

Algoritmy pro detekci předmětů, které mohou být pro slepého člověka nebezpečné

Ing. Michal Plhoň

Abstrakt: Tato práce se zabývá možnostmi, jak slepým lidem poskytnout základní informaci o vnějším prostředí. Naším cílem je vytvoření takové náhrady zrakového vjemu, aby se slepý člověk používající tuto náhradu byl schopen bezpečně pohybovat v neznámém prostředí. Snahou je vyvinout spolehlivý a finančně snadno dostupný systém, který nebude nutné připevňovat chirurgickou cestou.

Námi navržené řešení se soustředí na variantu náhrady zraku hmatem. Oproti jiným, dosud zveřejněným řešením, jdeme cestou zvýšení informační hodnoty dat posílaných na pokožku uživatele. Tato varianta si klade za cíl snížení datového toku, jehož důsledkem by měl být vyšší uživatelský komfort.

Dva algoritmy, které zde prezentujeme, jsou velmi jednoduché a při jejich návrhu bylo počítáno s následnou implementací do hradlového pole či zpracování signálovým procesorem. Oba algoritmy jsou schopny v reálném čase nalézt v obraze objekty, které jsou v určitých, předem definovaných, vzdálenostech.

1 ÚVOD

Skrze naše smysly poznáváme a vnímáme veškerý okolní svět. U člověka hrají vedoucí roli informace přijímané okem a uchem. Asi 40% informací přicházejících během dne ze smyslových orgánů do mozkové kůry pochází u zdravého člověka ze sítnice [1]. Ve chvíli ztráty schopnosti vnímat okolní svět prostřednictvím zraku tedy člověk přichází o velké množství informací.

V zásadě existují dvě základní možnosti, jak tyto informace slepému člověku poskytnout. První přístup spočívá v obnovení zrakového vjemu, druhý v poskytnutí vizuální informace, nebo její části, prostřednictvím jiného smyslu.

Možnosti navrácení zrakového vjemu jsou úzce spjaty s příčinami slepoty. V případech, kdy není poškozen oční nerv, se nabízí varianta nahrazení sítnice. Ve všech ostatních případech je nutno uvažovat o přímé stimulaci mozkové kůry. Tyto přístupy jsou invazivní (technické prostředky je nutné pacientovi připevnit chirurgickou cestou), což je náročné a finančně velmi nákladné.

Za předpokladu, že člověk trpí výhradně ztrátou zraku, je možné využít některý z jeho ostatních smyslů a prostřednictvím něj mu žádané informace poskytovat. Touto cestou lze vyvinout přístavek takového charakteru, že nebude nutný žádný chirurgický zákrok.

1.1 Formulace problému

Pokud se slepý člověk chce sám pohybovat v neznámém prostředí, je v první řadě nutné zajistit mu bezpečný pohyb. Jde o to, aby byl slepý člověk včas upozorněn na potenciálně nebezpečné objekty vyskytující se ve vzdálenostech, ve kterých mohou ohrozit jeho zdraví. Hlavním úkolem tedy je definovat soubor kolizních stavů, tyto stavy v reálném čase identifikovat a upozornit na ně takovým způsobem, aby bylo možné kolizi zabránit.

Překážky a míra jejich nebezpečnosti je značně závislá na typu prostředí. Obecně lze říci, že vše, co jakýmkoliv způsobem neodpovídá naší představě o stavu okolí, je nebezpečné. Není zde řeč pouze o objektech umístěných v cestě (sloup, zábradlí, zeď), jedná se i o terénní nerovnosti schodovitého charakteru (obrubník, kámen, hrana výkopu).

Snahou je vyvinout cenově dostupné zařízení, které bez nutnosti chirurgického zákroku sníží riziko zranění nevidomého člověka pohybujícího se v neznámém prostředí a současně neohrozí ani jej ani nikoho jiného, kdo se v jeho blízkosti vyskytuje.

1.2 Předchozí práce zabývající se podobnou tematikou

Problematika náhrad lidských smyslů je velmi obsáhlá. Jde především o náhrady převádějící jeden smysl na druhý (např. zrak na hmat), ale jsou zde zahrnuty i systémy nahrazující lokálně poškozený smysl smyslem stejným (hmat na hmat). Asi nejúspěšnější náhradou prvního druhu je Braillovo písmo následované slepeckou holí [8].

Pokud se zaměříme čistě na oblast nahrazení zraku hmatovou informací, pak se hlavní výzkum zabývá schopnostmi lidského těla přijmout a zpracovat informaci skrze taktilní senzory umístěné v pokožce. Popsány jsou pokusy, kdy jsou drážděna taktilní čidla dobrovolníků pomocí různě umístěných mechanických i elektrických aktuátorů [9-14]. Snaha je vyvolat hmatový vjem na rtu, jazyku, čele, zádech, břiše a konečcích prstů [15-18]. Poslední zmíněný způsob však nebyl navrhován pro rychle se měnící obrazové informace.

Další velkou částí související s problematikou je přizpůsobivost mozku k vnímání časoprostorových souvislostí skrze hmat, který na to není původně stavěn. Výzkum se zabývá schopnostmi vrozeně slepého člověka dekodovat vizuální informace, zkoumána je také přizpůsobivost mozku k učení se „vidět skrz kůži“ [19-24].

1.3 Přínos našeho řešení

Veškeré dostupné práce zabývající se problematikou náhrady zrakové informace informací hmatovou (za účelem poskytnutí informace o okolním prostředí) se soustředí na předání úplných, nebo jen minimálně upravených, obrazových dat převzatých z obrazového snímače (viz předchozí odstavec). Úpravy se přitom týkají výhradně převedení výstupního signálu z kamery na signál, který je člověk schopen vnímat skrz hmat.

V našem případě navrhujeme řešení, které se zaměřuje na zvýšení bezpečnosti slepého člověka. Z tohoto hlediska není zdaleka nutné přenášet plnou obrazovou informaci, stačí jen část nesoucí prostorovou souvislost mezi uživatelem a potenciálně nebezpečnými objekty – jakousi vzdálenostní mapu. Vzhledem ke skutečnosti, že se objekty, které lze za nebezpečné považovat, vyskytují v určité přesně definovatelné vzdálenosti od uživatele, není potřeba přenášet celou vzdálenostní mapu, ale pouze její užitečnou část.

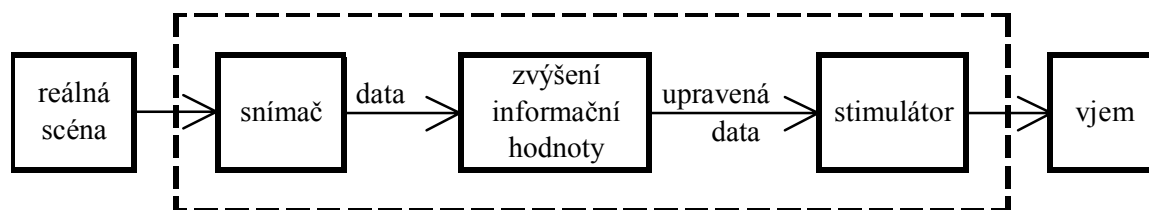
Výsledné zařízení musí být snadno přenosné, energeticky nenáročné a musí pracovat v reálném čase. Je tedy nezbytně nutné maximálně využít dostupnou výpočetní kapacitu. Níže uvádím příklady dvou snadno implementovatelných algoritmů jenž značně zvyšují informační hodnotu dat přicházejících na pokožku uživatele. Tím, že se budou předávat pouze podstatné údaje, lze rovněž účinně snížit zatížení taktilních čidel člověka a předejít tak přetížení smyslu. Můžeme předpokládat, že snížení informačního toku přinese vyšší uživatelský komfort. Není totiž cílem vytvořit zařízení, které bude člověku jakkoliv na obtíž.

Užitečnost jednotlivých algoritmů bude zkoumána a optimalizována s ohledem na schopnost slepého člověka vyhodnotit a včas správně zareagovat na kolizní situaci.

2 NAVRHOVANÉ ŘEŠENÍ

Námi sestavený řetězec se s největší pravděpodobností bude sestávat ze stereoskopického páru kamer, které budou mít vzájemně rovnoběžné optické osy v pevně stanovené vzdálenosti. Snímacím prvkem v kamerách bude CMOS senzor a pro zpracování informace bude použit signálový procesor nebo hradlové pole. Konečným prvkem v řetězci se pak stane

aktuátor, který bude připevněn na pokožku a pomocí elektrických signálů v ní vybudí hmatový vjem.



Obr. 2.1 Blokové schéma obecného technického zařízení umožňujícího člověku vnímat okolní prostředí

V první fázi je uvažována pouze varovná funkce. Systém bude v okolním prostředí vyhledávat objekty, které se nacházejí v cestě slepého člověka a mohou mu bránit ve volném pohybu. Tento problém lze vyřešit pomocí jediné kamery. Princip je velice prostý a spočívá v tom, že scénu snímá kamera s objektivem s velkým relativním otvorem. Objektiv je pevně zaostřen na určitou vzdálenost, pro náš případ přichází do úvahy vzdálenost cca 0,5 m, a odcloněním se dosáhne malé hloubky ostrosti. Pokud nebezpečným (kolizním) stavem označíme situaci, kdy se libovolný objekt nachází ve vzdálenosti 0,5 m od kamery, lze pak velice jednoduchým algoritmem vyhledávat ostré hrany v obraze. Pokud se totiž na snímači objeví ostrá hrana (veliký rozdíl v jasových hodnotách u sousedících obrazových bodů), nachází se v zaostřené vzdálenosti nějaký objekt. Na tuto skutečnost je pak třeba uživatele upozornit.

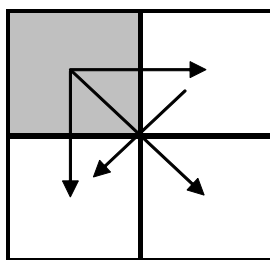
Výhodou zmíněného řešení je především jeho celková jednoduchost a nízké požadavky na realizaci výpočtu. Nevýhodou je pak obtížná filtrace objektů s vysokým kontrastem nacházejících se v nezaostřené vzdálenosti a také skutečnost, že k účinné filtraci objektů mimo rovinu zaostření je třeba použít kvalitnějšího objektivu.

Dalším možným způsobem, jak vyhledat nebezpečné objekty v nebezpečných vzdálenostech vychází z použití dvou kamer. V obrazech na jednotlivých snímačích se pak hledá korespondence a následným výpočtem lze určit vzdálenost zobrazeného bodu od kamery.

Výhodou je možnost použití standardního hardware a snadnější odfiltrování objektů v bezpečných vzdálenostech nezávisle na jejich hranové ostrosti. Nevýhodou je pak nutnost řešit dílčí podproblémy z oblasti stereovizního zobrazování, například hledání korespondence.

2.1. Použití jedné kamery

Zpracování obrazu je v tomto případě velmi triviální záležitostí, jde pouze o nalezení hran. V níže uvedeném algoritmu, který je napsán v MATLABu a optimalizován pro možnost následné implementace do hradlového pole se vyhledává největší jasový rozdíl ve čtyřech směrech. Maximální „hrana“ se zapíše do aktuálního pixelu (na obr. 2 vyznačen šedivě).



Obr. 2.2 Hranovací maska

Po nalezení hran se provede oprahování. Práh je určen největší nalezenou hodnotou hrany v celém snímku vydělenou zvoleným číslem. Zde je konkrétní realizace algoritmu hranování.

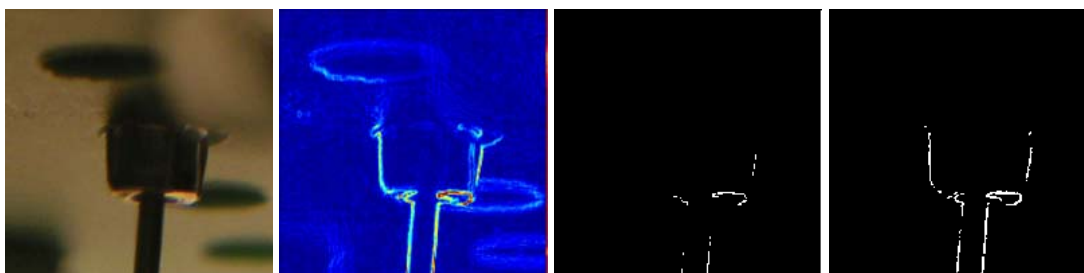
```
[m,n]=size(obr);
hrana=0;
max_hrana=0;

for i=1:m-1
    radek_1=obr(i,:);
    radek_2=obr(i+1,:);
    posun_radek_1=[radek_1(2:end),0];
    posun_radek_2=[radek_2(2:end),0];

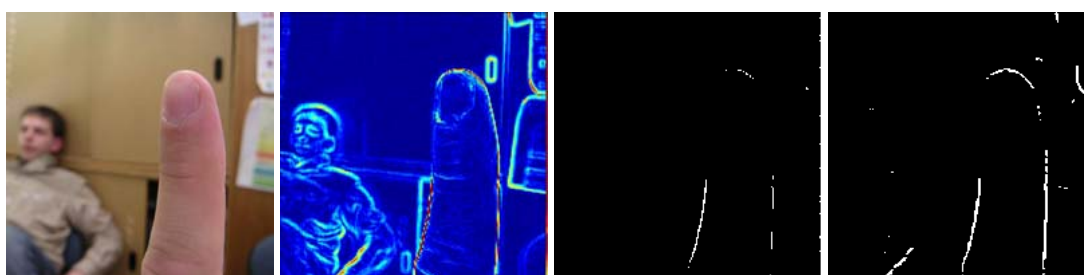
    hrana_1=abs(radek_1-radek_2);
    hrana_2=abs(radek_1-posun_radek_2);
    hrana_3=abs(radek_1-posun_radek_1);
    hrana_4=abs(radek_2-posun_radek_1);

    hrana(i,1:n)=max(hrana_1,hrana_2);
    hrana(i,1:n)=max(hrana(i,1:n),hrana_3);
    hrana(i,1:n)=max(hrana(i,1:n),hrana_4);
end

max_hrana=max(max(hrana(:,1:end-1)))/3;
```



Obr. 2.3 Výsledky algoritmu. Originál – Hrany – Oprahováno s parametrem 2 – Oprahováno s parametrem 3



Obr. 2.4 Výsledky algoritmu. Originál – Hrany – Oprahováno s parametrem 2 – Oprahováno s parametrem 3

2.2. Použití dvou kamer

Vzhledem k charakteru problému není v našem případě třeba vypočítávat konkrétní vzdálenostní hodnotu jednotlivých objektů v obraze, stačí nám pouze informace o tom, že nějaký z objektů se vyskytuje v menší než stanovené vzdálenosti. Zde se tedy přímo nabízí možnost odfiltrování vzdálených objektů tím, že šířka stereozákladny nebude příliš velká. Tím se hrany vzdálených objektů dostanou na stejné relativní umístění v obraze. Pokud se tedy v prvním snímku ze stereopáru vyskytne hrana, která nebude mít odpovídající odezvu ve druhém snímku, lze říci, že jsme našli hranu, která je vůči kameře blízko. Čím větší bude

vzdálenost stejné hrany v levém a pravém stereosnímku, tím bude samozřejmě hrana blíže a je třeba na ni slepého upozornit intenzivněji.

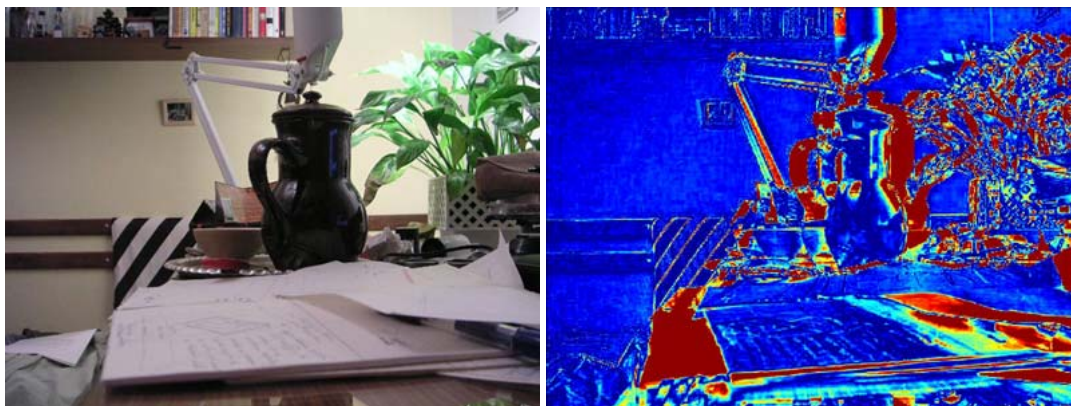
Pro základní otestování algoritmu jsem použil digitální fotoaparát, kterým jsem posouval po rovné podložce kolmo k optické ose objektivu. Problém korespondence v obraze jsem řešil tak, že jsem za použití grafického editoru na sebe oba záběry nalícoval. Při tomto slícování jsem neprováděl geometrické ani jasové transformace, pouze jsem oba snímky vůči sobě vzájemně posouval.

Algoritmus je opět velmi jednoduchý z důvodu snadné implementovatelnosti. Zde je jeho konkrétní realizace následovaná obrazovými ukázkami.

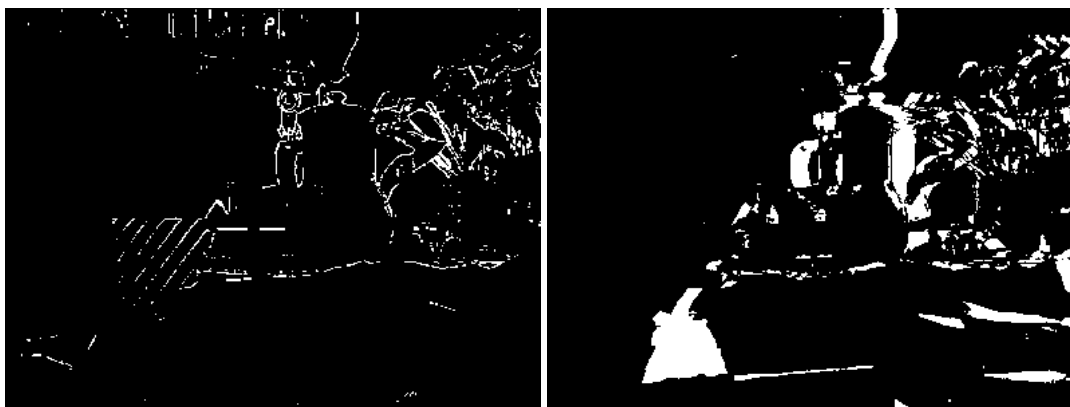
```
[m,n]=size(obr_l);
hrana=0;
for i=1:m-1
    levy_radek=obr_l(i,1:n);
    pravy_radek_1=obr_r(i,1:n);
    pravy_radek_2=obr_r(i+1,1:n);
    posun_pravy_radek_1=[pravy_radek_1(2:end),0];
    posun_pravy_radek_2=[pravy_radek_2(2:end),0];
    posun2_pravy_radek_1=[pravy_radek_1(3:end),0,0];
    posun2_pravy_radek_2=[pravy_radek_2(3:end),0,0];

    hrana_1=abs(levy_radek-pravy_radek_1);
    hrana_2=abs(levy_radek-pravy_radek_2);
    hrana_3=abs(levy_radek-posun_pravy_radek_2);
    hrana_4=abs(levy_radek-posun_pravy_radek_1);
    hrana_5=abs(levy_radek-posun2_pravy_radek_2);
    hrana_6=abs(levy_radek-posun2_pravy_radek_1);

    hrana(i,1:n)=min(hrana_1,hrana_2);
    hrana(i,1:n)=min(hrana(i,1:n),hrana_3);
    hrana(i,1:n)=min(hrana(i,1:n),hrana_4);
    hrana(i,1:n)=min(hrana(i,1:n),hrana_5);
    hrana(i,1:n)=min(hrana(i,1:n),hrana_6);
end
```



Obr. 2.5 Výsledky algoritmu. Originál (levý obrázek stereopáru) – Hrana



Obr. 2.6 Porovnání algoritmů po oprahování. *Algoritmus pro jednu kameru – Algoritmus pro dvě kamery*

3 ZÁVĚR

Tento příspěvek poskytuje základní náhled na možnosti, jak pomocí technických prostředků umožnit slepému člověku, aby se v neznámém prostředí mohl bez cizí pomoci bezpečně pohybovat a orientovat. Celá problematika je zde nahlížena z pozice vizuálních informací – jejich získání, přenosu a interpretace.

V první fázi se zaměřujeme především na zvýšení bezpečnosti pohybu slepce. Uvedl jsem dva velmi jednoduché algoritmy, kterými lze v neznámém prostředí za určitých podmínek nalézt objekty, které jsou potenciálně nebezpečné. Z porovnání výsledků lze říci, že se s největší pravděpodobností budeme ubírat k použití dvou kamer. Tyto kamery budou vzájemně posunuty a zafixovány, čímž bude možné celý systém přesně zkalibrovat. Bez této kalibrace by použití takto jednoduchého algoritmu nebylo myslitelné. Algoritmus bude implementován do hradlového pole nebo signálového procesoru a výstup bude zasílán do aktuátoru připevněného na pokožku uživatele.

LITERATURA

- [1] Kolb E.: Životní procesy pod lupou, Horizont, Praha 1984
- [2] Trojan S. a kol.: Lékařská fyziologie, Grada, Praha 1999
- [3] Kreps J.: Problematika umělého zraku, Bakalářská práce TF ČZU, Praha 2005
- [4] Indyk D., Velastin S.A.: Survey of range vision systems, Mechatronics vol. 4. no. 4. pp 417-449, 1994
- [5] Fischer J.: Optoelektronické senzory a videometrie, Vydavatelství ČVUT, Praha 2002
- [6] Boyle J., Maeder A., Boles W.: Scene specific imaging for bionic vision implants, Proceedings of the 3rd International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis, Rome, Italy September 2003
- [7] Spence A. P., Mason E. B.: Human anatomy and physiology, The Benjamin/Cummings Publishing Company, USA 1987
- [8] Bach-y-Rita P., Kercel S. W.: Sensory substitution and the human-machine interface, Trends in Cognitive Sciences, Vol.7 No.12 pp 541-546, Dec 2003
- [9] Kajimoto H. et al.: Smart Touch – augmentation of skin sensation with electrocutaneous display, Proceedings of the 11 Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems 2003, 40 – 46
- [10] Kaczmarek K.A.: Electrotactile adaptation on the abdomen: preliminary results, IEEE Trans. Neural Rehabil. Eng. 8, pp 499 – 505, 2000
- [11] Kajimoto H. et al.: Optimal design method for selective nerve stimulation and its application to electrocutaneous display, Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems 2002, pp 303 – 310

- [12] Kaczmarek K.A., Haase S. J.: Pattern identification as a function of stimulation current on a fingertip-scanned electrotactile display, *IEEE Trans. Neural Rehab. Eng.* 11, pp 269 – 275, 2003
- [13] Kaczmarek K.A., Haase S. J.: Pattern identification and perceived stimulus as a function of stimulation current on a fingertip-scanned electrotactile display, *IEEE Trans. Neural Rehabil. Eng.* 11, pp 9 – 16, 2003
- [14] Kaczmarek K.A., Bach-y-Rita P.: *Tactile displays, Advanced Interface Design and Virtual Environments*, Oxford University Press, Oxford 1995
- [15] Shim J. W., Liu W., Tang H.: System development for multichannel electrotactile stimulation on the lips, *Medical Engineering and Physics* 28, pp 734 – 739, 2006
- [16] Bach-y-Rita P. et al.: Form perception with a 49-point electrotactile stimulus array on the tongue, *J. Rehabil. Res. Dev.* 35, pp 427 - 430, 1998
- [17] Bach-y-Rita P.: *Nonsynaptic Diffusion Neurotransmission and Late Brain Reorganization, Demos - Vermande*, New York 1995
- [18] Wall S. A., Brewster S.: Sensory substitution using tactile pin arrays: Human factors, technology and applications, *Signal Processing*, pp 1-22, 2006
- [19] Sampaio E., Maris S., Bach-y-Rita P.: Brain plasticity: visual acuity of blind persons via the tongue, *Brain Research* 908, pp 204 - 207, 2001
- [20] Heller M. A.: Tactile picture perception in sighted and blind people, *Behavioural Brain Research* 135, pp 65-68, 2002
- [21] Collins C. C.: Tactile image perception, *IEEE Intercon Tech. Pap.* 937
- [22] Bach-y-Rita P., Tyler M. E., Kaczmarek K. A.: Seeing with the brain, *Int. J. of Human-Computer Interaction*, Vol.15 No.2 pp 285 - 295, 2003
- [23] Collins C. C.: Tactile television. Mechanical and electrical image projection, *IEEE Trans. Man-Machine Syst.*, Vol.11 No.1 pp 65 - 71, 1970
- [24] Kupers R., Ptito M.: Seeing through the tongue: cross-modal plasticity in the congenitally blind, *International Congress Series*, Vol.1270 pp 79 - 84, Aug 2004