

Sistemas Multi-Agentes

Lógicas BDI

Dr. Alejandro Guerra-Hernández

Instituto de Investigaciones en Inteligencia Artificial
Universidad Veracruzana

*Campus Sur, Calle Paseo Lote II, Sección Segunda No 112,
Nuevo Xalapa, Xalapa, Ver., México 91097*

`mailto:aguerra@uv.mx`
`https://www.uv.mx/personal/aguerra/sma`

Maestría en Inteligencia Artificial 2024



Organización

- 1 Introducción
- 2 Lógicas BDI temporalmente arborescentes

Ideas

- ▶ El estudio de **agentes computacionales** capaces de exhibir un comportamiento racional requiere de **formalizaciones teóricas**.
- ▶ Estas formalizaciones deben ser lo suficientemente expresivas para razonar acerca de:
 - ▶ Las representaciones de estos agentes en términos de **actitudes proposicionales**.
 - ▶ La ocurrencia de **eventos** y la ejecución de **acciones** en el ambiente.
 - ▶ La **comunicación** entre agentes.
- ▶ Idealmente, los formalismos usados debería proveer una base **semántica** fuerte y una axiomatización **robusta** y **completa**.



Aproximaciones formales a los agentes

- ▶ **Lenguajes externos a los agentes.** Metalenguajes de especificación de diseño y verificación de propiedades del comportamiento.
 - ▶ BDI_{CTL} [10]
 - ▶ *Lora*
 - ▶ Especificaciones en Z
- ▶ **Lenguajes orientados a agentes.** Son lenguajes de especificación directamente ejecutables por el agente.
 - ▶ *Agent0*
 - ▶ *Golog*
 - ▶ *3APL*
 - ▶ *AgentSpeak(L)* [8].

Algunas preguntas

- ▶ ¿Cómo podemos razonar acerca del **comportamiento** de los agentes racionales?
- ▶ ¿Cómo podemos estudiar la relación entre los **estados intencionales** y dicho comportamiento?
- ▶ ¿Cómo se que el comportamiento de mi agente es **racional**?
- ▶ ¿Qué **tipo** de formalismo podemos usar?
 - ▶ La lógica multi-modal propuesta por Cohen y Levesque [2].
 - ▶ Las lógicas *BDI* propuestas por Rao y Georgeff [7].
 - ▶ La lógica dinámica para SimpleAPL de Alechina et al. [1].
 - ▶ La lógica temporal para *AgentSpeak(L)* de Guerra-Hernández, Castro-Manzano y El-Fallah-Seghrouchni [5].

Dominios de aplicación

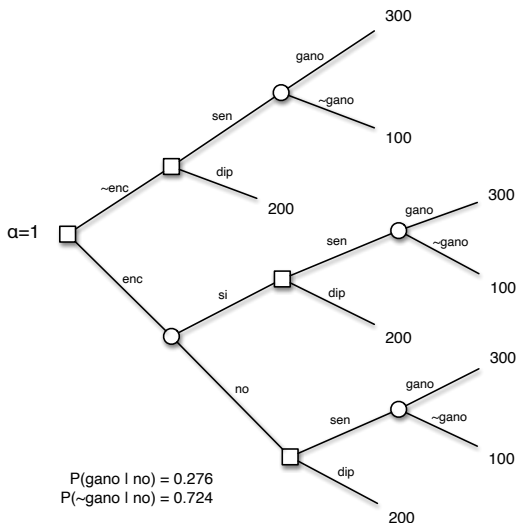
- ▶ ¿Cómo son los SMA que queremos implementar?
- ▶ Ej. Administración tráfico aéreo, diagnóstico de fallas en transbordador espacial, administración de redes de comunicación, asistencia en combate aéreo, minería de datos distribuida, etc.
- ▶ **Características** comunes:
 1. El ambiente es no determinista.
 2. El sistema es no determinista.
 3. El sistema es multi-objetivo.
 4. Las acciones del sistema son dependientes del contexto e independientes del estado interno del sistema.
 5. El sistema es reactivo.

Actuar

- ▶ El sistema necesita **actuar**.
- ▶ Necesita **seleccionar** las acciones o procedimientos apropiados de entre varias opciones disponibles.
- ▶ Esta selección debe permitir el cumplimiento efectivo de los **objetivos** del sistema.
- ▶ Tomando en cuenta los **recursos computacionales** disponibles y las características del **ambiente** donde el sistema está situado.

Tradicional: Teoría de decisión

- Elección
- Posibilidad
- ### Utilidad



Problemas

- ▶ El ambiente puede **cambiar** de manera significativa y/o no anticipada.
- ▶ Este cambio puede darse durante la función de **selección** o durante la **ejecución** de la acción seleccionada.
- ▶ Una función de selección **rápida** ayuda, pero su costo es quizás una decisión **subóptima**.

Soluciones a cambios durante ejecución

► Diferentes soluciones:

Teoría de decisión Reaplicar la función de selección si el ambiente cambia.

Computación. Nada cambia una vez iniciado el proceso de decisión.

Intencionalidad. Estrategia de **compromiso**.

► Las dos primeras no son aceptables dada la reactividad esperada del sistema (5).

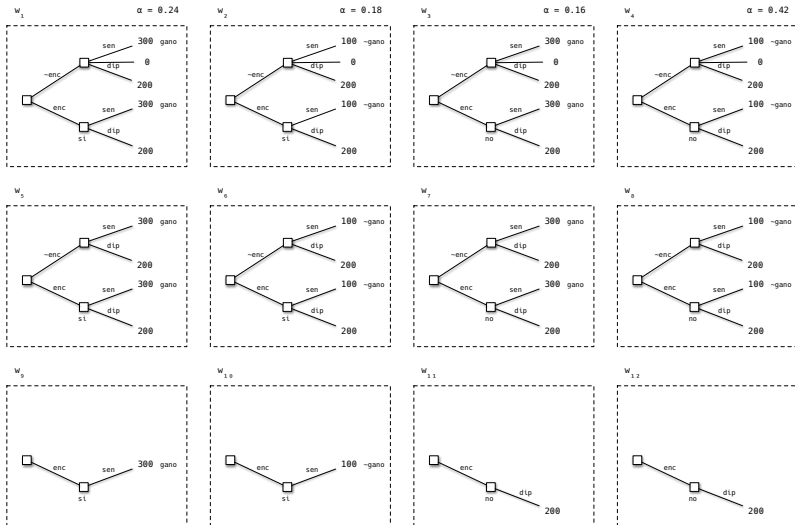


BDI

- Creencias.** La dependencia del contexto (4) y el no determinismo del ambiente (1), exigen un componente **informativo** que toma la forma de conjuntos de expresiones lógicas, una base de datos, registros, etc.
- Deseos.** La naturaleza multi-objetivo (3) y la dependencia del contexto (4) exigen un componente de **motivación** que define las prioridades, rentabilidad o recompensa asociada con los diferentes objetivos del sistema.
- Intenciones.** La reactividad (5) y el no determinismo del ambiente (1) y del sistema (2), exigen un componente **deliberativo**, que represente el curso actual de acción elegido.



De los árboles a los mundos posibles BDI



Elementos del Formalismo BDI

- ▶ Intenciones como ciudadanos de primera clase: modelar diferentes tipos de **compromiso**.
- ▶ La **elección** del agente se diferencia del **resultado** de su elección, que depende del ambiente.
- ▶ Establecer las **relaciones** entre creencias, deseos e intenciones que eviten comprometerse con efectos colaterales no deseados.

Las Lógicas multimodales BDI

- ▶ Componente modal para razonar sobre las **actitudes proposicionales**: Creencias, Deseos e Intenciones.
- ▶ Componente modal para **arboles temporales** (futuro arborescente, pasado lineal).
- ▶ Componente de **lógica dinámica** para razonar sobre la ocurrencia de **eventos**.
- ▶ Componente de **primer orden** para meta-expresiones. Y por supuesto
- ▶ Un componente **proposicional**.



Lógicas de Árboles Computacionales

- ▶ Las lógicas que usaremos pueden verse como extensiones de las **lógicas de árboles computacionales** CTL y CTL^* de Emerson y Halpern [3, 4].
- ▶ La segunda es más expresiva, al permitir combinaciones arbitrarias de cuantificadores y operadores temporales.
- ▶ Estas lógicas se usan ampliamente para razonar acerca del comportamiento de **programas concurrentes**.

Sintaxis BDI_{CTL}^*

- ▶ Las **fórmulas bien formadas** (fbf) de la lógica BDI_{CTL}^* son las definidas por la siguiente forma Backus Naur (BNF):

$$\phi ::= \perp \mid p \mid \neg\phi \mid \phi \wedge \phi \mid \quad (1)$$

$$\text{BEL}(\phi) \mid \text{DES}(\phi) \mid \text{INT}(\phi) \mid \quad (2)$$

$$\text{O}\phi \mid \phi \text{ U } \phi \mid \text{E}\phi \quad (3)$$

donde p denota cualquier fórmula atómica proposicional.



Otros operadores proposicionales

- ▶ La **disyunción**, la **implicación** y la **equivalencia material** se definen respectivamente como de costumbre:

- ▶ $\phi \vee \psi \stackrel{\text{def}}{=} \neg(\neg\phi \wedge \neg\psi).$

- ▶ $\phi \Rightarrow \psi \stackrel{\text{def}}{=} (\neg\phi \vee \psi).$

- ▶ $\phi \equiv \psi \stackrel{\text{def}}{=} ((\phi \Rightarrow \psi) \wedge (\psi \Rightarrow \phi)).$

- ▶ $\text{false} \stackrel{\text{def}}{=} \perp$

- ▶ $\text{true} \stackrel{\text{def}}{=} \neg\perp$

Otros operadores temporales

- ▶ **Eventualmente, siempre, e inevitablemente** se definen como de costumbre:

- ▶ $\Diamond\phi \stackrel{\text{def}}{=} \text{true} \cup \phi.$

- ▶ $\Box\phi \stackrel{\text{def}}{=} \neg(\Diamond\neg\phi).$

- ▶ $A\phi \stackrel{\text{def}}{=} \neg(E\neg\phi).$

- ▶ Ej.

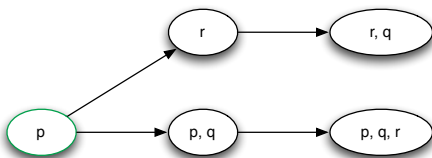
- ▶ $A\Diamond\text{BEL}(\neg\text{crisis})$ expresa que en todo futuro posible, eventualmente creeremos que no hay crisis.

- ▶ $A(\text{BEL}(\text{crisis}) \Rightarrow \neg\text{INT}(\text{viaje}))$ expresa que inevitablemente si creo que hay crisis entonces no intento hacer un viaje.



Fórmulas de estado

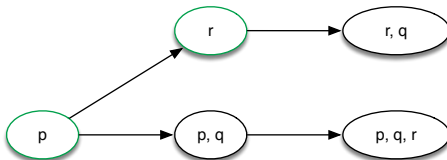
- ▶ Las fbfs de estado en la lógica BDI_{CTL}^* se definen inductivamente como sigue:
 1. Toda fbf proposicional (Sintaxis 1) es una fbf de estado.
 2. Si ϕ es una fbf de estado, entonces $BEL(\phi)$, $DES(\phi)$ e $INT(\phi)$ son fbf de estado.
 3. Si ϕ es una fbf de camino, entonces $E\phi$ (opcional) y $A\phi$ (inevitable) son fbfs de estado.



Fórmulas de camino

- Las fbf de camino en la lógica BDI_{CTL}^* se define inductivamente como sigue:

1. Cualquier fbf de estado es una fbf de camino (un camino de longitud 1).
2. Si ϕ y ψ son fbfs de camino, entonces $\neg\phi$ y $\phi \wedge \psi$ también lo son.
3. Si ϕ y ψ son fbfs de camino, entonces $\bigcirc\phi$ y $\phi \cup \psi$ también lo son.



Sintaxis BDI_{CTL}

- ▶ La lógica restringida BDI_{CTL} se obtiene al prohibir combinaciones booleanas y **anidamiento** de los operadores temporales en las fórmulas de camino.
- ▶ Formalmente, sustituimos la definición de fbf de camino por:
 1. Si ϕ y ψ son fbfs de estado, entonces $\bigcirc\phi$ y $\phi \cup \psi$ son fbfs de camino.
- ▶ Ej. $\Box\Diamond crisis$, que expresa que siempre eventualmente hay una crisis, es una fbf de camino en BDI_{CTL}^* , pero no lo es en BDI_{CTL} .



Fórmulas opcionales e inevitables

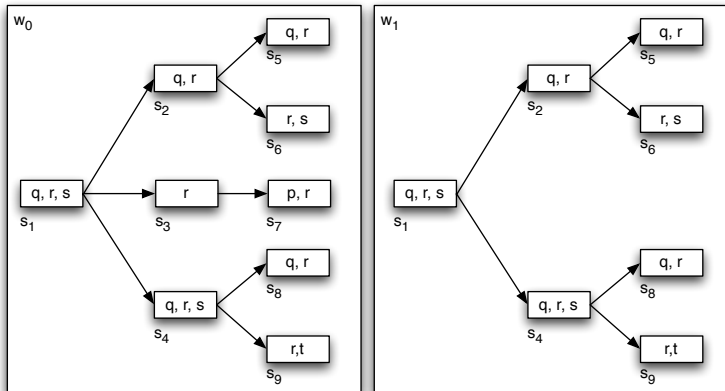
- ▶ El uso de **cuantificadores de camino** introduce otra clasificación sobre las fbf:
 - O-fórmulas.** Las fórmulas opcionales son aquellas que no contienen ocurrencias de A (o de la negación de E) fuera del alcance de los operadores BEL, DES e INT.
 - I-fórmulas.** Las fórmulas inevitables son aquellas que no contiene ocurrencias de E (o negaciones de A) fuera del alcance de los operadores intencionales BEL, DES, e INT.

Semántica de las lógicas BDI_{CTL} y BDI_{CTL}^*

- ▶ Estas lógicas tienen una semántica basada en **mundos posibles**.
- ▶ Cada mundo posible se define como una **estructura de árbol** donde los nodos son conjuntos de fórmulas proposicionales, y los arcos representan transiciones en el tiempo.
- ▶ El **pasado es único**, pero el **futuro es arborescente**, para representar posibles cursos de acción. Una vez que el agente actúa, el pasado se vuelve lineal, debido a que solo uno de los cursos de acción posibles se ha llevado a cabo.



Dos mundos posibles ($w_1 \sqsubseteq w_0$)



Estructura de Kripke

- ▶ Se define como $M = \langle W, \{S_w : w \in W\}, \{R_w : w \in W\}, L, \mathcal{B}, \mathcal{D}, \mathcal{I} \rangle$, donde:
- ▶ W es un conjunto de mundos posibles;
- ▶ S_w es el conjunto de estados para cada mundo $w \in W$;
- ▶ R_w es una relación binaria total sobre los estados del mundo, $R_w \subseteq S_w \times S_w$;
- ▶ L es una función de asignación de verdad para las proposiciones primitivas en cada mundo $w \in W$ en cada estado $s \in S_w$, p. ej., $L(w, s) : \phi \mapsto \{true, false\}$; y
- ▶ $\mathcal{B}, \mathcal{D}, \mathcal{I}$ son relaciones sobre los mundos y sus estados, p. ej., $\mathcal{B} \subseteq W \times S_w \times W$.



Semántica: fórmulas de estado

1. **Proposiciones atómicas:** $M, w_s \models \phi$, ssi $\phi \in L(w, s)$
2. **Negación y Disyunción:**
 - 2.1 $M, w_s \models \neg\phi$, ssi $M, w_s \not\models \phi$.
 - 2.2 $M, w_s \models \phi \vee \psi$, ssi $M, w_s \models \phi$ ó $M, w_s \models \psi$.
3. **Opcional e inevitable:**
 - 3.1 $M, w_{s_0} \models E\phi$, ssi existe un camino w_{s_0}, w_{s_1}, \dots tal que $M, (w_{s_0}, w_{s_1}, \dots) \models \phi$.
 - 3.2 $M, w_{s_0} \models A\phi$, ssi para todo camino w_{s_0}, w_{s_1}, \dots , $M, (w_{s_0}, w_{s_1}, \dots) \models \phi$.
4. **Creencias, Deseos e Intenciones:**
 - 4.1 $M, w_s \models \text{BEL}(\phi)$, ssi $\exists v | (w, s, v) \in \mathcal{B}, M, v_s \models \phi$.
 - 4.2 $M, w_s \models \text{DES}(\phi)$, ssi $\forall v | (w, s, v) \in \mathcal{D}, M, v_s \models \phi$.
 - 4.3 $M, w_s \models \text{INT}(\phi)$, ssi $\forall v | (w, s, v) \in \mathcal{I}, M, v_s \models \phi$.



Semántica: fórmulas de camino

1. **Proposiciones atómicas:** $M, (w_{s_0}, w_{s_1}, \dots) \models \phi$, ssi $M, w_{s_0} \models \phi$.

2. **Negación y Disyunción:**

2.1 $M, (w_{s_0}, w_{s_1}, \dots) \models \neg\psi$, ssi $M, w_{s_0} \not\models \psi$.

2.2 $M, (w_{s_0}, w_{s_1}, \dots) \models \phi \vee \psi$, ssi $M, (w_{s_0}, w_{s_1}, \dots) \models \phi$ ó
 $M, (w_{s_0}, w_{s_1}, \dots) \models \psi$.

3. **Next y Until:**

3.1 $M, (w_{s_0}, w_{s_1}, \dots) \models \bigcirc\psi$, ssi $M, (w_{s_1}, \dots) \models \psi$.

3.2 $M, (w_{s_0}, w_{s_1}, \dots) \models \phi \text{ U } \psi$, ssi i) $\exists k, k \geq 0$ t.q. $M, (w_{s_k}, \dots) \models \psi$ y
 $\forall 0 \leq j < k, M, (w_{s_j}, \dots) \models \phi$; ó ii) $\forall j \geq 0, M, (w_{s_j}, \dots) \models \phi$.



Validez

- ▶ Una fbf se dice **válida** ssi es verdadera en todo estado, mundo y estructura.
- ▶ Una fbf se dice **satisfacible** ssi es verdadera en algún estado, mundo y estructura.
- ▶ La validez y satisfacción con respecto a una **familia de estructuras** también puede definirse:
 - ▶ \mathcal{M} que requiere que \mathcal{R} sea **total**, sin imponer ninguna restricción sobre los operadores intencionales (básicamente es un sistema K); y
 - ▶ \mathcal{R}^{est} , que requiere que \mathcal{R} sea total; \mathcal{B} **serial, transitiva y euclidiana**; y, \mathcal{D} e \mathcal{I} sean **seriales**. Este modelo subyace en la lógica identificada como $B^{KD45}D^{KD}I^{KD}_{CTL}$.



Relaciones

- ▶ Las definiciones de las relaciones, de acuerdo a Rao y Georgeff [7] son:

Total: $\forall w \forall s \exists t \quad (s, t) \in R_w.$

Serial: $\forall w \forall s \exists v \quad (w, s, v) \in \mathcal{B}.$

Transitiva: $\forall w, v, x \forall s \quad \text{Si } (w, s, v) \in \mathcal{B} \wedge (v, s, x) \in \mathcal{B}, \text{ entonces } (w, s, x) \in \mathcal{B}.$

Euclidiana: $\forall w, v, x \forall s \quad \text{Si } (w, s, v) \in \mathcal{B} \wedge (w, s, x) \in \mathcal{B}, \text{ entonces } (v, s, x) \in \mathcal{B}.$

- ▶ Su relación **total** parece más una serial, ya que la definición estándar de total (o connex) sería:

$$\forall w \forall s \forall t \quad (s, t) \in R_w \vee (t, s) \in R_w$$



- ▶ Las actitudes proposicionales **cerradas bajo implicación**:

BK $BEL(\phi) \wedge BEL(\phi \Rightarrow \psi) \Rightarrow BEL(\psi)$;

DK $DES(\phi) \wedge DES(\phi \Rightarrow \psi) \Rightarrow DES(\psi)$;

IK $INT(\phi) \wedge INT(\phi \Rightarrow \psi) \Rightarrow INT(\psi)$;

- ▶ Se adopta la regla de **generalización**:

B-Gen Si $\vdash \phi$ entonces $\vdash BEL(\phi)$;

D-Gen Si $\vdash \phi$ entonces $\vdash DES(\phi)$;

I-Gen Si $\vdash \phi$ entonces $\vdash INT(\phi)$;



- ▶ Se asume que las creencias son **consistentes** y hay **introspección** positiva y negativa sobre ellas:

$$\text{BD } \text{BEL}(\phi) \Rightarrow \neg \text{BEL}(\neg \phi);$$

$$\text{B4 } \text{BEL}(\phi) \Rightarrow \text{BEL}(\text{BEL}(\phi));$$

$$\text{B5 } \neg \text{BEL}(\phi) \Rightarrow \text{BEL}(\neg \text{BEL}(\phi)).$$

$B^{KD45} D^{KD} I^{KD}$

- ▶ Para los deseos y las intenciones se adopta además el axioma D para expresar **consistencia** entre los deseos y las intenciones.

$$DD \text{ DES}(\phi) \Rightarrow \neg \text{DES}(\neg \phi);$$

$$ID \text{ INT}(\phi) \Rightarrow \neg \text{INT}(\neg \phi);$$

- ▶ Es consistente y completa con respecto a la familia de estructuras \mathcal{M}^{est}



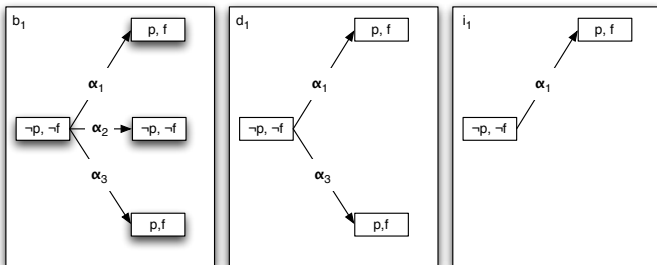
Casos significativos

- ▶ El conjunto de mundos deseados es un subconjunto de aquellos creídos posibles, lo que ocurre cuando el agente puede creer un mundo sin desear estar en él;
- ▶ Los mundos creídos son un subconjunto de los deseados, intuitivamente esto significa que hay ciertos mundos deseados que no son creídos por el agente; y
- ▶ Algunos mundos que son deseados no son creídos y viceversa. Como una combinación de los dos primeros casos.



Elecciones selectivas incrementales

- Tres de estas relaciones han sido consideradas: **realismo** [2], **realismo fuerte** [6], y **realismo débil** [9].



Realismo fuerte

- ▶ Si el agente desea opcionalmente lograr una proposición, entonces cree que la proposición es una opción que, si es elegida, se logra.
- ▶ Si ϕ es una fórmula-O, las condiciones anteriores se expresan con los axiomas de realismo fuerte:

Realismo fuerte DB. $DES(\phi) \Rightarrow BEL(\phi)$;

Realismo fuerte ID. $INT(\phi) \Rightarrow DES(\phi)$.

Realismo

- ▶ Si un agente cree una proposición, también tiene una intención hacia esa proposición.
- ▶ Si ϕ es una fórmula-O:

Realismo BD. $BEL(\phi) \Rightarrow DES(\phi)$;

Realismo DI. $DES(\phi) \Rightarrow INT(\phi)$.



Realismo débil

- Un punto de equilibrio donde los agentes no desean, ni intentan proposiciones que creen falsas; y no intentan proposiciones cuya negación es deseada:

Realismo débil DB. $DES(\phi) \Rightarrow \neg BEL(\neg\phi)$;

Realismo débil IB. $INT(\phi) \Rightarrow \neg BEL(\neg\phi)$;

Realismo débil ID. $INT(\phi) \Rightarrow \neg DES(\neg\phi)$.



Consistencia BI, BD y DI

- ▶ Si un agente tiene una intención, éste cree que tiene tal intención:
 $INT(\phi) \Rightarrow BEL(INT(\phi))$
- ▶ Si un agente tiene un deseo, éste cree que tiene tal deseo:
 $DES(\phi) \Rightarrow BEL(DES(\phi))$
- ▶ Si un agente tiene una intención, debe desear tal intención:
 $INT(\phi) \Rightarrow DES(INT(\phi))$

Tesis de asimetría

AT1 $\models \text{INT}(\phi) \rightarrow \neg \text{BEL}(\neg \phi)$

AT2 $\not\models \text{INT}(\phi) \rightarrow \text{BEL}(\phi)$

AT3 $\not\models \text{BEL}(\phi) \rightarrow \text{INT}(\phi)$

AT4 $\models \text{INT}(\phi) \rightarrow \neg \text{DES}(\neg \phi)$

AT5 $\not\models \text{INT}(\phi) \rightarrow \text{DES}(\phi)$

AT6 $\not\models \text{DES}(\phi) \rightarrow \text{INT}(\phi)$

AT7 $\models \text{DES}(\phi) \rightarrow \neg \text{BEL}(\neg \phi)$

AT8 $\not\models \text{DES}(\phi) \rightarrow \text{BEL}(\phi)$

AT9 $\not\models \text{BEL}(\phi) \rightarrow \text{DES}(\phi)$



Asimetría en sistemas $B^{KD45}D^{KD}I^{KD}$

	AT1	AT2	AT3	AT4	AT5	AT6	AT7	AT8	AT9
Realismo fuerte	✓		✓	✓		✓	✓		✓
Realismo	✓	✓		✓	✓		✓	✓	
Realismo débil	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓



Posposición finita

- ▶ Si un agente forma una intención, entonces en algún momento futuro la **abandona**.
- ▶ Esto se conoce como posposición finita o **compromiso finito** (*no infinite deferral*):

$$INT(\phi) \Rightarrow A\Diamond(\neg INT(\phi))$$



Sintaxis

- ▶ Sea E un conjunto de símbolos para referencias eventos;
- ▶ Si $e \in E$, entonces $succeeds(e)$, $fails(e)$, $does(e)$, $succeeded(e)$, $failed(e)$, y $done(e)$ son fórmulas de estado.



Semántica

- ▶ Incluimos en M los siguientes elementos: Sea E un conjunto de **tipos de evento** primitivos; $SE_w : S_w \times S_w \mapsto E$ y $FE_w : S_w \times S_w \mapsto E$ las ocurrencias con fracaso y éxito de los eventos.
 - ▶ $M, w_{s_1} \models \text{succeeded}(e)$ si y sólo si $SE_w(s_0, s_1) = e$
 - ▶ $M, w_{s_1} \models \text{failed}(e)$ si y sólo si $FE_w(s_0, s_1) = e$



Axiomatización de los eventos

- ▶ Las intenciones tienen un carácter **volitivo**:

$$INT(does(e)) \Rightarrow does(e)$$

- ▶ Un agente es **consciente** de los eventos que ocurren en su medio ambiente.

$$done(e) \Rightarrow BEL(done(e))$$



Compromiso ciego

- ▶ Este agente mantiene sus intenciones hasta que cree que las ha logrado **satisfacer**:
 - ▶ $\text{INT}(A\Diamond\phi) \Rightarrow A(\text{INT}(A\Diamond\phi) \cup \text{BEL}(\phi))$
 - ▶ $\text{INT}(A\Diamond\phi) \Rightarrow A\Diamond(\text{BEL}(\phi))$



Compromiso racional

- ▶ El agente mantiene sus intenciones en tanto considera que siguen siendo una **opción viable**:
 - ▶ $\text{INT}(A\Diamond\phi) \Rightarrow A(\text{INT}(A\Diamond\phi) \cup (\text{BEL}(\phi) \vee \text{BEL}(E\Diamond\phi)))$
 - ▶ $\text{INT}(A\Diamond\phi) \wedge A(\text{BEL}(E\Diamond\phi)) \cup \text{BEL}(\phi) \Rightarrow A\Diamond(\text{BEL}(\phi)).$



Compromiso emocional

- ▶ Este agente mantiene sus intenciones mientras siga **deseándolas**:
- ▶ $\text{INT}(A\Diamond\phi) \Rightarrow A(\text{INT}(A\Diamond\phi) \cup (\text{BEL}(\phi) \vee \neg\text{DES}(E\Diamond\phi)))$
- ▶ $\text{INT}(A\Diamond\phi) \wedge A(\text{DES}(E\Diamond\phi)) \cup \text{BEL}(\phi) \Rightarrow A\Diamond(\text{BEL}(\phi)).$

Otros resultados

- ▶ Un agente **competente** sigue $BEL(\phi) \Rightarrow \phi$, e independientemente de su compromiso adoptado, llega $BEL(A\Diamond\phi)$



Referencias I

- [1] N Alechina et al. "A Logic of Agent Programs". En: *Proceedings of the Twenty-Second AAAI Conference on Artificial Intelligence, July 22-26, 2007, Vancouver, British Columbia, Canada*. New York, NY, USA: AAAI Press, 2007, págs. 795-800.
- [2] PR Cohen y HJ Levesque. "Intention is choice with commitment". En: *Artificial Intelligence* 42.3 (1990), págs. 213-261.
- [3] A Emerson y J Halpern. "Decision Procedures and Expressiveness in The Temporal Logic of Branching Time". En: *Journal of Computer and System Sciences* 30.1 (1985), págs. 1-24.
- [4] A Emerson y J Halpern. ""Sometime" and "Not Never" Revisited: On Branching versus Linear Time Temporal Logic". En: *Journal of the Association for Computer Machinery* 33.1 (1986), págs. 151-178.
- [5] A Guerra-Hernández, JM Castro-Manzano y A El-Fallah-Seghrouchni. "CTL AgentSpeak(L): a Specification Language for Agent Programs". En: *Journal of Algorithms* 64 (2009), págs. 31-40.
- [6] AS Rao y MP Georgeff. *Modelling Rational Agents within a BDI-Architecture*. Inf. téc. 14. Carlton, Victoria, 1991.
- [7] AS Rao y MP Georgeff. "Decision Procedures for BDI Logics". En: *Journal of Logic and Computation* 8.3 (1998), págs. 293-342.

Referencias II

- [8] A Rao. "AgentSpeak(L): BDI Agents Speak Out in a Logical Computable Language". En: *Seventh European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World*. Ed. por R van Hoe. Eindhoven, The Netherlands, 1996.
- [9] A Rao y M Georgeff. *Asymmetry Thesis and Side-Effect Problems in Linear-Time and Branching-Time Intention Logics*. Inf. téc. 13. published in proceedings of IJCAI-91. Carlton, Victoria, 1991.
- [10] A Rao y M Georgeff. *Formal Models and Decision Procedures for Multi-Agent Systems*. Technical Report 61. Carlton, Victoria: Australian Artificial Intelligence Institute, 1995.

