

Introducción a los Sistemas Expertos

Juan José Samper Márquez

Los sistemas expertos son programas que reproducen el proceso intelectual de un experto humano en un campo particular, pudiendo mejorar su productividad, ahorrar tiempo y dinero, conservar sus valiosos conocimientos y difundirlos más fácilmente.

Introducción

Los sistemas expertos son programas que reproducen el proceso intelectual de un experto humano en un campo particular, pudiendo mejorar su productividad, ahorrar tiempo y dinero, conservar sus valiosos conocimientos y difundirlos más fácilmente.

Antes de la aparición del ordenador, el hombre ya se preguntaba si se le arrebataría el privilegio de razonar y pensar. En la actualidad existe un campo dentro de la inteligencia artificial al que se le atribuye esa facultad: el de los sistemas expertos. Estos sistemas permiten la creación de máquinas que razonan como el hombre, restringiéndose a un espacio de conocimientos limitado. En teoría pueden razonar siguiendo los pasos que seguiría un experto humano (médico, analista, empresario, etc.) para resolver un problema concreto. Este tipo de modelos de conocimiento por ordenador ofrece un extenso campo de posibilidades en resolución de problemas y en aprendizaje. Su uso se extenderá ampliamente en el futuro, debido a su importante impacto sobre los negocios y la industria.

El objetivo de este curso es enseñar de forma práctica el funcionamiento y construcción de un sistema experto. A lo largo de la serie de artículos se demostrará que los sistemas expertos son útiles y prácticos, y que, además, son realizables. También se analizará la problemática de la adquisición y representación del conocimiento, así como los métodos para tratar la incertidumbre.

¿QUÉ ES UN SISTEMA EXPERTO?

Los sistemas expertos se pueden considerar como el primer producto verdaderamente operacional de la inteligencia artificial. Son programas de ordenador diseñados para actuar como un

especialista humano en un dominio particular o área de conocimiento. En este sentido, pueden considerarse como intermediarios entre el experto humano, que transmite su conocimiento al sistema, y el usuario que lo utiliza para resolver un problema con la eficacia del especialista. El sistema experto utilizará para ello el conocimiento que tenga almacenado y algunos métodos de inferencia.

A la vez, el usuario puede aprender observando el comportamiento del sistema. Es decir, los sistemas expertos se pueden considerar simultáneamente como un medio de ejecución y transmisión del conocimiento.

Lo que se intenta, de esta manera, es representar los mecanismos heurísticos que intervienen en un proceso de descubrimiento. Éstos mecanismos forman ese conocimiento difícil de expresar que permite que los expertos humanos sean eficaces calculando lo menos posible. Los sistemas expertos contienen ese "saber hacer".

La característica fundamental de un sistema experto es que separa los conocimientos almacenados (base de conocimiento) del programa que los controla (motor de inferencia). Los datos propios de un determinado problema se almacenan en una base de datos aparte (base de hechos).

Una característica adicional deseable, y a veces fundamental, es que el sistema sea capaz de justificar su propia línea de razonamiento de forma inteligible por el usuario.

Los sistemas expertos siguen una filosofía diferente a los programas clásicos. Esto queda reflejado en la tabla 1, que resume las diferencias entre ambos tipos de procesamiento.

SISTEMA CLÁSICO SISTEMA EXPERTO

Conocimiento y procesamiento combinados en un programa Base de conocimiento separada del mecanismo de procesamiento

No contiene errores Puede contener errores

No da explicaciones, los datos sólo se usan o escriben Una parte del sistema experto la forma el módulo de explicación

Los cambios son tediosos Los cambios en las reglas son fáciles El sistema sólo opera completo El sistema puede funcionar con pocas reglas

Se ejecuta paso a paso La ejecución usa heurísticas y lógica Necesita información completa para operar Puede operar con información incompleta

Representa y usa datos Representa y usa conocimiento

Tabla 1. Comparación entre un sistema clásico de procesamiento y un sistema experto

LA RECIENTE HISTORIA DE LOS SISTEMAS EXPERTOS

Los sistemas expertos proceden inicialmente de la inteligencia artificial a mediados de los años sesenta. En ese período se creía que bastaban unas pocas leyes de razonamiento junto con potentes ordenadores para producir resultados brillantes. Un intento en ese sentido fue el llevado a cabo por los investigadores Alan Newell y Herbert Simon que desarrollaron un programa denominado GPS (General Problem Solver; solucionador general de problemas). Podía trabajar con criptoaritmética, con las torres de Hanoi y con otros problemas similares. Lo que no podía hacer el GPS era resolver problemas del mundo real, tales como un diagnóstico médico.

Algunos investigadores decidieron entonces cambiar por completo el enfoque del problema restringiendo su ambición a un dominio específico e intentando simular el razonamiento de un experto humano. En vez de dedicarse a computerizar la inteligencia general, se centraron en dominios de conocimiento muy concretos. De esta manera nacieron los sistemas expertos.

A partir de 1965, un equipo dirigido por Edward Feigenbaum, comenzó a desarrollar sistemas expertos utilizando bases de conocimiento definidas minuciosamente.

En 1967 se construye DENDRAL, que se considera como el primer sistema experto. Se utilizaba para identificar estructuras químicas moleculares a partir de su análisis espectrográfico.

Entre 1970 y 1980 se desarrolló MYCIN para consulta y diagnóstico de infecciones de la sangre. Este sistema introdujo nuevas características: utilización de conocimiento impreciso para razonar y posibilidad de explicar el proceso de razonamiento. Lo más importante es que funcionaba de manera correcta, dando conclusiones análogas a las que un ser humano daría tras largos años de experiencia. En MYCIN aparecen claramente diferenciados motor de inferencia y base de conocimientos. Al separar esas dos partes, se puede considerar el motor de inferencias aisladamente. Esto da como resultado un sistema vacío o shell (concha). Así surgió EMYCIN (MYCIN Esencial) con el que se construyó SACON, utilizado para estructuras de ingeniería, PUFF para estudiar la función pulmonar y GUIDON para elegir tratamientos terapéuticos.

En esa época se desarrollaron también: HERSAY, que intentaba identificar la palabra hablada, y PROSPECTOR, utilizado para hallar yacimientos de minerales. De este último derivó el shell KAS (Knowledge Acquisition System).

A partir de 1980 se ponen de moda los sistemas expertos, numerosas empresas de alta tecnología investigan en este área de la inteligencia artificial, desarrollando sistemas expertos para su comercialización. Se llega a la conclusión de que el éxito de un sistema experto depende casi exclusivamente de la calidad de su base de conocimiento. El inconveniente es que codificar la pericia de un experto humano puede resultar difícil, largo y laborioso.

Un ejemplo de sistema experto moderno es CASHVALUE, que evalúa proyectos de inversión y VATIA, que asesora acerca del impuesto sobre el valor añadido o I.V.A.

USOS DE UN SISTEMA EXPERTO

Un sistema experto es muy eficaz cuando tiene que analizar una gran cantidad de información, interpretándola y proporcionando una recomendación a partir de la misma. Un ejemplo es el análisis financiero, donde se estudian las oportunidades de inversión, dependiendo de los datos financieros de un cliente y de sus propósitos.

Para detectar y reparar fallos en equipos electrónicos, se utilizan los sistemas expertos de diagnóstico y depuración, que formulan listas de preguntas con las que obtienen los datos necesarios para llegar a una conclusión. Entonces recomiendan las acciones adecuadas para corregir los problemas descubiertos. Este tipo de sistemas se utilizan también en medicina (ej. MYCIN y PUFF), y para localizar problemas en sistemas informáticos grandes y complejos.

Los sistemas expertos son buenos para predecir resultados futuros a partir del conocimiento que tienen. Los sistemas meteorológicos y de inversión en bolsa son ejemplos de utilización en este sentido. El sistema PROSPECTOR es de este tipo.

La planificación es la secuencia de acciones necesaria para lograr una meta. Conseguir una buena planificación a largo plazo es muy difícil. Por ello, se usan sistemas expertos para gestionar proyectos de desarrollo, planes de producción de fábricas, estrategia militar y configuración de complejos sistemas informáticos, entre otros.

Cuando se necesita controlar un proceso tomando decisiones como respuesta a su estado y no existe una solución algorítmica adecuada, es necesario usar un sistema experto. Este campo comprende el supervisar fábricas automatizadas, factorías químicas o centrales nucleares. Estos sistemas son extraordinariamente críticos porque normalmente tienen que trabajar a tiempo real.

El diseño requiere una enorme cantidad de conocimientos debido a que hay que tener en cuenta muchas especificaciones y restricciones. En este caso, el sistema experto ayuda al diseñador a completar el diseño de forma competente y dentro de los límites de costes y de tiempo. Se diseñan circuitos electrónicos, circuitos

integrados, tarjetas de circuito impreso, estructuras arquitectónicas, coches, piezas mecánicas, etc.

Por último, un sistema experto puede evaluar el nivel de conocimientos y comprensión de un estudiante, y ajustar el proceso de aprendizaje de acuerdo con sus necesidades.

En la tabla 2 se muestran los modelos funcionales de los sistemas expertos, junto al tipo de problema que intentan resolver y algunos de los usos concretos a que se destinan.

CATEGORÍA TIPO DE PROBLEMA USO

Interpretación Deducir situaciones a partir de datos observados
Análisis de imágenes, reconocimiento del habla, inversiones financieras

Predicción Inferir posibles consecuencias a partir de una situación
Predicción meteorológica, previsión del tráfico, evolución de la Bolsa
Diagnóstico Deducir fallos a partir de sus efectos Diagnóstico médico, detección de fallos en electrónica

Diseño Configurar objetos bajo ciertas especificaciones Diseño de circuitos, automóviles, edificios, etc

Planificación Desarrollar planes para llegar a unas metas
Programación de proyectos e inversiones. Planificación militar

Monitorización o supervisión

Controlar situaciones donde hay planes vulnerables Control de centrales nucleares y factorías químicas

Depuración Prescribir remedios para funcionamientos erróneos
Desarrollo de software y circuitos electrónicos

Reparación Efectuar lo necesario para hacer una corrección
Reparar sistemas informáticos, automóviles, etc

Instrucción Diagnóstico, depuración y corrección de una conducta
Corrección de errores, enseñanza

Control Mantener un sistema por un camino previamente trazado.
Interpreta, predice y supervisa su conducta Estrategia militar, control de tráfico aéreo

Enseñanza Recoger el conocimiento y mostrarlo Aprendizaje de experiencia

Tabla 2. Modelos funcionales de los sistemas expertos

¿SISTEMA EXPERTO, SÍ O NO?

El acceso al conocimiento y al juicio de un experto es extremadamente valioso en muchas ocasiones (prospecciones petrolíferas, manejo de valores bursátiles, diagnóstico de enfermedades, etc.), sin embargo, en la mayoría de los campos de actividad existen más problemas por resolver que expertos para resolverlos. Para solucionar este desequilibrio es necesario utilizar un sistema experto. En general, actuará como ayudante para los expertos humanos y como consultor cuando no se tiene otro acceso a la experiencia.

Un sistema experto, además, mejora la productividad al resolver y decidir los problemas más rápidamente. Esto permite ahorrar tiempo y dinero. A veces sin esa rapidez las soluciones obtenidas serían inútiles.

Los valiosos conocimientos de un especialista se guardan y se difunden, de forma que, no se pierden aunque desaparezca el especialista. En los sistemas expertos se guarda la esencia de los problemas que se intenta resolver y se programa cómo aplicar los conocimientos para su resolución. Ayudan a entender cómo se aplican los conocimientos para resolver un problema. Esto es útil porque normalmente el especialista da por ciertos sus conocimientos y no analiza cómo los aplica.

Se pueden utilizar personas no especializadas para resolver problemas. Además si una persona utiliza regularmente un sistema experto aprenderá de él, y se aproximará a la capacidad del especialista.

Con un sistema experto se obtienen soluciones más fiables gracias al tratamiento automático de los datos, y más contrastadas, debido a que se suele tener informatizado el conocimiento de varios expertos.

Debido a la separación entre la base de conocimiento y el mecanismo de inferencia, los sistemas expertos tienen gran flexibilidad, lo que se traduce en una mejor modularidad, modificabilidad y legibilidad del conocimiento.

Otra ventaja es que este tipo de sistemas pueden utilizar razonamiento aproximado para hacer deducciones y que pueden resolver problemas sin solución algorítmica.

Los sistemas expertos también tienen inconvenientes. El conocimiento humano es complejo de extraer y, a veces, es problemático representarlo. Si un problema sobrepasa la competencia de un sistema experto, sus prestaciones se degradan de forma notable. Además, las estrategias de razonamiento de los motores de inferencia suelen estar programadas procedimentalmente y se adaptan mal a las circunstancias. Están limitados para tratar problemas con información incompleta.

Un experto humano no estudia progresivamente una hipótesis, sino que decide de inmediato cuando se enfrenta a una situación análoga a otra ocurrida en el pasado. Los sistemas expertos no utilizan este razonamiento por analogía.

Los costes y duración del desarrollo de un sistema experto son bastante considerables (aunque se suelen amortizar rápidamente) y su campo de aplicación actual es restringido y específico.

Finalmente, hay que tener en cuenta los problemas sociales que acarrearán al ser susceptibles de influir en la estructura y número de empleos.

ARQUITECTURA Y FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA EXPERTO

No existe una estructura de sistema experto común. Sin embargo, la mayoría de los sistemas expertos tienen unos componentes básicos: base de conocimientos, motor de inferencia, base de datos e interfaz con el usuario. Muchos tienen, además, un módulo de explicación y un módulo de adquisición del conocimiento. La figura 1 muestra la estructura de un sistema experto ideal.

La base de conocimientos contiene el conocimiento especializado extraído del experto en el dominio. Es decir, contiene conocimiento general sobre el dominio en el que se trabaja. El método más común para representar el conocimiento es mediante reglas de producción. El dominio de conocimiento representado se divide, pues, en pequeñas fracciones de conocimiento o reglas. SI . . . ENTONCES . . . Cada regla constará de una parte denominada condición y de una parte denominada acción, y tendrá la forma:

SI condición ENTONCES acción. Como ejemplo se puede considerar la siguiente regla médica:

SI el termómetro marca 39°

Y el termómetro funciona correctamente

ENTONCES el paciente tiene fiebre

Una característica muy importante es que la base de conocimientos es independiente del mecanismo de inferencia que se utiliza para resolver los problemas. De esta forma, cuando los conocimientos almacenados se han quedado obsoletos, o cuando se dispone de nuevos conocimientos, es relativamente fácil añadir reglas nuevas, eliminar las antiguas o corregir errores en las existentes. No es necesario reprogramar todo el sistema experto.

Las reglas suelen almacenarse en alguna secuencia jerárquica lógica, pero esto no es estrictamente necesario. Se pueden tener en cualquier secuencia y el motor de inferencia las usará en el

orden adecuado que necesite para resolver un problema.

Una base de conocimientos muy ingenua, para identificar vehículos, podría ser la siguiente:

Regla 1:

SI tiene 2 ruedas

Y utiliza motor

ENTONCES es una motocicleta

Regla 2:

SI tiene 2 ruedas

Y es movido por el hombre

ENTONCES es una bicicleta

Regla 3:

SI tiene 4 ruedas

Y utiliza motor

Y pesa menos de 3500 Kgs.

ENTONCES es un coche

Existen reglas de producción que no pertenecen al dominio del problema. Estas reglas se llaman metarreglas (reglas sobre otras reglas) y su función es indicar bajo qué condiciones deben

considerarse unas reglas en vez de otras. Un ejemplo de metaregla es:

SI hay reglas que usan materias baratas

Y hay reglas que usan materias caras

ENTONCES usar antes las primeras que las segundas

La base de datos o base de hechos es una parte de la memoria del ordenador que se utiliza para almacenar los datos recibidos inicialmente para la resolución de un problema. Contiene conocimiento sobre el caso concreto en que se trabaja. También se registrarán en ella las conclusiones intermedias y los datos generados en el proceso de inferencia. Al memorizar todos los resultados intermedios, conserva el vestigio de los razonamientos efectuados; por lo tanto, se puede utilizar explicar las deducciones

y el comportamiento del sistema.

El motor de inferencias es un programa que controla el proceso de razonamiento que seguirá el sistema experto. Utilizando los datos que se le suministran, recorre la base de conocimientos para alcanzar una solución. La estrategia de control puede ser de encadenamiento progresivo o de encadenamiento regresivo. En el primer caso se comienza con los hechos disponibles en la base de datos, y se buscan reglas que satisfagan esos datos, es decir, reglas que verifiquen la parte SI. Normalmente, el sistema sigue los siguientes pasos:

1. Evaluar las condiciones de todas las reglas respecto a la base de datos, identificando el conjunto de reglas que se pueden aplicar (aquellas que satisfacen su parte condición)
2. Si no se puede aplicar ninguna regla, se termina sin éxito; en caso contrario se elige cualquiera de las reglas aplicables y se ejecuta su parte acción (esto último genera nuevos hechos que se añaden a la base de datos)
3. Si se llega al objetivo, se ha resuelto el problema; en caso contrario, se vuelve al paso 1

A este enfoque se le llama también guiado por datos, porque es el estado de la base de datos el que identifica las reglas que se pueden aplicar. Cuando se utiliza este método, el usuario comenzará introduciendo datos del problema en la base de datos del sistema.

Al encadenamiento regresivo se le suele llamar guiado por objetivos, ya que, el sistema comenzará por el objetivo (parte acción de las reglas) y operará retrocediendo para ver cómo se deduce ese objetivo partiendo de los datos. Esto se produce directamente o a través de conclusiones intermedias o subobjetivos. Lo que se intenta es probar una hipótesis a partir de los hechos contenidos en la base de datos y de los obtenidos en el proceso de inferencia.

En la mayoría de los sistemas expertos se utiliza el encadenamiento regresivo. Este enfoque tiene la ventaja de que el sistema va a considerar únicamente las reglas que interesan al problema en cuestión. El usuario comenzará declarando una expresión E y el objetivo del sistema será establecer la verdad de esa expresión.

Para ello se pueden seguir los siguientes pasos:

1. Obtener las reglas relevantes, buscando la expresión E en la parte acción (éstas serán las que puedan establecer la verdad de E)
2. Si no se encuentran reglas para aplicar, entonces no se tienen datos suficientes para resolver el problema; se termina sin éxito o

se piden al usuario más datos

2. Si hay reglas para aplicar, se elige una y se verifica su parte condición C con respecto a la base de datos.
3. Si C es verdadera en la base de datos, se establece la veracidad de la expresión E y se resuelve el problema
4. Si C es falsa, se descarta la regla en curso y se selecciona otra regla
5. Si C es desconocida en la base de datos (es decir, no es verdadera ni falsa), se le considera como subobjetivo y se vuelve al paso 1 (C será ahora la expresión E)

Existen también enfoques mixtos en los que se combinan los métodos guiados por datos con los guiados por objetivos.

El interfaz de usuario permite que el usuario pueda describir el problema al sistema experto. Interpreta sus preguntas, los comandos y la información ofrecida. A la inversa, formula la información generada por el sistema incluyendo respuestas a las preguntas, explicaciones y justificaciones. Es decir, posibilita que la respuesta proporcionada por el sistema sea inteligible para el interesado. También puede solicitar más información si le es necesaria al sistema experto. En algunos sistemas se utilizan técnicas de tratamiento del lenguaje natural para mejorar la comunicación entre el usuario y el sistema experto.

La mayoría de los sistemas expertos contienen un módulo de explicación, diseñado para aclarar al usuario la línea de razonamiento seguida en el proceso de inferencia. Si el usuario pregunta al sistema cómo ha alcanzado una conclusión, éste le presentará la secuencia completa de reglas usada. Esta posibilidad de explicación es especialmente valiosa cuando se tiene la necesidad de tomar decisiones importantes amparándose en el consejo del sistema experto. Además, de esta forma, y con el tiempo suficiente, los usuarios pueden convertirse en especialistas en la materia, al asimilar el proceso de razonamiento seguido por el sistema. El subsistema de explicación también puede usarse para depurar el sistema experto durante su desarrollo.

El módulo de adquisición del conocimiento permite que se puedan añadir, eliminar o modificar elementos de conocimiento (en la mayoría de los casos reglas) en el sistema experto. Si el entorno es dinámico es muy necesario, puesto que, el sistema funcionará correctamente sólo si se mantiene actualizado su conocimiento. El módulo de adquisición permite efectuar ese mantenimiento, anotando en la base de conocimientos los cambios que se producen.

EJEMPLO DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE INFERENCIA

Para ilustrar cómo trabajan los procedimientos de inferencia, se

supondrá un sistema que contiene las siguientes reglas en la base de conocimiento:

R1: SI abrigo ENTONCES bingo

R2: SI chaqueta ENTONCES dentista

R3: SI bingo ENTONCES esposa

-Enfoque guiado por datos (o encadenamiento hacia adelante):

El problema es determinar si se da esposa sabiendo que se cumplen abrigo y chaqueta.

Lo primero que se hace es introducir en la base de datos abrigo y chaqueta:

B.D. = {abrigo, chaqueta}

El sistema identifica las reglas aplicables:

$R = \{R1, R2\}$

Selecciona R1 y la aplica. Esto genera bingo que se añade a la base de datos:

B.D. = {abrigo, chaqueta, bingo}

Como no se ha solucionado el problema, vuelve a identificar un conjunto de reglas aplicables (excepto la ya aplicada, que no cambiaría el estado de la base de datos):

$R = \{R2, R3\}$

Selecciona y aplica R2 quedando:

B.D. = {abrigo, chaqueta, bingo, dentista}

El problema todavía no se ha solucionado, luego el sistema selecciona otro conjunto de reglas aplicables:

$R = \{R3\}$

Seleccionando y aplicando R3, la base de datos queda:

B.D. = {abrigo, chaqueta, bingo, dentista, esposa}

Como esposa se encuentra en ella, se ha llegado a la solución del problema.

-Enfoque guiado por objetivos (o encadenamiento hacia atrás):

Se quiere determinar si se cumple esposa teniendo en la base de datos abrigo y chaqueta:

B.D. = {abrigo, chaqueta}.

El conjunto de reglas aplicables en este caso será:

$R = \{R3\}$ (R3 es la única que tiene esposa en su parte derecha).

Se selecciona R3 y se genera bingo. Como no se encuentra en la base de datos (no es verdadero ni falso) se le considera como subobjetivo.

El sistema intentará ahora probar bingo.

Identifica las reglas aplicables:

$R = \{R1\}$.

Aplica R1 y se obtiene abrigo que es verdadero en la base de datos. De esta forma, se prueba el subobjetivo, y al probar éste, se prueba esposa resolviendo el problema.