



INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA AL CONTROL

Tema 3: Sistemas expertos en control

Dpto.: Arquitectura de Computadores y Automática
Autor: Matilde Santos



CONTROL EXPERTO

- SISTEMAS EXPERTOS
 - CONOCIMIENTO
 - RAZONAMIENTO
- CONTROL EXPERTO



3.1 SISTEMAS EXPERTOS



SISTEMAS BASADOS EN CONOCIMIENTO

- Aplicación **informática** en la que aparece **representado el conocimiento** necesario para resolver un determinado tipo de problemas, **separadamente** del procedimiento para resolverlos



SISTEMAS EXPERTOS

- Un **sistema experto** (SE) es un programa que incorpora de forma computacional el conocimiento de un experto humano para realizar una tarea X en un dominio Y, de forma que para esa tarea, la eficiencia del programa es comparable a la del experto humano

Sistema Inteligente

5



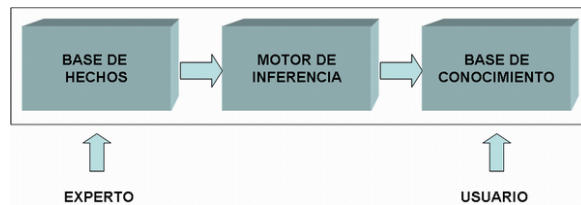
CARACTERÍSTICAS

- Conocimiento:
 - subjetivo, incompleto, incierto y sujeto a cambios
- Dominio:
 - delimitado y restringido
- Razonamiento
 - simbólico (lógica)
- Estructura
 - Modular

6



ESTRUCTURA

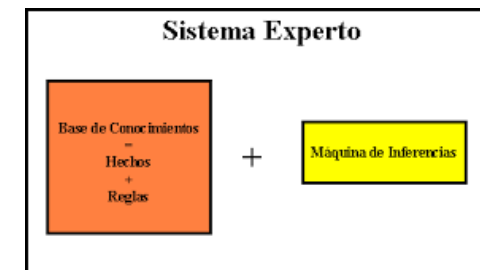


- **Base de Conocimiento:** representa de forma codificada (reglas) fragmentos de conocimiento del experto humano acerca de una tarea específica
- **Base de Datos/Hechos:** información sobre el problema concreto que se quiere resolver

7



Sistema Experto



- **Motor de Inferencias:** programa general para aplicar el conocimiento independientemente de la aplicación
 - Genera nuevos hechos ciertos al combinar los que utiliza como entrada con el contenido de las reglas según los mecanismos de razonamiento que contiene

8

- *Explicación y Diálogo* indica al usuario cómo y por qué el sistema ha llegado a una determinada conclusión
- *Adquisición del Conocimiento y/o módulo de Aprendizaje*: modifica el contenido de la base de conocimientos, según las instrucciones del usuario y/o su propia experiencia

- *Interfaz con el usuario*



9

MÓDULO DE EXPLICACIÓN

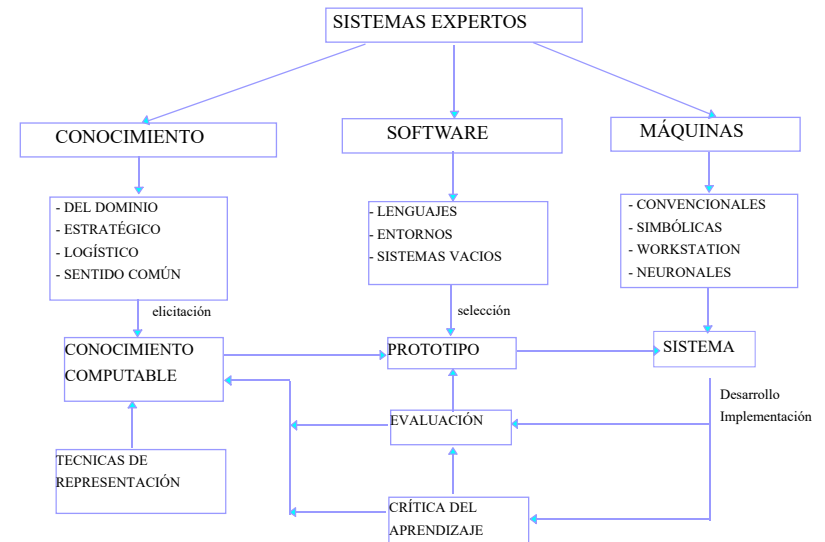
- La capacidad de razonar acerca de sus propias decisiones (autoconocimiento, por qué toma una decisión en un momento dado)
- En los SE las “explicaciones” son un efecto secundario del proceso inferencial
- Muy limitada capacidad explicativa (mostrar el camino inferencial), no el por qué
 - La traza de las reglas utilizadas para concluir un hecho
 - Ayudas al proceso de depurado
 - No considera conocimientos relativos a las inferencias, implícitos en el MI, no accesibles al usuario

10

VÍAS DE DESARROLLO DE SE

- **CONOCIMIENTO**: técnicas de representación, conocimiento del dominio, conocimiento estratégico, logístico, esquemas de razonamiento
- **SOFTWARE**: lenguajes específicos (IA), entornos de programación, facilidades gráficas, interfaces inteligentes con los sistemas
- **MÁQUINAS DIANA**: en las que corre el software desarrollado: grandes estaciones de trabajo y máquinas simbólicas por un lado, y PC's por otro

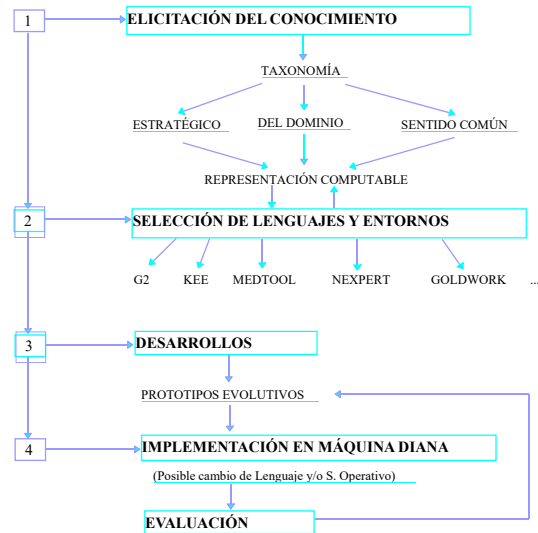
11



12



DESARROLLO DE SE



13



IMPLEMENTACIÓN

- Programación orientada a objetos
 - Representaciones de sistemas basadas en modelos
 - Funcionamiento en tiempo real
- Mayor complejidad en el desarrollo de mecanismos de razonamiento de control
- Explosión combinatoria a la que conduce

14



CONOCIMIENTO

- Muchas y variadas fuentes
- Teórico o empírico (interconectado)
- Compuesto de datos, experiencias y razonamientos
- No sólo a formas de argumentar, sino interpretación de cada elementos del proceso cognoscitivo del operario

15



REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

- En forma de reglas (de producción):
 - **si** (condiciones) **entonces** (conclusiones)
 - Aplicación de la lógica proposicional
- Mediante marcos (frames)
- Relaciones
- Lógica de predicados
- Redes semánticas

16



LIMITACIONES

- No capacidad de reformular el problema para solucionarlo más eficazmente
 - Representarlo de formas distintas y a distintos niveles de detalle
- Gestionar grandes bases de datos de conocimientos (consistencia y correctitud)
- Utilizar autoconocimiento para guiar las estrategias de resolución de problemas
 - Metaconocimiento: cómo usar los conocimientos del dominio

17



ADQUISICIÓN DEL CONOCIMIENTO

- La tarea más importante y compleja
 - extracción del conocimiento de los expertos (*educación*)
 - su formalización simbólica (*representación*)



18



PASOS

- Entrevistar a los expertos o analizar sus protocolos:
 - Métodos directos/indirectos
- Identificar los conceptos utilizados por el operario
- Estructurar ese conocimiento en prototipos para verificar su consistencia lógica
 - eliminar contradicciones, redundancias y ambigüedades
 - sistema creíble para el experto (imite su forma de razonar)

Este proceso se suele realizar mediante una interacción con el operario, generalmente lenta y laboriosa

19



ADQUISICIÓN

- Los expertos necesitan ayuda externa para clasificar y explicar su pensamiento y la forma en que resuelven los problemas
- Trabajar con hipótesis (prototipaje), basadas en lo que dicen los expertos, pero verificar y confirmar su consistencia en la actuación real
- Existen tentativas de modelización, pero hasta el momento no hay ningún método automático para hacerlo

20



LOS EXPERTOS ...

- Tendencia a establecer conclusiones y el razonamiento que usan en términos generales (ambiguos)
- Raras veces trabajan a nivel básico
 - Intuición o repentización al resultado de un proceso de razonamiento complejo, basado en gran cantidad de datos y experiencias
- En las explicaciones sólo tratan los pasos principales
 - Dejan de lado los aspectos secundarios que les parecen obvios
- Para explicar cómo alcanzan una conclusión construyen líneas plausibles de razonamiento que se parecen poco a su actividad real

21



PARADOJA DE LA EXPERIENCIA

“los expertos más competentes son incapaces de describir el conocimiento que usan para resolver los problemas”

- Saber lo que es básico y relevante es lo que hace a una persona experta

22



MÉTODOS DE ADQUISICIÓN DEL CONOCIMIENTO: DIRECTOS

- Preguntan directamente al experto, que reporta el conocimiento también de forma directa:
 - las entrevistas (abiertas o estructuradas)
 - cuestionarios
 - observación paralela
 - análisis de la tarea y del protocolo,
 - digitalización y estudio de resultados
 - presentando varios prototipos

23



MÉTODOS DE ADQUISICIÓN DEL CONOCIMIENTO: INDIRECTOS

- Proporcionar tareas similares para inferir la estructura subyacente
 - las redes ponderadas
 - árboles ordenados de recuerdo
 - los emparrillados

24



RAZONAMIENTO

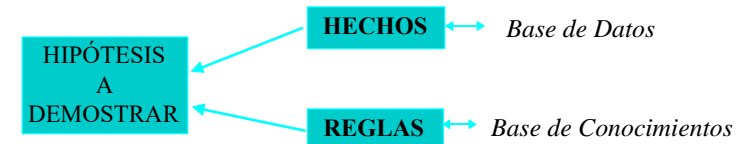
Paradigmas:

- Procesos de herencia
- Focalización
- Mecanismo de encadenamiento de reglas:
 - “encadenamiento hacia adelante”
 - “encadenamiento hacia atrás”

25



ENCADENAMIENTO HACIA ATRÁS

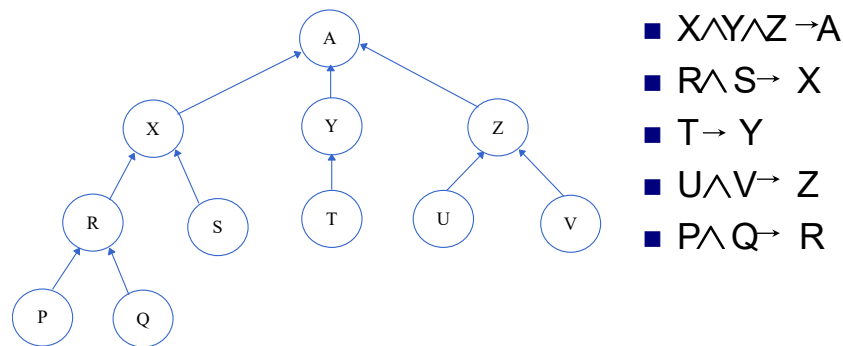


- Se inicia con una hipótesis (objetivo a demostrar), utilizando los hechos y las reglas de la BC
 - Si el hecho a demostrar ya forma parte de la BC, el proceso termina.
 - En caso contrario, busca en la BC una regla que concluya dicho objetivo
- Las condiciones de las reglas pasan a ser los subobjetivos a demostrar
- Se reitera el proceso (inherentemente recursivo)

26



Árbol de demostración del objetivo “A” (encadenamiento hacia atrás)



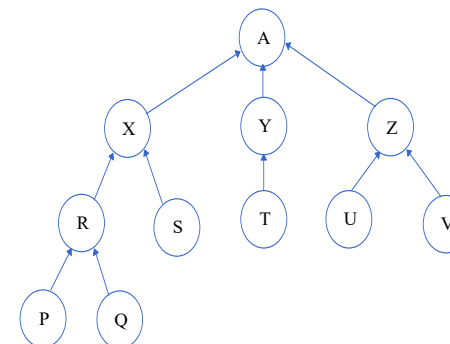
27



Recorrido: profundidad prioritaria

Seleccionar el nodo correspondiente al subobjetivo que haya sido generado más recientemente (izquierda)

A X R P Q S Y T Z U V



Ineficiente:

Si “no T” fuera conocido, mejor empezar seleccionando el subobjetivo “Y” para inmediatamente deducir que A no puede ser demostrado con este subconjunto de reglas

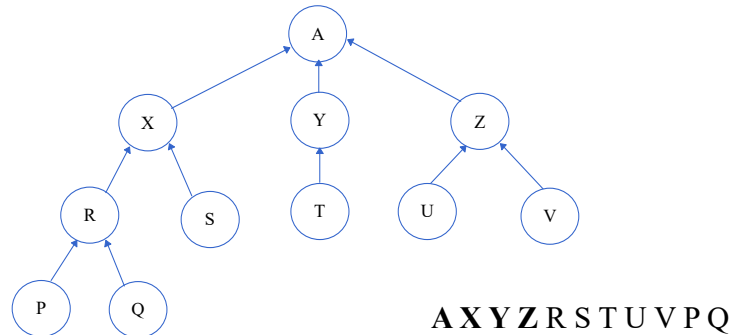
Se debería recurrir a otra regla cuya conclusión fuera también “A”

28



Recorrido: anchura prioritaria

Intentar, de izquierda a derecha, todos los subobjetivos generados por el objetivo de nivel inmediatamente superior antes de considerar el siguiente nivel de profundidad del árbol.

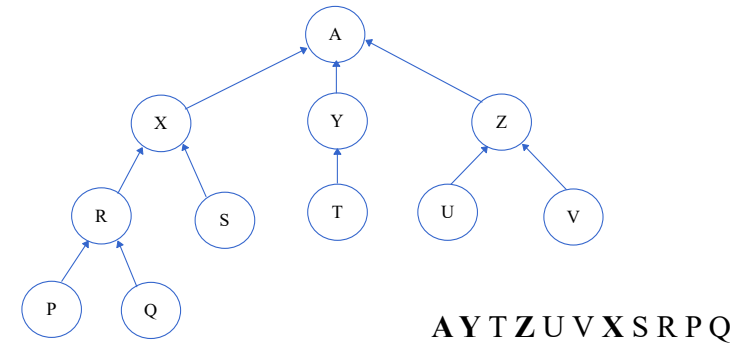


29



Recorrido: prioridad al mejor

Best-first: seleccionar primero los nodos con el mínimo número de subobjetivos y recorrerlos así



30



EJEMPLO

1. SI bomba_gasolina_OK
 Y motor_se_enciende
 ENTONCES Problema_con_bujías
2. SI NO motor_se_enciende
 Y NO luces_se_encienden
 ENTONCES Problema_con_batería
3. SI NO motor_se_enciende
 Y luces_se_encienden
 ENTONCES Problema_con_starter
4. SI gasolina_en_depósito
 ENTONCES bomba_gasolina_OK



31



ENCADENAMIENTO HACIA ADELANTE

- Busca unas reglas cuyas premisas sean verificadas por los hechos de su base de hechos
 - Si tal regla existe, se aplica
- A continuación se busca otra regla, se aplica y así sucesivamente hasta que el hecho buscado haya sido deducido o hasta que no haya más reglas aplicables
- Al principio se deberán proporcionar unos hechos iniciales (usuario o sensores)

32



TIPOS DE RAZONAMIENTO

- El **encadenamiento hacia atrás** es adecuado cuando el número de soluciones es más limitado y conocido
 - tareas de clasificación o diagnóstico
- El **encadenamiento hacia adelante** es más adecuado cuando el objetivo a resolver está descrito mediante un conjunto de restricciones que pueden conducir a un número muy elevado de soluciones
 - tareas de diseño y planificación
- **Encadenamiento mixto:** combinar ambos
 - A partir de unos datos iniciales introducidos por el usuario, el motor con encadenamiento hacia adelante busca un objetivo intermedio, cuya resolución necesita un motor con encadenamiento hacia atrás

33



REGLAS DE INFERENCIA

Razonamiento categórico

GMT: “Modus Tollens
Generalizado”

GMP: “Modus Ponens
Generalizado”

premisa 1: y es B'
premisa 2: si x es A
entonces y es B

premisa 1: x es A'
premisa 2: si x es A
entonces y es B

conclusión: x es A'

conclusión: y es B'

- GMP cercano al encadenamiento hacia adelante
 - control
- GMT próximo al encadenamiento hacia atrás
 - clasificación



EL MOTOR DE INFERENCIAS

- La unidad lógica con la que se extraen conclusiones de la base de conocimientos, según un método fijo de solución de problemas, imitando el procedimiento humano de los expertos para solucionar problemas
 - Una conclusión se produce mediante aplicación de las reglas sobre los hechos presentes



EL MOTOR DE INFERENCIAS

Si p y q entonces r

Se dan los hechos : p y q

⇒ p y q son justo aquellos hechos que se mencionan en la cláusula "si" de la regla

- *condiciones para la aplicabilidad de la regla*

⇒ Aplicar la regla es deducir el hecho r de los hechos p y q



El MI funciona siguiendo un ciclo:

- Se selecciona de un conjunto de reglas las aplicables
- Después de resolver conflictos, se selecciona una determinada regla que se dispara
- Actualización de los hechos, activación de las acciones si procede, e incluso la propia modificación de la base de reglas
- Se vuelve a iniciar el ciclo, que se repite hasta que no es posible realizar una nueva deducción



MECANISMO DE CONTROL

- La selección del objetivo
 - Si para demostrar un objetivo A, el SE deber resolver los subobjetivos X, Y, Z, ¿en qué orden?
 - Problema de recorrido de un árbol en el que los nodos son los objetivos y los arcos relacionan antecedentes con consecuentes
- La selección de la regla
 - **Mecanismo de control:** decidir qué reglas es conveniente aplicar entre un conjunto de reglas aplicables para una misma situación



ESTRATEGIAS DE CONTROL

- Muy simples, codificadas implícitamente en el programa que realiza el “razonamiento” (MI)
 - No son en absoluto flexibles
 - Lejos de simular estrategias de resolución de expertos humanos (control inteligente)



ESTRATEGIAS DE CONTROL

- La más simple: aplicar siempre la primera regla aplicable
 - Limitaciones:
 - el orden de introducción de las reglas es determinante para llegar más o menos fácilmente a la solución (o no llegar)
 - problemas distintos requieren en general secuencias distintas de encadenamiento de reglas
- Otras estrategias : la regla más específica (con mayor número de condiciones), la que contenga más conclusiones, la que utilice el hecho más recientemente deducido, etc.



ESTRATEGIAS DE CONTROL

Recorridos en sistemas probabilísticos

- Primero el más probable
 - Hipótesis que más probabilidad lleva acumulada (o mayor probabilidad base)
- Primero el más fácil de probar
 - La hipótesis con menos requisitos
- Intentar refutar la hipótesis más fácil de contradecir
 - La que más conflictos tiene



CONTROL EXPERTO

- La utilización de computadores en procesos industriales facilita la automatización de estrategias de control y permite realizar supervisión y tratamiento de datos
- Hay las tareas que involucran capacidad de percepción y experiencia no pueden automatizarse con estas técnicas
- Aunque los sistemas informáticos actuales facilitan la tarea de los operadores, el volumen de información que éstos manejan puede ser muy grande

42



CONTROL EXPERTO

- El nivel superior de control sigue siendo realizado por una persona: el **operador** del proceso
 - Su tarea es supervisar el control automático realizado por los niveles inferiores
 - decidir en cada momento los puntos de consigna adecuados y reaccionar ante posibles fallos
- En muchos procesos el operador continúa siendo necesario a ese nivel e incluso en el nivel inferior de control
- Algunas tareas que involucran la experiencia de los operadores se pueden automatizar total o parcialmente con técnicas heurísticas, como los SE

43



CONOCIMIENTO PARA UN SE DE CONTROL

- Reglas que representan el conocimiento heurístico de ingenieros y operadores sobre el control
- Especificaciones sobre los objetivos de control y las características del proceso a controlar
- Adquirir información en tiempo real sobre el estado del proceso y representarla para ser tratada por el MI
- Utilizar procedimientos que permitan convertir las deducciones del sistema experto en acciones de control



PROBLEMAS

- Dependencia de la experiencia concreta del operador:
 - Pérdida de la experiencia
 - Disponibilidad de la experiencia
 - Homogeneidad de la experiencia
- Sobrecarga cognitiva
- Velocidad de respuesta



CONTROL BASADO EN REGLAS

Sistemas expertos de la primera generación

- Los SE no son una panacea, y mucho menos en control
- Los SE no son expertos, recogen una parte pequeña de la experiencia del humano, careciendo casi por completo de sentido común (poco fiables)
- El control experto es por lo general fuertemente no lineal



CONTROL BASADO EN MODELOS

Sistemas expertos de la segunda generación

- Razonamiento basado en modelos
- La BC contiene un modelo explícito del sistema a controlar (profundos), frente al modelo de comportamiento implícito (someros o superficiales)
- En el modelo se incluye toda la información relevante del sistema sobre el que se va a razonar
- El modelo está compuesto de:
 - Base de hechos, que contiene la información factual sobre el estado del proceso
 - Base de estructura, que contiene información que es propiamente el modelo del proceso



CONTROL BASADO EN MODELOS

Sistemas expertos de la segunda generación

- Base de conocimiento del dominio
 - Conocimiento particular sobre la aplicación que no ha podido incluirse en el modelo por sus especiales características
- Base de conocimiento general
 - cómo se utiliza el conocimiento conocido en el modelo
 - Tiene una formulación no declarativa sino procedural, implícita en los mecanismos de manejo del modelo



En muchas aplicaciones actuales los problemas complejos de control se resuelven mediante la **cooperación de dos subsistemas**, uno dedicado al tratamiento simbólico del conocimiento involucrado (sistema experto), y otro a las tareas convencionales de control



- Los sistemas expertos no son la solución más adecuada para cualquier problema
- En algunos casos la solución más natural y eficaz son los métodos algorítmicos tradicionales
- Esta trivialización produce falsas expectativas acerca del verdadero potencial y limitaciones de los sistemas expertos
- Si se han demostrado eficaces como potente herramienta para problemas en los que el conocimiento que aporta el experto es esencial