

VILNIAUS UNIVERSITETAS

Dobilas Jonas KIRVELIS

KODAVIMAS-DEKODAVIMAS

UŽDAROS KILPOS PRINCIPU

GYVOSIOSE SISTEMOSE

Habilitacijos procedūrai teikiamų mokslo darbų apžvalga

Biomedicinos mokslai, biologija (01B)

Vilnius, 2009

Turinys

Įvadas.....	4
1. Kodavimo-dekodavimo uždaros kilpos principu bendroji schema.....	6
2. Regos analizatoriaus posistemio, vykdančio kodavimą-dekodavimą uždaros kilpos principu, eksperimentinė paieška.....	10
3. Teoriniai neuronų ir neurostruktūrų funkcinės veiklos modeliai.....	20
4. Analizė per sintezę – išskirtinė smegenų žievės neuroinformacinė technologija	38
5. Organizuotos sistemos funkcinė struktūra	41
6. Gyvosios sistemos yra organizuotos sistemos	42
Išvados.....	44
Tolesnių tyrimų kryptys	45
Naudoti šaltiniai	46
Habilitacijos procedūrai teikiami mokslo darbai	47

Ivadas

Informacinės kodavimo ir dekodavimo procedūros bei jas vykdančios technologinės priemonės turėjo lemiamos reikšmės atsirasti gyvybei - gyvosioms sistemoms, visam gyvajam pasauliui. Be kodavimo ir dekodavimo dvejbės neįmanomas ir žmogaus gyvenimas, technologinė kūryba, automatizuotų mašinų kūrimas ir jų veikla. Kodavimas-dekodavimas yra pagrindinis visų organizuotų – gyvųjų ir dirbtinių automatizuotų sistemų funkcinės veiklos pagrindas.

Tačiau kodavimas-dekodavimas, kaip pamatinis organizuotų sistemų funkcinės veiklos komponentas, dar nėra gerai suprastas ir pagrįstas teoriškai. Šis reiškinys yra labai paplitęs gyvojoje gamtoje. Tai genetinis kodavimas, signalų sklaida ląstelėse, daugialąsčių organizmų fiziologinės veiklos ir elgsenos reguliavimas hormonais, vabzdžių elgsenos valdymas feromonais, gyvūnų ir žmonių bendravimas signalais, pvz., kalbos, ir pan. Iš biologinės evoliucijos raidoje susikūrusių natūralių technologinių priemonių, vykdančių kodavimo-dekodavimo procedūras, geriausiai pažintos yra dvi: 1) kartu su gyvybe atsiradęs genetinis kodavimas-dekodavimas, biologijoje žinomas kaip genotipo ir fenotipo dvejbė, ir vėliausiai susiformavęs gyvūnų nervų posistemis - smegenys, ypač šiltakraujų bei žmogaus naujoji smegenų žievė (*neocortex*). Smegenų vykdomi psichologinis suvokimas bei mąstymas yra aiškintini kaip psichokibernetinės analizės per sintezę procedūros (Stevens and Halle, 1964; Pribramm, 1970; Rao, 1996).

Tiek kodavimo-dekodavimo, tiek ir analizės per sintezę mechanizmų mokslas dar nėra visai atskleidęs, ir šių kryptių tyrimai yra tarp aktualiausių mokslo problemų (Seife et al, 2005).

Kodavimą ir dekodavimą nagrinėja klasikinė K. E. Shanonn'o (Shannon, 1949) matematinė informacijos teorija, sukurta komunikacinei sistemai, komunikacinių inžinerinių-technologinių sistemų kūrybai. Tai yra vadinamoji atviros kodavimo-dekodavimo linijos matematinė informacijos teorija, atmetanti koduotų informacijos siuntų (žodžių) funkcinę prasmę (semantiką). Bandymai ją naudoti gyvajai gamtai, biologiniams reiškiniams aiškinti užgeso vos prasidėję, nes trūko semantikos. Kodavimą-dekodavimą kaip žmonių kalbos informacinę bendravimo priemonę, naudojant fizinės prigimties ženklus - simbolius, nagrinėja semiotika, vienijanti

sigmantiką, sintaktiką, pragmatiką ir semantiką. Biologai bando ją vystyti kaip biosemiotiką (Anderson, 1990; Sebeok, 1992; Sharov, 1992;). Kadangi semiotika apsiriboja tik apibendrintais aprašomaisiais aiškinimais be kiekybinio vertinimo, tai ir biosemiotika, aiškinanti gyvųjų sistemų funkcinę veiklą ir siekianti užpildyti Šenono informacijos teorijos trūkumus, kol kas tėra nekiekybinio, aprašomojo aiškinimo lygio (Hoffmeyer and Jesper, 2008).

Pilnesnę kodavimo-dekodavimo procedūrą su grįžtamojo ryšio idėja, kaip iš esmės svarbią savybę gyvybei suprasti, pasiūlė J. von Uexküll'is kaip *Umwelt* idėjinę koncepciją, kaip gyvojo organizmo ir aplinkos tarpusavio sąveikų sistemą (Uexküll, 1926). Panašią uždaros signalinės veiklos idėją varlės regos sistemoje buvo išvelgęs W. McCulloch'as (McCulloch, 1945). Paprasčiausios kibernetinės reguliavimo bei valdymo sistemos, veikiančios grįžtamojo ryšio principu, savo esme taip pat yra paprasčiausios uždaros kilpos kodavimo-dekodavimo sistemos (Powers, 1976, 1989). Tačiau ši koncepcija, kaip visuotinis gyvųjų sistemų funkcinės organizacijos principas, nebuvo pakankamai išvystytos. Todėl tebėra aktuali teorinės biologijos problema atrasti ir suformuluoti tokį biosisteminio požiūrio į gyvybę principą, kuris leistų labai įvairius, adaptyviai besikeičiančius gyvosios gamtos vyksmus - gyvybę, gyvybės raidą - matyti kaip vieningu principu organizuotą reiškinių.

Šioje apžvalgoje pristatomais moksliniais tyrimais grindžiama mintis, kad uždara kodavimo-dekodavimo kilpa galėtų būti pamatinis principas, organizuojantis gyvasias sistemas.

Uždaros kilpos principu suformuota kodavimo-dekodavimo sistema, sisteminė jos schema (Kirvelis, 1998-2009) paaiškina arba patikslina ne vieną svarbią gyvosios gamtos – gyvųjų sistemų - savybę. Remiantis uždaros kilpos principu veikiančiu kodavimu-dekodavimu, galima ieškoti atsakymų į kai kuriuos pastaraisiais metais biologijos mokslo iškeltus aktualiausius klausimus.

Pavyzdžiui, kokį bendrąjį poveiklį galima išvesti iš biologinių faktų lavinos, kurią sukūrė mokslinių tyrimų technologinė pažanga? Čia reikia tokio sisteminio (sistemų biologijos) atsakymo, kuris jau turimus faktus ir geometrine progresija didėjančią gausybę duomenų suvestų į darnią integruotą loginio aiškinimo sistemą. Kiti tokių klausimų pavyzdžiai galėtų būti: kas yra sąmonės biologinis pamatas, kaip

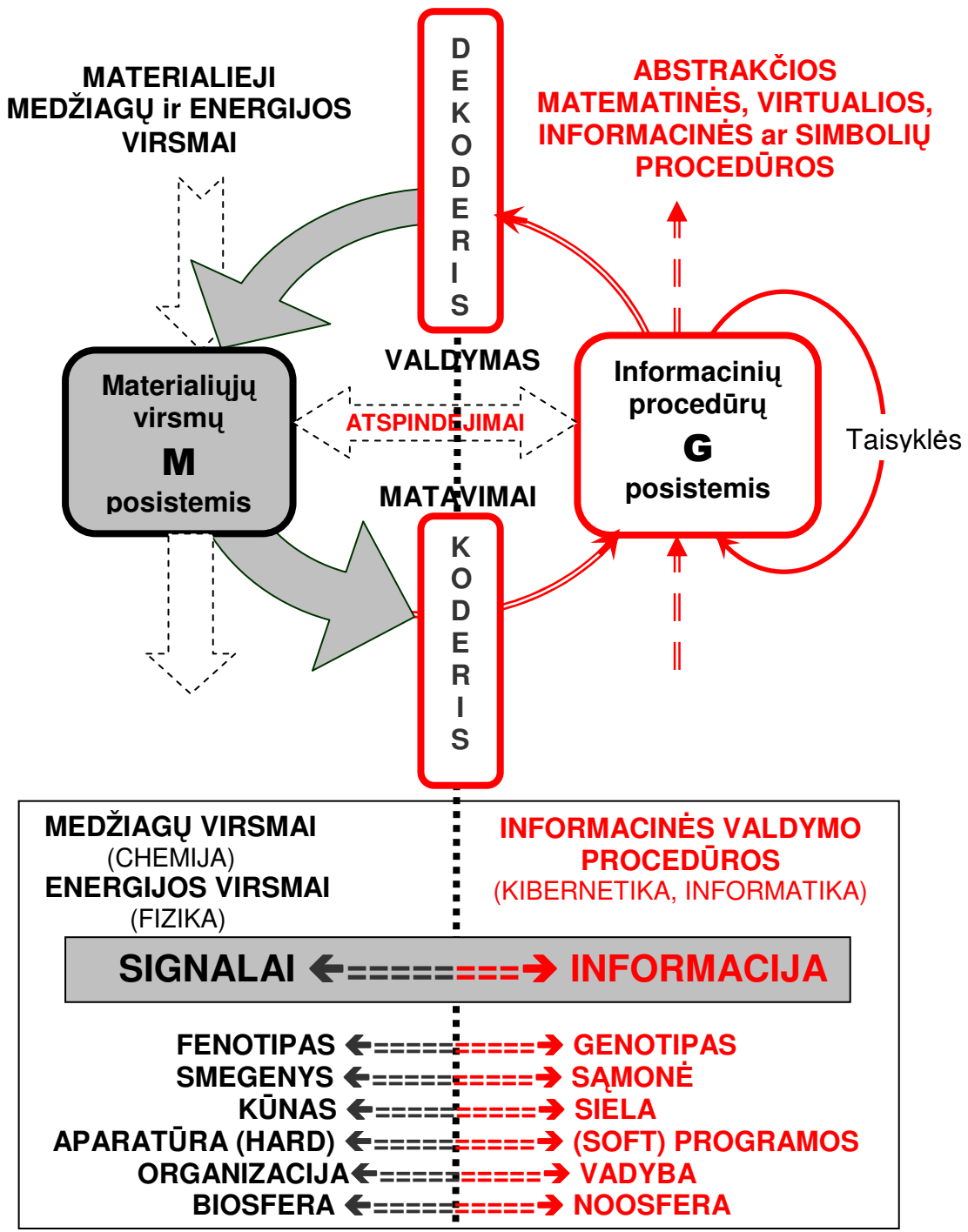
saugomi ir atgaminami prisiminimai, t.y., kaip veikia vertingiausias ir paslaptingiausias gyvosios gamtos evoliucijos sukurtas bei išvystytas organas – šiltakraujo gyvūno smegenys.

Apžvalgoje pateikta teorinė gyvosios sistemos samprata pradedant paprasčiausia prokariotine ląstele, baigiant žmonių visuomene, kuriose erdvėje ir laike vyksta **medžiagų, energijos** virsmai ir, be to, dar cirkuliuoja **informacijos** srautai bei vykdomos informacinės kodavimo-dekodavimo procedūros. Ši samprata remiasi J. G. Miller'io gyvųjų sistemų teorija (Miller, 1978) ir ją papildoma sistemine sudedamųjų dalių struktūra - funkcinė organizacija. Pastarosios pamatas - informacinės kodavimo-dekodavimo procedūros - yra visų gyvųjų ir organizuotų (iš jų ir technologinių kibernetinių) sistemų specifinės savybės, kurių nėra ir negali būti neorganizuotose sistemose.

Apžvelgiamuose mokslo darbuose pristatoma uždaros kilpos principu veikiančios kodavimo-dekodavimo sistemos bendroji schema; nagrinėjami rezultatai originalių eksperimentinių tyrimų, kuriais regos analizatoriuje ieškota nervų posistemio, veikiančio šiuo principu; pateikiami teoriniai regos analizatoriaus neuroninių struktūrų modeliai; smegenų vykdoma informacijos apdorojimo procedūra „analizė per sintezę“ aprašoma kaip kodavimas-dekodavimas uždaros kilpos principu.

1. Kodavimo-dekodavimo uždaros kilpos principu bendroji schema

Kodavimo-dekodavimo uždaros kilpos principu pagrindinė idėja yra pateikta schemos pavidalu (1 pav.). Ši schema yra sudaryta, plėtojant R. Rosen'o gamtos pažinimo (Rosen, 1985, 1991) ir J. Casti'o matematinio modeliavimo (Casti, 1989) koncepcines schemas (*modeling relation*). Atsižvelgus, be to, į J. von Neumann'o save atgaminančių automatų teoriją (Neumann, 1966), buvo pasiūlyta idėja (Kirvelis, 1998), kad šių autorių schematizuotos nuostatos, kuriomis mėginta aiškinti žmogaus mokslinio pažinimo esmę bei matematinių modelių kūrybos epistemologiją, atspindi situaciją, kai Žemėje, iš negyvosios materijos atsirandant gyvybei, cheminėmis priemonėmis buvo realizuotas uždaros kilpos principu veikiantis genetinis kodavimas-dekodavimas – genotipo ir fenotipo dvejbė.



1 pav. Kodavimo-dekodavimo uždaros kilpos principu schema, rodanti materialųjų ir virtualiųjų vyksmų neatsiejamos dvejbės ryšius ir veiklą gyvosiose bei organizuotose sistemose

Pagal 1 pav. pateiktą schemą, **kodavimas** suprantamas kaip organizuotos sistemos tam tikros materialijos **M** virsmų tvarkos ir technologinių priemonių atspindėjimas tam tikrų kompaktiškų signalinių-simbolinių kodavimo mechanizmu **G** pavidalu tam tikrose atminties laikmenose taip, kad būtų įmanoma priešinga - grįžtamoji – **dekodavimo** procedūra – koduoto simbolinio užrašo **G** išreiškimas materialiais funkciškai tikslingais medžiagų ir energijos **M** virsmis.

Laikmenose toks simbolinis užrašas **G** tampa technologinį procesą valdančiu veiksmu – **informacija**. Taip tam tikroje dinamiškai funkcionuojančioje kodavimo-dekodavimo struktūroje atsiranda kokybiškai nauja sisteminė savybė, kurią vadiname informacija – šiuo atveju **G**, kuri valdo **M**. Jos paskirtis – funkciškai tikslingai valdyti materijos **M** virsmus bei pačios informacijos srautus.

Apibendrinus eilę biologinių eksperimentinių tyrimų ir teorinių koncepcijų priimama, kad gyvybės atsiradimą Žemėje lėmė tam tikras materialijų (medžiagų ir energijos) vyksmų sambūvis, dėl kurio atsirado naujos kokybinės savybės – tarp jų ir geba laikui bėgant ne tik neirti, bet dar ir didinti savo sudėtingumą. Kitaip tariant, atsirado geba tam tikrose struktūrinėse erdmėse mažinti entropiją - didinti organizuotumą. Gebą didinti funkcinį organizuotumą gali įgyti visą laiką besikeičianti (šios apžvalgos žodžiais tariant, dinaminė kodavimą-dekodavimą uždaros kilpos principu vykdanči) sistema, sudaryta iš dviejų neatsiejamų, bet visai skirtingų posistemų: **valdančiosios**, kuri vykdo informacines procedūras, ir **valdomosios**, kuri vykdo medžiagų ir energijos virsmus. Šitoks junginys vadintinas **organizuota sistema**. Valdančiųjų ir valdomųjų organizuotų vyksmų sąveiką geriausiai paaiškina minėtoji uždaros kilpos principu veikianti kodavimo-dekodavimo sistema (1 pav.).

Gyvųjų sistemų požiūriu, tam tikros gyvybės rūšies individo **M** gamybos projektas (genetinė informacija) **G** formalios **kodavimo** procedūros būdu yra atspindimas molekuliniame laikmenoje, pvz., deoksiribonukleorūgštyje, arba DNR, kaip individo **M** modelis, programa **G** taip, kad būtų įmanoma visavertė grįžtamoji **dekodavimo** procedūra. Atsiranda neatsiejamos gyvųjų sistemų savybės – informacija, valdymas, kodavimas, dekodavimas, organizuotumas ir biotechnologiniai vyksmai. Informacinio kodavimo-dekodavimo uždarumas lėmė kodų funkcinę prasmę.

Atvirumas aplinkai leido energijos ir informacijos srautų apykaitą, kas, savo ruožtu, sudarė sąlygas šioms atsiradusioms gyvosioms struktūroms egzistuoti, augti, daugintis ir sudėtingėti. Tokiu uždaros kilpos kodavimo-dekodavimo principu susiformavusi dinaminė struktūra lėmė ne tik gyvybės atsiradimą, bet ir biologinę evoliuciją. Cikliška veikdama, hierarchiškai sudėtingėdama, ji lėmė ne tik biologinių, bet ir socialinių bei techninių organizuotų sistemų veiklą.

Uždarasis kodavimas-dekodavimas pasireiškia kaip dvejopų – materialijų (medžiagų ir energijos) ir nematerialijų (informacinių, virtualijų, dvasinių) - vyksmų ir juos vykdančių struktūrų sisteminis sambūvis. Tai genotipas-fenotipas, kūnas-siela, smegenys–sąmonė, organizacija-administravimas, kompjuteris (*hardware*)-kompjuterinė programa (*software*) ir kt. Tad esminė organizuotų sistemų savybė yra dvejybė: viena vertus - materialieji virsmai, signalai, kita vertus - nematerialioji informacija, kuri valdo materialiąsias technologijas.

Gyvieji organizmai - ryškiausios organizuotos sistemos, funkcionuojančios pagal pateiktą schemą - yra dvejybinės sistemos, kuriose be materialijų medžiagų ir energijos virsmų vyksta ir nematerialios informacinės kodavimo-dekodavimo procedūros. Negyvas fizinis pasaulis, kuriame nefunkcionuoja informacija, paklūsta tik materijos dėsniams: pirmajam - medžiagų bei energijos tvermės dėsniui, ir antrajam - termodinamikos, arba entropijos didėjimo, dėsniui. Tokio neorganizuoto pasaulio sistemos vystosi paprastėjimo, irimo, gradientų išsilyginimo kryptimi. Tuo tarpu sistemos, kuriose funkcionuoja informacija (pagal čia pateikiamą kodavimo-dekodavimo schemą), gali įgyti savybę sudėtingėti, geba didinti organizuotumą.

Organizuotoms sistemoms, kurioms būdinga dvejybė, yra būtina materialijų ir informacinių vyksmų sąsaja, kurią ir atlieka kodavimo-dekodavimo procedūros. Dėl šių procedūrų reali sistema kodavimu atspindima informacinėje struktūroje, ir iš jos dekodavimu gali būti materializuota, gaminama. Tai vykdoma rekurentinėmis procedūromis, kurias galima išreikšti rekursine lygtimi:

$$VEIKSMAS = D_i \{ C_i \{ C_{i-1} \{ \dots C_1 \left[\begin{array}{l} H_0 - P_1, \\ D_1, \end{array} \right] \left[\begin{array}{l} \text{Nauja } H_1, \text{ jeigu } H_0 \neq P_1, \\ \text{jeigu } H_0 = P_1, \end{array} \right] \} \} \}$$

H_0 – pirminė hipotezė, t. y. gnostinis modelis, būsimu laiko momentu tikėtina sistemos būseną; šio organizuotos sistemos gnostinio modelio formavimas, galimos sistemos būsenos prognozavimas yra prognozavimo pagal modelį, anticipacijos procedūra; modelio *a priori* informacija H_i ir informacija, gauta paskutiniaisiais pojūčių duomenimis P_{i+1} , analizuojama pagal esamą ir buvusias sistemos būsenas;

P_i – vidinė suvoktos situacijos pagal gnostinį modelį būseną, kuri yra lyginama su pirmine hipoteze H_{i-1} ;

H_i – naujai parinkta hipotezė pagal koreguotą gnostinį modelį;

C_i – dviejų modelių lyginimo procedūros sutapimų ir nesutapimų informacija
[$H_{i-1}-P_i$];

D_i – *i*-tasis sprendimas, veiksmo modelis, kai $H_{i-1} = P_i$ po vieno ar kelių rekurentinio lyginimo ciklų.

Ši lygtis rodo aktyvių sistemų veiklos rekurentinį informacinės elgsenos algoritmą, kai cikliška vykdomi hipotetiniai prognozavimai apie reikiamą sistemos būseną bei vykdomi lyginimai su esama perceptyvine informacija.

Rekurentinių vyksmų smegenų struktūrų veikloje buvo ieškoma eksperimentiniais tyrimais.

2. Regos analizatoriaus posistemo, vykdančio kodavimą-dekodavimą uždaro kilpos principu, eksperimentinė paieška

2.1. Tyrimų metodologija ir metodai

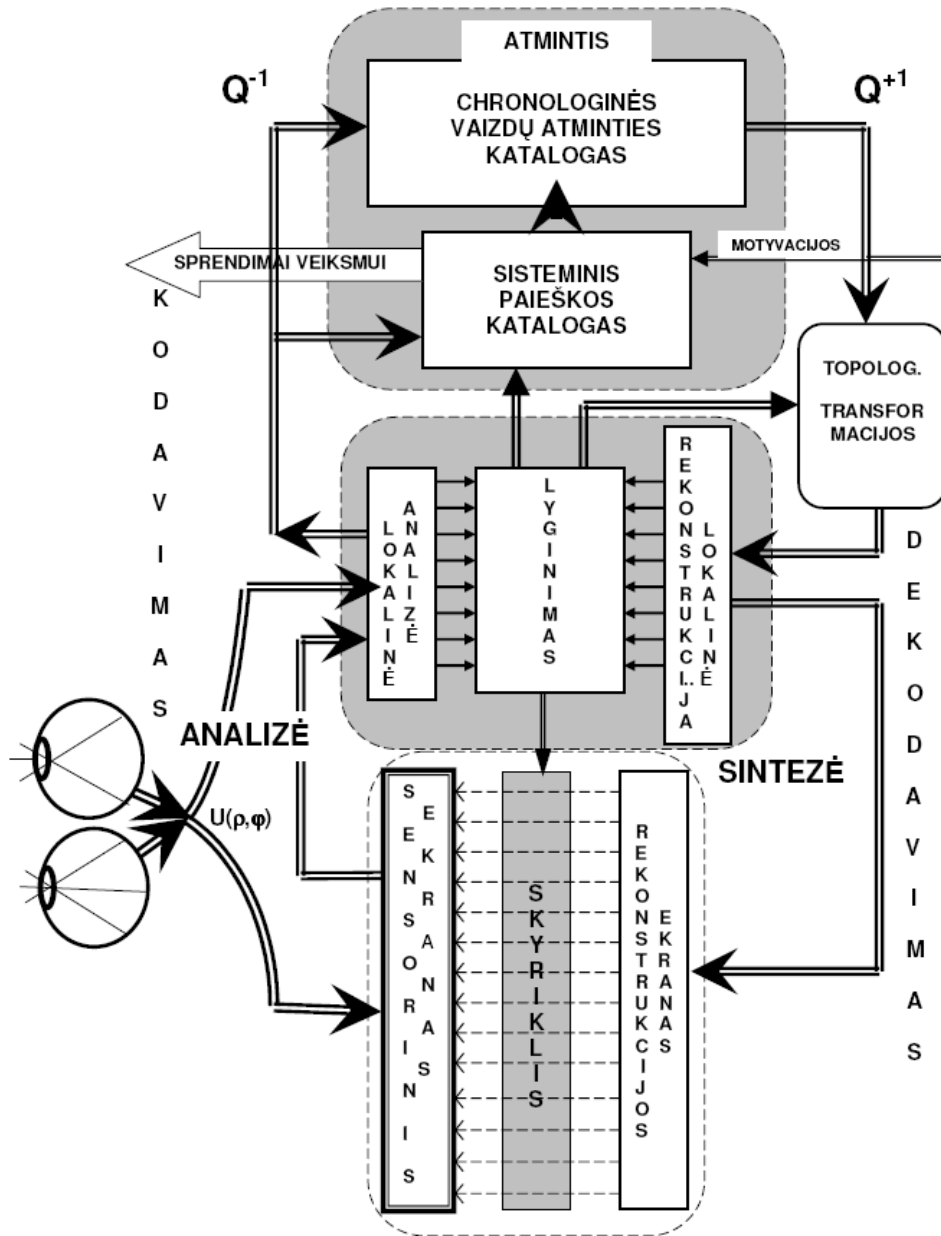
Tyrimų objektas - gyvūnų ir žmogaus regos analizatorius, kaip gyvosios organizuotai funkcionuojančios sistemos atvejis. Tai akis ir regos signalą apdorojanti smegenų sritis.

Tyrimų metodai - darbinių hipotezių formulavimas; eksperimentinių metodų paieška; psichofizikiniai, psichofiziologiniai, neurofiziologiniai eksperimentai; modeliavimas, introspekcinė analizė, hipotezių verifikavimas ir falsifikavimas. Visi šie metodai eksperimentams buvo taikomi kompleksiskai.

2.1.1. Analizė per sintezę - regos analizatoriaus funkcinės veiklos principas

(Tyrimų hipotetinė nuostata)

Smegenų veiklos tyrimams pasirinkta žinduolių smegenų žievės *neocortex*‘o struktūra, kuriai buvo pritaikyta analizės per sintezę funkcinės organizacijos modelinė schema kaip pradinė hipotezė (2 pav.).



2 pav. Regos analizatoriaus vykdomo informacijos apdorojimo analizės per sintezę būdu hipotetinė schema

Regimųjų atvaizdų signalinės informacijos perdavimo procedūros žinduolių neuroninėse struktūrose yra pakankamai gerai ištirtos neuromorfologiniu, neurofiziologiniu, net psichopatologiniu požiūriu, kai stebimi regos sutrikimai. Atlikta aukšto lygio tyrimų, surinkta nemažai kokybinių ir net kiekybinių duomenų apie subjektyvių regos savybių sąsajas su tinklainės bei kitų neurostruktūrų pažaidomis.

Priimama, kad gyvūnų jutimo organų periferinės struktūros pirminiai koderiai, pvz., akių fotoreceptoriai, aplinkos poveikius – nuo aplinkos atsispindėjusios šviesos atvaizdus - pakeičia elektriniais signalais, jų pagalba atsispindėjusį vaizdą perneša į smegenų žievę, neokorteksą, kur vyksta tolesnės informacijos apdorojimo procedūros, suteikiančios organizmui savybę **regėti**. Akių tinklainėse atsispindėjęs atvaizdas neurosluoksnių pagalba nešamas į smegenų regos žievę – *Area Striate*. Pirminės regėjimo neuroinformacinės kodavimo procedūros prasideda akies tinklainėje, kai ant fotoreceptorinių sluoksnių susiprojektuoja aplinkos atvaizdas ir lygiagrečios neuroimpulsų siuntos per šoninio kelinio kūno neurostruktūras persiunčiamos į pakaušines smegenų žievės dalis, 17-ąjį smegenų žievės lauką, pagal Brodmaną.

Regos nervais, atvaizdas perduodamas į šoninio kelinio kūno neuronų sluoksnius. Gangliniai tinklainės neuronai signalinės informacijos perdavimą vykdo trumpalaikėmis „on“ – „off“ impulsų siuntomis. Ganglijinių „on“ neurosluoksnių impulsinės siuntos perduoda signalinę informaciją apie atsispindėjusios šviesos intensyvumo padidėjimą, pozityvinio atvaizdo pokytį, o „off“ – apie atsispindėjusios šviesos intensyvumo sumažėjimą bei negatyvinio atvaizdo pokytį. Manoma, kad kaip tik 17-ajame regos atvaizdų atspindėjimo lauke yra sensorinis sluoksnis – sensorinis neuroekranas, kurio atitinkamas vietas sužadinus atsiranda subjektyvūs šviesos, spalvų ir atvaizdų pojūčiai. Todėl čia atėjusios „on“ siuntos turėtų atitinkamas sensorinių neuroekranų vietas žadinti, o „off“ neurosiuntos – slopinti. Jų sąveika turi sukelti atitinkamų neurosensorinių ekranų vietų sužadinimo (vaizdas „pašviesėja“) ar slopinimo (vaizdas „patamsėja“) bei spalvinius subjektyviuosius pojūčius.

Suprantama, jog kiekvieno sensorinio analizatoriaus funkcinė struktūra yra savita, pritaikyta jo informacinei paskirčiai. Bet visi jie galėtų būti sudaryti pagal bendrą principą. Šis principas galėtų būti tai analizės per sintezę informacine procedūra.

Analizės per sintezę principas buvo pasiūlytas klausos analizatoriaus veiklai aiškinti, tiriantvkalbos signalų atpažinimą (Stevens, Halle, 1964). Taip pat mėginta jį išvelgti ir regos analizatoriaus funkcinėje organizacijoje (Kirvelis, 1970; Rao ir Ballard, 1996). Kognityvinės psichologijos terminais šis principas, vadinamas cikliniu suvokiamųjų procedūrų vyksmu, kurio metu hipotetiniai spėjimai ir tikrovės situacijos lyginamos su laukiama situacija ir po to sekančiomis suvokimo korekcijomis. Po to vėl seka spėjimo procedūros (Neisser, 1976). Psichofizikiniais tyrimais parodyta, kad regimieji vaizdiniai susiję su atitinkamomis smegenų žievės zonomis (Kosslyn, 1993, 1994). Išvelgiama tiesioginė, ateinančios iš akių, ir vidinė, atkuriamos iš atminties, regimosios informacijos susidūrimai 17-jame lauke (Miyashita, 1995, 1999). Buvo teigiama, kad matome tai, ką norime matyti. Atkreiptas dėmesys į regimųjų vaizdinių vizualizacijas, regimąsias haliucinacijas, aptariamąsias „vidinių akių“ galimybes.

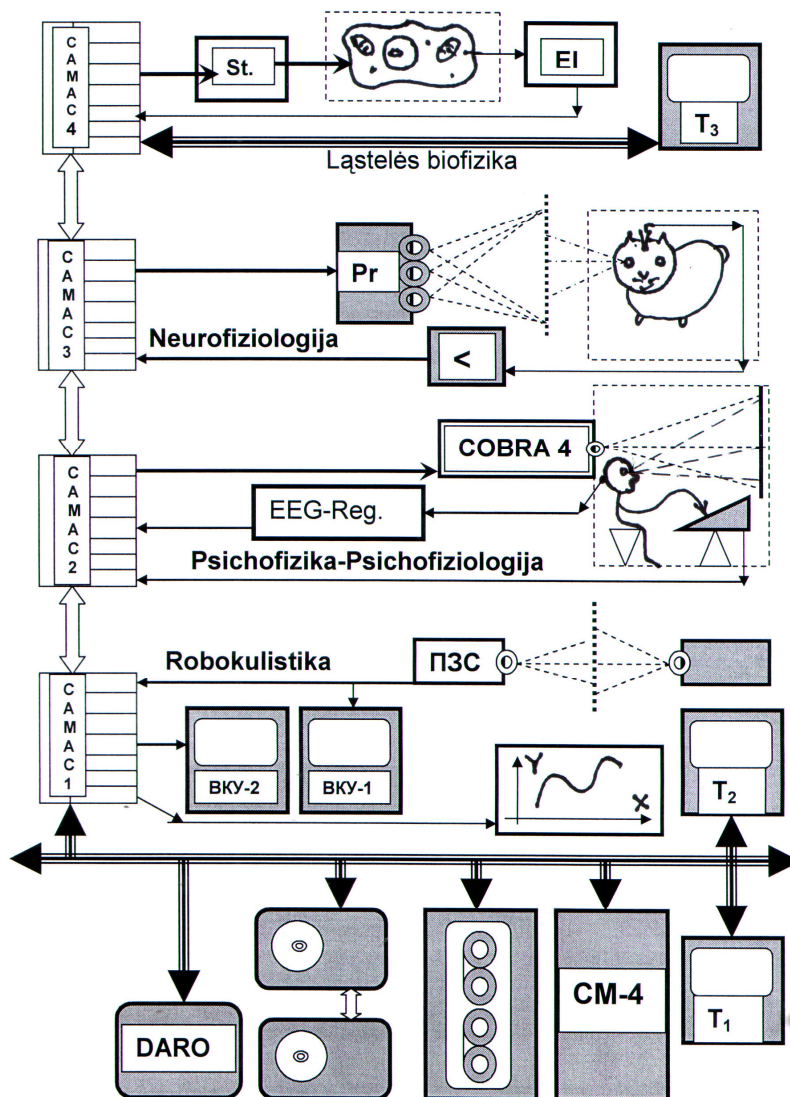
Ekperimentiniam hipotetinės regos analizatoriaus funkcinės veiklos verifikavimui buvo sukurta automatizuota tinklinė kompleksinių tyrimų sistema.

2.1.2. Automatizuota tinklinė kompleksinių tyrimų sistema

Automatizuoto eksperimentinių tyrimų komplekso pagrindas buvo centrinis kompiuteris CM-4 ir jungiantys įrenginiai CAMAC (3 pav.). Tai tinklinė sistema, kurią galima naudoti keturių krypčių bei teoriniam kompiuteriniam modeliavimui, kuriems buvo naudojama programų sistema – BIOFOR.

2.1.3. Žmogaus regimųjų suvokimų dinamikos *psichofizikinių* tyrimų metodai

Šiems tyrimams buvo sukurti ir pagaminti du elektromechaniniai tachistoskopai – paprastas vienkanalis, kurio eksponavimo tikslumas buvo 2 ms, ir keturkanalis COBRA 4, 1 ms tikslumu eksponuojantis vaizdus pagal parinktą programą. Tachistoskopiniais tyrimų metodais buvo tiriama žmonių vaizdų atpažinimo ir suvokimo dinamika naudojant įvairius maskavimo – suvokimo proceso nutraukimo - būdus. Suvokimo dinamikos tyrimais buvo siekiama išryškinti proceso netolygumus, kurie leistų nustatyti regimųjų suvokimų periodinį ciklišumą ir išmatuoti tų ciklų trukmes (Vanagas, Kirvelis ir kt., 1973).



3 pav. Automatizuotos tinklinės tyrimų sistemos schema

2.1.4. Žmogaus regimųjų suvokimų dinamikos *psichofiziologinių* tyrimų metodai

Psichofiziologinių žmogaus regimųjų suvokimų dinamikos tyrimo metu buvo registruojamos elektroencefalografinės reakcijos – sukeltiniai potencialai, tikintis atitinkamų smegenų žievės vietų elektroencefalografinėse reakcijose užregistruoti cikliškumo reiškinius. Tiriamajam įteigiamos skirtingos išankstinės nuostatos. Po to atsitiktine tvarka jam rodomi vaizdai. Registruojami sukeltiniai potencialai, kilę tiriamajam sprendžiant, koks konkretus vaizdas buvo parodytas, Elektroencefalografinių bangų kiekybiniam statistiniam vertinamui bei analizei, ieškant psichinių sprendimų atsispindėjimų sukeltiniuose potencialuose, buvo taikoma dispersinė analizė (Vanagas ir kt., 1987).

2.1.5. Katės smegenų žievės neuronų *neurofiziologinių* tyrimų metodika

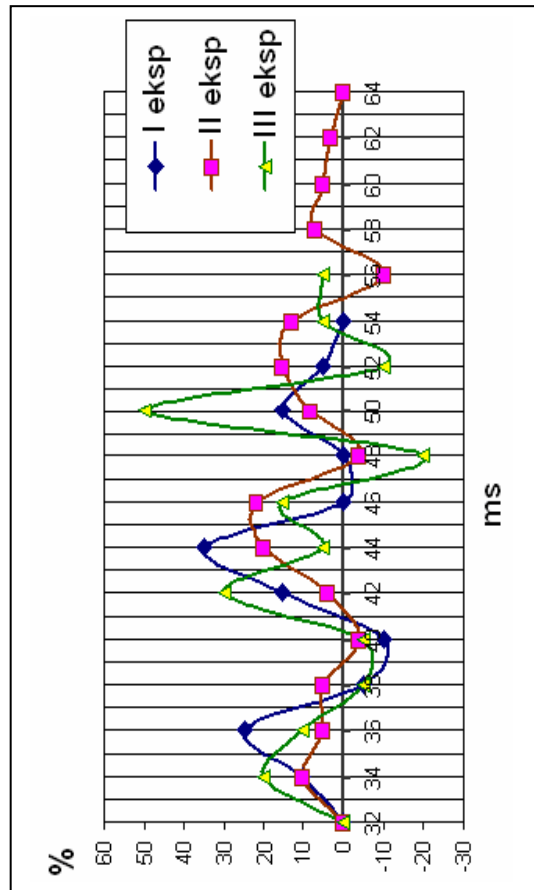
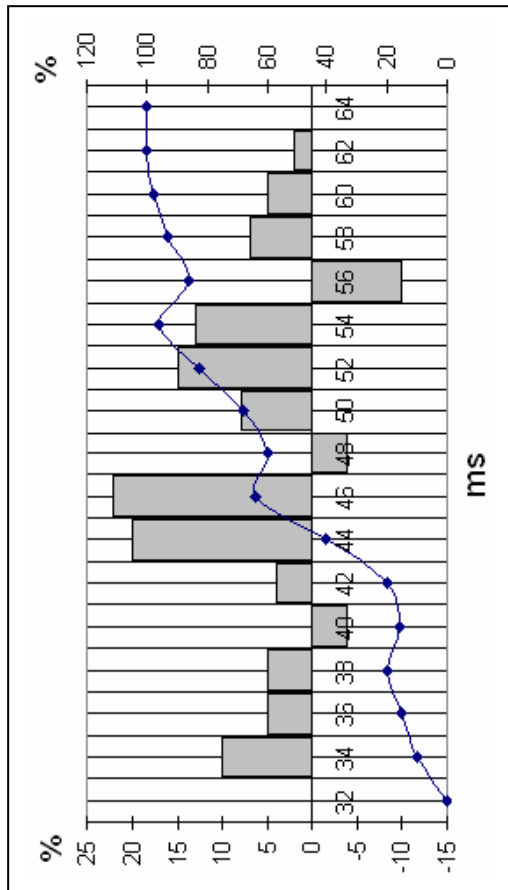
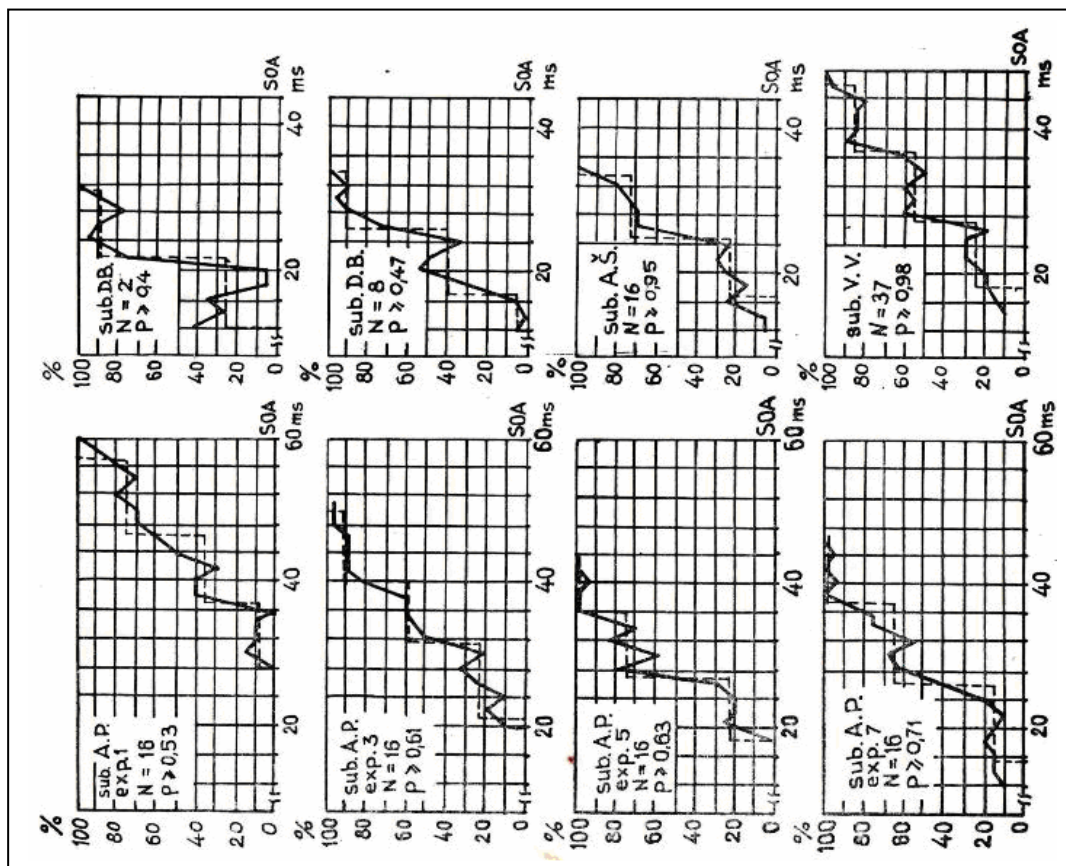
Regimosios smegenų žievės neuronų neurofiziologiniams tyrimams buvo pasirinkta katė, kaip lengviausiai gaunamas ir neurofiziologiniu požiūriu geriausiai ištirtas žinduolis. Buvo įdiegtos neuronų elektrofiziologinių tyrimų mikroelektrodų pagalba metodikos, sukurtas specialus regimųjų vaizdų generavimo ir programinio valdymo projektorius, sujungtas su automatizuota kompiuterinio eksperimentų valdymo sistema (Kirvelis ir kt., 1976).

2.1.6. Neuronų ir neuronų tinklų bei sluoksnių *teorinis modeliavimas*

Matematiniais ir kompiuterinio modeliavimo metodais formuluojamos neuronų (kvazineuronų), jų tinklų bei sluoksnių funkcinės savybės. Neuronai laikomi daugiamačių vektorių skaliarinės sandaugos operatoriais. Vertinamas neuronų netiesiškumas. Šiuo požiūriu neuronai yra organizmo vidaus ar aplinkos poveikių bei pokyčių detektoriai. Neuronų tinklas ar sluoksnis suprantamas kaip filtras, vykdamas analizės procedūras, kurios aprašomos atitinkamomis loginėmis arba matematinėmis išraiškomis. Neuroninių struktūrų funkcinės veiklos modeliai suvedami į miglotosios (*fuzzy*) logikos operacijas ir matematinės integralines transformacijas. Tai leidžia neuroninių struktūrų funkcinę veiklą aiškinti kodavimu-dekodavimu, analize per sintezę, kvazioptinėmis bei kvaziholografinėmis neurosignalų transformacijomis (Kirvelis, 1997-2008).

2.2. Kvantinis regimųjų vaizdų suvokimo dinamikos pobūdis

Sukurtų tachistoskopų pagalba, naudojant poekspozicinę vaizdo maskavimo metodiką, psichofizikiniai eksperimentai parodė laiptelinį regimųjų vaizdų suvokimo dinamikos pobūdį (4 pav.). Atsitiktinio vaizdų pateikimo ir pakartotinių matavimo rezultatų diferencialinė analizė išryškino kvantinį dinamikos pobūdį. Teisingų atpažinimų procentas (tikimybė) ilginant atpažinimo laiko trukmę didėja pakopomis, laipteliais. Tam tikrose laiptelio fazėse atpažinimas net pablogėja. Tokie rezultatai parodo, kad regėjimo procesas yra ciklinis, ir galima teigti, kad vieną atskirą ciklą lemia vienos hipotezės apie vaizdo priklausymą tam tikrai klasei tikrinimo trukmė.



4 pav. Vaizdų suvokimo dinamika. *Viršuje* – atskirų eksperimentų vaizdų suvokimo dinamika. *Apacioje kairėje* – tiriamojo DK vieno eksperimento integralinė (kreivė) ir diferencialinė (stulpeliai) vaizdų suvokimo dinamika. *Apacioje dešinėje* – tiriamojo DK trijų atskirų eksperimentų diferencialinė vaizdų suvokimo dinamika.

1 lentelė. Vaizdų suvokimo dinaminės charakteristikos

<i>Eil. Nr.</i>	<i>Tiriamasis</i>	<i>Eksperimentų skaičius</i>	<i>Latentinė fazė, ms</i>	<i>Hipotezės tikrinimo trukmė, ms</i>	<i>Hipotezių kiekis pilnam suvokimui</i>
1	VV	4	16 ± 1,0	8 ± 1,0	4
2	DK	3	35 ± 1,0	8 ± 0,23	4-5
3	AŠ	2	16 ± 1,0	10 ± 1,0	5
4	VM	3	18 ± 1,0	8 ± 1,0	5-6

1 lentelėje pateikti tyrimų rezultatai rodo gana stabilius ciklinius vyksmus ir 8 ms trukmės ciklus. Bendro visų bandymų dėsningumo neatitinka tiriamojo AŠ hipotezės tikrinimo trukmė (10 ms) ir tiriamojo DK dvigubai ilgesnė latentinė fazė (35 ms). Tačiau apibendrinus psichofizikinių tyrimų rezultatus galima teigti, kad žmogaus regos analizatorius suvokimo procedūrų metu funkcionuoja cikliška.

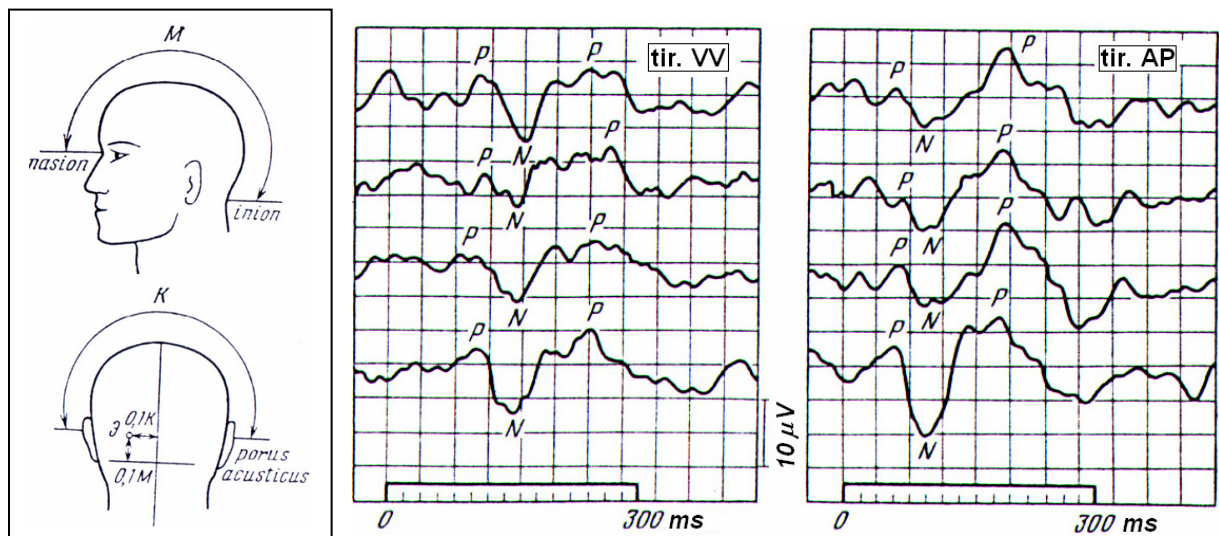
2.3. Regimojo suvokimo savybių atsispindėjimai sukeltiniuose potencialuose

Psichofiziologiniais tyrimais buvo ieškoma atitikmenų tarp regimojo suvokimo dinamikos ir smegenų elektrofiziologinių reakcijų – atitinkamų pakaušio dalių sukeltinių potencialų. Vaizdų atpažinimo metu elektrodais, pritvirtintais prie tam tikrų galvos vietų, artimų *Area Striate*, buvo registruojamos elektroencefalogramos (5 pav.). Elektroencefalografinių tyrimų duomenys parodė, kad elektroencefalografinių sukeltinių potencialų komponentės P118-N164 ir N164-P226 koreliuoja su nuostatomis pamatyti laukiamą vaizdą. Suvestiniuose 4 tiriamųjų ir 16 bandymų rezultatų grafikuose matomi statistiškai patikimi skirtumai (6 pav.).

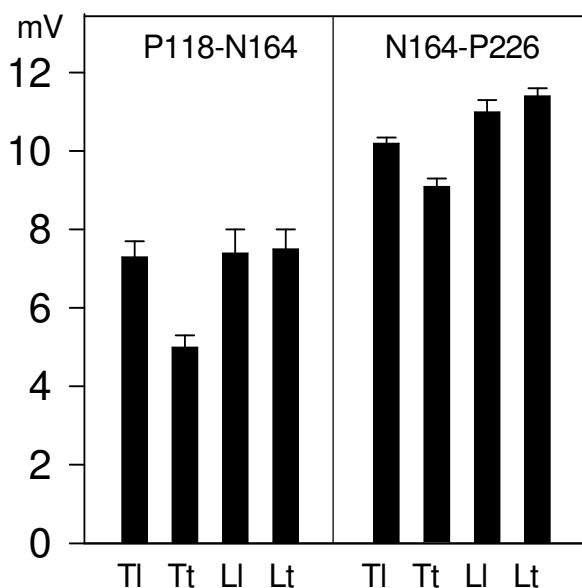
Tenka pripažinti, kad laukiamų sukeltinių potencialų elektrofiziologiniuose užrašuose nepavyko išskirti 8 ms trukmės ciklinių periodiškumų, kurie buvo stebimi psichofizikiniuose tyrimuose. Manytina, kad jų sukelti elektrofiziologiniai potencialų pokyčiai yra silpni, ir matavimų metodikos jautrumas neleidžia jų nustatyti.

2.4. Katės smegenų regos zonos neuronų detektorinės savybės

Pagrindinis dėmesys buvo skirtas mažiausiai suprantamų kompleksinių (*complex*) neuronų savybių tyrimams. Buvo tikimasi, kad jie gali atspindėti kvaziholografines vaizdų transformacijas.

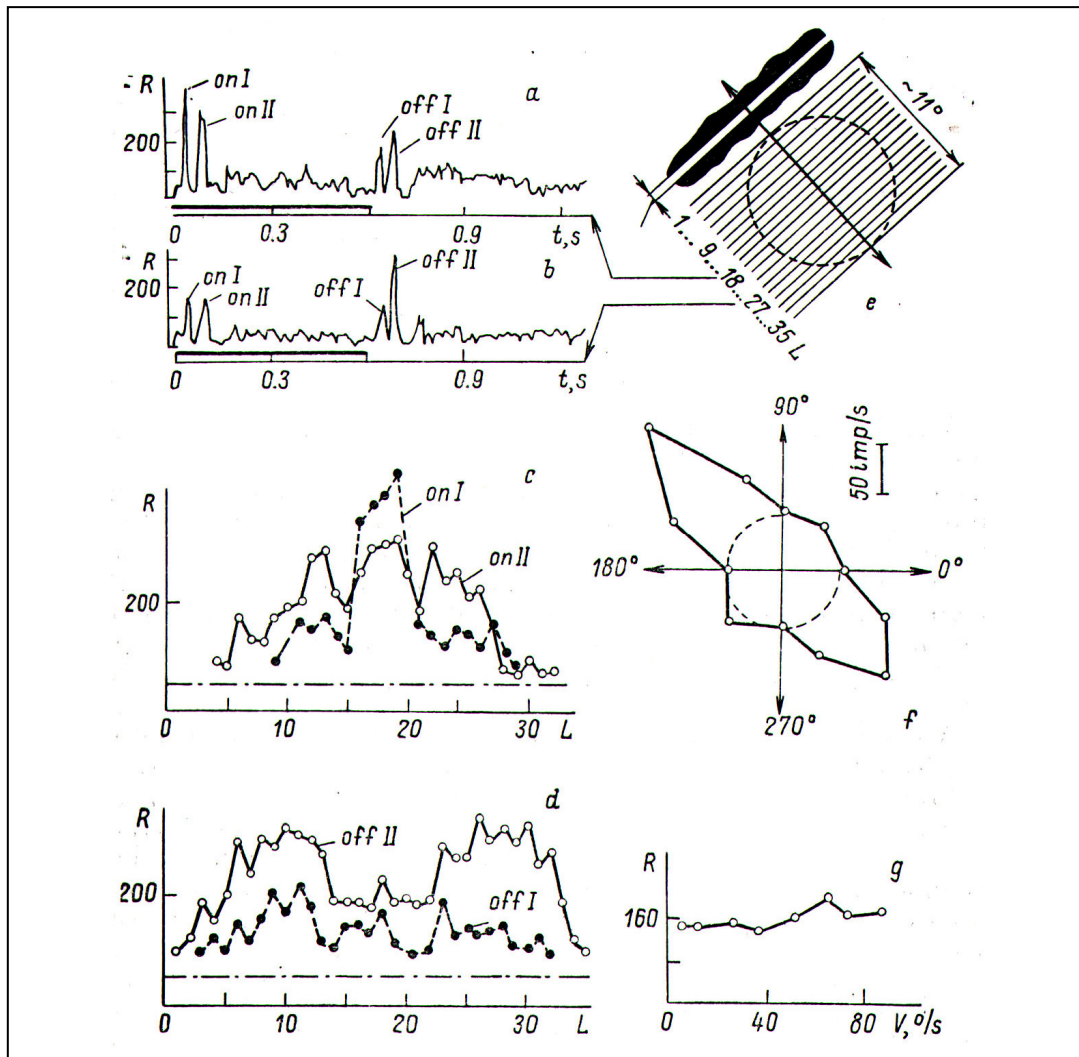


5 pav. Galvos smegenų sukeltinių potencialų registravimo vieta ir jų pobūdis



6 pav. Smegenų regos zonos sukeltinių potencialų statistiniai tyrimų rezultatai, atspindintys žmogaus, esančio įvairiose nuostatų būsenose pamatyti tam tikrą vaizdą, situacijose. Vertintos sukeltinių potencialų dvi komponentės – P118-N164 ir N164-P226. T ir t – tiesė; L ir l - lankas

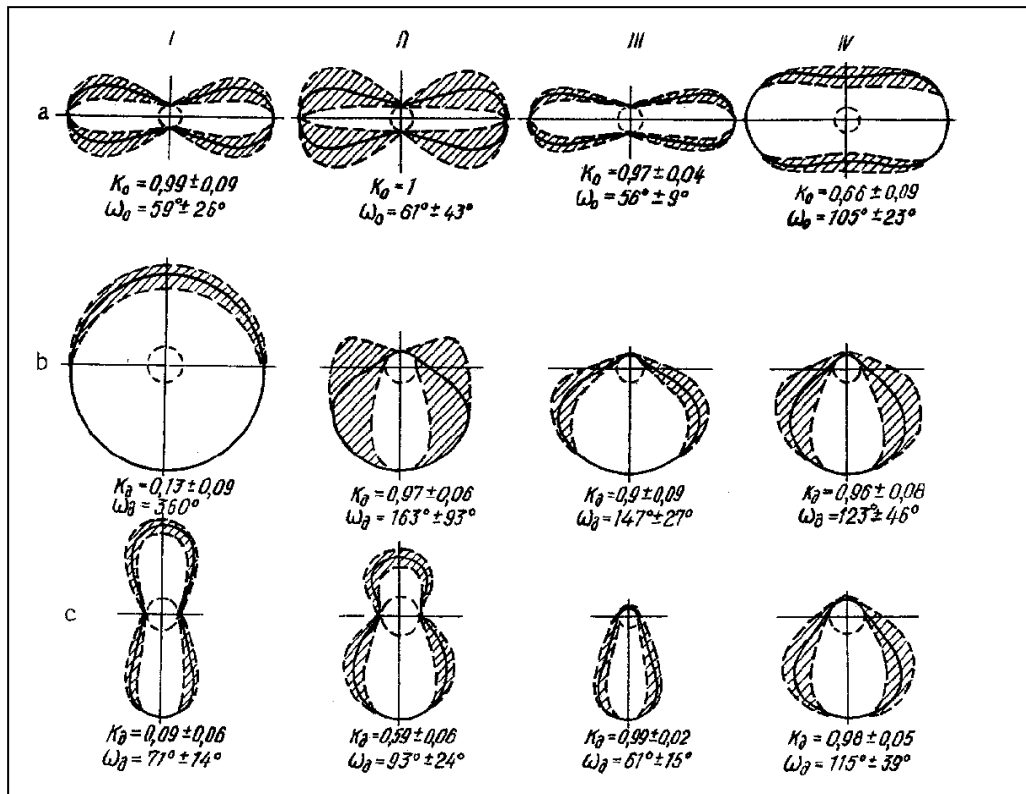
Katės sudėtingų (*complex*) neuronų receptinių laukų detalūs tyrimai naudojant stacionarius ir įvairių orientacijų *on* ir *off* bei judesio krypčių stimulus, padėjo išskirti 12 specifinių savybių neuronų ir juos sugrupuoti. Detalaus receptinio lauko tyrimo pavyzdys parodytas 7 pav. Matyti, kad neuronų reakcijos yra impulsų sekos dažniai (7a, b pav.). Neuronai skirtingai reaguoja į stimulo (šviesios juostelės) pateikimo vietą (7c, d, e pav.), atrankiai reaguoja į stimulo pateikimo orientaciją (7f pav.).



7 pav. Katės smegenų regos zonos sudėtingo (*complex*) neurono detalaus reakcijų kiekybinio tyrimo į stacionarius stimulus rezultatai

Be to, neuronų reakcijoms būdingas jautrumas stimulo judesio kryptčiai, o į skirtingą stimulo judėjimo greitį reaguoja vienodai (7g pav.). Ištyrus septyniolikos kačių 60 neuronų, pagal įvairias tyrinėtąs savybes neuronai suvesti į 16 grupių (8 pav.).

Akivaizdu, kad tyrinėtieji katės smegenų žievės neuronai yra tam tikri akyse atsispindėjusių ir nerviniais signalais atneštų vaizdų formos bei judesio analizatoriai. Šių neuronų vykdomiems filtravimo algoritmams bei atitinkamų neuroninių struktūrų ir neurosluoksnių vykdomoms signalinėms transformacijoms nustatyti reikėtų sukurti savitus teorinius modelius. Tokių modelių reikėtų ir atskirų neuronų reakcijų funkciniam vertinimui.



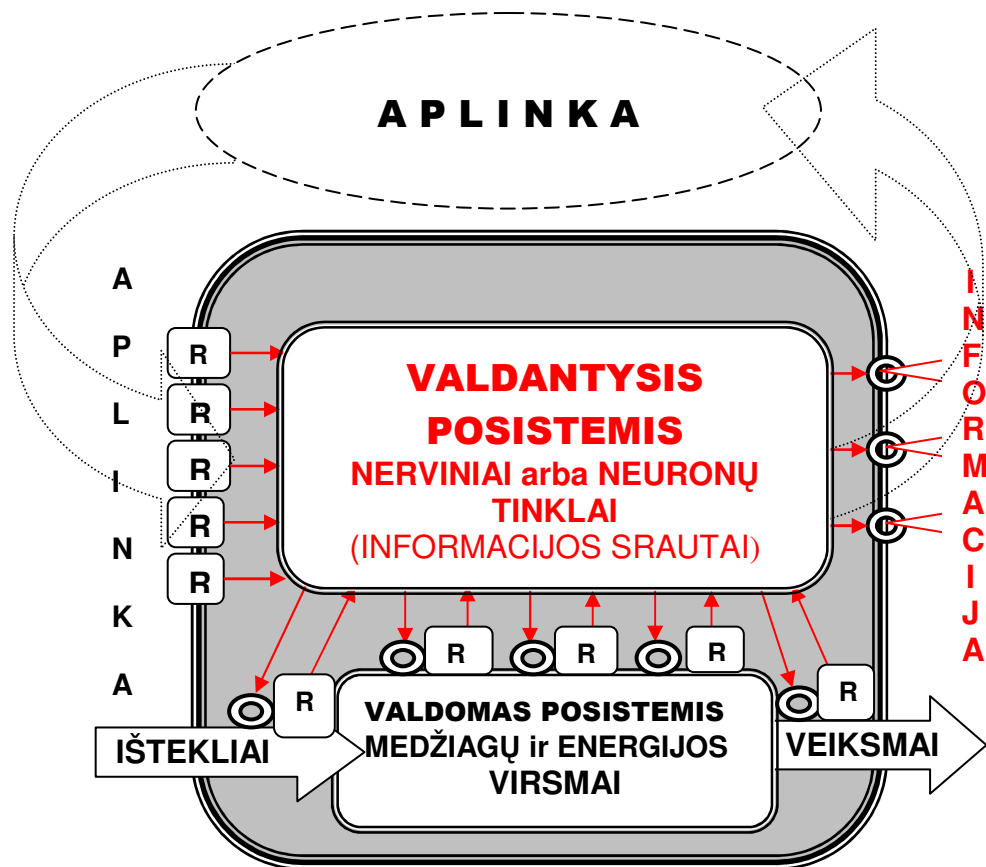
8 pav. Katės smegenų regos zonos neuronų klasifikacija pagal jų reakcijų pobūdį

3. Teoriniai neuronų ir neurostruktūrų funkcinės veiklos modeliai

Gyvūnų nervų posistemio funkcinę paskirtį bei anatominę fiziologinę struktūrą nagrinėjant kodavimo-dekodavimo principais, nesunkiai galima pamatyti dvi, glaudžiai susijusias kilpas (9 pav). Viena – tai centrinis posistemis, CNS, o kita – vegetacinis posistemis.

Pirmoji kodavimo-dekodavimo kilpa vykdo aplinkos informacinę analizę, o antroji seka paties organizmo vidaus būsenos informaciją. Jos abi kartu vertina bendrą visos organizuotos sistemos situaciją aplinkoje, kuria problemų sprendimų projektus, atlieka jų imitacinį modeliavimą, pasirenka sprendimo projekto variantą ir valdo tolesnius veiksmus pagal priimtą planą. Tai gyvūno - organizuotos sistemos informacinė veikla.

Nervų posistemis yra procesų modeliavimo struktūra. Teoriniai tyrimai rodo, kad dinaminė vyksmų sistema, turinti keičiamas arba auginamas netiesinio grįžtamojo ryšio struktūras, gebanti kisti priklausomai nuo apimamo objekto kaitos, gali suformuoti to objekto modelį jo aplinkoje ir pagal tai veikti (Aykhof, 1974). Tai Tai reiškia, kad tokiu principu organizuota adaptyvi sistema įgyja potencinę galimybę



9 pav. Nerviniai tinklai organizuotoje sistemoje – organizme

- R - receptoriai, arba elementarūs koderiai;
- R - efektoriai, arba elementarūs dekoderiai

pažinti, t.y. identifikuoti objektą. Formuojasi galimybė aplinkos vyksmus prognozuoti (anticipuoti), planuoti organizuotos sistemos atsakus, ir pagal tai valdyti savosios sistemos veiksmus. Visa tai vykdo neuroninių tinklų struktūros. Nors jos yra sudarytos iš atskirų nervinių ląstelių – neuronų, tačiau norint suprasti probleminių situacijų informacinę analizę neurotinkluose, svarbiau mąstyti ne atskirais neuronais, bet neurosluoksniais. Tiesa, pereinant prie neurosluoksnių pirmiausia reikia apibrėžti neurono (kvazineurono) funkcinį modelį.

3.1. Neurono funkcinė charakteristika (kvazineurono modelis)

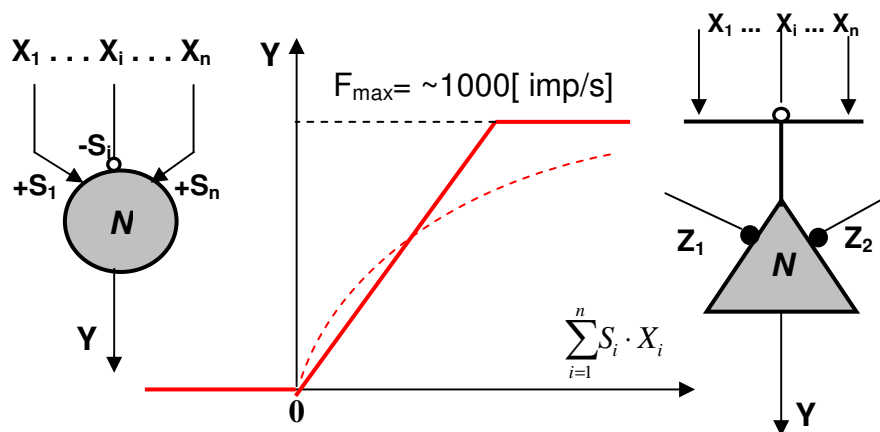
Neuronai būna įvairių morfologinių pavidalu, bet dažniausi yra žvaigždiniai ir piramidiniai neuronai. Tai sumuojantys, integruojantys, informacinės struktūros funkciniai elementai, bendruoju atveju turintys daug, iki dešimčių tūkstančių,

signalinių įėjų (sinapsių), atnešančių signalus iš kitų neuronų ar receptorių, ir vieną funkcinę išėją – aksoną. Sinapsėms būdingos dviejų skirtingų tipų savybės – žadinimo (jaudinimo), ir slopinimo. Aksonais – neuronų išėjų ataugomis - sužadavimo signalai pasiekia daugybę kitų neuronų. Aksonai gali turėti ir grįžtamųjų ataugų – kolateralių, kurios baigiasi sinapsėmis su tuo pačiu aksonu.

Neuronus apibūdinant funkcinio požiūriu, jų savybės aprašomos matematinėmis priklausomybėmis, išreiškiančiomis jų atliekamus veiksmus bei tų veiksmų sąlygas. Toks matematinis modelis yra tariamas neuronas - kvazineuronas (10 pav.). Atsižvelgiant į pastarųjų dešimtmečių neurobiologinių tyrimų rezultatus, nerviniuose tinkluose cirkuliuojančius signalus (kintamo dažnio nervinių impulsų siuntas), neuronai suprantami kaip tolydžiai kintamų dydžių – nervinių impulsų - dažnius transformuojantys (perkoduojantys) elementai. Į neuroną ateina daug įėjų ryšių, ir jis turi vieną funkcinę išėjų ryšį. Todėl neuronas suprantamas kaip tolydžiųjų dydžių (impulsų dažnių, kurių įėjų ir išėjų signalai yra šių dažnių kitimas) baigtinių ribų (nuo 0 iki X_{max} , Y_{max}) algebrinis sudėtuvas (sumatorius). Daugumos biologinių (neuronų X_{max} , Y_{max} nesiekia 1000 imp. per sekundę.

$$Y = N \left\{ \sum_{i=1}^n S_i \cdot X_i \right\} = \begin{cases} \sum_{i=1}^n S_i \cdot X_i, & \text{if } \sum_{i=1}^n S_i \cdot X_i \geq 0 \\ 0, & \text{if } \sum_{i=1}^n S_i \cdot X_i \leq 0 \end{cases}$$

$$Y = N \left\{ \sum_{i=1}^n S_i \cdot X_i \right\} = \begin{cases} \sum_{i=1}^n S_i \cdot X_i, & \text{if } \sum_{i=1}^n S_i \cdot X_i \geq 0 \\ 0, & \text{if } \sum_{i=1}^n S_i \cdot X_i \leq 0 \end{cases}$$



10 pav. Žvaigždinio (kairėje) ir piramidinio kvazineuronų schemas, jų funkcinę statinių charakteristikų matematiniai modeliai, grafinis vaizdas ir neuroninis netiesiškumas **N**.

Žvaigždinių ir piramidinių neuronų – sudėtųjų (sumatorių) funkcinė charakteristika yra netiesinė: ji turi tam tikrą tiesinio sumavimo dalį bei „diodinį“ ir soties apribojimus, apibendrintai – netiesiškumą N (10 pav.). Statinė matematinė lygtis, vertinanti tik nusistovėjusias būsenas, neurono kaip tolydžių dydžių sumatoriaus charakteristikos ir grafinis jos vaizdas pateikta 10 pav. Impulsų dažniai sumuojami su tam tikrais sinapsiniais svoriais S_i , kurie teoriškai gali būti bet koks tolygiai vertinamas dydis $S_i \{-\infty, iki +\infty\}$. Žadinamosios sinapsės schemose žymimos rodyklėle, jų svorinis koeficientas vertinamas teigiamu ženklu, o slopinamosios rodamos rutuliuku – neigiamu ženklu.

Neurono persotinimo išvengiama patenkinus sąlygą, kad visų neurono žadinančiųjų sinapsinių svorinių koeficientų S_{+i} suma neviršytų 1, t. y.:

$$\sum_{i=1}^k S_{+i} \leq 1.$$

Ši sąlyga išvedama iš sunkiausių neurono darbo sąlygų, labiausiai sužadintos neurono būsenos, kai nė viena slopinamųjų sinapsių įėja negauna signalo, slopinamieji signalai yra nuliniai, o visos žadinamosios sinapsės gauna lygius X_{\max} dydžio signalų dažnius. Čia k – tik žadinamosios sinapsės ir jų svoriai. Neurono reakcijos tampa normalizuotos, įtarpintos į tam tikrus kiekybinius rėmus, kai

$$\sum_{i=1}^k S_{+i} = 1.$$

Tad kuo didesnę žadinamųjų sinapsių kiekį turi neuronas, tuo jo sinapsinių koeficientų svoriai mažesni už 1. Jei yra k žadinamųjų sinapsių ir jos visos lygios, tai

$$S_i = 1/k.$$

Neuronų funkcinė paskirtis – išfiltruoti neurotinkle cirkuliuojančių signalinių srautų (situacijų) pokyčius ir nereaguoti į vienodas, lygias, begradientines būsenas. Todėl neurono sinapsių svoriai turi būti tokie, kad į visas sinapses atėję vienodi signalų impulsų dažniai (pvz., visos įėjos atsiunčia maksimalius impulsų dažnius $X_i = X_{\max}$), išėjos signalo dažnis $Y = 0$, neuronas nebūtų slopinamas ir nereaguotų. Šiam reikalavimui patenkinti ir visų m slopinamųjų S_m sinapsių svorių suma taip pat būtų lygi 1,

$$\sum_{j=1}^m S_{-j} = 1. \text{ Tada } \sum_{i=1}^k S_{+i} - \sum_{j=1}^m S_{-j} = 0.$$

Neurono netiesiškumas atspindi labai svarbią neurono savybę – perduoti į išėjimą tik teigiamuosius neurono suminius dydžius ir neperduoti neigiamųjų. Kartais ši savybė vadinama diodiniu netiesiškumu – tai svarbiausias netiesiškumas. Jis yra svarbus neuronų tinklams, turintiems grįžtamuosius ryšius. Sumos (neurono išėjimo signalo ženklo) nekintamumas yra svarbus dinaminiam neurotinklo stabilumui. Mat, idealiai tiesinėse sistemose su grįžtamaisiais ryšiais, keičiantis kintamojo dydžio ženklui, neigiamieji grįžtamieji ryšiai tampa teigiamaisiais ir sistema virsta nebestabilia, dažnai pradeda generuoti savus signalus. Ši diodinio netiesiškumo savybė saugo nervinį tinklą nuo autogeneracijų pavojaus, bet nepakankamai vertina analizuojamą situaciją.

Piramidiniai neuronai, kurių galvos smegenyse yra daugybė, ypač smegenų žievėje, turi draudžiančias įejas Z (10 pav). Į piramidinius neuronus nuo „krepšelių“ neuronų ateinantys aksonai turi didelio slopinamojo dydžio (svorio) sinapsinius kontaktus Z ($-S_i \rightarrow -\infty$). Jie atlieka draudimo funkcijas - leidžia ar neleidžia atėjusių signalų sukulto efekto tolesnį suminį $\sum S_i X_i$ atspindį aksono signalinėje išėjoje. Taip piramidinis neuronas gali atlikti sąlyginius loginius veiksmus, vadinamuosius „jeigu“, IF , veiksmus, kuriuos naudoja ir kompiuterinio programa-vimo kalbos:

$$Y = \begin{cases} N \left\{ \sum_{i=1}^n S_i \cdot X_i \right\}, & \text{jeigu } Z_1 \text{ arba } Z_2 = 0, \\ 0, & \text{jeigu } Z_1 \text{ arba } Z_2 \neq 0 \end{cases}$$

Vienas Z tipo draudžiantysis signalas atlieka loginio neiginio veiksmą, o du Z_1 ir Z_2 tokio tipo signalai – universalų loginį veiksmą Pirso (*Pears*) rodyklę, dar vadinamą Dagero (*Dagger*) funkcija. Matematinės logikos teorija teigia, kad, iš elementų, atliekančių universalią loginę funkciją, galima sudaryti tinklus (struktūras), kurie atliktų visas sudėtingas logines funkcijas.

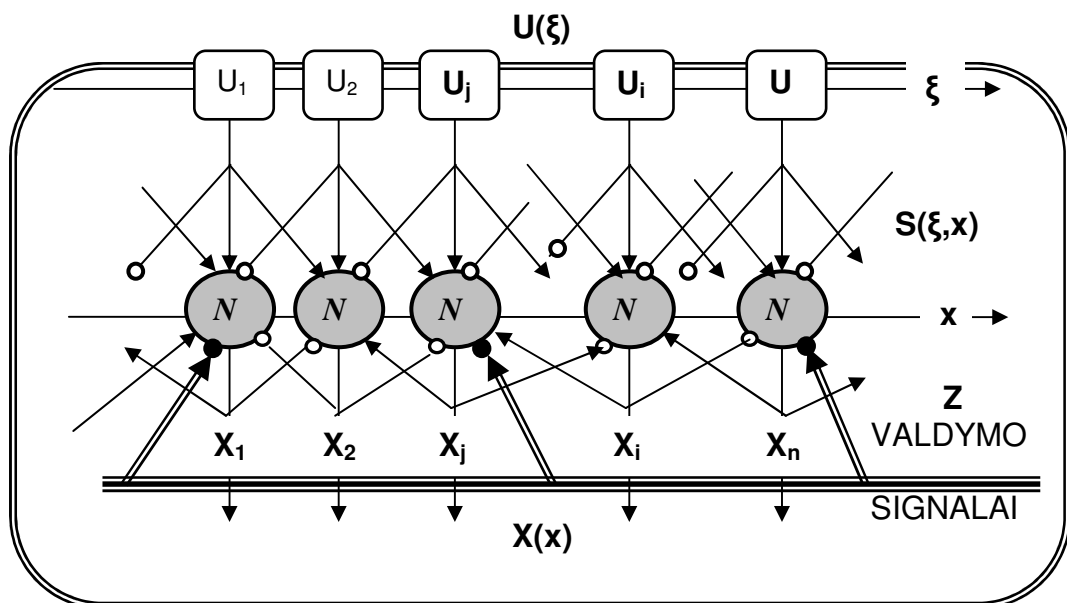
Taigi, galima daryti išvadą, kad paprastas žvaigždinis neuronas neurostruktūrose atlieka *aritmetinės sąlygos* IF funkcijas, o piramidinis neuronas – *loginės sąlygos* IF funkcijas. Iš tokių elementų galima kurti neuronų tinklus, kurie vykdytų sudėtingas logines ir algebrines funkcijas. Jomis galėtų būti valdomi informacijos srautai ir vykdomieji organai. Tokie neuronai atitinka analoginių ir hibridinių skaičiavimo

mašinių funkcinius elementus. Ypač tais atvejais, kai neuronas apibūdinamas kaip dinamiškas, inertiškai laike reaguojantis funkcinis elementas.

3.2. Neurosluoksnio samprata

Gyvūnus aplinka veikia pro jų paviršius, pro šiuose paviršiuose esančius pirminius matuoklius. Pirminiai koderiai – receptoriai - aplinkos poveikius paverčia signalais ir perduoda neuronų sluoksniams detalesnei analizei bei sprendimams aukštesnėse neurostruktūrose. Todėl neuronų sluoksnis yra pamatinė nervų posistemio teorinės funkcinės veiklos sudedamoji dalis (11 pav.). Neuronų sluoksniai gali būti susiję tik šoniniais (lateraliniais) tiesioginiais bei grįžtamaisiais ryšiais ir turėti tik paprastąsias arba dar ir valdomas loginiais signalais įejas. Matematiškai jie gali būti apibūdinami diskrečių algebrinių ar diferencialinių lygčių sistemomis, integralinėmis išraiškomis bei lygtimis.

Bendriausia neurostruktūros sąvoka yra neotinklas. Tai tokia neuronų ryšių organizacija, kai kiekvienas neuronas gali būti susijungęs su bet kuriuo neuronu. Jeigu tinklas sudarytas iš n neuronų ir kiekvienas jų ryšiais sujungtas su visais, galima teigti, kad tai yra n -matis neuronų sluoksnis. Paprasčiausias yra vienmatis neuronų tinklas su tiesioginiais šoniniais ryšiais. Norint, kad jo aiškinimui būtų galima taikyti tiesinę



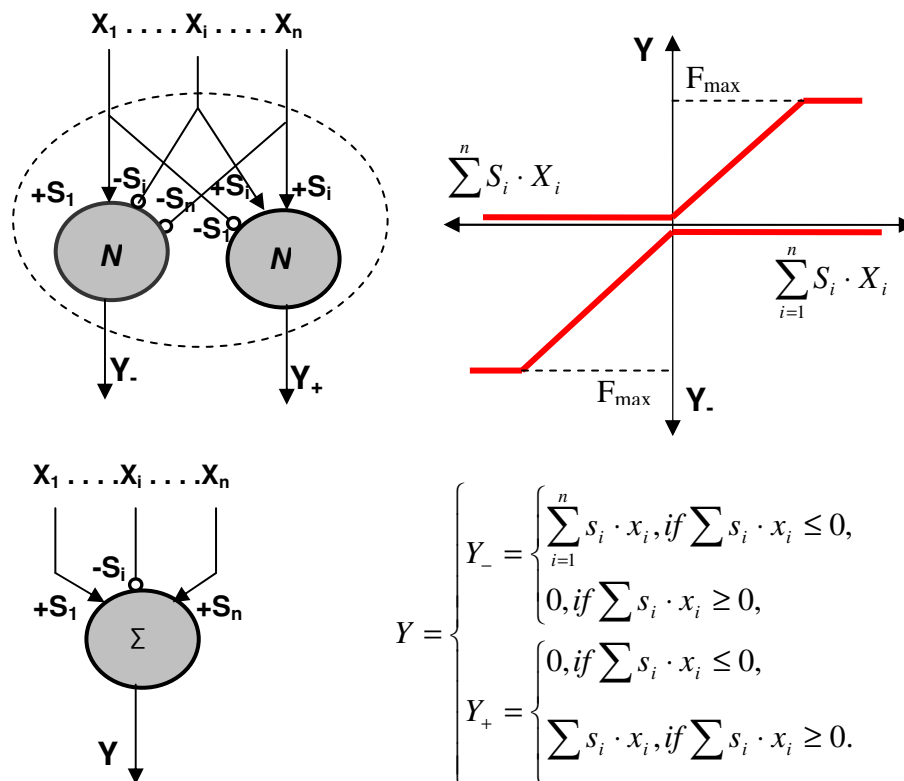
11 pav. Linijinis neuronų sluoksnis su tiesioginiais šoniniais (lateraliniais) signalų filtravimo ryšiais ir valdančiais signaliniais ryšiais

signalų teoriją, neuroniniai sluoksniai bei tinklai turi būti sudaromi iš reciprokinių – priešingai veikiančių - neuronų porų.

3.3. Priešingai veikiančių neuronų pora

Priešingai (reciprokiškai) veikiančių neuronų porų – reciprokinių neuronų – yra ir gyvųjų organizmų neurostruktūrose. Taip yra kompensuojamas netiesinių N neuronų signalinis-informacinis ribotumas, analizuojamų situacijų erdvėje išsaugant visos neurostruktūros stabilumą. Tokios reciprokinių neuronų poros schema ir jų vykdomos funkcinės charakteristikos pateikiamas 12 pav.

Dėl neurono diodinio netiesiškumo N galima prarasti signalinės informacijos, jei neurono įėjų suma bus neigiama. Kad taip neatsitiktų, neotinkle kartu veikia oponentiniai, reciprokiniai neuronai, turintys tokias pačias įėjų signalų sinapsių struktūras, sinapsinių koeficientų dydžius, tik šių dydžių ženklai yra priešingi. Taip reciprokinių neuronų poros tiesiškai sumuoja įėjų dažnius. Tokias tiesines signalų perdavimo procedūras galima aprašyti matematine vektorių kalba.



12 pav. Priešingai veikiančių (reciprokinių, oponentinių) neuronų poros schema, jų funkcinė matematinė tiesinės charakteristikos išraiška ir grafinis vaizdas

Vienas neuronas savo impulsais teikia signalinę informaciją – koreliaciją (normuotą vektorių skaliarinę sandaugą) - apie sinapsinių dydžių vektoriaus krypties sutapimo laipsnį su įėjos signalinio vektoriaus kryptimi, jei abiejų vektorių kryptys vienodos. Kitas neuronas - jei kryptys priešingos. Pateiktas neurono reakcijos Y , kaip neurono sinapsių vektoriaus S ir įėjos signalų vektoriaus X skaliarinės sandaugos, algoritmas galioja tik vektorių kryptims, nukreiptoms į tą pačią pusę. Jeigu vektorių kryptys yra priešingos, tokia sandauga yra neigiama, ir toks neuronas nuslopinamas, bet tada reaguos reciprokinis neuronas. Normuotumas suprantamas kaip sinapsių vektoriaus modulio prilyginimas 1, ir esant maksimaliai ribotam signalų dydžiui – $X_{max} = Y_{max}$.

Tokia dviejų simetriškai funkcionuojančių neuronų sistema gana būdinga ne tik neurostruktūroms, bet ir visiems fiziologiniams posistemiams. Gyvasis organizmas "nekeičia" dydžio ženklų iš *teigiamo į neigiamą* ir atvirkščiai - gyvosios gamtos fiziologiniai posistemiai sudaromi iš *priešingai veikiančių* vyksmų. Suminis abiejų reciprokinių vyksmų poveikis sukuria teigiamųjų ir priešingų (tarytum neigiamųjų) veiksmų sumavimą, ir taip lemiamą tik neuronų, bet ir kitų fiziologinių sistemų balansuota veikla. Pavyzdžiui, simpatinė ir parasimpatinė vegetacinio nervų posistemio reguliuojanti veikla ar tam tikrų raumenų posistemio (sulenkimo ir atlenkimo) susitraukimo dydžių valdymas ir pan.

3.4. Neuronų sluoksnis su tiesioginiais ir grįžtamaisiais šoniniais ryšiais

(Bendrasis neurosluoksnio modelis)

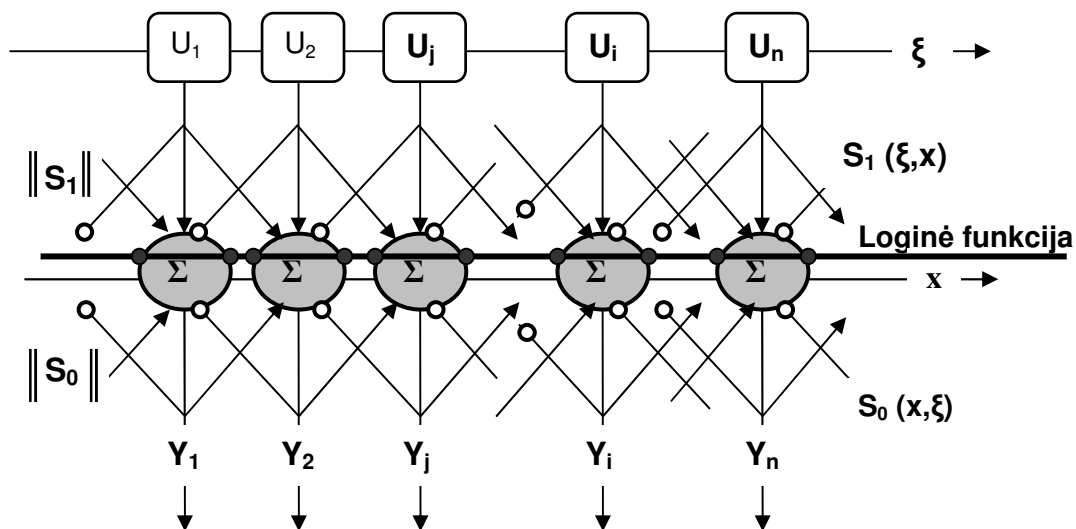
Apibendrintas neuronų sluoksnis, kaip ir dauguma biologinių neuronų sluoksnių, turi būti sudarytas iš tiesioginių ir grįžtamųjų ryšių (13 pav.). Be to, tokie sluoksniai turi turėti valdomuosius poveikius, kurie tam tikromis aplinkybėmis juos įjungia arba išjungia. Todėl tokie neurosluoksniai turi turėti tam tikrus draudžiančiųjų signalų įejas Z , kurie per draudžiančiąsias neuronų sinapses atliktų loginį sluoksnio valdymą. Vadinasi, neuronų sluoksniai gali būti apibūdinti matematinėmis formulėmis, kaip diskrečiosios struktūros reakcija R , kuri yra vektorinė sąlyginė lygtis:

$$\bar{R} = \begin{cases} \bar{Y} = \frac{\|S_1\|}{I - \|S_0\|} \cdot \bar{U}, & \text{jei (Logine funkcija) = TAIP} \\ 0, & \text{jei (Logine funkcija) = NE} \end{cases}$$

arba laikant, kad neuronų sluoksnis yra vientisa (tolydi) struktūra, reakciją galima išreikšti sąlygine integraline lygtimi:

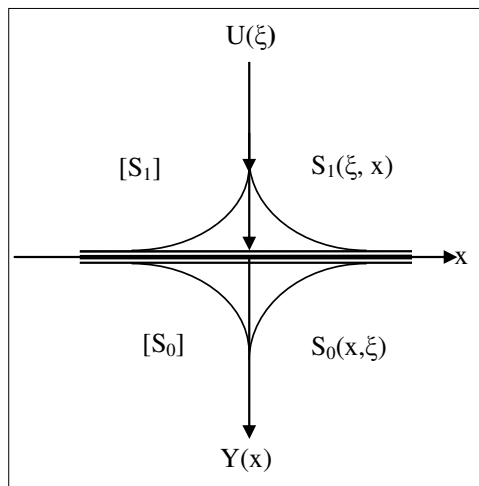
$$R(x) = \begin{cases} Y(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} U(x) \cdot S_1(x, \xi) d\xi + \int_{-\infty}^{+\infty} Y(x) \cdot S_0(\xi, x) dx, & \text{jei (Logine funkcija) = TAIP} \\ 0, & \text{jei (Logine funkcija) = NE.} \end{cases}$$

Čia $\|S_1\|$ ir $S_1(\xi, x)$ yra neurosluoksnio tiesioginių šoninių ryšių matrica ir ryšių funkcija, atitinkamai, o $\|S_0\|$ ir $S_0(\xi, x)$ - grįžtamųjų šoninių ryšių atitinkamos charakteristikos. Vektorius U ir funkcija $U(\xi)$ – įėjos signalai, o vektorius Y ir funkcija $Y(x)$ – išėjos signalai.



13 pav. Neurosluoksnis su tiesioginiais ir grįžtamaisiais ryšiais

Tolydaus neurosluoksnio su tiesioginiais ir grįžtamaisiais šoniniais ryšiais apibendrinta schema parodyta 14 pav. Kai neurosluoksnų ryšių funkcijos kiekvieno neurono yra tos pačios, tada neurosluoksnis pasižymi homogeneine struktūra. Šiais atvejais ryšių funkcijos išreiškiamos paprastesnėmis, sąsūkinėmis ryšių funkcijomis $S_1(x - \xi)$ ir $S_0(\xi - x)$. Tokie neuronų sluoksniai gali vykdyti įvairiausias matematinės kompleksines ir nekompleksines signalų integralines transformacijas. Suformavus tam tikras ryšių funkcijas, gaunami norimi signalų filtrai. Jie virsta specializuotomis struktūromis, galinčiomis atlikti įvairiausias kodavimo ir dekodavimo procedūras.



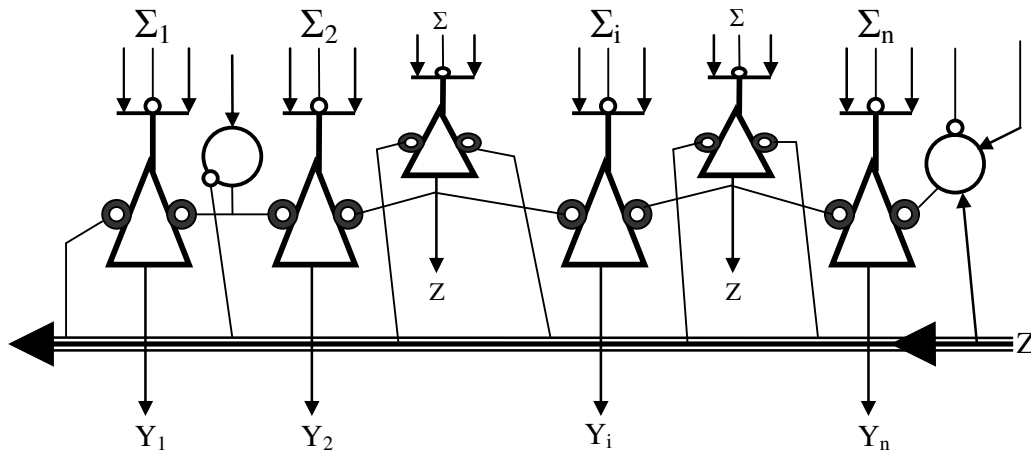
14 pav. Tolydusis neurosluoksnis su tiesioginiais ir grįžtamaisiais šoniniais ryšiais

Vienas sluoksnio neuronas gali būti vertinamas kaip mikroprocesorius, o pats sluoksnis – kaip erdvinis filtras, erdvinių signalų transformatorius. Neuronų sluoksnis gali būti vienmatis (neuronai išsidėstę linijoje), dvimatis (neuronai išsidėstę paviršiais) arba trimatis, bendriausiu atveju – daugiamatis. Specialiosios ryšių struktūros, pavyzdžiui, dvimatis neuronų sluoksnis gali vykdyti Furjė (*Fourier*), Frenelio (*Fresnel*), Uolšo (*Walsh*) ir kitas ortogonalines ar kvaziortogonalines transformacijas. Kvazioptiniai neuronų tinklai gali vykdyti netgi koherentinės optikos (pvz., kvaziholografines) transformacijas. Tai pasiekama neuronų sluoksniams parenkant tam tikras ryšių funkcijas. Į neuroną konverguojančių ryšių funkcija yra neurono recepcijos laukas. Neurosluoksniuose, pagal signalų teoriją, - tai ryšių funkcija, arba integralinės transformacijos branduolys. Filtrų požiūriu, branduolio funkcija yra filtruojamų signalų savybių esmė.

3.5. Neurosluoksnių valdymas loginėmis funkcijomis

Sudėtingiausiose neurostruktūrose – smegenyse - ryškiai matomi įvairiausiais tankiais susipakavę ir įvairiausių dydžių piramidiniai neuronai, piramidinių neuronų sluoksniai, persipynę abipusiai grįžtamaisiais ryšiais. Lauktina, kad kiekvienas piramidinių neuronų sluoksnis yra valdomas, t.y. reikiami sluoksniai arba įjungiami, arba išjungiami tam, kad visa neurostruktūra atliktų reikiamą funkciją – signalų ir informacijos apdorojimą, perkodavimą. Neurosluosnius valdo savitųjų ryšių struktūros

pagal tam tikras logikos taisykles. Schematizuotas piramidinių neuronų sluoksnis su loginiu valdymu pateikiamas 15 pav.



15 pav. Piramidinių neuronų sluoksnis ir jo valdymo ryšiai

Kaip minėta, prie piramidinių smegenų neuronų būna tam tikrų krepšelinųjų neuronų, kurių aksonai apšvynioję apie piramidinio neuroso kūną turi daug slopinamųjų sinapsių. Sužadinus krepšelinį neuroną, jis neleidžia dendritais atėjusių sumuotų poveikių Σ signalams prasiskverbti į aksoninę išėją. Tokiu būdu, jei bus bent vienas sužadintas krepšelinis neuronas, signalinės informacijos persiuntimą į kitus neuronus bus slopinamas. Signalai Σ persiunčiami, jeigu nefunkcionuoja visi krepšeliniai neuronai.

Taigi piramidinių neuronų sluoksnis valdomas tam tikrais valdymo signalais Z per tarpinius krepšelinuos neuronus, kurie savo draudžiamaisiais ryšiais, vykdančiais universalias logines Dagero ar Pirso funkcijas, vykdo sudėtingesnes valdymo logines funkcijas. Jos ir lemia viso sluoksnio veiklos valdymą.

Atėjusi signalinė informacija piramidinių neuronų dendrituose apdorojama analogine forma, panašiai kaip sumatoriai integratoriai vykdo analizines operacijas analoginėse ir hibridinėse skaičiavimo mašinose. Loginiai signalai valdo atskirų sluosnių veiklą visame informacinio valdymo neurostruktūrų posistemyje.

3.6. Neurostruktūros iš neurosluosnių

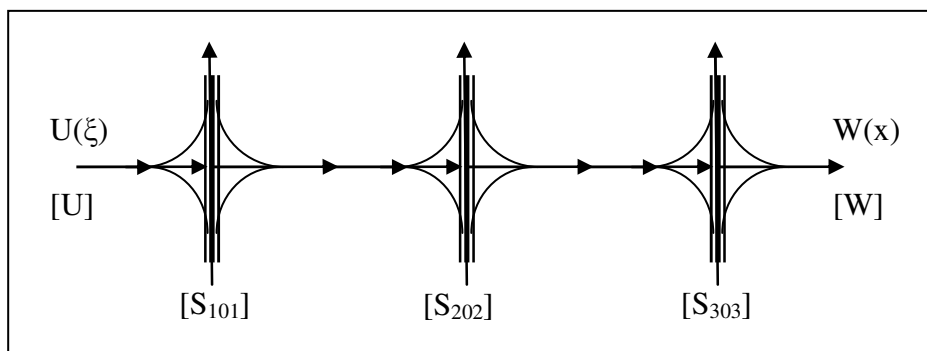
Neuronų sluoksniai į sistemas (neurostruktūras) gali būti jungiami nuosekliais, lygiagrečiais ir grįžtamaisiais ryšiais. Tiesinių sluosnių atvejais jų jungimas aprašomas tiesinių grandžių, sistemų ir signalų teorijomis. Netiesiniams

neuronų sluoksniams ir loginėmis funkcijomis valdomoms neuronų struktūroms aiškinti išsamesnės teorijos kol kas nėra sukurta. Jų teorija turėtų būti panaši į hibridinių skaičiavimo mašinų teoriją.

Neuromorfologiniai ir neurofiziologiniai tyrimai rodo, kad nervų posistemis, ypač stuburinių gyvūnų smegenys, smegenų žievė yra įvairiausių daugybės neuronų sluoksnių darinys. Tiesinės savybės būdingos neuronų sluoksniams, kurių funkcinė paskirtis – kuo tiksliau priimti ir perduoti duomenis aukštesnio signalinio-informacinio perdurbimo struktūroms apie aplinkos ir organizuotos sistemos vidaus būklę. Draudžiantieji neuronų sluoksnių poveikiai, sluoksnių veiklą valdantys per draudžiančiuosius ryšius, sukelia netiesines reakcijas. Tokie reiškiniai aprašomi programavimo ir automatų teorijų metodais.

Sudėtingiems signalinės informacijos perdurbimams reikia neurosluoksnius jungti į grandines. Jeigu neurosluoksniai sujungiami į nuoseklią grandinę (16 pav.), joje vykstantis signalinės informacijos apdorojimas paklūsta atskirų neurosluoksnių operatorinių perdavimo funkcijų arba matricių sandaugai:

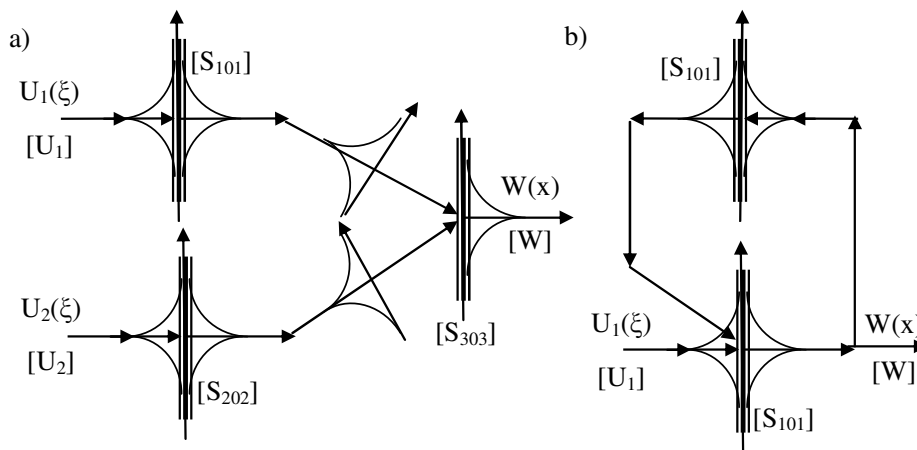
$$[W] = [S_{101}] \cdot [U] \cdot [S_{202}] \cdot [S_{303}] \cdot [U].$$



16 pav. Neurosluoksniai, sujungti nuoseklia grandine

Sudėtingos neurostruktūros sudaromos ne tik iš nuosekliais, bet ir lygiagrečiais bei grįžtamaisiais ryšiais sujungtų neurosluoksnių (17 pav.). Lygiagretūs neurosluoksniai dažnai sujungiami sudėties ar atimties operacijomis. Jų signalinė informacinė transformacija vykdoma pagal neurosluoksnių operatorinių perdavimo funkcijų arba matricių sumavimo principus (17a pav.):

$$[W] = [S_{303}] \cdot \{ [S_{101}] \cdot [U_1] + [S_{202}] \cdot [U_2] \}$$



17 pav. Neurosluoksniai sujungti: a – lygiagrečiai, b – grįžtamoju ryšiu

Sudėtingiausias signalines informacines transformacijas vykdo neurostruktūros, sudarytos iš grįžtamaisiais ryšiais sujungtų neurosluoksnių (17b pav.). Dviejų neurosluoksnių, sujungtų grįžtamaisiais ryšiais, signalinė informacinė transformacija vykdoma pagal tam tikrą perskaičiuotą operacinę matricą:

$$[W] = \frac{[S_{101}]}{I \mp [S_{303}] \cdot [S_{101}]} \cdot [U].$$

Taigi, iš taip įvairiai organizuotų neurosluoksnių galima sudaryti neurostruktūras, kurios galėtų vykdyti labai sudėtingas ir efektyvias signalines informacines transformacijas. Kitu požiūriu, tokia teorija gali būti naudinga neurobiologams, bandantiems sistemų biologijos metodais aiškinti stebimas sudėtingas neuronų reakcijas ar neuropsichologinius reiškinius.

Vienas iš mįslingiausių neuropsichologinių reiškinių, susijusių su smegenų žievės veikla, yra žmogaus subjektyvūs pojūčiai, tokie kaip haliucinacijos, sapnai, kai kur vadinami mintiniais vaizdais, vidinėmis „akimis“, t.y. matymu, kai akys užmerktos, girdėjimu, kai garsų nėra, ir pan. Šiuos reiškinius galima būtų aiškinti integralinio neurotransformatoriaus – kodavimo ir grįžtamojo dekodavimo neurostruktūrų - veikla.

3.7. Integralinis neurotransformatorius – kodavimo-dekodavimo struktūra

Neurostruktūrų, kaip ir techninių kompiuterių, pagrindinė funkcinė paskirtis yra signalinės informacijos perkodavimas. Jis būtinas priderinant signalus prie organizuotos sistemos vykdančiųjų organų, atminties struktūrų bei kitų jos sudedamųjų dalių veiklos. Neurosluoksniai, tam tikra jų struktūrinė organizacija, gali paaiškinti,

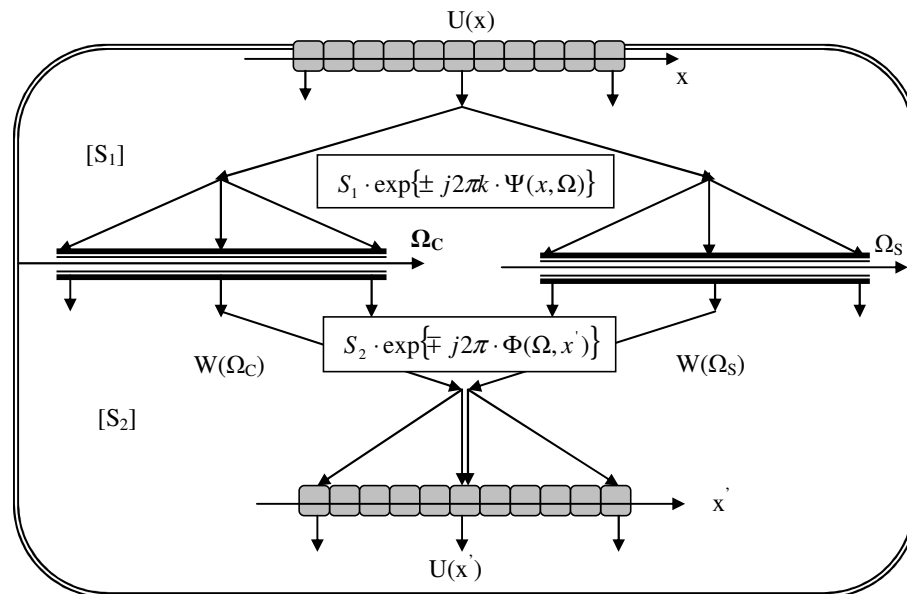
kaip signalus galima perkoduoti ir daugiau ar mažiau visaverčiai atkurti pirminę jų informaciją vykdant tam tikras kompleksines integralines transformacijas. Tokia supaprastinta neurostruktūra pateikta 18 pav. Jeigu trijų neurosluoksnių struktūros – receptorinio, koduojančio S_1 ir dekoduojančio S_2 - ryšių funkcijos tenkina ortogonalumo sąlygas, išreiškiamas matematinėmis lygtimis:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} S_1 \cdot \exp\{\pm j2\pi k \cdot [\Psi(x, \Omega)]\} \cdot S_2 \cdot \exp\{\mp j2\pi k \cdot \Phi(\Omega, x')\} d\Omega \cong \delta(x, x')$$

arba, esant diskrečiosios struktūros neurosluoksniams:

$$[S_1] \cdot [S_2] \cong I,$$

tai tokia neurostruktūra gali receptorių sluoksnyje atsispindėjusius signalus versti kitokiomis išraiškos formomis, t.y. koduoti - juos atspindėti kitokioje abstrakčioje erdvėje taip, kad pakankamai tiksliai vėl galėtų atkurti panašia receptorių signalų forma specialioje sensorinėje neurostruktūroje x' .



18 pav. Integralinio neurotransformatoriaus – kodavimo ir dekodavimo struktūros schema

Tai idealaus informacijos bei signalų pernešimo sąlyga. Realiose signalų perdavimo sistemose tenka apsiriboti šios sąlygos tenkinimu tam tikrų signalų dažnių juostoje – kvaziortogonalumu. Bendroju atveju šią matematinę sąlygą tenkina kompleksinės integralinės transformacijos – neurosluoksnių, vykdančių signalų skaidymą $[S_1]$ ir sintezę $[S_2]$ pagal realiąją Ω_C (lyginės simetrijos) ir menamąją Ω_S (nelyginės simetrijos), savybės. Tai atlieka du lygiagretūs neurosluoksniai, kurių ryšių

funkcijos tokios pat ir skaidant (perkoduojant) ir sintezuojant (atkuriant), tik menamosios dalies ženklai yra priešingi.

Tokia neurosluoksnių organizacija leidžia paaiškinti ne tik atvaizdų pernešimus, bet ir daugelį smegenų žievės psichinių reiškinių, susietų su subjektyviaisiais pojūčiais, vaizdiniais, haliucinacijomis ir pan. Tarkime, smegenų žievėje yra sensorinės projekcinės zonos ir atitinkami sensoriniai neurosluoksniai (pavz. x'), kurių sužadimas yra atitinkamas subjektyvusis pojūtis (šviesos, garsų, kvapų ar pan.). Galima aiškinti, kad pojūtis kyla dviem skirtingais keliais: 1) iš receptorinių sluoksnių pernešama signaline informacija, 2) iš atminties struktūrų atkuriamu – sintezuojamu - atvaizdu. Abiem keliais atėjusios signalinės informacijos sumavimas sensoriniame neurosluoksnyje galėtų paaiškinti vaizdinius, sapnus, haliucinacijas ir pan.

Tokios neurosluoksninės transformacijos, susietos grįžtamaisiais ryšiais, gali būti kokybiškai kitokios nei įprastos tradicinės informacinės technologijos – analizės per sintezę arba ciklinio kodavimo-dekodavimo uždarų kilpų principu veikiančios technologijos, sugebančios gaminti informaciją. Tai gali būti ir pagrindinės smegenų savybės – mąstymo technologijos: tokia struktūra gali kurti problemų sprendimo projektus ir atlikti tų projektų imitacinius bandymus – modeliavimą, t.y. vykdyti tai, kas yra mąstymo esmė.

Gyvųjų organizmų nervų posistemiai, signalinius informacinius vyksmus atlieka naudodama dvimačius, kai kur trimačius ir net daugiamačius neurosluoksnius. Jų veiklai aprašyti reikia kur kas sudėtingesnio matematinio aparato. Be to, organizuotose sistemose, informacinio valdymo posistemiuose visos sudėtingos signalinės informacinės procedūros yra valdomos, t. y. neurosluoksnių informacinė veikla valdoma. Manytina, kad tai atliekama ne tradicinės – dvireikšmės kategoriškosios logikos, bet neuronams tinkamesnės analoginės ar miglotosios (*fuzzy*) logikos principais. Tokių loginių funkcijų vykdymui vartojami tam tikri tolydinės, sinkretinės, analoginės, daugiareikšmės ar miglotosios logikos neurotinklai.

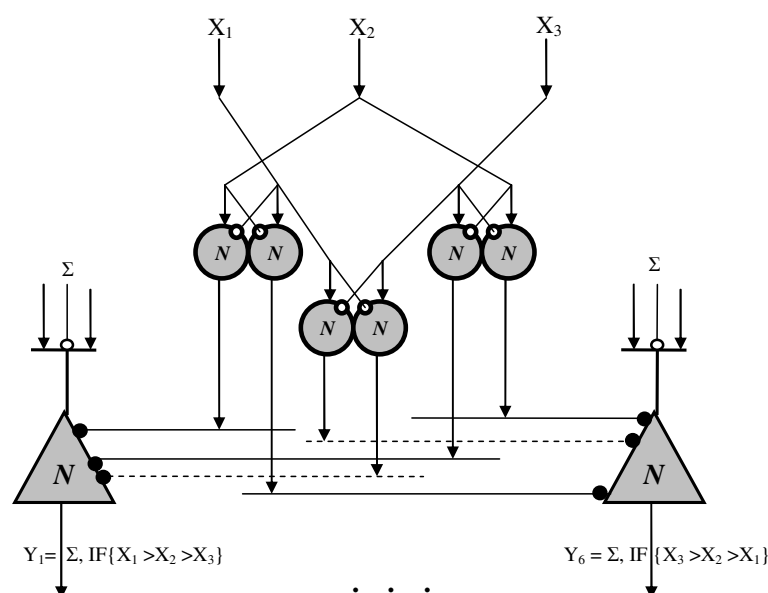
3.8. Miglotosios logikos *daugiau-mažiau-lygu* neurostruktūros

Neurostruktūra, signalinę informaciją analizuojanti lygiagrečiai, gauna tik teigiamus signalų dydžių vektorius. Ji geba identifikuoti, filtruoti tam tikrus įėjus

vektorius, kurių komponentių dydžiai išrikiuoti tam tikra rangine eile. Jeigu signalinis neurostruktūros įėjimo vektorius turi n lygiagrečių signalinių įėjų, kurias impulsai pasiekia nevienodu dažniu, tai galima sudaryti $n!$ ranginio išrikiavimo kombinacijų. Papildomai įvertinus ir visas galimas kombinacines situacijas *lygu*, gauname kur kas didesnę signalinių kombinacijų kiekį nei leidžia tradicinė binarinių signalų analizė. Akivaizdu, kad $2^n \ll n!$, kai $n > 4$.

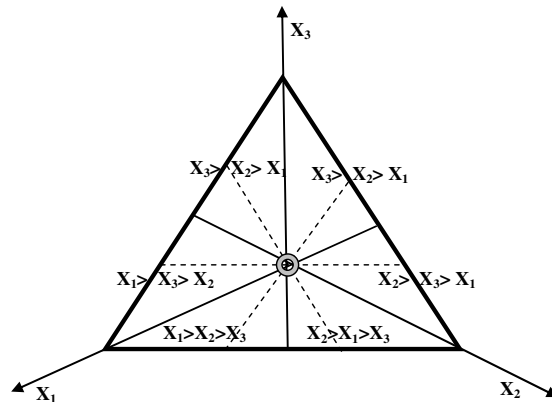
Paprasčiausia trijų signalinių įėjimų neurostruktūra - faktorialinis analizatorius, sudarytas iš piramidinių sprendžiančiųjų neuronų, - pateikta 19 pav.

Miglotąja *daugiau-mažiau-lygu* logika pagrįsta neurostruktūra, gebanti analizuoti ir priimti sprendimus apie įėjimo signalinį vektorių, susideda iš dviejų dalių: neuroanalizatoriaus ir sprendžiamųjų piramidinių neuronų sluoksnio. Neuroanalizatorius pagrįstas kiekvieno signalinio įėjimo dydžio lyginimais su kiekvienu kitu įėjimo dydžiu. Lyginimus vykdo $[n \cdot (n - 1)]/2$ reciprokinės neuronų poros. Šių neuronų sužadavimo kombinacijose slypi informacija apie įėjimo signalinių dydžių ranginio (faktorialinio) surikiavimo tvarką. Tam tikra draudžiamųjų ryšių kombinacija, atvesta iš šių analizės neuronų į piramidinius, lemia piramidinių neuronų funkcinę veiklą – lemia faktorialinio surikiavimo kombinaciją, į kurią reaguos piramidinis neuronas.



19 pav. Miglotosios *daugiau-mažiau-lygu* logikos principais signalinius vektorius analizuojančios neurostruktūros schema

Neuroklasifikacinės trimačių teigiamų signalinių savybių vektorių krypčių išsidėstymo pagal miglotąją logiką *daugiau-mažiau-lygu* galimybės ir esmė geometriškai pavaizduota 20 pav. Vertinant trijų signalinių dydžių savybes *daugiau-mažiau* principu, visi trimačiai įėjos vektoriai gali patekti į vieną iš šešių rikiavimo pagal dydžius sektorių. Įvertinant ir situacijas *lygu*, papildomai būtų galima filtruoti kombinacijas, kai signaliniai vektoriai eina per skiriamųjų linijų ribas ar net centrinę



20 pav. Trimačių teigiamų signalinių vektorių krypčių išsidėstymo pagal miglotąją *daugiau-mažiau-lygu* logiką geometrinis aiškinimas. Centre – $X_1 = X_2 = X_3$

liniją, reiškiančią "visi vektoriai lygūs". 20 pav. Pavaizduota neuroanalizatorinė struktūra atlieka signalinio įėjos vektoriaus tik pirmosios eilės skirtuminių diferencijavimą. Papildomai sudarę neurostruktūrą, kuri vykdytų antrosios eilės skirtuminių diferencijavimą, t. y. analizuotų pirmųjų skirtumų skirtumus, klasifikacijos galimybes padvigubintume, sektoriai būtų padalyti pusiau (punkturine linija). Esant n signalinių įėjų, galima gauti $L = n! \cdot (n-1)! \cdot (n-2)! \cdot \dots \cdot 2! \cdot 1!$ hierarchiškai skaidomų n -matės erdvės sektorių, arba hierarchinių *daugiau-mažiau* principu sudarytų skirtingų vektorių klasių.

Pažymėtina, kad, pradėdant antruoju analizės sluoksniu, galimi vektoriai ne tik su teigiamais, bet ir neigiamais dydžiais. Tuo atveju klasifikacijos galimybės dar padidėja iki $L = 2^{(n-1)} \cdot n!$, vertinant tik antrąjį analizės sluoksnį. Atitinkamai kombinacinės galimybės didėtų, didinant analizės sluoksnių hierarchiją.

Toks miglotosios logikos požiūris į neurotinklus vienija binarinės ir *daugiau-mažiau* faktorialinės logikų galimybes. Manytina, kad šie signalų perdavimo ir

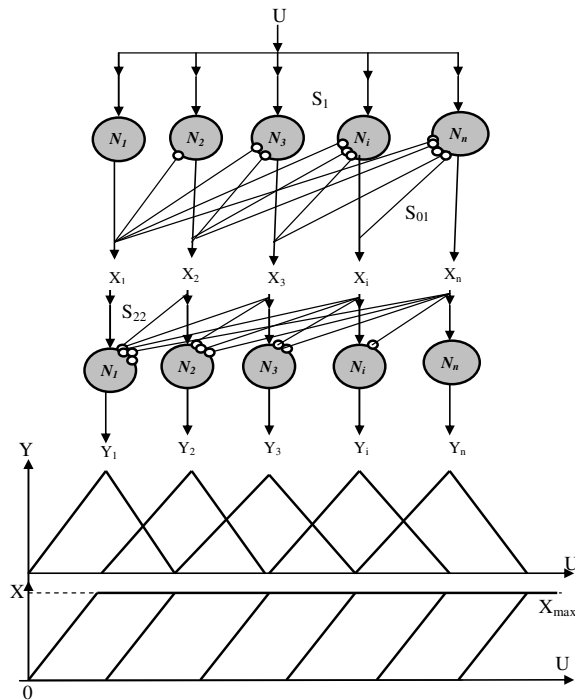
kodavimo principai gyvuosiuose organizmuose naudojami ne tik neurostruktūrų veikloje.

3.9. Neurotinklas formuoja atrankių savybių detekcinius neuronus

Neurofiziologiniais tyrimais parodyta, kad tam tikrų neurostruktūrų neuronai pasižymi atrankia reakcija siaurame dydžio diapazone, o gretimi tos neurostruktūros neuronai atrankiai reaguoja kitame savitame diapazone, perdengdami kaimyno diapazoną. Panašiomis savybėmis pasižymi ir miglotosios logikos neurostruktūros. Toks atrankių sprendimų modelis, sudarytas miglotosios logikos principais, paaiškina trečiosios – neapibrėžtos - būsenos galimybę. Tai būseną, kai signalų analizatoriai rodo tarpinę reikšmę tarp dviejų gretimų lygių – filtruoja situaciją *lygu*.

Sudėtingesniais atvejais susiformuoja specializuotų neuronų struktūros, atrankios didesniai diskrečių gradacijų kiekiui, kurių atskiri atrankumo diapazonai persidengia. Tai rodo, kad atrankios neurostruktūros formuojamos tarpusavyje susijusiais ryšiais. Tokias atrankias neurostruktūras – neuronus-detektorius - formuojantis neurotinklas pateikiamas 21 pav. Neurotinklas sudarytas iš dviejų nuosekliai sujungtų neurosluoksnių. Pradinis neurosluoksnis, į kurio visus neuronus ateina savybės U išreikštumo tolydusis teigiamas signalas, pvz., nervinių impulsų dažnis, vienpusiais grįžtamaisiais slopinimo ryšiais suformuoja dinaminį slenksčių struktūrą, kuri visą U dinaminį diapazoną, pagal sluoksnyje esančių neuronų kiekį, padalina į n subdiapazonų. Viso sluoksniu neuronų veiklą galima pateikti kaip $X(U)$ funkcinio reagavimo kreivių šeimą (21 pav.).

Antrasis sluoksnis, turintis priešingos krypties nei pirmasis, bet tiesioginius slopinamuosius ryšius, veikia taip, kad atskiri neuronai apima diskrečius atrankius dydžio U diapazonus. Tokios atskirų neuronų veiklos charakteristikos, 21 pav. pavaizduotos tiesiomis linijomis ir trikampaiais, yra būdingos idealizuotiems N neuronams, kai abiejų neuronų sluoksnių visų sinapsių svorių absoliutūs dydžiai yra lygūs: $S_1 = S_{01} = S_{22} = |1|$.

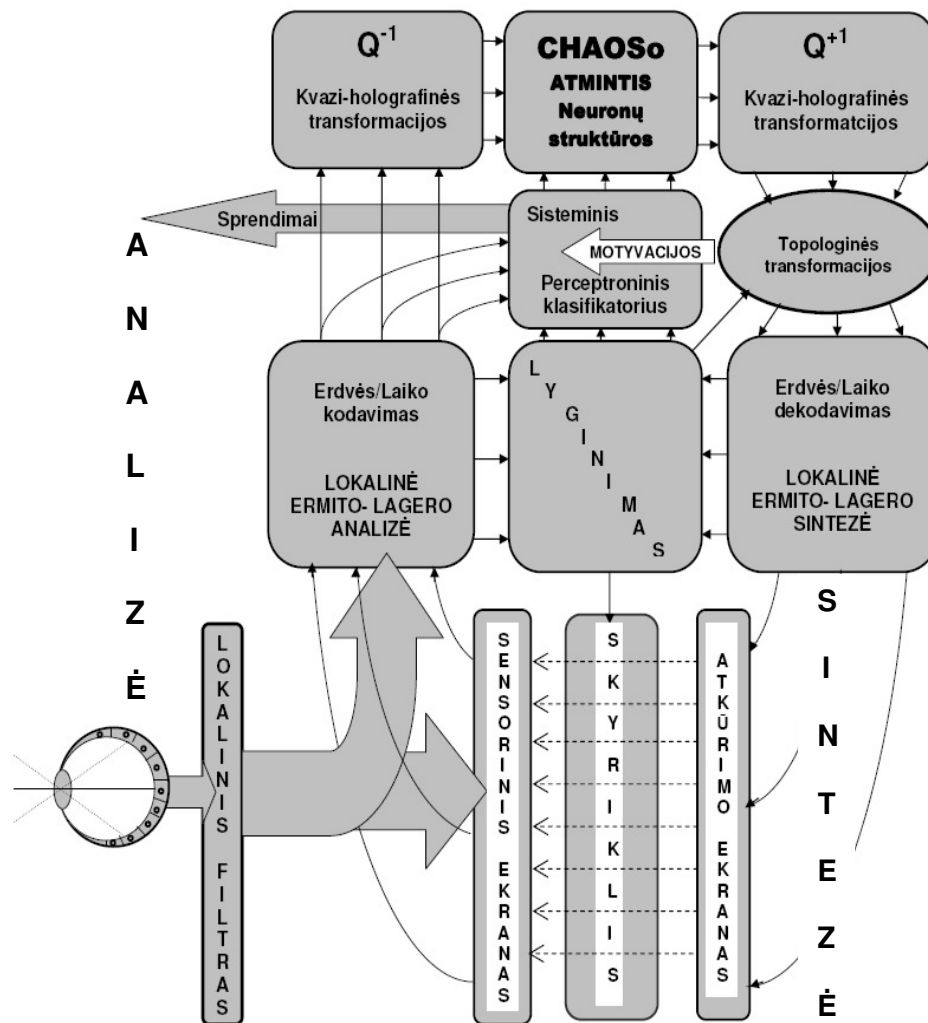


21 pav. Atrankusis neerotinklas ir jo veiklos diagramos

Taip pasireiškia miglotosios, arba *fuzzy*, logikos principais funkcionuojantys neerotinklai. Pateiktos atskirų neuronų savybės neprieštarauja toms neerotinklų savybėms, kurios stebimos neurobiologiniais, ypač neurofiziologiniais bei neuromorfologiniais, tyrimais. Pateiktos neuroinformacinės neuroschemos aiškina bendrąją neuronų funkcinę prasmę signalinės informacijos veiklos kontekste.

4. Analizė per sintezę - išskirtinė smegenų žievės neuroinformacinė technologija

Vystant požiūrį į gyvūnų sensorinių analizatorių funkcinę organizaciją kaip neurosluoksnių sistemą, remiantis regos analizatoriumi (2 pav.) sudaryta hipotetinė struktūrinė schema (22 pav.). Ji susideda iš dviejų tipų, funkciškai sujungtų informacijos apdorojimo struktūrų. Pirmo tipo struktūros yra perceptroninės struktūros, kurios vykdo vaizdo analizę ir preliminarų atpažinimą. Kito tipo struktūros apkabina perceptronines struktūras ir vykdo kvaziortogonalinę analizę ir grįžtamąją sintezę sensorinių ekranų lygyje per chronologinės atminties neurostruktūras. Šio tipo struktūros veikia uždaros kilpos principu.



22 pav. Sensorinio smegenų žievės posistemio – regos analizatoriaus funkcinės organizacijos hipotetinė struktūra

Pagrindinė tokios neuroinformacinės struktūros problema – fenomenalios chronologinės atminties mechanizmas, kurio buvimą rodo eilė psichopatologinių atvejų bei psichologinių eksperimentų, introdukcinė analizė bei efektai, gauti dirginant elektros srove tam tikras smegenų žievės dalis. Manytina, kad tokias atminties fiksavimo ir atkūrimo galimybes gali turėti neurochaoso struktūros. Neurofiziologijos tyrimai rodo, kad gyvenimo bėgyje visą laiką daugėja smegenų žievės piramidinių neuronų ryšių, didėja sinapsių tankis. Formuojasi daug neuroninių grįžtamųjų ryšių, kurie turėtų būti netiesiniai. Reiškia, yra sąlygos formotis neurochaoso struktūroms.

Žinoma, kad dinaminio chaoso struktūros, priklausomai nuo netiesiškumo pobūdžio bei dinaminių elementų kiekio, gali turėti daugybę stabilių būsenų. Sužadinta

būseną, priklausomai nuo pradinių sąlygų, gali generuoti sudėtingą determinuotą vyksmą. Be to, chaosą galima valdyti (Pyragas, 1992; Diebner, 2002).

Perceptroninė struktūra akių receptorių (sensorių) sluoksnyje atspindėtą regimąją sceną paverčia nerviniais signalais, juos filtruoja neuroninių struktūrų filtrais ir kuo tiksliau perduoda į smegenų žievės analizatorines struktūras. Manytina, kad čia atliekama regimosios scenos atspindžio lokalinių signalų erdvinė ir laikinė Ermito-Lagero tipo ortogonalinė analizė (skaidymas). Toliau perceptroninis neuroklasifikatorius atlieka preliminarų regimosios scenos atskirų objektų identifikavimą ir klasifikavimą. Kadangi perceptroninis objektų atpažinimas yra nepatikimas, todėl tikslesniam atpažinimui naudojamos kur kas sudėtingesnės informacinės analizės per sintezę procedūros sensorinių neuroekranų lygyje.

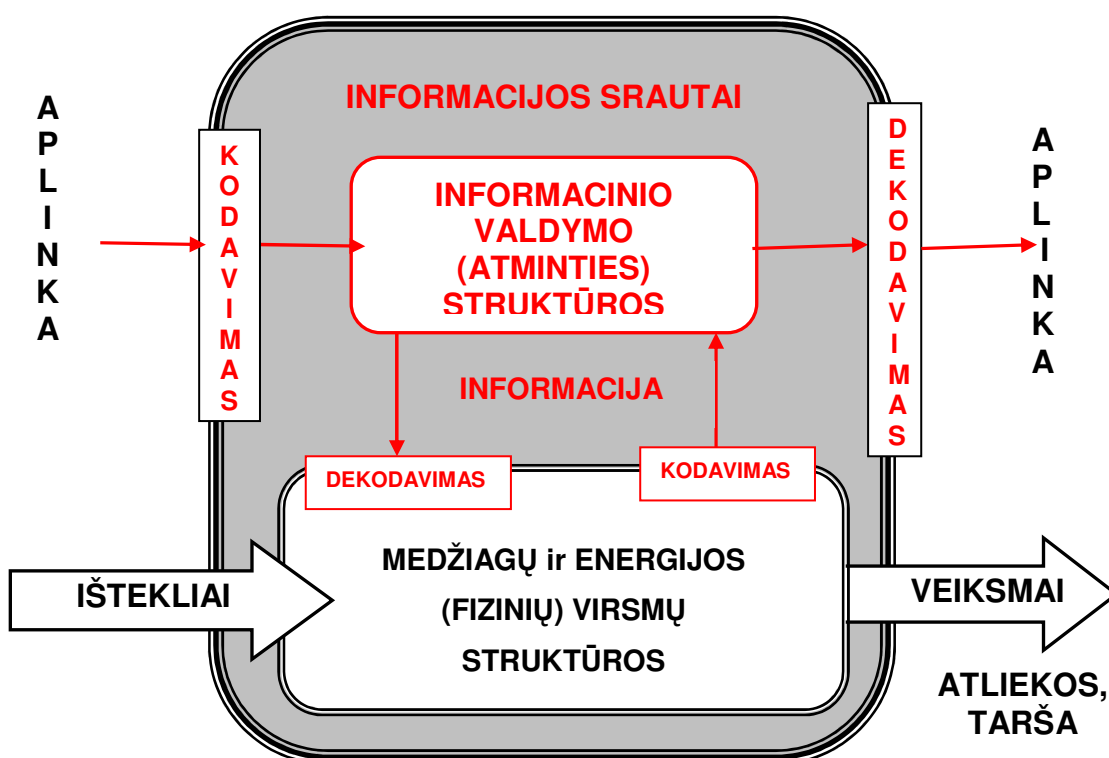
Faktai rodo, kad atminties pėdsakai smegenyse yra fiksuojami išbarstyti. Todėl tikėtina, kad į neurochaoso atminties struktūras informacija paduodama ir iš jų atkuriami kvazihologafiškai. Iš įvedimo pusės informaciją į atmintį įrašant po lokalinės Ermito-Lagero analizės, signalai paduodami į kvazihologafinių transformatorių. Atkuriant vykdomos priešingos informacinės procedūros – grįžtamoji vaizdo sintezė. Lyginimo struktūra atlieka iš akių atėjusio ir atkurto vaizdo palyginimą Ermito-Lagero analizę vykdančiame lygmenyje. Lyginimo rezultatai gali koreguoti perceptroninio klasifikatoriaus sprendimus, kurie savo ruožtu koreguoja atitinkamų atminties pėdsakų atkūrimą bei atkuriamojo atvaizdo topologines transformacijas. Be to, lyginimo informacija gali valdyti sensorinių ekranų – atkūrimo ir regimojo – tarpekraninį skyriklį, kuris atkuriamąjį vaizdą gali pernešti į sensorinį, tuo papildydamas sensorinio ekrano informaciją. Dažnai sakoma, „mes matome tai, ką norime matyti“. Šis informacinis efektas juntamas sapnų forma. Sugebėjimas matyti užsimerkus, nesant įeinamosios informacijos, psichologijoje vadinamas vaizdiniais.

Taip funkcionuojanti sistema gali atlikti ne tik sudėtingų regimųjų scenų analizę ir atpažinimą, bet ir naujų scenų sintezę iš atmintyje užfiksuotų fragmentų. Panašiai aiškintinas mąstymas - tai motyvuota veiklos projekto kūryba, sintezė. Tokia neuroinformacinė technologija sugeba, be to, atlikti ir įvairių projektų imitacinį modeliavimą.

Ši analizės per sintezę procedūra yra kodavimo-dekodavimo uždaros kilpos principu biologinės raidos pasekmė besivystant gyvosioms organizuotoms sistemoms, kurios prasidėjo nuo pirmųjų gyvybės formų – ląstelių.

5. Organizuotos sistemos funkcinė struktūra

Organizuotos sistemos bendroji schema pateikta 23 pav.



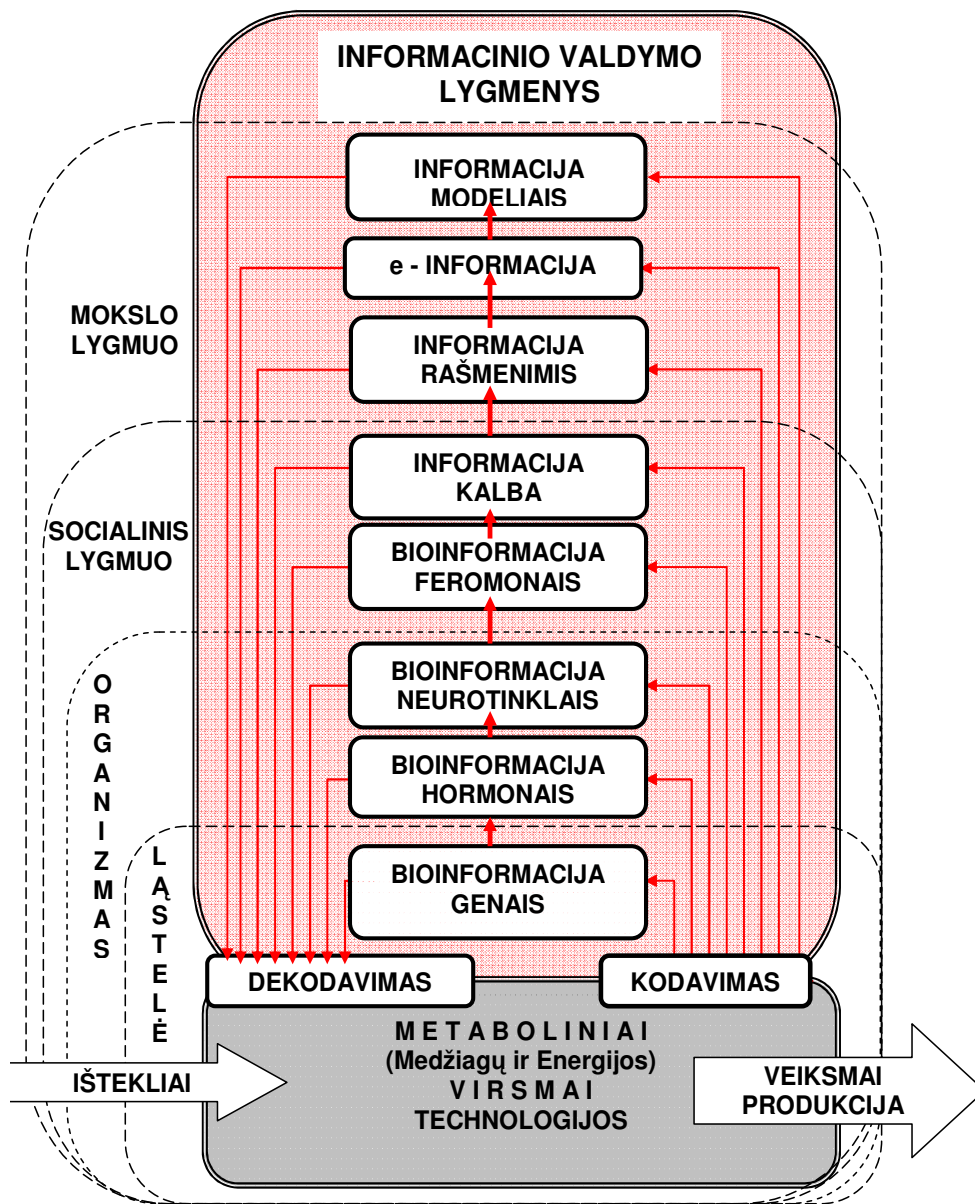
23 pav. Funkcinė organizuotos sistemos struktūra, sudaryta iš dviejų, glaudžiai susijusių kodavimo-dekodavimo struktūrų, veikiančių uždaros kilpos principu; galimas ląstelės funkcinės organizacijos modelis

Paprasčiausia organizuota gyvoji sistema – ląstelė - yra sudaryta mažiausiai iš dviejų, tarpusavyje suderintų, kodavimo-dekodavimo uždarų kilpų, valdančių vidaus ir išorės vyksmus. Abi jas vienija valdantysis posistemis – informacinio valdymo struktūra. Tai genomai – atminties struktūra. Joje užkoduotas veiklos programos realizuoja signaliniai bei genų raiškos tinklai, kurie vykdo kodavimo-dekodavimo procedūras bei metabolinius virsmus.

Daugialąščiai gyvūnai evoliucijos eigoje suformavo kelių hierarchinių lygių uždarų kilpų kodavimo-dekodavimo sistemas.

6. Gyvosios sistemos yra organizuotos sistemos

Paprasčiausio daugialąščio gyvūno funkcinę struktūrą sudaro trys hierarchinės kodavimo-dekodavimo uždaros kilpos: genų ląstelėje; hormonų daugialąščiame organizme; nervų tinklų gyvūno organizme (24 pav.). Ši funkcinė struktūra organizuota ne molekuliniam, o aukštesniam- ląstelių - technologiniam lygmenyje.



24 pav. Gyvųjų sistemų organizacijos schema, akcentuojanti kodavimo-dekodavimo uždaros kilpos principą

Gyvūnai, ypač stuburiniai - neuroinformacinių technologijų raidos produktas. Nervinis lygmuo evoliucionuodamas sukūrė 5 hierarchinio uždarojo kodavimo-dekodavimo funkcinės organizacijos lygius, kurie ir lėmė stuburinių raidą. Kartu su gyvybe atsirado informacija, kuri lėmė organizuotą, funkciškai kryptingą – tikslingą technologinę veiklą. Informacija gyvybei reikalinga materialiuosius medžiagų ir energijos virsmus organizuoti į tam tikrą vyksmų programą, t.y. reikiamu momentu reikiamose vietose reikiamus vyksmus paleisti arba nutraukti valdyti natūralias technologijas. Informacinių procedūrų svarba verčia plačiau pažiūrėti į biologinius mokslus – ypač į bioinformatiką ir biofiziką.

Informacijos biologinę esmę, jos plėtros tendencijas galima suprasti gyvybės raidą interpretavus uždarojo kodavimo-dekodavimo požiūriu (24 pav). Gyvųjų sistemų teorijos (Miller, 1978) sampratą papildžius uždarojo kodavimo-dekodavimo principu, ryškiai matomas esminis informacinių technologijų įnašas į gyvojo pasaulio raidą. Pradžioje susiformavusi genotipo-fenotipo kodavimo-dekodavimo dvejbė stimuliavo ląstelines technologijas; daugialąsčių plėtotę lėmė hormonų ir nervų vykdomos procedūros; atsiradus šiltakraujams - smegenų neuroinformacinės aukšto kūrybinio potencialo analizės per sintezę priemonės - kalbinių signalų, kalbų, rašto, e-informatikos, matematines bei kitus abstrakcijų bei informacijos gamybos - kūrybos reiškinius.

Išvados

1. Informacinių kodavimo-dekodavimo procedūrų, veikiančių uždarų kilpų principu, susiformavimas lėmė gyvybės atsiradimą, o jas vykdančių technologijų raida – biologinę ir socialinę evoliuciją.
2. Biologinė genotipo-fenotipo dvejybė yra gyvųjų sistemų paprasčiausia ir pirminė uždaros kilpos kodavimo-dekodavimo informacinė procedūra, o žinduolių ir ypač žmogaus smegenų žievė (*neocortex*), analizės per sintezę principu vykdanči mąstymo procedūras, yra labiausiai išvystyta kodavimo-dekodavimo sistema - ypatinga problemų sprendimo technologija, sugebanti individualiai gaminti informaciją.
3. Neuronų tinklų funkcinėi veiklai aiškinti taikytina ne kategoriškoji dvejetainė Bulio algebra, bet miglotosios (*fuzzy*) logikos atvejis – daugiau-mažiau-lygu logika.
4. Pagrindiniu organizmo neurostruktūrų funkcinės organizacijos vienetu laikytinas neurosluoksnis.
5. Neurosluoksnis atlieka daugiamačių (erdvės ir laiko) signalų filtro funkcijas integralinių transformacijų principais.
6. Lauktina, kad regos analizatoriaus neurosluoksninės struktūros atlieka kvaziortogonalines vaizdų kodavimo-dekodavimo procedūras, artimas kvaziholografinėms bei Ermito-Lagero transformacijoms, vaizdų suvokimo metu vykdydamas analizę per sintezę.
7. Šiltakraujų gyvūnų smegenų žievės neurostruktūros yra ypatinga gyvosios gamtos informacinė technologija, vykdanči individualią informacijos gamybą – gyvūnui išskylančių problemų sprendimo programų kūrimą, imitacinį modeliavimą ir valdymą pagal pasirinktą programą, šiam reikalui naudodama tam tikrą, kol kas nesuprastą, atminties kaupimo būdą, gali būti, veikianči neurochaoso principais.

Tolesnių tyrimų kryptys

1. Vystyti neurosluoksnių teorinės sintezės ir analizės metodus, taikytinus neurofiziologinių bei kitų neurobiologinių tyrimų darbo hipotezių generavimui ir neuroinformacinių techninių įrenginių bei neurokompiuterių kūrimui.
2. Suformuoti miglotosios (*fuzzy*) neurologikos, veikiančios daugiau-mažiau-lygu principu teorinius pagrindus, taikytinus nanoinfotechnologinei kūrybai bei įvairaus pobūdžio fiziologinių vyksmų analizei.
3. Atlikti teorinio modeliavimo tyrimus, siekiant atskleisti neurochaoso, kaip specifinio efektyvaus atminties mechanizmo galimybes.

Naudoti šaltiniai

- Alon, U. (2006) *An Introduction to Systems Biology: Design Principles of Biological Circuits*, London: CRC Press.
- Anderson, M. (1990) Biology and semiotics. In: *Semiotics in the Individual Sciences. Part I*, W.A.Koch (ed), 245-281.
- Aykhof, P. (1974) *Systems Identification*. John Wiley and Sons, Eindhoven.
- Cariani, P. (2000) *Ann New York Acad. Sci.*, **901**, 26-34.
- Casti, J. L. (1989) *Alternate Realities*, New York, Toronto, Singapore: John Willey & Sons.
- Diebner, H. H. (2002) *Biosystems*. 64, 141-147.
- Dubois, D. M. (1998) *AIP Conf. Proc.*, **437**, 3-29.
- Endy, D. (2005) *Nature*, **438**, 449-453.
- Joslyn, C. (2001) *BioSystems*, **60**, 131-148.
- Harmuth, H.F., (1977) *Sequency Theory. Foundation and Applications*. Academic Press, New York, St. Louis, San Francisco, Toronto, London, Sydney.
- Hoffmeyer, J., (ed) (2008) *A Legacy for Living Systems. Biosemiotics*, **2**.
- Kaneko, K. (2006) *Life: An Introduction to Complex Systems Biology*, Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kitano, H. (2001) *Foundations of Systems Biology*, Boston: MIT Press.
- Kosslyn, S.M. at all (1993) *Journal of Cognitive Neurosciences*, **5**, No 3, 263-287.
- Kull, K. (1999). *Semiotica*, **127(1/4)**, pp. 385-419.
- Le Moigne, J. L. (1990) *Le teorie du systems general. Theorie de la modelisation*, Paris: Presse Universitaires de France.
- Maturana, H., and Varela, F. (1979) *Autopoiesis and cognition*, Boston: Reidel.
- McCulloch, W. S. (1945) *The Bull. of Math. Biophys.*, **7**, 89-93.
- Miyashita, Y., (1995) *Science*, **268**, 1719-1720.
- Miller, J. G., and Miller, L. (1990) *Behav. Sci.*, **35**, 157-163.
- Miller, J. G. (1978) *Living Systems*, New York: McGraw-Hill.
- Neisser, U. (1976) *Cognition and reality*. San Francisco: W.F. Freeman.
- Neumann, J. von (1966) *Theory of Self-Reproducing Automata*, Urbana and London: University of Illinois Press.
- Pattee, H. H. (1995) *Commun. Cogn.-Artif. Intell.*, **12**, pp. 9-27.
- Pennisi, E. (2005) *Science*, **309**, 374-375.
- Powers, W. (1976) *Behavior: The Control of Perceptions*, Chicago: Aldine de Gruyter.
- Powers, W. (1989) *Living Control Systems II*. Benchmark Pubns.
- Pribram, K. H. (1971) *Languages of the Brain*, Englewood cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
- Pyragas K. (1992) *Phys. Lett. A*, **170**, 421.
- Rao R.P.N., Ballard D.H. (1995). An Active Vision Architecture based on Iconic Representations. *Artificial Intelligence (Special Issue on Vision)*, **78**, 461-505.
- Rocha, L. M. (1996) *Systems Res.*, **12**, 371-384.
- Rosen, R. (1986) *Anticipatory Systems*, Pergamon Press.
- Rosen, R. (1991) *Life Itself*, New York: Columbia University Press.
- Sebeok, T.A. (1999) *Applied Semiotics* **6/7**, 386-393.
- Seife, C., et al. (2005) *Science*, **306**, 76-108.
- Shannon, C.E. (1949) *PIRE* **37**, 1, 10-12.
- Sharov A. (1998) *Semiotica*, **120** (3/4), 403-419.
- Swanson, A., Miller, J. G. (1986) *Systems Reseach*, **4**, 253-265.
- Uexkull J. (1926) *Theoretical Biology*. (Harcourt, Brace&Co, New York).
- Yoshikuni, Y., and Keasling, J. D. (2007) *Curr. Opin. Chem. Biol.*, **11**, 233-239.

HABILITACIJOS PROCEDŪRAI TEIKIAMĖ MOKSLO DARBAI

Straipsniai leidiniuose, įtrauktuose į Mokslinės informacijos instituto (ISI) ir kitas tarptautines duomenų bazines, patvirtintas Lietuvos mokslo tarybos

1. **D. Kirvelis**, K. Beitas. Informational closed-loop coding-decoding conception as the base of the living or organized system // AIP Conference Proceedings. ISSN 0094-243X. American Institute of Physics, V. 1051, 2008, p. 293-306. (*ISI Proceedings*)
2. **D. Kirvelis**. The closed-loop coding-decoding concept as the general principle of functional organization of living systems // Biologija. ISSN 1392-0146. Lietuvos mokslų akademijos leidykla, 2007, N4, p. 40- 48. (*ISI Master Journal List*)
3. **D. Kirvelis**, G. Dagytė. Neuroinformatics I: Fuzzy neural networks of more-equal-less logic (static) // Informatics in Education. ISSN 0868-4952. Matematikos ir informatikos institutas, 2004, V. 3(1), p.75-90. (*Inspec*)
4. **D. Kirvelis**, K. Beitas. Extended informatics paradigm in biological and psychological education // Informatics in Education. ISSN 0868-4952. Matematikos ir informatikos institutas, 2003, V. 2(1), p. 39-52. (*Inspec*)
5. **D. Kirvelis**. Visual analyzer as anticipatory system (Functional organization) // AIP Conference Proceedings. ISSN 0094-243X. American Institute of Physics, 2000, V. 517, p. 277-286. (*ISI Proceedings*)
6. **D. Kirvelis**. The Origin of New Qualities in the Evolution of Interacting Dynamical Systems // AIP Conference Proceedings. ISSN 0094-243X. American Institute of Physics, 1999, V. 465, p.313-326. (*ISI Proceedings*)
7. **D. Kirvelis**. Nonlinearities in the neural network. (negative nonlinear feedback) // Nonlinear analysis: Modelling and control. ISSN: 1392-5113. Matematikos ir informatikos institutas, 1997, N2, p. 59-68. (*Chemical Abstracts*)
8. S. V. Alekseenko, D. Yu. Stabinite and **D. I. Kirvyalis**. Activation of orientation selectivity mechanisms in neurons of the cat visual cortex by a moving visual "noise" field // Neurophysiology. ISSN 0090-2977 (Print) 1573-9007 (Online). Naukova dumka, 1985, V. 17, N5, p. 425-429. (*Medline*)
9. S. V. Alekseenko, D. Yu. Stabinite, **D. I. Kirvyalis** and V. A. Vanagas. Heterogeneity of neuron populations with complex receptive fields in the cat visual cortex // Neurophysiology. ISSN 0090-2977 (Print) 1573-9007 (Online). Naukova dumka, 1979, V 11, N2, p. 79-85. (*Medline*)
10. А. Швягждас, В. Ванагас, **Д. Кирвялис**. Отражение преднастройки в зрительном вызванном потенциале на ожидаемую форму светового стимула // Физиология человека. ISSN 0131-1646. Наука, 1980, Т. 6, № 1, стр. 35-38. (*Medline*)

Straipsniai recenzuojamuose periodiniuose, tęstiniuose arba vienkartinuose mokslo leidiniuose

1. **D. Kirvelis.** Fuzzy more-equal-less logic and closed-loop coding-decoding control semantics in bio-systems and nanoinfotechnology // International Journal of Computing Anticipatory Systems. ISSN 1373-5411. CHAOS abl., 2008, V. 22, p. 44-62.
2. **D. Kirvelis.** Quasi-optical neural structures for model-based anticipatory control // International Journal of Computing Anticipatory Systems. ISSN 1373-5411. CHAOS abl., 2006, V. 18, p. 207-224.
3. **D. Kirvelis.** Visual mental imaging as closed-loop coding-decoding // Ugdymo psichologija. ISSN 1392-639X. Vilniaus pedagoginis universitetas, 2004, N11-12, p. 226-234.
4. **D. Kirvelis, K. Beitas.** Development of anticipatory control in bio-systems: Five levels of closed-loop coding-decoding in the visual analyzers // International Journal of Computing Anticipatory Systems. ISSN 1373-5411. CHAOS abl., 2004, V. 13, p. 64-78.
5. **D. Kirvelis.** Coding-decoding as general anticipatory principle of bio-systems functional organization // International Journal of Computing Anticipatory Systems. ISSN 1373-5411. CHAOS abl., 2002, V. 13, p. 50-61.
6. **D. Kirvelis.** The origin of information and regulation (control) in the evolution of predator-prey-like systems. In: Proceedings of the fourteenth European meeting on cybernetics and systems research. Vienna, 1998, p. 363-367.
7. **D. Kirvelis, S. Aleksejenko, D. Stabinite, V. Vanagas.** Property analysis of cells with complex receptive fields in cat's visual cortex. In: Information processing in visual system. Proceedings of the IV symposium sensory systems physiology. Leningrad, 1976, p.95-98.
8. **В. Ванагас, О. Балькелите, Э. Бартусявичус, Д. Кирвялис.** Квантовый характер динамики процесса узнавания в зрительном анализаторе человека. In: Information processing in visual system. Proceedings of the IV symposium sensory systems physiology. Leningrad, 1976, p.26-30.

Studijų knygos

1. **D. Kirvelis.** Biofizika (vadovėlis). Vilniaus universiteto leidykla. ISBN 978-9955-33-055-4. 2007, 425p.
2. **D. Kirvelis.** Neuroinformatika (mokomoji knyga), CD. Kaunas: Technologija. ISBN 978-9955-25-495-9. 2008, 55MB, 10 autorinių lankų.