní roboty a popis některých typů řídicích systémů těchto robotů. Při psaní této kapitoly jsem vycházel z literatury [9],[10],[11].

3.1 Historie

Záznamy o touze a pokusech vytvořit umělou bytost, umělého jedince doprovázejí dějiny lidstva snad od nepaměti. Jako příklad mohou sloužit nejrůznější pověsti a legendy o vytvoření „umělého člověka“. Pověst „*O pražském golemovi*“ patří mezi nejznámější z nich.

V období renesance, kdy dochází v Evropě k rozkvětu filosofie a přírodních věd - matematiky, fyziky, mechaniky, astrologie či medicíny, se objevují již první komplikované mechanické stroje, jako např. *kyvadlové hodiny*, astroláby. Později jsou vytvářeny i různé pohyblivé napodobeniny lidí a zvířat, které však sloužily spíše pro pobavení, nebo jako hračky dětem.

Ve třicátých letech tohoto století pak, na základě slavné hry Karla Čapka „R.U.R.“, vzniká pojem „robot“, označující automatické zařízení. První prakticky použitelný robot byl vyvinut pro hlídání hladiny vody v nádrži vodojemu. Další vývoj pak směřoval především cestou vytváření různých typů manipulátorů, které sloužily k „manipulacím“ s různými předměty. Jejich hlavním úkolem bylo zbavit člověka těžké a namáhavé práce a oddělit ho od nebezpečného nebo škodlivého prostředí.

První **průmyslový robot** byl zkonstruován v roce 1962 a patřil ještě do první generace robotů řízených bez zpětné vazby. Od té doby prošla oblast průmyslových robotů prudkým vývojem. V současné době jsou konstruovány plně automatizované linky a dokonce celé provozy, kde se člověk vlastního výrobního procesu vůbec neúčastní a funguje zde spíše jako dispečer a kontrolor kvality výroby.

Mezi první a nejznámější mobilní roboty patří mobot **SHAKEY(1969)**, vyvinutý výzkumným ústavem Stanford Research Institute, Artificial Intelligence Group, v Kalifornii, USA. Tento mobot se dokázal pohybovat v prostředí tvořeném z několika místností v nichž se nacházely krabice různých rozměrů. SHAKEY byl schopen vyhýbat se překážkám a

přesunovat krabice podle zadaného cíle. Mobot měl **kognitivní ŘS** s klasickým uspořádáním (viz.podkapitola 3.2.1).

Dalším příkladem realizovaného mobilního robota je mobilní autonomní robot **IPAMAR** (IPA Mobile Autonomous Robot) realizovaný firmou IPA ze Stuttgartu v NSR. Tento mobot byl určen pro převážení nákladů po tovární hale a pro tento účel byla pro něj vyvinuta nová řídicí architektura nazvaná *integrated sensor action planning* (plánování pomocí integrace senzorů a akcí).

Podstatou tohoto způsobu řízení je, že externí počítač obsahující globální plán prostoru určuje mobotu úkol a prostřednictvím infračervené datové linky mu jej předává. Mobot jej přijme, naplánuje sekvenci akcí vedoucích ke splnění úkolu a pak začne jednotlivé akce vykonávat. Současně však kontroluje jejich proveditelnost. Hlásí-li mu senzory neočekávanou situaci (např. v cestě je překážka) přeruší vykonávanou činnost a daný stav řeší (např. zastaví před překážkou).

Významnou skupinou zabývající se od 80. let výzkumem mobotů je laboratoř UI při Massachusetts Institute of Technology (MIT), v Californii, USA. Zde byly realizovány úspěšné kolové moboty **Allen, Herbert**, jejichž úkolem bylo mechanickou rukou sbírat pohozené plechovky od Coca-coly a shromažďovat je na jednom místě. Dále zde bylo vytvořeno několik menších kolových mobotů např. **Tom** a **Jerry** jejichž úkolem bylo pohybovat se rychle v neznámém prostředí bez vytváření map světa, vyhýbat se překážkám a navíc, úlohou Toma bylo sledovat Jerryho.

V poslední době laboratoř zkonstruovala ještě několik šestinohých mobotů tzv. *hexapodů* (např. **GENGHIS**). Všechny zmíněné moboty jsou vybaveny ŘS na bázi **vrstvé architektury** (podrobněji v kap. 3.2.2).

Samostatnou oblastí vývoje jsou automatická zařízení používaná v automatických kosmických stanicích určených pro výzkum vesmíru. Ty jsou používány pro získávání údajů o Zemi a dalších planetách - automatické sondy. Jedním z typů těchto automatů jsou také samohybná zařízení určená pro výzkum povrchu planet. Jedním z nejznámějších je Lunochod. Nedávno bohužel nešťastně skončil velmi ambiciózní mezinárodní program výzkumu povrchu planety Mars, kde měl být také použit „Marsochod“, realizovaný jako šestikolový mobilní robot.

3.2 Řídící systémy robotů

Obecné schéma robota je možné rozdělit do následujících funkčních podsystémů:

- senzorický
- motorický (manipulační, lokomoční)
- řídicí

Senzorický systém, resp. senzor přijímá a předzpracovává informace zevnitř i okolí robota a výsledné informace pak předává řídicímu systému. Někdy jej dále členíme na vlastní *receptory*(senzory) a podsystém *zpracování a výběru dat*.

Motorický systém zajišťuje pohyb robota a také manipulační pohyby jeho jednotlivých pracovních elementů. Může být tvořen dvěma podsystémy - *lokomočním podsystémem*, který zajišťuje pohyb celého robota v prostoru a *manipulačním podsystémem*, který zajišťuje vykonávání všech manipulačních pohybů prostřednictvím pracovních ramen.

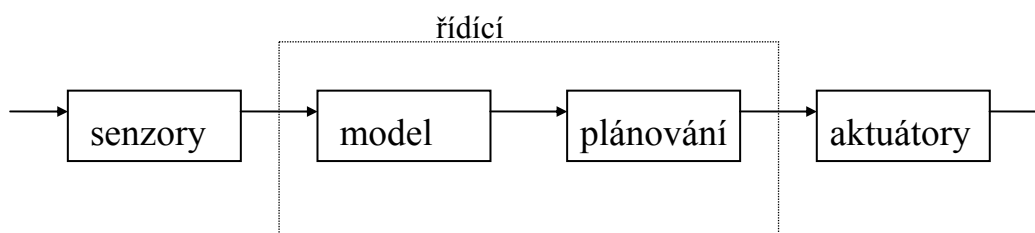
Mobilní robot je oproti *stacionárnímu robotu* takový typ robota, který může provádět globální pohyby, tedy přesuny celého svého těla, bez použití dalšího speciálního zařízení (např. kolejí, vodícího pásu atd.). K tomuto pohybu jsou nejčastěji používány pásy, kola, či nohy.

Řídicí systém je část robota zabezpečující příjem informací od senzorického systému nebo od nadřazeného řídicího centra. Tyto informace dále podle zadaného programu zpracovává a vydává výkonové povely pro řízení vlastního robota, či jemu podřízených částí řízeného procesu. Prostřednictvím řídicího systému tak robot může vykonávat *cílenou činnost*, což je právě vlastnost, které nás na robotech jako takových nejvíce zajímá.

3.2.1 Klasický řídicí systém

Pod tímto pojmem rozumíme řídicí systém klasických robotů používaných ve výrobním procesu (průmyslových robotů).

Základním rysem tohoto přístupu je vytváření vnitřní reprezentace světa (mapy světa). Dalším důležitou vlastností těchto systémů je to, že senzory a aktuátory jsou periferie **jedné centrální řídicí jednotky**. Řízení v těchto systémech probíhá v několika za sebou následujících krocích (Obr.č. 3.1).



Obr.č. 3.1. Klasický řídicí

Činnost systému je následující. Na základě dat získaných ze senzorů se vytváří vnitřní reprezentace světa - model. Pomocí tohoto modelu pak plánovací systém vytváří vhodný plán jednotlivých akcí. Ty jsou pak v podobě řídicích povelů předávány motorickému systému, kde jsou jednotlivými aktuátory mobota realizovány.

Mobot vybavený klasickým ŘS (např. Shakey) dokáže sám podle zadaného cíle vytvořit plán akcí k jeho splnění, pouze na základě znalosti obecných vlastností prostředí a povolených akcí, a to je nejvýraznější kladná vlastnost klasického ŘS.

Tento způsob řešení však také naráží na několik dílčích problémů.

- složitost reálného prostředí

Reálné prostředí v němž by se měl robot pohybovat je natolik komplexní a složité, že ho není možno v potřebném rozsahu a dostatečné rychlosti rozpoznat a orientovat se v něm. Dále pak vnitřní model, podle něhož se systém pohybuje by měl být přesný a detailní, což vede při rostoucí složitosti prostředí k úměrnému zvýšení nároků na vnitřní reprezentaci.

Proto je pro takto koncipované typy robotů nutno definovat zjednodušené, specifické prostředí v němž je schopen se pohybovat.

- rychlost

Velkou *slabinou* těchto *klasických* ŘS jsou neúměrně dlouhé časové úseky mezi vznikem podnětu, jeho vyhodnocením a reakcí na něj, které jsou způsobené nutností zpracovávat veliké množství dat. Ani použitím nejvýkonnějších řídicích počítačů nelze dosáhnout u tohoto typu ŘS odezvu kratší než řádu desítek sekund, když neplánují (jen tvoří mapu světa a pohybují se podle ní) a řádu minut, v případě plánování, což je z hlediska použitelnosti v reálném světě velmi dlouhá doba odezvy.

- náročnost realizace (cena)

Struktura klasických ŘS klade vysoké nároky na množství a kvalitu informací získaných ze senzorů a na rychlost jejich zpracování. Tomu odpovídá i výsledná cena takového systému.

Hlavně z těchto důvodů se hledaly jiné alternativní způsoby realizace ŘS a již od konce osmdesátých let se začínají pomalu objevovat architektury, které jsou skutečně *kvalitativně a principiálně dokonalejší*.

3.2.2 Vrstvený řídicí systém

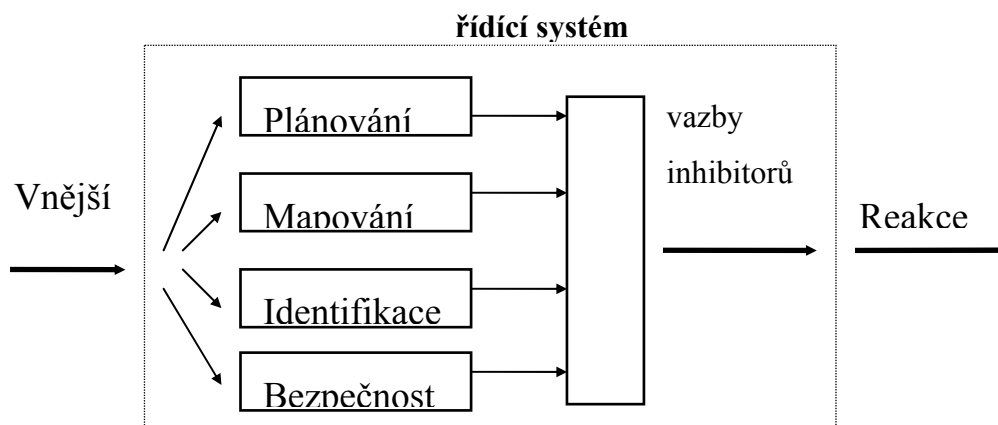
S ohledem na vlastnosti robotů s klasickým ŘS, byly při vytváření nových typů řídicího systému mobilního robota definovány vlastnosti, které budeme od robota vyžadovat.

- robot by měl včas reagovat na podněty
- robot by měl být robustní vůči změnám okolního prostředí
- robot by měl realizovat své činnosti s ohledem na své okolí

Na základě takto formulovaných požadavků vzniká nová koncepce tzv. *reaktivních robotů*, tj. robotů bezprostředně reagujících na podněty z okolí.

Velmi perspektivním přístupem v této oblasti je přechod od sériového řazení operací řídicího systému k paralelnímu řazení. Všechny činnosti ŘS se zde dekomponují na *úkolově*

orientované chování. Jako jeden z nejvýhodnějších způsobů realizace se jeví architektura řídicího systému na bázi **vrstvené architektury (subsumption architecture)**, vyvinuté na MIT (viz. Obr.č.3.2.).



Obr.č. 3.2 Vrstvený řídicí systém

Celý řídicí systém je tvořen z hierarchicky uspořádaných vrstev, kde každá vrstva realizuje jistou dovednost a na ostatních vrstvách je nezávislá. Jednotlivé vrstvy jsou vzájemně propojeny a svázány vazbami inhibitorů (potlačení vstupu z nadřazené vrstvy) a supresorů (potlačení vstupu z podřízené vrstvy).

Výsledné vlastnosti systému jsou následující:

- řízení není centrální, ale je distribuované a struktura ŘS je paralelní.
- není zde žádná vnitřní reprezentace světa.
- každá vrstva pracuje samostatně, a proto si i při výpadku některé vrstvy systém zachová *rozumné* chování. Tím je tento typ ŘS velmi robustní.
- chování celého systému je autonomní, velmi dynamické a závisí na momentální situaci okolí.

ŘS postavené na základě vrstvené architektury lze označit jako **robustní, velmi pružné a rychlé**, což jsou vlastnosti u mobilních robotů velmi žádané. Později se v souvislosti s tímto výzkumem objevují vrstvené ŘS rozšířené o *zabudované reflexy*, kde systém, resp. jeho akční členy přímo (spontánně) reagují na určité podněty ze senzorů.

Pattie Maes v roce 1993 navrhla strukturu řídicího systému, kde chování systému je dáno působením jak vnějších podnětů, tak vnitřních stavů motivací mobota. Výběr výsledného chování je prováděn distribuovaným způsobem pomocí paralelních lokálních vazeb mezi jednotlivými typy aktivit (formou soutěže mezi jednotlivými chováními) a mezi aktivitami a prostředím. Výsledkem je více flexibilní, robustní a plynulý výběr chování.

Další velmi přínosné práce v oblasti reaktivních typů robotů pak pocházejí od R.A. Brookse, který se v nich zabýval otázkou vzájemného vztahu úrovně reprezentace světa a úrovně inteligence řídicího systému, či Eranna Gata, který se soustředil na rozbor významu plánování a vnitřního stavu systému.

Lze říci, že obecný přístup reaktivistů, k řešení požadovaných vlastností ŘS (tj. hlavně rychlost a dynamičnost), je minimalizovat dobu zpracování informací a množství vnitřních dat tím, že nepoužívají časově náročné výpočty a vnitřní reprezentace světa. Nevýhodou tohoto přístupu jsou na druhou stranu jistá omezení z hlediska rozsahu a složitosti prováděných činností, které je takový mobilní robot schopen vykonávat (není schopen realizovat složitější vzorce chování) a tím tedy i jeho celkové „inteligence“.

Proto je další výzkum zaměřen na konstrukci kombinovaných systémů, vyžívajících výhod obou typů řídicích systémů. Využívají se zde poznatky z umělé inteligence a rozpoznávání, metody vnitřní reprezentace, ale také reaktivního řízení a vrstevnaté architektury.

3.3 Etologické principy v ŘS mobotů

Snaha využívat některých přírodních principů, především poznatků o způsobu chování živočichů, při konstrukci řídicích systémů, je logické vyústění hledání nových způsobů řízení mobilních robotů. Je to jeden ze směrů, který se obzvláště v poslední době začíná těšit velké pozornosti. Jeden z prvních případů využití těchto metod je výše zmíněná práce Pattie Maes.

Etologie, neboli **srovnávací výzkum chování**, je součástí zoopsychologie, či ekologie chování. Studuje životní projevy a chování živočichů. Analyzuje formy vrozeného chování a působení motivací na výsledné chování zvířat. Dále studuje mechanismy učení či adaptace organismu vzhledem k prostředí v němž se nachází.

Při aplikaci výše zmíněných mechanismů není snaha je přesně kopírovat do všech podrobností, ale využít některých objevených principů vhodných pro realizaci řídicích systémů mobotů. Poslední výzkumy v oblasti neurobiologie a etologie ukazují, že jediný, centralizovaný řídicí systém, vytvářející si vnitřní reprezentaci světa, podle které plánuje a jedná, není pro cílově orientované jednání podmínkou nutnou. Naopak bylo prokázáno, že jednání mnohých živočichů lze pochopit spíše jako soubor celé řady vzájemně do značné míry nezávislých a jednoduchých vzorců chování.

Požadovaným výsledkem aplikace přírodních principů by měly být autonomní systémy konativního typu (z lat. conatus-snaha, úsilí), tedy systémy schopné mít vlastní dílčí motivaci k jednání a samostatně si určovat lokální cíle (při pevném globálním cíli). Sloučením výstupů jednotlivých modulů(chování) vhodnou arbitrážní sítí pak vzniká výsledné chování jedince(robota). Takto pojatý systém je snadno rozšiřitelný, robustní a vzhledem k tomu, že není vázán pevným předpřipraveným plánem je schopen pružně reagovat na změny v dynamickém okolním prostředí.

Jedním z pracovišť aktivně zapojených do výzkumu mobilních robotů je i mobotická skupina na katedře řízení elektrotechnické fakulty ČVUT v Praze. Probíhají zde různě cílené výzkumy uplatnění poznatků z etologie a dalších přírodních věd, umělé inteligence a dalších oborů při konstrukci řídicích systémů mobilních robotů.

Jednou z prací na toto téma je i moje diplomová práce. Proto se v následujících třech kapitolách zmíním o hlavních oblastech, které mi sloužily jako inspirace a zdroj informací při realizaci vlastního projektu. Hned v následující kapitole podrobněji popíšu některé základní modely a principy chování živočichů.

4. Etologie

V této kapitole se budu věnovat některým poznatkům z oblasti biologie, resp. etologie, které jsou velmi bohatými a podnětnými zdroji inspirace pro různé typy technických aplikací. Informace pro tuto část jsem čerpal z literatury [1],[2],[3].

Jak jsem již uvedl v předchozí kapitole, právě poznatky z biologie byly podnětem ke vzniku nových řídicích systémů pro mobilní roboty. Zaměřím se zde především na oblast související s motivací, čili spouštěním a řízením chování, jejíž hlavní myšlenky byly pro mne základem při vytváření koncepce celého řídicího systému *modelu chování*.

Nejprve si definujme některé základní vlastnosti živých organismů, které jsou pro ně typické, a kterými se liší od ostatních systémů. *Jedinec (živý organismus)* je hierarchicky uspořádaná, termodynamicky otevřená, autoregulující se nukleoproteinová soustava s vlastnostmi jako je metabolismus, autoreprodukce a nutnost vyvíjet se.

Živé organismy jsou schopny udržovat, popř. zvyšovat svoji vlastní uspořádanost atím se zcela zásadně liší od neživé přírody, která podléhá fyzikálním zákonům, jako je zákon růstu entropie (neuspořádanosti). Růst organismu tedy není pouze jev kvantitativní, kdy narůstá hmota, ale i kvalitativní, neboť roste složitost vnitřní struktury organismu (viz. semínko - dospělá rostlina). Všechny živé organismy však mají geneticky definovaný životní cyklus, který definuje průběh a délku jednotlivých fází života organismu jako je růst, dospělost, stárnutí a smrt.

Zásadní rozdíl mezi *živými* a *neživými systémy* je tedy v tom, že základní stavební prvky organismu - buňky jsou schopny adaptace a určité autonomní činnosti (např. přerušný nerv doroste opět do původního místa jinou cestou) a jsou nositelé genetické informace, která specifikuje činnost a vlastnosti dané buňky i celého organismu.

Zde leží obrovská propast mezi složitostí a vlastnostmi živých organismů a realizačními možnostmi současné techniky, a proto v technické praxi není snaha živé systémy kopírovat, ale využívat principy, na kterých jsou založeny a ty pak vhodným způsobem technicky realizovat (např. vzor - vážka => technická realizace - vrtulník).

4.1 Fyziologické mechanismy chování

Jeden z hlavních vlivů na chování organismu má jeho metabolismus, resp. soubor metabolických procesů jež jej tvoří.

Metabolické procesy jsou procesy související s přeměnou látek a energií uvnitř organismu a jsou v živé soustavě regulovány homeostázou (pomocí ZV) v závislosti na jejím okamžitém vnitřním stavu a vnějším okolí. Proto se také živé soustavy řadí mezi adaptivní systémy, které reagují na změny okolí změnami svých vnitřních stavů, a to způsobem pro ně výhodným => **účelné chování**.

Homeostáza je regulační okruh v organismu, který se stará o zachování vyváženého vnitřního stavu systému z hlediska energie, tepla, vody, minerálů apod. Základní funkcí organismu je pak udržet tento vyvážený vnitřní stav i celkovou bezpečnost systému, z hlediska vnějších podnětů, prostřednictvím odpovídajících činností, a tím se udržet v „celkové pohodě“ (klidovém stavu) z hlediska vnitřních i vnějších podnětů.

Příčinou určitého typu chování organismu jsou tedy jak *vnitřní*, tak *vnější podněty*, přičemž většinou vnitřní procesy jsou podněty ke spuštění určitého typu chování a vnější podněty pak směřují, ovlivňují způsob realizace tohoto chování.

Jednotlivé typy chování (tzv. *dědičně koordinované pohyby*) dané **vzorcem chování** i *spouštěcí mechanismus* aktivující příslušný typ chování (*vrozený spouštěcí mechanismus* - **AAM**) jsou zděděné, tedy předávané prostřednictvím genetické informace z generace na generaci. Správné přiřazení jednotlivých typů chování k odpovídajícím podnětovým situacím a jejich zařazení do hierarchie celého systému je v průběhu života organismu vytvářeno a modifikováno na základě jeho interakcí s prostředím - *učením*. Schopnost přizpůsobit své chování změnám okolí, *schopnost adaptovat se*, je dána otevřeností, tj. mírou modifikovatelnosti *vzorce (programu) chování*.

4.1.1 Dědičně koordinované neboli instinktivní chování

Instinktivní chování je podvědomé chování, které se dá vyvolat vnějšími (exogenními) či vnitřními (endogenními) podněty. V typickém případě probíhá podle pevně daného (vrozeného) *vzorce*, který je tvořen postupně spouštěnými prvky :

Vnitřní vyladění (pud, pocit žízně) => **apetenční chování** (směřuje k aktivnímu vyhledávání podnětů, které uvolní konečné chování pud uspokojující) => podnětová situace (setkání s **klíčovým podnětem**) => uvolnění spouštěcího mechanismu (neutrální mechanismus, který specifickým způsobem odpovídá na klíčový podnět) => **konečné jednání** (pití) => **uspokojení** (vyhasnutí) pudu.

V živém organismu se často aktivuje současně několik **funkčních okruhů** (např. potravní + obranný + rozmnožovací), které se vzájemně ovlivňují. Pak nutně dochází k výběru pouze jednoho chování, jež je prováděno, prostřednictvím dočasného potlačení druhých funkčních okruhů. Někdy však dochází k tzv. **naznačenému chování**, kdy jsou prováděny jen jisté prvky chování (např. z útoku zůstává pouze první fáze - hrozba a výpad již není dokončen), nebo k tzv. **přeskokovému chování**, kdy jsou naopak aktivovány dva protichůdné funkční okruhy v přibližně stejné intenzitě (např. útočný a útečkový) výsledné chování pak „osciluje“ mezi oběma typy chování.

Prakticky všechny živé organismy se pohybují. Při tomto pohybu se nutně potřebují jistým způsobem orientovat. Rozlišujeme tyto tři základní typy orientace pohybu:

- a) **Kineze** - je nejjednodušší forma orientace, kde se pohyb vztahuje pouze k intenzitě podnětu bez ohledu na jeho lokaci (pohybová aktivita klesá v příznivém a klesá v nepříznivém směru - např. pohyb trepky).
- b) **Taxe** - jsou usměrněné pohyby probíhající ve směru působení podnětu (pohyb ke světlu proti zemské tíži apod.).
- c) **Pilotování** (navigace) - jsou složité formy orientace, kdy se je využíváno:
 - 1) **pozemních značek** - na krátkou vzdálenost.
 - 2) **časoprostorového systému** - na dlouhou vzdálenost (založeno na hodnocení azimutu a výšky slunce nad obzorem).

4.1.2 Vrozený spouštěcí mechanismus (AAM)

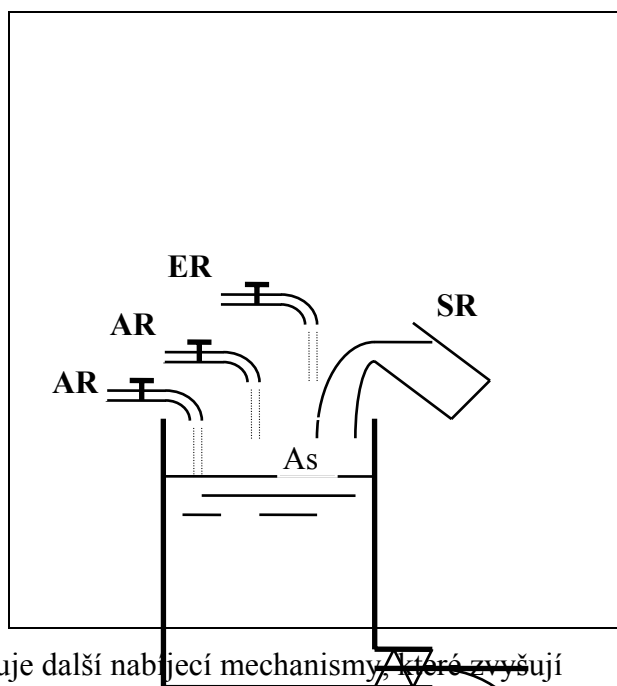
Jak jsem již uvedl, *vrozený spouštěcí mechanismus*, dává zvířeti schopnost rozpoznat relevantní situace v prostředí a uvádět do chodu odpovídající dědičně koordinovaný pohyb. Tento spouštěcí mechanismus reaguje na konfiguraci podnětů, která je též nazývána klíčový podnět. U vrozených spouštěcích mechanismů může docházet i k jistým typům učení, resp. adaptivní modifikaci chování, zvyšováním selektivity klíčového podnětu, tj. obohacováním podnětové konfigurace o další znaky (podněty).

Základní princip činnosti AAM dobře vystihuje **Lorenzův hydraulický model** (viz. Obr.č. 14). Vodní nádrž reprezentuje akumulátor (energie) ze všech podnětů, které působí na dané AAM. Jejich celkový součet dává aktuální hodnotu tzv. *akčně specifického potenciálu Asp*

spouštěcího mechanismu, která odpovídá vnitřní vyladěnosti zvířete - „nadrženosti“. Překročením jisté mezní hodnoty potenciálu - prahu, dojde ke spuštění (otevření tlakového ventilu Obr.č. 4.1.) příslušného dědičně koordinovaného chování.

ER představuje na obrázku endogenní a automatické buzení, kterým vnitřní procesy v organismu

stále působí na hodnotu Asp. **AR** označuje další nabíjecí mechanismy, které zvyšují hodnotu Asp (např. spouštěcí signál z jiného AAM). **SR** označuje klíčový podnět, který má na zvyšování hodnoty Asp dominantní vliv a ve většině případů vede ke spuštění chování daným spouštěcím mechanismem.



Obr.č. 4.1. Hydraulický

AAM je v postati samostatným funkčním celkem, který je možno zařadit do různých částí hierarchie instinktivního chování. Na jeho základě je pak možno vytvářet popis celého komplexu instinktivního chování organismu (viz. hierarchické systémy). Spouštěcí signál z AAM totiž nemusí pouze spouštět jisté chování (cílové nebo

apetenční), ale může být sám nabíjecím či klíčovým podnětem (viz. AR na obrázku) v dalším hierarchicky podřízeném AAM. V souvislosti s činností AAM jsou popisované další složité jevy jako unavitelnost specifické aktivity, snížení prahu spouštěcích podnětů či aktivita běhu na prázdno.

4.1.3 Komplexní systémy chování

4.1.3.1 *Apetenční vyhledávání klidových stavů*

Apetence je definován jako stav vršení (vybuzení), který trvá tak dlouho, dokud nenastane jistá podnětová situace, označovaná též jako *vyhledávaný podnět* (appeted stimulus). Dojde-li konečně k podnětové situaci, je spuštěno cílové chování (consumatory action), apetenční chování přestává a je vystřídáno stavem relativního klidu.

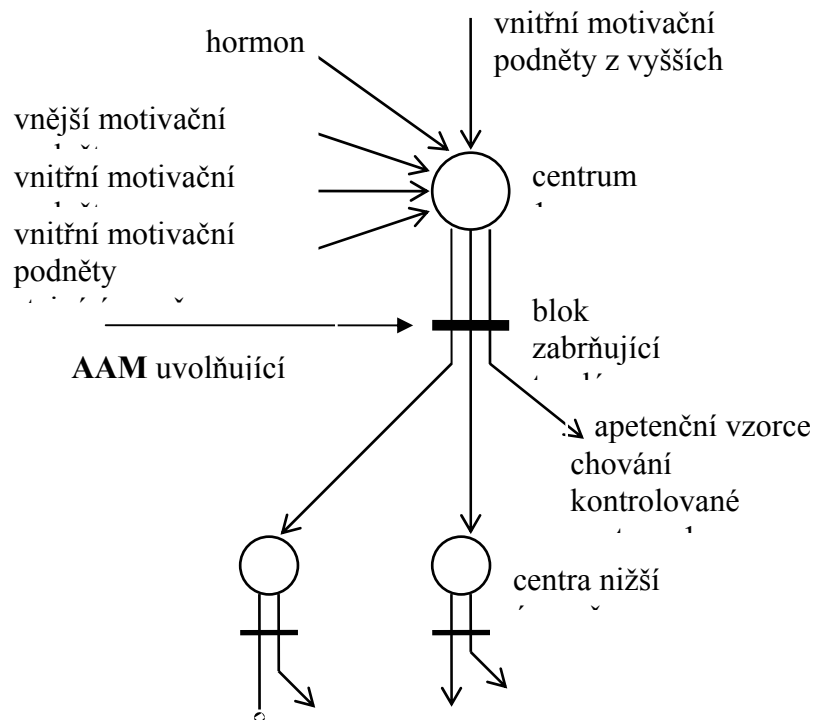
Apetenční chování je tedy účelné chování směřující k vyhledávání takových podnětových situací, které v konečném důsledku vedou k uspokojení potřeb organismu a tím i vymizení buzení k provádění daného typu chování. Proto jsou tyto typy chování souhrnně označovány jako **apetenční vyhledávání klidových stavů**. Apetence, AAM a instinktivní pohyb patří mezi nejdůležitější faktory určující celkové chování živočichů.

4.1.3.2 *Hierarchické systémy*

Z řady pozorování chování živočichů vyplynulo, že určitý spouštěcí mechanismus (AAM) tlumí proces určitého instinktivního pohybu a jiný naopak odtlumuje. Ukázalo se, že na apetenční chování je většinou navázáno na AAM, který po nalezení hledané podnětové situace apetenční chování tlumí, vypíná a spouští jiné (cílové) chování. Celý komplex instinktivního chování je pak vytvořen právě z takovýchto hierarchicky organizovaných elementů.

Princip této *hierarchické organizace* (hierarchie instinktů) znázornil Tinbergen ve svém zjednodušeném diagramu (Obr.č. 4.2.). Použil zde označení **central excitory mechanism** (CEM) navržené Beachem, které zahrnuje všechny faktory zvyšující pohotovost organismu k určitému typu chování - hormony, vnitřní podněty, nabíjecí podněty, klíčové podněty i stimulující podněty z vyššího centra. Obrázek zachycuje

system **CEM-AAM**, tedy centrálně podněcující (CEM) a vrozený spouštěcí mechanismus (AAM). Na obrázku je zobrazeno centrum středního stupně, n-tého řádu. Nejvyšší centrum je při tom označeno jako prvního řádu.



Obr.č. 4.2. Hierarchický model AAM

Příslušné impulsy různého druhu centrum nabíjejí. Toto centrum přijímá za prvé impulsy z vyššího centra (řádu n-1), které mohou být rozváděny i do dalších center n-tého řádu. Dále pak přijímá impulsy od centra, k němuž je přiřazeno a které automaticky podněcuje samo sebe. Na centrum dále mohou působit hormony a to přímo nebo přes příslušné automatizační centrum. Posledními typy faktorů působícími na dané centrum pak jsou vnitřní a vnější smyslové podněty.

Pokud není vrozený spouštěcí mechanismus drážděn (levá šipka AAM na Obr.4.2) nemohou se žádné impulsy vybíjet. V případě, že nastane spouštěcí podnětová situace (klíčový podnět), je blok odstraněn a impulsy odtékají do nižších center, popř. přímo spouští určité apetenční, či cílové chování. Spouštěcí, uvolňující podnět může přicházet z center vyšší či stejné úrovně.

Takto (hierarchicky) vytvářené „*etologické*“ sítě v podstatě popisují procesy, k nimž dochází v nervové soustavě organismů v souvislosti s instinktivním a apetenčním chováním. Jako takové mají tedy blízko k architektuře a vlastnostem neuronových sítí tvořících centrální nervové soustavy živočichů.

4.1.3.3 *Mnohonásobně motivované chování*

Již na začátku této kapitoly jsem uvedl, že velmi často vzniká v jednom okamžiku motivace k několika typům chování, tzv. **mnohonásobná motivace**, a jelikož může být spuštěn vždy jen jeden typ chování, musí dojít jistým způsobem k výběru jednoho z nich.

Nejjednodušší formou vyřešení problému napětí mezi dvěma současně aktivovanými podnětovými zdroji je **superpozice**. Přitom se můžeme setkat jak s efektem převrstvení ve smyslu součtu, tak ve smyslu rozdílu působení obou podnětů. Například člověk v konfliktu mezi dvěma motivacemi působí „napjatě“. To je způsobeno superpozicí jednotlivých aktivovaných pohybů.

Dalším formou řešení takové situace je **vzájemné tlumení a alternování** jednoho typu chování jiným. Případů, kdy aktivování jednoho chování způsobuje úplné tlumení jiného chování, je známo jen několik. Nejznámějším případem je útěk. Kdyby například zajíc prchající před vlkem běžel přes pole s lákavým jetelem jen o něco pomaleji než po jiném pozemku, bylo by takové chování z hlediska zachování druhu velmi neúčelné.

U člověka však tento zcela tlumící účinek bohužel způsobuje velmi neúčelné potlačení vyšších funkcí učení a inteligence (Ohlupující účinek paniky je známý). Výsledkem tlumícího vlivu může být také tzv. **náznakové chování**, kdy z původního chování zůstává jen první fáze (např. při útoku je provedena jen hrozba a není dokončen výpad).

Dostane-li se motivace dvou typů pohybu do vzájemného konfliktu, nastupuje v mnoha případech zcela nesmyslně třetí typ, patřící ke zcela jinému systému chování. Tento jev se nazývá **přeskokové chování**.

4.2 Adaptivní modifikace chování

Modifikace je každá *trvalá změna*, která je vyvolaná v organismu během jeho individuálního života vnějšími vlivy. Stejně jako mutace je i modifikace neorientovaná změna a nemusí tedy znamenat adaptaci na vnější vlivy.

Adaptivní modifikace je vždy uskutečnění fylogeneticky vzniklého, v genotypu (genech) zabudovaného programu, který je v každém jedinci připraven, jako adaptace na určitou očekávanou proměnlivost odpovídajícího životního prostoru. Takovéto genetické dispozice, které počítají s proměnlivostí prostředí, označuje E.Mayer jako **otevřený program**. Funkce fyziologického mechanismu je základem, jak pro získávání nové v genomu neobsažené informace, tak v uchování té staré, a tím také hromadění trvalé adaptability jedince (embriogeneze, učení).

4.2.1 Procesy učení

Procesy učení patří mezi adaptační modifikace fyziologického mechanismu, který se projevuje jako chování zvířat a lidí. Liší se však od embriogeneze, resp. embriologické indukce, kde se modifikuje přímo genetická informace, v tom, že učení je reverzibilní - většina naučeného může být zapomenuta.

Z hlediska způsobu získání naučené informace můžeme rozlišit učení:

- a) **Obligatorní učení** (nucené) - většinou navazuje na vrozené, geneticky programované chování. (příkladem může být podmiňování či vtištění).
- b) **Fakultativní učení** (příležitostné) - může vyplynout z hravého či zvědavého (exploračního) chování.

S učením velmi úzce také souvisí otázka existence *krátkodobé a dlouhodobé paměti*, neboť učení je uložení zkušeností z prožitých situací a událostí a jejich zhodnocení. Tato informace není v organismu apriori zděděná. Co ovšem musí mít organismus geneticky předáno, je *učitel - arbiter*, jenž posuzuje úspěšnost chování jako odpovědi na určitý podnět či kombinaci podnětů.

Učení tohoto typu, kdy se vytváří relace mezi spouštěcím podnětem a adekvátní akcí má **asociativní charakter**. Takto asociovaný podnět může být podmíněný i nepodmíněný (často je to kombinace obou). **Asociace** vzniká opakováním

dané konfigurace podnětů v relativně krátkém čase před příslušným typem chování, nebo podmíněným podnětem - tzv. *podmiňování*.

Učení může být *typu S*, kdy dochází k selekci podnětu spouštějícího daný typ chování, nebo *typu R*, kdy se vybírá pro daný podnět vhodné chování (tedy jedno z kolekce použitelných typů chování, jež má organismus k dispozici) - *selekce chování, instrumentální učení*.

Jsou známé také typy učení bez asociace jako *facilitace, senzitivace* či *habituační*, které jsou převážně založeny na korekci aktivačních hodnot spouštěcího mechanismu a síle vlivu jednotlivých podnětů v závislosti na změně jejich významu.

Proces **facilitace** lze pozorovat u různých centrálních nervových funkcí, dochází při něm patrně ke změnám v synapsích a způsobuje zlepšování kvality provedení jistých úkonů jejich opakováním, tzv. *učení opakováním*.

Podobné procesy, které se však odehrávají na senzorické, nikoli na motorické straně centrální nervové soustavy, se nazývají **senzitivace**. Při spouštění určitého typu chování nejprve klesá prahová hodnota klíčových podnětů, což vede k tomu, že zvíře je uvedeno do stavu zvýšené „pozornosti“. Je to však jev pouze dočasný a na rozdíl od *facilitace*, po určité době opět vymizí.

Proces učení nazývaný jako **habituační** (přivykání) má charakter desenzitivování vůči působení daného podnětu, jehož účinek se oproti počáteční reakci zmenšuje.

4.3 Technické využití poznatků etologie

V této kapitole jsem uvedl pouze jistý přehled základních myšlenek a principů z etologie, abych na ně mohl navázat a odvolat se na ně při vlastním návrhu technického řešení.

Etologie zabývá otázkami souvisejícími s celkovým chováním zvířat, tj. se způsobem vnímání a reakcí na podněty, se spouštěním a korekcí průběhu jednotlivých typů chování i otázkami motivací k těmto chováním, je logické, že se v technické praxi využívají tyto poznatky právě při konstrukci řídicích systémů.

Funkce reflexu, resp. reflexního oblouku například inspirovala konstruktéry rychlých řídicích systémů pro mobilní roboty ke vzniku reaktivních řídicích systémů, které jsou výrazně rychlejší a dynamičtější oproti klasickým ŘS. Vrstvená architektura (sub-sumption) vychází z poznatků o vnitřních vazbách uvnitř hierarchických systémů instinktivního chování.

Poznatky o řízení v živých systémech prostřednictvím samostatných řídicích center (viz. CEM-AAM) vedly ke vzniku distribuovaných řídicích systémů vykazují značnou robustnost odolnost vůči poruchám.

Dále bychom mohli jmenovat využití paralelního běhu několika procesů řízení (viz. souběh činností CEM na stejné úrovni) a mnoho dalších příkladů technických aplikací na základě poznatků z etologie a biologie.

Ve své práci jsem využil model hierarchického uspořádání instinktivního chování a hydraulický model funkce AAM, které jsem pro své účely určitým způsobem přizpůsobil a na jejich základě jsem pak vytvořil strukturu řídicího systému modelu jedince - *modelu chování* (viz. kap.č.7).

5. Evoluce a genetika

V této kapitole chci hlavně popsat a objasnit několik základních faktů o evoluci, neboť z jejích principů vycházím ve druhé části své práce při realizaci adaptace systému.

Adaptace je v biologii definována jako přizpůsobení organismů k určitým prvkům prostředí, která mu umožňují úspěšnou existenci a rozmnožování v podmínkách tohoto prostředí.

5.1 Vývoj teorie evoluce

S první ucelenou teorií evoluce přichází *J.B. de Lamarck* ve svém díle „*Philosophie zoologique*“, ve kterém pojednává o proměnlivosti druhů. Tato teorie je nazývána **Lamarkismus**. Ve svém díle však dochází k mylnému předpokladu, že se organismy přizpůsobují měnícímu se prostředí aktivně a cíleně.

V roce 1859 přichází se svou evoluční teorií *Charles Darwin* v díle „*O původu druhů cestou přírodního výběru aneb zachování zvýhodněných odrůd v boji o život*“. Inspiruje se myšlenkou **přírodního výběru** z pojednání *Thomase Malthuse* „*O zákonitostech populace*“ (1838), když předpokládá, že se jedná o hlavní mechanismus přírodní evoluce. Darwin v tomto díle trpělivě a systematicky prošel všechny druhy důkazů k danému tématu, jež čerpal, jak ze svého studia a pozorování, tak i z myšlenek a teorií svých současníků.

Po čase někteří vědci i sám Darwin začínají pochybovat o tom, zda je opravdu jedinou příčinou vývojových změn právě *přírodní výběr* a začínají hledat jiné principy, jako např. sexuální výběr. V té době také Darwin píše své dílo „*Původ člověka a pohlavní výběr*“ (1871). Po Darwinově smrti *evoluční teorie* stagnuje a začíná převládat názor, že nositelem evolučních změn je pouze vznik nových mutací, tzv. **Mutacionismus**.

Okolo roku 1900 je znovu objeven spis moravského kněze *Johanna Gregora* „*O křížení rostlin*“ (1866), dnes pokládaného za zakladatele genetiky. Popisuje v něm principy segregace, kombinace vloh, formuluje zákony dědičnosti, definuje dominantní a recesivní znaky a rozlišuje genotyp a fenotyp, a tím pokládá základy *Nauky o dědičnosti - Genetiky*.

V roce 1909 dánský biolog *Wilhelm Johannsen* nazývá Mendelovu jednotku dědičnosti **genem** a americký genetik *Thomas Hunt Morgan* a další dokazují, že geny jsou umístěny v *chromozómech* buňky. Ve 20. letech díky dílům populačních genetiků jako *sir Ronald Fisher*, *J.B.S. Haldane*, *Sewal Wright* a mnoha dalších začíná být zcela zřejmé, že Darwinovo dílo „o přírodním výběru“ a dílo Mendela „o genetice“ tvoří spojitý a srozumitelný obraz evolučních změn a vzniká tzv. **Syntetická teorie evoluce**, formulovaná v období **1937 - 1950**.

5.2 Biologická evoluce

Je jednou z konkrétních forem převážně *vzestupného (progresivního) vývoje*, během kterého se zvyšuje organizovanost a uspořádanost materiálních systémů ze strukturálně a kvalitativně jednodušších materiálních systémů na systémy strukturálně i kvalitativně složitější.

Evoluce je složitý proces, který nesměřuje k předem určenému cíli. Na evoluci se podílejí náhodné události i zákonité reakce druhů, populací a jedinců. Evoluce probíhá v interakci s *abiotickými* i *biotickými faktory* prostředí, které vybírají náhodně vzniklé genetické varianty. Organismy se tak přizpůsobují (adaptují) přiměřeně se měnícímu prostředí.

Základní představy evoluce jsou:

- Genetická neusměrněná variabilita populací je pozmeněna tempem vzniku *nových mutací*, *genetickým posunem*, *migrací* a zejména *adaptivním přírodním výběrem*.
- Druhy vznikají převážně dlouhodobou izolací populací a udržují si svou samostatnost prostřednictvím *reprodukčně izolačních mechanismů*.

Rozlišujeme se tři úrovně **biologické evoluce**. *Mikroevoluce* je první úrovní biologické evoluce a reprezentuje změny v populacích téhož druhu probíhající v krátkém časovém úseku. *Speciace* jako druhá úroveň pak reprezentuje štěpení jednotlivých vývojových linií a vznik nových geneticky od sebe *izolovaných druhů*. Třetí úrovní je *makroevoluce*, která reprezentuje vznik a vývoj nových taxonů vyšších než druh a vznik *evolučních novinek*, jež je charakterizují.

Fylogeneze popisuje celý historický vývoj organismů a rozlišují se v něm evoluce změny v jedné vývojové linii, štěpení a vznik nových samostatných linií a dočasná neměnnost organismu, která je podmíněna existencí mechanismů jež ji umožňují.

5.3 Evoluční mechanismy

Zdrojem genetické variability populace jsou migrace, genetický posun, ale především *rekombinace* a *mutace*. O mutaci se také mluví jako o „motoru“ evoluce, zatímco o selekci jako o jejím kormidle. Do jisté míry to vystihuje základní podstatu evoluce.

K **rekombinaci** dochází díky křížení a volné segregaci homologických chromozómů při pohlavním rozmnožování. Při (meiotickém) dělení kombinací rodičovských gamet vzniká *nová kombinace genů - nové genotypy*.

Mutace jsou základním zdrojem nových genetických vlastností. Vznikají spontánně nebo působením mutačních činitelů tzv. *mutagenů*. Všechny typy mutací - *genové*, *chromozómové* i *genomové* se uplatňují v evoluci. Vznikají většinou s nízkou frekvencí. Mutace hrají významnou roli při speciaci. Kladná nebo záporná hodnota mutace závisí na selekčním uplatnění v daném prostředí.

Migrace způsobuje mezipopulační křížení. Migrace jednotlivců mezi populacemi způsobuje změnu frekvence alel v místních populacích a stírání rozdílů mezi nimi.

Genetický posun, neboli *genetický drift* je náhodná změna frekvence alel, způsobená variabilitou volby při výběru vzorku. Výrazněji se uplatňuje jen u malých populací. U genetického posunu můžeme předvídat rozsah změn nikoliv však její směr, jak je tomu u mutací, migrací a selekce. Přičemž četnost vzniku mutací, migrace a genetický posun nejsou adaptivně orientovány.

Přírodní výběr (selekce) může být charakterizován jako odlišný rozmnožovací úspěch (fines) nositelů různých genotypů v daném prostředí vedoucí k odlišnému podílu na příspěvku do genofondu následujících populací.

Základní koncepce selekce je:

Selekční vlivy prostředí působí na *fenotypy* organismů, jež jsou jednotkou výběru. Pro evoluci však mají význam pouze genetické vlastnosti, jež jsou předávány z generace na generaci zprostředkovaně výběrem fenotypu. V přírodním výběru působí celý soubor vlastností na soubor všech vlastností fenotypu podmíněný celým *genotypem*.

Rozlišujeme tyto **hlavní typy selekce**:

1. Selektce stabilizující působí v neměnicím se prostředí. Podporuje průměrné vlastnosti a odstraňuje extrémy. Průměr populačních vlastností se nemění - může to vést k poklesu variability.

2. Selektce usměrňující se uplatňuje především v měnicím se prostředí. Podporuje vlastnosti lišící se v určitém směru od průměru, případně až extrémní, přičemž druhý z extrémů je potlačován. Populační průměr se *posunuje* - může to vést k poklesu variability. Dlouhodobě působící usměrňující výběr se projevuje ve fylogenezi jako **evoluční trend** - tj. plynulá změna vlastností populace.

3. Selektce diverzifikující působí především v nesourodém prostředí, jež podporuje extrémní varianty a potlačuje vlastnosti průměrné. Udržuje vysokou variabilitu, což vede ke kolísání populačního průměru. Při dlouhodobém působení vzniká *stabilní polymorfismus* tj. situace, kdy v téže populaci existují trvale dva a více značně od sebe odlišné alternativní genotypy.

Rozmnožovací způsobilost (*fitness*) je měřítkem přírodního výběru. Je to poměrná *rozmnožovací úspěšnost* genotypu, který zanechává nejvíce potomků, vzhledem ke genotypům ostatním.

Mezi další typy výběru patří např. pohlavní výběr, který upřednostňuje jedince schopné získat větší množství partnerů pro rozmnožování než ostatní. Někdy však může začít kolidovat s jinými selekčními faktory (*např. sameček s příliš velkými pohlavními znaky - parohy, kusadly může na sebe zbytečně upozorňovat predátory*).

Dále existují selektce skupinová a příbuzenská, jež jsou patrně příčinou chování nazvaného **altruismus**, což je typ chování prospěšný jiným jedincům téhož druhu, smečky, rodiny. Teoreticky je však tento typ chování stále po mnoha stránkách nejasný.

5.4 Genetika

Genetika je definována jako nauka o dědičnosti. Zabývá se otázkami zachování, přenosu a modifikace genů a jejich přenosem mezi jednotlivými generacemi. Dědičnost a proměnlivost je vlastností živých soustav velmi těsně související s biologickou evolucí.

5.5 Oblasti technických aplikací

Podobně jako z biologie či etologie i z genetiky a evoluce vychází celá řada postupů a technologií. Jsou to různé typy adaptačních a optimalizačních algoritmů používaných v oblasti řízení, umělé inteligence či ekonomie. Hlavním cílem této kapitoly bylo hlavně popsat zákony a principy evoluce, které právě tyto techniky velmi výhodně využívají.

Jedním z nejtypičtějšých příkladů je soubor technik vycházejících z evolučních principů a genetiky - *genetické algoritmy*, *genetické programování*, *evoluční strategie* a *evoluční programování* souhrnně označované jako „**Evoluční algoritmy**“.

Je to zcela nová technologie vzniklá teprve v nedávné době, ale která se velmi dynamicky a slibně vyvíjí a začíná zasahovat do mnoha oblastí od ryze technických aplikací až po ekonomii, sociologii atd. Větší podrobnosti o těchto metodách jsou uvedeny v následující kapitole.

6. Umělá inteligence

Cílem této kapitoly je stručné obeznámení s problematikou umělé inteligence, přičemž hlavní pozornost věnuji těm oblastem, které nejvíce ovlivnily moji práci. Vycházel jsem zde především z literatury [4],[5],[6] a [7],[8].

Inteligence je vlastností některých živých organismů, kterou získávají v přírodě mimořádné postavení. Umožňuje jim efektivně reagovat na složité projevy prostředí a aktivně je využívat k dosažení svých cílů.

6.1 Vývoj UI

Postupně s rozvojem techniky si lidé kladli otázku, jestli je možné vytvořit systém, který by dosahoval takové chování, které je u živých organismů označováno jako inteligentní. Otázku „*Mohou stroje myslet ?*“ řešili již v 17. století významní filozofové jako Descartes, Pascal, Hobbes a další.

Později až ve druhé polovině tohoto století na základě výsledků matematické logiky a teorie algoritmů, spolu s prudkým rozvojem výpočetní techniky, jsou navrhovány a experimentálně ověřovány metody, postupy a algoritmy napodobující inteligentní chování. Vzniká tak mladá vědní disciplína, jejímž cílem je napodobit inteligentí lidské chování, nazvaná **umělá inteligence** (artificial intelligency).

V oblasti umělé inteligence se objevuje několik přístupů. Jeden z úspěšně aplikovaných přístupů při realizaci UI, vychází z hypotézy formulované Newellem a Simmonem v roce 1976,

že požadovaného efektu lze dosáhnou vhodnou manipulací se znaky (viz. jazyk, gramatiky).

Další přístup vychází z biologie, která je bohatým zdrojem inspirace pro budování otevřených systémů schopných iterace s neznámým prostředím. Z biologie, resp. neurologie vychází další směr tzv. konekcionismus, který využívá vysoce paralelní výpočetní techniky, realizované sítí jednoduchých počítačových elementů vzájemně si předávajících zprávy (např. neuronové sítě).

6.2 Přehled metod a algoritmů UI

„*Umělá inteligence je vlastnost člověkem uměle vytvořených systémů vyznačujících se schopností rozpoznávat podněty, jevy a situace, analyzovat vztahy mezi nimi a tak vytvářet vnitřní modely světa, ve kterých tyto systémy existují, a na tomto základě pak přijímat účelná rozhodnutí, za pomoci schopností předvídat důsledky těchto rozhodnutí a objevovat nové zákonitosti mezi různými modely nebo jejich skupinami*“ (Kotek a kol. 1983).

Z této Kotkovi definice umělé inteligence, která vlastně analyzuje jednotlivé činnosti vyspělých živočichů, které vedou k inteligentnímu chování, plynou i jednotlivé oblasti zájmu v oblasti umělé inteligenci. Je to především rozpoznávání, klasifikace, prohledávání stavového prostoru, reprezentace znalostí, rozhodování a plánování a strojové učení.

Technik prostřednictvím, kterých jsou tyto oblasti realizovány, je veliké množství. Účelem této kapitoly však není podat podrobný přehled těchto přístupů, ani je detailně analyzovat. Proto se zde zaměřím jen na některé z nich.

Mezi techniky, které mají prakticky univerzální použití, pak patří různé programovací jazyky pro umělou inteligenci jako je LISP, PROLOG (založený na predikátové logice) a jeho mutace POPLOG, či POP. V oblasti znalostního inženýrství se například pro vytváření bází znalostí v expertních a znalostních systémech osvědčil objektově orientovaný jazyk EIFFEL.

Další široce využitelnou technologií umělé inteligence jsou neuronové sítě. V oblasti optimalizace a prohledávání stavového prostoru se osvědčili metody jako je lineární programování, simulované žíhání či genetické (evoluční) algoritmy.

6.3 Aplikační oblasti UI

Robotika byla v počátečních stádiích umělé inteligence její významnou součástí a i dnes patří mezi její významné aplikační oblasti. Úloha automatického vnímání senzoryckým systémem, nebo úloha vlastního řízení (popř. s ním spojené rozhodování, plánování či optimalizace), prováděná řídicím systémem, jsou základními stavebními kameny systému robota, a jsou realizovány právě výše zmíněnými metodami umělé inteligence.

Umělá inteligence je dnes však zcela samostatným vědeckým oborem nezávislým na robotice a je aplikována v mnoha dalších oblastech, jako je počítačové vidění, automatické

porozumění přirozenému jazyku, znalostní a expertní systémy používané v lékařství, biologii, ekonomice atd., počítačem podporovaná výroba CIM (Computer Integrated Manufacturing), softwarové inženýrství apod.

6.4 Evoluční algoritmy

Je třída stochastických prohledávacích a optimalizačních technik s heuristickou vlastností. Tyto metody na *abstraktní úrovni napodobují* základní myšlenky populačního přístupu, principy replikace, variace a selekce z evoluční teorie.

6.4.1 Historie EA

V 70. letech vyvíjí **J.H.Holland** metodu nazvanou *Genetické algoritmy*. Na jeho práci pak navazuje **De Jong, Goldberg** a mnoho jiných.

Avšak až do 90. let nevzbuzuje tato metoda příliš velký zájem. V 90. letech pak veliké množství výzkumníků i praktiků v oblasti managementu i dalších oblastech začíná experimentovat s genetickými algoritmy a evolučními principy a vzniká velké množství různých metod, jako např. *Genetické programování (GP)*, *Evoluční strategie (ES)*, *Evoluční programování (EP)* a mnoho dalších kombinovaných *hybridních metod*.

Liší se mezi sebou hlavně ve způsobu prezentace řešení, posloupnosti operací, způsobu jejich implementace a určení strategických parametrů. Následně jsou pak všechny tyto metody vycházející z evolučních principů souhrnně nazvány **Evoluční algoritmy (EA)**.

6.4.2 Jednotlivé směry v EA

Evoluční algoritmy se liší od klasických prohledávacích metod v těchto hlavních bodech:

- 1) Kromě GP, jež generují programový kód, EA obecně operují s *řetězovou* či *vektorovou reprezentací* rozhodujících proměnných.
- 2) Pracují s *množinou řešení* rozvíjejících prohledávaný prostor z *mnoha rozdílných míst najednou*.

3) Základní operátory EA napodobují procesy *replikace*, *variace* a *selekce* jako řídicích sil evoluce. *Myšlenka favorizování* dobrých řešení při selekci a variace materiálu v potomcích vede k mimořádně dobrému řešení daného problému.

4) Pro přímocílené prohledávání je požadována pouze informace o kvalitě řešení. *Informace o kvalitě* (fitness) je často vypočítávána z objektivní funkce, ale může být také získána měřením či simulací. Žádná další informace jako např. derivace není potřeba. Avšak přidáním dostupných znalostí při reprezentaci řešení, inicializaci, v operátorech a dekodovacím schématu může výrazně zvýšit efektivitu algoritmu.

5) *Stochastické prvky* jsou zde použity *uvážlivě*, takže ve výsledku se nejedná o náhodné prohledávání, ale o inteligentní rozvoj prohledávaného prostoru. Informace z každého objeveného dobrého řešení je využita jako slibná nová oblast pro další rozvoj prostoru.

Postup při aplikaci algoritmů je následovný. Začne se s inicializační množinou alternativních řešení. Často jsou tato řešení generována náhodně, nebo je jimi pokryta každá zajímavá oblast prohledávaného prostoru. Pak jsou použity evoluční operátory replikace, variace a selekce. Provedením těchto operací jsou generována nová řešení, tzv. potomci a z nich je vytvořena nová generace.

Replikace, variace a selekce vedou ke zvýšení kvality během mnoha (řádově stovek až tisíců) iterací. Pak jsou testována ukončovací kritéria jako např. počet iterací, počet generací apod., která rozhodnou o ukončení prohledávání. Jsou-li ukončovací kritéria splněna, proces je zastaven a na výstup je dáno výsledné řešení.

Z principů na nichž jsou tyto metody založeny, vyplývají určité výhody i nevýhody EA vůči jiným postupům.

Výhody EA jsou tyto:

- základní formy EA jsou široce použitelné.
- je možné je lehce přizpůsobit pro dané aplikace a pro produkci řešení vysoké kvality.
- dobře použitelné pro vícerozměrné prohledávací prostory.
- spolehlivost (obecně).

- nejsou kladeny žádné nároky na objektivní funkci (není např. požadována spojitost či rozlišitelnost).
- aplikovatelnost i v případech, kdy není k dispozici mnoho znalostí o problému.
- přístupné pro vícekritériální optimalizace.
- lehce jsou kombinovatelné s dalšími technikami (např. inicializační heuristiky, lokální prohledávání).
- schopné využít paralelní hardware (paralelní algoritmy, transputery).

Nevýhody EA pak jsou :

- heuristický charakter (není zcela garantováno nalezení globálního optima v *omezeném* čase).
- teorie EA je stále v začátcích (dětské nemoci).
- poměrně vysoké nároky na procesor (zmírněn pokrokem v jeho rozvoji).
- často neefektivní při jemném doladování výsledku (často se pak používá lokální prohledávání).
- nalezení dobrého nastavení strategických parametrů může být obtížné a vyžaduje určitou zkušenost.

Je samozřejmé, že se inspirační vliv evoluce a genetiky promítl i do terminologie používané v evolučních algoritmech, jak ukazují následující tabulky.

Terminologie v souvislosti s GA

Genetika, Evoluce	Genetické algoritmy
chromozóm (sestava genů)	obecně shodný s jedincem, občas je jedinec tvořen více chromozómy

6.5 Neuronové sítě

Neuronová síť vznikla jako umělý informační systém na základě biologického modelu mozku živých organismů. Takovýto umělý informační systém je schopen mnohem lépe napodobovat funkce mozku a potažmo i chování živých organismů než to dokáže konvenční výpočetní technika.

Zatímco konvenční počítačové a informační systémy pracují podle předem daného algoritmu -programu, podle kterého provádějí jednotlivé operace, neuronové systémy uskutečňují vysoký počet dílčích operací současně a pracují bez algoritmu. Jejich činnost je založena na procesu učení, v rámci kterého se NS co nejlépe adaptuje k řešení dané úlohy.

Prostřednictvím neuronových sítí lze řešit složitější úlohy, jako je rozpoznávání písma, identifikace nápisů, kontrola zboží, chybová diagnostika strojů či predikce v pojišťovnictví.

6.5.1 Umělé neuronové sítě

Umělá neuronová síť je struktura pro distribuované paralelní zpracování dat složená většinou z velmi vysokého počtu vzájemně propojených výkonných prvků. Každý z těchto prvků má definovaný libovolný počet vstupů, z nichž přijímá vstupní data, která transformuje podle jisté přenosové funkce. Přitom se může uplatnit i obsah lokální paměti prvku. Výslednou hodnotu pak předává na svůj jediný výstup, který však může být libovolně rozvětvený.

Základní vlastnosti neuronové sítě jsou dány jak její topologií, tj. strukturou jejího grafu, tak způsoby učení a vybavování.

Výkonný prvek NS

Výkonným prvkem umělé neuronové sítě je neuron (Obr.č. 6.1.), který většinou vstupní údaje zpracovává podle následujícího vztahu.

$$y = S\left(\sum_{i=1}^N w_i x_i + \Theta\right),$$

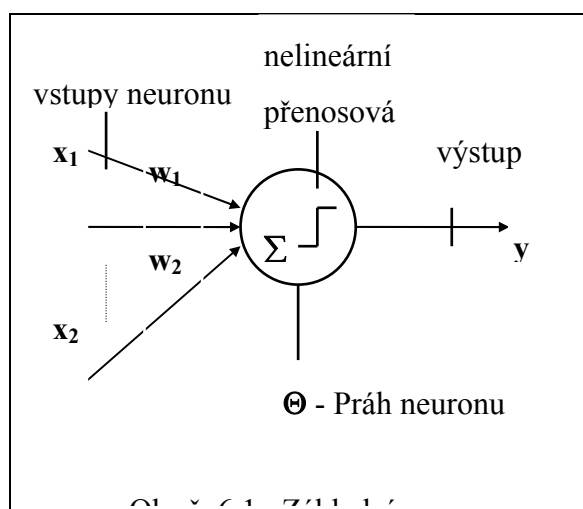
kde

- x_i jsou vstupy neuronu a je jich N ,
- w_i jsou synaptické váhy,
- S je přenosová funkce
- Θ je práh.

Podle typu vstupních dat rozlišujeme neurony **binární** zpracovávající dvouhodnotová vstupní data a tzv. **spojité** jež zpracovávají vícehodnotová data.

Nelineární přenosová funkce

Přenosová (aktivační) funkce převádí vnitřní potenciál neuronu do definovaného oboru výstupních hodnot. Nejčastěji používanými funkcemi jsou lineární, lineární omezená, skoková a sigmoida. Přenosová funkce také určuje typ neuronu, tedy je-li binární či spojité.



Pracovní fáze neuronové sítě

Typická neuronová síť pracuje ve dvou fázích - **adaptivní** (fáze učení) a **aktivní** (fáze vybavování). Paměť je zde většinou reprezentována hodnotami vah (váhových koeficientů) jednotlivých vstupů neuronů. Neuronová síť má tedy charakter *asociativní paměti*, ve které jsou uloženy různé vzory, které je schopna si vybavovat.

Ve fázi učení se síť adaptuje na řešení daného problému nastavováním vah mezi uzly sítě. Na vstupy sítě jsou přikládány soubory dat z tzv. *trénovací množiny* a sledují se výstupní hodnoty sítě. Rozlišujeme dva typy učení, tzv. *učení s učitelem* a *učení bez učitele*.

Při *učení s učitelem* existuje nějaké vnější kritérium, arbiter určující zda je výstup je správný. Srovnává se žádaný a skutečný výstupem a pomocí určitého algoritmu se nastavují váhy synapsí tak, aby se snížil výsledný rozdíl mezi skutečným a žádaným výstupem. Mezi učení s učitelem patří učení s korekcí chyby, posilované učení, stochastické učení a Back-propagation.

Při **učení bez učitele** žádné vnější kritérium neexistuje a celé učení je založeno pouze na informacích získaných sítí během vlastního procesu učení. Algoritmus hledá ve vstupních datech určité vzory se společnými vlastnostmi (hroznové algoritmy). Proto se učení bez učitele také říká *samoorganizace*. Příklady tohoto typu učení je tzv. Hebbovské učení, diferenciální učení, min-max učení či kompetice.

K zajištění zapamatování může učení probíhat opakovaně, nebo může být jednorázové (viz. Hopfieldova síť). Učení neuronových sítí může realizováno nejen změnou synaptických vah, ale také změnou přenosové (prahové) funkce, počtu neuronů v síti či jejich topologickým uspořádáním.

Ve fázi vybavování vznikne přiložením vstupních dat na vstupní vrstvě neuronů nerovnovážený stav. Zapamatované hodnoty jednotlivých neuronů se začnou působením spojů začnou měnit (aktualizovat) dokud opět nenastane rovnovážný stav. Na výstupních neuronech sítě je pak požadovaná odpověď. Vybavovací fáze následuje až po fázi učení, ale obě fáze se mohou překrývat.

6.5.2 Typy neuronových sítí

Nyní jen velice stručně o některých typech neuronových sítí.

Hopfieldova síť je tvořena jednou vrstvou neuronů, jejichž výstupy vedou zpět na vstupy ostatních neuronů přes váhy w_{ij} . Síť má tolik neuronů kolik má vstupů a každý neuron má svůj práh a přenosovou funkci. Tato síť může být využita jako asociativní paměť, klasifikátor, či k řešení optimalizačních problémů.

Perceptronová (Rozenblatova) síť je tvořena třemi vrstvami - vrstvou vyrovnávací, vrstvou detektorů příznaků a vrstvou rozpoznávačů vzorů (pattern recognizers, neboli perceptrons). Váhy na vstupech první a druhé vrstvy jsou neměnné, zatímco váhy na vstupech třetí vrstvy jsou nastavovány při trénování sítě. Zjednodušenou variantou Rozenblatova perceptronu je jednovrstvý *MP-perceptron*. Další variantou je *Adeline/Madeline* (Adaptive Linear Element), kde vstupy neuronů nejsou binární, ale jsou jimi přímo vnitřní potenciály neuronů. Tyto sítě se používají převážně pro rozpoznávání obrazů a klasifikaci.

Kohenova síť a *ART* sítě patří mezi tzv. samoorganizující se sítě, jež při učení nepotřebují učitele. Základním principem jejich činnosti je shluková analýza. Síť má dvě

vrstvy vstupní a výstupní. Počet vstupů sítě je roven dimenzi vstupního prostoru a váhy těchto vstupů slouží k zakódování vzorů, které reprezentují předložené vzory.

ART (Adaptační Rezonanční Teorie) jsou samoučící se sítě vyvinuté k rozpoznávání obrazů. Hlavní vlastností sítě je její schopnost přecházet mezi učícím a vybavovacím módem bez poškození naučené informace.

6.5.3 Aplikační oblasti NS

Umělé neuronové sítě mají některé velmi výhodné vlastnosti:

- jsou univerzální
- Jsou schopné provádět nad vstupními daty libovolnou transformaci.
- není je zapotřebí programovat
- Neuronová síť se naučí správnému chování pomocí předkládaných příkladů.
- jsou robustní
- díky distribuovanosti informace v síti, vedou poruchy jednotlivých neuronů pouze k postupné degradaci.
- mají schopnost generalizace a abstrakce

Neuronové sítě jsou schopny stejně reagovat na jistou množinu vstupních dat, tedy ne pouze na jednotlivé prvky této množiny. Z důvodů výše zmíněných vlastností mají umělé neuronové sítě široké spektrum možných použití.

Jsou to především oblasti:

- predikce
- rozpoznávání (klasifikace)
- asociace

- filtrace
- optimalizace a další

6.5.4 Expertní systémy na bázi NS

Další možnou oblastí aplikace umělých neuronových sítí je oblast expertních systémů.

Mezi systémy s vestavěnou NS patří například pravidlové expertní systémy, kde neuronová síť přebírá činnost jednoho z bloků systému. Tím se vylepší činnost systému buď z hlediska rychlosti, nebo se tím zabuduje do systému schopnost se učit na příkladech. Tato skupina se dále dělí na systémy skutečně využívající schopnosti učení neuronových sítí a skupinu, která se konstrukcí neuronových sítí pouze inspiroje (viz. následující pravidlový expertní systém).

Pravidlový expertní systém s neuronovou sítí bez učení

Pravidlový expertní systém používá systém pravidel někdy označovaných jako produkční pravidla (produkční systém) k reprezentaci znalostí a inferenční stroj k provádění akcí expertního systému, tj. vlastnímu odvozování závěru.

Obecný tvar pravidla: **Jestliže** (podmínka, antecedent), **pak** (důsledek, sukcedent)

Úkolem expertního systému je nalézt, která pravidla z báze znalostí jsou proveditelná v daném okamžiku práce expertního systému. Levé strany všech pravidel se neustále porovnávají s dynamicky se měnící dynamickou pamětí systému. Pravidla jež jsou splněny (pravdivé) tvoří tzv. množinu konfliktu (pravé strany mohou být vzájemně rozporné výroky). Tato fáze se nazývá fáze přiřazení (match phase).

Typický pravidlový expertní systém pracuje ve třech fázích.

- **fáze přiřazení** - porovnávají se levé strany pravidel s pracovní pamětí a pravidla se splněnými levými stranami se zařazují do množiny konfliktu.
- **fáze výběru** - vybere se jedno pravidlo z množiny konfliktu
- **fáze akce** - vybrané pravidlo se provede

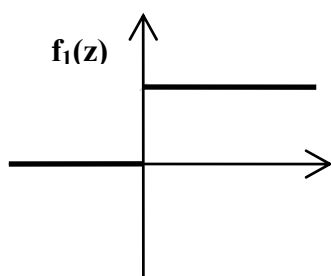
Realizace první, přiřazovací fáze výše zmíněného expertního systému se řeší pomocí vícevrstvého perceptronu, kde vstupy perceptronu jsou jednotlivé buňky pracovní paměti a výstupem je množina konfliktu.

Vícevrstvý perceptron pro fázi přiřazení

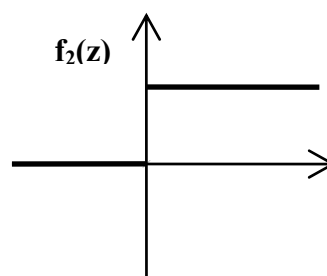
Neuronová síť využívá dva typy skokových nelinearit $f_1(z)$ a $f_2(z)$ (viz.Obr.č. 6.2., 6.3.),

pro něž platí,

$$\begin{aligned} f_1(z) &= 0 \text{ pro } z < 0 \text{ a } f_1(z) = 1 \text{ pro } z \geq 0, \\ f_2(z) &= 0 \text{ pro } z \leq 0 \text{ a } f_2(z) = 1 \text{ pro } z > 0, \end{aligned}$$

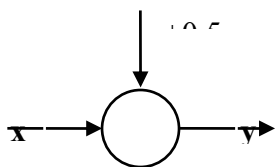


Obr.č. 6.2. Skoková nelinearita

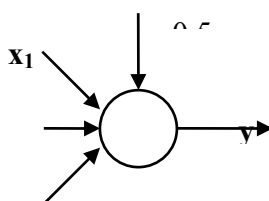


Obr.č. 6.3. Skoková nelinearita

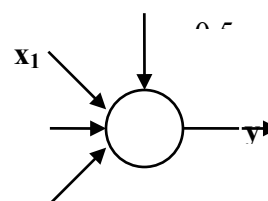
Při konstrukci neuronové sítě se negace, logický součin a logický součet realizují jako jisté prahové funkce (viz. Obr. č.6.4., 6.5., 6.6.).



Obr.č. 6.4. a)



Obr.č. 6.5. b) log. součet



Obr.č. 6.6. c) log.součin

Výsledek tohoto přístupu je, že při skutečně paralelní práci neuronové sítě by byl vlastní proces přiřazování nezávislý, jak na počtu aktivních buněk pracovní paměti, tak na počtu pravidel. Při tomto využití neuronové sítě se síť konstruuje podle naznačených pravidel, ale nevyužívá se možnosti učení sítě.

Podobný způsob použití (neuronové) sítě jsem použil při konstrukci řídicího systému (podrobněji viz. kapitola 7.2).

7. Návrh a řešení projektu

Cílem této práce je vytvořit *model chování biologického systému (organismu)* a implementovat jej tak, aby se choval jako autonomní systém schopný přizpůsobit své chování prostředí v němž se nachází.

Při modelování daného systému se vycházelo z posledních poznatků moderních přírodních věd zabývajících se chováním živočichů, jako je biologie, etologie, psychologie, sociologie apod., kde se objevují nové principy a abstraktní modely popisující chování živočichů.

Podstatnou vlastností všech živočichů je také jejich schopnost přizpůsobit se - adaptovat se na životní prostředí, v němž se nachází. Tyto vlastnosti jsou analyzovány a popisovány v evolučních teoriích, genetice, evoluční genetice a dalších příbuzných oborech. Tato úloha má tedy dvě základní části. Za prvé vytvořit model chování systému, a za druhé jej implementovat tak, aby byl schopen se adaptovat.

Výše uvedené přírodní vědy tedy sloužily jako primární a determinující pramen pro vytváření základních idejí a principů na nichž má být tento model postaven. Z hlediska hledání konkrétní realizace, pak byli velmi důležité prameny již aplikovaných přírodních principů a zákonů, distribuované řídicí systémy, expertní systémy a evoluční algoritmy a další.

7.1 Návrh projektu

Jak je uvedeno v zadání, cílem této práce je vytvořit *model systému chování živého organismu*, resp. model řídicího systému mobota, který by umožňoval autonomní, kognitivní chování s průběžným stanovovaným lokálních cílů.

Dalším cílem je pak nad množinou takovýchto systémů (jedinců) použít evoluční mechanismy, s cílem dosáhnout *adaptivní modifikace* chování systémů, odpovídající možnostem systému a charakteru prostředí v němž se nachází.

Tím se analýza a řešení problému dělí na dvě základní části.

Úkolem první části je vytvořit takový *model chování*, který by co nejlépe odpovídal poznatkům o chování živých systémů, který by byl zároveň snadno technicky realizovatelný a dále který by byl otevřený modifikacím v adaptační fázi.

Úkolem druhé části je *adaptovat chování systému* vzhledem k vlastnostem jeho okolí. Tato adaptace vychází ze základních evolučních principů a je založena na modifikaci vlastností systému a posuzování kvality této modifikace (výhodná - adaptivní modifikace, nebo nevýhodná - degradující modifikace).

7.1.1 Definice požadavků na systém

Nyní trochu podrobněji k některým požadavkům na vlastnosti systému. Systém je vnímavý, vnímající. Kognitivní systém je tedy systém, který je schopen vnímat své okolí. U pohyblivých systémů jejich autonomnost úzce souvisí se schopností reagovat na své okolí a tedy i schopností své okolí vnímat. Všechny živé systémy jsou pohybující se, autonomní a kognitivní.

7.1.2 Specifikace modelu systému

Před vlastním návrhem chování si musíme nejdříve definovat *aktivity*, které bude systém působit dovnitř i vně systému a *systém motivací* k provádění jednotlivých aktivit. Každá motivace je tvořena určitou konfigurací vnitřních a vnějších podnětů systému.

Vnitřní podněty informují systém o jeho vnitřních stavech systému a spouštějí a vypínají aktivity uspokojující základní potřeby organismu spojené s vnitřními metabolickými procesy (např. jako je látková výměna = příjem - výdej látek, příjem energie atd.).

Vnější podněty informují systém především o vlivech prostředí na systém (organismus) a korigují realizaci prováděných aktivit. Spouštějí také aktivity spojené s vyšší úrovní řízení (např. obejdi překážku, jdi k objektu atd.), nebo aktivity na základní úrovni s vysokou prioritou, u kterých je vyžadována rychlá reakce (např. reflexy související s bezpečností systému - organismu).

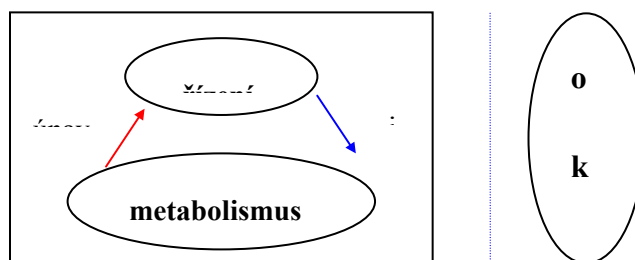
Jednotlivé aktivity popisují chování na abstraktní úrovni a mohou být velice komplexní a složité (např. u vyššího živočicha je aktivita jez realizována poměrně komplikovaným souborem pohybů). Jsou vnitřně logicky strukturalizovány a jsou tvořeny *základními elementy chování* (tj. nejnižšími akcemi, na které lze aktivitu dekomponovat). Z hlediska oblasti, na kterou působí, lze aktivity dělit na interní působící na vnitřní děje a procesy systému (organismu) a externí působící na okolní prostředí.

Při jisté úrovni zjednodušení můžeme podle typu podnětu a charakteru reakce na něj rozlišit čtyři základní typy aktivace činnosti organismu :

a) Chování **spouštěné i realizované interně** (např. únava-spánek).

- *vnitřní podnět*

- *vnitřní aktivita*

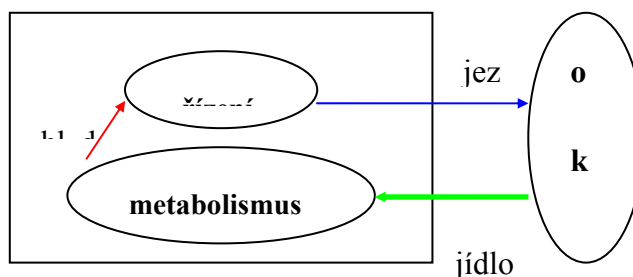


V tomto případě vnitřní (endogenní) podnět spouští aktivitu - reakci interního charakteru. Okolní prostředí na spuštění ani průběh reakce nemá žádný vliv.

b) Chování **spouštěné interně a realizované externě** (např. hlad - příjem potravy).

- *vnitřní podnět*

- *vnější aktivita*

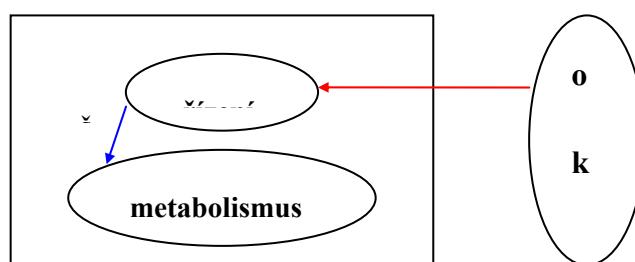


Zde se jedná o příklad interně spouštěné aktivity realizované externě. Prostřednictvím okolního prostředí je realizovaná zpětná vazba uspokojující danou potřebu (nedostatek potravy) organismu a tedy i snižující příslušnou potřebu (hlad).

c) Chování **spouštěné externě a realizované interně** (např. zima - zvýšení teploty)

- *vnější podnět*

- *vnitřní aktivita*

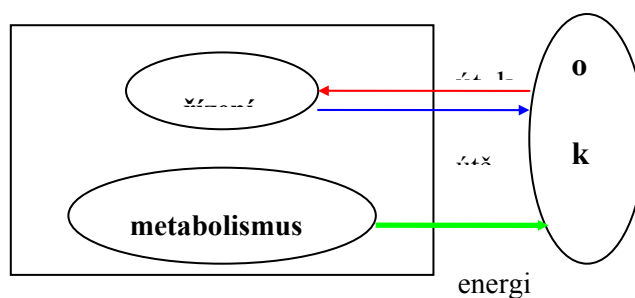


Zde se jedná o příklad externě spouštěné aktivity realizované interně. Okolní prostředí zde působí jako podnět na nějž organismus reaguje.

d) Chování **spouštěné i realizované externě** (např. útok - útěk)

- *vnitřní podnět*

- *vnitřní aktivita*



Zde se jedná o příklad externě spouštěné aktivity realizované externě. Prostřednictvím okolního prostředí je realizovaná zpětná vazba informující o úspěšnosti prováděného chování.

Nyní se budeme zabývat specifikací konkrétních vlastností systému. Navrhovaný systém bude vnímat, detekovat tyto typy podnětů (vnějších podnětů):

- jídlo
- voda
- brouk
- zeď

Podněty jsou tedy tvořeny „fyzickými objekty“. Senzory systému (jedince) budou snímat jen objekty v jeho bezprostředním okolí a budou poskytovat informaci na základě, které bude možno jednotlivé objekty identifikovat (rozpoznat). Výsledky této identifikace pak budou jedny ze základních vstupů řídicího systému jedince. Protože však definujeme systém na úrovni simulátoru, není nutné řešit otázku volby konkrétního typu senzorů.

Pro daný soubor podnětů pak jsou definovány tyto typy aktivit (globálních činností):

- jez
- pij
- spi
- uteč
- bojuj
- hledej

První dvě aktivity (jez, pij) jsou aktivitami externího charakteru reagující na podněty interního charakteru (vnitřní potřeby systému). Třetí aktivita (spi) je interně spouštěna i realizována. Další dvě aktivity (uteč, boj) jsou pak aktivitami externího charakteru, jež reagují na externí podněty (např. útok). Poslední aktivita (hledej) realizuje tzv. apetenční (nepřesně též „náhradní či zástupné“) chování, které je aktivováno v případech, kdy není možné realizovat aktivitu daný podnět přímo uspokojující (viz. kapitola 3. Etologie).

Příkladem může být situace, kdy vnitřní stav - hlad, vyjadřující potřebu jídla chce spustit aktivitu jez, ale v okolí není k dispozici žádná potrava, pak je spuštěno chování hledej potravu, které samo o sobě sice tuto potřebu neuspokojuje, ale výrazným způsobem zvyšuje možnost jejího uspokojení.

Výše zmíněným aktivitám pak odpovídají vnitřní stavy (vnitřní potenciály) systému, které tyto aktivity spouštějí. Jsou definovány takto:

<u>vnitřní stav</u>	<u>odpovídající aktivita</u>
---------------------	------------------------------

- | | |
|-------------|------------|
| • hlad | (jez) |
| • žízeň | (pij) |
| • únava | (spi) |
| • strach | (uteč) |
| • agrese | (boj) |
| • zvědavost | (hledej) |

Jednotlivé stavy jsou vlastně proměnné obsahující tzv. *vnitřní potenciály* (viz. *akčně specifický potenciál ASP*), jejichž velikost vyjadřuje sílu motivace (buzení) k provádění aktivity příslušné k danému stavu. Hodnoty těchto potenciálů jsou dány působením různých vnitřních (např. metabolických) a vnějších (prostředí, další jedinci) vlivů.

Dekompozicí definovaných aktivit můžeme získat aktivity nižší úrovně (více konkrétní). Např. u aktivit uteč, bojuj, hledej lze najít elementárnější akci - jdi, přičemž volba směru, délky kroku či rychlosti pohybu bude různá pro každou z daných aktivit.

Příklad analýzy realizace jednotlivých aktivit :

aktivita	akce jdi
uteč	jdi rychle opačným směrem než přichází podnět (útočník)
bojuj	jdi ve směru podnětu (oběť)
hledej	jdi náhodným směrem

Ostatní aktivity nemá význam na této úrovni dekomponovat. Získáváme tak definovány tyto cílové aktivity:

- jez
- pij
- spi
- jdi

V dalším kroku si definujeme systém motivací ke spuštění jednotlivých aktivit. Necht' jsou motivace tvořené vnitřními podněty (vnitřními stavy) a vnějšími podněty definovány takto:

7.1.3 Definice prostředí simulátoru

7.1.4 Volba řídicího systému

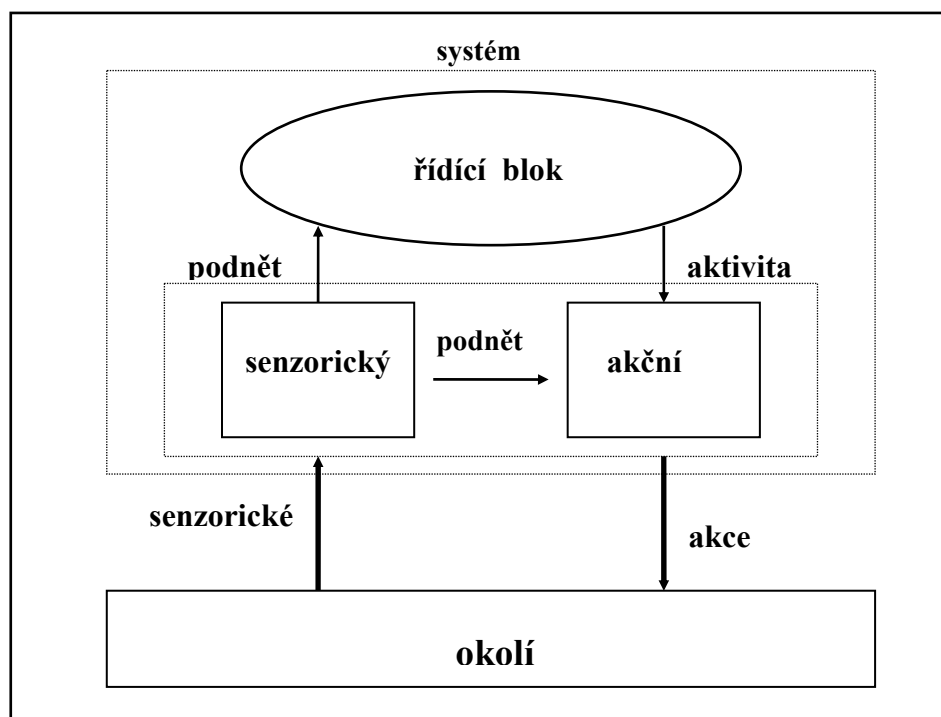
V předchozí kapitole jsme si stanovili chování, které budeme od systému vyžadovat. Nyní musíme celý systém rozdělit na jednotlivé funkční bloky a definovat jejich vnitřní realizaci. Systém, který definujeme (tj. autonomní mobilní robot), se pohybuje v určitém prostředí, ve kterém je schopen se orientovat a reagovat na něj.

Systém při svém působení v prostředí provádí tři základní činnosti:

- vnímání okolí prostřednictvím senzorů
- výběr vhodného chování
- realizace zvoleného chování prostřednictvím aktuátorů.

Z toho plyne logické členění systému podle těchto činností na část sensorickou, řídicí a akční (viz.Obr.č. 7.1.).

Celý systém je rozdělen do dvou úrovní (vrstev) řízení. První *základní úroveň* je tvořena *sensorickým* a *akčním* blokem. Na této úrovni jsou zajišťovány základní funkce systému jako je snímání podnětů z okolí, či realizace aktivit systému. Dále pak tato úroveň zajišťuje bezpečnost systému (jako např. zamezení srážky s překážkou) prostřednictvím přímých reakcí na podněty z okolí (reflexní smyčka) či korekcí povelů z vyšší úrovně řízení.



Obr.č. 7.1. Obecné schéma řídicího systému

Vyšší úroveň řízení je realizována **řídícím blokem** a slouží k stanovování (globálních) aktivit systému na základě momentální konfigurace vnitřních a vnějších podnětů (potřeb). Na této úrovni řízení je také nutné definovat způsoby, metody spouštění aktivit, vypínání aktivit a řešení případů buzení několika aktivit systému současně. Dále je zde nutné definovat charakteristické parametry systému, jako je vliv podnětů, vnitřních procesů a spuštěných aktivit na hodnotu vnitřních stavů.

Senzorický blok tvoří vstupní část systému, která snímá signály z okolí, zpracovává je a provádí jejich klasifikaci. Výstupem senzorického bloku jsou pak klasifikovaný - identifikovaný podnět (objekt) a směr odkud tento podnět přichází.

Realizaci zvolené aktivity je následně pověřen **akční blok**. Na úrovni tohoto bloku jsou definovány způsoby realizace jednotlivých globálních aktivit na základě základních, elementárních akcí, které jsou pak tímto blokem i prováděny. Vstupy tohoto bloku jsou aktivity zadávané z vyšší řídicí úrovně a podněty (hlavně směr podnětů) ze senzorické části systému.

7.1.5 Definice mechanismu adaptace systému

Adaptace chování výše popsaného systému je založena na modifikaci některých jeho významných parametrů a měření úspěšnosti jeho chování v daném prostředí. Při implementaci adaptace chování systému jsem použil genetické algoritmy.

Každý jednotlivý systém (jedinec), má mít tyto parametry definované v podobě binárních řetězců - *chromozómů*. Po jisté době působení množiny všech jedinců - *populace jedinců*, v prostředí, je ohodnocena úspěšnost jejich chování, z hlediska zvolených požadavků na toto chování. Na základě nejlépe ohodnocených jedinců jsou pak vytvořeni noví jedinci - *potomci*, kteří nahradí nejhorší jedince v populaci.

Výsledkem by pak měla být progresivní adaptace chování jedinců z hlediska zvolených kritérií a nakonec nalezení jistého optimálního (suboptimálního) nastavení systému, které zaručuje nejvýhodnější chování pro daný typ prostředí. Úspěšnost tohoto

procesu je však silně závisí na vhodně zvoleném způsobu hodnocení kvality (chování) jednotlivých jedinců, na základě kterého je prováděna selekce, a také způsob realizace operací s chromozómy při vytváření nové populace.

Ne nevýznamnou roli hraje také již jistá zkušenost při aplikaci genetických algoritmů a přehled o jejich různých variantách jež se používají.

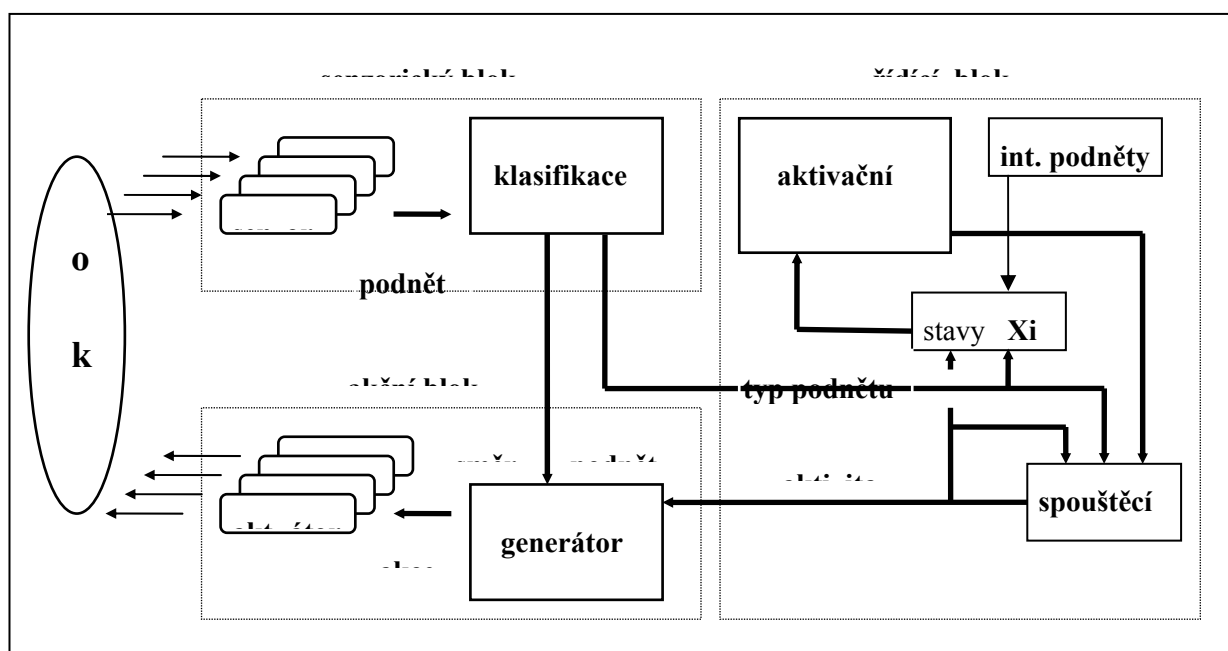
7.2 Realizace projektu

V předchozí kapitole byly formulovány požadované vlastnosti systému a naznačeny způsoby jeho realizace. Nejvýznamnější částí celého navrhovaného systému je řídicí blok, resp. řídicí systém, jehož návrh a způsob realizace je ústředním tématem této práce.

Při jeho definici jsem se snažil vytvořit takový systém, který by umožňoval i realizaci poměrně komplikovaných typů chování, a který by zároveň otevíral pole dalším možným rozšířením, implementaci adaptace chování či učení systému.

7.2.1 Model systému

V této kapitole se budeme podrobněji zabývat definicí funkcí vnitřní struktury jednotlivých částí realizovaného modelu chování (viz. Obr.č. 7.2.)



Obr.č. 7.2. Vnitřní struktura model chování

Konkrétní funkce a parametry vstupní - senzorické i výstupní - akční části systému jsou závislé na způsobu definice řídicí části, tj. vlastního *řídicího systému*. Vstupem řídicího systému je vždy informace pouze o jednom, dominantním podnětu a výstupem je vždy jedna spuštěná aktivita.

Senzorický blok dodává řídicímu systému informaci o typu podnětu, který přichází z okolí, tj. o jaký typ objektu se jedná (např. voda, jídlo, brouk, zed'). Informace o směru, kterým podnět přichází není pro tuto (vyšší) úroveň řízení podstatná. Ta je předávána akčnímu bloku, který ji využije při realizaci spuštěné aktivity (např. při spuštění aktivity - útěk, akční blok určí směr útěku jako opačný než je směr podnětu).

Obecná informace o typu spuštěné aktivity, předávané z řídicího systému, je v **akčním bloku** dekomponována na základní akce (např. aktivita útěk na akci jdi) a je doplněna o další informace jako je směr či délka kroku (např. u aktivity útěk - směr opačný než směr podnětu + dvojnásobný krok). Takto specifikovaná akce jsou pak předávány příslušným aktuátorům, které ji provádějí.

Úkolem **řídicího systému** je určit globálních aktivitu, kterou má systém v daném okamžiku realizovat. To znamená, že systém provádí určitý typ „plánování“, v souvislosti s kterým se realizuje celá řada různých úkonů. Těmito úkony jsou jak činnosti související s vlastním výběrem spuštěné aktivity, tak s činnosti související s aktualizací vnitřních parametrů systému.

Jak je znázorněno na Obr.č. 7.2., je řídicí systém členěn na dva hlavní funkční podbloky - tzv. *aktivační blok* a *spouštěcí blok*. Při definici funkcí těchto bloků jsem vycházel z etologických modelů řízení chování živočichů (viz.kap.č.4. Etologie).

Úkolem **aktivačního bloku** je sledovat hodnoty vnitřních stavů (potenciálů) systému, které vyjadřují sílu motivace k nim odpovídající činnosti. Pakliže tyto hodnoty dosáhnou mezní, prahové úrovně, pak příslušné aktivity blok nastaví jako aktivní, tj. připravené ke spuštění. Jedinými parametry s kterými tento blok pracuje jsou hodnoty jednotlivých stavů systému a k nim příslušející prahy. Výstupem tohoto bloku může být současně několik aktivovaných aktivit. Jejich počet závisí pouze na tom, zda hodnoty jim příslušejících stavů překročily prahové hodnoty.

Spouštěcí blok naproti tomu musí vybrat pouze jednu aktivitu, kterou označí za spuštěnou a předá ji akčnímu bloku. Spouštěcí blok je tedy ta část řídicího systému, která řeší problém vícenásobné motivace systému. K učinění tohoto rozhodnutí má tři

typy informací, seznam aktivovaných aktivit, právě realizovanou aktivitu a typ podnětu přicházejícího z okolního prostředí.

Primární význam pro další rozhodnutí bloku má informace o typu podnětu, která specifikuje, které aktivity jsou spustitelné. Po té se vyberou aktivity jež mají obě uvedené vlastnosti, tj. jsou aktivované i spustitelné. Je-li taková aktivita pouze jedna pak je označena za spuštěnou a je předána akčnímu bloku.

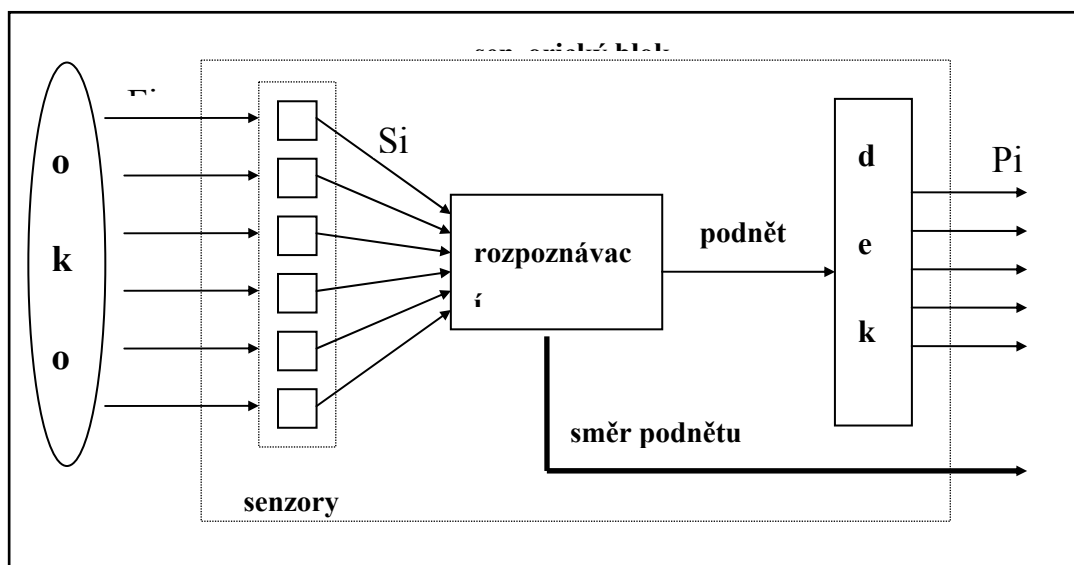
Problém však nastane je-li takových aktivit několik. Tuto situaci jsem vyřešil tím způsobem, že pořadí v němž jsou jednotlivé aktivity testovány, představuje zároveň i jejich priority. Je-li tedy nalezena první aktivita splňující obě podmínky, je testování ukončeno a příslušná aktivita je označena jako spuštěná a po té je předána akčnímu bloku.

Další funkcí řídicího systému, která ve výše uvedeném schématu není příliš viditelná, je aktualizace vnitřních parametrů systému. Těmito parametry jsou především vnitřní stavy. Jejich hodnoty jsou měněny - modifikovány působením vnitřních podnětů (tj. vliv metabolismu systému - spotřeba vody - zvýšení žízně, spotřeba energie - zvýšení únavy), vnějších podnětů (např. útok - zvýšení strachu), a spuštěných aktivit (např. spuštěná aktivita pij - uspokojuje potřebu vody - snižuje hodnotu vnitřního stavu - žízeň).

7.2.1.1 Senzorická část

Jak jsem uvedl na začátku této kapitoly, je řídicí systém realizován jako síť. Vstupní uzly této sítě slouží k uchování a distribuci informace o vnějším podnětu do celého řídicího systému. Každý uzel je přiřazen jednomu podnětu a má charakter binární paměti, tj. nabývá hodnot logické jedničky nebo nuly.

Systém detekuje v jednom okamžiku vždy pouze jeden podnět, tzn. že nastaven na log. jedničku může být jen jeden vstupní uzel a ostatní jsou nastaveny na hodnotu log. nuly (kód 1 z n), proto je nutné na vstupní uzly řídicího systému přivést informaci o vnějším podnětu v tomto kódu.



Obr.č. 7.3. Sensorický blok systému

Na Obr.č. 7.3. je pak zobrazeno rozšířené schéma sensorického bloku. Jednotlivé senzory snímají z okolního prostředí fyzické veličiny F_i , které převádějí na normalizovaný signál S_i . Ten vstupuje do rozpoznávacího bloku, kde jsou klasifikovány - identifikovány jednotlivé typy podnětů. Výstupem rozpoznávacího bloku je identifikační číslo typu podnětu a směr odkud podnět přichází. Dekodér pak číslo podnětu převádí na kód 1 z n (P_i), který pak přichází na jednotlivé vstupní uzly řídicího systému.

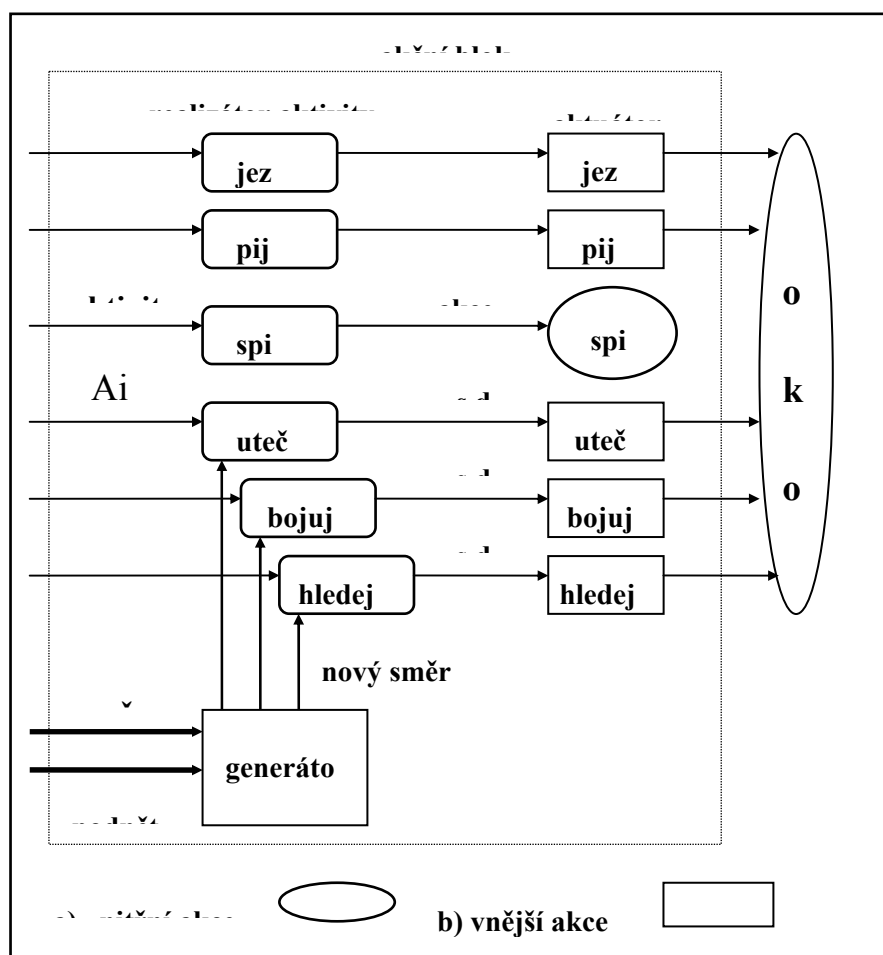
Aby sensorický systém zajistil na svém výstupu vždy pouze jeden (dominantní) podnět, musí disponovat jistou metodou, která bude tuto činnost realizovat. K řešení tohoto problému jsem definoval pro jednotlivé podněty jejich priority, a to identicky s definicí priorit v řídicím systému. Priority jednotlivých podnětů od nejvyšší po nejnižší priority jsou definovány takto:

1. **brouk (potenciální útočník)**
2. **voda (základní potřeba organismu - jedince)**
3. **jídlo (základní potřeba organismu - jedince)**
4. **zeď (překážka)**

Působí-li pak na systém několik podnětů současně, je vybrán vždy ten s nejvyšší prioritou.

7.2.1.2 Akční část

Akční blok je část systému realizující vlastní provedení spuštěných aktivit určených řídicím blokem. Podobné vlastnosti jaké mají vstupní uzly, mají i výstupní uzly řídicího systému. To jest, mají charakter binární paměti a vždy pouze jeden z nich může nabývat hodnoty logické jedničky. Z tohoto předpokladu vychází i koncepce vstupů akčního bloku (viz.Obr.č. 7.4.).



Obr. č. 7.4. Akční blok systému

Blok je tvořen realizátory aktivit a vlastními aktuátory. Realizátor aktivity provádí dekompozici - rozklad globální aktivity A_i , zadané řídicím systémem, na soustavu

elementárních akcí, které doplňuje o další údaje (jako je např. směr, délka kroky či rychlost), a po té je posílá do aktuátorů (akčních členů), které je „ fyzicky “ provedou.

Přitom zde lze rozlišit aktivity interního charakteru (např. spi) a externího charakteru (např. hledej, jez apod.), které se budou vzájemně lišit ve způsobu realizace i typu akčního členu, kterým budou danou aktivitu realizovat.

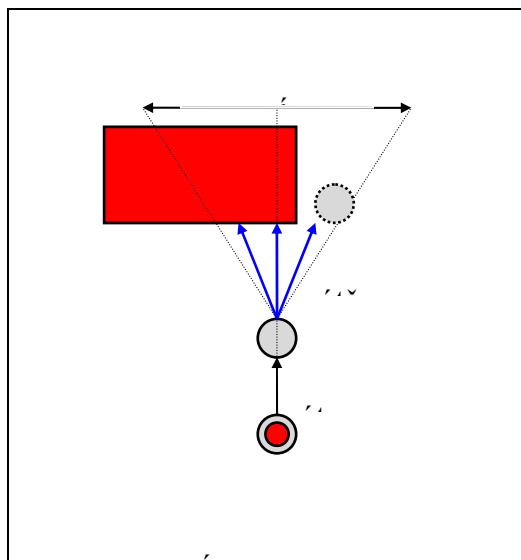
Další významnou funkcí tohoto bloku je zajišťování reflexních reakcí na přímé podněty z okolního prostředí. Tím je v akčním bloku pověřen generátor akcí, který může provedení jednotlivých elementárních akcí, buď zakázat, nebo jejich provedení korigovat. Korekcí je míněna především korekce směru provedení dané akce, která je realizována přidáváním jisté, náhodně volené, odchylky. Rozmezí v němž se tyto odchylky pohybují je pak pro jednotlivé aktivity voleno různě velké.

Příkladem činnosti generátoru akcí může být případ, kdy je systém působením vnějšího prostředí (např. útokem jiného jedince) vybuzen k útěku (viz. Obr.č.7.5.). Generátor zde vytváří elementární akce -jdi, s různými směry, které současně porovnává se vstupními podněty, a tím testuje jejich proveditelnost.

Není-li akce proveditelná, tj. v místě kam se má jedinec akcí jdi přesunout je překážka, pak generátor tuto akci zakáže provést a

generuje akci s jinými parametry (s jiným směrem). To se provádí dokud není některá akce proveditelná.

Výsledkem takto jednoduše koncipovaného řízení na této základní úrovni, je nejen zamezení srážky s překážkou, ale dokonce vytvoření schopnosti překážku obejít a zamezit vzniku dead-locků. To jest vzniku neřešitelné situace, kdy by byl systém nucen do aktivity, kterou by na úrovni akčního bloku nebyl schopen realizovat (např. by zůstal stát před překážkou, přes kterou by nemohl přejít, nebo by oscilovat -přeskakoval mezi dvěma polohami).

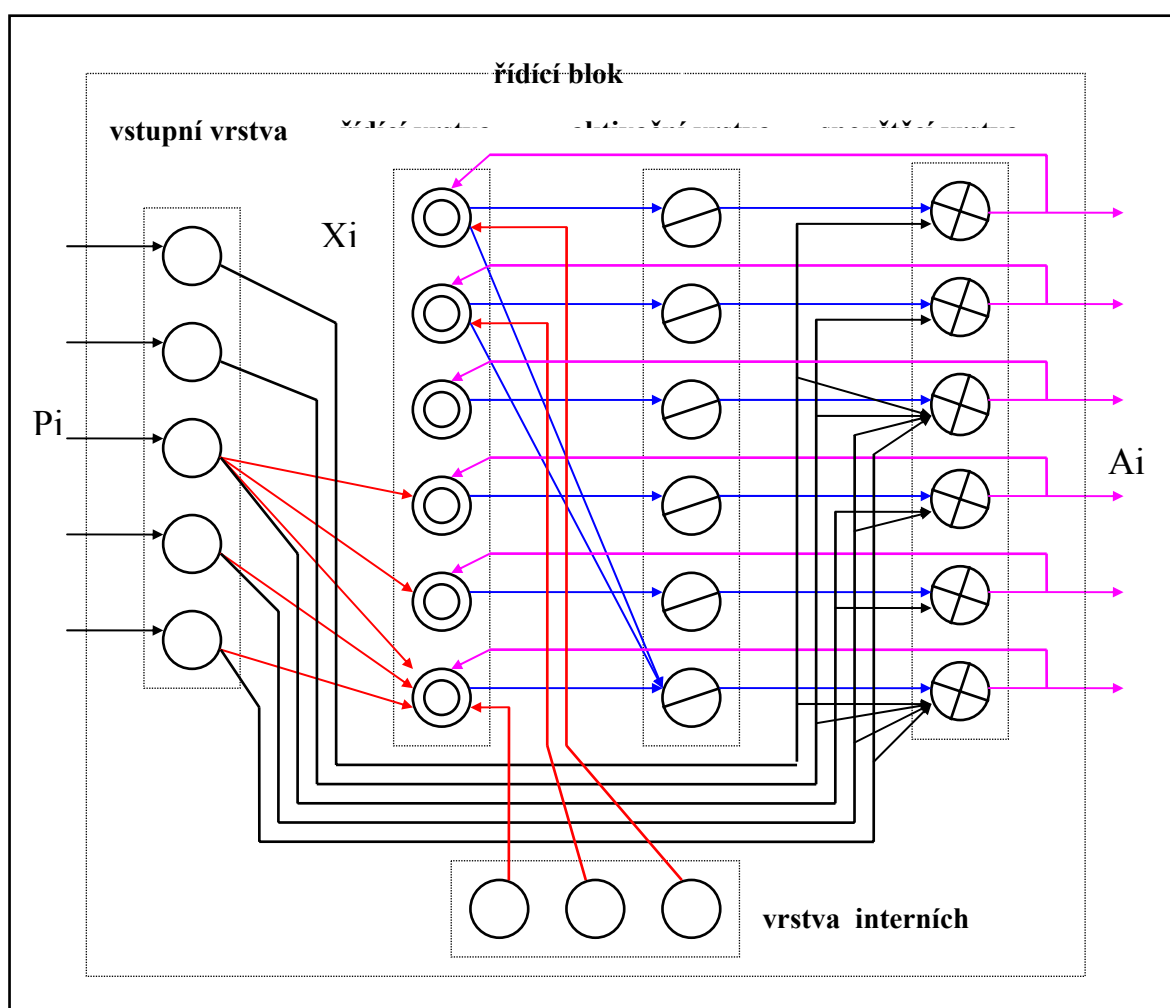


Obr. č. 7.5. Útěková reakce jedince

7.2.1.3 Řídicí systém

Řídicí systém je koncipován jako síť s velmi podobnými vlastnostmi, jako mají neuronové sítě, a také způsob jejího použití v řídicím systému je podobný využití neuronových sítí bez učení v pravidlových expertních systémech.

Hlavním úkolem řídicího systému, je pro dané vnitřní stavy systému X_i a podnět z okolí P_i určit vhodný typ aktivity A_i , resp. chování systému. Celá síť řídicího systému je tvořena pěti vrstvami - vrstvou vstupní, řídicí, aktivační, spouštěcí a interních podnětů, kde každá z nich má svou specifickou úlohu (viz. Obr.č. 7.6.).



Obr.č. 7.6. Řídicí blok systému

Vstupní vrstva

Úkolem první, vstupní vrstvy sítě je uchovávat informaci o typu podnětu přicházející ze senzoričského bloku a distribuovat ji do jednotlivých částí sítě řídicího systému. Konkrétně ji předává do druhé tzv. řídicí vrstvy sítě, kde jsou na jejím základě aktualizovány vnitřní stavy systému, a do čtvrté spouštěcí vrstvy, kde se na jejím základě určují spustitelné aktivity. Počet uzlů této vrstvy odpovídá počtu podnětů na něž systém reaguje. Každý uzel je přiřazen vždy jednomu podnětu o jehož stavu, tj. existenci či neexistenci, informuje.

Řídicí vrstva

Jádrem celého řídicího systému je druhá, řídicí vrstva. Její úkolem je aktualizovat hodnoty vnitřních stavů na základě jejich excitačních a inhibičních vstupů a testovat, zda tyto hodnoty nepřekročily definované prahové hodnoty, tj. nemají-li být aktivovány příslušné aktivity.

Počet uzlů této vrstvy je dán počtem vnitřních stavů systému, přičemž každý vnitřní stav může aktivovat obecně několik aktivit a naopak jedna aktivita může být buzena, aktivována několika vnitřními stavy. Překročí-li hodnota vnitřního stavu hodnotu aktivačního prahu, je výstup daného uzlu nastaven na hodnotu logické jedničky, jinak má hodnotu logické nuly.

a) Aktualizace vnitřních stavů

Hodnoty vnitřních stavů jsou ovlivňovány, modifikovány třemi typy vstupů - vnitřními podněty, vnějšími podněty a spuštěnými aktivitami. Tyto vstupy lze rozdělit na excitační, resp. inhibiční podle toho zda hodnotu stavu zvyšují, resp. snižují. Hodnota vnitřního stavu (budícího potenciálu) vyjadřuje míru vybuzení, tj. sílu motivace, k provedení příslušné aktivity. Čím je hodnota stavu vyšší, tím silnější je motivace k realizace dané akce (viz.kap 4. Etologie).

Vnitřní podněty zde zastupují vliv, působení vnitřních procesů organismu (metabolismus -spotřeba látek, energie) na motivace k činnostem, které souvisejí s vnitřními procesy systému, jako je příjem a výdej látek a energie. Vyjadřují minimální

spotřebu (jídla, vody a energie) systému, tj. spotřebu systému v klidu a zvyšují tedy stavy jako je hlad, žízeň a únava.

Vnější podněty oproti tomu souvisejí spíše s vyšší úrovní chování, které se projevuje jako zvědavost či hravost. Tyto podněty modifikují, resp. zvyšují hodnoty stavů jako je strach, zvědavost a agresivita.

Zpětné vazby od spuštěných aktivit jsou třetím typem vstupů do řídicí vrstvy. Mají v řídicím systému dva základní úkoly. Za prvé slouží k vyjádření uspokojení potřeb systému právě prováděnou aktivitou, tj. snížení hodnoty vnitřního stavu, resp. snížení motivace k realizaci spuštěné aktivity (např. při provádění aktivity pij bude snižován vnitřní stav - žízeň).

Druhým úkolem tohoto typu vstupů je vyjádřit vliv jednotlivých prováděných aktivit na vnitřní (metabolické) procesy systému, tj. zvýšení spotřeby energie a látek oproti klidovému stavu. Definicí této vlastnosti způsobuje, že takto definovaný systém se blíží vlastnostem živých systémů, ale hlavně takováto diferenciací jednotlivých aktivit, je jednou ze základních předpokladů pro realizaci adaptace jako směřované modifikace.

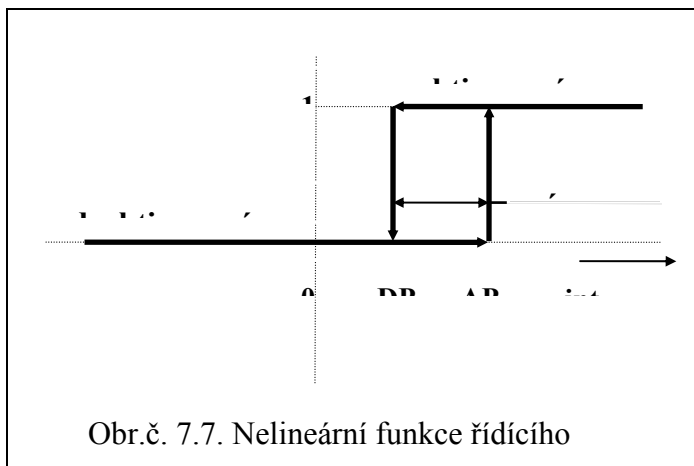
b) Aktivace činností

Při řešení problému spuštění, resp. aktivace činností jsem vycházel z etologických modelů aktivace jednotlivých typů chování (viz.kap.4 Etologie). Jak bylo již výše uvedeno, základním principem aktivace je sledování hodnoty stavu vnitřního potenciálu a její porovnávání s prahovou, aktivační hodnotou. Výsledkem pak tohoto porovnávání je pak může být spuštění, resp. aktivace příslušné činnosti.

Použití jednoho prahu, pro takto definovaný systém, však může způsobovat celou řadu nežádoucích efektů (např. uspokojováním určité potřeby klesne vnitřní stav pod hodnotu prahu, to způsobí vypnutí - deaktivaci dané činnosti, ale působením vnitřní potřeby se opět hodnota stavu dostane nad práh, což povede k opětovné aktivaci činnosti). Vzniku takovýchto a jemu podobných jevů jsem zamezil definicí dvou typů prahů - aktivačního a deaktivčního práhu.

Aktivační, resp. horní práh AP slouží jak z názvu plyne k aktivaci neaktivních činností, zatímco deaktivální, resp. dolní práh DP je určen k deaktivaci aktivních činností (viz.Obr.č. 7.7.).

Deaktivační práh je vždy menší než aktivační práh. Rozdíl aktivačního a deaktiválního prahu je hodnota vyjadřující velikost uspokojení, míru sycení příslušné potřeby. Vhodnou definicí těchto dvou prahů pro jednotlivé aktivity lze dosáhnout celé řady různých typů chování.



Obr.č. 7.7. Nelineární funkce řídicího

To je také důvod, proč jsou tyto prahy použity, modifikovány v úloze adaptace chování systému.

Aktivační vrstva

Výstupy řídicí vrstvy vstupují do jednotlivých uzlů třetí, aktivační vrstvy. Počet uzlů v této vrstvě odpovídá počtu aktivit systému. Každý uzel reprezentuje jednu aktivitu a má, podobně jako uzly vstupní vrstvy, charakter binární paměti. Je-li uzel nastaven na hodnotu logické jedničky, znamená to, že příslušná aktivita, činnost je aktivována, v opačném případě je deaktivována. Uzly této vrstvy mohou mít obecně několik vstupů. Podmínkou jejich aktivace je, aby alespoň jeden vstup byl aktivní (tj. nastaven na log. jedničku). Výstupy z této vrstvy pak dále pokračují do spouštěcí vrstvy systému.

V úvodní části definice systému byl definován tzv. aktivační blok, jehož úkolem byla aktivace jednotlivých, globálních aktivit. Funkci tohoto bloku realizují společně právě řídicí a aktivační vrstva.

Spouštěcí vrstva

Realizaci funkce výše definovaného spouštěcího bloku zajišťuje čtvrtá, výstupní vrstva řídicího systému. Úkolem této vrstvy je určit ze všech aktivovaných aktivit pouze jednu, která má být spuštěna. Počet uzlů je zde stejný jako v předchozí vrstvě, tj. rovný

počtu aktivit systému, a uzly jsou binární (nabývají hodnoty 0,1). Každý uzel odpovídá jedné aktivitě. Je-li uzel nastaven na jedničku, znamená to, že daná aktivita je spuštěna. Spuštěna přitom může být v jednom okamžiku vždy pouze jedna aktivita. Výstupy této vrstvy jsou předávány akčnímu bloku, který spuštěnou aktivitu realizuje.

Do každého uzlu této vrstvy vstupují dva typy informací - informace o tom, je-li příslušná aktivita aktivní a informace o typu podnětu, který danou aktivitu spouští (viz.Obr.č. 7.6.). Nastane-li situace, kdy je alespoň jeden spouštěcí podnět aktivní (tj. vstup od tohoto podnětu má hodnotu log. jedničky) a příslušná činnost je současně aktivována, pak tato činnost může být spuštěna.

Problém možného vzniku vícenásobné aktivace je řešen vytvořením následující sestupné hierarchie jednotlivých aktivit:

1. jez
2. pij
3. spi
4. uteč
5. bojuj
6. hledej

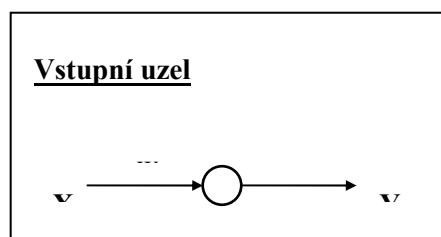
První aktivita, jež splní výše jmenované podmínky, je spuštěna. Výsledkem je to, že ze všech spustitelných aktivit je spuštěna vždy ta s nejvyšší prioritou.

Vrstva vnitřních podnětů

Tato vrstva se od předešlých vrstev řídicího systému odlišuje tím, že se aktivně nepodílí na vlastním řízení. Její funkcí je reprezentovat interní potřeby systému, resp. organismu a jejich prostřednictvím ovlivňovat určité typy motivací (např. hlad, žízeň či únava).

Uzly jednotlivých vrstev sítě řídicího systému lze definovat takto:

a) Vstupní uzel - binární paměť (Obr.č. 7.8.)



$$Y = w_0 * X = X, \quad w_0 = 1$$

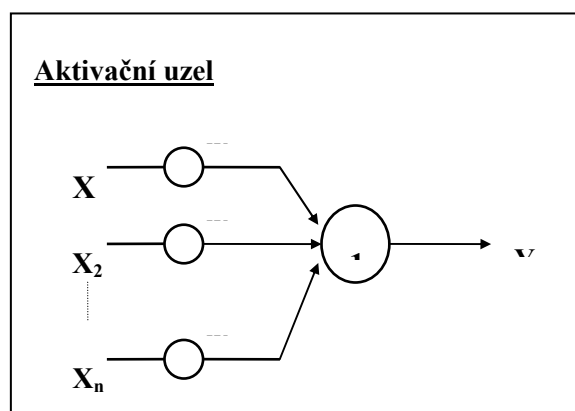
$$Y = X$$

Vstupní uzel má vstup i výstup binární, tzn. že vstupy i výstupy tohoto uzlu nabývají hodnot z oboru binárních čísel (0,1). Váha w_0 vstupní hrany uzlu je rovna jedné, takže to co se objeví na vstupu, to má tento uzel i na výstupu. Funguje tedy jako binární paměť, hradlo.

b) Aktivační uzel - logická funkce OR

$$Y = \underset{i=1}{OR}^n w_i * X_i, \quad w_i = 1, \text{ pro } i = 1 \dots n$$

$$Y = \underset{i=1}{OR}^n X_i$$

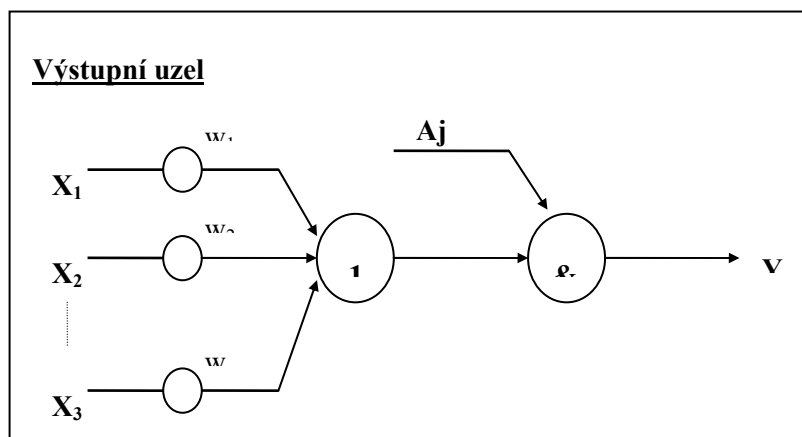


Aktivační uzel (Obr.č. 7.9.) má binární vstup i výstup a váhy jeho vstupních hran $w_1 \dots w_n$ jsou rovny jedné. Výstupem tohoto uzlu je výsledek logického součtu (operace **OR**) přeze všechny vstupní hrany uzlu x_1 až x_n .

c) Výstupní, spouštěcí uzel - logická funkce $AND(OR x_i, OR y_i)$ (viz.Obr.č. 7.10.)

$$Y = AND\left(\underset{i=1}{OR}^n w_i * X_i, A_j\right), \quad w_i = 1, \quad i = 1 \dots n$$

$$Y = AND\left(\underset{i=1}{OR}^n X_i, A_j\right)$$

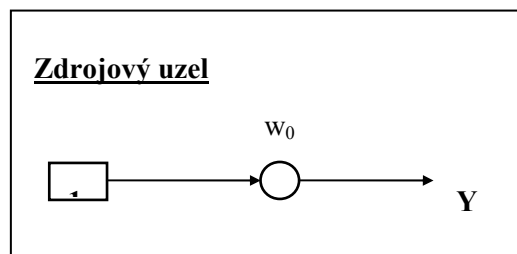


Obr. 7.10. Výstupní uzel

Spouštěcí uzel má binární vstup i výstup a váhy jeho vstupních hran $w_1 \dots w_n$ jsou rovny jedné. Tento uzel provádí dvě logické operace. První operací je logický součet (operaci **OR**) přes všechny vstupní hrany uzlu x_1 až x_n , které odpovídají budícím podnětům. Druhou operací je pak logický součin výsledku první operace a hodnoty výstupu z aktivačního uzlu A_j .

d) Zdrojový uzel - konstanta (Obr.č. 7.11.)

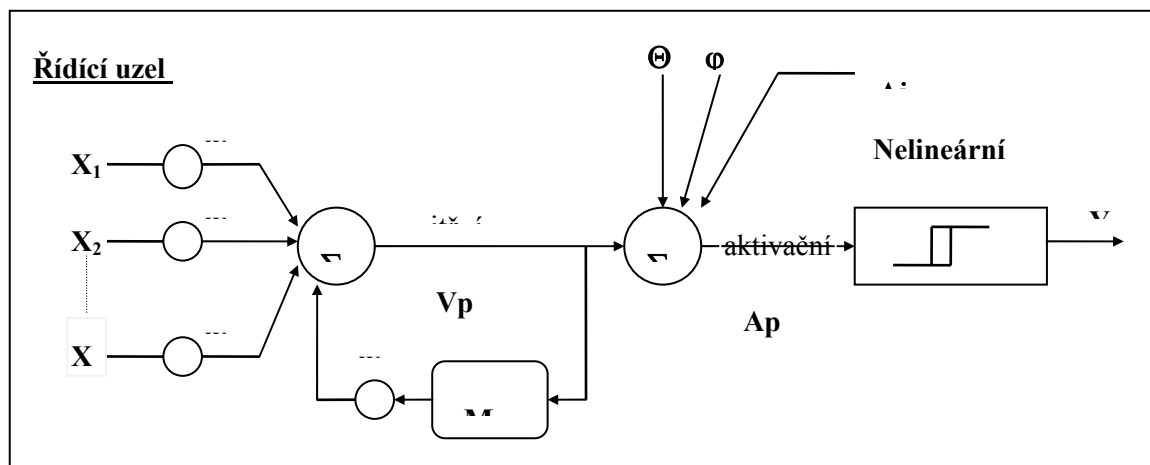
$$Y = w_0 = konst.$$



Obr. 7.11. Zdrojový uzel

Zdrojový uzel má na svém vstupu trvale připojenu log. jedničku a hodnota váhy w_0 vstupní hrany je z oboru celých kladných čísel. Výstupem tohoto uzlu je pak hodnota právě této váhy. Tyto uzly slouží k vyjádření *interních potřeb systému*, resp. jejich vliv na hodnotu stavů systému.

e) Řídící (rozhodovací) uzel - výkonný uzel sítě (Obr.č. 7.12.)



Obr.č. 7.12. Řídící uzel

Uzly druhé řídící vrstvy mají obecně n vstupů o váhách w_i a mají vlastní paměť zaznamenávající historii příslušných vnitřních stavů systému. Příspěvky jednotlivých vstupních hran a paměti uzlu jsou sčítány ve společném sumátoru. Výsledná hodnota je *vnitřní potenciál* uzlu V_p .

Tato hodnota pak vstupuje do druhého sumátoru, kde je vypočítán tzv. *aktivační potenciál* A_p uzlu, jako rozdíl vnitřního potenciálu a *aktivačního* Θ , resp. *deaktivačního prahu* $\Theta - \varphi$.

$$V_p = \sum_{i'=1}^n w_{i'} * X_{i'} + w_0 * M, \quad w_0 = 1,$$

$$M = V_p,$$

$$A_p = V_p - \Theta + \varphi * A_j, \quad Y = hvs[A_p],$$

$$Y = hvs \left[\sum_{i'=1}^n w_{i'} * X_{i'} + M - \Theta + \varphi * A_j \right],$$

kde

V_p je vnitřní potenciál uzlu,

A_p je aktivační potenciál uzlu,

Θ je horní, aktivační práh,

φ je míra sycení stavu,

A_j je binární hodnota z příslušného spouštěcího uzlu aktivity,

X_i jsou vstupy do uzlu,

Y je výstup uzlu,

M je historie vnitřního potenciálu ($V_p(k-1)$),

Aktivační potenciál A_p po té vstupuje do nelineární výstupní funkce, jejímž výstupem Y je jednička, je-li hodnota $A_p > 0$, jinak je nula.

7.2.1.4 Definice řídicího systému

Pro definici řídicího systému, při jeho realizaci v podobě programu, jsem se snažil zvolit pokud možno co nejobecnější formu, která by umožňovala velmi snadno a jednoduše měnit a rozšiřovat jeho strukturu a vlastnosti, a to jak konstruktérem, tak i případně uživatelem. Proto jsem zvolil reprezentaci řídicího systému v podobě matic a vektorů, která je schopna popsat definovaný systém v celé jeho úplnosti.

Při případných změnách definice chování systému pak stačí pouze změnit datovou část programu, tj. definici vektorů a matic, a vlastní výkonná část programu obsahující jednotlivé výpočty a operace, jež je definována pro obecně n -rozměrná data, zůstává beze změny.

Jednotlivé vrstvy řídicího systému jsou reprezentovány prostřednictvím jednorozměrných polí -vektorů, kde počet prvků každého vektoru odpovídá počtu uzlů v příslušné vrstvě. Všechny uzly sítě řídicího systému jsou tak popsány pomocí čtyř vektorů. Z funkce výše popsaného řídicího systému vyplývá, že hodnoty prvků vektoru, který reprezentuje uzly druhé, řídicí vrstvy, nabývají hodnot z oboru celých kladných čísel, zatímco u ostatních vektorů nabývají pouze binárních hodnot.

Jednotlivé vektory jsou definované následovně (v transponované podobě):

1. Vstupní vektor X_{vst}

jídlo	voda	brouk	zed'	nic
-------	------	-------	------	-----

2. Stavový vektor X_{stv}

hlad	žízeň	únava	strach	agrese	zvědavost
------	-------	-------	--------	--------	-----------

3,4. Aktivační a spouštěcí vektor X_{akt} , X_{sp}

jez	pij	spi	uteč	bojuj	hledej
-----	-----	-----	------	-------	--------

Další prvky určující topologii sítě řídicího systému jsou hrany, neboli spojení mezi jednotlivými uzly sítě. Ty jsou definovány pomocí dvourozměrných polí - matic. Každá matice popisuje vždy množinu stejně orientovaných hran mezi dvěma vrstvami sítě. Matice plní hned několik funkcí zároveň.

Za prvé popisují *konektivitu sítě*, neboli její propojenost, kdy nenulový prvek matice představuje existenci hrany mezi odpovídajícími uzly sítě. Za druhé definují *hodnotu vah* jednotlivých hran sítě, tedy míru vlivu dané hrany na hodnotu příslušného cílového uzlu. A za třetí znaménko této hodnoty vyjadřuje to, zda se jedná o *excitační*, resp. *inhibiční hranu*, tj. zda se hodnota této váhy přičte, resp. odečte od vnitřní hodnoty cílového uzlu.

Matice jsou definovány takto:

1. Matice A (konektivita)

stav	hlad	žízeň	únava	strach	agres.	zvěd.
hlad	1					
žízeň		1				
únava			1			
strach				1	1	

agresivita					1	1
zvědavost				-2		1

Matice A popisuje působení jednotlivých stavů systému navzájem (stavy v řádcích působí na hodnoty stavů ve sloupcích). Na hlavní diagonále této matice jsou jedničky připojení výsledného vnitřního potenciálu uzlů řídicí vrstvy zpět na vstup těchto uzlů.

Mimo to jsou zde definovány ještě další vazby, které působí takto: strach zvyšuje agresivitu o 1, zvědavost snižuje strach o 2 a agresivita zvyšuje zvědavost 1. Protože však tyto další vazby způsobovaly, buď rychlý růst, nebo oscilaci stavů, nakonec jsem je nepoužil.

2. Matice B (indukce)

podnět	hlad	žízeň	únava	strach	agres.	zvěd.
jídlo						
voda						
brouk				9	8	6
zed'						1
nic						2

Matice B definuje vliv podnětů na hodnoty stavů systému. Existence podnětu typu brouk zde způsobuje zvýšení hodnoty strachu o 9, agresivity o 8 a zvědavosti o 6. Zvědavost pak dále zvětšuje podnět zed' o 1 a neexistence podnětu pak o 2.

3. Matice D (redukce)

aktiv.	hlad	žízeň	únava	strach	agres.	zvěd.

jez	-20	-4				
pij	-2	-22				
spi			-10			
uteč	2	2	2	-22		
bojuj	3	3	3		-28	
hledej	1	1	1			-7

Matice D popisuje vliv prováděných aktivit na hodnoty stavů systému. Prováděním cílových činností dochází k *uspokojování potřeby*, a tedy ke snižování motivace (hodnoty stavů) systému. To vyjadřují hodnoty na diagonále této matice. Dále jsou zde definovány *křížové vazby uspokojování potřeb*, které vyjadřují skutečnost, že při jezení se částečně uspokojuje i žízeň (-4) a při pití hlad (-2).

Nakonec je zde ještě třetí typ vazeb, které rozlišují jednotlivé aktivity z hlediska *jejich různé spotřeby látek, vody či energie*. Jinou spotřebu má organismus, když stojí, jde, běží či dokonce bojuje. Tuto skutečnost vyjadřují hodnoty u aktivit hledej (1), uteč (2) a bojuj (3), které zvyšují hodnoty stavů hlad, žízeň a únava.

4. Matice E (reflexe)

podnět	jez	pij	spi	uteč	bojuj	hledej
jídlo	1		1			1
voda		1	1			1
brouk				1	1	
zed'			1	1		1
nic			1			1

Matice E popisuje podmínky nutné ke spuštění příslušných aktivovaných aktivit, tj. jaké podněty spouštějí jaké aktivované činnosti. Mimo to však tato matice také reprezentuje *priority jednotlivých aktivit* (nejvyšší vlevo-jez, nejnižší v pravo-hledej), které slouží k řešení situací několikanásobné motivace systému.

Například je-li aktivovaná činnost jez i spi a přijde podnět jídlo, mohly by být spouštěny obě tyto činnosti, protože jsou obě tímto podnětem spustitelné (1). Spuštěna je však nakonec aktivita, která tuto podmínku splní první, tedy ta s vyšší prioritou - jez.

5. Matice F (int. potřeby)

	hlad	žízeň	únava	strach	agres.	zvěd.
int.potřeby	1	1				1

Matice F vyjadřuje působení vnitřních, metabolických potřeb organismu na hodnoty vnitřních stavů systému, tedy na motivace k jednotlivým činnostem. Definice této vlastnosti systému stejně jako rozlišení spotřeby při provádění různých aktivit jsou velmi důležité pro účinné rozlišení různě nastavených typů chování při adaptaci.

Posledním typem parametrů, které definují řídicí systém, jsou aktivační a deaktivující prahy jednotlivých aktivit. Ty jsem definoval prostřednictvím třírozměrného pole - dvouvrstvé matice, kde prvky horní vrstvy odpovídají aktivačním prahům a prvky dolní vrstvy odpovídají deaktivujícím prahům. Matici jsem označil jako matici aktivity.

6. Matice C (aktivity)

aktiv.	hlad	žízeň	únava	strach	agres.	zvěd.
jez	55/ 20					
pij		65/ 20				
spi			30/ 25			
uteč				40/ 15		
bojuj					70/ 25	
hledej	50/ 15	60/ 15				30/ 20

Matice C popisuje vliv jednotlivých stavů na aktivaci, či deaktivaci příslušných aktivit. Při vlastní definici této matice v programu jsem ji rozdělil na tři části *šablonu*, *vektor aktivačních* a *vektor deaktivačních prahů*.

Šablona je dvourozměrná matice, popisující pouze, jaké stavy spouštějí jaké aktivity. Plná matice aktivity je pak vytvořena pouze dočasně, při aktualizaci stavů systému, z této šablony a vektorů aktivačních a deaktivačních prahů.

V datové struktuře každého jedince, systému jsou tak zaznamenány pouze vektory aktivačních a deaktivačních prahů a šablona je společná pro všechny jedince. Tím došlo za prvé k výrazné redukci redundantních dat a za druhé má tak adaptačního algoritmus mnohem snadnější přístup k prahovým hodnotám těchto vektorů.

Výhodné vlastnosti takto koncipovaného řídicího systému jsou nejen v tom, že si umí volit jisté globální cíle, tedy na jisté úrovni plánovat, ale také v tom, že je schopen tento plán pružně měnit v závislosti na momentálním působení prostředí.

Jako příklad může posloužit situace, kdy je „nastaven“ podnět *hlad*, pak je vytvořen následující plán: - je-li jídlo => jez;

- není-li jídlo => hledej dokud nenajdeš jídlo;

- nejdeš -li jídlo => jez;

Objeví-li se však v průběhu vykonávání kterékoliv části tohoto plánu některý jiný podnět, systém je schopen na něj adekvátně zareagovat. Tohoto požadovaného chování systému je dosaženo vhodně nastavenou kombinací cílového a apetenčního chování spolu s funkcí příslušného řídicího uzlu.

7.2.2 Adaptace systému

Adaptace systému vychází z možné *variability parametrů* a tím i změny vlastností systému. Vlastní operace prostřednictvím, kterých je adaptace systému realizována jsou založeny na bázi genetických algoritmů.

Nejprve jsem pokusně naimplementoval genetické algoritmy s několika variantami operátorů. Činnost a efektivnost jednotlivých operátorů jsem pak testoval a odlad'oval na různých funkcích. Po té co se mi podařilo tyto operátory úspěšně definovat a odladit, jsem je přenesl do programu vlastního „modelu chování“.

Jako *strategické parametry* systému vhodné pro modifikaci jsem zvolil hodnoty aktivačních a deaktivčních prahů činností - uteč, bojuj a hledej. Těchto šest hodnot jsem rozdělil vždy po třech do dvou chromozómů - na chromozóm s aktivačními a chromozóm s deaktivčními prahy. Každá z těchto hodnot představuje jeden gen, který má dvě reprezentace, a to v decimální (dekódované) podobě a dále pak binární (kódované) podobě, která je právě používaná při operacích genetických algoritmů.

Rozsah hodnot, které mohou jednotlivé prahy nabývat jsem zvolil v intervalu (0-255). Pro binární kódování tohoto rozsahu stačí 8-bitů. Oba chromozómy jsou tedy tvořeny 3-krát po osmi bitech, tedy 24 bity. Abych zajistil Hamingovu vzdálenost mezi sousedními dekadickými čísly vždy rovnu jedné, což je dosti významné při rozvoji prohledávaného prostoru, použil jsem, při implementaci genetických algoritmů, místo klasického binárního kódování Grayovo kódování.

A nyní podrobněji k jednotlivým realizovaným operátorům GA.

Jednou z hlavních operací genetických algoritmů je *hodnocení jednotlivých řešení*. Na základě tohoto ohodnocení, jsou pak prováděna *selektce nejlepších řešení* z dané populace, jako vhodných kandidátů pro vytvoření nových řešení - „potomků“. Při definici systému hodnocení jednotlivých řešení si nejprve musíme stanovit kritéria tohoto hodnocení, tedy požadavky, z hlediska kterých hodnotíme kvalitu řešení.

Jako *kritérium* jsem použil hodnotu celkového aktivačního potenciálu systému, definovanou jako součet hodnot tří vnitřních stavů, vnitřních potenciálů - hlad, žízeň a únava. Hodnota tohoto celkového potenciálu je schopna velmi dobře rozlišit výhodné a nevýhodné chování toho, či onoho systému, které je dáno nastavením jeho aktivačních a deaktivčních prahů. Čím je tato hodnota vyšší, tím jsou déle a častěji neuspokojovány potřeby systému, což vypovídá o neefektivnosti a neúčelnosti jeho chování.

Objektivní funkce je tedy v genetických algoritmech definována jako minimum z celkového potenciálu systému a *finis* jako její převrácená hodnota. Takže čím je nižší objektivní funkce, tím je vyšší finis daného řešení. Na základě tohoto hodnocení pak provádím výběr rodičovských řešení pro vytvoření řešení nových.

Při tomto výběru se vzájemně doplňujícími dva procesy. Jednotlivá řešení jsou za prvé sestupně řazena podle fitness, a za druhé je každému řešení na základě fitness určen počet možných „potomků“, který určuje kolikrát může být dané řešení použito jako „rodič“. Druhý uvedený typ selekce se uplatňuje především v případech, kdy je některé řešení výrazně lepší než ty ostatní.

Z vybraných rodičovských řešení jsou pak prostřednictvím *operátorů křížení a mutace* vytvořena nová řešení. Při operaci křížení se pracuje se dvěma řešeními, zatímco při mutaci vždy pouze s jedním.

Z několika definovaných typů křížení jsem nakonec použil variantu **n-bodového křížení**, kdy jsou u každého chromozómu náhodně zvoleny tři body křížení v rámci každého ze tří jeho genů. Po té jsou příslušné části chromozómů obou rodičů vyměněny a vznikají dva nové chromozómy. Tato operace je pak stejným způsobem provedena i pro druhý (deaktivační) typ chromozómů.

V genetických algoritmech se dále definuje *pravděpodobnost P_c* , která určuje zda má být operace křížení provedena. V opačné případě je místo operace křížení realizován pouze přesun rodičovských chromozómů do nové populace.

Po provedení operace křížení či pouze přesunu je realizována mutace. Ta má stejně jako křížení definovanou *hodnotu P_m* , určující pravděpodobnost s jakou má k mutaci dojít. Jako operaci mutace jsem zde použil variantu **n-bodové mutace**, kdy náhodně vyberu tři body v chromozómu bez ohledu na hranice genů a v těch provedu změnu alely - bitu.

Velikost populace, počet vytvářených potomků, hodnoty P_m a P_c patří mezi základní strategicky významné parametry, které velmi výrazně determinují výslednou úspěšnost, kvalitu a rychlost konvergence genetických algoritmů k optimálnímu řešení. Dalším velmi podstatným faktorem ovlivňující činnost GA je způsob realizace hodnocení a selekce řešení, které právě při špatné definici často způsobují nefunkčnost genetických algoritmů.

7.3 Směry dalšího možného vývoje projektu

Další možný rozvoj této práce má v podstatě dva základní možné směry. První je cestou různých biologických simulátorů, které slouží biologům ke studiu a poznání chování živočichů, vývoje populací, vzniku nových druhů a pod.

Druhá cesta je aplikovat výše zmíněné principy v různých technických aplikacích. Poznatky z etologie lze výhodně využít především v oblasti robotiky a řídicích systémů robotů. Znalosti evolučních algoritmů a evoluce vůbec jsou velmi dobře využitelné pro případy optimalizace a adaptace parametrů systémů, při různých typech plánování a dalších podobných úlohách založených na prohledávání stavového prostoru.

Mojím původním záměrem, který jsem publikoval v POSTERu, bylo prostřednictvím genetických algoritmů vytvářet různé řetězce chování (viz. genetickém programování), a ty v průběhu působení systému v prostředí testovat. Úspěšné typy chování, řetězce by systém ukládal do své množiny použitelných typů chování a neúspěšné by odstraňoval. Tím by systém byl nejen schopen pro příslušné situace volit vhodné typy chování, ale navíc by byl schopen vytvářet nové typy chování, a tím se i učit. Právě realizaci tohoto systému je mojí dalším cílem, kterého bych chtěl dosáhnout.

Obě tyto oblasti, etologie a evolučních algoritmů, je v poslední době velmi živý a intenzivní zájem, o kterém svědčí i vznik celé řady různých skupin, časopisů a vědeckých projektů a dokonce na některých univerzitách i studijních oborů.

7.4 Popis funkce a ovládání programu

Program - simulátor realizující výše popsany systém, jsem celý naprogramoval v jazyce C pod operačním systémem DOS. Při spuštění programu se objeví úvodní menu. To slouží k volbě počtu jedinců zobrazovaných v prostředí, poř. i k volbě počtu potomků vytvářených v populaci.

Simulátor je tvořen ze dvou programů - simulátoru chování a simulátoru adaptace chování.

Simulace chování slouží k demonstraci funkce navrženého řídicího systému jedince(mobota). Je zde zobrazeno prostředí, ve kterém se pohybují jednotlivý jedinci a u jednoho vybraného jedince, jsou zobrazovány údaje popisující aktuální stav a vývoj jeho řídicího systému. Prostor v němž se pohybují jedinci je zobrazeno v levé horní části obrazovky a má modré pozadí.

Nacházejí se v něm tyto čtyři typy objektů:

- jídlo zobrazené jako zelený ovál,
- voda zobrazená jako světle šedý ovál,
- překážka (zeď) zobrazená jako červený obdelník,
- a nakonec - jedinci zobrazení jako žluté oválky.

Údaje o současném stavu a aktuálně vykonávané činnosti, jsou vypisovány vždy pouze u jednoho vybraného jedince. Proto graficky zobrazuji pro lepší názornost a větší přehled o činnostech jednotlivých jedinců v prostředí u každého jedince ještě další doplňující informace.

Činnosti, které jedinec momentálně vykonává jsou označeny následovně:

- | | |
|------------------|-----------------------|
| - aktivita spi | modrým kolečkem |
| - aktivita jez | zeleným kolečkem |
| - aktivita pij | světle šedým kolečkem |
| - aktivita bojuj | červeným kolečkem |

Dále pak pro lepší orientaci o rychlosti a směru pohybu jedinců jsou u nich zobrazovány dráhy jejich posledního pohybu. Při aktivitě uteč je rychlost, délka tohoto pohybu dvojnásobná oproti klidovému stavu (např. při hledání). Naopak při útoku je

tento pohyb oproti normálu čtvrtinový. Jedinec, o kterém jsou vypisovány údaje, je navíc od ostatních odlišen, zobrazováním dvanácti bodů, které zároveň odpovídají i jeho sensorům a jinou barvou zobrazované dráhy.

Údaje o stavech a činnostech systému jsou zobrazovány pak zobrazovány na okolní šedé ploše. V pravé horní části jsou zobrazovány obecné údaje jako je číslo právě zobrazovaného jedince, jeho poloha, počet jeho kontaktů s dalšími objekty, stavy jednotlivých sensorů, ale také typ podnětu a jeho směr a typ a směr momentální aktivity jedince. Mimo to v horní liště obrazovky zobrazovány údaje o rychlosti a času (počtu iterací) simulace, a také o informace o tom, který jedinec v populaci má momentálně nejvyšší hodnotu stavu - hlad a stavu - žízeň.

V levé spodní části jsou zobrazovány údaje související přímo se stavy řídicího systému jedince. Jsou zde zobrazeny hodnoty uzlů všech čtyřech vrstev řídicího systému - vstupní, řídicí, aktivační i spouštěcí vrstvy a hodnoty obou typů prahů. Hodnoty druhé vrstvy odpovídají jednotlivým vnitřním stavům systému, resp. (aktivačním potenciálům). U nich jsou pak zobrazeny hodnoty k těmto stavů přiřazených aktivačních a deaktivčních prahů.

Na konec v pravém dolním části obrazovky je zobrazeno šest „osciloskopů“ zobrazujících vývoj hodnot jednotlivých stavů řídicího systému v čase. Zobrazují vždy posledních dvacet hodnot u každého stavu. V osciloskopech jsou dále zobrazeny hodnoty obou prahů. Aktivační (horní) práh je zobrazen jako zelená čára a deaktivční (spodní) práh jako červená čára. Rozsahy osciloskopů se také automaticky přepínají podle podle maximálních hodnot příslušných stavů.

Simulace adaptace chování slouží k demonstraci evoluce, vývoje chování populace jedinců jako přizpůsobení podmínkám prostředí v němž se nachází a svým možnostem. Způsob grafického zobrazení jednotlivých informací je prakticky totožná s předchozí simulací. Jediný rozdíl je v tom, že v pravé spodní části obrazovky nejsou zobrazovány na osciloskopech průběhy jednotlivých stavů, ale jsou zde vypisovány informace týkající se činnosti genetických algoritmů.

Genetické algoritmy jsou spouštěny vždy po určité době, periodě nutné k tomu, aby se nové nastavení řídicích systémů jedinců mohlo dostatečně projevit, tedy aby se

ukázalo, zda je tento typ chování výhodný či není, a proto je správné nastavení této periody velmi významné.

Při spuštění genetických algoritmů se pak provedou příslušné operace a výsledky jsou zobrazeny na obrazovku, tedy kteří jedinci byli kříženi a ve kterých bodech, a kteří jedinci byli mutováni. Pak jsou nově vytvoření jedinci vloženi do populace a simulace pokračuje.

Ovládání programu je realizováno následovně:

V úvodním menu:

- zvolíme počet jedinců v nabízeném rozsahu a potvrdíme volbu tlačítkem „Enter“,
- zvolíme počet potomků v nabízeném rozsahu procent předchozí hodnoty a opět potvrdíme tlačítkem „Enter“.

Při vlastní simulaci je ovládání následovné:

- změna zobrazovaného jedince je prováděna pomocí těchto kurzorových tlačítek:
 - ↑ - zvýšení čísla zobrazovaného jedince
 - ↓ - snížení čísla zobrazovaného jedince
- změna rychlosti simulátoru je měněna pomocí následujících kurzorových tlačítek:
 - ← - zvýšení rychlosti (snížení čekací doby) simulátoru
 - - snížení rychlosti (zvýšení čekací doby) simulátoru
- ukončení režimu i programu je možné provést stlačením klávesy „k“, nebo klávesy Esc.

Vlastní simulátor je naprogramován v jazyce C (verze C++ 3.1) a operačním systému DOS (verze 6.22). Použit byl paměťový model typu large.

8. Závěr

Cílem této mé práce bylo demonstrovat základní principy evolučních a behavioristických teorií a ukázat možnosti jejich využití pro technické aplikace. Práci jsem rozdělil na dvě základní části, za prvé vytvoření modelu chování, resp. modelu řízení chování živých organismů a za druhé pak vytvoření modelu adaptace chování populace takovýchto systémů, jedinců v určitém prostředí.

Při definici modelu chování jsem vycházel z modelů a principů chování živých organismů popisovaných v různých biologických studiích, hlavně však v „srovnávacím výzkumu chování“ - etologii. Popis systému jsem se však snažil co nejvíce systematizovat, zobecnit a co nejvíce přiblížit způsobu lidského uvažování.

Hlavním účelem definice modelu chování bylo jeho následné použití v druhé části práce pro simulaci adaptace. Proto byl definován velmi jednoduchým způsobem s několika základními typy chování. Přesto výsledné chování nejen splňuje základní podmínky uvedené v zadání, ale je velmi dynamické a vykazuje poměrně inteligentní chování. Zvolený způsob definice modelu chování umožňuje nejen podstatné rozšíření vlastností systému, a umožňuje i případnou realizaci různých typů adaptace a učení nad tímto modelem, ale také vytváří dobré předpoklady pro jeho použití na reálném modelu mobota.

V druhé části práce, jsem při definici „modelu adaptace chování“ přímo vycházel z výsledků první části práce a poznatků teorie evoluce a genetiky. Zde se mi podařilo prokázat správnost mého předpokladu, že vhodně volené rozdíly mezi vlivy základních elementů chování - jednotlivých aktivit, na systém, spolu s různě volenými hodnotami aktivačního prahu a sycení, budou poskytovat dostatečný prostor pro diferenciaci chování jednotlivých systémů, jedinců v populaci.

Dále se jsem v této části práce ověřil, že modifikace právě výše jmenované hodnoty aktivačního prahu a sycení mohou být dostatečně účinnými aparáty pro adaptaci chování systémů, založené na principech a zákonech přírodní evoluce.

V neposlední řadě se mi podařilo úspěšně definovat genetické algoritmy pro realizaci směrované modifikace - adaptace vlastností systému a tím i realizovat základní a hlavní část modelu adaptace chování.

Z důvodu časového omezení jsem však nestačil dokončit závěrečnou část tohoto modelu, a to způsob měření a sledování vývoje (konvergence) jednotlivých řešení a konečně i zastavení dalšího rozvoje při splnění terminačních kritérií.

Přesto, že jsem zcela nedokončil vlastní model adaptace chování, je možné tvrdit, že správnost mého předpokladu o možné implementaci adaptace na bázi výše zmíněných principů se mi podařilo potvrdit a úplné dokončení tohoto modelu by byla otázka řádově dnů.

Zaměření mojí práce vypovídá o oblastech mého zájmu a zároveň reaguje na současný trend v oblasti výzkumu využívat a aplikovat různé přírodní principy, především z oblasti evoluce, genetiky, etologie, psychologie a dalších. V současné době existuje několik pracovních skupin orientovaných na využití podobných metod a principů jež jsem použil v této práci (např. skupina EASy (Evolution and Adaptive System) při univerzitě v Cambridge, další podobné jsou pak na MIT atd.).

Při procházení internetu jsem však zjistil, že dosud bylo v publikováno na toto téma pouze několik prací a ostatní se nacházejí ve fázi vývoje. Jsou to většinou různé diplomové a doktorandské práce. Proto bych rád způsob řešení a výsledky mé práce v nejbližší době publikoval.

Výzkum v této oblasti je velmi perspektivní a rád bych se jím zabýval i v pokračujícím doktorandském studiu.

9. Použitá literatura

- [1] Rosypal S.: Přehled Biologie. SPN Praha, 1987.
- [2] Leakey R. E.: Darwinův Původ druhů v ilustracích. Nakladatelství Panorama, Praha, 1989.
- [3] Lorenz K.: Základy etologie. Nakladatelství Academia, 1.vydání, Praha, 1993.
- [4] Galletly J.: A Gentle Introduction to Genetic Algorithms.
University of Buckingham, UK.
- [5] Galletly J.: An Introduction to Evolutionary Algorithms.
University of Buckingham, UK.
- [6] Goldberg D. E.: Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. The University of Alabama, Addison-Wesley Publishing company, INC.,USA.
- [7] Mařík V. - Štěpánková O. - Lažanský J. &all.: Umělá inteligence I.
Nakladatelství Academia, Praha 1993.
- [8] Šnorek M. - Jiřina M.: Neuronové sítě a neuronové počítače.
Vydavatelství ČVUT, ČVUT FEL Praha, Praha, 1996.
- [9] Gruncl M.: Rozšiřující SW mobotů I. Diplomová práce ČVUT FEL,
katedra řídicí techniky, Praha, 1995.
- [10] Hertl T.: Rozšiřující SW přenosu informace mobotů I. Diplomová práce
ČVUT FEL, katedra řídicí techniky, Praha, 1995.
- [11] Nahodil P. - Gruncl M. - Kurzveil J. - Maixner V.: Advanced software
for RUR - Really Usefull Robots. Workshop 97, 20. - 22. ledna 1997.
- [12] Petrus M.: Model chování. Příspěvek do studentské konference POSTER´ 96,
Praha, 1996.

- [13] Nahodil P. - Eck Vl.: Artificial Insect Models and Their Evolution.
In: Proceedings of International Conference on Ethologie, p.32,
Ceský Sternberk, April 1994.
- [14] Nenadál K. - Václavíková D.: Turbo C - popis jazyka. Nakladatelství Grada,
Praha, 1991.
- [15] Herout P.: Učebnice jazyka C. Nakladatelství KOPP, České Budějovice, 1996.
- [16] Sobotka B.: Počítačová grafika a jazyk C. Nakladatelství KOOP,
České Budějovice, 1996.

10. Přílohy

10.1 Obsah přiložené diskety

Přiložená disketa obsahuje následující položky:

- text diplomové práce
- program simulátoru
- návod k obsluze

V adresáři „Diplom“ jsou dva podadresáře „Text“ a „Program“. Podadresář „Text“ obsahuje text diplomové práce, napsaný v textovém editoru MS Word 6.0. V podadresáři „Program“ jsou oba programy simulátoru, grafické soubory s obrázky prostředí a jedinců a návod k obsluze.

Adresář „**Text**“ obsahuje následující soubory:

1. diplom.doc - hlavní dokument textu.
2. kap1.doc - kap10.doc - vnořené dokumenty v textu.

Adresář „**Program**“ obsahuje následující soubory:

1. genus1.c - zdrojový text programu se simulací chování.
2. genus2.c - zdrojový text programu se simulací adaptace chování.
3. genus1.exe - spustitelný program se simulací chování.
4. genus2.exe - spustitelný program se simulací adaptace chování.
5. treпка1.img - grafický soubor obsahující obrázek jedince.
6. prostr2.img - grafický soubor obsahující obrázek prostředí.
7. navod.txt - text s informacemi o obsluze programu

