



Facultatea de Electronică,
Telecomunicații și
Tehnologia Informației

SISTEME INTELIGENTE DE SUPORT DECIZIONAL

Ș.l.dr.ing. Laura-Nicoleta IVANCIU

Curs 6 – Rețele Neuronale Artificiale

Cuprins

- Principii
- Bazele biologice
- Arhitectura RNA
- Instruire
- Tipuri de probleme rezolvabile cu RNA

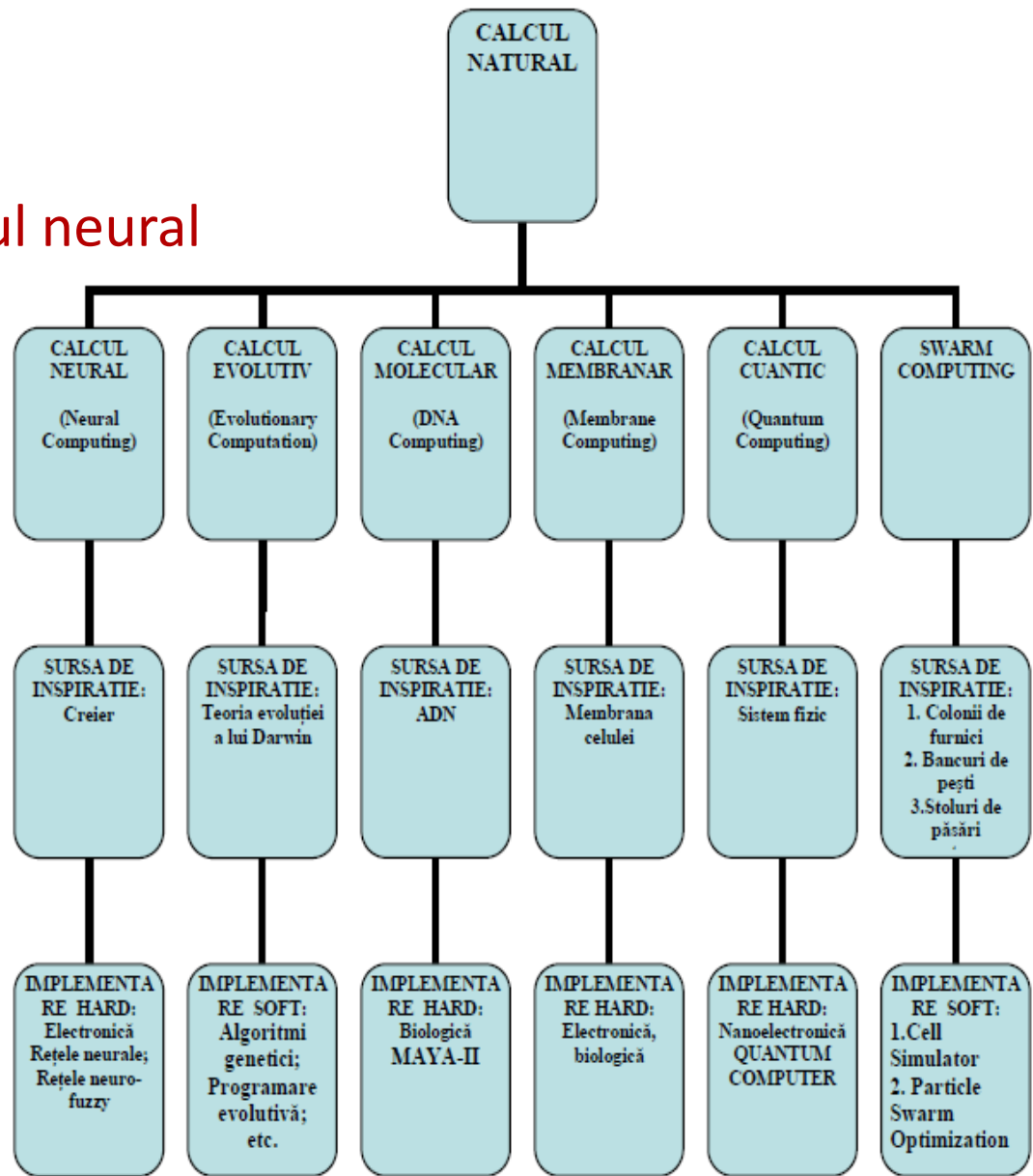
Principiile RNA

- Ce înseamnă Calcul Natural și Calcul Neural?
- Ce înseamnă RNA?
- Care sunt componentele care determină o rețea neuronală?

Calcul neural (neuronal)

RN = suport hard pentru calcul neural

- rezolvarea problemelor de asociere
- se bazează pe extragerea unui model pe bază de exemple
- învățare pe bază de suficient de multe exemple



Alte definiții

RNA = calculator **distribuit, masiv paralel**, care achiziționează **noi cunoștințe** pe baza experienței **anterioare** și le face disponibile pentru utilizarea **ulterioară** (S.Haykin, 1994)

Asemănarea cu creierul uman

- cunoștințele sunt achiziționate de rețeaua neurală printr-un proces de **învățare**
- cunoștințele sunt depozitate în **conexiunile inter-neuronale** (ponderi sinaptice)

RNA este complet determinată prin:

- tipul unităților funcționale (elemente de procesare numite neuroni)
- arhitectură (amplasare unități funcționale)
- algoritm de funcționare (transformare semnal intrare în semnal ieșire)
- algoritm de învățare (cum achiziționează rețeaua noi cunoștințe pe bază de exemple)

Denumiri alternative pentru RNA

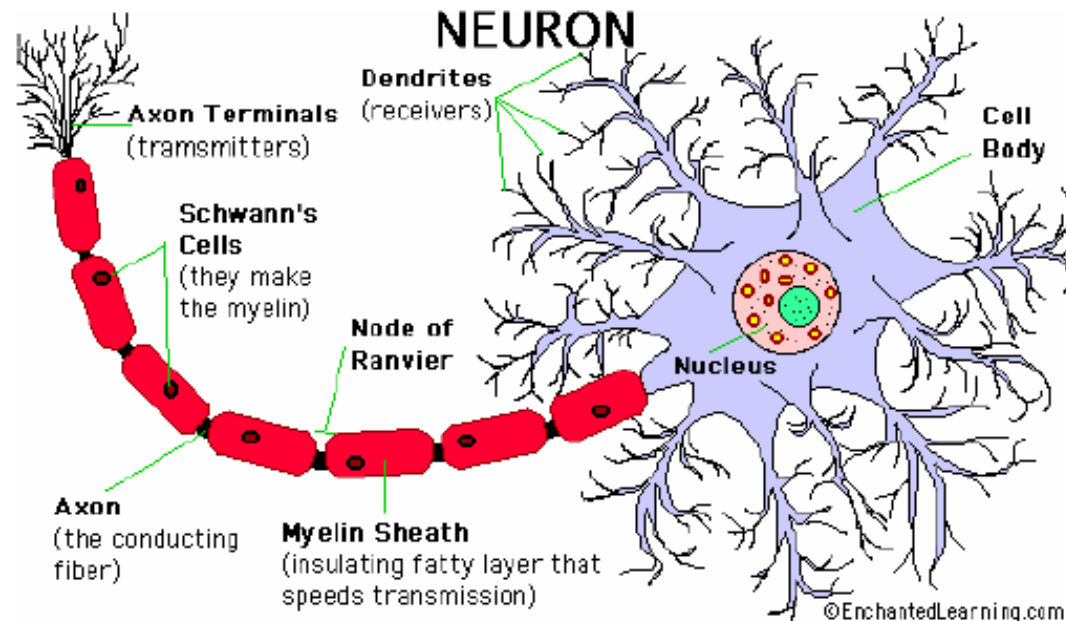
- neurocalcul
- conexionism
- procesare paralelă distribuită
- sisteme adaptive
- rețele cu auto-organizare

Bazele biologice ale RNA

- Cum arată un neuron natural?
- Cum arată un neuron artificial?
- Ce sunt funcțiile de activare?

Neuronul natural

- unitate morfo-funcțională a sistemului nervos



~100 mld. neuroni în creier și măduva spinării

1000-10.000 sinapse/neuron

NU se regenerează (sau?...)

Tipuri de neuroni naturali

- senzoriali (bipolari) (0.9%)

receptori -> SNC

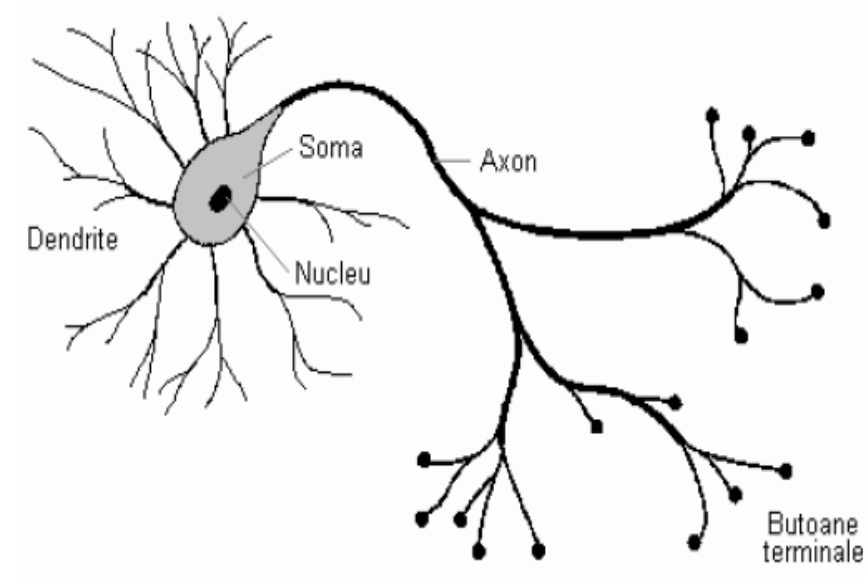
- moto-neuron (multipolari) (9%)

SNC -> mușchi, glande

- inter-neuroni (pseudopolari)

-> măduva spinării

-> piele, mușchi

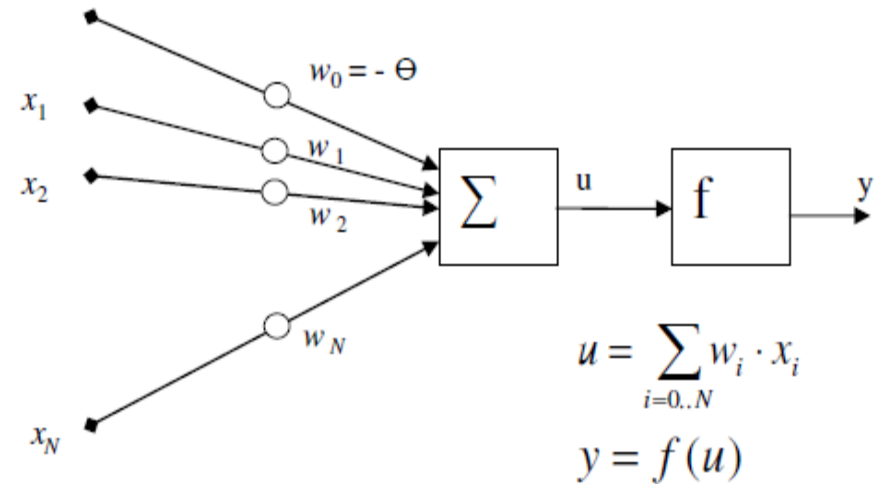
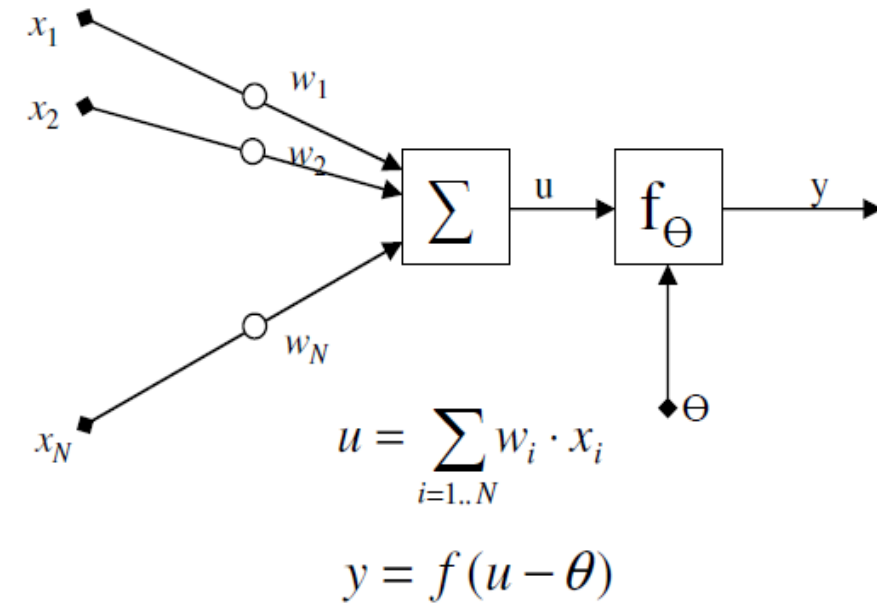


$$\Phi = 4 \dots 100 \mu\text{m}$$

Neuronul artificial

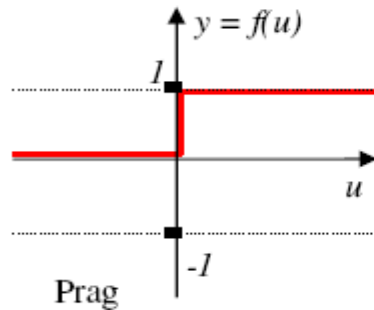
Modelul de bază McCulloch-Pitts (1943)

Modelul derivat

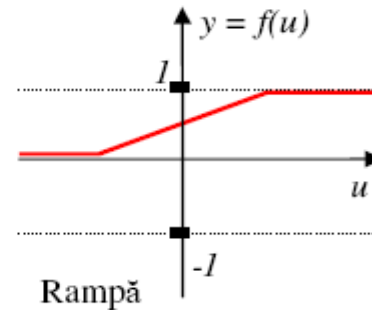


w – ponderi sinaptice
 f – funcție de integrare/agregare/activare
 Θ – bias (polarizare)

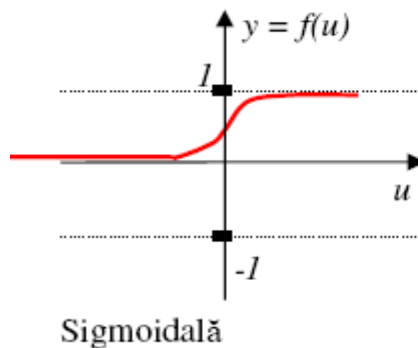
Funcții de activare



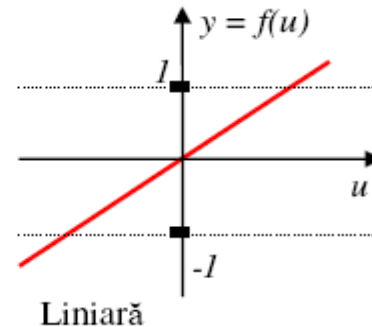
$$f(u) = \begin{cases} 0, & u \leq 0 \\ 1, & u > 0 \end{cases}$$



$$f(u) = \begin{cases} 0, & u \leq 0 \\ u/k, & 0 < u \leq k \\ 1, & k < u \end{cases}$$



$$f(u) = \frac{1}{1 + e^{-ku}}$$

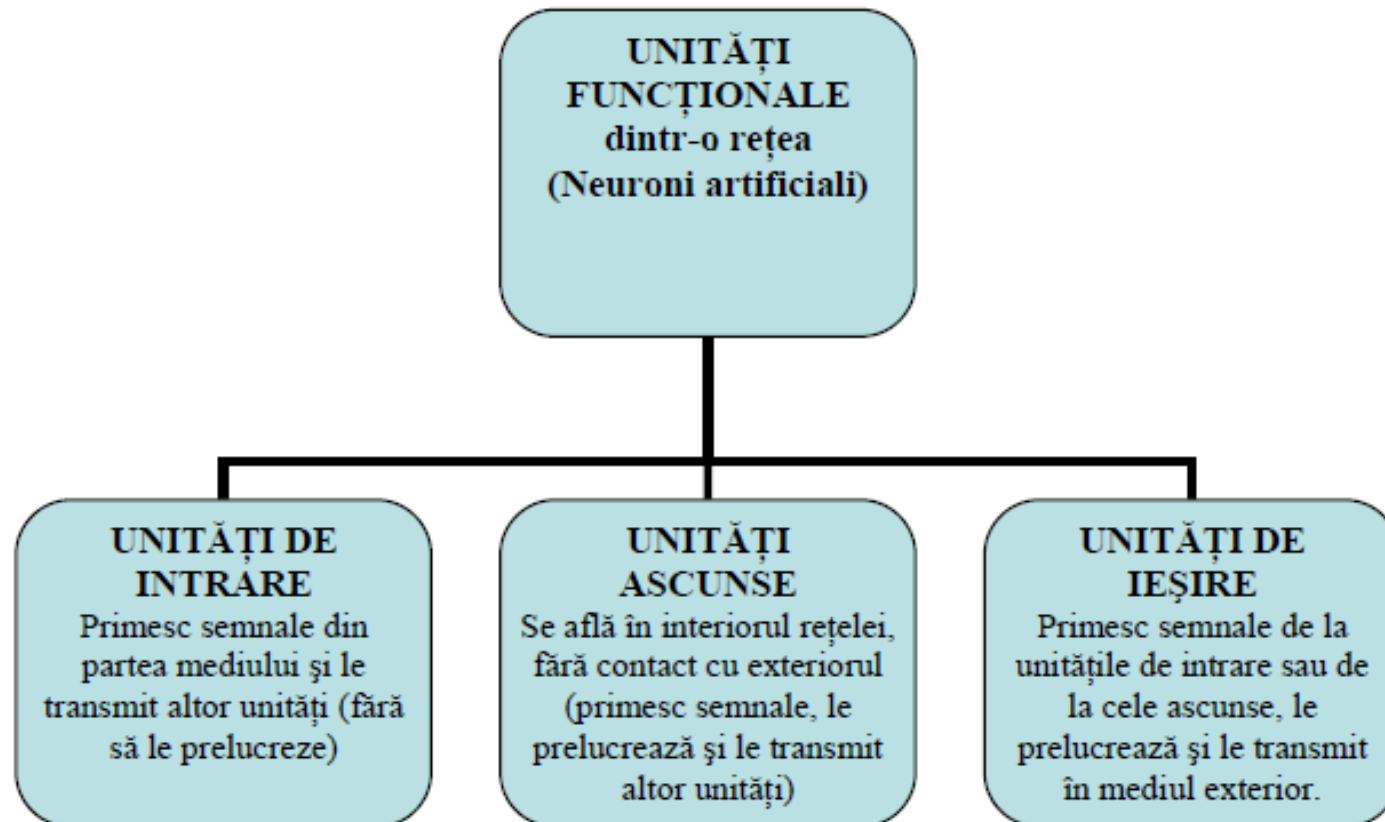


$$f(u) = ku$$

Arhitectura RNA

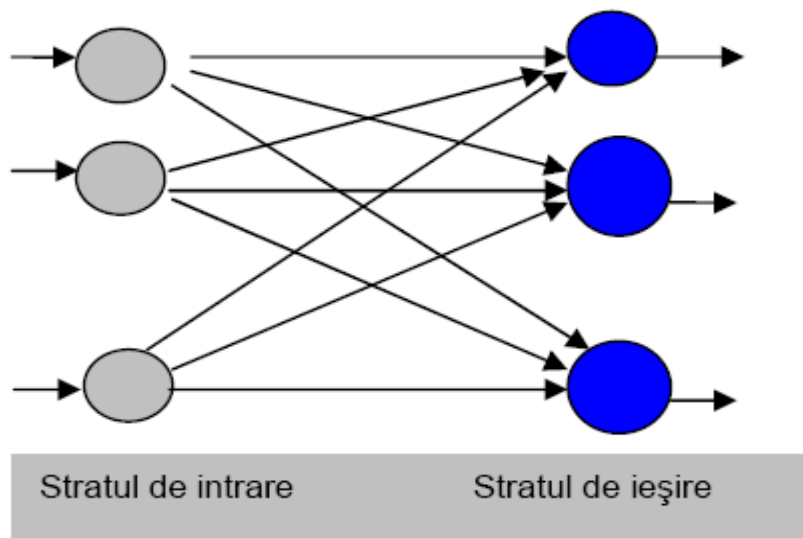
- Care sunt unitățile funcționale ale RNA?
- Ce tipuri de RNA există?
- Ce caracteristici împrumută RNA de la creier?

Unități funcționale ale RNA



Arhitectura RNA

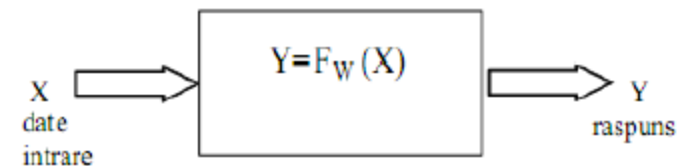
➤ rețele feed-forward (unidirecționale)



unistrat

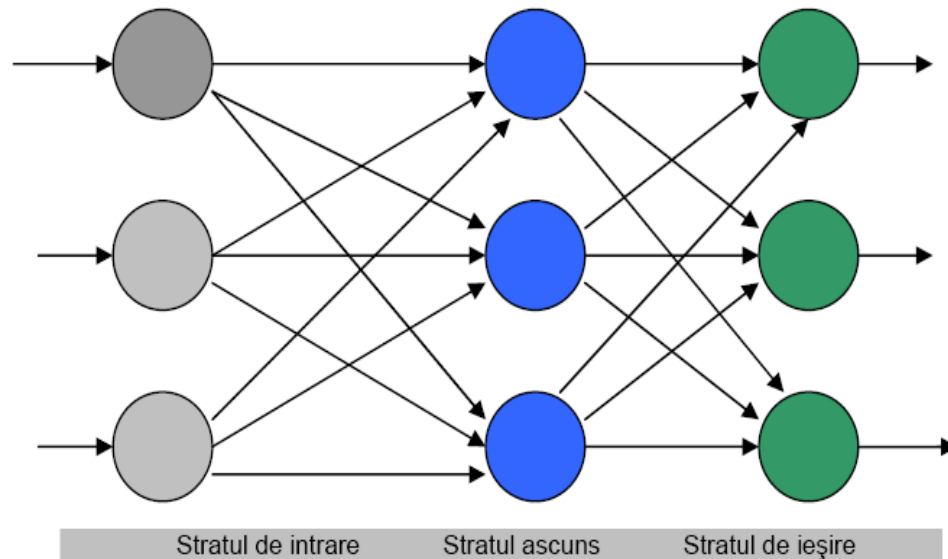
$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_N \end{bmatrix} \quad W = \begin{bmatrix} w_{11} \dots w_{1M} \\ w_{21} \\ \dots \\ w_{N1} \dots w_{NM} \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_M \end{bmatrix}$$

$$Y = f(W^T \cdot X + B)$$



Arhitectura RNA

➤ rețele feed-forward (unidirecționale)

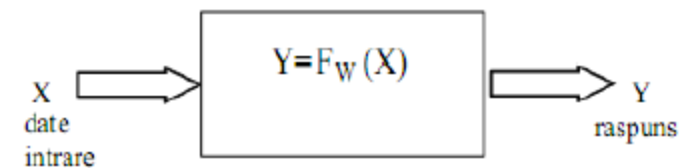


multistrat

- mai lente decât cele unistrat
- pot implementa funcții mai complexe

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_N \end{bmatrix} \quad W = \begin{bmatrix} w_{11} \dots w_{1M} \\ w_{21} \\ \dots \\ w_{N1} \dots w_{NM} \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_M \end{bmatrix}$$

$$Y = f(W^T \cdot X + B)$$

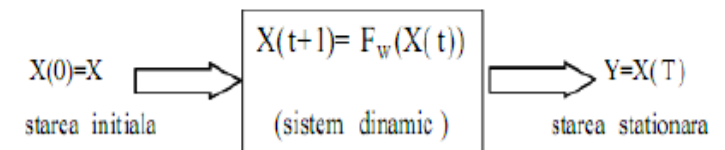
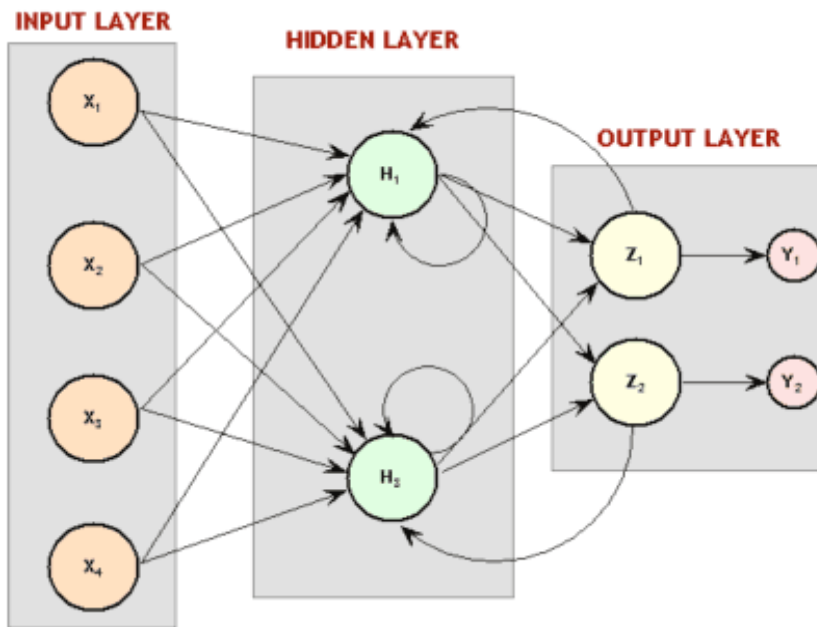


Arhitectura RNA

➤ rețele feed-back (bidirecționale/recurente)

cele mai complexe
dinamice

pentru fiecare stare de intrare, se caută starea de echilibru



➤ rețele laticiale – se folosesc la Self Organizing Maps (SOM)

Caracteristici ale RNA "împrumutate" de la creier

➤ capacitatea de a învăța

învățare din exemple

ajustarea ponderilor pe baza unor modele

antrenare cu seturi mari de date

➤ capacitatea de a generaliza

pot da răspunsuri corecte pentru intrări ușor diferite de cele cu care au fost antrenate

➤ capacitatea de a sintetiza

pot da răspunsuri corecte pentru intrări afectate de zgomot/imprecise/parțiale

Instruirea RNA

- Ce înseamnă instruirea RNA?
- Care sunt tehnicile de instruire ale RNA?
- Ce înseamnă și care sunt regulile și algoritmi de instruire?
- Prin ce se caracterizează fiecare regulă/algoritm de instruire?

Instruirea RNA = procesul adaptării ponderilor, printr-o stimulare din partea unui expert sau a mediului, sau nesupervizat, prin analiza statistică a vectorilor de intrare

Algoritm de instruire = modul în care se modifică ponderile

$$w_{kj}(n+1) = w_{kj}(n) + \Delta w_{kj}(n)$$

unde: k – neuron de la care “pleacă” ponderea,
j – neuron spre care “vine” ponderea,
n – momentul de timp

$\Delta w_{kj}(n)$ - algoritm de instruire

Tehnici de instruire

După modul în care se face instruirea

➤ supervizată

Set de instruire = perechi (intrare, ieșire dorită)

Epocă de instruire = prezentarea întregului set de instruire

➤ cu întărire

online

semnal de întărire extern (poate fi binar)

➤ nesupervizată

online/offline

cea mai rapidă

clasificarea statistică a intrărilor (distanță euclidiană)

Reguli și algoritmi de instruire

Regulă de instruire = formulă matematică care specifică cum se modifică parametrii RNA, pentru a atinge obiectivul dorit

- regula de corecție a erorii
- regula hebbiană
- regula de instruire competitivă
- regula de tip Boltzmann

Algoritm de instruire = proces iterativ bazat pe o regulă de instruire

Etape:

1. inițializare ponderi
2. calcul ieșire neuroni
3. calcul cantitate Δw cu care se modifică fiecare pondere
4. modificare ponderi
5. salt la etapa 2 – recalcularea ieșirilor neuronilor

Instruire prin minimizarea erorii

unde:

n este momentul de timp,

M este numărul de neuroni pe stratul de ieșire,

k este indicele neuronului de pe strat

$e_k(n)$ este eroarea neuronului k la momentul n .

$$E(n) = \frac{1}{M} \sum_{k=1..M} e_k^2(n)$$

Pentru neuronul k , eroarea la momentul n se calculează după formula:

$$e_k(n) = d_k(n) - y_k(n)$$

unde:

$d_k(n)$ este ieșirea dorită pentru neuronul k , la momentul n

$y_k(n)$ este ieșirea neuronului k calculată de către rețeaua neuronală, la momentul n .

Instruire bazată pe gradient

Regula de instruire

$$\Delta w_k(n) = -\eta \nabla E(n) = -\eta \frac{\partial E(n)}{\partial w_k(n)}$$

η – pas de instruire, subunitar

Regula Widrow-Hoff (regula Delta)

$$\Delta w_k(n) = -\eta * x_k * e_k$$

Algoritmul de gradient

1. inițializare ponderi w_{kj} și bias cu valori mici, subunitare
2. calcul ieșire neuroni
3. calcul eroare e_k
4. calcul cantitate Δw_{kj} cu care se modifică fiecare pondere
5. modificare ponderi $w_{kj}(n+1) = w_{kj}(n) + \Delta w_{kj}(n)$
6. salt la etapa 2 – recalcularea ieșirilor neuronilor $n := n + 1$

Tipuri de probleme rezolvabile cu RNA

- Ce tipuri de probleme se pot rezolva cu RNA?
- Care sunt avantajele RNA?
- Care sunt dezavantajele RNA?

Tipuri de probleme rezolvabile cu RNA

➤ clasificare

gruparea vectorilor de intrare în clase
domeniu de ieșire discret

Ex: recunoașterea formelor, operații de telecom (decodare, demodulare, regenerare semnale), decizie

➤ aproximare de funcții

interpolare perechi intrare-ieșire
domeniu de ieșire continuu

Ex: modelarea directă/inversă a unui sistem necunoscut, predicție

➤ optimizare

găsirea punctului de minim/maxim al unei funcții
set de ponderi pentru care diferența dintre ieșirea dorită și ieșirea rețelei este minimă, în sens statistic

Ex: problema comis-voiajorului

Avantaje ale RNA

- instrumente robuste de calcul
- capabile de generalizare
- pot modela funcții liniare/nelineare
- realizează mapare intrări/ieșiri fără a beneficia de un model cunoscut apriori (free estimation, blind processing)
- adaptabile online/offline
- toleranță la erori/date imprecise
- pot rezolva sarcini complexe

Dezavantaje ale RNA

- problema scalabilității
numărul mare de conexiuni reduce viteza de procesare; se preferă implementare hardware
- abordare de tip *black-box*
nu pot explica rezultatul furnizat
- instrumente sub-optimale
- pentru rețelele recurente nu s-a demonstrat stabilitatea

- Principii ✓
- Bazele biologice ale RNA ✓
- Arhitectura RNA ✓
- Instruire ✓
- Tipuri de probleme rezolvabile cu RNA ✓

În episodul următor: **SISD bazate pe RNA.**