

# Mozgové štruktúry a mechanizmy riadenia strategickej pozornosti

Rudolf Andoga a Norbert Kopčo

Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, FEI TU Košice

Email: [andoga@neuron.tuke.sk](mailto:andoga@neuron.tuke.sk), [kopco@bu.edu](mailto:kopco@bu.edu)

## Abstrakt

V každodennom prostredí sú zmysly človeka nepretržite vystavené množstvu zložitých, súčasne prichádzajúcich podnetov. Strategická pozornosť nám umožňuje efektívne sa orientovať v takomto prostredí, a to optimálnym výberom behaviorálne dôležitých podnetov a sústredením limitovanej kognitívnej kapacity mozgu na ich spracovanie. Cieľom tohto príspevku je poskytnúť prehľad o neurálnych štruktúrach podieľajúcich sa na riadení strategickej pozornosti s dôrazom na vizuálne, sluchové, a krosmodálne mechanizmy riadenia pozornosti. Článok taktiež sumarizuje existujúce modely strategickej pozornosti, zdôrazňuje otvorené otázky a navrhuje alternatívne hypotézy, ktoré môžu byť východiskom pre budúce experimentálne a teoretické štúdie riadenia strategickej pozornosti.

## 1. Úvod

Vnímanie a reprezentácia priestoru sú dôležitými kognitívnymi schopnosťami živých a umelých organizmov (Colby, 1999), nevyhnutnými pre plynulú orientáciu, pohyb a interakciu organizmu s okolím. Človek používa na orientáciu v priestore primárne zrak. Ale k priestorovému vnímaniu prispievajú aj ostatné zmysly (sluch, hmat atď.), a spôsob, akým si vyberáme, ktorej modalite dáme prednosť, alebo ako informácie z rôznych modalít kombinujeme, je predmetom intenzívneho výskumu.

Vnímanie a správanie sa živočíchov a človeka nezáleží len na priamej stimulácii jednotlivých sensorických orgánov, ale aj na tom, ktorým aspektom tejto stimulácie v tom ktorom momente venujeme pozornosť (Spence a Driver, 2004). Pojem „selektívna pozornosť“ popisuje procesy, ktoré nám umožňujú selektívne spracovávať niektoré z prichádzajúcich sensorických podnetov tak, aby sa informácie dôležité pre našu aktivitu, alebo podnety s veľkým biologickým významom, spracovali detailnejšie než ostatné prichádzajúce podnety.

Tradične sa výskum selektívnej pozornosti zameriaval zvlášť na jednotlivé sensorické modalitty, počnúc klasickými experimentmi študujúcimi selektívne počúvanie (Cherry, 1953; Broadbent, 1958) a pokračujúc štúdiom vizuálneho vnímania (napr. LaBerge, 1995). V reálnych prostrediach je ale veľká väčšina podnetov vnímaná multimodálne. Napríklad aj v klasickom príklade sluchovej selektívnej pozornosti – v tzv. koktail párty situácii, keď sa snažíme počúvať jednu z niekoľkých súbežných konverzácií (Cherry, 1953) máme k dispozícii nie len sluchové podnety, ale aj vizuálne podnety (napr. pohyb perí, výraz tváre a gestá hovoriaceho, na ktorého sa sústredíme). Navyše, informačná hodnota jednotlivých modalít sa môže dynamicky meniť, napr. keď sa zvýši hlučnosť v miestnosti (kedy by sme sa mali viac sústrediť na vizuálne podnety) alebo keď sa tvár hovoriaceho na chvíľu stratí (kedy sa zas musíme sústrediť na to, čo počujeme). Napriek tomu ale prevládajúci model selektívnej pozornosti sedemdesiatych a osemdesiatych

rokov 20. storočia uvažoval o každom vnemovom systéme ako o samostatnom výpočtovom prostriedku s obmedzenou kapacitou, v ktorom pozornosť slúži na riadenie pridelovania výpočtovej kapacity pre spracovanie najdôležitejšieho z prichádzajúcich podnetov. Čiže, pozornosť je špecifická pre danú vnemovú modalitu a nezávislá od ostatných modalít (napr. Treisman and Davies, 1973; Soto-Faraco and Spence, 2002).

Že sa o pozornosti nedá rozmýšľať ako o súbore nezávislých mechanizmov pracujúcich oddelene pre každú vnemovú doménu ukázali ako prví Driver a Spence (1994). Vo svojom experimente prezentovali súbežne cez dva monitory dva rôzne záznamy rozprávajúceho človeka, pričom zvuky boli prezentované v jednom meraní z reproduktorov zodpovedajúcich obrazu a v druhom meraní z navzájom vymenených reproduktorov. Úlohou subjektu bolo stále počúvať čo sa hovorí na jednom z monitorov, pričom o experimentálnej manipulácii so zámenou monitorov bol subjekt informovaný. Takže jeho úlohou v prvom meraní bolo sústrediť svoju vizuálnu aj sluchovú pozornosť na to isté miesto, zatiaľ čo v druhom meraní potreboval sústrediť vizuálnu pozornosť na jeden monitor a sluchovú pozornosť na polohu reproduktora druhého monitora. Presnosť identifikovaných slov bola v druhom meraní signifikantne nižšia než v prvom meraní, čo značí, že schopnosť človeka sústrediť svoju vizuálnu pozornosť na jedno miesto a sluchovú pozornosť na iné miesto je obmedzená a že mechanizmy strategického riadenia zrakovej a sluchovej pozornosti nie sú navzájom nezávislé.

Nasledujúce kapitoly podávajú prehľad o súčasnom stave poznatkov o priestorovom riadení endogénnej (strategickej, vedomím riadenej) selektívnej pozornosti, a o jej význame pre integráciu a interakcie medzi jednotlivými zmyslovými vnemami.

## 2. Rozdelenie pozornostných mechanizmov

Jednou z hlavných téz o pozornosti je, že pozornosť nie je jedna entita, ale súbor procesov, ktoré prebiehajú v neurálnom systéme. Tieto procesy môžu navzájom interagovať s inými procesmi v mozgu a podieľať sa tak na rôznych perцепčných, kognitívnych a motorických úlohách. Pozornosť akéhokoľvek pod systému neurálneho systému nie je možné jednotne definovať. Je možné sa na ňu pozeráť z hľadiska procesov redukcie informácii na vstupe systému, alebo ako na selektívny proces pre prácu s cieľovým objektom v prostredí s distraktormi. Je možné ju chápať ako proces vyhľadávania a v konečnom dôsledku aj selektívny klasifikačný proces, alebo ako proces tvorby konceptov (vizuálnych, senzomotorických). Pozornosť je možné rozdeliť do dvoch základných skupín a to na:

- **automatickú** pozornosť, vyvolanú podnetom z vonkajšieho prostredia, tiež nazývanú exogénnou alebo senzoricou pozornosťou. Príkladom fungovania automatickej pozornosti je ilúzia vykresľovanej čiary (Shimojo *et al.*, 2002)
- **strategickú** (vedomím riadenú, dobrovoľnú, endogénnu) pozornosť, ktorá charakterizuje proces, keď sa človek vedome rozhoduje či sa sústreďí na vonkajšie podnety, vnútorné myšlienky, alebo na iné kognitívne procesy a aktivity.

Toto rozdelenie, akceptované aj dnešnými teóriami prezentoval už James v roku 1890. Ďalšie a všeobecnejšie rozdelenie pozornostných procesov môže byť v zmysle

následovných troch komponentov: *selekcie, sledovania a riadenia*. Selekcia je zrejme zásadný a základný proces pozornosti, pričom existujú tri hlavné hypotézy o jej fungovaní. Podľa nich je selekcia založená buď na *umiestnení objektu – location based* (Cave, Pashler, 1995), na *objekte samotnom*, t.j., že je *objektovo orientovaná – object oriented*, (Duncan, 1984), alebo že je *objektovo znakovito založená – object token based* (Kanwisher, Driver, 1992). *Sledovanie* alebo udržiavaná pozornosť je dôležitým aspektom pri cielenej interakcii s objektom v prostredí, v ktorom sa nachádzajú aj rušivé objekty (distraktory). Sledovanie zaručuje, že ciele sú v čase udržiavané. *Riadenie* pozornosti je proces, pri ktorom je systém schopný zmeniť stálu pozornosť z jedného objektu na iný objekt, ktorý sa stáva novým cieľom interakcie.

Z hľadiska modelovania priestorového vnímania je dôležité poznať kedy (za akých okolností) je pozornosť založená na polohe objektu, a za akých na objekte samotnom. Taktiež je základnou otázkou ako sa zameranie priestorovej pozornosti riadi.

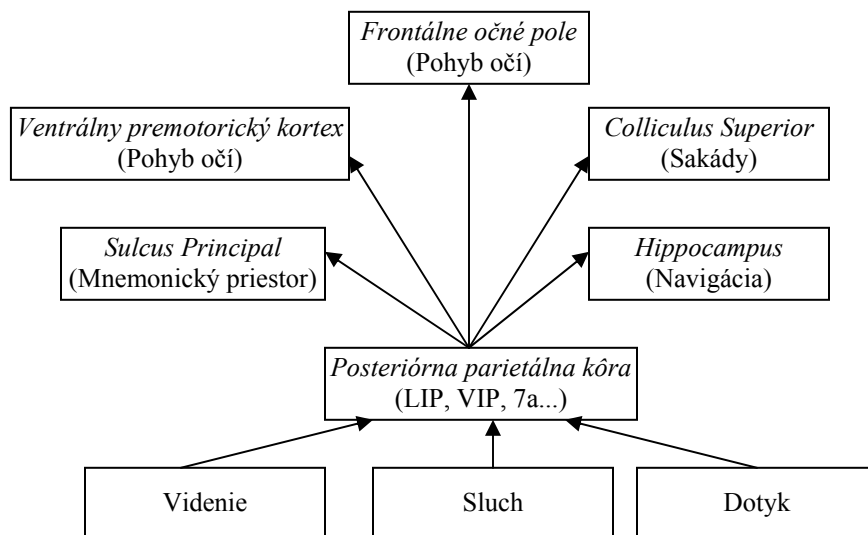
### **3. Modalita pozornostných procesov**

Množstvo každodenne vnímaných objektov a udalostí generuje pozornostné vodítka (anglicky cues), ktoré sa objavujú buď v jednej modalite, alebo nejakým stupňom pokrývajú viacero zmyslových modalít. Kapacita mozgu určená pre koordináciu rôznych sensorických signálov prichádzajúcich z jedného alebo viacerých zdrojov je základná vlastnosť, ktorá nám vo výsledku poskytuje jednotný vnem okolitého sveta. Táto koordinácia je tiež základom pre smerovanie (riadenie) pozornosti a riadenie pohybu v rámci nej. Predošlým výskumom bolo jasne preukázané, že neurálna syntéza multisenzorických vnemov môže zlepšiť pravdepodobnosť detekcie a odpovede na nejakú udalosť, ale tiež aj schopnosť identifikovať a lokalizovať danú udalosť. Na druhej strane, ak je rôznym modalitám prezentovaná konfliktná sensorická informácia, pravdepodobnosť správnej lokalizácie a identifikácie sledovanej udalosti sa môže znížiť. Na ilustráciu takejto situácie môže poslúžiť známy McGurkov efekt, ktorý ukazuje, že aj keď porozumenie počutej reči sa môže čítaním z pier značne zlepšiť, počúvanie človeka vyslovujúceho jednu hlásku a divanie sa na toho istého človeka pri vyslovovaní inej hlásky vedie k vnemu, ktorý nezodpovedá ani videnému ani počutému podnetu.

Aj keď náš primárny záujem sa sústreďuje na fungovanie pozornosti pri vizuálnom a sluchovom priestorovom vnímaní, pre pochopenie týchto interakcií je dôležité aj skúmanie interakcií s dotykovými vnemami. Neurálne systémy zodpovedné za základné spracovanie vnemov jednotlivých zmyslových modalít sú v mozgu priestorovo i funkčne oddelené. Pre behaviorálne skúmanie ich fungovania a interakcie medzi nimi sa používajú psychofyzikálne merania na ľudských subjektoch (Driver and Spence, 2000).

### **4. Neurálna báza krosmodálnych pozornostných vplyvov**

Pre identifikáciu fyziologických závislostí procesov multimodálnej pozornosti sú používané elektrofyziologické štúdie na zvieratách. Obrázok 1 ukazuje závislosti jednotlivých modalít a neuroanatomické oblasti zodpovedné za ich spracovanie.



**Obrázok 1.** Schématická reprezentácia štandardnej teórie multisenzorickej integrácie (podľa Grossa a Graziana 1995)

Oblasťou mozgu zodpovednou za spracovanie vnemov rôznych modalít je posteriórny parietálny kortex (PPC), ktorý predstavuje rozhranie medzi vnemami a následnou akciou (Critchley 1966; Mountcastle *et al.* 1975; Andersen *et al.* 1997). Experimentálne boli u neľudských primátov zistené multimodálne oblasti PPC a to, ventrálny interparietálny kortex (VIP), laterálny intraparietálny kortex (LIP), polysenzorická zóna (PZ). Neuróny v týchto oblastiach odpovedajú na stimuly rôznych modalít. Relatívne dobré je súčasné porozumenie krosmodálnym interakciám v oblastiach PZ a VIP.

Neuróny oblasti PZ sú citlivé hlavne na dotykové a vizuálne vnemy z blízkeho priestoru hlavy a hornej časti tela. Pre 95% buniek oblasti PZ platí, že ich receptívne pole pokrýva iba časti tela kontralaterálne k hemisfére, ktorú skúmame. Pre temer všetky bunky, vizuálne receptívne pole je obmedzené hĺbkou a vonkajšia vzdialenosť receptívneho poľa je v tejto oblasti obyčajne menšia ako 20 cm. Všetky pohybové smery sú reprezentované, rôzne bunky preferujú pohyb zľava, sprava, zhora, zdola a taktiež pohyb objektov oproti a od opice. Smerová preferencia pohybu vizuálnej a dotykovej modality je rovnaká pre jednotlivé neuróny pre 80% neurónov oblasti PZ.

Neuróny oblasti VIP sú bimodálne a reagujú hlavne na dotykové podnety na tvári a vizuálne podnety blízko tváre (Colby *et al.* 1993; Duhamel *et al.* 1998). Väčšina týchto buniek je, podobne ako v oblasti PZ, orientačne selektívna. Niektoré z týchto buniek odpovedajú na blízke podnety vzdialené iba pár centimetrov od tváre, iné zas aj na vzdialenejšie podnety. Podobne ako v oblasti PZ, orientačná citlivosť pre jednotlivé modalít je pre jednotlivé neuróny zhodná. Niektoré neuróny tejto oblasti sú dokonca trimodálne a reagujú aj na sluchové podnety. Odlišnosťou týchto neurónov sú rôzne súradnicové systémy, na ktoré sú ukotvené jednotlivé modalít neurónov. V oblasti PZ sú všetky neuróny ukotvené na súradnicový systém spojený s časťou tela, ktorá je reprezentovaná danými receptívnymi poľami. V oblasti VIP je zrková modalita ukotvená na súradnicový systém so stredom definovaným smerom pohľadu, čo znamená, že ak sa pohne oko, zmenia sa aj koordináty objektov vzhľadom na tento stred. Dotyková

modalita je ukotvená na tú časť tváre, ktorú pokrýva receptívne pole daného neurónu.

Z hľadiska výskumu krosmodálnych vplyvov sluchovej a vizuálnej pozornosti je dôležitá oblasť LIP. Neuróny tejto oblasti bimodálne reagujú na vizuálne a sluchové podnety, pričom táto oblasť je zodpovedná za plánovanie pohybu očí. Oblasť LIP parietálnej kôry reprezentuje prepojenie medzi vizuálnym systémom a sluchovým systémom. Problémom pri spracovaní bimodálnych vstupov sú v tomto prípade rôzne súradnicové systémy, ktoré reprezentujú priestor. Sluchová priestorová informácia je ukotvená v súradnicovej sústave definovanej stredom hlavy a polohou uší, zatiaľčo vizuálna informácia je ukotvená v súradnicovej sústave definovanej stredom oka a smerom pohľadu. Tieto dve reprezentácie sa musia zjednotiť, ak má byť výsledná reprezentácia priestoru konzistentná. Výsledky predošlého výskumu nasvedčujú, že priestorové koordináty sluchového podnetu sú prekódované do súradnicovej sústavy so ukotvenej na stred oka (Cohen a Andersen 2003).

## **5. Existujúce modely pozornosťného riadenia a možnosti ich rozšírenia**

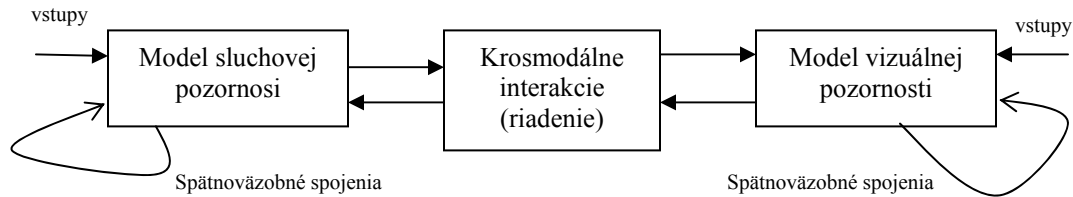
Modely krosmodálnych vplyvov riadenia pozornosti musia zahŕňať výpočtové mechanizmy reprezentácie priestorovej informácie o podnete v jednotlivých modalitách spolu s pozornosťnými a krosmodálnymi mechanizmami. Tieto mechanizmy sú najdetailnejšie popísané pre vizuálne vnímanie. Výsledky experimentálnych a teoretických prác naznačujú, že vizuálny kortex venuje podstatné procesné zdroje generovaniu 3-rozmerných reprezentácií perceptuálnych hraníc a povrchov, a špecificky generovaniu reprezentácií, ktoré dokážu separovať figúry od ich pozadia a doplniť reprezentácie čiastočne zakrytých objektov. Grossberg (1994) navrhol, že tieto reprezentácie hraníc a povrchov sú formované v prúdoch, ktoré spracúvajú informácie vo vizuálnych kortikálnych oblastiach V1 až V4. Tieto reprezentácie potom postupujú do vyšších oblastí mozgu, najmä do inferotemporálneho kortexu (IT) vo ventrálnej dráhe, kde sú kategorizované alebo zjednotené do objektových reprezentácií. Navyiac, všetky kortikálne oblasti sú navzájom prepojené späťnými väzbami a väzbami na ďalšie oblasti. Pre popis unimodálnej vizuálnej reprezentácie vrámci modelu krosmodálneho spracovania informácií je najdôležitejší popis dopredných a späťných interakcií medzi oblasťami V1 a V4. Vhodným kandidátom pre popis pozornosťného vizuálneho riadenia je Teória adaptívnej rezonancie (Grossberg 1976; Kopčo and Carpenter 2000), a špecificky model vizuálnych štruktúr založený na tejto teórii nazvaný LaminART (Grossberg 1994). Tento model navrhuje neurálne mechanizmy umožňujúce vyvíjajúcim sa kortikálnym obvodom stabilizovať sa, a to využitím vlastností ich samoorganizovaných obvodových interakcií spolu s implementáciou komplexnej dynamiky neurónov.

Alternatívnym jednoduchším modelom vizuálnej pozornosti, ktorý je možné využiť pre skúmanie krosmodálnych pozornosťných vplyvov vo vizuálnom kortexe, je model navrhnutý Andogom (2003). Tento model popisuje interakcie medzi vrstvami V1 – V4 a inferotemporálnou oblasťou (IT) pre získanie priestorovej informácie o objekte pozornosti. Model vychádza z hypotézy o objektovo orientovanej pozornosti, pričom je schopný simulovať jednak selekciu v zmysle objektovo založenej teórie a jednak proces sledovania objektov.

Na popis aktivity sluchovej dráhy môže byť použitý model periferného sluchového

systemu (Zhang et al., 2001) skombinovaný s modelom binaurálneho sluchového spracovania v mozgovom kmeni od Colbulna (1977).

Pri popise krosmodálnych interakcií je potrebné poznať mechanizmy krosmodálneho riadenia, ktoré v súčasnosti nie sú detailne preskúmané. Riadenie exogénnej pozornosti je možné popísať ako pár uzavretých spätnoväzobných slučiek, ktoré navzájom interagujú prostredníctvom riadiaceho bloku (viď Obr. 2).



**Obrázok 2.** Schématické zobrazenie štruktúry prepojenia modelov

## 6. Záver

Z uvedeného prehľadu vyplýva, že napriek jednoznačnému významu strategického riadenia priestorovej pozornosti pre každodenné správanie sa človeka, sú dnes jej mechanizmy pochopené len čiastočne, a to ako na neurofyzilogickej tak aj na behaviorálnej úrovni. Taktiež existuje len niekoľko málo výpočtových modelov, ktoré sa snažia tieto mechanizmy teoreticky popísať. Keďže podobné mechanizmy môžu byť užitočné aj pre umelé systémy, ktoré by mali byť schopné orientovať sa v priestore na základe integrácie vizuálnych a sluchových podnetov, je porozumenie riadeniu strategickej pozornosti jednou z dôležitých výziev pre kognitívnu neurovedu.

## Literatúra

- [1] Andoga R (2003) Modelovanie objektovo založenej pozornosti použitím umelých neurónových sietí. Diplomová práca. FEI TU Košice.
- [2] Broadbent DE (1958) Perception and Communication. Pergamon, Elmsford, New Jersey.
- [3] Cherry EC (1953) Some experiments upon the recognition of speech with one and two ears. Journal of the Acoustical Society of America, 25, 975-979.
- [4] Colby CL (1999) Spatial Perception. In: R. A. Wilson and F. Keil (eds.) MIT Encyclopedia of Cog. Sciences. MIT Press.
- [5] Critchley M (1966) The parietal lobes. Hafner.
- [6] Driver J a Spence Ch. (1994) Spatial sznergies between auditorz and visual attention. In Attention and performanc: conscious and nonconscious information processing (Ed. C. Umilta and M. Moscovitch), Vol. 15, pp. 311-31. MIT Press.
- [7] Grossberg S (1976). Adaptive pattern classification and universal recoding: I. parallel development and coding of neural feature detectors. Biological Cybernetics, 23:121-134.
- [8] Grossberg, S. (1980). How does a brain build a cognitive code? Psychological Review, 87, 1-51.
- [9] Grossberg, S. (1994). 3-D vision and gure-ground separation by visual cortex.

Perception and Psychophysics, 55, 48-120.

- [10] Kopčo N and GA Carpenter (2000) "Graded Signal Functions for ARTMAP Neural Networks," In Sincak et al. (Eds.) The State of the Art in Computational Intelligence (Collection of papers presented at the European Symposium on Computational Intelligence, Kosice, Slovakia, Aug 30 - Sept 1, 2000). Physica-Verlag. pp. 9-14.
- [11] Kopčo, N, A Ler, and BG Shinn-Cunningham (2001) Effect of auditory cuing on azimuthal localization accuracy. *J Acoust Soc America*, 109. p. 2377
- [12] LaBerge D (1995) Attentional processing. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- [13] Mountcastle, V. B., Lynch, J. C. G. A., Georgopoulos, A., Sakata, H., & Acuna, C. (1975). Posterior parietal association cortex of the monkey: Command functions for operations within extrapersonal space. *Journal of Neurophysiology*, 38, 871-908.
- [14] Soto-Faraco S and Spence C (2002). Modality-specific auditory and visual temporal processing deficits. *Quarterly Journal of Experimental Psychology A* 55, 23-40.
- [15] Spence Ch a Driver J, (2004) Crossmodal Space and Crossmodal Attention. Oxford University Press.
- [16] Treisman AM, Davies A (1973). Divided attention to ear and eye. In *Attention and Performance* (ed. S. Kornblum), Vol. 4, pp. 101-117. Academic Press, New York.
- [17] Shimojo, S., Miyauchi, S. and Hikosaka, O. (1992). Visual attention field can be assessed by illusory line motion sensation." *IOVS*, 33:1354.