

Sistemes experts

lloc: [Institut d'Ensenyaments a Distància de les Illes Balears](#)

Curs: Models d'intel·ligència artificial

Llibre: Sistemes experts

Imprès per: Carlos Sanchez Recio

Data: dimarts, 26 de novembre 2024, 09:04

Taula de continguts

1. Presentació

2. Evolució

2.1. Primers desenvolupaments

2.2. Introducció formal i desenvolupaments posteriors

2.3. Enfocament actual dels sistemes experts

3. Arquitectura

4. Avantatges

5. Inconvenients

6. Cyc

7. Grafs de coneixement

8. Xarxes semàntiques

9. Metodologies de desenvolupament

10. Reptes de l'adquisició de coneixement

11. Aplicacions

11.1. Aplicacions mèdiques

11.2. Sistemes experts jurídics

11.3. Sistemes experts hipotecaris

1. Presentació

En intel·ligència artificial, un sistema expert és un sistema informàtic que emula la capacitat de presa de decisions d'un expert humà.

Els sistemes experts estan dissenyats per resoldre problemes complexos mitjançant el raonament basat en el coneixement, representat principalment amb regles **si-llavors**, més que no a través de codi de procediment convencional.

Els primers sistemes experts es van crear a la dècada de 1970 i després van proliferar a la dècada de 1980. Els sistemes experts es van trobar entre les primeres formes de programari d'intel·ligència artificial (IA) realment exitoses.

Un sistema expert es divideix en dos subsistemes: el **motor d'inferència** i la **base de coneixement**. La base de coneixement representa **fets** i **regles**. El motor d'inferència aplica les regles als fets coneguts per deduir fets nous. Els motors d'inferència també poden incloure habilitats d'explicació i depuració.

2. Evolució

Tractarem l'evolució dels sistemes experts en tres etapes: la seva introducció, els desenvolupaments principals i l'enfocament actual dels sistemes experts.

2.1. Primers desenvolupaments

Poc després de l'aparició dels ordinadors moderns a finals de la dècada de 1940 i principis de la dècada de 1950, els investigadors van començar a adonar-se de l'immens potencial que aquestes màquines tenien per a la societat. Un dels primers reptes va ser fer que aquestes màquines fossin capaços de "pensar" com els humans, en particular, fer que aquestes màquines fossin capaces de prendre decisions importants com ho fan els humans. L'àmbit sanitari va presentar el repte de permetre que aquestes màquines prenguessin decisions de diagnòstic mèdic.

Així, a finals de la dècada de 1950, els investigadors varen començar a experimentar amb l'objectiu d'utilitzar la tecnologia informàtica per emular la presa de decisions humana. Per exemple, els investigadors biomèdics van començar a crear sistemes assistits per ordinador per a aplicacions de diagnòstic en medicina i biologia. Aquests sistemes de diagnòstic primerencs van utilitzar els símptomes dels pacients i els resultats de les proves de laboratori com a entrades per generar un resultat diagnòstic. Aquests sistemes sovint es descriuen com les primeres formes de sistemes experts. Tanmateix, els investigadors es van adonar que hi havia limitacions significatives quan s'utilitzaven mètodes tradicionals com ara els diagrames de flux, la concordança de patrons estadístics, o la teoria de la probabilitat.

2.2. Introducció formal i desenvolupaments posteriors

Aquesta situació anterior va portar a poc a poc al desenvolupament de sistemes experts, que utilitzaven enfocaments basats en el coneixement. Aquests sistemes experts en medicina van ser el sistema expert **MYCIN**, el sistema expert **INTERNIST-I** i més tard, a mitjans dels anys vuitanta, el **CADUCEUS**.

Els sistemes experts van ser introduïts formalment al voltant de 1965 en el projecte de programació heurística de Stanford liderat per **Edward Feigenbaum**, a qui de vegades s'anomena el "pare dels sistemes experts". Altres col·laboradors primerencs clau van ser Bruce Buchanan i Randall Davis. Els investigadors de Stanford van intentar identificar dominis on l'experiència era molt valorada i complexa, com ara el diagnòstic de malalties infeccioses (Mycin) i la identificació de molècules orgàniques desconegudes (Dendral). La idea que "els sistemes intel·ligents deriven el seu poder del coneixement que posseeixen més que dels formalismes i esquemes d'inferència específics que utilitzen", com va dir Feigenbaum, va ser en aquell moment un pas endavant significatiu, ja que la investigació passada s'havia centrat en mètodes computacionals heurístics, que van culminar amb els intents de desenvolupar solucions de problemes de propòsit molt general (sobretot el treball conjunt d'Allen Newell i Herbert Simon). Els sistemes experts es van convertir en algunes de les primeres formes veritablement reeixides de programari d'intel·ligència artificial (IA).

La recerca sobre sistemes experts també va estar activa a França. Mentre que als Estats Units l'atenció solia centrar-se en sistemes basats en regles, primer en sistemes codificat sobre entorns de programació LISP i després en intèrprets d'ordres de sistemes experts desenvolupats per venedors com Intellicorp, a França la recerca es va centrar més en sistemes desenvolupats en Prolog. L'avantatge de les intèrprets d'ordres del sistema expert era que eren una mica més fàcils d'utilitzar per als no programadors. L'avantatge dels entorns Prolog era que no estaven centrats només en regles si-aleshores; Els entorns Prolog van proporcionar una realització molt millor d'un entorn complet de lògica de primer ordre.

A la dècada de 1980 van proliferar els sistemes experts. Les universitats van oferir cursos de sistemes experts i dos terços de les empreses Fortune 500 van aplicar la tecnologia a les activitats empresarials diàries. L'interès creixent es va reflectir per exemple en el projecte Fifth Generation Computer Systems del Japó i l'augment del finançament de la recerca a Europa.

El 1981 es va presentar el primer PC IBM, amb el sistema operatiu PC DOS. El desequilibri entre l'elevada assequibilitat dels xips relativament potents de l'ordinador, en comparació amb el cost molt més car de la potència de processament en els mainframes que dominaven el món informàtic corporatiu en aquell moment, va crear un nou tipus d'arquitectura per a la informàtica corporativa, anomenada model client-servidor. Els càlculs i el raonament es podrien realitzar a una fracció del preu d'un sistema central mitjançant un ordinador. Aquest model també va permetre a les unitats de negoci evitar els departaments de TI corporatius i crear directament les seves pròpies aplicacions. Com a resultat, el model client-servidor va tenir un impacte enorme en el mercat de sistemes experts. Els sistemes experts ja eren atípics en gran part del món empresarial, i requerien noves habilitats que molts departaments informàtics no tenien i no tenien interès a desenvolupar. Fins aleshores, el principal entorn de desenvolupament per a sistemes experts havien estat màquines Lisp de gamma alta de Xerox, Symbolics i Texas Instruments. Amb l'auge de la informàtica per a PC i client-servidor, venedors com Intellicorp i Inference Corporation varen canviar les seves prioritats al desenvolupament d'eines basades en PC. A més, nous venedors, sovint finançats amb capital de risc (com Aion Corporation, Neuron Data, Exsys i molts altres), varen començar a aparèixer.

El primer sistema expert que es va utilitzar amb capacitat de disseny per a un producte a gran escala va ser el programa de programari SID (Synthesis of Integral Design), desenvolupat el 1982. Escrit en LISP, SID va generar el 93% de les portes lògiques de la CPU VAX 9000. L'entrada al programari va ésser un conjunt de regles creades per diversos dissenyadors de lògica experts. SID va ampliar les regles i va generar rutines de síntesi lògica amb una mida molt més gran que la de les regles. Sorprenentment, la combinació d'aquestes regles va donar lloc a un disseny global que va superar les capacitats dels mateixos experts. Tot i que algunes regles contradiuen d'altres, els paràmetres de control de nivell superior per a la velocitat i l'àrea van proporcionar el desempat.

Durant els anys anteriors a la meitat de la dècada de 1970, les expectatives del que els sistemes experts poden aconseguir en molts camps tendeixen a ser extremadament optimistes. Al començament d'aquests primers estudis, els investigadors esperaven desenvolupar sistemes experts totalment automàtics (és a dir, completament informatitzats). Les expectatives de la gent del que poden fer els ordinadors eren sovint massa idealistes. Aquesta situació va canviar radicalment després que Richard M. Karp publicàs el seu article innovador: "Reducibility

between Combinatorial Problems" a principis dels anys setanta. Gràcies al treball de Karp, juntament amb altres estudiosos, com Hubert L. Dreyfus, va quedar clar que hi ha certes limitacions i possibilitats quan es dissenyen algorismes informàtics. Les seves troballes descriuen què poden fer els ordinadors i què no poden fer. Molts dels problemes computacionals relacionats amb aquest tipus de sistemes experts tenen certes limitacions pragmàtiques. Aquestes troballes van establir les bases que van conduir als propers desenvolupaments en el camp.

A la dècada de 1990 i més enllà, el terme sistema expert i la idea d'un sistema d'IA autònom varen sortir majoritàriament del discurs informàtic. Hi ha dues interpretacions d'això. Una és que "els sistemes experts van fallar": el món de les TI va seguir endavant perquè els sistemes experts no van complir la seva promesa exagerada. L'altra és justament l'oposada, que els sistemes experts varen ser simplement víctimes del seu èxit: a mesura que els professionals de les TI van comprendre conceptes com els motors de regles, aquestes eines van migrar de ser eines autònomes per desenvolupar sistemes experts per a propòsits especials a ser una de les moltes eines estàndard. Altres investigadors suggereixen que els sistemes experts varen provocar lluites de poder entre empreses quan l'organització informàtica va perdre la seva exclusivitat en modificacions de programari a mans dels usuaris o dels enginyers de coneixement.

A la primera dècada de la dècada del 2000, hi va haver una "resurrecció" de la tecnologia, mentre s'utilitzava el terme **sistemes basats en regles**, amb històries d'èxit i adopció importants. Molts dels principals venedors de suites d'aplicacions empresarials (com ara SAP, Siebel i Oracle) varen integrar les habilitats del sistema expert al seu conjunt de productes com una forma d'especificar la lògica empresarial: els motors de regles ja no són només per definir les regles que utilitzaria un expert, sinó per a qualsevol tipus de lògica empresarial complexa, volàtil i crítica; sovint van de la mà amb l'automatització de processos empresarials i els entorns d'integració.

2.3. Enfocament actual dels sistemes experts

Les limitacions del tipus anterior de sistemes experts han impulsat els investigadors a desenvolupar nous tipus de solucions. Han desenvolupat enfocaments més eficients, flexibles i potents per simular el procés de presa de decisions humana. Alguns dels sistemes que han desenvolupat els investigadors es basen en nous mètodes d'intel·ligència artificial (IA), i en particular en enfocaments d'aprenentatge automàtic i mineria de dades amb un mecanisme de retroalimentació. Les xarxes neuronals recurrents sovint aprofiten aquests mecanismes.

Els sistemes moderns poden incorporar nous coneixements més fàcilment i d'aquesta forma actualitzar-se fàcilment. Aquests sistemes poden generalitzar-se millor a partir del coneixement existent i tractar grans quantitats de dades complexes (*Big Data*). De vegades, aquest tipus de sistemes experts reben el nom de sistemes intel·ligents.

3. Arquitectura

Un **sistema expert** és un exemple de **sistema basat en el coneixement**. Els sistemes experts varen ésser els primers sistemes comercials que utilitzaren una arquitectura basada en el coneixement. En una visió general, un sistema expert inclou els components següents: una base de coneixement, un motor d'inferència, una sistema d'explicació, un sistema d'adquisició de coneixement i una interfície d'usuari.

La base de coneixement representa fets sobre el món. En els primers sistemes experts, com Mycin i Dendral, aquests fets es representaven principalment com a afirmacions directes sobre variables. En sistemes experts posteriors desenvolupats amb productes comercials, la base de coneixement va agafar més estructura i va utilitzar conceptes de programació orientada a objectes. El món es representava com a classes, subclasses i instàncies i les afirmacions eren substituïdes per valors d'instàncies d'objectes. Les regles funcionaven consultant i assignant valors als objectes.

El motor d'inferència és un sistema de raonament automatitzat que avalua l'estat actual de la base de coneixement, aplica les regles rellevants i després afegeix nous coneixements a la base de coneixement. El motor d'inferència també pot ser capaç de produir una explicació, de manera que pugui exposar a un usuari la cadena de raonaments utilitzats per arribar a una conclusió particular, fent un seguiment de l'execució de les regles que van donar lloc a l'afirmació.

Hi ha principalment dos modes per a un motor d'inferència: encadenat cap endavant i encadenat cap enrere. Els diferents enfocaments depenen de si el motor d'inferència està sent impulsat per l'antecedent (costat esquerre) o el conseqüent (costat dret) de la regla. En encadenar cap endavant, un antecedent dispara i afirma el conseqüent. Per exemple, considerem la regla R_1 següent:

$\text{Persona}(x) \rightarrow \text{Mortal}(x)$

En paraules, si algú és una persona, aleshores és mortal. Un exemple senzill d'encadenament cap endavant seria afirmar $\text{Persona}(\text{Sòcrates})$ al sistema i després activar el motor d'inferència. Coincidiria amb R_1 i afegiria $\text{Mortal}(\text{Sòcrates})$ a la base de coneixement, indicant que Sòcrates és mortal.

L'encadenament cap enrere és una mica menys directe. En encadenar cap enrere, el sistema mira les possibles conclusions i treballa cap enrere per veure si poden ser certes. Per tant, si el sistema estigués intentant determinar si $\text{Mortal}(\text{Sòcrates})$ és cert, trobaria R_1 i consultaria la base de coneixement per veure si $\text{Persona}(\text{Sòcrates})$ és cert. Una de les primeres innovacions dels sistemes experts va ser integrar motors d'inferència amb una interfície d'usuari. Això pot ésser especialment útil amb l'encadenament cap enrere. Si el sistema necessita saber un fet concret però no ho sap, pot generar simplement una pantalla d'entrada i preguntar a l'usuari si es coneix la informació. Així, en aquest exemple, podria utilitzar R_1 per preguntar a l'usuari si Sòcrates era un home i després utilitzar aquesta nova informació en conseqüència.

L'ús de regles per representar explícitament el coneixement també va permetre la capacitat d'explicació. A l'exemple senzill anterior, si el sistema hagués utilitzat R_1 per afirmar que Sòcrates era mortal i un usuari volgués entendre per què Sòcrates era mortal, podria consultar el sistema i el sistema miraria enrere les regles que s'han disparat per provocar l'afirmació i presentar les regles a l'usuari com a explicació. En paraules, si l'usuari preguntava "Per què Sòcrates és mortal?" el sistema respondria "Perquè tots els homes són mortals i Sòcrates és un home". Una àrea important per a la recerca va ser la generació d'explicacions a partir de la base de coneixement en llenguatge natural en lloc de simplement mostrar les regles més formals però més poc intuïtives.

A mesura que varen evolucionar els sistemes experts, es varen incorporar moltes tècniques noves a diversos tipus de motors d'inferència. Algunes dels més importants varen ésser:

- **Manteniment de la veritat.** Aquests sistemes registren les dependències en una base de coneixement de manera que quan els fets s'alteren, el coneixement que en depèn es pot alterar en conseqüència. Per exemple, si el sistema s'assabenta que Sòcrates ja no és un home, revocarà l'afirmació que Sòcrates és mortal.
- **Raonament hipotètic.** En això, la base de coneixement es pot dividir en moltes vistes possibles, també conegudes com mons. Això permet al motor d'inferència explorar múltiples possibilitats en paral·lel. Per exemple, el sistema pot voler explorar les conseqüències d'ambdues afirmacions, què serà cert si Sòcrates és un home i què serà cert si no ho és?

- **Sistemes d'incertesa.** Una de les primeres extensions del simple ús de regles per representar el coneixement també va ser associar una probabilitat a cada regla. Per tant, no per afirmar que Sòcrates és mortal, sinó per afirmar que Sòcrates pot ser mortal amb algun valor de probabilitat. Les probabilitats simples es van estendre en alguns sistemes amb mecanismes sofisticats per al raonament incert, com ara la lògica difusa i la combinació de probabilitats.
- **Classificació ontològica.** Amb l'addició de classes d'objectes a la base de coneixement, va ser possible un nou tipus de raonament. Juntament amb el raonament simplement sobre els valors dels objectes, el sistema també podria raonar sobre les estructures d'objectes. En aquest exemple senzill, Persona pot representar una classe d'objectes i R_1 es pot redefinir com una regla que defineix la classe de tots els homes. Aquests tipus de motors d'inferència especials s'anomenen classificadors. Encara que no eren molt utilitzats en sistemes experts, els classificadors són molt potents per a dominis volàtils no estructurats i són una tecnologia clau per a Internet i la Web Semàntica emergent.

4. Avantatges

L'objectiu dels sistemes basats en el coneixement és fer que la informació crítica necessària perquè el sistema funcioni sigui explícita i no implícita. En un programa informàtic tradicional, la lògica està incrustada en un codi que normalment només pot ser revisat per un especialista informàtic. Amb un sistema expert, l'objectiu era especificar les regles en un format intuïtiu i fàcil d'entendre, revisar i fins i tot editar per experts del domini en lloc d'experts en TI. Els beneficis d'aquesta representació del coneixement explícit eren el desenvolupament ràpid i la facilitat de manteniment.

La facilitat de manteniment és el benefici més evident. Això es va aconseguir de dues maneres. En primer lloc, eliminant la necessitat d'escriure codi convencional, molts dels problemes normals que poden causar fins i tot petits canvis en un sistema es podrien evitar amb sistemes experts. Essencialment, el flux lògic del programa (almenys al nivell més alt) consistia en invocar simplement el motor d'inferència. Aquest també va ser el motiu del segon benefici: el prototipatge ràpid. Amb un intèrpret d'ordres de sistema expert, era possible introduir unes quantes regles i tenir un prototip desenvolupat en dies en comptes dels mesos o l'any habitualment associats a projectes informàtics complexos.

Una afirmació de les intèrprets d'ordres de sistemes experts que es feia sovint era que eliminaven la necessitat de programadors entrenats i que els experts podien desenvolupar sistemes ells mateixos. En realitat, això poques vegades era cert, o mai. Tot i que les regles per a un sistema expert eren més comprensibles que el codi informàtic típic, encara tenien una sintaxi formal on una coma o un altre caràcter fora de lloc podia causar estralls com amb qualsevol altre llenguatge informàtic. A més, a mesura que els sistemes experts van passar dels prototips al laboratori al desplegament al món empresarial, els problemes d'integració i manteniment es van fer molt més crítics. Inevitablement, van sorgir exigències d'integració i aprofitament de grans bases de dades i sistemes heretats. Per aconseguir-ho, la integració requeria les mateixes habilitats que qualsevol altre tipus de sistema.

Resumint els avantatges d'utilitzar sistemes experts, es poden destacar els següents:

- Major disponibilitat i fiabilitat: es pot accedir a l'experiència en qualsevol maquinari informàtic i el sistema sempre completa les respostes a temps.
- Experiència múltiple: es poden executar diversos sistemes experts simultàniament per resoldre un problema i obtenir un nivell d'experiència més alt que un expert humà.
- Explicació: els sistemes experts sempre descriuen com es va resoldre el problema.
- Resposta ràpida: els sistemes experts són ràpids i capaços de resoldre un problema en temps real.
- Cost reduït: el cost de l'experiència per a cada usuari es redueix significativament.

5. Inconvenients

El desavantatge més habitual citat per als sistemes experts en la literatura acadèmica és el problema de l'**adquisició de coneixement**. Aconseguir el temps dels experts del domini per a qualsevol aplicació de programari sempre és difícil, però per als sistemes experts era especialment difícil perquè els experts eren, per definició, molt valorats i demandats constantment per l'organització. Com a resultat d'aquest problema, una gran part de la recerca en els últims anys dels sistemes experts es va centrar en eines d'adquisició de coneixement, per ajudar a automatitzar el procés de disseny, depuració i manteniment de regles definides pels experts. Tanmateix, quan s'observa el cicle de vida dels sistemes experts en ús real, altres problemes, essencialment els mateixos problemes que els de qualsevol altre sistema gran, semblen almenys tan crítics com l'adquisició de coneixement: integració, accés a grans bases de dades i rendiment.

El rendiment podria ser especialment problemàtic perquè els primers sistemes experts es van crear utilitzant eines (com les versions anteriors de Lisp) que interpretaven expressions de codi sense compilar-les abans. Això va proporcionar un entorn de desenvolupament potent, però amb l'inconvenient que era pràcticament impossible igualar l'eficiència dels llenguatges compilats més ràpids (com ara C). La integració de sistemes i bases de dades va ser difícil per als primers sistemes experts perquè les eines estaven principalment en idiomes i plataformes que no eren familiars ni benvinguts a la majoria d'entorns informàtics corporatius: llenguatges de programació com Lisp i Prolog i plataformes de maquinari com ara màquines Lisp i ordinadors personals. . Com a resultat, molts esforços en les últimes etapes del desenvolupament d'eines de sistemes experts es van centrar a integrar-se amb entorns heretats com ara COBOL i sistemes de bases de dades grans, i a portar a plataformes més estàndard. Aquests problemes es van resoldre principalment pel canvi de paradigma client-servidor, ja que els ordinadors van ser acceptats gradualment a l'entorn informàtic com una plataforma legítima per al desenvolupament de sistemes empresarials seriosos i com que els servidors de miniordinadors assequibles proporcionaven la potència de processament necessària per a les aplicacions d'IA.

Un altre gran repte dels sistemes experts sorgeix quan augmenta la mida de la base de coneixement. Això fa que la complexitat del processament augmenti. Per exemple, quan es va imaginar un sistema expert amb 100 milions de regles com el sistema expert definitiu, es va fer obvi que aquest sistema seria massa complex i s'enfrontaria a massa problemes computacionals. Un motor d'inferència hauria de ser capaç de processar un gran nombre de regles per arribar a una decisió.

Com verificar que les regles de decisió són coherents entre elles també és un repte quan hi ha massa regles. Normalment, aquest problema condueix a una formulació de satisfacció (SAT). Aquest és un problema NP-complet conegut. Problema de satisfacció booleà. Si suposem només variables binàries, diguem n d'elles, i aleshores l'espai de cerca corresponent és de mida 2^n .

També hi ha qüestions sobre com prioritzar l'ús de les regles per tal d'operar de manera més eficient, o com resoldre ambigüitats (per exemple, si hi ha massa subestructures més, si dins d'una sola regla), i així successivament.

Altres problemes estan relacionats amb els efectes de **sobreadaptació** i **sobregeneralització** quan s'utilitzen fets coneguts i s'intenta generalitzar a d'altres casos no descrits explícitament a la base de coneixement. Aquests problemes existeixen també amb mètodes que utilitzen enfocaments d'aprenentatge automàtic.

Un altre problema relacionat amb la base de coneixement és com fer actualitzacions dels seus coneixements de manera ràpida i eficaç. També és un repte com afegir un nou coneixement (és a dir, on afegir-lo entre moltes regles). Els enfocaments moderns que es basen en mètodes d'aprenentatge automàtic són més fàcils en aquest sentit.

A causa dels reptes anteriors, va quedar clar que es requerien nous enfocaments de la IA en lloc de tecnologies basades en regles. Aquests nous enfocaments es basen en l'ús de tècniques d'aprenentatge automàtic, juntament amb l'ús de mecanismes de retroalimentació.

Els reptes clau que tenen els sistemes experts en medicina (si es consideren els sistemes de diagnòstic assistit per ordinador com a sistemes experts moderns), i potser en altres dominis d'aplicació, inclouen qüestions relacionades amb aspectes com ara: big data, normativa vigent, pràctica sanitària, qüestions algorítmiques diverses, i avaluació del sistema.

Finalment, es poden resumir els següents desavantatges de l'ús de sistemes experts:

- Els sistemes experts tenen un coneixement superficial i una tasca senzilla pot arribar a ser costosa computacionalment.
- Els sistemes experts requereixen enginyers de coneixement per introduir les dades, l'adquisició de dades és molt difícil.
- El sistema expert pot triar el mètode més inadequat per resoldre un problema concret.
- Els problemes d'ètica en l'ús de qualsevol forma d'IA són molt rellevants en l'actualitat.
- És un món tancat amb coneixements específics, en el qual no hi ha una percepció profunda dels conceptes i de les seves interrelacions fins que un expert els proporciona.

6. Cyc

[Cyc](#) (pronunciat /saɪk/) és un projecte d'intel·ligència artificial a llarg termini que té com a objectiu reunir una **ontologia** integral i una **base de coneixement** que abasta els conceptes bàsics i les regles sobre com funciona el món.

Amb l'esperança de capturar el coneixement del sentit comú, Cyc se centra en el coneixement implícit que altres plataformes d'IA poden donar per fet. Això es contrasta amb els fets que es poden trobar en algun lloc d'Internet o recuperar mitjançant un motor de cerca o la Wikipedia. Cyc permet als raonadors semàntics realitzar raonaments semblants als humans i ser menys fràgils quan s'enfronten a situacions noves.

Douglas Lenat va iniciar el projecte el juliol de 1984 a MCC, on va ser científic principal entre 1984 i 1994, i després, des de gener de 1995, està en desenvolupament actiu per part de l'empresa Cycorp, on va ser el director general.

7. Grafs de coneixement

En la representació i el raonament del coneixement, un gràfic de coneixement és una base de coneixement que utilitza un model de dades estructurat en gràfics o una topologia per integrar dades. Els gràfics de coneixement s'utilitzen sovint per emmagatzemar descripcions interconnectades d'entitats (objectes, esdeveniments, situacions o conceptes abstractes) alhora que codifiquen la semàntica subjacent a la terminologia utilitzada.

Des del desenvolupament de la web semàntica, els gràfics de coneixement s'associen sovint amb projectes de dades obertes enllaçats, centrats en les connexions entre conceptes i entitats. També estan associats i utilitzats de manera destacada amb motors de cerca com Google, Bing, Yext i Yahoo; motors de coneixement i serveis de resposta a preguntes com WolframAlpha, Siri d'Apple i Amazon Alexa; i xarxes socials com LinkedIn i Facebook.

[Knowledge Graph](#)

8. Xarxes semàntiques

Una xarxa semàntica o xarxa de marcs és una base de coneixement que representa relacions semàntiques entre conceptes en una xarxa. Sovint s'utilitza com a forma de representació del coneixement. És un gràfic dirigit o no dirigit format per vèrtexs, que representen conceptes, i arestes, que representen relacions semàntiques entre conceptes,[1] mapeig o connexió de camps semàntics. Una xarxa semàntica es pot instanciar com, per exemple, una base de dades de gràfics o un mapa conceptual. Les xarxes semàntiques estandarditzades típiques s'expressen com a triples semàntics.

Les xarxes semàntiques s'utilitzen en aplicacions de processament del llenguatge natural com ara l'anàlisi semàntica i la desambiguació del sentit de les paraules. Les xarxes semàntiques també es poden utilitzar com a mètode per analitzar textos grans i identificar els temes i temes principals (per exemple, de publicacions a les xarxes socials), per revelar biaixos (per exemple, en la cobertura de notícies) o fins i tot per cartografiar tot un camp de recerca.

[Semantic network](#)

9. Metodologies de desenvolupament

El desenvolupament de sistemes experts és un procés complex que requereix una planificació acurada, una adquisició precisa de coneixement i una validació rigorosa per garantir la seva eficàcia. Les metodologies de desenvolupament ofereixen un marc estructurat per aconseguir aquests objectius i assegurar la coherència i l'èxit del sistema. En aquesta secció, explorarem algunes de les metodologies més comunes utilitzades en el desenvolupament de sistemes experts.

Metodologia de desenvolupament en cascada

La metodologia en cascada és un enfocament seqüencial i lineal per al desenvolupament de sistemes experts. Aquest enfocament es divideix en diverses fases ben definides, com ara anàlisi de requisits, disseny, implementació, proves i manteniment. Cada fase es completa abans de passar a la següent, i els canvis en les etapes anteriors poden ser costosos de gestionar.

Els avantatges d'aquesta metodologia inclouen la claredat en els requisits inicials i la possibilitat de realitzar un control rigorós en cada etapa. No obstant això, pot ser menys adequada per a projectes on els requisits no estan ben definits des del principi o quan es requereix adaptació ràpida als canvis.

Metodologia de desenvolupament en espiral

La metodologia en espiral combina elements de desenvolupament en cascada amb la flexibilitat per adaptar-se als canvis. Es divideix en diverses iteracions o "espirals", on cada iteració representa una passada completa a través de les fases de desenvolupament. En cada espiral, s'avaluen els riscos, es defineixen els requisits i es desenvolupen increments del sistema.

Aquesta metodologia és adequada per a projectes on els requisits poden canviar o no estan totalment clars des del principi. Proporciona flexibilitat per adaptar-se als canvis i permet als desenvolupadors millorar gradualment el sistema amb cada iteració.

Metodologia de desenvolupament àgil

L'agilitat és una metodologia que es basa en la col·laboració estreta entre els desenvolupadors i els experts en el domini. Es divideix en cicles curts de desenvolupament anomenats *sprints*. En cada *sprint*, es desenvolupa una part del sistema, es prova i es revisa. Els requisits es poden ajustar a mesura que es progressa.

Aquest enfocament és útil per a projectes on la incertesa és alta o es requereix adaptació ràpida als canvis. Facilita la col·laboració entre els membres de l'equip i permet una resposta àgil als requeriments del client o les condicions del mercat.

10. Reptes de l'adquisició de coneixement

Un dels reptes més significatius en el desenvolupament de sistemes experts és l'adquisició de coneixement. Aquest procés implica la captura, formalització i incorporació del coneixement expert d'individus humans o altres fonts de coneixement en un format que pugui ser utilitzat pel sistema expert. Tot i que les aplicacions dels sistemes experts poden ser molt diverses, l'adquisició de coneixement és un punt crític que pot afectar la seva eficàcia i utilitat. Vegem els desafiaments associats a aquesta tasca complexa.

Complexitat de l'expressió del coneixement

El coneixement expert sovint es basa en l'experiència acumulada al llarg d'anys de pràctica. Aquest coneixement és ric i complex, i sovint es basa en intuïció, percepcions subtils i regles tàcites que no sempre es poden expressar de manera explícita. L'adquisició d'aquest tipus de coneixement pot ser un desafiament, ja que els experts poden tenir dificultats per articular o formalitzar el seu coneixement en termes que una màquina pugui entendre.

Manca de consistència

Diferents experts poden tenir punts de vista i enfocaments diferents per afrontar problemes similars. Això pot conduir a la manca de consistència en les regles i els criteris proporcionats pels experts. L'adquisició de coneixement ha de gestionar aquesta manca de consistència i crear un conjunt coherent i utilitzable de regles i dades.

Canvis i evolució del coneixement

El coneixement no és estàtic; evoluciona amb el temps. Els sistemes experts han de ser capaços de gestionar els canvis en el coneixement expert, ja sigui perquè els experts aprenen noves coses o perquè les condicions del domini canvien. L'adquisició de coneixement ha de ser un procés iteratiu i adaptable per mantenir el sistema actualitzat i precís.

Manca de contextualització

El coneixement sol estar contextualitzat en situacions i circumstàncies particulars. Quan s'adquireix el coneixement, és essencial capturar i mantenir aquest context perquè el sistema pugui aplicar el coneixement de manera adequada. La manca de contextualització pot limitar la utilitat i la precisió del sistema.

Eines d'adquisició de coneixement

L'adquisició de coneixement es beneficia de l'ús d'eines i tecnologies adequades. Això pot incloure entrevistes amb experts, tècniques de mineria de dades, anàlisi de text i altres mètodes per identificar i formalitzar el coneixement. Les eines han d'oferir suport a la captura de coneixement, la validació, la gestió de versions i la gestió de canvis.

11. Aplicacions

A continuació donarem exemples de camps actuals d'aplicació dels sistemes experts, centrats en tres grans àrees:

- Medicina
- Dret
- Hipoteques

11.1. Aplicacions mèdiques

La medicina ha estat una àrea d'aplicació d'una gran importància històrica en el desenvolupament de la IA, i encara actualment entre les més importants. I dins les aplicacions mèdiques són rellevants els sistemes experts d'ajuda a la presa de decisions. Aquesta tècnica és d'ús habitual en hospital i centres de salut d'arreu del món.

Al seu llibre del 2023 **100 coses que cal saber de la intel·ligència artificial**, Ramon López de Mántaras menciona els sistemes **Athena** i **Gideon**.

Athena és un sistema d'ajuda a la presa de decisions mèdiques que assisteix els metges en el tractament de pacients amb hipertensió. Athena processa l'historial clínic del pacient i, a partir del seu coneixement sobre hipertensió, produeix una sèrie de recomanacions per a l'atenció clínica personalitzada òptima.

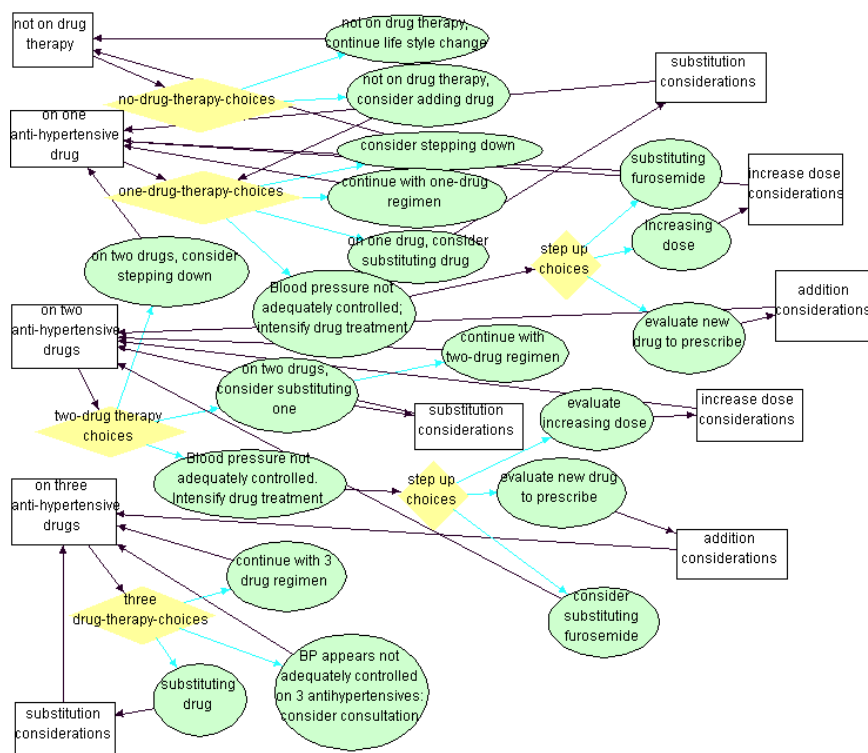


Diagrama de flux de ATHENA DSS (Decision Support System) ([URL](#))

Gideon treballa amb una base de dades que cobreix 235 països i ajuda al diagnòstic de 366 malalties infeccioses específiques d'aquests territoris. La seva base de coneixements inclou 1147 tàxons microbians i 306 agents antibacterians i vacunes. També usa 20000 imatges, gràfics i mapes interactius. Gideon és un dels sistemes més usats en medicina, amb més de 10000 usuaris diaris i més d'un 94% de diagnòstics correctes.

11.2. Sistemes experts jurídics

Els sistemes experts jurídics són aplicacions d'intel·ligència artificial dissenyades per emular la presa de decisions d'un expert humà en l'àmbit del dret. Aquests sistemes es basen en una combinació d'una base de coneixement, que recull regles i informació del domini jurídic, i un motor d'inferència capaç de raonar amb aquestes dades. El seu propòsit principal és facilitar i automatitzar tasques relacionades amb l'aplicació de les lleis, millorant l'eficiència i l'accés al coneixement jurídic.

La motivació inicial per desenvolupar aquests sistemes va sorgir a partir de la ràpida expansió de la informació i decisions legals a partir dels anys seixanta. Advocats i despatxos jurídics van ser els primers usuaris previstos, amb l'objectiu de reduir el temps dedicat a tasques repetitives, disminuir costos i fer més rendibles les pràctiques legals. Amb el temps, s'hi han identificat altres beneficis, com l'augment de l'accessibilitat al coneixement jurídic per part de ciutadans i organitzacions no especialitzades.

Evolució i casos emblemàtics

Els primers sistemes experts jurídics es van desenvolupar durant els anys setanta i vuitanta. Un exemple destacat és el projecte de codificació de la Llei de nacionalitat britànica de 1981, liderat per Marek Sergot i Robert Kowalski a l'Imperial College. Aquest treball va demostrar com es podia representar una llei recent mitjançant la lògica formal. El seu article [*The British Nationality Act as a Logic Program*](#) (1986) és considerat un dels primers grans treballs en el camp del dret computacional.

Amb el pas dels anys, aquests sistemes han evolucionat per oferir suport més enllà de l'assessorament a advocats. Actualment, s'utilitzen en processos administratius, automatització de documents i predicció de resultats judicials. Alguns exemples moderns són sistemes com **ASHSD-II**, que resol disputes sobre béns matrimonials; **CHIRON**, especialitzat en planificació fiscal; i **Legislate**, que genera contractes jurídics de manera automatitzada.

Tipologies i metodologies de raonament

Els sistemes experts jurídics poden adoptar diverses arquitectures, cadascuna amb un enfocament particular per processar el coneixement jurídic. Els models basats en regles utilitzen un esquema deductiu simple, del tipus "si A, llavors B", mentre que els basats en casos treballen amb exemples passats per establir analogies amb nous problemes. Les xarxes neuronals, per la seva banda, permeten reconèixer patrons i gestionar dades imprecises, i la lògica difusa ofereix flexibilitat per modelar situacions amb graus d'incertesa.

Aquests sistemes també es poden classificar segons la seva funció. Alguns cerquen arribar a conclusions clares sobre qüestions legals, mentre que d'altres estan dissenyats per predir resultats, com ara l'evolució d'un litigi o la probabilitat d'èxit d'un cas judicial.

Reptes i limitacions

Tot i els avenços, el desenvolupament de sistemes experts jurídics encara presenta reptes importants. La complexitat del dret, amb les seves normes interconnectades i la incertesa inherent dels fets, dificulta la representació formal del coneixement jurídic. Per exemple, les lleis sovint tenen una **textura oberta**, que permet múltiples interpretacions segons el context. Això fa que sigui complicat integrar tots els matisos del raonament legal en un sistema informatitzat.

A més, la creació i manteniment d'aquests sistemes requereix inversions elevades en arquitectura de programari i coneixement especialitzat. Per aquest motiu, molts de projectes es limiten a àmbits legals molt concrets, i el seu impacte queda restringit. També hi ha crítiques sobre el risc que aquests sistemes generin decisions o recomanacions incorrectes, especialment quan els usuaris no experts confien cegament en els seus resultats.

Impacte i evolucions recents

Malgrat els obstacles, els sistemes experts jurídics han demostrat ser eines valuoses per optimitzar processos legals i alliberar els advocats de tasques repetitives. Això no només redueix costos, sinó que també permet als professionals dedicar més temps a activitats de valor afegit. A més, la combinació de sistemes d'IA amb tecnologies sense codi o de baix codi, com Neota Logic i BRYTER, ha facilitat l'adopció d'aquestes solucions en àmbits més amplis.

Finalment, l'impacte disruptiu d'aquestes tecnologies sobre les pràctiques tradicionals planteja qüestions sobre el futur de la professió legal. Tot i que poden ser percebudes com una amenaça, també ofereixen l'oportunitat d'augmentar l'eficiència i democratitzar l'accés al coneixement jurídic. El repte és equilibrar el rigor científic amb la complexitat inherent de la pràctica jurídica humana.

11.3. Sistemes experts hipotecaris

Els sistemes experts per a hipoteques són eines d'intel·ligència artificial dissenyades per ajudar els bancs a gestionar i processar sol·licituds de préstecs hipotecaris. Incorporen coneixements i capacitats analítiques pròpies dels experts humans en l'àmbit de la banca hipotecària, amb l'objectiu de fer més eficient el procés d'avaluació i concessió de préstecs. La seva implantació respon a diverses necessitats del sector, com ara reduir els costos laborals i estandarditzar la gestió de préstecs, especialment els de menor quantia, que sovint són més poc rendibles sota mètodes tradicionals.

Un dels principals avantatges d'aquests sistemes és la seva capacitat per treballar amb regles clares i definides, característica que s'ajusta especialment bé a l'àmbit hipotecari, on les normatives són estrictes. Això permet una aplicació més precisa i ràpida de les polítiques de préstec, minimitzant errors i facilitant una experiència més satisfactòria per als clients.

Avantatges i funcions clau

En el context hipotecari, l'eficiència és un element clau per garantir la competitivitat del sector bancari, ja que els tipus d'interès solen estar regulats pels governs. Això converteix la qualitat del servei en un factor decisiu per captar clients. Els sistemes experts responen a aquesta demanda millorant aspectes com:

1. **Reducció del temps de processament:** Un sistema expert pot accelerar el procés de gestió de préstecs, des del primer contacte amb el client fins a la decisió final del banc, escurçant un temps de resposta que sovint és massa llarg amb mètodes convencionals.
2. **Correcció d'errors:** Aquests sistemes detecten i corregeixen possibles inexactituds en les sol·licituds de préstec, assegurant que les dades són completes i compatibles amb les normatives vigents.
3. **Assessorament personalitzat:** Permeten als empleats del banc oferir recomanacions més precises sobre el tipus de préstec que millor s'adapta a les necessitats dels clients, millorant l'atenció al client i la seva satisfacció.
4. **Facilitats reguladores:** Ajuden a gestionar situacions complexes, com ara l'aplicació de préstecs regulats o subvencionats, assegurant que es compleixen totes les condicions legals i administratives.

Aplicacions pràctiques i objectius

Els sistemes experts no prenen decisions finals sobre la concessió o denegació de préstecs, sinó que proporcionen assistència durant tot el procés. En particular, aquests sistemes:

- **Verifiquen la conformitat legal i administrativa:** Asseguren que una sol·licitud compleix tots els requisits establerts per a un tipus de préstec concret, tant pel que fa a les característiques de l'habitatge com a les circumstàncies financeres del prestatari.
- **Calculen terminis d'amortització:** Estimen la durada òptima de l'amortització en funció de la capacitat econòmica del client i de les garanties que pugui oferir.

L'objectiu principal d'aquests sistemes és aconseguir que entre el 80% i el 90% de les sol·licituds siguin correctes des de l'inici, reduint la necessitat de revisions posteriors. Això no només optimitza el temps de treball, sinó que també disminueix els costos associats a la gestió dels préstecs i augmenta la confiança dels agents de préstecs en el sistema.

Desenvolupament i requisits

El procés de desenvolupament d'un sistema expert per a hipoteques comença amb un model inicial senzill, que és progressivament millorat mitjançant la col·laboració entre enginyers del coneixement i agents de préstecs experimentats. Aquesta fase inicial és crucial, ja que un prototip entenedor i funcional serveix de base per a implementacions més complexes en situacions reals.

Un altre element essencial d'aquests sistemes és la capacitat d'explicació. Els usuaris han de poder entendre com el sistema arriba a les seves conclusions, la qual cosa contribueix a generar confiança en la seva utilització i reforça la seva integració en el dia a dia de l'oficina bancària.

Impacte en la gestió hipotecària

L'aplicació de sistemes experts en l'àmbit hipotecari transforma profundament la manera com els bancs gestionen els préstecs. Aquests sistemes redueixen la càrrega burocràtica, milloren la rapidesa en la presa de decisions i fan més accessible el coneixement especialitzat als empleats, inclús aquells amb menys experiència. Així, no només es millora l'eficiència interna, sinó que també es potencia la qualitat del servei als clients, oferint-los solucions personalitzades de manera més ràpida i fiable.