

P2.1.- FUNDAMENTOS TEÓRICOS (en TEMA 5)

1

Conocimiento

- Introducción y definición

- Tipos de conocimiento y fases de utilización

- Propiedades de las representaciones del conocimiento

Sistemas Basados en Reglas (SBR)

- Componentes básicos de los SBR

- Inferencia en un SBR

- Técnicas de equiparación y de resolución de conflictos

- Ventajas e inconvenientes de los SBR

Representación del Conocimiento mediante Lógicas No Clásicas

- Lógicas No Monótonas

- Lógica de Situaciones

- Lógica Difusa: representación de la vaguedad

Representación y Razonamiento con Incertidumbre

- Representación y fuentes de la Incertidumbre

- Teoría de la Certidumbre o de los factores de certeza

Representaciones estructuradas del conocimiento

Práctica 2

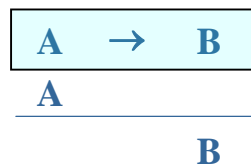


SISTEMAS BASADOS EN REGLAS

Los Sistemas Basados en Reglas (SBR) se inspiran en los sistemas de deducción en lógica proposicional o de primer orden:

- Utilizan la estructura de inferencia *modus ponens* (razonamiento deductivo) para obtener conclusiones lógicas
- Interpretan la primera premisa de un *modus ponens* como una regla de la forma: **IF condición THEN acción**

Modus Ponens:



| | |
|--------------|---|
| IF: | starter = no-gira AND luces = encienden |
| THEN: | fallo = starter |
| IF: | starter = no-gira AND luces = no-encienden |
| THEN: | fallo = batería-descargada |
| | |

Los SBR constituyen un campo importante de la IA, porque:

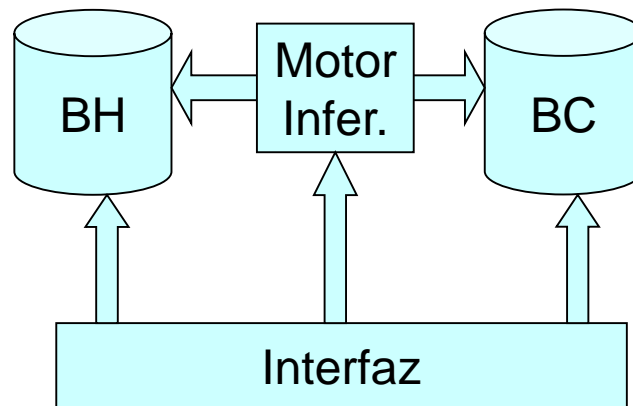
- En la vida diaria nos encontramos con escenarios gobernados por reglas deterministas
- Permiten capturar de forma natural la experiencia humana en la resolución de problemas (se identifica con las heurísticas o formas de proceder experta)
- En dominios en los que escasean expertos (permite difundir razonamientos)

A menudo se les llama Sistemas Expertos (SE) porque el conocimiento suele proceder de expertos humanos, y los SBR permiten capturarlo bien.

COMPONENTES BÁSICOS DE LOS SBR

Un SBR consta de:

- Una Base de Conocimiento (BC): Contiene las reglas que codifican todo el conocimiento
- Una Base de Hechos (BH): Contiene hechos establecidos como verdaderos, tanto datos de entrada como conclusiones inferidas
- Un Mecanismo de Inferencias (MI): Selecciona las reglas que se pueden aplicar y las ejecuta, con el objetivo de obtener alguna conclusión. También se llama Motor de Inferencias.



Sistemas basados en reglas

Componentes básicos de los SBR

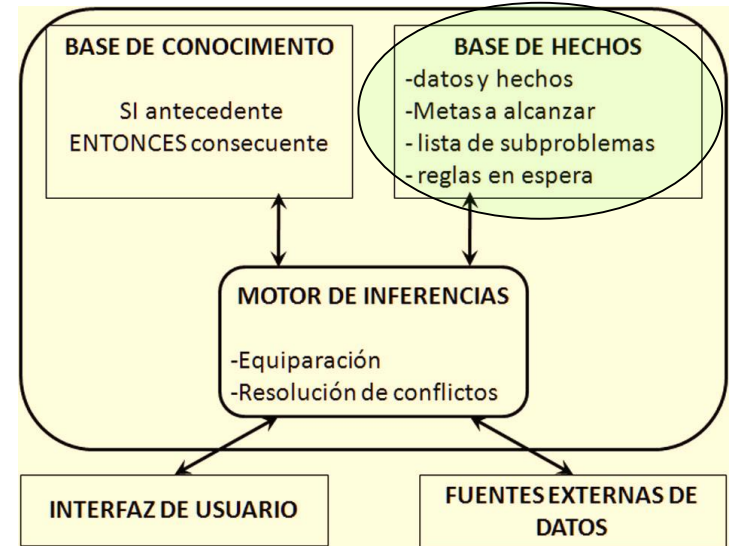
4

Base de Hechos (BH):

- Representa el estado actual de resolución del problema
- También se llama Memoria de Trabajo

Contiene:

- Datos de entrada:
 - Introducidos por el usuario o procedentes de sistemas externos (sensores o bases de datos)
 - Iniciales o introducidos durante el proceso, conforme el exterior proporciona nuevas evidencias
- Hechos inferidos por el sistema durante el proceso
- Metas a alcanzar, subproblemas, ...



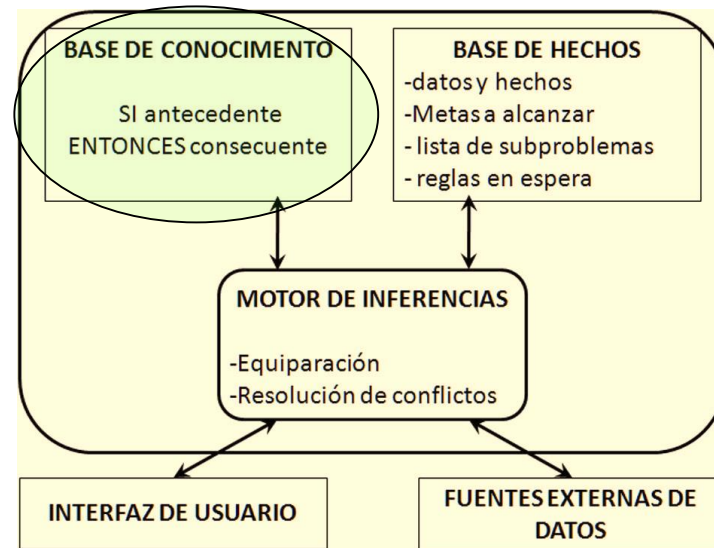
Sistemas basados en reglas

Componentes básicos de los SBR

5

Base de Conocimiento (BC):

- Es un conjunto de reglas
- Una regla consta de dos partes:
 - Parte Izquierda (LHS o Left Hand Side):
Denominada condición o antecedente
 - Parte Derecha (RHS o Right Hand Side):
Llamada parte de acción o consecuente o de acción



Así, definimos una regla como un par condición-acción. El antecedente contiene una lista de cláusulas a verificar y el consecuente una lista de acciones a ejecutar

Regla: *Condición → Acción*

También leído como: **IF Condición THEN Acción**

Ejemplos:

- Paciente menor de 10 años, manchas rojas, fiebre → Paciente con varicela
- Coche no arranca → Revisar batería
- El dólar baja → Comprar dólares

Sistemas basados en reglas

Componentes básicos de los SBR

6

Las reglas operan sobre el espacio de trabajo de la BH:

- La condición expresa algún tipo de test sobre el contenido de la BH, que se puede verificar o no
- Si se verifica el test de una regla, se puede ejecutar su parte de acción. La ejecución de una acción puede cambiar el contenido de la BH

La BH es el foco de atención de las reglas: éstas operan sobre este espacio de trabajo, de forma que la BH es el único punto de unión entre ellas.

Una diferencia importante entre la BH y la BC es que:

- La BH almacena información puntual sobre un problema concreto (dinámico)
- La BC almacena porciones de conocimiento (estático) sobre cómo resolver el problema, cualquiera que sea la instancia de problema

Por ejemplo:

- BC = Regla 1: { SI (fiebre Y manchas rojas) ENTONCES varicela }
Es conocimiento estático genérico
- BH = Paciente J. López presenta = { fiebre, manchas rojas, tos }
Es información concreta sobre la instancia de problema actual

Sistemas basados en reglas

Componentes básicos de los SBR

7

Ejemplo: Cajero Automático

- Considérese una situación en la que un cliente desea sacar dinero de su cuenta corriente mediante un cajero automático (CA).
- En cuanto el usuario introduce la tarjeta en el CA, la máquina la lee y la verifica. Si la tarjeta no es verificada con éxito, el CA devuelve la tarjeta al usuario con el mensaje de error correspondiente.
- En otro caso, el CA pide al usuario su número de identificación personal (NIP). Si el número fuese incorrecto, se dan tres oportunidades de corregirlo.
- Si el NIP es correcto, el CA pregunta al usuario cuánto dinero desea sacar.
- Para que el pago se autorice, la cantidad solicitada no debe exceder de una cierta cantidad límite diaria, además de haber suficiente dinero en su cuenta.

| Objeto | Conjunto de valores posibles |
|----------|------------------------------|
| Tarjeta | {verificada, no verificada} |
| Fecha | {expirada, no expirada} |
| NIP | {correcto, incorrecto} |
| Intentos | {excedidos, no excedidos} |
| Balance | {suficiente, insuficiente} |
| Límite | {excedido, no excedido} |
| Pago | {autorizado, no autorizado} |

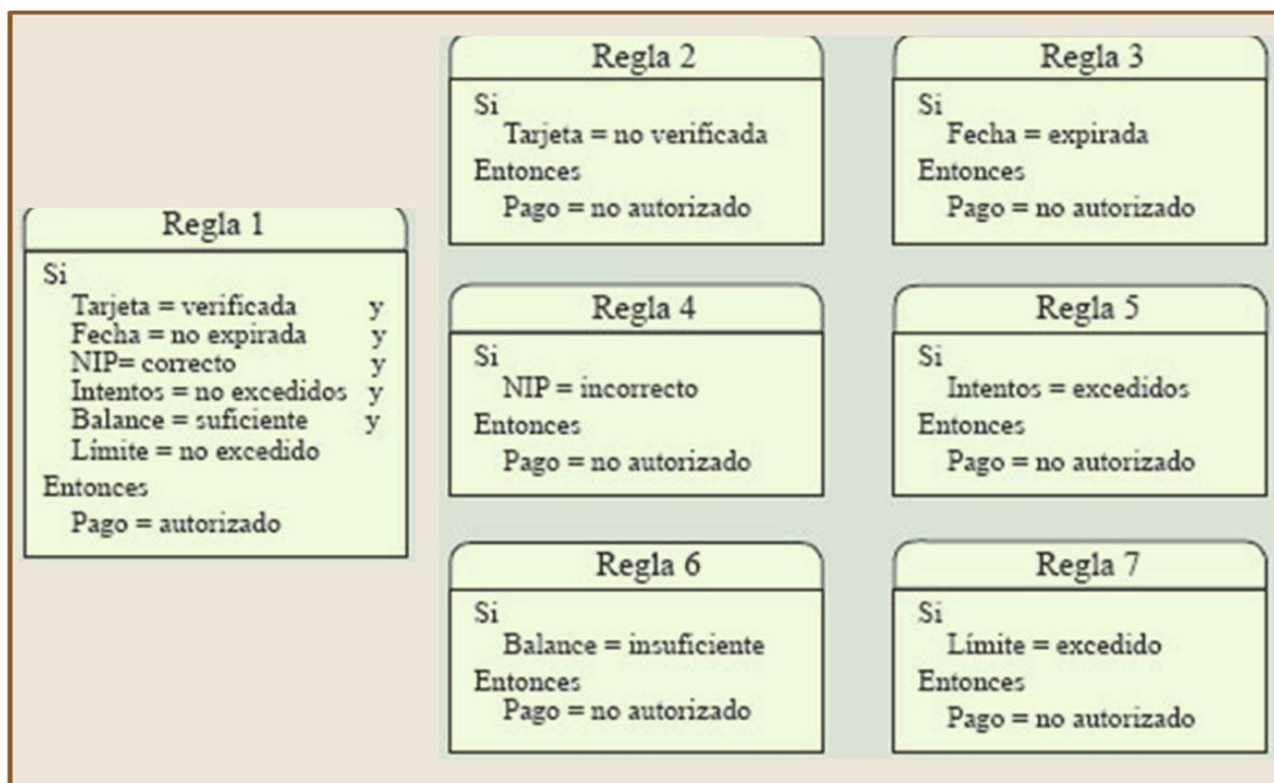
Sistemas basados en reglas

Componentes básicos de los SBR

8

Ejemplo: Cajero Automático

Se tienen siete reglas que gobiernan la estrategia que el CA debe seguir cuando un cliente intenta sacar dinero de su cuenta



Sistemas basados en reglas

Componentes básicos de los SBR

9

Mecanismo o Motor de Inferencias (MI):

- Es un mecanismo algorítmico para obtener conclusiones aplicando la BC a los hechos conocidos, almacenados en la BH
- Las conclusiones se introducen, a su vez, en la BH
- Podemos verlo como una Caja Negra:
 - Entrada: BH y BC
 - Salida: BH'

Algoritmo genérico de un Motor de Inferencias:

función MOTOR-INFERENCIA

BH=HechosIniciales;

mientras NoVerificaCondiciónFinalización(BH) y NoseEjecutaAccióndeParada **hacer**

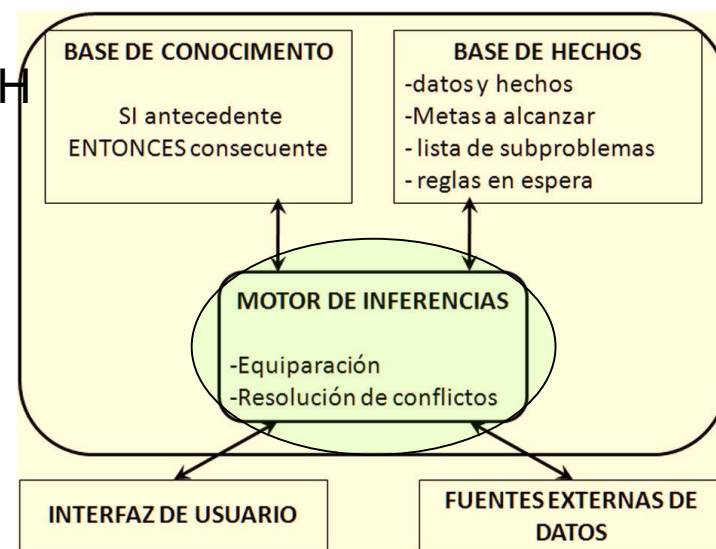
 ConjuntoConflicto=Equiparar(BC,BH);

 R=Resolver(ConjuntoConflicto);

 NuevosHechos=Aplicar(R,BH);

 Actualizar(BH,NuevosHechos);

fin mientras



Sistemas basados en reglas

Componentes básicos de los SBR

10

función MOTOR-INFERENCIA

BH ← HechosIniciales;

mientras NoVerificaCondiciónFinalización(BH) y NoseEjecutaAccióndeParada **hacer**

ConjuntoConflicto ← Equiparar(BC, BH);

R ← Resolver(ConjuntoConflicto);

NuevosHechos ← Aplicar(R, BH);

Actualizar(BH, NuevosHechos);

fin mientras

- Ejecuta un bucle mientras no se verifique una de las dos condiciones:
 - Condición de finalización: Se produce cuando el hecho meta ha sido alcanzado. La meta se alcanza cuando esté contenida como hecho en la BH.
 - Acción de parada: Se produce cuando no tiene éxito en la búsqueda de un conjunto de reglas que permitan alcanzar dicha meta.
- Equiparación: Búsqueda del conjunto de reglas cuyas condiciones o acciones sean compatibles con los datos almacenados. Son las aplicables o activadas. El conjunto de reglas que se obtiene durante el proceso de equiparación se denomina conjunto conflicto.
- Resolución: Selecciona una regla del conjunto conflicto. Regla disparable.
- Finalmente, el algoritmo ejecuta la regla seleccionada y actualiza la BH con los nuevos hechos resultantes de aplicar la regla.

Sistemas basados en reglas

Componentes básicos de los SBR

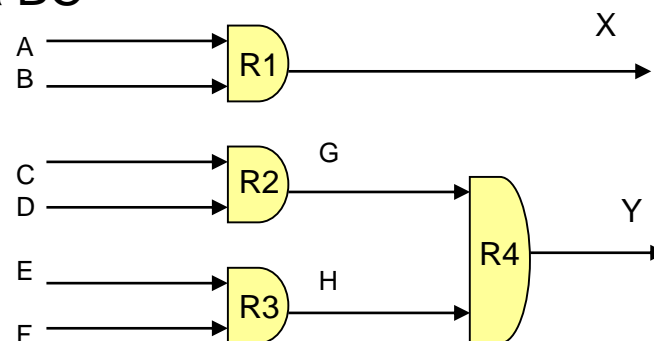
11

- Red de Inferencia: Es un grafo dirigido, en el que:
 - Los nodos son las reglas. Se representan mediante puertas lógicas
 - Las condiciones del antecedente son las entradas a los nodos
 - Las acciones del consecuente son las salidas de los nodos que, a su vez, pueden ser las condiciones del antecedente de otros nodos
 - Los antecedentes que no son consecuentes de ninguna otra regla de la red, son los posibles hechos de partida
 - El consecuente, que no es antecedente de ninguna otra regla, se convierte en la meta a alcanzar por el sistema
 - Es útil cuando el número de reglas no es muy grande

Ejemplo: Red de inferencia de una pequeña BC

BASE CONOCIMIENTO:

R1: si A y B entonces X
R2: si C y D entonces G
R3: si E y F entonces H
R4: si G y H entonces Y



Sistemas basados en reglas

Componentes básicos de los SBR

12

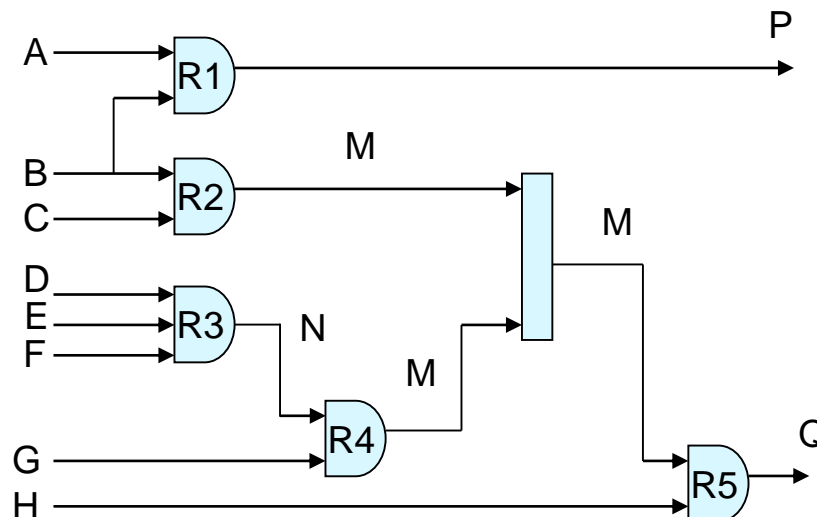
- Red de Inferencia:

Ejemplo: Red de inferencia de otra pequeña BC

- Las reglas R2 y R4 tienen el mismo consecuente, M, que se corresponde con el caso en que se llega a una misma conclusión, siguiendo dos líneas de razonamiento independientes.
- Esto se representa por medio de un rectángulo.

BASE CONOCIMIENTO:

R1: A & B → P
R2: B & C → M
R3: D & E & F → N
R4: N & G → M
R5: H & M → Q



INFERENCIA EN UN SBR

Hay dos posibles formas de razonamiento:

A) Encadenamiento hacia delante o Dirigido por Datos:

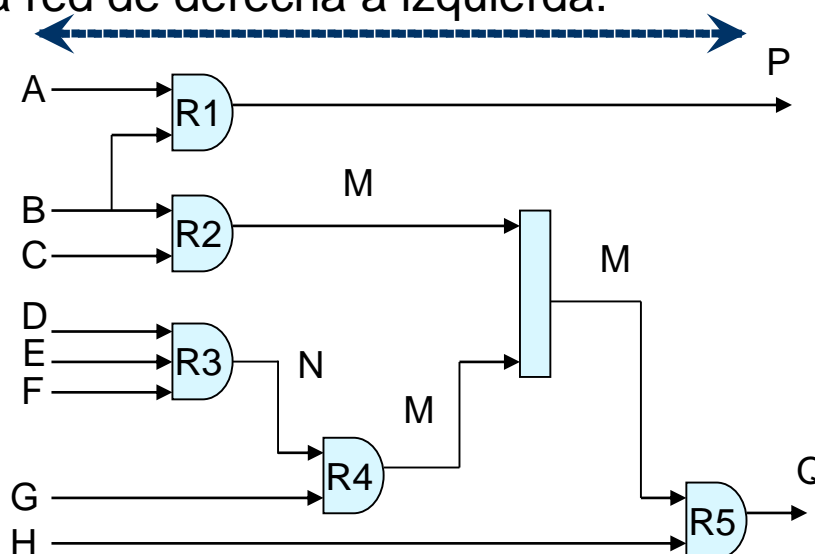
Buscar el conjunto de metas que se verifican a partir de un conjunto de hechos. En este tipo de razonamiento, la inferencia progresa en la red de izquierda a derecha.

B) Encadenamiento hacia atrás o Dirigido por Metas:

Determinar si se verifica una cierta meta con los hechos disponibles. Aquí, la inferencia progresa en la red de derecha a izquierda.

BASE CONOCIMIENTO:

R1: A & B → P
R2: B & C → M
R3: D & E & F → N
R4: N & G → M
R5: H & M → Q



Sistemas basados en reglas

Inferencia en un SBR

14

A) Encadenamiento hacia delante:

- Es una instanciación del algoritmo general MOTOR-INFERENCIAS para el caso particular del encadenamiento hacia delante
- La particularidad es la etapa de equiparación, donde se seleccionan las reglas cuyos antecedentes se verifican, dado el contenido de la BH.

función ENCADENAMIENTO-HACIA-DELANTE

```
BH=HechosIniciales, ConjuntoConflicto=ExtraeCualquierRegla(BC);  
mientras NoContenida(Meta,BH) y NoVacia(ConjuntoConflicto) hacer  
    ConjuntoConflicto=Equiparar(antecedente(BC),BH);  
    si NoVacio(ConjuntoConflicto) entonces  
        R=Resolver(ConjuntoConflicto);  
        NuevosHechos=Aplicar(R,BH);  
        Actualizar(BH,NuevosHechos);  
    fin si  
fin mientras  
si Contenida(Meta,BH) entonces devolver "exito"  
fin si
```

Sistemas basados en reglas

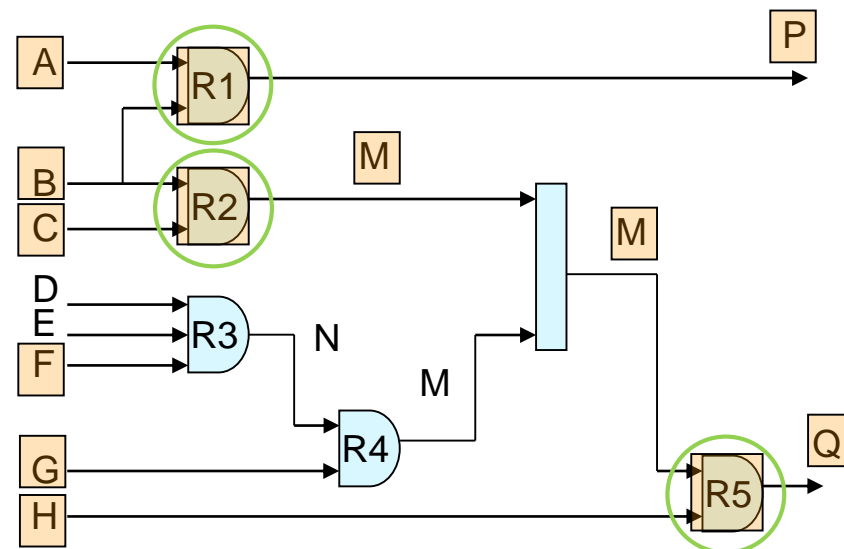
Inferencia en un SBR

15

Ejemplo: Encadenamiento hacia delante → Condición fin: Q en BH

BH={A,B,C,F,G,H}

- Conjunto Conflicto = {R1, R2}
- Resolver Conflicto: R1
- BH = {A,B,C,F,G,H,**P**} // aplico R1
- MARCADA = {R1}
- Conjunto Conflicto = {~~R1~~, R2} // descarto R1 por marcada
- Resolver Conflicto: R2
- BH = {A,B,C,F,G,H,P,**M**} // aplico R2
- MARCADA = {R1, R2}
- Conjunto Conflicto = {~~R1~~, ~~R2~~, R5} // descarto R1, R2 por marcada
- Resolver Conflicto: R5
- BH = {A,B,C,F,G,H,P,M,**Q**} // aplico R5
- MARCADA = {R1, R2, R5}
- Conjunto Conflicto = {~~R1~~, ~~R2~~, ~~R5~~} // descartadas por marcadas
- Condición fin: Q en BH (FIN)



Sistemas basados en reglas

Inferencia en un SBR

16

B) Encadenamiento hacia atrás:

- Se especifica una meta objetivo y se trata de determinar si la meta se verifica o no, teniendo en cuenta el contenido de la BH.
- El algoritmo ENCADENAMIENTO-HACIA-ATRÁS hace una llamada al procedimiento VERIFICAR, descrito después.

función ENCADENAMIENTO-HACIA-ATRAS

BH=HechosIniciales;

si Verificar(Meta,BH) **entonces** devolver “exito”

si no

 devolver “fracaso”;

fin si

Sistemas basados en reglas

Inferencia en un SBR

17

función VERIFICAR

- Se investigan los consecuentes de todas las reglas, y se seleccionan aquellas cuyos consecuentes contengan la meta a verificar.
- Estas reglas se examinan para descubrir alguna que verifique todos sus antecedentes, teniendo en cuenta los contenidos de la BH.
- Si existe, entonces se verifica el objetivo; en caso contrario, los antecedentes no verificados pasan a ser nuevos objetivos a verificar recursivamente.

```
Verificando=Falso;
si Contendida(Meta,BH) entonces devolver Verdader;
si no
  ConjuntoConflicto=Equiparar(Consecuentes(BC),Meta);
  mientras NoVacio(ConjuntoConflicto) y No(Verificado) hacer
    R=Resolver(ConjuntoConflicto);
    Eliminar(R,ConjuntoConflicto);
    NuevasMetas=ExtraerAntecedentes(R), Verificado=Verdadero;
  mientras NoVacio(NuevasMetas) y Verificado hacer
    Meta=SeleccionarMeta(nuevasMetas);
    Eliminar(Meta,NuevasMetas);
    Verificado=Verificar(Meta,BH);
  si Verificado entonces Añadir(Metas,BH)
  fin si
fin mientras
fin mientras
devolver(Verificado)
fin si
```

Sistemas basados en reglas

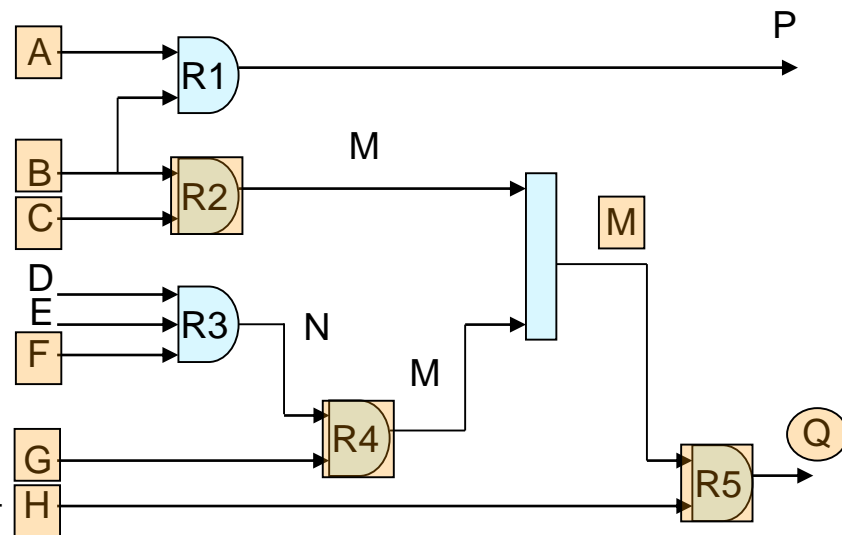
Inferencia en un SBR

18

Ejemplo: Encaminamiento hacia atrás → Condición fin: Q en BH.

BH={A,B,C,F,G,H}

- Conjunto Conflicto = {R5} // Q en consecuente de R5
- R = {R5} // Seleccionar regla R5
- Eliminar R5 → Conjunto Conflicto = {}
- NuevasMetas={M,H} // Antecedentes de R5; Verificado = true;
 - Meta = H // Seleccionar H de NuevasMetas
 - NuevasMetas={M} // Eliminar H de NuevasMetas
 - Verificar(H,{A,B,C,F,G,H}) → true // Recursión: H en BH
 - BH={A,B,C,F,G,H}
 - Meta = M // Seleccionar M de NuevasMetas
 - NuevasMetas = {} // Eliminar M de NuevasMetas
 - Verificar (M, {A,B,C,F,G,H}); // Recursión
 - ConjuntoConflicto = {R2, R4} // M en consecuentes de R2 y R4
 - R = {R2} // Seleccionar regla R2
 - Eliminar R2 → Conjunto Conflicto = {R4}
 - NuevasMetas={B,C} //Antecedentes de R2; Verificado = true
 - Meta = B // Seleccionar B de NuevasMetas
 - NuevasMetas = {C} // Eliminar B de NuevasMetas
 - Verificar (B,{A,B,C,F,G,H}) → true // Recursión: B en BH
 - BH= {A,B,C,F,G,H}
 - Meta =C // Seleccionar C de NuevasMetas
 - NuevasMetas ={} // Eliminar C de NuevasMetas
 - Verificar (C,{A,B,C,F,G,H}) → true // Recursión: C en BH
 - BH={A,B,C,F,G,H}
 - Verificado= true , Conjunto Conflicto ={R4}, BH= {A,B,C,F,G,H,M}
- Return TRUE



TÉCNICAS DE EQUIPARACIÓN Y DE RESOLUCIÓN DE CONFLICTOS

• Técnicas de Equiparación

La equiparación del antecedente de las reglas con el estado de la BH no siempre es trivial:

- El antecedente puede no describir situaciones particulares sino generales.
- Por ejemplo, el antecedente contiene variables

Otro problema es la necesidad de examinar todas las reglas en cada ciclo de inferencias. Este proceso es poco eficiente si la BC es extensa. Se mejora con:

- Indexación de reglas.
- Técnicas de aceleración de la equiparación sin necesidad de examinar toda la BC. El método más conocido es el algoritmo RETE.

• Algoritmo RETE: C. Forgy. 1974

- Busca patrones en reglas y construye un grafo para acelerar la equiparación de reglas en algoritmos de encadenamiento hacia delante.
- Utilizado en gran cantidad de aplicaciones basadas en reglas: ej. Herramientas Jess y DROOLS.

Sistemas basados en reglas

Técnicas de equiparación y resolución de conflictos

20

- **Técnicas de resolución de conflictos:**

Un método de resolución de conflictos selecciona, a partir del conjunto conflicto, la regla a aplicar.

Este proceso es importante, ya que de ello depende

- El tiempo de respuesta del sistema ante cambios del entorno
- La facultad de ejecutar secuencias de acciones relativamente largas (reglas más prometedoras)

Las principales técnicas de resolución de conflictos son las siguientes:

Según la BC: (criterios estáticos)

- Seleccionar las reglas ordenadas por un criterio:
 - Prioridades o pesos de las reglas.
 - Según nº de antecedentes de las reglas (reglas más específicas).

Según la BH: (criterios dinámicos)

- Reglas que usan elementos más recientes de la BH.

Según la ejecución: (criterios dinámicos)

- Usar reglas no utilizadas previamente.
- Análisis de procesos cíclicos.