

Zavestna informacijska obdelava slik (multidisciplinarni model na osnovi Pribramove holonomske teorije možganov)

MITJA PERUŠ

Inštitut BION, Stegne 21, 1000 Ljubljana
(mitja.perus@uni-lj.si)

IZVLEČEK

Članek predstavlja nevropsihološki model informacijsko varčne možganske obdelave vidnih vzorcev vzdolž retino-genikulo-striatne vidne poti do njihovega ozaveščenja. Vidna zavest ni razložena, pač pa so opisani procesi, iz katerih ozaveščenje slik domnevno izhaja oziroma z njimi sovpada. Podan je izčrpen in sistematičen pregled eksperimentalne nevropsihološke, nevrofiziološke, psiho-fizične, biokibernetске in nevro-modelske literature ter optimalna integracija v nov model procesiranja možganskih slik. Izhodišče zanj je Pribramova "holograf-ska metafora" oziroma posplošeni holografiji podoben model.

Ključne besede: vid, zaznavanje, nevropsihologija, možgani, zavest, Pribram, holografija, nevronska mreža, kvantna mreža, VI, procesiranje slik

ABSTRACT

CONSCIOUS INFORMATION PROCESSING OF PICTURES (MULTIDISCIPLINARY MODEL BASED ON PRIBRAM'S HOLONOMIC BRAIN THEORY)

The paper presents a neuropsychological model of information-preserving brain processing of images along the retino-geniculo-striate visual pathway until the subject becomes conscious of them. The visual consciousness is not explained, but those processes are described which are hypothetically responsible for conscious experience or are correlated with it. A comprehensive and systematic overview of the experimental neuropsychological, neurophysiological, psychophysical, biocy-bernetic and neuro-modeling literature is given as well as an optimal integration into a new model of image processing in brain. It is founded on the Pribram "holographic metaphor", i.e. a model based on generalized holography.

Key words: vision, perception, neuropsychology, brain, consciousness, Pribram, holography, neural net, quantum net, VI, image procesnig

1. UVOD IN PREGLED VSEBINE

Namen tega preglednega članka je opisati nevropsihološki (vsaj v glavnih potezah tudi matematično podprt in računalniško izvedljiv) model tistega dela vidne zaznave, kjer se informacijsko obdelujejo vidni vzorci, preden v naslednji stopnji razpoznavamo predmete kot celoto (like ali gestalte). Ne da bi se spuščal v številne pojave in značilnosti vidnega občutenja (t.j. v psihofiziko) in zaznavanja ter likovnega (slikovnega) asociativnega mišljenja (t.j. v kognitivno psihologijo), se osredotočam na nevropsihološko obravnavo obdelave vzorcev, ko se naposled pojavijo v zavestnem doživetju kot "notranje slike".¹ Kot najbolj primerno osnovo sem izbral holonomsko teorijo možganov Karla Pribrama (1991).

Naslov članka je skrajšana različica od "Zavestna informacijska obdelava vidnih vzorcev". Ker pa bo v besedilu iz konteksta razvidno, da govorimo o možganski obdelavi naravnih slik iz okolja oziroma njihovih projekcij na mrežnici in v raznih možganskih predelih, ne za slike v umetniškem smislu, bom uporabljal odslej krajšo različico – obdelava slik. Ker nas zanima, kako lahko rezultat te možganske obdelave ozavešimo, govorim o zavestni obdelavi slik. Sama obdelava torej ni nujno zavestna, vsaj ne na fiziološki ravni, marveč smo zavestni njene rezultirajoče slike in deloma miselnih posledic. Vsi obravnavani modeli ponarejajo (imitirajo) kvečjemu le dinamične fiziološke podstati zavesti, torej so največ "predfenomenalni". Doživljajske razsežnosti (kvalije) bi simulacijski proces kvečjemu morda "nujno in samodejno spremljale", če bi bil dejavno umeščen v ustrezno sistemsko okolje, ali pa jih (kot je seveda bolj verjetno) ne bi bilo.

V prvem poglavju so predstavljeni problem in "sredstva" za njegovo reševanje. To so holonomska teorija možganov in nekateri matematično-računalniški modeli, kot so analiza neodvisnih komponent in kvantno izvedljive (implementabilne) asociativne mreže sklopljenih oscilatorjev s kodiranjem v fazah. V drugem poglavju je predstavljena obdelava informacij vzdolž t.i. vidnih poti od mrežnice do kortikalnih področij (t.j. v možganski skorji), upošteva običajno² eksperimentalno nevroznanost (vključujoč nevrofiziologijo, nevropsihologijo, kognitivno nevroznanost). Sledi nevropsihološki pregled obdelave slik, pa tudi pripadajočih ali soodvisnih procesov, kot so t.i. zgodnji vid, razločevanje podobe od ozadja, vidni spomin, zaznava in razpoznavanje predmeta, vidna pozornost in zaznavna oziroma razpoznavna vezava.³

Nadaljujem z zaznavo odsekov robov oziroma razpoznavo robov in drugih elementov (Stillings idr., 1995) uporabljajoč obdelavo svetlobnih kontrastov in (dvojno) nasprotujočih barvnih razmerij. V tretjem poglavju je podan pregled Pribramove holo-

¹ Namen dela seveda ni razložiti vidno zavest, temveč vključiti dosegljivo znanje o njej v nevropsihologijo vida.

² Mišljena je nevroznanost, kot jo danes pozna in izvaja večina strokovnjakov. Pribram ima alternativne poglede.

³ Z izrazom "občutek" je, kot navadno, mišljen fiziološki odziv čutila, ne možganov. Beseda "zaznava" obeležuje možganski dogodek, ne več le odziv čutila, vendar je bolje uporabiti besedo "razpoznavna", ko gre za integrirano "zaznavo". Torej bom govoril o razpoznavi predmeta, četudi to zveni kot višja, ali vsaj bolj asociativna, kontekstualna stopnja od zaznave. (Npr. ko neznani predmet vidimo prvič, ga zaznamo, ne pa razpoznamo tako kot bi neki znani predmet, za katerega bi takoj rekli npr.: "Aha, letalo.") Obdelava (procesiranje) slik je pogoj za naslednjo stopnjo – razpoznavo predmeta, ki zaobsega mnogo mikroskopskih zaznav odsekov robov in drugih elementov vidnega vzorca oziroma slike. Izdelek obdelave slik je t.i. notranja, duševna slika, ki je (poleg možganske podstati) tudi edino, kar ima zaznava skupnega z vidnim predstavljanjem (ki je domišljjsko). Zaznavna oziroma razpoznavna vezava (angl. "perceptual binding") je proces, ki veže elemente slike (npr. točke, lise, črte, robove, ploskve) v enovito celoto, npr. predmet.

nomske teorije, predvsem njenega dela o vidu, in nekaj primerjav z običajno nevroznanostjo. Četrto poglavje je obravnava računalniških modelov za t.i. maksimizacijo informacije (največji možni izkoristek informacij), kot so različica t.i. analize neodvisnih komponent Bella in Sejnowskega (1996, 1997) ter Olshausnova in Fieldova (1996a,b) mreža, ki ustvari najbolj redko kodiranje. Ti modeli so obdelani v kontekstu holonomske teorije in njej sorodnih modelov.

V petem poglavju preidem od obravnave procesiranja slik k razpravi o ozaveščanju rekonstruirane duševne slike". Najprej poskušam sestaviti in zaokrožiti prej obravnavane modele, vključno z mojim modelom kvantnih asociativnih mrež (orig. Peruš v Wang idr., 1998) in modelom dendritskega procesiranja v striatnem korteksu (V1) (Jibu, Yasue in Pribram v Pribram, 1991), v integralni model obdelave slik. Nato vključim v obravnavo zavest in kvantne procese – ločeno, čeprav pokažem znamenja⁴, da obstaja bistvena zveza, npr. pri zaznavnih projekcijah v prostor. Sledi obravnava zavesti od njenih nefizioloških spremljevalnih procesov (t.i. korelatov) do njene kakovostne doživljajske pojavnosti (kvalitativne fenomenalnosti), posebno seveda za vidno zaznavo.

Za dosego namena raziskave uporabljam pregled nevronske mreže podobnega kvantnega asociativnega procesiranja (Peruš & Dey, 2000) začenjajoč s seznamom nevronske podobnosti (Peruš, 1996, 1997a, 1998a), ki ga potem uporabim za prevod "algoritma" za nevronske obdelave informacij v matematični formalizem kvantne fizike (Peruš, 2000c).⁵

2. OD NEVROFIZIOLOGIJE K NEVROPSIHOLOGIJI VIDA

Sodobna kognitivna nevroznanost (Kosslyn & Andersen, 1992) nadgrajuje spoznanja o optičnih procesih v očesu, o biokemiji pigmentov v receptorjih (čepkih, palčkah) ob vpadanju elektromagnetnih valov znotraj t.i. vidnega spektra, in o nevroanatomiji vidnih središč,⁶ nadalje pa tudi podtemeljuje spoznanja o nastalih občutkih ter izkustvene opise zaznavnih pojavov.⁷

Vzporedno porazdeljena (paralelno distribuirana) obdelava živčnega vzburjenja, nastalega v notranjem delu receptorskih celic v mrežnici, se začne v mrežnični plastoviti nevronske mreži. Živčni signali z vkodiranimi vidnimi informacijami nato potujejo po vidnem živcu skozi levo in desno lateralno genikulatno jedro⁸ v zatilno primarno vidno možgansko skorjo (striatni korteks ali V1), odtod pa v ekstrastriatna (npr. V2, V3) in v druga vidna "središča" (največ v "spodnje-senčni", t.j. inferotemporalni korteks)⁹ ter naposled v t.i. terciarna asociacijska oziroma več-čutilna (multi-modalna) in nadzorna področja, kot je prvenstveno (nad)čelni prefrontalni korteks, kjer se vid že integrira z

⁴ Prim.: Goswami (1990); Lockwood (1989); Bob in Faber (1999); Stapp (1993); Rakić idr. (1997); Pribram (1998b; 1997a); Hameroff idr. (1994, 1995, 1996, 1998); Pylykänen in Pylykko (1995); Peruš (2000a; 1997b,c).

⁵ V omenjenih člankih so predstavljene nekatere izboljšave, kjer kvantna asociativna obdelava informacij presega izhodiščni model nevronske mreže. Te izboljšave večinoma izhajajo iz holografske podobne obdelave razmerij nihajnih faz (t.j. razdalj oziroma zaostankov med vrhovi valov). V slovenščini je povzetek teh matematično-fizikalnih obravnav na voljo v: Peruš (2000a, dodatek A).

⁶ Glavno čtivo: Kandel idr. (1991); Berne in Levy (1993); Hucho (1986); De Yoe in Van Essen (1988).

⁷ Glavno čtivo: Lurija (1983); Perret in Oram (1998); Pribram, Lassonde in Püto (1981).

⁸ Sta v talamusu. Čtivo o obdelavi signalov v LGN: Weliky in Katz (1999).

⁹ Glavno čtivo: Schiller in Logothetis (1990); Livingstone in Hubel (1988); Stillings idr. (1995, pogl. 12); Kosslyn (1988); Van Essen in Anderson (v Zornetzer, Davis in Lau, 1990); Fuster in Jervey (1982); Zeki (1976).

mišljenjem v širšem smislu.¹⁰

V1 je odločilen za obdelavo slik in tudi za njihovo ozaveščanje (čeprav se tega procesa samega naj še ne bi zavedali), V2 in V3, s sodelovanjem V4 za barve in V5 (= MT) za premikanje, pa naj bi izvedli zaznavo predmeta na osnovi ugotavljanja skupnih značilnosti (korelacij) delov slik, nanizanih v zaznavnem zaporedju.¹¹ Na osnovi izoblikovanja lika ali gestalta v ekstrastriatni skorji sledi dokončna kategorizacija oziroma dokončna razpoznavna predmeta v inferotemporalni skorji, pri čemer je vključeno razumevanje predmeta oziroma njegove vloge (torej je predmet vključen v asociativni kontekst oziroma miselne zveze z drugimi izkušnjami) (Pribram, 1991).

Šele v možganskih področjih, omenjenih v zadnjem stavku, naj bi se porodila zmožnost zavestnega vidnega doživljanja (Crick in Koch v Hameroff idr., 1996), vključno s pripadajočim samozavedanjem, torej z zavedanjem lastne vidne zaznave, kar je šele prava zavest (Gennaro, 1995). Ni pa jasno, kako in kaj je s kakovostno razsežnostjo vidnega doživljanja oziroma s t.i. vidnim pojavljanjem ali takšnostmi (kvalijami) (Peruš, 1998b, c.e). Ne moremo namreč razložiti, zakaj so zaznave (npr. barve) takšne, kot so – slep človek si jih ne more povsem predstavljati na osnovi našega natančnega znanstvenega opisa.

Informacije, zakodirane v valovni dolžini vpadnega elektromagnetnega valovanja, se vzdolž t.i. vidne poti obdelujejo relativno ločeno od informacij o jakosti tega valovanja, ki ga imenujemo svetloba (čeprav je svetloba že zavestno doživljanje posledic, ki jih to valovanje sproži v možganih). Prvi, t.i. parvo-kanal naj bi pričel udeležati zaznavo barv, vzdolž drugega, t.i. magno-kanala pa naj bi se bolj natančno obdelovali črno-beli oziroma sivi vzorci ter npr. t.i. prostorska globina, premikanje ali utripanje dražljajev oziroma predmetov. Za zaznavo mnogih lastnosti, kot npr. oblike, kanala izmenjujeta informacije.

K t.i. zgodnjemu vidu¹² spadajo zaznavanje robov, črt, tekstur, enotnih površin in njihovih barv ter stopenj osvetljenosti, in razne inter- ter ekstrapolacije (popolnjevanja zabrisanih dražljajev), "likovno" (gestaltno) grupiranje zaradi skupnega gibanja ali neke asociacijske pripadnosti (oziroma t.i. *pregnance*).

V striatni skorji (V1) se sestavita leva in desna slika v enotno t.i. kiklopsko sliko, katere elementi oziroma kodi posameznih informacijskih značilnosti (t.i. statističnih komponent) se razporedijo v t.i. retinotopni zemljevid. To pomeni, da se vidne informacije z mrežnice (retine) približno izomorfno preslikajo, t.j. v "1:1 (vsaka-v-vsako)" redu, na površini V1, kjer nastane "karta" sortiranih vidnih informacij (iz katerih se da rekonstruirati t.i. "duševna slika"). Podobni retinotopni zemljevidi z malce bolj abstraktnim kodiranjem se ponavljajo še globlje v vidno skorjo.¹³ Očesi tekmuteta (t.i. binokularno rivalstvo) za zastopanost na retinotopni karti, kar se celo anatomsko izraža v t.i. lisah očesne prevlade (okularne dominanc) enega ali drugega očesa.¹⁴ Posledica primerjanja slik obeh oči oziroma njunih razlik (binokularna dispariteta – neskladje) je med drugim t.i. tri-razsežni (prostorski) vid ali stereopsa (deAngelis, 2000; Porrill idr., 1999). Izvor zaznavanja prostora in trirazsežnih oblik v njem pa ni le zaznavanje "globine" (oddaljenosti od oči), ki izhaja iz sestavljanja slik obeh oči, ali razmerij "globine" glede na površine (delov) predmetov, kot se izražajo npr. v lokalnih usmerjenjih in ukrivljenjih. Prostorsko zaznavo prinašajo tudi nekateri enoočesni procesi, kot so sence,

¹⁰ McIntosh idr (1999); Rainer in Miller (2000).

¹¹ Pregledno čtivo: Logothetis (1999); Baars (1997); Arbib (1995).

¹² Pregled v: Poggio idr. (1985); Tittle in Todd (v Arbib, 1995). O posameznih nalogah v: Lehigh in Sejnowski (1988); Wallis in Bülthoff (1999); Zipser in Andersen (1988).

¹³ Tootell idr. (1998); Kirvelis (2000); Ritter idr. (1992); Aine idr. (1995, 1996).

¹⁴ Miller idr. (1989); Swindale (1996); Obermayer idr. (1992); Ritter idr. (1992).

gradienti¹⁵ tekstur (t.j. ponavljajočih se mini-vzorcev ali mikro-reliefov), gradienti barvnih odtenkov, značilnosti relativnih gibanj in dejstvo, da so bližnji predmeti videti večji od oddaljenih in jih lahko prekrivajo, nikoli obratno.

Pozornost je selektiven psihofiziološki proces, s katerim možganska skorja (oziroma zavest, povedano psihološko) od prefrontalne in inferotemporalne navzdol po hierarhiji (prek V4, V1 idr.) vpliva na procese na vidni poti do zgodnjih stopenj, posebno v lateralnem genikulatnem jedru.¹⁶ Pri tem odločilno sodeluje retikularno jedro v talamusu, vpeto v t.i. talamo-kortikalno zanko, ki oblikuje in po vidnem polju premika t.i. okno (zavestne) pozornosti.¹⁷ To pomaga tudi pri nujnem izločevanju (zanimivega) predmeta od (nezanimivega) ozadja. Ta t.i. segmentacija slike se modelira z mrežami procesnih enot (formalnih nevronov) z nihajočimi aktivnostmi, ki se sklopljajo ali ne. To pomeni, da enote, katerih aktivnosti nihajo brez zamika ali s stalnim zamikom (fazo) med valovi (t.j. "v fazi" ali koherentno), kodirajo predmet; ostale enote z nekoherentnimi nihanji pa ozadje.¹⁸ Pravzaprav tako s pomočjo pozornosti istočasno vežemo vse tiste dele slike, ki imajo nekaj skupnega (npr. sestavljajo enoten predmet) v sestavljeni in enotno (zavestno) zaznavo. Informacijske zveze so vkodirane z isto fazo nihanj, pripadanje istemu predmetu pa je vkodirano z oblikovanjem gestalta oziroma vzorca-atraktorja kolektivnih stanj mrežnih enot (podrobnosti v: Peruš, 1995a).

Obdelavo slik je treba ločiti od razpoznave predmeta.¹⁹ Ob gledanju, npr. med počasno hojo, v možgane prihajajo mnoge podobne slike pretežno istih predmetov, če zelo ne obrnemo pogleda. Striatna skorja obdela sliko, ekstrastriatna skorja poišče zaznavne stalnice (invariance) v nizu slik in posledično izoblikuje določen gestalt ("gledano s psihološkega vidika") oziroma možganski vzorec-atraktor ("gledano z nevrofiziološkega vidika").²⁰ Čeprav torej gledamo različne slike predmeta z različnih zornih kotov, razpoznamo ta predmet kot en in isti. Pogledi z malo različnih zornih kotov, za kar je navadno potrebno premikanje, so nujni za iskanje zaznavnih stalnic (skupnih elementov slik v nizu), ki so zastopane v korelaciji slik (korelacije pa so gradivo asociativnega spomina v matriki vezi med formalnimi nevroni!). Te stalnice, nujne za razpoznavo predmeta, se matematično opisujejo s teorijo Lievih grup.²¹

Dokaz za razliko med obdelavo slik in razpoznavo predmeta je tudi eksperimentalna ugotovitev (von der Heydt idr., 1984), da so se nevroni v V2 odzvali na navidezne krivulje, kot da bi bila krivulja dejanska. Nevroni V1 pa niso reagirali nanjo. V2, katerega nevron zbere signale gruče nevronov v V1, torej že ustvarja preproste like (gestalte), V1 pa še obdeluje slike. Dodatna razlika je, da za opis (v modelu, v možganih pa je podobno) obdelave slik uporabljamo t.i. reprezentacije, ki so odvisne od zornega kota, za opis predmetov in njihovih odnosov pa t.i. predmetne reprezentacije.²²

Poleg že omenjene glavne vidne poti prek obstranskih genikulatnih jeder so še

- 15 Gradient je mera za stopnjo postopne spremembe (neke količine ali lastnosti, npr. velikosti, barve).
- 16 Mesulam (1981); Changeux (1986); Montero (2000); Moran in Desimone (1985); Wurtz idr. (1980).
- 17 Crick (1984); Bickle idr. (1999); Vidyasagar (1999); Desimone (1996).
- 18 Fiziologija: Gray idr. (1989, 1990). Modeli: Baird (1990); Wang, (1999); Sompolinsky in Tsodyks (1994).
- 19 Glavno čtivo o zaznavi predmetov: Riesenhuber in Poggio (2000); Wallis in Bülthoff (1999); Lee in Blake (1999a). Računalniški modeli npr. v: Ullman in Soloviev (1999); Pötsch idr. (1999), Intrator in Gould (1992).
- 20 O atraktorskih mrežah v: Amit (1989); Haken (1991, 1996); Peretto (1992); Geszti (1990); Haykin (1994).
- 21 Pregled v: Luccio (1993); Dodwell (1983). Širši kontekst v: Pribram (1991). Matematične podrobnosti v: Hoffman (1966, 1968, 1970); Caelli (1976); Tsao idr. (1991).
- 22 Pribram (1998a); Stillings idr. (1995, pogl. 12); Perret in Oram (1998); Bridgeman (v Arbib, 1995).

druge; pa tudi od V1 naprej je poleg že omenjenega kortikalnega nadaljevanja od V1 prek V4 v inferotemporalno skorjo (t.i. kaj-pot) še drugi kanal od V1 prek V5 (= MT) v posteriorno parietalno skorjo (t.i. kje-pot ali natančneje "kako in kje narediti"-pot). Prva kortikalna pot naj bi torej bila odločilna za (često zavestno) razpoznavo predmetov (kaj so), druga pa za (praviloma nezavedno) ugotavljanje njihovega položaja in za vodenje motorične (gibalne ali manipulativne) dejavnosti proti njim ali z njimi.²³ Poti seveda nista strogo ločeni in nimata tako jasno določenih nalog.

Dovolj je dokazov, da "duševne slike" obstajajo (Changeux, 1986; Georgopoulos idr., 1989), čeprav so lahko kodirane "abstrahirano" (t.j. brez nebitvenih podrobnosti) in se pojavijo v običajni obliki v zavesti šele po procesu "holografske" rekonstrukcije. Kaže tudi, da si delijo domišljajske slike oziroma razne notranje-priklicane duševne slike iste nevrofiziološke korelate kot zunanje-povzročene, zaznavne slike (Kosslyn, 1988).

Raziskovanje vidnega spomina zaobsega široko paleto ravni in stopenj,²⁴ vendar se najpogosteje veže na korelacije med vzorci-atraktorji (Peruš, 1995a, 2000a), opisane s posplošitvami t.i. Hebbove matrike "sinaptičnih" vezi (Hopfield, 1982) med formalnimi nevroni, in na mnoge spremljajoče procese. T.i. Hebbova paradigma se klasično utemeljuje s fiziološkimi raziskavami dolgotrajne potenciacije in dolgotrajne depresije.²⁵ Poudariti je treba, da se kaže spomin kot precej porazdeljen pojav, pretežno vezan na kolektivno sistemsko dinamiko "fraktalnih" možganskih mrež, ki ustvarijo nekakšne "sledi" v "matriki" povezav ali interakcij med "elementi" mreže, ki jih imenujem(o) formalni nevroni. Te konekcionistične "osnovne" enote mreže so v klasičnih modelih nevroni, v holonomskem in nekaterih drugih novejših modelih pa se (dodatno) umeščajo globlje v elektro-kemijsko notranjost in okolje možganskih celic.

Globalno gledano naj bi se zgoščene slike hranile pretežno v možganski skorji, hipokampus, kjer so potrdili Hebbove procese, pa naj bi organiziral in razporejal slike po skorji. V skladu s holonomsko teorijo sem tukaj razširil Hebbovo pomnjenje na nihajne oziroma valovne procese, iz česar nastane holografiji podobno (kot sem ga poimenoval) fazno-Hebbovo pomnjenje.

Nihajne faze oziroma njihova razmerja so odločilna za izboljšano zaznavanje robov (predmetov). Samo omenjam, da tudi barve pripomorejo k zaznavi robov (Mullen idr., 2000), kolikor se barvni robovi ujemajo z dejanskimi robovi predmetov (v sencah zaradi ukrivljenosti ni tako). Za to se uporabljajo t.i. nevroni z barvnim nasprotovanjem (za utrditev "zmagujoče" barve znotraj barvne ploskve) in še bolj t.i. nevroni z dvojnimi nasprotovanjem (za ojačanje razlike barv prek roba, s čimer se poudarijo razlike med predmeti in ozadjem) (De Valois & Jacobs, 1968). Prvi tip nevronov ima receptivna polja²⁶ s središčnim odzivom na npr. rdečo in z lateralno-inhibitornim (t.j. zaviralnim s strani) delovanjem na dražljaje komplementarne barve (t.j. zelene). Drugi tip je bolj zapleten, saj sestavlja signale nevronov prvega tipa. Najpomembnejši barvni pojavi so (Trstenjak, 1996): mešanje barv, kjer so dejavni nevroni prvega tipa, barvni kontrast, kjer čepki poskušajo zlitii vpliva barve predmeta in osvetlitve v enovito izkušnjo, in barvna konstanca, kjer (zdaj nasprotno) kognitivni dejavniki poskušajo ločiti prvotno barvo predmeta in barvo osvetlitve, da bi predmet razpoznali v njegovi čimbolj "pravi,

²³ Glavno čtivo: Mishkin, Ungerleider in Macko (1983); Van Essen in Anderson (v Zornetzer idr., 1990).

²⁴ Pregled v: Kandel idr. (1991); Goldman-Rakic (1996). Podrobnosti v: Marder idr. (1996); Miyashita in Chang (1988); Tang idr. (1999); Desimone (1996).

²⁵ Pregledno čtivo: Gardner (1993); Abbot in Nelson (2000); Brown in Chattarji (v Arbib, 1995); Churchland in Sejnowski (1992). Podrobnosti: Bear (1996); Tang idr. (1999).

²⁶ Receptivno polje je tloris dendritskega drevesa oziroma opis vsega, kar vpliva na signal, ko gre po dendritu.

nespremenljivi" barvi (pri tem pa so, med drugim, dejavni nevroni drugega tipa).

3. HOLONOMSKI OPIS MOŽGANSKIH PROCESOV IN OBDELAVE SLIK

V nasprotju s klasičnimi modeli, kjer so osnovne enote mrež pretežno samo nevroni, so v Pribramovi holonomski teoriji te enote (formalni "nevroni") neki nosilci polja električne polarizacije znotraj sinapto-dendritske mreže. Za holonomski model sploh ni pomembno natančno definirati teh "osnovnih enot (formalnih nevronov)", saj je tak pristop zavajajoč, temveč spremljati, kako subcelični medij oblikuje valove, ki interferirajo (kar je nekakšen "izračun" korelacij!) in povzročajo holografiji podobne procese.²⁷ Tako so valovi lahko elektrokemijski ali/in kvantni (ki so "globlji, bolj fini") idr. Za (posplošeno) holografijo potrebujemo zgolj interferirajoče valove, njihov "križ-kraž" oziroma "sistem križišč" pa je (možganski) "hologram" – t.j. spomin, nosilec "sledi" slik, ki so (pretežno) korelacije slik. Pribram (1971, 1991) dopušča možnost, ki jo jaz tukaj razvijem, da so valovi, ki nosijo informacije, in možganski "hologrami", ki "shranjujejo zamrznjene informacijske sledi", tudi kvantni.

Pribram (1991) sam ostaja na ravni interakcijskih mrež v polju nihajoče električne polarizacije znotraj prepletov dendritov raznih nevronov. Kar ima njegova teorija skupnega s klasičnimi, so sinaptični stiki ali vezi, s katerimi so povezani dendriti. Klasične teorije največ pozornosti polagajo seštevanju signalov, ki sicer potujejo po dendritih, v somi (telesu) nevrona in njegovemu izhodnemu signalu po aksonu.²⁸ Holonomska teorija pa trdi, da je potovanje signalov po dendritih pomembnejše, saj se dendriti nevronov prepletajo in znotraj teh spleto²⁹ potekajo holografiji podobni skupinski oziroma sinergetski elektrokemijski procesi. Ti obdelujejo informacije, denimo slike. Tako sinapse niso edini možni skupinski nosilci spominskih sledi (korelacij), temveč so to lahko tudi t.i. "(med)dendritska križišča" (ali interakcije med valovi električnega polja oziroma med nosilci naboja v ali ob dendritih). Po holonomski teoriji je aksonski signal le nosilec rezultata obdelave informacij, ne pa same obdelave.³⁰ To kažejo Pribramovi (1995, 1997b) preizkusi, pri katerih se t.i. počasni nihajoči električni potenciali pojavljajo časovno pred živčnimi signali (akcijskimi potenciali), dokazujoč svojo osnovnost.

Koncentrične pasove istega razmerja vzbujenj (v polju polarizacij), katerih ključni pomen je Pribram prevzel od svojega učitelja Lashleya, lahko povezujem s t.i. območji privlaka vzporedno-razporejenega vzorca-atraktorja, ki se nahaja v t.i. potencialnem minimumu³¹ (Peruš, 1995a, 2000a). Po našem mnenju torej niso pomembne aktivnosti (aksonski signali) posameznih nevronov, temveč razmerja polarizacij v električnem polju, v katerem nevroni "posedajo" in ga soustvarjajo. Ta razmerja stanj v pestri dendritski mreži, ne elektrokemijska stanja sama, ustvarjajo virtualne gestalte ali duševne slike – pravi holonomska teorija.

Prednost dendritskih polj je, da so precej bolj prožna, spremenljiva in prilagodljiva, hkrati pa so tudi manj posredno povezana s kvantnimi polji, ki naj bi bila v zvezi z zavestnimi pojavi. Pravzaprav dendritska mreža, še bolj pa t.i. kvantna mreža, ustrežata prototipični t.i. umetni nevronske (konekcionistični) mreži, t.j. uspešnemu računal-

²⁷ O holografiji: Denisyuk (1984); Hariharan (1996); v *nevro-izvedbi*: Prideaux (1996); Psaltis idr. (1990).

²⁸ Koch (1997); Koch in Segev (2000). Mrežni modeli: npr. Gardner (1993); Hopfield (1982, 1984, 1995).

²⁹ O anatomiji in povezavah dendritov: Damask in Swenberg (1984); Hellwig (2000); Maletić-Savatić idr. (1999). O fiziologiji: Smith (1999); Savtchenko in Korogod (1997). Integralni modeli npr. v: Pribram (1993).

³⁰ Zveza med njima je izkustveno raziskana v: Berger, Pribram idr. (1990, 1992).

³¹ Izraza *atraktor* in *potencialni minimum* oba izražata, da gre za najbolj stabilno, privlačno stanje ("dno").

niškemu modelu – bolj kot pa izvorna mreža možganskih nevronov, ki jo naša računalniška "mreža" simulira in pri tem obdeluje informacije (Bray, 1995).³²

Holonomska teorija presega holografske predstavitve slik v prostoru-času ali spektralno (v valovih različnih frekvenc oziroma s t.i. Fourierovimi koeficienti) s tem, da jih predstavi v t.i. faznem "prostoru", ki zaobsega prostor-čas in spekter. V faznem prostoru je najmanjša enota informacije, t.i. logon ali "kvant informacije", udejanjen z Gaborjevim valovnim paketom (Daugman, 1985, 1988). Na vidni poti naj bi se informacije obdelovale tako, da bi se najbolj ohranila informacija (t.i. infomax pravilo) oziroma najbolj zmanjšala nejasnost ali negotovost (entropija), čeprav je na drugi strani entropija po holonomski teoriji potencialna informacija. Atraktorji, ustrezni gestaltom, so tako minimumi entropije oziroma maksimumi informacije, ne pa minimumi t.i. (proste) energije kot pri (bio)fizikalnih modelih, vključno s Hopfieldovo mrežo.

Procesna struktura nevronske mreže je najverjetneje odgovorna za t.i. habituacijo (zaznavno navajanje); za izluščanje novosti (nov dražljaj se primerja z rekonstruiranimi spominskimi slikami, njegovi novi elementi se izfiltrirajo in le oni se dodatno shranijo) in za t.i. adaptacijo (prilagajanje vidnega aparata za stabilizacijo slike) pa so potrebne bržkone tudi dendritske interferenice (Pribram, 1971). Nasploh ima motorika (premiikanje telesa, oči idr.), kot že omenjeno, odločilno vlogo pri razpoznavi predmetov, ki temelji na primerjanju slik z različnih zornih kotov; v tem okviru pa tudi adaptacija.

Omenjeni holonomski opisi zaznavnih procesov in njihovega ozadja veljajo seveda posebno tudi za vid. Za vid je kvazi-holografski opis kaskadnih procesov kodiranja in dekodiranja slik po retino-genikulo-striatni poti najbolj zgovoren. Ugotavljamo, da se takole izmenjujejo (ali celo dopolnjujejo) spektralna ("hologramska") in prostor-časovna reprezentacija slike: svetloba ("hologram") – predmet (lokaliziran v prostoru-času) – leča ("hologram") – mrežnica (lokalizirana slika) – lateralno genikulatno jedro ("hologram") – V1 ("hologram") – V2 (lokalizirana "slika"), in podobno še naprej do inferotemporalne skorje.

Navedeno kaskado holonomski model opiše kot zaporedje konvolucij (Pribram in Carlton, 1986). Vhodna slika konvoluirana z receptivnim poljem nevronov tiste plasti, v katero je slika vstopila. Konvolucija je tukaj vsota vseh "sinaptično uteženih" dendritskih prispevkov. Globalno lahko kaskado opišemo kot niz sestavljenih konvolucij (po ena v dendritskem drevesu vsakega nevrona v V1) mrežnične slike z receptivnim poljem striatnih (V1) nevronov. Pri tem je vsako receptivno polje (t.j. učinkovanje dendritskega drevesa s sinapsami) opisano z Gaborjevo valovno funkcijo (Lee, 1996; idr.). Rezultat konvolucije so sortirane aktivnosti nevronov znotraj kortikalnih stolpcev, ki se selektivno odzivajo na določene prostorske frekvence (t.j. pogostosti periodičnih) dražljajev na določena mesta mrežnice, posledično pa tudi na orientacije dražljajev.

Tako nastane dvójna spektralna reprezentacija slik v V1: t.i. redke kode, predstavljene v modelu s t.i. Gaborjevimi koeficienti (s), in Gaborjevi valovni paketi (g). Vsak koeficient s je "utež" pripadajoči Gaborjevi valovni funkciji g, ki (t.j. g) se izraža v receptivnem polju. Postavljam utemeljeno podmeno, da redke kode (imenovane tako, ker oligarhija dejavnih nevronov prevzame vso vlogo kodiranja, večina ostalih ne deluje) koristijo prvenstveno za samodejne reflekse in druge tekoče nezavedne akcije, ocene oziroma odločitve; Gaborjevi valovni paketi pa so kode, ki se uporabljajo za vidno mišljenje (vizualno kognicijo), pri čemer lahko sodeluje zavest. To ustreza holonomski ideji, da so dendritski procesi v tesni zvezi z zavestjo, nevroni (some s

³² Možganska skorja (modeli v: Burnod, 1990; Körner idr., 1999; Ingber, 1998) ima relativno enake lokalne strukture povezav (Ebdon, 1993), zato *globalna* uporaba mrežnih modelov *a la* Hopfield (1982) ni neupravičena.

aksonskimi signali) pa ne, saj služijo le za hitro in ažurno refleksno delovanje in prenašanje rezultatov dendrijskega procesiranja.

Obraten (rekonstrukcijski) proces, t.i. "dekonvolucija" spektralne reprezentacije (t.j. Gaborjevega valovnega paketa) iz V1 nazaj v običajno prostorsko-časovno (t.j. "slikovno") reprezentacijo, poustvari obrnjeno sliko predmeta v V2 (Pribram in Carlton, 1986). Kaže, da ta kasneje služi za neposredno (t.j. "nezakodirano") vidno zavestno doživljanje "v prostoru in času". Istočasno se Gaborjeva valovna reprezentacija, ki se predvidoma lahko seli, uporablja za abstraktne kognitivne procese v ozadju – tako da se jih ne zavedamo. Omenjene reprezentacije in njihove (medsebojne, dvosmerne) transformacije zelo spominjajo na holografijo (Gabor je bil njen odkritelj).

Ponovimo, da za razpoznavo predmeta iz slike ni toliko pomembno materialno udejanjenje ali utelešenje te slike, t.j. njen fiziološki korelat, marveč dejstvo, da dražljaj izomorfno sproži homeostatsko prestrukturiranje vse mreže na enoznačen način – mreža se znova uravnovesi v dražljaju značilno stanje, eno od t.i. lastnih stanj, ki deluje kot atraktor sistemske dinamike (Amit, 1989; Peruš, 2000a). Atraktorji lahko tako kot gestalti, katerim ustrezajo, potujejo (kot kaže) po možganskih mrežah in celo po njihovih raznih ravneh – z različnimi velikostnimi skalami. Najprimernejša koda za takšne premike oziroma projekcije je Gaborjev valovni paket kot informacijsko najbolj varčna reprezentacija. Šele ko se ta kvazi-holografsko (dekonvolutivno) rekonstruira, se znova pojavi (duševna) slika. Pri tem naj bi bile odločilne sakade – hitri, neopazni očesni skoki.

Kategorija je nekakšen atraktor atraktorjev (predmetov) – gestalt drugega reda – gestalt v vlogi prototipa med predmeti (iste vrste seveda). Kategorije ustvarja inferotemporalni korteks, potem ko je ekstrastriatni korteks razpozna(va)l (posamezne) predmete in mu jih ponudil (Pribram, 1991). Oblikovanje prototipa je nujno asociativno in kontekstualno v globalnem smislu, zato holonomska teorija govori, da inferotemporalna skorja ustvari vidno razumevanje ("comprehension"). Ugotavljam, da so virtualne hierarhije gestaltov oziroma njihovih atraktorjev (od slike oziroma lika predmeta do ustreznih kategorij raznih redov, ki jim pripada) opisljive z mrežnimi modeli s (fazno)-Hebbovimi matrikami (Peruš, 1995a, 2000a,c).

4. OPTIMALNI IZKORISTEK INFORMACIJ NA VIDNI POTI

V skladu s predpostavkami holonomske teorije o maksimizaciji informacije ("infomax") sem sistematično preučil in primerjal (med seboj in z znanjem o strukturi možganov) ustrezne računalniške modele – t.i. infomax-modele. Razen nekaterih (npr. Linsker, 1988; Harpur in Prager, 1996) večina izmed njih (Baird, 1990; Bell in Sejnowski, 1995, 1996, 1997; Olshausen in Field, 1996a,b, 1997; idr.) uporablja v fazah kodirane informacije, kar je najprimerneje za opažanje robov, ki je pogoj za uspešno razpoznavo predmetov.

Za modeliranje izoblikovanja takšnega delovanja receptivnih polj, da bo opisljivo z Gaborjevimi valovnimi paketi (kar je preizkusno dokazano in v skladu s holonomsko teorijo), sem predstavil "algoritem" različice t.i. analize neodvisnih komponent Bella in Sejnowskega ter "algoritem" sorodne mreže, ki ustvarja najbolj redke kode, Olshausna in Fielda. Izkazalo se je, da oba "algoritma" dobro reproducirata Gaborjeva receptivna polja nevronov v V1, tudi za gibanja³³ in barve, vendar ju ni mogoče (povsem) ustrezno implementirati v možganskem tkivu, vsaj kolikor kaže današnje skromno znanje o

³³ Van Hateren in Ruderman (1998); Bogacz idr. (2001); Artun idr (1998); Van Hateren in van der Schaaf (1998)

natančnih povezavah V1 z okolico. Druga mreža (Olshausen in Field, 1996a,b) se je izkazala kot malo bolj biološka kot prva, saj se da večji del njenega "algoritma" vzporediti s t.i. modelom procesiranja dendritskih polj (MacLennan v Pribram, 1993).

Vendar je proces redkega kodiranja, ki ga sicer vidni aparat nekako izvaja, ker je smiselno,³⁴ v računalniški simulaciji Olshausna in Fielda za zdaj ostal brez biološke utemeljitve.³⁵ Možnosti zanj so v vzvratnem delovanju višjih središč v smislu fiziološke hierarhije ali pa v smislu virtualne hierarhije atraktorjev. Namreč, morda se možganski "infomax" proces izvaja na ravni virtualnih ("softverskih") procesov, ki nimajo neposredne, razvidne fiziološke implementacije (podobno kot računalniški operacijski sistem nima "hardverske").

Kakorkoli, na retino-genikulo-striatni poti izdelana Gaborjeva receptivna polja, ki maksimalno ohranjajo informacijo, se uporabijo v konvolucijah dendritskih dreves striatnih (V1) nevronov. Tako se slika samodejno razstavi na t.i. statistično neodvisne komponente (pri tem se izluščijo tudi robovi), ki se ločeno spektralno zakodirajo v V1, in sicer na redko (kodirno vlogo ima večinoma le nekaj vodilnih nevronov mreže) in "nadpopolno" (kodirnih enot je več kot vhodnih enot). S tem je slika obdelana in pripravljena za naslednji proces v mreži med V1 in V2 – razpoznavo predmetov. Tukaj se začnejo ustvarjati predmetom ustrezni gestalti oziroma atraktorji. Bartlett in Sejnowski (1997) sta računalniško udejanila izdelavo statistično neodvisnih komponent in njihovo obdelavo v atraktorski mreži, pri čemer je nastal atraktor za vsako osebo iz slik njenega obraza z različnih zornih kotov (ko vrti glavo). V tej simulaciji so bile uporabljene Hebbove korelacije, jaz pa menim, da bi fazno-Hebbove korelacije še poboljšale rezultate in jih naredile bližje možganskim procesom.

Za razliko od običajnega Hebbovega spomina ali podobne t.i. analize glavnih komponent, ki temeljita na korelacijah (statistiki drugega reda) jakosti dražljajev, so v fazno-Hebbov spomin dodane razlike med fazami (statistike višjih redov)³⁶, saj temelji na nihajnih reprezentacijah slik. Tako postavljam podmeno, da fazno-Hebbovo procesiranje utegne biti biološko uresničljiva drugotna asociativna obdelava slik po "infomax" načelih, potem ko so bile slike uspešno predobdelane (vključno z izluščanjem robov in abstrahiranjem) in kodirane na način, ki je podoben analizi neodvisnih komponent. Ker so Gaborjevi valovni paketi (izdelki te analize) matematično enakovredni kvantnim valovnim paketom (Lee, 1996; MacLennan, 1991), lahko morda implementiramo (zavestno) asociativno vidno mišljenje oziroma manipuliranje slik predmetov s fazno-Hebbovimi procesi v kvantnih mrežah (Peruš in Dey, 2000). Ti bi vendarle bili vseskozi močno pogojevani s klasičnimi nevronskimi in dendritskimi procesi.

Za preučevanje možganskega kodiranja informacij na vidni poti so pomembni računalniški modeli, kot so analiza glavnih komponent, Kohonenov (1982, 1995) model t.i. samoorganizirajočih kart in t.i. vektorska kvantizacija (ki nima zveze s kvantno fiziko). Ti modeli imajo pomen za osvetlitev informacijskega procesiranja slik, čeprav njihove zveze s fiziologijo, ki sem jih sicer nakazal, niso povsem zadovoljive, tudi zaradi pomanjkanja izkustvenih podatkov. Računalniški model samoorganiziranih topološko-

³⁴ Eksperimentalni dokazi za informacijsko varčno obdelavo: Wainwright (1999); Van Hateren (1992), idr.

³⁵ Bio-implementacija je vprašljiva tudi za mnoge druge računalniško učinkovite infomax-modele: Hyvärinen idr. (1997, 1999, 2000); Nadal in Parga (1997); Lewicki in Olshausen (1999); Blais idr. (1997); Comon (1994).

³⁶ Podobno so fazne informacije in statistike višjih redov obdelovane tudi pri analizi neodvisnih komponent in pri njej sorodnemu procesu *povečevanja redkosti kodiranja*, ki prav tako oba presegata izračun korelacij jakosti.

korektnih preslikav³⁷ reprezentacij slik na anatomsko razvidne t.i. mape (karte), porazdeljene po površini možganske skorje, razporeja (informacijsko) podobne si kodirane dražljaje v bližnje si dele map. To se izvaja s tekmovanjem med nevroni za predstavniško vlogo, pri čemer je pomembna lateralna inhibicija (t.j. zatiranje med sosedji).

5. SLIKE, ASOCIACIJE IN ZAVEST

Potem ko so se vzdolž vidne poti do V1 slike nelinearno obdelale, sledi "lažji, fini", linearni del – fazno-Hebbovo asociativno procesiranje z atraktorji (gestalti). To se lahko, po mojem predlogu, izvaja tudi v kvantnih sistemih, če delujejo v skladu z "algoritmom" mojega izvirnega modela t.i. kvantnih asociativnih mrež. Te bi lahko bile implementirane v V1. Vendar je možgansko tkivo, vključno z V1, mnogonivojsko – podobne mreže se pojavljajo na različnih ravneh: nevronske, dendritske, mikrotubularne, kvantne idr. mreže. Kaže, da se tako atraktorska dinamika dogaja – v striatnih mrežah, ki so vgnezdene ena v drugo – nekako fraktalno.

Jibu, Yasue in Pribram (v Pribram, 1991, A) so izdelali model interferenčnih dogajanj v obmembranski "bioplazmi" (ioniziranem plinu) v dendritskem polju (izven in znotraj dendritov oziroma na njihovih izrastkih – angl. "spines") v V1. Vsebuje kvantnim podobne valovne procese in shranjevanje slik podobno fazno-Hebbovemu, kot ga jaz označujem.

Kvantne asociativne mreže (Peruš, 2000c; Peruš in Dey, 2000), ki bi dopolnjevale pravkar omenjene dendritske procese na globlji ravni, naj bi udeleževale najbolj osnovno, neposredno, prožno in najbolj (kvantni) holografiji podobno razpoznavo (likov) predmetov³⁸ in asociativno pomnjenje (t.i. vsebinsko-naslovljiv spomin) ter priklic iz spomina. Moj model je nekakšen prototip za morebitne bodoče globlje in bolj zapletene, torej manj neposredne, kvantne informacijsko-procesne modele³⁹, npr. na ravni kvantne teorije polja. Je naraven (temelji na kvantni mehaniki, brez umetnih dodatkov oziroma naprav) in torej biofizikalno dovolj sprejemljiv, čeprav so kvantni procesi v možganih gotovo močno upravljani z dendritskimi in nevronskimi, elektrokemijskimi in biokibernetskimi (mrežnimi) procesi.

Kvantna asociativna mreža. Kvantna asociativna mreža deluje "naravno", podobno kot holografija,⁴⁰ vendar so valovi, ki interferirajo, kvantni. Tak sistem izvaja določene pretvorbe "vhodnih podatkov v izhodne", zato je informacijski, ne le fizikalen. Kvantna asociativna mreža je jedro kvantne mehanike (v Feynmanovi interpretaciji), ki je vključeno v inteligibilno interakcijo z okoljem (vidnim poljem). Poleg vhodno-izhodne dinamike, ki je v običajni kvantni mehaniki sami ni, je nova tudi uporaba lastnih valovnih funkcij (t.j. osnovnih kvantnih stanj) za vkodiranje informacij, npr. slik. Potrebno je neko inteligentno bitje, ki interagira⁴¹ s sistemom na tak način, da vhodna, izhodna in notranja (spominska) stanja predstavljajo

³⁷ To so "približno 1:1" preslikave, vendar ne geometrijske, ampak abstraktne – kodirne. Vsak element slike se preslika v pripadajoče kode tako, da je tam *enoznačno* zastopan. Ni dveh kod za taisto informacijo.

³⁸ Te kvantne mreže lahko obdelujejo slike. Če pa so te že "infomax"-predobdelane, kot se zgodi na vidni poti do V1, kvantne asociativne mreže razpoznavajo ne le vzorce oziroma like (obrise), temveč predmete kot take.

³⁹ Primerjaj z: Bonnell in Papini (1997); Zak in Williams (1998); Kak (1995); Ezhov idr. (2000, 2001); Wang idr. (1998); Dubois (2000a,b); Kaminski in Linkevich (1997/8); Ventura (1999); Chapline (1999).

⁴⁰ Podpora zvebam nevro-kvantno-holografija: Nobili (1985); Schempp (1993, 1994); Šlecht (1993); Pessa in Vitiello (1999); Clement idr. (1999); Vitiello (1996); Nanopoulos (1995); Marcer (1999); Gould (1995).

⁴¹ Je v interakciji (sodelovanju oziroma vzajemnem vplivanju).

neke pomenljive informacije za to bitje. Njegove interpretacije "pretvorijo" nek navaden kvantni sistem v informacijsko-procesen sistem takoj, ko je zadovoljen z vhodno-izhodnimi transformacijami.

Obdelavo slik je možno izvesti s holografskim procesom samim. Pri optični holografiji se v vidne elektromagnetne valove vkodirajo trirazsežne oblike predmetov z določenim izoblikovanjem (modulacijo) amplitud, frekvenc in faz valov (žarkov). To se izvede tako uspešno, da je mogoče obnoviti izvorne slike predmetov iz holograma z veliko natančnostjo. Ker holografija deluje s kakršnimikoli valovi, so ti lahko kvantni, npr. ravni valovi ali tudi Gaborjevi valovni paketi (ki so tudi v nekvantnem udejanjenju zelo podobni običajnim kvantnim valovnim paketom).

Vzorec interference valov, ki nosijo vkodirane informacije, je hologram, ki ima vlogo "zamrznjenega" vsebinsko-naslovljivega asociativnega spomina. V zapleteni možganski inačici naj bi bili vhodni valovi preoblikovani v infomax-postopku, tako da bi nastali Gaborjevi valovni paketi, ki bi naposled interferirali v kvantni mreži.

Kvantna interferenca oziroma kvantna holografija sta, ko so kvantni tako valovi kot tudi hologram, torej interferenčni "preplet", opisan z Greenovo matriko G . Ta matrika opisuje tako spomin kot tudi samoorganizirane, notranje pretvorbe valov – take z notranjimi interakcijami med navideznimi deli. Predstavlja torej dejaven spomin, ki pomaga izvajati asociacije "skozi sebe", če interagira s tekočimi vhodnimi podatki oziroma dražljaji. Matrika G , v vlogi t.i. kvantnega propagatorja (gonilca sistemske dinamike), ima matematično strukturo fazno-Hebbovega pravila. Njene komponente opisujejo fazna razmerja med "neskončno majhnimi deli" valov, ki so se "pomešali". Te fazne korelacije kodirajo informacijske podobnosti med lastnostmi izsekov slik.

Kvantni valovi ψ , nosilci kodiranih slik (ali njihovih t.i. statistično neodvisnih komponent v primeru Gaborjevih valovnih paketov), se v kvantnem sistemu "prevevajo", kot opisuje G . Vektorji kvantnega stanja (ψ) in matrika interakcij (G) tako "stalno interagirajo", kar izvaja optimalno prestrukturiranje informacij pri pretvorbi začetnega kvantnega stanja v končnega – to, opisano z znamenito Schrödingerjevo enačbo, pa je (s spominom pogojena) asociacija. Ob tem vzporedno-porazdeljenem množičnem procesu se pretvarjajo tako G (spomin) kot valovi ψ (duševne slike).

Priklic slike iz spomina se udejani s t.i. kolapsom valovne funkcije. "Kolaps" je osrednji pojav kvantnih merjenj, pri čemer se iz značilno kvantne superpozicije možnih stanj ψ "izbere" eno, ki prevlada nad celim kvantnim sistemom. Povod je zunanji vpliv na kvantno mrežo, ki se odzove nanj s specifičnim preoblikovanjem, v okviru katerega se iz spomina (G) izborno izluščijo vse tiste informacije, ki so najbolj podobne novemu dražljaju. Tako navadno del slike (t.i. ključ) sproži spominsko obnovo celotne slike. Podobnosti med "ključem" in spominsko sliko aktivirajo usklajevanje odnosov, kodiranih v fazah, oziroma selektivno asociirajo "ključ" z najbolj podobno shranjeno sliko (ali mešanico slik), tako da se samodejno izbrana slika prikliče v zavest. "Kolaps" valovne funkcije je torej nekakšen kvantni korelat prehoda informacij iz spomina (podzvesti) v zavest.⁴²

Hkrati s kolapsom se seveda nov dražljaj ("ključ") tudi razpozna, saj se je pri-merjal z vsemi slikami v spominu. Optimalno, kompromisno "soočenje" zaznavnih in spominskih oziroma miselnih (kognitivnih) informacij, kakršno se skriva v procesu "kolapsa", lahko opišemo kot kontekstualno razpoznavanje (nove) slike. Pri njem se vsi številni elementi oziroma vidiki nove informacije primerjajo z vsemi elementi oziroma vidiki vseh številnih shranjenih informacij oziroma prejšnjih izkušenj, in sicer na ravni kod ("sledí"), ki zastopajo bistvene značilnosti teh informacij. Spominske asociacije so

⁴² Širša obravnava v: Peruš (1997b,c; 1998b); Wheeler in Zurek (1983); tudi Hiley in Peat (1987).

zakodirane v korelacijah valovnih amplitud in dodatno v razlikah valovnih faz, ki so bolj pomembne.⁴³

Procesi v kvantni asociativni mreži so dokaj sorodni kvantnim dogajanjem, kot jih opisujeta Hameroff in Penrose (1995, 1996, 1998). Tudi onadva prehod iz spomina (podzvesti) v zavest povezuje s "kolapsom" valovne funkcije, pri tem pa naj bi imeli odločilno vlogo mikrotubuli ter urejena voda okoli in v njih. Kvantna koherentna stanja in Bose-Einsteinovi kondenzati so hipotetično ključni spremljevalni procesi multimodalne vezave zaznavnih enot v enovito doživetje.⁴⁴ Edino na kvantni ravni se namreč lahko informacijske enote popolnoma in dobesedno zlijejo ter tako presežejo diskretne mehanizme živčnega sistema, ki ne morejo sami razložiti naših enovitih, relativno mirnih in stabilnih doživljajskih slik, v katerih ni sledu o obstreljevanju z živčnimi signali.

Zaznavne projekcije. Naše izkušnje kažejo, da so predmeti umeščeni v prostoru izven telesa. Takšno dozdevanje je posledica zaznavnih projekcij v prostor. Psihološki poskusi (npr. s fantomskimi udi; občutenje pisanja na konici svinčnika, ne v prstih) dokazujejo sam pojav, nevropsihološki poskusi (von Bekesy) pa pripadajoče možganske procese, ki izkoriščajo v ta namen fazne razlike. Vendar to še ne da razlage, zakaj predmete "zaznavamo zunaj", kajti njihova zaznavna slika nastane v možganih oziroma zavesti. Navidez gre za časovno zaporedje: predmet v prostoru – zaznavna slika v možganih – projekcija te slike nazaj v prostor na izhodiščno mesto. Vendar je za nas predmet vsekoli bil del zaznavne slike, saj za nas "predmeta ni", če ga ne zaznavamo.

Predlagam naslednjo hipotezo za pojasnitev zaznavnih projekcij. Ko gledamo nek predmet, od njega odbita svetloba vzbudi določeno stanje dejavnosti formalnih nevronov. Ti interagirajo prek mreže vezi (t.j. spomina – "holograma"). Predmetu najbolj podobna duševna slika (izmed mnogih v "hologramu") se prikljiče iz spomina. Ta rekonstruirana slika, kompromis med dražljajem in spominom, se nato izkustveno s t.i. fazno-konjugiranim valom projicira (iz možganov) ven v okoliški prostor na mesto izvirnega predmeta. Virtualna (holografsko nazaj-projicirana) slika zapomnjenega ali zaznavanega predmeta torej sovпада v prostoru z izvirnim predmetom (Marcer in Schempp, 1998, 2000). Podmena o holografski projekciji s kvantnim fazno-konjugiranim valom še ni dokončno potrjena, vendar ustreza našim predstavam, da predmet in njegova virtualna slika, (so)izdelana v možganih in projicirana nazaj ven, prostorsko in časovno sovpadata, kot da sta eno!

Hipotetični nazaj v prostor projicirani valovi bi bili kvantni (torej ne klasični elektromagnetni valovi, kot prihajajo na mrežnico) in ne bi obstajali v običajnem smislu. Fazno-konjugirane projekcije slik (t.j. takšne uporabljajoč valove, ki potujejo, kot da bi potovali nazaj v času, z "obrnjenimi" fazami) so značilnost samo holografije (ali kvečjemu optike, če bi sliko obdelovali na drugačen način, ne holografsko). Nevronske mreže ali druge znotrajcelične mreže s trdnimi vezmi, brez elektromagnetnega ali kvantnega ozadja oziroma temeljev, gotovo ne morejo projicirati svojih slik nazaj v zunanji prostor same od sebe. Torej mora biti zunanji medij iste ali vsaj podobne vrste kot medij "možganskega holograma". Ta skupni medij pa je lahko samo kvantno polje.

V predprejšnjem odstavku omenjene stopnje zaznavnega procesa navadno iterirajo, dokler ni popolnega ujemanja med zaznavo in pojavno (fenomenalno) stvarnostjo. Odstopanja namreč povzročajo napačne zaznave. Pri domišljajskih predstavah in prividih, miselno povzročena ven-projicirana duševna slika zamenja izvorni predmet (ki

⁴³ Ob zaključku opisa modela kvantne asociativne mreže velja opozoriti, da je njene procese kljub trudu skoraj nemogoče opisati z besedami, brez enačb. To žal drži tudi za mnoge druge opise v tem razširjenem povzetku.

⁴⁴ Primerjaj: Hameroff idr. (1994; 1996); Jibu idr. (1995, 1996, 1997); Fröhlich (1968); Vitiello (1992).

je nekoč bil in ustvaril spominsko sled v "hologramu", zdaj pa ga ni več). V normalnih primerih pa uskladitev "notranjih in zunanjih slik" omogoča npr. prijetje videnega predmeta, razpoznanje videnega govorca kot iste osebe in druge nujne dogodke v "skupnem, navideznem kartezijskem gledališču".

Lahko se vprašamo, ali sta zaznani predmet in njegova duševna slika zares eno ali pa ne (kot se dogaja pri halucinacijah). Če sta, vsaj v naši zaznavi, eno (kar kaže dejstvo, da mimo našega zavestnega doživetja za nas ni pojavnega sveta), potem nastane težava pri ugotovitvi, da zaznavni proces potrebuje čas. Ne morem rešiti tega vprašanja, lahko pa omenim, da Cramerjeva (1986) interpretacija kvantne mehanike ponuja rešitev z obravnavo sovpadanja valov ψ in njim fazno-konjugiranih valov ψ^* kot nečasovnega (atemporalnega) – kot dogajanja izven prostora-časa, ki se šele manifestira v prostoru-času. To je torej še en namig, da je zavest v zvezi s kvantnimi procesi, ki so izvor prostora-časa.

Univerzalna gibljivost atraktorjev. Pribram (1971, 1991) smatra električne polarizacijske in interakcijske procese znotraj "dendritskih križišč" za podstat procesov zavesti. Pri tem velja razjasniti, da imajo dendriti dejavnosti na raznih skalah. Infomax-procesi in izoblikovanje Gaborjevih valovnih paketov se izvajajo na ravni spletov dendritskih vlaken in/ali nevronske mreže, torej na (znotraj)celični ravni, ne kvantni. Obdelava slik v V1 in posledične vidne asociacije pa se verjetno izvajajo na ravni kvantnih mikroprocesov znotraj dendritov, predvsem njihove membrane, ali tesno poleg – v t.i. (ob)membranski "bioplazmi". Na tej mikro-ravni tudi temeljijo Gaborjevi valovni nizi, makro-raven jih le izoblikuje.

Mrežne strukture se ponavljajo na raznih ravneh in skalah možganov, podobno kot v fraktalu. Pribram (1971, 1991) opaža, da se vzorci, ustvarjeni v enem delu ali ravni, lahko selijo v druge dele in ravni. Sicer ne bi mogli razložiti npr. dejstva, da krog lahko narišemo s svinčnikom v prstih roke, noge ali celo v ustih – na papir, na steno ipd. Za to so potrebni precej različni možganski sistemi, vsi pa znajo slediti vzorcu kroga. Tako se morajo uporabiti mikroskopske ravni za procesiranje in makroskopske za gibalno (motorično) izvedbo. Zato so domnevno potrebne tako dendritske in kvantne mikro-mreže kot tudi nevronske makro-mreže: kvantni sistemi potrebujejo ojačitev za vplivanje; šele nevron je enakovreden mišični celici, da jo vzbudi. Skratka, ker ima svet mnogo ravni, morajo tudi možgani delovati na mnogih fraktalnih ravneh, da ga lahko obvladujejo. Zato morajo biti vzorci-atraktorji (gestalti) sposobni prehajati po možganih in med njihovimi ravni. Atraktor je utemeljen na skupinskem stanju formalnih nevronov, vendar lahko menja te enote svojega možganskega substrata – podobno kot val menja vodne molekule pri svojem potovanju.

Zavest. Možganski procesi, ki vsebujejo zavestno doživljanje, zaobjemajo dve ravni: informacijsko-procesno ozadje, ki izhaja iz t.i. neurofizioloških korelatov zavestnega procesa (vidik tretje osebe), in subjektivno, kakovostno, pojavno doživljanje nereducibilnega Jaza (vidik prve osebe). Primer kvalitativnega pojavljanja "v Jazovi" zavesti je tudi njeno samonanašanje – samozavedanje (zavest druge ravni). Informacijsko temelji na samointerakciji (samo-interferenci) sistemskih stanj možganske mreže. Introspektivno zavedanje pa je še globlja, dejavna (samoopazujoča) oblika samozavedanja (zavest tretje ravni).

Zavest oziroma zavestno doživljanje v skladu s holonomsko teorijo delim na naslednje vidike:

- sam zavestni proces (npr. zavestno mišljenje, pozornost, intencionalnost);
- vsebine zavesti (zaznave, duševne reprezentacije zunanjih predmetov navadno);
- t.i. neurofiziološki korelati zavesti (nevrokemična stanja ali vzorci (pod)nevronske aktivnosti, ki predvidoma nujno spremljajo zavestne procese).

Pogoj za zavest je fiziološko vzburjenje oziroma budnost, ki ga vsaj deloma nadzoruje retikularni aktivacijski sistem srednjega dela možganskega debla, sodeluje pa tudi locus coeruleus. Poškodbe intralaminarnih jeder talamusa lahko povzročijo nepovratno nezavest in vegetativna stanja. Tako budno stanje kot spanje se izražata s sorodnimi vzorci živčne dejavnosti v talamo-kortikalnem krogu, in obe stanji vsebujeta subjektivno doživljanje, čeprav se ga v REM-fazah spanja običajno ne zavedamo. (Frith idr., 1999)

Stanja zavestnega doživljanja v splošnem spremljata povečana živčna in metabolična dejavnost v primerjavi z nezavednimi stanji. Tako je tudi pri t.i. superliminalnih proti t.i. subliminalnim dražljajem in pri pozornosti proti nepozornosti. Pozornost upravlja vstopanje v zavestno doživljanje, vendar je tudi pogosto vodena prav z zavestjo. (Baars, 1997)

Glavne skupine teorij zavesti, ki so hipotetične in tekmujejo, so:⁴⁵

- zavest izhaja (emergira) iz skupinskih procesov v določenih mrežah, npr. nevronskih, s hierarhičnimi strukturami nevronskih vzorcev-atraktorjev;
- zavestni procesi so posledica krogotokov pozornostnega prečesavanja (skeniranja), prvenstveno v sestavljenem talamo-kortikalnem in retikularnem sistemu (ERTAS) (Baars, 1997; Newmann, 1997), ali v intralaminarnem kompleksu ali theta-sistemu hipokampusa;
- procesi zavesti izhajajo iz koherentnega signaliziranja (okrog 40, včasih do 80 pulzov na sekundo) med oddaljenimi nevroni znotraj istega možganskega področja (npr. V1) ali v različnih področjih;
- zavestni procesi so v bistvu kvantni pojav, ki ga uravnavajo (pod)nevronski procesi v npr. dendritskih in/ali mikrotubularnih in/ali biomolekularnih mrežah;⁴⁶
- zavest je povsem nematerialna ali nadnaravna, ali pa je povsem skrivnostna, nepoznatna.

Menim, da teorije št. 1 nimajo neposredne zveze z zavestjo, ampak so le nevro-informacijske. Teorije št. 2 osvetljujejo izvor vzburjenosti in budnosti, nujni za zavest, vendar ne povedo nič o procesiranju vsebin zavestnega doživljanja, kar se dogaja v neokorteksu. Teorije št. 3 ne zagotavljajo popolne zaznavne vezave, zato so le pod-množica vezavnih procesov, uporabljajoč sklopljena nihanja aktivnosti nevronov in usklajevanja njihovih faz do koherentnosti (Roelfsema, 1998). Šele kvantna bozonska zlitja so bržkone izvor najpopolnejše zaznavne vezave ob enovitem zavestnem doživljanju. Teorije št. 5 preveč zanemarjajo pomenljive vzporednice med fiziološkimi in psihološkimi procesi, vendar je res, da fenomenalna zavest ostaja skrivnost.

Te skupine teorij so deležne moje kritike, da so nezadostne, teorije št. 4 pa se mi zdijo bolj obetavne. Delijo se na dve podskupini pogledov. Po prvi podskupini je zavestno doživljanje (oziroma vsaj njegovi fizični korelati) pretežno kvantne narave, čeprav nikakor ne izključno (zavest prav lahko ima dodatne, neznane značilnosti). Po drugi podskupini lahko kvantna teorija pomaga modelirati (pod)celične korelate zavesti, vendar samo z analogijami. Zame ima druga podskupina gotovo prav (kvantna teorija je res koristna za raziskave zavesti, ne glede na to, ali gre le za podobnosti v sistemskih procesih ali celo za neposredno zvezo). S pričujočim delom se uvrščam v prvo podskupino, ki je bolj neposredna. Holonomska teorija se ne opredeli bolj, kot pa da zastopa prvo ali drugo podskupino teorij št. 4 – z opozorilom, da eksperimentalni dokazi še niso zadostni za odločitve. S tem se strinjam, vendar namigujem, da bi parapsihološki eksperimenti gotovo prevrgli tehtnico na stran prve podskupine, če bi jih lahko vzeli

⁴⁵ Pregledi v: Marcel in Bisiach (1988); Flanagan (1992); Hameroff idr. (1996); Davies in Humphreys (1993); ASSC (1998); Rakić idr. (1997); Oakley (1985); Železnikar in Peruš (1998).

⁴⁶ Glej pomožno čtivo št. 10 in 11 (posredno pa tudi št. 8 in 9).

popolnoma resno. Le t.i. kvantna nelokalnost in kvantno soprežemanje ("entanglement"),⁴⁷ ki sta že eksperimentalno dokazana (Aspect idr., 1982), bi lahko zadovoljivo pojasnila nekatere domnevne telepatiskim podobne transpersonalne pojave (karkoli je omejeno na lobanjo, jih ne more).

Žal nobena izmed vseh teorij ne more pojasniti naravo takšnosti (kvalij), t.j. zakaj so naša doživetja takšna, kot so, in npr. kako je biti oseba X v prvi osebi.

Po holonomski teoriji (Pribram, 1998a) je zavestno doživljanje odvisno od zaostankov zaradi obdelave informacij v spremenljivih stanjih dendritskih spletov in njihovih polarizacijskih polj. To se dogaja po prejemu pulza od predsinaptičnega nevrona in pred oddajo pulza po aksonu proti drugemu nevronu. Taista pot se uporablja tudi ob nezavednih refleksi, kjer je zaradi potrebe po hitrosti izpuščena dendritska obdelava pulzov. Skratka, zaostanki, natančna obdelava informacij, dendritsko procesiranje in zavest sovpadajo (so korelirani). Iz tega lahko sklepamo, da ima procesiranje znotraj dendritske mreže neposredno zvezo z zavestjo (za razliko od nevronske mreže). Odprto, po moje, ostaja, kaj znotraj dendritskih polj in pestrega dogajanja v tem okviru je ključno za zavest.

Zavestni vid. Kar velja za zavest, velja tudi za vidno zavest; sedaj bom navedel le nekaj posebnosti zavestnega vida, pri katerem se zavedamo neke vidne (navadno slikovne ali piktorialne) reprezentacije oziroma, bolje povedano, oblike. To je lahko dejanski zunanji predmet ali neka "virtualna", spominsko pogojena, duševna slika, ki se pojavi v domišljiji ali v t.i. lucidnih sanjah. Navadno sta v barvah in vsebujeta stabilne, z robovi omejene like.

Zavestna vidna razpoznavna predmetov je, odkrito rečeno, bolj jasna in pogosta kot zavestna obdelava vidnih vzorcev oziroma slik. Z naslovnim izrazom "zavestna obdelava slik" mislim na biti zavesten (to je proces) neke slike – jo samo zreti, ne še kategorizirati.⁴⁸ Vidno samozavedanje je tisto samozavedanje, ki uporablja vid, npr. v primeru gledanja in razpoznavanja lastne podobe v zrcalu. Tudi vidna pozornost je le veja pozornosti, ki se ukvarja z vidnimi dražljaji. Razlika s pozornostjo ostalih čutov pa je seveda predvsem tudi v posebnih fizioloških poteh s težiščem na vidni skorji.

Logothetis (1999) sklepa iz svojih preizkusov, da bi le majhen delež nevronov vzdolž vidne poti, s povečano gostoto v višjih področjih skorje, kot je inferotemporalna, lahko predstavljal fiziološke korelate vidne zavesti. T.i. slepovidni bolniki lahko vidno razločujejo predmete, vendar se tega ne zavedajo. Najverjetneje je razlog v poškodbi V1. Crick in Koch iz tega sklepata, da nimamo vidne zavesti (rezultatov⁴⁹) večine procesov v V1, ampak šele tistih v V4 in više (največ v inferotemporalni skorji). Kaže torej, da je V1 nujen za vid, tudi za zavestni vid, vendar se rezultati njegove dejavnosti izražajo šele v fizioloških korelatih zavesti v višjih področjih neokorteksa.

Barve imajo kvantitativne lastnosti, kot so valovna dolžina svetlobe, ki je sprožila ustrezno možgansko dejavnost, in razna relativna razmerja odtenkov glede na kontekst oziroma ozadje. Imajo pa tudi kvalitativne lastnosti (ton, osvetljenost, nasičenost⁵⁰, vsiljivost), ki se jih ne da popolnoma zadovoljivo in izključno kvantificirati, še manj pa razložiti, zakaj so takšne. Seveda lahko tudi kvalitativne lastnosti kvantificiramo (rdeča

⁴⁷ Majewski (1999); Bohm in Hiley (1993); Alicki (1997); Kwiat idr. (2000).

⁴⁸ Razlog za "zavestna obdelava slik" v naslovu članka je tudi želja poudariti, da obravnavam človeški vid, ne računalniške obdelave slik. Precej sem se želel posvetiti tudi kvantnim informacijskim procesom, ki se mi zdijo nujni za zavest, ne pa tudi za obdelavo slik samo.

⁴⁹ Da verjetno mislita rezultate procesov v V1, ki (ne) postanejo zavestni, se strinja s prof. Pribramom. Iz pisanj Cricka in Kocha namreč ni jasno, kaj zanj pomeni "(ne) biti zavestni procesov v V1 ipd."

⁵⁰ Barva je bolj nasičena, če je bolj različna od sive, torej bolj "čista, samosvoje barvita".

je lahko svetlejša ali temnejša, bolj ali manj nasičena ali vsiljiva), vendar ne tudi njenega fenomenalnega bistva: barvno slep človek razume kvantitativne opise, vendar ne more celostno podoživeti barve same v vsej njeni pojavnosti oziroma takšnosti (kvaliji).

Barve so izraz vzajemnega delovanja oziroma vplivanja absorpcijskih lastnosti površine predmeta, valovne dolžine vpadne svetlobe, sipalnih lastnosti zraka, konteksta (npr. barve ozadja) in nevrofizioloških ter psiholoških (deloma celo družbeno pogojenih) procesov. Barve so torej posledica kompromisa t.i. objektivnih in subjektivnih dejavnikov. Predmeti nudijo zgolj povod oziroma potencialne fizične prožilce določene možganske dejavnosti oziroma fenomenalnega stanja vidne zavesti, ki je barvna zaznava.

6. ZAKLJUČKI

Sistematično sem preučil, analiziral in primerjal obsežno nevropsihološko, nevrofiziološko, psihofizično, biokibernetično in drugo teoretično, eksperimentalno in računalniško-simulacijsko čtivo o vidu. Predlagam sintezo teh podatkov, modelov in teorij, posebno v kontekstu Pribramove holonomske teorije možganov. Našel sem veliko pomenljivih dopolnjujočih se pogledov.

Ugotavljam, da so t.i. infomax-modeli, kot sta analiza neodvisnih komponent Bella in Sejnowskega (1997) ter mreža z najbolj redkim kodiranjem Olshausna in Fielda (1996a,b), boljše od klasičnih hebbovskih modelov ali od analize glavnih komponent. Vsebujejo namreč fazne informacije oziroma statistike višjih redov. Izkazalo se je, da infomax-modeli dajejo mnogo bolj biološko ustrezne rezultate (upodobitve receptivnih polj), vendar je biološko ustrezno udejanjenje (implementacija) na ravni "hardvera" možno za zdaj le za mrežo Olshausna in Fielda, ne pa tudi za mrežo Bella in Sejnowskega. Našel sem zveze med mrežo Olshausna in Fielda ter MacLennanovim modelom računanja v dendritskem polju (MacLennan v Pribram, 1993), ki nakazujejo možnost dendritske implementacije mreže Olshausna in Fielda. Vendar bi bilo tako dendritsko procesiranje pod močnim vplivom procesa maksimizacije redkega kodiranja, ki bi lahko izviralo iz lateralne inhibicije ali od vplivov (višjih ravni) skorje na vidno pot.

Ker preizkusi kažejo na pogostost nihajne dinamike s procesiranjem faz v možganih,⁵¹ se postavlja vprašanje, ali bi lahko bila infomax-obdelava z analizo neodvisnih komponent, ali pa vsaj proces redčenja kod, udejanjena virtualno, t.j. na "softverski" ravni – z atraktorsko dinamiko višjega reda. Infomax-obdelava izoblikuje "rešeta (filtre)" receptivnih polj v Gaborjeve valovne pakete, ti pa potem konvoluirajo z dražljaji. Infomax-procesiranje je torej nekakšen predobdelavni postopek z največjim ohranjenjem informacije, ki je namenjen optimalnemu kodiranju v Gaborjeve valovne nize. Ti primerno "uteženi" Gaborjevi valovi so spektralne predstavitve (reprezentacije) slik, ki se vključujejo v konvolucijo (med zaznavno obdelavo) ali v interferenco ali v druge fazno-hebbovske procese (med slikovnimi miselnimi procesi in asociacijami).

Kvantna asociativna mreža⁵² je računalniško izvedljiv model jedra holonomske asociativne obdelave slik in fazno-Hebbovega pomnjenja. To pomeni tudi, da slika, ki se razpozna s kvantno asociativno mrežo, postane "predmet zavestnega doživetja". Predvidevam, da so t.i. lastni valovi, v katerih je kodirana slika in ki interferirajo v kvantni mreži, lahko Gaborjevi valovni paketi s kvantnim izvorom.

Predlagam, da neokorteks uporablja tri vrste reprezentacij slik: z Gaborjevimi koeficienti opisane redke nevronske kode za samodejno procesiranje, dendritsko udejanjene

⁵¹ Mannion in Taylor (1992); Gray idr. (1989, 1990); Baird (1990); Schempp (1995).

⁵² Izvorno v Peruš (v Wang idr., 1998), podrobneje v Peruš (2000b).

Gaborjeve valovne pakete kot spektralne vzporedno-razporejene kode za asociativno vidno mišljenje, in v V2 rekonstruirano običajno prostorsko sliko, uporabljeno za naše "neposredno" zavestno doživljanje.

Ker se zaznavna slika natančno ujema z izvirnim predmetom na njegovem zunanjem mestu, menim, da so za to potrebne holografske projekcije zaznave nazaj v prostor. Ker nevronske in dendritske mreže same tega ne zmorejo, je medij za to lahko samo kvantni sistem, saj je edini, ki je skupno ozadje tako holografiji kot možganskim mrežam.

Čtivo, ki vsebuje celotno besedilo te raziskave v vseh nevrobioloških, nevro-modelskih in fizikalnih podrobnostih, je Peruš (2001b).⁵³ Poglobljeno razumevanje zaključkov raziskave zahteva poznavanje naslednjih znanstvenih poročil: Sistematične raziskave (Peruš, 1995–2001) so razkrile pomembne podobnosti holografskih procesov in procesov v modelih asociativnih nevronske mreže, v spinskih sistemih in v kvantnih interferirajočih sistemih, ki bi se vsi lahko uporabljali za vzporedno-razporejeno obdelavo informacij, v prvi vrsti vidnih.⁵⁴ Možne (bio)implementacije teh procesov je moč iskati (Peruš, 2001a,b) izhajajoč iz matematičnih primerjalnih raziskav nevrokvantnih vzporednic⁵⁵ (Peruš, 1997a, 1998a) in izpeljave modela kvantnih asociativnih mrež iz formalizma simuliranih nevronske mreže (Peruš, 2000c).⁵⁶ Našel sem neposredno zvezo med kvantno asociativno mrežo in tržno uspešno Holografsko Nevro-Tehnologijo (HNeT) (Sutherland, 1990, 1994), v Peruš (2001b, D) pa predstavljam tudi kvantno implementacijo HNeT. Zato lahko sklepam s precejšnjim optimizmom, da kvantna asociativna mreža lahko izvede učinkovito razpoznavo slik in pripadajočo asociativno obdelavo, če jo implementiramo v dejanskem kvantnem sistemu (kot je na nek način verjetno tudi v možganih). Takšna obdelava slik, v sodelovanju z drugimi možganskimi strukturami, bi verjetno bila zavestna.

Zahvale

Za pazljivo branje celotnega dela v angleščini, katerega povzetek je ta članek, ter za številne natančne opombe in popravke se prisrčno zahvaljujem prof. Karlu H. Pribramu (Univerzi v Stanfordu, Kalifornija, in Georgetownu, DC), pionirju nevro-

⁵³ Predelane angleške različice nekaterih delov (po vrsti) disertacije Peruš (2001b) so objavljene v (večidel vabljениh) člankih: Peruš (2000d); Peruš (2000e); Peruš (2001a).

⁵⁴ Predstavljeni opisi atraktorke dinamike izhajajo iz avtorjevih izkušenj ob računalniških simulacijah samodejnega razpoznavanja beljakovinskih strukturnih vzorcev s Hopfieldovi (1982) podobno umetno nevronske mreže, ki je predhodnik kvantne asociativne mreže.

⁵⁵ Glavni pari podobnih lastnosti so: Nevronska in kvantna mreža lahko vkodirata informacije (npr. slike) v sistem sam, jih asociativno obdelujeta, shranita in izborni prikličeta (če vstopi nov, podoben dražljaj oziroma motnja iz okolja). Proces je v obeh mrežah vzporedno-razporejen in množičen (kolektiven). Kvantni propagator (Greenova matrika) je soroden, po matematični strukturi in sistemski vlogi, nevronske matriki sinaptičnih vezi, ki predstavlja "hologramski" spomin. Obe mreži tvorita t.i. ortonormiran, algebrski popoln (kompleten) sistem v Hilbertovem prostoru (stanje mreže je superpozicija oziroma linearna kombinacija t.i. lastnih stanj – npr. slik). Lastna stanja so tista stabilna stanja, ki tvorijo atraktorje sistemske dinamike – za naše potrebe tako služijo kot kode slik. Iz spomina, t.j. iz mrežnega "holograma" oziroma Greenove ali (fazno)-Hebbove matrike, rekonstruiramo sliko z vnosom vzorca, podobnega shranjeni sliki, kar sproži t.i. kolaps – to je znameniti "kolaps" kvantne valovne funkcije oziroma izluščanje in razpoznavanje slike (kot pravimo v teoriji nevronske mreže). [Matematične osnove: Bohm, 1954, 1980; Messiah, 1965; Bjorken in Drell, 1964/65; Ballentine (1970).]

⁵⁶ V Peruš (2000b) je nekaj novih predlogov za bolj prožno obdelavo slik – t.i. podatkovno omehčanje (v smislu t.i. mehke logike). Primerjaj: Kainen idr. (1992, 1993); MacLennan (v Pribram, 1993). Znatno izboljšavo prinaša tudi procesiranje faz oziroma faznih razlik. Primerjaj: Weinacht idr. (1999); Ahn idr. (2000); Anandan (1992); Berman idr. (1998); Jones idr. (2000).

psihologije in raziskav možganov. Posebno sem mu hvaležen tudi za pomembne nekajdnevne razprave ob mojem obisku v Washingtonu (DC) (in za izjemno gostoljubnost ob tem!), pa tudi ob njegovih obiskih v Ljubljani in ob konferencah. Prav tako lepa hvala prof. Janku Musku, pa tudi prof. Andreju O. Župančiču in prof. Johnu Bickleu (Univ. Cincinnati) za koristne razprave.⁵⁷ Za podporo se zahvaljujem MŠZŠ in Kemijskemu inštitutu, posebno prof. Stanetu Pejovniku.

Čtivo

- Abbot, L.F. & S.B. Nelson (2000): Synaptic plasticity: taming the beast. *Nature Neurosci.* (Suppl.) **3**, 1178-1183.
- Ahn, J., T.C. Weinacht & P.H. Bucksbaum (2000): Information storage and retrieval through quantum phase. *Science* **287**, 463-465.
- Aine, C.J., S. Supek & J.S. George (1995): Temporal dynamics of visual-evoked neuromagnetic sources: Effects of stimulus parameters and selective attention. *Internat. J. Neuroscience* **80**, 79-104.
- Aine, C.J., S. Supek, J.S. George, D. Ranken, J. Lewine, J. Samders, E. Best, W. Tice, E.R. Flynn & C.C. Wood (1996): Retinotopic organization of human visual cortex: Departures from the classical model. *Cerebral Cortex* **6**, 354-361.
- Aleksenko, S.V. & D. Kirvelis idr. (ur.) (1987): *Zriteljnije sistemji*. Vilnius: MVSSO LitSSR. (Tudi: D. Kirvelis (1975): *Kvazigolograficheskie principji funkcionalnoi organizacii zriteljnogo analizatora formji izobrazhenii*; disertacija, Kaunas.)
- Alicki, R. (1997): Quantum ergodic theory and communication channels. *Open Systems & Information Dynamics* **4**, 53-69.
- Amari, S. & K. Maginu (1988): Statistical neurodynamics of associative memory. *Neural Networks* **1**, 63-73.
- Amit, D. (1989): *Modeling Brain Functions (The world of attractor neural nets)*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Anandan, J. (1992): The geometric phase. *Nature* **360**, 307-313.
- Arbib, M.A. (ur.) (1995): *The Handbook of Brain Theory and Neural Networks*. Cambridge (MA): MIT Press.
- Artun, Ö.B., H.Z. Shouval & L.N. Cooper (1998): The effect of dynamic synapses on spatiotemporal receptive fields in visual cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA* **95**, 11999-12003.
- Aspect, A., P. Dalibard & G. Rogier (1982): Experimental test of Bell's inequalities using time-varying analyzers. *Physical Review Letters* **49**, 1804-1807 (in tudi: A. Aspect, P. Grangier & G. Rogier: *Phys. Rev. Lett.* **47** (1981) 460- & **49** (1982) 91-.)
- ASSC (1998): Neural correlates of consciousness: ASSC conference abstracts. Bremen: Hanse-Wissenschaftskolleg (iz WWW).
- Baars, B.J. (1997): *In the Theater of Consciousness*. New York: Oxford Univ. Press.
- Baddeley, R. (1996): Searching for filters with "interesting" output distributions: an uninteresting direction to explore? *Network: Computation in Neural Systems* **7**, 409-421.
- Baird, B. (1990): Bifurcation and category learning in network models of oscillating cortex. *Physica D* **42**, 365-384.
- Ballentine, L.E. (1970): The statistical interpretation of quantum mechanics. *Reviews in Modern Physics* **42**, 358-382.
- Barahona da Fonseca, J., I. Barahona da Fonseca, C. Paz Araujo & J. Simoes da Fonseca (1999): A quantum theoretical approach to information processing in neural networks. V: D. Dubois (ur.): *AIP Conference Proceedings*, vol. **517**: *Computing Anticipatory Systems - CASYS'99 in Liege*. Melville (NY): American Institute of Physics, str. 330-344. (Tudi: *Cognition: characteristic waveform correlates. CASYS 2000, Liege: preprint & abstract book.*)
- Barlow, H. (1996): Intraneuronal information processing, directional selectivity and memory for spatio-temporal sequences. *Network: Computation in Neural Systems* **7**, 251-259.
- Bartlett, M.S. & T.J. Sejnowski (1997): Viewpoint invariant face recognition using independent component analysis and attractor networks. *Advances in Neural Information Processing Systems* **9**, 817-823.
- Bear, M.F. (1996): A synaptic basis for memory storage in the cerebral cortex. *Proceedings of the National*

⁵⁷ Za razlago hvala tudi prof./dr. Olshausnu, Kirvelisu, T.-W. Leeju, Bartlettovi, Bogaczu, Sienku, Kainenu.

- Academy of Sciences of USA **93**, 13453-13459.
- Bell, A.J. & T.J. Sejnowski (1995): An information-maximization approach to blind separation and blind convolution. *Neural Computation* **7**, 1129-1159.
- Bell, A.J. & T.J. Sejnowski (1996): Learning the higher-order structure of a natural sound. *Network: Computation in Neural Systems* **7**, 261-266.
- Bell, A.J. & T.J. Sejnowski (1997): The "independent components" of natural scenes are edge filters. *Vision Research* **37**, 3327-3338.
- Berg, R.H., S. Hvilsted & P.S. Ramanujam (1996): Peptide oligomers for holographic data storage. *Nature Letters* **383**, 505-508.
- Berger, D., K. Pribram, H. Wild & C. Bridges (1990): An analysis of neural spike-train distributions: determinants of the response of visual cortex neurons to changes in orientation and spatial frequency. *Experimental Brain Research* **80**, 129-134.
- Berger, D.H. & K.H. Pribram (1992): The relationship between the Gabor elementary function and a stochastic model of the inter-spike interval distribution in the responses of visual cortex neurons. *Biological Cybernetics* **67**, 191-194.
- Berman, G.P., G.D. Doolen, R. Mainieri & V.I. Tsifrinovich (1998): *Introduction to Quantum Computers*. Singapore: World Scientific.
- Berne, R.M. & M.N. Levy (ur.) (1993): *Physiology*. St. Louis: Mosby Year Book, 3rd ed.
- Bickle, J., M. Bernstein, M. Heatley, C. Worley & S. Stiehl (1999): A functional hypothesis for LGN-V1-TRN connectivities suggested by computer simulation. *J. Computational Neuroscience* **6**, 251-261.
- Bickle, J., C. Worley & M. Bernstein (2000): Vector subtraction implemented neurally: A neurocomputational model of some sequential cognitive and conscious processes. *Consciousness & Cognition*, v. izdaji.
- Bjorken, J.D. & S.D. Drell (1964/1965): *Relativistic Quantum Mechanics (I) / Relativistic Quantum Fields (II)*. New York: McGraw-Hill (posebno pogl. 6: Propagator Theory).
- Blais, B.S., N. Intrator, H. Shouval & L.N. Cooper (1997): Receptive field formation in natural scene environment: comparison of single cell learning rules. (Preprint, oddan *Neural Computation*.)
- Bob, P. & J. Faber (1999): Quantum information in brain neural nets and EEG. *Neural Network World* **9**, 365-372.
- Bogacz, R., M.W. Brown & C. Giraud-Carrier (2001): Emergence of movement sensitive neurons' properties by learning a sparse code for natural moving images. *Advances in Neural Information Processing Systems* **13**, v tisku.
- Bohm, D. (1954): *Quantum Theory*. London: Constable & Co.
- Bohm, D. (1980): *Wholeness and Implicate Order*. London: Routledge & Paul Kegan.
- Bohm, D. & B. Hiley (1993): *The Undivided Universe (An ontological interpretation of quantum theory)*. London: Routledge.
- Bonnell, G. & G. Papini (1997): Quantum neural network. *Internat. J. Theoretical Physics* **36**, 2855-2875.
- Bray, D. (1995): Protein molecules as computational elements in living cells. *Nature* **376**, 307-312.
- Burnod, Y. (1990): *An Adaptive Neural Network: the Cerebral Cortex*. London: Prentice Hall.
- Caelli, T.M. (1976): The prediction of interaction between visual forms by products of Lie operators. *Mathematical Biosciences* **30**, 191-.
- Changeux, J.-P. (1986): *L'homme neuronal*. Beograd: Nolit (v srb. prevodu).
- Chapline, G. (1999): Is theoretical physics the same thing as mathematics? *Physics Reports* **315**, 95-105.
- Churchland, P.S. & T.J. Sejnowski (1992): *The Computational Brain*. Cambridge (MA): MIT Press.
- Clement, B.E.P., P.V. Coveney, M. Jessel & P.J. Marcer (1999): The brain as a Huygens Machine. *Informatica* **23**, 389-398.
- Comon, P. (1994): Independent component analysis: A new concept? *Signal Processing* **36**, 287-314.
- Cramer, J.G. (1986): The transactional interpretation of quantum mechanics. *Reviews of Modern Physics* **58**, 647-687.
- Crick, F. (1984): Function of the thalamic reticular complex: The searchlight hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA* **81**, 4586-4590.
- Damask, A.C. & C.E. Swenberg (1984): *Medical Physics*. Orlando: Academic Press, Vol. III: Synapse, Neuron, Brain; ch. 4: Chemical and electrical properties of synapses; ch. 5: Neuronal integration and Rall theory. Vol. I: Physiological Physics; ch. 3: The nerve impulse.
- DeAngelis, G.C. (2000): Seeing in 3 dimensions: Neurophysiology of stereopsis. *Trends in Cognitive Sciences* **4**, 80-90.

- Daugman, J.G. (1985): Uncertainty relation for resolution in space, spatial frequency, and orientation optimized by 2-D visual cortical filters. *J. Optical Society of America A* **2**, 1160-.
- Daugman, J.G. (1988): Complete discrete 2-D Gabor transforms by neural networks for image analysis and compression. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing* **36**, 1169-.
- Davies, M. & G.W. Humphreys (ur.) (1993): *Consciousness*. Oxford: Blackwell.
- Denisjuk, Yu.N. (1984): *Fundamentals of Holography*. Moscow: Mir.
- Denschlag, J., J. Simsarian, D. Feder, C. Clark, L. Collins, J. Cubizolles, L. Deng, E. Hagley, K. Helmerson, W. Reinhardt, S. Rolston, B. Schneider & W. Phillips (2000): Generating solitons by phase engineering of a Bose-Einstein condensate. *Science* **287**, 97-101.
- Desimone, R. (1996): Neural mechanisms for visual memory and their role in attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA* **93**, 13494-13499.
- De Valois, R.L. & G.H. Jacobs (1968): Primate color vision. *Science* **162**, 533-540.
- De Yoe, E.A. & D.C. Van Essen (1988): Concurrent processing streams in monkey visual cortex. *Trends in Neurosciences* **11**, 219-226.
- Diaz, J.-L. (1997): A patterned process approach to brain, consciousness, and behavior. *Philosophical Psychology* **10**, 179-195.
- Dodwell, P.C. (1983): The Lie transformation group for visual perception. *Perception & Psychophysics* **34**, 1-16.
- Dubois, D.M. (ur.) (2000a): *Proceedings of CASYS'99. Internat. J. Computing Anticipatory Systems* **5**, **6**, **7**. Liege: CHAOS. Posebno v: vol. 7: *Proceedings of the Symposium "Quantum Neural Information Processing: New Technology? New Biology?"* (posebno avtorji: Mercer, Sutherland, Farre, Mitchell, Dubois; tudi Citko, Luksza & Sienko).
- Dubois, D.M. (ur.) (2000b): *AIP Conference Proceedings, vol. 517: Computing Anticipatory Systems – CASYS'99 in Liege*. Melville (NY): American Institute of Physics (poseb. Sienko, Hoekstra & Rouw, Santoli, Pribram, Dubois, Araujo).
- Ebdon, M. (1993): Is the cerebral neocortex an uniform cognitive architecture? *Mind & Language* **8**, 368-398.
- Ezhov, A.A. (2000): Spurious memory, single-class and quantum neural networks. *Proceedings of the Int. Conf. on Computational Intelligence and Neuroscience 2000* (kot del Proceed. JIC on Information Sci. 2000, Atlantic City, NJ), str. 635-638.
- Ezhov, A.A. (2001): Pattern recognition with quantum neural networks. *Proceedings of ICAPR '01, Rio de Janeiro*, v tisku.
- Ezhov, A.A., A.V. Nifanova & D. Ventura (2001): Quantum associative memory with distributed queries. *Information Sciences*, v tisku.
- Ezhov, A.A. & D. Ventura (2000): Quantum neural networks. *Pogl. 11 v: N. Kasabov (ur.): Future Directions for Intelligent Systems and Information Sciences* (Series "Studies in Fuzziness and Soft Computing", vol. 45). Heidelberg: Physica-Verlag (Springer), str. 213-235.
- Fatmi, H.A. & G. Resconi (1988): A new computing principle. *Nuovo Cimento, Note Brevi*, **101 B**, 239-242.
- Fedorec, A.M. & P. Mercer (ur.) (1996): *Living Computers* (symposium proceedings). Dartford: Greenwich Univ. Press.
- Flanagan, O. (1992): *Consciousness Reconsidered*. Cambridge (MA): MIT Press.
- Frith, C., R. Perry & E. Lumer (1999): The neural correlates of conscious experience: an experimental framework. *Trends in Cognitive Sciences* **3**, 105-114.
- Fröhlich, H. (1968): Long-range coherence and energy storage in biological systems. *Internat. J. Quantum Chemistry* **2**, 641-649.
- Fuster, J.M. & J.P. Jervey (1982): Neuronal firing in the inferotemporal cortex of the monkey in a visual memory task. *J. Neuroscience* **2**, 361-375.
- Gardner, D. (ur.) (1993): *The Neurobiology of Neural Networks*. Cambridge (MA): MIT Press.
- Gennaro, R.J. (1995): *Consciousness and Self-Consciousness*. Amsterdam/Philadelphia: John Benjamins.
- Georgopoulos, A.P., J.T. Lurito, M. Petrides, A.B. Schwartz & J.T. Massey (1989): Mental rotation of the neuronal population vector. *Science* **243**, 234-236.
- Geszti, T. (1990): *Physical Models of Neural Networks*. Singapore: World Scientific.
- Goldman-Rakic, P.S. (1996): Memory: Recording experience in cells and circuits. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA* **93**, 13435-13437 (organizatorjev uvod v simpozij z istim naslovom; cel zbornik v istem zvezku: str. 13435-13551).

- Goswami, A. (1990): Consciousness in quantum physics and the mind-body problem. *J. Mind & Behavior* **11** (1990) 75-96.
- Gould, L.I. (1989): Nonlocal conserved quantities, balance laws and equations of motion. *Internat. J. Theoretical Physics* **28**, 335-364.
- Gould, L.I. (1995): Quantum dynamics and neural dynamics: Analogies between the formalisms of Bohm and Pribram. V: J. King & K. Pribram (ur.): *Scale in Conscious Experience: Is the Brain Too Important To Be Left to Specialists to Study?* Mahwah (NJ): Lawrence Erlbaum Assoc., str. 337-348.
- Gray, C.M., P. König, A.K. Engel & W. Singer (1989): Oscillatory responses in cat visual cortex exhibit inter-columnar synchronization which reflects global stimulus properties. *Nature* **338**, 334-337.
- Gray, C.M., P. König, A.K. Engel & W. Singer (1990): Synchronization of oscillatory responses in visual cortex: A plausible mechanism for scene segmentation. V: H. Haken & M. Stadler (ur.): *Synergetics of Cognition*. Berlin: Springer, p. 82-.
- Gray, M.S., J.R. Movellan & T.J. Sejnowski (1997): Dynamic features for visual speech-reading: A systematic comparison. *Advances in Neural Information Processing Systems* **9**, 751-757.
- Gupta, M.M. & G.K. Knopf (ur.) (1994): *Neuro-Vision Systems*. New York: IEEE Press.
- Haken, H. (1991): *Synergetic Computers and Cognition (A Top-Down Approach to Neural Nets)*. Berlin: Springer.
- Haken, H. (1996): *Principles of Brain Functioning*. Berlin, Springer.
- Hameroff, S.R. (1994): Quantum coherence in microtubules: a neural basis for emergent consciousness? *J. Consciousness Studies* **1**, 91-118.
- Hameroff, S.R. (1998): "Funda-Mentality": Is the conscious mind subtly linked to a basic level of the Universe? *Trends in Cognitive Science* **2**, 119-127.
- Hameroff, S.R., A.W. Kaszniak & A.C. Scott (1996): *Towards a Science of Consciousness*: Tucson I. Cambridge (MA): MIT Press. (Posebno: K. Pribram: *The varieties of conscious experience: Biological roots and social usages* (ch. 10) & C. Koch: *Towards a neuronal substrate of visual consciousness*).
- Hameroff, S.R. & R. Penrose (1995): Orchestrated reduction of quantum coherence in brain microtubules: A model for consciousness. V: J. King, K. Pribram (ur.): *Scale in Conscious Experience: Is the Brain Too Important To Be Left to Specialists to Study?* Mahwah (NJ): Lawrence Erlbaum Assoc., str. 243-275.
- Hameroff, S.R. & R. Penrose (1996): Conscious events as orchestrated space-time selections. *J. Consciousness Studies* **3**, 36-53.
- Hariharan, P. (1996): *Optical Holography*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Harpur, G.F. & R.W. Prager (1996): Development of low entropy coding in a recurrent network. *Network: Computation in Neural Systems* **7**, 277-284.
- Haykin, S. (1994): *Neural Networks (A Comprehensive Foundation)*. New York: MacMillan.
- Hellwig, B. (2000): A quantitative analysis of the local connectivity between pyramidal neurons in layers 2/3 of the rat visual cortex. *Biological Cybernetics* **82**, 111-121.
- Hiley, B.J. & F.D. Peat (ur.) (1987): *Quantum Implications (Essays in Honour of David Bohm)*. London: Routledge.
- Hoffman, W.C. (1966): The Lie algebra of visual perception. *J. Mathematical Psychology* **3**, 65-98.
- Hoffman, W.C. (1968): The neuron as a Lie group germ and a Lie product. *Quarterly J. Applied Mathematics* **25**, 423-.
- Hoffman, W.C. (1970): Higher visual perception. *Mathematical Biosciences* **6**, 437-.
- Hoffman, W.C. (1997): Mind and the geometry of systems. V: S.O. Nuallain idr.: *Two Sciences of Mind*. Amsterdam: John Benjamins, str. 459-483.
- Hopfield, J.J. (1982): Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* **79**, 2554-2558.
- Hopfield, J.J. (1984): Neurons with graded response have collective computational properties like those of two-state neurons. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA* **81**, 3088-3092.
- Hopfield, J.J. (1995): Pattern recognition computation using action potential timing for stimulus representation. *Nature* **376**, 33-36.
- Hucho, F. (1986): *Neurochemistry*. Weinheim: VCH.
- Hyvärinen, A. (1999): Fast and robust fixed-point algorithms for independent component analysis. *IEEE Transactions on Neural Networks* **10**, 626-634.
- Hyvärinen, A. & P. Hoyer (2000): Emergence of topography and complex cell properties from natural images using extensions of ICA. *Advances in Neural Information Processing Systems* **12**, 827-833 (& NIPS'99).

- Hyvärinen, A. & E. Oja (1997): A fast fixed-point algorithm for independent comp. anal. *Neural Computation* **9**, 1483-1492.
- Ingber, L. (1998): Statistical mechanics of neocortical interactions: Training and testing canonical momenta indicators of EEG. *Mathematical & Comput. Modelling* **27** (no. 3), 33-64.
- Intrator, N. & J.I. Gould (1992): Three-dimensional object recognition using an unsupervised BCM network: The usefulness of distinguishing features. (Preprint, v objavi v *Neural Computation*.)
- Jibu, M., K.H. Pribram & K. Yasue (1996): From conscious experience to memory storage and retrieval: The role of quantum brain dynamics and boson condensation of evanescent photons. *Internat. J. Modern Physics* **10**, 1735-1754.
- Jibu, M. & K. Yasue (1995): *Quantum Brain Dynamics and Consciousness*. Amsterdam / Philadelphia: John Benjamins.
- Jibu, M. & K. Yasue (1997): Quantum field theory of evanescent photons in brain as quantum theory of consciousness. *Informatica* **21**, 471-490.
- Jones, J.A., V. Vedral, A. Ekert & G. Castagnoli (2000): Geometric quantum computation using nuclear magnetic resonance. *Nature Letters* **403**, 869-871.
- Kainen, P.C. (1992): Orthogonal dimension and tolerance. Tech. report IM-061592 (Industrial Math., Washington, DC).
- Kainen, P.C. & V. Kurková (1993): Quasiorthogonal dimension of Euclidean spaces. *Applied Mathematics Letters* **6** (no. 3), 7-10.
- Kak, S.C. (1995): On quantum neural computing. *Information Sciences* **83**, 143-160.
- Kaminski, W.A. & A.D. Linkevich (1997/1998): Correlation functions of nonlinear dynamical systems and methods of quantum field theory. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska (Lublin, PL), Sectio AAA, LII/LIII*, **3**, str. 25-35.
- Kandel, E.R., J.H. Schwartz & T.M. Jessel (1991): *Principles of Neural Science*. London (UK): Prentice Hall Internat., 3rd ed.
- Kirvelis, D. (2000b): Visual analyzer as anticipatory system (Functional organization). V: D. Dubois (ur.): *AIP Conference Proceedings*, vol. **517**: *Comput. Anticip. Sys. - CASYS'99 in Liege*. Melville (NY): Amer. Inst. Phys., str. 277-288.
- Koch, C. (1997): Computation and the single neuron. *Nature* **385**, 207-210.
- Koch, C. & I. Segev (2000): The role of single neurons in information processing. *Nature Neurosci. (Suppl.)* **3**, 1171-1177.
- Kohonen, T. (1982): Self-organized formation of topologically correct feature maps. *Biological Cybernetics* **43**, 59.
- Kohonen, T. (1984): *Self-Organization and Associative Memory*. Berlin: Springer.
- Kohonen, T. (1995): *Self-Organizing Maps*. Berlin: Springer.
- Kononenko, I. (1997): *Strojno učenje*. Ljubljana: FRI.
- Kosslyn, S.M. (1988): Aspects of a cognitive neuroscience of mental imagery. *Science* **240**, 1621-1626.
- Kosslyn, S.M. & R.A. Andersen (ur.) (1992): *Frontiers in Cognitive Neuroscience*. Cambridge (MA): MIT Press.
- Körner, E., M.-O. Gewaltig, U. Körner, A. Richter & T. Rodemann (1999): A model of computation in neocortical architecture. *Neural Networks* **12**, 989-1005.
- Kurková, V. & P.C. Kainen (1996): A geometric method to obtain error-correcting classification by neural networks with fewer hidden units. V: *Proceedings of Int. Conf. on Neural Networks '96*. Washington (DC): IEEE, str. 127-132.
- Kwiat, P., A. Berglund, J. Altepeter, A. White (2000): Experimental verification of decoherence-free subspaces. *Science* **290**, 498-501.
- Landauer, R. (1991): Information is physical. *Physics Today*, May 1991, 23-29.
- Lee, S.-H. & R. Blake (1999a): Visual form created solely from temporal structure. *Science* **284**, 1165-1168.
- Lee, S.-H. & R. Blake (1999b): Detection of temporal structure depends on spatial structure. *Vision Research* **39**, 3033-3048.
- Lee, T.S. (1996): Image representation using 2-dimensional Gabor wavelets. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* **18** (no. 10), 1-13.
- Lehky, S.R. & T.J. Sejnowski (1988): Network model of shape-from-shading: Neural function arises from both receptive and projective fields. *Nature* **333**, 452-454.

- Lewicki, M.S. & B.A. Olshausen (1999): A probabilistic framework for the adaptation and comparison of image codes. *J. Optical Society of America A: Optics, Image Science, and Vision* **16**, 1587-1601.
- Linsker, R. (1988): Self-organization in a perceptual network. *Computer*, March 1988, 105-117.
- Livingstone, M. & D. Hubel (1988): Segregation of form, color, movement, and depth: Anatomy, physiology, and perception. *Science* **240**, 740-749.
- Lockwood, M. (1989): *Mind, Brain and the Quantum*. Oxford: Blackwell.
- Logothetis, N.K. (1999): Vision: A window on consciousness. *Scientific American*, November 1999, 45-51.
- Luccio, R. (1993): Gestalt problems in cognitive psychology: Field theory, invariance, and auto-organisation. V: V. Roberto (ur.): *Advances in Computational Perception*. Heidelberg: Springer.
- Lurija, A.R. (1983): *Osnovi neuropsihologije*. Beograd: Nolit.
- MacLennan, B.J. (1990): Field computation (Parts I-IV). Tech. report CS-90-100, Univ. of Tennessee, Knoxville (tudi na: <http://www.cs.utk.edu/~mclennan>).
- MacLennan, B.J. (1991): Gabor representation of spatiotemporal visual images. Tech. report CS-91-144, Univ. of Tennessee, Knoxville (tudi na: <http://www.cs.utk.edu/~mclennan>).
- MacLennan, B.J. (1994): Continuous computation and the emergence of discrete. V: K. Pribram (ur.): *Origins: Brain & Self-Organization*. Hillsdale (NJ): LEA, str. 121-152.
- MacLennan, B.J. (1999): Field computation in natural and artificial intelligence. *Information Sciences* **119**, 73-89.
- Majewski, A.W. (1999): Separable and entangled states of composite quantum systems – rigorous description. *Open Systems and Information Dynamics* **6**, 79-86.
- Maletić-Savić, M., R. Malinow & K. Svoboda (1999): Rapid dendritic morphogenesis in CA1 hippocampal dendrites induced by synaptic activity. *Science* **283**, 1923-1927.
- Manger, R. (1997): Holographic neural networks and data compression. *Informatica* **21**, 665-673.
- Mannion, C.L.T. & J.G. Taylor (1992): Information processing by oscillating neurons. V: J.G. Taylor & C.L.T. Mannion (ur.): *Coupled Oscillating Neurons*. London: Springer, str. 98-111.
- Marcel, A.J. & E. Bisiach (ur.) (1988): *Consciousness in Contemporary Science*. Oxford: Clarendon Press.
- Marcus, P. (ur.) (1999): *Proceedings of the Symposium 9: Quantum Neural Information Processing: New Technology, New Biology?* V: D. Dubois (ur.): *Abstract book of CASYS'99 (Computing Anticipatory Systems)*. Liege: CHAOS asbl.
- Marcus, P. & W. Schempp (1997): A model of neuron working by quantum holography. *Informatica* **21**, 517-532.
- Marcus, P. & W. Schempp (1998): The brain as a conscious system. *Internat. J. General Systems* **27**, 231-248.
- Marcus, P. & W. Schempp (2000): Why space has three dimensions: A quantum mechanical explanation. V: D. Dubois (ur.): *AIP Conference Proceedings*, vol. **517**: *Computing Anticipatory Systems – CASYS'99* in Liege. Melville (NY): American Institute of Physics, str. 430-436.
- Marder, E., L.F. Abbott, G.T. Turrigiano, Z. Liu & J. Golowasch (1996): Memory from the dynamics of intrinsic membrane currents. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA* **93**, 13481-13486.
- McClelland, J.L., D.E. Rumelhart & PDP Res. Group (1986): *Parallel-Distributed Processing – Explorations into the Microstructure of Cognition*; vols. 1, 2. Cambridge (MA): MIT Press.
- McIntosh, A.R., M.N. Rajah & N.J. Lobaugh (1999): Interactions of prefrontal cortex in relation to awareness in sensory learning. *Science* **284**, 1531-1533.
- McKeown, M.J., S. Makeig, G.G. Brown, T.-P. Jung, S.S. Kindermann, A.J. Bell & T.J. Sejnowski (1998): Analysis of fMRI data by blind separation into independent components. *Human Brain Mapping* **6**, 160-188.
- Messiah, A. (1965): *Quantum Mechanics I, II*. Amsterdam: North-Holland.
- Mesulam, M.-M. (1981): A cortical network for directed attention and unilateral neglect. *Annals of Neurology* **10**, 309-325.
- Mezard, M., G. Parisi & M.A. Virasoro (1987): *Spin Glass Theory and Beyond*. Singapore: World Scientific.
- Miller, K.D., J.B. Keller & M.B. Stryker (1989): Ocular dominance column development: Analysis and simulation. *Science* **245**, 605-615.
- Mishkin, M., L.G. Ungerleider & K.A. Macko (1983): Object vision and spatial vision: Two cortical pathways. *Trends in Neurosciences* **6**, 414-417.
- Miyashita, Y. & H.S. Chang (1988): Neuronal correlate of pictorial short-term memory in the primate temporal cortex. *Nature* **331**, 68-70.
- Montero, V.M. (2000): Attentional activation of the visual thalamic reticular nucleus depends on 'top-down'

- inputs from the primary visual cortex via corticogeniculate pathways. *Brain Research* **864**, 95-104.
- Moran, J. & R. Desimone (1985): Selective attention gates visual processing in the extrastriate cortex. *Science* **229**, 782-784.
- Mullen, K.T., W.H.A. Beaudot & W.H. McIlhagga (2000): Contour integration in color vision: a common process for the blue-yellow, red-green and luminance mechanisms? *Vision Research* **40**, 639-655.
- Nadal, J.-P. & N. Parga (1997): Redundancy reduction and independent component analysis: Conditions on cumulants and adaptive approaches. *Neural Computation* **9**, 1421-1456.
- Nanopoulos, D.V. (1995): Theory of brain function, quantum mechanics and superstrings. Tech. reports: ACT-08/95; CERN-TH/95-128; CTP-TAMU-22/95; <http://xxx.lanl.gov/abs/hep-ph/9505374>
- Newman, J. (1997): Toward a general theory of the neural correlates of consciousness. *J. Consciousness Studies* **4**, 47-66 (part I), 100-121 (part II).
- Nishimori, H. & Y. Nonomura (1996): Quantum effects in neural networks. *J. Physical Society of Japan* **65**, 3780-3796.
- Nobili, R. (1985): Schrödinger wave holography and brain cortex. *Physical Review A* **32**, 3618-3626.
- Oakley, D.A. (ur.) (1985): *Brain and Mind*. London / New York: Methuen.
- Obermayer, K., G. Blasdel & K. Schulten (1992): Statistical-mechanical analysis of self-organization and pattern formation during development of visual maps. *Physical Review A* **45**, 7568-7589.
- Ohya, M. (1989): Some aspects of quantum information theory and their applications to irreversible processes. *Reports on Mathematical Physics* **27**, 19-46.
- Olshausen, B.A. & D.J. Field (1996a): Natural image statistics and efficient coding. *Network: Computation in Neural Systems* **7**, 333-339.
- Olshausen, B.A. & D.J. Field (1996b): Emergence of simple-cell receptive field properties by learning a sparse code for natural images. *Nature Letters* **381**, 607-609.
- Olshausen, B.A. & D.J. Field (1997): Sparse coding with an overcomplete basis set: A strategy employed by V1? *Vision Research* **37**, 3311-3325.
- Olshausen, B.A. & K.J. Millman (2000): Learning sparse codes with a mixture-of-Gaussian prior. *Advances in Neural Information Processing Systems* **12**, v tisku.
- Peretto, P. (1992): *An Introduction to the Modeling of Neural Networks*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Perret, D.I. & M.W. Oram (1998): Visual recognition based on temporal cortex cells: Viewer-centered processing of pattern configuration. *Zeitschr. für Naturforschung* **53c**, 518-541.
- Peruš, M. (1995a): Vse v enem, eno v vsem (Možgani in duševnost v analizi in sintezi). Ljubljana: DZS.
- Peruš, M. (1995b): Synergetic approach to cognition-modeling with neural networks. V: K. Sachs-Hombach (ur.): *Bilder im Geiste*. Amsterdam/Atlanta: Rodopi, str. 183-194.
- Peruš, M. (1996): Neuro-quantum parallelism in mind-brain and computers. *Informatica* **20**, 173-183.
- Peruš, M. (1997a): Mind: neural computing plus quantum consciousness. V: M. Gams, M. Paprzycki & X. Wu (ur.): *Mind Versus Computer*. Amsterdam: IOS Press & Ohmsha, str. 156-170.
- Peruš, M. (1997b): System-processual backgrounds of consciousness. *Informatica* **21** (1997) 491-506.
- Peruš, M. (1997c): Neuro-quantum coherence and consciousness. *Noetic J.* **1**(1), 108-113.
- Peruš, M. (1997d): Primerjava nevropsiholoških modelov učenja in umetnih učnih pravil v okviru teorije nevronske mreže. *Elektrotehniški vestnik: Revija za elektroteh. in računal.* **64**, 136-141.
- Peruš, M. (1998a): Common mathematical foundations of neural and quantum informatics. *Zeitschr. für angewandte Mathematik & Mechanik* **78**, S1, 23-26.
- Peruš, M. (1998b): Consciousness: network-dynamic, informational, and phenomenal aspects. *Noetic J.* **1**(2), 183-197 (Tudi elektronska objava v: *Dynamical Psychology* (1997): <http://goertzel.org/dynapsyc/1997/Perus.html>).
- Peruš, M. (1998c): Conscious representations, intentionality, judgements, (self)awareness and qualia. *Informatica* **22**, 95-102.
- Peruš, M. (1998d): From neural to quantum Hopfield networks – fundamental information processing. V: C. Bavec, M. Gams (ur.): *Proceedings of the Int. Multi-Conf. on Information Society '98*. Volume Int. Conf. on Cognitive Sciences (Ured. A. Detela, U. Kordeš, A. Ule). Ljubljana: IJS, str. 16-19.
- Peruš, M. (1998e): Kvalije (takšnosti) fenomenalne zavesti. *Analiza* **2-3**, 16-29.
- Peruš, M. & P. Ečimović (1998): Memory and pattern recognition in associative neural networks. *Internat. J. Applied Science & Computations* **4**, 283-310.
- Peruš, M. (1999): str. 132-134 v: Discussion on neurocomputers (Ured. A.A. Frolov, A.A. Ezhov). *Neural Network World* **1-2**, 103-171 (glej tudi: Cutting, Chrisley, Ezhov, Martinez, Ventura; idr.).

- Peruš, M. (2000a): Biomreže, mišljenje in zavest. Ljubljana: DZS (knjiga) & Satjam (elektronska izdaja: <http://www.dzs.si>).
- Peruš, M. (2000b): From neural to quantum associative networks: A new quantum "algorithm". V: D. Dubois (ur.): AIP Conference Proceedings, vol. **517**: Computing Anticipatory Systems – CASYS'99 in Liege. Melville (NY): American Institute of Physics, str. 289-295.
- Peruš, M. (2000c): Neural networks as a basis for quantum associative networks. *Neural Network World* **10** (no. 6), 1001-1013.
- Peruš, M. (2000d): Tracing quantum background processing in visual cortex. V: A.V. Bataev (ur.): Sbornik naučnih trudov, 2-ja vsesrbskaja naučno-tehniška konferenca "Neuroinformatika 2000", časť (vol.) 1. Moskva: MIFI (Moskovski inštitut tehniške fizike), str. 208-226. [Izšlo tudi v ruskem prevodu v rus. "zborniku delavnice Kvantne nevrnske mreže". Ured. A.A. Ežov. Moskva: MIFI (Moskovski inštitut teh. fizike), 2001, str. 14-35.]
- Peruš, M. (2000e): Neural correlates of vision and attention (str. 17-20) & Neuropsychology of vision (str. 25-28). V: Proceedings of the 3rd Int. Multi-Conf. "Information Society 2000" – Volume (zv.) Proceed. Conf. on Cognitive Science: "New Science of Consciousness" (ured. I. Kononenko). Ljubljana: Inštitut Jožef Stefan.
- Peruš, M. (2001a): A synthesis of the Pribram holonomic theory of vision with quantum associative nets after pre-processing using I.C.A. and other computational models. *International Journal of Computing Anticipatory Systems* **10**, 352-367.
- Peruš, M. (2001b): Conscious Image Processing: A Holonomic Model, doktorska disertacija (Univerza v Ljubljani, Filozof. fakulteta, Oddelek za psihologijo). Mentorja: J. Musek, K.H. Pribram.
- Peruš, M. & S.K. Dey (2000): Quantum systems can realize content-addressable associative memory. *Applied Mathematics Letters* **13** (no. 8), 31-36.
- Pessa, E. & G. Vitiello (1999): Quantum dissipation and neural net dynamics. *Bioelectrochemistry & Bioenergetics* **48**, 339-342.
- Poggio, T., V. Torre, C. Koch (1985): Computational vision and regularization theory. *Nature* **317**, 314-319.
- Porri, J., J.P. Frisby, W.J. Adams & D. Buckley (1999): Robust and optimal use of information in stereo vision. *Nature Letters* **397** (1999) 63-66.
- Pötsch, M., N. Krüger & C. von der Malsburg (1996): Improving object recognition by transforming Gabor filter responses. *Network: Computation in Neural Systems* **7**, 341-347.
- Pribram, K.H. (1971): Languages of the Brain (Experimental Paradoxes and Principles in Neuropsychology). Orig.: Englewood Cliffs (NJ): Prentice-Hall; 5th publ.: New York: Brandon House.
- Pribram, K.H., M.C. Lassonde & M. Pito (1981): Classification of receptive field properties in cat visual cortex. *Experimental Brain Research* **43**, 119-130.
- Pribram, K.H. & E.H. Carlton (1986): Holonomic brain theory in imaging and object perception. *Acta Psychologica* **63**, 175-210.
- Pribram, K.H. (1991): Brain and Perception (Holonomy and Structure in Figural Processing). Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum Associates.
- Pribram, K.H. (ur.) (1993): Rethinking Neural Networks: Quantum Fields and Biological Data. Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum Associates.
- Pribram, K.H. (1995): Brain and perception: From Köhler's fields to Gabor's quanta of information. Proceedings of the 39th Congress of German Society for Psychology, str. 53-69.
- Pribram, K.H. (1997a): What is mind that the brain may order it? Proceedings of Symposia in Applied Mathematics **52**, 301-329 (Vol. 2: Proceed. of the Norbert Wiener Centenary Congress, 1994, ured. V. Mandrekar & P.R. Masani; Providence: Am. Math. Soc.).
- Pribram, K.H. (1997b): The deep and surface structure of memory and conscious learning: Toward a 21st century model. V: R.L. Solso (ur.): Mind and Brain Sciences in the 21st Century. Cambridge (MA): MIT Press, str. 127-156.
- Pribram, K.H. (1998a): Brain and the composition of conscious experience. *J. Consciousness Studies* **6**, no. 5, 19-42.
- Pribram, K.H. (1998b): Status report: Quantum holography and the brain. V: Proceedings of the ECHO conference, Helsinki. (Or see: Quantum holography: Is it relevant to brain function? *Information Sciences* **115** (1999) 97-102.)
- Prideaux, J. (1996): Comparison between Karl Pribram's "Holographic Brain Theory" and more conventional models of neural computation (iz WWW).

- Psaltsis, D., D. Brady., X.-G. Gu & S. Lin (1990): Holography in artificial neural networks. *Nature* **343**, 325-330.
- Pyllkänen, P. & Pyllkö P. (ur.) (1995): *New Directions in Cognitive Science*. Helsinki: Finnish AI Soc. (posebno članki avtorjev: Chrisley, Globus, Gould, Hiley, Peruš, Revonsuo).
- Rabitz, H., R. de Vivie-Riedle, M. Motzkus & K. Kompa (2000): Whither the future of controlling quantum phenomena? *Science* **288**, 824-828.
- Rainer, G. & E.K. Miller (2000): Effects of visual experience on the representation of objects in the prefrontal cortex. *Neuron* **27**, 179-189.
- Rakić, Lj., G. Kostopoulos, D. Raković & Dj. Koruga (ur.) (1997): *Brain and Consciousness – Proceedings of the First ECPD Int. Symposium (vol. I) & Workshop (vol. II) on Scientific Bases of Consciousness '97*. Belgrade: ECPD.
- Riesenhuber, M. & T. Poggio (2000): Models of object recognition. *Nature Neurosci. (Suppl.)* **3**, 1199-1204.
- Ritter, H., T. Martinez & K. Schulten (1992): *Neural Computation and Self-Organizing Maps*. Reading (MA): Addison-Wesley.
- Robertson, B. (1966): Equations of motion in nonequilibrium statistical mechanics. *Physical Review* **144**, 151-161 (posebno str. 156 levo)
- Roelfsema, P.R. (1998): Solutions for the binding problem. *Zeitschr. für Naturforschung* **53c**, 691-715.
- Savtchenko, L.P. & S.M. Korogod (1997): Spatial electrical patterns in simulated neuronal dendrites. *European Biophysics J.* **36**, 337-348.
- Schempp, W. (1993): Bohr's indeterminacy principle in quantum holography, self-adaptive neural network architectures, cortical self-organization, molecular computers, magnetic resonance imaging and solitonic nanotechnology. *Nanobiology* **2**, 109-164.
- Schempp, W. (1994): Analog VLSI network models, cortical linking neural network models, and quantum holographic neural technology. V: J.S. Byrnes idr. (ur.): *Wavelets and Their Applications*. Amsterdam: Kluwer, str. 213-260.
- Schempp, W. (1995): Phase coherent wavelets, Fourier transform resonance imaging, and synchronized time-domain neural networks. *Proceedings of the Steklov Institute of Mathematics* **3**, 323-351.
- Schempp, W. (1997): Quantum holography and magnetic resonance tomography: an ensemble quantum computing approach to human brain mapping. *Informatica* **21**, 541-562.
- Schiller, P.H. & N.K. Logothetis (1990): The color-opponent and broad-band channels of the primate visual system. *Trends in Neurosciences* **13**, 392-398.
- Smith, S.J. (1999): Dissecting dendrite dynamics. *Science* **283**, 1860-1861.
- Snider, G., A. Orlov, I. Amlani, X. Zuo, G. Bernstein, C. Lent, J. Merz & W. Porod (1999): Quantum-dot cellular automata: Review and recent experiments. *J. Applied Physics* **85**, 4283-4285.
- Sompolinsky, H. & M. Tsodyks (1994): Segmentation by a network of oscillators with stored memories. *Neural Computation* **6**, 642-657.
- Spencer, R.G. (2001): Bipolar spectral associative memories. *IEEE Transactions on Neural Networks*, v objavi v majski št.
- Stapp, H.P. (1993): *Mind, Brain and Quantum Mechanics*. Berlin: Springer.
- Stillings, N.A., S.E. Weisler, C.H. Chase, M.H. Feinstein, J.L. Garfield & E.L. Rissland (1995): *Cognitive Science*. Cambridge (MA): MIT Press. Ch. 12: Vision.
- Sutherland, J.G. (1990): A holographic model of memory, learning and expression. *Internat. J. Neural Systems* **1**, 259-267. (glej tudi: www.andcorporation.com).
- Sutherland, J.G. (1994): The holographic cell: A quantum perspective. V: V.L. Plantamura, B. Souček & G. Visaggio (ur.): *Frontier Decision Support Systems*, chapter 3. New York: J. Wiley & Sons (glej tudi pogl. 4, 5).
- Swindale, N.V. (1996): The development of topography in the visual cortex. *Network: Computation in Neural Systems* **7**, 161-247.
- Šlechta, J. (1993): On a quantum-statistical theory of pair interaction between memory traces in the brain. *Informatica* **17**, 109-115.
- Tang, K.-W. & S.C. Kak (1998): A new corner classification approach to neural network training. *Circuit Systems & Signal Processing* **17**, 459-469.
- Tang, Y.-P., E. Shimizu, G. Dube, C. Rampon, G. Kerchner, M. Zhuo, G. Liu & J. Tsien (1999): Genetic enhancement of learning and memory. *Nature Letters* **401**, 63-69.

- Tootell, R.B.H., N.K. Hadjikhani, J.D. Mendola, S. Marrett & A.M. Dale (1998): From retinotopy to recognition: fMRI in human visual cortex. *Trends in Cognitive Sciences* **2**, 174-183.
- Trstenjak, A. (1996): Psihologija barv. Ljubljana: Inštitut A. Trstenjaka (Trstenjakova zbrana dela št. 5).
- Tsao, T.-R., H.-J. Shyu, J.M. Libert & V.C. Chen (1991): A Lie group approach to a neural system for 3-dimensional interpretation of visual motion. *IEEE Transactions on Neural Networks* **2**, 149-155.
- Ullman, S. & S. Soloviev (1999): Computation of pattern invariance in brain-like structures. *Neural Networks* **12**, 1021-1036.
- van der Wal, C., idr. (2000): Quantum superposition of macroscopic persistent-current states. *Science* **290**, 773-777.
- van Hateren, J.H. (1992): Real and optimal images in early vision. *Nature* **360**, 68-70.
- van Hateren, J.H. & D.L. Ruderman (1998): Independent component analysis of natural image sequences yields spatiotemporal filters similar to simple cells in primary visual cortex. *Proceedings of the Royal Society of London B (Biol. Sci.)* **265**, no. 1412, 2315-2320.
- van Hateren, J.H. & A. van der Schaaf (1998): Independent component filters of natural images compared with simple cells in primary visual cortex. *Proceedings of the Royal Society of London B* **265**, 359-366.
- Ventura, D. (1999): Initializing the amplitude distribution of a quantum state. *Foundations of Physics Letters* **12**, 547-559.
- Vidyasagar, T.R. (1999): A neuronal model of attentional spotlight: parietal guiding the temporal. *Brain Research Review* **30**, 66-76.
- Vitiello, G. (1992): Coherence and electromagnetic fields in living matter. *Nanobiology* **1**, 221-228.
- Vitiello, G. (1996): Living matter physics and the quantum brain model. *Physics Essays* **9**, 548-555.
- von der Heydt, R., E. Peterhans & G. Baumgartner (1984): Illusory contours and cortical neuron responses. *Science* **224**, 1260-1262.
- Wainwright, M. J. (1999): Visual adaptation as optimal information transmission. *Vision Research* **39**, 3960-3974.
- Wallis, G. & H. Bülthoff (1999): Learning to recognize objects. *Trends in Cognitive Sciences* **3**, 22-31.
- Wang, D.L. (1999): Object selection based on oscillatory correlation. *Neural Networks* **12**, 579-592.
- Wang, P.P., idr. (ur.) (1998): *Proceedings of the 4th Joint Conference on Information Sciences '98*. Research Triangle Park (NC, USA): Assoc. Intellig. Machinery. Volume II: *Proceedings of the 3rd Internat. Conf. on Computational Intelligence & Neuroscience* (ured. G. Georgiou); sekcija "neuro-quantum information processing": str. 167-224.
- Weinacht, T.C., J. Ahn & P.H. Bucksbaum (1999): Controlling the shape of a quantum wavefunction. *Nature Letters* **397**, 233-235. (Glej tudi str. 207-208 istega zvezka: Quantum control: Sculpting a wavepacket; avt. W. Schleich).
- Weliky, M., L.C. Katz (1999): Correlational structure of spontaneous neuronal activity in the developing lateral geniculate nucleus in vivo. *Science* **285**, 599-604.
- Wheeler, J.A. & W.H. Zurek (ur.) (1983): *Quantum Theory and Measurement*. Princeton (NJ): Princeton Univ. Press.
- Wolpert, D.H. & B.J. MacLennan (1993): A computationally universal field computer that is purely linear. Santa Fe Institute Tech. report 93-09-056.
- Wurtz, R.H., M.E. Goldberg & D.L. Robinson (1980): Behavioral modulation of visual responses in the monkey: Stimulus selection for attention and movement. *Progress in Psychobiology and Physiological Psychology* **9**, 43-83.
- Zak, M. & C.P. Williams (1998): Quantum neural nets. *Internat. J. Theoretical Physics* **37**, 651-684.
- Zeeman, E.C. (1961): The topology of the brain and visual perception. V: M.K. Fort, Jr. (ur.): *Topology of 3-Manifolds*. Englewood Cliffs (NJ): Prentice Hall, str. 240-256.
- Zeki, S.M. (1976): The functional organization of projections from striate to prestriate visual cortex in rhesus monkey. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* **40**, 591-600.
- Zipser, D. & R.A. Andersen (1988): A back-propagation programmed network that simulates response properties of a subset of posterior parietal neurons. *Nature* **331**, 679-684.
- Zornetzer, S.F., J.L. Davis & C. Lau (1990): *An Introduction to Neural and Electronic Networks*. San Diego: Academic Press.
- Železnikar, A.P. & M. Peruš (ur.) (1998): Consciousness in Science and Philosophy '98 (Math. Dept., Eastern Illinois Univ., Charleston, IL) – abstracts. *Informatica* **22**, 373-403.

POMOŽNO ČTIVO:

1. **Kognitivna nevroznanost:** R.J. MacGregor: Neural and Brain Modeling; Academic Press, San Diego, 1987. Z. Pirtošek (ur.): Proceed. Symp. on Cognitive Neuroscience; UKC, Ljubljana, 1997. P. Rakić, W. Singer (ur.): Neurobiology of Neocortex; John Wiley & Sons, Chichester, 1988. A.B. Scheibel, A.F. Wechsler (ur.): Neurobiology of Higher Cognitive Functions; Guilford Press, London, New York, 1990. W. von Seelen, G. Shaw, U.M. Leinhos (ur.): Organization of Neural Networks (Structures and Models); VCH, Weinheim, 1988. M.T. Alkire, R.J. Hayer, J.H. Fallon, S.J. Barker: J. Consc. Stud. 3 (1996) 448-462. J. Allman, F. Miezin & E. McGuinness: Perception 14 (1985) 105-126. H. Eichenbaum, G. Schoenbaum, B. Young, M. Bunsey: Proc. Natl. Acad. Sci. USA 93 (1996) 13500-13507. A. Gierer: Biol. Cybern. 59 (1988) 13-21. C.G. Gross, C. E Rocha-Miranda, D.B. Bender: J. Neurophysiol. 35 (1972) 96-111. R.E. Hampson, J.D. Simeral, S.A. Deadwyler: Nature 402 (1999) 610-614. P. Jung, K. Wiesenfeld: Nature 385 (1997) 291. H.S. Kudrimoti, C.A. Barnes, B.L. McNaughton: J. Neurosci. 19 (1999) 4090-4101. D.N. Levine (1982): in Analysis of Visual Behavior (Ured. D.J. Ingle idr.); MIT Press, Cambridge (MA). J.E. Lisman, J.R. Fallon: Science 283 (1999) 339-340. M. Marin-Padilla: J. Cognit. Neurosci. 2 (1980) 180. B.C. Motter, V.B. Mountcastle: J. Neurosci. 1 (1981) 3-26. M.E. Nelson, J.M. Bower: Trends Neurosci. 13 (1990) 403. M.C. Raff idr.: Science 262 (1993) 695-700. B.J. Richmond, R.F. Schmidt, J. Neurophysiol. 58 (1987) 1292-1306. W.E. Skaggs, B.L. McNaughton: J. Neurosci. 18 (1998) 8455-8466. J.G. Taylor, F.N. Alavi v: J.G. Taylor (ur.): Mathematical Approaches to Neural Networks; Elsevier, Amsterdam, 1993. R.F. Thompson, J.J. Kim: Proc. Natl. Acad. Sci. USA 93 (1996) 13438-13444. T.-R. Tsao, H.-J. Shyu, J.M. Libert, V.C. Chen: IEEE Transact. Neural Net. 2 (1991) 149.
2. **Bioznanosti and (nevro)fiziologija:** B. Alberts, D. Bray, J. Lewis, M. Raff, K. Roberts, J.D. Watson: Molecular Biology of the Cell; Garland, New York, 1983. V. Kobe idr.: Anatomija (2. del); MF, Ljubljana, 1988. A.L. Lehninger: Principles of Biochemistry; Worth, New York, 1982. R.F. Schmidt, G. Thews: Human Physiology; Springer, Berlin, 1983. M. Štruel: Fiziologija živčevja; Medicinski razgledi, Ljubljana, 1989.
3. **Modeli vidne zaznave:** M. Bernstein, S. Stiehl, J. Bickle v: R. Ellis, N. Newton (ur.): The Cauldron of Consciousness; John Benjamins, New York, 2000. J.M. Foley, C.-C. Chen: Vision Res. 39 (1999) 3855-3872. W.C. Hoffman: Math. Model. 1 (1980) 349. J.S. Jordan & W.A. Hershberger: Percept. & Psychophys. 55 (1994) 657-666. S.M. Kosslyn, C.F. Chabris, C.J. Marsolek, O. Koenig: J. Exp. Psych.: Hum. Percept. & Perform. 18 (1992) 562-577. D. Marr, H.K. Nishihara: Technol. Rev. 81 (1978) 2-23. J.D. Victor, M.M. Comte: Vision Res. 39 (1999) 3351-3371. N. Walter: Network (SMN) 59 (1995) 15-19. W.A.R. Wolf: Perception Suppl. 24 (1995) 139. R. Wolf: Scept. Inquirer 20 (1996) 23-30. R. Wolf: Depth illusion by delayed 3D perception. Perception (1997) v tisku.
4. **Kognitivna nevropsihologija:** A.W. Ellis, A.W. Young: Human Cognitive Neuropsychology; Lawrence Erlbaum Assoc., Hove/London, 1988. J.D. Cohen, D. Servan-Schreiber: Psych. Rev. 99 (1992) 45-77. T. Duka, H.V. Curran, J.M. Rusted, H.J. Weingartner: Behav. Pharmacol. 7 (1996) 401-410. N. Geschwind: Science 170 (1965) 940-944. D. Hestenes: Behav. & Brain Sci. 14 (1991) 31-32. D.Y. Kimberg, M.J. Farah: J. Exp. Psych.: Gen. 122 (1993) 411-428. B. Milner, M. Petrides: Trends Neurosci. 7 (1984) 403-407. M.I. Posner, A.W. Inhoff, F.J. Friedrich, A. Cohen: Psychobiol. 15 (1987) 107-121. L.R. Squire, S.M. Zola: Proc. Natl. Acad. Sci. USA 93 (1996) 13515-13522.
5. **Računalniška nevroznanost:** M.A. Arbib: Brains, Machines and Mathematics; Springer, Berlin, 1987. M.A. Gluck, D.E. Rumelhart (ur.): Neuroscience and Connectionist Theory; Lawrence Erlbaum Assoc., Hillsdale (NJ), 1990. M.F. Bear: Nature 385 (1997) 481-482. P. Dayan, S. Kakade, P. Read Montague: Nature Neurosci. (Suppl.) 3 (2000) 1218-1223. D. Durstewitz, J. Seamans, T. Sejnowski: Nature Neurosci. (Suppl.) 3 (2000) 1184-1191. H.P. Killackey: J. Cognit. Neurosci. 2 (1990) 1-. A.G. Knapp, J.A. Anderson: J. Exp. Psych.: Learn., Mem. & Cogn. 10 (1984) 616-637. R.C. O'Reilly: Trends Cognit. Sci. 2 (1998) 455-462. W. Schultz, P. Dayan, P. Read Montague: Science 275 (1997) 1593-1598. S. Supek, C.J. Aine: IEEE Transact. Biomed. Enginrg. 40 (1993) 529-540.
6. **Živčni korelati zavesti:** G. Globus: J. Cognit. Neurosci. 4 (1992) 299. B.L. Lancaster: J. Consc. Stud. 4 (1997) 122-142. B. Libet v: Experimental and Theoretical Studies of Consciousness; John Wiley & Sons, Chichester, 1993 (str. 123). D.W. Orme-Johnson, C.T. Haynes: Neuroscience 13 (1981) 211.
7. **Nevronske mreže z njihajočimi aktivnostmi:** Y.V. Andreyev, A.S. Dmitriev, L.O. Chua, C.W. Wu: Int. J. Bifurcation & Chaos 2 (1992) 483-504. Y.V. Andreyev, Y.L. Belsky, A.S. Dmitriev, D.A. Kuminov: IEEE Transac. Neural Net. 7 (1996) 290-299. Y. Hayashi: Neural Computat. 6 (1994) 658-667. V.V.

- Kapelko, A.D. Linkevich: *Phys. Rev. E* 54 (1996) 2802-2806. L. Shastri, V. Ajjanagadde: *Behav. & Brain Sci.* 16 (1993) 417-494.
8. **Kvantno soprežemanje in enovitost:** J.S. Bell: *Speakable and Unsayable in Quantum Mechanics*; Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1987. T. Maudlin: *Quantum Non-Locality and Relativity*; Blackwell, Oxford, 1994. M.P. Silverman: *More Than One Mystery (Explorations in Quantum Interference)*; Springer, New York, 1995. R.A. Bertlmann: *Foundat. Phys.* 20 (1990) 1191-1209. M. Buchanan: *New Scientist* 125 (March 1998) 27-30. G.F. Chew: *Science* 161 (1968) 762-765. G.F. Chew, M. Gell-Mann, A.H. Rosenfeld: *Sci. Amer.* 210 (1964) 74-93. A. Ekert, P.L. Knight: *Am. J. Phys.* 63 (1995) 415-. D.M. Greenberger, M.A. Horne, A. Zeilinger: *Phys. Today* (Aug. 1993) 22-29. R.B. Griffiths: *Am. J. Phys.* 55 (1987) 11-.
9. **Kvantna teorija informacij:** N.J. Cerf, C. Adami: *Phys. Rev. Lett.* 79 (1997) 5194-5197. S.C. Kak: *Nuovo Cimento* 33 B (1976) 530-534. S.C. Kak: *Foundat. Phys.* 28 (1998) 1005-1012. R. Landauer: *Phys. Today* (May 1991) 23-29. T. Matsuoka, M. Ohya: *Reports Math. Phys.* 36 (1995) 365-379. M. Ohya: *Lett. Nuovo Cimento* 38 (1983) 402-404. M. Ohya: *IEEE Transac. Info. Th.* 29 (1983) 770-774. M. Ohya: *J. Math. Anal. & Appl.* 100 (1984) 222-235. M. Ohya: *v Quantum Probability and Related Topics VI*; World Scientific, Singapore, 1991; 359-369. M. Ohya, T. Matsuoka, K. Inoue: *IEEE Transac. Info. Th.* XX, no. Y (1999) J.A. Wheeler: *Int. J. Theor. Phys.* 21 (1982) 557-578. W.H. Zurek: *Nature* 341 (1989) 119-124.
10. **Sub-quantno ozadje zavesti, nelokalnost in implikativni red:** P.C.W. Davies, J.R. Brown (ur.): *The Ghost in the Atom*; Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1986. B.S. DeWitt, H. Graham (ur.): *The Many-Worlds Interpretation of Quantum Mechanics*; Princeton Univ. Press, Princeton, 1973. G.I. Šipov: *A Theory of Physical Vacuum* (poseb. pogl. 2.4, 2.5); Moskva, 1997. D.Z. Albert: *Sci. Amer.* (May 1994) 34. R.L. Amoroso: *Informatica* 19 (1995) 585-590. D. Bohm: *Foundat. Phys.* 17 (1987) 667. D. Bohm, B.J. Hiley: *Foundat. Phys.* 11 (1981) 529. C. Dewdney, P.R. Holland, A. Kyprianidis, J.P. Vigiér: *Nature* 336 (1988) 536. D. Deutsch: *Phys. Rev. D* 44 (1991) 3197-3217. F.A.M. Frescura: *Foundat. Phys.* 18 (1988) 777-808. F.A.M. Frescura, B.J. Hiley: *Foundat. Phys.* 10 (1980) 705. F.A.M. Frescura, B.J. Hiley: *Foundat. Phys.* 10 (1980) 7. L.I. Gould: *Arkhimedes* 2 (1993) 144-157. J.S. Hagelin: *Mod. Sci. & Vedic Sci.* 1 (1987) 29-87. B. Hiley: *Annal. Fondation L. de Broglie* 5 (1980) 75. B. Hiley, N. Monk: *Mod. Phys. Lett. A* 8 (1993) 3625. B. Hiley, M. Peruš: *ČKZ* 174 (1995) 33-49 & *Dynam. Psych.* (1997) www. B. Hiley: in Saunders, Brown (ur.): *The Philosophy of the Vacuum*; Oxford Univ. Press, 1991. B.D. Josephson, F. Pallikari-Viras: *Foundat. Phys.* 21 (1991) 197. P. Kwiat, H. Weinfurter, A. Zeilinger: *Sci. Amer.* (Nov. 1996) 52-58. I. Pitowsky: *Foundat. Phys.* 21 (1991) 343. G. Taubes: *Science* 285 (1999) 512-517.
11. **Kvantno ozadje zavesti:** M. Kafatos, R. Nadeau: *The Conscious Universe*; Springer, New York, 1990. R. Penrose: *The Emperor's New Mind (Concerning Computers, Minds, and Laws of Physics)*; Oxford Univ. Press, London, 1989. R. Penrose: *Shadows of the Mind (A Search for the Missing Science of Consciousness)*; Oxford Univ. Press, Oxford, 1994. J. Polkinghorne: *The Quantum World*; Princeton Univ. Press, Princeton (NJ), 1984. H.P. Stapp: *Mind, Matter and Quantum Mechanics*; Springer, Berlin, 1993. A. Stern: *The Quantum Brain (Theory and Implications)*; North Holland / Elsevier, Amsterdam, 1994. J.S. Hagelin: *Mod. Sci. & Vedic Sci.* 3 (1989) 3-72. K. Ludwig: *Psyche* 2(16) (1995) www. P. Marcer: *Proceed. 14th Int. Congress Cybernetics*, Namur, 1995 (str. 429-434 & 435-440). P. Marcer: *World Futures: J. Gen. Evol.* 44 (1995) 149-159. M. Peruš: *Sci. Tribune* (1997) www. D. Raković: *Informatica* 21 (1997) 507-517. E.J. Squires: *Synthese* 97 (1993) 109-123. A. Scott: *J. Consc. Stud.* 3 (1996) 484-491. H.P. Stapp: *Foundat. Phys.* 21 (1991) 1451-1477. H.P. Stapp: *Psyche* 2(5) (1995) www.
12. **Zavest:** N. Nelkin: *Consciousness and the Origins of Thought*; Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1996. S. Blackmore: *J. Mental Imagery* 11 (1987) 53. A.J. Deikman: *J. Consc. Stud.* 3 (1996) 350-356. M. Draganescu: *Noetic J.* 1 (1997) 28-33. H. Hendriks-Jansen: *Informatica* 21 (1997) 389-404. J.F. Kihlstrom: *Cognit. & Consc.* 2 (1993) 334. J.J. Kupperman: *Philos. Psych.* 8 (1995) 341-351. J.R. Searle: *Cognit. & Consc.* 2 (1993) 310. *Trends Cog. Sci.* 4 (2000) 372-382. C. Tart: *J. Consc. Stud.* 4 (1997) 71-92. A. Ule: *ČKZ* 176 (1995) 117-130. A. Ule: *Informatica* 21 (1997) 683-688. A.P. Železnikar: *Informatica* 20 (1996) 475-484.
13. **Kvalije:** W.P. Banks: *Consc. & Cognit.* 5 (1996) 368-380. D.J. Chalmers: *Sci. Amer.* (Dec. 1995) 62-68. T.L. Hubbard: *Consc. & Cognit.* 5 (1996) 327-358. P. Hut, R.N. Shepard: *J. Consc. Stud.* 3 (1996) 313-329.