

Introducción

Espacio de
Hipótesis

Tipos y Tareas
de
Aprendizaje

Sistemas
Recientes

Aprendizaje Computacional

Eduardo Morales, Enrique Sucar

INAOE

Contenido

Introducción

Espacio de Hipótesis

Tipos y Tareas de Aprendizaje

Sistemas Recientes

- 1 Introducción
- 2 Espacio de Hipótesis
- 3 Tipos y Tareas de Aprendizaje
- 4 Sistemas Recientes

Introducción

Introducción

Espacio de
Hipótesis

Tipos y Tareas
de
Aprendizaje

Sistemas
Recientes

- La capacidad de aprender es uno de los atributos distintivos del ser humano
- El aprendizaje es una de las principales áreas de IA
- Generación y almacenamiento de datos + automatización procesos + avances en almacenamiento \Rightarrow muchos datos
- Interés comercial \Rightarrow desarrollo acelerado

Aprendizaje Computacional

Introducción

Espacio de
Hipótesis

Tipos y Tareas
de
Aprendizaje

Sistemas
Recientes

- Posiblemente la característica más distintiva de la inteligencia humana
- Desde el comienzo de las computadoras se cuestionó si serían capaces de aprender
- La capacidad de aprendizaje abre una amplia gama de nuevas aplicaciones
- El entender como aprenden las máquinas nos puede ayudar a entender el aprendizaje humano

Aprendizaje Computacional

Introducción

Espacio de
Hipótesis

Tipos y Tareas
de
Aprendizaje

Sistemas
Recientes

El aprendizaje humano es diverso e incluye:

- Adquisición de conocimiento
- Desarrollo de habilidades a través de instrucción y práctica
- Organización de conocimiento
- Descubrimiento de hechos
- ...

De la misma forma ML estudia y modela, computacionalmente, los procesos de aprendizaje en sus diversas manifestaciones

Se tiene más teoría y más aplicaciones lo que refleja más maduración

Definiciones

Introducción

Espacio de
HipótesisTipos y Tareas
de
AprendizajeSistemas
Recientes

Aprendizaje: Es el campo de estudio que le da a las computadoras la habilidad de aprender sin ser programadas explícitamente [Samuel, 59]

Aprendizaje: Cambios adaptivos en el sistema para hacer la misma tarea(s) de la misma población de una manera más eficiente y efectiva la próxima vez [Simon, 83].

Aprendizaje: Un programa de computadora se dice que aprende de experiencia E con respecto a una clase de tareas T y medida de desempeño D , si su desempeño en las tareas en T , medidas con D , mejora con experiencia E [Mitchell, 97].

Objetivos

Introducción

Espacio de
Hipótesis

Tipos y Tareas
de
Aprendizaje

Sistemas
Recientes

Los objetivos dependen de la perspectiva:

- Ingenieril (resolver tareas)
- Simulación cognitiva
- Análisis teórico

Programar una máquina lleva mucho tiempo, ML puede *suavizar* ese proceso

Aprendizaje en Sistemas Expertos

Introducción

Espacio de
Hipótesis

Tipos y Tareas
de
Aprendizaje

Sistemas
Recientes

Desde el punto de vista de sistemas basados en conocimiento...

*“...knowledge is currently acquired in a very painstaking way; individual computer scientists work with individual experts to explicate the expert’s heuristics – the problem of knowledge acquisition is the critical bottleneck in artificial intelligence.”
Feigenbaum and McCorduck*

Aprendizaje en Sistemas Expertos

Introducción

Espacio de
Hipótesis

Tipos y Tareas
de
Aprendizaje

Sistemas
Recientes

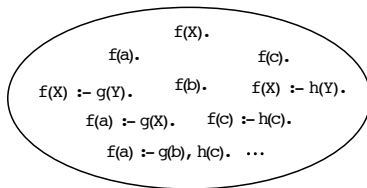
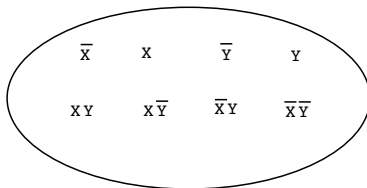
Desde el punto de vista de sistemas basados en conocimiento...

“Knowledge engineers have generally assumed that the procedural knowledge which drives an expert’s skilled behavior can be elicited by dialogue. The findings of the past decade in brain science, cognitive psychology and commercial software do not support this idea. Evidence is lacking that skills, having once reached the “automization” stage, can be de-automized by dialogue so as to make their inner workings accessible to introspective report.”
Donald Michie

El Espacio de Hipótesis

- Lenguaje de Hipótesis: Sintáxis usada en la construcción de hipótesis
- Espacio de Hipótesis: Conjunto de todas las posibles hipótesis dentro del lenguaje de hipótesis
- El lenguaje de hipótesis determina el espacio de hipótesis del cual el método selecciona sus reglas e impone restricciones/preferencias en lo que se puede aprender y qué estrategias de razonamiento utilizar
- Al escoger un lenguaje, debemos de considerar lo que queremos que el sistema realice, la información que se le debe de proporcionar y si lo va a resolver a tiempo
- Existe, como en los métodos de inferencia de KR, un *balance fundamental* entre la expresividad y la eficiencia

Espacio de Hipótesis



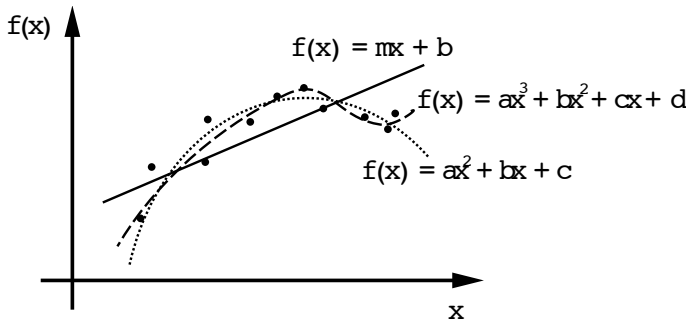
Introducción

Espacio de Hipótesis

Tipos y Tareas de Aprendizaje

Sistemas Recientes

Espacio de Hipótesis



Introducción

Espacio de
HipótesisTipos y Tareas
de
AprendizajeSistemas
Recientes

Lenguaje de Hipótesis

Introducción

Espacio de
Hipótesis

Tipos y Tareas
de
Aprendizaje

Sistemas
Recientes

- El lenguaje de hipótesis depende del área de aplicación. Una vez definido, una buena parte del tiempo se dedica a seleccionar cuidadosamente las estructuras de conocimiento adecuadas para la tarea de aprendizaje.
- Este tiempo se vuelve más crítico cuando el lenguaje de hipótesis restringe la expresividad y el conocimiento del dominio tiene que adaptarse al formalismo adoptado.
- El proceso de inducción puede verse como una búsqueda de hipótesis o reglas.

Métodos de inferencia

- Intuitivamente un método de inferencia es un proceso computacional de algún tipo que lee ejemplos y produce hipótesis del espacio de hipótesis.
- Existe una gran cantidad de métodos:
 - Realizar ajustes graduales con base en refuerzos sobre predicciones sucesivas (e.g., RL, NN, etc.).
 - Construcción incremental de hipótesis tratando de cubrir la mayor parte de un conjunto de ejemplos (e.g., reglas de clasificación, ILP) o con base en mejores particiones de ejemplos (e.g., TDIDT).
 - Guardar ejemplos prototípicos (e.g., CBR, IBL).
 - Buscar relaciones entre variables (e.g., BN).
 - Combinar o modificar hipótesis promisorias (e.g., GA).
 - ...

Criterio de éxito

Introducción

Espacio de
Hipótesis

Tipos y Tareas
de
Aprendizaje

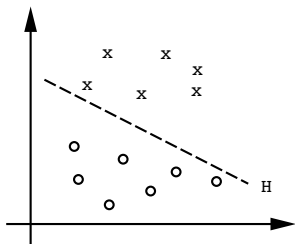
Sistemas
Recientes

En la práctica queremos ciertas garantías de la calidad de la hipótesis. Las más comunes son que sea completo y consistente

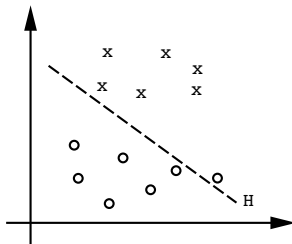
- Una hipótesis es *completa* si cubre todos los ejemplos positivos
- Una hipótesis es *consistente* si no cubre a ninguno de los ejemplos negativos

A veces el usuario determina el criterio de paro. Si el sistema genera sus propios ejemplos, éste lo determina.

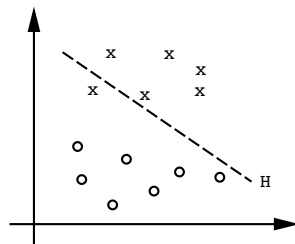
Completo y Consistente



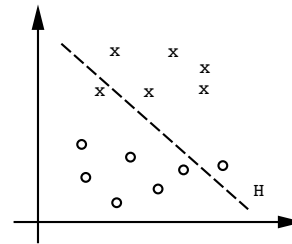
Completo y Consistente



Completo e Inconsistente



Incompleto y Consistente



Incompleto e Inconsistente

Introducción

Espacio de Hipótesis

Tipos y Tareas de Aprendizaje

Sistemas Recientes

Clasificaciones

Introducción

Espacio de
Hipótesis

Tipos y Tareas
de
Aprendizaje

Sistemas
Recientes

Varios autores clasifican a los sistemas de aprendizaje de diferentes formas:

- Por el esquema matemático subyacente
- Por la naturaleza de los datos
- Por las suposiciones sobre los modelos
- Por las tareas que resuelven

Esquema Matemático Subyacente

Introducción

Espacio de Hipótesis

Tipos y Tareas de Aprendizaje

Sistemas Recientes

- 1 Modelos geométricos: Los ejemplos definen un espacio de instancias sobre el cual se pueden construir modelos geométricos, e.g., calculando distancias, buscando hiperplanos, encontrando prototipos, etc.
 - Normalmente los atributos son numéricos, por lo que se pueden utilizar conceptos geométricos como líneas, planos y distancias, y se pueden hacer transformaciones lineales y usar diferentes medidas de distancia
 - Algunos ejemplos con: Clasificadores lineales, vecinos más cercanos, k-means, SVMs, clasificación basada en prototipos, etc.

Esquema Matemático Subyacente

Introducción

Espacio de Hipótesis

Tipos y Tareas de Aprendizaje

Sistemas Recientes

- ② Modelos probabilistas: En aprendizaje queremos saber cuál es la mejor hipótesis (más probable) dados los datos
- Si $P(D)$ = probabilidad *a priori* de los datos (i.e., cuáles datos son más probables que otros) y $P(D | h)$ = probabilidad de los datos dada una hipótesis, lo que queremos estimar es: $P(h | D)$, la probabilidad posterior de h dados los datos.
 - Esto lo podemos estimar con Bayes.

$$P(h | D) = \frac{P(D | h)P(h)}{P(D)}$$

Esquema Matemático Subyacente

- Para estimar la hipótesis más probable o MAP (*maximum a posteriori hypothesis*):

$$\begin{aligned} h_{MAP} &= \operatorname{argmax}_{h \in H} (P(h | D)) \\ &= \operatorname{argmax}_{h \in H} \left(\frac{P(D|h)P(h)}{P(D)} \right) \\ &\approx \operatorname{argmax}_{h \in H} (P(D | h)P(h)) \end{aligned}$$

Ya que $P(D)$ es una constante independiente de h .

- Si suponemos que las hipótesis son igualmente probables, nos queda la hipótesis de máxima verosimilitud o ML (*maximum likelihood*):

$$h_{ML} = \operatorname{argmax}_{h \in H} (P(D | h))$$

- Aquí se manejan conceptos de probabilidad a priori, máxima verosimilitud, teorema de Bayes, etc.

Esquema Matemático Subyacente

Introducción

Espacio de
Hipótesis

Tipos y Tareas
de
Aprendizaje

Sistemas
Recientes

- ③ Modelos lógicos: Modelos que pueden expresarse desde un punto de vista lógico, incluyendo conjunciones, disjunciones, negación, default, etc.
 - También se les conoce como declarativos, se prestan para dar explicaciones y manejan conceptos como completo y consistente
 - Por ejemplo, reglas de clasificación, árboles de decisión, ILP, patrones frecuentes, subgroup discovery, etc.

Naturaleza de los datos

Esta es una de las clasificaciones más usadas:

- 1 Supervisado: Se tienen datos (X) con una etiqueta (clase) asociada (Y) y se busca encontrar un modelo que dada una instancia de X prediga la etiqueta. Son tareas de clasificación y regresión y se usan conceptos como *overfitting*
- 2 No supervisado: En este caso no se tienen etiquetas asociadas y se busca encontrar una estructura inherente en los datos, organizandolos generalmente por similitud
- 3 Aprendizaje por Refuerzo: Se busca aprender cómo mapear situaciones a acciones en un proceso iterativo de exploración en el ambiente. Se modelan usando procesos de decisión de Markov (MDPs)

Suposiciones sobre los modelos

Introducción

Espacio de
Hipótesis

Tipos y Tareas
de
Aprendizaje

Sistemas
Recientes

- Paramétricos: El modelo resume los datos con un conjunto de parámetros finitos
- No paramétricos: No hacen en general suposiciones fuertes sobre la función o modelo que se quiere encontrar

Modelos Paramétricos

Introducción

Espacio de
Hipótesis

Tipos y Tareas
de
Aprendizaje

Sistemas
Recientes

Estos algoritmos involucran dos pasos:

- 1 Seleccionar la forma de la función
- 2 Aprender los valores de los coeficientes de la función a partir de los datos

Modelos Paramétricos

Introducción

Espacio de
Hipótesis

Tipos y Tareas
de
Aprendizaje

Sistemas
Recientes

Las funciones pueden ser muy variadas, por ejemplo:

- Funciones lineales
- Regresiones logísticas
- Perceptrones
- Naïve Bayes
- Redes neuronales sencillas
- ...

Modelos Paramétricos

Ventajas:

- **Simple:** Son más fáciles de entender y de interpretar sus resultados
- **Velocidad:** Se aprenden rápidamente
- **Datos:** Requieren en general menos datos

Desventajas:

- **Restrictivos:** Al seleccionar un tipo de función particular se restringe lo que se puede aprender
- **Complejidad limitada:** En general son adecuados para problemas más sencillos
- **Ajuste:** Es probable que el modelo seleccionado no ajuste adecuadamente la función subyacente

Modelos No Paramétricos

Introducción

Espacio de Hipótesis

Tipos y Tareas de Aprendizaje

Sistemas Recientes

- No hacen suposiciones acerca de la forma de la función, sino que se determina con los datos
- Algunos ejemplos son:
 - k-vecinos más cercanos
 - Árboles de decisión
 - SVM
 - Aprendizaje Bayesiano
 - ...

Modelos No Paramétricos

Introducción

Espacio de Hipótesis

Tipos y Tareas de Aprendizaje

Sistemas Recientes

Ventajas:

- Flexibilidad: Capaces de ajustar una gran cantidad de funciones
- Poder: No hacen grandes suposiciones sobre los modelos
- Desempeño: Pueden obtener mejores desempeños

Desventajas:

- Datos: Requieren una gran cantidad de datos
- Velocidad: En general se tardan en aprender
- Ajuste: Son propensos a realizar sobre-ajustes

Tareas de Aprendizaje

Introducción

Espacio de
Hipótesis

Tipos y Tareas
de
Aprendizaje

Sistemas
Recientes

- **Descripción:** normalmente es usada como análisis preliminar de los datos (resumen, características de los datos, casos extremos, etc.).
- Con esto, el usuario se *sensibiliza* con los datos y su estructura
- Busca derivar descripciones concisas de características de los datos (e.g., medias, desviaciones estándares, etc.).

Descripción

Weka Explorer

Preprocess Classify Cluster Associate Select attributes Visualize

Open file... Open URL... Open DB... Generate... Undo Edit... Save...

Filter: Choose **None** Apply

Current relation: dureza2-weka.filters.unsupervised.attribute.R...
Instances: 4226 Sum of weights: 4226

Attributes: All None Invert Pattern

No.	Name
<input type="checkbox"/>	39 PermArea4HT
<input type="checkbox"/>	40 PresionPromHT
<input type="checkbox"/>	41 TiempoCicloHT
<input checked="" type="checkbox"/>	42 PresionH2OBoqTT
<input type="checkbox"/>	43 TempH2OTT
<input type="checkbox"/>	44 TiempoTempleTT
<input type="checkbox"/>	45 TempCaidaTuboTT
<input type="checkbox"/>	46 FlujoH2OBoqTT
<input type="checkbox"/>	47 FlujoH2OPuntasExtTT
<input type="checkbox"/>	48 PresionH2OPuntasExtTT
<input type="checkbox"/>	49 PirometriaHR

Remove

Selected attribute

Name: PresionH2OBoqTT Type: Numeric
Missing: 0 (0%) Distinct: 167 Unique: 11 (0%)

Statistic	Value
Minimum	4.28
Maximum	6.6
Mean	5.372
StdDev	0.351

Class: Dureza (Nom) Visualize All

Status: OK Log x 0

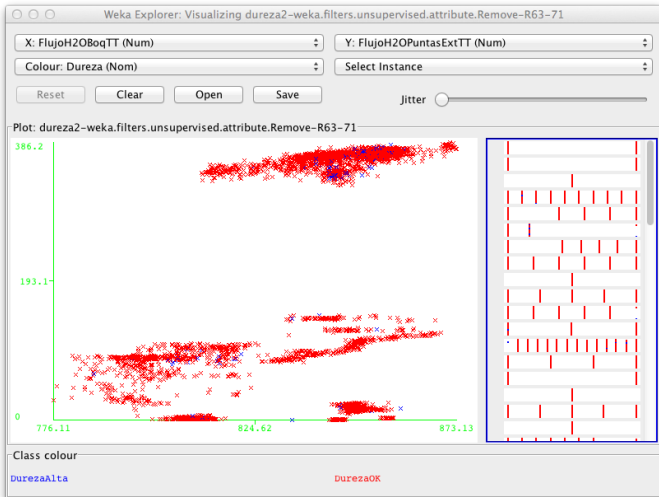
Introducción

Espacio de Hipótesis

Tipos y Tareas de Aprendizaje

Sistemas Recientes

Descripción



Introducción

Espacio de Hipótesis

Tipos y Tareas de Aprendizaje

Sistemas Recientes

Tareas de Aprendizaje

Introducción

Espacio de
Hipótesis

Tipos y Tareas
de
Aprendizaje

Sistemas
Recientes

- **Predicción:** Clasificación y Estimación.
 - **Clasificación:** Los datos son objetos caracterizados por atributos que pertenecen a diferentes clases (etiquetas discretas).
 - La meta es inducir un modelo para poder predecir una clase dados los valores de los atributos.
 - Se usan por ejemplo, árboles de decisión, reglas, SVM, etc.

Árboles y Reglas

Introducción

Espacio de Hipótesis

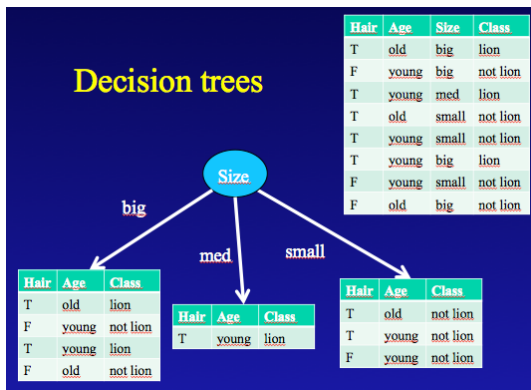
Tipos y Tareas de Aprendizaje

Sistemas Recientes

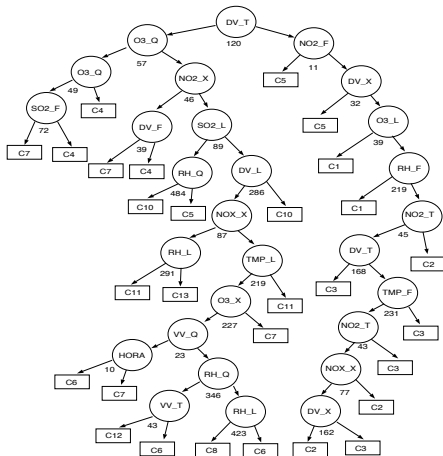
- Árboles de decisión y reglas de clasificación: realizan cortes sobre una variable (lo cual limita su expresividad, pero facilita su comprensión). Generalmente se usan técnicas heurísticas en su construcción (e.g., ID3, C4.5, CN2).
- Los árboles dividen los datos en subconjuntos considerando un atributo particular (*splitting*)
- Las reglas tratan de cubrir la mayor cantidad de ejemplos de una clase (y el menor de otras) antes de construir reglas para otra clase (*covering*)

Ábroles de Decisión

Usan una heurística, generalmente basada en Entropía ($I = -\sum_{i=1}^n P(v_i) \log_2 P(v_i)$) y Ganancia de Información para decidir qué atributo divide mejor los datos con respecto a las clases

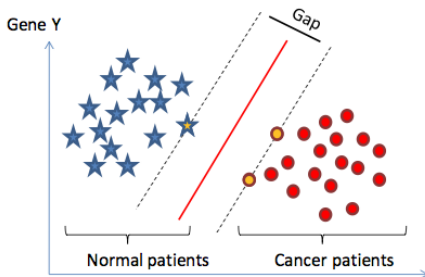


Ejemplo



Máquinas de Soporte Vectorial

- Representando los ejemplos como vectores
- Sabiendo cómo calcular hiperplanos
- Sabiendo cómo calcular la distancia entre planos
- La pregunta es ¿cómo podemos construir el hiperplano que separa dos clases con la máxima distancia entre los ejemplos de las clases?



Máquinas de Soporte Vectorial

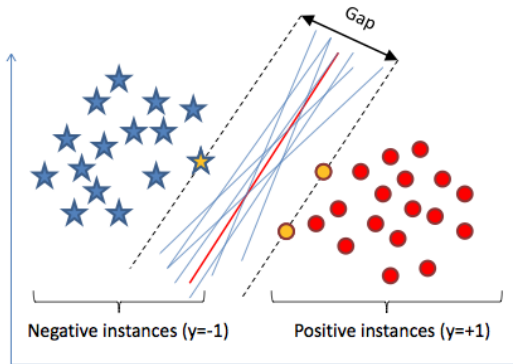
Introducción

Espacio de Hipótesis

Tipos y Tareas de Aprendizaje

Sistemas Recientes

- Dado un conjunto de datos de entrenamiento: $\{\vec{x}_1, \vec{x}_2, \dots, \vec{x}_N\} \in R^N$ y $y_1, y_2, \dots, y_N \in \{-1, +1\}$



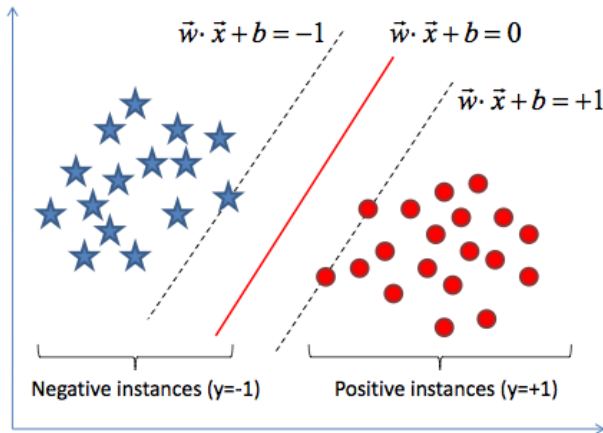
Máquinas de Soporte Vectorial

Introducción

Espacio de Hipótesis

Tipos y Tareas de Aprendizaje

Sistemas Recientes



Máquinas de Soporte Vectorial

Introducción

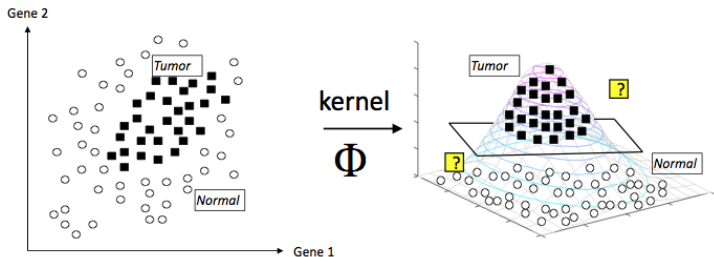
Espacio de Hipótesis

Tipos y Tareas de Aprendizaje

Sistemas Recientes

- El problema se resuelve al minimizar $\frac{1}{2} \|\vec{w}\|^2$ (función objetivo) sujeta a: $y_i(\vec{w} \cdot \vec{x}_i + b) \geq 1$ (restricciones) para $i = 1, \dots, N$
- Si no existe un hiper-plano que separe completamente a los datos se usan variables de holgura
- Minimizar $\frac{1}{2} \|\vec{w}\|^2 + C \sum_{i=1}^N \psi_i$ sujeta a: $y_i(\vec{w} \cdot \vec{x}_i + b) \geq 1 - \psi_i$ para $i = 1, \dots, N$

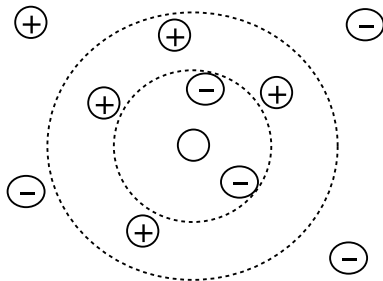
Kernel Trick



- Datos que los datos en general no son linealmente separables en el espacio generado por los atributos de entrada, se genera un espacio de mayor dimensionalidad, aplicando un *kernel*, en donde posiblemente sean separables

Aprendizaje Basado en Instancias

- Métodos basados en ejemplos prototípicos: Se hacen aproximaciones con base en los ejemplos o casos más conocidos (*Exemplar-based learning* y *Case-based reasoning*)
- Se requiere determinar una medida de similaridad adecuada y el número de instancias a considerar



Programación Lógica Inductiva

Introducción

Espacio de
Hipótesis

Tipos y Tareas
de
Aprendizaje

Sistemas
Recientes

- Se inducen modelos en una representación relacional
- Estrategias:
 - 1 Basadas en lógica: lgg (mgu), resolución inversa, implicación inversa
 - 2 Basadas en heurísticas: parecido a la construcción de reglas

Resolución inversa y RLG

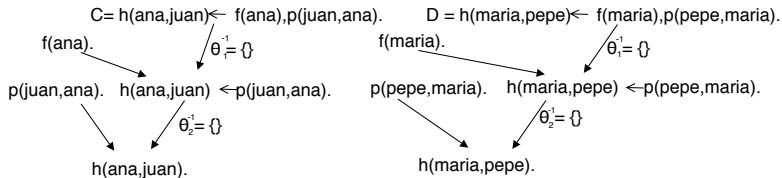
Introducción

Espacio de Hipótesis

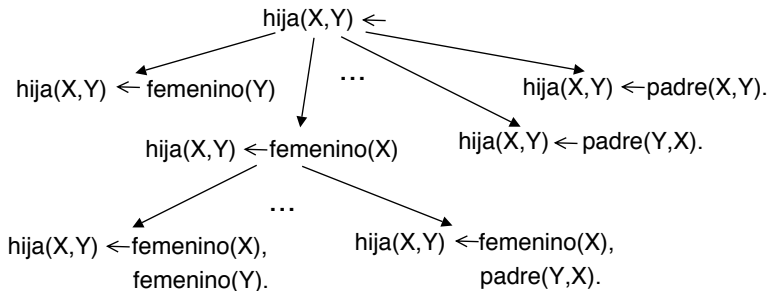
Tipos y Tareas de Aprendizaje

Sistemas Recientes

$$\text{lgg}(C,D) = h(X,Y) \leftarrow f(X), p(Y,X).$$



Proceso de Construcción de Hipótesis



Ejemplo: Predicción de mutagénesis

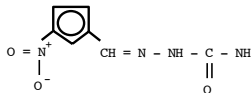
Introducción

Espacio de Hipótesis

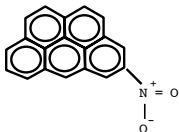
Tipos y Tareas de Aprendizaje

Sistemas Recientes

ACTIVO

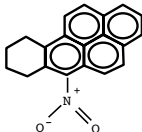


nitrofurazone

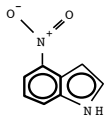


4-nitropenta[cd]pyrene

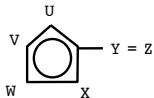
INACTIVO



6-nitro-7,8,9,10-tetrahydrobenzo[a]pyrene



4-nitroindole



Tareas de Aprendizaje

Introducción

Espacio de
Hipótesis

Tipos y Tareas
de
Aprendizaje

Sistemas
Recientes

- **Predicción:** Clasificación y Estimación.
 - **Estimación o Regresión:** Las clases son continuas.
 - La meta es inducir un modelo para poder predecir el valor de la clase dados los valores de los atributos.
 - Se usan por ejemplo, árboles de regresión, regresión lineal, redes neuronales, LWR, etc.

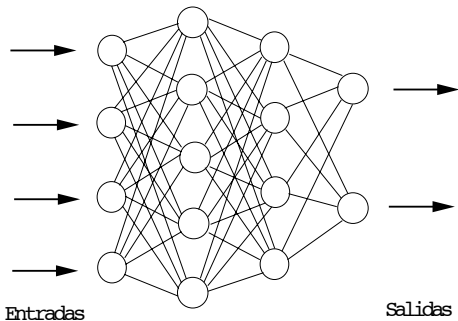
Redes Neuronales

Introducción

Espacio de Hipótesis

Tipos y Tareas de Aprendizaje

Sistemas Recientes



Redes Neuronales

- Se calcula el gradiente del error cuadrático medio

$$E(W) = \frac{1}{2} \sum_i (t_i - o_i)^2$$

- Se cambian los pesos en la dirección que produce el máximo descenso en la superficie del error.

$$W \leftarrow W + \Delta W$$

$$\Delta W = -\alpha \nabla E$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial w_i} &= \frac{\partial}{\partial w_i} \frac{1}{2} \sum_{d \in D} (t_d - o_d)^2 \\ &= \sum_{d \in D} (t_d - o_d) \frac{\partial}{\partial w_i} (t_d - \vec{w} \cdot \vec{x}_d) \\ &= \sum_{d \in D} (t_d - o_d) (-x_{i,d}) \end{aligned}$$

- Por lo que:

$$\Delta w_i = \alpha \sum_{d \in D} (t_d - o_d) x_{i,d}$$

Redes Neuronales

En caso de redes de múltiples capas, se tiene que “repartir” el error entre las capas

- 1 Propaga las entradas a través de la red y calcula la salida
- 2 Propaga el error hacia atrás
 - 1 para cada unidad de salida k , calcula su error δ_k

$$\delta_k \leftarrow o_k(1 - o_k)(t_k - o_k)$$

- 2 Para cada unidad oculta h , calcula su error δ_h

$$\delta_h \leftarrow o_h(1 - o_h) \sum_{k \in \text{sal}(h)} w_{hk} \delta_k$$

- 3 Actualiza los pesos w_{ij}

$$w_{ij} \leftarrow w_{ij} + \Delta w_{ij} \quad \text{donde} \quad \Delta w_{ij} = \alpha \delta_j x_{ij}$$

Tareas de Aprendizaje

Introducción

Espacio de Hipótesis

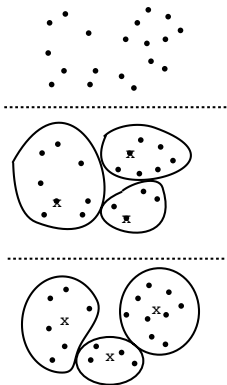
Tipos y Tareas de Aprendizaje

Sistemas Recientes

- **Segmentación:** separación de los datos en subgrupos o clases interesantes.
- Las clases pueden ser exhaustivas y mutuamente exclusivas o jerárquicas y con traslapes.
- Se puede utilizar con un clasificador
- Se usan algoritmos de *clustering*, SOM (*self-organization maps*), EM (*expectation maximization*), *k-means*, etc.
- Normalmente el usuario tiene una buena capacidad de formar las clases

Clustering

- Clustering: agrupan datos cuya *distancia* multidimensional dentro de la clase es *pequeña* y entre clases es *grande*.



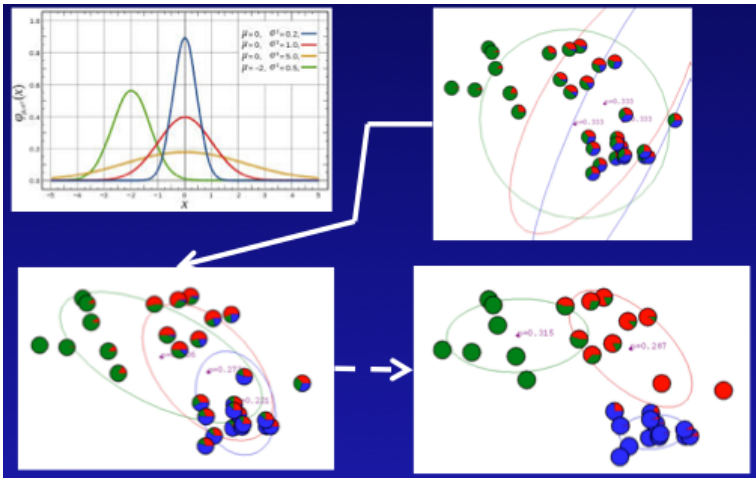
Clustering

Introducción

Espacio de Hipótesis

Tipos y Tareas de Aprendizaje

Sistemas Recientes



Tareas de Aprendizaje

Introducción

Espacio de Hipótesis

Tipos y Tareas de Aprendizaje

Sistemas Recientes

- **Análisis de dependencias:** El valor de un elemento puede usarse para predecir el valor de otro. La dependencia puede ser probabilística, puede definir una red de dependencias o puede ser funcional (leyes físicas).
- También se ha enfocado a encontrar si existe una alta proporción de valores de algunos atributos que ocurren con cierta medida de confianza junto con valores de otros atributos.
- Se pueden utilizar redes Bayesianas, redes causales, y reglas de asociación.

Modelos Gráficos Probabilistas

Introducción

Espacio de
Hipótesis

Tipos y Tareas
de
Aprendizaje

Sistemas
Recientes

- Modelos gráficos de dependencias probabilísticas: básicamente se utilizan redes bayesianas, en donde dado un modelo estructural y probabilístico, se encuentran los valores de ciertas variables dados valores de otras variables.

Redes Bayesianas

- Lo que normalmente se quiere saber en aprendizaje es cuál es la mejor hipótesis (más probable) dados los datos
- Esto lo podemos estimar con Bayes.

$$P(h | D) = \frac{P(D | h)P(h)}{P(D)}$$

- Para estimar la hipótesis más probable o MAP (*maximum a posteriori hypothesis*):

$$\begin{aligned} h_{MAP} &= \operatorname{argmax}_{h \in H} (P(h | D)) \\ &= \operatorname{argmax}_{h \in H} \left(\frac{P(D|h)P(h)}{P(D)} \right) \\ &\approx \operatorname{argmax}_{h \in H} (P(D | h)P(h)) \end{aligned}$$

Redes Bayesianas

Introducción

Espacio de Hipótesis

Tipos y Tareas de Aprendizaje

Sistemas Recientes

Para aprender una Red Bayesiana involucra dos pasos

- 1 Aprendizaje paramétrico. Dada una estructura obtener las probabilidades *a priori* y condicionales
- 2 Aprendizaje estructural. Obtener las relaciones de dependencia e independencia. Existen dos estrategias:
 - 1 Basados en medidas de ajuste y búsqueda
 - 2 Basados en pruebas de independencia

Ejemplo

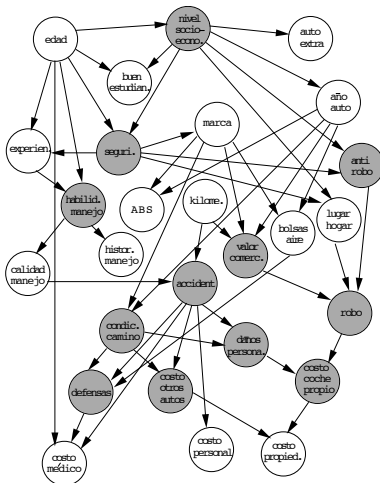


Figure: Red Bayesiana de seguros de coches.

Reglas de Asociación

Introducción

Espacio de
Hipótesis

Tipos y Tareas
de
Aprendizaje

Sistemas
Recientes

- Reglas que relacionan un conjunto de pares atributo-valor con otros pares atributo-valor.
- Por ejemplo:

$$\begin{aligned} & \text{edad}(X, 20 \dots 29) \wedge \text{ingresos}(X, 20K \dots 29K) \\ & \Rightarrow \text{compra}(X, CD) \\ & [\text{soporte} = 2\%, \text{confianza} = 60\%] \end{aligned}$$

Reglas de Asociación - Apriori

Introducción

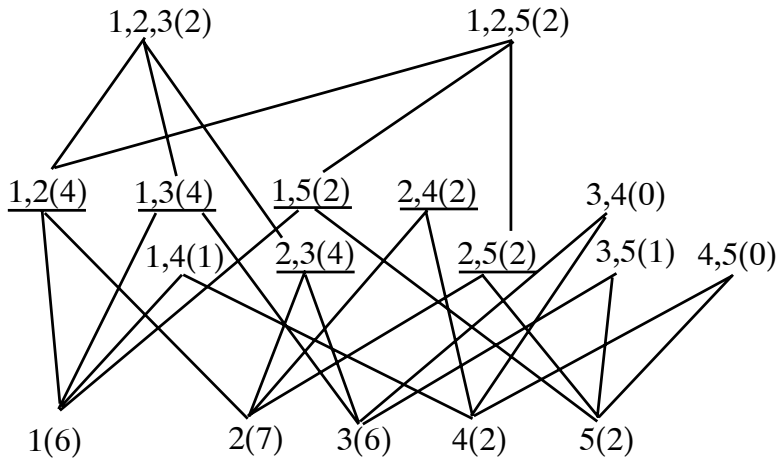
Espacio de
Hipótesis

Tipos y Tareas
de
Aprendizaje

Sistemas
Recientes

- Se consideran dos parámetros: soporte y confianza
- En general se obtienen todos los *itemsets* que cumplen con el valor de cobertura y después se obtienen todas las reglas que cumplen con el nivel de confianza

Ejemplo



Tareas de Aprendizaje

Introducción

Espacio de
Hipótesis

Tipos y Tareas
de
Aprendizaje

Sistemas
Recientes

- **Detección de desviaciones**, casos extremos o anomalías
- Detectar los cambios más significativos en los datos con respecto a valores pasados o normales
- Sirve para filtrar grandes volúmenes de datos que son menos probables de ser interesantes
- El problema está en determinar cuándo una desviación es significativa para ser de interés.

Detección de Desviaciones

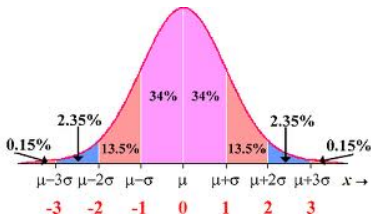
Introducción

Espacio de Hipótesis

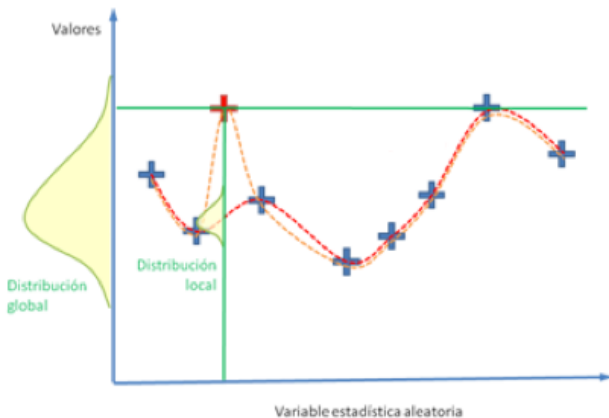
Tipos y Tareas de Aprendizaje

Sistemas Recientes

- Ejemplo sencillo: Detectar valores fuera de rango
- Valores que estén fuera de la media/moda + 3 desv. estd.



Detección de desviaciones



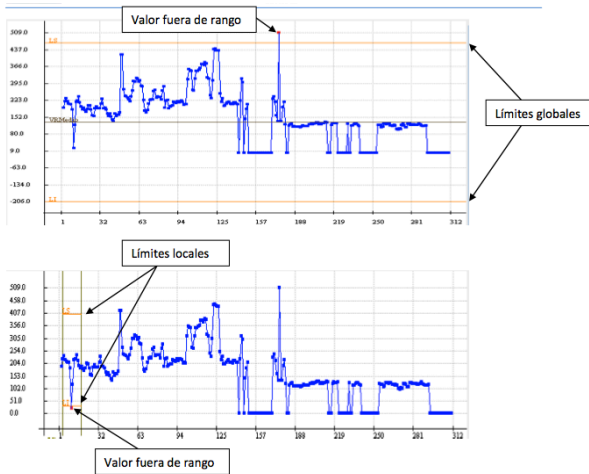
Detección de desviaciones

Introducción

Espacio de Hipótesis

Tipos y Tareas de Aprendizaje

Sistemas Recientes



Tareas de Aprendizaje

Introducción

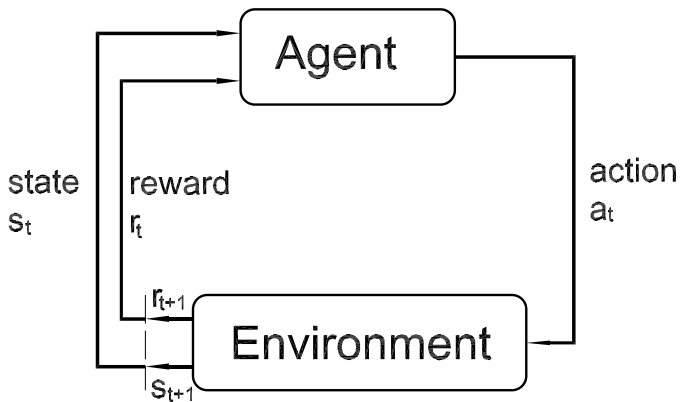
Espacio de
Hipótesis

Tipos y Tareas
de
Aprendizaje

Sistemas
Recientes

- **Aprendizaje de la mejor acción a tomar** a partir de experiencia
- Esto involucra búsqueda y exploración del ambiente.
- Está relacionado principalmente con aprendizaje por refuerzo, pero también con técnicas como aprendizaje de macro-operadores, *chunking* y EBL.

Aprendizaje por Refuerzo



Introducción

Espacio de Hipótesis

Tipos y Tareas de Aprendizaje

Sistemas Recientes

Algoritmo Q-Learning

Introducción

Espacio de
HipótesisTipos y Tareas
de
AprendizajeSistemas
Recientes

Inicializa $Q(s, a)$ arbitrariamente

Repite (para cada episodio):

 Inicializa s

 Repite (para cada paso del episodio):

 Selecciona una a de s usando la política dada por Q
(e.g., ϵ -greedy)

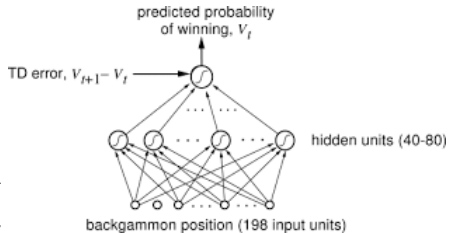
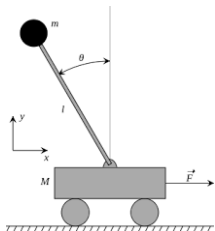
 Realiza acción a , observa r, s'

$Q(s, a) \leftarrow Q(s, a) + \alpha [r + \gamma \max_{a'} Q(s', a') - Q(s, a)]$

$s \leftarrow s'$;

 hasta que s sea terminal

Ejemplos



Tareas de Aprendizaje

Introducción

Espacio de
Hipótesis

Tipos y Tareas
de
Aprendizaje

Sistemas
Recientes

- **Optimización y búsqueda:** Existen una gran cantidad de algoritmos de búsqueda tanto determinística como aleatoria, individual como poblacional, local como global, que se utilizan principalmente para resolver algún problema de optimización.
- Aquí podemos incluir a los algoritmos genéticos, recocido simulado, *ant-colony*, técnicas de búsqueda local, enjambres, etc.

Algunas Técnicas Recientes

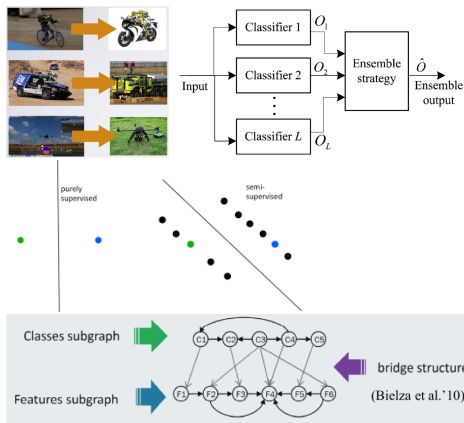
Introducción

Espacio de Hipótesis

Tipos y Tareas de Aprendizaje

Sistemas Recientes

- Transfer Learning
- Ensamblajes
- Semi-supervised learning
- Multi-label classification
- Gaussian processes
- Deep Learning
- Big Data analysis (Hadoop)
- ...



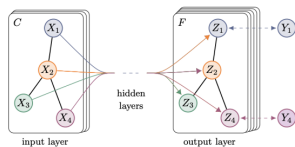
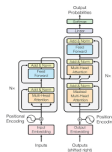
Algunas Técnicas Recientes

Introducción

Espacio de Hipótesis

Tipos y Tareas de Aprendizaje

Sistemas Recientes



- Transformers
- Diffusion models
- Graph Networks
- Curriculum/ Incremental/ Life-long Learning
- Neuro-Simbólico
- ...



(A) The Cartoon History of AI

(B) The Cartoon History of AI



Aplicaciones

Existe una gran cantidad de aplicaciones tales como:

- astronomía
- biología molecular
- aspectos climatológicos
- medicina
- industria y manufactura
- mercadotecnia
- inversión en casas de bolsa y banca
- detección de fraudes y comportamientos inusuales
- análisis de canastas de mercado
- aprendizaje de tareas en robótica
- ...

Consideraciones

Introducción

Espacio de
Hipótesis

Tipos y Tareas
de
Aprendizaje

Sistemas
Recientes

Algunos puntos cuando se quiere correr o desarrollar algún algoritmo de aprendizaje son:

- ¿Qué algoritmos existen para resolver cierta tarea?
¿Cuándo y cómo usarlos? ¿Qué propiedades tienen?
¿Cómo se afecta su desempeño con sus parámetros?
- ¿Cuántos datos o tiempo de entrenamiento necesito?
¿Qué tanta confianza puedo tener en los resultados?
- ¿Cómo y cuándo usar conocimiento del dominio?
- ¿Cómo evaluarlo?
- ...

Otros Aspectos

Introducción

Espacio de
Hipótesis

Tipos y Tareas
de
Aprendizaje

Sistemas
Recientes

- Selección de atributos: *filter*, *wrapper*, ...
- Transformación de los datos: discretización, *kernels*, *feature construction*, prototípos, *word2vec*, ...
- Selección de algoritmos: *full model selection*
- Paralelización: GPUs, multi-cores, ...

Retos

- Volúmen de datos (mega, giga y hasta terabytes)
- Alta dimensionalidad y/o pocos datos
- Sobreajuste (*overfitting*)
- Datos y conocimiento dinámicos
- Ruido, incertidumbre y datos incompletos y/o esparsos
- Relaciones complejas entre campos, jerarquías, etc.
- Interpretación de los resultados
- Incorporación de conocimiento del dominio
- Interacción activa del usuario

Introducción

Espacio de
Hipótesis

Tipos y Tareas
de
Aprendizaje

Sistemas
Recientes

Retos (cont.)

- Aprendizaje neuro-simbólico
- Aprender sin o con poca guía del usuario
- Selección automática de información relevante
- Aprender con pocos ejemplos
- Aprendizaje del mundo físico/modelos causales/sentido común
- Aprender concurrentemente varios conceptos a la vez
- *incremental/life-long learning*
- Cómo organizar el conocimiento aprendido para re-utilizarlo efectivamente

Introducción

Espacio de
Hipótesis

Tipos y Tareas
de
Aprendizaje

Sistemas
Recientes