



INTRODUCCIÓN A LAS APLICACIONES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA INGENIERÍA

TEMA 6

Redes neuronales

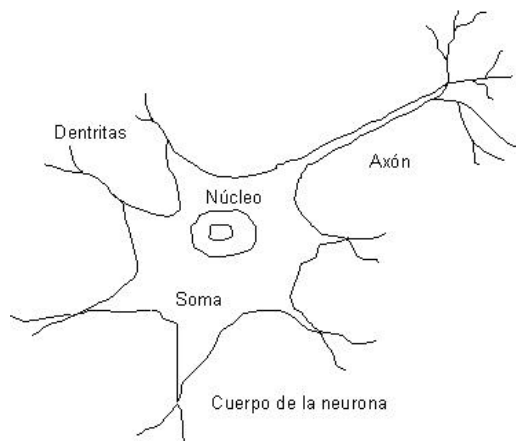
Índice

- Modelado de la actividad cerebral.
- Estructura de una neurona artificial.
- Estructura de red.
- El perceptrón.
- Redes de prealimentación con varios niveles.
- Aprendizaje por propagación posterior.
- Otras técnicas de aprendizaje.
- Aplicaciones de las redes neuronales.



Estructura básica de una neurona biológica

- Una neurona artificial trata de imitar el comportamiento de una neurona biológica.

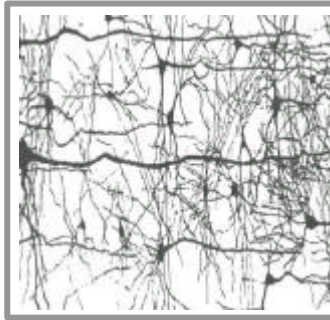


- Una neurona biológica tiene tres partes:
 - *Cuerpo de la neurona*
 - *Dendritas: lleva señales de entrada*
 - *Axón: conduce las señales de salida*



Redes neuronales biológicas interconectadas

- El sistema nervioso centra está formado por múltiples neuronas interconectadas mediante sinapsis.
- Se estima que el cerebro humano contiene más de 100 mil millones de neuronas y 10^{17} sinapsis.
- Cada neurona está interconectada a un número de neuronas que oscila entre 1.000 y 10.000 neuronas.



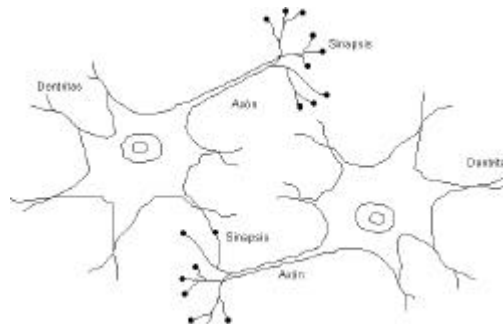
Tema 6. Redes neuronales. Prof. Rafael Sanz Domínguez. Univ. de Vigo

3



Funcionamiento del sistema nervioso

- Cada célula se enlaza con otras células a través de las ramificaciones de su axón.
- El enlace se realiza mediante las uniones denominadas sinapsis.
- El efecto en la célula receptora es la elevación o disminución de un potencial eléctrico dentro del soma.
- Cuando este potencial alcanza un cierto umbral, la célula emite a su vez un pulso de intensidad y duración determinadas.



Tema 6. Redes neuronales. Prof. Rafael Sanz Domínguez. Univ. de Vigo

4



Limitaciones de la neuronas artificiales

- Las redes neuronales surgen como un intento de desarrollar sistemas que emulen las características del cerebro, para conseguir su sofisticada capacidad de procesamiento de información.
- Sin embargo:
 - *La capacidad de procesamiento simbólico del cerebro humano es infinitamente superior a de los computadores en tareas de percepción tales como la de reconocimiento e interpretación de imágenes y sonidos.*
 - *Ninguna técnica algorítmica es capaz de de emular de forma flexible estas capacidades de cerebro.*
- La pretensión de las redes neuronales es sintetizar un sistema que realice **de forma simplificada** la estructura neuronal del cerebro y desarrolle un equivalente algorítmico de los procesos de reconocimiento y aprendizaje.



Definición de red neuronal artificial

- Una red neuronal artificial es un sistema de procesamiento distribuido de información inspirado en los sistemas nerviosos biológicos del cerebro humano.
- Una red neuronal artificial consiste en un conjunto de elementos de procesado elemental conectados entre sí mediante enlaces que sirven para enviarse información.
- Las redes neuronales combinan modelos matemáticos de las células nerviosas elementales y modelos de arquitecturas que describen las interconexiones que existen entre estas células.
- Su funcionamiento nos recuerda al cerebro en dos aspectos:
 - *El conocimiento es adquirido a través de un proceso de aprendizaje.*
 - *La fuerza de las conexiones entre neuronas, conocida como **peso sináptico**, se utiliza para almacenar conocimiento.*



Historia de las RNAs

- Los orígenes de las redes neuronales artificiales (RNAs) se relacionan con el trabajo de McCulloch y Pitts (1943) sobre teoría general del procesamiento de la información.
- En este trabajo, las neuronas fueron presentadas como modelos de las neuronas biológicas y como componentes conceptuales de los circuitos que pueden desarrollar eventos computacionales.
- Los trabajos sobre ciencia cognitiva están también directamente relacionados con las RNAs.
- Las primeras aplicaciones de las RNAs fueron las de modelado de distintos procesos de la actividad neurobiológica,
- Posteriormente, se comenzó a investigar su aplicación al control y al procesamiento de señales en tiempo real y al análisis de datos.
- Hoy día puede considerarse éstos sus tres principales campos de aplicación.



Problemas que pueden resolver

- Las redes neuronales se utilizan para resolver una amplia variedad de problemas.
- Características de los problemas que pueden ser abordados por redes neuronales:
 - *Cuando es difícil encontrar una solución simple basada en modelos convencionales, en particular si:*
 - Las relaciones entre las variables de entrada y salida son complejas y desconocidas.
 - No existe un algoritmo de resolución o éste es muy complejo.
 - *Cuando existe una gran cantidad de datos históricos o pares de valores de entrada-salida para entrenar la red. En particular, si:*
 - Hay que considerar un gran número de variables.
 - No hay indicación clara de la importancia relativa de las mismas.
 - *Cuando el método de resolución de los datos deba ser robusto ante niveles moderados de datos corrompidos o ante datos incompletos.*
 - *Cuando los nuevos datos tienen que ser procesados a gran velocidad (respuesta en tiempo real).*



Ventajas de las redes neuronales

- Las redes neuronales artificiales tienen:
 - *Una importante potencia de cálculo al tener una estructura distribuida y masivamente paralela.*
 - *Gran capacidad de aprendizaje y de aprendizaje adaptativo.*
 - *Gran habilidad para generalizar, esto es, de producir resultados razonables a partir de datos de entrada que desconoce.*
 - *Habilidad para resolver problemas en los que aparecen dependencias temporales.*
 - *Capacidad Pueden tener capacidad de autoorganización.*
- Las redes neuronales artificiales son muy tolerantes a fallos.
- Pueden tratar grandes volúmenes de información.
- Operan en tiempo real.
- Son de fácil inserción dentro de cualquiera de las tecnologías existente en la actualidad.



Principales áreas de aplicación (I/II)

- Reconocimiento de patrones, con aplicaciones en:
 - *Visión por computador (análisis de imágenes médicas)*
 - *Procesamiento de señales (reconocimiento de voz)*
- Bases de datos de conocimiento para información estocástica
- Ayuda a la toma de decisiones
- Clasificación y fusión de datos
 - *Decidir a qué clase, de una serie dada, se asigna un dato de entrada a la red.*
- Asociación
 - *La red funciona como un proceso de recuperación de un dato a partir de una entrada relacionada con el dato almacenado.*
 - *La entrada puede ser una versión incompleta o deformada del dato buscado.*

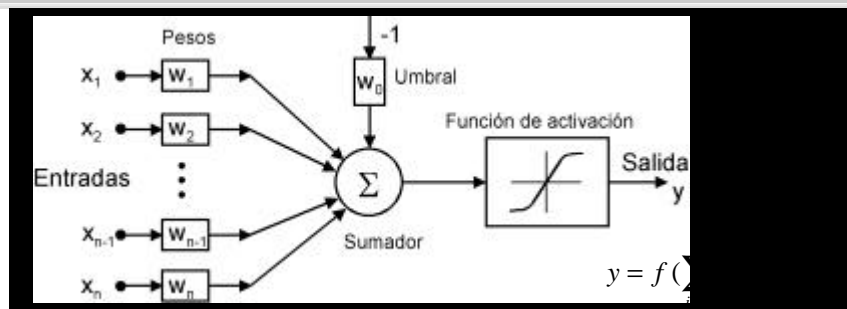


Principales áreas de aplicación (II/II)

- Agrupamiento (Clustering)
 - Utilizada cuando no se conoce una clasificación de los datos de entrada, y se espera que la red genere esta clasificación.
 - Generación de prototipos.
- Optimización
 - Permite solucionar problemas de optimización de naturaleza complicada.
 - Proporcionan un procedimiento rápido para generar una solución subóptima.
- Predicción y Control
 - En tareas de predicción para anticipar el estado futuro de un sistema.
 - Tareas de control de sistemas dinámicos complejos.
 - Control de robots.



Modelo de una neurona simple



- Una neurona simple consta de los siguientes elementos:
 - **Entradas** (x_i) que representan las señales que provienen de otras neuronas y que son capturadas por otras neuronas.
 - **Pesos** (w_j) que corresponden a la intensidad de la sinapsis que conecta dos neuronas
 - **Umbral** (w_0) que es un peso que se aplica a una señal de entrada que vale -1 y que emula el umbral que debe superarse para que se active la neurona.
 - **Función de activación**



Función de activación

- La salida de la red está determinada por una función de activación o función de transferencia.
- Es una función matemática que relaciona la información que llega a la neurona (valor de activación) y el estado de activación de la neurona.
- La función de activación puede ser lineal o no lineal y puede ser elegida para cada tipo de problema a resolver.
- Existen diferentes funciones de activación cuya elección depende de:
 - El tipo de red empleada
 - La función que realiza la neurona
 - La interpretación de la salida de la red



Principales funciones de activación

Función activación	Representación	Interpretación
Umbral		$s = 1$ para $y \geq 0$ $s = 0$ para $y < 0$
Signo		$s = 1$ para $y > 0$ $s = 0$ para $y = 0$ $s = -1$ para $y < 0$
Lineal		$s = y$
Lineal saturada		$s = 1$ para $y \geq 1$ $s = n$ para $-1 < y < 1$ $s = -1$ para $y < -1$
Sigmoide		$s = 1/(1+e^{-y})$



Clasificación de las RNAs

- Las redes neuronales artificiales se pueden clasificar según diferentes criterios.
- Por la naturaleza de las señales de entrada y salida:
 - *Analógicas*
 - *Discretas (generalmente binarias)*
 - *Híbridas (procesan señales analógicas para dar respuestas discretas)*
- Por la topología de la red
 - *Monocapa*
 - *Multicapa*
- Por el mecanismo de aprendizaje utilizado
- Por el tipo de asociación de las señales de E/S y la forma de representarla



Topología de una red neuronal

- Generalmente, una red neuronal está formada por más de un elemento de procesamiento.
- La **topología** o **arquitectura** hace referencia a la organización de la red neuronal y viene determinada por el número de neuronas de una red neuronal artificial y de la forma en que se conectan las neuronas.
- Los elementos simples de una red se agrupan en **capas**.
- Una capa no es más que una agrupación de neuronas elementales.
- Se pueden distinguir tres tipos de capas:
 - *Capa de entrada*
 - *Capa de salida*
 - *Capa o capas ocultas (pueden existir o no)*



Características

- En cada capa puede existir cualquier número de neuronas simples.
- Cada neurona puede tener una función de activación diferente.
- Puede existir cualquier número de capas ocultas.
- En función de la forma en que están interconectadas las redes neuronales reciben diferentes nombres.
- Se pueden distinguir tres tipos de redes:
 - *Redes unidireccionales*, también denominadas *redes de propagación hacia adelante* (feedforward networks)
 - *Redes recurrentes*, también denominadas *redes de propagación hacia atrás* (feedback networks)
 - *Redes autoorganizadas* (self-organizing networks)



Tipos básicos de redes neuronales (I/II)

- Redes unidireccionales o de realimentación hacia delante (*feedforward networks*)
 - *Todas las conexiones van en una sola dirección.*
 - *Usadas para transformar un conjunto de datos especificado en otro también especificado.*
 - *El aprendizaje es supervisado y tiene lugar a través de un proceso de ajuste de los pesos de las neuronas de la red.*
 - *Su arquitectura típica es de una red multicapa, como por ej. el perceptrón multicapa.*



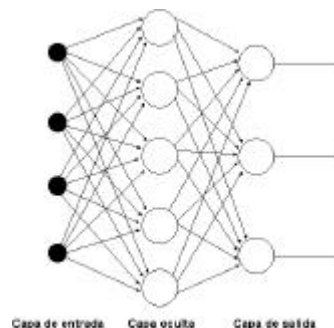
Tipos básicos de redes neuronales (II/II)

- Redes recurrentes (*feedback networks*)
 - Concebidas para almacenar de forma eficiente información.
 - La red funciona como un sistema dinámico cuyos puntos de equilibrio representan los valores almacenados.
 - Su arquitectura típica es la de una red monocapa con una gran realimentación, como por ej. una red de Hopfield.
- Redes autoorganizadas (*self-organizing networks*)
 - Permite estructurar la información que se presenta a la red en conjuntos a priori desconocidos.
 - El entrenamiento es mediante un aprendizaje no supervisado denominado competitivo.
 - Cada neurona tiene un cierto grado de conexión con neuronas colaterales.



Redes unidireccionales

- La información que recibe cada neurona se transmite a la siguiente capa.
- Las neuronas de una capa sólo están conectadas con las de la siguiente capa. La conexión entre las neuronas puede ser total o parcial.
- Ejemplo:



Esta red contiene las siguientes neuronas:
 4 en la capa de entrada
 5 en la oculta
 3 en la de salida



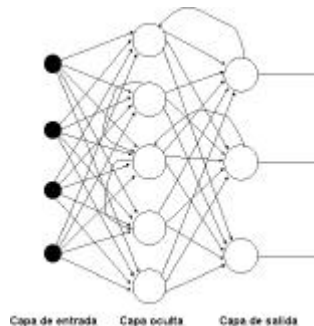
Características de una red unidireccional

- Una red unidireccional de una capa oculta puede aproximar cualquier función continua.
- Una red unidireccional de dos capas ocultas puede aproximar cualquier función.
- El número de nodos en cada nivel puede crecer exponencialmente con el número de entradas.



Red neuronal recurrente

- Las redes neuronales recurrentes se diferencian de las redes unidireccionales en la existencia de bucles o lazos de realimentación en la red.
- Estos bucles pueden ser entre neuronas de diferentes capas, neuronas de la misma capa e, incluso, entre una misma neurona.





Características de una red recurrente

- Las redes recurrentes son más potentes que las redes con realimentación hacia delante.
- La estructura recurrente de la red la hace especialmente adecuada para estudiar la dinámica de sistemas no lineales.



Redes autoorganizadas

- Son redes que se organizan por sí mismas y están concebidas para clasificar conjuntos de datos para los que no se conoce a priori ningún tipo de organización.
- El objetivo de estas redes es el de deducir automáticamente la clasificación más natural de los datos.
- La salida ante un dato concreto de entrada no se contrasta con ninguna referencia. Los datos deben tener un grado de redundancia elevado para realizar su clasificación.
- La red divide el conjunto de datos en distintos subconjuntos (cluster), cada uno de los cuales agrupa a datos similares, con algún tipo de característica en común (clustering).
- El desarrollo de un método de clustering requiere elaborar alguna medida de la semejanza entre los datos:
 - *Distancia Euclídea.*
 - *Correlación, etc.*
- Cada cluster se representa por un prototipo: Elemento más representativo del cluster.
- La estructura de la red consiste de una sola capa de neuronas cada una de las cuales representa un cluster de datos.



Aprendizaje

- Se denomina **aprendizaje** o **entrenamiento** de la red al ajuste de los pesos sinápticos que determina el grado de conexión entre las neuronas de la red. Las redes neuronales se configuran para una tarea específica a través del proceso de aprendizaje.
- Durante el entrenamiento, los pesos se van ajustando gradualmente, hasta encontrar aquellos que generen las salidas deseadas.
- Para ajustar los pesos de las conexiones han sido propuestos diferentes algoritmos, casi todos son variantes de la regla de Hebb.
- Aprendizaje de Hebb
 - *Hebb (1949) señaló en que si dos neuronas que están interconectadas entre sí, se activan al mismo tiempo esto indica que existe un incremento en la fuerza sináptica. Asimismo, el ajuste que emplea esta regla es incrementar la magnitud de los pesos si ambas neuronas están inactivas al mismo tiempo.*
- En general, se distinguen dos tipos de aprendizaje:
 - *Supervisado: Típico de las redes concebidas para el ajuste de datos o la clasificación de pares de valores de entrada-salida etiquetados.*
 - *No supervisado: Redes en las que los datos no tienen a priori ninguna clasificación.*
- El algoritmo más empleado es el de retropropagación del error.



Aprendizaje supervisado

- Se caracteriza porque el proceso de aprendizaje se realiza mediante un entrenamiento controlado por un agente externo (supervisor, maestro) que determina la respuesta que debería generar la red a partir de una entrada determinada.
- El supervisor controla la salida de la red y en caso de que ésta no coincida con la deseada, se procederá a modificar los pesos de las conexiones, con el fin de conseguir que la salida obtenida se aproxime a la deseada.
- Este aprendizaje admite tres variantes:
 - *aprendizaje por corrección del error, conocemos la magnitud del error y ésta determina la magnitud en el cambio de los pesos.*
 - *aprendizaje por refuerzo, sólo conocemos si la salida de la red se corresponde o no con la señal deseada.*
 - *aprendizaje estocástico, se realizan cambios aleatorios en los valores de los pesos de las conexiones de la red y se evalúa su efecto a partir del objetivo deseado.*



Aprendizaje no supervisado

- Los pesos que ponderan cada conexión son obtenidos mediante un proceso auto-organizativo en el que no se conoce la salida asociada a cada patrón.
- No requieren influencia externa para ajustar los pesos de las conexiones de las neuronas.
- El funcionamiento se basa en la búsqueda en el conjunto de datos de entrada de determinadas características:
 - Regularidades
 - Correlaciones
 - Categorías
- Tipos de aprendizaje:
 - Aprendizaje hebbiano
 - Aprendizaje competitivo y comparativo



Aprendizaje por corrección del error

- Consiste en ajustar los pesos de las conexiones de la red en función de la diferencia entre los valores deseados y los obtenidos a la salida de la red, es decir, en función del error cometido en la salida.
- Un ejemplo de este tipo de algoritmos lo constituye la regla de **aprendizaje del perceptrón**.
- Esta es una regla muy simple, para cada neurona en la capa de salida se le calcula la desviación a la salida objetivo como el error, δ . Este error luego se utiliza para cambiar los pesos sobre la conexión de la neurona precedente.
- Otras reglas de aprendizaje
 - Aprendizaje Delta o regla del mínimo error cuadrado, que también utiliza la desviación a la salida objetivo, pero toma en consideración a todas las neuronas predecesoras que tiene la neurona de salida.
 - Aprendizaje de propagación hacia atrás o de backpropagation, también conocido como regla LMS multicapa, que es una generalización de la regla de aprendizaje Delta. Esta es la primer regla de aprendizaje que permitió realizar cambios sobre los pesos en las conexiones de la capa oculta.



Aprendizaje por propagación hacia atrás

- Es la técnica de aprendizaje más utilizada en la práctica.
- Se presentan ejemplos a la red. Si hay un error entre la salida real y la esperada, se ajustan los pesos para reducirlo.
- Para ello se divide el error entre los pesos contribuyentes para minimizar el cuadrado del error.
- Para ajustar los pesos de todas las neuronas primero se ajusta el peso de la neurona de salida.
- Para actualizar las conexiones entre las unidades de entrada y las unidades ocultas, se propaga el error hacia atrás.
- Cada nodo es responsable por una fracción del error en cada uno de los nodos de salida al que se conecta.
- La función de activación debe ser derivable (como por ejemplo, la función sigmoide).



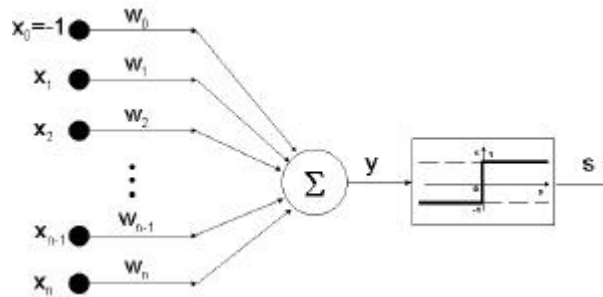
Aprendizaje adaptativo

- Este tipo de aprendizaje está basado en un entrenamiento o experiencia inicial.
- Aprende a realizar ciertas tareas mediante un entrenamiento con ejemplos ilustrativos.
- Se aprovecha la capacidad de autoajuste de las neuronas.
- La red es capaz de adaptarse a las nuevas condiciones.



El perceptrón

- La red tipo perceptrón fue desarrollada por el psicólogo Frank Rosenblatt en 1953.
- El primer modelo se empleó para modelar el funcionamiento del ojo humano como dispositivo que responde a señales ópticas.
- La función de activación puede ser la función signo o la umbral.



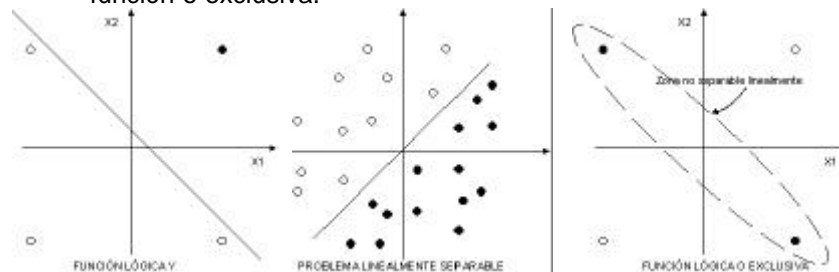
Tema 6. Redes neuronales. Prof. Rafael Sanz Domínguez. Univ. de Vigo

31



Características del perceptrón

- El perceptrón simple actúa como clasificador lineal.
- Esto quiere decir que sólo puede discriminar conjuntos linealmente separables.
- El perceptrón simple sólo puede implementar una pequeña fracción de funciones lógicas.
- Por ejemplo, un perceptrón simple no es capaz de sintetizar una función o exclusiva.



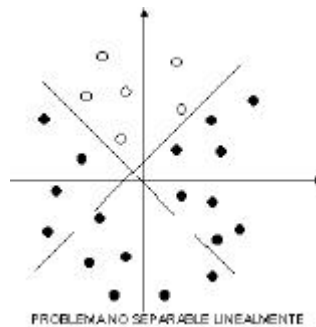
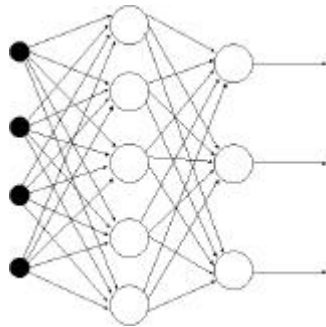
Tema 6. Redes neuronales. Prof. Rafael Sanz Domínguez. Univ. de Vigo

32



Perceptrón multicapa

- Es una red unidireccional que tiene capas adicionales entre la de entrada y la de salida, cada una de ellas puede contener cualquier número de neuronas.
- Permite resolver problemas que no son linealmente separables.



Tema 6. Redes neuronales. Prof. Rafael Sanz Domínguez. Univ. de Vigo

33



Características de perceptrón multicapa

- Un perceptrón multicapa puede representar cualquier función lógica.
- En un perceptrón de dos capas el contorno de decisión puede ser la frontera de cualquier conjunto convexo.
- Para contornos de decisión más generales basta con emplear un perceptrón con dos capas ocultas.
- El perceptrón multicapa puede ajustar tan finamente como se quiera cualquier función continua.
- Sin embargo, no es posible, en general, determinar a priori el tamaño de la red que mejor resuelve un problema en concreto.
- Con una red demasiado simple puede que el problema no tenga una solución adecuada, pero una red demasiado grande complica el proceso de aprendizaje.

Tema 6. Redes neuronales. Prof. Rafael Sanz Domínguez. Univ. de Vigo

34



Principales aplicaciones de las redes neuronales

- Reconocimiento de textos manuscritos
- Reconocimiento del habla
- Procesamiento de imágenes digitales
- Simulación de sistemas complejos, tales como centrales de producción de energía
- Detección de explosivos
- Identificación de blancos de radares
- Sistemas de control en reactores, procesos industriales, etc.



Aplicaciones en ciencias económicas

- Detección de fraudes con tarjetas de crédito
- Predicción de quiebras bancarias
- Aplicaciones para las tarjetas de crédito
- Precios de arbitraje
- Análisis en el mercado de capitales
- Análisis de la salud financiera de las empresas
- Proyecciones del *Cash-flow*
- Predicción de cambios en la tendencia del mercado
- Predicciones en los requisitos de personal.



Aplicaciones en medicina de las redes neuronales

- Modelado de sistemas:
 - *Determinación del ECG fetal. La red neuronal es capaz de modelar la señal cardíaca materna para cancelarla en la señal abdominal que contiene tanto parte materna como fetal.*
 - *Compresión de señales. Reducir el tamaño de la información supone la posibilidad de un procesado de ésta de más calidad y más rápido.*
 - *Determinación del electromiograma.*
 - *Modelado de series temporales (series RR, series de presión, etc).*
- Clasificación y diagnóstico:
 - *Éste ha sido el campo central de las aplicaciones de las redes neuronales en medicina.*
 - *Podemos destacar, como ejemplo: la clasificación de células para el diagnóstico de cánceres, la determinación de ciertas arritmias, clasificación de cromosomas, clasificación del llanto de bebés, etc.*



Aplicaciones en medicina de las redes neuronales

- Control
 - *El control neuronal permite que los sistemas interactúen con el entorno aprendiendo las características de éste.*
 - *Estos sistemas han sido aplicados en UCIs, así como en controladores de prótesis electrónicas, etc.*



Aplicaciones al procesamiento de imágenes

- Las redes neuronales ofrecen soluciones potentes para el procesamiento de imágenes.
- Desde su introducción, se han propuesto y probado una gran cantidad de aplicaciones:
 - *Reconocimiento de patrones*
 - *Reconocimiento de caracteres*
 - *Extracción de líneas, contornos y esquinas*
 - *Eliminación de ruido*
 - *Rellenado de orificios*
 - *Detección de sombras*
 - *Aislamiento de pequeños objetos*
 - *Compresión de información*
 - *Detección de movimiento*



Reconocimiento de caras con redes neuronales (I/II)

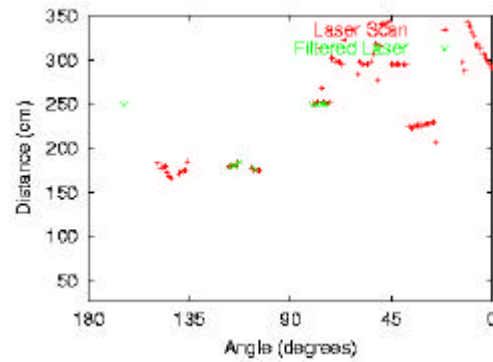
- Sistema de reconocimiento de caras desarrollado por el CMU y utilizado en nuestro robot móvil para la detección de la cara de la persona en movimiento más próxima al robot.





Reconocimiento de caras con redes neuronales (II/II)

- Datos de las medidas del láser de barrido (detecta dos personas en movimiento (en verde)).



Tema 6. Redes neuronales. Prof. Rafael Sanz Domínguez. Univ. de Vigo

41



Aplicaciones en control de procesos

- Control neuronal
- Modelado e identificación de procesos no lineales
- Supervisión
- Detección de fallos
- Ayuda a la toma de decisiones de alto nivel

Tema 6. Redes neuronales. Prof. Rafael Sanz Domínguez. Univ. de Vigo

42



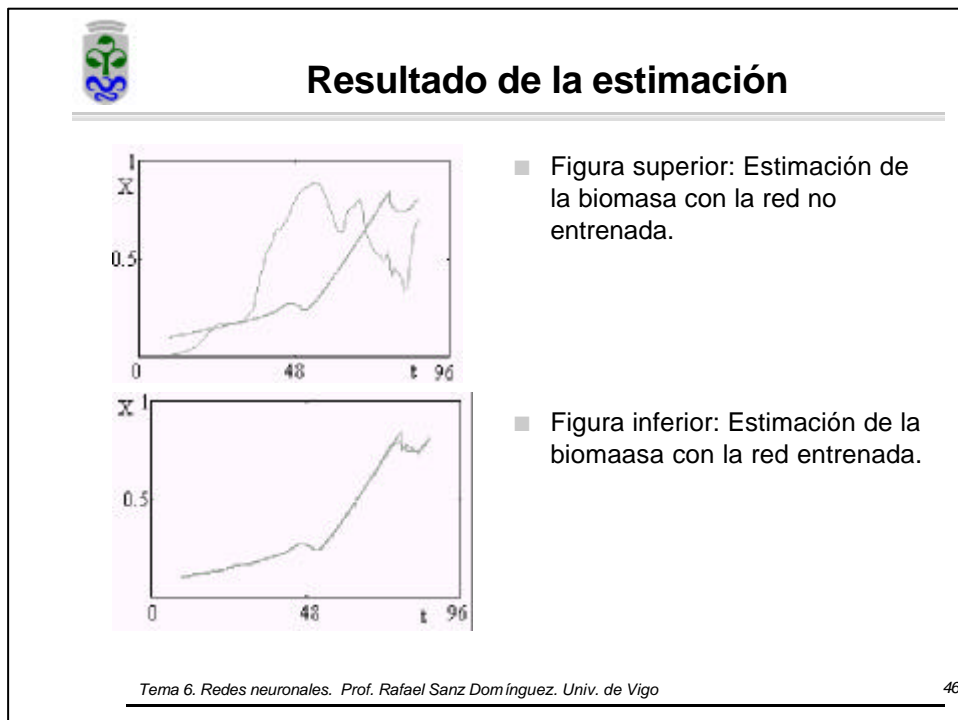
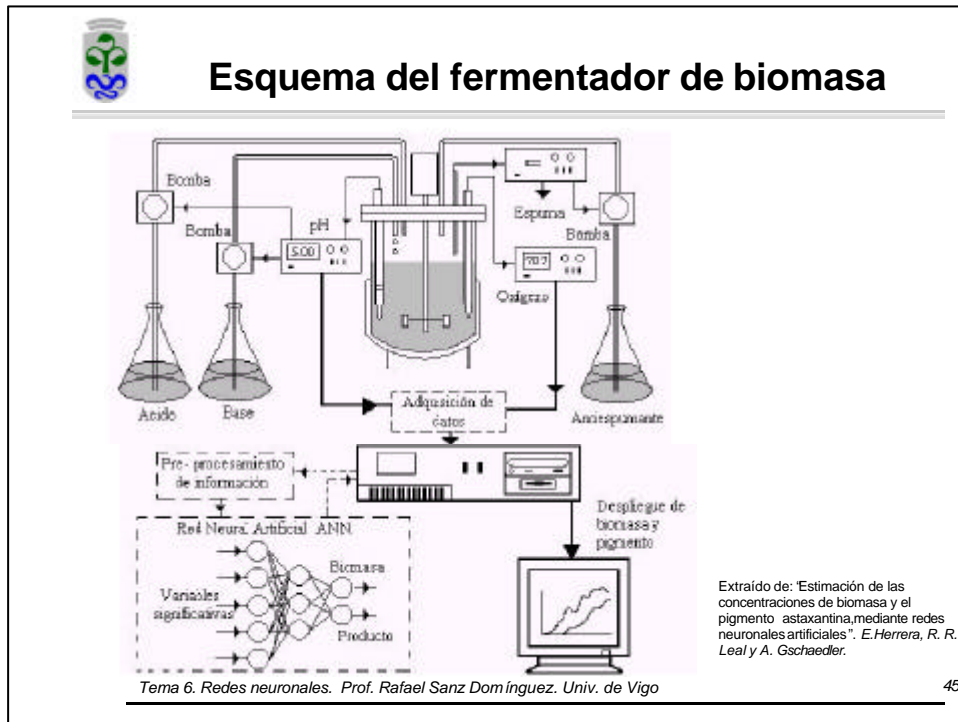
Modelado e identificación de procesos no lineales

- Las redes neuronales permiten crear modelos para procesos utilizando datos históricos del mismo proceso.
- Los modelos pronostican cómo el proceso responderá a los cambios de entradas y diferentes condiciones de trabajo.
- Pueden también determinarse las condiciones de operación óptima.
- Los modelos identificados pueden ser utilizados en estudios del proceso fuera de línea o ser instalados en línea para suministrar una detección precoz de los problemas de proceso y determinar las referencias que continuamente optimicen el proceso.



Control de un fermentador de biomasa

- Dentro de las aplicaciones de redes neuronales artificiales a la biotecnología las más importantes son control de fermentadores, modelado del proceso y estimación de variables.
- Objetivo: Estimación de la biomasa y astaxantina mediante una red neuronal.
- Para que la red pueda estimar estas variables es necesario entrenarla con datos que aporten las características esenciales.
- Variables de entrada de la red:
 - *pH, porcentaje de oxígeno disuelto, potencial redox, temperatura, cantidad de espuma producida, cantidad de base o ácido agregado al cultivo y la edad de la fermentación.*
- Salidas de la red:
 - *biomasa y el producto secundario o astaxantina.*





Aplicaciones en sistemas eléctricos

Predicción de la Demanda Eléctrica

- Objetivo:
 - *Obtener los valores futuros de demanda eléctrica por extrapolación de los valores de consumo pasados.*
- Variables de predicción:
 - *demanda pico, demanda integral, demanda horaria.*
- Variables exógenas:
 - *Temperaturas, grado de nubosidad, velocidad del viento, grado de humedad, nivel de lluvia, estacionalidad, día laborable o festivo, día de la semana, día especial.*
- Horizonte de predicción:
 - *corto, medio y largo plazo.*



Aplicaciones en sistemas eléctricos

- Características del problema de predicción:
 - *Los hábitos de consumo eléctrico cambian con el tiempo, y el consumo global sube o baja en función de las condiciones económicas y otras condiciones del momento.*
 - *Por ejemplo, un día festivo producirá muy diferentes efectos sobre los días anterior y posterior dependiendo de su ubicación en la semana.*
 - *No existe una función conocida que relacione el valor de la demanda futura con los valores de consumo pasados.*
 - *Se desconocen qué valores de consumo pasado pueden ser significativos en la predicción.*
 - *Por el contrario, se dispone de gran cantidad de datos históricos.*



Aplicaciones en sistemas eléctricos

Análisis de contingencias

- Objetivo:
 - *Determinar el nivel de seguridad (seguro, crítico o inseguro) del estado actual con respecto a un posible fallo en algún elemento de la red eléctrica.*
- Variables de entrada:
 - *Flujos de Potencia Activa y Reactiva en cada línea en el estado actual.*
- Variables de salida:
 - *Un índice de comportamiento, que ordene las posibles contingencias de menor a mayor gravedad.*
 - *Salida gráfica que clasifique cada contingencia según distintos intervalos de peligrosidad.*



Cuestiones a resolver en el diseño de una red neuronal

- Cuando se trabaja con redes neuronales aparecen una serie de cuestiones que hay que plantear y resolver de forma metodológica.
- Etapa preliminar
 - *En primer lugar, se debe analizar el dominio del problema y decidir a qué clase pertenece.*
 - *Luego debe decidirse si una red neuronal es adecuada para resolver dicho problema.*
- Origen de los datos, hay que contestar a las siguientes preguntas:
 - *¿Qué datos son de importancia para la situación del problema definido?*
 - *¿Qué variables son relevantes?*
 - *¿De dónde pueden obtenerse los datos?*
- Preparación y codificación de los datos:
 - *¿Cómo preparar y codificar los datos?*



Cuestiones a resolver en el diseño de una red neuronal

- Determinación de la topología de la red:
 - *¿Qué tipo de red debe escogerse?*
 - *¿Cuántas capas ocultas y con cuántas neuronas son necesarias?*
 - *¿Cuántas neuronas en la capa de salida (según la codificación escogida)?*
 - *¿Qué tipos de neuronas deben escogerse?*
 - *¿Qué regla de aprendizaje escoger?*
- Decisiones concernientes al proceso de aprendizaje:
 - *¿Cuántos ciclos de aprendizaje?*
 - *¿Qué inicialización para los pesos?*



Elección de una estructura de red

- La selección de los parámetros de topología y aprendizaje son en su mayoría heurísticos.
- El problema de encontrar una buena estructura de red es un problema de búsqueda. Se puede emplear:
 - *Algoritmos genéticos*
 - *Optimización (ascenso de la colina)*
- Para la elección de la topología y el número de neuronas:
 - *Si se usan pocas neuronas no se representan apropiadamente la función*
 - *Si se utilizan muchos nodos hay demasiados pesos y, por tanto, demasiados cálculos.*
- Se pueden emplear diferentes enfoques:
 - *Empezar con una red grande y hacerla más pequeña.*
 - *Empezar con una red pequeña y hacerla más grande.*
- Una validación cruzada puede determinar cuando se tiene una red con el tamaño apropiado.



Otros aspectos prácticos del diseño de una red (I/II)

- Elección del conjunto inicial de pesos
 - *Antes de comenzar el proceso de entrenamiento se debe determinar un estado inicial, lo que significa: escoger un conjunto inicial de pesos para las diversas conexiones entre las neuronas de la red neuronal.*
 - *Esto puede realizarse por varios criterios; por ejemplo uno de ellos es otorgar un peso aleatorio a cada conexión dentro de un cierto intervalo.*
- Detención del proceso de aprendizaje
 - *Para determinar cuándo se detendrá el proceso de aprendizaje, es necesario establecer una condición de detención.*
 - *Normalmente el entrenamiento se detiene cuando el cálculo del error cuadrado sobre todos los ejemplos de entrenamiento ha alcanzado un mínimo o cuando para cada uno de los ejemplos dados, el error observado está por debajo de un determinado umbral.*
 - *Otra condición de detención del aprendizaje puede ser cuando un cierto número de ciclos y/o pasos de entrenamiento hayan sido completamente ejecutados.*



Otros aspectos prácticos del diseño de una red (II/II)

- Codificación de los datos de entrada
 - *Los datos tienen que ser codificados, o sea, deben hallarse valores apropiados para representar las características simbólicas (alto, bajo, adecuado, etc.).*
 - *Se distinguen dos tipos de variables a ser codificadas:*
 - Variables o atributos numéricos (frecuentemente llamadas continuas).
 - Variables o atributos simbólicos (frecuentemente llamados discretos).
- Validación de la red neuronal
 - *Después del proceso de entrenamiento los pesos de las conexiones en la red neuronal quedan fijos.*
 - *Como paso siguiente se debe comprobar si la red neuronal puede resolver nuevos problemas, del tipo general, para los que ha sido entrenada.*
 - *Por lo tanto, con el propósito de validar la red neuronal se requiere de otro conjunto de datos, denominado conjunto de validación.*
 - *Cada ejemplo del conjunto de evaluación contiene los valores de las variables de entrada, con su correspondiente salida. Luego se compara la solución calculada para cada ejemplo de validación con la solución conocida.*
 - *El problema es que hay que decidir cuando la salida de la red neuronal ha de considerarse como correcta ante cualquier posible valor de entrada.*



Limitaciones de las redes neuronales

- Algunas recomendaciones para la utilización de RNAs
 - *Asegurarse de que los métodos numéricos no satisfacen las restricciones del problema.*
 - *Analizar el conjunto de datos de entrada y salida para determinar cual es la RNA, o la estructura de RNAs más apropiada.*
- No es fácil generalmente explicar los resultados obtenidos.
- El conjunto de patrones debe ser homogéneo para obtener buenos resultados en la etapa de aprendizaje.
- El conjunto de aprendizaje debe estar bien seleccionado, distribuidos en la totalidad del espacio de posibles entradas a la red.
- El proceso de aprendizaje es clave:
 - *No se puede intentar que la red aprenda algo que es imposible aprender.*
 - *Si los ejemplos son contradictorios no puede haber aprendizaje correcto.*
- Cada vez más se proponen soluciones compuestas de RNAs y otras técnicas de IA como Algoritmos Genéticos o Lógica Borrosa.



Implementación de redes neuronales

- Simulación en un computador con un programa específico
 - *Principal uso: entrenamiento y simulación de redes*
 - *Desventaja: no se aprovecha el paralelismo inherente de una RN.*
- Simulación con arquitecturas de procesadores en paralelo (*transputers*)
 - *Son más rápidos pero son también redes simuladas.*
- Neurocomputadores
 - *Son computadores con arquitecturas de procesadores en paralelo especialmente diseñados para procesar RNAs (Anza y Delta-sigma).*
- Circuitos integrados específicos (chips neuronales)
 - *Son mucho más rápidos (Intel N64, chip de 64 neuronas y 1000 pesos que es capaz de procesar 2500 conexiones/seg)*



Cuestiones de repaso (I/III)

- ¿Qué comportamiento trata de imitar una red neuronal artificial (RNA)?
- ¿Qué es una RNA?
- ¿Cómo adquiere el conocimiento una RNA?
- ¿Qué son los pesos sinápticos?
- ¿Para qué sirven los pesos sinápticos?
- ¿Qué tipos de problemas pueden ser abordados con redes neuronales artificiales (RNAs)?
- ¿Cuáles son las principales ventajas de las RNAs?
- ¿Cuáles son las principales áreas de aplicación?
- ¿Cuáles son los principales elementos de una neurona simple?
- ¿Qué es la función de activación?
- ¿Cuáles son las principales funciones de activación empleadas?
- ¿Con qué criterios se pueden clasificar las redes neuronales?
- ¿Qué es la topología de una red neuronal?
- ¿Qué tipos de capas puede tener una RNA?
- ¿Cómo se pueden clasificar las redes por la forma de interconectarse las neuronas?



Cuestiones de repaso (II/III)

- ¿Qué es una red unidireccional? ¿Cuáles son sus principales características?
- ¿Qué es una red recurrente? ¿Cuáles son sus principales características?
- ¿Qué es una red autoorganizada? ¿Cuáles son sus principales características?
- ¿Qué es el aprendizaje o entrenamiento de una red?
- ¿Cuáles son las principales técnicas de aprendizaje?
- ¿En qué consiste el aprendizaje supervisado?
- ¿Qué variantes tiene el aprendizaje supervisado?
- ¿En qué consiste el aprendizaje no supervisado?
- ¿Qué variantes tiene el aprendizaje no supervisado? ¿En qué consiste el aprendizaje por corrección de error?
- ¿Cuáles son las principales técnicas de aprendizaje por corrección de error?
- ¿En qué consiste el aprendizaje por propagación hacia atrás?
- ¿Qué es un perceptrón? ¿Qué estructura tiene? ¿Cuáles son sus principales características?



Cuestiones de repaso (III/III)

- ¿Qué es un perceptrón multicapa? ¿Qué problemas resuelve?
- ¿Cuáles son las principales aplicaciones de una RNA?
- ¿Qué aplicaciones tiene en economía?
- ¿Qué aplicaciones tiene en medicina?
- ¿Qué aplicaciones tiene en procesamiento de imágenes?
- ¿Qué aplicaciones tiene en control de procesos?
- ¿Qué aplicaciones tiene en sistemas eléctricos de potencia?
- ¿Qué aspectos hay que considerar en el diseño de una red?
- ¿Cómo se elige una estructura de RNA?
- ¿Cómo se eligen inicialmente los pesos?
- ¿Cómo se termina la fase de entrenamiento de una RNA?
- ¿En qué consiste la codificación de los datos de entrada?
- ¿Cómo se valida una RNA?
- ¿Qué limitaciones tiene una RNA?
- ¿Cómo se realiza la implementación práctica de una RNA?