

Spolehlivost ovládacích pohybů v systému man-machine

a její odezva na neuromotorický šum

Milan Hybner

17.6.2011

Úvod

Lidské pohyby můžeme z hlediska kvality popsat jako elegantní, rychlé, přesné, rytmické, úsporné nebo naopak jako neohrabané, pomalé, nepřesné, nerytmické či prováděné se zbytečně vynakládaným úsilím. Roční dítě nedokáže správně hodit míček, padá při chůzi, naopak mistr bojového umění aikido s ladností a bez únavy hází své protivníky vzduchem a "tančí" mezi nimi. Výše zmíněné kladné kvality pohybu (přesnost, rychlost) často odpovídají lepšímu dosažení cíle; přesnost pohybu zajišťuje, že dojde k žádoucí interakci člověka a vnějšího prostoru (přemístění předmětu, ukazování, tj. komunikační funkce), rychlost a energetická úspornost nám umožňují šetřit časové a energetické zdroje, které tak mohou být využity k jiným účelům.

Splnění daného cíle však nezávisí jen na pohybu samotném, ale také na vnějších podmínkách, na tom, co se děje v prostředí, ve kterém se člověk pohybuje, ale i na podmínkách uvnitř organismu. Proto má lidský organismus systém řízení motoriky, pomocí kterého se s měnícími podmínkami vyrovnává a zajišťuje splnění žádaného cíle za různých podmínek. Systém řízení motoriky má několik úrovní (monosynaptické reflexy, ostatní vrozené reflexy, podmíněné reflexy, rozhodování), na kterých provedení pohybu zajišťuje; tyto úrovně se liší částí nervové soustavy, která onu úroveň řízení zajišťuje, v důsledku toho i reakční dobou, se kterou jsou schopny pohyb modifikovat a také způsobem, jakým upravují pohyb při provedení. Přesné a bezchybné provedení pohybů nám "kazí" několik faktorů.

Za prvé, vnější podmínky provedení pohybu nejsou nikdy přesně stejné. Při kombinaci pohybů (např. ukazování za chůze nebo při otáčení těla) působí na tělní segmenty setrvačné síly. Vnitřní podmínky organismu (vzhledem k systému řízení motoriky vnější, nepředvídatelní činitelé) jsou také variabilní. Dýchání mění tvar hrudníku a uspořádání segmentů těla (hlavně paží) v okolí, srdeční činnost způsobuje tlakové vlny v organismu, redistribuce krve v těle způsobené vegetativní NS mění hmotnosti a objemy tělních segmentů a v neposlední řadě okolní teplota mění mechanické

vlastnosti tkání, včetně svalové. Změny svalové tuhosti vlivem teploty mají velký vliv na kinematiku a dynamiku pohybu a tedy i velké nároky na přizpůsobení pohybu danému úkolu. Kromě vnějších rušivých vlivů, které způsobují, že pohyb je pokaždé proveden trochu jinak, lze předpokládat, že variabilitu pohybů zajišťují samotné principy motorického řízení, které se snaží předejít nadměrné svalové únavě stereotypii pohybů. Ačkoli timing (načasování) pohybů příliš vysokou variabilitu nevykazuje, kinematická stránka pohybu s redundantním počtem stupňů volnosti vykazuje vysokou variabilitu mezi jednotlivými pokusy téhož pohybového úkolu.

Za druhé, regulace pohybů, založená na principu zpětné vazby, je negativně ovlivněna zpožděním a nepřesnostmi v přenosu signálu z receptorů (neuromotorickým šumem, viz obr. 1). Stejně tak samotné provedení pohybu je (kromě výše zmíněných vnějších vlivů) ovlivněno šumem, tedy zkreslením řídicího signálu putujícího do svalů. Zkreslení řídicího signálu je přímo úměrné velikosti působící svalové síly. Tento jev je nejspíše důsledkem tzv. Hennemanova principu velikosti, což je charakteristika systému řízení svalové činnosti spočívající v tom, že motorické jednotky (skupiny svalových vláken inervovaných jedním motoneuronem) se zapojují se vzrůstajícím nárokem na produkovanou sílu od nejmenších po největší. Při největší vynakládané síle - a tedy zapojení největších motorických jednotek - je i projev neuromotorického šumu největší.

Řízení pohybů zdá se mít co do přesnosti a rychlosti pohybů jakýsi limit. V pohledu na lidský organismus jako na informační systém je tento limit vyjádřen jako propustnost informačního kanálu v bitech a svazuje rychlost a přesnost pohybu v nepřímé úměře dle tzv. Fittsova zákona (Fitts, 1954)

$$MT = a + b \log_2 \left(1 + \frac{D}{W} \right)$$

kde MT je doba pohybu, D je vzdálenost cíle, ke kterému směřujeme a W je jeho délka (v jedné dimenzi) resp. šířka pásu (ve dvou dimenzích)

I přes výše uvedené mají lidské pohyby vcelku slušnou spolehlivost; ta je navíc ovlivněna vnímanou důležitostí daného pohybového úkolu vyššími kognitivními centry CNS. Existují mechanismy, které zajišťují větší přesnost pohybů na úkor jiných parametrů, jindy upřednostňovaných (například omezení stupňů volnosti při jejich nadbytečnosti). Například stres může zkrátit reakční dobu a zvýšit svalové napětí, nadměrný tonus ale tak může vést k rychlé únavě a následnému zvýšenému svalovému třesu.

Problém

Můj výzkum se bude zabývat následujícími otázkami:

1. Do jaké míry a za jakých podmínek je lidský systém řízení motoriky schopen ovládat spolehlivost pohybů? Jaká jsou pro a proti různých strategií řízení spolehlivosti a jaké jsou jejich účinnosti vyjádřené kvantitativně jako zvýšená spolehlivost?
2. Jaká jsou specifika ovládání stroje jako prostředku, jímž je plněn pohybový úkol? Jaká je přenositelnost principů řízení motoriky na jiný efektor než lidská ruka, např. na střelnou zbraň, počítačovou myš, volant automobilu?
3. Jak se projeví zvýšená úroveň šumu na spolehlivosti řízení pohybů? Jak se projeví narušení vnitřního prostředí organismu vlivem únavy, intoxikace, působení irelevantních senzorických stimulů na spolehlivosti a variabilitě pohybů?
4. Nakolik je řízení pohybů vědomé a nakolik nevědomé a jak to stanovit? Jakou část pozornosti (informační kapacity lidského mozku) zaberou pohyby v závislosti na obtížnosti jejich provedení?
5. Existují nějaké biomechanické prostředky, jimiž můžeme zvýšit spolehlivost pohybů? Na základě jakých principů je možné vytvořit adaptivní uživatelské rozhraní, které zvýší spolehlivost ovládání stroje a jaká bude jeho efektivita?

Metody

Matematický model bude vytvořen s pomocí softwaru MATLAB a SIMULINK. Pro měření a posouzení biomechanické stránky pohybu budou využity metody dynamické a kinematické analýzy, metody měření svalové aktivity a metody měření variability pohybu. Úroveň neuromotorického šumu bude hodnocena pomocí vhodných testů, viz např. Galen (2000).

Reference

FITTS, Paul M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, volume 47, number 6, June 1954, pp. 381–391. (Reprinted in *Journal of Experimental Psychology: General*, 121(3):262–269, 1992)

VAN GALEN, G. P. - VAN HUYGEOORT, M. Error, stress and the role of neuromotor noise in space oriented behaviour. *Biological Psychology*, 2000, č. 2-3, pp. 151-171, ISSN 0301-0511.