

Dva pristopa k opredelitvi in preučevanju delovnega spomina

Two approaches to defining and studying working memory

Anka Slana Ozimič

Mind and Brain Lab, Department of Psychology, Faculty of Arts, University of Ljubljana

Aškerčeva 2

1000 Ljubljana

anka.slana@ff.uni-lj.si

POVZETEK

Prispevek se osredotoča na vidno-prostorski delovni spomin in predstavlja dva odmevnejša teoretska okvirja za preučevanje delovnega spomina: Baddeleyjev in Hitchev multikomponentni model delovnega spomina in Cowanov model vpelih procesov. Opisuje, kako modela razumeta in opredeljujeta delovni spomin, njegove komponente in vključene procese ter kakšna je vloga letih pri omejevanju njegove kapacitete. Na koncu predstavimo, kako se komponente modelov povezujejo z možganskimi sistemi.

Ključne besede

Delovni spomin, multikomponentni model, model vpelih procesov, reprezentacije, aktivno vzdrževanje.

ABSTRACT

The paper focuses on visual-spatial working memory and presents two prominent theoretical frameworks for the study of working memory: Baddeley's and Hitch's multicomponent model of working memory and Cowan's model of embedded processes. It describes how models understand and define working memory, its components, and the processes involved, and their role in limiting its capacity. In the end we present how the components of the models relate to the brain systems.

Keywords

Working memory, multicomponent model, model of embedded processes, representations, active maintenance.

1. UVOD

Delovni spomin je sposobnost vzdrževanja in aktivnega manipuliranja z informacijami potrebnih za dosego trenutnega cilja, medtem ko se pojem kratkoročnega spomina nanaša na enostavno začasno shranjevanje informacij [1]. Delovni spomin je ena izmed temeljnih kognitivnih sposobnosti, ki omogoča opravljanje vsakodnevnih aktivnosti. Visoko korelira s splošno inteligentnostjo [2] in je pogosto oškodovan pri boleznih možganov [3], njegov upad pa je značilen tudi za zdravo staranje [4]. Zaradi njegove osrednje vloge v kogniciji je raziskovanje temeljnih mehanizmov delovnega spomina izrednega pomena za razumevanje človeške kognicije.

V preteklosti se je glavnina raziskav osredotočala na verbalni delovni spomin [5], vrsto delovnega spomina, v katerem informacije hranimo v obliki besed in zvoka. To pa ni edina oblika informacij, ki jih je potrebno hraniti pri izvedbi vsakodnevnih opravil. Pogosto se zanašamo na vidne ali prostorske informacije, ki nam omogočijo vzdrževanje podob in položajev v okolju, ko le-ti niso neposredno dostopni v našem

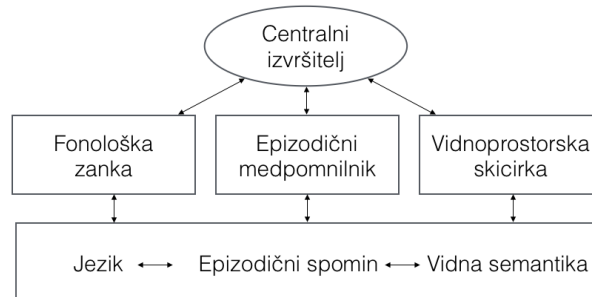
vidnem polju.

Eno izmed ključnih raziskovalnih vprašanj pri preučevanju vidno-prostorskega delovnega spomina se nanaša na mehanizme, ki so temelj njegovi omejeni kapaciteti. Raziskave kažejo, da je v vidnem delovnem spominu v danem trenutku možno vzdrževati 3–4 enote informacij [6]. V sklopu preučevanja kapacitete so aktualne številne znanstvene diskusije, npr. ali so enote omejene kapacitete vidnega delovnega spomina reprezentacije integriranih objektov ali individualnih lastnosti [7], ali omejitve izhajajo iz modalno-specifičnih shramb ali iz omejitev v procesih pozornosti [6].

Kaj omejuje kapaciteto delovnega spomina, skušajo pojasniti številni modeli, ki so se razvili v okviru kognitivne psihologije in nevroznanstvenega preučevanja in razlagajo njegovo strukturo, vključene komponente in procese. Dva izmed odmevnejših teoretskih okvirjev za preučevanje delovnega spomina sta Baddeleyjev in Hitchev [1, 8] multikomponentni model delovnega spomina in Cowanov model vpelih procesov [2].

2. MULTIKOMPONENTNI MODEL DELOVNEGA SPOMINA

Baddeley in Hitch [8] v svojem modelu delovni spomin opisujeta kot hipotetični sistem omejene kapacitete, ki omogoča začasno shrambo in manipulacijo informacij, potrebnih za izvedbo številnih kognitivnih aktivnosti. Model vključuje več komponent: "suženjske" komponente za začasno shranjevanje informacij, ki poleg shramb vključujejo procese za osveževanje informacij, in izvršilno komponento, ki aktivno upravlja z informacijami v delovnem spominu ter preko nadzora procesov pozornosti opredeljuje vnos in iznos iz shramb (Slika 1).



Slika 1: Multikomponentni model delovnega spomina. V model so vključene komponente za kratkoročno shranjevanje informacij (fonološka zanka, epizodični medpomnilnik in vidnoprostorska skicirka), ki se povezujejo z vsebinami iz dolgoročnega spomina, ter centralni izvršitelj, ki le-te nadzira in določa, katere informacije vanje vstopajo.

Sprva sta bila v model vključena dva sistema za shranjevanje informacij [8]: fonološka zanka, zadolžena za vzdrževanje informacij v fonološki obliki, in vidno-prostorska skicirka, ki hrani vidne in prostorske informacije. Baddeley in Hitch sta nadalje predvidela, da fonološka zanka sestoji iz pasivne shrambe omejene kapacitete (fonološka shramba) in aktivnega procesa za osveževanje informacij (artikulatorni kontrolni proces), ki ponovno aktivira in pomaga preprečevati propadanje spominskih sledi. Logie [9] je s preučevanjem vidno-prostorskega delovnega spomina nadgradil Baddeleyev in Hitchev model. Analogno fonološki zanki je za vidno-prostorsko skicirko predvidel, da tudi ta sestoji iz pasivne shrambe za vidne informacije (vidna shramba) in aktivnega sistema za osveževanje in prostorsko manipulacijo informacij (notranja skicirka) [9].

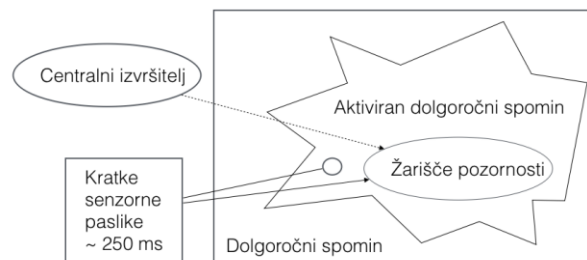
Poleg fonološke zanke in vidno-prostorske skicirke sta Baddeley in Hitch [8] v izvorni model vključila centralnega izvršitelja, ki igra vlogo nadzornika in upravlja celotni sistem ter omogoča manipulacijo z informacijami, hranjenimi v shrambah. Njegova glavna naloga je nadzor pozornosti—usmerjanje, razdeljevanje in preklapljanje pozornosti. Medtem ko imajo sistemi za shranjevanje omejeno spominsko kapaciteto, je kapaciteta centralnega izvršitelja omejena s pozornostnimi viri [1].

Četrta komponenta, epizodični medpomnilnik, je bil modelu dodan kasneje [10]. Njegova naloga je hranjenje integriranih informacij različnih modalnosti v obliki kratkih epizod in povezovanje z dolgoročnim spominom [10]. Začetna predpostavka je bila, da je shranjevanje integriranih informacij močno odvisno od pozornostnega nadzora centralnega izvršitelja, vendar so empirična spoznanja potrdila, da je epizodični medpomnilnik — v nasprotju s fonološko zanko in vidno-prostorsko skicirko, ki vsebujeta lastne mehanizme osveževanja informacij — pasivna struktura, ki ne potrebuje pozornosti centralnega izvršitelja za vzdrževanje informacij, temveč da je le-ta potrebna za obrambo pred motečimi dražljaji [1].

3. MODEL VPETIH PROCESOV

Ideja modelov stanj [11], katerih najbolj vidni predstavnik je Cowanov model vpetih procesov [2], je podati bolj splošen opis sistema delovnega spomina v okviru procesov, ki jih vključuje. Model vpetih procesov namesto sistemov za začasno shrambo in centralnih izvršilnih procesov, ki le-te nadzirajo, delovni spomin vidi kot sistem za nadzor usmerjanja pozornosti na trenutno aktivirane vsebine epizodičnega in semantičnega dolgoročnega spomina. Znotraj te perspektive je usmeritev pozornosti k notranjim reprezentacijam, ki so shranjene bodisi v dolgoročnem spominu [npr. 2, 12] bodisi vzpostavljene preko senzoričnih in motoričnih sistemov [npr. 13, 14], podlaga kratkoročnemu vzdrževanju informacij v delovnem spominu

Model vpetih procesov predpostavlja, da je delovni spomin aktivni del dolgoročnega spomina in pri tem opredeljuje dve temeljni komponenti [2]: aktiviran dolgoročni spomin in žarišče pozornosti (Slika 2). Aktiviran dolgoročni spomin predstavlja zbirko reprezentacij, ki so za omejen čas v posebej dostopnem stanju. Nima omejene kapacitete v smislu možnega števila sočasno aktiviranih reprezentacij, temveč je omejen s časom in interferenco med reprezentacijami. Druga komponenta je žarišče pozornosti, ki predstavlja podmnožico reprezentacij v aktiviranem dolgoročnem spominu. Žarišče pozornosti je na informacije usmerjeno bodisi avtomatično z orientacijskim refleksom na podlagi sprememb v okolju bodisi voljno s pomočjo centralnih izvršilnih procesov. Medtem ko so senzorne reprezentacije lahko aktivirane avtomatično, je za integracijo reprezentacij in nove povezave v delovnem spominu potrebna pozornost.



Slika 2: Model vpetih procesov. Predstavljena informacija najprej sproži kratko senzorno pasliko. Ta aktivira relevantne reprezentacije v dolgoročnem spominu (senzorne in kategorične). Nekatero od teh informacij preidejo v žarišče pozornosti bodisi zaradi avtomatičnih odzivov bodisi s pomočjo centralnih izvršilnih procesov, naravnanimi v skladu s cilji tekoče naloge.

4. PODOBNOSTI IN RAZLIKE MED MODELOMA

Čprav se modela v izhodiščih razlikujeta—multikomponentni model deli komponente glede na vsebino shranjenih informacij (jezikovne, vidno-prostorske, integrirane informacije) in vključenih procesov (shramba informacij, osveževanje informacij, aktivna manipulacija s pomočjo izvršilnih procesov), medtem ko se modeli stanj namesto na obliko informacij osredotočajo na funkcijo — sta v svojem bistvu komplementarna [9]. Oba predvidevata dva sistema, ki sta vključena v vzdrževanje informacij. En omogoča vzpostavitev in hrambo reprezentacij informacij, medtem ko drugi njihovo aktivno vzdrževanje. Multikomponentni model predvideva [1], da so reprezentacije vzpostavljene in vzdrževane v spominskih shrambah “suženjskih” komponent za shranjevanje informacij (fonološka shramba, vidna shramba) in da je njihovo aktivno vzdrževanje omogočeno preko procesov osveževanja (npr. artikulatorni kontrolni proces, notranja skicirka) ter s pomočjo centralnih izvršilnih procesov, ki aktivno obdelujejo informacije v teh shrambah [15]. V modelu vpetih procesov [2] kot v modelih stanj v splošnem [11] so reprezentacije vzpostavljene bodisi znotraj sistemov za dolgoročni spomin bodisi znotraj senzoričnih in motoričnih sistemov, medtem ko centralni izvršilni procesi omogočajo njihovo aktivno vzdrževanje v žarišču pozornosti.

Oba modela torej kažeta na pomembnost obeh vključenih sistemov, razlikujeta pa se po tem, kako razumeta vlogo obeh sistemov pri omejevanju kapacitete delovnega spomina. Multikomponentni model delovnega spomina omejeno kapaciteto razume kot emergentni pojav delovanja več komponent [9]. Čprav centralni izvršitelj nima omejene spominske kapacitete za hranjenje informacij, je omejen s pozornostnimi viri. Sistemi za shranjevanje informacij so na drugi strani omejeni s tem, koliko informacij lahko v njih shranimo. Tako za fonološko zanko kot vidno-prostorsko skicirko je značilen propad reprezentacij s časom (približno dve sekundi), če te niso ustrezno osvežene. Model predpostavlja, da ima fonološka shramba omejeno spominsko kapaciteto [2], proces osveževanja pa nima omejitve v smislu števila enot, ki jih lahko artikulira, temveč lahko vsebine osvežuje, dokler so te dostopne v shrambi. Analogno fonološki zanki, Logie [9] za vidno-prostorsko skicirko predpostavlja, da je vsebina vidne shrambe omejena z vidno kompleksnostjo reprezentacij (število dražljajev v naboru, številom celic v vidni matriki), ki propadejo, če vsebine niso osvežene s pomočjo notranje skicirke, katere kapaciteta je omejena z dolžino niza informacij (npr. položajev), ki ga beleži [9].

Modeli stanj [2, 11] na drugi strani predvidevajo, da omejitve kapacitete delovnega spomina primarno izhajajo iz omejene

kapacitete žarišča pozornosti. Centralni izvršitelj omogoča aktivno vzdrževanje v žarišču pozornosti samo za omejeno število reprezentacij v aktiviranem dolgoročnem spominu. Čeprav ima le-ta neomejeno spominsko kapaciteto, je aktivacija relevantnih reprezentacij v aktiviranem dolgoročnem spominu omejena s časom in z interferenco [2].

5. MODELA V POVEZAVI Z MOŽGANSKIMI SISTEMI

Čeprav sta predstavljena modela mišljena kot konceptualni opis strukture in procesov delovnega spomina in njun namen ni preslikava komponent na možganske sisteme, sta skladna s spoznanji nevrofizioloških raziskav, ki kažejo, da imajo posteriorna in prefrontalna področja možganske skorje različno vlogo pri kratkoročnem vzdrževanju vidno-prostorskih informacij [16]. Študije kažejo, da so posteriorna področja možganske skorje tista, ki so vključena pri vzpostavljanju in/ali kratkoročnem shranjevanju vidnih oz. prostorskih reprezentacij [17], medtem ko prefrontalne regije nadzirajo usmerjanje pozornosti za njihovo aktivno vzdrževanje [18]. Vloga prefrontalnih področij se tako sklada s Cowanovimi izvršilnimi procesi, ki nadzirajo, kaj je v žarišču pozornosti, in Baddeleyevimi sistemi osveževanja, ki ohranjajo in reciklirajo vsebino iz shramb, ter centralnim izvršiteljem, ki skrbi za nadzor vsebin v shrambah. Posteriorne regije se v okviru Cowanovega modela povezujejo tako z aktiviranim dolgoročnim spomin kot tudi žariščem pozornosti [2], medtem ko se v okviru multikomponentnega modela posteriorne regije povezujejo z vsebino v komponentno-specifičnih shrambah, vključno z epizodičnim medpomnilnikom [1].

Model vpetih procesov predpostavlja, da v delovnem spominu vzdržujemo aktivirane vsebine iz dolgoročnega spomina in vsebine, vzpostavljene preko senzoričnih in motoričnih sistemov, medtem ko multikomponentni model predvideva, da je sensorika ločena od reprezentacij v shrambah. Novejše študije kažejo [za pregled glej 15], da področja za shranjevanje v posteriornih regijah niso edinstvena delovnemu spominu, temveč temeljijo na istih mehanizmih, ki so vključeni v reprezentacije informacij v zaznavi [19, 20], kar se sklada z modelom vpetih procesov in ugotovitvijo, da tako zaznava kot kratkoročno ter dolgoročno shranjevanje informacij temelji na delovanju istih anatomskih regij [19].

6. ZAKLJUČEK

Ideja modelov delovnega spomina je torej hipotetični prikaz njegove strukture in delovanja. Čeprav modela uspešno pojasnita mnoge kognitivne pojave, povezane s kratkoročnim shranjevanjem informacij in njihovo aktivno manipulacijo ter se v mnogih vidikih smiselno povezujejo z delovanjem možganov, njun namen ni pojasniti vseh njegovih vidikov. Razumemo vpeti njihov namen kot delovno platformo, ki jo je v skladu z empiričnimi spoznanji potrebno razvijati naprej.

7. OPOMBA AVTORJEV

Prispevek je nastal v okviru raziskovalnega projekta J3-9264 in raziskovalnega programa P5-0110, ki ga je sofinancirala Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije iz državnega proračuna.

8. LITERATURA

[1] Baddeley, A. (2012). Working memory: theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*, 63, 1–29. DOI= <http://doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100422>

- [2] Cowan, N. (2005). *Working Memory Capacity*. Hove, East Sussex, UK: Psychology Press.
- [3] Goldman-Rakic, P. S. (1994). Working memory dysfunction in schizophrenia. *The Journal of neuropsychiatry and clinical neurosciences*, 6(4):348–357.
- [4] Park, D. C. & Festini, S. B. (2017). Theories of Memory and Aging: A Look at the Past and a Glimpse of the Future. *The Journals of Gerontology Series B, Psychological Sciences and Social Sciences*, 72(1), 82–90. DOI= <http://doi.org/10.1093/geronb/gbw066>
- [5] Repovš, G. & Baddeley, A. (2006). The multi-component model of working memory: explorations in experimental cognitive psychology. *Neuroscience*, 139(1), 5–21. DOI= <http://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2005.12.061>
- [6] Cowan, N. (2010). The Magical Mystery Four: How is Working Memory Capacity Limited, and Why? *Current Directions in Psychological Science*, 19(1), 51–57. DOI= <http://doi.org/10.1177/0963721409359277>
- [7] Schneegans, S. & Bays, P. M. (2019). New perspectives on binding in visual working memory. *British Journal of Psychology*, 110(2), 207–244. DOI= <https://doi.org/10.1111/bjop.12345>
- [8] Baddeley, A. D. & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. Bower (Ed.), *Recent advances in learning and motivation*, Vol.8 (pp. 47–90). New York: Academic Press.
- [9] Logie, R. H. (2011). The Functional Organization and Capacity Limits of Working Memory. *Current Directions in Psychological Science*, 20(4), 240–245. DOI= <http://doi.org/10.1177/0963721411415340>
- [10] Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417–423.
- [11] D'Esposito, M. & Postle, B. R. (2015). The cognitive neuroscience of working memory. *Annual Review of Psychology*, 66, 115–142. DOI= <http://doi.org/10.1146/annurev-psych-010814-015031>
- [12] Oberauer, K. (2009). Design for a Working Memory. In *The Psychology of Learning and Motivation* (Vol.51, pp. 45–100). Elsevier.
- [13] Magnussen, S. (2000). Low-level memory processes in vision. *Trends in Neurosciences*, 23(6), 247–251. DOI= [http://doi.org/10.1016/s0166-2236\(00\)01569-1](http://doi.org/10.1016/s0166-2236(00)01569-1)
- [14] Zaksas, D., Bisley, J. W. in Pasternak, T. (2001). Motion information is spatially localized in a visual working-memory task. *Journal of Neurophysiology*, 86(2), 912–921. DOI= <http://doi.org/10.1152/jn.2001.86.2.912>
- [15] Nee, D. E., Brown, J. W., Askren, M. K., Berman, M. G., Demiralp, E., Krawitz, A. & Jonides, J. (2012). A meta-analysis of executive components of working memory. *Cerebral cortex*, 23(2), 264–282. DOI= <http://doi.org/10.1093/cercor/bhs007>
- [16] Riggall, A. C. & Postle, B. R. (2012). The relationship between working memory storage and elevated activity as measured with functional magnetic resonance imaging. *The Journal of neuroscience*, 32(38), 12990–12998. DOI= <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1892-12.2012>
- [17] Bettencourt, K. C. & Xu, Y. (2016). Decoding the content of visual short-term memory under distraction in occipital and parietal areas. *Nature Neuroscience*, 19(1), 150–157. DOI= <http://doi.org/10.1038/nn.4174>
- [18] Eriksson, J., Vogel, E. K., Lansner, A., Bergström, F. & Nyberg, L. (2015). *Neurocognitive Architecture of Working*

Memory. *Neuron*, 88(1), 33–46. DOI=
<http://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.09.020>

[19] Jonides J., Lewis R. L., Nee D. E., Lustig C. A., Berman M. G. in Moore K. S. (2008). The mind and brain of short-term memory. *Annu Rev Psychol.* 59, 193–224. DOI=
<http://doi.org/10.1146/annurev.psych.59.103006.093615>

[20] Postle B. R. (2006). Working memory as an emergent property of the mind and brain. *Neuroscience.* 139, 23–38. DOI=
<http://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2005.06.005>