



(12) **CERERE DE BREVET DE INVENȚIE**

(21) Nr. cerere: **a 2009 00531**

(22) Data de depozit: **09.07.2009**

(41) Data publicării cererii:  
**29.04.2011** BOPI nr. **4/2011**

(71) Solicitant:  
• **HULEA MIRCEA, STR. I.C.BRĂȚIANU  
NR.36, BL.B1, SC.B, AP.8, IAȘI, IS, RO**

(72) Inventatori:  
• **HULEA MIRCEA, STR. I.C.BRĂȚIANU  
NR.36, BL. B1, SC.B, AP.8, IAȘI, IS, RO**

(54) **METODĂ DE RECUNOAȘTERE VOCALĂ A CUVINTELOR  
FOLOSIND UN MODEL DE NEURON ARTIFICIAL INSPIRAȚIE  
BIOLOGICĂ**

(57) Rezumat:

Prezenta invenție se referă la o metodă de recunoaștere vocală a cuvintelor, folosind o rețea neuronală analogică, sensibilă la gradul de concurență a evenimentelor, care poate fi antrenată atât pentru detectarea cuvintelor, prin asocierea sunetelor succesive, cât și pentru detecția sunetelor, prin asocierea formanțelor specifice acestora, rețeaua neuronală având la bază un model de neuron de inspirație biologică, implementat hardware, folosind numai componente integrabile

microtehnologic, rețeaua neuronală păstrând proprietățile neuronilor naturali și fiind antrenată folosind stimuli supraliminari, în vederea recunoașterii de sunete și cuvinte printr-un mecanism de stimulare a neuronului pre și postsinaptic.

Revendicări: 11  
Figuri: 3



## METODĂ DE RECUNOAȘTERE VOCALĂ A CUVINTELOR FOLOSIND UN MODEL DE NEURON ATIFICIAL DE INSPIRATIE BIOLOGICĂ

Invenția se referă la un model hardware de neuron generator de impulsuri integrabil microtehnologic ce modelează aspectele esențiale ale fiziologiei neuronului biologic și la un procedeu pentru recunoaștere vocală a sunetelor și cuvintelor utilizând rețele neuronale analogice ce primesc ca intrare stimuli specifici formațiilor fiecărui sunet.

Până în prezent, în domeniul recunoașterii vocale s-a folosit în principal Modelul Markov Ascuns ce reprezintă un model matematic implementat software, funcționarea acestuia nebazându-se pe rețele neuronale [1]. Utilizarea rețelelor neuronale pentru recunoașterea vocală se realizează în principal folosind neuroni generatori de impulsuri (*spiking neurons*) a căror funcționare păstrează modelul unor proprietăți ale fiziologiei neuronului natural. Tendința actuală este de a obține modele de neuroni de inspirație biologică care implementate software pe un număr de procesoare să permită diminuarea timpului de simulare a rețelelor cu un număr substanțial de neuroni [2]. Așadar, implementarea software a diverselor modele de neuroni prezintă dezavantajul principal al creșterii timpului de răspuns al rețelei neuronale o dată cu creșterea numărului de neuroni. Pe de altă parte, beneficiind de funcționarea paralelă a neuronilor implementați hardware, o rețea neuronală analogică va oferi răspuns în timp real. Prin urmare, implementarea hardware a neuronilor de inspirație biologică oferă avantajul critic al independenței dintre timpul de răspuns al rețelei și numărul de neuroni. Folosirea implementării hardware a neuronilor generatori de impulsuri în domeniul recunoașterii vocale reprezintă un domeniu foarte restrâns, literatura de specialitate evidențiind existența doar a unei rețele neuronale ce a fost elaborată de Hopfield [3]. Acest model de rețea ce realizează detecția de cuvinte independent de vorbitor are ca intrare informația obținută în urma împărțirii spectrului vocal pe canale de frecvență, iar procesarea acesteia se realizează folosind neuroni simpli de tipul *integrate-and-fire* ce nu prezintă plasticitate sinaptică. Fiecare canal de frecvență activează prin intermediul unei intrări a rețelei un număr de 40 de neuroni cu parametri de funcționare diferiți ce inițiază trenuri de impulsuri cu rate diferite de descreștere a

frecvenței, detecția cuvintelor realizându-se în momentul sincronizării impulsurilor generate de neuronii cu caracteristici diferite. Prin utilizarea unui număr de straturi interne de neuroni excitatori și inhibitori se va obține la ieșirea acestora o amprentă unică pentru fiecare cuvânt recepționat, prin aceasta, antrenarea rețelei necesitând o singură rostire a cuvântului. Stratul de ieșire al rețelei a fost proiectat ca o structură dedicată pentru detecția anumitor cuvinte ceea ce implică alegerea parametrilor neuronilor de ieșire în funcție de configurațiile semnalelor generate de straturile interne ale rețelei [4].

Acest mod de abordare prezintă dezavantajul implementării de neuroni cu caracteristici diferite date de ratele diferite de descreștere a frecvențelor impulsurilor ce duce atât la creșterea numărului de neuroni folosiți pentru detecția cuvintelor, cât și la diminuarea generalității în utilizare a rețelei. Acest fapt este întărit și de inexistența plasticității sinaptice ce necesită ajustarea artificială a proprietăților neuronilor ce compun stratul de ieșire al rețelei.

Metoda de recunoaștere vocală a cuvintelor folosind neuroni artificiali de inspirație biologică, conform invenției, înlătură dezavantajele de mai sus prin folosirea modelului de neuron ce înglobează și mecanismul de învățare asociativă, acest model determinând diminuarea considerabilă a numărului de neuroni folosiți pentru detecția sunetelor și cuvintelor, precum și eliminarea constrângerii de utilizare a neuronilor ce prezintă timpi diferiți de scădere a frecvenței impulsurilor. Conform invenției, recunoașterea vocală a sunetelor are la bază principiul asocierii temporale a formațiilor specifici fiecărui sunet folosind pentru antrenarea rețelei stimuli supraliminari ce au proprietatea de a activa conexiunile rețelei ce se doresc a semnaliza detecția sunetelor în timpul recepției stimulilor de intrare corespunzătorii celui sunet. Mai mult decât atât acest principiu de asociere a evenimentelor temporale se folosește și la recunoașterea vocală a cuvintelor prin asocierea succesiunilor de sunete detectate în prealabil. Rețeaua neuronală folosește un model propriu de neuron generator de impulsuri ce realizează detecția evenimentelor concurente, acesta fiind implementat în mod analogic numai cu componente electronice discrete de tipul tranzistoarelor, diodelor, rezistențelor și condensatoarelor – ce modelează aspectele esențiale ale fiziologiei neuronilor biologici printre care integrarea spațială și temporală a stimulării recepționate, perioada refractară, potențarea pe termen scurt și lung a sinapselor în funcție de activitatea neuronilor

presinaptic și respectiv postsinaptic, potentarea posttetanică, fatigabilitatea și generarea de impulsuri excitatoare și inhibitoare.

Utilitatea acestor neuroni electronici de inspirație biologică urmează două direcții principale acestea fiind modelarea structurilor neuronale biologice și proiectarea modulelor de control a mașinilor inteligente. Modelarea structurilor neuronale biologice permite studiul comportmentului sistemului nervos biologic ce cuprinde aplicații în neurologie cum sunt înțelegerea cauzelor bolilor neurologice sau înlocuirea țesutului neuronal lezat cu structuri neuronale artificiale. De asemenea în domeniul roboticii, acești neuroni reprezintă o alternativă robustă pentru proiectarea modulelor pentru recunoașterea vocală, procesare de imagini, comanda mișcărilor, putându-se ajunge până la luarea deciziilor. Datorită faptului că modelarea aspectelor ce țin de fiziologia neuronului biologic s-a realizat folosind numai componente de tip discret integrabile microtehnologic, proiectarea unui circuit integrat analogic ce implementează o rețea neuronală analogică cu funcționare în timp real reprezintă o bună alternativă pentru soluționarea problemelor cuprinse în domeniul inteligenței artificiale. Mai mult decât atât, prin creșterea numărului acestor circuite integrate conectate în rețea se poate obține un sistem neuronal avansat cu operare în timp real ce poate oferi un grad sporit de inteligență.

Modelul de neuron artificial de inspirație biologică, conform invenției, prin capacitatea sa de a-și modifica ponderile sinaptice în funcție de gradul de concurență a evenimentelor ce produc stimularea sa prezintă următorul avantaj:

- Reducerea necesității elaborării artificiale a structurii neuronale datorită capacității neuronilor de a forma topologia rețelei în funcție de configurația temporală a stimulilor externi, acesta constituind un avantaj de o importanță majoră pentru domeniul inteligenței artificiale.

Pe lângă acest avantaj principal ce reiese din înglobarea mecanismelor ce stau la baza învățării asociative, modelul de neuron electronic revendicat în cadrul acestei invenții păstrează și următoarele avantaje secundare specifice implementării hardware a neuronilor de tipul *integrate-and-fire* fără plasticitate sinaptică:

- Integrabilitate în siliciu datorită folosirii în procesul de proiectare a schemei electrice numai a componentelor de tip discret;

- Independența dintre numărul de neuroni și timpul de răspuns al rețelei datorită funcționării paralele a neuronilor;
- Consum redus de energie electrică datorită utilizării unui număr substanțial de componente pasive;
- Fiabilitate ridicată datorită curenților mici de operare a neuronului cât și a funcționării paralele a componentelor electronice;
- Putere de discriminare a evenimentelor temporale practic infinită datorită variației analogice a semnalelor electrice ce guvernează funcționarea neuronului.

Prezentarea invenției și exemplul de realizare conține un număr de figuri ce evidențiază atât structura neuronului electronic, cât și răspunsul la stimuli specifici semnalului vocal a unei rețele neuronale. Prin urmare avem:

- *Figura 1.* Structura neuronului artificial în care sunt evidențiate schemele de principiu ale modulelor funcționale ale neuronului după cum urmează:
  - *M1* reprezintă *modulul integrator* ce modelează potențialul de membrană, integrarea spațială și temporală a stimulilor recepționați, detecția pragului de activare și perioada refractară;
  - *M2* reprezintă *modulul de control al ponderilor sinaptice* ce modelează ponderea sinaptică, potențarea postetanică a sinapselor, potențarea pe termen scurt și potențarea pe termen lung;
  - *M3* reprezintă *modulul generator de impulsuri* excitatoare sau inhibitoare ce modelează mecanismele de stimulare a neuronului postsinaptic și fatigabilitatea sinaptică.
- *Figura 2.* Exemplu de realizare a neuronului artificial în care se prezintă schema electrică a acestuia ce modelează proprietățile critice ale neuronului biologic care sunt *integrarea stimulilor recepționați* realizată de  $C_1$ , *detecția pragului de activare* realizată de  $Q_1$ , ajustarea ponderii sinaptice în funcție de activitatea atât a neuronului presinaptic cât și a celui postsinaptic modelată prin schimbul de sarcină dintre condensatoarele  $C_4$  și  $C_7$ , precum și generarea de impulsuri excitatoare (conexiunea *pin2 - pin3* a comutatorului

$S_1$ ) sau inhibitoare (conexiunea  $pin2 - pin1$  a aceluiași comutator) a căror energie variabilă este dată de sarcina stocată în  $C_4$ .

- *Figura 3.* Exemplu de rețea neuronală antrenabilă pentru detecția succesiunilor de sunete specifice limbajului natural prin folosirea mecanismului de asociere a evenimentelor sau care se succed la intervale scurte de timp. Funcționarea rețelei neuronale considerată pentru detecția cuvintelor *ea* și *ai* este evidențiată prin introducerea în figură a diagramelor de semnal generate de osciloscop ce prezintă variația potențialelor de intrare a neuronilor astfel: pentru rostirea cuvântului *ea* diagramele 1 și 2 prezintă activitatea neuronilor  $eN_1$ ,  $aN_1$  și respectiv  $eN_2$ ,  $aN_2$  iar pentru rostirea cuvântului *ai* diagramele 3 și 4 prezintă activitatea neuronilor  $aN_1$ ,  $iN_1$  și respectiv  $aN_2$ ,  $iN_2$ . Pentru selectarea ieșirilor rețelei ce vor semnaliza recunoașterea celor două cuvinte se antrenează două căi neuronale folosind stimulii supraliminari a căror efect asupra neuronilor  $sN_1$  și  $sN_2$  este evidențiat de diagramele 6 și respectiv, 7.

Pentru prezentarea procedurii de antrenare a rețelei neuronale se impune prezentarea în prealabil a proprietăților neuronului artificial ce definesc comportamentul acesteia. Modelul de neuron cu structura din figura 1, conform invenției, este implementat hardware numai cu componente discrete de tipul tranzistoarelor, diodelor, rezistențelor și condensatoarelor, iar elementele funcționale ale acestuia sunt *modulul integrator (M1)* ce modelează variația potențialului de membrană postsinaptică, *modulul de control al ponderilor sinaptice (M2)* ce realizează ajustarea ponderilor sinaptice după principiile observate în cazul biologic, precum și *modulul generator de impulsuri (M3)* ce modelează activitatea membranei presinaptice generatoare de stimuli de tip excitator sau inhibitor.

Schema electrică din figura 2 prezintă un set de valori ale componentelor schemei electronice a neuronului care au fost ajustate pentru a obține o concordanță între caracteristicile funcționării neuronului artificial și principiile fiziologice ale neuronului biologic ce reies din studiul lucrărilor publicate atât în domeniul neuroștiințelor [5], [6] cât și în domeniul medical [7]. Potențialul de membrană a neuronului biologic este modelat de

tensiunea  $V_{MRR}$  care la echilibru are valoarea de  $400mV$  iar valoarea optimă a tensiunii de alimentare a neuronului este  $V_{cc} = 1.6V$ . Comunicația sinaptică se realizează în mod bidirecțional în sensul că activarea neuronului presinaptic (anterior sinapsei) este semnalizată prin transmiterea unui impuls de energie variabilă către neuronul postsinaptic (următor sinapsei) prin conexiunea  $OUT \rightarrow V_{MRR}$ , iar neuronul postsinaptic va semnaliza activarea sa neuronilor presinaptici prin variația semnalului de pe conexiunea  $MI_{NPN} \rightarrow MI_{LTP}$ . Intrarea neuronului poate fi stimulată de mai mulți neuroni excitatori sau inhibitori în timp ce sinapsa electronică poate stimula doar un singur neuron postsinaptic. În cazul stimulării mai multor neuroni postsinaptici de către un singur neuron este necesară conectarea în punctul  $MI_{NPN}$  a neuronului presinaptic a mai multor sinapse ce înglobează modulele  $M2$  și  $M3$ . Ponderea sinaptică este stocată ca sarcină electrică de condensatorul  $C_4$  care pentru modelarea ponderii sinaptice minime trebuie încărcat la  $U_c = 1.6V$ . Mecanismele învățării asociative, conform invenției, au fost modelate prin schimbul de sarcină dintre condensatoarele  $C_4$  și  $C_7$  în sensul că activarea neuronului presinaptic implică diminuarea energiei stocate de  $C_4$  prin încărcarea  $C_7$  determinând creșterea temporară a ponderii (*potențarea pe termen scurt*), iar inactivarea neuronului presinaptic implică migrarea în sens invers a sarcinii stocate temporar în  $C_7$  până la valoarea anterioară activării neuronului. Dacă potențialul de acțiune al neuronului postsinaptic se produce are loc restabilirea bruscă a echilibrului între energiile celor două capacități la valoarea celei din  $C_4$  (*potențarea pe termen lung*).

Pentru setul de parametri ai neuronului din figura 2 consumul de curent în stare inactivă este  $I_{inactiv} = 300nA$  la o tensiune de alimentare  $V_{cc} = 1.6V$ , iar în stare activă consumul de curent poate ajunge până la  $I_{activ} = 500\mu A$  pentru o perioadă de  $t_{activ} = 30\mu s$ . De asemenea s-a testat experimental stabilitatea funcționării neuronului la variația parametrilor în vederea integrării microtehnologice a rețelelor neuronale analogice ce au la bază acest model de neuron. Rezultatele acestui experiment au arătat o toleranță minimă de  $\pm 20\%$  pentru valorile condensatoarelor și  $\pm 30\%$  pentru valorile rezistențelor cu excepția a doi divizori de tensiune

pentru care este necesară folosirea unor depuneri speciale de material rezistiv (*Thin Film Resistor*).

Mecanismul de ajustare a ponderilor sinaptice poate fi utilizat cu succes în recunoașterea vocală a sunetelor când la intrarea rețelei neuronale sunt prezentați formanții specifici acestor sunete. Antrenarea rețelei se realizează prin asocierea stimulilor subliminari corespunzători fiecărui formant cu un stimul supraliminar ce activează neuronul intern al rețelei ce se dorește a semnaliza prezența la intrare a sunetului respectiv. De asemenea principiul de asociere a stimulilor supraliminari cu cei subliminari în vederea potențării sinapselor cu activitate subliminară mai poate fi folosit și pentru antrenarea rețelei în vederea recunoașterii de cuvinte ca succesiuni de sunete ori pentru controlul formării configurației sinaptice. Principiul de asociere a stimulilor subliminari cu cei supraliminari este evidențiat de comportamentul rețelei neuronale cu structura din figura 3 ce poate fi antrenată pentru detecția cuvintelor *ea* și *ai* având ca intrare atât stimulii supraliminari generați de neuronii de detecție ai vocalelor *e*, *a* și *i* ( $eN$ ,  $aN$  și  $iN$ ), cât și stimulii ce controlează formarea configurației sinaptice în vederea selectării ieșirilor ce vor semnaliza detecția celor două cuvinte ( $SS_{ea}$  și  $SS_{ai}$ ). Antrenarea rețelei pleacă de la anumite condiții inițiale care sunt creșterea ponderilor sinapselor marcate cu săgeți îngroșate și ponderile minime ale sinapselor marcate cu săgeți normale.

Pentru a avea o mai bună imagine de ansamblu a fenomenelor ce stau la baza funcționării rețelei neuronale ce realizează detecția celor două cuvinte, în figura 3 se prezintă pe lângă topologia rețelei și formele de undă a semnalelor ce se generează în interiorul acesteia. Astfel, în cazul recepției cuvântului *ea* diagrama 1 prezintă activitățile neuronilor  $eN_1$  și  $aN_1$ , iar diagrama 2 prezintă activitatea neuronilor  $eN_2$  și  $aN_2$ . Pentru recepția cuvântului *ai* diagrama 3 evidențiază activitatea neuronilor  $aN_1$  și  $iN_1$ , în timp ce diagrama 4 evidențiază activitatea neuronilor  $aN_2$  și  $iN_2$ . Pentru evidențierea activității neuronilor de ieșire ai rețelei diagrama 5 prezintă activitatea neuronilor  $aN_3$  ce semnalizează recepția cuvântului *ea*, precum



și  $iN_3$  ce semnalizează recepția cuvântului *ai*. Ultimele două diagrame (6 și 7) subliniază activitatea stimulilor supraliminari ce ajută la antrenarea sinapselor ce activează ieșirile rețelei.

Rețeaua neuronală prezentată mai sus are capacitatea de a-și modifica configurația sinaptică pentru detecția a două cuvinte scurte bazându-se pe cele două proprietăți principale ale sinapselor electronice ce își au corespondent în biologie și anume integrarea stimulilor recepționați și potențarea sinapselor în funcție de gradul de concurență a impulsurilor ce participă la activarea neuronului stimulat. Prin urmare folosind doar un număr redus de neuroni electronici de tipul celor prezentați în prima parte a acestei invenții rețeaua neuronală se antrenează pentru recunoașterea sunetelor și a cuvintelor folosind și anumiți stimuli externi supraliminari ce coordonează în anumite limite formarea configurației sinaptice. Așadar exemplul prezentat anterior subliniază importanța folosirii plasticității sinapselor electronice de inspirație biologică în domeniul recunoașterii vocale.

#### REFERINȚE

- [1] M. Cohen, D. Rumelhart, N. Morgan, H. Franco, V. Abrash, Y. Konig, „Combining neural networks and Hidden Markov Models for Continuous Speech Recognition”, 1992  
URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.50.1857>.
- [2] Jeffrey J. Lovelace, „A Very Simple Spiking Neuron Model That Allows for Modeling of Large, Complex Systems”, *Neural Computation*, Volume 20, issue 1, pp. 65 – 90, Ianuarie 2008.
- [3] J. J. Hopfield, C. D. Brody „What is a moment ? *Cortical* sensory integration over a brief interval”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, pp. 13919 – 13924, 2000.
- [4] J. J. Hopfield and C. D. Brody „What is a moment? Transient synchrony as a collective mechanism for spatiotemporal integration” *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*”, pp. 1282 – 1287, 2001
- [5] M. Baudry, J.L. Davis și R. Thompson, „Advances în Synaptic Plasticity”, Cambridge MA: The MIT Press, pp.133-137, Noiembrie 1999.
- [6] R. O'Reilly și Y. Munakata, „Computational Explorations în Cognitive Neuroscience”, Cambridge MA: The MIT Press, pp.32-37, Septembrie 2000.
- [7] I. Hăulică, „ Fiziologie Umană”, Editura Medicală, București, p. 121-133, Ianuarie 1999.

## REVEDICĂRI

1. Mecanismul de ajustare a ponderilor sinaptice ce modelează *potențarea pe termen scurt* (STP) și *potențarea pe termen lung* (LTP) a sinapselor biologice caracterizat prin aceea că în proiectarea sa s-au folosit numai componente discrete integrabile microtehnologic și ajustarea ponderii sinaptice se realizează în funcție de activitatea atât a neuronului presinaptic, cât și a neuronului postsinaptic prin conectarea la condensatorul de pondere ( $C_4$ ) a unei capacități auxiliare ( $C_7$ ) ce asigură atât stocarea diferenței de sarcină electrică corespunzătoare creșterii ponderii sinaptice, cât și revenirea sa în condensatorul de pondere în timpul perioadei de inactivitate a neuronului, iar în momentul activării neuronului postsinaptic capacitatea auxiliară se descarcă brusc determinând fixarea ponderii sinaptice la valoarea curentă.
2. Mecanismul de creștere a ponderilor sinaptice ce modelează *potențarea posttetanică* (PTP) caracterizat prin aceea că este modelat numai cu componente discrete integrabile microtehnologic iar la fiecare activare a neuronului sarcina din condensatorul de pondere se descarcă ireversibil printr-o rezistență.
3. Mecanismul de depresie a sinapselor electronice caracterizat prin aceea că sarcina din condensatorul de pondere crește continuu prin curentul de polarizare inversă a unei diode redresoare în timpul perioadei de inactivitate a neuronului, acest mecanism determinând descreșterea ponderilor sinaptice.
4. Mecanismul ce modelează etapele variației potențialului de membrană a neuronului biologic caracterizat prin aceea că în proiectarea sa s-au folosit numai componente discrete integrabile microtehnologic iar detecția pragului de activare a neuronului este realizată cu ajutorul unui tranzistor ( $Q_1$ ), scăderea bruscă a potențialului de intrare a neuronului artificial ( $V_{MBR}$ ) sub  $V_{BE}$  a  $Q_1$  în timpul activării neuronului și începutul perioadei refractare se realizează folosind o diodă Schottky ( $D_1$ ) cu  $V_F < V_{BE}$ , durata de activare a neuronului este stabilită prin încărcarea unei capacități ( $C_2$ ) ce este descărcată printr-o rezistență ( $R_4$ ) ce determină frecvența maximă de activare a

neuronului, iar revenirea  $V_{MBR}$  la potențialul de echilibru ( $V_E$ ) se realizează folosind o rezistență ( $R_2$ ) ce realizează încărcarea condensatorului de integrare a stimulilor de intrare ( $C_1$ ) după o funcție logaritmică.

5. Mecanismul de stimulare a neuronului postsinaptic caracterizat prin aceea că în proiectarea sa s-au folosit numai componente de tip discret integrabile microtehnologic și variația eficienței de transmitere a mesajului nervos biologic este modelată prin variația energiei stimulilor ce este dată de variația duratei impulsurilor electrice în funcție de sarcina electrică stocată în condensatorul de pondere, iar fatigabilitatea este modelată prin încărcarea unui condensator ( $C_5$ ) ce determină descreșterea tensiunii din emitorul tranzistorului ( $Q_4$ ) ce stimulează neuronul postsinaptic.
6. Comunicația bidirecțională dintre neuroni caracterizată prin aceea că la activarea neuronului presinaptic fiecare sinapsă a sa transmite un stimul de natură electrică spre intrarea neuronului postsinaptic conectat, iar neuronul postsinaptic semnalizează activarea sa tuturor neuronilor presinaptici conectați cu acesta.
7. Procedeu de antrenare a rețelei neuronale în vederea recunoașterii sunetelor caracterizat prin aceea că pentru potențarea sinapselor stimulate la recepția sunetelor se activează concomitent cu stimulii subliminari generați de formații sunetelor un stimul supraliminar sub forma unui tren de impulsuri ce produce activarea căii neuronale ce se dorește a semnaliza detecția sunetului.
8. Procedeu de control al formării configurației sinaptice a unei rețele de neuroni generatori de impulsuri caracterizat de faptul că pentru formarea unei căi neuronale neantrenate (ce conține sinapse nepotențate) se activează concomitent o cale neuronală antrenată (ce conține sinapse a căror activitate produce potențialul de acțiune a neuronilor stimulați) convergentă spre aceeași neuroni postsinaptici finali, crescându-se astfel rata de învățare a sinapselor nepotențate datorită mecanismelor specifice potențării pe termen lung.
9. Mecanismul de potențare a sinapselor prin a căror activitate se semnalizează ordinea de recepție a două sunete caracterizat prin aceea că primul sunet generează stimuli

subliminari spre neuronii activați de sunetul următor, îndeplinindu-se în acest mod condițiile de creștere temporară a ponderilor sinapselor activate de primul sunet și fixare a acestora la valorile curente în timpul celui de-al doilea.

10. Procedeu de antrenare a rețelei neuronale în vederea recunoașterii de cuvinte caracterizat prin aceea că pentru creșterea puterii de stimulare a neuronilor ce semnalizează detecția cuvântului se folosesc sinapse potențate ca urmare a succesiunii la intervale scurte de timp a sunetelor ce formează cuvântul.
11. Procedeu de selecție a ieșirii rețelei neuronale ce se dorește a semnaliza detecția cuvântului caracterizat prin faptul că pentru formarea căii neuronale dintre sinapsele cu activitate subliminară ce semnalizează prezența la intrarea rețelei a succesiunii de sunete specifice cuvântului și ieșirea ce se dorește a semnaliza detecția cuvântului, se activează concomitent cu rostirea cuvântului un tren de stimuli supraliminari ce activează acea ieșire.

DESENE

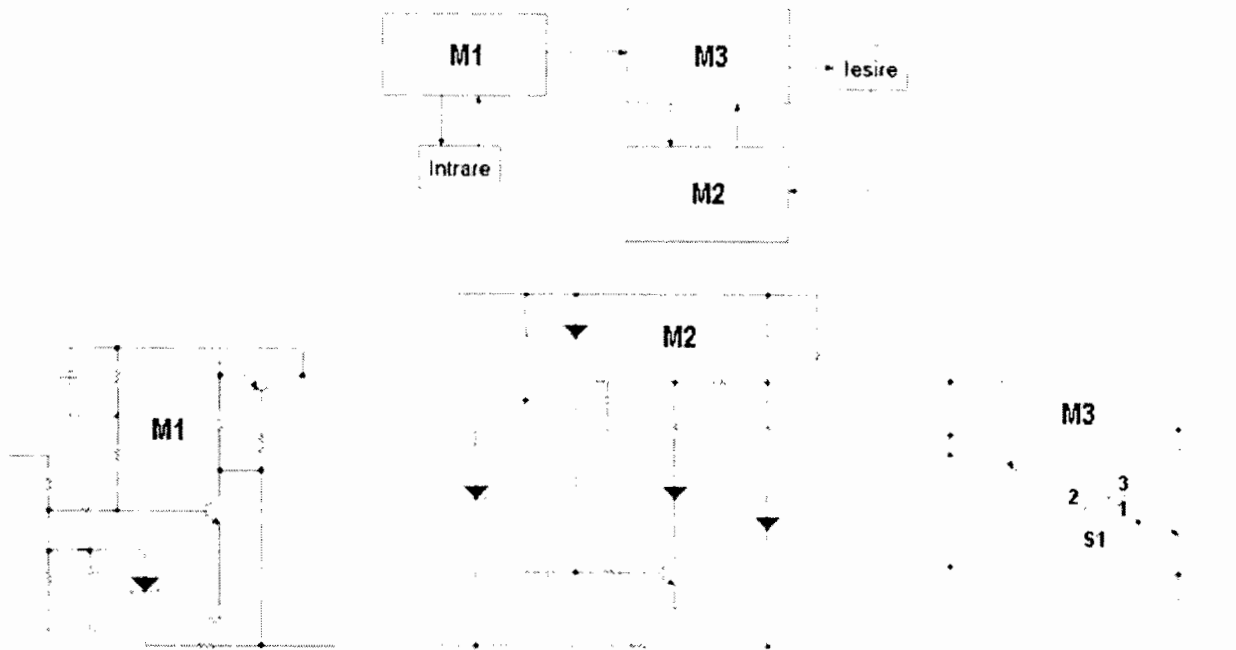


Figura 1

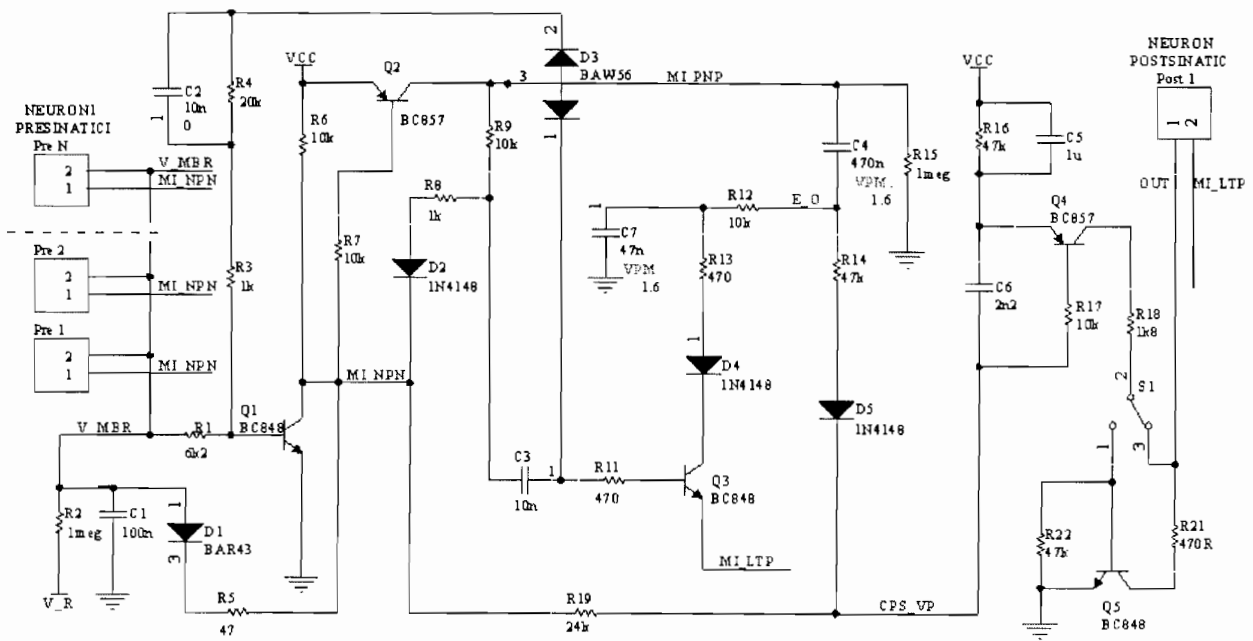


Figura 2

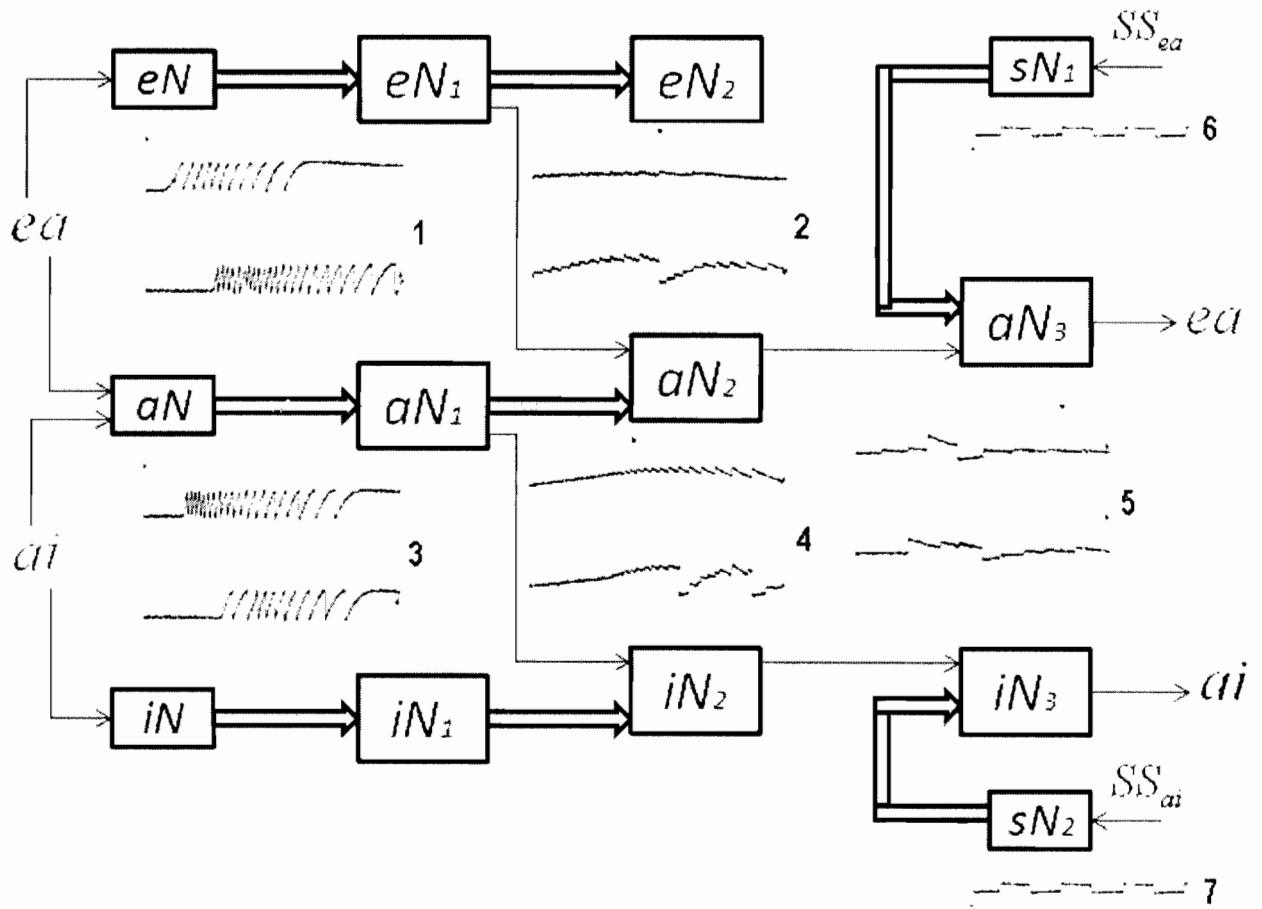


Figura 3