

Zobrazenie genotypu na fenotyp



Zobrazenie genotypu na fenotyp

- **Genotyp** – genetický kód; dedí sa
- **Fenotyp** – organizmus (jedinec) – vytvorený interakciou s prostredím riadenou inštrukciami z genotypu
- ale fitness jedinca (pre selekciu) je daná fenotypom;
- **zobrazenie genotypu na fenotyp**: fenotyp sa vyvíja postupne, každé štádium vývoja má inú fitness – celková fitness je funkciou všetkých týchto fitness funkcií
- Wagner a Altenberg, 1996: *teória evolučného počítania ukázala, že darwinistický proces mutácie, kríženia a výberu nestačí na vylepšovanie zložitých systémov ako napr. počítačových programov alebo čipov. Aby sa dali vyvíjať, tak potrebujú **rozvíjateľnosť** (evolvability), tj. aby náhodné zmeny mohli niekedy viesť k vylepšeniu*

Zobrazenie genotypu na fenotyp

- a) v prírode je zorganizované tak, aby zaistilo rozvíjateľnosť
- b) umelá evolúcia:
 - zobrazenie genotypu na fenotyp je volené náhodne experimentátorom
 - typicky jednoznačné, takže genotyp a fenotyp splývajú

CIELE:

- výskum v umelej evolúcii môže pomáhať pri pochopení procesov v prirodzenej evolúcii
- pokus ukázať hlavné mechanizmy evolúcie, ktoré by mohli zlepšiť výkon umelej evolúcie

Genetické kódovanie

- **Priame kódovanie** – vzájomne jednoznačné zobrazenie medzi génmi a fenotypickými rysmi
 - biologicky neadekvátne
 - dĺžka kódu priamo úmerná zložitosti fenotypu – veľkosť prehľadávaného priestoru rastie exponenciálne s počtom fenotypických rysov; ak pritom nerastie aj počet riešení, tak je prehľadávanie ťažšie
 - pr. Priame kódovanie synaptických váh NS vyžaduje s rastúcou veľkosťou NS rastúci počet generácií
 - nemožnosť kompaktného kódovania opakujúcich sa štruktúr (chrbtica hada)

Genetické kódovanie

■ Dobré kódovanie

1. vyjadrovacia sila

- | dokáže kódovať rôzne fenotypické rysy (architektúra riadenia, morfológia robota, pravidlá plasticity, pravidlá zobrazenia genotypu na fenotyp)
- | vyvinúť sa môžu iba rysy zakódované v genotype
- | tým, že sú v genotype zakódované rôzne rysy, tak evolúcia môže využiť interakciu medzi nimi na vytvorenie dohromady adaptovaných komponent (hlava a telo)

2. Kompaktnosť – dĺžka genotypu iba slabo odráža zložitosť fenotypu; dosahuje sa rôznymi mechanizmami

- | premenlivá dĺžka genetického kódu
- | plasticita – niektoré fenotypické rysy sa vytvoria adaptívne v priebehu života
- | kódovanie opakujúcich sa štruktúr jedinou sadou genetických inštrukcií

Genetické kódovanie

3. Rozvíjateľnosť – schopnosť zlepšovať sa pomocou genetických operátorov;

pravdepodobnosť, že potomok bude lepší než rodič je funkciou tvaru fitness plochy okolo rodiča genetických operátorov zobrazenia genotypu na fenotyp

Pleiotropia – jeden gén môže ovplyvňovať viaceré fenotypické rysy

pozitívna zmena v jednej charakteristike môže spôsobiť negatívne zmeny ostatných charakteristík, ktoré daný gén ovplyvňuje; pravdepodobnosť pozitívnej zmeny je nepriamo úmerná pleiotropii daného génu

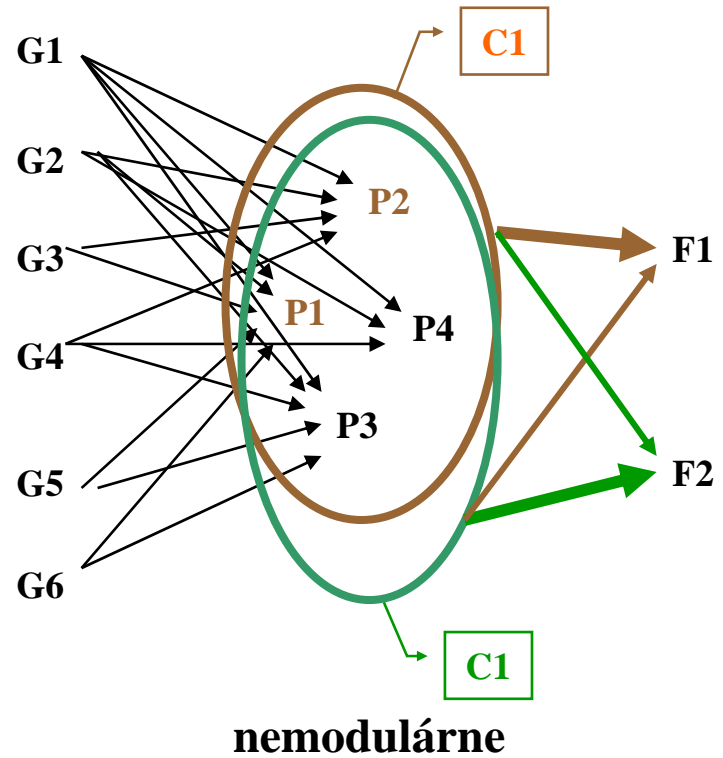
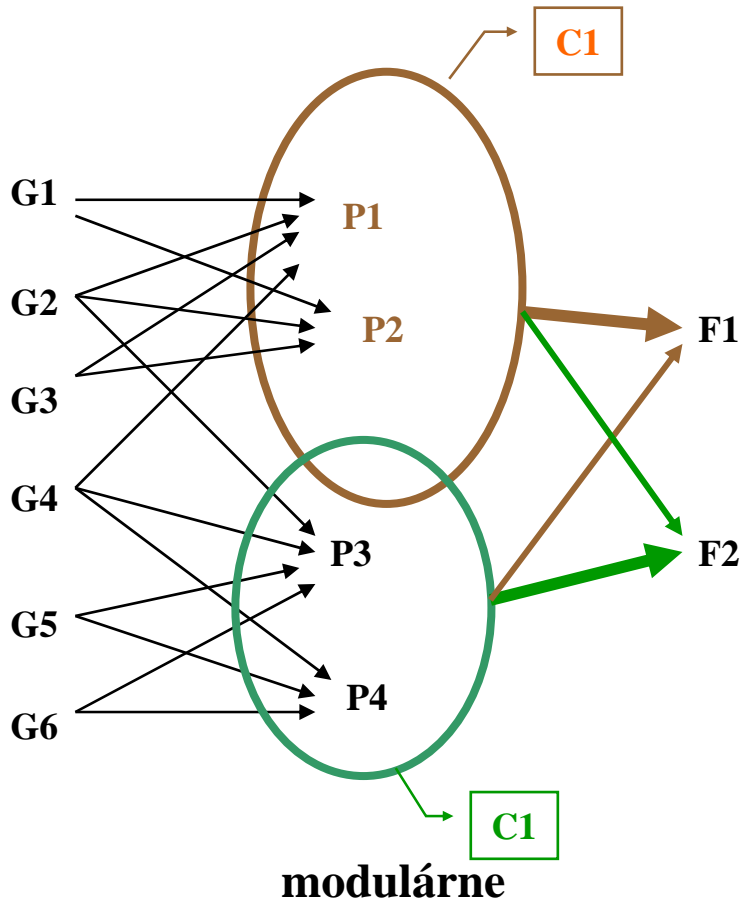
teda nezávislé funkcie by mali byť kódované čo najnezávislejšie

vhodná je modulárna organizácia zobrazenia genotypu na fenotyp

kódovanie opakujúcich sa štruktúr

dodatočné fenotypické štruktúry je možné získať z tej istej časti genotypu buď genetickým operátorom, ktorý zduplikuje časť kódu pri reprodukcii, alebo rozlíšením zárodkových a telesných buniek, keď sa telesné bunky pri raste môžu replikovať

Genetické kódovanie



C1, C2 sústava fenotypických rysov

F1 , F2 funkcie

G1 - G6 gény

F1, F2 adaptívne funkcie (napr., správania nutné pre získanie fitness)

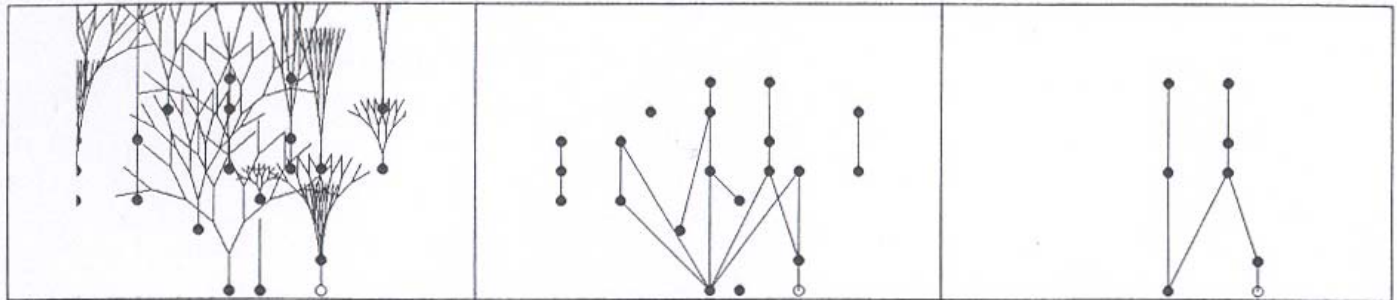
P1 - P4 fenotypické rysy

Kódovanie inštrukcií rastu

- 1994 Nolfi kódovanie inštrukcií rastu
 - riadiaci systém je sústava neurónov s axónmi v rovine
 - axóny môžu rásť a vetviť sa
 - genotyp obsahuje pokyny pre rast a vetvenie axónov
 - keď axón dorastie k inému neurónu, tak sa utvorí spoj
 - axón rastie iba vtedy, keď aktivita neurónu prekročí určitú geneticky danú hranicu (vývoj jedinca je určený genotypom a prostredím)
 - genotyp rozdelený na bloky kódujúce charakteristiky jednotlivých neurónov a inštrukcie pre rast axónov
 - senzory 10 blokov, vnútorné neuróny 17 blokov, motory 5 blokov
 - senzorické/motorické neuróny obsahujú informáciu, o ktorý senzor/motor sa jedná
 - blok: prah pre rast, 2 x pozícia (y-ová súradnica senzorických a motorických neurónov pevná), uhol vetvenia, dĺžka vetiev, váhy vychádzajúcich spojov, typ neurónu (číslo senzora/motora)

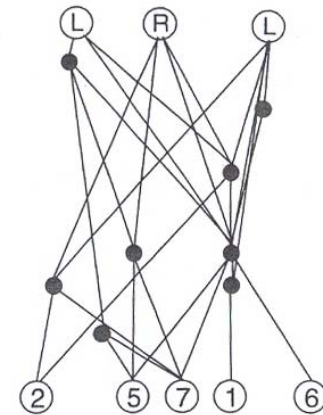
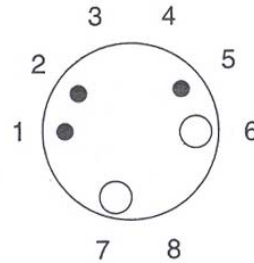
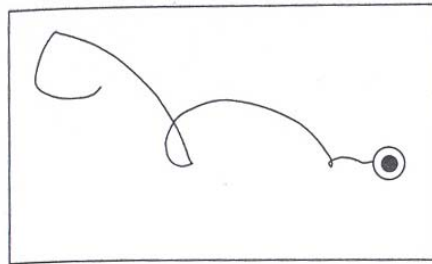
Kódovanie inštrukcií rastu

- ▮ Ak viacej neurónov zodpovedalo jednému motoru, tak sa použil ich priemer
- ▮ úloha: nájsť cieľ (kruh 2 cm) náhodne umiestnený v aréne 60x35 cm ohraničenej stenami; cieľová oblasť môže, ale nemusí byť osvetlená zhora; cieľ je osvetlený každú druhú generáciu
- ▮ veľkosť populácie 100, 20 najlepších vytvorilo po 5 kópiách a potom mutovali
- ▮ jedinec žil 10 epoch (životov) po max 500 cykloch
- ▮ fitness ($500-N$) N je počet krokov než jedinec našiel cieľ
- ▮ rast axónov

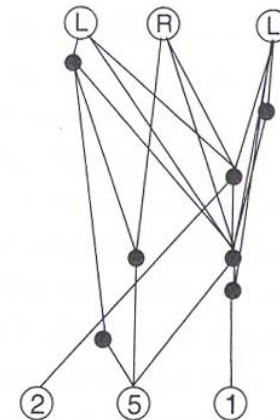
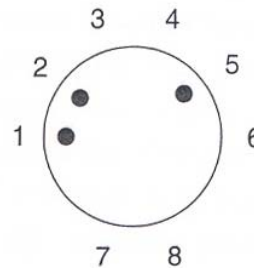
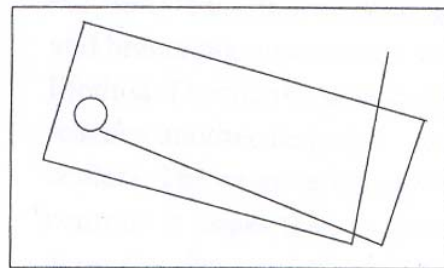


Kódovanie inštrukcií rastu

- typický jedinec v osvetlenej aréne



- typický jedinec v neosvetlenej aréne



Adaptácia architektúry NS

- Uniformne prepojené NS môžu aproximovať ľubovoľnú funkciu, ale typ funkcie, ktorú sa môžu naučiť silne závisí na topológii siete
- generalizácia = schopnosť dávať správne výstupy aj na vstupy, ktoré ešte siete nevidela
 - príliš malé siete sa nedokážu naučiť správne zobrazenie
 - príliš veľké siete zle generalizujú
- 3 metódy automatického návrhu topológie siete: rast, prerezávanie (pruning) a dekompozícia

Adaptácia architektúry NS

- 1. rast** – začína sa s príliš malými sieťami a postupne sa pridávajú neuróny
 - l kaskádový algoritmus učenia korelácií
 - l začína so vstupnými neurónmi priamo spojenými s výstupnými
 - l obmedzenú dobu sa učí; keď chyba neklesne pod nejakú hranicu, tak sa pridá neurón (vstupy – vstupné a doteraz pridané neuróny)
- 2. Prerezávanie** – začne sa s veľkou sieťou a postupne sa rušia spoje, dokiaľ sa chyba nezhorší
 - l napr. sa rušia spoje s váhami blízkymi 0
- 3. Dekompozícia** – napr. adaptívne spojenie lokálnych expertov
 - l začne sa so skupinou pod-sietí s rovnakými vstupmi a výstupmi, ale s rôznou architektúrou
 - l v priebehu učenia moduly súťažia v učení sa vzorov; rôzne pod-siete sa naučia rôzne vzory

Adaptácia architektúry NS



- porovnanie s evolučným učením architektúry NS
 - vyššie uvedené algoritmy sú založené na učení s učiteľom, keď máme dostatok vzorov <vstup, požadovaný výstup>
 - umelá evolúcia: menšia spätná väzba, ale zakódovať (a adaptovať) je možné ľubovoľnú charakteristiku systému (váhy, topológiu, senzoricko/motorický systém, štruktúru tela, ...)
 - vyššie uvedené algoritmy – iba zmeny učením, ale umelá evolúcia učenie i rast

Kódovanie na úrovni buniek

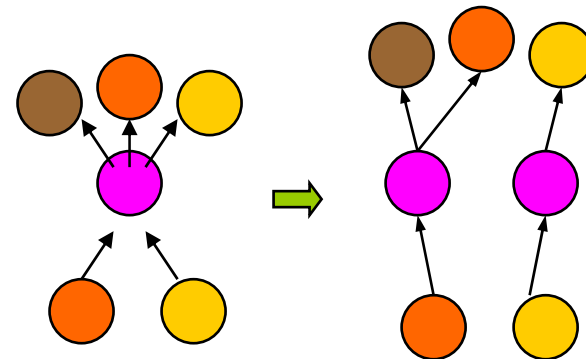
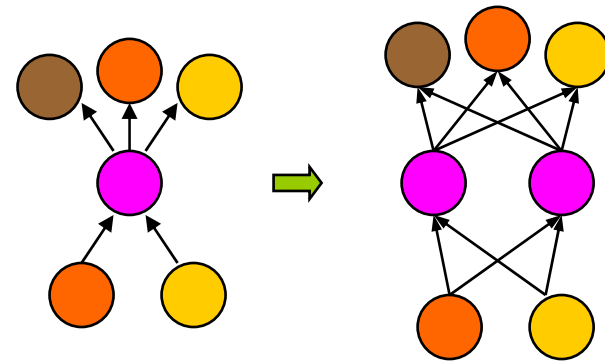
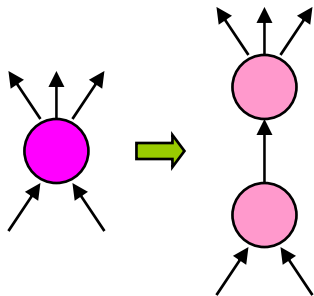


- Rast nervovej sústavy:
 - delenie buniek a diferenciácia
 - migrácia neurónov do konečnej polohy
 - rast spojov
- Cangelosi (1994) – delenie buniek a migrácia
 - genotyp – pravidlá delenia a migrácie (v 2D)
 - zobrazenie genotypu na fenotyp – začne sa s 1 bunkou, delí sa a bunky putujú do konečných pozícií v rovine; potom narastú spoje medzi nimi
 - počet delení je geneticky zhora obmedzený
 - vývoj končí pred „oživením“
- Grau (1994) – delenie a diferenciácia
 - prepis genotypu na fenotyp – začne s 1 bunkou, pokračuje delením a transformáciami

Kódovanie na úrovni buniek

■ Grau (1994) – pokračovanie

- genotyp: pravidlá pre delenie a transformácie (pridávanie nových spojov, zmena váh)
- rôzne formy delenia, napr.



Grauova simulácia šesťnohého robota

I Genotyp: binárny strom

I prepis do fenotypu: založí sa neurón zodpovedajúci koreňu stromu

- uzol popisuje operácie, ktoré sa majú na bunke vykonať
- podstromy popisujú, čo sa má urobiť na potomkoch po delení
- terminálne uzly sa ďalej nedelia
- **vylepšená verzia:** inšpirovaná genetickým programovaním – terminálny uzol sa môže odkazovať na iný strom – *Automatické Definovanie Neurónových podsietí (ADNS)*
 - kompaktnosť
 - evolúcia môže využiť opakujúce sa štruktúry

I aplikácia: šesťnohý robot

- a) bez ADNS robot chodil v 1/2 behov
 - kríženie – zámena podstromov
- b) s ADNS robot chodil v 2/2 behov
 - genotyp obsahoval 3 stromy, odkazy iba v lexikografickom usporiadaní
 - kríženie – zámena podstromov (aj celých stromov)

Parametre Grauovej simulácie šest'nohého robota

- Vyhodnocovanie: 7 rôznych konfigurácií nôh v rôznych epochách
- fitness: ujdená vzdialenosť; počiatočná konfigurácia nôh v rôznych subpopuláciách bola menená
- genotyp: strom
 - 14 rôznych symbolov, niektoré s parametrom (napr. C_4 „urež 4 spoje“)
 - genetické operátory sa aplikovali, dokiaľ sa nenašiel kód zostrojiteľnej siete, ale max. 2 hodiny
 - poč. populácia – stromy s 60 uzlami; 600 uzlov maximum
 - populácia na 32 ostrovoch na toroide, každá 64 jedincov
 - pravdepodobnosť spárovania úmerná vzdialenosti na toroide
 - potomkovia: buď dvoch rôznych jedincov, alebo iba jedného rodiča
 - mutácia 0,5%

Grauova simulácia šesťnohého robota

- | S ADNS výsledné siete dobre štruktúrované
- | S ešte podrobnejším modelom robota – bez špecifikácie architektúry a informácií ako je možné rozdeliť problém na podúlohy je možné pomocou ADNS nájsť riadenie pre chodiaceho robota – 1.000.000 generácií
- Kodjabachian a Meyer (1998) *jednoduché geometricky orientované kódovanie buniek* (JGOKB)
 - | simulovaný šesťnohý robot
 - | neuróny pestujú spoje na 2D podklade; ich poloha ovplyvňuje možnosti spojov
 - | kríženie – zámena podstromov GP
 - | genotyp – 6 inštrukcií
 - | DIVIDE – delenie;
 - | GRAW/DRAW – vstup./výstupný spoj s parametrami uhol, vzdialenosť a váha
 - | SETTAU/SETBIAS – nastavenie časovej konštanty/prahu bunky
 - | DIE – zomri!

Kodjabachian a Meyer

- | Fitness: ujedná vzdialenosť + člen podporujúci pohyb nôh
- | stabilný genetický algoritmus; 200 jedincov v populácii
- | genotypy rozmiestnené na kružnici
- | nový jedinec:
 - | náhodne sa zvolí bod kružnice P
 - | náhodne sa zvolia dvaja jedinci blízko P – pravdepodobnosť zvolenia je nepriamo úmerná vzdialenosti od P
 - | utvorí sa nový jedinec a ohodnotí sa
 - kríženie a 2 druhy mutácie
 - podstrom nahradený kompatibilným podstromom
 - mutácia parametra
 - obmedzenia: max. 3 po sebe idúce delenia, max. počet spojov na bunku 4, všetky podprogramy musia byť korektné stromy (gramatikou)
 - | turnajom sa zvolí sused v blízkosti P, ktorý bude nahradený novým jedincom

Kodjabachian a Meyer

- manuálne obmedzenia – veľkosť substrátu, pozície senzorických/motorických buniek (4 na každú nohu), počet a pozície zárodkových buniek (6)
- naučil sa chodiť už po asi 100 000 vyhodnoteniach; stabilné chodenie 1/5 behov
- Kodjabachian a Meyer – **pokračovanie**
 - pridaný ďalší modul s 2 svetlocitlivými senzorami na kúsok podkladu vľavo
 - selekcia podľa toho, ako rýchle sa jedinec dostane k svetlu
 - po 20 000 vyhodnoteniach doučené – robot vedel prísť k svetlu
 - pridali ďalší modul s dotykovými senzorami – po 20 000 vyhodnoteniach robot vedel hľadať svetlo a vyhýbať sa prekážkam

Záver



- Kódovanie a prevod genotypu na fenotyp silne ovplyvňuje rozvíjateľnosť systému
- väčšinou je zobrazenie genotypu na fenotyp uskutočnené skôr než jedinec začne „žiť“
- ak nie, tak sa realizuje pri raste organizmu a zvyšuje prispôsobiteľnosť jedinca na prostredie
- kódovanie býva zložité (kvôli potrebe kódovať rôzne typy neurónov, vzorov spojení, ...) a jeho jednotky sú navrhnuté na riešenie konkrétneho problému
- novšie pokusy – spojiť
 - kompaktné kódovanie – pár vlastností generického neurónu; dĺžka genotypu úmerná počtu neurónov
 - s ontogentickou adaptáciou – váhy sa adaptujú v priebehu života
 - je to efektívnejšie než vyvíjať parametre pre každý spoj zvlášť
 - evolúcia si volí kódovanie založené na neurónoch oproti kódovaniu spojov