

# **REDES NEURONALES Y SISTEMAS BORROSOS**

DEL BRIO, MARTIN

ISBN 9701512502

## **Índice del Contenido**

### **PRÓLOGO**

PREFACIO DE LOTFI A. ZADEH

FOREWORD BY LOTFI A. ZADEH

### **INTRODUCCIÓN**

1. El largo y tortuoso camino hacia la construcción de máquinas inteligentes
2. Microprocesadores, computadores y cerebro
3. Redes neuronales artificiales
4. Sistemas borrosos
5. Redes neuronales y sistemas borrosos

### **PARTE I. REDES NEURONALES**

#### **CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE LAS REDES NEURONALES ARTIFICIALES**

- 1.1. Breve introducción biológica
- 1.2. Estructura de un sistema neuronal artificial
- 1.3. Modelo de neurona artificial
  - 1.3.1. Modelo general de neurona artificial
  - 1.3.2. Modelo estándar de neurona artificial
- 1.4. Arquitecturas de redes neuronales
- 1.5. Modos de operación: recuerdo y aprendizaje
- 1.6. Clasificación de los modelos neuronales
- 1.7. Computabilidad neuronal
- 1.8. Un ejercicio de síntesis: sistemas conexionistas
- 1.9. Realización y aplicaciones de los ANS
- 1.A. Apéndice: de la neurona biológica a la artificial

#### **CAPÍTULO 2. REDES NEURONALES SUPERVISADAS**

- 2.1. Redes unidireccionales
  - 2.2. El asociador lineal: aprendizaje hebbiano
  - 2.3. El perceptrón simple (Rosenblatt, 1959)
    - 2.3.1. Algoritmo de aprendizaje del perceptrón
  - 2.4. Adalina (Widrow, 1961)
    - 2.4.1. Regla LMS
  - 2.5. El perceptrón multicapa (grupo PDP, 1986)
    - 2.5.1. El MLP como aproximador universal de funciones
    - 2.5.2. Aprendizaje por retropropagación de errores (BP)
    - 2.5.3. Aceleración del aprendizaje BP
- Otros algoritmos
- 2.6. Capacidad de generalización de la red
  - 2.7. Pinceladas sobre la relación del MLP con los métodos estadísticos
  - 2.8. Ejemplos de aplicación del MLP-BP

#### **CAPÍTULO 3. REDES AUTOORGANIZADAS**

- 3.1. Modelos neuronales no supervisados
- 3.2. Modelo de mapas autoorganizados (Kohonen, 1982)
  - 3.2.1. Introducción a los mapas autoorganizados
  - 3.2.2. Algoritmo de aprendizaje
  - 3.2.3. Algunas variantes de los SOFM

- 3.3. Ejemplos de aplicaciones
- 3.4. SOFM: cuantificación óptima de vectores
- 3.5. Análisis formal del proceso de autoorganización
- 3.6. Modelos de neurona de Kohonen. Medidas de similitud
- 3.7. Modelos de aprendizaje en mapas autoorganizados

## CAPÍTULO 4. OTROS MODELOS DE REDES NEURONALES

- 4.1. Redes neuronales realimentadas
- 4.2. Modelo de Hopfield
  - 4.2.1. Modelo de neurona y arquitectura Dinámicas
  - 4.2.2. Memoria asociativa
  - 4.2.3. Función energía de la red
- 4.3. Aprendizaje en la red de Hopfield
  - 4.3.1. Regla de Hebb
  - 4.3.2. Reglas de aprendizaje óptimas
- 4.4. Ejemplo: reconocimiento de caracteres
- 4.5. Neuronas estocásticas  
Máquina de Boltzmann
- 4.6. Modelo de Hopfield analógico (continuo)
  - 4.6.1. Modelo de Hopfield de neuronas continuas
  - 4.6.2. Aplicaciones del modelo de Hopfield analógico
- Optimización
- 4.7. Funciones de base radial (RBF)
- 4.8. LVQ
- 4.9. Otros modelos de redes neuronales

## CAPÍTULO 5. IMPLEMENTACIÓN DE REDES NEURONALES

- 5.1. Introducción
- 5.2. Simulación (software) de ANS
- 5.3. Emulación (hardware) de ANS
- 5.4. Realización hardware de ANS
- 5.5. Neurocomputadores y chips neuronales
  - 5.5.1. Especificaciones de un neuroprocesador
  - 5.5.2. Aspectos generales de la realización VLSI
- 5.6. Bloques básicos en la realización de neuroprocesadores digitales
  - 5.6.1. Sistema de control
  - 5.6.2. Unidad de proceso
  - 5.6.3. Unidad de almacenamiento
  - 5.6.4. Unidad de comunicación
  - 5.6.5. Arquitecturas reconfigurables
  - 5.6.6. Realizaciones especiales: lógica de frecuencia de pulsos
- 5.7. Bloques básicos en la realización de neuroprocesadores analógicos
  - 5.7.1. Unidad de proceso
  - 5.7.2. Unidad de almacenamiento
- 5.8. ¿Realización analógica o digital?
- 5.9. Realizaciones analógicas de ANS
- 5.10. Realizaciones digitales de ANS
- 5.11. Ejemplo: neuroemulador basado en FPGA
- 5.12. Resumen
- Situación comercial y tendencias

## CAPÍTULO 6. APLICACIONES DE LAS REDES NEURONALES ARTIFICIALES

- 6.1. Motivación e interés del empleo de ANS
- 6.2. Desarrollo de una aplicación con ANS
- 6.3. Programas de simulación de ANS
  - 6.3.1. Programas comerciales
  - 6.3.2. Programas de libre distribución

- 6.4. Comparación con otras técnicas
- 6.4.1. Redes neuronales e inteligencia artificial
- 6.4.2. Redes neuronales y estadística
- 6.4.3. Inconvenientes de las redes neuronales
- 6.5. Aplicaciones reales de los ANS
- 6.5.1. Informes sobre el estado de la aplicación de ANS
- 6.5.2. Listado de aplicaciones
- 6.6. Ejemplo de aplicación de ANS: previsión de la demanda de consumo eléctrico
- 6.7. Conclusiones

## PARTE II. SISTEMAS BORROSOS

### CAPÍTULO 7. LÓGICA BORROSA

- 7.1. Introducción
- 7.2. Conjuntos borrosos
- 7.3. Funciones de inclusión de conjuntos borrosos
- 7.4. Variable lingüística
- 7.5. Particiones borrosas
- 7.6. Medidas borrosas
- 7.7. Operaciones borrosas
- 7.8. Inferencia borrosa
- 7.8.1. Principio de extensión
- 7.8.2. Relación borrosa
- 7.8.3. Modus Ponens Generalizado y Modus Tolens Generalizado
- 7.8.4. Implicación borrosa
- 7.9. Reglas borrosas
- 7.10. Dispositivos de inferencia borrosa
- 7.11. Borrosificador (fuzzifier)
- 7.12. Desborrosificador (defuzzifier)
- 7.13. Desarrollo de sistemas borrosos
- 7.14. Borrosidad y probabilidad

### CAPÍTULO 8. SISTEMAS DE CONTROL BORROSO

- 8.1. Introducción al control borroso
- 8.2. Un primer ejemplo
- 8.3. Tipos de controladores borrosos
- 8.3.1. Controladores borrosos directos sin optimización
- 8.3.2. Controladores borrosos directos con optimización
- 8.3.3. Controladores borrosos híbridos

### CAPÍTULO 9. APRENDIZAJE EN SISTEMAS BORROSOS

- 9.1. Introducción
- 9.2. Retropropagación (BP)
- 9.3. Algoritmos genéticos
- 9.3.1. ¿Qué optimizar?
- 9.3.2. Codificación
- 9.3.3. Operadores cruzamiento y mutación
- 9.3.4. Diseño de la función de idoneidad
- 9.4. Algoritmos genéticos desordenados
- 9.4.1. Codificación
- 9.4.2. Operadores corta y empalma

### CAPÍTULO 10. IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS BORROSOS

- 10.1. Introducción
- 10.2. Entornos de desarrollo
- 10.2.1. Entornos de tipo matemático
- 10.2.2. Entornos de lógica borrosa
- 10.3. Codificación en C

- 10.4. Codificación en C++
  - 10.4.1. El modelo ARS (Sistemas de Respuesta Autónoma)
  - 10.4.2. Objeto Vinculo
  - 10.4.3. Objeto World
  - 10.4.4. Objeto FEN (red borrosa equivalente)
  - 10.4.5. Objeto ANN
  - 10.5. Realización hardware de sistemas borrosos
- Aceleradores

## CAPÍTULO 11. APLICACIONES DE LOS SISTEMAS BORROSOS

- 11.1. Introducción. Soft computing, o imitando a la naturaleza
  - 11.2. Interés del empleo de la lógica borrosa
- Fusión de tecnologías
- 11.3. Algunas aplicaciones de los sistemas borrosos
  - 11.4. Robots móviles y navegación autónoma
  - 11.5. Conclusión final

## APÉNDICES

- A. COMPLEMENTOS A LOS MODELOS DE REDES NEURONALES
- A.1. Entrenamiento del perceptrón multicapa: mejoras al algoritmo BP
- A.2. Máquinas de Vectores Soporte (SVM)
- A.3. Redes neuronales para procesamiento temporal
- B. RECURSOS EN INTERNET

## BIBLIOGRAFÍA

## ÍNDICE ALFABÉTICO