

# EEG aktivita při navigaci v prostoru pomocí referenčních rámců

Michal Vavrečka

Fakulta elektrotechniky, ČVUT  
Karlovo náměstí 13, Praha  
vavrecka(at)fel.cvut.cz

## Abstrakt

V příspěvku se zabývám popisem a analýzou experimentu, který sestával z měření EEG aktivity subjektů během navigace ve virtuálním tunelu a následné analýze signálu vedoucí k detekci rozdílu u skupin používajících rozdílné referenční rámce. Výzkum byl zaměřen na zkoumání rozdílů mezi allocentrickým a egocentrickým rámcem, lišících se umístěním počátku (centra deixie) souřadnému systému při reprezentaci polohy v prostoru. Naměřený signál byl dekomponován na jednotlivé příznaky a následně pomocí neuronových sítí a dalších algoritmů pro kategorizaci identifikovány příznaky a mozkové oblasti, pomocí kterých můžeme nejlépe rozlišit mezi oběma typy užitých rámců. Výsledky prokázaly rozdíly při užití odlišného rámce v Brodmannově oblasti 32, ve shodě s podobnou studií (Gramann, 2006), v dalších oblastech se ovšem liší. V závěru jsou uvedeny příčiny možných rozdílů.

## 1 Úvod

Problematika orientace a navigace v prostoru patří v oblasti umělé inteligence mezi klíčové. S rozvojem vtělené kognitivní vědy a robotických systémů vybavených senzory pro příjem informace z prostředí je svázaná potřeba tyto data zpracovávat a vhodným způsobem reprezentovat. Již v literatuře věnované obecnému přístupu ke tvorbě agentů (Pfeifer, Scheier, 1999) jsou jako klíčové podmínky fungování agenta uvedeny orientovanost a situovanost. Při návrhu umělých agentů se badatelé často inspirovali poznatky z oblasti neurověd a psychologie, které jim na základě empirických poznatků o navigaci v prostoru u zvířat a lidí, usnadní modelování kognitivních procesů, týkajících se reprezentace prostoru.

V klasickém modelu Baddeleye a Hitcha (1974) byla vizuální a prostorová informace zpracovávána v jednom systému nazývaném *vizuálně-prostorový náčrtník*. Současné studie, které vycházejí z výše zmíněných neurobiologických poznatků, však poukazují na to, že tato část pracovní paměti je složena ze dvou specializovaných systémů - vizuálního a prostorového.

Neurologické studie u opic (Ungeleider, Miskhin, 1982) prokázaly existenci dvou vizuálních systémů pro zpracování vstupů z prostředí. Podle informací, které zpracovávají, byly nazvány *what* a *where dráha*. *Where dráha* se v některých publikacích nazývá *dorzální* a je zodpovědná za reprezentaci prostoru z hlediska polohy objektů a vykonávání akcí. Na vstupu obsahuje velká receptivní pole citlivá na směr pohybu. Při následném zpracování jsou používány informace o poloze hlavy a oka. Z neuroanatomického hlediska směřuje do parietálního lóbu zahrnující mediální temporální (MT), mediální superiorní temporální oblasti (MST) a posteriorní parietální ventrální (VIP) a laterální (LIP). Nejsilnější důkazy o existenci této dráhy pocházejí z výzkumů hemiprostorových neglektů - přehlížení poloviny zorného pole.

Z hlediska samotné orientace jedince v prostoru je pro náš výzkum klíčová problematika referenčních rámců. V literatuře zabývající se prostorovou kognicí je často referenční systém reprezentován jako soustava ortogonálních os, jejichž centrem je retína, hlava, tělo nebo další body, objekty či pole v prostoru (Behrmann, 2000; Colby a Goldberg, 1999; McCloskey, 2001). 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) rámeček*** - souřadný systém je orientován podle referenčního objektu - např. talíř je před chlapcem, talíř je za chlapcem.

***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 pozorovatele 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.

Z hlediska ontogeneze panují odlišné názory na vývoj užití užívání referenčních rámců a centra deixie. Například Piaget a Inhelder (1967) vycházejí z předpokladu, že dítě během vývoje nejprve používá pouze egocentrický pohled, který je ztotožňován s relativním rámcem, s centrem deixie přímo v pozorovateli. Podle výzkumů Johnston a Slobina (1979) se děti nejdříve naučí výrazy *v*, *na*, *pod* a *vedle* a potom *mezi*, *vpředu*, *vzadu* (pro základní objekty a potom pro ostatní). Autoři přisuzují toto pořadí mnoha faktorům, např. konceptuální komplexitě prostorových vlastností.

Byly provedeny experimenty v kosmu, kde je působení fyzikálních sil (např. gravitační) odlišné od pozemských podmínek. Podle výsledků experimentů Friederici a Levelta (1990) 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.

Z hlediska lingvistiky je zajímavá otázka, jak souvisí užití referenčních rámců s jazykovým označením prostorového vztahu? Carlson-Radvansky a Irwin (1993) zjistili v sérii experimentů, ve kterých ZO posuzovaly prostorový vztah „nad“ při různých natočeních objektů (člověk, židle, míč) odchylky při používání referenčních rámců. Účastníci volili nejčastěji absolutní, následně vnitřní a nejméně preferovaným byl relativní rámeček. V dalších experimentech potvrdili, že použití rámců je simultánně aktivované (Carlson-Radvansky, Irwin, 1993) a také automatické (Carlson-Radvansky, Logan, 1997). Kromě zjištění ohledně výběru či inhibice referenčních rámců (Carlson, West, Taylor, Hendon, 2002) došli až ke zjištění modulace neurální aktivity ve formě EEG při užití rozdílných referenčních rámců.

Také další studie věnované neurálním korelátům navigace v prostoru poukazují na rozdíl mezi užitím egocentrického (relativní s centrem deixie v pozorovateli) a allocentrického (absolutní systém s fixním systémem souřadných os) referenčního rámce (Fink et al., 2003). Studie provedené na opicích prokázaly existenci reprezentací, které měly centrum deixie v objektu nebo v pozorovateli (Breznen et al., 1999). V případě výzkumu na lidech byly lokalizovány mozková centra, související s egocentrickým referenčním rámcem. Jednalo se o fronto-parietální oblasti včetně posteriorního parietálního kortexu a premotorické kůry nacházející se v pravé hemisféře. V případě allocentrického rámce byla aktivní pouze část těchto center (Galati et al., 2000). Problematickým místem zmíněných studií je způsob, jakým byla ZO prezentována úloha. Jelikož se jednalo o užití statických stimulů, při kterém je způsob prezentace velmi odlišný od normálního vnímání a navigace v prostoru, nastávají problémy s ekologickou validitou podobných výzkumů. Odlišným způsobem prezentace se

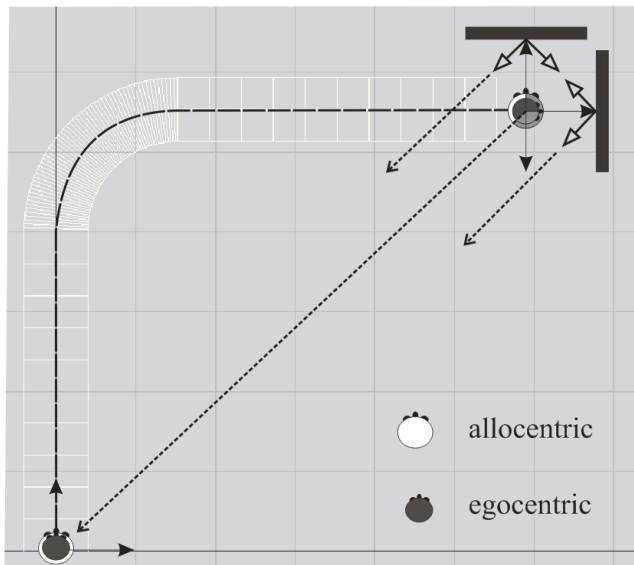
zabýval ve svých výzkumech Gramann (2005,2006), který použil jako stimulaci průchod virtuálním tunelem, obsahujícím pouze vizuální informaci (světelný tok), bez přítomností objektů, které by mohly změnit způsob orientace a navigace subjektu v prostoru. Subjektu je navíc prezentovaná dynamická scéna, která je shodná se stimuly z prostředí. Na základě zmíněné studie jsem se rozhodl pro administraci modifikované verze experimentu týkajícího se užití allocentrického a egocentrického prostorového rámce.

## 2 Metoda

Cílem výzkumu je realizovat rozšířenou variantu výzkumu, který provedl Gramann a zjistit zda je užití různých referenčních rámců rozdílné při navigaci v horizontálním a vertikálním směru, tzn. jedná se o doplnění stimulů také o směry nahoru a dolů. Jádrem výzkumu je identifikace rozdílů v naměřeném EEG signálu, které by mohly vést k predikci použitého referenčního rámce a odhalení mechanismů, jež za odlišným způsobem reprezentace objektu v prostoru stojí. Metodou měření je psychologický experiment, ve kterém jsou subjektu prezentovány různé typy průchodu virtuálním tunelem, a na základě jeho odpovědi je zjišťováno, jaký referenční rámeček během navigace používá. Tato informace nám slouží jako vodítko pro hledání korelátů těchto rámců v naměřeném EEG signálu, vedoucí k identifikaci mozkových center, zodpovědných za zpracování a reprezentaci odlišných referenčních rámců. Dle výchozí hypotézy, by se měly objevit odlišnosti mezi biosignály lidí užívajících allocentrický a egocentrický referenční rámeček.

## 3 Výsledky

Experiment sestával z prezentace 20 průchodů virtuálním tunelem. Subjekt byl instruován, že se jedná o úlohu týkající se orientace v prostoru. Po průchodu virtuálním tunelem má zvolit jednu z dvojice šipek, která dle jeho názoru ukazuje k výchozímu místu tunelu, odkud svůj průchod začal. Pomocí jeho odpovědi je možné určit referenční rámeček použitý pro navigaci. Odlišnosti v užitém rámci demonstruje Obr.1.



**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.

Během průchodu tunelem byla zaznamenávána aktivita EEG pomocí 19 elektrodového systému (mezinárodní systém 10-20), vzorkovací frekvencí 250 Hz. Jako referenční elektroda slouží Cz.

Jednotlivé tunely sestávaly s rovného, zahnutého a následně opět rovného úseku, přičemž délka průchodu jednotlivými úseky byla konstantní (10 s rovné úseky a 6s úsek zahnutý). Zahnutí tunelu se lišilo v rozmezí od 90 do 150 stupňů s intervalem 15 stupňů. Pro každý ze 4 směrů (vlevo, vpravo, nahoru, dolů) tedy subjekt procházel pěti tunely s různou mírou zahnutí. Pořadí tunelu bylo náhodně namícháno tak, aby se neopakoval dvakrát po sobě stejný směr zatáčky.

Z pohledu ZO sestával průchod tunelem z 6 vteřinové fixace záměrného kříže, během které měl subjekt povoleno mrkat, popřípadě se uvolnit. Poté následovalo 26 vteřin průchodu tunelem (konstantní rychlostí) a poté se objevila po dobu 8 vteřin obrazovka s dvěma šipkami, přičemž subjekt měl během této doby zvolit, která šipka ukazuje k počátku tunelu.

Po první části experimentu byly vyhodnoceny odpovědi subjektu a podle nich určeno, který z referenčních rámců během navigace preferuje. Měřítkem hodnocení je počet odpovědí konsistentních s užitím jediného referenčního rámce. Jestliže se odpovědi shodovaly alespoň v 85 procentech s jedním z referenčních rámců (17 odpovědí z 20), byl subjekt posuzován jako reprezentativní uživatel jednoho referenčního rámce.

Oproti způsobu prezentace experimentů u Gramanna (2006), které sestávaly pouze z navigace v horizontální rovině, se při úlohách v obou směrech objevila skupina subjektů, kteří používali v horizontálním směru egocentrický rámec a ve vertikálním směru rámec allocentrický. Z toho důvodu byla následná analýza provedena nejen na subjektech, kteří používali systematicky jeden referenční rámec, ale také jsme zjišťovali, zda se u lidí používající odlišný rámec v odlišných rovinách, projeví tyto rozdíly také v naměřeném signálu.

Jestliže první část experimentu sloužila pro zjištění biologických korelátů referenčního rámce, který daný subjekt používá nativně při řešení úlohy, v druhé části jsem se zaměřil na užití rámce opačného. Subjekt byl nejprve informován o záměru experimentů a seznámen s problematikou odlišných referenčních rámců a před druhou částí experimentu instruován, aby se pokusil během navigace v prostoru použít odlišný referenční rámec, než během první části. Poté mu bylo opět prezentován průchod 20 tunely a zaznamenávány odpovědi. Přes instrukci před druhou úlohou nedokázali některé ZO změnit svou strategii a volili stejné odpovědi jako v první části. Data z druhé části experimentu sloužila pouze jako doplnění části první, jelikož subjekt viděl stejné tunely podruhé v krátké době, byl obeznámen s řešením úlohy a navíc mu byla vnucena strategie řešení úlohy.

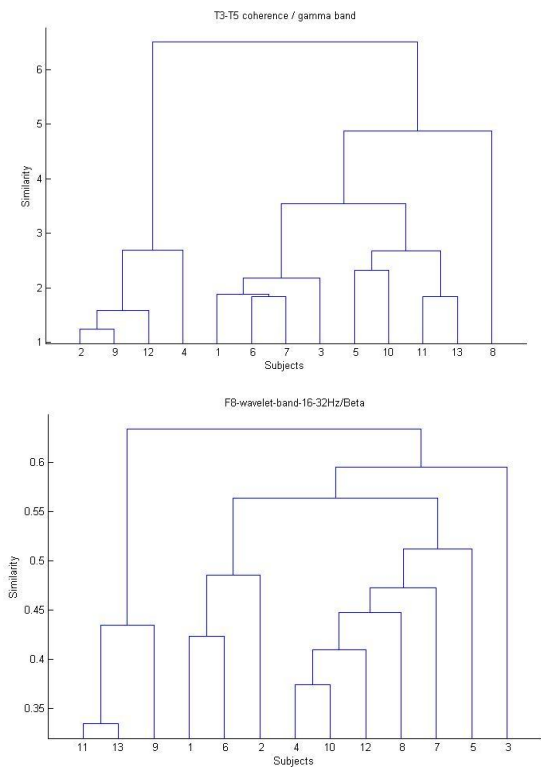
## Zpracování EEG

Naměřená EEG data byla zpracována pomocí metody adaptivní segmentace, umožňující ohraničení úseků se stejným typem signálů. Poté byla data z každé elektrody dekomponována na jednotlivé příznaky, které popisují původní signál. Získali jsme časový průběh 103 příznaků a také byly vypočteny koherence a korelace pro dvojice elektrod umístěných na stejné hemisféře ale i interhemisféricky. Pro následnou analýzu máme k dispozici matici sestávající z 1903 příznaků a jejich hodnot (jeden údaj za vteřinu) pro časový úsek 800 vteřin (odpovídající jedné části experimentu s již vyextrahovanými úseky se záměrným křížem a výběrem správné šipky, které obsahují příliš mnoho pohybových artefaktů). Následná analýza měla prověřit, které příznaky jsou nejvhodnější pro detekci použitého referenčního rámce.

## Hierarchické shlukování

První metodou byla klasická clusterová analýza, sloužící ke shlukování subjektů se shodnými hodnotami příznaku. Kritériem při hledání vhodného příznaku je schopnost odlišit již v základní úrovni subjekty, používající stejný

typ referenčního rámce. Algoritmus vytváří a prozkoumává dendrogramy, přičemž hledá subjekty, se shodným typem odpovědi na stimuly. Grafickou reprezentaci některých příznaků můžeme vidět na Obr. 2. Jedná se o elementární formu analýzy, která nediferencuje mezi jednotlivými tunely a je zaměřena pouze na průchod zahnutou částí tunelu, ve které Gramann (2006) identifikoval největší rozdíly mezi uživateli allocentrického rámce.



**Obr. 2.** Výsledky shlukové analýzy. Na obrázku jsou ukázky dvou příznaků, pomocí kterých lze rozdělit výzkumnou skupinu na uživatele allocentrického (11, 13) a egocentrického (1,6,7) rámce.

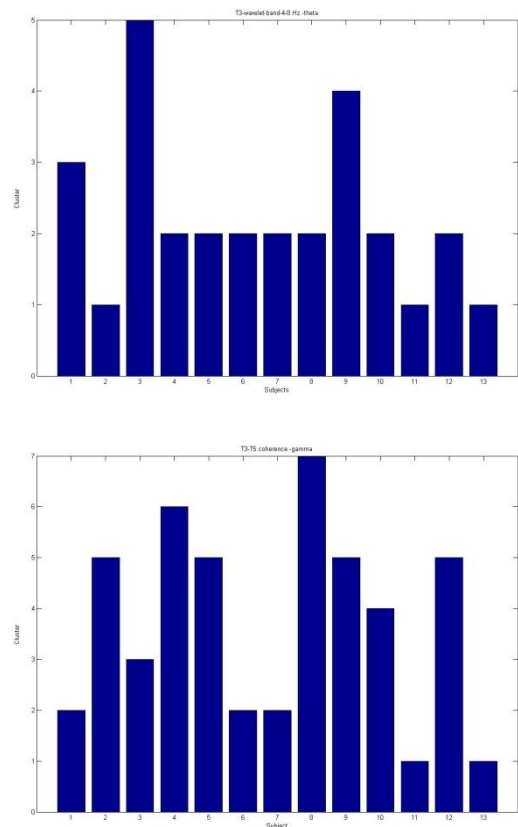
Jak je patrné z výsledku, nejlepšími prediktory použitého rámce jsou oblasti beta pásma na elektrodě F8 (frontální laterální oblast pravé hemisféry) a také koherence v pásmu gama (32-50 Hz) mezi elektrodami T3 a T5 (temporální posteriorní oblast levé hemisféry).

### Shlukování

Jelikož nemůžeme u předchozího algoritmu přesně stanovit počet výsledných skupin, bylo jako doplňující metody použito shlukování s přesně definovaným počtem

clusterů. Algoritmus rozdělí průběh příznaku do předem daného počtu skupin a poté hledá, zda se objevují uživatelé totožného rámce ve stejném shluku a zároveň, zda leží uživatelé opačných rámců ve shlucích odlišných. Ukázky výsledků této analýzy můžeme vidět na Obr. 3

Při provádění této analýzy byl testován různý počet výsledných clusterů. Důvodem je počet skupin, které vznikly díky užití vertikálních směrů. Protože jedna skupina řešila úlohu egocentricky v horizontální rovině a allocentricky ve vertikální, rozhodli jsme se otestovat dělení do dvou skupin (allocentrický, egocentrický), do třech skupin (allocentrický, egocentrický, smíšený) a také do 4 skupin, jelikož část uživatelů egocentrického rámce před posouzením šipek provedla v představě otočení o 180 stupňů, přestože to nebylo součástí instrukce.



**Obr. 3.** Výsledky shlukování. a) vytvořeno 5 clusterů, špatné seskupení uživatelů egocentrického rámce (1,6,7); b) při shlukování do 7 clusterů dokáže systém rozlišit oba použité rámce

Ve výsledcích vidíme, že algoritmus nebyl schopen správně rozlišit jednotlivé skupiny, pokud byl počet nadefinovaných clusterů menší než 7. I v tomto případě dokázal rozlišit pouze egocentrický a allocentrický

rámec. Jednalo se opět o koherenci mezi elektrodami T3 a T5 v pásmu gama. Tato metoda byla opět použita pouze na část zahnutou část tunelu. Pro analýzu jednotlivých segmentů tunelu byly použity samoorganizující mapy (SOM), jelikož ve výsledcích můžeme přesněji vyjádřit přesnost kategorizace do jednotlivých skupin.

## SOM

SOM mapy mají podobné vlastnosti jako výše zmíněné metody, ale díky procesu iterovaného učení, mohou dosáhnout lepších výsledků při kategorizaci.

Pro analýzu byla použita klasická SOM architektura, sestávající ze dvou vrstev. Vstupní vrstvu tvořilo 6-26 neuronů podle toho, zda byly na vstupu úseky pouze zahnuté části tunelu (6s), rovné části (10s) nebo celého tunelu (26s). Výstupní vrstva obsahovala dva neurony zastupující jednotlivé rámce (allocentrický a egocentrický). Síť byla trénována po dobu 500 epoch při počátečním learning rate 1.

Výstupem sítě je tedy přiřazení každého průchodu tunelem (nebo jeho části) do jedné ze dvou kategorií, zastupující egocentrický nebo allocentrický rámec. Následně je vypočítána procentuální úspěšnost hodnocení na základě volby odpovědi během experimentu. V tab. 1 až 3. jsou seřazeny příznaky, které nejlépe diskriminují mezi egocentrickým a allocentrickým rámcem.

Turn (6s)	1-ego	6-ego	7-ego	11-allo	13-allo	Mean
F8-T4-coher.alpha	90	70	80	55	65	69,6
1st straight (10s)						Mean
T6-02-corel.	30	85	85	90	60	63,8
2nd straight (10s)						Mean
F8-T4-coher.alpha	100	85	90	55	60	68,5
T3-rel.beta	85	55	95	95	60	67,7
T6-02-corel.	40	70	90	85	60	66,2
Tunel (26s)						Mean
F3-mean	80	75	90	70	60	64,2
T6-wav.alpha	0	85	85	80	100	63,1

**Tab. 1.** Výsledky SOM. Srovnání výstupů sítě s převažujícím typem použitého referenčního rámce.

V prvním řádku jednotlivé subjekty a preferovaný rámec, následně analýza pro jednotlivé části tunelu (zatáčka, první a druhý rovný úsek) a také tunel jako celek. Čísla reprezentují procentuální úspěšnost klasifikace, průměrná hodnota vypočtena ze všech subjektů.

Turn (6s)	1-ego	6-ego	7-ego	11-allo	13-allo	Mean
T3-T4-coher.delta	90	55	70	95	55	65,8
1st straight (10s)						Mean
T6-02-corel.	35	60	85	80	65	63,8
2nd straight (10s)						Mean
F8-T4-coher.alpha	95	60	90	65	65	68,5
T6-02-corel.	35	65	90	75	65	66,2
Tunel (26s)						Mean
F8-T4-coher.alpha	95	65	95	75	75	73,5
O1-02-coher.beta	20	75	90	90	60	63,8
T6-wav.alpha	5	60	85	80	95	63,1

**Tab. 2.** Výsledky SOM. Srovnání výstupů sítě s odpovědí subjektu pro konkrétní tunel.

Z výsledků je patrné, že síť je schopná rozlišit mezi jednotlivými rámci s přesností přibližně 65 procent. Výsledné příznaky jsou podobné jak pro analýzu ideálních odpovědí (jako odpověď je zvolen rámec, který subjekt používá nejčastěji), tak reálné odpovědi (výsledek sítě je porovnán s konkrétní odpovědí subjektu pro jednotlivé průchody tunelem). Jako příznak, který nejlépe diskriminuje mezi použitými rámci, se nejčastěji objevovala koherence mezi elektrodou F8 a T4 v pásmu alfa. Tento příznak byl také nejlepším kritériem pro rozlišení rámců v zahnuté oblasti tunelu. Pro první rovný úsek se jednalo o korelace mezi elektrodami T6 a O2 a pro druhý rovný úsek opět koherence F8 a T4 v pásmu alfa.

Abychom vyloučili možnost odlišností mezi navigací v horizontálním a vertikálním směru, byla provedena dodatečná analýza, založená na posouzení horizontálně zahnutých tunelů. Opět byly použity samoorganizující se sítě, na základě jejichž výsledků byl stanoven příznak, který nejlépe diskriminuje mezi použitými rámci.

Turn (6s)	1-ego	6-ego	7-ego	11-allo	13-allo	Mean
F8-T4-coher.alpha	100	90	60	50	70	71,5
Cz-skewness	90	90	50	60	60	67,8
1st straight (10s)						Mean
P4-skewness	70	100	60	70	60	67,8
F8-T4-coher.alpha	100	80	70	60	60	66,2
C3-mean	60	90	90	60	90	64,6
2nd straight (10s)						Mean
Cz-skewness	90	60	60	50	80	66,2
F3-rel.delta	100	60	70	80	50	64,6
Tunel (26s)						Mean
F8-T4-coher.alpha	100	100	90	70	70	72,1
P4-skewness	80	100	70	80	70	72,1
P4-mean	70	80	100	60	90	66,2
F7-wavelet.beta	90	90	60	80	70	65,4

**Tab. 2.** Výsledky SOM. Srovnání výstupů sítě s převažujícím typem použitého referenčního rámce v horizontální rovině.

Výsledky prokázaly, že nejlépe diskriminujícím příznakem v horizontální rovině je opět koherence mezi elektrodami F8-T4 v pásmu alfa.

## Diskuze

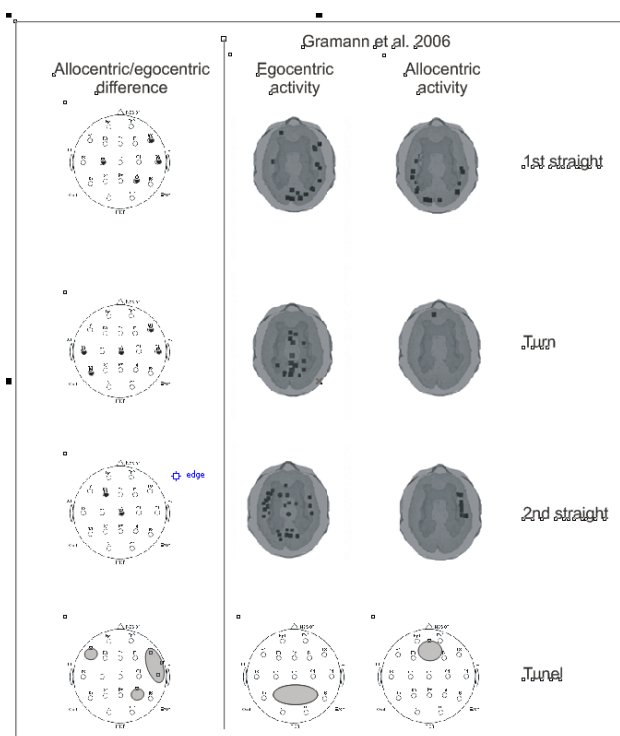
Za použití odlišných metod klasifikace signálu, jsme dospěli k identifikaci oblastí, jejichž činnost je odlišná při užití allocentrického a egocentrického rámce. Jestliže porovnáme výsledky této analýzy s předchozími experimenty, nacházíme pouze částečné shody. V případě Grammannovy studie byl prokázán největší rozdíl v aktivitě Broadmannových oblastí 7 a 32. Ve výsledcích také specifikoval činnost jednotlivých oblastí (odlišnost

pro egocentrický a allocentrický rámec) v jednotlivých částech tunelu (rovný úsek, zahnutí, rovný úsek). Způsob interpretace výsledků je v jeho případě přizpůsoben použité metodě analýzy signálu.

Pomocí algoritmu LORETA (Pasqual-Marqui and Bisciai-Kirio, 1993) rekonstruovali z naměřeného EEG signálu informaci o činnosti jednotlivých center, včetně subkortikálních oblastí. Ve výsledku tedy dostává 3D mapu aktivity mozkových center, odpovídající anatomickému členění mozku. Jelikož existují výhrady k možnostem lokalizace činnosti subkortikálních vrstev pomocí měření povrchového signálu (Rieger et al., 2006), použili jsme pro výslednou analýzu pouze 2D mapování výsledků na povrch skalpu.

Odlíšný je také popis aktivity jednotlivých oblastí. U Gramanna se setkáme pouze s popisem průměrné zdrojové aktivity, v našem případě se jednalo o dekompozici signálu z každé elektrody na 93 vlastností, které kromě průměrných hodnot, odchylek a dalších deskriptorů, popisují také aktivitu v jednotlivých spektrálních oblastech (delta, théta, alfa, beta, gama) korelace a koherence mezi elektrodami. Získáváme tak mnohem detailnější popis činnosti jednotlivých center a můžeme přesněji identifikovat rozdíly.

Přestože je metoda analýzy signálu odlišná, měly by výsledky obou experimentů vést k identifikaci totožných oblastí. Na obr. 4 jsou porovnány výsledky obou studií.



**Obr 4.** Porovnání výsledků realizovaného experimentu (vlevo) s podobným (Gramann, 2006). Vlevo jsou vyneseny místa s největšími rozdíly při užití ego a

allocentrického rámce pro jednotlivé části tunelu a pro tunel jako celek. Vpravo jsou zobrazeny místa s největší aktivitou při užití ego a allocentrického rámce.

Gramann převedl výsledky do grafické podoby, která zobrazuje místa s největší aktivitou pro daný rámec. V našem případě výsledná vizualizace obsahuje místa (elektrody), které vykazovaly největší odlišnost pro jednotlivé rámce.

V první části tunelu se výsledky částečně shodují. Gramann poukazuje na shodnou aktivitu u obou rámců, odlišnost u egocentrického rámce je v činnosti levého středního frontálního gyru. Naše výsledky prokázaly největší rozdíl také v levé oblasti, ale jednalo se o průměrnou aktivitu kolem elektrody C3, tedy blíže mediální oblasti. Největší rozdíl byl v parietální oblasti kolem elektrody P4, kde Gramann detekuje činnost při použití obou rámců. Jelikož ani námi zjištěný příznak není specifikován pro konkrétní oblast spektra, nelze přesně identifikovat rozdíl. Dále jsme identifikovali rozdíl v oblasti rozhraní temporálního a frontálního laloku, mezi elektrodami F8-T4. Díky provedení přesnější analýzy signálu (viz. výše) můžeme upřesnit, že se jedná o rozdílnou činnost v pásmu alfa, odpovídající relaxovanému bdělému stavu. Samotným příznakem je koherence v pásmu alfa, tzn. podobnou činnost obou oblastí, přičemž rozdíl mezi oběma použitými rámci je právě v odlišné aktivitě v pásmu alfa.

V zahnuté části tunelu by mělo docházet k největším rozdílům při použití obou systémů, jelikož zde dochází k rotaci egocentrického rámce, přičemž allocentrický zůstává nezměněný. Podle Gramannových zjištění znamená užití allocentrického zvýšenou činnost levé formální anteriorní oblasti, zatímco egocentrický rámec souvisí s aktivitou v posteriorních parietálních oblastech. V našem případě analýza ukázala jako nejvíce diferencující příznak opět koherenci v pravé hemisféře, mezi elektrodami F8-T4. Dále pak odlišnost pro elektrodu Cz, což je, kterou Gramann považuje za aktivní pouze v případě egocentrického rámce. Pokud do analýzy zahrneme také výsledky hierarchického shlukování a klasického shlukování, můžeme ještě doplnit rozdíl v oblasti levého posteriorního temporálního laloku, přesněji koherenci v oblasti pásma gama (odpovídá aktivní činnosti) mezi elektrodami T3-T5 a také aktivitu v pásmu beta (aktivní činnost) na elektrodě F8, kde již byla detekována koherence v pásmu alfa. Kromě činnosti v mediální parietální oblasti se v této části tunelu výsledky obou studií lišily.

V druhém rovném úseku tunelu detekoval Gramann (2006) aktivitu při užití allocentrického rámce právě na rozhraní temporálního a frontálního laloku, kde byl v naší studii detekován rozdíl mezi použitými rámci

v předchozích dvou segmentech. V případě egocentrického rámce je aktivita rozložena bilaterálně v oblastech fronto- parietálních. Naše analýza prokázala rozdíl v oblasti elektrody Cz a také na elektrodě F3 v pásmu delta. Jelikož toto pásmo odpovídá spánkovým aktivitám, nelze jim při interpretaci přikládat velkou váhu.

Poslední srovnání se týká tunelu jako celku, při které byl vstupem pro neuronové sítě celý úsek 26 vteřinového průchodu tunelem, bez specifikace jednotlivých částí. Gramann v tomto případě neprováděl rozbor činnosti jednotlivých center, pouze hledal, ve kterých částech je při průchodu tunelem největší rozdíl mezi užitím rozdílných rámců. Jak již bylo uvedeno, jednalo se Brodmannovu oblast 7 pro egocentrický rámec a oblast 32 pro rámec allocentrický. Naše analýza prokázala odlišnou činnost v koherenci elektrod F8-T4 v pásmu alfa, podobně jako v prvním rovném a zahnutém segmentu tunelu. Elektrody se nacházejí na hranici pravého frontálního a temporálního laloku. Další místem byla parietální oblast P4 (průměrná aktivita a šikmost), které leží v levé části Brodmannovy oblasti 7, což je totožné z výsledky Gramannovy studie. Posledním místem pro rozlišení užitého rámce je oblast frontální posteriorní oblast ležící v pravé hemisféře kolem elektrody F7. Zde byla prokázána odlišná aktivita v pásmu beta vln, odpovídajícím bdělé aktivitě subjektu.

Shrneme-li výsledky jednotlivých studií, docházíme pouze k částečné shodě, týkajících se center zodpovědných za reprezentaci v allocentrickém a egocentrickém souřadném systému. Příčiny neshody ve výsledcích je možné přikládat několika faktorům. V případě podobných studií bývá slabinou velikost zkoumaného vzorku, což je způsobeno náročností podobným měření z hlediska času a vybavení. V případě obou studií se vzorek pohyboval kolem 10 subjektů, přičemž v naší studii byl poměr uživatelů jednotlivých rámců nesymetrický. Navíc se objevovala skupina, která střídala jednotlivé rámce v horizontálním a vertikálním směru. Proto mohou být výsledky zatížené chybou. Na druhou stranu uvedené analýzy, provedené podle rozdílných kritérií prokázaly, že analýzy jednotlivých částí při různých podmínkách, produkují rozdílné výsledky, takže není možné, aby byly závěry ovlivněny individuálními odlišnostmi jednoho subjektu. Přesto je možné tuto chybu odstranit naměřením výzkumného vzorku o velikosti alespoň 30 subjektů.

Další příčinou můžou být odlišné způsoby analýzy pro jednotlivé studie. Metody předzpracování signálu a jeho následné analýzy mohou díky odlišným metodám produkovat rozdílné výsledky. Přesto je nutné zdůraznit, že použitím podobných stimulů a experimentální úlohy, by rozdíly v prostorové lokalizaci vybraných center neměla být příliš rozdílná.

## Závěr

Srovnání výsledků obou studií prokázalo, že při navigaci v prostoru za použití egocentrického a allocentrického rámce je rozdíl v mozkové aktivitě nejlépe detekovatelný v Brodmannově oblasti 7, nacházející se v parietálním laloku. Otázkou zůstává, zda je možné rozlišit použití jednotlivých rámců také v oblasti 32 (Gramann, 2006). Shoda v oblasti 7 je v souladu s neuroanatomickými poznatky, které jí pokládají za centrum pro zpracování a reprezentaci informací o prostorové poloze. Pro upřesnění sporných oblastí je potřeba doplnit výzkumný vzorek do velikosti, kdy je možné považovat výsledky za dostačující z hlediska statistiky.

Důležitým zjištěním je také odlišný způsob činnosti mozku při orientaci v horizontální a vertikální rovině. Ve výsledcích se objevují rozdílná centra, diferencující mezi použitým rámcem v horizontální, popřípadě obou rovinách, což hovoří pro odlišný způsob činnosti v rovině vertikální. Tyto zjištění povedou k podrobnější analýze vertikálního směru a zahrnutí těchto výsledků do kontextu stávajících teorií. V rámci eliminace intervenujících proměnných bude součástí následných experimentů identifikace vlivu polohy celého těla pro reprezentaci prostoru, pomocí průchodu tunelem vsedě a vleže. Tyto měření nám mohou odhalit nejen rozdíly v navigaci v obou rovinách, ale také podrobněji prozkoumat skupinu lidí, kteří v prezentované studii volili odlišné rámce pro jednotlivé roviny.

Podobné výzkumy nám pomáhají při přesnějším popisu navigace v prostoru u člověka, čehož lze využít ve dvou oblastech. Z hlediska modelování kognitivních procesů získáváme informace o tom, zda a které centra se podílí na reprezentaci prostoru a jaká je jejich součinnost při navigaci v komplexnějším prostředí. V oblasti kognitivní psychologie můžeme pomocí predikce použitého referenčního rámce na základě analýzy biosignálů přesněji rozpoznat anomálie vedoucí k chybám při navigaci v prostoru.

## 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.
- Behrmann, M. (2000). Spatial reference frames and hemispatial neglect. In *New cognitive science*.
- Breznen, B., Sabes, P.N., Andersen, R.A., 1999. Parietal coding of object-based saccades: reference frames. *Abstr.-Soc. Neurosci.* 25, 618.10.
- Carlson, L.A., West, R., Taylor, H.A., Herndon, R.W. (2002). Neural correlates of spatial term use. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28:1391–1408.
- 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., Levelt, W.J.M. (1990). Spatial reference in weightlessness: Perceptual factors and mental representations. *Perception & Psychophysics*, 47:253-266.
- Fink, G.R., Marshall, J.C., Weiss, P.H., Stephan, T., Grefkes, C., Shah, N.J., Zilles, K., Dietrich, M., 2003. Performing allocentric visuospatial judgments with induced distortion of the geocentric reference frame: an fMRI study with clinical implications. *NeuroImage* 20, 1505–1517.
- Galati, G., Lobel, E., Vallar, G., Berthoz, A., Pizzamiglio, L., Le Bihan, D., 2000. The neural basis of egocentric and allocentric coding of space in humans: a functional magnetic resonance study. *Exp. Brain Res.* 133, 156–164.
- 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.
- Gramann, K., Müller, H., Schönebeck, B. & Debus, G. (2006). The neural basis of egocentric and allocentric reference frames in spatial navigation: Evidence from spatio-coupled current density reconstruction. *Brain Research*, 1118, 116-129.
- Johnston, J. R., Slobin, D. I. (1979). The development of locative expressions in English, Italian, Serbo-Croatian and Turkish. *Journal of Child Language*, 6:529-545.
- Kohonen, T. (1989). *Self-organization and associative memory*. New York: Springer.
- 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.
- McCloskey, M. (2001). Spatial representation in mind and brain. In B. Rapp (Ed.), *What deficits reveal about the human mind/brain: A handbook of cognitive neuropsychology* (pp. 101-132). Philadelphia: Psychology Press.
- Pasqual-Marqui, R.D., Biscay-Lirio, R., 1993. Spatial resolution of neuronal generators based on EEG and MEG measurements. *Int. J. Neurosci.* 68, 93–105.
- Pfeifer, R., Scheier, C. (1999). *Understanding Intelligence*. MIT Press, Cambridge, USA
- Piaget, J., Inhelder, B. (1967). *The Child's Conception of Space*, New York: Norton.
- Rieger, J., Lhotská, L., Krajča, V. (2006). Forward and Inverse Problems in EEG. In 53. společný sjezd české a slovenské společnosti klinické neurofyziologie. Praha: MH Consulting, 29-30
- 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.