

# Simulácia normálneho vývinu, monokulárnej deprivácie a reverznej sutúry zrakovej kôry mačiek

Michal Vaľko, valko at sturak . sk, 1. apríla 2004

Fakulta Matematiky, Fyziky a Informatiky, Univerzita Komenského, Bratislava

*Tento text bol vypracovaný ako projekt na predmet Neuropočítanie prednášaný Dr. Igorom Farkašom v letnom semestri 2003/2004. Jeho cieľom je pomocou BCM teórie simulovať a na výsledkoch prezentovať správanie zrakovej kôry počas takzvaného kritického obdobia postnatálneho vývinu mačiek.*

## BCM teória

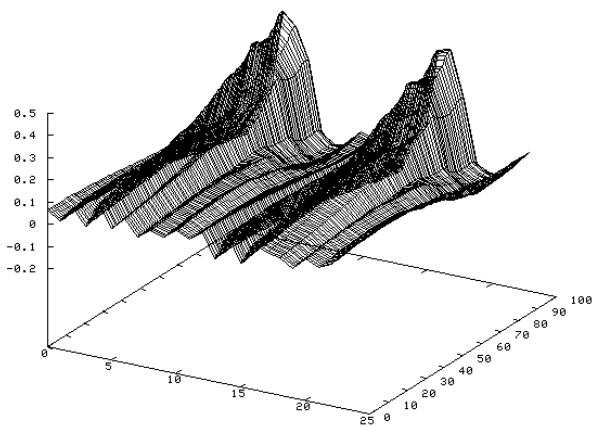
Autormi sú Bienenstock, Cooper a Munro. Ich teória úspešne vysvetlila vznik orientačnej selektivity v normálnom ako aj deprivovanom prostredí v zrakovej kôre mačiek. V simulácii použijeme jeden lineárny neurón. Nech  $m$  je vektor váh,  $d$  je vektor vstup. Výstupom takéhoto neurónu je  $c = md$ . Súčasne sa mení modifikačný prah, tak aby bol lineárne závislý od disperzie za posledných  $\tau$  výstupov (pričom dávnejšie výstupy majú menšiu váhu). Zmena váh je potom daná súčinom koeficientu učenia, modifikačného prahu a parabolickej funkcie posledného výstupu. Podrobnejšie informácie o BCM teórii sú uvedené v [1].

## Model

Naším modelom<sup>1</sup> bude jeden lineárny BCM neurón. Bude reprezentovať populáciu neurónov v kortikálnom stĺpiku zrakovej kôry počas kritického obdobia po narodení. Neurón bude mať 24 vstupov, 12 pre ľavé a 12 pre pravé „oko“. Aktivita, teda jeden z 12 smerov je reprezentovaná vstupom veľkosti  $1 + \text{šum}$  na danom vstupe,  $0,7 + \text{šum}$  na susedných vstupoch a  $0,3 + \text{šum}$  na tých ďalších. Na ostatné vstupy je privádzaný šum. Podobne v prípade, keď aktivita nie je. V nasledujúcom popíšeme jednotlivé simulácie a budeme pri nich diskutovať pozorované zmeny váh, potom sa zamierame na ostatné parametre.

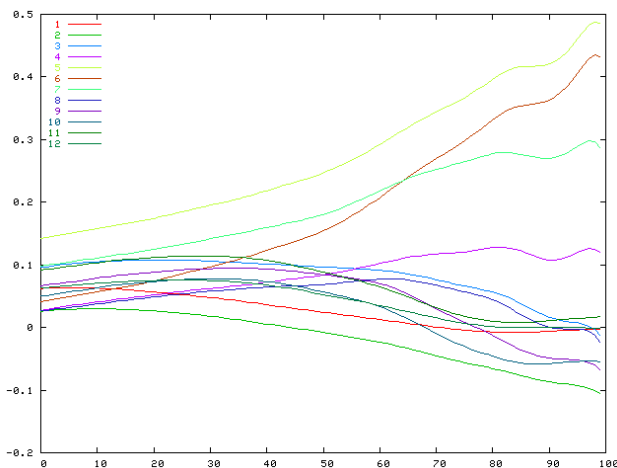
## Simulácia normálneho vývinu

Aktivita je na vstup privádzaná s 20% pravdepodobnosťou, zvyšok je šum. Pri aktivite je každý smer vybratý s rovnakou pravdepodobnosťou. Výsledkom každej simulácie je to, že oči sa stanú selektívne citlivé na jeden a ten istý smer (vstup). Výsledná aktivita neurónu je maximálna pre rovnaký smer pre  $c_L$  aj  $c_R$ . Rovnako maximálne sú aj zodpovedajúce váhy. Druhé najväčšie hodnoty získali v simulácii susedia víťazov. Namerané hodnoty váh v počas simulácie najlepšie ukazuje graf č. 1. Vývin váh pre jednotlivé oči s farebným rozlíšením vstupov sú na grafoch č. 2 a 3.

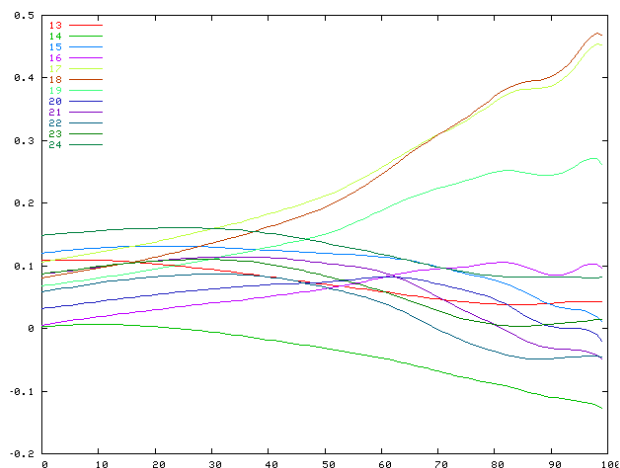


Graf 1 Normálny vývin - zmena váh oboch očí v čase

<sup>1</sup> znázornené výsledky sú pre  $\tau=1000$ , škálovacia konštanta pre prah 10 a koeficient učenia 0,005



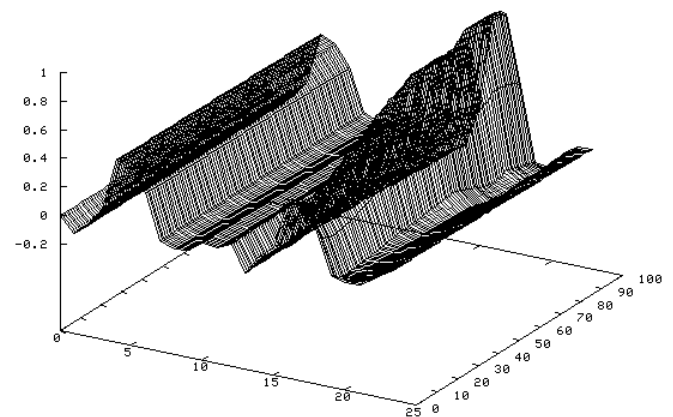
Graf 2 Normálny vývin - ľavé oko



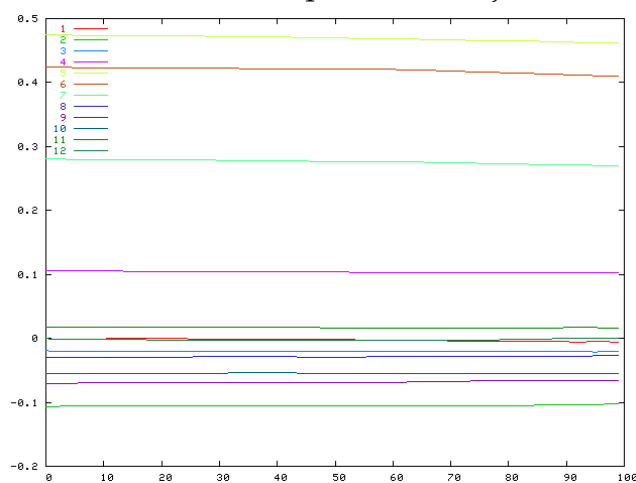
Graf 3 Normálny vývin - pravé oko

## Monokulárna deprivácia

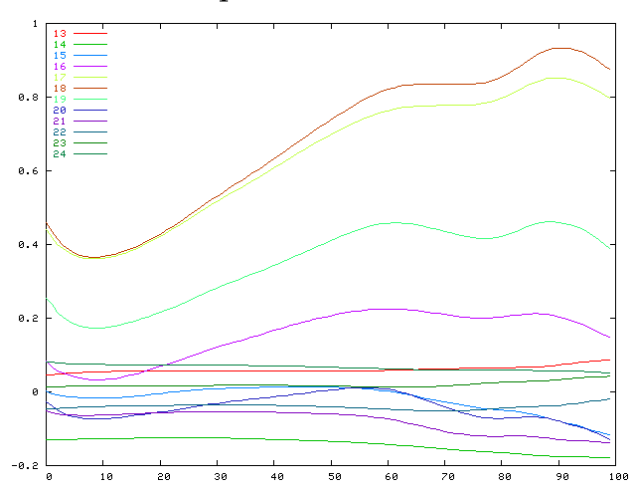
Po normálnom vývine zrakovej kôry, jedno z očí zatvoríme. To znamená, že BCM neurón vystavíme rovnakým vstupom ako pri normálnom vývine s tým rozdielom, že na vstupy reprezentujúce vybrané oko, budeme v každej iterácii privádzať iba šum. V prezentovaných výsledkoch sme za „slepé“ zvolili ľavé oko. Na grafe č. 4 vidíme postupnú zmenu váh<sup>2</sup>. Váhy otvoreného oka signifikantne vzrástli po niekoľkých desiatkach tisícov krokoch a v ďalších priebehoch simulácií oscilovali okolo nadobudnutých hodnôt. Váhy zatvoreného oka postupom času veľmi mierne klesali, polovicu svojich hodnôt nadobudli až po niekoľko stovkách tisícov



Graf 4 Monokulárna deprivácia - zmena váh oboch očí v čase



Graf 5 Monokulárna deprivácia - ľavé oko



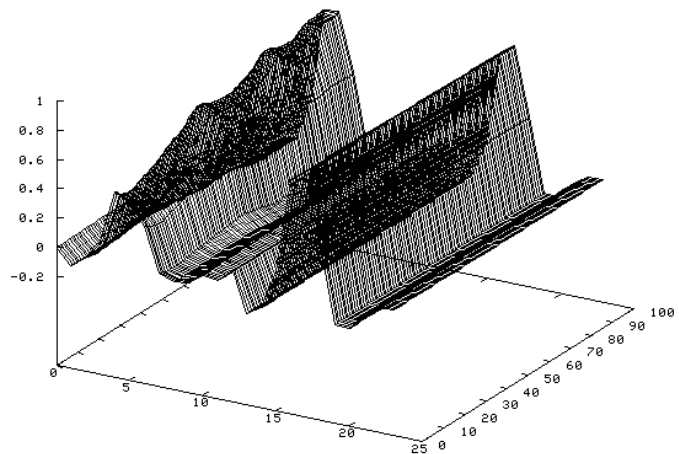
Graf 6 Monokulárna deprivácia - pravé oko

krokoch. Zmeny váh pre jednotlivé oči su znázornené v grafoch č. 5 a 6.

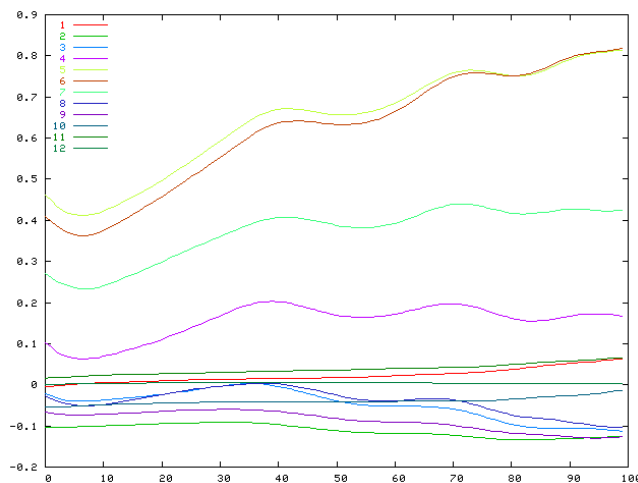
<sup>2</sup> v stovkách krokoch - rovnako ako vo všetkých grafoch v práci

## Reverzná sutúra

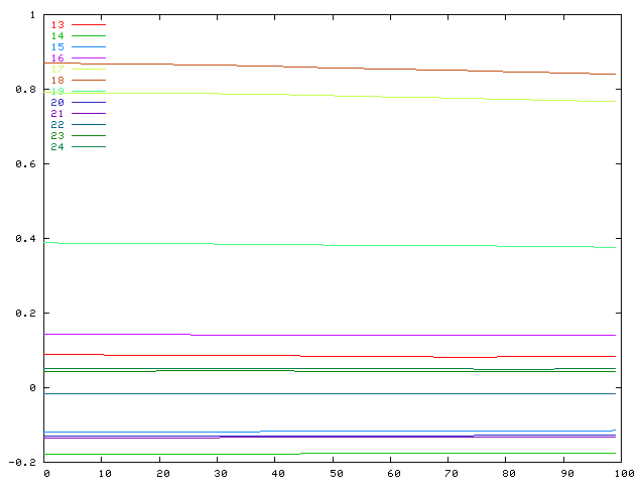
Pri reverznej sutúre si oči úlohy vymenia. Po zväčšení váh otvoreného oka pri monokulárnej deprivácii zavrieme otvorené a otvoríme zavreté oko. V prezentovanom prípade teda budeme mať otvorené len ľavé oko. Výsledky simulácií (graf č. 7) ukázali že predtým deprivované (ľavé) oko si získalo späť svoju selektivitu a dotiahlo veľkosti svojich váh na druhé (pravé) oko. Váhy pravého oka zasa pomaly klesali. Rýchlosti zmien boli podobné ako pri MD. Jednotlivé váhy ukazujú grafy č. 8 a 9.



Graf 7 Reverzná sutúra - zmena váh oboch očí v čase



Graf 8 Reverzná sutúra - ľavé oko

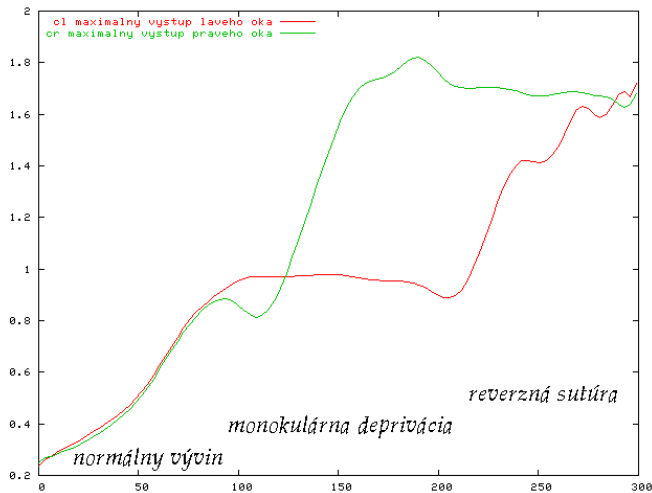


Graf 9 Reverzná sutúra - pravé oko

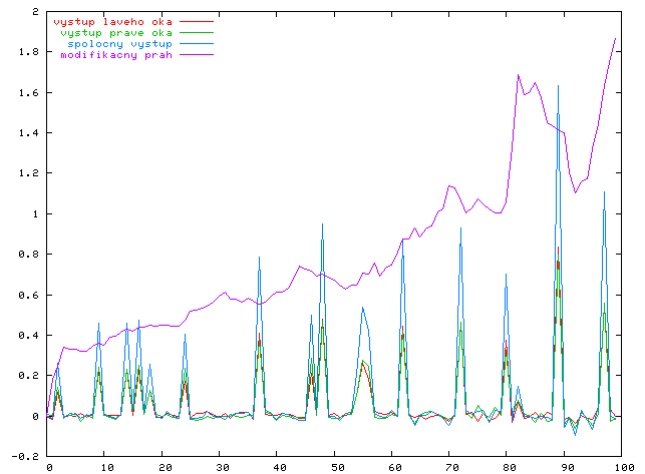
## Priebeh ostatných parametrov

Výstupné aktivity  $c_L$  a  $c_R$  pri testovaní všetkých 12-tich aktivít vo všetkých prípadoch vysoko korelovali s váhami. Je to samozrejme dané spôsobom výpočtu (výstup je skalárny súčin váh a vstupov). Výsledky ukazujú grafy č. 11, 12, a 13. Zaujímavejšie však bolo sledovať časový vývoj maximálnych odpovedí počas jednotlivých fáz simulácie (graf č. 10). Maximálne odpovede sa dosahovali vždy pre neurónom „vybratý“ smer. Počas normálneho vývinu rástli odpovede lineárne po určitú hranicu okolo ktorej oscilovali. V prípade MD začali odpovede pre zatvorené oko mierne klesať, avšak odpovede otvoreného oka zaznamenali rýchly nárast do cca 2-násobných hodnôt okolo, ktorých potom oscilovali. RS potom znamenala fakticky zmenu týchto trendov. Predtým zatvorené oko sa rýchlo „spamätalo“ a predbehlo aj odpovede druhého oka, ktoré sa začali znižovať. Modifikačný prah vykazoval prepokladané správanie a v podstate kopíroval<sup>3</sup> strednú odchýlku odpovedí (grafy č. 11, 12, a 13)

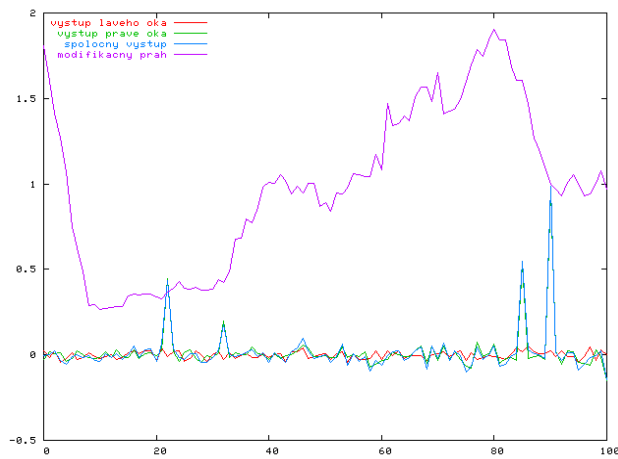
<sup>3</sup> po predelení škálovacou konštantou, ktorá bola v zobrazených grafoch rovná 10



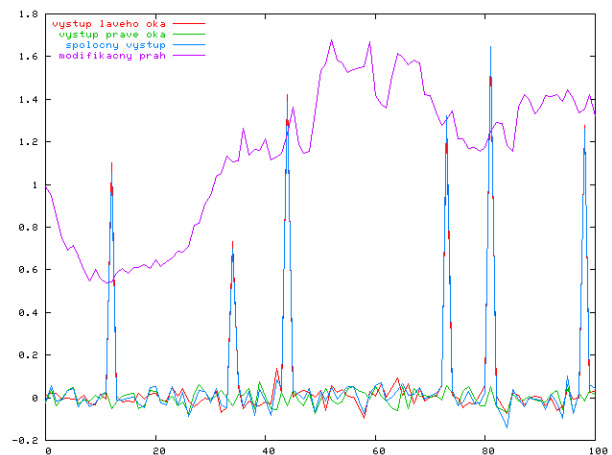
Graf 10 Maximálne  $c_L$ ,  $c_R$  pri všetkých fázach



Graf 11 Normálny vývin



Graf 12 Monokulárna deprivácia



Graf 13 Reverzná sutúra

## Literatúra

- [1] Nathan Intrator a Leon N. Cooper BCM Theory of Visual Cortical Plasticity The Handbook of Brain Theory and Neural Networks, MIT Press, 1995, 153 -157,
- [2] Brian S. Blais, Harel Z. Shouval, Leon N. Cooper, The role of presynaptic activity in monocular deprivation: Comparison of homosynaptic and heterosynaptic mechanisms, Proc. Natl. Acad. Sci. USA Vol. 96, pp. 1083-1087, 1999 Neurobiology