

CI-1441 Paradigmas computacionales
Ejercicios y problemas de práctica
II Semestre 2015,
Prof. Alvaro de la Ossa O., Dr.rer.nat.

Nombre: _____

Carné: _____

1 Agentes computacionales: arquitectura

Para cada uno de los tipos de agente a continuación, elija la arquitectura de agentes más apropiada (reactivos, informados, guiados por metas, o guiados por la utilidad) y explique por qué, así como sus ventajas y desventajas.

1. *Un controlador aéreo en un aeropuerto*

El *objetivo* de un controlador aéreo consiste en mantener en *estado seguro* un cierto espacio aéreo, de manera que todas las aeronaves transiten por él sin riesgo.

Su trabajo consiste en dar instrucciones a los pilotos de las aeronaves dentro del espacio aéreo bajo su control, de rutas y cambios a los parámetros físicos (velocidad, dirección, altura, etc.), que conduzcan a cada una a su destino dentro del espacio.

Para esto, el controlador debe resolver el problema de predecir, en tiempos extremadamente cortos, los efectos de una variedad de posibles instrucciones para los pilotos, y seleccionar la o las que eliminen o al menos disminuyan el riesgo de un accidente.

El agente controlador debe considerar:

- el *estado presente del espacio* (posición actual y dirección y velocidad de cada aeronave, etc.),
- su *conocimiento general* acerca del espacio (mapa de alturas del suelo, rutas en el espacio aéreo, reglas y normas, física de las aeronaves, etc.), y
- su *experiencia* (entrenamiento, manejo de situaciones críticas, etc.).

Podemos definir el conjunto de posibles estados del espacio aéreo bajo control del agente, como el de las *posibles situaciones o configuraciones de las aeronaves en el espacio*. Cada aeronave se describe en cada momento por sus propiedades físicas (masa, velocidad, aceleración, sentido, etc) y la información relacionada con la gestión del control aéreo (identificación, origen y destino, itinerario, prioridad para despegue o aterrizaje, etc.).

Podemos también asociar cada posible situación en el espacio, es decir, cada estado, con su *nivel de riesgo*. Este puede definirse como la probabilidad de un accidente si no se toman medidas correctivas en el futuro próximo.

El agente controlador debe tomar continuamente decisiones sobre acciones que guíen al

sistema a estados menos riesgosos que el presente, La *función de decisión* del agente puede ser definida de la manera siguiente:

- con base en la configuración actual del estado y su nivel de riesgo,
- realizar cambios en la configuración del espacio (es decir, dar instrucciones a los pilotos de las aeronaves),
- tales que el riesgo del nuevo estado resultante de esas acciones se menor al riesgo presente.

De esta forma, la función de decisión debe

- considerar posibles cambios a la configuración del espacio (posibles estados *sucesores*),
- calcular el riesgo de cada uno,
- predecir el nivel de riesgo resultante de cada uno, y
- seleccionar aquel o aquellos que maximicen la diferencia con el presente.

Finalmente, la función de utilidad puede ser definida como el *cálculo del riesgo* de cualquier posible situación.

Por todo lo anterior, este agente debe ser *guiado por la utilidad*.

Ventaja: el agente parece naturalmente guiado por la utilidad y no por metas o estados, la utilidad describe localmente una situación, y ayuda al agente a elegir acciones que reducen el riesgo presente.

Desventajas: la definición de la función de utilidad puede ser compleja, ya que aunque haya un número relativamente pequeño de posibles cambios a las aeronaves (velocidad, dirección, etc.), el número de relaciones entre pares de aeronaves (distancias, posible intersección de trayectorias, etc.) puede ser muy grande.

Para concluir, les dejo un nuevo problema en qué pensar, una nueva versión del sistema de control aéreo:

- 2 tipos de agente: controlador y piloto.
- Agentes controladores: cada uno como se describió arriba.
- Agentes pilotos: las aeronaves están equipadas con agentes de software que simulan el control de su aeronave y pueden asistir al piloto humano con instrucciones propias o a seguir las instrucciones recibidas de agentes controladores.
- Los agentes controladores pueden colaborar entre ellos en el control de sus espacios aéreos, pero con limitaciones. Cada uno tiene un cierto espacio bajo su control, pero en situaciones anormales (flujo aéreo mayor al promedio, una aeronave en situación de emergencia, etc.), puede solicitar ayuda a otros controladores. Para esto, los agentes pueden intercambiar información del estado del espacio, y uno puede solicitar a otro sugerencias de acción.
- Los agentes pilotos no se comunican entre sí, aunque pueden escuchar las comunicaciones entre los demás y los controladores.

La versión dada originalmente del sistema de control considera *un solo agente* controlador y un cierto espacio aéreo bajo su control. Esta nueva versión es *distribuida* y *multiagente* del control del espacio aéreo, y podría resultar más efectiva y eficiente en la reducción del riesgo.

- ¿Cree usted que sea necesario adaptar o extender el modelo de agente controlador para que se adapte a este nuevo entorno multiagente? ¿Qué habría que cambiar o extender? En particular, ¿habría que redefinir su función de utilidad? ¿Cómo?

Se pueden comparar la función de utilidad descrita arriba con una medida del desempeño de los agentes definida así: un agente controlador se desempeña bien si mantiene el espacio bajo su control sin situaciones de riesgo, y es capaz de disminuir efectiva y eficientemente ese riesgo cuando se presenta. La función de desempeño es externa, es decir, que es evaluada por un agente *superior* (por ejemplo, el jefe de controladores) o un agente *omnisciente* (por ejemplo, el usuario del sistema multiagente), aunque puede ser interna también (el agente se autoevalúa, por ejemplo, para aprender de sus acciones). La función de utilidad, en cambio, es exclusivamente interna, y sirve para ayudar al agente a tomar buenas decisiones de acción.

2. *Un intermediario (broker) en la bolsa de valores*

El intermediario en la bolsa de valores tiene un objetivo específico: maximizar sus ganancias. Estas las obtiene como resultado de la comisión de intermediación que cobra por cada transacción en la que vincula exitosamente a un oferente y a un demandante de valores. Este tipo de agente es *guiado por la utilidad*; su función de utilidad debe servirle para estimar cuáles transacciones pueden ayudarlo mejor, en un momento dado, a cumplir su objetivo, y debe definirse entonces en términos de su conocimiento financiero, su experiencia en el negocio, y su conocimiento del estado actual del mercado de valores.

3. *Un médico especialista tratando el caso de un paciente*

El médico tiene siempre un mismo objetivo que cumplir: curar al paciente. Para ello, debe primero diagnosticar su enfermedad, y luego preparar un plan de terapia para el paciente. El éxito en la recuperación del paciente refuerza lo actuado, y el fracaso le sirve de advertencia para el futuro.

El objetivo de la etapa de diagnóstico es encontrar un diagnóstico (una hipótesis de la enfermedad del paciente), la más específica y cierta posible, que explique todos sus síntomas. La especificidad es importante porque, por ejemplo, no es igualmente efectivo para decidir sobre la terapia que se determine que el paciente padece hepatitis de cierto tipo, que determinar solamente que se trata de una hepatitis pero se desconoce el tipo. Y la certeza es importante también: ante la disyuntiva de dos o más posibles hipótesis de diagnóstico, el médico eligirá la que considere más segura.

La hipótesis de diagnóstico, sin embargo, solo puede ser corroborada *a posteriori*, con la mejoría del paciente una vez aplicado el plan de terapia.

Las decisiones del médico durante el diagnóstico consisten en seleccionar preguntas: qué síntoma se debe medir u observar en un momento dado, que ayude a demostrar o refutar una hipótesis de diagnóstico, más rápidamente (o menos invasivamente para el paciente)

que otros.

Por estas razones, es posible modelar al agente médico como uno orientado por la utilidad, que es capaz de aprender (mejorar sus estrategias de diagnóstico y de terapia) a partir de su experiencia. Su función de utilidad debe ayudarle a estimar o predecir los resultados de sus posibles acciones de diagnóstico o terapia para el paciente.

4. *El árbitro en un partido de futbol*

5. **Agentes ovinos** – Se tiene un conjunto de agentes que modifican el estado del mundo, y que se ejecutan en forma simultánea. Los agentes pueden interactuar entre ellos de dos maneras: un proceso provee información a otro en forma proactiva, es decir, sin que ningún otro agente se lo solicite, o un agente solicita información a otro, caso en el que tiene que esperar por la respuesta. Cada vez que un agente envía a otro información, sea esta solicitada o no, la información es copiada en una pizarra a la que todos los demás agentes tienen acceso. Finalmente, los demás agentes toman decisiones de acuerdo con la información que ellos mismos y otros agentes copian en la pizarra (la pregunta se refiere a estos últimos).

Estos agentes no necesitan de memoria propia porque sus decisiones se basan solamente en información disponible en la pizarra pública. El enunciado no dice nada acerca de sus objetivos o metas. Si no los tienen, basta con que sean agentes *de reflejo simple*, o *reactivos*. Si los tienen, tendrían que ser modelados como agentes guiados por metas, en cuyo caso sus decisiones consisten en elegir acciones que los acerquen a esas metas.

2 Tipos de inferencia

Indique en cada caso qué tipo de inferencia se lleva a cabo, y explique por qué.

1. Un controlador aéreo en un aeropuerto crea, a partir de su propia experiencia, estrategias de seguridad efectivas para mantener las aeronaves a distancias mínimas entre ellas.
Inductiva: produce reglas a partir de experiencias.
2. Un intermediario (broker) en la bolsa de valores desarrolla, a partir de su propia experiencia, estrategias de negociación que intentan maximizar su utilidad.
Inductiva: produce reglas a partir de experiencias.
3. Un médico observa síntomas en un paciente y a partir ellas infiere el diagnóstico más posible.
Abductiva: busca explicaciones posibles a los síntomas observados y elige el que mejor explica esos síntomas.
4. El agente de *triage* en la recepción de un hospital clasifica a los pacientes que van ingresando en una de tres clases: verde (devuelto a su casa), amarillo (a sala de espera) o rojo (ingreso hospitalario).
El agente de triage estima el nivel de seriedad de cada caso y lo clasificar en uno de los tres grupos: grave, con necesidad de atención o sin necesidad. Su razonamiento es

abductivo, pues a partir de sus observaciones del paciente debe establecer si este presenta o una situación que amerite su internamiento, espera, o devolución a la casa.

- Un juez explica su sentencia a un grupo de abogados.

Hay una diferencia sustancial entre una *descripción* y una *explicación* de una sentencia. Una descripción responde a una pregunta del tipo *¿qué?*, mientras que una explicación responde a una del tipo *¿por qué?*. Una sentencia consiste de (a) una descripción de la acusación, (b) una narración de los hechos probados durante el juicio, (c) una tipificación del delito supuestamente configurado, y (d) una aplicación de las normas y leyes relacionadas con el tipo de delito, dados los hechos probados (sanción o absolución). Describir una sentencia consiste en narrarla en ese orden: a, b, c, (d). En cambio, *explicar* la sentencia consiste en responder por qué se decide sancionar con (d) el delito tipificado en (c), y por qué (c) se justifica dados los hechos probados en (b). La inferencia en este último caso es abductiva: podría haber varias muchas posibles sentencias distintas, así como varios posibles delitos configurados, dados los hechos probados, pero el juez decide tipificar y luego sancionar de acuerdo con lo que cree que mejor explica el caso.

3 El cálculo de predicados: representación

Escriba en el CP las expresiones siguientes.

- Nadie (del grupo) ignora el problema. (Nota: añadí lo "del grupo" para hacer más clara la semántica de la frase)

$\exists p, Problema(p), \forall x, PersonaDelGrupo(x) \Rightarrow \neg Ignora(x, p)$

- Todos los miembros del grupo saben bailar.

$\forall x, PersonaDelGrupo(x) \Rightarrow SabeBailar(x)$

- Uno de los lápices de esa caja está roto.

$\exists x, LápizDeEsaCaja(x), Roto(x)$

- Cuando llueve, los pájaros no vuelan.

$\forall x, Pájaro(x), Llueve \Rightarrow \neg Vuela(x)$

- Nadie sabe que si no canta, debe salirse del coro.

Sea $y = (\forall x, MiembroDelCoro(x), \neg Canta(x) \Rightarrow SaleDelCoro(x))$.

Entonces: $\forall x, MiembroDelCoro(x), \exists y, ReglaDelCoro(y), \neg Sabe(x, y)$.

Problema: es necesario contar con una lógica de *orden superior*, en este caso de *segundo orden*, es decir, una lógica en que los argumentos de los predicados puedan ser a su vez expresiones del mismo cálculo. En este ejemplo, eso nos permitiría unificar el y de la definición inicial, con el y de *ReglaDelCoro(y)*.

4 El cálculo de predicados: semántica

Realice lo que se indica en cada ejercicio.

1. Demuestre que $p \vee (p \Rightarrow q)$ es una tautología.

Una disyunción es verdadera si cualquiera de los elementos es verdadero. El único caso en que la implicación $p \Rightarrow q$ es falsa es cuando el antecedente (p) es verdadero y el consecuente (q) es falso. Para este caso, p en la disyunción es verdadera, y por lo tanto la disyunción es verdadera.

2. ¿Por qué una frase simple no puede ser una tautología?

Una tautología es una expresión que es siempre verdadera. Todo término p puede ser verdadero o falso. Ninguno puede ser solamente verdadero o falso. Por lo tanto, un término cualquiera no puede ser una tautología.

3. Demuestre que $(p \wedge q) \wedge \neg(p \vee q)$ es una contradicción.

Una contradicción es una expresión que es siempre falsa. El único caso en que podría ser verdadera es aquel en el que los dos términos de la conjunción son verdaderos. Para esto, en el primero p y q deben ser verdaderos. Sin embargo en ese caso el segundo término de la conjunción es necesariamente falso. Por lo tanto, no hay un solo caso en el que la expresión pueda ser verdadera.

4. Construya la tabla de verdad de la expresión "Si una persona fuma, bebe alcohol, y no consume vegetales, entonces puede tener problemas cardiacos".

Sean $Fuma(x)$ el hecho de que la persona x fuma, $Bebe(x)$ el hecho de que x bebe alcohol, $ComeVegetales(x)$ el hecho de que x consume vegetales, y $PosiblesProblemasCardiacos(x)$ el hecho de que x puede tener problemas cardiacos. Sean

$A = Fuma(x)$

$B = Bebe(x)$

$C = ComeVegetales(x)$

$D = ProblemasCardiacos(X)$

A	B	C	D	$\neg C$	$A \wedge B \wedge \neg C$	$A \wedge B \wedge \neg C \Rightarrow D$
0	0	0	0	1	0	1
0	0	0	1	1	0	1
0	0	1	0	0	0	1
0	0	1	1	0	0	1
0	1	0	0	1	0	1
0	1	0	1	1	0	1
0	1	1	0	0	0	1
0	1	1	1	0	0	1
1	0	0	0	1	0	1
1	0	0	1	1	0	1
1	0	1	0	0	0	1
1	0	1	1	0	0	1
1	1	0	0	1	1	0
1	1	0	1	1	1	1
1	1	1	0	0	0	1
1	1	1	1	0	0	1

5. Construya la tabla de verdad de la expresión $p \Rightarrow (\neg q \vee \neg r)$

p	q	r	$\neg q$	$\neg q \vee r$	$p \Rightarrow (\neg q \vee r)$
0	0	0	1	1	1
0	0	1	1	1	1
0	1	0	0	0	1
0	1	1	0	1	1
1	0	0	1	1	1
1	0	1	1	1	1
1	1	0	0	0	0
1	1	1	0	1	1

5 Inferencia lógica: unificación

En cada caso, determine si las dos expresiones dadas son unificables, y si lo son, provea una sustitución que las unifique.

1. $F(x), G(y)$.

No son unificables: predicados distintos

2. $F(A, x), F(A, B)$.

$x = B$

3. $F(x), F(y, z)$.

No son unificables: distinta cantidad de parámetros

4. $F(G(x), x), F(y, A)$.

$y = G(x), x = A$

6 Inferencia deductiva mediante resolución

Resuelva cada uno de los problemas siguientes aplicando el operador universal de resolución.

1. $p \Rightarrow q$

$$\frac{\neg p \Rightarrow r}{\neg q \Rightarrow \neg r}$$

En lenguaje de cláusulas: las premisas

1. $\neg p \vee q$

2. $p \vee r$

y la conclusión (negada, para probar por contradicción)

$$\neg(\neg q \Rightarrow \neg r)$$

$$= \neg(q \vee \neg r)$$

$$= \neg q \wedge r$$

que se convierte en:

3. $\neg q$

4. r

Aplicación del operador de resolución:

5. (1,2): $q \vee r$

6. (1,3): $\neg p$

7. (2,6): r

No hay más posibles inferencias que llevan a una contradicción. Por lo tanto, la conclusión es falsa.

2.
$$\frac{(p \Rightarrow q) \wedge (r \Rightarrow s)}{(p \Rightarrow s) \vee (r \Rightarrow q)}$$

En lenguaje de cláusulas: las premisas

$$\begin{aligned} &(p \Rightarrow q) \wedge (r \Rightarrow s) \\ &= (\neg p \vee q) \wedge (\neg r \vee s) \end{aligned}$$

que se convierte en

1. $\neg p \vee q$

2. $\neg r \vee s$

y la conclusión negada

$$\begin{aligned} &\neg((p \Rightarrow s) \vee (r \Rightarrow q)) \\ &= \neg((\neg p \vee s) \vee (\neg r \vee q)) \\ &= \neg(\neg p \vee s) \wedge \neg(\neg r \vee q) \\ &= p \wedge \neg s \wedge r \wedge \neg q \end{aligned}$$

que se convierte en

3. p

4. $\neg s$

5. r

6. $\neg q$

Aplicación del operador de resolución:

7. (1,3): q

8. (6,7): \emptyset (probado).

$$\begin{aligned} 3. &\frac{\neg(p \wedge \neg q) \vee \neg(\neg s \wedge \neg t) \quad \neg(t \vee q)}{u \Rightarrow (\neg t \Rightarrow (\neg s \wedge p))} \\ &\neg u \end{aligned}$$

En lenguaje de cláusulas: la primera premisa

$$\neg(p \wedge \neg q) \wedge \neg(\neg s \wedge \neg t)$$
$$= (\neg p \vee q) \wedge (s \vee t)$$

se convierte en

1. $\neg p \vee q$

2. $s \vee t$

la segunda premisa

3. $\neg t \vee q$

y la conclusión negada

4. u

Aplicación del operador de resolución:

5. (1,3): q

6. (7,6): \emptyset (probado*).

* Note que no se demostró la verdad de $\neg u$, puesto que ninguna de las derivaciones hace uso de la negación de esa expresión para llegar a la contradicción (la cláusula vacía al final). Lo que se ha demostrado es que *el conjunto de premisas es inconsistente*.

7 Métodos computacionales de aprendizaje

En cada caso siguiente, indique cuál de los tres métodos vistos en clase utilizaría para modelar el aprendizaje, y explique por qué.

1. Se desea predecir la precipitación lluviosa en cierta localidad, y se cuenta con un registro de datos meteorológicos de aproximadamente 10 años, con cuatro registros diarios. En este caso se pueden utilizar ID3 y redes neuronales artificiales. ID3 produciría un árbol de decisión cuyas hojas contendrán solamente ejemplos positivos (días lluviosos) o negativos (días secos). Una RNA producirá una distribución de pesos en la red tal que un alto porcentaje de los casos son correctamente reconocidos por la red.
2. Un operario de una máquina en una fábrica ha sido entrenado para operarla, pero aún no conoce las situaciones especiales que pueden presentarse, que no están en el manual de uso. Cada vez que se presenta una situación especial, su supervisor le explica el procedimiento apropiado. En este caso EBL es apropiado. El operario conoce ya las reglas generales, pero algunos casos particulares son explicados por un tutor. Utilizando EBL, el operario puede generar reglas específicas para los casos especiales.
3. Un bodeguero tiene la tarea de ordenar el inventario físico. Cada vez que ingresa un nuevo activo, el operario debe identificar la clase o categoría a la que pertenece, y ubicarlo en los estantes destinados para esa clase. Este es un problema de clasificación. Para este tipo de problemas son útiles ID3 y RNAs, similar al problema 1.

8 Conceptos

1. ¿Qué elementos describen una regla de una Máquina de Turing? Indique cuáles constituyen la *condición* y cuáles la *acción* de la regla.

La condición de la regla está compuesta por (a) el estado actual de la máquina y (b) el símbolo en la posición de la cabeza lectora-escritora. La acción se define por (a) el nuevo estado de la máquina, (b) el símbolo a escribir en la posición actual y (c) el sentido del movimiento de la cinta (izquierda o derecha).

2. ¿Qué diferencia hay entre una *derivación* y una *inferencia* lógica?

Una derivación consiste en la aplicación de un operador a un conjunto de expresiones (premisas). La derivación produce una nueva expresión. Una inferencia es una cadena de derivaciones.

3. En la Teoría de la Complejidad Computacional, ¿qué quiere decir que un problema sea *tratable*?

Que es posible generar todo el espacio de búsqueda en un tiempo y espacio razonables.

4. Un sistema computacional con componente de aprendizaje puede aprender en al menos dos formas: extendiendo la representación del conocimiento (p.ej., incorporando nuevos conceptos, nuevas reglas, etc.) o mejorando la representación existente. ¿Cuál de estas dos formas de aprendizaje implementan ID3 y EBL? Explique por qué en cada caso.

ID3 implementa la primera forma. Antes del procedimiento, el aprendiz conoce solo un conjunto de ejemplos preclasificados, y luego de este ha extendido su representación con un árbol de decisión que explica a todos los ejemplos presentados. A partir de entonces el aprendiz es capaz de resolver una tarea que antes no podía: predecir la clasificación de nuevos ejemplos. EBL, en cambio, implementa la segunda forma. Antes del procedimiento, el aprendiz conoce una descripción general de un concepto meta, y luego de este ha extendido su representación con una nueva definición más específica que el concepto meta, pero más general que el único ejemplo presentado por el tutor. A partir de entonces el aprendiz es capaz de resolver la misma tarea, pero más eficientemente, si utiliza la nueva regla aprendida, pero no ha aprendido ninguna otra capacidad.

5. Compare el método ID3 y el paradigma de Redes Neuronales Artificiales en términos de: el conocimiento de dominio requerido (¿qué tipo de información y cuánta información se necesita?), el desempeño en términos de la cantidad y calidad de los ejemplos (¿cómo se comportan cuando hay muchos o pocos ejemplos disponibles?), y el mecanismo de inferencia (¿deductivo, abductivo, inductivo o analógico?).

Conocimiento del dominio: ambos requieren de muchos ejemplos previamente clasificados por un tutor, cuanto más mejor. *Desempeño:* ID3 es sumamente eficiente para producir el árbol de decisión a partir de los ejemplos presentados, mientras que una RNA requiere de muchas iteraciones de los ejemplos de entrenamiento. Cuando se tienen pocos ejemplos, los resultados de ambos métodos son poco predictivos. ID3 es más eficiente en la generación del árbol de decisión que RNA en el cálculo de la distribución óptima de sus pesos. El mecanismo de inferencia en ambos casos es inductivo.