

Odlíšnosti v užívání referenčních rámců během orientace v 3D prostoru

Úvod

V klasickém modelu Baddeleye a Hitcha (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 a 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:

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

Relativní (vzhledem k pozorovateli/centru deixie) rámec - souřadný systém je umístěn mimo objekt, který je popisován. Jedná se o centrum deixie (počátku souřadného systému), které může umisťovat 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) rámec - jsou používány univerzální fixní souřadné systémy, které lze objektivizovat - např. chlapec je na sever od talíře, chlapec je nad talířem.

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

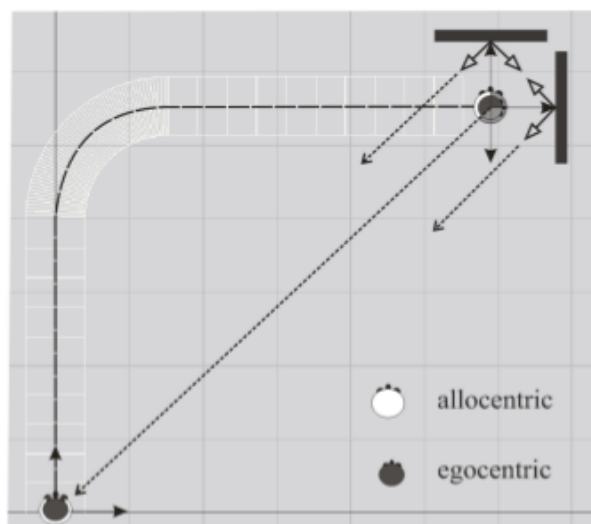
V minulosti byly pro výzkum referenčních rámců využívány statické stimuly (Galati, 2010), ale rozvoj výpočetní techniky umožnil zvýšení ekologické validity výzkumu pomocí prezentace dynamických stimulů. Schönebeck et al. (2001) administroval experiment v prostředí virtuální reality sestávající z průchodu 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 rámec, 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 a Levelt, 1990), kde je působení gravitační sil odlišné od pozemských podmínek. Podle výsledků se ZO přizpůsobily podmínkám a vytvářely si referenční rámce 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 *beztlížné* 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 směr 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 rámec 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 rámce, 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.

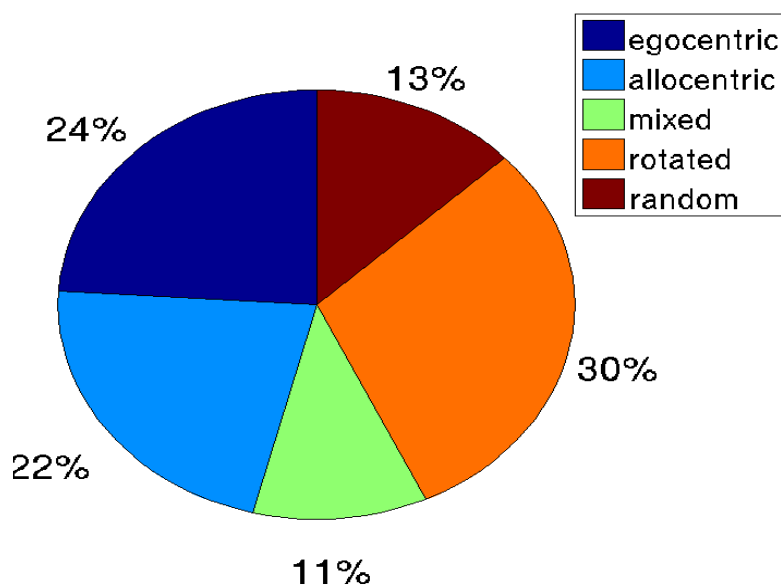


Obr.1. Rozdíl mezi egocentrickým a allocentrickým referenčním rámcem. Na začátku tunelu jsou oba systémy identické, na konci je egocentrický posunut o hodnotu otočení hlavy při průchodu tunelem (allocentrický zůstává fixní), která odpovídá rozdílu mezi dvěma šípkami prezentovanými na obrazovce po ukončení 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 rok. Malá velikost výzkumného vzorku je dána hlavním záměrem experimentu, spočívající v měření EEG aktivity a následné analýze těchto dat (Vavrečka, Lhotská, 2011).

Výsledky

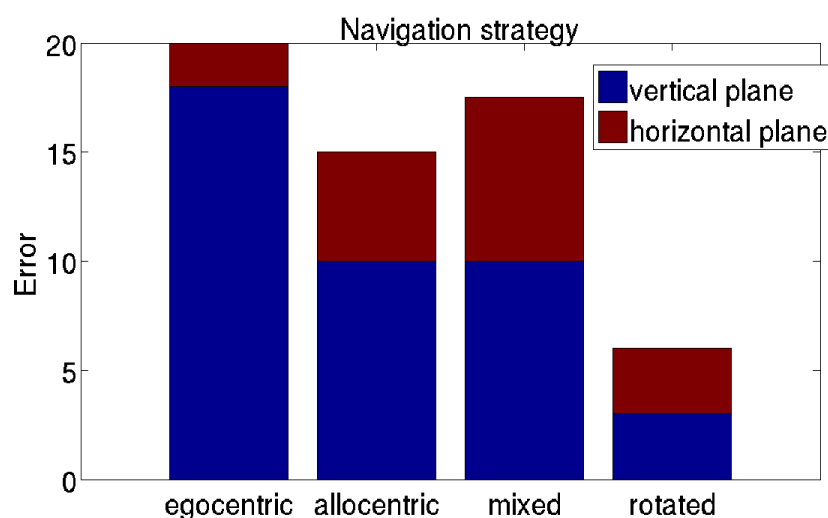
Oproti předchozím experimentům administrovaným pouze v horizontální rovině (Schönebeck, 2001; Gramann et al, 2005) vytvářeli participant v 3D prostředí nové způsoby navigace. Jelikož nás zajímalo nativní způsob řešení úlohy, nebyl použit pretest, což vedlo k vyřazení 13% účastníků, kteří volili orientační strategii náhodně, z další analýzy. 30% participantů 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 chybovosti během navigace 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

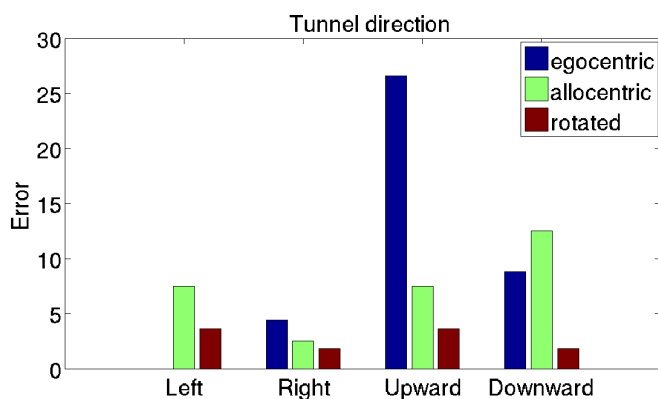
Diskuze

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 vertikálních rovině představovali tělo ve vzpřímené poloze a proto nepoužívali egocentrický rámec. Na druhou stranu nepoužíval nikdo z participantů allocentrický rámec v horizontální rovině a egocentrický rámec (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 participant nativně používá egocentrický rámec v horizontální i vertikální rovině. Tyto výsledky mohou souviset s polohou hlavy na konci vertikálních tunelů, která je v případě egocentrického rámce 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 participant vybírá šipky, které míří za jeho sensorický 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 sensorického 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 participanti používající egocentrický rámec 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 Vidalova experimentu byli účastníci nuceni používat pouze jednu strategii, přičemž nativně mohli úlohu řešit odlišným

způsobem a poté ji převádět do egocentrického rámce. Abychom ovšem dokázali spolehlivě odpovědět co způsobuje rozdílné výsledky, museli bychom provést novou studii, ve které by participanti používali odlišné referenční rámce, jako v případě našeho experimentu, a zároveň by byla měřena přesná úhlová odchylka odpovědí a také by byla měněna poloha participantů, 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 participanti 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.

Poděkování

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

Literatura

- Baddeley, A.D., Hitch, G. (1974). Working memory. In G.H. Bower (Ed.), The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory, volume 8, pages 47-89). New York: Academic Press.
- Brom, C., (ústní sdělení), MFF UK, Praha, září 2011
- Carlson-Radvansky, L.A., Irwin, D.E. (1993). Frames of reference in vision and language: Where is above? *Cognition*, 46:223-244.
- Carson-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*, 22:319-49.
- Friederici, A.D., Levitt, 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. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 31,1199–1223.

Howard, I.P., Templeton, W.B. (1966). *Human spatial orientation*. Wiley, London

Levinson, S.C. (1996). Frames of Reference and Molyneux's Question: Crosslinguistic Evidence. In: *Language and Space*. P. Bloom, et al. Cambridge, MA, MIT Press: 109–170.

Schönebeck, B., Thanhauser, J., Debus, G. (2001). Die Tunnelaufgabe: eine Methode zur Untersuchung räumlicher Orientierungsleistungen 48, 339364

Ungerleider, L.G., Mishkin, M. (1982). Two cortical visual systems. In D. J. Ingle, M.A. Goodale, & R. J. W. Mansfield (Eds.), *Analysis of visual behaviour* (pp. 549-586). Cambridge, MA: MIT Press.

Vavrečka, M., Lhotská, L., (2011). EEG analysis of the navigation strategies in a 3D tunnel task. *Proceedings of International Conference on Neural Information Processing*