

# Učenia u zvierat

Erik Macháč

4 I, FMFI UK Bratislava

Prečo sa zaoberať učením zvierat? Môžeme využiť to čo sme sa naučili uvažovaním prípadov učenia sa iných druhov ako človek. Učenie zvierat môžeme rozdeliť na dvojce: asociatívne a neasociatívne. Uvedieme si teoretické zákony, ktoré nám opisujú procesy učenia a na konkrétnych príkladoch si budeme môcť overiť ich platnosť.

## Asociatívne učenie

### Teória všeobecného procesu učenia

Teoretický systém pre tradičné štúdium učenia zvierat má veľa spoločného s teóriou asociácie. Zásadný predpoklad je znalosť sveta. Spôsob ako naň reagovať je založený na schopnosti vytvárať platné asociácie. Empirici formulovali dva zákony asociácie: 1. častejšie vystavenie konkrétnej príležitosti asociácie znamená silnejšiu asociáciu a 2. čím bližší v čase a priestore je výskyt komponentov asociácie tým sa asociácia pravdepodobnejšie upevní.

V týchto zákonoch nie je nič o podstate impulzu asociácie alebo odozvy, ktoré môžu byť asociované navzájom, ani nič o tom čo sa mení s ontogenetickou fázou individua. Pôvodná teória pojednáva všetky efektívne zmyslové vstupy a všetky pozorovateľné odozvy ako rovnako potenciálne v asociačnom procese. Učenie reči a počítanie je možné prirovnať rovnako elementárnym zákonom asociácie ktoré objasňujú ako sa potkany učia vyhnúť otrávenému jedlu a podobne.

Moderná teória učenia zvierat a niektoré pohľady rozvoja poznania si uchovávajú predpoklad všeobecného procesu. Stanovisko je, že všetko učenie je založené na schopnosti formovať asociácie. Platia všeobecné zákony učenia ktoré sa aplikujú rovnako na všetky obory podnetov, odozvy a reakcie, 1. čím častejšie spojené medzi prvkami asociácie tým silnejšia asociácia a 2. čím bližšie prvky asociácie tým je učenie pravdepodobnejšie.

Teória všeobecného procesu učenia bola rozvinutá po štúdiu klasického poznania a rozšírená na rozmanité spôsoby ako sa vyrovnáť s fenoménom generalizácie, diskriminácie a inhibície a objasnila hlavnú úlohu, ktorú odozva môže často zastávať, keď sa formuje asociácia. Bola tiež významne opravená ako odozva na experimenty s klasickým učením ukazujúc že nie párovanie medzi podmienenými podnetmi a nepodmienenými podnetmi ale prediktívnosť rozhoduje či sa vôbec asociácia vytvorí. Ak sú podmienené aj nepodmienené podnety nezávislé rozmiestnené v čase, tak že výskyt podmieneného podnetu nepredpovedá výskyt nepodmieneného podnetu, tak nenastane žiadne navykanie hoci sa objavia mnohé náhodné párenia nepodmienených a podmienených podnetov. Takisto ak nový podmienený podnet predpovedá to, čo už je predpovedané iným starým podmieneným podnetom, tak nevznikne žiadna asociácia medzi novým podmieneným a nepodmieneným podnetom akokoľvek často sú tieto parené.

Myšlienka, že asociácia sa buduje ako funkcia frekvencie je neutrálna s ohľadom na veľkosť prírastku, ktorý je funkciou pokusov. Rescola-Wagnerov zákon (1972) niekedy nazývaný delta pravidlo v literatúre o paralelných distribuovaných systémoch, dáva funkciu pre zmenu sily n-tej asociácie ako funkciu rôznych parametrov a sumy sily ostatných asociácií:

$$\Delta V_n = K (\lambda - \sum V_i)$$

V tejto rovnosti K, parameter schopnosti asociovať, odráža pripravenosť, s ktorou môžu byť podmienené a nepodmienené podnety asociované. Zavedenie tohto parametra bolo motivované dôkazom proti ekvipotenciálnemu predpokladu.  $\lambda$  je asymptotický parameter sily asociácie. Parametre K a  $\lambda$  sú špecifikované na každý pár podmienený-nepodmienený podnet a sú určené empiricky.

Tento zákon takisto nehovorí o časovom rámci v ktorom sa asociatívny proces vykonáva. Teoretici všeobecného procesu robia párovo špecifické predpoklady o stupni dočasnej blízkosti, ktorá musí byť medzi podmieneným a nepodmieneným podnetom aby mohlo nastať učenie. Podobného záveru sa pridŕžavajú pre podnetovo vzorové modely ľudského chápania učenia, či stavajú na faktoroch ako výber, alebo používajú variácie parametrov na zachytenie podnetovo špecifických dopadov.

Myšlienka že existujú štruktúrované determinanty učenia ktoré prekonávajú súbor podstaty zmyslovej a motorickej schopnosti organizmu ovplyvnila štúdiu klasického poznania u zvierat. Dokonca aj tí čo zastávajú myšlienku že existujú všeobecné zákony učenia, sformulovali ich teórie na zohľadnenie všadeprítomného faktu: zvieratá sa správajú podľa privilegovaných vzťahov. Tieto privilegované vzťahy sa menia z druhu na druh. Tieto vzťahy sa nedajú vždy vysvetliť históriou ich formovania sa, namiesto toho, často majú zmysel len keď sú uvážené z hľadiska vývojovo funkcionálnej úlohy ktoré hrajú v živote zvieratá. Privilegované vzťahy zrádzajú prítomnosť systému ktorý vedie zvieratá k pozorovaniu a reakcii výberovo k jednému druhu podnetu na rozdiel od iných, podľa konkrétnych podmienok. V tomto zmysle, slúžia ako fundamentálny dôkaz argumentu že existujú determinanty vyššej úrovne (nezmyslovo motorické) toho čo sa zvieratá učia a ako.

### **Niektoré príklady privilegovaných vzťahov**

*Učenie vyhýbania sa.* Ekvipotenciálny predpoklad ktorý prevážil v teórii Pavlova udáva, že hocaký vnímateľný podnet môže byť asociovaný s iným vnímateľným podnetom alebo s odozvami z repertoára zvierat rovnako ľahko. V súčasnosti existujú mnohé dôkazy toho že to tak nie je. Zatiaľ čo sa holuby ľahko naučia zobnúť do tlačítka aby získali jedlo, majú ťažkosť naučiť sa zobnúť do tlačítka aby sa vyhli elektrickému šoku. Na porovnanie, ľahko sa naučia zamávať krídlami na vyhnutie sa šoku. (Hineline&Rachlin 1969)

Účinok podnetu na ktorý sa môžu naučiť reagovať môže byť vysvetlený ak predpokladáme že učenie holubov je vyjadrované pomocou odozvy systému šitému na mieru, aby obslúžil špecifické biologické funkcie v špecifickom kontexte, takže si nevyberajú odozvy nezávisle ku kontextu. Ak si holub uvedomí hrozbu šoku tak odletí alebo sa snaží odletieť a nie zobať. Lolord a spol (1982) predviedli holuby s redundantnými podmienenými podnetmi tvorenými svetlom a zvukom. Uvažujúc že holuby považujú zvukový podnet ako signál nebezpečenstva a vizuálny podnet ako podnet súvisjúci s jedlom, si mysleli že riadenie zobania pre získanie jedla sa výberovo pripojí k vizuálnej časti podmienených podnetov a riadenie vyhýbavé správanie k zvukovým podnetom. Presne tak sa aj stalo. Rozdielne časti podmienených podnetov riadili správanie sa holubov pri testoch. Takýto efekt poskytol presvedčivý dôkaz proti myšlienke, že všetky podnety a odozvy sú ekvipotencionálne v tvorení a udržovaní naučeného správania. Teória všeobecného procesu považuje učenie vyhýbania sa, za postupné naučenie vykonávania cieľového správania ako odozvy na prítomnosť podmieneného podnetu. Aby sa podmienený podnet stal efektívnym tak sa musí spáriť s nepodmieneným

podnetom. Na základe pokusov podmienený reflex nastane, ak sa objaví podmienený podnet a tak sa zvieratá vyhne šoku. Bolles (1970) poukázal že toto učenie vyhýbania sa má malý význam ak uvažujeme zvieratá skôr žijúce voľne ako v laboratóriu. V prírode sa zvieratá nemusia stretnúť niekoľkokrát s predátorom na to, aby sa naučilo utiecť alebo sa mu vyhnúť. Namiesto toho, je vierohodné veriť že zvieratá sú obdarené obrannými reakciami ako napríklad útek alebo bojovanie – reakcie, ktoré nastanú bezprostredne pred predátorom, hrozbou alebo náhlym výskytom neškodného podnetu. Dôsledky tohto stanoviska pre laboratórnu štúdiu učenia sa vyhýbania sú jasné: dajú sa prirodzene očakávať rozdiely s ktorými rozdielne triedy podnetov predávajú riadenie rozdielnym triedam odoziev. Tomuto vyhovuje aj pokus s učením holubov vyhnutia sa šoku. Takisto aj Bollesove pokusy, ktoré ukazujú ako sa potkany ľahko a rýchlo naučia pred šokom utiecť, ale ťažko ak vôbec sa pred ním uhnúť. Beh je časťou odozvy úteku ale uhýbanie nie, je to výskumné správanie.

Ďalšie príklady na poukázanie privilegovaných vzťahov sú pokusy so škrečkami. Tie sa ľahko naučili hlbiť za odmenu jedlom, ale ťažko alebo vôbec, keď mali škrabať alebo si čistiť tvár (Shettleworth 1975).

## **Neasociatívne učenie**

Predchádzajúca časť dávala príklad vzťahov ktorých učenie je privilegované. Tieto príklady boli rozvinuté v rámci pojmovej štruktúry pod podmienkou asociatívnych analýz učenia. Gallistel (1990) dal silný, ale jednoduchý analytický vzor klasického formovania v ktorom predstava asociatívnosti nehrá žiadnu úlohu. Ukázal, že tento model, ktorý nemá žiadne voľné parametre a je výpočtovo jednoduchší ako Rescola-Wagnerov model, dáva adekvátnejšie vysvetlenie významných výsledkov klasických formovacích experimentov z posledných dvadsiatich rokov. V Gallistelovom modeli, klasické experimenty neštudujú základný proces učenia, radšej študujú mechanizmus učenia, ktorý je špecificky určený na výpočet reprezentácie dočasnej závislosti zmeny jednej premennej od zmeny jednej alebo viacerých premenných. Či je alebo nie je asociatívny rámec náležitý rámec, v ktorom treba ponímať príklady predošlej časti, sú mnohé príklady učenia zvierat, ktoré nekorešpondujú s týmto pojmovým rámcom. Tieto príklady objasňujú, že pre väčšinu druhov učenia zvierat, musí existovať špecifický mechanizmus učenia, ktorý umožňuje jednotlivý spôsob učenia. Všetky tieto mechanizmy boli sformované počas evolúcie.

## **Ako sa sova učí určovať smer prichádzajúceho zvuku**

Presná lokalizácia pôvodu zvuku je dôležitá pre sovu, ktorá sa spolieha na zvuky hlodavcov, podľa ktorých orientuje svoje dravé útoky, napríklad v tme. Lokalizácia zvuku je založená na frekvenciou špecifických stereofónnych rozdieloch v intenzite a v čase príchodu zvukových vln. Sova sa narodila so sústavou obvodov, ktoré spracovávajú odlišnosti za účelom vybrať uhol smerovania pôvodu zvuku, ale vrodené parametre tohoto špecializovaného systému nie sú vždy správne, pretože vrodené odlišnosti v intenzite a fázach zvuku pri danej frekvencii závisia na osobitom tvare hlavy zvieratá. Líšia sa individuálne a samozrejme sa individuálne menia počas dospievania. Sova má špecializovaný mechanizmus učenia ktorý rekalibruje jej systém obvodov na lokalizáciu zvuku počas vývoja. Ako všetky špecializované mechanizmy aj tento mechanizmus je určený k výstavbe jednotlivých druhov reprezentácie - v tomto prípade reprezentáciu smerovania pôvodu impulzu. Sú uznávané tieto dva princípy:

1. Pozícia pôvodu pre sluchové a vizuálne vstupy prichádzajúce z jedného objektu je jedinečné určenie polohy v jednom a tom istom mieste. Poloha určená sluchovým vstupom má byť tá istá ako poloha určená vizuálnym vstupom.
2. Zrak je neomylný, poloha pridelená zdroju zrakom môže byť použitá na kalibráciu systému obvodov ktoré počítajú polohu podľa zvukových vstupov.

Očné viečka a sluchové kanáliky mláďaťa sovy sa otvoria vo veku 2 týždňov. Ak zhoda medzi polohou určenou sluchovým systémom a polohou určenou vizuálnym systémom je zmenená v tomto veku, napríklad zapchatím jedného sluchového kanálika zátkou alebo fixným umiesteným prizmy, ktorá mení smer prichádzajúceho svetla, pred oči, vtáci prispôbia smerovanie v ktorom orientujú svoju hlavu ako odozvu na zvuk až o 20°, tak že orientácia hlavy ako odozva na zvuk z daného smeru odpovedá orientácii hlavy ako odozvy na záblesk svetla z toho istého smeru. Ak zmena bola spôsobená zapchatím kanálika, toto prispôbenie znamená, že výsledná orientácia k zvuku bola opravená tak, že k nemu hlava smeruje, ale ak táto zmena bola spôsobená prizmami, tak toto prispôbenie znamená že výsledná orientácia k zvuku je chybná rovnako ako vizuálna orientácia. Vizuálna orientácia pracuje rovnako chybne ako veľmi prizmy menia vizuálny vstup. Vizuomotorické systémy sovy sa nemôžu opraviť na následok deviácie prizmami a audiosystémy ošetrujú lokáciu určenú vizuálnym vstupom, ako normu podľa ktorej kalibruje sluchové obvody. Výsledok je, že sovy s prizmami minú zdroj podnetov, aj vizuálnych aj zvukových, ak sa snažia priblížiť k nim. Pretože telo nasleduje smerovanie hlavy, ktoré je systematické chybné.

Ak je sluchový kanálik upchatý sove staršej ako 21 dní, tak prispôbenie k pokusne vyvolaným audiovizuálnym nezrovnalostiam je nekompletné, bez ohľadu na to ako dlho je táto nezrovnalosť skúšaná. Ak naištalujeme prizmy sove starej 50 dní, ktoré odchyľujú vizuálne pole o 23° doprava, naučí sa orientovať asi o 10° doprava od zdroja zvuku, čo je 13° naľavo, ak by sa orientovala podľa vizuálneho vstupu. Tieto nezrovnalosti pretrvávajú neurčito dlho. Ak odstránime upchatie kanálika alebo prizmy, sova sa spočiatku orientuje chybne v približne rovnakom uhle ako bola chybne naučená, ale v opačnom smere. Ak boli prizmy odstránené v skorom veku, tak sa sova naučí správne orientovať približne do 25 dní. Ak, ale boli odstránené po sexuálnej zrelosti, tak sa vták nikdy nenaučí správne orientovať.

Čím je sova staršia pri inštalácii prizmy alebo zátky, tým menej sa prispôbii. Vek okolo 100 dní znamená koniec senzitivnej periódy, počas ktorej sa vyvíjajúci vták môže učiť audiovizuálny súlad, ktorý je podstatne odlišný od normálneho. Na proti tomu, kritické obdobie je obdobie, počas ktorého vystavovanie normálnemu audiovizuálnemu súladu dovoľuje sove naučiť sa správne a presne lokalizovať zvuk po odstránení experimentálnej nezahody. Kritické obdobie je o mnoho dlhšie ako senzitivne. Končí približne vo veku 200 dní, čo je približne vek sexuálnej zrelosti. Počas kritickej periódy môže dôjsť k veľkej korekcii, pokiaľ je korekcia ukončená pred koncom kritického obdobia. Inak odchýlka zostáva na neurčito. Všeobecne, mechanizmus učenia lokalizácie sluchovým systémom odkazovaným na vizuálne svet je určený na konštrukciu konkrétneho typu reprezentácie a pracuje iba počas určitého obdobia vývoja.

Ďalšími príkladmi neasociatívneho učenia, ktoré bolo skúmané, je orientovanie sťahovavých spevavých vtákov, ktoré sa pri sťahovaní orientujú podľa hviezd, rozpoznávanie predátorov africkou opicou mačiak a iné.

## Zhrnutie a záver

V rámci každej funkčne definovanej oblasti zvieracieho snaženia, môžu byť dramatické rozdiely v potrebe flexibility učenia. Vždy tu musí byť silná zložka učenia v schopnosti organizmu vyvinúť reprezentáciu priestorovej lokácie objektov, nakoľko je extrémne nepravdepodobné, že tieto informácie sú vrodené. Toto sa odráža v existencii a zložitosti špecifických mechanizmov učenia.

Základným zdrojom dôkazov doménovo špecifického mechanizmu učenia je výberovosť alebo to čo sme nazvali privilegium. Príklady v tejto časti sú odlišné aplikácie Rescola-Wagnerovho modelu učenia. Nastavenie parametrov môže závisieť od druhov a od domén spomedzi druhov. V tejto časti sme sa sústredili na mechanizmy učenia s jasnou reprezentatívnou zložkou, pretože sme analyzovali problém reprezentácie priestoru. Tieto sú medzi najlepšimi prípadmi na analyzovanie analógie ľudského poznania v mysli. Zistilo sa že v rovnakej doméne majú rôzne druhy rôzne mechanizmy učenia.

Hoci sme sa sústredili na doménovo špecifické obmedzenie, nepopierame existenciu ani význam doménovo všeobecného obmedzenia učenia. Niektoré všeobecné vlastnosti učenia sa dotýkajú učenia v špecifických funkčných doménach dvomi spôsobmi. Za prvé, môžu existovať všeobecné zákony učenia ako Rescola-Wagnerov zákon popisujúci prírastok v sile asociácie ako funkciu opakovaných pokusov klasického formovania, ktorá sa aplikuje na široké množstvo funkčne definovaných domén a na široké množstvo zvieracích druhov. Za druhé, niektoré funkčne definované špecifické domény sa používajú v iných takýchto doménach. Spôsob ako sa reprezentuje priestor a učenie kde sa nachádzajú objekty v priestore sa používa všeobecnejšie ako spôsob určenia taktiky pri obstarávaní potravy. Tento zmysel obecné neznamená žiadne jedinečné problémy analýzy - pokiaľ učenie a využívanie priestorového vnímania môže hrať úlohu v množstve rôznych druhov učenia.

V tejto práci sme sa pokúšali poukázať ako spojenie medzi etologickým prístupom k učeniu a štandardnej teórie učenia viedlo k hľadaniu doménovo špecifického princípu učenia. Toto všetko má dôsledky na to ako sa pristupuje k problémom vo vývoji ľudského poznania. Dá sa využiť výskumný program - identifikovanie a analyzovanie kandidátov funkčných domén a preskúmanie dôkazov pre a proti špecializovaným mechanizmom učenia v týchto kandidátoch domén: ľudský jazyk, intuitívna fyzika a intuitívna psychológia. Dá sa uvažovať o prirodzenosti doménovo všeobecného spôsobu učenia u ľudí a uvažovať či ľudia prekračujú počiatkové princípy ktoré viedli ich učenie v daných doménach.

## Literatúra:

S. Caray, R. Gelman: *The Epigenesis of Mind*.  
New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates, Publishers 1991.