

ODLIŠNOSTI V UŽÍVÁNÍ REFERENČNÍCH RÁMCŮ BĚHEM ORIENTACE V 3D PROSTORU¹

Michal Vavrečka (Biodat) & Lenka Lhotská (Katedra kybernetiky, Fakulta elektrotechnická ČVUT, Praha, Česká republika)

Abstract. We analyzed the behavioral data from the experiment focused on navigation in an egocentric or an allocentric reference frame in a 3D environment. The experimental sample consisted of participants who natively adopt egocentric reference frame in both planes (24 %), participants who natively adopt the allocentric frame in both planes (21 %) and participants who used an egocentric frame in horizontal navigation and an allocentric frame in vertical navigation (11 %). There was also difference in the error rate between horizontal and vertical plane for specific groups. The research also revealed some weak points of the virtual tunnel task, associated with the response area beyond the sensory horizon.

Úvod

V klasickém modelu Baddeleye a Hitchce (1974) byla vizuální a prostorová informace zpracovávána v jednom systému nazývaném vizuálně-prostorový náčrtník. Současné studie však poukazují na fakt, že tato část pracovní paměti je složena ze dvou specializovaných systémů – vizuálního a prostorového. Podle informací, které zpracovávají, byly nazvány *what* a *where* dráha (Ungerleider & Mishkin, 1982). *Where* dráha se v některých publikacích nazývá dorzální a je zodpovědná za reprezentaci polohy objektů v prostoru a vykonávání akcí.

Z hlediska orientace v prostoru patří mezi základní schopnosti užívání rozdílných referenčních rámců, které nám umožňují vytvářet mentální představy z různých perspektiv a hovořit o prostorovém umístění objektů v závislosti na těchto představách. V literatuře zabývající se prostorovou kognicí jsou referenční rámce reprezentovány jako soustava ortogonálních os, jejichž centrem je retina, hlava, tělo nebo další body, objekty či pole v prostoru (Colby & Goldberg, 1999). Carlson-Radvansky a Irwin, (1993) zjistili, že použití referenčních rámců je simultánně aktivované a také automatické (Carlson-Radvansky & Logan, 1997). Díky rozličným úlohám může jedinec pro reprezentaci prostoru volit z několika referenčních systémů. V případě uvažování o prostorových vztazích navrhuje Levinson (1996) tři druhy referenčních rámců:

Intrinsic (objektový) rámec – souřadný systém je orientován podle referenčního objektu – např. talíř je před chlapcem, talíř je za chlapcem.

¹ Tento projekt byl financován z výzkumného záměru MSM 6840770012 a grantu GAČR číslo P407/11/P696.

Relativní (vzhledem k pozorovateli/centru deixie) rámeček – souřadný systém je umístěn mimo objekt, který je popisován. Jedná se o centrum deixie (počátku souřadného systému), které může umísťovat pozorovatel na libovolný objekt sledované scény, tedy i do centra senzoru – např. chlapec je před talířem, chlapec je za talířem, ale i talíř je přede mnou, talíř je vedle mě.

Absolutní (vzhledem k prostředí) rámeček – jsou používány univerzální fixní souřadné systémy, které lze objektivizovat – např. chlapec je na sever od talíře, chlapec je nad talířem.

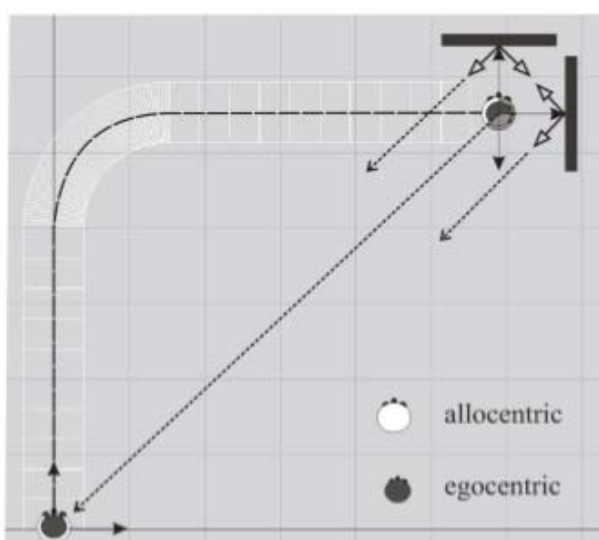
Odlišné rozdělení souřadných systémů provedli Howard a Templeton (1966), kteří postulovali egocentrický a allocentrický referenční rámeček. V egocentrickém rámečku je pozice objektů kódována k tělu nebo příslušné části těla pozorovatele. Prostorová poloha může být také kódována v objektových souřadnicích nezávislých na pozorovateli. Tento referenční rámeček se nazývá allocentrický.

V minulosti byly pro výzkum referenčních rámců využívány statické stimuly (Galati et al., 2010), ale rozvoj výpočetní techniky umožnil zvýšení ekologické validity výzkumu pomocí prezentace dynamických stimulů. Schönebeck et al. (2001) administroval experiment v prostředí virtuální reality sestávající z průchodu tunelem obsahujícím rovné a zahnuté pasáže. Gramann et al. (2005) použili zmíněnou metodologii a zaměřili se na rozdíly v přesnosti navigace mezi účastníky využívajícími allocentrický a egocentrický referenční rámeček, ale nezjistili žádné rozdíly mezi těmito dvěma strategiemi. V současnosti se objevují studie, které studují použití referenčních rámců v 3D prostředí, například v kosmu (Friederici & Levelt, 1990), kde je působení gravitačních sil odlišné od pozemských podmínek. Podle výsledků se ZO přizpůsobily podmínkám a vytvářely si referenční rámečky pro vnímání prostoru podle polohy hlavy a centra retiny, což hovoří ve prospěch naučených schémat a rigidního způsobu vnímání gravitační síly. Vidal et al. (2004) provedli experiment v 3D virtuálním prostředí a došli k závěru, že zkoumané osoby dosahují nejmenší chybovosti při *pozemní* navigaci (hlava se otáčí pouze ve vodorovné rovině), poté *podvodní* navigaci (hlava se otáčí v horizontální i vertikální rovině) a největší chybovosti v *beztížné* navigaci (komplexní rotace hlavy). *Pozemní* navigace je podobná allocentrické strategii při orientaci ve vertikální rovině a *podvodní* navigace odpovídá egocentrické strategii ve svislé rovině. V následujícím měření (Vidal et al., 2006) měřili také vliv působení gravitace pomocí polohování zkoumaných osob a detekovali vliv působení gravitační síly na odhad zakřivení tunelů. Chybovost kolísala při prezentaci tunelů vedoucích dolů, což výzkumníci interpretovali jako efekt pocitu padání při těchto stimulacích. Efekt byl prokázán i v případě měření v poloze vleže, při směru působení gravitace není rovnoběžný s tělesnou osou.

V návaznosti na předchozí studie je prezentovaný experiment založen na navigaci ve 3D virtuálním tunelu, přičemž nás zajímá: a) jaký referenční rámeček subjekty používají pro navigaci v horizontální a vertikální rovině, b) zda jsou odpovědi konzistentní při použití dané strategie, c) zda existuje vztah mezi mírou chybovosti a použitím daného referenčního rámečku, d) prokážeme vliv působení gravitace na chybovost u vertikálních tunelů.

Metoda

Experiment sestával z prezentace 20 průchodů virtuálním tunelem. Tunely jsou tvořeny rovným, zahnutým a následně opět rovným úsekem, přičemž délka průchodu jednotlivými úseky byla konstantní (10s rovné úseky a 6s úsek zahnutý). Zahnutí tunelu se lišilo v rozmezí od 150 do 90 stupňů s intervalem 15 stupňů. Pro každý ze 4 směrů (vlevo, vpravo, nahoru, dolů) subjekt procházel pěti tunely s různou mírou zahnutí. Subjekt byl instruován, že se jedná o úlohu týkající se orientace v prostoru, ale nebyla mu nucena navigační strategie. Po průchodu virtuálním tunelem vybírá jednu z dvojice šipek, která dle jeho názoru ukazuje k místu v tunelu, odkud svůj průchod začal. Každá z dvojice šipek znamená správnou odpověď pro daný referenční rámec, z čehož je možné odvodit použitou strategii.

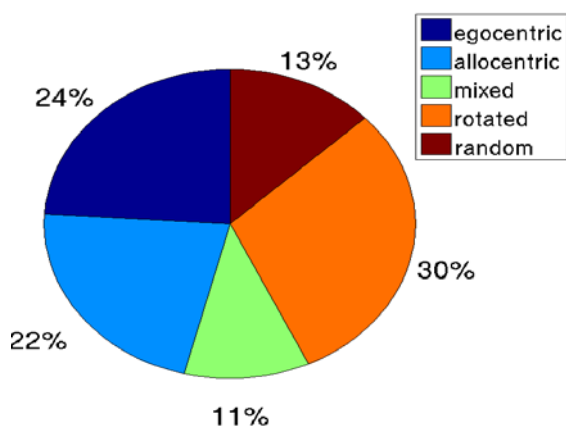


Obr. 1. Rozdíl mezi egocentrickým a allocentrickým referenčním rámcem. Na začátku tunelu jsou oba systémy identické, na konci je egocentrický posunut o hodnotu otočení hlavy při průchodu tunelem (allocentrický zůstává fixní), která odpovídá rozdílu mezi dvěma šipkami prezentovanými na obrazovce po ukončení průchodu.

Po prezentaci byly vyhodnoceny odpovědi subjektu a podle nich určeno, který z referenčních rámců během navigace používá. Jestliže se odpovědi shodovaly alespoň v 80 procentech s jedním z referenčních rámců (16 odpovědí z 20), byl subjekt posuzován jako reprezentativní uživatel daného referenčního rámce. Každý účastník navíc podstoupil rozhovor, ve kterém byla upřesněna jeho strategie při navigaci. Experimentální vzorek se skládal z 38 účastníků (7 žen a 31 mužů). Průměrný věk byl 28,8 roků. Malá velikost výzkumného vzorku je dána hlavním záměrem experimentu, spočívající v měření EEG aktivity a následné analýze těchto dat (Vavrečka & Lhotská, 2011).

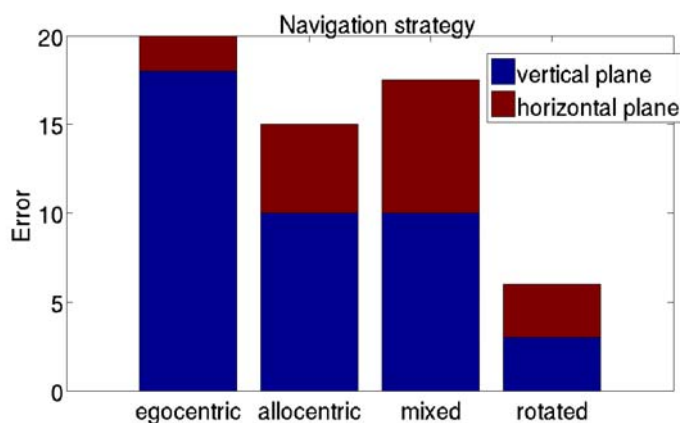
Výsledky

Oproti předchozím experimentům administrovaným pouze v horizontální rovině (Schönebeck et al., 2001; Gramann et al., 2005) vytvářeli účastníci v 3D prostředí nové způsoby navigace. Jelikož nás zajímal nativní způsob řešení úlohy, nebyl použit pretest, což vedlo k vyřazení 13 % účastníků, kteří volili orientační strategii náhodně, z další analýzy. 30 % účastníků provádělo (přestože to nebylo v instrukci) systematicky na konci tunelu rotaci o 180°, proto jsme je hodnotili jako samostatnou skupinu. Egocentrický rámec používalo 24 % účastníků a 22 % rámec allocentrický. Poslední skupina účastníků (11 %) používala v horizontálním směru egocentrický rámec a ve vertikálním směru rámec allocentrický.



Obr. 2. Porovnání strategií použitých při řešení úlohy.

Proto jsme následnou analýzu použili místo dvou skupin (egocentrický/allocentrický rámec) všechny čtyři. Kromě skupiny rotující v představách svou polohu, vykazovaly zbylé skupiny ve vertikální rovině nárůst chybovosti. Největší rozdíl byl prokázán u lidí používajících egocentrický rámec (18 % ve vertikálních tunelech oproti 2 % v tunelech horizontálních, následovala skupina navigující se egocentricky pouze ve vertikálních tunelech (10 % chyb ve vertikálních oproti 7,5 % v horizontálních tunelech) a poté skupina užívající allocentrický rámec (10 % chyb ve vertikálních a 5 % v horizontálních tunelech). Skupina rotující v představě svou polohu byla stejně efektivní v horizontální i vertikální rovině (chybovost 3 %). všechny skupiny v průměru dosahovaly větší chybovosti ve vertikálních tunelech (10 %) oproti horizontální navigaci (4 %).



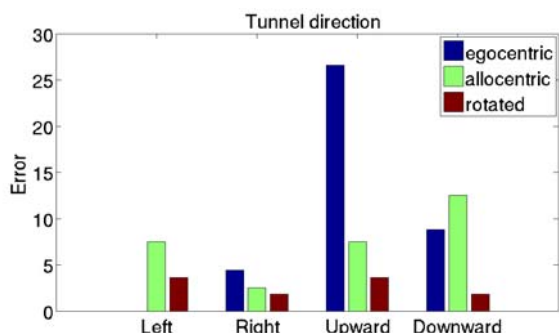
Obr. 3. Porovnání chybovosti pro navigaci v horizontální a vertikální rovině pro jednotlivé strategie

Diskuze

Analýza behaviorálních dat prokázala, že navigace ve vertikální rovině je pro participanty obtížnější. Důvodem je novost podnětů, popřípadě konflikt vestibulární a vizuální informace. K podobným závěrům dochází ve svých experimentech Vidal et al. (2004). Probandi si ve vertikální rovině představovali tělo ve vzpřímené poloze, a proto nepoužívali egocentrický rámeček. Na druhou stranu nepoužíval nikdo z účastníků allocentrický rámeček v horizontální rovině a egocentrický rámeček (odpovídající *podvodní* navigaci) ve vertikální rovině. Naše výsledky potvrdily některé předpoklady nastíněné Vidalem (2006), poukazující na větší chybovost subjektů při navigaci ve vertikální rovině. Navíc se nám podařilo zjistit, že počet chyb je největší v případě, že účastník nativně používá egocentrický rámeček v horizontální i vertikální rovině. Tyto výsledky mohou souviset s polohou hlavy na konci vertikálních tunelů, která je v případě egocentrického rámečku v konfliktu s informací z vestibulárního aparátu a může být zdrojem chybných odpovědí.

Největším překvapením jsou výsledky pro skupinu, která na konci tunelu prováděla mentální rotaci. Jejich chybovost je nejmenší ze všech skupin a navíc je jejich strategie stejně efektivní v horizontální i vertikální rovině. Intuitivně bychom očekávali opačné výsledky, jelikož provedení mentální rotace vyžaduje dodatečný kognitivní výkon a mělo by tedy přispívat k větší chybovosti (což se nepotvrdilo). Důvodem může být například povaha úlohy, kdy účastník vybírá šipky, které míří za jeho senzorický horizont, což může být z hlediska orientace v prostoru obtížné (Brom, ústní sdělení). Provedením mentální rotace dokážeme převést reprezentaci prostoru do podoby, kdy ji lze řešit v rámci senzorického horizontu. Tuto hypotézu bude nutné potvrdit dalším testováním.

Abychom zjistili efekt působení gravitace na chybovost, provedli jsme analýzu pro jednotlivé směry zahnutí tunelu a jednotlivé strategie řešení (Obr. 4.). Jak je z výsledku patrné, největší chybovosti dosahovali účastníci používající egocentrický rámeček v tunelech zahnutých vzhůru. Vidal et al., (2006), kteří prováděli měření pouze egocentrické strategie, docházejí k opačnému závěru. Vliv pocitu pádu způsobil větší chybovost pro tunely zahnuté směrem dolů. Tento výsledek byl v našem případě potvrzen pouze pro allocentrickou strategii. Rozdíly ve výsledcích lze interpretovat různými způsoby. V případě Vidala experimentu byli účastníci nuceni používat pouze jednu strategii, přičemž nativně mohli úlohu řešit odlišným způsobem a poté ji převádět do egocentrického rámečku. Abychom ovšem dokázali spolehlivě odpovědět co způsobuje rozdílné výsledky, museli bychom provést novou studii, ve které by účastníci používali odlišné referenční rámečky, jako v případě našeho experimentu, a zároveň by byla měřena přesná úhlová odchylka odpovědí a také by byla měněna poloha účastníků, jako v případě výzkumů Vidala et al. (2006).



Obr. 4. Detailní analýza chybovosti navigace pro jednotlivé směry a strategie.

Závěr

Experiment sestávající z navigace v 3D prostředí zkoumající nativní navigační strategie prokázal, že účastníci nepoužívají konzistentně jeden referenční rámec. Probandi používající egocentrický rámec v horizontální rovině mohou ve vertikální rovině používat jak egocentrický (*pozemský*) rámec tak allocentrický (*podvodní*) rámec. Výzkum zároveň odhalil některé slabé místa virtuální navigace v tunelu, související s řešením úlohy mimo senzorický horizont. V dalším výzkumu se zaměříme na přesnější identifikaci některých strategií a odhalení příčin rozdílné chybovosti pro jednotlivé strategie.

Bibliografie

- BADDELEY, A. D. & HITCH, G. (1974). Working memory. In BOWER, G. H. (ed.) *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory*. 8:47–89. New York: Academic Press.
- BROM, C. (ústní sdělení, září 2011). MFF UK, Praha.
- CARLSON-RADVANSKY, L. A. & IRWIN, D. E. (1993). Frames of reference in vision and language: Where is above? *Cognition* 46:223–244.
- CARLSON-RADVANSKY, L. A. & Logan, G. D. (1997). The influence of functional relations on spatial template construction. *Journal of Memory & Language* 37:411–437.
- COLBY, C. L. & GOLDBERG, M. E. (1999). Space and attention in parietal cortex. *Annual Review of Neuroscience* 22:319–349.
- FRIEDERICI, A. D. & LEVELT, W. J. M. (1990). Spatial reference in weightlessness: Perceptual factors and mental representations. *Perception & Psychophysics* 47:253–266.
- GALATI, G. & PELLE, G. & BERTHOZ, A. & COMMITTERI, G. (2010). Multiple reference frames used by the human brain for spatial perception and memory. *Experimental Brain Research* 206 (2):109–120.
- GRAMANN, K. & MÜLLER, H. J. & EICK, E. & SCHÖNEBECK, B. (2005). Empirical evidence for separable spatial representations in a virtual navigation task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 31:1199–1223.
- HOWARD, I. P. & TEMPLETON, W. B. (1966). *Human Spatial Orientation*. London: Wiley.
- LEVINSON, S. C. (1996). Frames of reference and Molyneux's question: Crosslinguistic evidence. In BLOOM, P. et al. (ed.) *Language and Space*. Cambridge, MA: MIT Press. 109–170.
- SCHÖNEBECK, B. & THANHAUSER, J. & DEBUS, G. (2001). *Die Tunnelaufgabe: eine Methode zur Untersuchung rumlicher Orientierungsleistungen* 48, 339–364.
- UNGERLEIDER, L. G. & MISHKIN, M. (1982). Two cortical visual systems. In INGLE, D. J. & GOODALE, M. A. & MANSFIELD, R. J. W. (eds.) *Analysis of Visual Behaviour*. Cambridge, MA: MIT Press. 549–586.
- VAVREČKA, M. & LHOTSKÁ, L. (2011). EEG analysis of the navigation strategies in a 3D tunnel task. *Proceedings of International Conference on Neural Information Processing*.
- VIDAL, M. & AMORIM, M.-A. & BERTHOZ, A. (2004). Navigating in a virtual three-dimensional maze: How do egocentric and allocentric reference frames interact? *Cognitive Brain Research* 19 (3):244–258.