

Universidad Nacional de Educación a Distancia

Grado en Ingeniería Informática
y
Grado en Ingeniería en Tecnologías de la Información

Asignatura: ***Fundamentos de Inteligencia Artificial*** (2º curso)

Soluciones exámenes **Junio 2012**

(**NOTA:** Las redacción de estas respuestas es particularmente exhaustiva con el fin de cubrir en lo posible las diferentes alternativas aceptables; el alumno debe entender que no esperamos de los estudiantes respuestas tan completas. Por otra parte, en ocasiones omitimos argumentaciones detalladas que no consideramos necesario desarrollar, ya que se encuentran en el material de estudio, y que el alumno sí debería incluir en su examen.)

Ejercicio 1, Semana 1. (Valoración: 2.5 puntos)

Describa los componentes de un *sistema de búsqueda*. Ilustre su descripción con un ejemplo tomado del mundo real.

SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán

Los componentes principales de un sistema de búsqueda son: los **estados**, los **operadores** y la **estrategia de control**.

Los estados constituyen las situaciones que pueden aparecer en el problema que se intenta resolver y deben basarse en un modelo de representación con un nivel de detalle adecuado.

Los operadores representan acciones elementales que permiten cambiar de estado. Para cada operador hay que especificar las condiciones que debe cumplir el estado sobre el que se aplica, el estado resultante de su aplicación y el coste asociado al operador.

Estados y operadores forman el *espacio de búsqueda*, que tienen forma de grafo dirigido simple. Aunque generalmente no es posible representar en un ordenador todo el espacio de búsqueda de un problema real, sí hay que especificar cuál es el *estado inicial* y las condiciones que determinan cuándo un estado es *meta*. Múltiples estados del espacio de búsqueda pueden ser meta.

La estrategia de control determina el orden en que se exploran los nodos del espacio de búsqueda. Existen dos tipos principales de estrategias de control: no informada y heurística. La búsqueda no informada realiza una exploración exhaustiva de los estados, por lo que generalmente requiere visitar un número prohibitivo de los mismos. La búsqueda heurística utiliza conocimiento del dominio para guiar la búsqueda por los nodos más prometedores, es decir, aquéllos que con mayor probabilidad están en el camino hacia un estado meta óptimo.

La actividad obligatoria 1 del año 2012 muestra como ejemplo de espacio de búsqueda el del problema del barquero, así como diferentes estrategias de control (primero en anchura, primero en profundidad, etc.)

Ejercicio 2, Semana 1. (Valoración: 2.5 puntos)

Explique los diferentes tipos de arcos que pueden aparecer en una red semántica. Ilustre la explicación con un ejemplo tomado del mundo real.

SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán

Consúltese la sección 4.2.1 “Representación de conocimiento” del texto base; más concretamente, los párrafos que explican los **arcos descriptivos** y los **arcos estructurales**.

Un ejemplo de red semántica que incluye arcos descriptivos y arcos estructurados aparece en la figura 4.2 de la página 134.

Ejercicio 3, Semana 1. (Valoración: 5 puntos)

A continuación se proporciona la especificación, a grandes rasgos, de un sistema informático idóneo para la utilización de técnicas de Inteligencia Artificial:

La utilización de computadores en la educación de niños con autismo y en la propia investigación de este desorden psicológico presenta un gran potencial. Una aplicación software en este ámbito podría tener, entre otras, las siguientes funcionalidades:

- (a) Terapia de exposición al sonido. Las personas con autismo son hipersensibles al sonido. Una posible terapia para superar esta dificultad podría consistir en utilizar videojuegos divertidos y motivadores para exponer a los niños a sonidos cada vez más intensos. Sonidos que en condiciones normales causarían a estos niños miedo o dolor, se introducirían gradualmente y con intensidad creciente asociados a elementos y circunstancias agradables y reforzantes del juego.*
- (b) Aprendizaje para la comunicación socio-emocional. Las dificultades para la comunicación socio-emocional, hacen que las interacciones personales de las personas autistas sean frustrantes y estresantes. A partir de un banco de imágenes de individuos que conversan, etiquetadas en función de las emociones exhibidas, es posible derivar un módulo software capaz de identificar emociones a partir de una imagen humana. Los niños autistas podrían practicar el reconocimiento de emociones y su expresión utilizando fotos cualesquiera de sus familiares y allegados.*
- (c) Influencia del estado fisiológico en el comportamiento. Las personas con autismo a veces envían mensajes no verbales que no se corresponden con su estado psicológico (manifestando, por ejemplo, conductas agresivas sin razón aparente). A partir de un banco de datos que recopile patrones de parámetros fisiológicos (expresión facial, tono de voz, gestos y movimientos, postura, dilatación de pupilas, respiración, ritmo cardíaco, temperatura, transpiración y respuesta electrodérmica, potencial de acción muscular o presión sanguínea) junto con las conductas asociadas (observadas en un amplio estudio con pacientes autistas), es posible derivar un módulo software capaz de predecir las conductas de pacientes cuyos mencionados parámetros fisiológicos fueran monitorizados.*

a) Describa brevemente las características del sistema (o de alguna o algunas de sus partes) y de los recursos disponibles para su desarrollo que justifican la utilización de técnicas de Inteligencia Artificial. (Puntuación máxima: 0.5).

b) Proponga paradigmas y/o técnicas específicas de la Inteligencia Artificial para abordar las distintas partes del sistema, justificando brevemente su propuesta. En particular, indique qué tipo de lógica/s sería más adecuada/s para la representación del conocimiento implicado, razonando su respuesta. (Puntuación máxima: 1.5).

c) Represente mediante lógica de predicados de primer orden las siguientes sentencias, parte de la especificación de un videojuego utilizado en una terapia de exposición al sonido (Puntuación máxima: 1.5):

- 1) En el estado inicial ningún bloque está derribado y ningún proyectil se ha usado.
- 2) Los proyectiles deben lanzarse contra los bloques pero no se puede lanzar el mismo proyectil más de una vez.
- 3) Cuando se lanza un proyectil, o bien derriba al menos un bloque o bien falla.
- 4) Un bloque que no ha sido derribado por un proyectil no puede estar derribado, y cuando un bloque es derribado por un proyectil, se queda derribado.
- 5) En el momento en que se derriban todos los bloques suena una trompeta.

Se sugiere utilizar: una variable “t” para representar el tiempo, el predicado “<” que define un orden total sobre el tiempo, y predicados de acción (por ejemplo, `derribar(b,p,t)`) y de estado (por ejemplo, `derribado(b,t)`).

d) Imagine que parte de la implementación se realiza mediante un Sistema Basado en Reglas. Inspirándose en la especificación proporcionada, ilustre con un ejemplo la utilidad del encadenamiento de reglas hacia adelante y hacia atrás. (Puntuación máxima: 1).

e) Ilustre con un par ejemplos las limitaciones y problemática que comporta la aplicación, incluyendo las dimensiones ética y socio-política. (Puntuación máxima: 0.5).

SOLUCIÓN por Angeles Manjarrés Riesco

a)

La aplicación se inscribe claramente en el campo de la Inteligencia Artificial ya que ha de ser capaz de **percibir** su entorno, **razonar** con un conocimiento **incierto** e **incompleto** y **actuar** en consecuencia de forma **inteligente** y **adaptiva**. De hecho, implica campos de aplicación característicos de la Inteligencia Artificial: videojuegos, interpretación de imágenes, sistemas terapéuticos, simulación de procesos psicológicos humanos, y monitorización de variables fisiológicas humanas.

En cuanto al conocimiento disponible para su desarrollo, puesto que concierne al tratamiento del autismo, tiene características idóneas para ser modelado mediante técnicas de Inteligencia Artificial: la naturaleza del autismo no se conoce con certeza, su comprensión está en evolución permanente, los tratamientos son tentativos y basados en **heurísticas**... Uno de los campos de la psicología más debatidos precisamente es el de las emociones en relación con la cognición y la conducta. La interpretación de emociones a partir de expresiones faciales es asimismo una cuestión muy compleja.

Aparte del conocimiento experto acerca del autismo, se dispone para el desarrollo del sistema de mucha **información casuística** sin interpretar en términos de bancos de imágenes y datos etiquetados de distinta índole. El conocimiento implícito en estos datos sobre el reconocimiento de emociones y sobre la predicción de conductas de niños autistas tiene potencialidad de explotarse mediante técnicas de aprendizaje automático de Inteligencia Artificial.

La aplicación descrita cabe dentro de un campo de la Inteligencia Artificial objeto de atención reciente, la "Computación afectiva", que a su vez puede verse como un subcampo de la "Inteligencia ambiental". Uno de los objetivos principales de la Inteligencia ambiental es concebir sistemas sensibles a los parámetros biológicos de los humanos para identificar sus necesidades y adaptar su entorno en consecuencia.

Finalmente, la aplicación descrita pudiera también servir al propósito de la **Inteligencia Artificial como ciencia**, proporcionando resultados de investigación sobre el autismo y, en consecuencia, en el campo de la psicología de la emoción y su relación con la cognición y la conducta.

b)

Dada la diversidad de los componentes del sistema resulta adecuado un paradigma híbrido. El conocimiento experto terapéutico (sobre la administración concreta de sonidos en la terapia de exposición al sonido, la secuencia de presentación de imágenes para la identificación de expresiones emocionales, etc) se capturaría adecuadamente mediante un Sistema Basado en Reglas con incorporación de técnicas bayesianas y lógica borrosa. En general podrían utilizarse marcos para la representación de las entidades del dominio, y lógica de predicados y modal temporal para representar el progreso del niño. Adicionalmente, las distintas partes del sistema sugieren otros paradigmas y técnicas específicos:

- Terapia de exposición al sonido (videojuegos): Paradigmas: simbólico y conexionista situado. Técnicas específicas: teoría de la decisión (en particular, teoría de juegos y, por tanto, algoritmos de búsqueda y/o lógica borrosa).
- Aprendizaje para la comunicación socio-emocional (sistema inteligente que identifica las emociones de las personas que aparecen en una imagen, habiendo sido previamente entrenado con un banco de imágenes etiquetadas): Paradigmas: conexionista para el aprendizaje del etiquetado de imágenes. Técnicas específicas: técnicas de procesamiento de imágenes, redes neuronales y/o algoritmos genéticos para el aprendizaje supervisado (se dispone de imágenes etiquetadas) y reconocimiento de imágenes, minería de datos, lógica borrosa para gestionar la incertidumbre en el etiquetado de imágenes.

- Influencia del estado fisiológico en el comportamiento (sistema inteligente que predice conductas de niños autistas cuyos parámetros fisiológicos son monitorizados, habiendo sido previamente entrenado con un banco de datos de patrones de parámetros fisiológicos y conductas asociadas). Paradigmas: situado para recogida de datos mediante sensores, conexionista para aprendizaje de predicción de conductas; alternatively, simbólico para representación e inferencia de la predicción de conductas. Técnicas específicas: minería de datos, redes neuronales y/o algoritmos genéticos para el aprendizaje supervisado (se dispone de patrones etiquetados) y predicción de conductas, sistema basado en reglas para representación e inferencia de la predicción de conductas, lógica borrosa para gestionar la incertidumbre en la predicción de conductas.

c) (en lo que sigue, \vee denota disyunción exclusiva, esto es, XOR)

1 (0.3 pts):

$\forall b \neg \text{derribado}(b, t_0) \wedge \forall p \neg \text{usado}(p, t_0)$

2 (0.3 pts):

$\forall p \exists t (\neg \text{usado}(p, t) \rightarrow \exists t' > t (\text{lanzar}(p, t') \wedge \text{usado}(p, t')))$

3 (0.3 pts):

$\forall p \forall t (\text{lanzar}(p, t) \rightarrow \exists t' > t (\text{fallar}(p, t') \vee \exists b \text{derribar}(b, p, t')))$

4 (0.3 pts):

$\exists t \exists b \exists p \text{derribar}(b, p, t) \rightarrow \forall t' > t \text{derribado}(b, t') \wedge \forall t'' < t \neg \text{derribado}(b, t'')$

5 (0.3 pts):

$\exists t (\forall b \text{derribado}(b, t) \wedge \neg \exists t' < t (\forall b \text{derribado}(b, t'))) \rightarrow \text{trompeta}(t)$

d)

P.e., para la predicción de la conducta en función de los parámetros fisiológicos monitorizados:

Sistema basado en reglas (0.5 pts): La base de hechos definiría configuraciones de parámetros fisiológicos determinadas, mientras que la base de reglas establecería inferencias acerca de los comportamientos esperados para distintas configuraciones.

Encadenamiento hacia adelante (0.25 pts): Permitiría predecir el comportamiento, dada determinada configuración de parámetros fisiológicos

Encadenamiento hacia atrás (0.25 pts): Permitiría averiguar si existe un riesgo alto de manifestación inminente de conducta agresiva.

e)

(0.25 pts por cada ejemplo)

Cuestiones básicas de la ética informática implicadas:

- Responsabilidad profesional en la producción de bienes de interés social, que no comporten riesgos para la salud humana, orientados a la satisfacción de verdaderas necesidades humanas y con un impacto positivo en educación y cultura: dilema de la determinación de responsabilidades en las decisiones terapéuticas adoptadas por el sistema, impactos sociales y en materia de salud cuestionables.
- Privacidad y confidencialidad de datos personales: que se refieren a condiciones de salud en niños.

Impacto social-político:

- Las computadoras como agentes morales. El sistema ha de tomar decisiones que afectan a la salud psíquica de los niños y conllevan la manipulación de sus emociones, por lo que pudieran implicar el juicio ético. Lleva implícito un modelo muy simplificado, "deshumanizado" de los niños.
- Derechos humanos. Los derechos de los niños no solo a la intimidad sino al juego, y a la libertad de expresión y pensamiento, podrían verse vulnerados. Mediatización de los niños (utilizados para la experimentación). Tecnología sofisticada, costosa, poco accesible y que por tanto solo sería accesible para una élite (brecha digital).
- Empoderamiento de las máquinas. Se podrían estar menospreciando los efectos, quizá algunos de ellos insospechados, de la interacción de los niños con el sistema, delegando en éste excesiva responsabilidad. Podrían aplicarse terapias inadecuadas por errores de diagnóstico del sistema,

en particular dado que no se conocen bien ni la enfermedad ni su tratamiento (la terapia de sonido parece particularmente arriesgada). Se basa en información estadística y no hace un diagnóstico de tratamiento personalizado.

- Impacto en la organización social y laboral. Sustitución de terapeutas y educadores por sistemas informáticos. Dificultad de integración del sistema en las prácticas terapéuticas convencionales (dificultades de implantación).
- Impacto en estilos y modos de vida. Sustitución de las relaciones personales auténticas (verdadera necesidad de los niños autistas) por las relaciones virtuales. Riesgo de mayor exclusión/aislamiento social de los pacientes, frente a otras terapias que hacen énfasis en la integración (p.e., en entornos laborales).

Ejercicio 1, Semana 2. (Valoración: 2.5 puntos)

Defina los conceptos de “completitud” y “admisibilidad” de un algoritmo de búsqueda. Indique razonadamente si son o no completos y si son o no admisibles los siguientes algoritmos de búsqueda: “Primero en Anchura”, “Primero en Profundidad” y “Búsqueda Bidireccional”. Por último, compare las complejidades de estos tres algoritmos de búsqueda. ¿Qué ventajas e inconvenientes ofrecen estos tres algoritmos de búsqueda respecto a los recursos computacionales que requieren?

SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán

Un algoritmo de búsqueda es completo si siempre encuentra solución, en el caso de que exista alguna. Un algoritmo de búsqueda es admisible si siempre encuentra una solución óptima.

La búsqueda primero en anchura, al realizar una exploración del árbol de búsqueda por niveles de profundidad, es completo. Además, en el caso de que todos los arcos a igual profundidad tengan igual coste, también es admisible.

La búsqueda primero en profundidad, al realizar una exploración que intenta bajar de nivel de profundidad siempre que sea posible, no es completa ni admisible. Ello es debido a que la búsqueda puede quedar atrapada en una rama infinita. Aunque se establezca un límite de profundidad, esto tampoco garantiza que la búsqueda sea completa, ya que las soluciones puede encontrarse más allá de la profundidad límite elegida.

La búsqueda bidireccional explora simultáneamente en dos direcciones: desde el nodo inicial a los objetivos y viceversa. Si una de las dos búsquedas es en anchura, se garantiza que las dos búsquedas se encontrarán en algún momento. Por tanto, la búsqueda bidireccional es completa y, si la búsqueda se realiza desde todos los nodos objetivo, es admisible.

De cara a comparar las complejidades de los tres algoritmos de búsqueda del enunciado, definimos los siguientes conceptos:

- *Factor de ramificación (b)*: es el número medio de sucesores/hijos de los nodos del árbol de búsqueda.
- *Profundidad de la solución (d)*: número de arcos desde el nodo inicial hasta la solución, que suponemos única.

Los órdenes de magnitud de las complejidades espacial y temporal de estos tres algoritmos se incluyen en la siguiente tabla:

	<i>ANCHURA</i>	<i>PROFUNDIDAD</i>	<i>BIDIRECCIONAL</i>
Espacial	$O(b^d)$	$O(b \cdot d)$	$O(b^{d/2})$
Temporal	$O(b^d)$	$O(b^d)$	$O(b^{d/2})$

El algoritmo primero en anchura tiene el inconveniente de requerir espacio y tiempo exponenciales con la profundidad de la solución. El algoritmo primero en profundidad tiene la ventaja de requerir espacio proporcional a la profundidad de la solución. Por último, la búsqueda bidireccional tiene la ventaja de reducir a la mitad el exponente de las complejidades espacial y temporal de la búsqueda primero en anchura.

Ejercicio 2, Semana 2. (Valoración: 2.5 puntos)

Describe detalladamente las técnicas de inferencia en redes semánticas.

SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán

Se deben describir las técnicas de “equiparación” y de “herencia de propiedades”, según los contenidos de la sección 4.3 del texto base: “Inferencia de Conocimiento en Redes Semánticas”.

En cuanto a la técnica de equiparación, deben desarrollarse los siguientes aspectos:

- Definición
- Pasos: construcción de un apunte (o fragmento de red), cotejo del apunte con la red semántica de la base de conocimientos, ligadura de los nodos variables del apunte con nodos constantes de la red semántica y, finalmente, devolución (como resultado) del apunte con los valores ligados a los nodos variables.

En cuanto a la técnica de herencia de propiedades, deben desarrollarse los siguientes aspectos:

- Definición
- Tratamiento de excepciones: se hereda el valor de la propiedad del nodo más cercano al nodo que sirvió como punto de partida a la inferencia.

Ejercicio 3, Semana 2. (Valoración: 5 puntos)

A continuación se proporciona la especificación, a grandes rasgos, de un sistema informático idóneo para la utilización de técnicas de Inteligencia Artificial.

Los “hogares inteligentes” tienen tres finalidades básicas:

- *Ayudar a la población a vivir de forma más sana, feliz y segura (apoyo a la vida independiente de personas con minusvalías, control de acceso físico, prevención y monitorización de salud y del buen estado de la vivienda con diferentes sistemas de alarmas...).*
- *Realizar las tareas cotidianas automáticamente reduciendo el stress de la gestión doméstica y con el mayor ahorro energético posible (soporte de las funcionalidades básicas como calefacción, ventilación, aire acondicionado, limpieza, cocina...). La casa del futuro proporcionará el control por medio de paneles táctiles, voz, gestos de la mano, expresiones faciales... Permitirá identificar al residente y ajustar las funciones de acuerdo con sus preferencias. El control de estas funciones debe tener un elevado criterio de fiabilidad y tolerancia a fallos, de modo que los fallos no causen funcionamientos incontrolados del sistema. También puede distinguir entre varios residentes o incluso detectar diferentes estados de ánimo o cambios de humor. Sería posible planificar tareas del hogar y resultados a obtener. Podrían utilizarse bases de datos con preferencias gastronómicas alergias, sugerencias de menú...*
- *Integrar el hogar con el trabajo, el aprendizaje y el ocio (favorecer la comunicación interpersonal, el acceso a Internet y otros sistemas de información, acceso a juegos electrónicos, realización de actividades profesionales a distancia...). Hay una creciente demanda de aplicaciones para el ejercicio físico. Sería posible reconocer y monitorizar el estado de salud del residente y su forma física, recordarle sesiones previas, experiencias y resultados que le permitan optimizar la práctica.*

a) Describa brevemente las características del sistema (o de alguna o algunas de sus partes) y de los recursos disponibles para su desarrollo que justifican la utilización de técnicas de Inteligencia Artificial. (Puntuación máxima: 0.5).

b) Proponga paradigmas y/o técnicas específicas de la Inteligencia Artificial para abordar las distintas partes del sistema, justificando brevemente su propuesta. En particular, indique qué tipo de lógica/s sería más adecuada/s para la representación del conocimiento implicado, razonando su respuesta. (Puntuación máxima: 1.5).

c) Represente mediante lógica de predicados de primer orden las siguientes sentencias (Puntuación máxima: 1.5):

- 1) Si el aire está viciado se abren todas las ventanas que no están bloqueadas.
- 2) Si viene viento de un lado se cierra y se bloquea toda ventana abierta de ese lado.
- 3) Cuando no viene viento de un lado se desbloquean todas las ventanas bloqueadas de ese lado.
- 4) El usuario puede solicitar la apertura o cierre de cualquier ventana, aún si está bloqueada.

Puede suponerse que una ventana no cambia de estado si no se la abre/cierra o bloquea/desbloquea. Se sugiere utilizar, entre otros, predicados de estado (p.e. `bloqueada(v)`) y de acción (p.e. `bloquear(v)`).

d) Imagine que parte de la implementación se realiza mediante un Sistema Basado en Reglas. Inspirándose en la especificación proporcionada, ilustre con un ejemplo la utilidad del modo de inferencia de tipo mixto. (Puntuación máxima: 1).

e) Ilustre con un par ejemplos las limitaciones y problemática que comporta la aplicación, incluyendo las dimensiones ética y socio-política. (Puntuación máxima: 0.5).

SOLUCIÓN por Angeles Manjarrés Riesco

a)

Las aplicaciones para “hogares inteligentes” (domótica) requieren sensores para **percibir** su entorno y realizar tareas de monitorización: de parámetros que caracterizan el estado del hogar desde diversas perspectivas – eficiencia energética, seguridad, limpieza, intendencia, temperatura,... - y el estado de salud física y psíquica de sus habitantes – parámetros fisiológicos, estado emocional -. Requieren además capacidades de **razonamiento** para la predicción y optimización en función de los datos monitorizados (prevención de salud) y la toma de decisiones **adaptiva** (en base a **conocimiento dinámico, incierto, incompleto, heurístico, basado en experiencias**) para el diagnóstico, la asignación de terapias, o la planificación (de tareas del hogar, recetas...) adaptados a las características y preferencias de los habitantes del hogar, implicando aspectos de inteligencia ambiental y computación afectiva. Finalmente, requieren efectores para **actuar** físicamente en su entorno (mediante el disparo de alarmas, robots que realizan tareas del hogar...). Implica campos de aplicación característicos de la Inteligencia Artificial: interpretación de voz e imágenes; monitorización y diagnóstico; control; software de alta seguridad, fiabilidad y tolerancia; personalización automática del software; juegos; robótica; y herramientas de soporte al trabajo, el ocio o el aprendizaje en red.

En cuanto a los recursos disponibles para su desarrollo, la aplicación implica campos de conocimiento muy diversos. En algunos casos requiere conocimiento experto que no constituye un cuerpo científico de conocimiento exacto (elaboración de recetas y menús, fisioterapia). En otros casos, un tratamiento científico exacto implicaría procesamiento de gran complejidad que involucraría muchas variables difíciles de medir, de modo que resulta más adecuado sustituir tal conocimiento exacto por heurísticas (optimización energética). Los sistemas domóticos toman decisiones multicriterio integrando los factores de decisión en base a heurísticas de sentido común, muy dependientes de la idiosincrasia de cada hogar, por lo que tienen características idóneas para ser modelados mediante técnicas de Inteligencia Artificial con incorporación de aprendizaje automático.

b)

Paradigma híbrido. El conocimiento experto de las diferentes áreas de conocimiento se representaría adecuadamente mediante Sistemas Basados en Reglas (paradigma simbólico) con incorporación de técnicas bayesianas (teoría de juegos, algoritmos de búsqueda, redes semánticas) y lógicas NO clásicas, ya que las decisiones multicriterio implican la argumentación sobre cuestiones conjeturales y también sobre cuestiones valorativas (razonamiento ético): lógica no monotónica, lógica intuicionista, lógica multivaluada y borrosa, lógica modal espacial y temporal. En general podrían utilizarse marcos para la representación de las entidades del dominio. El paradigma conexionista situado (reactivo o deliberativo según los casos) es idóneo para la representación de las actuaciones adaptativas función de los datos percibidos a través de sensores (robótica, redes neuronales y algoritmos genéticos). Los problemas de optimización y control, y el reconocimiento de patrones (en imágenes, voz, etc) se modelan también adecuadamente en el paradigma conexionista.

Los aspectos de personalización del sistema en infinidad de dimensiones (afectivas, físicas, de personalidad, culturales, de preferencias...) sugiere el uso de técnicas de aprendizaje supervisado (conexionista o simbólico, con incorporación de nuevos hechos y reglas en los Sistemas Basados en Reglas) o autoorganizativo y minería de datos.

Considerando el sistema en conjunto, con sus diferentes partes interconectadas, sería sin duda útil una visión en términos de sistema multiagentes (inteligencia artificial distribuida).

c)

1 (0.375 ptos):

$\forall v \text{ aire_viciado} \wedge \neg \text{bloqueada}(v) \rightarrow \text{abrir}(v)$

2 (0.375 ptos):

$\forall v, l \text{ viento}(l) \wedge \text{situada}(v, l) \rightarrow (\text{abierta}(v) \rightarrow \text{cerrar}(v) \wedge \text{bloquear}(v))$

3 (0.375 ptos)):

$\forall v, l (\neg \text{viento}(l) \wedge \text{situada}(v, l) \rightarrow (\text{bloqueda}(v) \rightarrow \text{desbloquear}(v)))$

4 (0.375 ptos):

$\text{petición_abrir}(v) \rightarrow \text{abrir}(v)$

$\text{petición_cerrar}(v) \rightarrow \text{cerrar}(v)$

d)

P.e., para la elaboración de menús:

Sistema basado en reglas (0.5 ptos): En la base de hechos se encuentran registrados los ingredientes culinarios disponibles y la declaración de gustos personales y condición física del usuario. Dada una base de hechos, el sistema puede inferir (mediante encadenamiento hacia adelante) una serie de menús que es factible cocinar y que son compatibles con las condiciones de salud del usuario y sus preferencias gastronómicas. Por otro lado, el usuario podría conocer, utilizando el sistema, qué ingredientes necesitaría comprar para poder cocinar un determinado menú.

Encadenamiento mixto (0.5 puntos): Si el usuario siente un día apetencia de un menú y desear saber si tal menú es realizable sin necesidad de salir de compras, y adecuado para sus condiciones de salud, la estrategia de razonamiento mixto podría optimizar el tiempo de respuesta (positiva o negativa) del sistema.

e) (0.25 ptos por cada ejemplo)

Problemas de viabilidad técnica: fiabilidad, seguridad, velocidad de las redes actuales; alto coste de las aplicaciones si se desarrollan con la alta calidad requerida (tolerancia a fallos, desarrollo basado en técnicas formales...).

Cuestiones básicas de la ética informática implicadas:

- Responsabilidad profesional en la producción de bienes de interés social, que no comporten riesgos para la salud humana, orientados a la satisfacción de verdaderas necesidades humanas y con un impacto positivo en educación y cultura: dilema de la determinación de responsabilidades en las decisiones adoptadas por el sistema, que afectan la salud y el bienestar de las personas; impactos cuestionables: sociales, políticos, en la vida personal y laboral, y en materia de salud.
- Privacidad y confidencialidad de datos personales: datos de lo más diverso e íntimo, que pueden utilizarse con fines comerciales, políticos, etc.
- Cuestiones relacionadas con el desarrollo positivo de los medios de comunicación social: posibilidad de control de las redes de comunicación e información para el control de los ciudadanos; pérdida de libertades cívicas y valores democráticos.

Impacto social-político:

- Las computadoras como agentes morales. Los computadores tomarían decisiones multicriterio que tendrían en cuenta la salud física y psíquica de las personas frente a otras consideraciones diversas (económicas, políticas, de optimización de recursos, de eficiencia, etc) y conllevarían además la manipulación de sus emociones, por lo que podrían implicar el juicio ético.
- Tecnología inteligente y derechos humanos. Vulneración del derecho a la libertad (incluyendo la libertad de pensamiento, dada la potencialidad de uso con fines propagandísticos) y a la privacidad. Exclusión social de los sectores sin acceso a la tecnología (brecha digital).
- Impacto en estilos cognitivos y modos de vida. La domótica facilita la autonomía personal, hace más cómoda la vida diaria en detrimento de las relaciones humanas, el desarrollo de habilidades sociales, vivencias reales...Control excesivo de los ritmos y hábitos vitales. Pérdida de capacidad de autonomía.
- Impacto en la organización social y laboral. Eliminación de contactos reales interpersonales. Sustitución de los hombres por las máquinas en muchos empleos del hogar.
- Impacto medioambiental. Sobreabundancia de artefactos técnicos con componentes electrónicos de importante impacto medioambiental. Subsancable parcialmente con el uso de tecnologías verdes: medidas de control de eficiencia energética (computación "en nube" o "grid"), reciclado...
- Empoderamiento de las máquinas. Posibilidad de pérdida de control de las máquinas. Vigilancia, intervención y control por parte de las máquinas en todos los niveles de la vida.

Universidad Nacional de Educación a Distancia

Grado en Ingeniería Informática
y
Grado en Ingeniería en Tecnologías de la Información

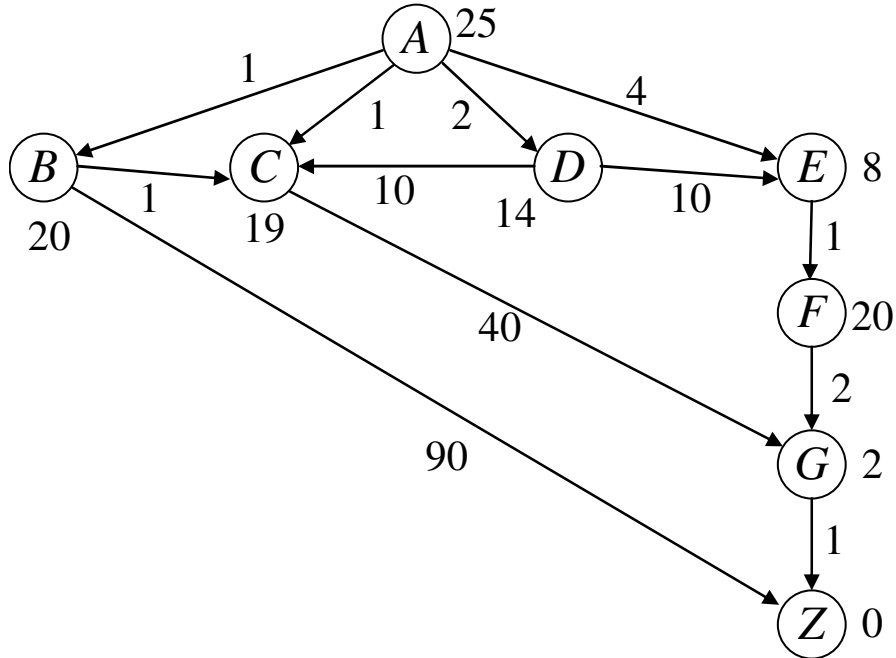
Asignatura: ***Fundamentos de Inteligencia Artificial*** (2º curso)

Soluciones examen **Septiembre 2012**

NOTA: Las redacción de estas respuestas es particularmente exhaustiva con el fin de cubrir en lo posible las diferentes alternativas aceptables; el alumno debe entender que no esperamos de los estudiantes respuestas tan completas. Por otra parte, en ocasiones omitimos argumentaciones detalladas que no consideramos necesario desarrollar, ya que se encuentran en el material de estudio, y que el alumno sí debería incluir en su examen.

Ejercicio 1. (Valoración: 3 puntos)

Considere el grafo de la figura, donde *A* es el nodo inicial y *Z* el único nodo meta. Cada arco lleva asociado su coste y en cada nodo aparece la estimación de la menor distancia desde ese nodo a la meta. Aplicar paso a paso el algoritmo A* al grafo dado.



SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán

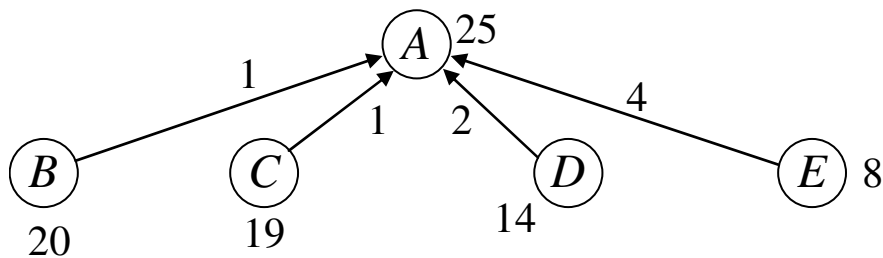
De cara a ilustrar la respuesta convenientemente, incluimos la información sobre TABLA_A gráficamente. Para ello es necesario trazar, para cada nodo generado en una expansión, un arco ascendente a su padre expandido; además, hay que anotar para cada nodo su mejor padre encontrado hasta el momento. De esta manera, siguiendo cada arco al mejor padre, se puede saber cuál es el mejor camino encontrado hasta el momento desde cada nodo al nodo inicial. Además, los arcos ascendentes que llegan a un nodo ya expandido lo enlazan a sus nodos hijos.

- **PASO 0.** El nodo inicial *A* es introducido en ABIERTA y en TABLA_A, con lo que tenemos la siguiente situación:



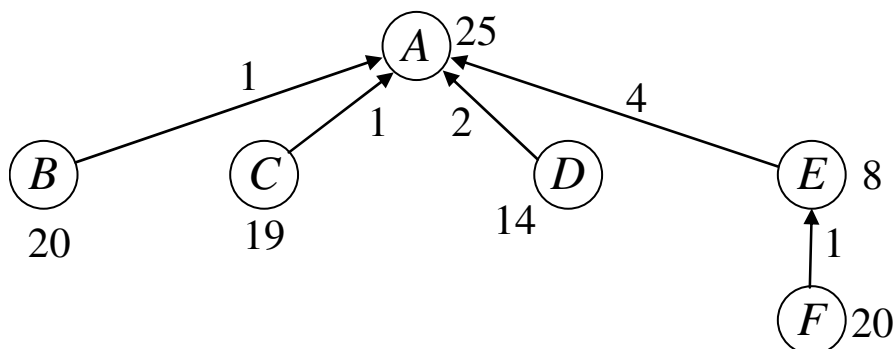
ABIERTA = {A(0+25)}

- **PASO 1.** Expandimos el nodo *A* de ABIERTA. Tras la expansión, la situación es la siguiente:



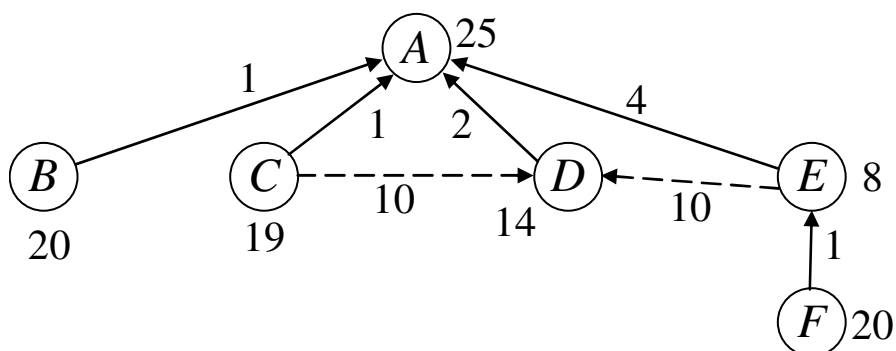
ABIERTA = {E(4+8), D(2+14), C(1+19), B(1+20)}

- **PASO 2.** Expandimos E por ser el nodo de ABIERTA con menor valor de la función de evaluación heurística, $f=g+h$ (al ser $g=4$ y $h=8$).



ABIERTA = $\{D(2+14), C(1+19), B(1+20), F(5+20)\}$

- **PASO 3.** Expandimos D .

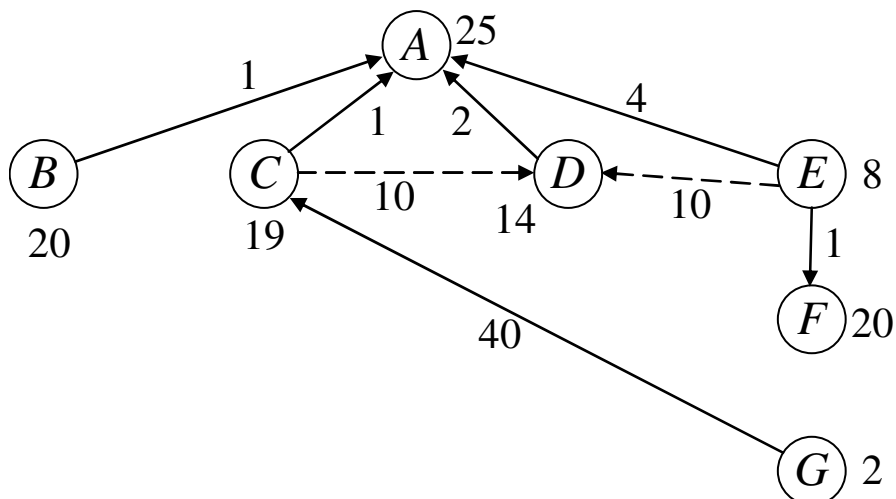


ABIERTA = $\{C(1+19), B(1+20), F(5+20)\}$

Observe que el mejor camino desde C al nodo inicial lo marca su padre A (coste 1) y no su padre D (coste $10+2=12$). Por ello, el arco ascendente de C a A se marca con trazo continuo y el arco ascendente de C a D se marca con trazo discontinuo. Un razonamiento similar se puede aplicar al nodo E , cuyo mejor camino al nodo inicial lo marca su padre A (coste 4) y no su padre D (coste $10+2=12$).

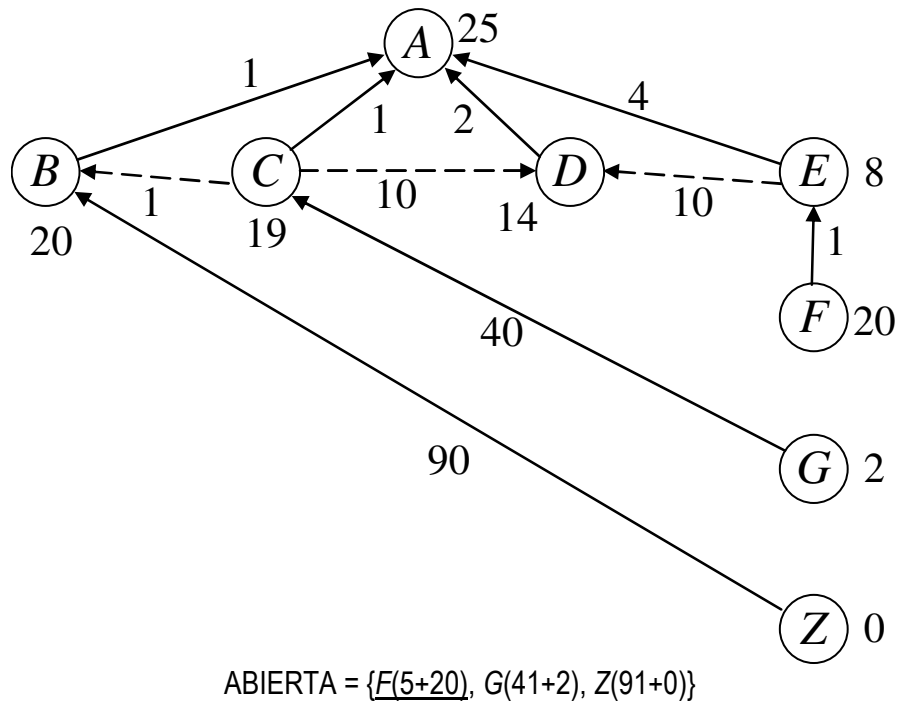
Es importante darse cuenta que el conjunto de arcos con trazo continuo formará siempre un árbol en el grafo parcial de búsqueda desarrollado hasta el momento.

- **PASO 4.** Expandimos C .

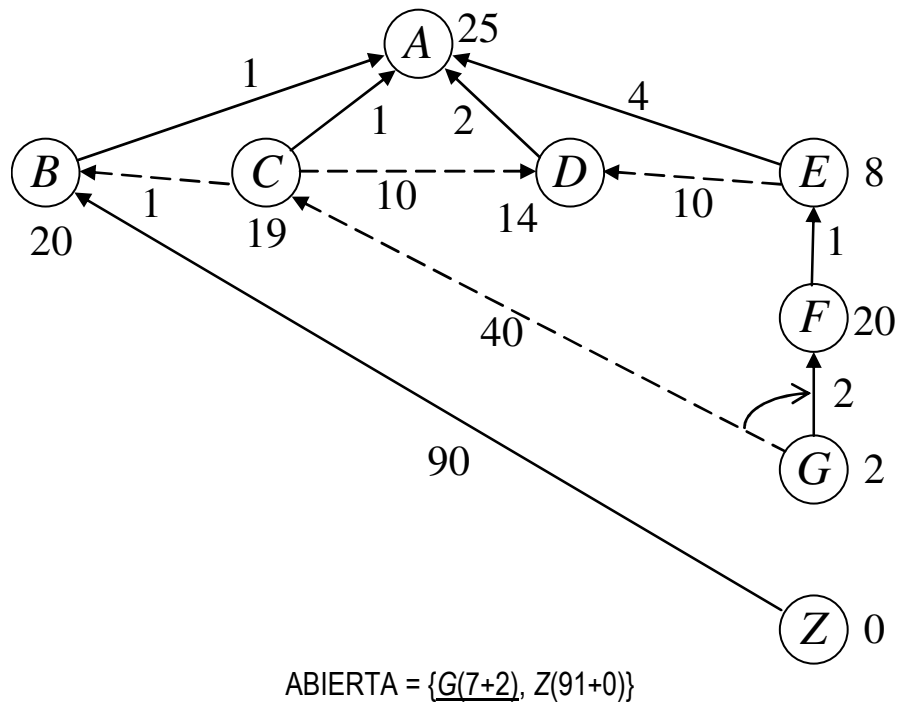


ABIERTA = $\{B(1+20), F(5+20), G(41+2)\}$

- PASO 5. Expandimos B.

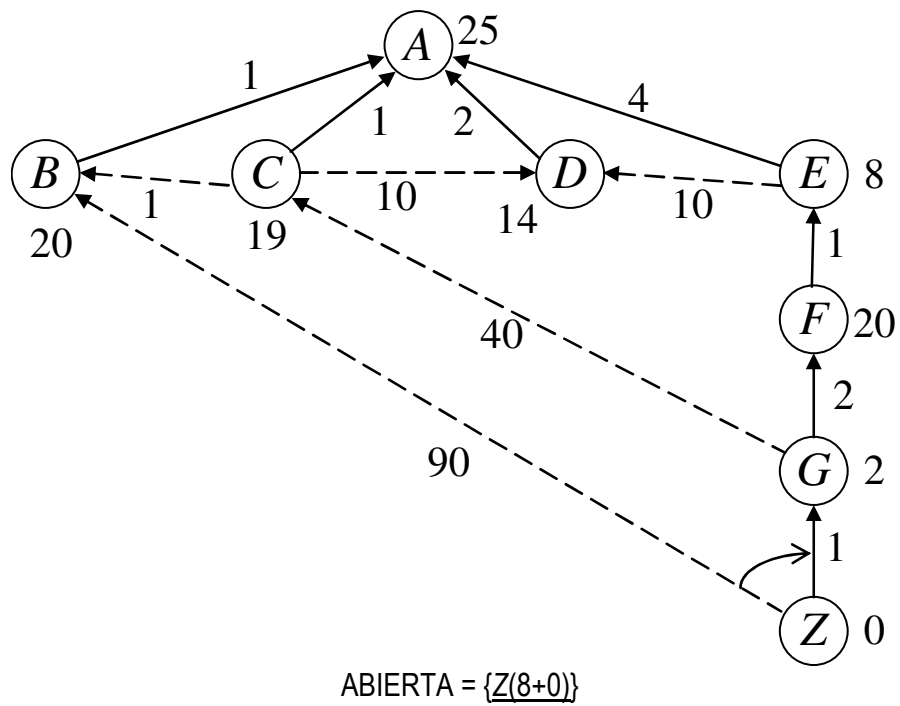


- PASO 6. Expandimos F.



Observe que ha habido una reorientación del mejor padre de G, que antes era C y ahora pasa a ser F. El nuevo coste de G al nodo inicial es $2+1+4=7$, que se puede calcular a partir de los costes de los mejores arcos ascendentes hallados hasta el momento: $G \rightarrow F$, $F \rightarrow E$ y $E \rightarrow A$.

- **PASO 7.** Expandimos G



- **PASO 8.** Expandimos Z y alcanzamos una meta, con lo que el algoritmo termina. El camino solución es: $Z \rightarrow G \rightarrow F \rightarrow E \rightarrow A$, cuyo coste es 8.

Ejercicio 2. (Valoración: 2 puntos)

Describa cómo se pueden representar acciones (expresadas al estilo de oraciones) mediante redes semánticas. Ponga un ejemplo que ilustre su descripción.

SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán

Consúltese la sección 4.2.3 “Representación de acciones” (página 136) del texto base de la asignatura. Un posible ejemplo aparece en la figura 4.4 de la página 138.

Ejercicio 3. (Valoración: 5 puntos)

A continuación se proporciona la especificación, a grandes rasgos, de un sistema informático idóneo para la utilización de técnicas de Inteligencia Artificial:

La función del sistema es asesorar la toma de decisiones por parte instituciones del sector de la economía de ecosistemas (administraciones públicas, empresas de servicios medioambientales y empresas del sector seguros), incorporando el valor de los recursos naturales.

Se trata de identificar las relaciones entre los distintos recursos naturales y su impacto económico. Los activos naturales pasan de tener un valor intangible a tener un precio, convirtiéndose en un activo. El coste ambiental pasa así a ser asumido por actores gubernamentales y de mercado ("quien contamina paga"). Evaluar este coste implica valorar en términos monetarios la ganancia o pérdida de bienestar que una comunidad experimenta a causa de una mejora o daño en su ecosistema. El sistema permitirá concienciar del valor estratégico de los recursos naturales, alertando a los ciudadanos sobre la importancia de una gestión sostenible de los mismos.

Para la identificación de los recursos naturales se considerarán diversas fuentes de conocimiento: fotografías e imágenes satélite, resultados de extracciones forestales, censos de fauna, estudios y análisis previos, valoración económica y establecimiento de reglas de equivalencia y relaciones entre los distintos recursos naturales. Se requerirá también la medición de las expectativas de beneficios y costes derivados de diversas acciones: diversos usos de la zona, programas de mejora ambiental, generación de daño ambiental.

El sistema incluiría un mapa interactivo de la región; un módulo de planificación, para la definición y seguimiento de objetivos; un módulo de gestión, que permitiría parametrizar la aplicación; un cuadro de mandos con indicadores medioambientales (contaminación del aire, emisiones CO₂, microclima, nivel de aguas, ruidos, erosión, biodiversidad) y urbanos (industrialización, parques, zonas de ocio/recreo, zonas residenciales, proyectos de infraestructuras); y una red social, que permitiría el trabajo colaborativo, la publicación de información, y que cualquier ciudadano pudiera utilizar la herramienta.

a) Describa brevemente las características del sistema (o de alguna o algunas de sus partes) y de los recursos disponibles para su desarrollo que justifican la utilización de técnicas de Inteligencia Artificial. (Puntuación máxima: 0.5).

b) Proponga paradigmas y/o técnicas específicas de la Inteligencia Artificial para abordar las distintas partes del sistema, justificando brevemente su propuesta. En particular, indique qué tipo de lógica/s sería más adecuada/s para la representación del conocimiento implicado, razonando su respuesta. Describa brevemente los paradigmas y técnicas propuestos. (Puntuación máxima: 2).

c) Represente mediante lógica de predicados de primer orden las siguientes sentencias (Puntuación máxima: 1.5):

1) Si la deforestación de *cualquier zona de la región Putumayo* alcanza un nivel crítico, en un plazo de un año bajarán, *de manera permanente*, los niveles de agua en los acuíferos *de la zona a menos de la mitad de su valor de referencia*.

2) Si los niveles de agua en los acuíferos *de una zona de la región Putumayo caen debajo de la mitad del valor de referencia de la zona* y *en ella* existen explotaciones agrícolas de regadío, las comunidades de agricultores propietarias de dichas explotaciones verán reducida *en un 25%*, a partir de ese momento, la productividad de sus tierras.

Se sugiere utilizar: una variable "t" para representar el tiempo y el predicado "<" que define un orden total sobre el tiempo.

d) Imagine que la implementación o una parte de ella se realiza mediante un Sistema Basado en Reglas. Indique qué operaciones acarrearían un mayor coste computacional y proponga soluciones para minimizar dicho coste. (Puntuación máxima: 1).

SOLUCIÓN por Angeles Manjarrés Riesco

a)

En términos generales, la aplicación se beneficiaría de las técnicas de la Inteligencia Artificial porque requiere el razonamiento con un conocimiento incierto, dinámico e incompleto procedente de distintas fuentes, para asesorar decisiones inteligentes multicriterio.

Requerirá la aplicación de heurísticas de expertos en ciencias medioambientales. Es éste un ámbito científico joven y multidisciplinar de base más empírica que teórica, que abarca principalmente el estudio y gestión de problemas medioambientales y de modelos predictivos de evolución ambiental y modelos tentativos de desarrollo sostenible. El experto en ciencias medioambientales toma decisiones integrando el conocimiento de múltiples disciplinas dispares: ecología, economía, política, derecho, distintas ingenierías, química, geología, teoría de sistemas, sociología... Por otro lado, se hayan implicados campos de aplicación característicos de la Inteligencia Artificial, como visión artificial, sistemas de soporte a la decisión y soporte al trabajo colaborativo en red; y tareas inteligentes como simulación, identificación, planificación, optimización, o predicción en condiciones de incertidumbre. La disponibilidad de historiales de datos, estudios y análisis sugiere la posibilidad de aplicación de técnicas de aprendizaje computacional.

b)

Podría resultar adecuado un paradigma híbrido, dado que las distintas funcionalidades del sistema se adecuan a distintos paradigmas y técnicas:

1) Identificación de los recursos a partir de:

- fotografías e imágenes satélite;
- resultados de extracciones forestales, censos de fauna, estudios y análisis previos, valoración económica;
- establecimiento de reglas de equivalencia y relaciones entre los distintos recursos.

El procesamiento de imágenes requiere la aplicación de técnicas de visión artificial. Pudiera ser de utilidad aplicar técnicas de aprendizaje computacional conexionista (redes neuronales y/o algoritmos genéticos) para entrenar en el reconocimiento de los recursos buscados (reconocimiento de patrones) en base a los estudios y análisis previos disponibles. Por otro lado, la disponibilidad de distintas fuentes de datos para identificar un mismo recurso (p.e., imágenes zonas desforestadas+ resultados de extracciones forestales) sugiere el uso de un sistema basado en reglas (paradigma simbólico). Las relaciones y reglas de equivalencia entre recursos también podrían expresarse en términos de marcos o de un sistema basado en reglas, incorporando lógica borrosa y multivaluada para representar la posible imprecisión de los datos disponibles.

2) Valoración de su impacto económico:

- estimación de la ganancia y pérdida de bienestar que una comunidad experimenta a causa de una mejora o daño del recurso;
- expresión de esta ganancia o pérdida en términos monetarios.

En tareas de predicción y simulación resulta indicada la aplicación de modelos causales y teoría de la decisión probabilística (redes bayesianas, teoría de juegos, y por tanto técnicas de búsqueda), incorporados en un sistema basado en reglas. En cuanto a formalismos lógicos aplicables, estarían indicadas la lógica borrosa y multivaluada, y la lógica modal temporal y espacial, ya que se hayan implicados modelos predictivos económicos y de evolución ambiental donde los parámetros geográficos son relevantes. La disponibilidad de análisis y estudios previos posibilita la aplicación de técnicas de aprendizaje computacional para inferir automáticamente nuevas reglas que se añadirían a las proporcionadas por los expertos, y para ajustar los parámetros de los modelos bayesianos. Las técnicas conexionistas con aprendizaje supervisado (redes neuronales, quizá en combinación con algoritmos genéticos) también resultan muy adecuadas para implementar tareas predictivas cuando se dispone de un historial de datos y no se dispone de un modelo predictivo explícito.

3) Toma de decisiones (por parte de administraciones públicas, empresas de servicios medioambientales o empresas del sector seguros), en base a las expectativas de beneficios y costes derivados de los posibles cursos de acción (diversos usos de la zona, programas de mejora ambiental, generación de daño ambiental), dados unos objetivos y tomando en cuenta las valoraciones previas de los recursos implicados.

Esta funcionalidad requiere análisis coste-beneficio y resolución de tareas predictivas, de optimización y de simulación, por lo que resultan aplicables los paradigmas y técnicas indicados en el apartado anterior. Los beneficios y costes de las diferentes actuaciones dependerán del impacto de estas actuaciones en los diferentes recursos, y de la valoración de estos recursos. El sistema podría asimismo dar soporte a la planificación de los alternativos cursos de acción, para lo cual resultarían adecuadas técnicas de búsqueda y paradigmas de agentes inteligentes. Podrían ser asimismo de aplicabilidad otras lógicas no clásicas, además de las modales, multivaluada y borrosa, ya que las decisiones implicarían con frecuencia la argumentación sobre cuestiones conjeturales y cuestiones valorativas (razonamiento ético); en particular la lógica no monotónica y la lógica intuicionista.

El soporte a la red social para el trabajo colaborativo podría beneficiarse de técnicas de personalización del software basadas en minería de datos.

En general, podrían utilizarse marcos para la representación de las entidades del dominio.

c)

1 (0.75 pts):

$$\forall t, z \text{ (dentro}(z, \text{putumayo}) \wedge \text{porcentaje_desforestado}(z, t) \geq \text{nivel_crítico} \rightarrow \forall t' \geq t+1, \text{nivel_acuíferos}(z, t') < \text{nivel_ref}(z)/2)$$

2 (0.75 pts):

$$\forall t, z, x \text{ (dentro}(z, \text{putumayo}) \wedge \text{nivel_acuíferos}(z, t) < \text{nivel_ref}(z)/2 \wedge \text{dentro}(x, z) \wedge \text{explotación_de_regadío}(x) \rightarrow \forall t' \geq t, \text{productividad}(x, t') \leq 0,75 * \text{productividad}(x, t-1))$$

d)

Descripción del sistema (0.5 pts): Se considera un sistema basado en reglas que cubre las funcionalidades 1) y 2) del apartado b). La base de hechos contendría la descripción del conjunto de recursos disponibles en un momento dado. La base de conocimiento podría modularizarse en dos subconjuntos de reglas:

- Un conjunto de reglas que permite actualizar los recursos disponibles.
- Un conjunto de reglas que describe cómo la ganancia o pérdida de un recurso afecta a la economía de una comunidad de unas características dadas (p.e., la desforestación afecta a las comunidades agrícolas de regadío ya que disminuye la productividad de sus tierras: el sistema valora en este caso la pérdida de recursos forestales en correlación con la pérdida de beneficios económicos derivada de la desforestación).

Ejemplos de uso de encadenamiento hacia adelante:

- proporcionando datos acerca de un recurso (fotografías, estudios...) el sistema identifica el recurso disponible;
- proporcionando los datos de una comunidad y una cantidad de recurso perdida o ganada, el sistema valora la pérdida o ganancia económica ocasionada.

Ejemplo de uso de encadenamiento hacia atrás:

- proporcionando datos sobre las pérdidas económicas experimentadas en una comunidad en un periodo de tiempo, el sistema proporciona información sobre la alteración de recursos que ha podido tener influencia en dichas pérdidas.

Ejemplo de uso de encadenamiento mixto:

- podría averiguarse si existe riesgo de que las pérdidas económicas de una comunidad excedan un nivel de alarma si se explotan unos ciertos recursos.

Operaciones que acarrearían un mayor coste computacional y soluciones que minimizarían dicho coste (0.5 ptos):

Dada la complejidad de los modelos medioambientales y las diversas fuentes de datos disponibles, cabe esperar que se trate de un sistema con muchas reglas y hechos, donde las reglas cuenten con muchas condiciones en los antecedentes y en ocasiones conlleven la ejecución de procedimientos (tanto en el antecedente como en el consecuente) que manejen cantidades ingentes de datos y con alto coste computacional (como es el caso, por ejemplo, de muchos algoritmos de visión artificial). El encadenamiento hacia atrás sería pues muy costoso: un cierto impacto económico (positivo o negativo) en una comunidad puede a priori haber sido causado por multitud de situaciones de ganancia/pérdida de diferentes recursos. Por otro lado, cabe esperar también que en muchas reglas el consecuente forme parte del antecedente de otras muchas, dadas las complejas interrelaciones que ligan las variables de un ecosistema, por lo que el encadenamiento hacia adelante podría dar lugar a una explosión combinatoria en la búsqueda de los efectos ocasionados por la alteración de un recurso. La equiparación, dada la necesidad de utilizar variables y cuantificadores, resultaría también costosa.

Si el sistema no incluye heurísticas que aceleren la búsqueda de soluciones (búsqueda desinformada), sería razonable utilizar el sistema para consultas restringidas, que se resolviesen mediante encadenamiento mixto (habiéndose diseñado cuidadosamente la base de reglas para este tipo de encadenamiento distinguiendo entre las reglas aplicables en uno u otro sentido). Una buena modularización e indexado de reglas, así como la ordenación de las reglas y de sus condiciones podría también mejorar la eficiencia del sistema. Finalmente, resultaría indicado valorar la utilidad de distintas estrategias de selección de reglas para la solución de conflictos, y de técnicas de aceleración del proceso de equiparación (p.e. algoritmo RETE), teniendo en cuenta que pueden acarrear costes computacionales que es preciso controlar, habiéndose de buscar siempre un equilibrio entre el coste de control y el coste de aplicación de las reglas.

Universidad Nacional de Educación a Distancia

Grado en Ingeniería Informática
y
Grado en Ingeniería en Tecnologías de la Información

Asignatura: ***Fundamentos de Inteligencia Artificial*** (2º curso)

Soluciones exámenes **Junio 2013**

(**NOTA:** Las redacción de estas respuestas es particularmente exhaustiva con el fin de cubrir en lo posible las diferentes alternativas aceptables; el alumno debe entender que no esperamos de los estudiantes respuestas tan completas. Por otra parte, en ocasiones omitimos argumentaciones detalladas que no consideramos necesario desarrollar, ya que se encuentran en el material de estudio, y que el alumno sí debería incluir en su examen.)

Ejercicio 1, Semana 1. (Valoración: 2.5 puntos)

Describe detalladamente las características del algoritmo IDA*.

SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán

El algoritmo A* requiere memoria que crece de forma exponencial con el tamaño del problema, incluso disponiendo de buenos heurísticos. Una de las variantes del algoritmo A* que aborda este problema es el algoritmo IDA*, propuesto a mediados de los 80 y cuyas siglas en inglés significan *Iterative Deepening A**. En líneas generales, IDA* amplía la búsqueda iterativa en profundidad asociando a cada nodo n su valor de la función heurística propia del algoritmo A*, $f(n) = g(n) + h(n)$.

IDA* realiza búsquedas primero en profundidad iterativamente desde el nodo raíz, aumentando en cada iteración la profundidad límite de dichas búsquedas. La primera búsqueda en profundidad se realiza a través de todos aquellos nodos n tal que $f(n) < f(\text{nodo raíz})$ (Si suponemos que f es admisible entonces $f(\text{nodo raíz})$ es menor que el coste de la solución óptima.) Cualquier nodo que no cumpla dicha condición es tratado como un callejón sin salida al intentar ser expandido, es decir, es descartado en el proceso de búsqueda en profundidad. El menor valor de f de los nodos descartados en la búsqueda en profundidad de la iteración actual será el límite de la búsqueda en profundidad de la siguiente iteración.

Por lo general, los hijos de cada nodo expandido se introducen ordenados según su valor de f en ABIERTA, que actúa como una **pila**. De este modo, se consideran antes los hijos más prometedores de cada nodo expandido, lo cual generalmente reduce el número de nodos expandidos en una iteración de búsqueda en profundidad en caso de que en la misma se llegue a la meta.

Si h es admisible, IDA* también lo será. Por otra parte, al realizar IDA* una iteración de búsquedas en profundidad, su consumo de memoria es proporcional al producto de la profundidad de la solución y del factor de ramificación, lo cual supone un importante ahorro de memoria. Sin embargo, el tiempo de búsqueda en cada iteración de búsqueda en profundidad es exponencial con la profundidad límite.

Ejercicio 2, Semana 1. (Valoración: 2.5 puntos)

Explique detalladamente en qué consiste el proceso de inferencia mediante herencia de propiedades en marcos. En su explicación tenga en cuenta los diferentes tipos de herencia de propiedades existentes en el formalismo de marcos.

SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán

Uno de los principales métodos de inferencia en un sistema de marcos es la herencia de propiedades, que permite compartir propiedades y valores de propiedades usando las relaciones “Subclase-de” e “Instancia”.

La herencia es *simple* cuando el sistema de marcos tiene forma de árbol, considerando exclusivamente las relaciones “Subclase-de” e “Instancia”. Es decir, sólo existe un camino que une cada marco instancia con el nodo raíz de la jerarquía. En este caso, el valor de una propiedad de una instancia se busca en primer lugar en dicha instancia y, en caso de fracaso, se toma de la clase donde figure dicho valor, que esté contenida en el camino entre la instancia y el nodo raíz y sea más cercana a la instancia. De este modo, siempre se accede a la información más específica disponible, que muchas veces se corresponde con excepciones a la regla general.

La herencia es *múltiple* cuando el sistema de marcos tiene forma de grafo, considerando exclusivamente las relaciones “Subclase-de” e “Instancia”. Es decir, existen varios caminos que unen ciertos marcos instancia con el nodo raíz del sistema de marcos. Si un marco es subclase o instancia de más de una clase, se dice que la herencia es múltiple. En este caso, dado que una instancia puede tener más de una clase antecesora que contenga la propiedad buscada, el valor de la propiedad que hereda la instancia depende del método de búsqueda utilizado para recorrer el grafo: en profundidad, en anchura o utilizando el concepto de “distancia inferencial”.

La técnica de herencia múltiple mediante búsqueda en profundidad consiste en explorar en profundidad todos los posibles caminos que parten del marco instancia y acaban en el marco raíz. Este recorrido se suele hacer en un determinado sentido (de izquierda a derecha o viceversa) e intentado no repetir búsquedas a partir de marcos ya visitados anteriormente. Como este método suele tener el inconveniente de permitir la herencia de valores de clases generales en vez de clases específicas, se suele también imponer la restricción de que sólo se puede buscar la propiedad en una clase si previamente se ha buscado en todas sus subclases. Esto último se puede implementar a través de un procedimiento de ordenación topológica.

La técnica de herencia múltiple mediante búsqueda en anchura consiste en recorrer el grafo por niveles que estén a igual distancia del marco instancia. El problema de este método es cómo resolver las ambigüedades que surgen cuando existen al menos dos clases a un mismo nivel desde las que heredar la propiedad. Es importante en este método que el ingeniero de conocimiento se asegure de que en todo el grafo el nivel de profundidad de las clases se corresponda con su grado de especialización; en caso contrario, se podrían heredar propiedades más generales situadas en el mismo nivel que propiedades idénticas más específicas, lo cual no es deseable.

La técnica de herencia múltiple mediante distancia inferencial consiste en aplicar el concepto de *distancia inferencial de Touretzky* para determinar qué propiedades se heredan. Este método detecta situaciones ambiguas, pero no permite resolverlas. El concepto de distancia inferencial se basa en el siguiente razonamiento: “la condición necesaria y suficiente para que la clase1 esté más cercana a la clase2 que a la clase3 es que exista un camino desde clase1 hacia la clase3 a través de la clase2”. El orden introducido por el concepto de distancia inferencial es un orden parcial en el sistema de marcos y, por tanto, se pueden heredar valores contradictorios definidos en ramas que no están conectadas.

Ejercicio 3, Semana 1. (Valoración: 5 puntos)

A continuación se proporciona la descripción, a grandes rasgos, de un campo de aplicación de la Inteligencia Artificial:

Los sistemas recomendadores captan opiniones de usuarios acerca de productos, películas, música, libros, noticias, imágenes, páginas web, etc. (en general, items), clasifican tales opiniones, y las usan luego para sugerir nuevos items, o para predecir el "ranking" o ponderación que un usuario particular daría a un ítem que aún el sistema no ha considerado, en base a las preferencias previas del usuario y/o las opiniones de otros usuarios que tienen preferencias similares. Entre las técnicas de recomendación se encuentran las siguientes:

- 1) Colaborativas: se acumulan recomendaciones de usuarios sobre los items, se identifican similitudes entre usuarios y se generan nuevas recomendaciones en función de ello.
- 2) Demográficas: se clasifica a los usuarios en grupos y se hace recomendaciones a cada usuario en función del grupo al que pertenece.
- 3) Basadas en el contenido: se aprende el perfil del usuario en base a las características de los items que él mismo ha jerarquizado, y se le ofrecen recomendaciones de acuerdo con su perfil. Así como en el caso de las técnicas colaborativas, se crea un modelo de usuario a largo plazo, que se va actualizando a medida que llegan evidencias.

En el caso de los sistemas recomendadores educativos, los perfiles de usuario almacenan y procesan información sobre su conocimiento previo, sus preferencias de aprendizaje, sus necesidades interactivas (incluyendo posibles discapacidades), y otros factores relevantes en el proceso educativo, como son las respuestas emocionales. Con el fin de dictaminar el estado emocional de los alumnos, estos sistemas podrían incluir procesadores de datos con significado emocional tales como datos fisiológicos (obtenidos mediante sensores que recogen el pulso cardíaco, la sudoración de la piel, etc.), datos de interacción física con el teclado, respuestas a cuestionarios psicológicos etc.

Continúa al dorso

Preguntas:

a) Describa brevemente las características de los sistemas descritos (o de alguna o algunas de sus partes) y de los recursos disponibles para su desarrollo que justifican la utilización de técnicas de Inteligencia Artificial. (Puntuación máxima: 0.5).

b) Proponga paradigmas (simbólico, conexionista, situado o mixto) y/o técnicas específicas de la Inteligencia Artificial para abordar el desarrollo de las distintas partes de un sistema recomendador educativo, justificando brevemente su propuesta. (Puntuación máxima: 1.5).

c) Represente mediante lógica de predicados o de primer orden la siguiente sentencia. Se sugiere utilizar: una variable “t” para representar el tiempo y el predicado “>” que define un orden total sobre el tiempo. (Puntuación máxima: 1.5).

“Si queda menos de un mes para la fecha del examen, el alumno está estudiando un material didáctico poco relevante para el examen y, además, experimenta ansiedad o depresión, entonces el sistema:

- *le recomienda materiales didácticos muy relevantes para el examen o bien le sugiere modificar su programación personal del estudio teniendo en cuenta el tiempo disponible,*
- *y lo anima con el mensaje: “tú sí que vales”.*

El tono en que el sistema se dirige al alumno es empático y reforzante.”

d) Imagine un sistema recomendador que utiliza la lógica borrosa para la descripción del perfil de usuario. Formalice, en base a la teoría de conjuntos borrosos, los siguientes conceptos: alumno joven, alumno adolescente y alumno de mediana edad (Puntuación máxima: 0.5).

e) Imagine que la implementación de un sistema recomendador educativo o una parte de ella se realiza mediante un Sistema Basado en Reglas. Describa brevemente el sistema en cuestión. Explique qué tipo o tipos de encadenamiento de reglas podrían resultar de utilidad para el funcionamiento del sistema, ilustrando su argumentación con ejemplos. Explique brevemente, a nivel teórico, la diferencia entre los distintos tipos de encadenamiento. (Puntuación máxima: 1)

SOLUCIÓN por Angeles Manjarrés Riesco

a) Los Sistemas Recomendadores son típicamente sistemas inteligentes, ya que deben ser capaces de tomar **decisiones inteligentes adaptativas multicriterio** (sobre las recomendaciones a realizar, adaptadas a las características cambiantes de los usuarios), **razonar** y realizar **predicciones** (sobre sus futuras preferencias, de acuerdo a un historial de datos) en base a un **conocimiento dinámico e incompleto** (los datos que recogen progresivamente de los usuarios) obtenido de **distintas fuentes** a veces mediante dispositivos **perceptores del entorno** del sistema (preferencias, opiniones y, en el caso de los sistemas educativos, datos fisiológicos recogidos por sensores e informaciones diversas sobre los alumnos – conocimientos previos, condiciones de accesibilidad, interacciones con el teclado...-), y de interpretación **incierta** (es el caso, p.e., de las opiniones y las emociones).

Existe un amplio acuerdo entre los pedagogos en que las emociones influyen en el aprendizaje. Sin embargo, la influencia de las emociones en los procesos cognitivos, las actitudes y los comportamientos, constituye uno de los campos más debatidos de la psicología. Actualmente la integración de aspectos afectivos en la enseñanza es objeto de estudio que atrae particular atención, junto a la también controvertida cuestión de la educación emocional. Los Sistemas Recomendadores Educativos Afectivos, que son aquellos que toman en consideración los aspectos afectivos del aprendizaje, deben integrar entre sus funcionalidades la detección de estados afectivos en los aprendices, y la capacidad de intervenir pedagógicamente de forma adaptada a tales estados, así como a otras características individuales de los estudiantes y del contexto de aprendizaje, en coherencia con una estrategia pedagógica. Estos sistemas han de registrar dinámicamente las interacciones del estudiante con la plataforma de enseñanza focalizando en los datos relevantes para el aprendizaje (que revelan

inapropiadas estrategias de resolución de tareas, errores de concepto o procedimiento...) y en aquellos que pueden verse como expresiones de emociones (parámetros fisiológicos que se ven afectados por el estado emocional, interacciones con el teclado, movimiento de ojos recorriendo la pantalla, expresiones faciales y vocales...). Se ha mostrado que la facultad de reconocer estados emocionales mejora significativamente cuando se integra información procedente de diferentes fuentes con información de contexto. Por otro lado, las características de personalidad condicionan el estilo emocional y el modo en que las emociones influyen en la motivación y en la toma de decisiones.

La “enseñanza afectiva” es aún una disciplina abierta basada en teorías pedagógicas generales, como el constructivismo, que no proporciona claras pautas educativas de carácter práctico. No se conoce con certeza cuál es el mejor modo de responder a un determinado estado emocional individual, qué estados requieren intervención pedagógica... Los docentes actúan en este sentido de acuerdo a su propia experiencia, sin ser siquiera conscientes de la estrategia de soporte emocional que aplican. El conocimiento de las prácticas de soporte afectivo más comunes de la comunidad educativa (**heurísticas**) aún no ha sido sistemáticamente observado y registrado con el fin de contribuir a una teoría de la intervención pedagógica afectiva.

Los sistemas recomendadores afectivos involucran pues típicos campos de aplicación de la Inteligencia Artificial: tareas de **clasificación en base a un historial previo de datos** (en el caso de los recomendadores colaborativos y demográficos) **interpretación de datos de voz e imágenes**, así como otros datos medidos por **sensores** (para la monitorización de variables fisiológicas – inteligencia ambiental -); modelado de **fenómenos psicológicos complejos genuinamente humanos** (en el caso de los recomendadores basados en contenido, que modelan características de usuario tales como: personalidad, patrones de respuesta emocional – computación afectiva -, actitudes, creencias, motivaciones, opiniones...); e **interpretación del lenguaje natural** (en particular, para el “análisis de sentimientos”, campo de actualidad con aplicación, p.e., en el sondeo automático de opinión en redes sociales). Desde una **perspectiva de análisis** de la Inteligencia Artificial, los recomendadores educativos afectivos podrían utilizarse para descubrir correlaciones entre los estados afectivos de los estudiantes y su proceso de aprendizaje, así como indagar en la efectividad de las intervenciones pedagógicas en función de los estados emocionales implicados.

En cuanto al conocimiento disponible para el desarrollo de tales sistemas también sugiere la aplicación de técnicas de la Inteligencia Artificial: **conocimiento heurístico** sobre estrategias de intervención pedagógica, **bancos de imágenes** para el **aprendizaje** del diagnóstico emocional, **registros de datos** diversos de los usuarios...

b) Dada la diversidad de los componentes de estos sistemas resulta adecuado un paradigma híbrido (incluyendo simbólico, conexionista y situado). El conocimiento sobre las recomendaciones apropiadas (que es traducción del conocimiento experto pedagógico en el caso de los sistemas recomendadores educativos) se capturaría adecuadamente mediante Sistemas Basados en Reglas, que podrían integrar algoritmos de decisión multicriterio, técnicas bayesianas y lógica multivaluada o borrosa (dada la imprecisión de la información disponible): cada recomendación tiene unas condiciones de aplicabilidad que requieren la consulta de diferentes fuentes de datos, refiriéndose al contexto de la recomendación (p.e., en el caso de los recomendadores educativos este contexto consiste en la actividad de aprendizaje que se está realizando, el curso en que se inscribe y la fase en que éste se encuentra, los dispositivos utilizados...) y a circunstancias y características del usuario (en el caso del aprendiz: preferencias, estado afectivo, personalidad, nivel de conocimientos...).

El general, para el aprendizaje de un perfil de usuario que haga posible la personalización de estos sistemas resultan adecuadas técnicas de minería de datos, o bien de aprendizaje autoorganizativo o supervisado de redes neuronales para la realización de tareas de clasificación.

El reconocimiento de patrones de voz e imágenes (p.e., la identificación de emociones en imágenes, o en voz en función de la tonalidad) podría resolverse mediante un entrenamiento previo del sistema con

items etiquetados, lo que sugiere asimismo la aplicación de algoritmos de aprendizaje supervisado de redes neuronales y/o algoritmos genéticos.

En general podrían utilizarse marcos y guiones para representar las entidades del dominio (p.e., el perfil del usuario), y lógica de predicados y modal temporal para representar la evolución del perfil de usuario (p.e., el progreso del estudiante), la predicción de sus preferencias...

Las técnicas de aprendizaje conexionistas podrían aplicarse asimismo al análisis de correlaciones entre los estados afectivos de los estudiantes y su interacción con la plataforma de aprendizaje y otros datos medidos por sensores, así como entre las intervenciones pedagógicas y los estados afectivos subsecuentes.

Considerando que los sistemas recomendadores toman decisiones en función de múltiples criterios, podría ser útil una visión en términos de sistema multiagente (inteligencia artificial distribuida) donde cada agente se especializaría en considerar un criterio de decisión y aportaría una dimensión a la recomendación (en el caso de un sistema educativo afectivo: agente recomendador especializado en dar un carácter afectivo a la recomendación, agente recomendador especializado en buscar materiales acordes al estilo de aprendizaje del alumno...).

c)

```

∀ alumno, t
(t - t_examen) < 1) ∧ estudia(alumno, material, t) ∧ relevancia(material, examen, poca)
∧ (estado_emocional(alumno, ansiedad, t) ∨ estado_emocional(alumno, depresión, t))
→ (recomienda(alumno, material', tono_empático_reforzante, t)
    ∧ relevancia(material', examen, mucha)
    ∨ sugiere(alumno, modificar, programación, t - t_examen, tono_empático_reforzante, t))
    ∧ envia_mensaje(alumno, "tú si que vales", tono_empático_reforzante, t)

```

d) La lógica borrosa es una extensión de la lógica clásica donde las proposiciones tienen un grado de verdad que se asigna mediante una función de pertenencia que toma valores en el intervalo real $[0,1]$; Realmente, los límites de edad que definen un alumno joven, un alumno adolescente y un alumno de mediana edad son imprecisos, de modo que podríamos definir, p.e., los correspondientes conjuntos borrosos del siguiente modo:

- Pertenencia de un alumno al grupo de alumnos jóvenes:

$$\begin{aligned} \mu_j(\text{edad}) &= 1 \text{ si } 18 < \text{edad} < 30 \\ \mu_j(\text{edad}) &= 0 \text{ si } 35 < \text{edad} \text{ o bien } 15 > \text{edad} \\ \mu_j(\text{edad}) &= \text{edad}/3 - 5 \text{ si } 15 \leq \text{edad} \leq 18 \\ \mu_j(\text{edad}) &= 7 - \text{edad}/5 \text{ si } 30 \leq \text{edad} \leq 35 \end{aligned}$$

- Pertenencia de un alumno al grupo de alumnos adolescentes:

$$\begin{aligned} \mu_a(\text{edad}) &= 1 \text{ si } 13 < \text{edad} < 16 \\ \mu_a(\text{edad}) &= 0 \text{ si } 18 < \text{edad} \text{ o bien } 11 > \text{edad} \\ \mu_a(\text{edad}) &= \text{edad}/2 - 11/2 \text{ si } 11 \leq \text{edad} \leq 13 \\ \mu_a(\text{edad}) &= 9 - \text{edad}/2 \text{ si } 16 \leq \text{edad} \leq 18 \end{aligned}$$

- Pertenencia de un alumno al grupo de alumnos de mediana edad:

$$\begin{aligned} \mu_m(\text{edad}) &= 1 \text{ si } 35 < \text{edad} < 60 \\ \mu_m(\text{edad}) &= 0 \text{ si } 65 < \text{edad} \text{ o bien } 30 > \text{edad} \\ \mu_m(\text{edad}) &= \text{edad}/5 - 6 \text{ si } 30 \leq \text{edad} \leq 35 \\ \mu_m(\text{edad}) &= 13 - \text{edad}/5 \text{ si } 60 \leq \text{edad} \leq 65 \end{aligned}$$

e) El Sistema de Reglas sería el descrito en el apartado b). La Base de Hechos contendría en cada momento las condiciones del contexto de aprendizaje y los datos del perfil del estudiante. El encadenamiento hacia adelante podría servir para identificar las recomendaciones oportunas en un cierto contexto de aprendizaje y para un alumno concreto. El encadenamiento hacia atrás podría permitir

identificar al conjunto de alumnos a los que una recomendación dada es aplicable. Mediante el encadenamiento mixto se podría responder con eficiencia a la pregunta de si una recomendación concreta es aplicable a un alumno concreto.

Definición teórica de los tipos de encadenamiento:

- Encadenamiento hacia adelante. Modo de inferencia de un Sistema Basado en Reglas que partiendo de una colección de hechos o afirmaciones de partida aplica las reglas de la Base de Conocimiento repetidas veces hasta que no se generan nuevos hechos.
- Encadenamiento hacia atrás. Modo de inferencia de un Sistema Basado en Reglas que parte de un conjunto de hipótesis e intenta verificar estas hipótesis usando datos de la Base de Hechos o datos externos (obtenidos, por ejemplo, del usuario).
- Encadenamiento mixto. Modo de inferencia de un Sistema Basado en Reglas que consiste en realizar encadenamiento hacia atrás y hacia adelante simultáneamente por la misma red de inferencia, hasta que los dos caminos de búsqueda se encuentran.

- **Ejercicio 1, Semana 2. (Valoración: 2.5 puntos)**

Describe detalladamente las características de los algoritmos de ramificación y poda.

SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán

Los *algoritmos de ramificación y poda* interpretan cada estado o nodo como un subconjunto de soluciones de todo el conjunto posible de soluciones del problema original planteado. Este subconjunto de soluciones normalmente no se puede representar por extensión. De esta manera, el nodo raíz representa todas las soluciones posibles al problema original, mientras que un nodo hoja sería aquel que no puede ser expandido por contener una única solución. El proceso de ramificación consiste en descomponer un determinado subconjunto de soluciones en la unión disjunta de varios subconjuntos suyos, con lo que el espacio de búsqueda adquiere forma de árbol. De este modo, la ramificación de un nodo sería equivalente a la expansión de un nodo para generar sus nodos hijos.

Mientras que un nodo hoja o terminal tendrá asociado un coste concreto y conocido, cada nodo no terminal del árbol tiene asociado un valor heurístico que representa una cota inferior del coste de la mejor solución (considerada como la de menor coste) contenida en el nodo. Generalmente, cada vez que la cota inferior de un nodo rebasa el menor de los costes de los nodos hoja encontrados hasta el momento en el resto del árbol, dicho nodo es podado. Este esquema es el más habitual, aunque podría ser ampliado para considerar una cota superior para cada nodo no terminal.

Por motivos de ahorro en memoria, la estrategia de control para la exploración del árbol de búsqueda suele ser en profundidad, aunque otros métodos (heurísticos o no) son posibles. En el caso de la búsqueda en profundidad, ABIERTA actúa como una pila y es habitual introducir en la misma los hijos generados en cada expansión de un nodo ordenados según los valores de sus cotas inferiores. La eficiencia del algoritmo de ramificación y poda dependerá de lo ajustadas que sean las cotas inferiores obtenidas de forma heurística. Por otra parte, los algoritmos de ramificación y poda son admisibles si recorren todo el espacio de búsqueda, excepto las partes podadas, hasta que ABIERTA se agote; en caso contrario, si la condición de terminación es que el algoritmo pare después de expandir cierto número de nodos, se pierde la admisibilidad y únicamente se puede devolver la mejor solución encontrada hasta el momento.

Ejercicio 2, Semana 2. (Valoración: 2.5 puntos)

Explique los diferentes tipos de relaciones que pueden aparecer en un sistema de marcos. Ilustre la explicación con ejemplos tomados del mundo real.

SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán

Existen dos tipos de marcos, clases e instancias, y mientras que las primeras expresan conceptos genéricos, las segundas constituyen ejemplos concretos de dichos conceptos genéricos. Los diferentes marcos quedan enlazados entre sí por medio de relaciones.

Las relaciones estándar más importantes son las de “Subclase-de”, que une una clase específica con otra clase más genérica que la engloba, y la de “Instancia”, que une una instancia con la clase a la que pertenece. Sobre este tipo de relaciones se puede aplicar herencia de propiedades.

Existen otras relaciones no estándar que expresan dependencias entre conceptos del dominio y sobre las que no se puede aplicar herencia de propiedades. Por ejemplo, la relación “Fraternal” une dos clases cuya clase padre coincide, la relación “Disjunta” une dos clases que no pueden tener una instancia común y, finalmente, diferentes relaciones “A medida” o “Ad-hoc” entre dos clases pueden ser definidas por el usuario. Las relaciones ad-hoc sólo se pueden definir entre marcos clase y para que se puedan definir también entre marcos instancia previamente hay que comprobar que: (1) La relación ad-hoc debe haber sido definida previamente entre dos marcos clase y (2) Los marcos instancia deben ser respectivamente instancias de dichos marcos clase.

Algunos de los entornos para construir sistemas basados en marcos no implementan relaciones no estándar. En este caso, el ingeniero de conocimiento las representaría mediante marcos adicionales y haría inferencia con ellas mediante: procedimientos, reglas o demonios.

Un ejemplo de todo el conjunto de relaciones comentado anteriormente se puede encontrar en la figura 4.12 de la página 145 del texto base de la asignatura.

Ejercicio 3, Semana 2. (Valoración: 5 puntos)

Lea atentamente el siguiente texto:

El uso de técnicas y paradigmas de la Inteligencia Artificial también se ha trasladado al campo de la expresión artística. Se define como arte cualquier actividad o producto novedoso realizado por el ser humano con una finalidad estética o comunicativa, a través del cual se expresan ideas, emociones o, en general, una visión del mundo; mediante diversos recursos como los plásticos, lingüísticos, sonoros o mixtos. Ejemplos de sistemas informáticos inteligentes en el ámbito artístico podrían ser:

- Un sistema que realiza diseños de interiores siguiendo las reglas del Feng Shui. El Feng Shui es un arte y disciplina taoísta, que proporciona pautas para diseñar el interior de una vivienda de modo que se favorezcan el éxito, la salud, la riqueza y la felicidad.
- Un sistema que imita la creatividad musical humana combinando patrones básicos (de secuencias de sonidos, de estructuras rítmicas etc), y extrayendo patrones de una base de datos de composiciones musicales, tomando en cuenta principios del lenguaje musical en diferentes estilos opcionales (renacentista, barroco, jazz etc).
- Un sistema que genera automáticamente guiones de películas de un género determinado a partir de variaciones de ciertas historias y escenas típicas, y asimismo genera nuevos guiones en base a guiones conocidos modificando el contexto en que se desarrollan (p.e., convirtiendo un guión de western en uno de ciencia ficción).

Continúa al dorso

Preguntas:

a) Describa brevemente las características de los sistemas anteriores y de los recursos disponibles para su desarrollo que justifican la utilización de técnicas de Inteligencia Artificial. (Puntuación máxima: 0.5).

b) Proponga paradigmas (simbólico, conexionista, situado o mixto) y/o técnicas específicas de la Inteligencia Artificial para abordar las distintas partes del sistema, justificando brevemente su propuesta. (Puntuación máxima: 1.5).

c) Las dos siguientes historias típicas del western y de la ciencia ficción podrían traducirse entre sí automáticamente, dado que pueden representarse mediante una misma sentencia lógica (si nos abstraemos de los nombres concretos –semántica– de los predicados). Proporcione dicha sentencia utilizando la lógica de predicados o de primer orden. Se sugiere utilizar: una variable “t” para representar el tiempo y el predicado “>” que define un orden total sobre el tiempo. (Puntuación máxima: 1.5):

Historia western: Los cowboys contratados por el ranchero salen de Texas custodiando el ganado para cruzar el desierto en busca de pastos verdes. Durante meses cabalgan sufriendo las inclemencias del tiempo, sin pisar una población, y combatiendo a los indios con sus rifles.

Historia ciencia ficción: Los tripulantes elegidos por el maestro Jedi abandonan la Tierra custodiando a “El Elegido” para cruzar el Imperio Galáctico en busca de La Estrella de la Muerte. Durante meses navegan sufriendo lluvias de asteroides, sin pisar un planeta con vida, y combatiendo a los alienígenas con sus espadas siberiales.

d) Indique qué tipo de lógica o lógicas serían adecuadas para la representación de los dos siguientes tópicos de la ciencia ficción, razonando brevemente sus respuestas. (Puntuación máxima: 0.75):

Tópico 1: Un dispositivo permite trasladarse en el tiempo. Un cambio en el pasado tiene consecuencias inesperadas en el presente o produce paradojas temporales: un hombre viaja al pasado y asesina a su padre, por lo que nunca nace, por lo que nunca viaja al pasado.

Tópico 2: Existen un mundo real y un mundo virtual (una simulación computerizada), y es posible pasar del uno al otro bajo ciertas condiciones.

e) Imagine que la implementación del sistema diseñador de interiores basado en Feng Shui, o una parte de él, se realiza mediante un Sistema Basado en Reglas. Escriba los hechos y/o reglas correspondientes a la siguiente especificación (Puntuación máxima: 0.75):

En un espacio bien amueblado deben estar presentes los 5 elementos: el fuego (con un objeto triangular o de color rojo); la tierra (con un objeto rectangular y la presencia de colores tierra); el metal (redondo, blanco y luminoso), el agua (formas onduladas o negro) y la madera (rectangular, vertical, verde o azul).

Un objeto que posee estos 5 elementos es un tiesto pintado de color rojo (fuego) con una cenefa ondulada (agua), lleno de tierra (tierra), y con una planta (madera) que tenga flores de color blanco que sean redondas (metal).

SOLUCIÓN por Angeles Manjarrés Riesco

a) Las teorías sobre el arte son objeto de investigación en el contexto de diversas disciplinas y en particular en psicología y psicobiología. La “psicología del arte” constituye una **rama compleja de la psicología** vinculada a otras muchas: el arte implica **fenómenos genuinamente humanos** como el pensamiento, el lenguaje, la apreciación estética, la experiencia de sofisticadas emociones, el inconsciente individual y colectivo... La definición de lo que es arte es **abierto, subjetivo y discutible**, y por tanto no existe un conocimiento formalizado sobre cómo crear una obra de arte. Existen ciertas normas que describen corrientes artísticas concretas, o estilos de autores particulares que siguen unas

pautas propias que constituyen un **conocimiento experto no formalizado** y con frecuencia difícil de formalizar. De ahí el interés de la Inteligencia Artificial en **experimentar con modelos** de creación artística e **identificar reglas o patrones** para la composición de obras de arte desde una perspectiva tanto de **análisis** (contribuir a la investigación de los procesos psicológicos y psicobiológicos implicados), como de **síntesis** (producir o dar soporte a la producción de obras de arte).

- Sistema que realiza diseños de interiores siguiendo las reglas del Feng Shui. El enunciado menciona que el Feng Shui proporciona pautas para diseñar el interior de una vivienda de modo que se favorezcan el éxito, la salud, la riqueza y la felicidad, de donde puede inferirse la posibilidad de formalizar tales pautas a partir de un **conocimiento experto**. También sugiere su planteamiento como un **problema de predicción, control u optimización**, tipos de problemas que típicamente aborda la Inteligencia Artificial. La referencia a **conceptos de difícil definición y cuantificación** tales como éxito y felicidad, también apunta a la adecuación de sus técnicas y paradigmas. La necesidad de **monitorización de variables fisiológicas** humanas en este contexto se inscribe en el ámbito de la **computación afectiva** y en el de la **inteligencia ambiental**, uno de cuyos principales objetivos es concebir sistemas sensibles a los parámetros biológicos de los humanos para identificar sus necesidades y adaptar su entorno en consecuencia.
- Sistema que imita la creatividad musical humana combinando patrones básicos. Las investigaciones en teoría musical se basan en el análisis casuístico: los diferentes estilos musicales se han estudiado a posteriori, identificando patrones en las composiciones y generalizando pautas de composición. Existe una gran variedad de estilos melódicos, armónicos, etc. (desarrollados en diferentes culturas y circunstancias históricas) aún por explorar y describir, de modo que **no es posible hoy por hoy enunciar una teoría general de la música**. Las composiciones musicales pueden describirse en términos matemáticos: ritmos (patrones de frecuencia y recurrencias periódicas en distintos niveles estructurales), conceptos de armonía (criterios de superposición de notas), melodías (criterios de secuenciación de notas)...; pero no se conocen reglas que dictaminen cuándo una composición musical es una obra de arte. Realmente una obra de arte solo puede juzgarse por el efecto que produce en su público. Todo lo anterior sugiere la utilización de la Inteligencia Artificial para el **análisis casuístico** y el **aprendizaje computacional**.
- Sistema que genera automáticamente guiones de películas. Esta aplicación, comparte características con las anteriores por su finalidad última de creación artística y particularmente con el sistema que analiza y produce nuevas composiciones musicales: de igual modo ha de identificar patrones mediante análisis de casos y diseñar nuevas obras aplicando unas ciertas pautas de diseño. Podría también inscribirse en el campo de la Inteligencia artificial del **procesamiento del lenguaje natural** (análisis semántico de narraciones y generación de novedosas narraciones).

b) En general, la producción artística en cualquier dominio podría implementarse mediante Sistemas Basados en Reglas (paradigma simbólico), margos y guiones para la representación del conocimiento experto de pautas de diseño de obras de arte y la caracterización de estilos particulares.

- Sistema que realiza diseños de interiores siguiendo las reglas del Feng Shui. Resulta adecuado un paradigma híbrido. Además del paradigma simbólico resultan pertinentes los paradigmas conexionista y situado. Las tareas de predicción, control y optimización implicadas sugieren el uso de algoritmos neuronales y genéticos (paradigma conexionista). La posibilidad de contemplar aspectos de inteligencia ambiental (reconocimiento de patrones en imágenes y voz, y otras variables fisiológicas humanas y ambientales) da cabida también al paradigma conexionista, así como al paradigma situado. Los aspectos de personalización del sistema en diferentes dimensiones sugiere el uso de técnicas de aprendizaje supervisado (conexionista o simbólico, con incorporación de nuevos hechos y reglas en un Sistema Basado en Reglas) o autoorganizativo y minería de datos.
- Sistema que imita la creatividad musical humana combinando patrones básicos. Paradigma conexionista y minería de datos para el aprendizaje de la detección de patrones en las

composiciones musicales. Los algoritmos genéticos han sido, de hecho, ampliamente usados para la composición automática (con cierto ingrediente de aleatoriedad) de obras musicales y pictóricas.

- Sistema que genera automáticamente guiones de películas. Las técnicas de Razonamiento Basado en Casos y los guiones (siendo de particular interés el concepto de herencia) parece lo más indicado para esta aplicación. Adicionalmente, parecen pertinentes los sistemas deductivos basados en lógicas clásicas y no clásicas, en particular modales, para representar el paso de tiempo, las situaciones hipotéticas, la no monotonicidad..., relevantes en la narrativa de ficción. En lo que respecta al procesamiento del lenguaje natural, es de gran aplicabilidad en sus principales facetas (de comprensión, reconocimiento de patrones, y generación de textos), implicando el análisis semántico y sintáctico

c)

```

 $\forall$  escolta seleccionado(escolta,dirigente)  $\rightarrow$ 
 $\exists t_0$  (parten(escolta,escoltado,Origen, $t_0$ )
 $\exists t_1, t_2 \quad t_0 < t_1 < t_2$ 
 $(\forall t \quad t_0 < t \text{ custodia(escolta,escoltado},t))$ 
 $\wedge (\forall t \quad t_0 < t < t_2 \text{ es\_transportado(escolta},t) \wedge \text{sufre(escolta,fenómeno},t) \wedge$ 
 $\text{no\_pisa(escolta,lugar\_habitado},t) \wedge \text{combate(escolta,enemigos,armas},t))$ 
 $\wedge (\forall t \quad t_1 < t < t_2 \text{ cruza(escolta,escoltado,espacio},t))$ 
 $\wedge (\forall t \quad t_2 < t \text{ encuentra(escolta,escoltado,destino},t))$ 

```

d)

- Tópico uno. En las lógicas temporales basadas en intervalos el tiempo se considera compuesto por un conjunto de puntos ordenados, permitiendo expresar eventos puntuales y situaciones pasadas y futuras con respecto al instante presente. Por otro lado, las lógicas temporales no lineales permiten expresar diferentes futuros o pasados. En cuanto a la posibilidad de paradojas temporales, las lógicas no monótonas se caracterizan por la posibilidad de volver atrás en las conclusiones, y algunas lógicas multivaluadas ponen en cuestión el principio del tercero excluido (según el cual una proposición o es verdadera o es falsa, sin existir ninguna posibilidad intermedia) y el principio de no contradicción (según el cual una proposición no puede ser verdadera y falsa simultáneamente).
- Tópico 2: En la lógica modal es posible indicar el modo en que es cierta o falsa una proposición (cuándo, dónde, bajo qué condiciones) y con ello expresar los conceptos de necesidad y posibilidad. Permite expresar la existencia de varios mundos, las condiciones para pasar de un mundo a otro y las relaciones de causalidad entre mundos.

e) Proponemos una representación (hay otras posibles).

Reglas:

```

SI(bien_amueblado?espacio) ENTONCES
(fuego?espacio),(tierra?espacio),(metal?espacio),(agua?espacio),(madera?espacio)

SI(está_presente?objeto?espacio)^(triangular?objeto)^(rojo?objeto)
ENTONCES (fuego ? espacio)
SI (está_presente?objeto?espacio)^(rectangular?objeto)^(color_tierra?objeto)
ENTONCES (tierra ? espacio)
SI(está_presente?objeto?espacio)^(redondo?objeto)^(blanco?objeto) )^(luminoso?objeto)
ENTONCES (metal ? espacio)
SI (está_presente?objeto?espacio)^(formas_onduladas?objeto)^(negro?objeto))
ENTONCES (agua ? espacio)
SI(está_presente?objeto?espacio)^(rectangular?objeto)^(vertical?objeto)
)^(verde?objeto)^(azul?objeto))
ENTONCES (madera ? espacio)

SI(plantada?planta?tiesto) ENTONCES (rectangular?tiesto),(vertical?tiesto),
(verde?tiesto)

```

SI (plantada?planta?tiesto)^(tiene_flores?planta blancas redondas) ENTONCES
(redondo?tiesto)^(blanco?tiesto))^(luminoso?tiesto)
SI (lleno_de_tierra?tiesto) ENTONCES (color_tierra?tiesto)

Hechos:

(es_un_tiesto Tiesto), (rojo Tiesto), (formas_onduladas Tiesto), (lleno_de_tierra
Tiesto), (plantada Planta Tiesto), (tiene_flores Planta blancas redondas)

Universidad Nacional de Educación a Distancia

Grado en Ingeniería Informática
y
Grado en Ingeniería en Tecnologías de la Información

Asignatura: ***Fundamentos de Inteligencia Artificial*** (2º curso)

Soluciones exámenes **Septiembre 2013**

Ejercicio 1. (Valoración: 3 puntos)

Describe detalladamente las características del algoritmo de “temple simulado”.

SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán

El temple simulado es un método de búsqueda local. La búsqueda local se suele emplear en problemas en los que el nodo meta por sí sólo contiene toda la información sobre la solución de un problema y no es necesario considerar la información proveniente del camino que ha llevado a la meta.

La búsqueda local consiste en realizar cambios en el estado actual que nos lleven a un estado vecino de cara a acabar en el estado meta tras una serie de iteraciones. Se suele partir de un estado inicial y se calculan los estados vecinos del actual mediante una **regla de vecindad**. Los vecinos del nodo actual son evaluados y se selecciona normalmente el mejor de ellos que cumpla cierto **criterio de aceptación**. Dicho vecino pasa a ser el nodo actual en la siguiente iteración de la búsqueda local. Este proceso se repite hasta que se cumpla cierto **criterio de finalización**; por ejemplo, que se haya realizado un determinado número de iteraciones o que no se hayan producido mejoras en la calidad del nodo actual durante las últimas iteraciones.

La búsqueda local realiza una búsqueda en un espacio de estados a los que se puede asociar una función objetivo. La función objetivo puede contener numerosos óptimos locales, lo cual puede dificultar enormemente la consecución del óptimo global. En cualquier caso, la búsqueda local es un método eficiente que puede encontrar soluciones aceptablemente buenas en un tiempo reducido. Además, se puede combinar con otros métodos de búsqueda más sofisticados, como pueden ser los algoritmos evolutivos. De forma ideal, la regla de vecindad debería cumplir la denominada “regla de conectividad”, según la cual desde cualquier estado se debe poder alcanzar el objetivo óptimo mediante una secuencia de transformaciones.

El método de temple simulado tiene las siguientes peculiaridades:

- Realiza una selección aleatoria entre los vecinos del nodo actual.
- El criterio de aceptación permite admitir, con una cierta probabilidad, algunas transiciones entre estados en las que empeore el valor de la función objetivo. Dicha probabilidad depende de dos parámetros: la temperatura T y el incremento de energía $\Delta E = \text{coste}(\text{vecino-seleccionado}) - \text{coste}(\text{estado-actual})$. Esto evita caer en óptimos locales durante la búsqueda. En cualquier caso, si el valor de la función objetivo (o “coste”) del estado vecino elegido fuera mejor que el valor del estado actual ($\Delta E < 0$), la transición se realizaría siempre al igual que en el caso del algoritmo de escalada.
- Al principio de la búsqueda, la temperatura tiene un valor alto, de modo que la probabilidad de aceptar un estado peor que el actual sea grande. La temperatura va decreciendo a lo largo del proceso de búsqueda según un determinado plan de enfriamiento, que puede ser más rápido o más lento. Por tanto, a medida que la búsqueda progresa, cada vez es más probable que sólo se admitan soluciones que mejoren o igualen a la actual.
- Generalmente, la probabilidad de llegar a una buena solución mediante el temple simulado es mayor si la temperatura inicial es alta y el plan de enfriamiento es lento. Sin embargo, en dicho caso la búsqueda consume demasiado tiempo, ya que el criterio de terminación suele ser que la temperatura alcance un valor suficientemente pequeño.

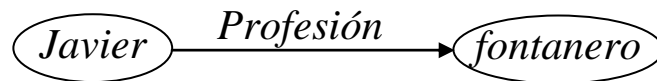
Un inconveniente del temple simulado es que requiere un ajuste apropiado de sus parámetros en función del problema abordado, sobre todo del plan de enfriamiento, de cara a que el proceso de búsqueda resulte eficaz y se obtenga una buena solución. Este ajuste depende fuertemente de la forma de la función objetivo y de la distribución de sus óptimos locales, es decir, del problema particular que estemos intentando resolver.

Ejercicio 2. (Valoración: 2 puntos)

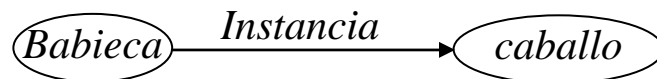
Describe cómo se pueden representar predicados no binarios mediante redes semánticas. Ponga un ejemplo que ilustre su descripción.

SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán

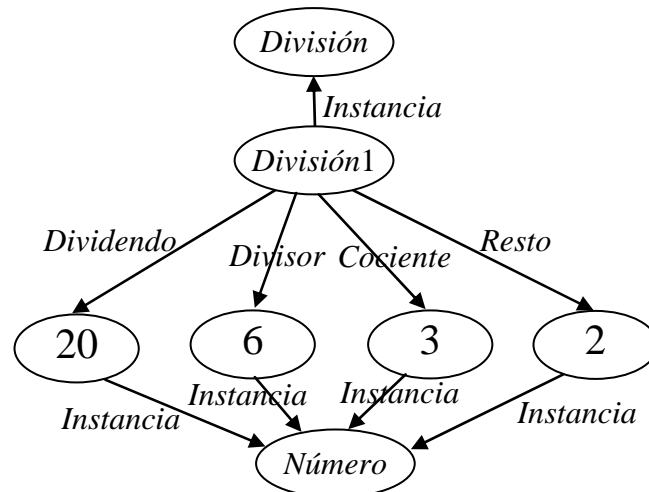
La etiqueta asociada a un arco de una red semántica suele representar un predicado binario cuyo par de argumentos son el objeto origen y el objeto destino unidos por el arco. Por ejemplo, el hecho Profesión(Javier, fontanero), que consta del predicado binario “Profesión”, se puede representar mediante la siguiente red semántica:



Pero también es posible representar predicados no binarios mediante redes semánticas. Por ejemplo, el hecho Caballo(Babieca) es equivalente a Instancia(Babieca, Caballo). Por tanto, en este ejemplo el predicado unario “Caballo” se representaría del siguiente modo mediante una red semántica:



Si se quisieran representar predicados de aridad mayor que dos, habría que operar de un modo diferente. En este caso, el predicado de aridad mayor que dos se representa mediante un objeto y se utilizan predicados binarios adicionales para describir las relaciones entre este objeto y sus argumentos. A modo de ejemplo, si consideramos el hecho División(20, 6, 3, 2), que representa la operación de división de 20 entre 6 cuyo cociente es 3 y cuyo resto es 2, la red semántica que lo representa sería:



Como puede comprobarse en la figura, se ha creado un nodo que representa el predicado no binario (División1) y cuatro predicados binarios (Dividendo, Divisor, Cociente y Resto) que representan las relaciones con los cuatro argumentos del predicado no binario.

Universidad Nacional de Educación a Distancia

Grado en Ingeniería Informática
y
Grado en Ingeniería en Tecnologías de la Información

Asignatura: ***Fundamentos de Inteligencia Artificial*** (2º curso)

Soluciones exámenes **Junio 2014**

Ejercicio 1, Semana 1. (Valoración: 2.5 puntos)

Explique qué similitudes y qué diferencias existen entre los algoritmos SMA* e IDA*.

SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán:

Como similitudes se encuentran las siguientes:

- Tanto un algoritmo como el otro son variantes del algoritmo A*.
- Estos dos algoritmos intentan solventar el problema que tiene el algoritmo A* de requerimiento exponencial de memoria con la profundidad.
- En relación al punto anterior, incorporan mecanismos para limitar la cantidad de memoria necesaria durante la ejecución.
- Fueron propuestos con sólo siete años de diferencia, IDA* en 1985 y SMA* en 1992.

Como diferencias se pueden citar las siguientes:

- Mientras que IDA* es una extensión del método de búsqueda iterativa en profundidad, SMA* se basa en limitar el tamaño de TABLA_A a un valor máximo prefijado.
- IDA* utiliza ABIERTA como una pila y no necesita establecer ningún límite a la capacidad de TABLA_A. SMA* trata ABIERTA como una lista ordenada según los valores de f y limita la capacidad de TABLA_A a un cierto número de nodos prefijado.
- Como novedad respecto a A*, IDA* establece en cada iteración un coste límite para la búsqueda. En la primera iteración el coste límite es el valor de " f " del estado inicial y, en sucesivas iteraciones, el coste límite es el menor valor de f de los nodos descartados en la iteración anterior. Por su parte, la novedad que introduce SMA* con respecto a A* consiste en establecer un límite en el número máximo de nodos que se pueden almacenar en TABLA_A. Si se necesita expandir un nodo y no hay espacio en TABLA_A, se elimina de ABIERTA y de TABLA_A el nodo con mayor valor de f en ABIERTA. Estos nodos eliminados se denominan "olvidados" y SMA* recuerda en cada nodo el mejor f de los hijos de ese nodo que han sido olvidados.
- Mientras que IDA* es completo, SMA* es completo si la memoria disponible es suficiente para almacenar el camino a la solución menos profunda.
- Mientras que IDA* es admisible si h es admisible, SMA* es admisible si además tiene suficiente memoria para almacenar el camino hasta la solución óptima menos profunda. En caso contrario, devuelve la mejor solución que se puede alcanzar con la memoria disponible.

Ejercicio 2, Semana 1. (Valoración: 2.5 puntos)

Explique qué son las facetas en un sistema de marcos y describa detalladamente los diferentes tipos de facetas que existen.

SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán:

Las facetas de un sistema de marcos modelan características de las propiedades de los marcos y de las relaciones entre los marcos. En general, el motor de inferencia usa las facetas para mantener la integridad semántica de los datos almacenados en el sistema de marcos. Existen tres categorías de facetas: (a) las que afectan a propiedades de clase, a propiedades de instancia y a relaciones, (b) las que afectan a propiedades de clase y a relaciones y, finalmente, (c) las que afectan a propiedades de instancia. (Conviene recordar que una propiedad de clase se define y rellena en un marco clase, siendo heredados sus valores por los marcos instancia del marco clase, mientras que una propiedad de instancia se define en un marco clase y se rellena en los marcos instancia del marco clase. Por otra parte, las relaciones de un sistema de marcos expresan dependencias entre conceptos.)

(a) FACETAS QUE AFECTAN A PROPIEDADES DE CLASE, A PROPIEDADES DE INSTANCIA Y A RELACIONES

(a.1) TIPO RANURA: Establece el tipo de datos con el que se rellenará la propiedad o relación. En el caso de las propiedades de clase o de las propiedades de instancia, dicho tipo de datos puede ser incluso otro marco. En el caso de las relaciones, éstas se definen siempre en el marco clase origen de la relación, con nombre el de la relación y en esta faceta se especifica el tipo de marco destino de la relación.

(a.2) CARDINALIDAD MÍNIMA: Establece el número mínimo de valores con los que se puede rellenar una ranura. (El término genérico “ranura” se refiere al contenedor de información asociado tanto a una propiedad de un marco como a una relación de un marco.)

(a.3) CARDINALIDAD MÁXIMA: Establece el número máximo de valores con los que se puede rellenar una ranura.

(a.4) MULTIVALUADA: Establece si la ranura puede o no tener más de un valor. Si la cardinalidad mínima es diferente de la máxima entonces la ranura es obligatoriamente multivaluada.

(b) FACETAS QUE AFECTAN A PROPIEDADES DE CLASE Y A RELACIONES

(b.1) PROPIEDAD GENERAL: Almacena los valores que toma una propiedad de clase o una relación. Las propiedades de clase definidas como marcos y las relaciones rellenan esta faceta con un puntero a un marco clase. Las propiedades de instancia nunca rellenan esta faceta con un valor o un puntero, y suelen utilizar el símbolo “--” para indicar precisamente que no se rellenan.

(c) FACETAS QUE AFECTAN A PROPIEDADES DE INSTANCIA

(c.1) VALORES PERMITIDOS: Especifica el conjunto de valores válidos que puede tomar una propiedad de instancia, el cual debe ser consistente con el contenido de la faceta “tipo ranura”. Esta faceta puede almacenar un tipo de datos, un rango de valores o un puntero a un marco clase.

(c.2) VALORES POR OMISIÓN: Fija el valor que toma la propiedad de instancia en un marco instancia si no se conoce explícitamente otro valor suyo. Este valor por defecto puede ser anulado al asignar un valor nuevo a la propiedad de instancia.

(c.3) SI NECESITO: Almacena un procedimiento o regla que se ejecuta al solicitar el valor de una propiedad de instancia en un marco instancia y ser desconocido dicho valor. La ejecución de este procedimiento o regla puede tomar datos de otras ranuras e incluso del usuario del sistema.

(c.4) SI MODIFICO: Almacena un procedimiento o regla que se ejecuta al modificar el valor de una propiedad de instancia en un marco instancia. La ejecución de este procedimiento o regla puede afectar a otras ranuras del sistema de marcos.

(c.5) SI AÑADO: Almacena un procedimiento o regla que se ejecuta al introducir un valor en una propiedad de instancia de un marco instancia que estaba vacía. La ejecución de este procedimiento o regla puede afectar a otras ranuras del sistema de marcos.

(c.6) SI BORRO: Almacena un procedimiento o regla que se ejecuta al borrar el valor de una propiedad de instancia en un marco instancia. La ejecución de este procedimiento o regla puede afectar a otras ranuras del sistema de marcos.

Ejercicio 3, Semana 1. (Valoración: 5 puntos)

A continuación se proporciona a grandes rasgos, la descripción de un sistema informático para el ámbito agrario adecuado para la utilización de técnicas de Inteligencia Artificial.

“La producción agrícola depende fuertemente de las condiciones meteorológicas y el control de enfermedades y plagas en los cultivos, existiendo una influencia de las primeras en las segundas que está siendo investigada en diversos proyectos. Gracias a las nuevas tecnologías, el agricultor puede estar al corriente en todo momento de lo que ocurre en el campo, recibiendo alertas en su dispositivo móvil cuando las condiciones agroclimáticas de las plantas (humedad de la tierra, temperatura, radiación solar, etc.) superan ciertos valores críticos así como recibiendo imágenes de determinadas partes de la planta (por ejemplo, hoja o tallo), que muestren el estado de la planta y la posible aparición de enfermedades o plagas. La gestión de su cultivo, tanto a nivel de la ubicación de las unidades sensoras (determinada a través de sus coordenadas GPS) como la configuración de las alertas a recibir y las acciones a realizar (por ejemplo, fumigación de determinadas partes del terreno o control de la cantidad de agua que reciben) puede ser gestionada por el agricultor a través de una aplicación web, al menos en lo que se refiere a la parametrización de los elementos a gestionar (unidades sensoras, alertas, acciones), ya que a día de hoy muchas de las decisiones que toma el agricultor se basan en la experiencia que tiene acumulada pero no es capaz de operativizarlas. En este contexto, la aplicación puede ayudar al agricultor en la gestión de su cultivo, evitando que tenga que desplazarse in situ al terreno para conocer la situación del mismo y ayudándole a aplicar en su cultivo las medidas oportunas para asegurar la producción. Además, es conveniente que el agricultor esté en contacto con diversas agencias, incluyendo las de seguimiento de plagas, siendo beneficioso una comunicación no sólo en el sentido agencia-agricultor sino en sentido inverso, de forma que el agricultor pueda informar de la situación en la finca para enriquecer la información con la que cuentan las agencias a la hora de generar las predicciones de enfermedad y plaga correspondientes.”

En relación con la descripción facilitada, se solicita:

- a) Describa brevemente las características de los sistemas descritos (o de algunas de sus partes) y de los recursos disponibles para su desarrollo que justifican la utilización de técnicas de Inteligencia Artificial. (Puntuación máxima: 0,5 puntos)
- b) Proponga paradigmas (simbólico, conexionista, situado o híbrido) y/o técnicas específicas de Inteligencia Artificial para abordar el desarrollo de las distintas partes del sistema agrícola presentado, justificando brevemente su respuesta. (Puntuación máxima: 1,5 puntos)
- c) Represente mediante lógica de predicados (o lógica de primer orden) las siguientes sentencias (Puntuación máxima: 2 puntos):
 - 1) Si el total de precipitaciones ha sido escaso y en alguna planta empiezan a verse hojas amarillentas, incrementar el riego durante un mes en todos los bancales y añadir un 10% más de fertilizante en el agua.
 - 2) Si queda menos de un mes para el solsticio y las plantas miden más de lo esperado en algunos casos pero el promedio de las temperaturas mínimas es más bajo que lo habitual y se ha producido alguna helada, hay que prever un retraso en la cosecha pero es probable (con probabilidad mayor que 0.8) que ésta sea superior a la media.Se sugiere utilizar una variable “t” para representar el tiempo y el predicado “<” que define un orden total sobre el tiempo.
- d) Imagine un sistema recomendador que utiliza la lógica borrosa para describir las temperaturas. Modelice gráficamente los conjuntos borrosos 'temperatura baja', 'temperatura media' y 'temperatura alta'. Indique además aproximadamente en el dibujo el grado de pertenencia de un nivel de temperaturas cualquiera (por ejemplo 15 °C) a cada uno de los conjuntos borrosos. (Puntuación máxima: 1 punto)

SOLUCIÓN por José Luis Aznarte Mellado y Olga Santos Martín:

a)

La aplicación concierne a la predicción de indicadores que tienen un efecto negativo en la evolución de un cultivo determinado (y que pueden variar entre diferentes cultivos), por lo que tiene características idóneas para ser modelada mediante técnicas de Inteligencia Artificial ya que es un campo que está en continua evolución y las actuaciones que llevan a cabo los agricultores están basadas mayoritariamente en sus propias heurísticas. Gracias a la irrupción de la tecnología en el campo, actualmente se dispone para el desarrollo de este tipo de sistemas de información casuística en términos de datos etiquetados y bancos de imágenes, pero en la mayoría de los casos está sin interpretar. El conocimiento implícito en estos datos tiene potencialidades de explorarse mediante técnicas de aprendizaje automático.

La aplicación descrita cabe dentro de la llamada Agricultura de Precisión y se inscribe claramente en el campo de la Inteligencia Artificial ya que ha de ser capaz de:

- Percibir el entorno: recogida de información agroclimática a través de las unidades sensoras, así como del estado de la planta mediante reconocimiento de imágenes.
- Razonar con un conocimiento incierto e incompleto: no se conoce la relación entre las condiciones agroclimáticas y el desarrollo de enfermedades y aparición de plagas en los cultivos, cómo afecta la ubicación del cultivo en diferentes altitudes, etc., y tampoco se conoce, entre otros, qué criterios de fumigación y de irrigación son los más apropiados en cada una de las situaciones.
- Actuar en consecuencia de forma inteligente y adaptativa: el sistema debe proponer actuaciones en base a la información recogida y en base a las heurísticas que se puedan haber concretado, y tras analizar el efecto de la actuación propuesta, ir refinando dichas heurísticas con idea de ser más eficiente en el efecto conseguido.

b)

Parece adecuado un paradigma híbrido dado que las distintas funcionalidades del sistema se adecúan a distintos paradigmas y técnicas. En concreto, se consideran los paradigmas simbólico, conexionista y situado.

Siguiendo el paradigma simbólico, el conocimiento experto de la forma de proceder en el campo de aplicación para la toma de decisiones se puede capturar mediante un sistema basado en reglas con incorporación de técnicas bayesianas (teoría de juegos, algoritmos de búsqueda, redes semánticas) para razonar a partir de la experiencia recogida y lógica borrosa o multivaluada dada la imprecisión en la información recogida debida a problemas en las medidas, así como lógica modal temporal y espacial para modelar la evolución temporal y geográfica de los parámetros agrícolas. De esta forma se representa la inferencia asociada a las necesidades de predicción. La representación de las entidades del dominio puede realizarse con marcos.

El paradigma conexionista facilita el aprendizaje de los indicadores de predicción de enfermedades. El reconocimiento de patrones puede resolverse mediante un entrenamiento previo del sistema con ítems etiquetados, lo que sugiere la aplicación de algoritmos de aprendizaje supervisado de redes neuronales y/o algoritmos genéticos, así como técnicas de minería de datos, incluyendo la identificación de patrones de enfermedad en las imágenes recogidas con técnicas de visión artificial. La incertidumbre en el etiquetado puede gestionarse con lógica borrosa.

Además, es necesario considerar el paradigma conexionista situado ya que existe una interacción a través de sensores (para recoger parámetros agroclimáticos) y efectores (que realizan la acción apropiada sobre el cultivo) con el medio externo y por lo tanto, es idóneo para la representación de las actuaciones adaptativas en función de los datos percibidos a través de los sensores (robótica).

c)

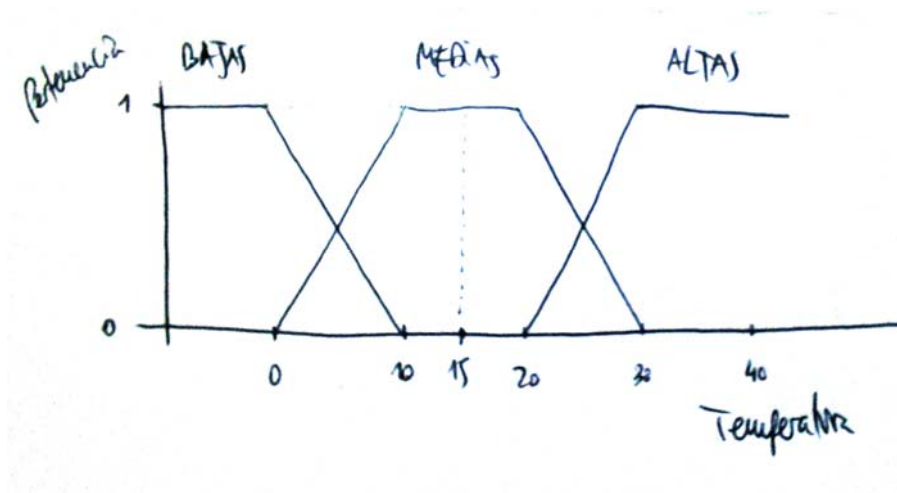
c.1)

$\forall t, p, \text{precip}(t, p) < \text{ref_precip} \wedge \exists p \text{ amarillenta}(p) \rightarrow \forall t', t+1 \geq t' \geq t+1+30 \text{ riego}(p, t') > \text{riego}(p, t) \wedge \text{fertilizante}(p, t') := \text{fertilizante}(p, t) \cdot 1.1$

c.2)

$\forall t, t - t_{\text{solsticio}} < 30 \wedge \exists p \text{ tamaño}(p, t) > \text{ref_tamaño}(p, t) \wedge T_{\text{min}}(t) < T_{\text{min_ref}}(t) \wedge \text{heladas}(t) \rightarrow t_{\text{cosecha}} > \text{ref_t_cosecha} \wedge \text{prob}(\text{cosecha} > \text{ref_cosecha}) > 0.8$

d)



Una temperatura de 15 °C pertenece a la categoría de temperaturas MEDIAS con valor de pertenencia de 1.

Ejercicio 1, Semana 2. (Valoración: 2.75 puntos)

Considere el espacio de búsqueda de la figura, donde aparece el coste asociado a cada operador y el valor para cada nodo de la función heurística h de estimación de la menor distancia a meta. El nodo A es el nodo inicial, mientras que los nodos Y y Z son los nodos meta. Se pide desarrollar razonadamente los siguientes apartados:

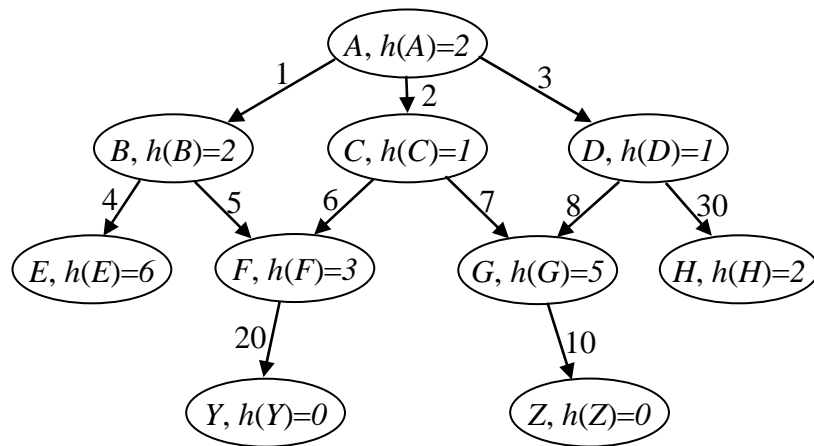
(1) Calcule g^* para cada nodo.

(2) Calcule h^* para cada nodo.

(3) ¿Es h admisible?

(4) ¿Es h monótona?

(5) Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los apartados anteriores, si se aplicara el algoritmo A^* : ¿qué nodos se expandirían con seguridad?, ¿qué nodos no se expandirían con seguridad? y, finalmente, ¿qué nodos se podrían expandir o no dependiendo de la forma en que se resolvieran los empates? (En este último apartado no se permite aplicar ninguna iteración del algoritmo A^* para justificar la respuesta.)



SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán:

(1) La función $g^*(n)$ representa el menor coste desde el nodo inicial al nodo n . En la siguiente tabla aparece el cálculo de g^* para cada nodo.

Nodo	g^*	Camino
A	0	A
B	1	A-B
C	2	A-C
D	3	A-D
E	5	A-B-E
F	6	A-B-F
G	9	A-C-G
H	33	A-D-H
Y	26	A-B-F-Y
Z	19	A-C-G-Z

(2) La función $h^*(n)$ representa el menor coste desde el nodo n a una meta. En la siguiente tabla aparece el cálculo de h^* para cada nodo.

Nodo	h^*	Camino
A	19	A-C-G-Z
B	25	B-F-Y
C	17	C-G-Z
D	18	D-G-Z
E	∞	No hay
F	20	F-Y
G	10	G-Z
H	∞	No hay
Y	0	Y
Z	0	Z

(3) Efectivamente, h es admisible, ya que $h(n) \leq h^*(n)$ para todo nodo n . Esto se puede comprobar de forma inmediata a partir de la siguiente tabla.

Nodo	h	h^*	$\checkmark h \leq h^* ?$
A	2	19	sí
B	2	25	sí
C	1	17	sí
D	1	18	sí
E	6	∞	sí
F	3	20	sí
G	5	10	sí
H	2	∞	sí
Y	0	0	sí
Z	0	0	sí

(4) Efectivamente, h es monótona, ya que $h(n) \leq k(n, n') + h(n')$ para todo par de nodos (n, n') , donde $k(n, n')$ es el menor coste para ir de n a n' . Esto se puede comprobar de forma inmediata a partir de la siguiente tabla.

$n', h(n')$ $n, h(n)$	A,2	B,2	C,1	D,1	E,6	F,3	G,5	H,2	Y,0	Z,0
A,2	0	1	2	3	5	6	9	33	26	19
B,2	∞	0	∞	∞	4	5	∞	∞	25	∞
C,1	∞	∞	0	∞	∞	6	7	∞	26	17
D,1	∞	∞	∞	0	∞	∞	8	30	∞	18
E,6	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
F,3	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	20	∞
G,5	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	10
H,2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞
Y,0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞
Z,0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0

Valores de $k(n, n')$

Por ejemplo, para $n = C$ y $n' = G$, $h(C) \leq k(C, G) + h(G)$, ya que $h(C) = 1$ (véase columna más a la izquierda de la tabla), $k(C, G) = 7$ (véase la celda marcada en la tabla) y $h(G) = 5$ (véase fila superior de la tabla).

(5) Al ser h monótona, según el teorema 9.11 (página 352) del texto base, la condición necesaria de expansión de un nodo es que $g^*(n) + h(n) \leq C^*$ y la condición suficiente es que $g^*(n) + h(n) < C^*$, donde $C^* = h^*(A)$ (coste óptimo desde el estado inicial a una meta). En la siguiente tabla aparecen los nodos ordenados según su valor de $g^* + h$.

Nodo	$g^* + h$
A	2
B	3
C	3
D	4
F	9
E	11
G	14
Z	19
Y	26
H	35

Como $C^* = 19$, los nodos $\{A, B, C, D, F, E, G\}$ se expandirían con seguridad, los nodos $\{Y, H\}$ no se expandirían con seguridad y, finalmente, el nodo Z se expandiría en función de la forma de deshacer los empates. (De hecho, por el teorema 9.10 del texto base, como h es monótona, al elegir Z para su expansión entones $g(Z) = g^*(Z)$. Esto quiere decir que, como Z es un nodo meta cuyo valor de $g^* + h = g + h$ es estrictamente menor que los valores de $g^* + h = g + h$ del resto de metas, también sería expandido finalmente.)

Ejercicio 2, Semana 2. (Valoración: 2.25 puntos)

Explique brevemente si cada una de las cuatro afirmaciones siguientes es realmente verdadera o falsa. Utilice ejemplos sencillos que ilustren su explicación.

- (1) La estrategia que sigue la herencia simple para encontrar el valor de una cierta propiedad de un marco instancia consiste en buscar primero en el marco instancia y posteriormente en sus marcos clase antecesores, empezando por el más lejano al marco instancia y finalizando por el más cercano.
- (2) Una red semántica puede contener información relativa a que dos nodos representan conceptos disjuntos.
- (3) En los marcos instancia se pueden utilizar propiedades que no se hayan definido en los marcos clase.
- (4) Hay herencia de propiedades en redes semánticas.

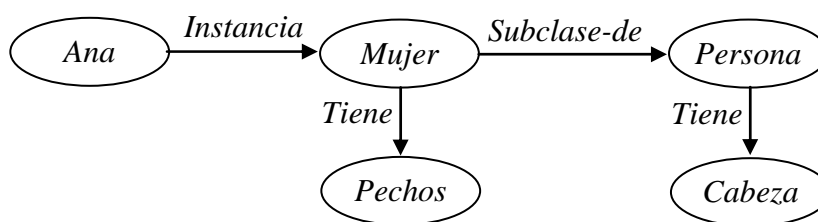
SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán:

(1) Falso. La afirmación sería cierta si se intercambiaran en la misma las palabras “lejano” y “cercano”. Por ejemplo, considérese la clase “Ave” con la propiedad “¿Volador?” y valor por omisión de la misma “Sí”. Si existiera una instancia de la misma “Tweety” y quisiéramos saber si Tweety es volador, primero habría que averiguar el valor con el que se ha rellenado la propiedad “¿Volador?” en “Tweety”; si no hubiera tal valor rellenado en “Tweety”, habría que ir a la clase “Ave” y tomar el valor por omisión de “Sí”. En caso de no existir este valor por omisión en “Ave”, habría que intentar subir en la hipotética jerarquía de marcos clase hasta encontrar un nuevo valor por omisión o un procedimiento “Si-necesito” de la propiedad “¿Valor?”.

(2) Cierto, por ejemplo mediante la etiqueta “Disjunto” o mediante arcos especiales como los usados por Hendrix. La etiqueta “Disjunto” expresa el hecho de que dos conceptos son excluyentes. Un ejemplo sencillo se puede encontrar en la figura 4.5 de la página 138 del texto base.

(3) Falso. Las propiedades deben ser necesariamente definidas en algún marco clase. Por ejemplo, dado el marco clase “País” con propiedades “Capital” y “Extensión”, no podríamos crear un marco instancia “España” de “País” en el que intentáramos rellenar la propiedad “Lengua oficial”.

(4) Cierto. La herencia de propiedades tiene lugar en redes semánticas a través de los arcos “Instancia” y “Subclase-de”. Por ejemplo, en la red semántica siguiente:



se puede deducir mediante herencia de propiedades que Ana tiene pechos (por ser un ejemplo de mujer) y que tiene cabeza (por ser un ejemplo mujer y ser las mujeres personas).

Ejercicio 3, Semana 2. (Valoración: 5 puntos)

A continuación se proporciona a grandes rasgos, la descripción de un sistema informático adecuado para la utilización de técnicas de Inteligencia Artificial.

“En los países en desarrollo, el número de especialistas en áreas científicas y tecnológicas es escaso, y su conocimiento es de difícil acceso debido a los limitados sistemas de transporte y comunicación. Es pues prioritario para el desarrollo el entrenamiento de nuevos expertos en áreas cruciales tales como sanidad, agricultura o gestión de recursos hídricos. En tales áreas, la combinación de medios tradicionales con nuevas tecnologías puede jugar un papel esencial, dada la idiosincrasia y complejidad de los contextos de subdesarrollo, donde las heurísticas generales pueden no ser aplicables. Por otro lado, los proyectos de desarrollo implican un complejo análisis de alternativas en sus diversas fases a la hora de tomar decisiones: identificación del problema, formulación de objetivos, análisis de prioridades de las comunidades receptoras, predicción de impactos socio-económico y ambiental, consideración de aspectos de sostenibilidad...”

En lo que se refiere a la gestión de recursos hídricos, estos países se caracterizan con frecuencia por la deficiencia de sus servicios sanitarios y de irrigación. El conocimiento acerca de las necesidades de agua y su gestión, mapas de recursos o predicciones meteorológicas no está formalizado. Habitualmente se adoptan soluciones ad hoc con escasa visión a largo plazo y sin objetivos de economía o sostenibilidad ni estudios de impacto. La gestión de recursos hídricos es más un arte que una ciencia (influyen factores impredecibles como la intensidad de las lluvias, permeabilidad de los suelos...). Se requieren enfoques integrales que impliquen a las comunidades locales y tomen en consideración aspectos tan diversos como la conservación de los suelos, la promoción de salud e higiene, la demografía, los hábitos nutricionales... Las soluciones sanitarias han de adaptarse a las peculiaridades sociales, culturales y medioambientales de cada contexto. Serían sin duda de gran utilidad aplicaciones informáticas que facilitaran estudios de calidad de las aguas, optimización de la irrigación, acceso a bases de datos de acuíferos o historiales de clima para la predicción meteorológica, y cálculo de indicadores para la realización de estudios de impacto. Toda esta información serviría para entrenar a los nuevos expertos en base a situaciones reales identificadas en su comunidad.”

En relación con la descripción facilitada, se solicita:

- a) Describa brevemente las características de los sistemas descritos (o de algunas de sus partes) y de los recursos disponibles para su desarrollo que justifican la utilización de técnicas de Inteligencia Artificial. (Puntuación máxima: 0,5 puntos)
- b) Proponga paradigmas (simbólico, conexionista, situado o híbrido) y/o técnicas específicas de Inteligencia Artificial para abordar el desarrollo de las distintas partes del sistema presentado, justificando brevemente su respuesta. (Puntuación máxima: 1,5 puntos)
- c) Represente mediante lógica de predicados (o lógica de primer orden) las siguientes sentencias (Puntuación máxima: 2 puntos):
 - Si en un momento dado los niveles de agua en los acuíferos de cualquier zona concreta caen por debajo de la mitad del valor de referencia para esa zona, y las precipitaciones de los últimos dos meses son iguales a cero, entonces la probabilidad de epidemias es más del doble del valor de referencia y todos los pozos están en estado crítico, por lo que en ese momento se eleva una alarma al organismo sanitario regional, si lo hay, o al organismo de coordinación central en caso contrario y se convoca automáticamente una reunión de emergencia para esa zona dentro de los próximos quince días.

Se sugiere utilizar una variable “t” para representar el tiempo y el predicado “<” que define un orden total sobre el tiempo.
- d) Imagine un sistema recomendador que utiliza la lógica borrosa para describir las precipitaciones. Modelice gráficamente los conjuntos borrosos 'precipitaciones bajas', 'precipitaciones medias' y 'precipitaciones altas'. Indique además aproximadamente en el dibujo el grado de pertenencia de

un nivel de precipitaciones cualquiera (por ejemplo 220 litros por metro cuadrado) a cada uno de los conjuntos borrosos. (Puntuación máxima: 1 punto)

SOLUCIÓN por José Luis Aznarte Mellado y Olga Santos Martín:

a)

La aplicación concierne al entrenamiento de nuevos expertos en áreas de complejos análisis de alternativas, por lo que tiene características idóneas para ser modelada mediante técnicas de Inteligencia Artificial ya que como indica el enunciado, las heurísticas generales pueden no ser aplicables y es por tanto necesario identificar indicadores relevantes en este contexto. Requiere por tanto el razonamiento con un conocimiento incierto, dinámico e incompleto procedente de distintas fuentes, para entrenar la toma de decisiones inteligentes multicriterio.

La aplicación descrita es un sistema experto y se inscribe claramente en el campo de la Inteligencia Artificial ya que ha de ser capaz de:

- Percibir el entorno: obteniendo información de diversas fuentes, como las bases de datos de acuíferos y los historiales de clima para la predicción meteorológica.
- Razonar con un conocimiento incierto e incompleto: a través de la información recogida, y teniendo en cuenta como punto de partida las heurísticas generales, identificar las relaciones existentes en este nuevo contexto siguiendo un análisis casuístico.
- Actuar en consecuencia de forma inteligente y adaptativa: proponer la decisión más adecuada a tomar integrando el conocimiento de las diversas y dispares disciplinas involucradas, de forma que la persona que se está entrenando pueda contrastar su propia solución al problema planteado.

De hecho, implica campos de aplicación característicos de la Inteligencia Artificial, como: sistemas de soporte a la decisión, sistemas de soporte colaborativo en red, visión artificial. La disponibilidad de historiales de datos, estudios y análisis sugiere la posibilidad de aplicación de técnicas de aprendizaje computacional.

b)

Parece adecuado un paradigma híbrido dado que las distintas funcionalidades del sistema combina los paradigmas simbólico y conexionista.

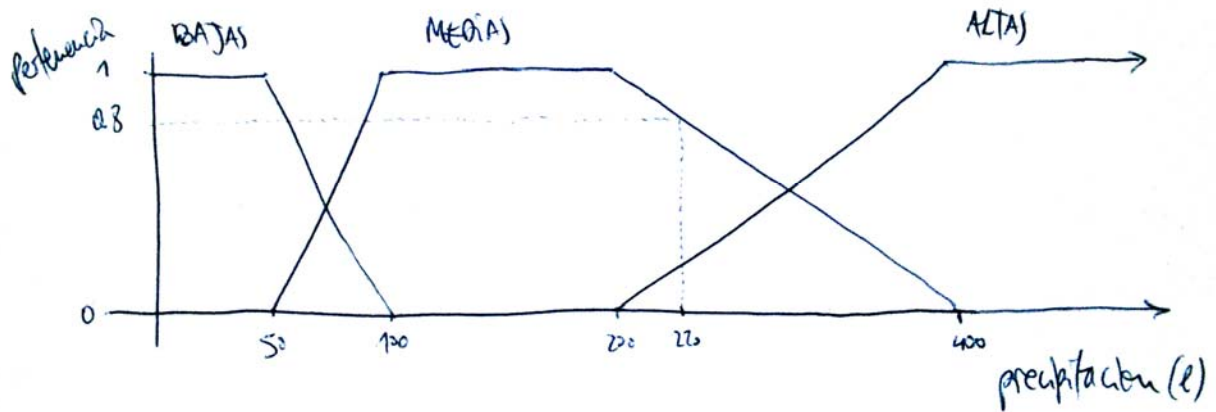
La disponibilidad de distintas fuentes de datos para un mismo recurso sugiere el uso de un sistema basado en reglas (paradigma simbólico), en el que dado la falta de formalismo existente y la imprecisión en la información disponible, deben considerarse para la inferencia, técnicas bayesianas (teoría de juegos, algoritmos de búsqueda, redes semánticas) y lógicas no clásicas, ya que las decisiones multicriterio implican la argumentación sobre cuestiones conjeturales y valorativas: lógica no monotónica, lógica intuicionista, lógica multivaluada y borrosa, lógica modal espacial y temporal. Para la representación de las entidades del dominio pueden utilizarse marcos.

La disponibilidad de análisis y estudios previos posibilita la aplicación de técnicas de aprendizaje computacional para inferir automáticamente nuevas reglas en base a estudios y análisis previos disponibles que se añadirán a las proporcionadas por los expertos y para ajustar los parámetros de los modelos bayesianos. Así, las técnicas conexionistas con aprendizaje supervisado (redes neuronales, quizá en combinación con algoritmos genéticos) resultan adecuadas cuando se dispone de un historial de datos y no se dispone de un modelo decisión explícito.

c)

$\forall t, z, \text{nivel_acuiferos}(z, t) < \text{nivel_ref}(z) / 2 \wedge \forall t' > t-60 \text{ precip}(z, t') := 0 \rightarrow \text{prob_epidemia}(z, t) > \text{ref_prob_epidemia}(z) \cdot 2 \wedge \forall p, \text{estado_crítico}(p, t) \wedge (\text{alarma_región}(z, t) \vee \text{alarma_coordi}(z, t)) \wedge \exists t' < t+15 \text{ reunión}(t', z)$

d)



Un valor de precipitaciones de 220 litros por metro cuadrado es MEDIO con un grado de pertenencia de 0.8.

Universidad Nacional de Educación a Distancia

Grado en Ingeniería Informática
y
Grado en Ingeniería en Tecnologías de la Información

Asignatura: ***Fundamentos de Inteligencia Artificial*** (2º curso)

Soluciones exámenes **Septiembre 2014**

Ejercicio 1. (Valoración: 2.5 puntos)

Describe detalladamente las características de la búsqueda tabú.

SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán

La búsqueda tabú es un método de búsqueda local. La búsqueda local se suele emplear en problemas en los que el nodo meta por sí sólo contiene toda la información sobre la solución de un problema y no es necesario considerar la información proveniente del camino que ha llevado a la meta.

La búsqueda local consiste en realizar cambios en el estado actual que nos lleven a un estado vecino de cara a acabar en el estado meta tras una serie de iteraciones. Se suele partir de un estado inicial y se calculan los estados vecinos del actual mediante una **regla de vecindad**. Los vecinos del nodo actual son evaluados y se selecciona normalmente el mejor de ellos que cumpla cierto **criterio de aceptación**. Dicho vecino pasa a ser el nodo actual en la siguiente iteración de la búsqueda local. Este proceso se repite hasta que se cumpla cierto **criterio de finalización**; por ejemplo, que se haya realizado un determinado número de iteraciones o que no se hayan producido mejoras en la calidad del nodo actual durante las últimas iteraciones.

La búsqueda local realiza una búsqueda en un espacio de estados a los que se puede asociar una función objetivo. La función objetivo puede contener numerosos óptimos locales, lo cual puede dificultar enormemente la consecución del óptimo global. En cualquier caso, la búsqueda local es un método eficiente que puede encontrar soluciones aceptablemente buenas en un tiempo reducido. Además, se puede combinar con otros métodos de búsqueda más sofisticados, como pueden ser los algoritmos evolutivos. De forma ideal, la regla de vecindad debería cumplir la denominada “regla de conectividad”, según la cual desde cualquier estado se debe poder alcanzar el objetivo óptimo mediante una secuencia de transformaciones.

El método de búsqueda tabú tiene las siguientes peculiaridades:

- Dispone de un mecanismo de memoria (lista tabú) para evitar la generación de algunos vecinos. Por ejemplo, la lista tabú puede contener los últimos vecinos visitados o ciertos criterios de transformación de nodos.
- Se pueden aplicar excepciones a lo que indica la lista tabú mediante el denominado “**criterio de aspiración**”. Un criterio de aspiración muy utilizado consiste en admitir nodos tabú que mejoren al mejor nodo encontrado hasta el momento.

Un inconveniente de la búsqueda tabú es que requiere un ajuste apropiado de sus parámetros en función del problema abordado (sobre todo del tamaño de la lista tabú, del criterio para la construcción de la lista tabú o de la definición del criterio de aspiración), de cara a que el proceso de búsqueda resulte eficaz y se obtenga una buena solución. Este ajuste depende fuertemente de la forma de la función objetivo y de la distribución de sus óptimos locales, es decir, del problema particular que estemos intentando resolver.

Ejercicio 2. (Valoración: 2.5 puntos)

Explique brevemente si cada una de las cuatro afirmaciones siguientes es realmente verdadera o falsa. Utilice ejemplos sencillos que ilustren su explicación.

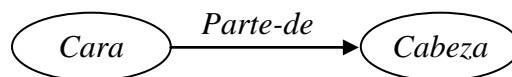
- (1) Un sistema de marcos constituye una estructura puramente declarativa de representación de conocimiento, donde no hay cabida para conocimiento de tipo procedimental.
- (2) En redes semánticas no se puede realizar inferencia mediante equiparación.
- (3) Los arcos “subclase-de” de una red semántica son ejemplos de arcos estructurales, mientras que los arcos “parte-de” de una red semántica son ejemplos de arcos descriptivos.
- (4) Las únicas relaciones posibles en un sistema de marcos son las relaciones “subclase-de” e “instancia”.

SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán:

(1) Falso. En muchos sistemas de marcos los procedimientos llamados “demonios”, “valores activos” o “disparadores” son el mecanismo principal para realizar razonamiento. Ejemplo de conocimiento procedimental en marcos son los procedimientos que se definen en las facetas Si-Necesito, Si-Añado, Si-Modifico o Si-Borro de las propiedades de instancia de los marcos clase. (En las páginas 154 y 155 del texto base aparecen ejemplos del funcionamiento de estos procedimientos.)

(2) Falso. La equiparación es una de las técnicas de inferencia más empleadas en redes semánticas. En la explicación asociada a la figura 4.7 del texto base se describe un ejemplo de equiparación con la red de la figura 4.4 del mismo texto base.

(3) Falso. Tanto los arcos “subclase-de” como “parte-de” de una red semántica son ejemplos de arcos estructurales. En redes semánticas, la agregación es un proceso básico asociado a arcos estructurales; por ejemplo, “la cara forma parte de la cabeza” se representaría como:



(4) Falso. Además de las relaciones estándar, “subclase-de” e “instancia”, en un sistema de marcos pueden existir relaciones no estándar como: “fraternal”, “disjunto”, “no-disjunto” o relaciones “ad-hoc”. La figura 4.14 del texto base muestra algunos ejemplos de relaciones ad-hoc entre marcos clase.

Ejercicio 3. (Valoración: 5 puntos)

A continuación se proporciona a grandes rasgos la descripción de un sistema informático adecuado para la utilización de técnicas de Inteligencia Artificial.

“Debido al envejecimiento de la población, desde hace tiempo existen soluciones informáticas centradas en tele-asistencia, que permiten un contacto directo entre el paciente y el médico para hacer un seguimiento de su evolución sin que el paciente tenga que desplazarse físicamente a la consulta. En este contexto y dado que los dispositivos móviles tienen cada vez mayores prestaciones, se están desarrollando aplicaciones, cada vez menos intrusivas, que permiten un diagnóstico y seguimiento de la salud de la persona de forma personalizada. Para ello, los dispositivos móviles de última generación pueden recoger diversos tipos de información, entre las que se puede mencionar la actividad del paciente (por ejemplo, si se ha desplazado y a qué velocidad gracias a la información proporcionada por el GPS) o parámetros fisiológicos del paciente (por ejemplo, el pulso o la frecuencia cardiaca a través sensores con forma de pulsera). Esta información puede complementarse con datos que facilite el médico a la hora de hacer el diagnóstico y su seguimiento, datos del propio paciente, por ejemplo, relativo a la hora y comida que ha ingerido, los medicamentos (hora, tipo, cantidad) administrados, etc., así como resultados de analíticas que puedan ser enviados desde los centros de salud (por ejemplo, análisis de sangre). De esta forma, por un lado, se puede tener un conocimiento muy detallado de la salud de cada paciente y su evolución en función de sus hábitos de vida y la medicación que se le facilita. Por otro lado, esta información, puede ser procesada de forma anonimizada de forma conjunta entre todos los pacientes gestionados por el mismo servicio, y puede servir para refinar la dosis que debe darse a cada paciente en función de los diversos parámetros involucrados. En concreto, a través de las alarmas del dispositivo móvil, es posible dar indicaciones de administración de la medicación calculadas de forma personalizada para cada paciente en función de sus características personales y de lo que ha hecho en las últimas horas. Así, por ejemplo, para una persona anticoagulada que debe tomar sintron, actualmente, la dosis que prescribe el médico está determinada por su propia experiencia a partir únicamente del resultado obtenido en un análisis INR. Sin embargo, si el sistema recogiera información detallada sobre el paciente, podría proponer actuaciones más concretas, de forma que un paciente cuyo último análisis INR está por encima del rango de seguridad, si ha tomado alimentos con alto porcentaje de vitamina K y ha andado varias horas y además, se sabe que esta persona tiene una sensibilidad muy elevada a la cantidad de sintron recibida, se le indicaría que tomara una dosis diferente que otra persona que tuviera otro perfil y contexto.”

En relación con la descripción facilitada, se solicita:

- (a) Describa brevemente las características de los sistemas descritos (o de algunas de sus partes) y de los recursos disponibles para su desarrollo que justifican la utilización de técnicas de Inteligencia Artificial. (Puntuación máxima: 0.5 puntos)
- (b) Proponga paradigmas (simbólico, conexionista, situado o mixto) y/o técnicas específicas de Inteligencia Artificial para abordar el desarrollo de las distintas partes del sistema presentado, justificando brevemente su respuesta. (Puntuación máxima: 1.5 puntos)
- (c) Imagine un sistema recomendador que utiliza la lógica borrosa para la descripción del perfil del paciente. Formalice, en base a la teoría de conjuntos borrosos, los siguientes conceptos: paciente poco sensible al sintron, paciente moderadamente sensible al sintron y paciente muy sensible al sintron. Tenga en cuenta que la sensibilidad al sintron se define en una escala del 0 al 10. (Puntuación máxima: 1.5 puntos)
- (d) Represente mediante lógica de predicados o de primer orden las siguientes sentencias (Puntuación máxima: 1.5 puntos):

Para un paciente determinado, en un instante cualquiera, si el análisis INR más reciente está por encima del valor de seguridad para el paciente, este ha tomado alimentos con alto contenido en vitamina K en las últimas comidas, ha realizado ejercicio durante más de 2 horas, y, además, se sabe que el paciente tiene alta sensibilidad al sintron, entonces se lanza un aviso en su teléfono móvil que indica que la dosis siguiente ha de ser de 2 pastillas.

(Se sugiere utilizar una variable “t” para representar el tiempo.)

SOLUCIÓN por Olga Santos Martín y José Luis Aznarte Mellado:

(a)

La aplicación concierne a la predicción de la dosis que es más adecuada para cada paciente en cada contexto, de forma que un mismo paciente que ha comido y ha realizado diferentes actividades, podría requerir una dosis diferente en cada caso, pero esta información no se conoce a priori. Por ello, tiene características idóneas para ser modelada mediante técnicas de Inteligencia Artificial ya que es un campo que está en continua evolución y las actuaciones que llevan a cabo los médicos están basadas mayoritariamente en sus propias heurísticas. Gracias a la irrupción de la tecnología para el seguimiento de la salud de las personas, actualmente se dispone de sensores y dispositivos que permiten la comunicación de diversos parámetros sobre el paciente, proporcionando información casuística en términos de datos etiquetados, pero en la mayoría de los casos está sin interpretar. El conocimiento implícito en estos datos tiene potencialidades de explorarse mediante técnicas de aprendizaje automático.

La aplicación describe una solución para la medicina personalizada y se inscribe claramente en el campo de la Inteligencia Artificial ya que ha de ser capaz de:

- (a)** Percibir el entorno: recogida de información sobre el paciente a través de las unidades sensoras, así como del propio paciente y de sistemas externos (analíticas realizadas).
- (b)** Razonar con un conocimiento incierto e incompleto: no se conoce de forma exacta la relación entre las condiciones del paciente y su contexto, y cuáles son las dosis más adecuadas en función de la actividad que pueda haber realizado el paciente y su propio metabolismo.
- (c)** Actuar en consecuencia de forma inteligente y adaptativa: el sistema debe proponer actuaciones en base a la información recogida y en base a las heurísticas que se puedan haber concretado el médico con su experiencia, y tras analizar el efecto de la actuación propuesta, ir refinando dichas heurísticas con idea de ser más eficiente en el efecto conseguido a partir del análisis de la evolución de los pacientes.

(b)

Parece adecuado un paradigma híbrido dado que las distintas funcionalidades del sistema se adecúan a distintos paradigmas y técnicas. En concreto, se consideran los paradigmas simbólico, conexionista y situado.

Siguiendo el paradigma simbólico, el conocimiento experto del médico ofrece una primera aproximación a la forma de proceder para la toma de decisiones sobre la dosis a tomar por parte del paciente. Esta información heurística se puede capturar mediante un sistema basado en reglas con incorporación de técnicas bayesianas (teoría de juegos, algoritmos de búsqueda, redes semánticas) para razonar a partir de la experiencia recogida y lógica borrosa o multivaluada dada la imprecisión en la información recogida debida a problemas en las medidas (especialmente en las relativas a los parámetros fisiológicos), así como lógica modal temporal para modelar la evolución temporal en el paciente. De esta forma se representa la inferencia asociada a las necesidades de predicción. La representación de las entidades del dominio puede realizarse con marcos.

El paradigma conexionista facilita el aprendizaje de los indicadores de predicción de la dosis. El reconocimiento de patrones puede resolverse mediante un entrenamiento previo del sistema con ítems etiquetados a partir de la información proporcionada por el médico, paciente y las analíticas realizadas, lo que sugiere la aplicación de algoritmos de aprendizaje supervisado de redes neuronales y/o algoritmos genéticos, así como técnicas de minería de datos. La incertidumbre en el etiquetado puede gestionarse con lógica borrosa.

Además, es necesario considerar el paradigma conexionista situado ya que existe una interacción a través de sensores (para recoger información sobre el contexto del usuario) del medio externo y por lo tanto, es idóneo para la representación de las actuaciones adaptativas en función de los datos percibidos a través de los sensores (robótica).

c)

$\forall t, p \text{ analisis_INR_reciente}(p, t) > v_seguridad(p) \wedge vit_K_reciente(p, t) \wedge ejercicio_reciente(p, t) > 2h \wedge$
 $sensibilidad_alta(p) \rightarrow aviso_telef(p, dosis(2))$

d)

La lógica borrosa es una extensión de la lógica clásica donde las proposiciones tienen un grado de verdad que se asigna mediante una función de pertenencia que toma valores en el intervalo real $[0, 1]$;

Realmente, los límites de edad que definen un paciente poco/moderadamente/muy sensible al sintron son imprecisos, de modo que podríamos definir, los correspondientes conjuntos borrosos del siguiente modo:

- Pertenencia de un paciente al grupo de los pacientes poco sensibles al sintron:

$\mu_{poco}(sensibilidad)$
 $= 1$ si $sensibilidad < 2$
 $\mu_{poco}(sensibilidad)$
 $= 0$ si $sensibilidad > 4$
 $\mu_{poco}(sensibilidad)$
 $= (4 - 2 * sensibilidad)$ si $2 > sensibilidad > 4$

- Pertenencia de un alumno al grupo de los pacientes moderadamente sensibles al sintron:

$\mu_{medio}(sensibilidad)$
 $= 0$ si $sensibilidad < 2$ ó $sensibilidad > 8$
 $\mu_{medio}(sensibilidad)$
 $= 1$ si $4 > sensibilidad > 6$
 $\mu_{medio}(sensibilidad)$
 $= (2 * sensibilidad + 2)$ si $2 > sensibilidad > 4$
 $\mu_{medio}(sensibilidad)$
 $= (8 - 2 * sensibilidad)$ si $6 > sensibilidad > 8$

- Pertenencia de un alumno al grupo de los pacientes muy sensibles al sintron

$\mu_{mucho}(sensibilidad)$
 $= 0$ si $sensibilidad < 6$
 $\mu_{mucho}(sensibilidad)$
 $= 1$ si $sensibilidad > 8$

$\mu_{\text{mucho}}(\text{sensibilidad})$

$= (2 * \text{sensibilidad} + 6) \text{ si } 6 > \text{sensibilidad} > 8$

Universidad Nacional de Educación a Distancia

Grado en Ingeniería Informática
y
Grado en Ingeniería en Tecnologías de la Información

Asignatura: ***Fundamentos de Inteligencia Artificial*** (2º curso)

Soluciones exámenes **Junio 2015**

Ejercicio 1, Semana 1. (Valoración: 2.5 puntos)

Explique brevemente si cada una de las cuatro afirmaciones siguientes es realmente verdadera o falsa. Ilustre sus respuestas con ejemplos sencillos.

(1) Si el coste de todos los operadores es el mismo, la búsqueda de coste uniforme es equivalente a la búsqueda primero en profundidad.

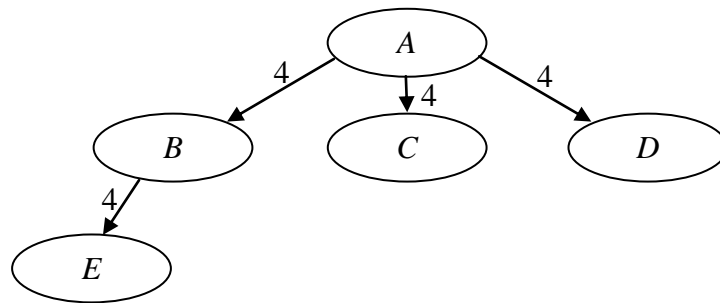
(2) Si el coste de todos los operadores es el mismo, la búsqueda primero en profundidad iterativa es admisible.

(3) La búsqueda primero en anchura iterativa puede encontrar una solución que no sea la más próxima al estado inicial.

(4) La búsqueda primero en profundidad iterativa y la búsqueda primero en anchura iterativa poseen la misma complejidad espacial.

SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán y José Luis Aznarte Mellado:

(1) La búsqueda de coste uniforme inserta los nodos de forma ordenada en ABIERTA teniendo en cuenta el coste desde el nodo inicial a cada uno de los nodos. Si el coste de todos los operadores es el mismo, siempre se sacarán primero de ABIERTA los nodos de menor profundidad. Por tanto, la afirmación es falsa, ya que la búsqueda de coste uniforme sería equivalente a la búsqueda primero en anchura y no a la búsqueda primero en profundidad. Por ejemplo, dado el árbol:



los nodos serán expandidos en el orden $\{A(0), B(4), C(4), D(4), E(8)\}$ según su coste creciente al nodo inicial.

(2) Verdadero, ya que la búsqueda primero en profundidad iterativa siempre encuentra una solución óptima en el caso de que todos los operadores tengan igual coste (en concreto, la de menor profundidad). Esto es así debido a que la profundidad límite de la búsqueda primero en profundidad se va incrementando en una unidad tras cada iteración. Por ejemplo, en el árbol del apartado (1), si D y E fueran las metas, se encontraría la meta D , que es mejor que la E (al estar a menor profundidad y tener todos los operadores igual coste).

(3) Verdadero, ya que la búsqueda primero en anchura iterativa usa un parámetro *AnchuraLímite* que permite controlar el número máximo de hijos generados desde cada estado padre. Por tanto, puede ocurrir que la solución más próxima al estado inicial no sea visitada, mientras que otra más profunda sí lo sea. Por ejemplo, en el caso del árbol del apartado (1), si E y D son las metas, la búsqueda es de izquierda a derecha y *AnchuraLímite*=1, se encontraría la meta E .

(4) Falso. Mientras que la complejidad espacial de la búsqueda primero en profundidad iterativa es proporcional con la profundidad del árbol de búsqueda, la complejidad espacial de la búsqueda primero en anchura iterativa es exponencial con la profundidad del árbol de búsqueda. Por ejemplo, en el árbol del apartado (1), si el estado actual es el nodo E , la búsqueda en profundidad iterativa sólo necesita almacenar el camino entre A y E , mientras que la búsqueda en anchura iterativa puede llegar a tener que almacenar el árbol entero.

Ejercicio 2, Semana 1. (Valoración: 2.5 puntos)

Describe detalladamente el mecanismo de inferencia en marcos mediante procedimientos, también denominados “demonios” o “valores activos”.

SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán y José Luis Aznarte Mellado:

Existe un mecanismo de inferencia en marcos basado en el uso de procedimientos, también denominados “demonios”, “valores activos” o “disparadores”. Estos procedimientos se encargan principalmente de almacenar, recuperar o borrar información en el sistema de marcos.

Los demonios se definen en las facetas “Si Añado”, “Si Modifico”, “Si Necesito” o “Si Borro” de las propiedades de instancia de los marcos clase. Únicamente son ejecutados cuando un marco instancia así lo solicita y poseen las siguientes funciones:

- (1) Almacenar, recuperar o borrar valores de propiedades de marcos instancia.
- (2) Mantener la consistencia semántica del sistema de marcos, impidiendo que se introduzcan valores que no cumplan una serie de restricciones.
- (3) Garantizar que los cambios en los valores de una propiedad se reflejen adecuadamente en los valores de otras propiedades diferentes.
- (4) Calcular dinámicamente valores requeridos de ciertas propiedades que se obtienen en función de los valores de otras propiedades diferentes.
- (5) Gestionar errores.

Existen dos tipos de funcionamiento de un demonio:

(a) Dirigido por eventos:

Tiene lugar cuando hay que gestionar un evento consistente en añadir, modificar o borrar un valor de una propiedad de un marco instancia. Está asociado a las facetas “Si Añado”, “Si Modifico” o “Si Borro”, y tiene un comportamiento análogo al encadenamiento hacia adelante de las reglas.

(b) Dirigido por metas:

Tiene lugar cuando se necesita conocer el valor de una propiedad de un marco instancia. Está asociado a la faceta “Si Necesito” y tiene un comportamiento análogo al encadenamiento hacia atrás de las reglas.

Por último, reseñar que el orden de llamada a demonios va pasando de unas propiedades a otras a medida que se van ejecutando los procedimientos.

Ejercicio 3, Semana 1. (Valoración: 5 puntos)

A continuación se proporciona la especificación, a grandes rasgos, de un sistema que sería interesante implementar aplicando técnicas de Inteligencia Artificial:

Los núcleos urbanos poblados se convertirán indudablemente en el escenario central de las futuras operaciones bélicas de los EEUU. Estos peculiares campos de batalla suponen un reto para la planificación militar, dificultan las maniobras, reducen el alcance efectivo de las armas de fuego y limitan el uso de armas de fuego indirectas. La mezcla de combatientes con no combatientes constituye también un problema.

El interés de integrar robots-soldado en pequeñas unidades para operar en misiones urbanas es claro. Tales robots podrían realizar operaciones de reconocimiento; vigilancia; localización de caminos bloqueados, objetivos y fuerzas enemigas; recopilación de información sobre las actividades de los contrincantes ... Podrían infiltrarse en zonas de peligro o inaccesibles para los humanos moviéndose con rapidez y sigilo durante la noche o el día, asomarse por las esquinas, mirar a través de ventanas, entrar en edificios y transmitir información a sus unidades en tiempo real ... con una mayor conciencia de las situaciones, y mayor capacidad de procesamiento de datos y de supervivencia que los soldados humanos. Podrían funcionar tanto en modo automático como tele-operable. Tendrían la habilidad de desplazarse por terrenos difíciles salvando obstáculos como rocas o raíces, y utilizar explosivos y bombas biológicas o químicas.

a) Defina una arquitectura de componentes para el sistema descrito, y proponga paradigmas (simbólico, conexionista, situado o mixto) y/o técnicas específicas de la Inteligencia Artificial para abordar el desarrollo de los componentes identificados, justificando brevemente su propuesta. (Puntuación máxima: 1.5).

b) El comandante Asimov, conocido por sus campañas en contra de las operaciones militares en poblaciones, defiende que debería garantizarse que el robot-soldado opere “éticamente”, incluso cuando esto suponga desobedecer órdenes de su teleoperador, restringiendo las acciones letales a lo estipulado en las Convenciones de Ginebra sobre conflictos armados.

Así pues, deberá ser capaz de distinguir a los objetivos militares de las estructuras de la sociedad civil y a los combatientes de los no combatientes. También debería respetar el principio de proporcionalidad de medios, según el cual los actos de guerra no deberían ocasionar daños desproporcionados en relación a los fines que justifican su uso.

Represente mediante lógica de predicados o de primer orden las siguientes reglas (puntuación máxima: 1.5):

Regla 1: Un robot no realiza una acción que dañe a un no combatiente o a una estructura de la sociedad civil.

Regla 2: Un robot realiza una acción que dañe a un ser humano o estructura solo si esto no supone vulnerar el principio de proporcionalidad.

Regla 3: Un robot realiza una acción ordenada por su teleoperador siempre que esto no suponga vulnerar las reglas 1 ó 2.

Regla 4: Un robot realiza cualquier acción que proteja su propia existencia siempre que esto no suponga vulnerar 1 ó 2 ó 3.

c) Explique por qué sería posible expresar reglas más expresivas que las anteriores utilizando lógicas modales. Represente mediante una lógica modal la siguiente sentencia, basada en una cita del general norteamericano Smedly Butler: “Cuando la rentabilidad es menor del seis por ciento, el dólar se impacienta y sale fuera de los EEUU. La bandera sigue al dólar y los soldados siguen a la bandera”. Comente brevemente los aspectos de complejidad computacional asociados al tipo de lógica elegido. (Puntuación máxima: 1.5).

d) Imagine que el robot incluye un Sistema Basado en Reglas responsable tanto de aconsejar acciones de guerra como de valorar las órdenes recibidas del teleoperador. Ilustre con un breve ejemplo la utilidad del encadenamiento de reglas hacia delante y hacia atrás. (Puntuación máxima: 0.5).

SOLUCIÓN por Angeles Manjarrés Riesco:

a) NOTA: La redacción de esta respuesta es más completa de lo que se requiere del alumno. Una síntesis de alrededor de una página de extensión sería suficiente para obtener la puntuación completa en este apartado.

La estructura de componentes idónea es la de una arquitectura híbrida de robot móvil reactiva-deliberativa que implica los paradigmas situado, conexionista y simbólico. El texto describe un robot que interactúa con su entorno en tiempo real, percibiendo dicho entorno (mediante sensores) y actuando sobre él (mediante efectores), en función de sus percepciones cambiantes, tanto en forma reactiva como deliberativa. Los componentes o subsistemas comunes de estos sistemas inteligentes son:

Modelo del entorno

Se enriquece progresivamente con la experiencia del robot, y en base a él el robot interpreta sus percepciones y decide sus acciones.

En el paradigma deliberativo, se modela el mundo real de la forma más exacta y completa posible en base a representaciones simbólicas. El modelo consta de dos subsistemas:

- (a) Una memoria a largo plazo, con alta permanencia, con conocimiento inicial que puede ir enriqueciéndose con la experiencia del robot. Poseer a priori un mapa detallado del terreno permite al robot soldado, p.e., desplazarse correctamente confiando en su modelo aunque sus sensores no sean fiables por haber sido dañados o debido a la presencia de mucho ruido. El uso de representaciones internas permite reducir el cómputo para la identificación de escenarios familiares (p.e., la localización de una zanja permite completar la escena con el resto de componentes de una trinchera: soldados armados parapetados tras ella, otras posibles trincheras conectadas, un búnker cercano etc.), ya que en este caso se reduce la necesidad de inspeccionar en detalle.
- (b) Una memoria a corto plazo, con representaciones dinámicas que guardan información contextual, variable, elaborada en tiempo real a partir de los datos obtenidos por los sensores. Este subsistema es necesario ya que nunca será posible reflejar a priori todas las características relevantes del mundo real, y actuar exclusivamente en base a un modelo inicial conduciría a acciones indebidas debido a la falta de información o a información incorrecta. En presencia de incertidumbre, los entornos evolucionan con el tiempo de forma impredecible. Por otra parte, un modelo interno totalmente completo y correcto sería intratable con la tecnología existente por cuestiones de complejidad, sobre todo si se requiere respuesta en tiempo real.

En el caso del robot soldado el modelo del entorno podría contener subsistemas tales como mapas de ciudades y modelos cartográficos actualizados en tiempo real mediante imágenes de satélite (GPS). También contendría caracterizaciones de entidades y escenarios relevantes para las funciones que debe realizar (tales como objetivos militares, armamento, indicios de movilización de tropas, situaciones de peligro...). Estas entidades y escenarios podrían modelarse mediante marcos cuyas instancias se completarían a partir de datos capturados y procesados en tiempo real.

Sistema de percepción

La organización, integración y procesamiento de la información sensorial también es una mezcla de los paradigmas deliberativo y reactivo.

El robot procesa la información sensorial identificando percepciones básicas (utilizando quizá el modelo del entorno) que pueden estimular directamente la actuación del robot en sus aspectos reactivos. También puede realizar interpretaciones de más alto nivel de estas percepciones. Estas interpretaciones se utilizan a nivel de razonamiento para construir o completar las representaciones internas y también para la decisión de comportamientos. Asegurar la robustez y tolerancia a fallos mecánicos de los sensores es un aspecto muy importante de este componente.

La interpretación de voz, imágenes o configuraciones de datos sensoriales de cualquier otra índole puede realizarse en el contexto tanto del paradigma simbólico como del conexionista. En el caso simbólico se utilizan representaciones explícitas de las entidades o escenarios que se busca reconocer. En el caso conexionista, el sistema clasificador (basado en redes neuronales, minería de datos o algoritmos genéticos) puede haber sido entrenado previamente para el reconocimiento de patrones con bancos de datos etiquetados (aprendizaje supervisado) o bien puede autosintonizarse identificando en tiempo real regularidades estadísticas en los datos (aprendizaje autoorganizativo). La incertidumbre en el etiquetado puede gestionarse haciendo uso de lógica borrosa. El procesamiento de imágenes requiere la aplicación de técnicas de visión artificial.

El robot soldado debería ser capaz de desplazarse por núcleos urbanos y terrenos difíciles con rapidez y sigilo, usar armas y realizar tareas de vigilancia e inspección. Necesitaría analizar el terreno y distinguir objetivos, escenarios, obstáculos, instalaciones, movimiento de vehículos, tropas... Estas especificaciones requieren que esté dotado de diversos sensores: micrófonos, cámaras, sensores de movimiento, táctiles, térmicos, de proximidad, de ondas, de calidad del aire, de presión... así como de receptores de comunicaciones (para la comunicación con su teleoperador o la recepción de imágenes de satélite) y de realizar, en consecuencia, procesos complejos de fusión sensorial.

Razonador

Capacita al robot para elaborar planes de acción en base a sus percepciones, misión u objetivos, modelos de actuación y conocimiento del entorno.

Según el paradigma híbrido clásico el robot primero planifica el conjunto de tareas a realizar, las descompone en subtareas, y selecciona comportamientos adecuados para realizar cada una de ellas, en algunos casos en modo reactivo. En los modelos actuales el nivel deliberativo no se utiliza para cambiar de modo deliberativo a modo reactivo sino que ambos funcionan en concurrencia ("modelo de comportamientos emergentes") si bien es necesaria una sincronización entre niveles.

La carga computacional que requiere el modo deliberativo en ocasiones hace las restricciones de tiempo real difíciles de cumplir. P.e, cuando el robot soldado detectara un obstáculo o un proyectil sería necesaria una reacción rápida. Además, en general no es posible conocer a priori el efecto de las acciones del robot, lo que dificulta la planificación a largo plazo. En el paradigma reactivo el entorno dirige completamente la acción, resolviéndose así los problemas de incertidumbre. Las percepciones e incluso las propias salidas de los sensores, pueden provocar acciones del robot de forma directa en base a unos patrones de asociación (percepciones-estado interno -> configuración-de-acciones) que sugieren el uso de técnicas conexionistas. No existen planificación ni razonamiento explícitos. El acceso y procesamiento de representaciones es mínimo y así pueden satisfacerse restricciones de tiempo real. Este enfoque economiza tamaño de memoria pero no permite realizar tareas complejas ni, en particular, hacer predicciones de hechos antes de que ocurran, en base a experiencias pasadas. Asegurar la integridad del robot es uno de los objetivos prioritarios. P.e., el robot soldado podría optar por reducir la velocidad cuando lo requiera para desplazarse con seguridad y sigilo por un terreno, aunque esto suponga degradación de otras funciones relacionadas con su misión militar.

La deliberación tiene un mayor coste temporal y por tanto se utiliza cuando no se requieran tiempos de respuesta rápidos o un retardo de respuesta no suponga un resultado tan catastrófico como puede tenerlo el retardo en el nivel reactivo. La planificación implica el análisis de alternativos cursos de acción

que pueden llevar a la consecución de unos objetivos, y requiere por tanto un análisis coste-beneficio y la resolución de tareas predictivas, de optimización, control y simulación. El conocimiento experto (en el caso del robot soldado, en estrategias y heurísticas militares - tácticas de combate, posicionado, ocultación, ataque, defensa, huida, uso de armas... - función del escenario bélico y la misión) que soporta estas tareas puede implementarse en el contexto de un paradigma simbólico, mediante sistemas basados en reglas con incorporación de técnicas de decisión probabilística multicriterio (redes bayesianas, teoría de juegos, algoritmos de búsqueda, redes semánticas) y lógicas NO clásicas (lógica no monotónica, lógica intuicionista, lógica multivaluada y borrosa, lógica modal espacial y temporal) al implicar modelos predictivos y cuestiones conjeturales y valorativas (como, p.e., el razonamiento ético, en el caso del robot soldado que respeta las Convenciones de Ginebra), en condiciones de conocimiento incierto e incompleto. Mediante técnicas de aprendizaje computacional sería posible inferir automáticamente nuevas reglas a partir de la experiencia, que se añadirían a las proporcionadas por los expertos, y ajustar los parámetros de los modelos bayesianos (aprendizaje simbólico y conexionista). La base de hechos almacenaría información contextual (p.e., situación de arsenales de armas, caminos bloqueados...) y sobre la satisfacción de los objetivos de la misión (p.e., número de combatientes abatidos).

El componente de planificación de un robot móvil requiere subsistemas de planificación de alto nivel, navegación y pilotaje. El subsistema de planificación de alto nivel define la secuencia de comportamientos que aseguran el cumplimiento de las misiones - tanto las programadas como las posiblemente recibidas en tiempo real de un teleoperador - dadas las restricciones cambiantes que impone el entorno. El subsistema de navegación confecciona las trayectorias en interacción con el subsistema cartográfico. El subsistema de pilotaje recibe del módulo de navegación las trayectorias e interactúa con el subsistema motor seleccionando comportamientos primitivos adecuados para que el robot siga las trayectorias. En la planificación de alto nivel se distingue entre el nivel de estrategia (planes de nivel superior encaminados al cumplimiento de la misión, p.e.: evitar el acceso del enemigo a los arsenales de armas) y nivel de táctica (métodos concretos para llevar a cabo dichos planes, p.e.: hacer explotar todos los arsenales de armas).

Considerando el sistema en conjunto, con sus diferentes partes interconectadas, y dada la complejidad y el posible carácter distribuido del procesamiento y de los comportamientos resulta muy útil una visión en términos de sistema multiagentes (inteligencia artificial distribuida).

Sistema de ejecución

Descompone los planes de acción en comportamientos primitivos traducidos a instrucciones que ejecutan los efectores del robot: dispositivos electro-mecánicos tales como brazos, piernas, emisores de señales (para transmitir - posiblemente en tiempo real - información sobre las misiones o bien la posición del robot u otros datos relevantes para ser teleoperados), ventosas, electroimanes, armas, altavoces, ruedas ...

El componente ejecutivo puede realimentarse tanto del razonador deliberativo como del reactivo. El subsistema principal de este componente es un sistema motor que compone los comportamientos motores primitivos y produce las correspondientes instrucciones de movimiento. La robustez y tolerancia a fallos mecánicos son asimismo aspectos cruciales de este componente.

b) NOTA: Hay muchas otras soluciones correctas posibles, aparte de la indicada a continuación.

Cada robot debe seguir las siguientes reglas:

$$\text{combatiente}(h) \rightarrow \text{humano}(h)$$

$$\text{estructuraCivil}(e) \rightarrow \text{estructura}(e)$$

$$\text{teleProhibicion}(a) \equiv \text{teleOrden}(\neg a)$$

$$\text{noCombatiente}(h) \equiv \text{humano}(h) \wedge \neg \text{combatiente}(h)$$

$$\text{prohibida}(a) \equiv \exists e. (\text{estructuraCivil}(e) \wedge \text{daña}(a, e)) \vee \exists h. (\text{noCombatiente}(h) \wedge \text{daña}(a, h))$$

$$\text{restringida}(a) \equiv \exists e. (\text{estructura}(e) \wedge \text{daña}(a, e)) \vee \exists h. (\text{humano}(h) \wedge \text{daña}(a, h))$$

Regla 1: $\neg \text{realiza}(a) \leftarrow \text{prohibida}(a)$

Regla 2: $\neg \text{realiza}(a) \leftarrow \text{restringida}(a) \wedge \neg \text{proporcional}(a)$

Regla 3: $\text{realiza}(a) \leftarrow \text{teleOrden}(a) \wedge \neg \text{prohibida}(a) \wedge (\neg \text{restringida}(a) \vee \text{proporcional}(a))$

Regla 4: $\text{realiza}(a) \leftarrow \text{protegeSelf}(a) \wedge \neg \text{teleOrden}(\neg a) \wedge \neg \text{prohibida}(a) \wedge (\neg \text{restringida}(a) \vee \text{proporcional}(a))$

c)

La lógica modal intenta acercarse al modo en que se expresan el pensamiento humano y el lenguaje natural complementando la lógica de predicados con modalidades que indican distintas formas en que algo puede ser verdad (necesariamente, posiblemente...).

Las lógicas modales temporales permiten modelar el tiempo y expresar propiedades sobre el mismo. En la denominada lógica temporal basada en puntos el tiempo se modela como una variable discreta. En este caso, la modalidad “necesariamente cierto” se interpreta como “cierto en todo instante de tiempo” (típicamente en el futuro) y “posiblemente cierto” como “cierto en algún instante de tiempo” (típicamente en el futuro). Las lógicas modales son extensiones de las lógicas clásicas proposicionales, pero más restrictivas que la lógica de predicados (constituyen un subconjunto de la lógica de predicados: siempre es posible modelar el tiempo mediante lógica de predicados sin más que considerar una variable “t”). Así, su complejidad temporal es mayor que la de la lógica proposicional pero menor que la de la lógica de predicados. La lógica más adecuada para modelar la sentencia del enunciado, LTL (Linear Temporal Logic), es un subconjunto decidible de la lógica de predicados.

$$\begin{aligned} G (\text{rent} < 6\% \rightarrow & F ((\text{impacienta}(\text{dólar}) \wedge \text{sale}(\text{dólar}, \text{EEUU}) \\ & \rightarrow F (\text{sale}(\text{bandera}, \text{EEUU}) \rightarrow F \text{sale}(\text{soldados}, \text{EEUU})))) \end{aligned}$$

SOLUCIÓN por Olga C. Santos:

d)

- (a) Encadenamiento hacia delante: aconsejar acciones de guerra (parte de hechos que coteja con antecedentes de las reglas definidas para aconsejar acción(es) a partir de situación(es) detectada(s).
- (b) Encadenamiento hacia atrás: evalúa las órdenes recibidas del teleoperador en función de los hechos existentes (trata de demostrar si puede efectuarse, busca causa que haya motivado la orden)

Ejemplo:

Hechos	Reglas
<ul style="list-style-type: none">• Es de día• No se oyen disparos	R1: Es de día y no hay enemigos → inspeccionar camino R2: No se oyen disparos → no hay enemigos

Encadenamiento hacia delante: aconseja acciones de guerra

No se oyen disparos (base de hechos)

Satisface R2

No hay enemigos (hecho resultante de R2)

Es de día (base de hechos)

Satisface R1

Acción a realizar: inspeccionar camino

Encadenamiento hacia atrás: evaluar las órdenes recibidas del teleoperador

Objetivo: inspeccionar camino

Derivar R1

Es de día (hecho)

No hay enemigos

Derivar R2

No se oyen disparos (hecho)

Se cumplen los hechos: orden recibida es adecuada

Ejercicio 1, Semana 2. (Valoración: 2.5 puntos)

Explique detalladamente cada uno de los tres casos que pueden tener lugar en el algoritmo A* cuando se expande un nodo y se generan sus hijos. Haga énfasis en lo que ocurre en ABIERTA y en TABLA_A en los tres casos mencionados.

SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán y José Luis Aznarte Mellado:

Sólo pueden tener lugar tres casos al **expandir** el primer nodo n de ABIERTA en el algoritmo A* y **generar** cada uno de sus hijos/sucesores q . (Obsérvese que n es sacado de ABIERTA para su expansión.)

Caso 1)

Si q no estaba en TABLA_A, quiere decir que hemos generado un nodo nuevo en la búsqueda. Por tanto, hay que meter dicho nodo nuevo q en TABLA_A, marcar n como su mejor padre y calcular $g(q)$ sumando $g(n)$ y el coste del arco que une n con q . Además, a q se le asigna $h(q)$ y es introducido en ABIERTA según su valor de $f(q) = g(q) + h(q)$. Éste es el caso más sencillo de los tres.

Caso 2)

Si q estaba en TABLA_A y su lista de hijos/sucesores en dicha tabla es vacía, quiere decir que q había sido previamente generado pero no expandido. En este caso hay que estudiar si hay que rectificar $g(q)$, ya que se ha encontrado un nuevo camino desde q al nodo inicial, que podría mejorar el mejor camino actual entre q y el nodo inicial. En caso de que la rectificación de $g(q)$ se produzca finalmente, quiere decir que el mejor padre de q ha cambiado en TABLA_A o, dicho de otro modo de forma más gráfica, el enlace que une a q con su mejor padre actual ha sido reorientado hacia n .

Caso 3)

Si q estaba en TABLA_A y su lista de hijos/sucesores en dicha tabla es no vacía, quiere decir que q ya había sido expandido anteriormente. En este caso, al igual que en el caso 2), hay que estudiar si hay que rectificar $g(q)$; en caso afirmativo, habría que repetir los pasos descritos en el caso 2) y, además, pasar a estudiar si hay que rectificar el valor de g de los hijos de q (y así recursivamente hasta que no queden más descendientes de q en TABLA_A que haya que estudiar para una posible rectificación de su valor de g). Éste es el caso más complejo de los tres.

Nótese que en cualquiera de los tres casos anteriores siempre hay que añadir q como hijo de n en TABLA_A.

Por último, obsérvese que, mientras que los valores de g pueden cambiar a lo largo del proceso de búsqueda, los valores de h los da el experto y no cambian. A* utiliza una función heurística f para ordenar ABIERTA que tiene la forma: $f = g + h$.

Ejercicio 2, Semana 2. (Valoración: 2.5 puntos)

Describe detalladamente y ponga ejemplos ilustrativos de los tipos de propiedades de conceptos existentes en un sistema de marcos.

SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán y José Luis Aznarte Mellado:

En un sistema de marcos, cada concepto puede constar de dos tipos de propiedades: de clase y de instancia.

Las *propiedades de clase* representan atributos o características genéricas de un concepto o clase. Estas propiedades se definen y rellenan en los marcos clase y toman el mismo valor en todas las instancias de un mismo marco clase. Tal como se muestra en la figura 4.16 del texto base, la propiedad “animal-racional” del marco clase “Persona” y la propiedad “sexo” de los marcos clase “Hombre” y “Mujer” son propiedades de clase.

Las *propiedades de instancia* representan atributos o características particulares de un ejemplo de un concepto (o instancia). Estas propiedades se definen en los marcos clase y se pueden rellena con valores específicos diferentes en cada una de las instancias. En la figura 4.16 del texto base, las propiedades “nombre”, “edad”, “nacionalidad”, “estado-civil”, “tipo-de-matrimonio”, “religión”, “fecha-de-boda” y “fecha-de-nacimiento” son propiedades de instancia del marco clase “Persona”. No es necesario rellena en cada instancia todas las propiedades de instancia que hereda de marcos clase, ya que el valor de ciertas propiedades de instancia podría ser desconocido por el ingeniero de conocimiento o podría duplicar información ya contenida en el sistema.

Al definir las propiedades de clase y de instancia en los marcos clase, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones adicionales:

- La distribución de propiedades en un sistema de marcos debe favorecer la compartición de las propiedades comunes entre marcos.
- Las propiedades definidas en cada marco deben proporcionar información suficiente para determinar el concepto representado por el marco.
- El nombre de cada propiedad refleja su semántica.
- Puede haber propiedades con el mismo nombre en marcos diferentes.
- En un marco clase se puede definir una propiedad de instancia utilizando otro marco clase.

Ejercicio 3, Semana 2. (Valoración: 5 puntos)

A continuación se proporciona la especificación, a grandes rasgos, de un sistema que sería interesante implementar aplicando técnicas de Inteligencia Artificial:

El monólogo humorístico está en auge. Es un espectáculo cómico donde el monologuista interpreta un texto que trata temas cotidianos o de actualidad. Un robot-cómico podría inventar e interpretar un monólogo apoyándolo con sonidos inarticulados y lenguaje corporal. El monólogo es una mezcla de teatro y narración que responde a ciertos patrones característicos de estructuras argumentativas. La esencia del monólogo reside en la defensa de una tesis (disparatada) a través de una serie de argumentos (aún más atolondrados). La ironía, la metáfora, los juegos de palabras, la exageración, la aparición del registro coloquial en medio de un asunto serio... conllevan un efecto humorístico. En cada rasgo de humor subyace un conflicto ligado a la condición humana.

Es muy importante la complicidad con el espectador, al que continuamente se interpela en busca de consenso. Son habituales las preguntas retóricas, el cambio de persona (del yo al tú) para contar una situación supuestamente personal. El público reacciona, se sorprende, se ruboriza, se ríe en una parte de un chiste mientras en otra permanece inmóvil. A veces conviene avanzar la historia rápido o bien ir despacio para aumentar el suspense. El ritmo de interpretación, la dicción, la respiración, las pausas, el tono y timbre de voz, los desplazamientos por el escenario, las miradas... son claves del efecto cómico que deben adaptarse en función de la audiencia.

a) Defina una arquitectura de componentes para el sistema descrito, y proponga paradigmas (simbólico, conexionista, situado o mixto) y/o técnicas específicas de la Inteligencia Artificial para abordar el desarrollo de los componentes identificados, justificando brevemente su propuesta. (Puntuación máxima: 1.5).

b) Represente mediante lógica de predicados o de primer orden la siguiente regla para la construcción de un monólogo (puntuación máxima: 1):

“El chiste más gracioso tiene que estar al final del monólogo. El segundo más gracioso al principio. El tercero justo antes del último, el próximo después del primero, y así sucesivamente”.

(Pista: se sugiere que la sentencia contenga una cláusula referida al ordenamiento de la primera mitad de chistes y otra cláusula referida al ordenamiento de la segunda mitad).

c) Imagine un monólogo cuyo tema es “el trabajo”. En un momento dado el robot-cómico se dirige a un miembro del público y mantiene con él la siguiente conversación:

Robot-Cómico: ¿Usted en qué trabaja?

Miembro del público: En la banca

Robot-Cómico: Qué casualidad, yo trabajé en la banca. Pasé por varias sucursales y lo tuve que dejar por el estrés. Entraba en el banco, me falta el aire, respiraba mal, veía como con puntitos...Yo no sé si es que me ponía el panty muy apretado en la cabeza...

[Espera fin de risas del público]

¿Y qué instrumental usa en su trabajo?

Miembro del público: Un PC.

Robot-Cómico: Hablando de PCs, ¡qué bonita aquella canción “pero mira cómo beben los PCs en el río”...! Ja Ja Ja

[Espera fin de risas del público]

¿Qué le ha parecido el juego de palabras?.

Miembro del público: Una estupidez.

Robot-Cómico: Lo siento, soy así. Yo sumo dos mas dos y me dan decimales.

[Espera fin de risas del público]

Por cierto, ¿sabe cómo dejar a un estúpido intrigado?

Miembro del público: No.

Robot-cómico. Mañana se lo cuento.

[Espera fin de risas del público]

[Dirigiéndose al resto del público simulando un susurro]: “De enero a enero el banquero hace dinero...”

Describa los componentes de un sistema basado en reglas capaz de mantener la conversación anterior, adaptándose a las respuestas del miembro del público. Especifique las reglas que considere necesarias e indique con qué tipo de encadenamiento se utilizarían. Reflexione sobre los costes computacionales implicados. (Puntuación máxima: 1.5)

d) Argumente, ilustrando su argumento con ejemplos de modelado, qué tipo de lógica/s considera más adecuada/s para representar las siguientes reglas (puntuación máxima: 1):

Si una parte considerable del público es infantil no se incluirán chistes subidos de tono y se incluirá un número significativo de chistes blancos.

Si el público apenas se ríe con el primer chiste escatológico, no se volverá a interpretar ningún chiste escatológico.

El número de chistes de humor negro siempre será moderado.

SOLUCIÓN por Angeles Manjarrés:

a)

La respuesta a esta pregunta se obtiene trasladando la respuesta al ejercicio 3 de la Semana 1 al dominio del robot cómico. Todas las consideraciones generales sobre arquitecturas híbridas de robots y paradigmas y técnicas adecuadas podrían incluirse aquí.

En cuanto a las peculiaridades del robot cómico, en este caso las representaciones simbólicas internas que manejaría describirían el escenario en que deberá moverse (espacio físico, mobiliario...) y posibles modelos del público (composición en términos de cultura y edad) y del ambiente (en términos de niveles de risas, aplausos, interpelaciones, gestos faciales y corporales... que sirvan para caracterizar respuestas más o menos entusiastas a los chistes). En cuanto a sistemas de percepción, en este caso bastaría con sensores auditivos y sonoros. Su procesamiento requeriría técnicas de visión artificial para el reconocimiento de emociones a partir de expresiones faciales, y posiblemente otras técnicas características de los sistemas de "inteligencia ambiental" y "computación afectiva" (sistemas inteligentes sensibles a los parámetros biológicos de los humanos con el fin de identificar sus necesidades y adaptar su entorno en consecuencia). También sería necesario utilizar técnicas de procesamiento del lenguaje natural para poder dialogar con el público ya que, aunque el robot conteste siempre con respuestas estereotipadas, es preciso que reconozca las palabras clave que disparan dichas respuestas.

En lo que respecta al componente razonador, el robot funcionaría en modo reactivo (paradigma conexionista-situado) para desplazarse por el escenario y ajustar su lenguaje corporal, gestual, tono de voz, ritmo, etc en función de la respuesta del público. En el modo deliberativo el robot inferiría sus actuaciones e iría construyendo los monólogos en base a un sistema basado en reglas que reflejaría la pericia de los humoristas y la teoría (tentativa e incompleta) del sentido del humor. La base de hechos de este sistema se actualizaría dinámicamente con las descripciones del público y del ambiente, y los registros del curso del monólogo y de las conversaciones mantenidas con el público. El sistema accedería a bases de datos de chistes, frases hechas y juegos de palabras clasificados por temas y público receptor idóneo; por ejemplo, podría acceder a repositorios web y seleccionar frases chistosas de actualidad haciendo uso de minería de textos.

Finalmente, mediante aprendizaje computacional sería posible beneficiarse de la experiencia de cada actuación registrando los chistes y estrategias humorísticas en general más exitosas, función de las características del público y las diferentes evoluciones de los monólogos.

b)

Solución 1

En esta solución es más fácil suponer que los chistes se ordenan por gracia en orden decreciente.

- Si un chiste se cuenta en la primera mitad de la actuación en posición temporal i , el chiste siguiente en el orden decreciente de gracia se contará en la posición temporal $n - i$:

$$\forall c \in \text{Chistes} \ (\ 1 \leq \text{posicion}(c, \text{ordenTemp}) < n/2 - 1$$

$$\rightarrow \text{posicion}(\text{sucesor}(c, \text{ordenGracia}), \text{ordenTemp}) = n - \text{posicion}(c, \text{ordenTemp}) \)$$

- Si un chiste se cuenta en la segunda mitad de la actuación en posición temporal i , el chiste siguiente en el orden decreciente de gracia se habrá contado en la posición temporal $n + 1 - i$:

$$\forall c \in \text{Chistes} \ (\ n/2 + 1 < \text{posicion}(c, \text{ordenTemp}) \leq n$$

$$\rightarrow \text{posicion}(\text{sucesor}(c, \text{ordenGracia}), \text{ordenTemp}) = n + 1 - \text{posicion}(c, \text{ordenTemp}) \)$$

Solución 2

En esta solución es más fácil suponer que los chistes se ordenan por gracia en orden decreciente.

- Para los chistes de la primera mitad de la actuación el chiste siguiente en el orden temporal siempre es el chiste que va después del siguiente en el orden decreciente de gracia:

$$\forall c \in \text{Chistes} \ (\ 1 \leq \text{posicion}(c, \text{ordenTemp}) < n/2 - 1$$

$$\rightarrow \text{sucesor}(c, \text{ordenTemp}) = \text{sucesor}(\text{sucesor}(c, \text{ordenGracia}), \text{ordenGracia}) \)$$

- Para los chistes de la segunda mitad de la actuación el chiste previo en el orden temporal siempre es el chiste que va después del siguiente en el orden decreciente de gracia:

$$\forall c \in \text{Chistes} \ (\ n/2 + 1 < \text{posicion}(c, \text{ordenTemp}) \leq n$$

$$\rightarrow c = \text{sucesor}(\text{sucesor}(\text{sucesor}(c, \text{ordenGracia}), \text{ordenGracia}), \text{ordenTemp}) \)$$

- El último chiste es el más gracioso:

$$\forall c \in \text{Chistes} \ (\ \text{posicion}(c, \text{ordenTemp}) = n \rightarrow \text{posicion}(c, \text{ordenGracia}) = 1 \)$$

Solución 3

En esta solución suponemos que los chistes se ordenan por gracia en orden decreciente.

- Los chistes par (en el orden decreciente de gracia) se cuentan en orden decreciente de gracia:

$$\forall c \in \text{Chistes} \ (\ \text{posicion}(c, \text{ordenGracia}) \% 2 = 0$$

$$\wedge \text{posicion}(\text{siguienteChistePar}, \text{ordenGracia}) = \text{posicion}(c, \text{ordenGracia}) + 2$$

$$\rightarrow \text{posicion}(c, \text{ordenTemp}) < \text{posicion}(\text{siguienteChistePar}, \text{ordenTemp}) \)$$

o bien con la función “sucesor”

$$\forall c \in \text{Chistes} \ (\ \text{posicion}(c, \text{ordenGracia}) \% 2 = 0$$

$$\rightarrow \text{posicion}(c, \text{ordenTemp}) < \text{posicion}(\text{sucesor}(\text{sucesor}(c, \text{ordenGracia}), \text{ordenGracia}), \text{ordenTemp}) \)$$

- Los chistes impar (en el orden decreciente de gracia) se cuentan en orden creciente de gracia:

$$\begin{aligned} & \forall c \in \text{Chistes} \quad (\text{posicion}(c, \text{ordenGracia}) \% 2 \neq 0 \\ & \wedge \text{posicion}(\text{siguienteChisteImpar}, \text{ordenGracia}) = \text{posicion}(c, \text{ordenGracia}) + 2 \\ & \rightarrow \text{posicion}(\text{siguienteChisteImpar}, \text{ordenTemp}) < \text{posicion}(c, \text{ordenTemp}) \end{aligned}$$

o bien con la función “sucesor”

$$\begin{aligned} & \forall c \in \text{Chistes} \quad (\text{posicion}(c, \text{ordenGracia}) \% 2 \neq 0 \\ & \rightarrow \text{posicion}(\text{successor}(\text{successor}, \text{ordenGracia}), \text{ordenGracia}), \text{ordenTemp}) < \text{posicion}(c, \text{ordenTemp}) \quad) \\ - & \text{Cualquier chiste par se cuenta antes de cualquier chiste impar:} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \forall c, c' \in \text{Chistes} \quad (\text{posicion}(c, \text{ordenGracia}) \% 2 = 0 \wedge \text{posicion}(c', \text{ordenGracia}) \% 2 \neq 0 \\ & \rightarrow \text{posicion}(c, \text{ordenTemp}) < \text{posicion}(c', \text{ordenTemp}) \quad) \end{aligned}$$

Otra formulación más matemática de esta solución:

Tenemos un conjunto de chistes ordenados por gracia, es decir, hay una relación de orden entre ellos, denotémosla $<_g$. El orden en el que se cuentan los chistes del conjunto define otra relación de orden entre ellos, denotémosla $<_t$. Denotemos $\{\text{chiste}_i^{<_g}\}_{i=1}^n$ la secuencia de chistes en orden de gracia (decreciente) y $\{\text{chiste}_i^{<_t}\}_{i=1}^n$ la secuencia de chistes en orden temporal.

- Los chistes par (en el orden decreciente de gracia) se cuentan en orden decreciente de gracia:

$$i \% 2 = 0 \rightarrow \text{chiste}_i^{<_g} <_t \text{chiste}_{i+2}^{<_g}$$

- Los chistes impar (en el orden decreciente de gracia) se cuentan en orden creciente de gracia:

$$i \% 2 \neq 0 \rightarrow \text{chiste}_{i+2}^{<_g} <_t \text{chiste}_i^{<_g}$$

- Cualquier chiste par se cuenta antes de cualquier chiste impar:

$$\forall j, k \quad (j \% 2 = 0 \wedge k \% 2 \neq 0 \rightarrow \text{chiste}_j^{<_g} <_t \text{chiste}_k^{<_g})$$

Solución 4

Basada en el concepto de lista y sus operaciones habituales.

Siendo L_g la lista ordenada de chistes por orden de gracia y L_t la lista de chistes en el orden en que se cuentan en la actuación:

$$\begin{aligned} & \text{ordenada}(L_g, L_t) \wedge \text{cabeza}(L_g, c_1) \wedge \text{cola}(L_g, L_g') \wedge \text{cabeza}(L_g', c_2) \wedge \text{cola}(L_g', L_g'') \leftrightarrow \\ & \text{cabeza}(L_t, c_2) \wedge \text{cabeza}(L_t', c_1) \wedge \text{ordena}(L_g'', L_t'') \wedge \text{cola}(L_t, L_t') \wedge \text{cola}(L_t', L_t'') \wedge \text{inversa}(L_t, L_t') \\ & \wedge \text{inversa}(L_t', L_t'') \wedge \text{inversa}(L_t'', L_t''') \end{aligned}$$

c)
Los componentes de un sistema basado en reglas son:

- La base de hechos. En este caso contiene chistes y juegos de palabras catalogados que se utilizarán según evolucione el monólogo, y las respuestas de los miembros del público interpelados.
- La base de reglas: define la secuenciación de preguntas, elección de chistes, y respuestas que permiten al robot establecer conversaciones con miembros del público.
- El motor de inferencia.

El siguiente conjunto de reglas podría servir para entablar conversaciones con miembros del público en el contexto de distintos monólogos. El robot hace una pregunta inicial relacionada con el tema del monólogo. Dependiendo de la respuesta, hace un chiste relacionado, espera el fin de las risas y hace una segunda pregunta relacionada con el tema del monólogo. Dependiendo de esta segunda respuesta hace un juego de palabras relacionado, espera el fin de las risas y pregunta “¿Qué le ha parecido el juego de palabras?”. Si el miembro del público responde con un término insultante el robot dice “Lo siento, soy así...ja ja ja”, espera el fin de las risas y dice “Por cierto...” (utilizando el término insultante en cuestión). Ante la respuesta “No” contesta “Mañana se lo cuento”. Finalmente termina con un dicho relacionado con la respuesta a la primera pregunta. En el caso de un monólogo que tratase sobre turismo, p.e., las preguntas podrían ser tales como “¿cuál es el último país que visitó” o “¿en qué medio de transporte viajó?”. La base de hechos podría contener los numerosos chistes, juegos de palabras o dichos que existen sobre países y medios de locomoción.

R1: SI (monólogo ?t) \wedge (pregunta_inicial ?t ?p) ENTONCES (robot_dice ?p)

R2: SI (respuesta_inicial ?t ?r) \wedge (chiste ?r ?c) \wedge (segunda_pregunta ?t ?p) ENTONCES (robot_dice ? c) \wedge espera_risa \wedge (robot_dice ?p)

R3: SI (respuesta_segunda ?t ?r) \wedge (juego_palabras ?r ?j)) ENTONCES (robot_dice ? j) \wedge espera_risa \wedge (robot_dice ¿Qué le ha parecido el juego de palabras?)

R4: SI (respuesta_juego ?t ?r) \wedge (insulto ?r) \wedge (salida_insulto ?s) ENTONCES (robot_dice ? s) \wedge robot_espera_risa \wedge (robot_dice Por cierto, ¿sabe cómo dejar a un) \wedge (robot_dice ¿ r) \wedge (robot_dice intrigado?)

R5: SI (respuesta_final ?t no) \wedge (dicho ?t ?d) ENTONCES (robot_dice Mañana se lo cuento) \wedge espera_risa \wedge (robot_dice d) \wedge (Fin)

Ejemplo de hechos en la base de hechos cuando se inicia la conversación con el miembro del público:

*(monólogo Trabajo),
(pregunta_inicial Trabajo ¿Usted en qué trabaja?),
(segunda_pregunta Trabajo ¿Y qué instrumental usa en su trabajo?),
(chiste Banca Qué casualidad,...),
(juego_palabras PC Hablando de PCs ...),
(insulto estúpido)
(salida_insulto Lo siento, soy así...ja ja ja),
(dicho Banca De enero a enero ...).*

Entendemos que las respuestas del miembro del público se van añadiendo a la base de hechos: la primera respuesta como (respuesta_inicial Trabajo En la banca), la segunda respuesta como (respuesta_segunda Trabajo Un PC), la tercera respuesta como (respuesta_juego Trabajo Una estupidez) y la última respuesta como (respuesta_final Trabajo no).

El encadenamiento que generará la conversación es un encadenamiento hacia adelante, ya que la inferencia opera comprobando las condiciones de las reglas y deduciendo los consecuentes. Asumimos el principio de refracción (una regla disparada no vuelve a dispararse), y una estrategia de selección de reglas consistente en que se selecciona siempre la regla aplicable de menor número. De este modo solo es necesario comparar una regla con la base de hechos en cada paso de la conversación, operación con

un bajo coste computacional. Un tamaño grande de la base de hechos podría acarrear costes computacionales elevados, pero estos pueden minimizarse p.e., aplicando el algoritmo RETE.

SOLUCIÓN por Olga C. Santos:

d)

Se pretendía que el estudiante identificara la necesidad de utilizar lógica borrosa para modelar el conocimiento impreciso de algunas de las variables mencionadas en las reglas planteadas, como “público infantil”, “número significativo de chistes blancos”, “apenas se ríe”, “moderado” indicando la función de pertenencia, así como el uso de lógica temporal para modelar “no se volverá a interpretar ningún chiste escatológico”. No obstante, se han puntuado otras opciones cuando la argumentación estaba fundamentada.

Universidad Nacional de Educación a Distancia

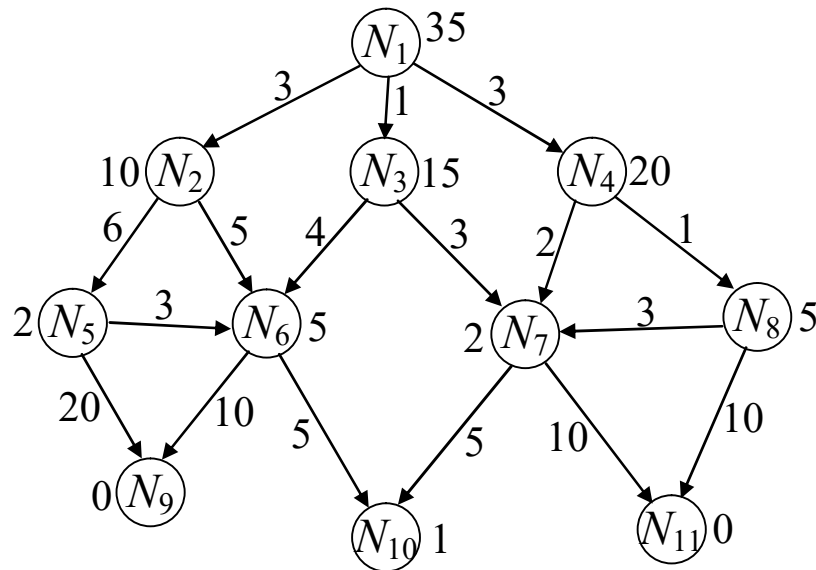
Grado en Ingeniería Informática
y
Grado en Ingeniería en Tecnologías de la Información

Asignatura: ***Fundamentos de Inteligencia Artificial*** (2º curso)

Soluciones exámenes **Septiembre 2015**

Ejercicio 1. (Valoración: 2.5 puntos)

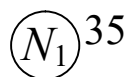
Considere el grafo de la figura, donde el nodo inicial es N_1 y los nodos meta son N_9 y N_{11} . Cada arco lleva asociado su coste y en cada nodo aparece la estimación de la menor distancia desde ese nodo a una meta. Aplicar paso a paso el algoritmo A* al grafo dado.



SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán y José Luis Aznarte Mellado:

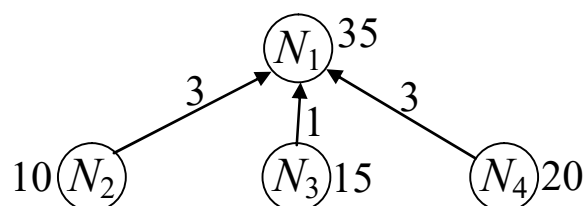
De cara a ilustrar la respuesta convenientemente, incluimos la información sobre TABLA_A gráficamente. Para ello es necesario trazar, para cada nodo generado en una expansión, un arco ascendente a su padre expandido; además, hay que anotar para cada nodo su mejor padre encontrado hasta el momento. De esta manera, siguiendo cada arco al mejor padre, se puede saber cuál es el mejor camino encontrado hasta el momento desde cada nodo al nodo inicial. Además, los arcos ascendentes que llegan a un nodo ya expandido lo enlazan a sus nodos hijos.

- **PASO 0.** El nodo inicial N_1 es introducido en ABIERTA y en TABLA_A, con lo que tenemos la siguiente situación:



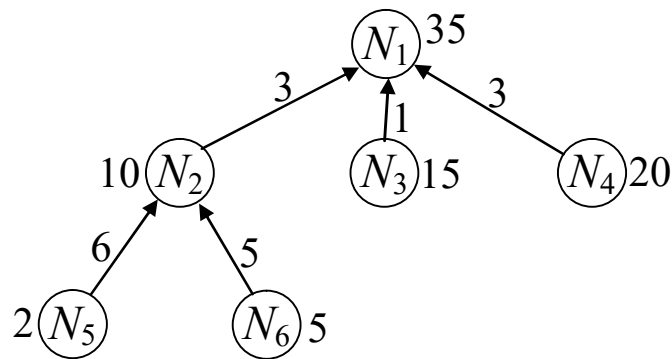
ABIERTA = $\{N_1(0+35)\}$

- **PASO 1.** Expandimos el nodo N_1 de ABIERTA. Tras la expansión, la situación es la siguiente:



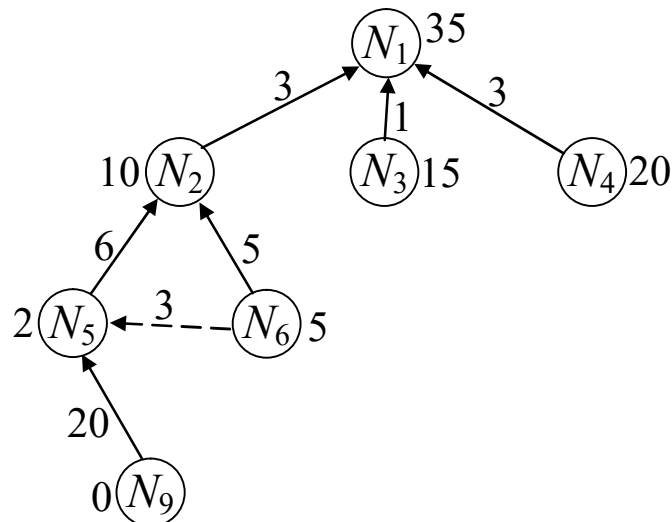
ABIERTA = $\{N_2(3+10), N_3(1+15), N_4(3+20)\}$

- **PASO 2.** Expandimos N_2 por ser el nodo de ABIERTA con menor valor de la función de evaluación heurística, $f=g+h$ (al ser $g=3$ y $h=10$).



ABIERTA = $\{N_5(9+2), N_6(8+5), N_3(1+15), N_4(3+20)\}$

- **PASO 3.** Expandimos N_5 .

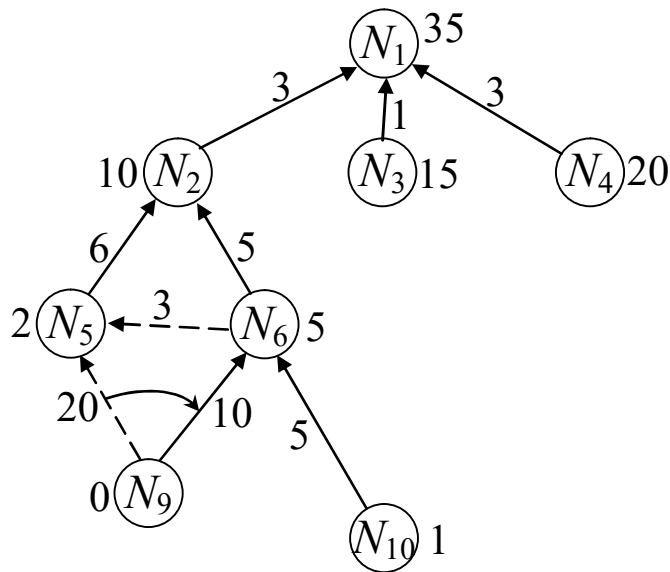


ABIERTA = $\{N_6(8+5), N_3(1+15), N_4(3+20), N_9(29+0)\}$

Observe que el mejor camino desde N_6 al nodo inicial lo marca su padre N_2 (coste $5+3=8$) y no su padre N_5 (coste $3+6+3=15$). Por ello, el arco ascendente de N_6 a N_2 se marca con trazo continuo y el arco ascendente de N_6 a N_5 se marca con trazo discontinuo.

Es importante darse cuenta que el conjunto de arcos con trazo continuo formará siempre un árbol en el grafo parcial de búsqueda desarrollado hasta el momento.

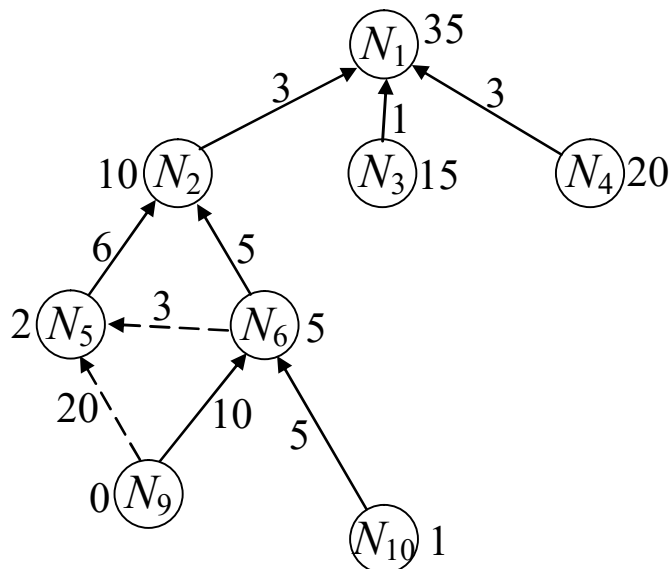
- **PASO 4.** Expandimos N_6 .



ABIERTA = $\{N_{10}(13+1), N_3(1+15), N_9(18+0), N_4(3+20)\}$

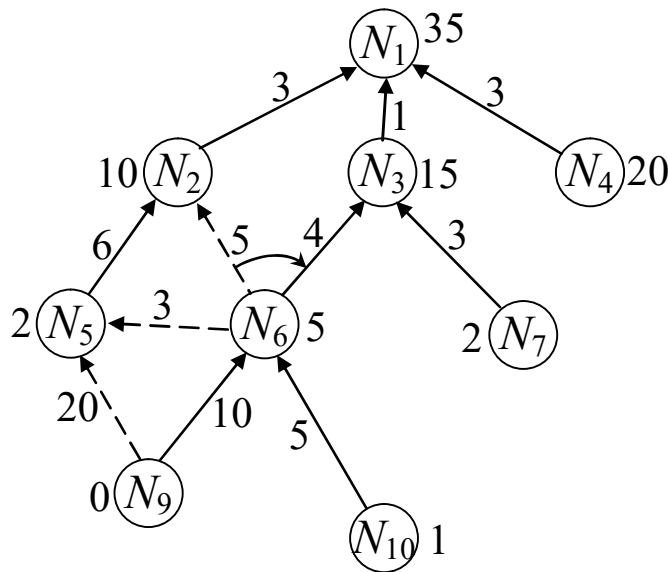
Observe que ha habido una reorientación del mejor padre de N_9 , que antes era N_5 y ahora pasa a ser N_6 . El nuevo coste de N_9 al nodo inicial es $10+5+3=18$, que se puede calcular a partir de los costes de los mejores arcos ascendentes hallados hasta el momento: $N_9 \rightarrow N_6$, $N_6 \rightarrow N_2$ y $N_2 \rightarrow N_1$.

- **PASO 5.** Expandimos N_{10} .



ABIERTA = $\{N_3(1+15), N_9(18+0), N_4(3+20)\}$

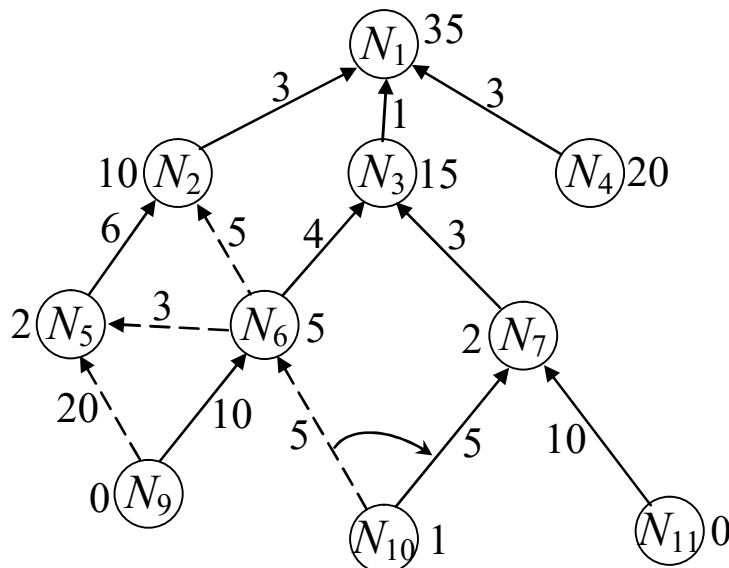
- **PASO 6.** Expandimos N_3 .



$$\text{ABIERTA} = \{N_7(4+2), N_9(15+0), N_4(3+20)\}$$

Observe que ha habido una reorientación del mejor padre de N_6 , que antes era N_2 y ahora pasa a ser N_3 . El nuevo coste de N_6 al nodo inicial es $4+1=5$, que se puede calcular a partir de los costes de los mejores arcos ascendentes hallados hasta el momento: $N_6 \rightarrow N_3$ y $N_3 \rightarrow N_1$.

- **PASO 7.** Expandimos N_7 .



$$\text{ABIERTA} = \{N_{11}(14+0), N_9(15+0), N_4(3+20)\}$$

Observe que ha habido una reorientación del mejor padre de N_{10} , que antes era N_6 y ahora pasa a ser N_7 . El nuevo coste de N_{10} al nodo inicial es $5+3+1=9$, que se puede calcular a partir de los costes de los mejores arcos ascendentes hallados hasta el momento: $N_{10} \rightarrow N_7$, $N_7 \rightarrow N_3$ y $N_3 \rightarrow N_1$.

- **PASO 8.** Expandimos N_{11} y alcanzamos una meta, con lo que el algoritmo termina. El camino solución es: $N_{11} \rightarrow N_7 \rightarrow N_3 \rightarrow N_1$, cuyo coste es 14.

Ejercicio 2. (Valoración: 2.5 puntos)

Explique detalladamente en qué consiste el proceso de inferencia mediante equiparación en marcos.

SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán y José Luis Aznarte Mellado:

Una de las técnicas de inferencia que se utiliza en marcos es la equiparación para clasificar entidades en la base de conocimiento. Esta técnica de inferencia **consiste** en clasificar un marco-pregunta según la jerarquía de marcos, una vez conocidos los valores de un conjunto de propiedades del marco-pregunta. Como resultado de la equiparación se obtienen los marcos clase que describen más consistentemente el marco-pregunta, de manera que el marco-pregunta pasaría a ser considerado como un marco instancia de dichos marcos clase. Algunos **ejemplos** del mundo real de aplicaciones de este tipo de inferencia son: un sistema de clasificación de bacterias según una taxonomía, un sistema de diagnóstico médico o un sistema de clasificación de fallos en un entorno industrial, entre otros muchos.

La equiparación de un marco-pregunta raramente resulta perfecta debido a la posible presencia de los siguientes **inconvenientes**:

- (1) Las propiedades conocidas del marco-pregunta se pueden encontrar distribuidas por varios marcos de la base de conocimiento.
- (2) Sólo se pueden conocer los valores de un pequeño subconjunto de las propiedades del marco-pregunta.
- (3) Los valores conocidos del marco-pregunta pueden tener asociado un grado de seguridad y, por tanto, pueden ser inciertos.
- (4) La información aportada por cada propiedad puede ser diferente.
- (5) Los valores por omisión asignados a las propiedades de los marcos clase no son siempre válidos para todas las instancias, ya que se pueden dar excepciones.

Puesto que se pueden obtener varias equiparaciones correctas de un marco-pregunta con marcos clase, el proceso de equiparación en marcos consta de tres **etapas**:

(1) SELECCIÓN DE MARCOS CANDIDATOS

Se pueden establecer dos casos diferentes:

- (a) Si el tipo del marco-pregunta es conocido (por ejemplo, “perro”), se pueden seleccionar el marco clase que define dicho tipo (marco “Perro”) y todas sus subclases (por ejemplo, la subclase “Mastín”, pero nunca la superclase “Mamífero”).
- (b) Si el tipo del marco-pregunta es desconocido, se eligen aquellos marcos clase en los que exista definida al menos una propiedad conocida en el marco-pregunta.

(2) CÁLCULO DE VALORES DE EQUIPARACIÓN

Una vez seleccionados los marcos clase candidatos, a cada uno se le asigna un “valor de equiparación” con el marco-pregunta, que representa el grado de idoneidad de la comparación. El ingeniero de conocimiento se encarga de diseñar la fórmula para el cálculo de los valores de equiparación, dependiendo del tipo de aplicación. En cualquier caso, si los valores de una propiedad en el marco-pregunta no coinciden o no están incluidos en los valores almacenados de la clase, entonces el valor de equiparación puede ser cero si la propiedad es esencial; si la propiedad no es esencial, se podría simplemente disminuir el valor de equiparación. Por otro lado, en caso de que los valores de la propiedad en el marco-pregunta coincidan con los valores de la propiedad en la clase, se aumentará el valor de equiparación proporcionalmente al grado en que dicha propiedad resulte esencial.

(3) DECISIÓN

Una vez calculados los valores de equiparación, hay que decidir con qué marcos clase se equipara finalmente el marco-pregunta. Si el valor de equiparación es lo suficientemente alto y el marco clase es lo suficientemente específico, entonces no se buscarán otros marcos y se convertirá el marco-pregunta en una instancia del marco clase correspondiente. En caso de que el valor de equiparación no sea lo suficientemente alto o de que el marco no sea lo suficientemente específico, habrá que identificar marcos relevantes mediante cualquiera de los métodos siguientes:

- (a) Ascender a lo largo de la jerarquía de marcos hasta encontrar una equiparación relevante.
- (b) Comenzar en el marco raíz y seleccionar en cada nivel el marco con el mejor valor de equiparación.
- (c) Buscar marcos relacionados utilizando las relaciones: “Fraternal”, “Disjunto”, “No-Disjunto” o *ad-hoc*.

Ejercicio 3. (Valoración: 5 puntos)

A continuación se proporciona la especificación, a grandes rasgos, de un sistema que sería interesante implementar aplicando técnicas de Inteligencia Artificial:

Cuando el coche del futuro funcione en modo piloto automático el conductor podrá aprovechar el tiempo de viaje para trabajar o relajarse. Esta posibilidad solo existirá en principio para la conducción en autopista, entorno de conducción menos complejo: no hay tráfico en sentido contrario, ni tampoco cruces, peatones o semáforos. El auto deberá controlar, sobre todo, el entorno frontal, con el fin de mantener la distancia con los vehículos que van delante. Será capaz de frenar y acelerar para cambiar de ritmo y adaptarse a los flujos del tráfico. Si hay un imprevisto, como un fallo técnico o una incidencia de tráfico que el coche no sepa resolver, reclamará la intervención humana.

Fuera de autopista incluirá también sistemas de frenada autónoma de emergencia. El coche alertará primero al conductor y frenará parcialmente, pero solo aplicará la máxima fuerza de detención si éste no reacciona (por somnolencia o distracciones) y el impacto es ya inevitable. Si detecta que no hay espacio suficiente para frenar y evitar el accidente, frenará el máximo tiempo posible y después girará el volante para realizar una maniobra de esquivar en el último momento. Será capaz de vigilar las acciones del conductor y, basándose en anteriores experiencias, avisarlo antes de que realice una acción que pueda provocar un accidente (p.e. un cambio involuntario de carril). Se basará en que cuando conducimos realizamos gestos inconscientes que delatan nuestras intenciones (mover la cabeza ligeramente hacia donde vamos a girar o presionar los labios previamente a un cambio de carril).

El coche del futuro será parte de un gran sistema de telecomunicaciones, donde parte importante de su responsabilidad será comunicar datos, que se utilizarán para ofrecer una experiencia personalizada a los conductores. Se conectará a servidores que ayudarán a los conductores a llegar a su destino evitando atascos, proporcionará información en tiempo real sobre el rendimiento del coche y sus emisiones, avisará a los servicios de emergencia en caso de accidente... También podrá avisar a la policía cuando estando el coche aparcado le aparquen otro coche delante en doble fila.

Finalmente, incluirá un copiloto digital operado por voz que descuelgue el móvil y lea los WhatsApp.

a) Defina una arquitectura de componentes para el sistema descrito, y proponga paradigmas (simbólico, conexionista, situado o mixto) y/o técnicas específicas de la Inteligencia Artificial para abordar el desarrollo de los componentes identificados, justificando brevemente su propuesta. (Puntuación máxima: 1.5).

b) Para la representación de cada una de las reglas de conducción siguientes elija un tipo de lógica de entre éstas: modal, borrosa, de predicados o primer orden. Proporcione la correspondiente sentencia y justifique su elección (se valorará particularmente el uso de lógicas NO clásicas). Compare brevemente los tres tipos de lógicas en lo referente a sus propiedades de decibilidad. (Puntuación máxima: 2).

R1: Durante la noche se pondrá la luz de cruce si se circula a una distancia menor de 150 metros detrás de otro conductor.

R2: Dos luces amarillas alternativamente destellantes posiblemente indican que llegamos a un cruce regulado por semáforos.

R3: Está prohibido cambiar el sentido de la marcha si se aproxima un ciclista, o un animal o cualquier clase de ganado a menos de 15 metros, o un auto a menos de 25 metros.

c) Describa un sistema basado en reglas que implemente algún subsistema del coche inteligente. Resuma las ventajas y desventajas del encadenamiento hacia delante y hacia atrás en un sistema basado en reglas, desde el punto de vista del coste computacional (Puntuación máxima: 1.5).

SOLUCIÓN por Ángeles Manjarrés Riesco:

NOTA: La redacción de esta respuesta es más completa de lo que se requiere del alumno. Una síntesis de alrededor de una página de extensión sería suficiente para obtener la puntuación completa en este apartado.

a)

El coche inteligente semi-autónomo descrito es un robot móvil reactivo-deliberativo. Se trata de un sistema que interactúa en tiempo real con su entorno (constituido por el medio exterior en que se desplaza y el interior de la cabina que ocupa el conductor), percibiendo este entorno mediante sensores (externos: cámaras, sensores de luz, sonido y proximidad, radares para la medida de distancias y velocidades, barómetro, sensor de lluvia, detectores de señales de telefonía móvil, GPS, radio y televisión, sensores de emisiones...e internos: cámaras, micrófonos, termómetro, pulsómetro, detectores de movimiento y orientación, medidor de ritmo cardíaco, medidor de presión sanguínea, sensor de conductividad de la piel, sensor de tensión muscular - situados en el cuadro de mandos, el asiento, el cinturón, el espejo retrovisor...) y actuando sobre él mediante efectores (externos: elementos mecánicos para su desplazamiento o limpieza de parabrisas... e internos: transmisores de señales de alarma, altavoces, operador del teléfono móvil...). En función de sus percepciones cambiantes, el coche actuará tanto en forma reactiva (ajustando la conducción a las condiciones de tráfico locales, disparando alarmas, operando el teléfono móvil...) como deliberativa (analizando y prediciendo el comportamiento del conductor, planificando rutas...).

Los componentes idóneos son pues los característicos de una arquitectura híbrida, que implica los paradigmas situado, conexionista y simbólico:

Modelo del entorno

Distinguimos diferentes modelos:

- Un modelo del entorno inmediato externo contextual y cambiante en que se desplaza el coche, que se actualiza en tiempo real (en la memoria dinámica, a corto plazo) en función de las condiciones locales del tráfico, meteorológicas, etc.
- Un modelo cartográfico (mapas detallados) que incluye también información meteorológica y una descripción de las características de las carreteras, actualizable por satélite y necesario para la planificación de rutas. Una parte de este modelo tendrá una permanencia bastante alta (grabado en la memoria a largo plazo del sistema) mientras que otra representará aspectos más cambiantes (atascos, obras, circunstancias meteorológicas ...).
- Un modelo del conductor, inicializado en un conductor prototipo y que el coche inteligente va refinando a medida que registra regularidades en sus comportamientos (mediante aprendizaje computacional).

En el paradigma deliberativo tales modelos se expresarían mediante representaciones simbólicas (paradigma simbólico). En particular, estarían bien caracterizadas para su fácil identificación entidades relevantes para la conducción tales como semáforos o cruces, que podrían modelarse mediante marcos.

Sistema de percepción

El desplazamiento seguro requiere una vigilancia continua del entorno externo e interno del auto, recopilando datos mediante múltiples y diversos sensores (como los mencionados anteriormente), y organizando, integrando, procesando e interpretando estos datos para conocer las circunstancias (externas e internas) en que se realiza la conducción.

El auto funcionará prácticamente en modo reactivo fundamentalmente cuando se desplace por autopista, siguiendo la vía y posicionándose y adaptando su velocidad de forma automática en función de sus percepciones de la proximidad de otros vehículos. También en situaciones de frenado de emergencia, disparo de alarmas o avisos a la policía, o cuando opere el teléfono móvil. Otro tipo de percepciones requerirán un procesamiento más elaborado, esto es, una conducta deliberativa (interpretación de voz y gestos del conductor, planificación de rutas ...)

La interpretación de sonido, imágenes y configuraciones de datos sensoriales de las diferentes fuentes (internas y externas) puede realizarse en el contexto tanto del paradigma simbólico como del conexionista. En el caso simbólico se utilizarían representaciones explícitas de las entidades o escenarios que se busca reconocer. En el caso conexionista, el sistema clasificador (basado en redes neuronales, minería de datos o algoritmos genéticos) podría haber sido entrenado previamente para el reconocimiento de patrones con bancos de datos etiquetados (aprendizaje supervisado) o bien podría autosintonizarse identificando en tiempo real regularidades estadísticas en los datos (aprendizaje autoorganizativo, técnica de particular interés, p.e., para el aprendizaje de los hábitos del conductor). La incertidumbre en el etiquetado podría gestionarse haciendo uso de lógica borrosa. El procesamiento de imágenes (p.e., para la interpretación de expresiones faciales de emociones, fatiga...) requiere la aplicación de técnicas de visión artificial.

Asegurar la robustez y tolerancia a fallos mecánicos de los sensores es también un aspecto muy importante de este componente.

Razonador

Capacita al auto para planificar rutas, adaptarse a las condiciones de la conducción, interpretar el comportamiento del conductor; y para decidir otras actuaciones como llamadas a la policía, solicitud de la intervención del conductor, etc. en función del entorno.

Según el paradigma híbrido clásico un robot primero planifica el conjunto de tareas a realizar, las descompone en subtareas, y selecciona comportamientos adecuados para realizar cada una de ellas, en algunos casos en modo reactivo. En los modelos actuales el nivel deliberativo no se utiliza para cambiar de modo deliberativo a modo reactivo sino que ambos funcionan en concurrencia ("modelo de comportamientos emergentes") si bien es necesaria una sincronización entre niveles.

La carga computacional que requiere el modo deliberativo en ocasiones hace las restricciones de tiempo real difíciles de cumplir. P.e, cuando el auto detectara una situación de riesgo de accidente sería necesaria una reacción rápida. Además, en general no es posible conocer a priori los efectos de los desplazamientos del auto en el flujo de tráfico en que está inmerso, lo que dificulta la planificación a largo plazo de los movimientos del vehículo. En el paradigma reactivo el entorno dirige completamente la acción, resolviéndose así los problemas de incertidumbre. Las percepciones pueden provocar acciones del robot de forma directa en base a unos patrones de asociación (percepciones-estado interno -> configuración-de-acciones) que sugieren el uso de técnicas conexionistas. No existen planificación ni razonamiento explícitos. El acceso y procesamiento de representaciones es mínimo y así pueden satisfacerse restricciones de tiempo real. Este enfoque economiza tamaño de memoria pero no permite realizar tareas complejas ni, en particular, hacer predicciones de hechos antes de que ocurran, en base a experiencias pasadas. Asegurar la seguridad de la conducción es el objetivo prioritario.

La deliberación tiene un mayor coste temporal y por tanto se utilizará cuando no se requieran tiempos de respuesta rápidos o un retardo de respuesta no suponga un resultado tan catastrófico como puede tenerlo el retardo en el nivel reactivo. Tal deliberación requerirá diferentes tipos de conocimiento experto: conocimiento del propio funcionamiento electromecánico para la detección de averías, heurísticas de buenas prácticas de conducción, de las normas de tráfico, de planificación de rutas óptimas en función de diversos condicionantes (condiciones meteorológicas, atascos, seguridad, rapidez, rutas de interés turístico...), de las reacciones habituales de un conductor humano y la casuística que puede presentarse durante la conducción... También requerirá un modelo predictivo que permita anticipar los movimientos de los otros vehículos.

El conocimiento experto podrá implementarse en el contexto de un paradigma simbólico, mediante sistemas basados en reglas con incorporación de técnicas de decisión probabilística multicriterio (redes bayesianas, teoría de juegos, algoritmos de búsqueda, redes semánticas; p.e. para la planificación de rutas) y lógicas NO clásicas (lógica no monotónica, lógica intuicionista, lógica multivaluada y borrosa, lógica modal espacial y temporal) al implicar modelos predictivos y cuestiones conjeturales y valorativas (p.e., el razonamiento ético, en el caso de que fuera preciso elegir entre la seguridad de los ocupantes del vehículo y la seguridad de eventuales peatones), en condiciones de conocimiento incierto e incompleto.

Mediante técnicas de aprendizaje computacional sería posible inferir automáticamente nuevas reglas a partir de la experiencia, que se añadirían a las proporcionadas por los expertos, y ajustar los parámetros de los modelos (aprendizaje simbólico o conexionista).

Las bases de hechos almacenaría información contextual (p.e., las condiciones meteorológicas, obras en la carretera, estado del conductor, información sobre los vehículos del entorno monitorizados...) y sobre el lugar de destino y requisitos o preferencias del conductor (p.e., si prefiere rutas de interés turístico).

Para la identificación del estado del conductor (concentración mental, atención visual y auditiva, sueño, cansancio, estado emocional...) será útil integrar percepciones procedentes de distintos sensores internos del auto y aplicar técnicas tanto conexionistas como simbólicas.

La planificación de rutas implicará la ponderación de alternativas y requerirá por tanto un análisis coste-beneficio y la resolución de tareas predictivas, de optimización, control y simulación. El componente de planificación de un robot móvil requiere subsistemas de planificación de alto nivel, navegación y pilotaje. El subsistema de planificación de alto nivel define la ruta que conduce al destino satisfaciendo los requisitos del conductor y dadas las restricciones cambiantes que impone el entorno. El subsistema de navegación define las trayectorias (planificación continua: p.e., mantenimiento de la distancia de seguridad; y táctica: p.e., elegir el carril más apropiado) en interacción con el subsistema cartográfico y dadas las condiciones del tráfico y las normas de conducción (posición centrada en el carril, mantenimiento de distancia de seguridad...). El subsistema de pilotaje recibe del módulo de navegación las trayectorias e interactúa con el subsistema electro-mecánico del coche, haciendo que siga las trayectorias.

Considerando el sistema en conjunto, con sus diferentes partes interconectadas, y dada la complejidad y el posible carácter distribuido del procesamiento y de los comportamientos resulta muy útil una visión en términos de sistema multiagentes (inteligencia artificial distribuida).

Sistema de ejecución

Descompone los planes de acción en comportamientos primitivos traducidos a instrucciones que ejecutan los emisores de señales (p.e., salida de audio para informar de acciones correctivas o dar recomendaciones al conductor, e.j, aviso de reducción de velocidad en curvas) y resto de dispositivos electro-mecánicos del coche. El componente ejecutivo puede realimentarse tanto del razonador deliberativo como del reactivo. La robustez y tolerancia a fallos mecánicos son asimismo aspectos cruciales de este componente.

b) Las tres reglas se han expresado mediante lógica de predicados y, adicionalmente, mediante lógicas no clásicas.

R1)

(i) Primer orden:

$luz-cruce-on \leftarrow es-de-noche \wedge \exists x (vehículo(x) \wedge distancia(x, d) \wedge d < 150$

(ii) Modal temporal de intervalos (esta solución es difícil de encontrar con las nociones que adquiere el alumno en la asignatura):

$es-de-noche \rightarrow [D] ((\exists x vehículo(x) \wedge distancia(x, d) \wedge d < 150) \rightarrow luz-cruce-on)$

$[D] = \neg \langle D \rangle \neg$, donde $\langle D \rangle$ es el operador “during” y $[D]$ es su operador dual. Como el significado del operador $\langle D \rangle$ es “es cierto durante un subintervalo”, el significado del operador dual es “no es cierto que no sea cierto durante ningún subintervalo”, lo que es lo mismo que “es cierto durante todo subintervalo”.

El significado de la sentencia anterior es pues: Durante la noche, en todo periodo de tiempo durante el cual se circule a una distancia menor de 150 metros de otro vehículo, las luces de cruce se mantendrán encendidas.

El uso de esta lógica es adecuada para expresar propiedades que tienen una cierta duración.

R2)

(i) Primer orden:

$\text{Se-detectan-luces-destellantes} \leftarrow (\exists x \text{ distancia}(x,d) \wedge d < \varepsilon \wedge \text{iluminado-destellante}(x) \wedge \text{cruce-regulado-por-semáforos}(x))$

(ii) Modal clásico:

$\text{Se-detectan-luces-destellantes} \rightarrow \Diamond (\exists x \text{ distancia}(x,d) \wedge d < \varepsilon \wedge \text{iluminado-destellante}(x) \wedge \text{cruce-regulado-por-semáforos}(x))$

La lógica modal clásica permite expresar hipótesis.

R3)

(i) Primer orden:

$\text{sensado-marcha-constante} \leftarrow (\exists x (((\text{ciclista}(x) \vee \text{animal}(x) \vee \text{ganado}(x)) \wedge \text{distancia}(x,d) \wedge d < 15)) \vee (\text{vehículo}(x) \wedge \text{distancia}(x,d) \wedge d < 25)))$

(ii) Modal clásico:

$\Box \neg \text{cambiar-sensado} \leftarrow (\exists x (((\text{ciclista}(x) \vee \text{animal}(x) \vee \text{ganado}(x)) \wedge \text{distancia}(x,d) \wedge d < 15)) \vee (\text{vehículo}(x) \wedge \text{distancia}(x,d) \wedge d < 25)))$

La lógica modal clásica permite también expresar el concepto de posibilidad.

(iii) Temporal:

$(\exists x (((\text{ciclista}(x) \vee \text{animal}(x) \vee \text{ganado}(x)) \wedge \text{acercándose}(x) \wedge \text{distancia}(x,d) \wedge d < 15))$

$\vee (\text{vehículo}(x) \wedge \text{acercándose}(x) \wedge \text{distancia}(x,d) \wedge d < 25))$

$\rightarrow \text{no-puede-cambiar-sensado}$

Donde:

$\text{acercándose}(x) \equiv \forall d_0 \text{ distancia}(x,d_0) \rightarrow X \text{ distancia}(x,d) \wedge d < d_0$

(donde X es el operador modal que se interpreta como “el próximo instante”)

La lógica temporal de puntos permite expresar propiedades dependientes del tiempo.

Con la lógica de primer orden es posible expresar gran cantidad de situaciones con enorme riqueza. Dado que la complejidad computacional de los métodos deductivos depende de la expresividad de las fórmulas, los métodos deductivos de la lógica de primer orden serán lógicamente más complejos que los de la lógica proposicional y modal. De hecho, el problema de la satisfactibilidad de la lógica de primer orden es indecidible, lo que significa que no existe un algoritmo que, para cualquier fórmula, sea correcto, completo y terminante.

La lógica proposicional es decidible. Las lógicas modales son extensiones de la lógica proposicional con mejores propiedades computacionales que la lógica de primer orden. No obstante, no todas las lógicas modales son decidibles. La más sencilla, la lógica K, es decidible. En lo que respecta a las lógicas temporales, que son variantes de la lógica K, para algunas existen métodos de deducción decidibles (por ejemplo, para las lógicas temporales basadas en puntos LTL y CTL*) y para otras no. Las lógicas de intervalos plantean más problemas de decidibilidad que las lógicas temporales basadas en puntos.

En el caso de la lógica borrosa, la satisfacibilidad de las fórmulas se define de forma diferente que en el caso de las lógicas monotónicas. Para este tipo de lógicas se han investigado algunos algoritmos para evaluar diferentes conceptos de satisfacibilidad, cuya complejidad computacional suele ser elevada.

SOLUCIÓN por Olga Santos Martín:

Existen diversos subsistemas del coche que puede implementarse con un SBR, como la conducción en autopista, el sistema de frenada autónoma de emergencia, etc.

Una vez identificado el subsistema a describir, hay que identificar las partes de que consta el SBR (base de conocimiento, base de hechos y motor de inferencia) y aplicarlo al subsistema elegido del coche, definiendo algunas reglas de la base de conocimientos y hechos establecidos en la memoria de trabajo y la aplicación de los modos de inferencia para seleccionar y ejecutar las reglas.

Desde el punto de vista computacional, el encadenamiento hacia delante explora todas las reglas, mientras que hacia atrás sólo explora las necesarias reduciendo el árbol de búsqueda (y por tanto, el tiempo de ejecución y uso de memoria), pero puede entrar en un bucle infinito. El encadenamiento hacia delante es más eficaz cuando hay muchas reglas con muchas condiciones en el antecedente, mientras que el encadenamiento hacia atrás es mejor cuando hay muchas reglas con consecuentes que son parte de antecedentes de otras reglas.

Universidad Nacional de Educación a Distancia

Grado en Ingeniería Informática
y
Grado en Ingeniería en Tecnologías de la Información

Asignatura: ***Fundamentos de Inteligencia Artificial*** (2º curso)

Soluciones exámenes **Junio 2016**

Ejercicio 1, Semana 1. (Valoración: 2 puntos)

Describe los componentes de un *sistema de búsqueda*. Ilustre su descripción con un ejemplo tomado del mundo real.

SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán:

Los componentes principales de un sistema de búsqueda son: los **estados**, los **operadores** y la **estrategia de control**.

Los estados constituyen las situaciones que pueden aparecer en el problema que se intenta resolver y deben basarse en un modelo de representación con un nivel de detalle adecuado.

Los operadores representan acciones elementales que permiten cambiar de estado. Para cada operador hay que especificar las condiciones que debe cumplir el estado sobre el que se aplica, el estado resultante de su aplicación y el coste asociado al operador.

Estados y operadores forman el *espacio de búsqueda*, que tienen forma de grafo dirigido simple. Aunque generalmente no es posible representar en un ordenador todo el espacio de búsqueda de un problema real, sí hay que especificar cuál es el *estado inicial* y las condiciones que determinan cuándo un estado es *meta*. Múltiples estados del espacio de búsqueda pueden ser meta.

La estrategia de control determina el orden en que se exploran los nodos del espacio de búsqueda. Existen dos tipos principales de estrategias de control: no informada y heurística. La búsqueda no informada realiza una exploración exhaustiva de los estados, por lo que generalmente requiere visitar un número prohibitivo de los mismos. La búsqueda heurística utiliza conocimiento del dominio para guiar la búsqueda por los nodos más prometedores, es decir, aquéllos que con mayor probabilidad están en el camino hacia un estado meta óptimo.

La actividad obligatoria 1 del año 2012 muestra como ejemplo de espacio de búsqueda el del problema del barquero, así como diferentes estrategias de control (primero en anchura, primero en profundidad, etc.)

Ejercicio 2, Semana 1. (Valoración: 3 puntos)

Explique detalladamente en qué consiste el proceso de inferencia mediante herencia de propiedades en marcos. En su explicación tenga en cuenta los diferentes tipos de herencia de propiedades existentes en el formalismo de marcos.

SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán:

Uno de los principales métodos de inferencia en un sistema de marcos es la herencia de propiedades, que permite compartir propiedades y valores de propiedades usando las relaciones “Subclase-de” e “Instancia”.

La herencia es *simple* cuando el sistema de marcos tiene forma de árbol, considerando exclusivamente las relaciones “Subclase-de” e “Instancia”. Es decir, sólo existe un camino que une cada marco instancia con el nodo raíz de la jerarquía. En este caso, el valor de una propiedad de una instancia se busca en primer lugar en dicha instancia y, en caso de fracaso, se toma de la clase donde figure dicho valor, que esté contenida en el camino entre la instancia y el nodo raíz y sea más cercana a la instancia. De este modo, siempre se accede a la información más específica disponible, que muchas veces se corresponde con excepciones a la regla general.

La herencia es *múltiple* cuando el sistema de marcos tiene forma de grafo, considerando exclusivamente las relaciones “Subclase-de” e “Instancia”. Es decir, existen varios caminos que unen ciertos marcos instancia con el nodo raíz del sistema de marcos. Si un marco es subclase o instancia de más de una clase, se dice que la herencia es múltiple. En este caso, dado que una instancia puede tener más de una clase antecesora que contenga la propiedad buscada, el valor de la propiedad que hereda la instancia depende del método de búsqueda utilizado para recorrer el grafo: en profundidad, en anchura o utilizando el concepto de “distancia inferencial”.

La técnica de herencia múltiple mediante búsqueda en profundidad consiste en explorar en profundidad todos los posibles caminos que parten del marco instancia y acaban en el marco raíz. Este recorrido se suele hacer en un determinado sentido (de izquierda a derecha o viceversa) e intentado no repetir búsquedas a partir de marcos ya visitados anteriormente. Como este método suele tener el inconveniente de permitir la herencia de valores de clases generales en vez de clases específicas, se suele también imponer la restricción de que sólo se puede buscar la propiedad en una clase si previamente se ha buscado en todas sus subclases. Esto último se puede implementar a través de un procedimiento de ordenación topológica.

La técnica de herencia múltiple mediante búsqueda en anchura consiste en recorrer el grafo por niveles que estén a igual distancia del marco instancia. El problema de este método es cómo resolver las ambigüedades que surgen cuando existen al menos dos clases a un mismo nivel desde las que heredar la propiedad. Es importante en este método que el ingeniero de conocimiento se asegure de que en todo el grafo el nivel de profundidad de las clases se corresponda con su grado de especialización; en caso contrario, se podrían heredar propiedades más generales situadas en el mismo nivel que propiedades idénticas más específicas, lo cual no es deseable.

La técnica de herencia múltiple mediante distancia inferencial consiste en aplicar el concepto de *distancia inferencial de Touretzky* para determinar qué propiedades se heredan. Este método detecta situaciones ambiguas, pero no permite resolverlas. El concepto de distancia inferencial se basa en el siguiente razonamiento: “la condición necesaria y suficiente para que la clase1 esté más cercana a la clase2 que a la clase3 es que exista un camino desde clase1 hacia la clase3 a través de la clase2”. El orden introducido por el concepto de distancia inferencial es un orden parcial en el sistema de marcos y, por tanto, se pueden heredar valores contradictorios definidos en ramas que no están conectadas.

Ejercicio 3, Semana 1. (Valoración: 5 puntos)

El propósito del arte-terapia en psicología es diagnosticar y tratar los problemas de un paciente analizando ciertas características de sus dibujos.

En el campo de la psicología clínica, el arte-terapia constituye una disciplina importante, a pesar de la naturaleza empírica, heurística y subjetiva de sus métodos. Las relaciones causales entre las características de los dibujos, los síntomas psicológicos, los rasgos de personalidad y otras circunstancias personales de los pacientes son diversas, complejas de desentrañar e incluso conflictivas. El modo en que una persona se expresa mediante dibujos depende de una serie de factores extrínsecos tales como el entorno cultural, el idioma... Dibujos muy similares realizados por personas distintas podrían conducir a conclusiones muy diferentes.

Los psicoterapeutas con frecuencia proceden en base a su intuición, y a un conocimiento subjetivo y bastante incierto. Dada la ausencia de estándares objetivos, los diagnósticos de dos psicoterapeutas pueden ser bastante diferentes.

Es de gran interés realizar un examen crítico y sistemático de las actuales prácticas y teorías, así como de las pertinentes publicaciones sobre estudios clínicos, con el fin de obtener diagnósticos más efectivos y precisos de las patologías con referencia a estándares objetivos.

El arte-terapia es particularmente eficiente en el caso de niños con trastornos psicológicos incipientes, que plasman su mundo psicológico por medio de ciertos temas, colores, líneas, estilos...de sus dibujos.

El arte-terapia también puede utilizarse para promover un diálogo entre paciente y terapeuta acerca de los contenidos de los dibujos, a modo de terapia. Otra de sus aplicaciones es el seguimiento del progreso de los pacientes a través de la evolución de sus dibujos.

- 1) Describa un sistema informático basado en técnicas de Inteligencia Artificial para el soporte de la práctica clínica de esta disciplina, desde la identificación de síntomas y el diagnóstico de patologías hasta el alta de los pacientes. Proponga paradigmas (simbólico, conexionista, situado o híbrido) y/o técnicas específicas para abordar el desarrollo de las distintas partes del sistema, justificando brevemente su respuesta. **(Puntuación máxima: 1,75 puntos).**
- 2) En la tabla situada al dorso se ilustran los conceptos implicados en el diseño de un sistema basado en reglas para el diagnóstico de trastornos psicológicos mediante arte-terapia. Invente y describa (en pseudocódigo) el conjunto de reglas y tipo de encadenamiento que permitirían realizar el diagnóstico de un cierto trastorno psicológico elegido de entre los de la tabla, considerando lo siguiente:
 - Cada característica de un dibujo, siempre que el paciente presente ciertos rasgos y/o se den ciertas circunstancias en su entorno, está asociada a un conjunto de síntomas (ej: si un niño es menor de 4 años, europeo... el uso del color amarillo puede revelar síntomas de estrés y miedo). Se considera que un paciente presenta un síntoma cuando en su dibujo se observan al menos 2 de las características asociadas a dicho síntoma.
 - Cada trastorno psicológico está asociado a un conjunto de síntomas psicológicos y/o rasgos personales y/o circunstancias del entorno del paciente (ej: si un niño es asocial, frío, vive en un orfanato...un posible diagnóstico es conducta disruptiva desafiante). Un trastorno se diagnostica cuando se presentan al menos 3 síntomas y 5 características personales y/o del entorno del paciente de dicho conjunto.

Conceptos	Subconceptos	Ejemplos de instancias
Características del dibujo	Tema Línea Color Composición	Cinético o estático, tren, auto, barco, avión, flor, muñeco, animal, casa, lluvia Vertical, horizontal, diagonal, curva, débil, gruesa Muy o poco coloreado, frío o cálido, rojo, azul, verde, azul, chillón, oscuro En esquina superior/ inferior derecha/ izquierda, llena/no llena el espacio
Rasgos personales Y circunstancias del entorno	Edad, género Relaciones personales Cuidado Evento Espacial Físico- Psicológico Social	(2, 13), niño/niña Padres, hermanos, primos, amigos Sobrepotegido, descuidado, mimado Accidente, trauma, nacimiento de hermano, fallecimiento de familiar Ciudad, campo, colegio, orfanato Discapacidades o enfermedades Nacionalidad, cultura, religión, nivel económico, idioma
Síntomas psicológicos	Intelectual Emocional Fisiológico Social	Subdesarrollo o degradación Celos, timidez, tristeza, ansiedad, miedo Estrés, dificultad de comprensión, hipersensibilidad, frialdad Conducta asocial, madre difícil, conducta evasiva, actitud dominante, carácter dependiente/ independiente
Trastorno psicológico	Retardo mental Problemas aprendizaje "" habilidades motoras "" comunicación "" desarrollo "" alimentación "" eliminación Déficit de atención Conducta disruptiva Tics Otros	Medio, moderado, severo Lectura, matemáticas, escritura. Desarrollo, coordinación Fonología, tartamudeo, expresión Asperger, autista, disociativo, Rett Mericismo, anorexia, pica Encupresis, enuresis Hiperactividad Perturbador, conductor, desafiante Vocal, motor Tourette, transitorio Ansiedad de separación, mutismo selectivo, movimiento estereotipado

Reflexione sobre cómo podría utilizarse el sistema de reglas para hacer diagnósticos, para comprobar hipótesis sobre un diagnóstico, y para identificar los factores que influyen en el diagnóstico de un cierto trastorno. ¿Podría este sistema plantear problemas de complejidad computacional? **(Puntuación máxima: 1,75 puntos).**

- 3) Represente las reglas siguientes utilizando un tipo de lógica distinto en cada caso. Describa brevemente los dos tipos de lógica utilizados.
- En la actualidad, si al dibujar a su familia un niño incluye a un personaje con aspecto de vampiro, éste no refleja necesariamente a una madre invasiva; a lo mejor es que tiene una hermana adolescente gótica.
 - En los años 90, si un niño incluía en su dibujo del patio del colegio a un tipo con sombrero, gafas de montura gruesa, y ropa desgastada y rota, esto era motivo de alarma; en nuestra década, puede tratarse de un profesor hipster que vigila el patio.
- (ACLARACIONES: Gótico: subcultura urbana contemporánea, rama del punk; hipster: subcultura urbana contemporánea, afín a la bohemia y a estilos de vida alternativos.)
(Puntuación máxima: 1,5 puntos).

SOLUCIÓN por Angeles Manjarrés Riesco:

1)

Las funcionalidades que debería desempeñar el sistema son: extraer características de los dibujos de los pacientes, diagnosticar trastornos de personalidad en base a las características extraídas y a otros rasgos y circunstancias propios del paciente, dialogar con los pacientes acerca de los dibujos (a modo de terapia), y seguir la evolución de los pacientes.

El paradigma adecuado para este sistema es un paradigma híbrido simbólico-conexionista-situado, ya que debe ser capaz de:

- Percibir su entorno, en concreto para el análisis de los dibujos y el diálogo con los pacientes, requiriendo sensores de imagen y sonido (paradigma situado).
- Razonar con un conocimiento de “naturaleza empírica, heurística y subjetiva”. Esto sugiere la idoneidad de sistemas basados en reglas (paradigma simbólico), para recoger el conocimiento experto terapéutico heurístico existente, y con posible incorporación de técnicas bayesianas, teoría de la decisión multicriterio, lógica borrosa y lógicas no monotónicas (dado el carácter incierto y conflictivo de este conocimiento). En general podrían utilizarse marcos y guiones para la representación de las entidades del dominio, y lógica de predicados y modal temporal para representar el progreso los pacientes.
- Explotar la casuística recogida en publicaciones científicas en lo que concierne a las relaciones causales entre características de los dibujos, síntomas psicológicos, rasgos de personalidad y otras circunstancias de los pacientes. Es clara aquí la potencialidad de aplicar técnicas de aprendizaje automático en los bancos de datos clínicos (que podrían incluir imágenes de dibujos etiquetadas con síntomas y trastornos asociados, posibilitando el aprendizaje supervisado) para desvelar patrones y contribuir así al avance del arte terapia, al establecimiento de estándares objetivos para un diagnóstico más preciso y efectivo. Para este propósito serían de particular utilidad técnicas conexionistas (redes neuronales, algoritmos genéticos, minería de datos).
- Analizar imágenes, mediante técnicas de visión artificial, tanto para la extracción de características de los dibujos como para la identificación de emociones de los pacientes durante el diálogo terapéutico. Para este último propósito también sería de interés el análisis de la tonalidad de voz. El reconocimiento de patrones de voz también podría resolverse mediante un entrenamiento previo del sistema con items etiquetados, lo que sugiere de nuevo la aplicación de algoritmos de aprendizaje supervisado de redes neuronales y/o algoritmos genéticos. Las técnicas de aprendizaje conexionistas podrían aplicarse asimismo al análisis de correlaciones entre los estados afectivos de los pacientes y las características de sus dibujos.
- Dialogar con los pacientes. Obviamente, esto requeriría la aplicación de técnicas de procesamiento del lenguaje natural.

2) Consideremos el ejemplo siguiente:

En el caso de un menor europeo con menos de 4 años, el uso del color amarillo y líneas gruesas puede revelar estrés. Si está escolarizado, dibujos desestructurados y asimétricos pueden indicar dificultad de comprensión. Si tiene hermanos y dibuja a su madre pero no a otros niños, esto puede revelar conducta asocial. Se diagnostica con déficit de atención si presenta estrés, dificultad de comprensión y conducta asocial; y además es niño, padece encefalopatía, sufrió un trauma, su madre consumió tabaco o alcohol durante su gestación, y es menor de 7 años.

*R1: SI ((nacionalidad Europea) \wedge (edad \geq e) \wedge (menor e \leq 4)
 \wedge (color Amarillo) \wedge (líneas Gruesas))
 \rightarrow (síntoma_fisiológico Estrés)*

*R2: SI ((espacio Colegio)
 \wedge (composición Desestructurada) \wedge ((composición Asimétrica))*

→ (síntoma_fisiológico Dificultad_comprensión)

R3: SI ((relaciones_personales Hermanos)
∧ (tema Madre) ∧ (tema ¬Niños)
→ (síntoma_social Asocial)

R4: SI ((síntoma_fisiológico Estrés)
∧ (síntoma_fisiológico Dificultad_comprensión)
∧ (síntoma_social Asocial)
∧ (género Niño)
∧ (enfermedad Encefalopatía)
∧ (evento Trauma)
∧ (evento Embarazo-alcohol-tabaco)
∧ (edad ? e) ∧ (menor e 7)

→ (trastorno_déficit_atención(Hiperactividad))

Dados un conjunto de circunstancias y rasgos personales, y un conjunto de características extraídas de los dibujos del niño, un sistema que incluyese las reglas anteriores podría diagnosticar un trastorno de déficit de atención de Hiperactividad mediante encadenamiento hacia adelante. También podría servir para comprobar una hipótesis diagnóstica o identificar los factores que influyen en un diagnóstico particular mediante encadenamiento hacia atrás. En este sistema, existiría un número importante de reglas con varias condiciones en el antecedente, y también de reglas cuyo consecuente forma parte del antecedente de otras muchas (las reglas que infieren los síntomas a partir de las características personales y de los dibujos). Por tanto, para realizar diagnósticos cabe sugerir un tipo de razonamiento mixto donde se identifiquen los síntomas a satisfacer para confirmar una cierta hipótesis de diagnóstico (por encadenamiento hacia atrás), y simultáneamente se infieran los síntomas presentes mediante encadenamiento hacia adelante.

El coste computacional podría también reducirse organizando (en lo posible) la base de reglas de forma que las reglas que infieren los síntomas de un determinado trastorno se situasen inmediatamente delante de las reglas que infieren dichos trastornos a partir de sus síntomas (tal y como se muestra en el ejemplo). Esto no es del todo posible dado que muchos trastornos distintos comparten unos mismos síntomas. Los grupos de reglas se ordenarían de modo que síntomas y trastornos más comunes apareciesen en primer lugar.

Utilizando procedimientos (que se ejecutasen en las reglas) para el recuento de síntomas comprobados podría reducirse el número de inferencias (recuérdese que solo se requieren 3 síntomas para confirmar un diagnóstico). Sin embargo, este tipo de práctica de programación de sistemas basados en reglas reduce el tiempo de cómputo a costa de introducir complejidad en el control de ejecución, y por tanto dificultar el mantenimiento y extensión del sistema.

El número de reglas de este sistema podría llegar a ser muy alto si cada trastorno se asocia a un gran número de síntomas y características de los pacientes, y cada síntoma a un gran número de características de los pacientes y de los dibujos. Piense, por ejemplo, que dado que cada trastorno se diagnostica en base 3 síntomas + 5 características, si para un trastorno dado existieran, p.e., 7 síntomas y 10 características posibles asociados, tendríamos 35 posibles agrupaciones de 7 elementos tomados de 3 en 3, y 252 posibles agrupaciones de 10 elementos tomados de 5: esto daría un total 35x252 reglas = 8820 reglas para la inferencia del diagnóstico. Sería pues recomendable tomar en cuenta las diferentes técnicas existentes para la reducción del coste computacional de los sistemas basados en reglas (ver libro de texto).

3) (Para la descripción de los tipos de lógica utilizados, ver libro de texto).

a) *Lógica modal:*

$$\text{es_autor}(\text{niño}, \text{dibujo}, \text{tema}, \text{personaje}) \leftrightarrow \begin{aligned} &\text{ha_pintado}(\text{niño}, \text{dibujo}) \\ &\wedge \text{trata_de}(\text{dibujo}, \text{tema}) \\ &\wedge \text{está_en}(\text{dibujo}, \text{personaje}) \end{aligned}$$
$$\rightarrow \Box (\forall \text{ niño } (\exists \text{ dibujo } / \text{ es_autor}(\text{niño}, \text{dibujo}, \text{familia}, \text{personaje}) \\ \wedge \text{vampiro}(\text{personaje}) \\ \rightarrow \text{es_madre_invasiva}(\text{persona}, \text{niño})))$$
$$\forall \text{ niño } (\exists \text{ dibujo } / \text{ es_autor}(\text{niño}, \text{dibujo}, \text{familia}, \text{personaje}) \\ \wedge \text{vampiro}(\text{personaje}) \\ \rightarrow \Diamond \exists \text{ persona } / \text{ es_hermana}(\text{persona}, \text{niño}) \\ \wedge \text{es_gótica}(\text{persona}))$$

b) *Lógica clásica de primer orden:*

$$\text{tipo_raro}(\text{personaje}) \leftrightarrow \begin{aligned} &\text{lleva_sombrero}(\text{personaje}) \\ &\wedge \text{lleva_gafas_montura_gruesa}(\text{personaje}) \\ &\wedge \text{lleva_ropa_gastada_y_rota}(\text{personaje}) \end{aligned}$$
$$\forall \text{ niño } \forall t (\exists \text{ dibujo } / \text{ es_autor}(\text{niño}, \text{dibujo}, \text{familia}, \text{personaje}) \\ \wedge \text{tipo_raro}(\text{personaje}) \\ \wedge \text{fecha}(\text{dibujo}, t) \\ \wedge \text{años90}(t) \\ \rightarrow \text{Alarma}(t))$$
$$\forall \text{ niño } \forall t (\exists \text{ dibujo } / \text{ es_autor}(\text{niño}, \text{dibujo}, \text{familia}, \text{personaje}) \\ \wedge \text{tipo_raro}(\text{personaje}) \\ \wedge \text{fecha}(\text{dibujo}, t) \\ \wedge \text{años10}(t) \\ \rightarrow \Diamond \exists \text{ persona } / \text{ es_profesor}(\text{niño}, \text{persona}, t) \\ \wedge \text{es_hypster}(\text{persona}, t))$$

Ejercicio 1, Semana 2. (Valoración: 3 puntos)

Describe detalladamente las características de los algoritmos de ramificación y poda.

SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán:

Los *algoritmos de ramificación y poda* interpretan cada estado o nodo como un subconjunto de soluciones de todo el conjunto posible de soluciones del problema original planteado. Este subconjunto de soluciones normalmente no se puede representar por extensión. De esta manera, el nodo raíz representa todas las soluciones posibles al problema original, mientras que un nodo hoja sería aquel que no puede ser expandido por contener una única solución. El proceso de ramificación consiste en descomponer un determinado subconjunto de soluciones en la unión disjunta de varios subconjuntos suyos, con lo que el espacio de búsqueda adquiere forma de árbol. De este modo, la ramificación de un nodo sería equivalente a la expansión de un nodo para generar sus nodos hijos.

Mientras que un nodo hoja o terminal tendrá asociado un coste concreto y conocido, cada nodo no terminal del árbol tiene asociado un valor heurístico que representa una cota inferior del coste de la mejor solución (considerada como la de menor coste) contenida en el nodo. Generalmente, cada vez que la cota inferior de un nodo rebasa el menor de los costes de los nodos hoja encontrados hasta el momento en el resto del árbol, dicho nodo es podado. Este esquema es el más habitual, aunque podría ser ampliado para considerar una cota superior para cada nodo no terminal.

Por motivos de ahorro en memoria, la estrategia de control para la exploración del árbol de búsqueda suele ser en profundidad, aunque otros métodos (heurísticos o no) son posibles. En el caso de la búsqueda en profundidad, ABIERTA actúa como una pila y es habitual introducir en la misma los hijos generados en cada expansión de un nodo ordenados según los valores de sus cotas inferiores. La eficiencia del algoritmo de ramificación y poda dependerá de lo ajustadas que sean las cotas inferiores obtenidas de forma heurística. Por otra parte, los algoritmos de ramificación y poda son admisibles si recorren todo el espacio de búsqueda, excepto las partes podadas, hasta que ABIERTA se agote; en caso contrario, si la condición de terminación es que el algoritmo pare después de expandir cierto número de nodos, se pierde la admisibilidad y únicamente se puede devolver la mejor solución encontrada hasta el momento.

Ejercicio 2, Semana 2. (Valoración: 2 puntos)

Explique brevemente si cada una de las cuatro afirmaciones siguientes es realmente verdadera o falsa. Utilice ejemplos sencillos que ilustren su explicación.

- (1) Los valores activos son procedimientos definidos en marcos clase cuya ejecución es solicitada desde marcos instancia.
- (2) Una propiedad de clase de un sistema de marcos se puede rellenar con valores en un marco instancia.
- (3) La “distancia inferencial” es un concepto utilizado en herencia múltiple en sistemas de marcos.
- (4) En una red semántica, la semántica de los arcos descriptivos es dependiente del conocimiento del dominio que se está representando, mientras que la semántica de los arcos estructurales es independiente de dicho conocimiento.

SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán:

- (1) Verdadero. Véase la explicación de carácter práctico dada en la página 162 del texto base de la asignatura.
- (2) Falso. Las propiedades de clase representan características genéricas de una clase. El ingeniero de conocimiento las define y rellena en los marcos clase. Véase la explicación del final de la página 149 del texto base de la asignatura.
- (3) Verdadero. Véase la explicación de carácter práctico dada en la página 161 del texto base de la asignatura.
- (4) Verdadero. Por ejemplo, “color-de-pelo” es un arco descriptivo cuyo significado está asociado a conocimiento del dominio que tiene que ver con el aspecto físico. Por el contrario, “subclase-de” es un ejemplo de arco estructural que une dos conceptos relacionados mediante un proceso de generalización, independientemente del conocimiento del dominio disponible.

Ejercicio 3, Semana 2. (Valoración: 5 puntos)

La robótica es una herramienta educativa valiosa para desarrollar habilidades cognitivas y sociales de los estudiantes, particularmente de los ciclos de infantil y primaria. La presencia de un robot en el aula mejora los resultados de aprendizaje particularmente cuando el robot se concibe tomando en cuenta la dimensión afectiva de la educación.

Un robot tutor “afectivo” está capacitado para comunicarse con naturalidad mediante el diálogo verbal y no verbal, reconocer a los estudiantes, exhibir una personalidad y expresar y percibir emociones mediante su tono de voz, expresiones faciales, gestos y movimientos corporales.

Un robot tutor debe conocer estrategias de intervención pedagógica afectiva, la materia de aprendizaje, el perfil y nivel de competencia de cada alumno, y las circunstancias concretas de aprendizaje que demandan cada particular intervención. Un posible medio de proporcionar a un robot este conocimiento consiste en establecer una comunicación entre el robot y un software educativo con el que los alumnos interactúan.

Cuando un estudiante interacciona con un software educativo, sus emociones pueden identificarse mediante el análisis de sus expresiones faciales y entonación de voz (cuando el alumno se posiciona de cara a la pantalla y el micrófono) y mediante el análisis de los registros de su interacción con el teclado y el ratón.

Sería muy interesante desarrollar una aplicación que integrase un software educativo destinado a niños con un robot que, operando en comunicación con dicho software, pudiera tutorizar a los estudiantes proporcionándoles soporte pedagógico “afectivo” personalizado, en función de su perfil y nivel de competencias, así como de su estado emocional de cada momento y de las dificultades concretas de aprendizaje a las que se esté enfrentando al interactuar con el software educativo.

- 1) Proponga una arquitectura para dicha aplicación. Proponga paradigmas (simbólico, conexionista, situado o híbrido) y/o técnicas específicas de Inteligencia Artificial para abordar el desarrollo de los componentes de esta arquitectura, justificando brevemente su respuesta. **(Puntuación máxima: 1,75 puntos).**
- 2) Suponga que las intervenciones pedagógicas afectivas se implementan mediante un sistema basado en reglas. Las reglas determinan las intervenciones pedagógicas, cuyo objetivo es dar soporte al aprendizaje (explicar conceptos, ilustrar con ejemplos, proporcionar ejercicios...) y/o dar soporte afectivo (animar, felicitar, motivar, despertar el interés, bromear...). Este soporte ha de ser personalizado, esto es, dependiente del perfil del alumno (su nivel de competencia, conocimientos previos, intereses...), de su estado afectivo (concentrado, distraído, ansioso, entusiasmado, aburrido, desanimado, frustrado, confundido...) y de las actividades de aprendizaje que el alumno está realizando en cada momento. Las reglas definen asimismo la forma en que el robot escenificará las intervenciones (tono de voz y gestos faciales y corporales). Proporcione un par de ejemplos de reglas ilustrativas de este sistema, expresadas en pseudocódigo. Explique brevemente las técnicas que se aplican para simplificar *la equiparación* en los sistemas basados en reglas, señalando las que considere más relevantes en el caso que nos ocupa. **(Puntuación máxima: 1,75 puntos).**
- 3) Para la representación de cada una de las reglas siguientes elija un tipo de lógica y justifique brevemente su elección. Se valorará el uso de lógicas NO clásicas. **(Puntuación máxima: 1,5 puntos).**
 - a. Cuando un alumno está desmotivado el robot le felicitará por su trabajo después de acabar cada ejercicio.
 - b. Si un alumno es poco competente y está desmotivado el robot le podrá indicar volver a hacer un ejercicio ya realizado.
 - c. Si un alumno es competente y está motivado el robot nunca le indicará volver a hacer un ejercicio ya realizado.
 - d. A un alumno motivado y competente el robot le asignará tareas cada vez más difíciles.

1) La arquitectura del sistema descrito se enmarca dentro de una arquitectura de robot reactiva-deliberativa, que implica los paradigmas situado, conexionista y simbólico. El robot interactúa con su entorno en tiempo real, identificando a los alumnos y sus circunstancias mediante sensores, y dialogando y relacionándose con ellos mediante efectores, en función de sus percepciones cambiantes tanto en forma reactiva como deliberativa. Podrían considerarse los siguientes componentes:

- Un componente que pertenece al sistema de percepción y memoria a corto plazo, que recibe del software educativo los datos dinámicos que identifican la actividad y escenario de aprendizaje en curso y el correspondiente rendimiento del alumno; y recibe asimismo los datos de interacción de teclado y ratón, y grabaciones de vídeo y sonido procedentes del ordenador donde el alumno trabaja.
- Un componente que almacena el historial académico y características personales del alumno, incluyendo estilo de aprendizaje, competencias, conocimientos, etc. que se actualizan dinámicamente en función de los datos procesados por el sistema de percepción que conciernen al progreso del alumno. Dentro de la arquitectura reactiva-deliberativa del robot, este componente forma parte del modelo del entorno, en función del cual se establece dinámicamente el plan de acción (la intervención pedagógica).
- Un componente que identifica el estado emocional del alumno en base a las interacciones de teclado y ratón, y las características extraídas de los registros de vídeo (análisis facial, gestual, etc) y sonido (análisis de voz). Dentro de la arquitectura reactiva-deliberativa del robot, este componente forma parte del sistema perceptivo y parte del razonador ya que, en base al estado emocional del alumno, se determinará el plan de acción en forma reactiva o deliberativa, según los casos.
- Un componente que determina las intervenciones pedagógicas afectivas del robot en función del conocimiento de la materia objeto de aprendizaje, el modelo dinámico del estudiante, su estado emocional y la actividad y escenario de aprendizaje en curso. Constituye la parte esencial del razonador, y sería asimismo el componente encargado de comunicar al robot físico una especificación de acciones a realizar para desplazarse por el aula y comunicarse con el alumno mediante diálogos en lenguaje verbal y no verbal afectivo.
- El robot físico. Dentro de la arquitectura reactiva-deliberativa, incluye parte del sistema de percepción (los sensores del robot físico) y el sistema de ejecución que se encargaría de traducir las intervenciones pedagógicas especificadas por el componente anterior a movimientos del robot en los actuadores. Contiene una parte de la memoria a corto plazo, donde se almacena la información obtenida mediante los sensores, y una memoria a largo plazo que contiene una representación simbólica del medio físico en que debe desplazarse (el aula) y de los alumnos a los que debe reconocer. El robot funcionaría en modo reactivo (paradigma conexionista-situado) para desplazarse por el aula, y ajustaría su lenguaje corporal, gestual, tono de voz, ritmo, etc en función de las circunstancias de aprendizaje.

Para la identificación de emociones se procesarían datos procedentes de distintas fuentes (imágenes de expresiones faciales y voz, y datos de interacción de teclado y ratón), por lo que sería oportuno aplicar técnicas de decisión multicriterio. En lo que concierne al reconocimiento de emociones a partir de expresiones faciales sería preciso integrar técnicas de visión artificial. Para el análisis de las interacciones de teclado pueden considerarse multitud de parámetros con el objetivo de identificar estados emocionales por métodos conexionistas y de minería de datos: latencia de tecleo, tiempo de presión de las teclas, velocidad de tecleo etc. Pueden considerarse asimismo numerosos parámetros de ratón: número de clicks por minuto, distancia de los movimientos de ratón en píxeles, número y tamaño de las pausas, etc. Tras un proceso de etiquetado de las interacciones de teclado y ratón se pueden obtener modelos para la identificación de estados emocionales mediante aprendizaje supervisado.

También sería necesario utilizar técnicas de procesamiento del lenguaje natural para dialogar con los estudiantes ya que, aunque el robot conteste siempre con respuestas estereotipadas, es preciso que reconozca las palabras clave que disparan dichas respuestas.

NOTA: Para completar esta pregunta en lo referente a paradigmas y técnicas aplicables, véanse las respuestas del ejercicio 3, semanas 1 y 2 de junio 2015 y trasládense al dominio educativo. Todas las consideraciones generales sobre arquitecturas híbridas de robots, y paradigmas y técnicas adecuadas podrían incluirse aquí. Asimismo es pertinente la respuesta al ejercicio 3 de la primera semana de junio 2013, relativa a sistemas recomendadores educativos afectivos. Una síntesis de alrededor de una página de extensión, en total, sería suficiente para obtener la puntuación completa en este apartado.

2) $R1: IF (alumno ?a) \wedge (competente ?a) \wedge (motivado ?a) \wedge (curso ?a 2^{\circ}Primaria) \wedge (serie_favorita ?a Tortugas_Ninja) \wedge (supera_nivel ?a) ENTONCES (texto ";He visto que lo estás haciendo genial! ;Sigue así y llegarás a ser tan sabio como Splinter!") \wedge (tono Alegre) \wedge (gesto Levantar_brazo)$

$R1: IF (alumno ?a) \wedge (competente ?a) \wedge (frustrado ?a) \wedge (curso ?a 4^{\circ}Primaria) \wedge (ejercicio e) \wedge (nivel_dificultad e elevado) ENTONCES (texto "Este ejercicio es demasiado complicado. ¿Qué tal si pruebas con un ejercicio de un nivel inferior") \wedge (tono Amable) \wedge (gesto Llevarse_mano_a_la_cabeza)$

Para simplificar la equiparación se utilizan técnicas de indexación y técnicas que aceleran el proceso de equiparación como el algoritmo RETE (ver detalles en el libro de texto). Ambos tipos de técnicas son aplicables en este caso. Las reglas podrían agruparse según diferentes criterios (perfil de alumno o actividades de aprendizaje a que son aplicables, finalidad de la intervención pedagógica, etc.).

3) a) *Lógica temporal de puntos LTL:*

$\forall alumno \forall ejercicio G(\neg motivado(alumno) \wedge completado(alumno, ejercicio)) \rightarrow F felicitar(alumno)$

Lógica modal:

$\forall alumno \forall ejercicio \neg motivado(alumno) \wedge completado(alumno, ejercicio) \rightarrow \Box felicitar(alumno)$

b) *Lógica modal:*

$\forall alumno \forall ejercicio$

$completado(alumno, ejercicio) \wedge \neg motivado(alumno) \wedge poco_competente(alumno) \rightarrow \Diamond indicar_rehacer(alumno, ejercicio)$

c) *Lógica temporal de puntos LTL:*

$\forall alumno \forall ejercicio$

$G (completado(alumno, ejercicio) \rightarrow \neg F (competente(alumno) \wedge motivado(alumno) \wedge indicar_rehacer(alumno, ejercicio))$

Lógica modal:

$\Box (completado(alumno, ejercicio) \wedge competente(alumno) \wedge motivado(alumno) \rightarrow \neg indicar_rehacer(alumno, ejercicio)$

Universidad Nacional de Educación a Distancia

Grado en Ingeniería Informática
y
Grado en Ingeniería en Tecnologías de la Información

Asignatura: ***Fundamentos de Inteligencia Artificial*** (2º curso)

Soluciones exámenes **Septiembre 2016**

Ejercicio 1. (Valoración: 3 puntos)

Explique qué son las facetas en un sistema de marcos y describa detalladamente los diferentes tipos de facetas que existen.

SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán:

Las facetas de un sistema de marcos modelan características de las propiedades de los marcos y de las relaciones entre los marcos. En general, el motor de inferencia usa las facetas para mantener la integridad semántica de los datos almacenados en el sistema de marcos. Existen tres categorías de facetas: (a) las que afectan a propiedades de clase, a propiedades de instancia y a relaciones, (b) las que afectan a propiedades de clase y a relaciones y, finalmente, (c) las que afectan a propiedades de instancia. (Conviene recordar que una propiedad de clase se define y rellena en un marco clase, siendo heredados sus valores por los marcos instancia del marco clase, mientras que una propiedad de instancia se define en un marco clase y se rellena en los marcos instancia del marco clase. Por otra parte, las relaciones de un sistema de marcos expresan dependencias entre conceptos.)

(a) FACETAS QUE AFECTAN A PROPIEDADES DE CLASE, A PROPIEDADES DE INSTANCIA Y A RELACIONES

(a.1) TIPO RANURA: Establece el tipo de datos con el que se rellenará la propiedad o relación. En el caso de las propiedades de clase o de las propiedades de instancia, dicho tipo de datos puede ser incluso otro marco. En el caso de las relaciones, éstas se definen siempre en el marco clase origen de la relación, con nombre el de la relación y en esta faceta se especifica el tipo de marco destino de la relación.

(a.2) CARDINALIDAD MÍNIMA: Establece el número mínimo de valores con los que se puede rellenar una ranura. (El término genérico “ranura” se refiere al contenedor de información asociado tanto a una propiedad de un marco como a una relación de un marco.)

(a.3) CARDINALIDAD MÁXIMA: Establece el número máximo de valores con los que se puede rellenar una ranura.

(a.4) MULTIVALUADA: Establece si la ranura puede o no tener más de un valor. Si la cardinalidad mínima es diferente de la máxima entonces la ranura es obligatoriamente multivaluada.

(b) FACETAS QUE AFECTAN A PROPIEDADES DE CLASE Y A RELACIONES

(b.1) PROPIEDAD GENERAL: Almacena los valores que toma una propiedad de clase o una relación. Las propiedades de clase definidas como marcos y las relaciones rellenan esta faceta con un puntero a un marco clase. Las propiedades de instancia nunca rellenan esta faceta con un valor o un puntero, y suelen utilizar el símbolo “--” para indicar precisamente que no se rellenan.

(c) FACETAS QUE AFECTAN A PROPIEDADES DE INSTANCIA

(c.1) VALORES PERMITIDOS: Especifica el conjunto de valores válidos que puede tomar una propiedad de instancia, el cual debe ser consistente con el contenido de la faceta “tipo ranura”. Esta faceta puede almacenar un tipo de datos, un rango de valores o un puntero a un marco clase.

(c.2) VALORES POR OMISIÓN: Fija el valor que toma la propiedad de instancia en un marco instancia si no se conoce explícitamente otro valor suyo. Este valor por defecto puede ser anulado al asignar un valor nuevo a la propiedad de instancia.

(c.3) SI NECESITO: Almacena un procedimiento o regla que se ejecuta al solicitar el valor de una propiedad de instancia en un marco instancia y ser desconocido dicho valor. La ejecución de este procedimiento o regla puede tomar datos de otras ranuras e incluso del usuario del sistema.

(c.4) SI MODIFICO: Almacena un procedimiento o regla que se ejecuta al modificar el valor de una propiedad de instancia en un marco instancia. La ejecución de este procedimiento o regla puede afectar a otras ranuras del sistema de marcos.

(c.5) SI AÑADO: Almacena un procedimiento o regla que se ejecuta al introducir un valor en una propiedad de instancia de un marco instancia que estaba vacía. La ejecución de este procedimiento o regla puede afectar a otras ranuras del sistema de marcos.

(c.6) SI BORRO: Almacena un procedimiento o regla que se ejecuta al borrar el valor de una propiedad de instancia en un marco instancia. La ejecución de este procedimiento o regla puede afectar a otras ranuras del sistema de marcos.

Ejercicio 2. (Valoración: 2 puntos)

Explique brevemente si cada una de las cuatro afirmaciones siguientes es realmente verdadera o falsa. Utilice ejemplos sencillos que ilustren su explicación.

- (1) En el algoritmo A^* , si para todo nodo "n" se cumple que $h(n)$ es mayor o igual que $h^*(n)$, entonces este algoritmo encuentra el camino solución óptimo.
- (2) La complejidad espacial de la búsqueda primero en profundidad es, en el peor caso, exponencial con la profundidad de la solución (o con la profundidad límite).
- (3) En la búsqueda bidireccional, las dos búsquedas realizadas deben ser en anchura para garantizar que se corten (o encuentren) en algún momento.
- (4) El algoritmo IDA^* realiza búsquedas primero en profundidad iterativamente desde el nodo raíz.

SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán:

- (1) Falso. La aseveración sería verdadera si se sustituye "mayor o igual" por "menor o igual". En la explicación conviene describir qué es h y qué es h^* , tal como aparece en la sección 9.3 del texto base de la asignatura, y poner un ejemplo muy sencillo de grafo donde h sea menor o igual que h^* para todos los nodos. Por ejemplo, una opción válida es aquella en la que $h=0$ para todos los nodos.
- (2) Falso. Es lineal con la profundidad de la solución (o con la profundidad límite). La explicación con ejemplos se encuentra en la sección 8.4.1.2 del texto base de la asignatura o, de forma alternativa, en uno de los vídeos creados por el equipo docente en el plan de trabajo del curso virtual (Bloque II).
- (3) Falso. Sólo una de las dos búsquedas debe ser en anchura para garantizar que se corten. La otra puede ser, por ejemplo, en profundidad. El alumno puede hacer un dibujo sencillo para ilustrar esto.
- (4) Verdadero. Basta con que el alumno haga una muy breve explicación de este algoritmo (tal como aparece en la sección 9.4.1 del texto base de la asignatura) o, alternatively, realice un sencillo dibujo mostrando que el menor valor de $f=g+h$ de los nodos descartados en la búsqueda en profundidad de la iteración actual será el límite de la búsqueda en profundidad de la siguiente iteración.

Ejercicio 3. (Valoración: 5 puntos)

Los trastornos de la personalidad han sido ampliamente estudiados en psicología clínica, pero siempre desde perspectivas teóricas parciales. No es frecuente en la literatura la integración de modelos, siendo lo habitual abordar el tema desde la perspectiva de una escuela psicológica determinada.

El modelo de diagnóstico DSM divide los trastornos en diversos tipos en base a determinados síntomas característicos que, en general, no son ni necesarios ni suficientes, sino comunes a un número significativo de pacientes. El diagnóstico de un trastorno se realiza cuando se identifica un número mínimo de síntomas de una lista específica del trastorno. P.e., para diagnosticar un trastorno obsesivo-compulsivo se requiere que el paciente tenga un mínimo de 4 síntomas de 8 (ver Tabla 1). Indudablemente no todas las combinaciones de síntomas tienen la misma prevalencia (proporción de individuos aquejados que presentan los síntomas), pero puede existir mucha variabilidad entre dos personas diagnosticadas. Este modelo detecta una elevada comorbilidad: por ejemplo, hasta un 37,3% de individuos diagnosticados con trastorno paranoide también se diagnostican con trastorno esquizotípico.

En otro tipo de modelos los trastornos se consideran variaciones extremas de determinados aspectos de la personalidad. Estos modelos establecen los aspectos que pueden determinar una psicopatología y cómo de extremas han de ser esas variaciones sobre la normalidad. En el modelo de los “Cinco Grandes Factores”, 5 factores ortogonales, cada uno de los cuales se caracteriza mediante 6 rasgos, dan cuenta de la variabilidad de personalidad existente.

En el caso del trastorno obsesivo-compulsivo se observan puntuaciones altas en los rasgos del factor “Tesón” así como bajas puntuaciones en los rasgos del factor “Apertura Mental” (ver Tabla 2) y en los rasgos “Búsqueda de Emociones” y “Emociones Positivas”, del factor “Extraversión” (ver Tabla 3).

Hoy en día los terapeutas adoptan un enfoque ecléctico, es decir, combinan elementos de distintos modelos teóricos para diagnosticar y tratar a sus pacientes. Un diagnóstico se considera más fiable cuantos más modelos teóricos lo respaldan. Cuando existen varios diagnósticos igualmente respaldados, se utiliza el diagnóstico diferencial. Se basa en que ciertos síntomas son incompatibles con ciertas patologías. Primeramente se confecciona la lista de trastornos inferidos por la sintomatología identificada. A continuación, para cada patología de la lista se analizan las incompatibilidades. Una vez reducida la lista de diagnósticos candidatos se realizan pruebas y tests adicionales con el fin de descubrir nuevos síntomas, circunstancias psicosociales o condiciones médicas del paciente que ayuden a realizar el diagnóstico definitivo.

Patrón dominante de preocupación por el orden, el perfeccionismo y el control mental e interpersonal, a expensas de la flexibilidad: la franqueza y la eficiencia, que comienza en las primeras etapas de la vida adulta y está presente en diversos contextos, y que se manifiesta por cuatro (o más) de los hechos siguientes:

1. Se preocupa por los detalles, las normas, las listas, el orden, la organización o los programas hasta el punto de que descuida el objetivo principal de la actividad.
2. Muestra un perfeccionismo que interfiere con la terminación de las tareas (p. ej., es incapaz de terminar un proyecto porque no se cumplen sus propios estándares por ser demasiado estrictos).
3. Muestra una dedicación excesiva al trabajo y la productividad que excluye las actividades de ocio y los amigos (qué no se explica por una necesidad económica evidente).
4. Es demasiado consciente, escrupuloso e inflexible en materia de moralidad, ética o valores (qué no se explica por una identificación cultural o religiosa).
5. Es incapaz de deshacerse de objetos deteriorados o inútiles aunque no tengan un valor sentimental.
6. Está poco dispuesto a delegar tareas o trabajo a menos que los demás se sometan exactamente a su manera de hacer las cosas.
7. Es avaro hacia sí mismo y hacia los demás; considera el dinero como algo que se ha de acumular para catástrofes futuras.
8. Muestra rigidez y obstinación.

Tabla 1. Síntomas DSM del T.P. Obsesivo-Compulsivo

Extraversión.- Hace referencia a la cantidad e intensidad de la interacción entre personas, el nivel de actividad, la necesidad de estímulos y la capacidad de disfrutar.

Afabilidad.- Característica de la personalidad por la cual se mide el grado de cooperación y búsqueda de armonía social de un individuo.

Tesón.- Grado de organización, control y motivación en la conducta dirigida a objetivos.

Estabilidad Emocional.- Valoración del ajuste emocional de un individuo. Su vertiente negativa (neuroticismo) identifica a personas propensas al sufrimiento psicológico y al uso de estrategias de afrontamiento desadaptativas.

Apertura Mental.- Representa la receptividad a nuevas experiencias.

Tabla 2. Factores del modelo de los “Cinco Grandes”

Cordialidad.- Capacidad para establecer vínculos con otros.

Gregarismo.- Preferencia por estar en compañía de otros.

Asertividad.- Tendencia a no dejarse dominar por los demás mediante la defensa de sus derechos.

Actividad.- Necesidad de estar ocupado.

Búsqueda de Emociones.- Búsqueda de estimulación. y excitación.

Emociones Positivas.- Tendencia a mostrar emociones positivas y al optimismo.

Tabla 3 Rasgos del factor “Extraversión”

- 1) Imagine un sistema informático capaz de diagnosticar y diseñar tratamientos de los trastornos de la personalidad en base a un conjunto de síntomas, circunstancias psicosociales, condiciones médicas y rasgos personales, con una perspectiva ecléctica. El sistema serviría tanto a un propósito de diagnóstico y tratamiento de pacientes, como a un propósito de investigación y educación en el campo de la psicología clínica. ¿Considera que tal sistema requeriría el uso de técnicas de Inteligencia Artificial?. En caso afirmativo, indique cuáles de sus componentes requerirían el uso de tales técnicas, indicando los paradigmas y técnicas específicas más adecuados para su desarrollo. En caso negativo, proponga nuevas funcionalidades para enriquecer la aplicación que impliquen el uso de Inteligencia Artificial, detallando asimismo los correspondientes paradigmas y técnicas. Justifique brevemente su respuesta. **(Puntuación máxima: 2 puntos)**.
- 2) Considere un Sistema Basado en Reglas capaz de diagnosticar trastornos en base al modelo DSM y el modelo de “Los cinco grandes factores”, utilizando diagnóstico diferencial. Describa (en pseudocódigo) el conjunto de reglas y tipo de encadenamiento que permitirían realizar el diagnóstico del trastorno obsesivo compulsivo. Resuma las distintas medidas que pueden adoptarse en un sistema basado en reglas para reducir costes computacionales. Indique alguna medida que podría ser de utilidad en el caso que nos ocupa. **(Puntuación máxima: 2 puntos)**.
- 3) Represente las reglas siguientes utilizando el tipo de lógica que considere más adecuado, justificando brevemente su elección. **(Puntuación máxima: 1 punto)**.

R1: Es posible que un paciente grave sea diagnosticado con más de un trastorno de personalidad de acuerdo al modelo DSM.

R2: Existen pacientes que no cumplen con ninguna de las categorías específicas del DSM a pesar de ser patente que sufren un trastorno de la personalidad.

SOLUCIÓN por Angeles Manjarrés:

1) **NOTA:** Con objetivos pedagógicos, la redacción de esta respuesta es más completa de lo que se requiere del alumno, sobre todo en lo que concierne al conocimiento sobre el dominio de aplicación. Una síntesis de alrededor de una página de extensión sería suficiente para obtener la puntuación completa en este apartado.

Introducción: El diagnóstico en psicología como dominio idóneo para la aplicación de técnicas de Inteligencia Artificial

Al contrario del diagnóstico médico, el diagnóstico psicológico no se basa en síntomas con una base orgánica observable sino en los comportamientos del paciente o en lo que él mismo relata sobre lo que le ocurre. A pesar de los progresos de la neurociencia, estamos todavía a años luz de comprender la complejidad del cerebro lo suficientemente como para poder decir, con una exactitud comparable a la del diagnóstico médico orgánico, qué estructura cerebral da lugar a un comportamiento o configuración mental-emocional específicos en un momento dado.

El diagnóstico psicológico sintomático consiste en identificar un cierto conjunto de síntomas (un síndrome) en función de su frecuencia, duración y etiología de su aparición, y etiquetarlo con el nombre por el que es habitualmente designado. Esto es útil porque es frecuente que ciertos grupos de síntomas aparezcan juntos y formen cuadros clínicos familiares para los profesionales de la salud mental. En la práctica clínica, el diagnóstico sintomático se complementa con el diagnóstico estructural, consistente en descubrir la estructura de personalidad del paciente, siempre sujeta a revisión en función de nuevos datos, para comprenderlo como persona completa y compleja. La estructura de personalidad se define por el tipo de vínculos que el paciente establece, la cualidad e intensidad de sus pulsiones y afectos, sus mecanismos de defensa y adaptación, la forma en que organiza y procesa la información del mundo exterior, sus valores, sus formas de percepción, su autoimagen... Finalmente, para realizar un diagnóstico se toman también en cuenta la historia individual y las circunstancias familiares y sociales del paciente para identificar circunstancias ambientales y personales, o acontecimientos que constituyan factores de vulnerabilidad para el padecimiento de problemas psicológicos.

Para realizar un diagnóstico psicológico se llevan a cabo varias entrevistas durante las cuales se solicita información del paciente, se le observa, y se aplican una serie de técnicas proyectivas con el fin de evaluar los diversos factores mencionados en el párrafo anterior. Las pruebas proyectivas se caracterizan por la presentación de estímulos ambiguos, ante los cuales el individuo debe responder de acuerdo a su criterio, lo que implica la expresión de características personales en la respuesta; de este modo, recogen de forma indirecta información sobre la personalidad y el estado del paciente. A partir de las entrevistas se elabora un informe escrito que se analiza junto con los resultados de la evaluación psicométrica. La evaluación psicométrica es la realizada en base a tests, escalas o cuestionarios, instrumentos sistemáticos y tipificados que permiten comparar las conductas del paciente y otros signos de sus rasgos de personalidad y posibles trastornos, con normas estandarizadas.

Desde el primer contacto con el paciente el terapeuta empieza a formarse una impresión diagnóstica que inevitablemente determinará el rumbo de las entrevistas. Las percepciones sensoriales y la intuición del terapeuta tienen un papel esencial en el diagnóstico. Se describe como intuición aquel conocimiento que es directo e inmediato, que no sigue un camino racional-deductivo consciente para su construcción y formulación, y que por lo tanto es difícil de explicar o incluso verbalizar. Un buen terapeuta es curioso, despierto, atento, empático y receptivo hacia las comunicaciones latentes y manifiestas de sus pacientes. La experiencia y madurez del terapeuta restan importancia y necesidad a las pruebas de diagnóstico sistemático.

Los instrumentos de diagnóstico psicológico se caracterizan por una baja confiabilidad y validez. Las conclusiones que facilitan dependen en alto grado de la capacidad, intuición y formación del terapeuta, y es difícil que puedan ser replicadas por otro profesional. Tampoco es posible verificar de manera

inequívoca la adecuación de las medidas con respecto a las magnitudes calibradas, ya que generalmente se trata de constructos que no son susceptibles de verificación empírica directa. Los diagnósticos psicológicos son aproximaciones más o menos precisas, no del todo fiables y, adicionalmente, cambiantes y en constante evolución. Ningún diagnóstico es la clave para la interpretación de cualquier conducta, ni es definitivo. Los diagnósticos son construcciones que deben ser revisadas, por la naturaleza dinámica de la naturaleza humana y porque la comunidad científica misma modifica los sistemas clasificatorios y los criterios que delimitan las diferentes entidades clínicas. El diagnóstico no debe limitarse al inicio del proceso terapéutico, sino que debe tener un carácter procesual, reevaluarse a lo largo del tratamiento, sirviendo al mismo tiempo para la medida de su eficacia.

Todo lo anterior pone de evidencia el interés de abordar aplicaciones informáticas para el diagnóstico psicológico basadas en Inteligencia Artificial, desde una perspectiva tanto de análisis (contribuir a la investigación de la psicopatología), como de síntesis (dar soporte a la práctica clínica).

Entre los sistemas inteligentes de soporte a la decisión, el diagnóstico y tratamiento médico es un campo de aplicación clásico de la Inteligencia Artificial, ya que sus técnicas son idóneas para identificar patrones de síntomas mediante el análisis casuístico y estadístico de datos clínicos, representar conocimiento médico experto heurístico, realizar tareas de predicción y control en base al historial de datos de distinta naturaleza de un paciente posiblemente dinámicos e incompletos (que incluye imágenes y medidas de parámetros fisiológicos obtenidas mediante dispositivos diversos), etc.

En lo que respecta al diagnóstico psicológico, implica razonar con un conocimiento particularmente incierto, dinámico, incompleto y de conceptualización imprecisa. El psicólogo terapeuta toma decisiones multicriterio integrando conocimiento de fuentes dispares: conocimiento científico y casuístico reflejado en los resultados psicométricos, datos recogidos del paciente sesgados por su subjetividad y por la propia interpretación del terapeuta, heurísticas adquiridas a lo largo de su experiencia profesional, intuiciones difíciles de explicitar y verbalizar... Además, el psicólogo terapeuta debe observar atentamente al paciente; se guía por percepciones sensoriales e intuiciones, funcionalidades que pueden implementarse, respectivamente, en el marco de los paradigmas situado y conexionista de la Inteligencia Artificial (entendiendo aquí que la intuición es un conocimiento derivado de experiencias anteriores, aunque no hecho explícito o consciente). Finalmente, un sistema informático solo podrá desempeñar el rol de un buen terapeuta si integra técnicas avanzadas de procesamiento de lenguaje natural y computación afectiva (que designa a aquellos sistemas y dispositivos que pueden reconocer, interpretar, procesar y estimular las emociones humanas) e inteligencia ambiental (sistemas inteligentes sensibles a los parámetros biológicos de los humanos con el fin de identificar sus necesidades y adaptar su entorno en consecuencia).

Sistema informático para el diagnóstico de trastornos de la personalidad

Dentro del campo de la psicología, el enunciado se refiere concretamente al diagnóstico de trastornos de personalidad.

Se considera que un individuo presenta un trastorno de personalidad cuando se observan en él patrones perdurables de experiencia interna (pensamientos y emociones) y comportamiento, que se desvían notablemente de sus propias expectativas culturales. Dichos patrones se manifiestan en el ámbito de la cognición (p.e. en formas de percibir e interpretarse a uno mismo, a los demás y a los acontecimientos), la afectividad (p.e. en la gama, intensidad, labilidad y adecuación de la respuesta emocional), el funcionamiento interpersonal o el control de los impulsos, e interfieren con la capacidad de la persona para desempeñarse en las relaciones interpersonales, el trabajo y otros contextos. Se trata de patrones inflexibles y dominantes en gran variedad de situaciones personales y sociales, y causan un malestar clínicamente significativo o un deterioro en áreas importantes del funcionamiento personal. Se inician normalmente en la juventud, son estables y de larga duración, y no se explican mejor por los efectos de otro trastorno mental, consumo de sustancias o afecciones médicas fisiológicas.

El enunciado se refiere a un sistema informático capaz de diagnosticar y diseñar tratamientos de los trastornos de la personalidad en base a un conjunto de síntomas, circunstancias psicosociales, condiciones médicas y rasgos personales, con una perspectiva ecléctica. El sistema serviría tanto para el soporte de la práctica clínica (diagnóstico y tratamiento de pacientes) como para el estudio de la psicología patológica y la investigación de los trastornos de personalidad, permitiendo integrar y comparar modelos clasificatorios, y aportando rigor y uniformidad a los diagnósticos.

A partir de la descripción del enunciado podría entenderse que el sistema no realiza las tareas de identificación de síntomas y circunstancias del paciente relevantes para el diagnóstico (tareas que implicarían un uso intensivo de técnicas de Inteligencia Artificial, tal y como hemos señalado en la sección previa), sino que toma estos como datos de entrada para realizar diagnósticos aplicando algoritmos relativamente sencillos (p.e. mediante el modelo DSM). Las funcionalidades con que esta aplicación podría enriquecerse, y que requerirían claramente la aplicación de técnicas de Inteligencia Artificial, estarían pues orientadas a emular el rol del terapeuta en sus facetas más humanas (habilidades perceptivas, afectividad, intuición...).

No obstante, ya que en el enunciado se mencionan también propósitos de tratamiento, investigación y educación, la aplicación es idónea en cualquier caso para la introducción de técnicas de Inteligencia Artificial. También hace apropiada la utilización de estas técnicas el carácter ecléctico del diagnóstico de los trastornos de personalidad. Ya solo en lo que respecta al tratamiento de pacientes, la aplicación debe ser capaz de:

(a) Percibir el entorno, ya que el tratamiento requiere la monitorización continua de los pacientes, lo que podría implicar recoger información acerca de ellos mediante sensores y dispositivos diversos. Las facultades perceptivas resultan imprescindibles si se pretende que el sistema emule sesiones de terapia con un terapeuta.

(b) Razonar con un conocimiento incierto e incompleto (datos sensoriales, síntomas detectados, historiales clínicos, comunicaciones del paciente, etc.) para interactuar con el paciente, proponer tratamientos, evaluar la evolución de los trastornos, y analizar el efecto de los tratamientos propuestos, en base al conocimiento experto heurístico de la práctica clínica psicológica.

(c) Actuar en consecuencia de forma inteligente y adaptativa, conduciendo los diálogos terapéuticos, actualizando los diagnósticos, proponiendo nuevas medidas terapéuticas, y refinando las heurísticas aplicadas a partir de la experiencia.

En cuanto al propósito educativo de la aplicación, las aplicaciones de la Inteligencia Artificial en los sistemas de enseñanza son innumerables (ver, p.e., las soluciones a los exámenes de junio de 2012, 2013, y 2016). Finalmente, en lo que respecta al uso de la aplicación con fines de investigación, es evidente la utilidad de las técnicas de la Inteligencia Artificial para explotar las bases de datos clínicos para analizar la casuística, la eficiencia de los tratamientos, las correlaciones entre síntomas y trastornos, etc.

Veamos a continuación qué paradigmas y técnicas específicas de la Inteligencia Artificial podrían ser más útiles para cada uno de los componentes de la aplicación propuesta.

Componente para el diagnóstico y la asignación de tratamientos

Los trastornos de la personalidad han sido ampliamente estudiados en la psicología clínica, pero siempre desde perspectivas teóricas parciales. Si bien hoy en día el tratamiento de estos trastornos se basa en una aproximación ecléctica, no es frecuente en la literatura científica la integración de diferentes perspectivas teóricas, siendo lo habitual la profundización en una escuela de pensamiento determinada (psicodinámica, conductual, cognitiva, sistémica, etc.). El requisito de que el sistema sea capaz de

realizar diagnósticos y asignar tratamientos desde diferentes marcos teóricos complementarios en base a un conjunto de síntomas, y circunstancias y rasgos personales lo hace adecuado para una implementación mediante un Sistema Basado en Reglas (paradigma simbólico). Estos sistemas son idóneos en dominios donde no existen teorías unificadas y concisas sino conocimiento experto de naturaleza heurística. El conocimiento heurístico es un conocimiento disperso que se expresa en forma de inferencia de ciertas conclusiones o actuaciones cuando se presentan unas ciertas configuraciones de datos (estado, características y síntomas, ampliamente variables dependiendo del tipo de trastorno de la personalidad y del paciente, en este caso). Dada la imprecisión y difícil cuantificación de los conceptos manejados, la incertidumbre en las valoraciones, los posibles conflictos entre diferentes marcos teóricos, y el carácter evolutivo de la condición de los pacientes, resulta interesante integrar en los mecanismos de inferencia razonamiento aproximado, probabilístico y temporal (técnicas bayesianas, lógica multivaluada y borrosa, lógica temporal, y otras lógicas adecuadas para el tratamiento de cuestiones conjeturales y valorativas: no monotónica, intuicionista...). Dada la complejidad resulta indispensable un diseño de la ontología del dominio, que puede representarse en términos de marcos y guiones.

Considerando el fuerte carácter de sistema decisor multicriterio de esta aplicación, podría ser también útil una visión en términos de sistema multiagente (inteligencia artificial distribuida) donde cada agente podría especializarse en un criterio de decisión o escuela psicológica.

Este componente es clave tanto para las funcionalidades de diagnóstico y asignación de tratamiento evolutivos como para la funcionalidad educativa, y podría reconfigurarse dinámicamente (ajuste de factores probabilísticos, adición de nuevas reglas, integración de modelos conexionistas cuando el modelo de decisión aprendido no sea explícito, etc.) en base a las conclusiones del componente de investigación.

Componente de investigación

Como se mencionó previamente, la disponibilidad de historiales clínicos y casuística recogida en publicaciones científicas sugiere la aplicación de técnicas de aprendizaje computacional para el análisis de casos con el fin de identificar nuevos patrones y contribuir al establecimiento de estándares objetivos para un diagnóstico más preciso y tratamientos más efectivos, particularmente técnicas conexionistas con aprendizaje supervisado o no supervisado (redes neuronales, algoritmos genéticos, minería de datos).

Componente para la captura de datos del paciente

Los datos de los pacientes relevantes para el diagnóstico y la monitorización de su evolución pueden obtenerse de distintas fuentes y mediante diversos dispositivos: video, teclado, instrumentos de medida de parámetros fisiológicos, etc. La interpretación de sonidos, imágenes y configuraciones de datos sensoriales en general y datos de interacción de teclado y ratón puede realizarse en el contexto tanto del paradigma simbólico como del conexionista, y con aplicación de técnicas de visión artificial, reconocimiento del habla, procesamiento del lenguaje natural, etc.

Este componente sería utilizado por los componentes de diagnóstico y asignación de tratamiento, y obviamente para la simulación del diálogo terapéutico.

(Para más detalles sobre este componente, aunque trasladado al contexto de los sistemas educativos afectivos, ver las soluciones de los exámenes de junio de 2012, 2013 y 2016).

Componente para el tratamiento de pacientes

No entraremos en el detalle de este módulo, ya que en el enunciado no se explicita en qué consiste un tratamiento psicológico y estos son muy dependientes de la escuela psicológica considerada. Podemos imaginar que integraría un módulo para el diálogo terapéutico (que podría basarse en un Sistema

Basado en Reglas con conocimiento experto, técnicas de computación afectiva y en particular de análisis de sentimientos, y técnicas para el desarrollo de bots conversacionales: algoritmos genéticos y minería de datos, técnicas de “computación basada en humanos”, reconocimiento de patrones en textos, procesamiento del lenguaje natural, etc.).

(Para componentes adicionales característicos de una aplicación educativa, ver asimismo los exámenes de junio de 2012, 2013, y 2016).

2) En el enunciado se hace referencia a un Sistema Basado en Reglas capaz de diagnosticar trastornos en base a los modelos DSM y de “Los cinco grandes factores”, utilizando diagnóstico diferencial. Al analizar las respuestas de los alumnos se han detectado dos interpretaciones distintas de este enunciado. Incluimos aquí la respuesta correspondiente a cada una de estas interpretaciones:

- a) El proceso diagnóstico se realiza utilizando el modelo DSM y el resultado obtenido se confirma comprobando que es compatible con el modelo de “Los cinco grandes factores”; esto es, los rasgos de “Los cinco grandes factores” se toman como los síntomas cuya compatibilidad con un determinado diagnóstico permite realizar un diagnóstico diferencial. En el caso concreto planteado, un diagnóstico de trastorno obsesivo compulsivo (TOC) se confirma siempre que se observan puntuaciones altas en los rasgos del factor “Tensión” así como bajas puntuaciones en los rasgos del factor “Apertura Mental” y en los rasgos “Búsqueda de Emociones” y “Emociones Positivas”, del factor “Extraversión”. (Esta es la interpretación que estaba en la mente de los profesores al redactar el examen).
- b) El proceso diagnóstico se realiza independientemente de acuerdo al modelo DSM y al modelo de “Los cinco grandes factores”. Un diagnóstico tiene alta fiabilidad cuando es obtenido por ambos procedimientos simultáneamente y además es compatible con unos ciertos síntomas.

Pseudocódigo en el caso a):

Suponemos que la base de hechos contiene inicialmente el conjunto de síntomas y puntuaciones de los rasgos de los pacientes que se desea diagnosticar. En cuanto a la base de conocimiento, para el diagnóstico del TOC incluiría las reglas:

```
IF (paciente ?a)  $\wedge$  (síntoma ?a S1)  $\wedge$  (síntoma ?a S2)  $\wedge$  (síntoma ?a S3)
 $\wedge$  (síntoma ?a S4)
ENTONCES (diagnóstico DSM ?a TOC)
```

```
IF (paciente ?a)  $\wedge$  (síntoma ?a S1)  $\wedge$  (síntoma ?a S2)  $\wedge$  (síntoma ?a S3)
 $\wedge$  (síntoma ?a S5)
ENTONCES (diagnóstico DSM ?a TOC)
```

```
IF (paciente ?a)  $\wedge$  (síntoma ?a S1)  $\wedge$  (síntoma ?a S2)  $\wedge$  (síntoma ?a S3)
 $\wedge$  (síntoma ?a S6)
ENTONCES (diagnóstico DSM ?a TOC)
```

.....
(una regla para cada combinación de 4 síntomas del TOC: 70 reglas)

Otra posibilidad es que la base de hechos contenga también la declaración de los síntomas para cada trastorno (ej: (*característico S1 TOC*)). En ese caso una única regla podría representar el diagnóstico DSM:

```
IF (paciente ?a)  $\wedge$ 
(característico ?s1 ?t)  $\wedge$  (característico ?s2 ?t)  $\wedge$ 
```

```

(característico ?s3 ?t) ∧ (característico ?s4 ?t) ∧
(distintos ?s1 ?s2 ?s3 ?s4) ∧
(síntoma ?a ?s1) ∧ (síntoma ?a ?s2) ∧ (síntoma ?a ?s3) ∧ (síntoma ?a ?s4)
ENTONCES (diagnóstico DSM ?a ?t)

```

En cualquiera de los dos casos anteriores necesitaríamos adicionalmente expresar las incompatibilidades. Asumiendo asimismo que en la base de hechos están declarados los rasgos de cada factor (p.e. : (rasgo Cordialidad Extraversión)) tendríamos:

```

IF (paciente ?a) ∧ (rasgo r Tesón) ∧ ¬(puntuación ?a ?r alta)
ENTONCES (diagnóstico incompatible ?a TOC)

```

```

IF (paciente ?a) ∧ (rasgo r Apertura Mental) ∧ ¬(puntuación ?a ?r baja)
ENTONCES (diagnóstico incompatible ?a TOC)

```

```

IF (paciente ?a) ∧ ¬(puntuación ?a Búsqueda emociones baja)
ENTONCES (diagnóstico incompatible ?a TOC)

```

```

IF (paciente ?a) ∧ ¬(puntuación ?a Emociones positivas baja)
ENTONCES (diagnóstico incompatible ?a TOC)

```

```

IF (paciente ?a) ∧ (diagnóstico DSM ?a TOC)
∧ ¬ (diagnóstico incompatible ?a TOC)
ENTONCES (diagnóstico ?a TOC)

```

Pseudocódigo en el caso b)

Además de las reglas para el diagnóstico según el modelo DSM tendríamos una regla que chequea incompatibilidades:

```

(síntoma ?a ?s) ∧ (incompatible ?s ?t)
ENTONCES (diagnóstico incompatible ?a t)

```

Y las reglas para el diagnóstico basado en el modelo de los “Cinco Grandes factores”:

```

IF (paciente ?a) ∧ (rasgo ?r ?f) ∧ ¬(puntuación ?a ?r alta)
ENTONCES (no toda puntuación alta ?a ?f)

```

```

IF (paciente ?a) ∧ (rasgo ?r ?f) ∧ ¬(puntuación ?a ?r baja)
ENTONCES (no toda puntuación baja ?a ?f)

```

```

IF (paciente ?a) ∧ ¬ (no toda puntuación alta ?a Tesón) ∧
    ¬ (no toda puntuación baja ?a Apertura Mental) ∧
    (puntuación ?a Búsqueda emociones baja) ∧
    (puntuación ?a Emociones positivas baja)
ENTONCES (diagnóstico Los Cinco Grandes Factores ?a TOC)

```

```

IF (diagnóstico DSM ?a ?trastorno1) ∧
    (diagnóstico Los Cinco Grandes Factores ?a ?trastorno2) ∧
    (trastorno1 = trastorno2) ∧ ¬ (diagnóstico incompatible ?a trastorno1)
ENTONCES (diagnóstico ?a trastorno1, Alta fiabilidad)

```

```

R4: IF (diagnóstico DSM ?a ?trastorno1) ∧ (diagnóstico Los Cinco Grandes Factores ?a ?trastorno2) ∧ (trastorno1 ≠ trastorno2)
    ∧ ¬ (diagnóstico incompatible ?a trastorno1)
    ∧ ¬ (diagnóstico incompatible ?a trastorno2)
    ENTONCES (diagnóstico ?a trastorno1, Baja fiabilidad)
    ∧ (diagnóstico ?a trastorno2, Baja fiabilidad)

```

Como criterio general resulta indicado el encadenamiento hacia adelante cuando existe un elevado número de reglas con muchas condiciones en el antecedente, y el encadenamiento hacia atrás cuando hay muchas reglas cuyo consecuente forma parte del antecedente de otras muchas. Según este criterio sería más oportuno en nuestro caso el encadenamiento hacia adelante ya que, en el caso simplificado que plantea el enunciado, las inferencias son sencillas. No son necesarios largos encadenamientos para llegar a una conclusión diagnóstica, como puede ser el caso en otros campos médicos donde el diagnóstico implica recorrer complejos árboles de decisión para ir descartando sucesivas hipótesis.

Cuando se utiliza encadenamiento hacia adelante todas las reglas aplicables a la base de hechos se aplican hasta que no se generan nuevos hechos. En nuestro caso los diagnósticos acordes al modelo DSM se podrían obtener por encadenamiento hacia adelante (la presencia de unos determinados síntomas del paciente en la base de hechos dispararía las correspondientes reglas y podrían añadirse hechos del tipo *(diagnóstico DSM Paciente TOC)* y *(diagnóstico Los Cinco Grandes Factores Paciente TOC)*). Del mismo modo podría dispararse alguna regla de incompatibilidad, provocando la adición del hecho *(diagnóstico incompatible Paciente TOC)*. Según el caso podrían o no dispararse reglas adicionales, confirmando un diagnóstico o asignando un grado de fiabilidad a un diagnóstico (según consideremos la interpretación a o b).

Por otro lado, se recomienda utilizar encadenamiento hacia atrás (también denominado “guiado por objetivos”) cuando los objetivos a alcanzar están muy perfilados, lo que en nuestro caso significa tener de antemano ciertas hipótesis acerca de los diagnósticos más probables. Adicionalmente, siempre es interesante que los sistemas de soporte al diagnóstico médico integren facilidades de explicación de sus razonamientos, lo que se facilita cuando el sistema puede razonar hacia atrás. Esto es particularmente interesante en el caso de nuestra aplicación, ya que se pretende que sirva para propósitos educativos. No obstante, de nuevo la sencillez de las inferencias hace que este aspecto no tenga demasiada relevancia.

Las medidas que pueden adoptarse en un sistema basado en reglas para reducir costes computacionales están explicadas en el capítulo 3 del libro de texto.

En los Sistemas Basados en Reglas se distingue entre costes de control debidos a la búsqueda de las reglas compatibles con la base de hechos (equiparación), y selección de reglas en un orden determinado para comprobar si se satisfacen sus condiciones (resolución de conflictos); y el coste de aplicación de las reglas (ejecución de las reglas y actualización de la base de hechos). Si la selección de reglas es desinformada, arbitraria, los costes de control son bajos, pero es alto el coste de ensayar reglas en busca de una solución.

Nuestro sistema incluiría muchas reglas y hechos (son muchas las configuraciones de síntomas y rasgos que identifican un mismo trastorno y son muchos los síntomas y rasgos tomados en cuenta), y las reglas contendrían muchas condiciones en los antecedentes, aunque no conllevarían la ejecución de procedimientos de alto coste.

En lo referente a los costes computacionales, el problema del encadenamiento hacia adelante es que la falta de focalización hacia una meta hace que se realicen un gran número de equiparaciones y disparen

muchas reglas que no conducirán finalmente a un resultado (p.e., en nuestro caso, reglas de incompatibilidades). Sin embargo, técnicas de aceleración del proceso de equiparación como RETE permiten ganar mucha eficiencia en estos procesos, ya que evitan examinar todas las reglas con todos los datos de la base de hechos, eludiendo hacer más de una vez una misma equiparación. El coste computacional no depende de la base de hechos sino de su velocidad de cambio, ya que se guardan los resultados de las equiparaciones. El gran tamaño de la base de hechos no influye tanto, de este modo, en el coste computacional.

El coste de aplicación de las reglas podría reducirse también mediante búsqueda informada, esto es, en base al conocimiento del problema. Este conocimiento podría utilizarse para evitar disparar reglas que no vayan a aportar nuevo conocimiento a la base de hechos: p.e., en el caso de las primeras 70 reglas (o en su expresión sintética del diagnóstico SDM, o en el caso de las reglas que describen las incompatibilidades) una vez disparada una de ellas no debería dispararse ninguna más del grupo, aunque el contenido de la base de hechos lo permitiese (principio de refracción). Este tipo de medidas requeriría indexar las reglas agrupándolas en función del trastorno y modelo de diagnóstico a que se refieren y la etapa en que se aplican, y ordenarlas considerando la secuencia en que deben examinarse (p.e.: 1º) generación de posibles diagnósticos, 2º) confirmación de un diagnóstico evaluando las incompatibilidades), o qué trastornos son más comunes.

Comprobar unas ciertas hipótesis diagnósticas con encadenamiento hacia atrás limitaría mucho el número de equiparaciones en los antecedentes de las reglas, ya que solo unas pocas reglas tendrían como consecuente a la hipótesis diagnóstica.

El encadenamiento mixto reduce el tiempo de cómputo y también puede beneficiarse de la búsqueda informada. Así por ejemplo, si se sabe de antemano que ciertos rasgos o síntomas suelen revelar incompatibilidades con un número importante de trastornos, convendría empezar seleccionando las correspondientes reglas, y después tomar como hipótesis diagnósticas los trastornos compatibles, y comprobar estas hipótesis mediante encadenamiento hacia atrás.

3) R1 se ha expresado en lógica modal, ideal para representar condiciones de posibilidad:

$$\begin{aligned} & \forall \text{paciente}, t \text{ condición grave } (\text{paciente } t) \\ & \rightarrow \Diamond \left(\exists \text{trastorno1}, \text{trastorno2} \left(\text{trastorno1} \neq \text{trastorno2} \right) \right. \\ & \quad \wedge \text{diagnosticado_DSM}(\text{paciente}, t, \text{trastorno1}) \\ & \quad \left. \wedge \text{diagnosticado_DSM}(\text{paciente}, t, \text{trastorno2}) \right) \end{aligned}$$

En el caso de R2, es suficiente la lógica de predicados, ya que no intervienen las nociones de tiempo ni posibilidad, ni incertidumbre (la afirmación es rotunda):

$$\begin{aligned} & \exists \text{paciente}, \forall \text{trastorno} \\ & \neg \text{diagnosticado_DSM}(\text{paciente}, \text{trastorno}) \wedge \text{patente_trastorno}(\text{paciente}) \end{aligned}$$

Podría hacerse más énfasis en que el paciente nunca será diagnosticado utilizando lógica temporal:

$$\begin{aligned} & \exists \text{paciente}, \forall \text{trastorno} \\ & G(\neg \text{diagnosticado}(\text{paciente}, \text{trastorno}) \wedge \text{patente_trastorno}(\text{paciente})) \end{aligned}$$

Universidad Nacional de Educación a Distancia

Grado en Ingeniería Informática
y
Grado en Ingeniería en Tecnologías de la Información

Asignatura: ***Fundamentos de Inteligencia Artificial*** (2º curso)

Soluciones exámenes **Junio 2017**

Ejercicio 1, Semana 1. (Valoración: 2.5 puntos)

Explique brevemente si cada una de las cuatro afirmaciones siguientes es realmente verdadera o falsa. Utilice ejemplos sencillos que ilustren su explicación.

- (1) Las relaciones ad-hoc en un sistema de marcos se definen inicialmente siempre entre marcos clase (y no entre marcos instancia).
- (2) En una red semántica se pueden representar acciones y eventos utilizando nodos situación (o suceso).
- (3) De un marco instancia del que parte una relación “instancia-de” hacia cierto marco clase no pueden partir otras relaciones “instancia-de” hacia otros marcos clase diferentes al citado.
- (4) En la herencia de propiedades en redes semánticas, se hereda el valor de la propiedad del nodo más cercano al nodo que sirvió como punto de partida de la inferencia.

SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán:

- (1) Las relaciones ad-hoc en un sistema de marcos se definen inicialmente siempre entre marcos clase (y no entre marcos instancia).

Verdadero. Véase la explicación dada en la página 148 del texto base de la asignatura en relación a la figura 4.12.

- (2) En una red semántica se pueden representar acciones y eventos utilizando nodos situación (o suceso).

Verdadero. Véase el ejemplo de la figura 4.4 (página 138) del texto base de la asignatura y su explicación asociada.

- (3) De un marco instancia del que parte una relación “instancia-de” hacia cierto marco clase no pueden partir otras relaciones “instancia-de” hacia otros marcos clase diferentes al citado.

Falso. Por ejemplo, “Pedro” se puede corresponder con una instancia de la clase “Hombre” y, a su vez, con una instancia de la clase “Periodista”.

- (4) En la herencia de propiedades en redes semánticas, se hereda el valor de la propiedad del nodo más cercano al nodo que sirvió como punto de partida de la inferencia.

Verdadero. Esto permite trabajar adecuadamente con propiedades que presentan excepciones. Véase el ejemplo de la figura 4.9 (página 142) del texto base de la asignatura.

Ejercicio 2, Semana 1. (Valoración: 2.5 puntos)

Describe detalladamente las características del algoritmo IDA*.

SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán:

El algoritmo A* requiere memoria que crece de forma exponencial con el tamaño del problema, incluso disponiendo de buenos heurísticos. Una de las variantes del algoritmo A* que aborda este problema es el algoritmo IDA*, propuesto a mediados de los 80 y cuyas siglas en inglés significan *Iterative Deepening A**. En líneas generales, IDA* amplía la búsqueda iterativa en profundidad asociando a cada nodo n su valor de la función heurística propia del algoritmo A*, $f(n) = g(n) + h(n)$.

IDA* realiza búsquedas primero en profundidad iterativamente desde el nodo raíz, aumentando en cada iteración la profundidad límite de dichas búsquedas. La primera búsqueda en profundidad se realiza a través de todos aquellos nodos n tal que $f(n) < f(\text{nodo raíz})$. (Si suponemos que f es admisible entonces $f(\text{nodo raíz})$ es menor que el coste de la solución óptima.) Cualquier nodo que no cumpla dicha condición es tratado como un callejón sin salida al intentar ser expandido, es decir, es descartado en el proceso de búsqueda en profundidad. El menor valor de f de los nodos descartados en la búsqueda en profundidad de la iteración actual será el límite de la búsqueda en profundidad de la siguiente iteración.

Por lo general, los hijos de cada nodo expandido se introducen ordenados según su valor de f en ABIERTA, que actúa como una **pila**. De este modo, se consideran antes los hijos más prometedores de cada nodo expandido, lo cual generalmente reduce el número de nodos expandidos en una iteración de búsqueda en profundidad en caso de que en la misma se llegue a la meta.

Si h es admisible, IDA* también lo será. Por otra parte, al realizar IDA* una iteración de búsquedas en profundidad, su consumo de memoria es proporcional al producto de la profundidad de la solución y del factor de ramificación, lo cual supone un importante ahorro de memoria. Sin embargo, el tiempo de búsqueda en cada iteración de búsqueda en profundidad es exponencial con la profundidad límite.

Ejercicio 3, Semana 1. (Valoración: 5 puntos)

Aunque el periodismo parezca una profesión excitante, lo cierto es que los periodistas se lamentan de escribir siempre las mismas historias y carecer de tiempo para tareas de interés como hacer entrevistas o investigar qué hay detrás de una información.

El trabajo del periodista común consiste en redactar artículos en base a información o notas de prensa que le proporcionan. Por el contrario, el periodismo de investigación consiste en una investigación sistemática, en profundidad y original, que en general implica revelar cuestiones encubiertas de manera deliberada (por alguien en posición de poder) o de manera accidental, detrás de una masa caótica de datos y circunstancias que dificultan la comprensión. Es una actividad que requiere el uso de fuentes y documentos tanto públicos como secretos.

Las tecnologías de la información y la comunicación liberan hoy en día a los periodistas de las tareas más tediosas (asistentes de voz que transcriben entrevistas, procesadores de texto predictivos que mejoran la estructura de los artículos en base a plantillas prediseñadas...). La publicación inmediata en Internet de alertas y notificaciones de interés público por parte de diferentes agencias (servicios de información geológica sobre terremotos, servicios policiales de alerta de criminalidad en localizaciones geográficas, servicios de publicación de informes financieros...) facilita la labor periodística. Por otro lado, la automatización de labores clave como verificación de fuentes, o selección, jerarquización, valoración y elaboración de noticias, podría asegurar la objetividad y la fiabilidad.

Sin embargo, las nuevas tecnologías plantean cuestiones éticas, de responsabilidad social, o relacionadas con la manipulación en la selección de noticias. En las últimas elecciones estadounidenses se filtraron noticias falsas con el fin de influir en los resultados de las elecciones. Las cuentas automatizadas o bots de Twitter, son herramientas habitualmente empleadas por los periodistas para estar al tanto de los temas candentes en la red y analizar la respuesta anímica de la sociedad ante las noticias. Esto permite reaccionar en consecuencia contraatacando con noticias que orienten la opinión pública en la dirección deseada, o practicando el sensacionalismo.

Por otro lado, la profesión periodística considera que la gente no quiere consumir contenidos objetivos, sino que busca más bien interpretación, y satisfacer su necesidad de “identificarse”. La “personalización de la experiencia del consumidor”, es decir, la adaptación de artículos a los intereses, visión política, nivel cultural, equipo de fútbol, ubicación geográfica...del lector, podría constituir el nuevo reto de la profesión periodística.

- 1) Se desea diseñar una aplicación de Inteligencia Artificial que facilite la labor periodística. En base al texto anterior, defina las funcionalidades de tal aplicación, incluyendo aquellas que pudieran vulnerar la ética profesional, indicando los paradigmas y técnicas específicas de la Inteligencia Artificial más indicados para su implementación, justificando brevemente su respuesta. Resuma brevemente en qué consiste cada paradigma. **(Puntuación máxima: 2 puntos).**
- 2) Formalice las expresiones siguientes utilizando un tipo de lógica diferente en cada caso. Compare brevemente los tipos de lógica escogidos en lo referente a poder expresivo, complejidad computacional y decibilidad. **(Puntuación máxima: 1.5 puntos).**

R1: En periodismo, la objetividad no siempre es posible, y puede que no sea deseable.

R2: El trabajo del periodista consiste en rellenar todos los días un mismo número de columnas impresas al dorso de anuncios.

- 3) Imagine que la aplicación puede registrar comentarios de los lectores acerca de las noticias en formato audio. Describa los predicados borrosos “enfadado” y “pesimista”, en función de los predicados `tono_medio_enfadado`, `velocidad_de_locución_enfadado`, `decibelios_enfadado`; y `tono_medio_pesimista`, `velocidad_de_locución_pesimista`, `decibelios_pesimista`. Considere que:
 - a) Una voz denota pesimismo cuando el tono medio es inferior a los 80 hercios, la velocidad de locución es menor de 85 palabras por minuto y la intensidad es menor de 40 decibelios.
 - b) Una voz denota enfado cuando el tono medio es superior a los 230 hercios, la velocidad de locución está entre 190 y 210 palabras por minuto, y la intensidad es mayor de 75 decibelios.

- c) En una conversación de estado anímico neutro el tono medio suele estar entre 100 y 190 hercios, la velocidad de locución entre 110 y 150 palabras por minuto, y el nivel de intensidad de la voz entre 50 y 60 decibelios. La voz es inaudible por debajo de los 30 decibelios.
(Puntuación máxima: 1.5 puntos).

SOLUCIÓN por Angeles Manjarrés:

NOTA: La redacción de esta respuesta es más completa de lo que se requiere del alumno. Una síntesis de alrededor de una página de extensión sería suficiente para obtener la puntuación completa en este apartado.

a) La funcionalidades principales de la aplicación descrita serían:

- 1) Redactar artículos o notas breves en lenguaje natural** para publicar alertas en Internet a partir de notificaciones de diferentes agencias; presentar noticias sobre historias prototípicas; o reflejar el contenido de información o notas de prensa.

Esta funcionalidad podría implicar recuperar información de diversas fuentes y modelarla de forma apropiada (*ver sección 4*) y algoritmos de conversión de datos en prosa narrativa.

Algunas de las herramientas requeridas para implementarla (tales como procesadores de texto predictivos que mejoran la estructura de los artículos en base a plantillas prediseñadas) son comunes hoy en día y no implicarían tecnologías de lingüística computacional muy sofisticadas.

Para componer artículos de cierta extensión y complejidad, serían necesarias técnicas simbólicas, en particular, sistemas expertos que representasen la ciencia periodística en lo que respecta a la narración de sucesos y presentación de la información dependiendo del tipo de noticia.

Estos sistemas expertos integrarían estrategias de narración para contar historias de forma creativa, utilizando un estilo que llegue, enganche y convenza al lector. Los artículos se compondrían combinando ideas y recursos narrativos eficaces, aplicando pautas de composición y estructuración de noticias. Una pauta para presentar noticias podría ser, por ejemplo, empezar por destacar el hecho de mayor importancia que ha tenido lugar (qué dictaminó un jurado, quién fue asesinado, qué equipo ganó un partido de fútbol...) y después narrar el suceso cronológicamente.

Las estrategias serían diferentes para generar noticias en lenguaje hablado, para una posterior generación de audio.

Los artículos deberían ajustarse a un cierto estilo de publicación tanto en lo que se refiere a aspectos puramente formales como a otros procedimientos establecidos en la cultura particular de cada medio. El sistema experto y los algoritmos de generación de prosa deberían incorporar una guía de estilo dependiente de la línea editorial, y el carácter del medio y de su público (más o menos conservador, más o menos informal, más o menos técnico, de cierta edad y género preferentes, etc).

Hay cualidades de la narrativa que parecen particularmente difíciles de emular por medios algorítmicos, tales como el sentido del humor o el uso emocional del lenguaje... Aunque los ideales de objetividad y claridad de exposición sugieren dejar estos aspectos al margen del relato periodístico, lo cierto es que para suscitar el interés del público con frecuencia las noticias se impregnan de estos aspectos, particularmente el relato sensacionalista. Sería necesario recurrir a los expertos en periodismo sensacionalista para elicitar las correspondientes heurísticas.

Habitualmente los periodistas menos experimentados escriben una muestra de posibles narraciones y reciben realimentación de los periodistas expertos de forma iterativa hasta que el artículo resulta

adecuado. Este procedimiento de adiestramiento podría emularse mediante aprendizaje computacional supervisado.

- 2) Interpretar datos:** para la redacción de artículos de editorial o artículos de opinión que no suponen meramente presentar unos datos en forma narrativa, sino que implican su interpretación.

Esta funcionalidad requiere una gran potencia y complejidad de razonamiento. Podríamos concebir, no obstante, un sistema experto que representase ciertas heurísticas periodísticas y razonase estableciendo analogías en base a un amplio registro de noticias y análisis precedentes (organizadas en taxonomías representadas mediante marcos, ontologías o redes semánticas) que posibilitase, por ejemplo, contrastar la veracidad de ciertos datos o predecir el impacto de determinadas políticas. Para este propósito sería útil incorporar en las bases de conocimiento técnicas de razonamiento aproximado (modelos de decisión multicriterio, modelos bayesianos, lógicas no clásicas...). El razonamiento basado en casos parece también una técnica idónea para este propósito.

- 3) Dar soporte al periodismo de investigación,** para automatizar en lo posible una investigación sistemática, en profundidad y original, que revele cuestiones encubiertas de manera deliberada (por alguien en posición de poder) o de manera accidental, detrás de una masa caótica de datos y circunstancias que dificultan la comprensión, usando fuentes y documentos tanto públicos como secretos.

Esta funcionalidad requeriría un sistema experto en la ciencia periodística aún más potente, que integrase una buena parte del currículum de los estudios de periodismo (incluyendo por ejemplo, conocimiento sobre metodología de investigación de las ciencias sociales).

Este sistema experto codificaría, en particular, estrategias para encontrar historias periodísticas de interés. Un caso claro de estas estrategias sería “seguir el rastro del dinero”. Por ejemplo, si hay un desastre natural de importantes dimensiones, habrá una gran partida de dinero asignada y procede desencadenar una revisión de informes y registros de financiación (presupuestos oficiales, facturas, contabilidad de gobiernos y partidos políticos, etc) en busca de algún desvío de fondos. Si hay noticias de malfuncionamiento de un cierto hospital o colegio público, se investigaría si los fondos recibidos por el hospital o colegio se corresponden con las inversiones realizadas.

Los ejemplos anteriores ponen de manifiesto que la aplicación debería también integrar una base de conocimiento sobre leyes, políticas y normativas que se deberían cumplir, así como técnicas de recuperación de información (*ver sección 4*).

Esta funcionalidad abre la posibilidad de manipulación en la selección de noticias, así como la publicación de noticias falsas, guiadas por heurísticas particulares dependiendo de la tendencia política e intereses del medio implicado.

- 4) Recuperar información de fuentes diversas:** para automatizar la verificación de fuentes y chequear la precisión de la información en documentos de referencia tanto públicos como secretos (para dar soporte al periodismo de investigación); y para realizar sondeos de opinión y análisis de tendencias en redes sociales, blogs...

Usando técnicas de recuperación de información (*ver la respuesta al ejercicio 3, apartado a, sección 3, del examen de la segunda semana de esta misma convocatoria*) se podrían identificar patrones de pistas, anomalías o falsedades, irregularidades que podrían esconder corrupción o abuso de poder, en informes económicos u otro tipo de registros tales como: minutas de reuniones, informes policiales o del gobierno, propiedades en el registro de la propiedad, información proporcionada por diversas agencias (p.e., datos recopilados por sensores que miden la polución del aire).

(en cuanto al sondeo en redes sociales, blogs...ver la respuesta al ejercicio 3, apartado a, sección 1, del examen de la segunda semana de esta misma convocatoria: estas funciones son las mismas requeridas para que el bot asistente interprete los debates).

5) Modelar a los usuarios: para caracterizarlos de acuerdo a su nivel de pericia e inclinaciones en cuestiones políticas, intereses, temas que les causan mayor intensidad de respuesta emocional...y de este modo satisfacer su necesidad de “identificarse”.

Los modelos de usuario posibilitarían la “personalización de la experiencia del consumidor”, es decir, la adaptación de las noticias a los intereses, visión política, nivel cultural, equipo de fútbol, ubicación geográfica, etc del lector, relativizando las noticias en función de su perfil.

Este modelado se realizaría en base al análisis de participación de los usuarios en redes sociales, blogs, twitter, etc y aplicando técnicas de computación afectiva *(de forma análoga a como en la solución del examen de la segunda semana de esta misma convocatoria se constrúan los modelos de usuario a partir de las conversaciones en los debates políticos: ver soluciones al apartado a, secciones 1, 4 y 6 de la pregunta 3).*

Las capacidades de conocer los temas candentes en la red y analizar las respuestas anímicas de la sociedad facilitan el sensacionalismo y la orientación de la opinión pública en ciertas direcciones deseadas.

6) Publicar de forma automática e inmediata en Internet alertas y notificaciones de interés público.

Esta función no requiere la aplicación de técnicas de inteligencia artificial.

7) Hacer entrevistas automáticas.

Esta funcionalidad requiere toda la potencialidad de un bot conversacional inteligente *(ver solución al ejercicio 3, apartado a de la solución al examen de segunda semana de esta convocatoria).*

Los bots conversacionales también podrían utilizarse para la implementación de cuentas de twitter automáticas que influyan y manipulen la opinión pública.

Los fuertes requisitos de flexibilidad de esta aplicación, la necesidad de integrar en tiempo real las complejas e interrelacionadas funcionalidades descritas, sugieren la aplicación de modelos de decisión multicriterio y, particularmente, del paradigma de agentes inteligentes cooperativos.

2)

R1:

$\rightarrow \Box \text{ factible-objetividad} \wedge \Diamond \rightarrow \text{deseable-objetividad}$

o bien, sería lo mismo:

$\rightarrow \Box \text{ factible-objetividad} \wedge \rightarrow \Box \text{ deseable-objetividad}$

o bien:

$\Diamond \rightarrow \text{factible-objetividad} \wedge \Diamond \rightarrow \text{deseable-objetividad}$

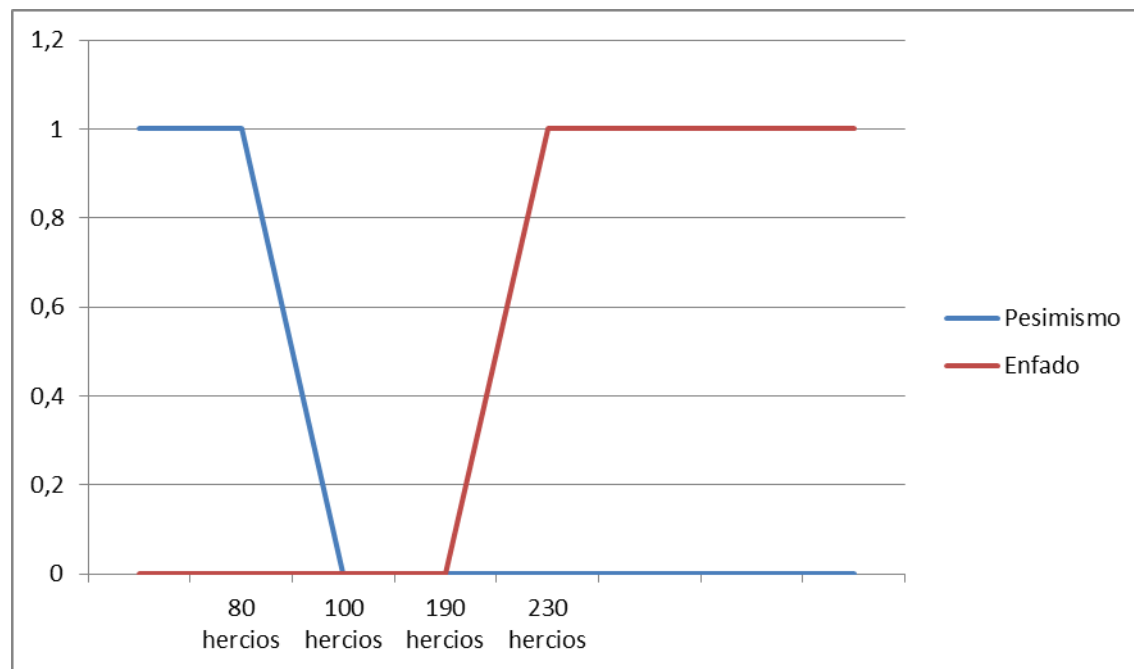
R2

$\forall d, p / \text{periodista}(p) \wedge \text{dia}(d) \rightarrow \exists \text{cols}, n / \text{escribir}(p, d, \text{cols}) \wedge \text{num}(\text{cols}) = n \wedge \text{dorso_anuncios}(\text{cols})$

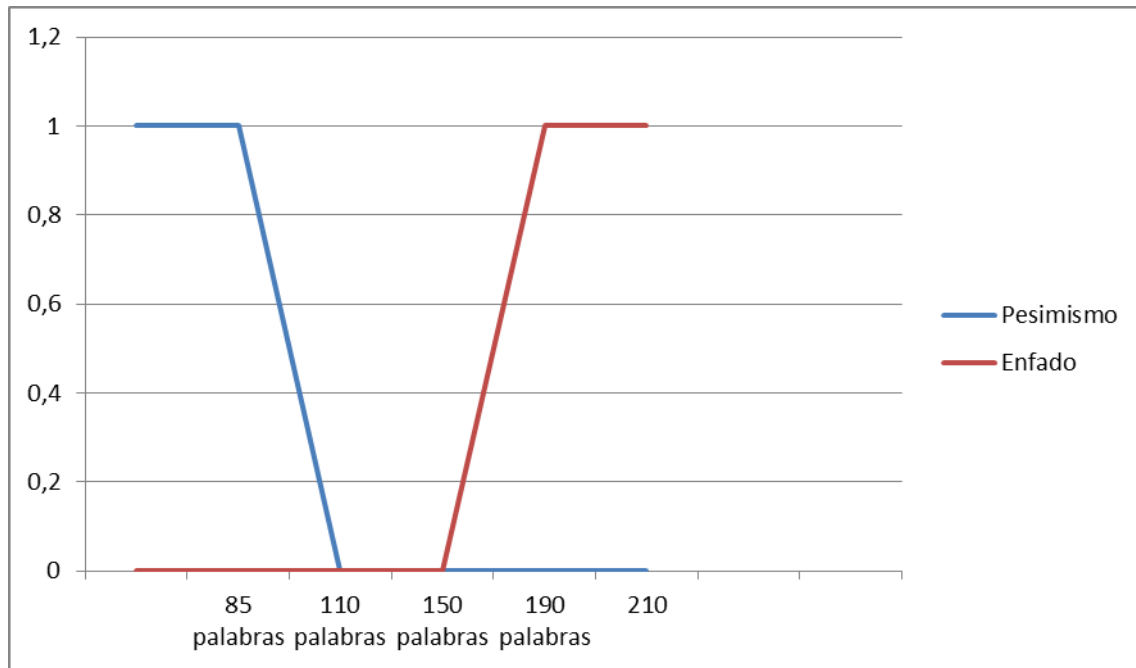
(Para la comparación de los tipos de lógica escogidos en lo referente a poder expresivo, complejidad computacional y decidibilidad, ver libro de texto, tema 2).

3)

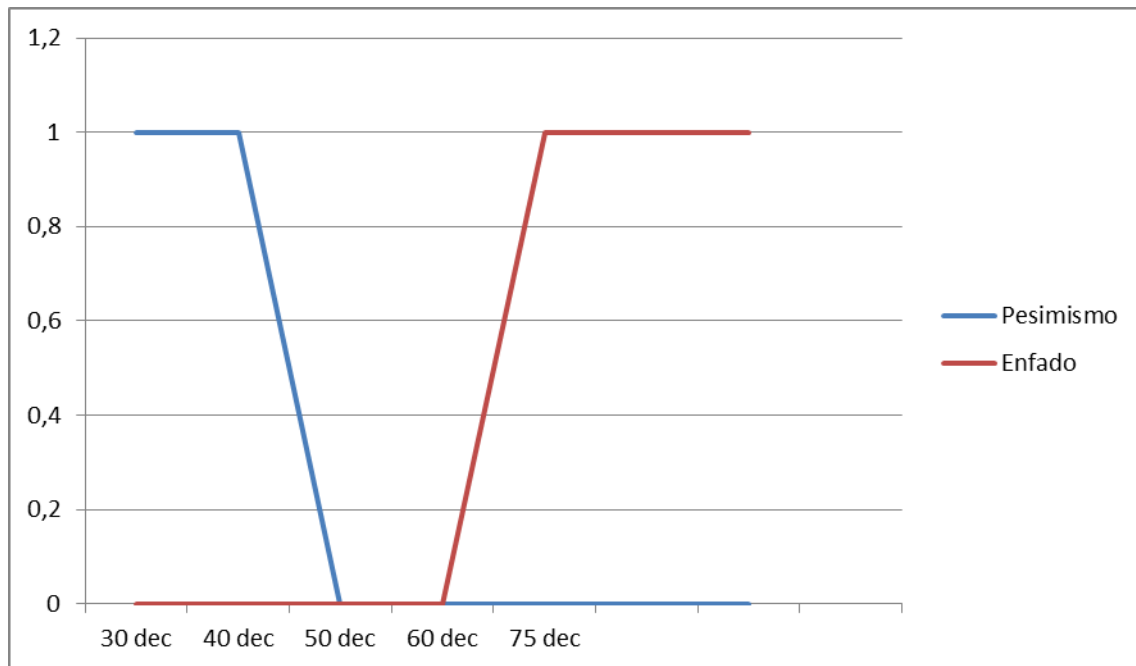
Representación de los predicados borrosos tono_medio_enfadado y tono_medio_pesimista:



Representación de los predicados borrosos velocidad_de_locución_enfadado y velocidad_de_locución_pesimista:



Representación de los predicados borrosos decibelios_enfadado y decibelios_pesimista:



En cuanto a los predicados borrosos pesimista y enfadado:

$$\mu_{\text{pesimista}} = 1 \text{ si } (\mu_{\text{tono_medio_pesimista}} = 1) \text{ ó } (\mu_{\text{velocidad_de_locución_pesimista}} = 1) \text{ ó } (\mu_{\text{decibelios_pesimista}} = 1)$$

Ya que podemos entender del enunciado que cada uno de los tres parámetros (tono medio, velocidad de locución, intensidad en decibelios) puede poner de manifiesto por sí solo estas emociones si su valor se registra en un cierto rango.

En otro caso $\mu_{\text{pesimista}}$ será una función (tipo suma ponderada) de $\mu_{\text{tono_medio_pesimista}}$, $\mu_{\text{velocidad_de_locución_pesimista}}$ y $\mu_{\text{decibelios_pesimista}}$; por ejemplo:

$$\mu_{\text{pesimista}} = \frac{1}{3} \mu_{\text{tono_medio_pesimista}} + \frac{1}{3} \mu_{\text{velocidad_de_locución_pesimista}} + \frac{1}{3} \mu_{\text{decibelios_pesimista}}$$

μ_{enfadado} podría representarse mediante análoga expresión funcional

Ejercicio 1, Semana 2. (Valoración: 2.25 puntos)

Explique brevemente si cada una de las cuatro afirmaciones siguientes es realmente verdadera o falsa. Utilice ejemplos sencillos que ilustren su explicación.

- (1) La faceta “tipo ranura” de un sistema de marcos establece el tipo de datos con el que se rellenará una propiedad o relación.
- (2) Los arcos “subclase-de” de una red semántica son ejemplos de arcos estructurales, mientras que los arcos “parte-de” de una red semántica son ejemplos de arcos descriptivos.
- (3) Los marcos realizan inferencia a través de herencia, valores activos y equiparación.
- (4) No se pueden tener propiedades repetidas con el mismo nombre en diferentes marcos clase.

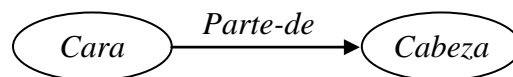
SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán:

(1) La faceta “tipo ranura” de un sistema de marcos establece el tipo de datos con el que se rellenará una propiedad o relación.

Verdadero. Véase la explicación dada en la página 152 del texto base de la asignatura.

(2) Los arcos “subclase-de” de una red semántica son ejemplos de arcos estructurales, mientras que los arcos “parte-de” de una red semántica son ejemplos de arcos descriptivos.

Falso. Tanto los arcos “subclase-de” como “parte-de” de una red semántica son ejemplos de arcos estructurales. En redes semánticas, la agregación es un proceso básico asociado a arcos estructurales; por ejemplo, “la cara forma parte de la cabeza” se representaría como:



(3) Los marcos realizan inferencia a través de herencia, valores activos y equiparación.

Verdadero. Véanse las explicaciones y ejemplo de la sección 4.5 del texto base de la asignatura.

(4) No se pueden tener propiedades repetidas con el mismo nombre en diferentes marcos clase.

Falso. Debido al carácter local de las propiedades, se pueden tener propiedades repetidas con el mismo nombre en diferentes marcos clase. Véase la explicación y ejemplo que aparece en la página 155 del texto base de la asignatura.

Ejercicio 2, Semana 2. (Valoración: 2.75 puntos)

Defina los conceptos de “completitud” y “admisibilidad” de un algoritmo de búsqueda. Indique razonadamente si son o no completos y si son o no admisibles los siguientes algoritmos de búsqueda: “Primero en Anchura”, “Primero en Profundidad” y “Búsqueda Bidireccional”. Por último, compare las complejidades de estos tres algoritmos de búsqueda. ¿Qué ventajas e inconvenientes ofrecen estos tres algoritmos de búsqueda respecto a los recursos computacionales que requieren?

SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán:

Un algoritmo de búsqueda es completo si siempre encuentra solución, en el caso de que exista alguna. Un algoritmo de búsqueda es admisible si siempre encuentra una solución óptima.

La búsqueda primero en anchura, al realizar una exploración del árbol de búsqueda por niveles de profundidad, es completo. Además, en el caso de que todos los arcos a igual profundidad tengan igual coste, también es admisible.

La búsqueda primero en profundidad, al realizar una exploración que intenta bajar de nivel de profundidad siempre que sea posible, no es completa ni admisible. Ello es debido a que la búsqueda puede quedar atrapada en una rama infinita. Aunque se establezca un límite de profundidad, esto tampoco garantiza que la búsqueda sea completa, ya que las soluciones pueden encontrarse más allá de la profundidad límite elegida.

La búsqueda bidireccional explora simultáneamente en dos direcciones: desde el nodo inicial a los objetivos y viceversa. Si una de las dos búsquedas es en anchura, se garantiza que las dos búsquedas se encontrarán en algún momento. Por tanto, la búsqueda bidireccional es completa y, si la búsqueda se realiza desde todos los nodos objetivo, es admisible.

De cara a comparar las complejidades de los tres algoritmos de búsqueda del enunciado, definimos los siguientes conceptos:

- *Factor de ramificación (b)*: es el número medio de sucesores/hijos de los nodos del árbol de búsqueda.
- *Profundidad de la solución (d)*: número de arcos desde el nodo inicial hasta la solución, que suponemos única.

Los órdenes de magnitud de las complejidades espacial y temporal de estos tres algoritmos se incluyen en la siguiente tabla:

	ANCHURA	PROFUNDIDAD	BIDIRECCIONAL
Espacial	$O(b^d)$	$O(b \cdot d)$	$O(b^{d/2})$
Temporal	$O(b^d)$	$O(b^d)$	$O(b^{d/2})$

El algoritmo primero en anchura tiene el inconveniente de requerir espacio y tiempo exponenciales con la profundidad de la solución. El algoritmo primero en profundidad tiene la ventaja de requerir espacio proporcional a la profundidad de la solución. Por último, la búsqueda bidireccional tiene la ventaja de reducir a la mitad el exponente de las complejidades espacial y temporal de la búsqueda primero en anchura.

Ejercicio 3, Semana 2. (Valoración: 5 puntos)

En las últimas décadas, las tecnologías de la información han favorecido la participación de la ciudadanía en política. En concreto, han surgido aplicaciones web que, en periodos de campaña electoral, permiten visualizar programas electorales y ofrecen servicios tales como foros de discusión online para promover la valoración de las propuestas, o publicación de información actualizada relacionada (noticias, sondeos de opinión, etc.).

Se desea desarrollar una aplicación que ofrezca las siguientes funcionalidades:

- 1) Soporte de debates. La aplicación proporcionaría un asistente virtual que:*
 - Moderaría los debates, ayudando a los usuarios a centrar las discusiones en los temas de interés, promoviendo debates fluidos, respetuosos y reflexivos (controlando la extensión de las intervenciones, y el uso de insultos y lenguaje obsceno; señalando las imprecisiones y errores léxico-gramaticales; chequeando la referenciación de mensajes y el rigor de los datos aportados; resumiendo conclusiones; proponiendo temas de debate de actualidad; etc.).*
 - Facilitaría la comparación de los distintos programas electorales, proporcionando extractos de los textos pertinentes en función de los temas discutidos.*
 - Proporcionaría asimismo noticias, artículos y datos de actualidad relevantes en el contexto de las discusiones.*
 - Incorporaría el conocimiento de un diccionario enciclopédico especializado en las ciencias económicas, jurídicas y políticas. De este modo podría responder a consultas de los usuarios acerca de legislación, sistemas de gobierno, situación del país, etc. como experto politólogo, y guiar a los usuarios en el uso preciso de los conceptos y términos de la política. Para el ciudadano medio la aplicación incorporaría pues también una dimensión educativa.*
- 2) Animación de debates. Opcionalmente la aplicación podría aportar “tertulianos virtuales” de cierta personalidad e inclinaciones políticas que participarían en los debates, con el objetivo de animarlo y representar diferentes puntos de vista.*
- 3) Modelado de usuarios. A partir de sus intervenciones en los debates y los datos personales que proporcionasen la aplicación caracterizaría a los usuarios de acuerdo a su nivel de pericia en cuestiones políticas, intereses personales o profesionales, temas que les causan una mayor intensidad emocional, etc. Tanto el asesor virtual como los tertulianos virtuales podrían mantener conversaciones fluidas y personalizadas, de apariencia humana, con los usuarios, tanto en los foros de debate como en chats privados.*
- 4) Emisión de informes donde se identifiquen los temas más populares o polémicos y se analicen las dinámicas de discusión política y el modo en que fluyen y se contagian las respuestas emocionales en este contexto.*
- 5) Envío de consultas o sugerencias a los candidatos. Con la ayuda del asistente virtual, los usuarios podrían desarrollar nuevas propuestas de gobierno con la posibilidad de editarlas colaborativamente en tiempo real.*

Para cubrir estas funcionalidades la aplicación sería capaz de interpretar la jerga particular que utiliza el ciudadano medio en las discusiones políticas, así como de identificar los peculiares términos agresivos utilizados en este contexto. Para la especificación de la aplicación se contaría con expertos en el ámbito de la ciencia política y del activismo político.

- a) Describa una aplicación basada en técnicas de Inteligencia Artificial capaz de proporcionar las funcionalidades descritas. Indique cuáles de entre las mencionadas funcionalidades no requieren la utilización de técnicas de Inteligencia Artificial y cuáles requieren la utilización de técnicas de inteligencia artificial más complejas. Proponga paradigmas y técnicas específicas para abordar el desarrollo de las distintas partes de la aplicación, justificando brevemente su respuesta. ¿Considera que la Inteligencia Artificial se utilizaría en este caso exclusivamente como ingeniería, o también como ciencia?. **(Puntuación máxima: 2 puntos).**

b) Especifique (en pseudocódigo) el conjunto de reglas que se describe a continuación, que definen un escenario de diálogo entre usuarios, y asistente y tertulianos virtuales. Indique el tipo de encadenamiento necesario para la generación de las intervenciones del asesor virtual y los tertulianos virtuales en un debate. Explique brevemente los distintos tipos de estrategias de selección de reglas que existen. ¿Cuál o cuáles considera más indicadas para este caso con el fin de garantizar una buena moderación del debate y un debate fluido y animado?

(Puntuación máxima: 1.5 puntos).

R1: Si un usuario insulta o utiliza palabras obscenas el *Asistente* le escribe el mensaje personal: "Por favor, modere su lenguaje o será expulsado de la discusión".

R2: Si el debate se desvía del tema (la ratio de términos relacionados con el tema del debate identificados en las intervenciones baja por debajo de un valor umbral) el *Asistente* advierte: "Por favor, centrémonos en el tema de debate".

R3: Si un usuario hace referencia a una noticia o propuesta de programa el *Asistente* aporta información acerca de esta noticia o propuesta.

R4: Si una intervención de un usuario es muy larga el *Asistente* le escribe el mensaje personal: "Por favor, limite la extensión de sus intervenciones a 10 líneas".

R5: Ocasionalmente, *Tertuliano1* dice: "Venezuela es una dictadura".

R6: Ocasionalmente, *Tertuliano2* dice: "Uy qué malos somos los de derechas uy".

R7: Ocasionalmente, *Tertuliano3* dice: "Los mayordomos de los ricos son los que nos están gobernando".

R8: Ocasionalmente, *Tertuliano-pareja3* dice "El cielo no se toma por consenso, se toma por asalto"

c) Represente las reglas siguientes utilizando un tipo de lógica distinto en cada caso y justificando brevemente su elección. Describa brevemente los tipos de lógica utilizados. Se valorará particularmente el uso de lógicas no clásicas **(Puntuación máxima: 1,5 puntos).**

R9: Es posible que los términos casta, mamporrero, podemita, pijoprogre, rojeras, dedócrata, perroflauta, izmierdoso, pancista, uñilargo, metesillas, sacamuertos, culiparlante y ministrito se utilicen como insultos, y también es posible que se utilicen como apelativos cariñosos.

R10: El enfado es más contagioso que las emociones de alegría o tristeza; esto implica que si una persona envía un mensaje de tono enfado, a partir de ese momento siempre hay muchas personas que envían mensajes de tono enfadado.

SOLUCIÓN por Angeles Manjarrés:

NOTA: La redacción de esta respuesta es más completa de lo que se requiere del alumno. Una síntesis de alrededor de una página de extensión sería suficiente para obtener la puntuación completa en este apartado.

a) La aplicación descrita se basaría fundamentalmente en dos tipos de aplicación cada vez más difundidos: los bots de charla y los asistentes virtuales.

Un bot de charla (chatbot) o bot conversacional es un programa que simula mantener una conversación con el usuario dando respuestas automáticas a sus entradas. Habitualmente, la conversación se establece mediante texto escrito, pero también existen aplicaciones con interfaz multimedia que ofrecen la posibilidad de comunicación por voz.

Un asistente virtual es un programa que realiza servicios, comunicándose con el usuario asimismo por mensajes de voz o texto, accediendo a información de una variedad de recursos habitualmente disponibles en Internet. Algunos ejemplos bien conocidos son Siri de Apple o Cortana de Microsoft. Cada vez es más común la integración de bots conversacionales con asistentes virtuales. Éste es el tipo de aplicación requerido en el caso del asistente moderador de debates políticos, mientras que los tertulianos virtuales podrían implementarse como bots conversacionales comunes.

Veamos ahora qué técnicas se requieren para satisfacer los diferentes requisitos de la aplicación, dotando de la inteligencia necesaria a estos bots conversacionales.

- 1) **Analizar las intervenciones de los usuarios** léxico-gramaticalmente y con el fin de extraer información relevante para: identificar los temas más populares y conclusiones principales; evaluar si se trata de un debate centrado; estimar la longitud de las intervenciones; identificar insultos o términos imprecisos, y referencias entre mensajes; extraer datos susceptibles de ser validados; reconocer el contexto y tono anímico de la conversación para asistir con información pertinente en cada momento; interpretar las consultas de los usuarios; completar y actualizar los modelos de usuario; estudiar las dinámicas de discusión y emocionales, aprender a interpretar la jerga de los usuarios.

La aplicación requiere un bot asistente inteligente avanzado, con capacidades de aprendizaje y de interpretación del lenguaje natural. Cada intervención al debate no podrá analizarse por separado, sino que deberá interpretarse en función del contexto de la conversación. Para esto se requieren técnicas de procesamiento del lenguaje, el registro de la conversación, y la caracterización del contexto en términos de estados.

En relación con el entendimiento del lenguaje, existen múltiples técnicas de Inteligencia Artificial para analizar la composición, la sintaxis y el significado de los mensajes.

Se utilizarían técnicas de **lingüística computacional y análisis de sentimientos**. Estas técnicas implican **métodos estadísticos de clasificación**, encuadrados en el paradigma conexionista, para el reconocimiento de patrones y extracción de características de las conversaciones: redes neuronales, lógica borrosa, deep learning... Deep learning consiste en modelos neuronales multicapa complejos con unidades de procesamiento no lineal donde cada capa representa un nivel de abstracción de los datos. Las estructuras de deep learning se asemejan en mayor medida que las redes neuronales artificiales convencionales a la organización del sistema nervioso de los mamíferos, con capas de unidades de proceso (neuronas artificiales) que se especializan en detectar determinadas características ocultas de los datos. Visión Artificial es una de las áreas donde el deep learning proporciona una mejora considerable en comparación con algoritmos más tradicionales.

Los modelos conexionistas podrían configurarse mediante métodos de aprendizaje computacional supervisados (entrenándose con repositorios de debates) y no supervisados (los propios algoritmos obtendrían autónomamente conclusiones sobre la semántica embebida en los datos).

Hablaríamos de **minería de datos y big data** cuando el objetivo fuese analizar numerosas líneas de debate con un **gran volumen de intervenciones para realizar valoraciones globales** con el fin de, p.e., estudiar la propagación de emociones a través de la red. Estos estudios supondrían aportaciones en los campos de la psicología y la sociología, de modo que la aplicación implicaría también un enfoque de la Inteligencia Artificial como ciencia.

Para el registro de la conversación y la caracterización de su estado, así como para un análisis morfológico, sintáctico y semántico profundos, las técnicas estadísticas se habrían de complementar con **técnicas de procesamiento de lenguaje natural simbólico**, esto es, basado en el paradigma simbólico de representación del conocimiento (sistemas basados en reglas, marcos, ontologías, redes semánticas). Dada la ambigüedad tan a menudo presente en el lenguaje natural y la variedad de significados y razonamientos que pueden comunicarse (hipotético, temporal, impreciso, etc) las representaciones se beneficiarían del uso de **lógicas no clásicas** (modal, borrosa, intuicionista).

También sería necesario el acceso a diversas bases de conocimiento experto (paradigma simbólico) en relación a pautas de un buen debate, conocimiento sobre ciencia política y activismo político (elicitado de los expertos colaboradores del proyecto) o interpretación de la jerga de los usuarios. Estas bases de

conocimiento podrían enriquecerse a partir de la interacción con los usuarios mediante técnicas de aprendizaje computacional.

Algunos aspectos de la evaluación de las intervenciones no requerirían la aplicación de técnicas de Inteligencia Artificial (p.e. estimación de la extensión de las intervenciones y otras métricas aplicables a los textos).

- 2) **Elaborar las intervenciones del asistente virtual** en lenguaje natural. El bot asistente debería ser capaz de improvisar respuestas y aprender nuevas respuestas reconociendo contextos en base a interacciones con los usuarios en tiempo real y en base a los modelos de usuario. No bastaría con extraer respuestas de bases de datos estáticas siguiendo un conjunto de reglas, como en el caso de los bots conversacionales sencillos.

Para inferir las acciones e intervenciones del asistente virtual en función de las intervenciones concretas de los usuarios y el contexto de la conversación, sería adecuado implementar un sistema basado en reglas, y la consulta a múltiples bases de conocimiento (sobre pautas adecuadas en un buen debate, moderación de debates, modelos de usuario y tipo de respuestas requeridas en función del perfil de usuario...). Estas bases de conocimiento podrían enriquecerse con la experimentación de la aplicación, identificándose por aprendizaje computacional nuevas reglas para extraer conclusiones sobre inclinaciones políticas de los usuarios, identificar los temas que causan mayor intensidad emocional, etc. En cuanto al contenido concreto de los mensajes, su elaboración requeriría recuperar información de diversas fuentes (ver apartado siguiente) y, su redacción, de nuevo técnicas de lingüística computacional.

- 3) **Recuperar información de fuentes diversas:** para contrastar los datos aportados al debate; proponer temas de actualidad; comparar programas electorales proporcionando extractos de los textos pertinentes; proporcionar noticias, artículos y datos relevantes; o extraer conocimiento del diccionario enciclopédico para responder a las consultas de los usuarios.

Para estas funciones se requieren procedimientos de recuperación de información en textos, que implican técnicas conexionistas para el reconocimiento de patrones (minería de datos, deep learning, big data).

La búsqueda de respuestas a preguntas planteadas en lenguaje natural en documentos distribuidos en Internet, es un tipo particular de recuperación de información en textos que los populares motores de búsqueda (como Google o Copernic) realizan de forma cada vez más sofisticada. Requiere tecnologías de procesamiento de lenguaje natural y algoritmos de aprendizaje en tiempo real, siendo muy útiles técnicas conexionistas tales como los algoritmos evolutivos y los algoritmos genéticos. Estos algoritmos son métodos de optimización y búsqueda de soluciones basados en los postulados de la evolución biológica, que resultan muy eficaces en problemas con espacios de búsqueda extensos y no lineales, donde otros métodos no son capaces de encontrar soluciones en un tiempo razonable.

Las búsquedas se realizarían tanto sobre metadatos que describen documentos u otro tipo de objetos multimedia distribuidos en Internet, como en los propios textos, imágenes, ficheros de sonido, etc., bases de conocimiento de sistemas expertos, o bases de datos relacionales. Los objetos multimedia pueden describirse mediante diferentes modelos lógicos. Los modelos probabilísticos, bayesianos, la lógica borrosa...tienen particular aplicabilidad, tanto en las búsquedas como en la valoración de los resultados o cantidad de información encontrada mediante medidas de rendimiento y corrección.

Dada la diversidad de tipos de consultas y formas en que se presentarán, resultaría imprescindible hacer una categorización jerárquica en forma de taxonomías (modeladas en términos de ontologías, marcos, o redes semánticas) que tradujesen cada cuestión compleja a varias cuestiones simples.

- 4) **Modelar a los usuarios:** caracterizándolos de acuerdo a su nivel de pericia en cuestiones políticas, intereses, temas que les causan mayor intensidad de respuesta emocional...

En lo que respecta a los datos personales introducidos en la aplicación por los propios usuarios obviamente no se requiere inteligencia artificial alguna. La adaptación y enriquecimiento dinámico de los modelos de los usuarios requeriría la aplicación de técnicas de aprendizaje computacional (tanto supervisado como no supervisado) en base a los datos obtenidos de su interacción con la aplicación (tanto en las conversaciones como en virtud de la inteligencia ambiental imbuida en la aplicación: estos aspectos se han explicado en las soluciones de exámenes previos, en particular en el contexto de los sistemas recomendadores afectivos).

- 5) **Emitir informes y enviar consultas y sugerencias** a los candidatos. Las técnicas conexionistas mencionadas en el apartado 1 permitirían transformar las conversaciones en representaciones donde la información contenida apareciese estructurada para la generación de resúmenes, informes, consultas y sugerencias a candidatos, análisis de las dinámicas de discusión ... y también de las dinámicas afectivas, si se incluye análisis de sentimiento. Las técnicas de procesamiento de lenguaje simbólico serían asimismo útiles para la composición del discurso de acuerdo a diferentes estructuras prototípicas de documentos en cada caso.

Para enviar a los candidatos propuestas redactadas colaborativamente por los usuarios no sería necesaria la aplicación de técnicas de inteligencia artificial.

- 6) **Proporcionar interfaces multimedia:** para la comunicación entre tertulianos físicos y virtuales y tertulianos reales, y para dar soporte al diagnóstico de emociones mediante el procesamiento de datos sensoriales.

El paradigma situado resulta el idóneo para la implementación de estas funciones (ver otras soluciones de ejercicios de examen donde se describen ampliamente aplicaciones de inteligencia ambiental y computación afectiva).

- 7) **Animar el debate.** Quizá en este caso bastaría con bots conversacionales más sencillos, capaces de reconocer ciertas palabras o frases de los interlocutores (a modo de comandos) y contestar con un rango de posibles respuestas preparadas de antemano. A partir de un repositorio de respuestas, este tipo de bots conversacionales es capaz de seguir una conversación con más o menos lógica, con apariencia de comprender a los usuarios, aplicando unas reglas básicas.

Un módulo de estas características podría no requerir siquiera la utilización de técnicas de Inteligencia artificial, aunque se vería enriquecido con posibilidades de recuperación de la información pertinente, por ejemplo, de argumentarios de partidos políticos, artículos de opinión sesgados por cierta inclinación política o bases de datos con coletillas que aportasen a los tertulianos matices personales y un mayor realismo. El lenguaje utilizado por cada tertuliano podría tener un toque personal distinto en cuanto a estilo y estructura.

Los fuertes requisitos de flexibilidad de esta aplicación, la necesidad de integrar en tiempo real las complejas e interrelacionadas funcionalidades descritas, sugieren la aplicación de modelos de decisión multicriterio y, particularmente, del paradigma de agentes inteligentes cooperativos.

b)

R1: SI (usuario ?u) \wedge (intervención ?u ?i) \wedge (contiene ?i ?p) \wedge ((insulto ?p) \vee (obscenidad ?p))
ENTONCES Añadir(mensaje-asistente ?u “Por favor, modere su lenguaje o será expulsado de la discusión”)

R2: SI tema (?d ?t) \wedge términos-totales (?d ?n) términos-relacionados (?d ?t ?m) \wedge (última-intervención ?i ?d) \wedge (contiene ?i ?p) \wedge (relacionada ?p ?t)
ENTONCES Borrar (ratio ?d ?t ?m/?n) Añadir(ratio ?d ?t (?m + 1)/ ?n+1)
SI (ratio ?d ?t ?r) \wedge (?r < umbral)
ENTONCES Añadir(intervención-asistente(?d “Por favor, centrémonos en el tema de debate”)

R3: SI (intervención ?i ?d) \wedge (contiene ?i ?p) \wedge ((referencia-noticia ?p) \vee (referencia-programa ?p)) \wedge (aportación-info ?p ?a)
ENTONCES Añadir(intervención-asistente ?d ?a)

R4: SI (intervención ?u ?i) \wedge (líneas ?i ?l) \wedge (?l > 10)
ENTONCES Añadir(mensaje-asistente ?u “Por favor, limite la extensión de sus intervenciones a 10 líneas”)

El carácter ocasional de las últimas reglas podría implementarse incluyendo reglas sin antecedentes (siempre satisfechas) y controlando su selección mediante la estrategia de selección de reglas.

Existen soluciones alternativas a ésta, como utilizar una típica función random que genera valores aleatorios:

R5: SI (función-aleatoria-tertuliano1(?d ok)
ENTONCES Añadir(intervención-tertuliano1(?d “Venezuela es una dictadura”)

R6 SI (función-aleatoria-tertuliano2 ?d ok)
ENTONCES Añadir(intervención-tertuliano2(?d “Uy qué malos somos los de derechas uy”)

R7 SI (función-aleatoria-tertuliano3 ?d ok)
ENTONCES Añadir(intervención-tertuliano3(?d “Los mayordomos de los ricos son los que nos están gobernando”)

R8 SI (función-aleatoria-tertuliano-pareja3 ?d ok)
ENTONCES Añadir(intervención-tertuliano-pareja3(?d “El cielo no se toma por consenso, se toma por asalto”)

O prefijar las intervenciones en instantes temporales o con frecuencias prefijados . Así, por ejemplo:

R5: SI (registro-temporal ?t) \wedge función-temporal-tertuliano1 ?d ?t ok)
ENTONCES Añadir(intervención-tertuliano1(?d “Venezuela es una dictadura”)

El tipo de encadenamiento necesario para la generación de las intervenciones del asistente y los tertulianos virtuales, de acuerdo a las reglas propuestas, es el encadenamiento hacia adelante.

Sobre los tipos de estrategias de selección de reglas, ver sección 3.5 del libro de texto.

Organizando las reglas en distintos bloques y ordenando los bloques en la base de reglas o bien asignando prioridades, podrían reflejarse pautas de moderación de debates y contribuir a debates fluidos y animados. Así, podría darse la máxima prioridad a las reglas que codifican las intervenciones del asesor virtual relacionadas con controlar los aspectos más esenciales del debate (que las intervenciones

no sean demasiado largas, que no se utilice un tono inadecuado, que el debate no degenere en temas colaterales...). Las reglas que tienen como efecto el cálculo de métricas deberían tener máxima prioridad para garantizar que las medidas están siempre actualizadas (p.e., la regla 2).

También podría optarse, p.e., por dar siempre la última prioridad a las intervenciones de los tertulianos, dándose a estas intervenciones la funcionalidad de rellenar tiempos muertos.

Optar por ejecutar primero las reglas que requieren instanciaciones más específicas, o las instanciaciones que tienen elementos más recientemente añadidos a la base de hechos, supondría dar prioridad a la atención de las necesidades concretas de los usuarios frente a, por ejemplo, dar paso a intervenciones de los tertulianos virtuales.

Seleccionar reglas arbitrariamente entre las reglas de intervención de los tertulianos virtuales podría contribuir a dar naturalidad y credibilidad a estos personajes. Seleccionar las instanciaciones que no se hayan ejecutado previamente garantizaría que ningún tertuliano virtual se quedaría sin intervenir. Sobre la definición e idoneidad de los diferentes tipos de lógica para cada caso, ver capítulos 2 y 7 del libro de texto.

c)

R9:

$intervención(i) \wedge contiene(i,p) \wedge$
 $((p= casta) \vee (p= mamporrero) \vee (p= podemita) \vee (p= pijoprogre) \vee (p= rojeras) \vee (p= dedócrata) \vee (p=$
 $perroflauta) \vee (p= izmierdoso) \vee (p= pancista) \vee (p= uñilargo) \vee (p= metesillas) \vee (p= sacamuertos) \vee$
 $(p= culiparlante) \vee (p= ministrito))$
 $\wedge \diamond insulto(p) \wedge \diamond apelativo-cariñoso(p)$

R10:

$mas-contagioso(enfado, alegría) \wedge$
 $mas-contagioso(enfado, tristeza) \wedge$
 $(\exists t, u / (usuario(u) \wedge mensaje(u, t enfadado) \rightarrow \exists t', t'' / (t' > t) \wedge (t'' > t) \wedge total_mensajes(t', t'', enfadado, n)$
 $\wedge porcentaje-alto(n)))$

Donde t, t' y t'' son variables temporales.

Universidad Nacional de Educación a Distancia

Grado en Ingeniería Informática
y
Grado en Ingeniería en Tecnologías de la Información

Asignatura: ***Fundamentos de Inteligencia Artificial*** (2º curso)

Soluciones exámenes **Septiembre 2017**

Ejercicio 1. (Valoración: 2 puntos)

Explique brevemente si cada una de las cuatro afirmaciones siguientes es realmente verdadera o falsa. Utilice ejemplos sencillos que ilustren su explicación.

- (1) Una red semántica puede contener información relativa a que dos nodos representan conceptos disjuntos.
- (2) En redes semánticas no se puede realizar inferencia mediante equiparación.
- (3) Si el coste de todos los operadores es el mismo, la búsqueda de coste uniforme es equivalente a la búsqueda primero en profundidad.
- (4) Hay herencia de propiedades en redes semánticas.

SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán:

- (1) Una red semántica puede contener información relativa a que dos nodos representan conceptos disjuntos.

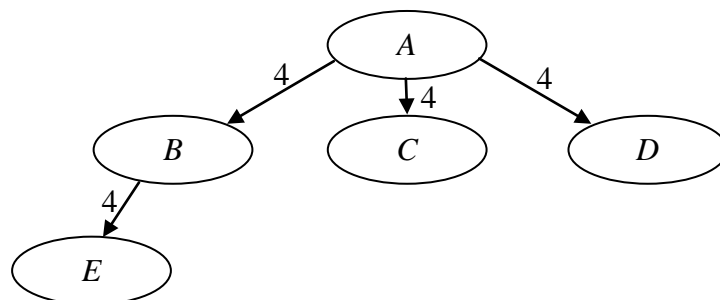
Cierto, por ejemplo mediante la etiqueta “Disjunto” o mediante arcos especiales como los usados por Hendrix. La etiqueta “Disjunto” expresa el hecho de que dos conceptos son excluyentes. Un ejemplo sencillo se puede encontrar en la figura 4.5 de la página 138 del texto base.

- (2) En redes semánticas no se puede realizar inferencia mediante equiparación.

Falso. La equiparación es una de las técnicas de inferencia más empleadas en redes semánticas. En la explicación asociada a la figura 4.7 del texto base se describe un ejemplo de equiparación con la red de la figura 4.4 del mismo texto base.

- (3) Si el coste de todos los operadores es el mismo, la búsqueda de coste uniforme es equivalente a la búsqueda primero en profundidad.

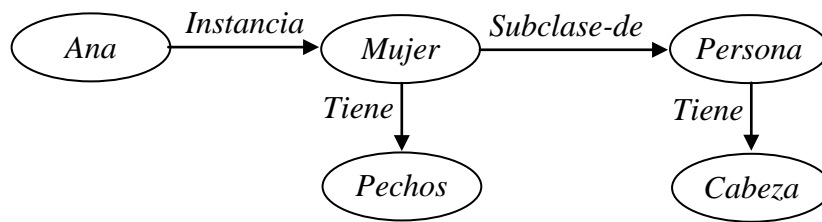
La búsqueda de coste uniforme inserta los nodos de forma ordenada en ABIERTA teniendo en cuenta el coste desde el nodo inicial a cada uno de los nodos. Si el coste de todos los operadores es el mismo, siempre se sacarán primero de ABIERTA los nodos de menor profundidad. Por tanto, la afirmación es falsa, ya que la búsqueda de coste uniforme sería equivalente a la búsqueda primero en anchura y no a la búsqueda primero en profundidad. Por ejemplo, dado el árbol:



los nodos serán expandidos en el orden $\{A(0), B(4), C(4), D(4), E(8)\}$ según su coste creciente al nodo inicial.

- (4) Hay herencia de propiedades en redes semánticas.

Cierto. La herencia de propiedades tiene lugar en redes semánticas a través de los arcos “Instancia” y “Subclase-de”. Por ejemplo, en la red semántica siguiente:



se puede deducir mediante herencia de propiedades que Ana tiene pechos (por ser un ejemplo de mujer) y que tiene cabeza (por ser un ejemplo mujer y ser las mujeres personas).

Ejercicio 2. (Valoración: 3 puntos)

Describe detalladamente las características del algoritmo de “temple simulado”.

SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán:

El temple simulado es un método de búsqueda local. La búsqueda local se suele emplear en problemas en los que el nodo meta por sí sólo contiene toda la información sobre la solución de un problema y no es necesario considerar la información proveniente del camino que ha llevado a la meta.

La búsqueda local consiste en realizar cambios en el estado actual que nos lleven a un estado vecino de cara a acabar en el estado meta tras una serie de iteraciones. Se suele partir de un estado inicial y se calculan los estados vecinos del actual mediante una **regla de vecindad**. Los vecinos del nodo actual son evaluados y se selecciona normalmente el mejor de ellos que cumpla cierto **criterio de aceptación**. Dicho vecino pasa a ser el nodo actual en la siguiente iteración de la búsqueda local. Este proceso se repite hasta que se cumpla cierto **criterio de finalización**; por ejemplo, que se haya realizado un determinado número de iteraciones o que no se hayan producido mejoras en la calidad del nodo actual durante las últimas iteraciones.

La búsqueda local realiza una búsqueda en un espacio de estados a los que se puede asociar una función objetivo. La función objetivo puede contener numerosos óptimos locales, lo cual puede dificultar enormemente la consecución del óptimo global. En cualquier caso, la búsqueda local es un método eficiente que puede encontrar soluciones aceptablemente buenas en un tiempo reducido. Además, se puede combinar con otros métodos de búsqueda más sofisticados, como pueden ser los algoritmos evolutivos. De forma ideal, la regla de vecindad debería cumplir la denominada “regla de conectividad”, según la cual desde cualquier estado se debe poder alcanzar el objetivo óptimo mediante una secuencia de transformaciones.

El método de temple simulado tiene las siguientes peculiaridades:

- Realiza una selección aleatoria entre los vecinos del nodo actual.
- El criterio de aceptación permite admitir, con una cierta probabilidad, algunas transiciones entre estados en las que empeore el valor de la función objetivo. Dicha probabilidad depende de dos parámetros: la temperatura T y el incremento de energía $\Delta E = \text{coste}(\text{vecino-seleccionado}) - \text{coste}(\text{estado-actual})$. Esto evita caer en óptimos locales durante la búsqueda. En cualquier caso, si el valor de la función objetivo (o “coste”) del estado vecino elegido fuera mejor que el valor del estado actual ($\Delta E < 0$), la transición se realizaría siempre al igual que en el caso del algoritmo de escalada.
- Al principio de la búsqueda, la temperatura tiene un valor alto, de modo que la probabilidad de aceptar un estado peor que el actual sea grande. La temperatura va decreciendo a lo largo del proceso de búsqueda según un determinado plan de enfriamiento, que puede ser más rápido o más lento. Por tanto, a medida que la búsqueda progresa, cada vez es más probable que sólo se admitan soluciones que mejoren o igualen a la actual.
- Generalmente, la probabilidad de llegar a una buena solución mediante el temple simulado es mayor si la temperatura inicial es alta y el plan de enfriamiento es lento. Sin embargo, en dicho caso la búsqueda consume demasiado tiempo, ya que el criterio de terminación suele ser que la temperatura alcance un valor suficientemente pequeño.

Un inconveniente del temple simulado es que requiere un ajuste apropiado de sus parámetros en función del problema abordado, sobre todo del plan de enfriamiento, de cara a que el proceso de búsqueda resulte eficaz y se obtenga una buena solución. Este ajuste depende fuertemente de la forma de la función objetivo y de la distribución de sus óptimos locales, es decir, del problema particular que estemos intentando resolver.

Ejercicio 3. (Valoración: 5 puntos)

Los sistemas recomendadores educativos afectivos sensibles al contexto personalizan la enseñanza (interfaz, contenidos, asistencia o recomendaciones ofrecidas...) tomando en cuenta, además del perfil del estudiante, información contextual dinámica del escenario de aprendizaje y dando especial relevancia a la dimensión afectiva.

Se entiende por contexto toda la información que puede ser usada para caracterizar la situación en que el estudiante aborda el estudio y que debería condicionar el comportamiento del sistema educativo y su tipo de interacción con el estudiante. La información de contexto viene determinada por la situación del estudiante, y por las propiedades del entorno y de todos los elementos presentes en él, que pueden variar en el tiempo actuando de forma directa sobre su estado.

El contexto en que un estudiante a distancia se enfrenta al estudio en un momento dado tiene múltiples dimensiones: personales (postura física que adopta, estado fisiológico-cognitivo-emocional, actividad que realiza en paralelo, perfil académico, situación laboral...), interpersonales (situación familiar, personas presentes en la escena, variables culturales, situación económica-política-social de la sociedad en que vive...) espacio-temporales (habitacionales, geográficas, climáticas, horarias... iluminación, nivel de ruido, localización, hora-mes-año, velocidad...), tecnológicas (características de hardware y software de los dispositivos utilizados y estado de estos dispositivos, infraestructura de red...), educacionales (institución educativa, cultura pedagógica...), etc.

Podemos imaginar fácilmente diferentes escenarios de estudio que requieren diferentes tipos de enfoque pedagógico, actividades de estudio o soporte afectivo. Un alumno puede estudiar y alternativamente atender tareas domésticas (poner la lavadora, vigilar el horno...), “intentar” estudiar mientras su niña reclama su atención, o bajo la presión de los exámenes cercanos.

Un contexto dado puede refinarse en muchos contextos específicos. Así por ejemplo, un alumno puede estudiar mientras viaja en autobús, situación que define un contexto que puede concretarse en diferentes contextos tales como: esperando el autobús, autobús llegando a la parada y autobús circulando. Un sistema recomendador educativo sofisticado podría avisar al alumno cuando estuviese llegando a su parada, para que pudiera concentrarse despreocupadamente en el estudio durante el trayecto.

El sistema podría contribuir a optimizar los “tiempos muertos” que los estudiantes dedican al estudio, desarrollar habilidades de gestión del tiempo y gestión emocional, enseñar a equilibrar la dedicación a la familia el trabajo y el estudio, etc.

(1) Indique cuáles de entre las funcionalidades de la aplicación descrita no requieren la utilización de técnicas de Inteligencia Artificial y cuáles requieren la utilización de técnicas de Inteligencia Artificial más complejas. Indique qué paradigmas y técnicas específicas de la Inteligencia Artificial son, a su juicio, apropiadas para el desarrollo de esta aplicación. En particular, indique qué tipo de lógica/s sería más adecuada/s para la representación del conocimiento implicado. Justifique sus respuestas. **(Valoración: 1.5 puntos).**

(2) Defina brevemente los siguientes tipos de lógica: fragmentos de lógica de primer orden, lógica modal, lógica temporal basada en intervalos, lógica clásica con la hipótesis del mundo cerrado. **(Valoración: 1 punto).**

(3) Represente las siguientes frases de apoyo afectivo utilizando el tipo de lógica que considere más adecuado en cada caso:

- a) Un viaje de diez mil kilómetros empieza por un solo paso.
- b) No he fracasado, he encontrado 10000 formas que no funcionan.
- c) Empieza haciendo lo necesario, después lo posible, y de repente te encontrarás haciendo lo imposible.
- d) Los mejores comienzos vienen después de los peores finales.

(Valoración: 1.5 puntos).

(4) Imagine un Sistema Basado en Reglas para la implementación de un módulo de esta aplicación. Describa a grandes rasgos los componentes de este sistema e ilustre con ejemplos su funcionamiento. Reflexione sobre los costes computacionales acarreados por las distintas operaciones y sobre cómo minimizarlos. **(Valoración: 1 puntos).**

SOLUCIÓN por Angeles Manjarrés:

NOTA: La redacción de esta respuesta es más extensa de lo que se requiere del alumno. Una síntesis de alrededor de una página de extensión sería suficiente para obtener la puntuación completa en este apartado.

(1) Indique cuáles de entre las funcionalidades de la aplicación descrita no requieren la utilización de técnicas de Inteligencia Artificial y cuáles requieren la utilización de técnicas de Inteligencia Artificial más complejas. Indique qué paradigmas y técnicas específicas de la Inteligencia Artificial son, a su juicio, apropiadas para el desarrollo de esta aplicación. En particular, indique qué tipo de lógica/s sería más adecuada/s para la representación del conocimiento implicado. Justifique sus respuestas. **(Valoración: 1.5 puntos).**

Los **sistemas recomendadores educativos afectivos** proporcionan un soporte **adaptado** al estado y características individuales de los estudiantes y del contexto de aprendizaje, en coherencia con una estrategia pedagógica. Son típicamente sistemas inteligentes, ya que **interactúan** con su entorno y deben ser capaces de **tomar decisiones inteligentes** multicriterio en base a un **conocimiento dinámico, incompleto e impreciso** obtenido de distintas fuentes, a veces mediante dispositivos perceptores del entorno (datos fisiológicos recogidos por sensores, interacciones de teclado y ratón, e informaciones diversas sobre los estudiantes – conocimientos previos, condiciones de accesibilidad...-), y cuya **interpretación** es a veces **incierta** (en relación al estado emocional, la concentración mental, la atención visual y auditiva, el sueño o cansancio...). La adaptación al perfil del estudiante con la experiencia requiere técnicas de aprendizaje computacional. Los sistemas recomendadores educativos afectivos involucran pues típicos campos de aplicación de la Inteligencia Artificial (ver solución de junio 2013).

Los sistemas descritos en el enunciado son más potentes que los sistemas recomendadores educativos afectivos comunes, ya que perciben dinámicamente una gran variedad de contextos o escenarios de estudio con múltiples dimensiones, y personalizan la enseñanza de acuerdo a estos contextos. Ya que requieren la monitorización continua de infinidad de variables de su entorno, incluyendo variables fisiológicas humanas, se inscriben en el ámbito de la **inteligencia ambiental y la computación afectiva**, uno de cuyos principales objetivos es concebir sistemas sensibles a los parámetros biológicos de los humanos para identificar sus necesidades y adaptar su entorno en consecuencia.

Conectándose con aplicaciones para hogares inteligentes (**domótica**), que monitorizan diversos parámetros característicos del estado de un hogar y de sus habitantes (ver solución de junio de 2012), estos sistemas podrían optimizar las agendas de los estudiantes compaginando el estudio con las tareas domésticas (indicando cuándo es necesario salir de compras, poner una lavadora, tender la ropa...). Una extensión de dichos sistemas podría incluir la capacidad adicional de actuar sobre los contextos, p.e., subiendo y bajando persianas o encendiendo y apagando luces, ajustando la temperatura de una sala, etc. para proporcionar unas condiciones óptimas del entorno de estudio.

Un sistema **recomendador** como el descrito no requeriría técnicas de Inteligencia Artificial para recopilar información del alumno y su contexto proporcionada mediante cuestionarios (datos personales del alumno, expediente académico, datos de la institución educativa...) o accesos a registros externos (información de una agencia de meteorología, posicionamiento GPS...) o internos (recursos del equipo),

o facilitados por otras aplicaciones de Inteligencia Artificial (aplicaciones de domótica, de monitorización de trayectos de autobuses...).

No requeriría técnicas de Inteligencia Artificial para la interpretación de datos de naturaleza precisa e inequívoca, ni para la implementación de funciones sencillas que no requieren razonamiento o conocimiento experto sofisticado. Así, p.e., un sistema con acceso a los datos de una central de autobuses que monitoriza a sus vehículos no requeriría técnicas de Inteligencia Artificial para disparar una alarma cuando el autobús en que viaja está próximo a la parada destino (p.e. a medio kilómetro de distancia). Sí las requeriría sin embargo para evaluar por sí mismo el estado del tráfico, interpretando imágenes satélite, para realizar una predicción precisa del tiempo que tardará en llegar a esta parada (y disparar la alarma, p.e., cuanto falten 3 minutos). Del mismo modo, requerirá técnicas de Inteligencia Artificial averiguar el estilo de aprendizaje de un estudiante a partir de su interacción con el sistema educativo, pero no para inferirlo a partir de sus respuestas a un test psicotécnico. Tampoco requieren, por lo general, técnicas de Inteligencia Artificial los componentes comunes a cualquier software educativo convencional (interfaz gráfica, materiales educativos multimedia...).

Si consideramos a los sensores necesarios para la monitorización del entorno como parte del sistema, sin duda nuestra aplicación se encuadra en un paradigma híbrido, conexionista-situado-simbólico. El sistema tiene la capacidad de **interactuar en tiempo real con su entorno reaccionando ante los estímulos** en forma tanto reactiva como deliberativa, por lo que sería adecuado concebir su arquitectura como la de un robot reactivo-deliberativo donde el comportamiento reactivo y el deliberativo operan en concurrencia (ver solución de junio de 2012). Ejemplos de comportamientos reactivos del sistema son: disparar una alarma para mostrar que se aproxima la parada de destino en el caso del viaje en autobús, enviar una señal al sistema de aire acondicionado cuando la temperatura no es adecuada para el estudio, recomendar al alumno ejercicios de relajación cuando su nivel de estrés lo requiere, etc.

A continuación se indican brevemente las funcionalidades que podrían desarrollarse de acuerdo a diferentes paradigmas y técnicas de Inteligencia Artificial. (Para profundizar en esto se sugiere consultar las soluciones de los exámenes citados a lo largo de estos párrafos).

*Paradigma **situado***

El sistema habrá de incorporar **perceptores** (micrófonos, sensores de velocidad, de luz, de temperatura, de movimiento, de lluvia, táctiles... receptores de comunicaciones, medidores de parámetros fisiológicos...) para la **monitorización continua** de su entorno y **actuadores** (pantallas, altavoces, emisores de señales de comunicación...); y de realizar procesos complejos de **fusión sensorial**.

*Paradigma **conexionista***

El sistema recomendador tendrá que **procesar cantidades ingentes de datos**. Parte de la información recopilada no requerirá ningún procesamiento posterior (iluminación, temperatura, localización espacio-temporal, velocidad...). Otros datos habrán de filtrarse y preprocesarse para después analizarse con el fin de abstraer patrones para la caracterización de los contextos. Para este propósito resultan particularmente indicadas las técnicas conexionistas, abarcando procedimientos de aprendizaje tanto no supervisado o **autoorganizativo** (el algoritmo se autosintoniza identificando en tiempo real regularidades estadísticas en los datos), como **supervisado**. Para este último caso los modelos conexionistas habrán de **entrenarse sobre historiales** de datos previamente recopilados (bancos de imágenes de rostros y parámetros fisiológicos para el diagnóstico emocional, o de imágenes con objetos etiquetados para la identificación de entidades presentes en una escena...).

Así, la caracterización de aspectos del contexto personal e interpersonal tales como la postura, el estado fisiológico-cognitivo-emocional, la actividad realizada en el momento o las personas presentes en el escenario de estudio, requerirá la aplicación de **técnicas de visión artificial o interpretación de voz**,

campos habituales de aplicación del paradigma conexionista (redes neuronales y bayesianas, algoritmos genéticos, deep learning).

La gestión de los recursos y de la agenda del estudiante es una tarea de **planificación dinámica**, que implica tareas de **optimización**, y asimismo de tareas **predictivas y de control**, dado el carácter cambiante de los contextos, que típicamente se abordan también desde el paradigma conexionista.

El paradigma **conexionista situado** es idóneo para la representación de las actuaciones adaptativas función del estado percibido del contexto, así como de la personalización de estas actuaciones en función del perfil del estudiante.

Las técnicas de aprendizaje conexionistas podrían aplicarse asimismo al análisis de **correlaciones** entre datos de contexto, intervenciones pedagógicas y efectos de las intervenciones en los alumnos (tanto desde el punto de vista del rendimiento académico como del afectivo), con el fin de identificar, de forma personalizada, las condiciones óptimas para el estudio. La disponibilidad de datos de uso del sistema por parte de un gran número de alumnos posibilitaría la **aplicación de técnicas de minería de datos y big data** para extraer **conclusiones científicas** sobre la pedagogía de la enseñanza a distancia por medios virtuales, la influencia de los hábitos y condiciones de estudio en los procesos de aprendizaje, y la relación de todo ello con el estilo de aprendizaje, la personalidad, el control sobre los mecanismos de atención, etc.(enfoque la de la **Inteligencia Artificial como laboratorio de investigación científica**).

*Paradigma **simbólico***

Un sistema recomendador educativo afectivo incluye una **base de conocimiento experto pedagógico (sistema experto, basado en reglas)**. Al añadir la facultad de reconocer los contextos de estudio y adaptar en consecuencia las respuestas pedagógicas, esta base de conocimiento ha de extenderse incorporando conocimiento experto de diversos dominios, fundamentalmente heurístico, que no constituye un cuerpo científico de conocimiento exacto: conocimiento sobre la intervención pedagógica afectiva, sensible a la cultura y centrada en el estudiante; sobre posturología; sobre coaching y gestión del tiempo y del estrés; sobre fenómenos psicológicos complejos genuinamente humanos como personalidad, motivación, etc. (ver solución de junio de 2013).

La **interpretación de voz, imágenes o configuraciones** de datos sensoriales de cualquier otra índole puede implementarse también conforme al paradigma simbólico. En este caso se utilizan **representaciones explícitas** de las entidades que se busca reconocer en los escenarios de estudio, así como de las relaciones (p.e., espacio-temporales) entre dichas entidades que caracterizan los diferentes contextos.

Un enfoque simbólico de la **planificación** de la agenda del estudiante (en función del tiempo para el estudio, un calendario, un temario, unas condiciones de contexto...), implica el análisis de alternativos cursos de acción que pueden llevar a la consecución de unos objetivos (objetivos académicos en equilibrio con otras aspiraciones y responsabilidades personales), y requiere por tanto un **análisis coste-beneficio, en condiciones de incertidumbre**, en el marco de la **teoría de la decisión probabilística**, y resolución de tareas de **optimización**, y asimismo de tareas **predictivas y de control**, dado el carácter cambiante de los contextos.

En general podrían utilizarse **marcos, guiones y ontologías** para representar el marco conceptual de los diferentes tipos de contextos.

Procesamiento del lenguaje natural

El reconocimiento de contextos podría apoyarse en **la interpretación del habla, el análisis de sentimientos en textos y la identificación de voz**, para lo que serían aplicables diferentes técnicas de procesamiento del lenguaje natural, tanto conexionistas como simbólicas.

Por otra parte, también sería interesante integrar en el sistema **un bot conversacional o asesor virtual** que facilite la comunicación con el alumno (hablada o escrita), tanto para solicitar de él datos necesarios para una correcta identificación de los contextos como para dar voz a las intervenciones pedagógicas (ver solución del examen de junio 2017)

Sistemas multiagente

Considerando que estos sistemas recomendadores toman decisiones en función de múltiples criterios y en diferentes contextos, podría ser útil una visión en términos de **sistema multiagente** (inteligencia artificial distribuida) donde cada agente se especializaría en considerar un criterio de decisión o evaluar una cierta dimensión de los contextos.

Lógicas

En cuanto a formalismos lógicos aplicables, estarían indicadas tanto la lógica de predicados **clásica** (para representar, p.e., ciertas características bien determinadas de los estudiantes) como lógicas no clásicas (borrosa y multivaluada, modal temporal y espacial) ya que se hayan implicados **contextos dinámicos** (lógica modal **temporal**), variables de contexto **imprecisas e inciertas**, modelos predictivos y por tanto probabilidades o grados de posibilidad (lógica **modal**, probabilista), conceptos de **difícil definición** y cuantificación (lógica **difusa**), etc.

(2) Defina brevemente los siguientes tipos de lógica: fragmentos de lógica de primer orden, lógica modal, lógica temporal basada en intervalos, lógica clásica con la hipótesis del mundo cerrado. **(Valoración: 1 punto).**

(Las siguientes definiciones figuran en el diccionario del curso virtual).

- **Fragmento de lógica proposicional.** Subconjunto de la lógica proposicional, que supone restricciones mediante guardias, limitación de aridad de los predicados, o limitación de variables con el fin de combatir la indecidibilidad.

- **Lógica modal.** Extensión de la lógica clásica donde es posible indicar el modo en que es cierta o falsa una proposición (cuándo, dónde, bajo qué condiciones) y con ello expresar los conceptos de necesidad y posibilidad.

- **Lógica temporal basada en Intervalos.** La lógica temporal es una interpretación de la lógica modal que permite utilizarla para modelar el tiempo sustituyendo los mundos posibles por instantes de tiempo y la accesibilidad entre mundos por la sucesión temporal, y convirtiendo los operadores modales en operadores temporales. La lógica temporal basada en Intervalos es aquella en que el tiempo se define mediante pares de puntos, permitiendo modelar propiedades de cierta duración.

- **Hipótesis del mundo cerrado.** Hipótesis asumida en la lógica Autoepistémica o la Circunscripción de predicados, consistente en **suponer como falso todo aquello que no esté explícitamente afirmado**. La **lógica autoepistémica** es una extensión de la lógica clásica basada en la hipótesis del mundo cerrado.

(3) Represente las siguientes frases de apoyo afectivo utilizando el tipo de lógica que considere más adecuado en cada caso:

a) Un viaje de diez mil kilómetros empieza por un solo paso.

b) No he fracasado, he encontrado 10000 formas que no funcionan.

c) Empieza haciendo lo necesario, después lo posible, y de repente te encontrarás haciendo lo imposible.

d) Los mejores comienzos vienen después de los peores finales.

(Valoración: 1.5 puntos).

a) Un viaje de diez mil kilómetros empieza por un solo paso.

$$\forall v \text{ recorrido}(v, 10000) \rightarrow \forall t \exists t_0 / (\text{num_pasos}(v, t_0, 1) \wedge ((t > t_0) \rightarrow \text{num_pasos}(v, t, n) \wedge \geq (n, 1)))$$

b) No he fracasado, he encontrado 10000 formas que no funcionan.

$\neg \text{fracasado}(\text{yo}) \wedge \text{encontrado}(\text{yo}, \text{formas}) \wedge \text{número}(\text{formas}, 10000) \wedge$
 $(\text{incluye}(\text{formas}, f) \rightarrow \neg \text{funciona}(f))$

Interpretación alternativa: “que haya encontrado 10000 formas no implica que haya fracasado”

$\neg (\text{encontrado}(\text{yo}, \text{formas}) \wedge \text{número}(\text{formas}, 10000) \wedge$
 $(\text{incluye}(\text{formas}, f) \rightarrow \neg \text{funciona}(f))$
 $\rightarrow \text{fracasado}(\text{yo}))$

c) Empieza haciendo lo necesario, después lo posible, y de repente te encontrarás haciendo lo imposible.

$\forall p \text{ persona}(p) \rightarrow$
 $(\exists t_0 t_1, t_2, t_0', t_1', t_2' (t_0 < t_0' < t_1 < t_1' < t_2 < t_2'))$
 $\wedge (\forall a : \text{accion}(a) \wedge (\text{necesario}(a) \rightarrow \text{hacer}(p, a, t_0, t_0')))$
 $\wedge (\forall a : \text{accion}(a) \wedge (\text{posible}(a) \rightarrow \text{hacer}(p, a, t_1, t_1')))$
 $\rightarrow \exists b : \text{accion}(b) \wedge \neg \text{posible}(b) \wedge \text{hacer}(p, b, t_2, t_2'))$
 $\forall p \text{ persona}(p) \rightarrow$
 $(\forall a \text{ accion}(a) \wedge (\text{necesario}(a) \rightarrow \text{hacer}(p, a)))$
 $\wedge F ((\forall a \text{ accion}(a) \wedge (\text{posible}(a) \rightarrow \text{hacer}(p, a)))$
 $\rightarrow F (\exists b \text{ accion}(b) \wedge \neg \text{posible}(b) \wedge \text{hacer}(p, b))))$

d) Los mejores comienzos vienen después de los peores finales.

$\forall t, \forall e / \text{evento}(e) . \exists e' / \text{evento}(e') \wedge \exists t' / t' < t .$
 $\text{mejorcomienzo}(e) \wedge \text{ocurrir}(e, t) \rightarrow \text{peorfinal}(e') \wedge \text{ocurrir}(e', t')$

No es lo mismo que:

$\forall e \text{ evento}(e) \rightarrow$
 $\forall t, \exists e' \text{ evento}(e') \wedge \exists t' t' > t$
 $\wedge (\text{peorfinal}(e) \wedge \text{ocurrir}(e, t) \rightarrow \text{mejorcomienzo}(e', t') \wedge \text{ocurrir}(e', t'))$

LTL con operador de pasado:

$\forall e \text{ evento}(e) \rightarrow \exists e' \text{ evento}(e') \wedge (\text{mejorcomienzo}(e) \rightarrow P \text{ peorfinal}(e'))$

(4) Imagine un Sistema Basado en Reglas para la implementación de un módulo de esta aplicación. Describa a grandes rasgos los componentes de este sistema e ilustre con ejemplos su funcionamiento. Reflexione sobre los costes computacionales acarreados por las distintas operaciones y sobre cómo minimizarlos. (Valoración: 1 puntos).

Un Sistema Basado en reglas consta de la Base de Hechos, la Base de conocimiento (sistema de reglas) y el motor de inferencia (ver apartado 3.2 del libro de texto para más detalles sobre el contenido de estos componentes y su funcionalidad).

Supongamos un componente del sistema cuya función fuese recomendar al estudiante actividades de estudio en función del contexto de aprendizaje, que abarca el perfil y estado particular del alumno. Tal y como se ha indicado en (1) (apartado “paradigma simbólico”) las reglas de la base de conocimiento codificarían conocimiento pedagógico afectivo. La base de hechos recogería información de contexto, de permanencia breve o frecuente actualización (p.e. lugar de estudio, personajes presentes en el escenario de estudio, estado emocional del estudiante...), junto a otros datos de mayor permanencia (p.e. algunos datos personales y del expediente académico del estudiante).

Encadenamiento hacia delante

En la Base de Conocimientos se codificarían los criterios pedagógicos que determinarían la respuesta del sistema recomendador a los diferentes contextos. Por tanto el mecanismo de encadenamiento hacia delante sería el más indicado: los antecedentes de las reglas expresarían características del contexto que dispararían correspondientes recomendaciones tanto de carácter reactivo (si el autobús llega a la parada se recomienda interrumpir la actividad, si un hijo pequeño del estudiante está presente en el escenario de estudio se recomiendan actividades de estudio que no requieran mucha concentración...) como deliberativo (p.e., recomendación de un plan de estudio a largo plazo, en función de las competencias del estudiante, su disponibilidad horaria, etc).

El sistema operaría seleccionando permanentemente el conjunto de reglas cuyos antecedentes fuesen compatibles con los datos de contexto expresados en la base de hechos (equiparación) e infiriendo recomendaciones de actividades de aprendizaje para generar recomendaciones (ejecución).

En caso de existir más de una recomendación compatible con un contexto dado podría generarse una lista de recomendaciones, o bien podrían especificarse las prioridades de unas ciertas actividades de aprendizaje sobre otras (a través del mecanismo de resolución de conflictos, ordenando las reglas de forma acorde en la base de conocimiento). De este modo se podría garantizar, p.e., que siempre que se disponga de las condiciones de estudio requeridas, se recomendarán en primer lugar las actividades más importantes, exigentes y complejas, dejándose las actividades más livianas para momentos en que las condiciones de contexto fueran más desfavorables.

Cada cambio de contexto reflejado en la Base de Hechos (p.e., la llegada del autobús a la parada) desencadenaría la ejecución de una secuencia de reglas que podría dar como resultado una nueva recomendación (p.e., detener una actividad o cambiar de actividad). Tendría sentido que la regla correspondiente a una recomendación no se ejecutase más que una vez siempre y cuando el alumno hubiera concluido con éxito la correspondiente actividad de aprendizaje.

Las funcionalidades del sistema recomendador podrían extenderse de modo que, p.e., el alumno pudiera preguntar si una determinada actividad de aprendizaje es adecuada para una situación concreta (e.j.: ¿podría abordar la actividad X si dispongo de media hora y no voy a poder teclear con comodidad?). En este caso, el tipo de encadenamiento indicado sería el mixto. El alumno podría consultar también por las condiciones idóneas para abordar una cierta actividad, siendo en este caso el encadenamiento hacia atrás el tipo de encadenamiento más indicado.

Los costes computacionales de las distintas operaciones (equiparación, resolución de conflictos, ejecución de reglas y actualización de la Base de Hechos), así como los criterios generales para minimizar estos costes están descritos en el capítulo 3 del libro de texto. En nuestro caso, los aspectos más pertinentes a tener en cuenta, en lo que respecta al encadenamiento hacia adelante, son los relacionados con un gran número de reglas y condiciones de contexto a evaluar para disparar las reglas que corresponda en cada instante.

El encadenamiento mixto y hacia atrás serían menos costosos computacionalmente.

Si la base de conocimiento fuera muy grande sería imprescindible indexarla para garantizar el acceso rápido a los hechos y reglas de interés.

Las reglas habrían de ordenarse dando prioridad a las que codifican las respuestas reactivas. Al principio de la base de hechos deberían colocarse los que se consulten con mayor frecuencia (por tratarse de los escenarios de estudio más habituales).

Los criterios pedagógicos habrían de influir también en la ordenación de las reglas, reflejando las prioridades de estudio. Finalmente, también podría darse al estudiante la opción de reflejar sus preferencias.

