



Fakulta dopravní ČVUT Praha
Laboratoř spolehlivosti systémů
Konviktská 20, Praha 1, 11000
tel. 2422 1721/416 (fax), 417 (sekr.), 432 (pracovna)
E-mail.: xtichy@fd.cvut.cz

Detekce snižování bdělosti lidského činitele

Výzkumná zpráva č. LSS – 73/2000

Autoři:

Tomáš Tichý
Ing. Martin Leso
Prof. MUDr. Josef Faber, DrSc
Doc. Ing. Mirko Novák, DrSc

Praha, březen 2000

Souhrn:

Tato zpráva obsahuje rozvahu o poklesu pozornosti lidského operátora při dlouhodobé interakci s technickým systémem. Primárně se zaměřuje na rozbor možného vzniku mikrosopánku a jeho detekci pomocí elektroencefalografie (EEG) po následném zpracování a vyhodnocení pomocí matematických metod. Sekundárně se zpráva zabývá předcházení poklesu pozornosti pomocí biologické zpětné vazby, případně možností varování technického systému operátora s vyhodnocením pomocí principu "fail safe".

Obsah:

1. ÚVOD	2
2. TEORIE.....	3
3. MĚŘENÍ.....	5
4. ZÁVĚR	7
5. LITERATURA.....	9

1. Úvod

Problematika spolehlivosti interakce umělého systému a člověka je stále neuspokojivě řešena, i když převážnou kontrolu nad složitými systémy přebírá počítač. Zavádění nových technologií i s prvky inteligence snižuje pravděpodobnost vzniku poruchy a prodlužuje i životnost takového zařízení, ale zároveň klade větší nároky na spolehlivost operátora.

Na operátora, který pracuje se složitým a výkonným umělým systémem, jako je transportní systém (letadlo, rychlovlak, nákladní vozidlo), rozsáhlý elektrárenský systém, bezpečnostní a obraný systém apod., jsou kladeny požadavky na rychlé a správné vyřešení momentální situace a to při maximálním udržení pozornosti a soustředění na určitý úkol. Tyto složité nároky na lidský činitel v systému spolupůsobí s mnoha vnitřními a vnějšími faktory, jako je délka pracovní doby, psychický a fyzický stav, extrémní klimatické podmínky, kvalita pracovního prostředí, ale i monotónnost scény či obrazu, který musí operátor sledovat.

Snahou našeho výzkumu je včasné rozpoznání poklesu pozornosti a tím i spojené snížení rychlosti reakce na vzniklý podnět. Při nepříliš proměnlivé scéně či obrazu pozorovaného operátorem a případné i osobní indispozici operátor může dojít k výraznému poklesu jeho pozornosti, která může vyústit až v mikrosnánek. Tento stav lidského mozku je velice nebezpečný a může vést k ohromným materiálním a finančním škodám, ale i ke ztrátám na lidských životech. Jako jeden z příkladů uveďme katastrofu z května roku 1999, která se stala v Tauernském tunelu, kde pokles pozornosti řidiče kamionu měl za následek 12 lidských životů a celkové hospodářské škody za 9 miliard šilinků.

2. Teorie

Abychom mohli zjistit pokles pozornosti operátora v interakci se systémem musíme sledovat nejvýznamnější parametry, které nám budou jednoznačně identifikovat pokles pozornosti a možný nástup mikrosnánku. K nejvýznamnějším parametrům patří:

- elektrická aktivita mozku,
- frekvence dechu,
- frekvence tepu srdce,
- pohyb očí (případně víček) apod..

Pozornost lidského operátora neustále kolísá a tyto změny mohou být v průběhu jeho činnosti značné. Únava a monotonie nejčastěji vedou k poklesu pozornosti a k mikrosnánku.

Mikrosnánek je krátce trvající povrchní spánek, který může být mělký (lehký) s otevřenýma očima nebo hluboký se zavřenýma očima a s možným přechodem do první fáze synchronního spánku.

Naše pracoviště se především zaměřilo na měření elektrické aktivity mozku. Elektrická aktivita mozku vzniká synchronizací velké populace neuronů kůry mozku při thalamo-kortikální oscilaci. Tyto aktivity snímáme pomocí elektrod umístěných na povrchu lebky. Potenciály rozepsané v čase dávají křivku elektroencefalogramu (EEG).

EEG měříme podle mezinárodního schématu navrženém H. Jasperem, tzv. systém „10/20“ viz obrázek 1. Jednotlivé oblasti mozku jsou označeny písmeny:

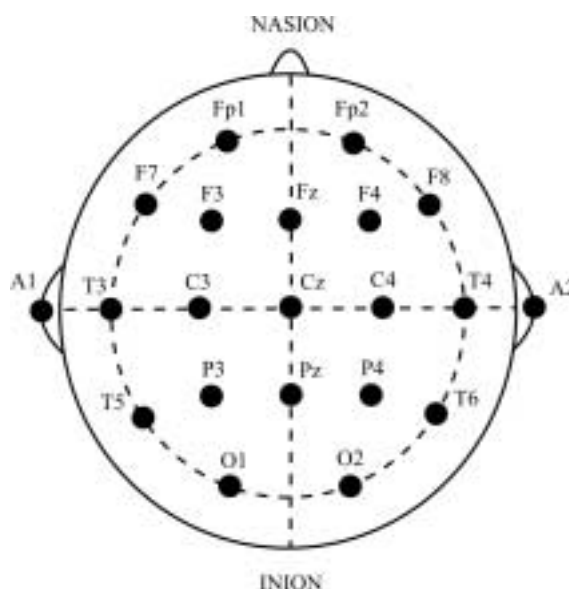
- Fp - prefrontální,

- F -frontální,
- C - centrální,
- P - parietální,
- O - okcipitální,
- T - temporální.

Lichá čísla označují levou hemisféru a sudá čísla pravou hemisféru, písmenem „Z“ (zero) se značí střed mezi oběma polokoulemi. Režim snímání EEG je různý, my používáme společnou referenční elektrodu, která je nejčastěji zapojená na oba ušní lalůčky (A1, A2).

Obrázek 1

Rozvržení elektrod podle mezinárodního systému „10/20“



Výsledný EEG záznam, který měříme na lebce operátora má velice malou energii a tedy elektrický potenciál je řádově jen několik desítek μV . Používáme proto elektrody, které jsou zapouzdřeny v umělé hmotě a přenos z povrchu lebky na elektrodu zprostředkovává vodivý gel (snižuje impedanci) a nebo používáme elektrody Ag/AgCl, kde je také přenosovým médiem vodivý gel.

Výsledný záznam EEG je zpracován pomocí Fast Fourier Transformation (FFT) a jsou z něho vytvořena jednotlivá spektra. Základními frekvencemi mozku jsou:

- delta (0,5 - 3,5 Hz),
- theta (4 - 7 Hz),

- alfa (8 - 13 Hz),
- beta (14 - 30 Hz).

Porovnáním spekter při různých stavech lidského mozku (bdělost, psychická aktivita - čtení, počítání, usínání, spánek) je možné určit charakteristické rozložení a zastoupení jednotlivých frekvencí pro daný stav.

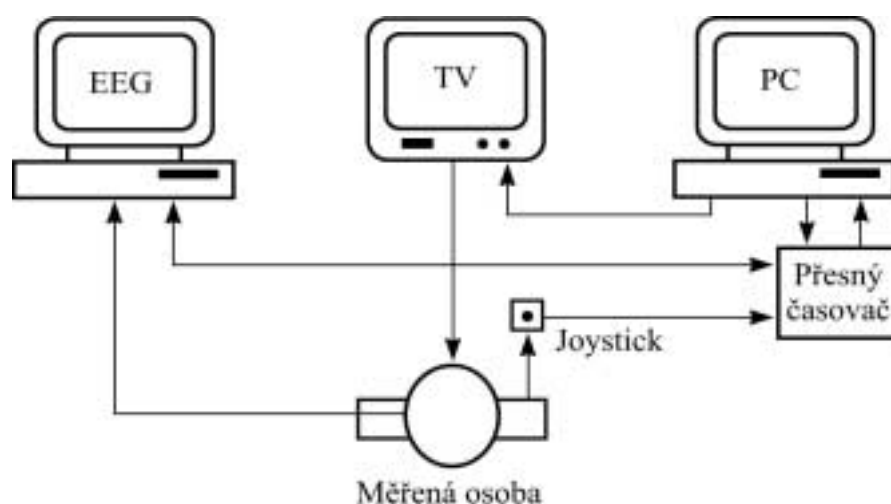
3. Měření

Jak již bylo uvedeno v předcházejícím odstavci, pozornost lidského operátora se neustále mění v průběhu času. Abychom mohli určit subjektivní hranici poklesu pozornosti měřeného operátora, vycházíme z průběhu jeho reakční doby.

Ke zjištění začátku průběhu mikrosprávku měříme reakční dobu - což je délka reakce na zvukový nebo optický podnět - a na základě zkoumání jejich délek zjišťujeme intenzitu mikrosprávku až do počáteční fáze synchronního spánku. K tomuto měření využíváme externí modul s přesným časem připojený k počítači, který nám zaznamenává přesné reakce lidského operátora přímo do natáčené křivky EEG na druhém počítači, viz. obrázek 2.

Obrázek 2.

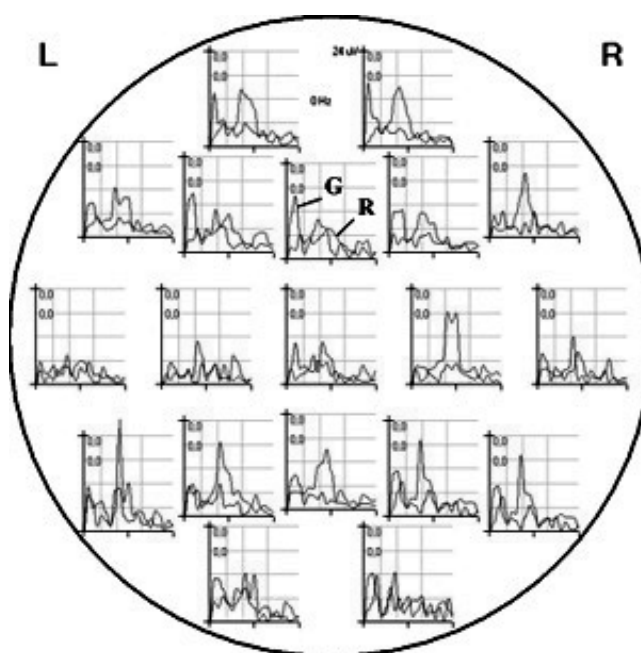
Schéma měření EEG a reakčního času



Pro namodelování podmínek operátora za provozu, promítáme na TV obrazovku video natočené přímo v terénu a snažíme se navodit operátorovi situaci podobnou dlouhému výkonu

jeho služby. Zároveň operátora nutíme, aby po určitých dobách reagoval na optické nebo na zvukové vjemy.

Po naměření záznamu EEG i se zaznamenanými reakčními dobami, které jsou s přesností na milisekundy, zpracováváme pomocí FFT a dostáváme spektrální křivky viz. obrázek 3. Na obrázku je velice dobře zřetelná změna spektra. Červené spektrum bylo naměřeno ve stavu bdění s reakční dobou 210 ms a zelené spektrum bylo naměřeno v ospalosti s reakční dobou 721 ms.

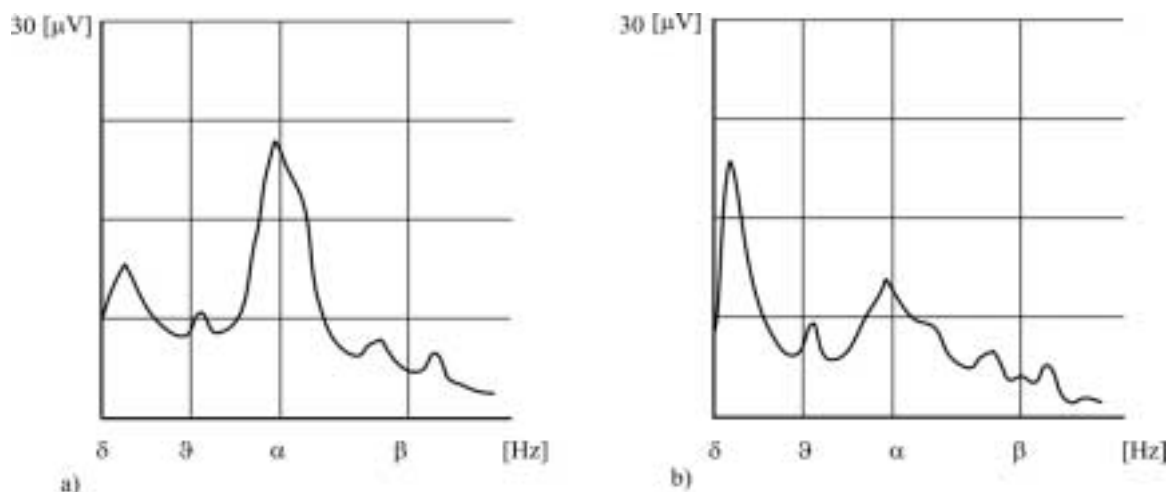


Obrázek 3.

Spektrum EEG operátora, při naměřené reakci 210 ms (červená křivka-**R**) a při naměřené reakci 721 ms (zelená křivka-**G**).

L resp. R značí levou resp. pravou hemisféru.

Na obrázku 3. je vidět, že při pozornosti a soustředění je dominantní mozkovou frekvencí alfa (viz obrázek 4a.), zatím co při poklesu pozornosti a nástupu spánku (mikrospánku) je dominantní mozkovou frekvencí delta (viz. obrázek 4b.) a alfa frekvence je výrazně nižší.



Obrázek 4.

- a) Spektrum vyjadřuje dobrou pozornost a operátor má rychlou reakci.
- b) Spektrum vyjadřuje pokles pozornosti operátora a jeho rychlost reakce klesá.

Měření bylo provedeno na operátorovi, který byl nevyspalý a krátce po své pracovní době. Měření reakční doby bylo provedeno se zvukovým vjemem, který jsme zadávali jak v pravidelných intervalech, tak v náhodných intervalech, kdy docházelo k rozpadu křivky EEG a operátor začal usínat.

Měření probíhalo v laboratorních podmínkách, a proto reakční časy jsou nepoměrně nižší než by byly v praktickém měření v provozu. Dále jsme použili zvukový vjem a ne optický, protože člověk reaguje rychleji na zvukový vjem než na optický, který má delší dráhu uvědomění.

Pokud se operátor dostane do mikrosnánku, může ho zvukový vjem probudit mnohem rychleji než optický, neboť práh dráždění je v optickém systému proti akustickému systému zvýšen, a proto uvědomění si vzniklého optického vjemu může trvat dost dlouho a za tím může dojít ke katastrofě. Měření s optickými vjemy se proto budeme zabývat v dalším.

4. Závěr

Pokles pozornosti u lidských operátorů nemusí být na první pohled takovým problémem, jedná-li se o systémy řízené počítačem s několika násobnou ochranou. Ale právě toto nemusí platit pokud dojde k větší závadě na nějakém zařízení nebo na počítači, který dané zařízení

kontroluje nebo řídí, protože pak se může jednat doslova o setiny vteřiny při rozhodování co provést dříve a co později.

Myslím, že nemusím uvádět chyby při rozhodování v kritických situacích jak v energetice tak v dopravě, ale jednou z možných příčin je i nepozornost obsluhy, ať již z důvodu monotonie při práci, či z únavy a nebo zanedbání předpisů.

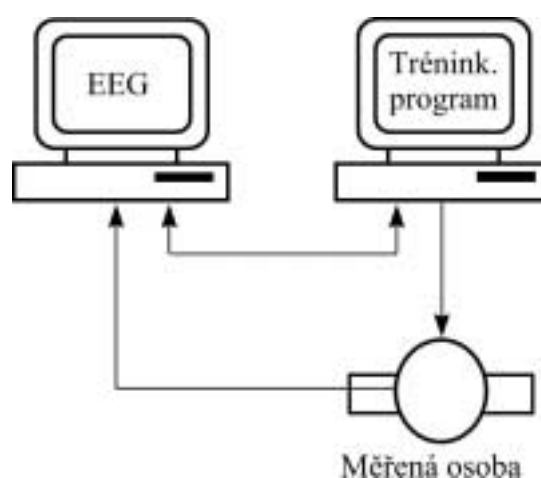
Možnému předcházení nebezpečné situace je několika násobné jištění zařízení, od optických vjemů působících na obsluhu, až po různé intenzity zvuků a možného samovypnutí zařízení. Jsou ale případy, kdy zařízení nemůžeme vyřadit z provozu, ať již z různých důvodů, které by znamenaly ohrožení života nebo velkých finančních a materiálních škod. A právě proto potřebujeme pozorného operátora, který včas problém rozpozná a odstraní.

Jedna z možných metod, která napomáhá naladit optimální stav lidského mozku, a tak zajistit co možná nejvyšší efektivitu úrovně pozornost operátora a tím i zvyšovat odolnost proti mikrosnánku je využití biologické zpětné vazby.

Naše pracoviště má zařízení které využívá biologické zpětné vazby k ovlivnění léčení různých mozkových dysfunkcí a umožňuje také zvyšovat výkonnost lidského mozku jeho vlastní auto-stimulací, bez použití léků či fyzických zásahů. Biologická zpětná vazba umožňuje pomocí speciálně upraveného software převádět elektrický signál mozku na jednoduchý tréninkový program, který člověk ovládá svojí mozkovou aktivitou viz. obrázek 5.

Obrázek 5.

Schéma biologické zpětné vazby



5. Literatura

- [1] Bena E., Hoskovec J., Štikar J.: Psychologie a fyziologie řidiče. Praha, Nakladatelství Dopravy a Spojů, 1968.
- [2] Faber J.: Elektroencefalografie. Praha, UK, 1992.
- [3] Faber J., Novák M., Přenosil V., Vydra L.: Diagnostika, detekce a predikce mikrosprávků. Výzkumná práce č. LSS 58/99. Praha, 1999
- [4] Gevins A.S., Rémond A.: Methods of analysis of brain electrical and magnetic signals. Handbook of electroencephalography and clinical neurophysiology. Amsterdam-New York-Oxford, Elsevier, 1987.
- [5] Novák M. a kolektiv: Umělé neuronové sítě, teorie a aplikace. Praha, C. H. Beck, 1998.
- [6] Svatoš J.: Biologické signály I - Geneze, zpracování a analýza. Praha, ČVUT, 1995.
- [7] Tůma J.: Když se tunel změnil v ohnivé peklo. Technický týdeník 49/99: s. 16.
- [8] Vydra L.: Analýza EEG markerů mikrosprávku. Výzkumná práce č. LSS 59/99. Praha, 1999.
- [9] http://teach.bhs.mq.edu.au/~tbates/imaging_techniques/EEG/EEG.html