

# KOGNITÍVNA VEDA

*RNDr. Martin Takáč*

*Bratislava, júl 2002.*

**Upozornenie:** Toto nie je ucelený učebný text, ale len autorove prípravy na prednášky. Miestami sú heslovité a v žiadnom prípade nemajú nahrádzať, ale len dopĺňať poznatky získané osobnou účasťou na prednáškach, v kontexte ktorých dávajú zmysel.

# 1 Úvod: čo je to kognitívna veda

Čo je podľa vás kog. veda? Prečo ste si zapísali tento kurz a ako si ho predstavujete?

Problémom kog. vied je pochopiť a vysvetliť povahu ľudského myslenia a inteligencie (Anderson).

Kog. veda má za cieľ pochopiť ako je informácia reprezentovaná a spracovávaná v rôznych agentoch - biologických aj umelých (Gärdenfors)

Slovo "kognícia" označuje všetky procesy, ktorými sú zmyslové vstupy transformované, spracovávané, ukladané, vyvolávané a používané. Týka sa to aj takých procesov, ktoré prebiehajú za neprítomnosti relevantných stimulácií, napríklad imaginácia a halucinácie. (Niesser)

História: Descartes a vedomé. Helmholtz a Freud

behavioristi

kog. psychológia - cez vojnu - rozoznávanie reči na zašumenom pozadí a iné schopnosti,

po WWII. štúdium mysle - vizuálna percepcia v computer science, lingvistika: akvizícia jazyka u detí, etológia: vrodené sociálne správanie u zvierat, neurofyziológia vzťahuje funkciu nerv. buniek ku komplexným perceptuálnym aj motorickým procesom, neurológovia a neuropsychológovia na fungovaní pacientov s poškodeniami mozgu zisťujú fungovanie zdravého mozgu, antropológovia skúmajú konceptuálnu štruktúru kultúrnych praktík a rituálov. Uvedomili si, že treba spoločný postup

kybernetika - spätná väzba, Hebb, teória informácie, "information-processing psychology", Von Neumann, Turing, Simon and Newell

Predpoklady: priepasť medzi ľuďmi a strojmi sa zúžila: stroje manipulujú so symbolmi, ľudská reprodukcia - kódovaná info v DNA (rekurzívny proces)

Vynález teórie komputability núti ľudí uvažovať o mysli novým spôsobom - mozog-mysel'

Do akej miery myseľ pripomína počítač? mozog je ďaleko od digitálneho počítača, ale Turing dokázal, že paralelné zariadenia (bližšie mozgu) nemôžu vypočítať viac ako sériové.

Prístup: skúmať mentálne procesy z hľadiska výpočtovej teórie.

Za začiatok histórie kog. vied sa považuje konferencia na MIT o Shannonovej teórii informácie. Tam 11. sept. 1956 odzneli tri prednášky: Chomsky: Tri modely jazyka (gramatika=algoritmus implementovaný v mozgu), Simon a Newell: Strojová teória logiky (model stroj. dokazovania teorém), Miller: Magické číslo sedem plus alebo mínus dva (ľudská pamäť ako formálny algor. systém). Myslenie = algoritmická manipulácia so symbolmi.

Pojem kog. veda zaviedol Miller po tejto konferencii.

kog. veda alebo vedy

zahŕňovanie výrazmi ako libido, geštalt, atď. Vysvetľovanie = formulovanie neznámeho pomocou známeho. Teória vypočítateľnosti - z malej sady jednoduchých elementárnych prvkov možno skladať neobmedzenú pestrosť komplexných symbol. procesov. Modelovanie počasia, vývoja na burze, interakcií častíc. Na dôsledné objasnenie nejakého fenoménu sa ukazuje ako vhodný výpočtový model - dvojica "počítač - softvér" sa použije ako metafora pre mozog a v ňom prebiehajúci proces. Ak sa hypotéza o tom, ako asi vyzerá kognitívny proces skúmaného fenoménu vyjadří vo forme algoritmu, teda postupnosti krokov a tá sa implementuje a spustí na nejakom zariadení, výsledné správanie zariadenia by malo

zodpovedať správaniu modelovaného organizmu. Takto sa ponúka možnosť experimentálnej verifikácie hypotéz, ktoré by inak mohli zostať na špekulatívnej úrovni.

Výsledkom percepcie je model sveta, myslenie je interná manipulácia s modelmi, jazyk je na externalizáciu a komunikáciu týchto modelov.

Samozrejme, celý výpočtový model má byť navrhnutý tak, aby v maximálnej miere zodpovedal experimentálne získaným poznatkom o modelovanom fenoméne - teda v prípade kognitívneho modelovania najmä poznatkom z neurofyziológie a vykonaným psychologickým experimentom.

čo vieme. Computation nám pomáha presnejšie formulovať problémy.

Črty kogn. vedy [Gardner 1985]:

1. Keď máme hovoriť o kogn. aktivitách, treba hovoriť o mentálnych reprezentáciách a postaviť úroveň analýzy úplne nezávislú od biologickej a neurologickej, ako aj od sociologickej a kultúrnej.
2. K porozumeniu ľudskej mysle je najdôležitejším modelom jej fungovania počítač.
3. Zámerné rozhodnutie nebrať do úvahy faktory možno dôležité pre kogn. fungovanie, ale v tejto chvíli príliš komplikujúce skúmanie (afektívne faktory - emócie, historicko-kultúrne faktory a kontext akcií a myšlienok).
4. Dôležitosť interdisciplinarity: raz možno zmiznú hranice psychológie, filozofie, AI, lingvistiky, antropológie a neurovedy.
5. Kľúčovou témou súčasnej kogn. vedy sú epistemologické otázky v západnej filozofickej tradícii (povaha poznania, jeho komponenty, zdroje, rozvoj a rozmiestnenie).

To je zastaralý pohľad z r. 1985, dnes sa preferuje iný prístup:

Citát z Hoghesa vs. stelesnenosť

nový pojem - stelesnenosť poznatkov = poznanie sa nedá skúmať ako niečo abstraktné a odtrhnuté od neurónového substrátu. Neurónová architektúra sa dá pochopiť iba v kontexte evolúcie.

Inteligencia je:

- a) nič viac ako výpočtový proces, a naprogramovaný počítač môže byť inteligentný
- b) počítačový program môže simulovať aspekty inteligencie. Inteligentného myslenia je schopný len mozog.

my sa budeme držať b) - pokúsime sa výpočtovo modelovať rôzne aspekty mysle od percepcie až po komunikáciu. Avšak niektoré aspekty mysle prekračujú púhy výpočet.

Konverzia kvánt svetla (energie) na nervové impulzy je skôr fyzikálny proces ako výpočet. Veľa aspektov mentálneho života závisí od fyzikálnych procesov - emócie.

vzťah myseľ-mozog ako program a počítač (najmä u robota).

prístup: niektoré procesy v nervovom systéme sú výpočty. Iné sú fyzikálne procesy modelovateľné na počítači. Iné nie a potrebujú iné predpoklady ako teóriu výpočtov a možno iné sa dokonca úplne vymykajú vedeckej explanácii.

## 2 Mentálne procesy a reprezentácia

Čo spracúvajú mentálne procesy? Hypotézy, viery, spomienky, vnemy - sú symboly.

Systémy symbolov - značky, šimpanzy. Príklad s architektúrou, notové značky, matika, mapy.

Vlastnosti: primitívne symboly + pravidlá kombinovania, doména a metóda vzťahujúca symboly a označované entity.

Numerály, konštrukcia symbolov XIV, vzťah štruktúry symbolov k interpretácii. Explicitnosť, čo je väčšie v rímskych č.

Počítače spracúvajú numerály, ale nevedia ich vzťahovať k ničomu z reálneho sveta. Interpretácia je ponechaná na používateľa. Vie ale transformovať symboly a jeho operácie sú riadené symbolmi.

Mentálny symbol - nemusí korešpondovať s ničím zo sveta - pekný deň, strašidlo. Percepcia - kauzálna linka zo sveta k interným reprezentáciám - výsledok prír. výberu - orientácia vo svete.

Mentálne procesy závisia na mozgu a najlepšie sa opisujú pomocou symbolov. Mozog nemôže mať nekonečne veľa symbolov. Nervové impulzy môžu byť primitíva, z kt. vznikajú symboly. Dobrá metafora z PC - hocijako zložité procesy pozostávajú z niekoľkých základných operácií nad numerálmi. Preto môžu výpočtové procesy modelovať mentálne symboly a manipuláciu s nimi.

Vypočítateľnosť: efektívna procedúra musí dosiahnuť želaný cieľ po konečnom počte krokov a s použitím konečného množstva znalostí.

binárne sčítovanie: konečnostavový automat. Návrat robota domov: zásobník. Výpočtová sila znamená čo sa dá vypočítať, nie efektívnosť. To sa dosiahne nie zlepšením inštrukcií, ale pamäte. Determ. a nedeterm. Turingov stroj. Univerzálny Turingov stroj. Nie všetko sa dá vypočítať. Turingova téza. Teórie mysle treba formulovať tak, aby boli modelovateľné na počítači. Tým sa minimalizuje intuitívnosť pojmov. Teória stelesnená počítačovým modelom môže byť nepravdivá, ale je aspoň koherentná a vychádza z jasných predpokladov.

*(koniec predn.)*

### 2.1 Konceptuálna reprezentácia: od konekcionizmu k symbolom

K problému reprezentácie informácií sa obvykle v kognitívnych vedách pristupuje z hľadiska konekcionizmu alebo symbolovej paradigmy, pričom často chyba zmysluplne premostenie. Gardenfors navrhuje ako premostenie konceptuálnu reprezentáciu založenú na geometrických štruktúrach.

Ďalším problémom je hľadanie zmysluplnej sémantiky jazyka: realisti zobrazujú symboly na objekty reálneho sveta, Fodor ich prekladá do Mentálčiny. Aj tu Gardenfors ponuka návrh riešenia...

Vo svojom príspevku ukážem ako konceptuálna reprezentácia súvisí s percepciou, zavediem pomocou nej kognitívnu sémantiku a ilustrujem javy ako metafora a revízia konceptov.

Kog. veda skúma ako je informácia reprezentovaná a spracúvaná v rôznych typoch agentov.

#### 2.1.1 Symbolická reprezentácia

Komputacionalizmus vychádza z predpokladu, že kog. systémy by mali byť modelované Turingovými strojmi. Aplikuje sa na modelovanie inferencie a syntakt. parsing. Atómy sú

symboly, proces je manipulácia so symbolmi bez ohľadu na sémantický obsah. Obsahom výrazu v prir. jazyku je výraz v jazyku mysle - mentálčine. Aj tam prebieha spracovanie info ako výpočet dôsledkov viet pomocou pravidiel. Chomsky: jazyk sú reťazce formálnych symbolov spracovateľných automatmi. Materiálny substrát je irelevantný.

Problém vymedzenia. Predikáty. Ako študovať ich evolučnú emergenciu? Čím špecifikovať situáciu pred vznikom symbolov? Odkiaľ prichádzajú predikáty? Vývoj predikátov, zmena významu konceptu.

Sémantickí realisti - význam symbolu fixovaný. Symbol grounding problem.

### 2.1.2 Subkonceptuálna úroveň

Konekcionizmus modeluje kog. sys. ANN - paralelné spracovanie neurónmi bez centrálnej kontroly. Kogn. procesy modelované dynamikou vzorcov aktivít v sieti.

[Palmer] vlastné a nevlastné reprezentácie (vlastné sa podobajú na to, čo reprezentujú, k nevlastným musí byť pravidlo). Konekc - vlastné, symbol - nevlastné

Konekc. modely dobre modelujú asocianistické psych. teórie a sú robustné voči zašumenému vstupu.

Problém: ako vydestilovať konceptuálnu a symbol. info z ANN? Vstup príliš neštrukturovaný. Redukcia dimenzií - Kohonen.

Aj keď vieme, že sa sieť správne naučila kategorizovať vstup, nemusíme byť schopní opísať čo reprezentuje výstup siete.

### 2.1.3 Konceptuálny priestor

Ako modelovať koncepty? Na symbolickej úrovni sú len pomenované zákl. symbolmi a sú dané pravidlá kompozície pre zložitejšie. V konekcionizme sú implicitne.

KP

dimenzie: farba, výška tónu, teplota, váha, 3D. Sú kognitívne - infralingvistické (bez interného jazyka). Niektoré od senzorických receptorov, iné nie.

pitch - spojité 1D štruktúra. Neurofyziológia: HF tóny stimulujú bunky na dne slimáka a LF bunky vyššie v špirále. Pozícia v kochlee logaritmicke kóduje pitch - vlastná repr.

Dimenzie - doslova aj s topológiou a metriku, napr. čas, váha. Niektoré diskrétne, napr. pohlavie. Vo väčšine dimenzií je vzdialenosť, preto možno reprezentovať podobnosť, čo je ťažké na symbol. úrovni.

dimenzie sa interpretujú skôr psychologicky ako vedecky (3D). Vnímanie farby (obr.).

KP  $S = D_1, \dots, D_n$ . Bod  $v = \langle v_1, \dots, v_n \rangle$  - objekt.

Dimenzie:

1. vrodené: vitálne - farba, priestorové súradnice, výška tónu
2. naučené: objem vs. výška hladiny (Piaget)
3. kultúrne podmienené: čas, príbuzenstvo
4. vedecké: teplota vs. teplo, tiaž vs. hmotnosť

vlastnosť: oblasť v KP na základe topológie a metriky v S. (teraz, minulosť, budúcnosť)

Kritérium P: Prirodzená vlastnosť je konvexná oblasť KP. Konvexný: ak sú body  $v_1, v_2$  v regióne R, aj  $v$ , ktorý je medzi nimi je v R. Väčšina jednoslovných pomenovaní označuje prirodzené vlastnosti: farby (obr.), samohlásky (obr.).

koncept - vlastnosť, alebo sada vlastností v rôznych dimenziách.

Teória prototypov [Rosch]: prototypy - centrá konvexných oblastí. Zložitejšie koncepty "vták" Marr, Nishihara. (obr.) Konceptualizácia podľa vzdialenosti od prototypov

hranica:  $\sum_i (v_i - x_i)^2 = \sum_i (w_i - x_i)^2$  (obr.)

niektoré koncepty sú väčšie ako iné: kačica, pštros. Prototypické oblasti s polomerom  $c_v$  (obr.)

$\sum_i (v_i - x_i)^2 - c_v = \sum_i (w_i - x_i)^2 - c_w$

Experimenty s mušľami (obr.)

#### 2.1.4 Dôkazy z neurovedy

pre kogn. fungovanie ľudského mozgu sa zdá oveľa fundamentálnejším spracovanie info v senzomotorickom riadení ako procesy symbol. manipulácie.

Topografické mapy: susednosť na senzor. periférii sa zachováva do CNS.

retinotopické mapy v laterálnych nn. geniculate (6 vrstiev), somatotopické mapy - pozície senzorov v tele (homunkulus), tónotopické mapy v auditórnom kortexe. Takisto zachovávajú modularitu: rôzne typy neurónov citlivé na rôzne črty a sú v odlišných mapách.

Doslovná interpretácia vektorového priestoru v NS.

Konceptuálne priestory nie sú ľubovoľné: dôkaz - podobná kategorizácia zvierat a rastlín v celom svete. Prečo - evolučná selekcia zachovala konceptualizácie dostatočne verné, aby umožňovali prežiť.

Evolučný pohľad na biolog. kogn. systémy:

jednoduché živočíchy: subkoncept. úroveň (ANN)

zložitejšie - cicavce, vtáky - sofistikované mechanizmy učenia a tvorby konceptov.

symbolickú úroveň v zmysle pravidlovej manipulácie so symbolmi má iba človek a je diskutovateľné, či aj iné primáty.

Konceptuálna úroveň je medzi hrubou symbolickou a citlivou konekc. Konceptuálne dimenzie emergujú zo samoorganizujúcich NS. Symbolická predpokladá konceptuálnu, ktorá jej ponúka grounding - významy.

#### 2.1.5 Výpočtové hľadisko

(ak bude čas)

Symbol - Turingov stroj - téza sa zakladá na predpoklade, že info je symbolicky reprezentovaná. Algoritmy používajú pravidlá alebo prehľadávajú stromovité štruktúry.

V ANN sa systém berie ako DS, kde stavmi sú možné kombinácie aktivít neurónov a dynamika (napr. dif. rovnice) opisujú ako sa stavy siete menia v čase. Činnosť siete - kombinácia rýchlych procesov šírenia aktivít medzi neurónmi a pomalý učiaci proces zmeny váh spojení.

Na koncept. úrovni - vektorové operácie, napr. s maticami. Kľúčovú úlohu má podobnosť = vzdialenosť v priestore. V ANN tiež vektory, ale aktivačný vektor má rozmer počtu neurónov, zatiaľ čo v koncept. menej. Takisto jednoduchšia metrika.

### 2.1.6 Kognitívna sémantika

realisti vs. kognitivistí:

realisti - význam slova alebo výrazu je entita z reálneho sveta (teda je nezávislý od subjektu).

kognitivistí - významy sú mentálne entity, sémantika je zobrazenie jazykových výrazov na kogn. štruktúry. Význam predchádza pravdivosť - tá sa určuje až sekundárne vo vzťahu k vonk. svetu. KP je návrh ako môžu kogn. štruktúry vyzerat'. Rozdiel oproti Fodorovej Mentálčine - tá je jazykom so syntakt. štruktúrami a rekurzívnymi pravidlami. Sémantika mentálčiny je opäť zobrazenie do vonkajšieho sveta.

sémantika - vzťah medzi jazykom a konceptuálnym priestorom (KP).

interpretácia pre jazyk L je mapovanie komponentov L do KP. Individuové konštanty sa zobrazia na vektory, t.j. body KP alebo čiastočné vektory (ak niektoré vlastnosti objektu sú neznáme) = lokačná funkcia. Predikátom označujúcim prirodzené vlastnosti (kt. reprezentujú niečo existujúce v reálnom svete bez ohľadu na kogníciu) zodpovedajú konvexné oblasti KP.

pred(indiv) je splnený, ak lokačná fcia zobrazuje *indiv* na bod v regióne priradenom *pred*. Sekundárne predikáty (napr. "predchádza") sú opisované oblasťami nad primárnymi vlastnosťami.

Body KP - možné individuá definované kognitívne bez referencie na vonkajší svet.

Rôzne lokačné fcie zodpovedajú možným svetom z klasickej intenzionálnej sémantiky.

Niektoré tvrdenia sú analyticky pravdivé vzhľadom na KP, kritérium P a topologickú štruktúru dimenzií. Napr. tranzitivita relácie "pred" vyplýva z lineár. štruktúry dimenzie dĺžka. Takisto "čo je zelené, je zafarbené" a "nič nie je zelené a červené naraz".

**nemonot. usudzovanie:** Gonzo je vták - umiestnim ho do koncept. priestoru niekde k prototypickému vtáku - tam vtáky lietajú. Keď zistím, že je pštros, vysuniem ho nakraj regiónu "vták" do regiónu "pštros", kde individuá nelietajú. Čiže revidujem location function.

**metafora:** podobnosť v topolog. alebo metrickej štruktúre medzi rôznymi dimenziami kvality, priestorová dĺžka a čas: prenesenie štruktúry

### 2.1.7 Záver

výhody koncept. repr:

rieši symbol grounding problem - grounded ku konštrukciám KP

lepšie modeluje učenie a formáciu konceptov.

frame problem - rozdelenie info do domén

podobnosť

symbol a konekcion. paradigmy sa považujú za nekompatibilné. Sú to ale rôzne škály pohľadov: konekcionizmus sa zaoberá rýchlym správaním dynam. systému, zatiaľ čo koncept. a symbol. štruktúry emergujú ako pomalé črty systému. Ten istý systém môžeme vnímať ako asocianistický mechanizmus aj ako KP, ktorý poskytuje grounding symbolickej úrovni. Nie je teda treba rozlišovať 2-3 typy systémov. (*koniec predn.*)

## 3 Percepcia I. - videnie

### 3.1 Formulácia problému videnia

Väčšina z nás považuje videnie za samozrejmosť. Zdá sa, že vidíme bez úsilia, no napriek tomu je vnímanie obrazov, predmetov, farby a pohybu veľmi komplikovaný proces. Keď nakloníme hlavu, svet sa nenakloní. Keď zatvoríme jedno oko, nestrácame okamžité schopnosť vnímať hĺbku. Keď prechádzame okolo nejakého predmetu, zakaždým vnímame iný tvar, hoci predmet sa nemení.

*Videnie* definujeme ako konštrukciu modelu sveta na základe svetelných vzorov dopadajúcich na sietnicu, t.j. vytvorenie symbolickej reprezentácie videného umožňujúcej adekvátne správanie. Napr. pre robota pohybujúceho sa v nebezpečnom teréne *vidieť* znamená spracovať obrazy snímané jeho kamerami tak, aby rozpoznal a lokalizoval jamy a prekážky.

Metodologické princípy výpočtového prístupu k videniu sformuloval David Marr<sup>1</sup> v sedemdesiatych rokoch. Teória, ktorá má objasniť nejaký fenomén, musí podľa neho obsahovať tri úrovne analýzy:

1. *Informačná teória*: čo je cieľom modelovaného procesu, čo je vstupom, čo má byť výstupom, aké obmedzenia platia pre proces. V prípade videnia zahŕňa aj samotnú definíciu vizuálneho percepčného procesu - čo to znamená vidieť.
2. *Algoritmus*: detailný popis jednotlivých krokov - ako vidíme.
3. *Implementácia*: ako je proces fyzicky realizovaný na neurofyziologickej úrovni u organizmu, resp. v softvéri a hardvéri počítača.

### 3.2 Zraková sústava

Zrakovú sústavu človeka tvoria oči, zodpovedajúce časti mozgu a spoje medzi nimi.

Ľudské oko sa skladá z dvoch systémov. Jeden vytvára obraz a druhý tento obraz pretvára na elektrické impulzy. Prvý systém tvoria rohovka, zrenica a šošovka. Zabezpečujú, aby svetlo dopadalo len na jedno miesto, aby bola primeraná intenzita, atď.

Jadrom druhého, transdukčného systému sú dva typy receptorov: tyčinky a čapíky (spolu ich je 100 miliónov, z toho 6 mil. čapíkov). Majú rozdielne funkcie. Tyčinky sú určené na nočné videnie, lebo pracujú pri nižších svetelných intenzitách a slúžia na čiernobiele videnie. Čapíky sú určené na videnie cez deň, sú citlivé na vyššie intenzity svetla a zabezpečujú videnie farieb.

Oba receptory obsahujú chemické látky, tzv. fotoreceptory, ktoré pohlcujú svetlo. Pohltením svetla sa začína dôležitý proces premeny svetla na elektrický signál a výsledkom je nervový vzruch. (Kognícia teda nezahŕňa len symbolové výpočty - tu vznikajú "symboly" vo fyzikálnej interakcii so svetom.) Elektrický signál sa prenáša prostredníctvom bipolárnych buniek z tyčiniek a čapíkov na neuróny, ktoré nazývame gangliové bunky. Dlhé axóny gangliových buniek po výstupe z oka vytvárajú zrakový nerv, ktorý vedie do mozgu (slepá škrvna - pokus). Mozgové centrum pre zrakové vnímanie sa nachádza v kôre mozgu v oblasti ostrohovitej brázdy na mediálnej strane záhlavného laloka.

---

<sup>1</sup> David Marr - vyštudoval neurofyziológiu na Cambridge v Anglicku, zaoberal sa štúdiom fungovania ľudského mozočka (cerebellum). V rokoch 1973-80 viedol v Laboratóriu umelej inteligencie Massachusettského technologického inštitútu (MIT) rozsiahly projekt štúdia ľudskej vizuálnej percepcie. V roku 1980 zomrel na leukémiu, výsledky jeho výskumu vyšli posmrtno v roku 1982 v knihe *Vision*.

### 3.2.1 Vnímanie svetla

O citlivosti zraku rozhodujú takisto tyčinky a čapíky. Medzi nimi sú dva základné rozdiely, ktoré vysvetľujú mnoho javov, vrátane vnímania intenzity alebo jasú:

Prvým rozdielom je rozdielne spojenie tyčiniek a čapíkov s gangliovými bunkami. Jedna gangliová bunka je spojená s viacerými tyčinkami, preto dostáva viac signálov ako tá, ktorá je spojená vždy iba s jedným čapíkom. Preto videnie sprostredkované tyčinkami je citlivejšie.

Druhým rozdielom je rozličné rozmiestnenie tyčiniek a čapíkov. Najviac čapíkov (avšak žiadne tyčinky) je v oblasti žltej škvrny a relatívne málo je ich na periférii sietnice. Dôsledkom je lepšia schopnosť vnímať slabé svetlo na periférii.

Čo sa týka vnímania intenzity svetla, sú rozdiely spôsobené odlišnou schopnosťou fotoreceptorov, obsiahnutých v tyčinkách a čapíkoch, absorbovať svetlo rôznych vlnových dĺžok. Najnižší prah pre vnímanie rôznych vlnových dĺžok tyčinkami je vždy nižší ako u čapíkov. Preto pri stmievaní začíname byť relatívne citlivejší na svetlo kratších vlnových dĺžok.

## 3.3 Jednotlivé kroky spracovania obrazu

### 3.3.1 Vytvorenie poľa intenzít

Prvým krokom je teda fyzikálna interakcia medzi svetlom dopadajúcim na sietnicu a vizuálnym pigmentom v bunkách sietnice. Odpovede retinálnych buniek (alebo analogicky elektronickej kamery) v princípe zodpovedajú dvojrozmernému poľu hodnôt intenzity v príslušných bodoch svetlocitlivého povrchu.

### 3.3.2 Lokalizácia zmien intenzity

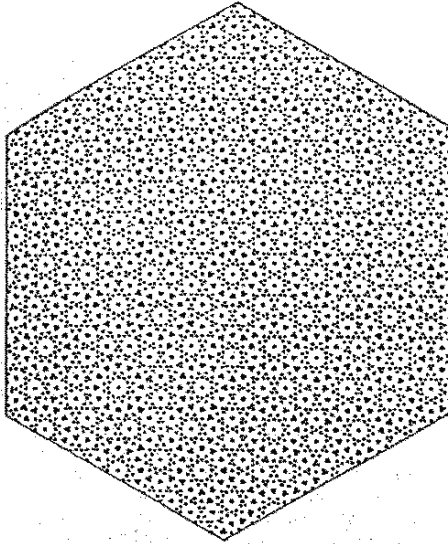
Ak privrieme oči, môžeme pozorovať, že scéna je tvorená oblasťami rôznej intenzity - svetlejšími a tmavšími. Intenzita sa obvykle ostro mení na hranách objektov a - ako dokazujú rôzne schematické kresby - hrany sú významným kľúčom pri vnímaní. Vizuálny systém teda v tomto kroku analyzuje pole intenzít a hľadá hranice regiónov rôznej intenzity. Samozrejme, nie každá zmena intenzity zodpovedá hrane objektu - niektoré vznikajú zmenou osvetlenia, tieňom a pod., úlohou vizuálneho systému je preto aj určiť, ktoré hranice regiónov zodpovedajú skutočným hranám. Keďže zachytený obraz vždy obsahuje určité množstvo *šumu* - obraz sa "vyhladzuje" napr. nahradením každej hodnoty v poli *priemerom* medzi susednými hodnotami. Môže byť vážený priemer s váhami z Gaussovej krivky.

Zmeny intenzity zodpovedajúce hranám sa detekujú pomocou tzv. gradientu a v grafe zmeny gradientu zodpovedajú prechodom cez nulu (zero-crossing). (str. 68) Kombináciou vzniká mexický klobúk.

V prospech teórie "zero-crossings" svedčia aj neurofyziologické poznatky. Na sietnici sú gangliá buniek dvoch typov spojených s kruhovo usporiadanými receptormi - jedny sú excitované stredovými receptormi a inhibované okrajovými a druhé naopak - zodpovedajú mexickému klobúku - v miestach, kde je aktivita oboch typov buniek v rovnováhe je zero-crossing. Vo vizuálnej kôre mozgu, ako ukázali nositelia Nobelovej ceny neurofyziológovia Hubel a Wiesel, sú bunky aktivované svetlými čiarami istej orientácie vo vizuálnom poli - pravdepodobne detekujú zero-crossings.

### 3.3.3 Prvotný náčrt

Porovnaním výsledkov filtrovania poľa intenzít cez klobúky rôznej veľkosti dostávame v Marrovom modeli tzv. *prvotný náčrt* - symbolickú reprezentáciu paličiek, hrán a regiónov rovnakej intenzity. Podobné susedné prvky sa grupujú do čiar a väčších útvarov a tento proces sa opakuje. Vizuálne obrazy sú organizované samovoľne - bez vedomého úsilia.



**Obr. 1:** Konkurujúce kruhy

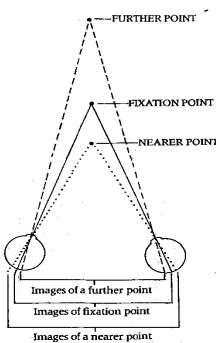
Na obr. 1 sa nám spontánne organizuje obraz do kruhov niekoľkými spôsobmi, ktoré si navzájom konkurujú. Dobrým empirickým opisom organizácie obrazu sú geštalové<sup>2</sup> zákony: nadsumatívnosť, transponovateľnosť, organizácia, zákon skúsenosti, proximity, podobnosti, uzavretosti, pregnantnosti.

Redukovanie informácií o ostrých hranách pri polozatvorených očiach môže pomôcť vidieť - obr. Lincolna, str. 78.

Ako sú tieto procesy implementované v ľudskom mozgu nie je známe - musia byť totiž veľmi rýchle, aby umožňovali "on-line" reagovanie. Spracovanie poľa intenzít veľkosti napr. 1000 x 1000 bodov, kde sa pri vyhladzovaní šumu berú do úvahy susedné body, je veľmi náročné na čas.

Keby organizmus používal na orientáciu vo svete výsledok iba tejto fázy spracovania videného, vnímal by svet zhruba ako mucha. Ako opísal Werner Reichardt, riadenie letových aktivít muchy je založené na rýchlych automatických mechanizmoch spúšťaných pohybom čiernej škvry vo vizuálnom poli (sledovanie inej muchy) alebo náhlou expanziou vizuálneho poľa (pristávanie).

### 3.3.4 Vnímanie hĺbky - stereopsia



Hlavným kľúčom pre určovanie hĺbky je *disparita* - rozdiel medzi obrazmi vnímanými ľavým a pravým okom (pokus - zavrieť oko, jeden prst pred seba, druhú ruku vystrieť)

Ak zaostríme oči na nejaký bod, tento sa vždy premietne do stredu sietnice každého oka, kde je najväčšia hustota fotoreceptorov. Ostatné viditeľné body sa takisto premietnu na sietnicu vo vzdialenostiach od stredov a smeroch zodpovedajúcich vzdialenostiam od fixovaného bodu (viď obr. 2). Na rekonštrukciu relatívnej hĺbky bodu potom postačí trigonometria.

**Obr. 2:** Disparita

<sup>2</sup> Tvarová psychológia (Gestaltpsychologie, z nem. Gestalt = tvar, podoba, celok) sa rozvinula ako reakcia proti elementovej psychológii. Tá hľadala v duševných javoch jednoduchšie prvky a duševný život potom vysvetľovala skladbou, zložením týchto jednoduchých javov a prvkov. Na rozdiel od toho tvarová psychológia hlása celostnú koncepciu, podľa ktorej celok a časti sa síce navzájom podmieňujú, ale vždy tak, že celok dominuje nad časťami. Geštal psychológiu utvorili traja psychológovia - Max Wertheimer (1880 - 1940), Kurt Koffka (1886 - 1941) a Wolfgang Köhler (1887 - 1967). Stretli sa na berlínskej univerzite a tvoria tzv. Berlínsku školu. Postupne sa do riešenia problémov tvarovej psychológie zapojil E. Rubin, D. Katz, K. Lewin.

Je tu ale háčik: skôr ako môžeme merať disparitu musíme vedieť, ktoré body v obrazoch z ľavého a pravého oka si navzájom prislúchajú, teda vznikli projekciou toho istého vzoru. Hľadieť na to isté miesto v oboch obrazoch (teda na sietniciach) nemá zmysel práve kvôli disparite. Ostávajú dva spôsoby:

*Identifikovať objekty v scéne a potom spárovať ich prislúchajúce časti v oboch obrazoch:* Takýto prístup možno nazvať “zhora nadol”. Zdá sa ale nepravdepodobné, že by bolo možné identifikovať objekty v scéne skôr ako sa určia relatívne hĺbky a orientácia ich povrchov.

*Párovať hodnoty intenzít v poliach intenzít z oboch očí:* Takýto prístup možno nazvať “zdola nahor”. Žiaľ, intenzita v zodpovedajúcich si bodoch nemusí byť v oboch poliach rovnaká. Keď si napr. pred jedno oko priložíme začadené sklíčko, sme schopní vnímať hĺbku aj keď intenzita svetla dopadajúceho na sietnice je zjavne odlišná (pokus).

Ktorý prístup je teda plauzibilnejší? Ponúka sa experimentálna taktika:

Skúsime, či je systém schopný vnímať hĺbku, ak nie je žiadna možnosť využitia poznatkov vyššej úrovne. Ak to dokáže, bude to potvrdením, že prístup zdola nahor je postačujúci.

Skúsime, či je systém schopný vnímať hĺbku aj ak je vstupný obraz veľmi zašumený. Ak to dokáže, proces nemôže závisieť len na kvalite vstupných dát a teda zahŕňa aj informáciu “zhora nadol”.

Kľúčový experiment v tomto smere urobil Julesz: Pozorovaním *stereogramov* - počítačom zhotovených obrázkov zložených z “náhodných” bodov (samozrejme tak aby simulovali disparitu) - dokázal, že stereopsia môže vzniknúť zdola nahor čisto na základe disparít bez akejkolvek viditeľnej štruktúry objektov (ukázať stereogramy). Ako ukázali Frisby a Clatworthy, informácia zhora nadol nezlepšuje stereopsiu - u ľudí, ktorí dostali vopred informáciu o tom, čo majú v stereograme vidieť, nenastával efekt hĺbky rýchlejší ako u neinformovaných. Stereopsia je nezávislá od iných vizuálnych procesov - môže byť samostatným modulom.

(pokus s horoptrom, kykloptické oko)

Istá principiálna informácia môže pri párovaní obrazov predsa len pomôcť:

*Princíp jedinečnosti:* Jeden objekt nemôže byť súčasne na dvoch miestach, t.j. bod v obraze videnom jedným okom možno spárovať s práve jedným bodom v obraze videnom druhým okom.

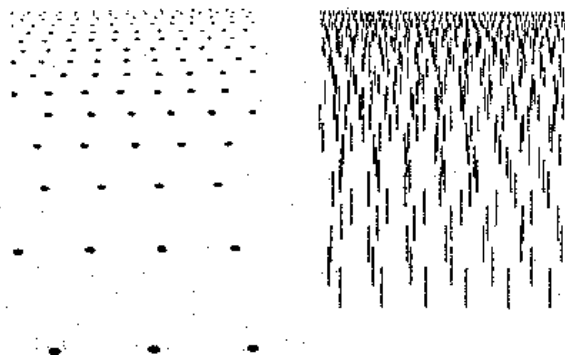
*Princíp spojitosti:* Keďže povrchy objektov sú väčšinou nepriehľadné a relatívne hladké, susedné body v obraze obvykle zodpovedajú bodom v približne rovnakej hĺbke (vzdialenosti od oka).

Podľa Marra sú tieto princípy zabudované do mozgu, t.j. vrodené. Marr a Poggio implementovali počítačový program na analýzu stereogramov na základe týchto princípov (str. 88n), keď však vezmeme do úvahy potrebné množstvo výpočtových operácií a relatívne malú rýchlosť šírenia vzruchov medzi neurónmi, zdá sa tento model videnia neplauzibilný. Ako teda funguje reálna stereopsia u človeka? Zhrňme čo doteraz vieme:

Stereopsia zrejme funguje zdola nahor, nie je však jasné na akých vstupných dátach. Intenzity svetla v poli môžu byť ovplyvnené osvetlením a nezodpovedajú presne fyzikálnym povrchom. Princíp spojitosti je ale založený práve na vlastnostiach povrchov objektov, vstupnými dátami by teda malo byť niečo bližšie k reprezentácii povrchov. Z neuropsychológie (Colin Blakemore) vieme, že vo vizuálnej kôre cicavcov sú stĺpce buniek, kde každá zodpovedá rôznej disparite pre rez obrazu v istej výške. Nevieme však medzi čím sa určuje disparita. Isté je, že stereopsia môže byť vykonávaná na prvkoch základného náčrtu

a že procedúra párovania pracuje na vrodenných princípoch odvodených z povahy fyzického sveta.

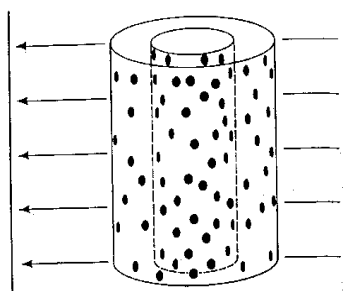
### Ďalšie kľúče pre stereo-videnie



Gibson tvrdí, že zdrojom informácií o hĺbke a orientácii povrchov sú gradienty v textúre (obr. 3). Hoci bolo implementovaných niekoľko počítačových programov pracujúcich na tomto princípe, o tom, ako interpretuje gradient textúry ľudský vizuálny systém, je známe veľmi málo.

**Obr. 3:** Gradient textúry a vnímanie hĺbky

Ďalšie kľúče (Jakubek - monokulárne/binokulárne, empirické/fyziologické) - prekrývanie, tieňovanie, veľkosť obrazu na sietnici, vzdušná perspektíva (vzdialené objekty sa javia ako zahmlenejšie, modrejšie), výška v pláne (bližšie k horizontu = vzdialenejšie), lineárna perspektíva (rovnobežné čiary sa v diaľke spájajú), akomodácia šošovky.



Tvar objektov možno zrekonštruovať aj z ich pohybu - Ullman uvádza nasledujúci pokus: na plátno sa premieta sada bodov. Kým sú statické, pozorovateľ vidí iba náhodne rozhádzané body. Keď sa začnú pohybovať, vytvárajú efekt dvoch rotujúcich valcov (viď obr. 4). V skutočnosti žiadne valce nie sú, premietajú sa len animované body, ktorých dráhy sú počítačom vypočítané tak, aby budili príslušný dojem.

**Obr. 4:** Pohyb bodov vytvára ilúziu valcov

### Ilúzie

Mnoho z toho, čo vizuálne vnímame, je v nejakom zmysle iluzórne. Vzdialenejšie predmety sa zdajú menšie ako tie, čo sú bližšie. Zrkadlá ukazujú veci tam, kde nemôžu byť. Fatamorgána nás oklame vidinou vzdialenej scenérie. Ryby v rybníku vyzerajú, že sú vo vode vyššie, ako v skutočnosti sú. Mesiac tesne nad horizontom sa javí oveľa väčší ako v zenite. Rovnobežné priamky sa zbiehajú smerom k horizontu. Šošovky menia očividné rozmery a vzdialenosť predmetov.

Väčšinou ide o ilúzie zapríčinené fyzikálnymi efektami pri prechode svetla z predmetov do našich očí. My však vieme, že vzdialené objekty sú oveľa väčšie, ako ich vnímame. Vieme, že predmety videné v zrkadle sú v skutočnosti pred sklom, nie za ním. Náš mozog a myseľ sa väčšinou adaptovali na tieto javy a naučili sa kompenzovať ich takým spôsobom, aby zodpovedali realite - čo ale môže spôsobovať ďalšie ilúzie.

Pri istom type optických ilúzií dochádza k chybným interpretáciám perspektívy. V Pogendorfovej ilúzii je šikmá priamka prekrytá obdĺžnikom. Toto prekrytie vytvára ilúziu dvoch priamok. Keď však ku priamkam priložíme pravítko, zistíme, že sú v spojení. Ponzdovej ilúzii sa hovorí tiež „ilúzia zbiehajúcich sa koľajníc“. Tvoria ju dve rôznobežky v tvare obráteného V. Medzi nimi sú horizontálne umiestnené dve rovnako dlhé rovnobežky. Napriek tomu sa zdajú byť rôznej dĺžky: Spodná sa javí byť kratšia ako tá vyššie umiestnená.

Rôznobežky vnímame ako trojrozmernú vzd'alujúcu sa cestu. Preto sa nám zdá, že to, čo je ďalej (horná úsečka), je dlhšie ako to, čo je ďalej (dolná úsečka).

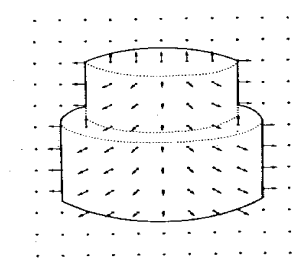
Maurits Cornelis Escher vytvoril na základe týchto skutočností svoje zmätené, ale zároveň fascinujúce obrazy. Vytvárajú nelogické trojrozmerné predstavy. Na prvý pohľad sa obyčajne javia perspektívnymi ukázkami 3D objektov a scén, pri bližšom pozorovaní odhaľujú vnútorné nezlúčiteľnosti tak, že trojrozmerný objekt, ktorý zobrazujú, nemôže existovať.

Približne jedno percento populácie nedokáže vnímať tieto ilúzie. Ich mozog nieje schopný z dvojrozsmernej plochy pretransponovať obraz do 3D podoby. Pri týchto ilúziách sa bohato využíva tieňovanie, pretože tieň môže ilúziu zrušiť, ale aj vytvoriť. "Nekonečné schodisko" je jednou z Escherových ilúzií. Escher umiestnil schodisko na strechu budovy. V pravom rohu je strácajúci sa bod, ktorý je vyšší ako bod v ľavom rohu. V tomto prípade ilúzia vzniká vďaka tieňom.

**MESAČNÁ ILÚZIA:** Urobme si malý experiment: Pozrime sa na Mesiac nad horizontom. Potom zoberme kus papiera, urobme v ňom dierku a podržme ho pred okom. Keď sa pozeráme cez dierku, Mesiac je tej istej veľkosti ako by bol v zenite. Oba úkazy môžeme porovnať tak, že jedným okom pozeráme na mesiac cez dierku a druhým priamo. Vidíme ten istý objekt a dva rôzne javy (v dvoch rôznych veľkostiach).

Princíp vzťahu veľkosť – vzdialenosť by mohla byť podkladom pre porozumenie množstva ilúzií veľkosti. Ilúzia Mesiaca je jedna z najznámejších. Mesiac nad horizontom sa javí 50x väčší ako v zenite, pričom obom polohám zodpovedajú rovnako veľké obrazy na sietnici. Tento jav je najpôsobivejší počas splnu mesiaca. Vysvetlením je, že vnímaná vzdialenosť horizontu je posudzovaná ako väčšia, než vzdialenosť zenitu. (Holway a Boring, 1941)

### 3.3.5 Dva a pol rozmerný náčrt



Na riešenie ťažkého problému videnia nás evolúcia vybavila vrozenými princípmi, ktoré pomáhajú pri určovaní hĺbky zo základného náčrtu. Explicitnú reprezentáciu o relatívnych hĺbkach a orientácii (z hľadiska pozorovateľa) každého viditeľného povrchu v scéne Marr nazýva *dva a pol rozmerný náčrt* (viď obr. 5).

**Obr. 5:** Dva a pol rozmerný náčrt

(koniec predn.)

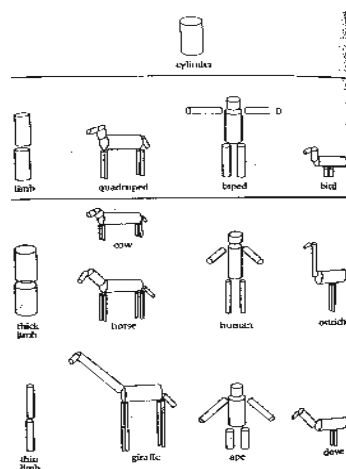
### 3.3.6 Trojrozmerný model

Naším cieľom je porozumieť ľudskému videniu tak, aby sme mohli implementovať podobný systém napr. v robotovi. Výsledkom výpočtového procesu videnia je symbolická reprezentácia trojrozmerného sveta, z ktorej je explicitne zrejmé, čo je kde (transformáciou z 2,5D náčrtu - tak ako pri CT alebo družicových stereosnímках). Ide teda o identifikáciu objektov na základe ich tvarov a určenie ich relatívneho umiestnenia v priestore.

#### Interpretácia čiarových kresieb

Vedomosti o svete obmedzujú interpretáciu primitívnych symbolov v kresbách (Clowes, Huffman) - blokové svety: 4 typy spojení: L,T,Y, šípka - všetky prim. symboly musia mať konzistentnú interpretáciu. Waltz: tiene a komplikovanejšie spojenia uľahčujú interpretáciu (str. 112).

## Identifikácia objektov



Pri konštrukcii úplného trojrozmerného modelu sa využívajú poznatky získané skúsenosťou. Nie vždy máme úplné dáta pre trojrozmernú rekonštrukciu - napr. nie celý objekt musí byť viditeľný a predpoklady o jeho "odvrátených stranách" prijímame na základe našej kultúrne podmienenej skúsenosti. Vizuálny systém konštruje opis vnímaného objektu a porovnáva ho s akýmsi mentálnym katalógom prototypov - trojrozmerných tvarov objektov (viď obr. 6).

Tento proces prebieha nevedomej úrovni a stretávajú sa v ňom prístupy zdola nahor a zhora nadol: špecifická čiara časti nejakého objektu môže slúžiť ako kľúč na určenie prototypu a ten sa potom zhora nadol použije na dourčenie zvyšku figúry.

**Obr. 6:** Katalóg tvarov

Na verifikáciu oboch prístupov môžeme použiť rovnakú experimentálnu metódu ako vyššie: ak je proces identifikácie objektov úspešný aj pri zašumenom obraze, môže závisieť na informácii "zhora".



Pokus: Na obr. 7, ktorý na prvý pohľad vyzerá ako náhodné machule, je pes, ktorý vetrí zem v tieni stromu. Táto informácia by mala stačiť, aby ste psa na obrázku identifikovali.

**Obr. 7:** Príklad na vnímanie "zhora nadol"

Keďže ten istý objekt možno identifikovať z rôznych uhlov pohľadu, Marr a Nishihara navrhujú, že tvar objektu by nemal byť špecifikovaný vzhľadom na súradnicový systém pozorovateľa (ako je to v 2,5D náčrte), ale vzhľadom na objekt samotný. Trojrozmerný model je pre nich reprezentovaný hierarchiou objektov zložených zo zovšeobecnených kužeľovitých tvarov. Model je organizovaný okolo hlavnej osi "tela" a teda spĺňa vyššie uvedenú požiadavku nezávislosti od súradnicového systému pozorovateľa. Takto reprezentovaný objekt ostáva tým istým aj pri mentálnom otáčaní alebo rôznych pohľadoch.

## Forma a funkcia

Predpokladajme, že sa pozeráme na scénu, v ktorej je stôl. Aká informácia nám pomáha identifikovať vnímaný objekt ako stôl? Stoly môžu byť najrôznejších tvarov dokonca môžeme ako stôl rozpoznať aj objekt tvaru odlišného od všetkých doteraz videných stolov. Ukazuje sa, že objekt je identifikovaný ako prvok nejakej kategórie nie na základe nejakej nemennej tvarovej charakteristiky, ale preto, že jeho forma, rozmery a iné viditeľné vlastnosti sú vnímané ako vhodné pre nejaký účel - funkciu. Takéto rozpoznanie si vyžaduje naozaj znalosť vysokej úrovne a ďaleko prekračuje čistú percepciu.

Neuropsychologička Elisabeth Warrington a jej kolegovia skúmali dôsledky mozgových lézií na psychické funkcie a našli dôkazy odlišnosti mechanizmov na vnímanie tvaru a funkcie: Zistili, že pacienti s poškodením ľavého temenného laloku mozgu neboli schopní dobre

vnímať funkciu objektu, zatiaľ čo schopnosť vnímať jeho trojrozmerný tvar ostala nenarušená. U pacientov s poškodením pravého temenného laloku to bolo presne naopak, čo napovedá, že rozpoznávanie tvaru a funkcie je vykonávané navzájom nezávislými mechanizmami.

Vizuálna predstavivosť: spoločný mechanizmus ako pre videnie. Eduardo Bisiach - pacienti s polovičnou vnímanosťou mali opisovať námestie.

### **3.4 Zhrnutie**

Problém videnia - rekonštrukcie objektov, ktorých odraz dopadá na sietnicu je veľmi ťažký. Na jeho zvládnutie sú potrebné znalosti, ktoré možno použiť zdola nahor alebo zhora nadol. Prvý typ znalostí je výsledkom evolúcie a je implicitne zabudovaný v procesoch nervového systému. Túto "znalosť" nie je možné podrobiť introspekcii a nie je pod vedomou kontrolou. Druhým zdrojom znalostí sú životné skúsenosti jednotlivca - znalosti o tvaroch a funkciách objektov potrebné na ich identifikáciu.

Rozdiel v používaní týchto dvoch typov znalostí nám pomôže vymedziť hranicu medzi čistou percepciou a kognitívnym spracovaním. Marr túto hranicu vedie medzi 2,5D náčrtom a trojrozmerným modelom. Neurofyziologické dôkazy svedčia skôr v prospech hranice medzi trojrozmerným modelom scény a identifikáciou objektov a ich funkcií. A možno žiadna jasná hranica ani neexistuje. Jedno je však isté: informáciu o relatívnych hĺbkach povrchov (2,5D náčrt) nie je možné získať bez použitia vroděných princípov, identifikácia objektov zasa nie je možná bez využitia skúsenosti.

#### **3.4.1 Kritika výpočtového prístupu**

Najväčšími kritikmi Marrovej teórie sú zástancovia teórie priameho vnímania, ktorej otcom bol J. J. Gibson. Podľa Gibsona zmysly dokážu priamo vnímať z prostredia informáciu potrebnú na prežitie. Nesúhlasil už so samotným pojmom "spracovanie" (processing) informácie z prostredia - hovorí o "výbere" (pick up) informácie z prostredia. Nejednoznačnosť informácie sa znižuje vnímaním v pohybe - aktívnou exploraáciou prostredia.

V prospech Gibsonovcov svedčí:

jednoduchosť jeho teórie,

geometrické argumenty: Longuet-Higgins ukázal, že úplna trojrozmerná rekonštrukcia scény je vypočítateľná z identifikácie a spárovania piatich korešpondujúcich bodov na dvoch rôznych fotografiách,

okamžitost' vizuálneho rozoznávania u človeka - ľudské videnie pracuje naozaj on-line, čo je pri Marrom navrhnutých výpočtových operáciách problém,

pre niektoré Marrove symbolické reprezentácie je ťažké nájsť neurofyziologické koreláty.

Symbolická reprezentácia a paralelné výpočty

V modelovaní vizuálnej percepcie sa čoraz viac uplatňujú paralelné výpočty. Na simulovanie sa nepoužíva klasický sériový počítač s jedným procesorom, ale zariadenie s niekoľkými tisíckami navzájom prepojených jednoduchých procesorov, ktoré počítajú súčasne. Významný je aj výskum v oblasti umelých neuronových sietí. Model vizuálnej percepcie implementovaný paralelným spôsobom má niekoľko výhod:

*plauzibilitas'* - je veľmi podobný neuronálnym aktivitám

*rýchlosť'* - paralelné spracovanie je efektívnejšie a tak sa lepšie približuje "on-line" videniu

explicitná symbolická reprezentácia videného nie je pre väčšinu fáz percepčného procesu potrebná.

### **3.5 Vnímanie farieb**

Ľudské oko rozozná asi 200 odtieňov. Vnímanie farieb je potrebné rozlíšiť z hľadiska jednak fyzikálneho a jednak fenomenologického. Z fyzikálneho hľadiska vnímame určité energetické spektrum svetla (intenzita svetla rôznych vlnových dĺžok 360-740 nm).

Fenomenologické hľadisko je určované troma atribútmi:

Farebný tón - kolor (hue) – je určený názvom farby, ako červená alebo žltá.

Sýtosť (saturation) – určuje obsah farby alebo čistotu svetla (čím menšia prímes iných farieb, tým je farba sýtejšia). Farebný tón a sýtosť svetla závisia na jeho energetickom spektre.

Svetlosť (brightness) – súvisí so stupňom zmiešania danej farby s bielou alebo čiernou a teda s ubúdaním alebo pribúdaním svetla.

Naše vnímanie sveta vo farbách (aj keď nám, ak je naše vnímanie neporušené, pripadá tak samozrejmé) je jednou z najväčších záhad štúdia zrakového vnímania.

V minulosti vznikli dve hlavné teórie vnímania farieb. Prvá z nich bola pôvodne vytvorená Thomasom Youngom v roku 1807. O päťdesiat rokov neskôr ju ďalej rozvinul a kvantifikoval Hermann von Helmholtz svojou trichomatickou teóriou. Tvrdí, že na vnímanie farieb slúžia tri typy receptorov (čapíkov) - eritrolaby pohlcujú červenú, chlorolaby pohlcujú zelenú a cyanolaby pohlcujú cyan (azúrovo modrú). Každý z týchto receptorov je citlivý na široké spektrum vlnových dĺžok, ale najvyššiu citlivosť má iba v malom rozsahu. Oblasti spektra, na ktoré sú jednotlivé receptory citlivé, sa sčasti prekrývajú.

Vnímanie rôznych farieb je určené vzájomným spolupôsobením týchto troch receptorov. To znamená, že svetlo určitej vlnovej dĺžky stimuluje rôzne tieto tri druhy čapíkov a podľa pomeru podráždenia jednotlivých receptorov vzniká vnem určitej farby. Existencia týchto receptorov bola neskôr experimentálne potvrdená.

Napriek svojím úspechom trichomatická teória nedokáže vysvetliť niektoré známe nálezy, týkajúce sa fenomenológie farieb (napr. následné obrazy - pokus). V roku 1878 prispel k výskumu vnímania farieb psychológ Ewald Hering svojou teóriou opozičných procesov. Hering bol presvedčený, že v zrakovej sústave existujú dva typy jednotiek na vnímanie farieb: 1. červeno – zelená, 2. modro – žltá. Každá jednotka reaguje opačným spôsobom na svoje dve protikladné farby. Jednotka pre červenú a zelenú farbu napríklad zvyšuje svoju reakciu, keď vníma červenú farbu a znižuje, keď vníma zelenú farbu. Táto jednotka však nemôže zároveň reagovať oboma spôsobmi, červeno-zelená a žltomodrá farba nemôže vzniknúť. Biela farba vzniká, keď sú v rovnováhe oba typy jednotiek. Taktiež vnímame jeden farebný odtieň, keď je v nerovnováhe iba jeden typ jednotky. Kombináciu farebných odtieňov vnímame, keď sú v nerovnováhe obidva typy jednotiek. Tieto dve teórie navzájom súťažili viac než polovicu storočia. V súčasnosti je trendom spájať tieto dve teórie – s uplatnením trichromatickej teórie pri výklade fungovania čapíkov, a s využitím opozičnej teórie na úrovni neurálnych procesov, prostredníctvom ktorých sa dostávajú svetelné podnety do mozgu.

#### **3.5.1 Miešanie farieb**

Aditívne: (optické, priestorové, binokulárne). Napríklad, keď sa prekrýva červená s tmavomodrou, dostaneme magentu. Tam, kde sa prekrýva tmavomodrá so zelenou, dostaneme cyan. Na mieste prekrytia červenej a zelenej dostaneme žltú. Na mieste, kde sa

prekrývajú všetky tri farby dostaneme bielu. Tento jav platí len pri miešaní svetelných lúčov. Ak by sme totiž miešali spomínané tri farby, ale maliarske, dostaneme sivú alebo šedú.

Subtraktívne: Toto miešanie platí pre miešanie pigmentov. Pre pigmenty ja totiž typické, že pracujú na základe odčítavania alebo pohlcovania vlnových dĺžok svetla. Keď sa prekrývajú všetky tri pigmenty, všetko je absorbované a dostávame čiernu.

Komplementárne farby: červená-modrozelená, oranžová-azúrovomodrá, žltá-indigovomodrá, žltozelená-fialová, zelená-purpurová.

## 4 Percepcia II. – ostatné zmysly

### 4.1 Počutie

[Johnson-Laird]:

[Jakubek]:

16-20000 Hz

fyziológia počutia

3 kvality: výška, sila, farba

detektor lži, zajakavosť, biely šum

ilúzie: vizuálne zjatie a stereorepráky

### 4.2 Chut', čuch

- interakcia, Henning

adaptácia, cross-adaptácia: syr, víno, chlieb, následné obrazy

čuch - Henning, súvislosť s emóciami, feromóny

### 4.3 Dotyky, chlad, teplo

- aristotelova ilúzia

Chlad, teplo, fyziologická 0, chodenie po žeravých uhlíkoch

anatómia - senzitivne dráhy

Stevensov zákon: podnet - pocit

(koniec predn.)

## 5 Pamäť

Evolučná výhoda zapamätania - napr. zdroja potravy, je nesporná.

Dnešná veda zaoberajúca sa štúdiom pamäte využíva poznatky z experimentov vykonávaných kognitívnymi psychológmi, neuropsychologické poznatky o správaní pacientov s mozgovými léziami a tiež počítačové modely z oblasti umelej inteligencie.

Pamäťový systém musí plniť prinajmenšom päť funkcií:

1. Registrovať skúsenosť a vyhodnotiť, či stojí za zapamätanie.
2. Vytvoriť reprezentáciu skúsenosti.
3. Udržiavať spomienku, potenciálne dlhodobo.
4. Vybaviť spomienku rýchlo a efektívne, keď je to potrebné - či už zámerne alebo spontánne.
5. Udržať vybavenú spomienku krátky čas vo vedomí, kým prispieva k vykonávanej myšlienkovkej operácii.

Predstavy o organizácii ľudskej pamäte sa postupne spresňovali. Z predstavy jedinej monolitckej a nedeliteľnej pamäte sa postupne vyčleňovali krátkodobá pamäť, dlhodobá pamäť a sada senzorických skladov. Poďme ale po poriadku.

### 5.1 Organizácia pamäte

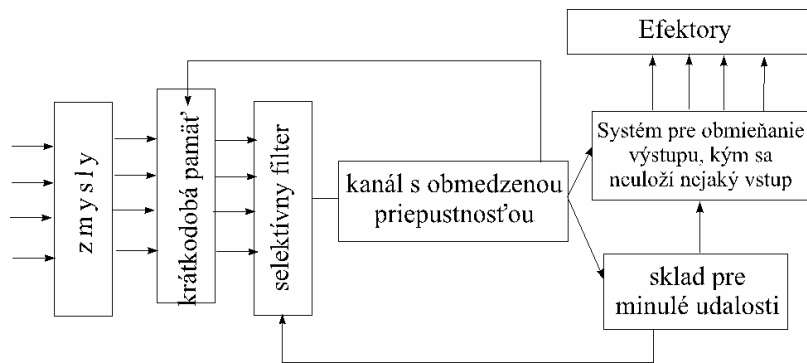
V roku 1956 publikoval George Miller dnes už klasický článok "Magické číslo sedem plus alebo mínus dva", v ktorom opisuje fenomény hovoriace v prospech existencie akejsi krátkodobej pamäte s limitovanou kapacitou vzhľadom na množstvo informácií. Priemerne si človek bez ťažkostí zapamätá na pár sekúnd 7 miestne telefónne číslo. Ak dokáže číslice zoskupovať podľa nejakého logického mnemonického kľúča do skupín, kapacita sa tým zlepšuje.

Napr. keby poznal dvojkovú sústavu, ľahko by si zapamätal aj 12miestne číslo 101000100111, lebo by ho mohol zoskupiť po troch číslicach a preložiť si ich do desiatkovej sústavy  $101=5$ ,  $000=0$ ,  $100=4$ ,  $111=7$ . Všetko, čo si teraz potrebuje zapamätať, je číslo 5047. Keby dokázal zoskupovať číslice po piatich a prevádzať do desiatkovej sústavy, vedel by si zapamätať takmer štyridsaťmiestne binárne číslo.

V každom prípade Miller konštatuje, že počet zapamätateľných zoskupení ostáva približne sedem (plus mínus dva). Oproti tomu kapacita dlhodobej pamäte sa ukazuje bezhraničná.

V roku 1958 publikoval Donald Broadbent teóriu toku informácií medzi zmyslami, krátkodobou a dlhodobou pamäťou (viď obrázok). Podľa tejto teórie sa do zmyslov dostáva ďaleko viac informácií, ako je možné spracovať. Selektívny filter (riadený z dlhodobej pamäti) vyberá, ktorú informáciu pustí na ďalšie spracovanie. Krátkodobá pamäť funguje ako nejaký buffer (dočasný sklad), v ktorom je informácia pár sekúnd a potom je buď vybratá filtrom, alebo premazaná ďalšou informáciou prichádzajúcou zo zmyslov. Informácia ešte môže chvíľu cirkulovať medzi dlhodobou a krátkodobou pamäťou, čo sa deje, keď si niečo opakujeme. (*Kritika: vnímame aj to, na čo nie je zameraná pozornosť - pokusy s vetami do oboch uší*)

Táto prvotná Broadbentova teória bola neskôr s pribúdaním nových poznatkov modifikovaná.



Obr.: Broadbentov diagram toku informácií zo zmyslov do pamäte

Vydelenie senzorických pamätí pre každý zmysel - ultrakrátke 1/4 s (STM 2-3 s)

### 5.1.1 Pracovná pamäť

S alternatívnou koncepciou krátkodobej pamäte prišli v sedemdesiatych rokoch Baddeley a Hitch. Pri experimentovaní si všimli, že keď sa napríklad ľudia učili naspamäť osem číslic – čo je úloha, ktorá by mala zamestnať krátkodobú pamäť totálne – dokázali pri tom vykonávať aj iné úlohy, napr. rozumieť a verifikovať čítaný text. Preto proti Broadbentovej jednoliatej krátkodobej pamäti postavili model *pracovnej pamäte* rozdelenej na viac paralelne pracujúcich funkčných celkov:

- *centrálna výkonná zložka* – má na starosti selekciu a riadenie zvyšných dvoch,
- *artikulačná slučka* – zabezpečuje dočasné uskladnenie verbálnej (sformulovanej) informácie
- *vizuálno-priestorový skicár* – zabezpečuje dočasné uskladnenie vizuálnej a priestorovej informácie.

Subjekty experimentov, ktoré robili Baddeley a jeho kolegovia, vykonávali vždy tzv. *primárnu úlohu*, napr. čítanie, riešenie problému alebo uvažovanie, a v tom istom čase robili aj *sekundárnu úlohu*, o ktorej sa predpokladá, že zamestnáva pracovnú pamäť, napr. opakovanie si a vybavovanie malého počtu číslic. Ak vykonávanie sekundárnej úlohy narušuje výkon v primárnej úlohe, potom je zrejme niektorý komponent pracovnej pamäte potrebný pre primárnu úlohu. V jednom z experimentov bolo primárnou úlohou pochopiť hovorenú pasáž prózy, zatiaľ čo sekundárne si mal subjekt pamätať jednu, tri alebo šesť číslic. Keďže porozumenie textu si vyžaduje použitie krátkodobého pamäťového skladu, očakávalo sa, že skupina, ktorá mala rozumieť textu a pritom si pamätať číslice, bude mať horšie výsledky ako kontrolná skupina, ktorá miesto pamätania si číslic dostala len nejakú úlohu na artikulačnú supresiu, napr. rátať od jedna do šesť. Experiment prekvapivo ukázal, že pamätanie si jednej alebo troch číslic nemalo žiaden účinok na výkon v porozumení textu, ten bol horší len pri súčasnom pamätaní si šiestich číslic.

Ak by sa jediný krátkodobý pamäťový sklad využíval v oboch úlohách, výsledok by musel byť ovplyvnený aj pri jednej alebo troch číslicach. Baddeley tvrdí, že subsystém použitý na dočasné uloženie týchto číslic je artikulačná slučka. To, že tento sklad má naozaj verbálnu povahu, ukázali ďalšie experimenty. Pri zapamätávaní slov sa ukázalo, že čím má slovo viac slabík, tým horšie sa pamätá (napr. *wit*, *hate* versus *university*, *opportunity*). Keďže artikulovať viacslabičné slovo trvá dlhší čas, takýchto slov sa dá v limitovanom čase zapamätať menej. To potvrdili aj Ellis a Hannelley, ktorí zistili, že deti z Walesu dosahovali

v inteligenčných testoch založených na práci s číslicami horšie výsledky ako americké deti. Zistili, že vysloviť waleské slová pre číslice trvá dlhšie ako ich anglické ekvivalenty. Bilingválne walesko-anglické deti si v experimentoch zapamätali vždy viac číslic v angličtine ako vo walesštine. Keď im pridali paralelnú artikulačnú úlohu potláčajúcu možnosť vyslovovať si zapamätávané číslice, rozdiel vo výsledku medzi anglickými a waleskými číslicami sa stratil. V ďalšom experimente dali Zhang a Simon čínskym probantom zapamätať si dve sady čínskych znakov – každý zo znakov v prvej sade mal meno, zatiaľ čo v druhej nie. Probandi si boli schopní v priemere zapamätať šesť znakov s menami, ale len tri znaky bez mena.

Baddeley použil metódu dvoch súčasných úloh aj pre pokusy s vizuálno-priestorovým skicárom: V jednom experimente mali probanti sledovať ukazovadlom pohyblivý cieľ a pritom vykonávať ďalšiu úlohu využívajúcu manipuláciu a uskladňovanie vizuálnej alebo slovnej informácie, napr. zapamätanie zoznamu slov pomocou vizuálnej predstavivosti alebo namemorovaním naspamäť. Vizuálna úloha interferovala so sledovaním cieľa a verbálna nie.

Teoretický koncept pracovnej pamäte má veľkú empirickú podporu. Zatiaľ najslabšie experimentálne podopreným článkom je centrálna výkonná zložka.

## 5.2 Neuropsychológia pamäte

Neuropsychologické analýzy pamäte sú založené na pozorovaní pacientov s neurologickými poškodeniami určitých lokalizovaných oblastí mozgu. Pritom sa často používa *princíp dvojitej disociácie*:

Dvojité disociácie nastáva, ak pacient A vykonáva normálne úlohu X a nezvláda úlohu Y, zatiaľ čo pacient B vykonáva normálne úlohu Y a nezvláda X. Toto je dôkazom svedčiacim v prospech hypotézy, že na vykonávaní úloh X a Y sa zúčastňujú dva nezávislé procesy alebo systémy.

Tento princíp sa dobre uplatňuje pri odlišení krátkodobej a dlhodobej pamäte. Neuropsychológovia sa sústreďovali najmä na pacientov s globálnou amnéziou, porucha, ktorá býva obvykle dôsledkom poškodenia medzimizgu a mediálnych temporálnych oblastí mozgu. Takíto pacienti dosahovali relatívne normálne výsledky v štandardných testoch inteligencie, jazyka a percepcie. Pritom mali veľké problémy zapamätať si udalosti bežného života. Známy pacient H.M., ktorý mal poškodený hipokampus stratil dlhodobú pamäť. Dokázal si vybaviť udalosti pred poškodením, ale odvtedy žil výhradne v prítomnom čase. Nikdy nespoznal svojich lekárov z jedného dňa na druhý, mohol dokola znova čítať tie isté časopisy, atď. Pritom jeho schopnosť zapamätať si na krátky čas telefónne číslo ostala nenarušená. Amnestickí pacienti totálne prepadajú v laboratórnych testoch vyžadujúcich si udržanie a následné vybavenie niečoho z pamäti po dobe niekoľko minút.

Hoci nie všetci amnestickí pacienti vykonávajú normálne úlohy vyžadujúce krátkodobú pamäť, predsa to naznačuje odlišnosť procesov dlhodobej a krátkodobej pamäte.

Ďalšie dôkazy pochádzajú zo štúdií pacientov s léziami istých oblastí v ľavom parietálnom laloku. Títo dosahujú výsledky opačné ako pacienti s amnéziou – krátkodobé udržanie verbálneho materiálu ako napr. slov a písmen je vážne narušené, zatiaľ čo dlhodobé udržanie aj verbálneho materiálu ostalo normálne.

Johnson-Laird uvádza svoje stretnutie so známym pacientom K.F., ktorý mal následkom poškodenia mozgu narušenú krátkodobú pamäť, zatiaľ čo dlhodobá ostala neporušená. Zaujímavé bolo, ako K.F. rozumel jazyku: Dalo sa s ním takmer bez problémov komunikovať. Keď bol požiadaný, aby zopakoval vetu "*The dog bit the man and the man died. (Pes pohryzol muža a ten muž umrel.)*", urobil to bezchybne. Keď mal ale zopakovať

vetu "The man the dog bit died. (Muž, ktorého pohryzol pes, umrel).", nebol toho schopný. Táto veta si vyžaduje udržať podmet muž v pamäti počas spracovania vlozenej frázy ktorého pohryzol pes, kým sa neobjaví hlavné sloveso umrel. Takéto vety naozaj pridávajú záťaž na krátkodobú pamäť, ako dokazujú aj experimenty Michaela Powera: ľudia, ktorí mali sledovať ukazovadlom pohyblivý cieľ, robili viac chýb práve pri súčasnom vyslovovaní takýchto viet. narušená krátkodobá pamäť pacienta K.F. zrejme spôsobila, že kým sa zjavilo hlavné sloveso, zabudol podmet vety, preto jej neporozumel ani ju nebol schopný zopakovať.

Významnosť takýchto štúdií je dvojaká: po prvé v kombinácií s výsledkami od amnestických pacientov tvoria dvojité disociáciu medzi okamžitou a dlhodobou pamäťou a po druhé fakt, že pacienti s poškodením ľavého parietálneho laloku vykazujú normálnu dlhodobú pamäť napriek neschopnosti zapamätať si viac ako dve - tri položky indikuje, že ukladanie informácie do dlhodobej pamäte si nevyžaduje zapojenie krátkodobej pamäte. To teda spochybňuje všetky modely, v ktorých ukladanie do dlhodobej pamäte závisí od predošlého uloženia v krátkodobej pamäti, vrátane Broadbentovho.

Predpokladá sa, že narušenie krátkodobej pamäte niektorých pacientov je spôsobené poškodením artikulačnej slučky. Keďže táto, ako ukázal v r. 1986 Baddeley, nie je kritická pre vybavenie z dlhodobej pamäti, selektívne poškodenie artikulačnej slučky nemusí narušiť dlhodobú pamäť, čo je v súlade s vyššie uvedenými pozorovaniami.

Na záver niečo o predpokladanej lokalizácii subsystémov pracovnej pamäte v mozgu. Funkčné zobrazovacie metódy ukazujú, že činnosť artikulačnej slučky súvisí s aktiváciou ľavostrannej kôry v okolí Sylviovej ryhy. Činnosť vizuálno-priestorového skicára súvisí s aktiváciou zrakovej kôry záhlavných lalokov a kôry temenných a čelných lalokov. Centrálna výkonná zložka je viazaná na činnosť predných a dorzolaterálnych častí prefrontálnej kôry. Rôzne druhy záťaže aktivujú v prefrontálnej kôre rôzne oblasti. Napríklad rozlišovanie tvárí aktivuje Brodmanovu areu 45, 46, 47 a 49, zatiaľ čo určenie polohy tváre aktivuje kôru v oblasti sulcus frontalis superior. Zvýšenie nárokov na pracovnú pamäť zväčšuje objem aktivovanej kôry, pričom rastúca záťaž znižuje funkčnú kapacitu dorzolaterálnej prefrontálnej kôry, čo sa dá pekne merať funkčnou magnetickou rezonanciou.

### **5.3 Dlhodobá pamäť (LTM)**

(viď František Koukolík: O vzťahu mozku a pamäti, in *Psychiatrie*, číslo 1, 2000.)

v hippocampe (v kôre spánkového laloku), delí sa na implicitnú a explicitnú.

#### **5.3.1 Deklaratívna (explicitná) pamäť**

delí sa na sémantickú a epizodickú (DD)

sémantická (hipokampus)- fakty nezávislé na kontexte. Kategoricky špecifické poškodenia (pomenovávanie ovocia, živočíchov, predmetov, vlastných mien)

epizodická (diencefalon)- udalosti so vzťahom ku kontextu

#### **5.3.2 Nedeklaratívna (implicitná) pamäť**

priming - fragmenty slov (neokortex lob. front., occip., temp.), pavlovovské podmieňovanie (veľa kortikálnych oblastí, mozoček), motorické zručnosti (striatum), emočné podmieňovanie (amygdala)

iluzórne spomienky na sexuálne zneužitie, PET

## 5.4 Mechanizmus ukladania

neurotransmitter glutamát pôsobí na postsynaptické NMDA receptory, tie otvoria kanály pre vápnik, ktorý ako druhý posol spustí biochem. reakcie, ktoré spôsobia LTD, LTP (dlhotrvajúce zmeny synaptických váh v excitačných synapsách)

*paralelné/sekvenčné spracovanie:*

*Sternbergove pokusy (zoznam čísel a či sa v ňom vyskytlo číslo n - rovnako dlhý čas pre áno aj nie) - Broadbentov paralelný model [JL-155]*

*precvičovaním sa redukuje šum.*

## 5.5 Dva počítačové modely architektúry mysle:

Aby sme mohli rozumne interpretovať výsledky experimentov, treba postulovať architektúru mysle. Možnosti: produkčný systém alebo PDP

### 5.5.1 Príklad produkčnej architektúry - ACT (Anderson 1976)

pracovná pamäť a LTM rozdelená na pamäť pre zručnosti (produkčnú - pravidlá typu "podmienka -> akcia" s prioritami. Podmienky sa matchujú voči obsahu pracovnej pamäti.) a pre výroky, obrazy, reprezentácie (deklaratívnu - propozičná sieť: uzly sú koncepty a hrany sú asociácie určitej sily) [obr. JL-168]. Indexovanie podľa konceptu - uzly majú určitú aktivitu, ktorá sa šíri podľa sily asociácie na susedné uzly

Znalosť je najprv propozičná, ale možno ju skompilovať do procedúr.

### 5.5.2 PDP, Hoppfieldova autoasociatívna pamäť

*príklad - rekonštrukcia zamachul'ovaného slova RED [JL-177 obr].*

Poznáme rôzne modely z teórie umelých NS.

Spoločné vlastnosti paralelných systémov:

aktivita jedinej "bunky" nie je podstatná - distribuovaná redundantná reprezentácia

robustnosť voči šumu na vstupe aj pri poškodení časti buniek

neostré hranice medzi vybavením, rekonštrukciou a konfabuláciou (neuropsych. evidencia: pri rozpomínaní na slovo "blesk" prišlo "hrom").

autoasociatívna (obsahom adresovaná) pamäť (Hoppfieldov model)

Hebbovo učenie, pozitívna spätná väzba, samoorganizácia

- bodový atraktor - stacionárny stav predstavuje pamäťový stav siete. Rekonštrukcia na základe fragmentu známeho vzoru, modelovanie rozoznanie melódie s chýbajúcou zákl. frekvenciou, model gešaltu a reverzibilných figúr, transpozične invariantné rozoznávanie melódií.

Psychické poruchy: normálne myslenie zodpovedá konvergencii siete do správneho jednobodového atraktora, manická porucha = spontánne prechody z jedného atraktora do iného vplyvom priveľkého šumu. Schizofrénne poruchy reči a myslenia - falošné atraktory (zmiešaniny pravých atraktorov) sa stávajú dobrými atraktormi kvôli prí nízkemu šumu

*Lub. boolovskú funkciu z  $\{0,1\}^n$  do  $\{0,1\}$  možno realizovať 3-vrstvovou sieťou logických neurónov.*

*Rekurentná sieť zložená z logických (prahových) neurónov dokáže simulovať konečný automat.*

Výhrady:

- konekcionistické modely nezodpovedajú presne tomu, čo sa deje v mozgu -> NS tretej generácie s pulznými neurónmi
- ako dostať z NS explicitnú (pravidlovú) reprezentáciu -> hybridné neurónové systémy

### **5.5.3 Záver:**

Produkčné systémy a PDP sú rôzne úrovne reprezentácie. Vedomé procesy - manipulácia so symbolmi, nevedomé procesy môžu byť paralelným spracovaním distribuovaných reprezentácií viacerých skúseností.

*(koniec predn.)*

## 6 Komunikácia

povaha komunikácie: najjednoduchšia forma interakcie - správanie jedného organizmu má kauzálny účinok na správanie iného. Ak jedinou funkciou správania prvého je správanie druhého, nastane komunikácia, napr. mravčia stopa. Nemá ale symbolický význam, lebo nepotrebuje nezávislú reprezentáciu sveta.

### 6.1 Kognitívne predpoklady pre vznik jazyka

#### 6.1.1 Vyvolané a oddelené reprezentácie

Gärdenfors postuluje typ mentálnych reprezentácií nutných k tomu, aby sa mohol vyvinúť jazyk. Základné rozlíšenie reprezentácií je na vyvolané a oddelené.<sup>3</sup>

*Vyvolaná reprezentácia* zastupuje niečo, čo je aktuálne prítomné v súčasnej externej situácii organizmu. Presnejšie, reprezentovaný objekt nemusí byť prítomný, ale musí byť spustený ("pripomenutý") niečím zo súčasnej/nedávnej situácie. Preto oneskorené odpovede v behavioristickom zmysle sú založené na vyvolaných reprezentáciách.

*Oddelená reprezentácia* zastupuje objekty alebo udalosti, ktoré nie sú ani prítomné ani spustené ničím z nejakej nedávnej situácie. Príkladom oddelenej reprezentácie je spomienka, ktorá môže byť vyvolaná nezávisle na kontexte. Ďalším príkladom môžu byť Tolmanove "priestorové mapy", ktorými vysvetľuje správanie potkanov v bludisku. Rozdelenie reprezentácii na vyvolané a oddelené je neostré – skôr možno hovoriť o stupni oddelenosti. Napr. mačka, ktorá čaká pri myšacej diere, alebo vidí myš vojsť za záves a počká si ju na druhom konci, má v istom zmysle oddelenú reprezentáciu myši.

*Vnútorne prostredie* je súbor všetkých oddelených reprezentácií organizmu. Existencia vnútorného prostredia je podľa Gärdenforsa nutnou podmienkou vývoja vyšších kognitívnych funkcií ako plánovanie, klamanie, sebauvedomenie a tiež jazyka.

Existuje hypotéza, že oddelená reprezentácia sa v živočíšnej ríši objavila s vývojom neokortexu, čiže viac-menej u cicavcov. Iba cicavce sa dokážu hrať alebo snívať. Zložitejšie vnútorné prostredie môžeme dostať až tam, kde existuje krosmodálna<sup>4</sup> reprezentácia. Had nemá žiadnu reprezentáciu myši, ktorú loví – keď ju chce uhryznúť, používa vizuálny a termálny senzor, keď hľadá, kde skončila uhryznutá myš, používa čuch (pôjde po čuchovej stope, aj keby mal myš priamo pred očami), keď ju chce zhltnúť od hlavy, používa hmat.

Zaujímavé je tiež to, že ľudské centrum reči je v mozgu lokalizované inde ako systémy varovných volaní iných primátov. Varovné volania sú automatické reakcie, ktoré sa nedajú potlačiť. Naproti tomu použitie jazyka je vďaka vývoju frontálnych lalokov dobrovoľným, čiže oddeleným aktom.

#### 6.1.2 Prostriedky komunikácie

Prostriedkami komunikácie sú *signály*, *ikony* a *symbols*. Referent signálu existuje vo vonkajšom prostredí (vyvolaná reprezentácia), referent ikony a symbolu vo vnútornom prostredí (oddelená reprezentácia). Rozdiel medzi ikonou a symbolom je ten, že ikona akýmsi spôsobom pripomína to, čo reprezentuje a možno jej porozumieť aj bez predošlej dohody, zatiaľ čo vzťah medzi symbolom a jeho referentom je ľubovoľný a je vecou konvencie.

---

<sup>3</sup> Angl. *cued and detached*.

<sup>4</sup> Integrovaná z vnemov jednotlivých zmyslových modalít.

Von Frisch opisuje dômyselný systém signálov u včiel, ktoré využívajú na oznámenie vzdialenosti a smeru lokalizácie nektáru počet vrtivých alebo krúživých pohybov zadočka a uhol, ktorý zvierá slnko s osou tela včely. Tance sú signálmi a nie symbolmi, lebo zodpovedajú vyvolanej reprezentácii. Včela totiž komunikuje vždy iba o lokalizácii miesta, z ktorého sa práve vracia alebo na ktoré letí.

Ľudia komunikujú aj neverbálne, ale jazyk je najbohatší komunikačný systém (použiteľný aj na externalizáciu myslenia a sebaujadrenie). Vlastnosti:

- má prostriedky na tvorbu veľa rôznych symbolov (slov)
- má syntaktickú kompetenciu na vytvorenie nekonečne veľa rôznych viet kombinovaním slov
- má sémantickú kompetenciu komunikovať správy, ktoré nie sú závislé od momentálnej situácie a prostredia, ale môžu zámerne odkazovať aj na iné situácie vrátane hypotetických alebo vymyslených.

Primárnou funkciou jazyka je práve komunikovať veci, ktoré nie sú tu a teraz. Pes dokáže "povedať": Som hladný, chcem vodu, chcem ísť von, mám ťa rád, atď. Nemá ale žiadne prostriedky, ktoré by mu umožnili "povedať": "včera som sa hneval", alebo "ak ma dnes znova zamkneš, budem nahnevaný a rozhryziem koberec." Naproti tomu dvaja väzni sediaci v temnej kobke sa môžu rozprávať o opaľovaní sa na snečnej pláži.

### 6.1.3 Evolučná funkcia gramatickej štruktúry

Jazyk nie je len kolekciami symbolov. Jeho dôležitým rozmerom je *gramatika* symbolov, čiže spôsob, ako z niekoľkých jednoduchých symbolov zostavovať zložité výrazy. Gramatika má významnú evolučnú funkciu.

Predpokladajme, že nejaká komunita používa komunikačný systém s istou sadou znakov (signálov, ikôn alebo symbolov). Komunikačná kapacita sa veľmi zvýši, ak je možné prvky tejto sady skladáť do zložených znakov. Takýto komunikačný systém nazveme *kompozičným*. Plná kompozičnosť znamená, že systém je generatívny, t.j. jeho používatelia môžu vytvárať nové kombinácie znakov, ktoré neboli naučené. Kompozičné rozšírenie komunikačného systému zjavne zvyšuje jeho evolučnú hodnotu.

Nevýhodou kompozičných systémov je, že výraz zložený z viacerých prvkov býva často nejednoznačný a na redukciu viacznačnosti treba *kontext*. Preto výrazy, v ktorých sa viacznačnosť redukuje *formou*, umožňujú komunikácii väčšiu nezávislosť na kontexte. Toto je podľa Gärdenforsa hlavná evolučná funkcia gramatiky. Spôsobom, ako pridať do zloženiny znakov štruktúru, môže byť záväzné poradie slov, gramatické znaky bez samostatného významu, intonácia, atď.

Z hľadiska spôsobov skladania prvkov môžeme rozlíšiť tri úrovne komunikačných systémov:

1. *Systémy so samostatnými prvkami*: Signály, ikony alebo symboly sa používajú iba jednotlivo.
2. *Kompozičné systémy*: Dva alebo viac znakov z lexikónu možno kombinovať generatívnym spôsobom.
3. *Systémy s gramatikou*: Prvky zloženého výrazu a/alebo ich poradie nesie gramatickú informáciu.

### 6.1.4 Šesť typov komunikačných systémov

Kombináciou troch úrovní gramatickosti s rozdelením reprezentácií na vyvolané a oddelené dostaneme šesť možných typov komunikačných systémov:

	Samostatné prvky	Kompozícia	Gramatika
Vyvolané reprezentácie	Typ 1 (Zvieracie signály)	Typ 2 (Včelie tance)	Typ 3 Ø
Oddelené reprezentácie	Typ 4 ("Jednoslovný jazyk")	Typ 5 (Protojazyk)	Typ 6 (Plný jazyk)

Prvý typ pokrýva väčšinu komunikačných systémov zvierat. Používajú sa iba signály (môžu byť gesturálne alebo vokálne) a väzba medzi signálom a referentom môže byť vrozená alebo získaná. Druhý typ sa vyskytuje zriedkavo, ale sem by pravdepodobne spadal systém včelích tancov. Včely majú obmedzený "slovník" výrazových prostriedkov, ktoré možno kombinovať. Generativita je obmedzená a ako už bolo uvedené vyššie, reprezentácie sú vyvolané. Systém typu 3 zatiaľ nebol objavený. Dôvodom môže byť to, že funkciou gramatiky je umožniť väčšiu nezávislosť na kontexte, čo je v prípade signálov a vyvolaných reprezentácií nezmyselné. Systémy štvrtého typu sú založené na používaní samostatných ikôn alebo symbolov, najjednoduchším príkladom môže byť systém dopravných značiek. V ľudskej evolúcii sa štvrtý typ komunikácie pomocou ikonických gest a zvukov spája s érou *Homo erectus*.

Systém piateho typu – oddelené reprezentácie, kompozícia symbolov, ale žiadne gramatické prvky – tzv. protojazyk, je veľmi zaujímavým medzistupňom medzi jednoslovným jazykom a plným jazykom typu 6. Bickerton uvádza štyri príklady protojazykov: jazyk detí približne vo veku 18 až 24 mesiacov, symbolická komunikácia, ktorú možno naučiť cvičené ľudoppy, jazyk ľudí, ktorí boli v kritickom období deprivované od lingvistickej skúsenosti (tzv. vlčie deti) a pidgin jazyky.

Na základe tohto rozdelenia sa ponúka prirodzená hypotéza, že plný jazyk sa vyvinul zo signálneho systému typu 1 cez jednoslovný jazyk typu 4 a protojazyk typu 5.

## 6.2 Úrovne analýzy jazyka

Pri skúmaní jazyka môžeme vyčleniť veľa úrovní analýzy: fonologickú, morfeematickú, syntaktickú, sémantickú, kontextovú, pragmatickú.

### 6.2.1 Fonológia

skladanie frekvencií - základná (pitch) + vyššie harmonické (timbre)

rezonancia vokálneho traktu - zhľuky susedných frekvencií = formanty - nie sú izolované pre jednotlivé písmená, ale sa prekrývajú (dí, dú)

Podvedomá integrácia vizuálnych a auditórnych hintov (obraz "ga" + zvuk "ba" = vnem "da")

fonémy - na základe kontrastu

samohlásky: pozícia najvyššieho bodu jazyka, blízkosť k podnebiu, trvanie zvuku

spoluhlásky: časť traktu, v ktorej nastáva obštrukcia prúdu vzduchu a spôsob obštrukcie

segmentácia do slov:

- podľa prízvukných slabík

John Morton: pre každé slovo mentálny procesor "logogén", ktorý zbiera dôkazy (zdola zo senzorov a zhora z kontextu) pre toto slovo - keď prekročí prah, nastane rozpoznanie.

Marslen-Wilson - teória kohorty: aktivuje sa kohorta procesorov pre tie slová, ktorých začiatok sa zhoduje s artikulatórnymi črtami počutého (veľkosť aktivácie priamo úmerná zhode, ale ovplyvnená v prospech frekventovanejších slov). S pribúdaním info sa znižuje aktivácia slov, ktoré sa nezhodujú. Ak klesne pod prah, slovo sa z kohorty vyhodí. Keď ostane jediné slovo, nastane rozpoznanie. Kontext môže urobiť skratku - vyberie z kohorty slovo, ktorého syntax a zmysel pasuje do výpovede.

Intonácia je tiež dôležitá pre význam. Komunikuje aj emocionálny stav hovoriaceho.

(koniec predn.)

### 6.2.2 Syntax

(formálna) gramatika - konečná sada pravidiel, ktoré charakterizujú všetky vety jazyka.

Chomsky: 3 princípy

1. Ľudia hovoria jazykom a rozumejú, lebo majú znalosť gramatiky.
2. Teória gramatiky prir. jazyka musí obsahovať explicitné pravidlá, ktoré determinujú množinu viet bez nutnosti používať intuíciu alebo expertný odhad.
3. Teória jazyka musí vysvetľovať ako deti získajú gramatiku svojich rodných jazykov.

Rekurzívna schopnosť jazyka obsahovať vnorené štruktúry dokazuje, že konečno-stavové automaty nestačia pre gramatiku prir. jazyka, lebo rekurzia si vyžaduje silnú pracovnú pamäť.

Chomského hierarchia:

Gramatika	Pravidlá	Formalizmus
regulárne jazyky	$A \rightarrow aB$	konečné automaty, TN
bezkontextové jazyky	$A \rightarrow aBc$	zásobníkové automaty, RTN
prirodzené jazyky		ATN, DCG, TG
kontextové jazyky	$AB \rightarrow aCd, AB \rightarrow BA,$ $ l  \leq  r $	konečne ohraničené automaty, ATN
jazyky typu 0	bez obmedzenia, aj $A \rightarrow \Sigma$	Turingove stroje, TG

rekurzívne (frázové) gramatiky pre hĺbkové štruktúry

+ transformačné pravidlá (TG ekviv. univerzálnemu TS)

Chomského teória univerzálnej gramatiky:

gramatika ako jazykový orgán riadená vrodenným programom. Obmedzenia pravidiel vyjadrujú, čo nie je prípustné v jazyku a to by sa ťažko učilo z pozitívnych príkladov, preto musí byť vrodenná *univerzálna gramatika* štruktúr. Deti získajú konkrétnu gramatiku svojho jazyka nastavením hodnôt konečného počtu parametrov univerzálnej gramatiky na základe počutých viet.

Putnam: deti sa snažia *porozumieť* jazyku – akvizícia gramatiky závisí od akvizície významu. Hromadia sa dôkazy, že ľudia nereprezentujú hĺbkovú štruktúru viet, lebo to je stále syntax, ktorá potrebuje sémantickú interpretáciu. Ľudia si pamätajú významy.

Parser: ATN, analýza zhora-nadol a naopak: začne sa zdola a akonáhle sa nájde ľavý okraj frázy, skúsi sa predikcia zhora.

Riešenie nejednoznačnosti: backtracking, look-ahead, všetky alternatívy paralelne.

záver: nie sú dôkazy pre existenciu mentálnej reprezentácie explicitných pravidiel - možno je to len vhodný deskriptívny nástroj.

### 6.2.3 Význam

čo to znamená "porozumieť" – čo a ako ľudia *konštruujú*, keď chápú význam?

Sémantické siete: rozlíšenie všeobecných konceptov a inštancií, špeciálne hrany *je-podtriedou (is-a), je-časťou, má-vlastnosť*. Nutné a typické relácie.

štrukturalistická dekompozícia (točenie sa v slovníku), mentálčina - procedurálna interpretácia v ACT. Kritika - kam sa podel vzťah k svetu? – usudzovanie potrebuje model.

formálna sémantika: referenty (objekty vo svete) a význam (zobrazenie na tieto objekty). Tarského svety: indivíduá, predikáty a sémantické pravidlá interpretácie komplexných výrazov. S tým sú problémy - ukazuje sa, že pravidlá kombinujúce interpretácie operujú na významoch, nie referentoch.

nekonečne veľa možných svetov vs. jeden model - ten slúži ako prototyp alebo schéma, ktorú možno *revidovať* na základe nasledujúcich informácií.

nie jednojednoznačnú reláciu medzi slovami a svetom potrebujeme vyjadriť pomocou tretích (teoretických – nie v jazyku vyjadriteľných) elementov - napr. geometrické relácie v Gardenforsových konceptoch (realistická a kognitivistická sémantika, mentálčina)

Význam pre slovnú navigáciu robota. Emergencia tranzitivity pri lineárnom "vpravo", ale nie za okrúhlym stolom.

Interpretácia komunikácie závisí od spoločného kontextu (schém).

Intencia: filozof Paul Grice hovorí, že poslucháč porozumie až keď dešifruje hovorcovu intenciu. (schizofrenik - "prosím zvoňte!")

Konvencie kooperatívnej komunikácie podľa Gricea:

1. Kvantita: nech je tvoj príspevok taký informatívny, ako treba - ani príliš málo, ani príliš veľa informácií
2. Kvalita: Nehovor to, o čom veríš, že je to nepravda. Nehovor niečo, o čom nemáš dôkazy.
3. Relevancia: Buď relevantný.
4. Spôsob: Vyhýbaj sa nejasnosti a viacznačnosti. Hovor usporiadane a stručne.

### 6.3 Modelovanie vývoja jazyka

Jedným z centrálnych aspektov ľudskej inteligencie je používanie jazyka. Jazyk je typickým príkladom komplexného javu, ktorý sa nejako vyvinul v priebehu biologickej evolúcie. Otázka pôvodu a vývoja jazyka je však napriek spoločnému úsiliu lingvistov, psychológov, antropológov a neurobiológov stále zahalená tajomstvom. Určité svetlo pri verifikovaní hypotéz môžu poskytnúť (počítačové) modely a simulácie.

Vznik komplexity ako takej sa obvykle vysvetľuje pomocou troch mechanizmov: genetickej evolúcie, samoorganizácie a adaptácie, a genetickej asimilácie. Každý z nich možno aplikovať na jazyk.

### 6.3.1 Jazyk ako produkt genetickej evolúcie

Najbežnejšou hypotézou najmä medzi americkými lingvistami - počínajúc Chomským - je, že jazyk je založený na druhovo-špecifickej vrodenej schopnosti (niečo ako *jazykový orgán*) a na doladovaní vrodenej znalosti (*univerzálnej gramatiky*) nastavovaním parametrov. Jazyková schopnosť a univerzálna gramatika podľa týchto teórií vznikla sériou adaptačne výhodných genetických mutácií. Podľa niektorých autorov dokonca jediná "katastrofická" mutácia spôsobila vznik jazyka s plnou syntaxou (Pinker). Tieto teórie sú koherentné a podrobitelne počítačovým simuláciám. V počítačových modeloch môže byť selekcii v rámci evolučného procesu vystavená populácia genetických kódov počítačových váh rekurentných neurónových sietí stelesňujúcich jazykové schopnosti jednotlivcov.

### 6.3.2 Jazyk ako emergentný produkt samoorganizácie a adaptácie

Samoorganizácia ako zdroj komplexity sa najviac skúma vo fyzike a chémii. Je to proces, pri ktorom sa v systéme prvkov s čisto lokálnymi interakciami a silnou pozitívnou spätnou väzbou vyvinie globálna koherencia ako reakcia na prísun/odsun energie alebo materiálu. Príkladmi samoorganizácie v živočíšnej ríši sú cestičky v kolóniách mravcov alebo vtáče krídle.

Adaptivita znamená, že zákony, ktorým systém podlieha, nie sú konštantné - správanie jednotlivých prvkov aj povaha ich interakcií sa môže meniť, čím vzniká dynamika vyššieho rádu. Príkladmi komplexných adaptívnych systémov sú hospodárstvo, ekologické a sociálne systémy.

Pohľad na jazyk ako komplexný adaptívny systém prináša oproti štúdiu jazyka pomocou neurónových sietí alebo symbolického učenia niekoľko významných dôsledkov:

1. Jazyk nie je ani tak determinovaný abstraktnou gramatikou jednotlivca, ako je skôr emergentným fenoménom populácie hovorcov. Kedykoľvek je spolu dlhšie skupina ľudí, spontánne si vytvoria jazyk – príkladom sú pidgin<sup>5</sup> jazyky a tiež spontánna emergencia znakovkej reči v komunitách nepočujúcich. Kľúčovým teda nie je učenie jednotlivca na pripravených príkladoch, ale dynamika populácie.
2. Vývoj jazyka je evolučný proces, avšak nie biologický, ale kultúrny:
  - jeho *reprodukcia* je zabezpečená učením a imitáciou,
  - zdrojom *variability* sú rôzne chyby v imitačno-akvizícnom procese, ako aj vedomé inovácie hovorcov,
  - komplexita vzniká dvojakým *selekčným tlakom* ľahkosti produkcie (limitovanosť senzomotorického aparátu a časové hľadisko) a ľahkosti porozumenia (minimalizovanie kognitívneho spracovania a zaťaženia pamäte). Prvý tlak má tendenciu redukovať výpovede, druhý rozširovať.

---

<sup>5</sup> Rudimentárny jazyk, ktorý sa vyvinie pri kontakte dvoch nezávislých jazykov, napr. jazyk afrických otrokov na plantážach alebo jazyk, ktorý sa vyvinul pri kontaktoch ruských a nórskych námorníkov.

3. Celý proces má konštruktívny charakter - používatelia jazyka sa ho neučia pasívne, ale kontinuálne prispievajú k jeho vytváraniu a modifikácii.
4. Koherencia jazyka vzniká v dôsledku samoorganizácie – konkrétne existuje pozitívna spätná väzba medzi úspešným použitím a ďalším používaním. Prednostne bude použité také slovo, zvuk, koncept alebo syntaktická konvencia, ktoré už bolo použité s úspechom. A tak väčší úspech vedie k častejšiemu použitiu a častejšie použitie k väčšiemu úspechu.

### 6.3.3 Genetická asimilácia

Ako to už pri dvoch antagonistických teóriách býva, obvykle možno nájsť tretiu, ktorá je v určitom zmysle syntézou oboch. V procese vývoja jazyka je prítomná duálna dynamika – genetická evolúcia aj individuálna adaptácia. Adaptívne sily síce prispievajú k akvizícii a formovaniu jazyka, ale aj tak existuje geneticky špecifikovaný "jazykový orgán", ktorý je výsledkom postupného nepriameho kódovania lingvistických štruktúr v genetickom materiáli. To sa deje viac ako sto rokov známym Baldwinovým efektom: jedinci, ktorým ich genetické vybavenie umožňuje rýchlejšie učenie a lepšiu adaptáciu, majú nespornú evolučnú výhodu a tak ich gény majú väčšiu šancu na rozšírenie sa v populácii ako gény neschopnejších jedincov.

## 6.4 Experimenty so samoorganizáciou

Z doterajšieho textu by sa mohlo zdať, že rozprávam o troch alebo prinajmenšom dvoch navzájom disjunktných alebo nezmieriteľných prístupoch k vysvetľovaniu a modelovaniu vývoja jazyka. Skutočnosť je taká, že "vývoj jazyka" nie je nejaký nedeliteľný monolit, ale zahŕňa množstvo fenoménov od vzniku kooperácie, koordinácie a primitívnych komunikačných kódov, cez formáciu hláskového systému, vývoj spoločného lexikónu až po vznik syntaxe, atď. Dôležité je, že pre modelovanie niektorých javov sa ukazuje vhodnejší genetický prístup, pre iné samoorganizácia a adaptácia, prípadne nejaká ich kombinácia s Baldwinovým efektom. Ja sa v tejto prednáške zameriam na príklady lingvistických fenoménov, pre ktoré sa ako vhodný vysvetľujúci model ukazuje samoorganizácia.

### 6.4.1 Metodológia experimentov

Použité experimentálne modely majú niekoľko spoločných charakteristík. Model tvorí populácia entít – nazvime ich *agenty*, ktoré sú schopné istého kognitívneho správania a istej vzájomnej lingvistickej interakcie, napr. jeden agent vyprodukuje signál a druhý sa ho snaží dekodovať. Takúto interakciu nazveme v zhode s Wittgensteinom *jazyková hra*. Agent môže na základe výsledku hry modifikovať pravidlá svojho lingvistického správania. Aby boli simulácie realistické a zodpovedali dynamike prirodzených jazykov, dôsledne sa dodržia nasledovné pravidlá:

1. *Distribúovanosť*: žiaden agent nemá významné postavenie - globálny pohľad na systém, ani moc centrálne riadiť ostatných. Všetky interakcie sú lokálne.
2. *Limitovaná racionalita*: žiaden agent nemá priamy prístup k vnútorným stavom iných agentov. Výmena informácií a spätná väzba nastáva iba cez interakciu.
3. *Otvorenosť systému*: prísun a odsun agentov, prípadne referentov významu, počas komunikácie je dovolený. Toto pravidlo vzniklo nielen kvôli realistickosti experimentov vzhľadom na vývoj ľudských jazykov – z teórie dynamických systémov vieme, že otvorenosť systému (prítok a odtok čohosi) priamo vplýva na charakter emergujúcich štruktúr.

#### 6.4.2 Prvý príklad – emergencia samohláskového systému

Vo svetových jazykoch bolo pozorovaných aspoň 44 rôznych základných samohlások. Samohláskové systémy jednotlivých jazykov nepoužívajú náhodnú podmnožinu týchto samohlások: 87 % jazykov obsahuje samohlásky [i] a [a], 82 % [u], 69% [o] a 65 % [e]. Ostatné zvuky sú omnoho zriedkavejšie. Ukázalo sa, že častejší výskyt istých zvukov a zriedkavosť iných, spolu s ďalšími vlastnosťami (napr. symetria hláskového systému) je možné vysvetliť ako výsledok optimalizácie akustickej rozlíšiteľnosti. Nie je však jasné, kto vykonáva túto optimalizáciu. Žiaden človek, ktorý sa učí jazyk, aktívne neoptimalizuje hláskový systém, skôr sa snaží čo najvernejšie imitovať počuté zvuky.

Pokusy vysvetľovať vývoj hláskového systému čisto genetickým prístupom neboli veľmi úspešné. Hlavný problém je v tom, že ak sa u jedného individua objaví vplyvom genetickej mutácie nový zvuk alebo črta, nedáva mu to žiadnu evolučnú výhodu. Výhodné by to bolo, iba keby túto črtu zdieľal dostatočný počet jedincov a je vysoko nepravdepodobné, že by u nich nastala súčasne tá istá mutácia. V prípade jazyka nie je prostredie (a teda ani vyhodnocovanie fitness) konštantné, ale sa stále mení a čiastočne závisí od správania agentov. To, čo sa vyvinulo geneticky a je vrodené, nie je hláskový systém, ale artikulatórny aparát.

V adaptívnych simulačných experimentoch Steelsa a de Boera bola použitá populácia agentov, z ktorých každý bol schopný produkovať, vnímať a učiť sa realistické zvuky zodpovedajúce samohláskam. Každý bol vybavený syntezátorom samohlások, asociatívnou pamäťou na ukladanie prototypov samohlások a perцепčným modulom, ktorý dokázal počítat vzdialenosť medzi prototypom samohlásky a počutým zvukom.

Produkčný a perцепčný modul boli konštruované tak, aby čo najvernejšie zodpovedali poznatkom o ľudskej artikulácii a perцепcii lingvistických signálov. Čitateľ, ktorého nezaujímajú technické detaily, môže nasledujúci odsek preskočiť.

*Produkcija:* Syntezátor dostával na vstupe tri hlavné artikulatórne parametre samohlásky – výšku jazyka, polohu jazyka a zaokrúhlenie pier. Všetky ako reálne čísla z intervalu  $<0,1>$  - trojica  $(0,0,0)$  kóduje jazyk najnižšie, najviac vpredu a najmenej zaokrúhlené pery,  $(1,1,1)$  jazyk najvyššie a najviac vzadu, pery úplne zaokrúhlené. Mimochodom,  $(0,0,0)$  zodpovedá hláske [a],  $(0,1,0)$  hláske [i] a  $(1,1,1)$  generuje [u]. Na výstupe syntezátor produkoval prvé štyri formantové frekvencie príslušnej samohlásky, napr. (708, 1517, 2427, 3678) pre hlásku [a].<sup>6</sup> Kvôli zvýšeniu reálnosti experimentu boli následne všetky štyri frekvencie zašumené.

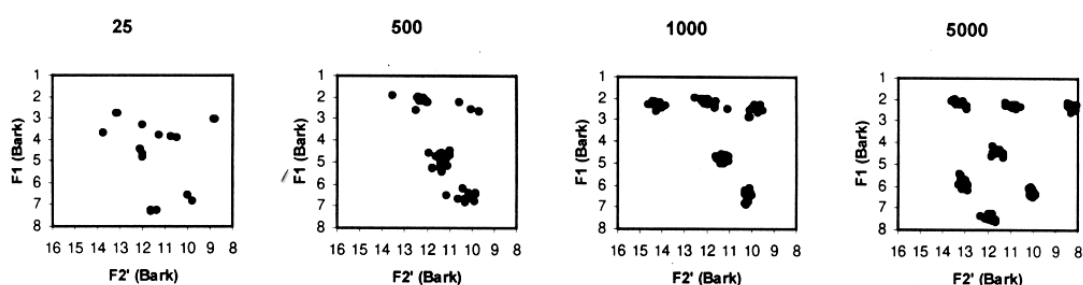
*Percepčia:* Každý agent si udržuje zoznam prototypov samohlások a keď percipuje signál, porovná ho so signálmi zodpovedajúcimi jeho prototypom samohlások a vyberie najbližší. Vzdialenosť akustických signálov sa určuje ako vážená euklidovská vzdialenosť dvojrozmerných vektorov  $(F_1, F_2')$ , kde  $F_1$  je prvá formantová frekvencia a  $F_2'$  je tzv. efektívna druhá formantová frekvencia (počítaná ako nelineárna vážená suma druhej až štvrtej formantovej frekvencie).

*Imitačná hra:* V každom kole sa náhodne vyberie jeden agent ako iniciátor a druhý ako imitátor. Iniciátor si náhodne zvolí samohlásku zo svojho repertoáru. Ak je jeho repertoár prázdny (napr. na začiatku simulácie), pridá náhodnú samohlásku. Potom vyprodukuje príslušný akustický signál. Imitátor signál počuje a nájde svoj najbližší prototyp. Ak je jeho zoznam prototypov prázdny, nájde dobrú imitáciu "rozprávaním" a počúvaním samého seba, pričom signál vylepšuje hill-climbing<sup>7</sup> heuristikou. Potom vyprodukuje signál zodpovedajúci nájdenému prototypu. Iniciátor počuje tento signál a nájde k nemu svoj najbližší prototyp. Ak je to ten istý, ktorým inicioval kolo, hra je úspešná. Úspech alebo neúspech signalizuje imitátorovi neverbálne.

<sup>6</sup> Formantové frekvencie zodpovedajú vrcholom vo frekvenčnom spektre akustického signálu.

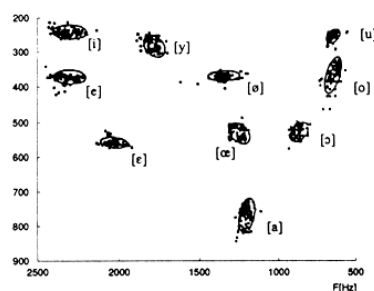
<sup>7</sup> Z viacerých alternatív vyberie vždy len takú, ktorá je zlepšením oproti predchádzajúcemu kroku.

*Pamät'*: Imitátor aj iniciátor si s každým prototypom pamätajú koľkokrát bol použitý (*use*) a koľkokrát bol úspešne použitý (*success*). V priemere každých desať hier zahodia prototypy, ktoré boli použité aspoň 5 krát a majú pomer *success/use* menší ako 0,7. Takisto zlúčia prototypy, ktoré sú k sebe tak blízko, že ich po pridaní šumu nemožno od seba odlíšiť. Imitátor modifikuje svoj repertoár aj podľa výsledku hry. V prípade úspechu posunie svoj prototyp bližšie k percipovanému signálu. Ak hra skončila neúspechom, mohli nastať dva prípady: buď má iniciátor viac prototypov ako imitátor, čo spôsobilo pomýlenie, alebo imitátor použil nekvalitný prototyp. Ak je pomer *success/use* použitého prototypu nízky, zrejme je nekvalitný a posunie sa smerom k percipovanému signálu. Ak je vysoký, hláska bola úspešne používaná v predošlých kolách a dôvodom zlyhania je pomýlenie. Vtedy si imitátor pridá nový prototyp, ktorý je blízko percipovaného signálu, použitím analogickej hill-climbing procedúry ako keď si pridával prvý prototyp. Poslednou možnosťou je spontánne pridanie náhodného prototypu s pravdepodobnosťou 0,01.



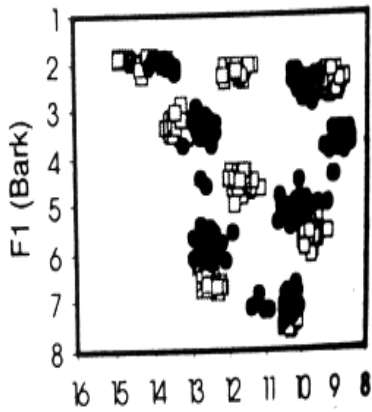
**Obr. 1:** Emergencia samohláskového systému v populácii 20 agentov s 10 % šumom.

Iterovaním imitačnej hry v dostatočne veľkej populácii bola dosiahnutá emergencia realistických hláskových systémov. Na obrázku 1 je priebeh jednej hry 20 agentov s 10 % úrovňou šumu po 25, 500, 1000 a 5000 kolách. V grafe sú zachytené všetky prototypy všetkých agentov, osi zodpovedajú prvej a efektívnej druhej formantovej frekvencii. Výsledný samohláskový systém pozostáva z [i], [ε], [a], [o], [u], [i] a [ɔ] a vyskytuje sa napr. v Sa'banskom jazyku na Borneu.



Na obrázku 2 je pre porovnanie skutočný samohláskový systém francúzštiny. Samohláskové systémy, ktoré vznikli pri rôznych behoch simulácie, sa navzájom líšili nielen v počte prototypov, ale aj v ich distribúcii, symetrii, atď. De Boer uvádza, že pri porovnávaní 100 hier sa v 49 vyvinul 5-samohláskový systém, symetrická distribúcia bola v 88 % prípadov, v 8 % bola jedna centrálna samohláska a viac predných a v 4 % centrálna a viac zadných samohlások, čo veľmi dobre zodpovedá zisteniam o prirodzených jazykoch.

**Obr. 2:** Samohláskový systém francúzštiny.



Experimenty ukázali, že v populácii navzájom sa imitujúcich agentov bez akejkoľvek počiatočnej znalosti o hláskovom systéme emerguje realistický koherentný samohláskový systém. Navyše, čo je veľmi dôležité, systém je *robustný voči zmenám v populácii*. Obrázok 3 ukazuje vývoj samohláskového systému v populácii 50 agentov – biele štvorce reprezentujú počiatočný samohláskový systém. Simulácia potom bežala ďalej 15000 kôl, pričom v každom kole bol s pravdepodobnosťou 0,01 náhodne odobratý jeden agent a namiesto neho pridaný nový s prázdny repertoárom. Čierne štvorce reprezentujú systém na konci hry – dovtedy sa celá populácia vymenila. Samohláskový systém sa trochu zjednodušil, ale zhruba ostal rovnaký.

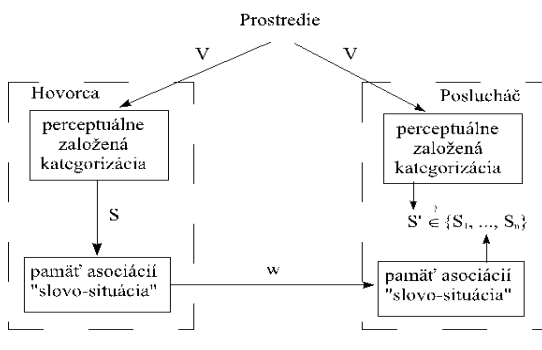
**Obr. 3:** Dynamika samohláskového systému v otvorenej populácii.

### 6.4.3 Druhý príklad – formácia spoločného lexikónu

V tomto príklade si kladieme otázku, či môže samoorganizáciou v populácii vzniknúť spoločný lexikón, t.j. či agenti môžu konvergovať k tej istej<sup>8</sup> sade asociácii medzi slovami a referentami významu. Referentami významu môžu byť kategórie, triedy objektov, koncepty, atď. Tie môžu byť preddefinované, alebo ich agenti získavajú nejakým procesom konceptualizácie prostredia, ktorému sú vystavené (tzv. perceptuálne podložené významy). Steels a jeho kolegovia z AI-labu Bruselskej univerzity vykonali veľa experimentov práve tohto typu, kde agenti boli buď softvérové simulované, alebo stelesnené v robotoch vybavených videokamerami, a témami komunikácie boli napr. ony sami alebo iné objekty v ich zdieľanom prostredí.

*Konceptualizácia:* To, ako agenti konceptualizujú svet, je téma veľmi zaujímavá, ale presahujúca zámer tohto príspevku. Preto budeme predpokladať, že každý agent získal istú perceptuálne podloženú kategorizáciu sveta, na základe ktorej klasifikuje nejaký vektor sensorických vstupov  $V$  ako situáciu (koncept)  $S$ . Iný agent môže samozrejme ten istý vstupný vektor  $V$  klasifikovať ako inú situáciu  $S'$ .

*Pamäť:* Každý agent si udržuje v pamäti lexikón ako sadu asociácií "koncept-slovo", pričom s každou asociáciou si udržuje jej *use* a *success* (počet použítí a počet úspešných použítí). S jedným konceptom môže byť asociovaných viac slov (synonymia) a to isté slovo môže byť asociované s viacerými konceptmi (homonymia).



**Obr. 4:** Jazyková hra

*Jazyková hra:* V každom kole sa náhodne v populácii agentov určí jeden ako hovorca a druhý ako poslucháč. Obaja vnímajú na senzoch vektor  $V$ . Nech hovorca tento vektor klasifikuje ako situáciu  $S$  a poslucháč ako  $S'$ . Zo všetkých slov, ktoré má hovorca vo svojom lexikóne asociované so situáciou  $S$ , vyberie slovo  $w$  s najlepším pomerom *success/use*

<sup>8</sup> Slabšia (ale asi rozumnejšia) verzia je, aby dospeli k takým sadám asociácií, že si budú navzájom rozumieť. Čo to znamená, sa čitateľ dozvie o chvíľu.

a povie ho poslucháčovi. (Ak hovorca nemá so situáciou asociované žiadne slovo, môže s istou pravdepodobnosťou vytvoriť náhodne nové slovo.) Poslucháč prijme slovo  $w$  a ak sa medzi konceptmi, ktoré má so slovom  $w$  asociované, nachádza situácia  $S'$ , komunikácia je úspešná a oba agenty si zvýšia *success* príslušnej asociácie.

Úspech posilňuje asociáciu medzi slovom a situáciou a keďže hovorca zase vyberá k situácii slovo s najsilnejšou asociáciou, vytvára sa pozitívna spätná väzba a nastáva samoorganizácia. Pri takýchto experimentoch môžeme sledovať niekoľko parametrov:

- priemerný komunikačný úspech za posledných  $k$  hier
- koherenciu
- špecificitu

*Koherencia* je tým väčšia, čím väčšia časť populácie používa pri rovnakom senzorickej vstupe rovnaké slovo. Ideálna koherencia by ale nastala aj v prípade, ak by všetky agenty používali bez ohľadu na vstup vždy len jedno a to isté slovo. Preto sa sleduje aj *špecificita*, ktorá určuje mieru jednoznačnosti slov, teda nakoľko agenty používajú na označenie rôznych vstupov rôzne slová. Simulácie ukázali, že samoorganizácia sa vyvinie lexikón dostatočne koherentný na to, aby členovia populácie dokázali medzi sebou úspešne komunikovať. Či sa dosiahne ideálna koherencia a špecificita, závisí od stupňa rôznosti/podobnosti perceptuálne podložených kategorizácií sveta jednotlivých agentov.

*Vplyv otvorenosti systému:* Aj v tomto experimente môžu počas jazykovej hry pribúdať nové agenty (s prázdny lexikónom), čo má pozitívny efekt:

- nový agent je zdrojom inovácie, pretože môže vytvoriť nové páry "slovo-referent" a objaviť asociácie, ktoré predtým ostatné agenty ignorovali,
- nový agent je zdrojom stability, lebo interaguje rovnomerne so všetkými agentami populácie a teda lexikón, ktorý si vytvorí, je obrazom akéhosi "globálneho lexikónu" populácie,
- ako sa nové agenty učia a znovu vynachádzajú jazyk, irelevantné asociácie majú tendenciu miznúť a narastá špecificita.

Pravidelné obnovovanie populácie môžeme vnímať ako sériu perturbácií, s ktorými sa jazyk musí vyrovnávať. Pri lingvistických javoch sú pozorovateľné behaviorálne režimy analogické režimom v iných komplexných systémoch – samoorganizovaná koherencia vzniká pri istom stupni pribúdania a odbúdania agentov a možných významov, zatiaľ čo ak sa presiahnu rozumne hranice, napr. nové "prázdne" agenty začnú príliš rýchlo pribúdať alebo existujúce odbúdať, alebo treba zrazu vyjadriť priveľa nových významov, nastáva dezintegrácia jazyka podobná turbulentným chaotickým režimom fyzikálnych alebo chemických systémov.

#### 6.4.4 Tretí príklad – modelovanie dynamiky jazyka

Štúdium dynamiky jazyka sa zameriava na interakcie v jazykovo nehomogénnej komunite (čo sa stane, keď sa dostanú do kontaktu dva jazyky pri migrácii z jednej komunity na územie inej, keď sa rozpadajú alebo menia sociálne štruktúry, keď rozsiahle epidémie zničia veľkú časť populácie, keď do existujúcej kultúry pribúda množstvo nových artefaktov, atď.). Každý z horeuvedených modelov sa dá bez zmeny použiť aj takýmto spôsobom, napr. pri fonologickom experimente v istom okamihu zlúčiť dve populácie, v ktorých sa hláskové systémy vyvíjali nezávisle, a pozorovať ich interakciu.

#### **6.4.5 Dôsledky Gärdenforsa pre modelovanie vývoja jazyka.**

Z Gärdenforsovho rozdelenia komunikačných systémov vyplývajú významné dôsledky aj pre experimentálne modely vzniku a vývoja jazyka. V modeloch, kde sú agenty vystavované len podnetom "tu a teraz" a majú ich komunikovať, sa môže vyvinúť iba systém založený na vyvolaných reprezentáciách. Ako bolo uvedené pri type 3, očakávať emergenciu gramatiky v takomto modeli je nereálne. Ak sa máme posunúť ďalej od modelovania počiatkov elementárnej komunikácie k modelovaniu *jazyka*, nemôžeme ostať len pri behavioristickom "stimul – odpoveď", ale bude nutné do modelov nejako inkorporovať oddelenie reprezentácií, čím sa na scénu dostanú ďalšie zložité otázky ako motivácia kognitívnych procesov a podobne.

*(koniec predn.)*

## 7 Učenie

vrodené správanie: automaticky spúšťané odpovede na špecifické podnety, nemusia byť učené a preto sú pripravené hneď po narodení. Môžu ale viesť k nezmyselnému opakovaniu (piesočná osa, ktorej likvidujú časť hniezda ho bude donekonečna opravovať).

def. učenia: relatívne stála zmena v správaní, ktorá sa objaví, keď na základe skúsenosti dokážeme robiť niečo, čo sme predtým nevedeli, alebo to vieme robiť lepšie.

Učiť sa môžeme fakty, všeobecné koncepty a princípy, a tiež zručnosti a zvyky.

Tradičné teórie hovoria, že učenie je tvorba asociácií.

### 7.1 Učenie u zvierat

[Czako, Novacký: Porovnávacía psychológia, SPN Bratislava 1985]

- habituácia – učenie sa nereagovať (individuálny charakter habituáčnej krivky),
- senzitivácia – narastanie sily reakcie,
- klasické podmieňovanie (Pavlov) – vytvorenie asociácie medzi podmieneným (zvonček) a nepodmieneným podnetom (podanie potravy),
- inštrumentárne (operačné) podmieňovanie (Skinner) – asociácia medzi voliteľnou reakciou a následnou odmenou - posilnením (to môže byť záporné – "trest"),
- diskriminačné učenie,
- bludiskové učenie,
- učenie s oneskorenými odpoveďami (potkan – sekundy, pes desiatky sekúnd, opice – desiatky minút),
- učenie napodobňovaním.

Čo sú zvieratá schopné naučiť sa, je druhovo špecifické. Napr. ak potkan ochorie zo sladkej vody, už nikdy sa jej nenapije, ale ak jej závadnosť signalizuje napr. červené svetlo, nevytvorí si asociáciu. Prírodný výber urobil druhy citlivé na isté kauzálne reakcie a na iné nie.

imprinting – húsatka Konrada Lorenza považujú za mamu prvý pohyblivý objekt.

kritika behaviorizmu: Učenie môže nastať aj bez okamžite viditeľnej zmeny správania – mení sa vnútorný kognitívny stav. XOR sa nedá naučiť posilňovaním asociácií, vyžaduje si vnútornú reprezentáciu.

### 7.2 Učenie z výpočtového hľadiska

učenie je konštrukcia nových programov z prvkov získaných skúsenosťou (či už je to nový fakt, koncept/kategória alebo zručnosť). Metódy konštrukcie sú sami o sebe programom, ktorý má na vstupe skúsenosti a modifikuje a vytvára programy riadiace správanie. Aj tento program mohol byť získaný (aj učiť sa sa možno naučiť), ale zase pomocou iného programu, atď – malá sada učiacich procedúr musí byť vrodená.

3 triedy učiacich sa programov:

1. ľubovoľné kombinovanie existujúcich elementov a feedback o úspešnosti – neodarwinizmus, malá šanca na získanie niečoho rozumného bez ohraničení
2. konštruujú sa iba schopné programy – vyžaduje si veľa info o doméne a je použiteľné iba pre triviálne úlohy

### 3. generovanie s čiastočným obmedzením

konceptuálne učenie – Fodorov argument o logike bez/s kvantifikátormi: Nový koncept nie je vyjadriteľný, teda ani naučiteľný, teda všetky koncepty musia byť vrodené. (ale potom nemôžu byť ani vrodené, lebo sa nemohli evolučne vyvinúť ináč ako katastrofickou mutáciou).

Učenie nemôže zvýšiť výpočtovú silu, ale môže zvýšiť logickú alebo konceptuálnu. Príklad: sčítovanie na základe successorov. (konceptualizácia v dejinách vedy – odkaz na Kvasza)

Čo (aké programy, resp. gramatiky) je možné sa naučiť:

pojmy: učiteľ, vzorka – textová/informovaná, obrazce (príklady), priestor hypotéz, limitná konvergencia

Málokedy viem konkrétnu množinu kandidátov (gramatík), z ktorých jedna je tá pravá, ktorú sa mám naučiť. Predpokladajme, že poznám triedu, do ktorej gramatika patrí.

Rozumné gramatiky sú väčšinou nekonečné. Ak dostávam pozit. aj negat. príklady (informovaná vzorka), nikdy neviem, či už som na tej správnej gramatike (vedecká teória nemôže byť definitívne potvrdená, len vyvrátená). Preto je kritériom naučenie sa v limite (lim. konvergencia) – ak už nebudem musieť zmeniť hypotézu.

Goldov algoritmus induktívnej inferencie gramatík vyberá postupne hypotézy z nekonečného usporiadaného (dá sa usporiadať – každá gramatika má len konečne veľa pravidiel) zoznamu vš. gramatík danej triedy a hypotézu zmení na základe kontrapríkladu. Raz určite v zozname príde na rad tá správna gramatika.

Goldova veta o informovanej vzorke: Proces induktívnej inferencie na informovanej vzorke v limite konverguje pre rekurzívne vyčísliteľné gramatiky (tie, kde je efektívne rozhodnuteľné, či gramatika generuje daný reťazec: regulárne, bezkontextové a kontextové, ale nie všetky jazyky sily TS).

Učenie na textovej vzorke (iba z pozit. príkladov) nestačí pre gramatiky nekonečných jazykov, presnejšie:

Goldova a Feldmanova veta o textovej vzorke: Nech trieda hypotéz obsahuje všetky gramatiky generujúce konečné jazyky a aspoň jednu gramatiku, ktorej generuje nekonečný jazyk. Ak algoritmus induktívnej inferencie dostáva iba textovú vzorku, nie je zaručená jeho limitná konvergencia.

3 možné východiská:

1. efektívnejší učiaci program
2. ohraničenia množiny možných gramatík
3. slabšie kritérium naučenia ako v limite.

ad 1 – vo všeobecnosti nie je možné prekonať Goldov program

ad 2 – ak eliminujeme všetkých okrem konečného počtu kandidátov, je možné sa naučiť gramatiku ľubovoľnej sily (čosi ako dedukcia). Pre indukciu treba slabší pojem naučenia.

Pri rozumnom učení sa hypotéza nevyberá zo zoznamu, ale sa generuje na základe predložených príkladov – hľadajú sa regularity a zovšeobecňuje sa. Sémantické siete – nutné a typické relácie. Rýchlosť učenia závisí od dobrej vzorky (domčeky). Úloha kognitívneho konfliktu.

Chomsky tvrdí, že možných ľudských jazykov je len konečne veľa a ich princípy sú vrodené (univerzálna gramatika). Deti si nastavujú konkrétne parametre daného jazyka z pozitívnych príkladov (gramaticky správnych viet).

### **7.3 Úloha praktizovania pri učení**

Newell – Rosenbloomov zákon učenia: Ak na os y nanesieme logaritmus času na vykonanie úlohy a na os x logaritmus počtu vykonaní, dostaneme klesajúcu priamku. (Pri úlohách, ktoré možno okamžite vykonať bezchybne, napr. čítanie textu hore nohami. Fyzikálna bariéra minimálneho času).

Keby úloha pozostávala z častí a praktizovaním by sa čas na vykonanie podúlohy skracoval konštantnou rýchlosťou, proporcionálne by sa skracoval aj čas na celú úlohu. Učenie sa ale spomaľuje. Možné vysvetlenie: učením sa prvky organizujú do stále väčších zhlukov (chunks), napr. pozície na šachovnici. Čím väčšie zhluky, tým sa zriedkavejšie objavujú a teda možnosti naučiť sa ich je stále menej.

učenie v ACT: propozíčné znalosti sa postupne kompilujú do procedúr. Anderson to dokumentuje napr. na príklade ovládania jazykov (materinskú reč, tak ako sa ju naučí, človek ovláda v podobe procedurálnych znalostí. Teda dokáže ju používať rýchlo, efektívne, ale (pokiaľ nedostane separátne výcvik, napr. výučbu gramatiky v škole) nedokáže podstatu týchto vedomostí opísať. Naproti tomu pri výučbe cudzích jazykov (predpokladajúc klasický štýl výučby) sa človek naučí akési pravidlá, zásady, ktoré vie dobre zopakovať (napr. gramatické pravidlá), ale vlastné používanie jazyka je hlavne spočiatku pomalé a ťažkopádne. Tu ide teda o príklad deklaratívnych poznatkov. (Keď sa cudzí jazyk začne používať častejšie a jeho praktické ovládanie sa prehľbí, znamená to posun k procedurálnej reprezentácii, k vytvoreniu akýchsi efektívnych kompilátov.) Alebo učiť sa šoférovať.

učenie v NS: s učiteľom (minimalizácia štvorca chyby, napr. BP) alebo bez (posilovanie asociácií, hľadanie regularít a kategorizácia vstupných dát – klustrovaním vznikajú prototypy)

*(koniec predn.)*

## 8 Usudzovanie

rôzne typy usudzovania – obr. str. 220, dedukcia, indukcia, tvorivosť.

### 8.1 Dedukcia

ak sú splnené predpoklady, musí platiť aj záver.

sémantická informácia –záver odvodený dedukciou neprináša viac sém. info (teda nezužuje možné stavy sveta) ako premisy, pri indukcii áno.

príklad s vraždou v kine – používa sa general knowledge

formálne odvodzovanie – pravidlo Modus Ponens

rezolvenca – jediné univerzálne pravidlo: z  $A \vee B, \neg A \vee C$  odvodí  $B \vee C$ . (+ backtracking = PROLOG).

Ľudia neodvodzujú všetky možné dôsledky (deduktívny uzáver), ale len "minimálne".

Inferencia ovplyvnená sémantickým obsahom (Karty A,B,2,3 [JL-225] – viac omylov, ako pri sémanticky zmyslupnejšej úlohe).

V expert. systémoch sú doménovo špecifické pravidlá – vieme ale dedukovať aj v neznámych doménach.

#### 8.1.1 Mentálne modely

[gentner]

Pokúsme sa o definíciu, resp. charakteristiku pojmu "Mentálny model". D. Normana píše: *"Mentálne modely (na rozdiel od konceptuálnych modelov vytvorených umelo vedcami alebo učiteľmi na popis daného systému) sú prirodzené, "nadvoko" rozvíjajúce sa modely. Počas interakcie s cieľovým systémom si ľudia formulujú, vytvárajú mentálny model daného systému. Tieto modely nemusia byť technicky presné (a obvykle ani nie sú), ale musia byť funkčné. Človek počas interakcie so systémom pokračuje v modifikácii svojho mentálneho modelu, aby dosiahol funkčný výsledok. Mentálne modely sú podmienené vecami ako sú užívateľovo technické zázemie, jeho predošlé experimenty a skúsenosti s podobnými systémami, a štruktúra ľudského systému spracovania informácií."*

Norman potom pokračuje zhrnutím svojich pozorovaní vlastností mentálnych modelov:

- Mentálne modely sú nekompletné
- Ľudia často nevedia ako "spustiť, odštartovať" svoje mentálne modely
- Mentálne modely sú nestále: ľudia často zabúdajú detaily systému s ktorým pracujú, hlavne keď dané detaily neboli dlhší čas využívané
- Mentálne modely nemajú pevné ohraničenia: podobné zariadenia alebo operácie sa ľahko vzájomne zamenia
- Mentálne modely sú "nevedecké": ľudia často uchovávajú vo svojich modeloch akési "poverčivé" kusy informácií, hoci sami vedia, že sú nepotrebné.
- Mentálne modely majú tendenciu minimalizovať spotrebu mentálnej energie: ľudia často uprednostnia manuálne, fyzické kroky (často aj zdĺhavé a komplikované) pred trochou seriózneho zamyslenia sa, ktoré by eliminovalo prebytočnú fyzickú námahu.

(Popis tvorby MM (podľa kap. 8) + využitie MM, MM reasoning (kap. 7))

### 8.1.2 Dedukcia cez modely

1. predstav si situáciu opísanú premisami
2. sformuluj informatívny (t.j. nie explicitne obsiahnutý v premisách) záver, ktorý je pravdivý v tejto situácii
3. hľadaj alternatívny model, v ktorom platia premisy a neplatí záver. Ak taký nie je, záver je platný

príklady: skeptici a vedci, archeológovia, biológovia a šachisti.

Usudzovanie na základe modelov je v súlade aj s nasledovnými pozorovaniami:

- ľudia robia omyly pri myslení – nespomenú si všetky modely, ale len najbežnejšie,
- modely umožňujú usudzovať aj pri podurčenej úlohe, vtedy sa tvorí model na základe skúsenosti (schémy, stereotypy).
- Usudzovanie je ovplyvnené obsahom, podľa toho aké modely nás napadnú skôr, a ktoré opomíname.
- Modely vysvetľujú nielen dedukciu, ale aj iné typy usudzovania.

(koniec predn.)

### 8.2 Indukcia

za nárast sémantickej info sa platí tým, že záver nemusí nutne platiť a možno ho bude treba revidovať.

16mesačné dieťa: koncept "sneh" = sneh, biely chvost koníka, perina, biela hračka, flák rozliateho mlieka (overgeneralisation). Neskôr sa pojem spresňuje.

Ľudský kortex obsahuje neuróny detekujúce "podozrivé zhody" vo vstupných dátach.

príklad s kiahňami.

Indukcia zahŕňa generalizáciu aj špecializáciu: koncept má byť dosť všeobecný na to, aby pokrýval všetky pozitívne príklady, ale dosť špecifický, aby nepokrýval žiaden negatívny príklad.

Ak mám textovú vzorku (len pozit. príklady), začínam s najšpecifickejšou hypotézou (horúčka, kašeľ, trasenie).

príklad s postupnosťou čísel 2,4,6.

Ľudia majú tendencie generovať príklady, ktoré potvrdzujú ich hypotézu a nie také, ktoré by ju mohli falzifikovať.

Koncepty sú: relácie (nohy *držia* stôl), prototypy (E. Rosch), rodinné podobnosti (Wittgenstein)

#### 8.2.1 Algoritmy indukcie

príklady oblúkov:

1. Ak sa vynechám atribútu A pozitívny príklad stane negatívnym, tak A je nutný atribút konceptu K.

2. Ak sa pridaním atribútu A pozitívny príklad stane negatívnym, tak A je zakázaný atribút konceptu K.
3. Ak sa dva pozitívne príklady odlišujú v atribúte A1 resp. A2, v koncepte K ich nahradím ich "nadpojmom" (otcom v hierarchii). Ak nemajú spoločného otca, nahradím disjunkciou  $A1 \vee A2$ .

príklad so štvorcami a kruhmi:

1. Ak majú všetky pozitívne aj negat. príklady spoločnú vlastnosť, považuj ju za irelevantnú.
2. Ak majú všetky pozitívne a žiaden negatívny príklad nejakú vlastnosť, táto je diskriminujúcim kritériom.
3. Vyber vlastnosť, ktorú má spoločnú najviac pozitívnych príkladov a umiestni ju do rozhodovacieho stromu. Podľa nej sa všetky príklady delia do dvoch tried, na ktoré sa tento algoritmus uplatní rekurzívne.

Pri zovšeobecňovaní má veľkú úlohu znalosť variability vlastností – el. vodivosť chem. prvkov a tučný príslušník exotického kmeňa.

Príklady:

- Je viac slov s R na začiatku alebo na 3. mieste?
- Odhad súčinu  $1 \times 2 \times \dots \times 8$  resp.  $8 \times 7 \times \dots \times 1$ .
- Bill – účtovník, ktorý hrá jazz [JL-252].

Pri uvažovaní o pravdepodobnosti formulujeme scenáre. Ak ma nenapadne rozumný scenár vedúci k udalosti, považujem ju za nepravdepodobnú, ak ma naopak napadne veľa scenárov alebo niektorý je zvlášť presvedčivý, považujem udalosť za pravdepodobnú.

### **8.3 Tvorivosť, analógia**

[JL-kap.14]

vlastnosti tvorivého procesu:

1. Ako aj ostatné mentálne procesy, začína z nejakých daných stavebných blokov – nedá sa tvoriť z ničoho.
2. Proces nemá presne stanovený cieľ, len nejaké obmedzenia alebo kritéria, ktoré má spĺňať.
3. Výsledok tvorivého procesu musí byť pre daného tvorca nový, nie len vybavený alebo vnímaný ani nie skonštruovaný popamäti alebo deterministickou procedúrou.

Tri typy architektúry tvorivého procesu – zodpovedajú 3 triedam učiacich sa programov.

Ľudia sú lepší kritici ako tvorcovia – znalosť je im prístupnejšia pre overovanie ako pre generovanie.

príklady: Lenatov AM, hudobné improvizácie.

Analógia:

Program Thagard, Holyoak: množina definícií konceptov a pravidiel nejakej domény a zadanie cieľového problému. Užívateľ dodá pravidlá mapovania konceptov z jednej a druhej domény. Ak sú aktívne aspoň dve linky z cieľového do nejakého problému, ten sa aktivuje a použije ako báza analógie pre cieľový problém. To čo sa transferuje medzi doménami je sekvencia akcií použitých v prvom probléme alebo "high-level" relácie (Gentner).

Úspešný hľadač analógií vie obmedziť počet relevantných možností už v generatívnej fáze.  
(*koniec predn.*)

## 9 Vedomá a nevedomá myseľ

### 9.1 Výpočtová teória vedomia

architektúra pozostáva z hierarchie distribuovaných paralelných procesorov. Výhody – rýchlosť, robustnosť a špecializácia. Nevýhody – možnosť deadlocku alebo konfliktov. Preto vzniká hierarchia – modul vyššej úrovne je rozhodcom pri konflikte (vid' [M. Takáč: Piagetove experimenty, spoločenstvo mysle a konflikty]).

Na najvyššej úrovni je operačný systém, ktorý riadi a monitoruje procesory nižšej úrovne. Komunikuje symbolickými inštrukciami. Môže monitorovať obsah svojej pracovnej pamäte. Jej obsah tvorí to, čo je vedomé. (To, čo reprezentujú nižšie procesory je nevedomé.)

#### konflikt medzi vedomými a nevedomými procesmi u ľudí:

nezámerné pritiahnutie pozornosti pri počutí svojho mena, neschopnosť prestať fajčiť, aj keď chcem (interný konflikt medzi cieľom OS a nižších procesorov), hysterické paralýzy, blindsight, efekty komisurotómie (operatívneho prerušenia spojenia medzi mozgovými hemisférami – neschopnosť pomenovať objekty v ľavej časti vizuálneho poľa (ľvp), emócie strachu ak v ľvp ukázali niečo strašné alebo nevedomé poslúchnutie príkazu CHOD ukázaného v ľvp.)

#### sebareflexia:

Turingov stroj, ktorý na páske vytlačí reprezentáciu samého seba. Minsky: stroj by mal mať interpretujúci program, ktorý by vedel predpovedať ako sa zachová v hypotetickej situácii. Ľudia ale nemajú prístup k svojej kompletnej internej reprezentácii, skôr majú *mentálny model* samého seba.

Ako sa tento model mohol evolučne vyvinúť [Gärdenfors: Cued and Detached Representations in Animal Cognition]:

Plánovanie: Plán musí zvažovať akcie ostatných. Treba vidieť iných nie ako konajúce predmety, ale že majú vnút. prostredie (VP) – na to potrebujem reprezentáciu myslí ostatných.

Klamanie: Klamanie chytrého – ten má reprezentáciu mňa. Skratka: ja mám vo svojom VP repr. môjho VP.

#### schopnosť meta-usudzovania:

Sebareflexívna procedúra OS skonštruje model svojej činnosti a potom na ňom operuje. Vnáranie takýchto metareprezentácií je obmedzené kapacitou pracovnej pamäte.

Úroveň 0: Úloha: "Čo idem teraz urobiť – budem počúvať prednášku ďalej, alebo si zbalím veci a pôjdem do bufetu?" Na rozriešenie úlohy úrovne 0 využijem niektorý z mechanizmov úrovne 1.

Úroveň 1: Úloha: "Ktorú rozhodovaciu stratégiu si zvolím – zvažím preferencie, opýtam sa manželky alebo si hodím mincou?". Využijem úroveň 2.

Úroveň 2: racionálne si vyberiem niektorú z možností.

Rozhodovacieho mechanizmu na najvyššej úrovni si obvykle nie som vedomý.

Pacienti s mentálnou chorobou, poškodením mozgu nemusia mať viac prístup k modelom samých seba alebo k reflektívnej procedúre. Konajú so zníženou zodpovednosťou a nie sú schopní sebareflexívneho diškurzu. Autizmus a schizofrénia – poruchy v systéme metareprezentácií. Stres takisto negatívne ovplyvňuje sebareflexívnu kapacitu.

#### dve kategórie obsahov vedomia:

1. symbolické – idey, viery, hypotézy
2. nesymbolické – pocity a fyzické vnemy

## **9.2 Potreby, motivácia, emócie**

Evolučná funkcia emócií : riadiaci mechanizmus interakcií s ostatnými príslušníkmi druhu.

Triedy dôležitých udalostí v sociálnom živote živočíchov:

Vytváranie a rušenie väzieb medzi potomstvom a tými, čo sa oň starajú

Akceptovanie alebo odmietnutie zväzku medzi partnermi

agresia alebo útek voči rivalovi a analogické vzťahy predátor - korisť.

Typy evolučne základných emócií: šťastie, smútok, hnev, strach, znechutenie [JL-371]

potreby – smädný potkan [JL-372]

výpočtová teória potrieb:

Niektoré procesory produkujú vrodené signály (napr. neurotransmitery) pri detekcii potreby. Signál nemá symbolickú povahu ani vnútornú štruktúru. Procesy si posielajú signály a keď je určité množstvo aktivované, môžu spustiť fyziologickú reakciu. To vysvetľuje aj javy ako konflikt potrieb, keď nejaká sada procesorov je v jednom móde a ďalšia v inom. Smäd – zo začiatku môžeme signály vedome ignorovať, ale ako sa zobúda viac a viac procesorov, myšlienky na uspokojenie smädu začnú okupovať moje vedomie – potreba vždy nakoniec vyhrá.

Emócie fungujú podobným mechanizmom, akurát pochádzajú z kognitívneho vyhodnotenia udalosti. Ak sa symbolická správa o tom nedostane do vedomia, môžeme cítiť emóciu a nevedieť prečo (E. Hess – pokus s fotografiami a rozšírenými zreničkami).

Externé vyjadrovanie emócií má evolučnú výhodu (varovné volania, sociálne rituály)

Neoddeliteľnosť emócií a kognície – pokusy s percepciou emočne nabitých slov, Jungov asociačný experiment, efekt emočného kontextu pri vybavovaní z pamäti. Emócie nie je možné vynechať z modelu kognície!

Komplexné emócie – závisia od modelu seba (výčitky svedomia, hrdosť, sebanenávisť) a druhých (žiarlivosť, obdiv) – kultúrna podmienenosť.

Koncept citov – keďže signály nemajú symbolickú štruktúru, nemôžu pre ne existovať analytické koncepty – sú len koncepty pre scenáre, kedy emócie prichádzajú, ich príčiny, príznaky a dôsledky.

Jediný spôsob, aby robot mal rovnaké city ako my je, ak bude mať rovnaké potreby, sociálne ciele a bude riadený rovnakým interným kódom ako my.

Slobodná vôľa – výpočtová teória ľudskej kognície jej neupiera slobodnú vôľu – môžeme úplne porozumieť nedeterministickému systému, hoci jeho správanie nie je možné predikovať, rovnako je to aj s evolúciou – poznáme jej mechanizmy, ale nevieme predikovať aké nové druhy sa najbližšie vyvinú.

## 10 Obsah

1	Úvod: čo je to kognitívna veda.....	2
2	Mentálne procesy a reprezentácia.....	4
2.1	Konceptuálna reprezentácia: od konekcionizmu k symbolom .....	4
3	Percepcia I. - videnie.....	8
3.1	Formulácia problému videnia .....	8
3.2	Zraková sústava.....	8
3.3	Jednotlivé kroky spracovania obrazu .....	9
3.4	Zhrnutie.....	15
3.5	Vnímanie farieb.....	16
4	Percepcia II. – ostatné zmysly .....	18
4.1	Počutie .....	18
4.2	Chuť, čuch.....	18
4.3	Dotyky, chlad, teplo .....	18
5	Pamäť .....	19
5.1	Organizácia pamäte .....	19
5.2	Neuropsychológia pamäte .....	21
5.3	Dlhodobá pamäť (LTM).....	22
5.4	Mechanizmus ukladania .....	23
5.5	Dva počítačové modely architektúry mysle: .....	23
6	Komunikácia.....	25
6.1	Kognitívne predpoklady pre vznik jazyka.....	25
6.2	Úrovne analýzy jazyka .....	27
6.3	Modelovanie vývoja jazyka.....	29
6.4	Experimenty so samoorganizáciou.....	31
7	Učenie.....	37
7.1	Učenie u zvierat.....	37
7.2	Učenie z výpočtového hľadiska .....	37
7.3	Úloha praktizovania pri učení:.....	39
8	Usudzovanie .....	40
8.1	Dedukcia.....	40
8.2	Indukcia .....	41
8.3	Tvorivosť, analógia .....	42
9	Vedomá a nevedomá myseľ .....	44
9.1	Výpočtová teória vedomia.....	44

9.2	Potreby, motivácia, emócie.....	45
10	Obsah.....	46