

# Comportamiento de redes neuronales interactivas usadas como memorias asociativas

J. A. HORAS Y C. P. MANKOC

INSTITUTO DE MATEMÁTICA APLICADA SAN LUIS- DEPARTAMENTO DE FÍSICA,  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS Y NATURALES, UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS.  
EJERCITO DE LOS ANDES 950, (5700) SAN LUIS - ARGENTINA  
e-mail: jhoras@unsl.edu.ar

Analizamos las principales características como memoria asociativa de Redes Neuronales que interactúan entre si formando un sistema. Las sub-redes son de tipo Hopfield. Las intensidades sinápticas de las coexiones que pertenecen a cada una de las sub-redes o las que conectan a ambas son establecidas por la regla de Hebb. Se estudia la performance de recuperación para este particular sistema interactuante, determinando la influencia de la conectividad tanto inter como intra sub-red y la correlación de los patrones a recuperar. Se estudia la aplicación e influencia de un procedimiento de desaprendizaje que modifica la intensidad de las conexiones sinápticas en las diversas partes del sistema.

We analyze the main characteristics of associative memories neural networks that interact among them making a system. The sub-nets are of Hopfield type. The synaptic intensities of the connections that belongs to each of the sub-nets or those that connect both are established by the Hebb's rule. The recovery performance is studied for this particular interacting system, determining the influence of the connectivity inter and intra sub-net and the correlation of the patterns to recover. It is studied the application and influence of an unlearning procedure that modifies the intensity of the synaptic connection in the diverse parts of the system.

## INTRODUCCION:

Existe clara evidencia de que la información asociada a un evento es grabada en *diferentes áreas* en el cortex y que la memoria de tal evento puede ser globalmente recuperada a partir de la información en alguna de aquellas áreas, dependiendo de la conectividad entre las mismas. A partir de esto es razonable asumir que los modelos de redes neuronales estarán constituidas de regiones interactuantes con distinta conectividad entre ellas mas que como un sistema unico con conectividad homogénea tal cual se considera usualmente. [1]

De acuerdo a lo anterior en la **figura 1** mostramos esquemáticamente la red global a analizar conformada por:

Red total = Subred A  
+ Subred B  
+ Conexiones AB

En dicha red un patrón global se graba en la red total y está formado por dos subpatrones grabados a su vez en cada una de las sub-redes.

Los objetivos de este trabajo son:

- Analizar la confiabilidad de recuperación de patrones globales de especiales características.
- Estudiar los efectos de variar la conectividad entre ambas subredes.
- Analizar si la recuperación de un subpatrón induce la recuperación del otro

La aplicación de un *proceso de desaprendizaje* [2] permite grabar patrones correlacionados (en nuestro caso letras) y no correlacionados (cadenas de números). Se lo usa sobre las conexiones sinápticas de cada subred y en

las conexiones entre ellas y ello nos permite concluir sobre su *influencia* en las distintas áreas de la red total y en la performance de recuperación.

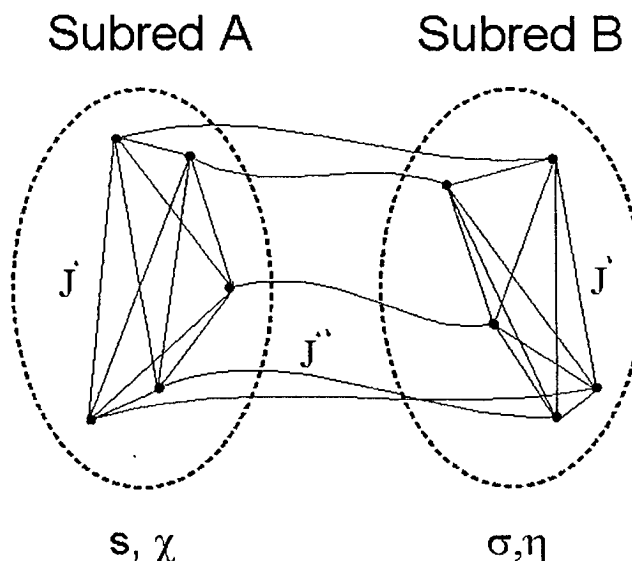


Figura 1

## MODELO

La red total consiste de neurodos dispuestos en las subredes A y B. Las subredes son tratadas como redes tipo Hopfield [3].

Cada neurodo está conectado con todos los otros de la misma subred y las conexiones sinápticas entre las subredes se eliminan o podan al azar, variando desde

todos los nodos de una subred con todos los de la otra (dilución cero) hasta totalmente desconectadas (dilución 100%).

Los acoplamientos sinápticos se determinan siguiendo la regla de Hebb según

$$J_{ij}^a = \frac{1}{N/2} \sum_{\mu=1}^p \chi_i^\mu \chi_j^\mu \quad (i \neq j) \quad (1)$$

$$J_{ij}^b = \frac{1}{N/2} \sum_{\mu=1}^p \eta_i^\mu \eta_j^\mu \quad (i \neq j) \quad (2)$$

$$J_{ij}^{ab} = \frac{J_0}{N/2} \sum_{\mu=1}^p \chi_i^\mu \eta_j^\mu \quad (3)$$

donde el supraíndice, cuando aparezca, identifica la región en que se opera.

La dinámica del sistema está descrita por:

$$s_i(t+1) = \text{sgn}(h_i^a(t)) \quad (4)$$

$$\sigma_i(t+1) = \text{sgn}(h_i^b(t)) \quad (5)$$

donde la actualización es asincrónica. Los campos locales  $h_i^a(t)$  ó  $h_i^b(t)$  están dados por

$$h_i^a = \sum_{j=1}^{N/2} J_{ij}^a s_j(t) + \sum_{j=1}^{N/2} C_{ij} J_{ij}^{ab} \sigma_j(t) \quad (6)$$

$$h_i^b = \sum_{j=1}^{N/2} J_{ij}^b \sigma_j(t) + \sum_{j=1}^{N/2} C_{ij} J_{ij}^{ab} s_j(t) \quad (7)$$

Donde  $C_{ij}$  es uno o cero aleatoriamente, determinando la existencia o no de cada interconexión.

El modelo se completa con un proceso de desaprendizaje, de acuerdo a lo siguiente:

1) Inicialización al azar (random shooting).

2) Relajación: el sistema debe relajar a una configuración estacionaria (X) puesto que las conexiones son simétricas.

3) Desaprendizaje: las conexiones son actualizadas según

$$J_{ij}^z \rightarrow J_{ij}^z - \frac{\epsilon}{N} X_i X_j \quad (8)$$

$z = \{a, b, ab\}$ ,  $\epsilon = 0,01$

El número óptimo de pasos de desaprendizaje puede obtenerse de [2]:

$$D_{op} = \epsilon^{-1} \left( \frac{c_1}{N} + c_2 \right) p \quad (9)$$

donde  $c_1 = 22 \pm 10$  y  $c_2 = 0,56 \pm 0,08$ .

## SIMULACIONES

Los patrones globales son 10, estando formados de una letra (ACEIKMRWXXZ) mas una cadena de números +1 y -1, generados independientemente y tomados al azar. Los subpatrones se graban en cada subred (subred A<sub>string</sub> y

subred B<sub>letras</sub>). La red global consiste de 512 nodos (256 en cada subred).

A fin de contar con alguna medida de similitud se determina el overlap de recuperación. En nuestro caso para cada subred está dado por:

$$m_s^\mu = \frac{1}{N/2} \left\langle \sum_{i=1}^{N/2} \chi_i^\mu s_i(t \rightarrow \infty) \right\rangle \quad (10a)$$

$$m_L^\mu = \frac{1}{N/2} \left\langle \sum_{i=1}^{N/2} \eta_i^\mu \sigma_i(t \rightarrow \infty) \right\rangle \quad (10b)$$

y para la red global es

$$m = \left( \frac{m_s + m_L}{2} \right) \quad (10c)$$

El corchete denota promedios sobre condiciones iniciales y sobre distintas redes. La estadística utilizada en cada gráfica es al menos de 20 redes, cantidad que asegura la repetitividad de los resultados.

Interesa centralmente determinar:

- 1) Confiabilidad de la grabación y recuperación de los patrones globales.
- 2) Características de la cuenca de atracción correspondientes a cada patrón global.

## RESULTADOS

### 1-Confiabilidad de la grabación y recuperación

En la figura 2 se grafica el overlap final de recuperación, tanto para la letra ( $m_L$ ) como para el string ( $m_s$ ). Inicializando cada subred desde el subpatrón correspondiente. Se muestran los resultados obtenidos variando la intensidad ( $J_0$ ) de las interconexiones entre redes. El proceso de desaprendizaje se aplica a: la red global, solo a la subred B (letras) y a la subred B mas las interconexiones AB, mostrando que la influencia del desaprendizaje es crítica en las interconexiones AB.

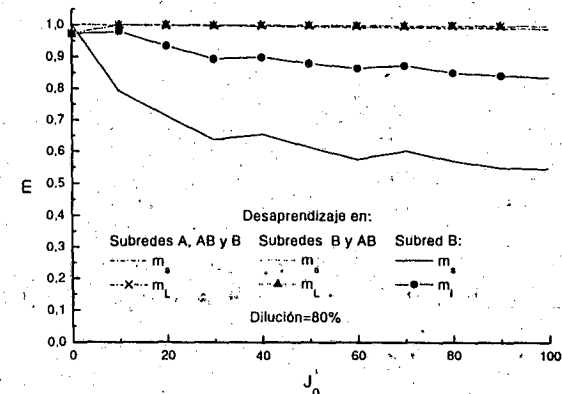


Figura 2: Overlap final de recuperación en función de la intensidad de las interconexiones ( $J_0$ ) para desaprendizaje en diversas zonas