

Anexo Redes Neuronales

Félix Monasterio-Huelin y Álvaro Gutiérrez

8 de abril de 2016

Índice

Índice	1
Índice de figuras	1
1. El entorno del robot	2
2. Neurona y funciones de activación	2
2.1. Vector de pesos ampliado	3
2.2. Normalización de pesos	3
3. Matriz de adyacencia de la red neuronal	3
4. Entradas sensoriales	4
5. Simulación de una red neuronal por capas: fichero de configuración y fichero de datos	5
6. Situación de inactividad sensorial	5
7. Comportamiento de navegación y de evitación de obstáculos	6
7.1. Ejemplo de arquitectura de dos capas	6
7.2. Ejemplo de arquitectura de tres capas. Una de ellas asociativa. . .	8

Índice de figuras

1. Neurona	2
2. Arquitectura Neuronal de tres capas	4
3. Red Neuronal con el mínimo número de capas: sensorial y motora	7
4. Con capa asociativa	9

1. El entorno del robot

La Arena o Entorno del robot está programado en:

```
experiments/testneuronexp.cpp
```

2. Neurona y funciones de activación

En la Figura 1 se muestra el esquema de una neurona cuyas ecuaciones describimos a continuación. En la Figura no se especifica la capa a la que pertenece la neurona.

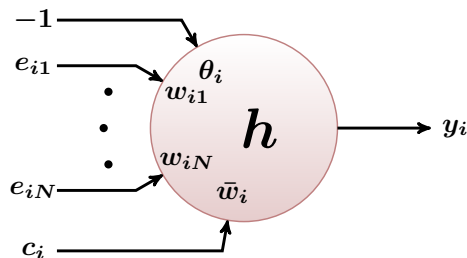


Figura 1: Neurona

El estado de la neurona i -ésima de la capa m -ésima tiene la forma:

$$x_i^m = \bar{w}_i^m c_i^m + \sum_{j=1}^{N_m} w_{ij}^m e_{ij}^m = \bar{w}_i^m c_i^m + \sum_{j=1}^{N_m} w_{ij}^m y_j^{m'} \quad (2.1)$$

donde $y_j^{m'}$ representa la salida de la capa m' -ésima, que coincide con la entrada e_{ij}^m .

Si los pesos toman valores en $[0, 1]$ entonces $\bar{w}_i^m = 1$.

El potencial de acción es

$$v_i^m = x_i^m - \theta_i^m \quad (2.2)$$

donde θ_i^m es el sesgo o umbral de la neurona.

La salida es:

$$y_i^m = h_m(v_i^m) \quad (2.3)$$

donde h_m es la función de activación asociada a cada una de las neuronas de la capa m -ésima.

Las funciones de activación están programadas en:

2.1. Vector de pesos ampliado

Vector de pesos ampliado de la neurona i -ésima de la capa m -ésima:

$$w_{im}^* = (w_{i0}^m w_{i1}^m w_{i2}^m \dots w_{iN_m}^m) \quad (2.4)$$

donde $w_{i0}^m = \theta_i^m$ es el sesgo o umbral.

2.2. Normalización de pesos

Los componentes del vector de pesos ampliado se normalizan linealmente a los valores extremos $[w_{min}, w_{max}]$ definidos en el fichero de configuración a partir de los valores definidos en el fichero de datos que deben ser números en $[0, 1]$:

$$w = (w_{max} - w_{min})w_{datos} + w_{min} \quad (2.5)$$

donde $w_{datos} \in [0, 1]$ es el peso que figura en el fichero de datos, y w es el peso normalizado que utilizará la red neuronal.

También se normaliza el peso \bar{w}_i^m asociado a la entrada sensorial a partir del valor unidad. Este peso no forma parte del vector de pesos ampliado.

El peso de cada neurona de las capas sensoriales es siempre la unidad y nunca se normaliza. Siempre llevan asociada la función de activación identidad.

Tampoco se normalizan los pesos cuando la función de activación es la definida como lineal. Esta función de activación es conveniente utilizarla solamente para las neuronas de la capa motora.

3. Matriz de adyacencia de la red neuronal

La conexión direccional entre capas (de la salida de una capa a la entrada de otra capa) se define en el fichero de configuración a través de una matriz de adyacencia.

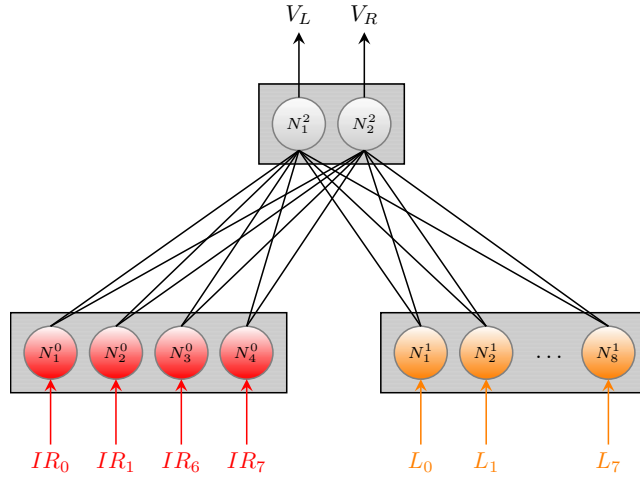


Figura 2: Arquitectura Neuronal de tres capas

Por ejemplo la arquitectura de tres capas (dos sensoriales y una motora) de la Figura 2 tiene la siguiente matriz de adyacencia:

$$M = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (3.1)$$

Las capas “0” y “1” se conectan a la capa “2”. La capa “2” no se conecta a ninguna capa.

4. Entradas sensoriales

En el fichero de configuración deben ponerse activos todos los sensores del mismo tipo disponibles que vayan a ser utilizados por la red neuronal. Como consecuencia, e independientemente del valor de los pesos, el número total de pesos debe contabilizarse de acuerdo con esta limitación.

Si la sintonización de la red neuronal se realiza manualmente es posible asignar valores nulos a algunos pesos en el fichero de datos, por lo que el efecto sería equivalente a que los sensores correspondientes no estén activos. En la Sección 7 se analizan dos arquitecturas neuronales sintonizadas manualmente.

Ambas redes neuronales utilizan los sensores de proximidad, y solo una de ellas utiliza también los sensores de contacto.

Los **sensores de proximidad** satisfacen la ecuación de actividad siguiente:

$$IR = \begin{cases} 1 - \frac{d}{28}, & 3,5 \leq d \leq 28 \\ 0, & d > 28 \end{cases} \quad (4.1)$$

donde el parámetro d representa la distancia a un obstáculo medido en cm . Esta distancia se calcula como la distancia al centro del robot del punto de intersección con el obstáculo más próximo de la recta que pasa por el centro del robot y por el sensor correspondiente. El radio del robot es de $3,5cm$.

Los **sensores de contacto** satisfacen la ecuación de actividad siguiente:

$$CT = \begin{cases} 1, & 3,5 \leq d \leq 5 \\ 0, & d > 5 \end{cases} \quad (4.2)$$

5. Simulación de una red neuronal por capas: fichero de configuración y fichero de datos

```
./irsim -E 21 -p paramFiles/neuronExamples/neuronExperiments/confNeuron
-c paramFiles/neuronExamples/neuronExperiments/datNeuron
```

Los ficheros “confNeuron” y “datNeuron” son ficheros particulares de configuración y de datos respectivamente.

El fichero de datos consta de un número, que representa el número total de pesos, seguido de una secuencia de los componentes de los vectores de pesos ampliados ordenados según la numeración de las capas.

El número total de pesos es:

$$L = \sum_{m=1}^N (N_m + 1)n_m \quad (5.1)$$

donde N es el número de capas, N_m el número de entradas de la capa m -ésima y n_m el número de neuronas (y por lo tanto salidas) de la capa m -ésima.

Los componentes del vector de pesos ampliado del fichero de datos debe tener valores en $[0, 1]$.

6. Situación de inactividad sensorial

Denominamos situación de inactividad sensorial cuando las entradas sensoriales exteroceptivas toman el valor nulo. De aquí que el estado de cada neurona en esta situación sea:

$$x_i^m = \sum_{j=1}^{N_m} w_{ij}^m y_j^{m'} \quad (6.1)$$

y el potencial de acción

$$v_i^m = x_i^m - w_{i0}^m \quad (6.2)$$

La salida de las capas sensoriales en esta situación será nula (salvo en el caso en que los sensores sean propioceptivos), por lo que las entradas de las capas a las que estén conectadas serán nulas, $y_j^{m'} = 0$. De aquí que el estado de las

neuronas de estas capas sea nula, por lo que el potencial de acción tomará el valor del sesgo o umbral con signo negativo.

Dada una red neuronal es posible saber qué salida tendrá la capa motora en la situación de inactividad sensorial.

Desde un punto de vista del diseño de la red neuronal la salida de la capa motora en esta situación debe considerarse una especificación de diseño. Esto supone normalmente, no solo la elección adecuada de las funciones activación asociadas a las neuronas de cada capa, sino también la resolución de un sistema de ecuaciones, en general no lineal.

7. Comportamiento de navegación y de evitación de obstáculos

En las dos subsecciones siguientes, 7.1 y 7.2 se detallan dos redes neuronales sintonizadas manualmente cuyo objetivo es dotar al robot de los comportamientos de navegación y de evitación de obstáculos.

Podrá comprobarse que con una elección adecuada de las funciones de activación, el funcionamiento de ambas redes neuronales es similar al de un vehículo de Braitenberg con conexión contralateral y polaridad negativa.

Veremos que los robots pueden tener un **comportamiento de evitación de obstáculos** siempre que las redes neuronales se sintonicen adecuadamente en la situación de actividad sensorial.

A su vez estos robots pueden tener un **comportamiento de navegación** si las redes neuronales se sintonizan adecuadamente en la situación de inactividad sensorial.

7.1. Ejemplo de arquitectura de dos capas

Supongamos que el bloque “NEURAL” del fichero de configuración contiene lo siguiente:

```
WEIGHT UPPER BOUND      = 1.0
WEIGHT LOWER BOUND      = 0.0
NUMBER OF LAYERS         = 2
SENSOR TO LAYER 0        = 2
SENSOR TO LAYER 1        = 0
ACTIVATION FUNCTION LAYER 0 = 0
ACTIVATION FUNCTION LAYER 1 = 3
NUMBER OF OUTPUTs LAYER 0 = 8
NUMBER OF OUTPUTs LAYER 1 = 2
RELATION LAYER 0         = 0 1
RELATION LAYER 1         = 0 0
```

Supongamos que el fichero de datos contiene los siguientes datos:

```

18
0.3 0 0 0 0 0 0 0.5 0.9
0.2 0.6 0.4 0 0 0 0 0 0

```

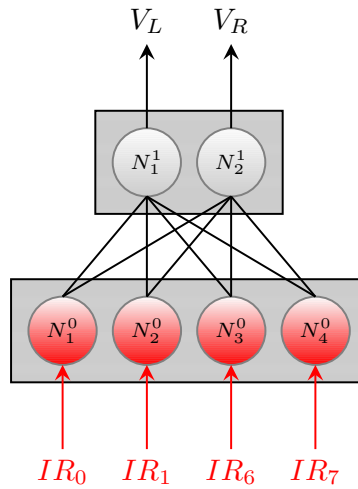


Figura 3: Red Neuronal con el mínimo número de capas: sensorial y motora

Este fichero de datos se corresponde con un caso particular de la arquitectura de la Figura 3 en el que las conexiones solo fuesen contralaterales. En este caso, puesto que los pesos de las neuronas toman valores en $[0, 1]$ y teniendo en cuenta que la función de activación de la capa sensorial es la identidad, el potencial de acción de las neuronas de la capa motora es

$$\begin{aligned} v_1^1 &= 0,5IR_6 + 0,9IR_7 - 0,3 \\ v_2^1 &= 0,6IR_0 + 0,4IR_1 - 0,2 \end{aligned} \quad (7.1)$$

Puesto que la función de activación de la capa motora es lineal, entonces su salida será

$$\begin{aligned} V_L &= sat(1 - v_1^1) \\ V_R &= sat(1 - v_2^1) \end{aligned} \quad (7.2)$$

donde sat es una función de saturación definida como

$$sat(x) = \begin{cases} x, & 0 \leq x \leq 1 \\ 1, & x > 1 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (7.3)$$

En la situación de inactividad sensorial, los potenciales de acción toman los valores

$$\begin{aligned} v_1^1 &= -0,3 \\ v_2^1 &= -0,2 \end{aligned} \quad (7.4)$$

por lo que la salida de la capa motora será

$$\begin{aligned} V_L &= 1 \\ V_R &= 1 \end{aligned} \tag{7.5}$$

Por lo tanto el robot se desplazará en línea recta y a su máxima velocidad.

7.2. Ejemplo de arquitectura de tres capas. Una de ellas asociativa.

Supongamos que el bloque “NEURAL” del fichero de configuración contiene lo siguiente:

```
WEIGHT UPPER BOUND      = 1.0
WEIGHT LOWER BOUND      = 0.0
NUMBER OF LAYERS         = 3
SENSOR TO LAYER 0       = 2
SENSOR TO LAYER 1       = 1
SENSOR TO LAYER 2       = 0
ACTIVATION FUNCTION LAYER 0 = 0
ACTIVATION FUNCTION LAYER 1 = 4
ACTIVATION FUNCTION LAYER 2 = 3
NUMBER OF OUTPUTs LAYER 0 = 8
NUMBER OF OUTPUTs LAYER 1 = 8
NUMBER OF OUTPUTs LAYER 2 = 2
RELATION LAYER 0        = 0 1 0
RELATION LAYER 1        = 0 0 1
RELATION LAYER 2        = 0 0 0
```

Supongamos que el fichero de datos contiene los siguientes datos:

```
90
0 1 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 0 0 0 0 0 0
0 0 0 1 0 0 0 0 0
0 0 0 0 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 1 0 0 0
0 0 0 0 0 0 1 0 0
0 0 0 0 0 0 0 1 0
0 0 0 0 0 0 0 0 1
0 0 0 0 0 0 0 0 1

0 0 0 0 0 0 0 0.5 0.9
0 0.6 0.4 0 0 0 0 0 0
```

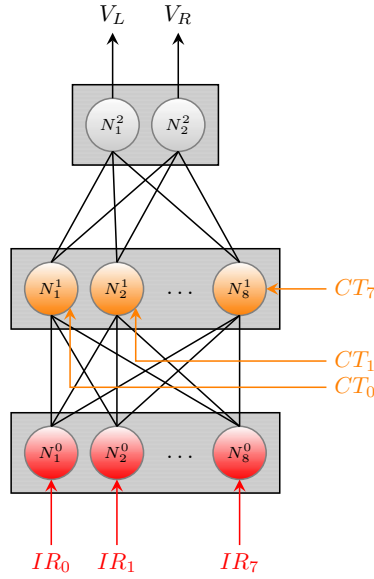



Figura 4: Con capa asociativa

Este fichero de datos se corresponde con un caso particular de la arquitectura de la Figura 4 en el que las conexiones entre la capa sensorial y la asociativa se realizan neurona a neurona, y las conexiones entre la capa asociativa y motora son contralaterales pero solo de las neuronas $\{1, 2, 7, 8\}$. En este caso, puesto que los pesos de las neuronas toman valores en $[0, 1]$ y teniendo en cuenta que la función de activación de la capa sensorial es la identidad, el potencial de acción de las neuronas de la capa asociativa es,

$$v_i^1 = IR_{i-1} + CT_{i-1}, \quad i = 1, 2, \dots, 8 \quad (7.6)$$

Supongamos que **se ha programado una función de activación identidad para la capa asociativa**, es decir $y_i^1 = v_i^1$.

Teniendo en cuenta las ecuaciones de actividad sensorial dadas por 4.1 y 4.2, el intervalo de valores que puede tomar la salida de cada neurona cuando el sensor de contacto correspondiente esté activo es $[1,821; 1,911]$. Cuando el sensor de contacto no está activo el intervalo de valores es $[0; 0,821]$.

El potencial de acción de la capa motora será,

$$\begin{aligned} v_1^2 &= 0,5v_7^1 + 0,9v_8^1 \\ v_2^2 &= 0,6v_1^1 + 0,4v_2^1 \end{aligned} \quad (7.7)$$

Puesto que la función de activación de la capa motora es lineal, entonces su salida será

$$\begin{aligned} V_L &= \text{sat}(1 - v_1^2) \\ V_R &= \text{sat}(1 - v_2^2) \end{aligned} \quad (7.8)$$

donde sat es una función de saturación definida como

$$sat(x) = \begin{cases} x, & 0 \leq x \leq 1 \\ 1, & x > 1 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (7.9)$$

En el caso de inactividad sensorial $v_i^1 = 0, \forall i$, por lo que la salida de la capa motora será,

$$\begin{aligned} V_L &= 1 \\ V_R &= 1 \end{aligned} \quad (7.10)$$

Por lo tanto el robot se desplazará en línea recta y a su máxima velocidad.