# Representación del Conocimiento

## AgentSpeak(L)

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/rc

Maestría en Inteligencia Artificial 2024

Universidad Veracruzana

# Problemas de las Lógicas BDI

- Las Lógicas BDI nos permiten razonar acerca de nuestros agentes racionales, permitiendo especificar y verificar el comportamiento de estos sistemas.
- Sus componentes modales Intencionales, temporales y de acción, son lo suficientemente expresivos como para abordar creencias, deseos, intenciones y la toma de decisión en esos términos.
- La complejidad computacional de su teoría de prueba es elevada, aunque no mayor que el de su componente temporal; y la evidencia clara de su completitud fue tardía [9].

Universidad Veracruzana

# Solución

- Analizar de dMARS, para formalizar su semántica operacional.
- *AgentSpeak*(*L*), un lenguaje de programación basado en una lógica restringida de primer orden con eventos y acciones.
- El comportamiento de un agente está dado por su programa escrito en este lenguaje.
- Los operadores BDI no son expresiones modales, pero pueden verse como tales desde una postura Intencional:
  - El modelo del agente, ambiente y otros agentes, constituye las creencias del agente.
  - Los estados a los que un agente quiere llegar, con base en sus estímulos internos y externos, son sus deseos.
  - Y los planes que el agente adopta son sus Intenciones.

Universidad Veracruzana

# Alfabeto

- Se asumen conjuntos ilimitados de símbolos de:

| | |
|---|---|
| $Var$ | Variables |
| $Func$ | Funciones |
| $Pred$ | Predicados |
| $Actn$ | Acciones |
| $Const \subseteq Func$ | Constantes |

- Los conectivos lógicos: $\neg$, $\wedge$ y $\sim$.
- Los símbolos especiales: $\{!, ?, +, -, :, ;, \leftarrow, :\text{-}, \top\}$.
- Se adoptará un estilo *à la* Prolog [2].

Universidad Veracruzana

# Término

- El conjunto de términos en $AgentSpeak(L)$ incluye las variables, las constantes y los términos compuestos:

$$t \quad ::= \quad X \mid c \mid f(t_1, \ldots, t_n) \quad (n \geq 1) \tag{1}$$

donde $X \in Var$ es una variable; $c \in Const$, una función de aridad 0, es una constante; y $f \in Func$, de aridad $n \geq 1$, es una función aplicada a $t_{1 \leq i \leq n}$ términos.

- Ejemplos:
  - $Nombre$, $X$, $Y, \ldots$
  - $alejandro$, $guerra$, $1, 2, \ldots$
  - $apellido(Nombre)$, $apellido(alejandro)$, $suma(1, 2)$, etc.

Universidad Veracruzana

# Átomo

- El conjunto de átomos en $AgentSpeak(L)$ incluye las proposiciones y los predicados, con anotaciones o sin ellas:

$$
\begin{aligned}
at &::= p(t_1, \ldots, t_n) \quad (n \geq 0) && (2)\\
&\mid p(t_1, \ldots, t_n)[s_1, \ldots, s_m] \quad (n \geq 0, m \geq 1) && (3)\\
s &::= \texttt{percept} \mid \texttt{self} \mid id && (4)
\end{aligned}
$$

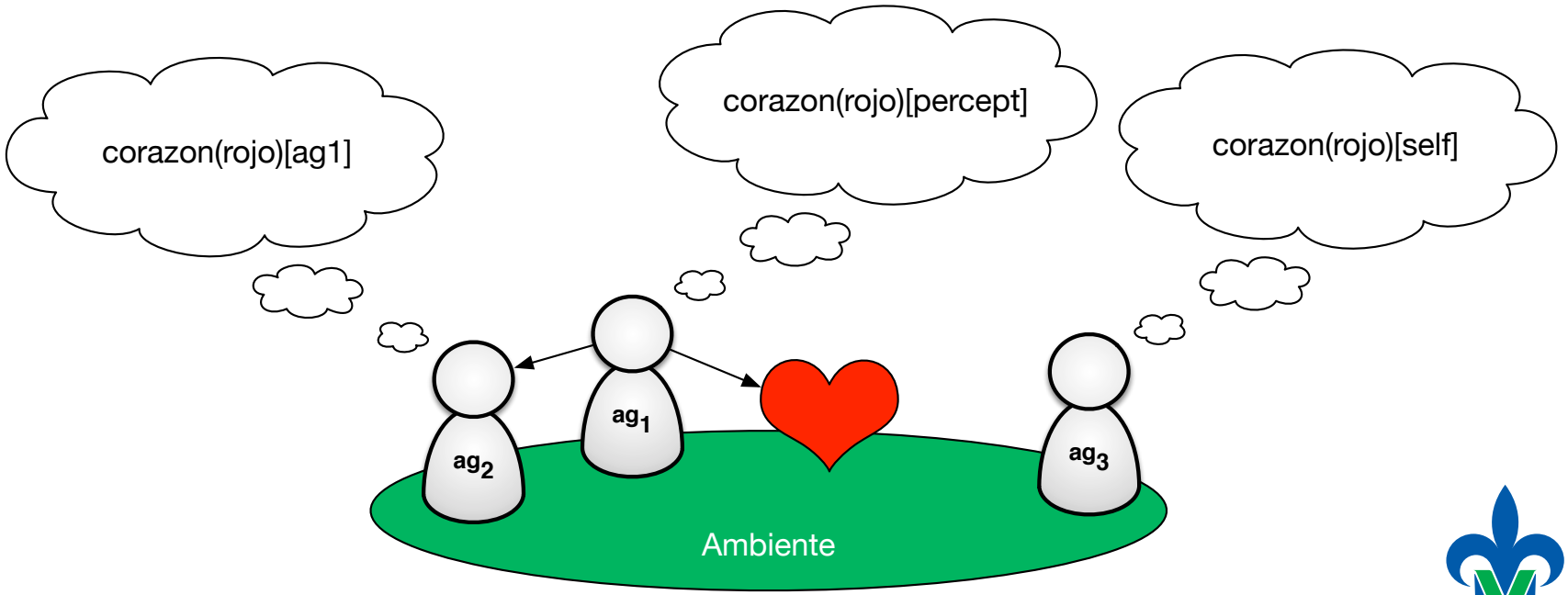
  donde $p \in Pred$, tal que si $n = 0$, es una proposición atómica; si $n > 0$, es un predicado de aridad $n$, aplicado a $t_{1 \leq i \leq n}$ términos. Los átomos pueden adornarse con al menos una anotación $s$, que indica su fuente de origen.

- Ejemplos: $hoyEsLunes$, $mayorQue(suma(3, 4), 5)$

Universidad Veracruzana

# Fuentes

- Las fuentes de un átomo en *AgentSpeak*($L$) pueden ser la percepción($ag_1$), la comunicación ($ag_2$) o el razonamiento del propio agente ($ag_3$).




Universidad Veracruzana

# Términos compuestos vs Átomos

- Un término compuesto denota un elemento del Universo de Discurso ($\mathcal{U}$), ya sea porque:
  - Es una función del estilo $f : \mathcal{U}^n \mapsto \mathcal{U}$;
  - Es una estructura de datos del estilo $f : \mathcal{U}^n$.
- Un átomo denota una relación entre elementos del universo de discurso, son predicados del estilo $p : \mathcal{U}^n \mapsto Bool$.
- Ejemplos: Si asumimos que $\mathcal{U} = \mathbb{N}$
  - La función $suma(4, 3) \mapsto 7$ es un término;
  - La función $cons(1, cons(2, [])) \mapsto [1, 2]$ es un término.
  - El predicado $mayorQue(4, 3) \mapsto T$ es un átomo;
  - El predicado $vacia([1, 2]) \mapsto F$ es un átomo.

Universidad Veracruzana

# Literal

- Un átomo o su negación fuerte son una literal.
- La negación se conoce como literal negativa y el átomo no negado como literal positiva:

$$lit \quad ::= \quad at \mid \sim at \tag{5}$$

- Ejemplos:
  - $mayorQue(3, 2)$, $vacia([])$
  - $\sim mayorQue(2, 3)$, $\sim vacia([1, 2])$

Universidad Veracruzana

# Fórmula Lógica bien Formada

- Las fórmulas lógicas bien formadas (*fbf*) de *AgentSpeak*(*L*) incluyen los átomos, su negación y su conjunción:

$$fbf \quad ::= \quad lit \mid \neg fbf \mid fbf \wedge fbf \tag{6}$$

donde *lit* es una literal; $\neg$ denota la negación débil y $\wedge$ la conjunción.

- Ejemplos:
  - $\sim negativo(X) \wedge mayorQue(X, 99)$
  - $\neg negativo(X) \wedge mayorQue(X, 99)$

Universidad Veracruzana

# Programa de agente

- En *AgentSpeak*($L$), un programa de agente es un conjunto de creencias ($bs$), planes ($ps$) y metas ($gs$):

$$ag \quad ::= bs \quad ps \quad gs \tag{7}$$

Universidad Veracruzana

# Creencia

- Una creencia en $AgentSpeak(L)$ es una literal de base o una regla:

$$b ::= lit \mid rule \quad (8)$$

$$rule ::= lit_1 \text{ :- } fbf \quad (9)$$

$$bs ::= b_1, \ldots, b_n \quad (n \geq 0) \quad (10)$$

  tal que *lit* no tiene variables sin instanciar como argumentos.

- Ejemplos:
  - $factorial(1, 1)$
  - $factorial(X, N)$ :- $factorial(N - 1, Aux) \wedge N = X * Aux$

Universidad Veracruzana

# Planes

- Un plan en *AgentSpeak*($L$) es una estructura compuesta por un evento disparador ($te$), un contexto ($ct$) y un cuerpo ($h$):

$$p ::= te : ct \leftarrow h. \quad (11)$$

$$ps ::= p_1, \ldots, p_n \quad (n \geq 1) \quad (12)$$

- Ejemplo:

$$+!ir(paris) : ahorros(X) \wedge X > 4000$$
$$\leftarrow !reserva(hotel, paris), !reserva(vuelo, paris).$$

Universidad Veracruzana

# Evento disparador de un plan

- El evento disparador de un plan en $AgentSpeak(L)$ consiste en agregar $(+)$, o eliminar $(-)$, una creencia o una meta:

$$te \quad ::= \quad +b \mid -b \mid +g \mid -g \tag{13}$$

- Ejemplo:

$$+!ir(paris) \quad : \quad ahorros(X) \wedge X > 4000$$
$$\leftarrow \quad !reserva(hotel, paris), !reserva(vuelo, paris).$$

Universidad Veracruzana

# Contexto de un plan

- El contexto de un plan en $AgentSpeak(L)$ puede ser vacío o una fórmula lógica bien formada:

$$ct \quad ::= \quad \top \mid fbf \tag{14}$$

- Ejemplo:

$$+!ir(paris) \quad : \quad ahorros(X) \wedge X > 4000$$
$$\leftarrow \quad !reserva(hotel, paris), !reserva(vuelo, paris).$$

Universidad Veracruzana

# Cuerpo de un plan

- El cuerpo de un plan es una secuencia, posiblemente vacía, de acciones, actualizaciones de creencias y/o metas:

$$h ::= h1; \top \mid \top \quad (15)$$

$$h1 ::= a \mid u \mid g \mid h1; h1 \quad (16)$$

- Ejemplo:

$$+!ir(paris) \quad : \quad ahorros(X) \wedge X > 4000$$
$$\leftarrow \quad !reserva(hotel, paris), !reserva(vuelo, paris).$$

Universidad Veracruzana

# Acción

- Las acciones en $AgentSpeak(L)$ son llamadas a procedimientos:

$$a \quad ::= A(t_1, \ldots, t_n) \quad (n \geq 0) \tag{17}$$

donde $A \in Actn$ es una acción aplicada a $t_{1 \leq i \leq n}$ términos.

- Ejemplos:
  - paga(hotel, 180)
  - agenda(paris,01/07/2017,13/07/2017)
  - .print("Reservación lista")

Universidad Veracruzana

# Actualización de creencias

- Las actualizaciones de creencias en *AgentSpeak*($L$) consisten en agregar una nueva creencia o eliminar aquellas que unifican con una literal dada:

$$u \quad ::= \quad +b \mid -lit \tag{18}$$

- Ejemplos:
  - +reservado(hotel,paris)
  - -curso(Curso,01/07/2017,13/07/2017)

Universidad Veracruzana

# Meta

- Las metas en *AgentSpeak*($L$) pueden ser alcanzables (!) o verificables (?):

$$g ::= !lit \mid ?lit \quad (19)$$

$$gs ::= g_1, \ldots, g_n \quad (n \geq 0) \quad (20)$$

- Ejemplos:
  - !ir(paris)
  - !reserva(hotel,paris)
  - ?reservado(vuelo,paris)
  - ?agenda(paris,Inicio,Fin)

Universidad Veracruzana

# Gramática BNF

| | | | |
|---|---|---|---|
| $ag$ | $::=$ | $bs \quad ps \quad gs$ | |
| $bs$ | $::=$ | $b_1, \ldots, b_n$ | $(n \geq 0)$ |
| $b$ | $::=$ | $lit \mid rule$ | $ground(lit)$ |
| $lit$ | $::=$ | $at \mid \sim at$ | |
| $at$ | $::=$ | $p(t_1, \ldots, t_n)$ | $(p \in Pred, n \geq 0)$ |
| | $\mid$ | $p(t_1, \ldots, t_n)[s_1, \ldots, s_m]$ | $(p \in Pred, n \geq 0, m > 0)$ |
| $s$ | $::=$ | $\texttt{percept} \mid \texttt{self} \mid id$ | |
| $rule$ | $::=$ | $lit$ :- $fbf$ | |
| $fbf$ | $::=$ | $lit \mid \neg fbf \mid fbf \wedge fbf \mid fbf \vee fbf$ | |
| $t$ | $::=$ | $X \mid f \mid f(t_1, \ldots, t_n)$ | $(X \in Var, f \in Func, n \geq 1)$ |
| $ps$ | $::=$ | $p_1, \ldots, p_n$ | $(n \geq 1)$ |
| $p$ | $::=$ | $te : ct \leftarrow h$ | |
| $te$ | $::=$ | $+lit \mid -lit \mid +g \mid -g$ | |
| $ct$ | $::=$ | $fbf \mid \top$ | |
| $h$ | $::=$ | $h_1; \top \mid \top$ | |
| $h_1$ | $::=$ | $a \mid u \mid g \mid h_1; h_1$ | |
| $a$ | $::=$ | $ac(t_1, \ldots, t_n)$ | $(ac \in Actn, n \geq 0)$ |
| $u$ | $::=$ | $+b \mid -lit$ | |
| $g$ | $::=$ | $!lit \mid ?lit$ | |
| $gs$ | $::=$ | $g_1, \ldots, g_n$ | $(n \geq 0)$ |

Universidad Veracruzana

# Programa *AgentSpeak*(*L*)

- El siguiente código *AgentSpeak*(*L*):

  es un programa válido, con salida:

```
1  [beto] El factorial de 5 es 120.
```

Universidad Veracruzana

# Pila

- La expresión $p = [e_1 \ddagger e_2 \ddagger \ldots \ddagger e_n]$ denota una pila $p$ de tamaño $n$. La pila vacía se denota como $\emptyset$.
- Se definen las siguientes operaciones sobre las pilas y sus elementos:
  - $top(p) = e_1$.
  - $pop(p) = e_1$ y $p = [e_2 \ddagger \ldots \ddagger e_n]$.
  - $push(e, p) = [e \ddagger e_1 \ddagger e_2 \ddagger e_n]$.

Universidad Veracruzana

# Cola

- La expresión $c = \{e_1, e_2, \ldots, e_n\}$ denota una cola $c$ de tamaño $n$. La cola vacía se denota como $\emptyset$.
- Se definen las siguientes operaciones sobre las colas y sus elementos:
  - $first(c) = e_1$.
  - $pop(c) = e_1$ y $c = \{e_2, \ldots, e_n\}$.
  - $push(e, c) = \{e_1, e_2, \ldots, e_n, e\}$.

Universidad Veracruzana

# Semánticas operacionales

- La ejecución de un programa de agente *AgentSpeak*($L$) está determinado por una semántica operacional, al estilo de las propuestas por Plotkin [8].
- Estas semánticas se basan en un sistema de transiciones entre configuraciones de un programa.

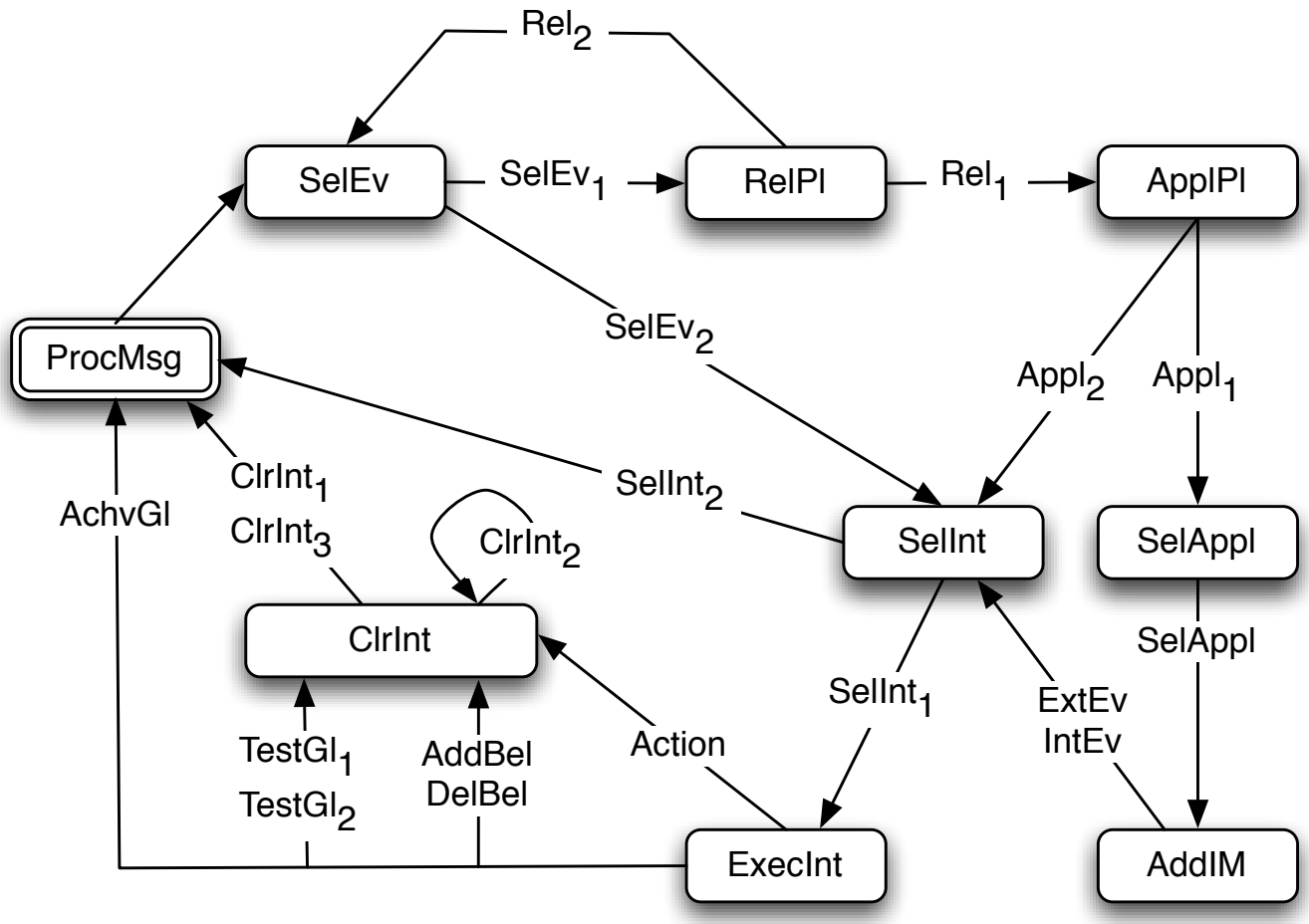
Universidad Veracruzana

# Sistema de transiciones

- Un sistema de transiciones es una estructura $\langle \Gamma, \rightarrow \rangle$, donde $\Gamma$ es un conjunto de elementos $\gamma$, conocidos como configuraciones, y $\rightarrow$ es una relación binaria sobre $\Gamma$, llamada transición.

Universidad Veracruzana

# El sistema de transiciones de *AgentSpeak(L)*




Universidad Veracruzana

# Configuraciones *AgentSpeak(L)* I

- Una configuración $\gamma = \langle ag, C, M, T, s \rangle$ está compuesta por:
  - Un programa del agente $ag = \langle bs, ps, gs \rangle$.
  - Una circunstancia del agente $C$ es una tupla $\langle I, E, A \rangle$ donde:
    - $I$ es el conjunto de intenciones $\{i_1, i_2, \ldots, i_n\}$, t.q. cada $i \in I$ es una pila de planes parcialmente instanciados;
    - $E$ es una cola de eventos $\{\langle te_1, i_1 \rangle, \langle te_2, i_2 \rangle, \ldots, \langle te_n, i_n \rangle\}$, t.q. cada $te$ es un evento disparador y cada $i$ es una intención. Si $i = \top$ se dice que el evento es externo; en caso contrario el evento es interno, es decir, generado por una intención previa; y
    - $A$ es el conjunto de acciones a ser ejecutadas por el agente en el ambiente.
  - El buzón $M$ es una tupla $\langle In, Out, SI \rangle$ donde:
    - $In$ es el buzón en entrada del agente;
    - $Out$ es el buzón de salida; y
    - $SI$ es un registro de intenciones suspendidas, i.e., aquellas que esperan un mensaje de respuesta para reanudarse.

Universidad Veracruzana

# Configuraciones *AgentSpeak(L)* II

- $T$ es una tupla de registros $\langle R, Ap, \iota, \epsilon, \rho \rangle$ donde $R$ es el conjunto de planes relevantes dado cierto evento; $Ap \subseteq R$ es el conjunto de planes aplicables, aquellos que el agente cree poder ejecutar; $\iota$, $\epsilon$ y $\rho$ son, respectivamente, la intención, el evento, y el plan actualmente considerados en el razonamiento del agente.
- $s \in \{SelEv, RelPl, AppPl, SelAppl, SelInt, AddIM, ExecInt, ClrInt, ProcMsg\}$ denota una etiqueta para cada estado de la configuración.

Universidad Veracruzana

# Transiciones en *AgentSpeak(L)*

- La relación de transición $\rightarrow$ se definen en términos de un conjunto de reglas semánticas con la forma:

$$(\text{regla}) \quad \frac{cond}{\gamma \rightarrow \gamma'}$$

donde la configuración $\gamma$ puede transformarse en una nueva configuración $\gamma'$, si las condiciones expresadas en *cond* se cumplen.

Universidad Veracruzana

# Notación

- Para hacer referencia al componente $E$ de una circunstancia $C$, escribimos $C_E$. Ej. Las creencias de un agente se denotan como $ag_{bs}$.
- Para indicar que no hay ninguna intención siendo considerada en la ejecución del agente, se emplea $T_\iota = \top$. De forma similar para $T_\epsilon$, $T_\rho$ y demás registros de una configuración.
- Se usa $i[p]$ para denotar que $p$ es el plan en el tope de la intención $i$; también se puede usar $p = top(i)$.
- Si asumimos que $p$ es un plan de la forma $te : ct \leftarrow h$, entonces:
  - $TrEv(p) = te$ denota el evento disparador de $p$.
  - $Ct(p) = ct$ denota el contexto de $p$.
  - $Head(p) = te : ct$ denota la cabeza de $p$.
  - $Body(p) = h$ denota el cuerpo de $p$.

Universidad Veracruzana

# Funciones de selección

- Se definen las siguientes funciones de selección de eventos $S_E = pop(C_E)$, planes aplicables $S_{Ap} = pop(T_{Ap})$ e intenciones $S_I = pop(C_I)$.
- Observen que estas funciones de selección son destructivas, en el sentido que el elemento seleccionado es eliminado de la pila, cola o conjunto donde se encontraba.
- Estas funciones pueden redefinirse para una selección más informada.

Universidad Veracruzana

# Substituciones

- Una substitución es un conjunto finito de la forma:

$$\theta = \{t_1/v_1, \ldots, t_n/v_n\}, \quad (n \geq 0)$$

  donde las $v_i$ son variables únicas y cada $t_i$ es un término que no incluye a $v_i$.
- La forma $t_i/v_i$ se conoce como ligadura.
- La substitución vacía se denota por $\epsilon$, y se conoce también como substitución identidad.

Universidad Veracruzana

# Ejemplos

- Los siguientes conjuntos son substituciones válidas:
  - $\theta = \{f(Y)/X, Z/Y\}$
  - $\theta' = \{a/X, b/Y, Y/Z\}$
- En cambio, las siguientes no lo son:
  - $\theta = \{f(X)/X, Z/Y\}$
  - $\theta' = \{a/X, b/Y, Y/X\}$

Universidad Veracruzana

# Aplicación de una substitución

- La aplicación de la substitución $\theta$ al término $t$ se denota $t\theta$ y resulta en un nuevo término donde todas las ligaduras de la substitución se han llevado a cabo en $t$ de forma paralela.
- Ejemplos: Sea la substitución $\theta = \{5/Num, F/Fact\}$ y el término $t = factorial(Num, Fact)$, $t\theta = factorial(5, F)$. En tanto que, $t\epsilon = factorial(Num, Fact)$, de ahí el nombre de substitución identidad.

Universidad Veracruzana

# Composición de substituciones

- La composición de dos substituciones, $\theta = \{t_1/v_1, \ldots, t_n/v_n\}$ y $\theta' = \{t'_1/v'_1, \ldots, t'_m/v'_m\}$, es a su vez una substitución, definida de la siguiente manera:

$$\theta \circ \theta' = \{t_1\theta'/v_1, \ldots, t_n\theta'/v_n\} \cup t'_i/v'_i \in \theta' \mid v'_i \text{ no ocurre en } \theta$$

  Eliminando todas las ligaduras de la forma $t/t$.

- Ejemplo: Sean $\theta = \{g(X, Y)/W\}$ y $\theta' = \{a/X, b/Y, c/Z\}$ dos substituciones, la composición $\theta \circ \theta' = \{g(a, b)/W, a/X, b/Y, c/Z\}$.

Universidad Veracruzana

# Unificador Más General (UMG)

- Sean $t_1$ y $t_2$ términos. Se dice que la substitución $\theta$ es un unificador de esos términos si $t_1\theta = t_2\theta$. Una substitución $\theta$ se dice más general que una substitución $\sigma$, si y sólo si existe una substitución $\tau$ tal que $\sigma = \theta \circ \tau$. Un unificador $\theta$ se dice el unificador más general (*umg*) de dos términos, si y sólo si es más general que cualquier otro unificador entre esos términos.

Universidad Veracruzana

# Ejemplo

- Consideren los términos $f(X)$ y $f(g(Y))$, el *umg* de ellos es $\theta = \{g(Y)/X\}$, pero existen otros muchos unificadores, por ejemplo $\{g(a)/X, a/Y\}$. Intuitivamente, el *umg* de dos términos es el más simple de todos sus unificadores. Observen que $f(X)\theta = f(g(Y))\theta = f(g(Y))$.

Universidad Veracruzana

# Unificación y anotaciones

- Los términos de *AgentSpeak*($L$) están anotados y esto debe tomarse en cuenta al computar la unificación.
- En general, dos términos $t_1[a_1, \ldots, a_n]$ y $t_2[a'_2, \ldots, a'_m]$ unifican, si y sólo si (i) existe un umg $\theta$ tal que $t_1\theta = t_2\theta$ y (ii) $\{a_1, \ldots, a_n\} \subseteq \{a'_1, \ldots, a'_m\}$. Esto es, si las fuentes de $t_1$ están incluidas en las de $t_2$.

Universidad Veracruzana

# Ejemplos

- $umg(p(c)[s_1], p(c)[s_1, s_2]) = \top$ debido a que no hay variables ligadas y las anotaciones del primer término están incluidas en las del segundo;
- $umg(p(c)[a_1], p(c)[a_2])$ falla debido a que la anotaciones del primer término no están incluidas en las anotaciones del segundo.
- $umg(p(X)[a_2], p(c)[a_1, a_2, a_3]) = \{c/X\}$. Ahora el unificador incluye una ligadura.

Universidad Veracruzana

# Consecuencia lógica

- La expresión $ag_{bs} \models fbf$ denota que la fórmula bien formada $fbf$ es consecuencia lógica de las creencias del agente $ag$. Siguiendo la definición sintáctica de una $fbf$ (Ecuación 6), tenemos que:
  - $ag_{bs} \models lit[s_1, \ldots, s_n]$, si y sólo si, existe una literal $lit'[s'_1, \ldots s'_m] \in ag_{bs}$, tal que $lit\theta = lit'$. $\theta$ se conoce como unificador de respuesta.
  - $ag_{bs} \models \neg fbf$, si y sólo si, $ag_{bs} \not\models fbf$, tal que $\theta = \epsilon$.
  - $ag_{bs} \models fbf_1 \wedge fbf_2\ \theta$, si y sólo si, $ag_{bs} \models fbf_1\ \theta_1$ y $ag_{bs} \models fbf_2\ \theta_2$. El unificador de respuesta $\theta = \theta_1 \circ \theta_2$.

Universidad Veracruzana

# Reglas y consecuencia lógica

- Si consideramos a las reglas como parte de las creencias, debemos agregar el siguiente caso:
  - $ag_{bs} \models lit[s_1, \ldots, s_n]$, si y sólo si, en las creencias del agente $ag$, existe una regla $lit'[s'_1, \ldots, s'_n]$ :- $fbf$ tal que: (i) $lit\theta' = lit'\theta'$ y (ii) $ag_{bs} \models fbf$ con substitución de respuesta $\theta''$. $\theta = \theta' \circ \theta''$.

Universidad Veracruzana

# Ejemplos

- $p(X)[a_1]$ se sigue de $ag_{bs} = \{p(t)[a_1, a_2]\}$; pero
- $p(X)[a_1, a_2]$ no se sigue de $ag_{bs} = \{p(t)[a_1]\}$.

Universidad Veracruzana

# Substitución de respuesta

- La substitución de respuesta para una *fbf*, es un unificador $\theta$ tal que la aplicación de $\theta$ a la *fbf*, se sigue de las creencias del agente. Formalmente:

$$SubstResp(fbf) = \theta \mid ag_{bs} \models fbf\theta \quad (21)$$

Universidad Veracruzana

# Planes relevantes

- El conjunto de los planes relevantes ($R$) dado un evento $\langle te, i \rangle \in C_E$, está compuesto por los planes cuyo evento disparador unifica con $te$:

$$PRels(te) = \{p\theta \mid p \in ag_{ps} \wedge \theta = umg(te, TrEv(p))\} \quad (22)$$

- Ejemplo: Dado el evento $\langle +!ir(mexico), \top \rangle$, los siguientes planes son relevantes:

```
1  +!ir(Dest) : autobus <-
2    !reservar(autobus,Dest);
3    !reservar(hotel,Dest).
4
5  +!ir(Dest) : avion <-
6    !reservar(avion,Dest);
7    !reservar(hotel,Dest).
```

Universidad Veracruzana

# Planes aplicables

- El conjunto de los planes aplicables ($Ap \subseteq R$) incluye aquellos cuyo contexto es consecuencia lógica de las creencias del agente.

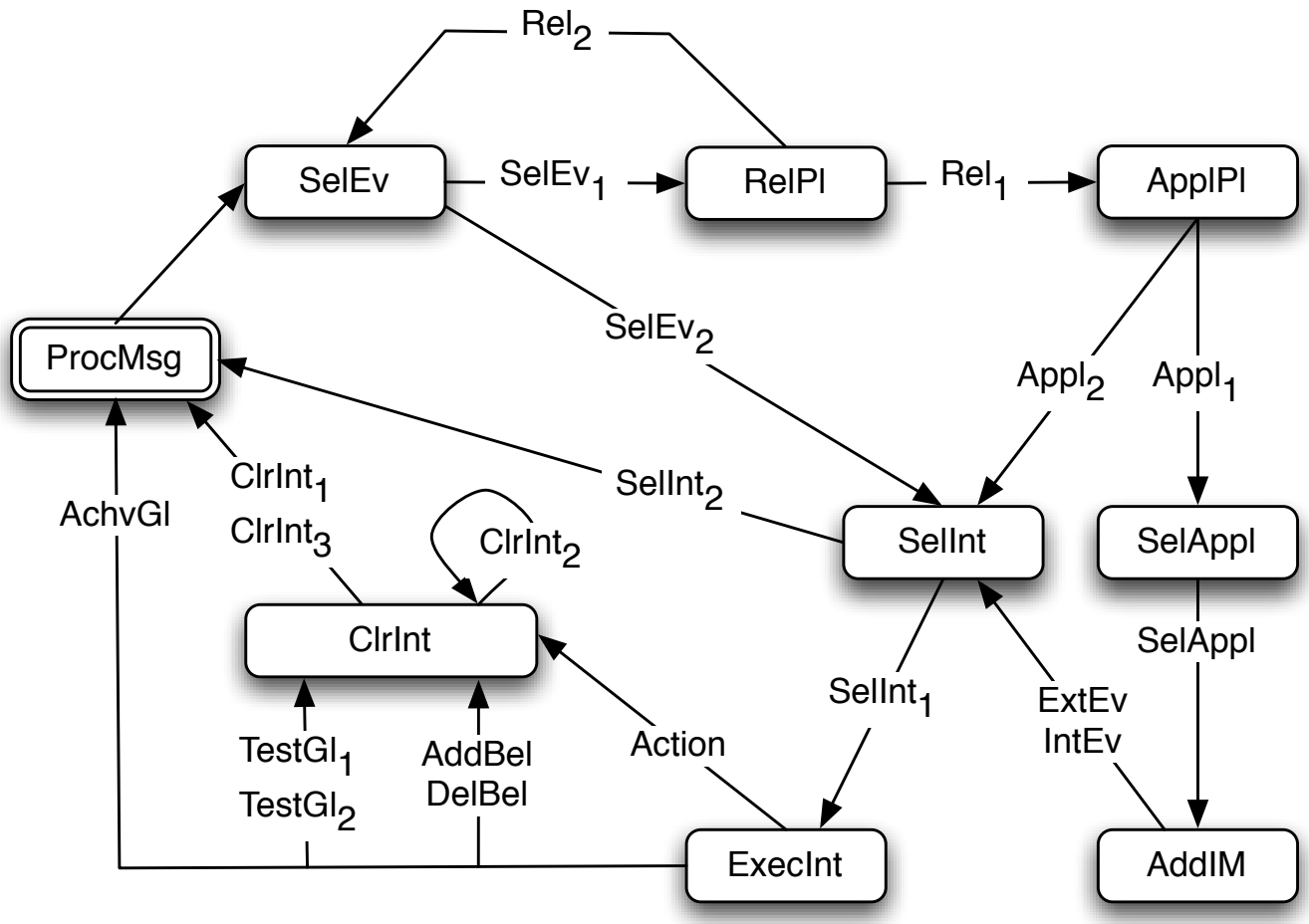
$$PApls(PRels) = \{p\theta \mid p \in PRels \wedge ag_{bs} \models Ct(p)\theta\} \quad (23)$$

- Ejemplo: Dado el evento $\langle +!ir(mexico), \top \rangle$ y que $ag_{bs} \models avion$, solo el segundo plan es aplicable:

```
1  +!ir(Dest) : autobus <-
2    !reservar(autobus,Dest);
3    !reservar(hotel,Dest).
4
5  +!ir(Dest) : avion <-
6    !reservar(avion,Dest);
7    !reservar(hotel,Dest).
```

Universidad Veracruzana

# El sistema de transiciones de *AgentSpeak*(*L*)




Universidad Veracruzana

# Selección de eventos

$$(\text{SelEv}_1) \quad \frac{C_E \neq \emptyset, S_E = \langle te, i \rangle}{\langle ag, C, M, T, SelEv \rangle \rightarrow \langle ag, C', M, T', RelPl \rangle} \tag{24}$$

$$\text{t.q. } T'_\epsilon = \langle te, i \rangle, C'_E = C_E \setminus T'_\epsilon,$$

$$(\text{SelEv}_2) \quad \frac{C_E = \emptyset}{\langle ag, C, M, T, SelEv \rangle \rightarrow \langle ag, C, M, T, SelInt \rangle} \tag{25}$$

Universidad Veracruzana

# Planes relevantes

$$(\text{Rel}_1) \quad \frac{T_\epsilon = \langle te, i \rangle, PRels(te) \neq \emptyset}{\langle ag, C, M, T, RelPl \rangle \rightarrow \langle ag, C, M, T', AppPl \rangle} \quad (26)$$

$$\text{t.q. } T'_R = PRels(te)$$

$$(\text{Rel}_2) \quad \frac{T_\epsilon = \langle te, i \rangle, PRels(te) = \emptyset}{\langle ag, C, M, T, RelPl \rangle \rightarrow \langle ag, C, M, T, SelEv \rangle} \quad (27)$$

Universidad Veracruzana

# Planes aplicables

$$(\text{Appl}_1) \quad \frac{PApls(T_R) \neq \emptyset}{\langle ag, C, M, T, ApplPl \rangle \rightarrow \langle ag, C, M, T', SelAppl \rangle} \tag{28}$$

$$\text{t.q. } T'_{Ap} = PApls(T_R)$$

$$(\text{Appl}_2) \quad \frac{PApls(T_R) = \emptyset}{\langle ag, C, M, T, ApplPl \rangle \rightarrow \langle ag, C, M, T, SelInt \rangle} \tag{29}$$

Universidad Veracruzana

# Selección plan aplicable

$$\text{(SelAppl)} \quad \frac{S_{Ap} = (p, \theta)}{\langle ag, C, M, T, SelAppl \rangle \rightarrow \langle ag, C, M, T', AddIM \rangle} \tag{30}$$

$$\text{t.q. } T'_{\rho} = (p, \theta)$$

Universidad Veracruzana

# Adopción de intenciones

$$\text{(ExtEv)} \quad \frac{T_\epsilon = \langle te, \top \rangle, T_\rho = (p, \theta)}{\langle ag, C, M, T, AddIM \rangle \rightarrow \langle ag, C', M, T, SelInt \rangle} \tag{31}$$

$$\text{t.q. } C_I' = C_I \cup \{[p\theta]\}$$

$$\text{(IntEv)} \quad \frac{T_\epsilon = \langle te, i \rangle, T_\rho = (p, \theta)}{\langle ag, C, M, T, AddIM \rangle \rightarrow \langle ag, C', M, T, SelInt \rangle} \tag{32}$$

$$\text{t.q. } C_I' = C_I \cup \{i[p\theta]\}$$

Universidad Veracruzana

# Selección de intenciones

$$(\text{SelInt}_1) \quad \frac{C_I \neq \emptyset, S_I = i}{\langle ag, C, M, T, SelInt \rangle \rightarrow \langle ag, C, M, T', ExecInt \rangle} \quad (33)$$

$$\text{t.q. } T'_\iota = i$$

$$(\text{SelInt}_2) \quad \frac{C_I = \emptyset}{\langle ag, C, M, T, SelInt \rangle \rightarrow \langle ag, C, M, T, ProcMsg \rangle} \quad (34)$$

Universidad Veracruzana

# Ejecución de una acción

$$\text{(Action)} \quad \frac{T_\iota = i[head \leftarrow a; h]}{\langle ag, C, M, T, ExecInt\rangle \rightarrow \langle ag, C', M, T', ClrInt\rangle} \tag{35}$$

$$\text{t.q. } C'_A = C_A \cup \{a\},\ T'_\iota = i[head \leftarrow h],$$
$$C'_I = (C_I \backslash \{T_\iota\}) \cup \{T'_\iota\}$$

Universidad Veracruzana

# Ejecución de una meta alcanzable

$$\text{(AchvGI)} \quad \frac{T_\iota = i[head \leftarrow !at; h]}{\langle ag, C, M, T, ExecInt\rangle \rightarrow \langle ag, C', M, T, ProcMsg\rangle} \tag{36}$$

$$\text{t.q. } C'_E = C_E \cup \{\langle +!at, T_\iota\rangle\},$$
$$C'_I = C_I \setminus \{T_\iota\}$$

Universidad Veracruzana

# Ejecución de una meta verificable

$$(\text{TestGl}_1)\quad \frac{T_\iota = i[head \leftarrow ?at; h],\ Test(ag_{bs}, at) = at\theta}{\langle ag, C, M, T, ExecInt\rangle \rightarrow \langle ag, C', M, T, ClrInt\rangle} \tag{37}$$

$$\text{t.q. } T'_\iota = i[(head \leftarrow h)\theta],$$
$$C'_I = (C_I \backslash \{T_\iota\}) \cup \{T'_\iota\}$$

$$(\text{TestGl}_2)\quad \frac{T_\iota = i[head \leftarrow ?at; h],\ Test(ag_{bs}, at) = \bot}{\langle ag, C, M, T, ExecInt\rangle \rightarrow \langle ag, C', M, T, ClrInt\rangle} \tag{38}$$

$$\text{t.q. } C'_E = C_E \cup \{\langle -?at, T_\iota\rangle\},$$
$$C'_I = C_I \backslash \{T_\iota\}$$

Universidad Veracruzana

# Actualiación de creencias: Agregar

$$\text{(AddBel)} \quad \frac{T_\iota = i[head \leftarrow +b; h]}{\langle ag, C, M, T, ExecInt\rangle \rightarrow \langle ag', C', M, T', ClrInt\rangle}$$

$$\begin{aligned} \text{t.q. } ag'_{bs} &= ag_{bs} + b_{[self]}, \\ C'_E &= C_E \cup \{\langle +b_{[self]}, \top\rangle\}, \\ T'_\iota &= i[head \leftarrow h], \\ C'_I &= (C_I \backslash \{T_\iota\}) \cup \{T'_\iota\} \end{aligned} \tag{39}$$

Universidad Veracruzana

# Actualización de creencias: Borrar

$$\text{(DelBel)} \quad \frac{T_\iota = i[head \leftarrow -at; h]}{\langle ag, C, M, T, ExecInt\rangle \rightarrow \langle ag', C', M, T', ClrInt\rangle}$$

$$\begin{aligned} \text{t.q. } ag'_{bs} &= ag_{bs} - at_{[self]}, \\ C'_E &= C_E \cup \{\langle -at_{[self]}, \top\rangle\}, \\ T'_\iota &= i[head \leftarrow h], \\ C'_I &= (C_I \backslash \{T_\iota\}) \cup \{T'_\iota\} \end{aligned} \tag{40}$$

Universidad Veracruzana

# Limpieza I

$$(\text{ClrInt}_1) \quad \frac{T_\iota = [head \leftarrow \top]}{\langle ag, C, M, T, ClrInt\rangle \rightarrow \langle ag, C', M, T, ProcMsg\rangle} \tag{41}$$

$$\text{t.q. } C_I' = C_I \setminus \{T_\iota\}$$

$$(\text{ClrInt}_2) \quad \frac{T_\iota = i[head \leftarrow \top]}{\langle ag, C, M, T, ClrInt\rangle \rightarrow \langle ag, C', M, T, ClrInt\rangle} \tag{42}$$

$$\text{t.q. } C_I' = (C_I \setminus \{T_\iota\}) \cup \{k[(head' \leftarrow h)\theta]\}$$
$$\text{si } i = k[head' \leftarrow g; h]$$
$$\text{y } g\theta = TrEv(head)$$

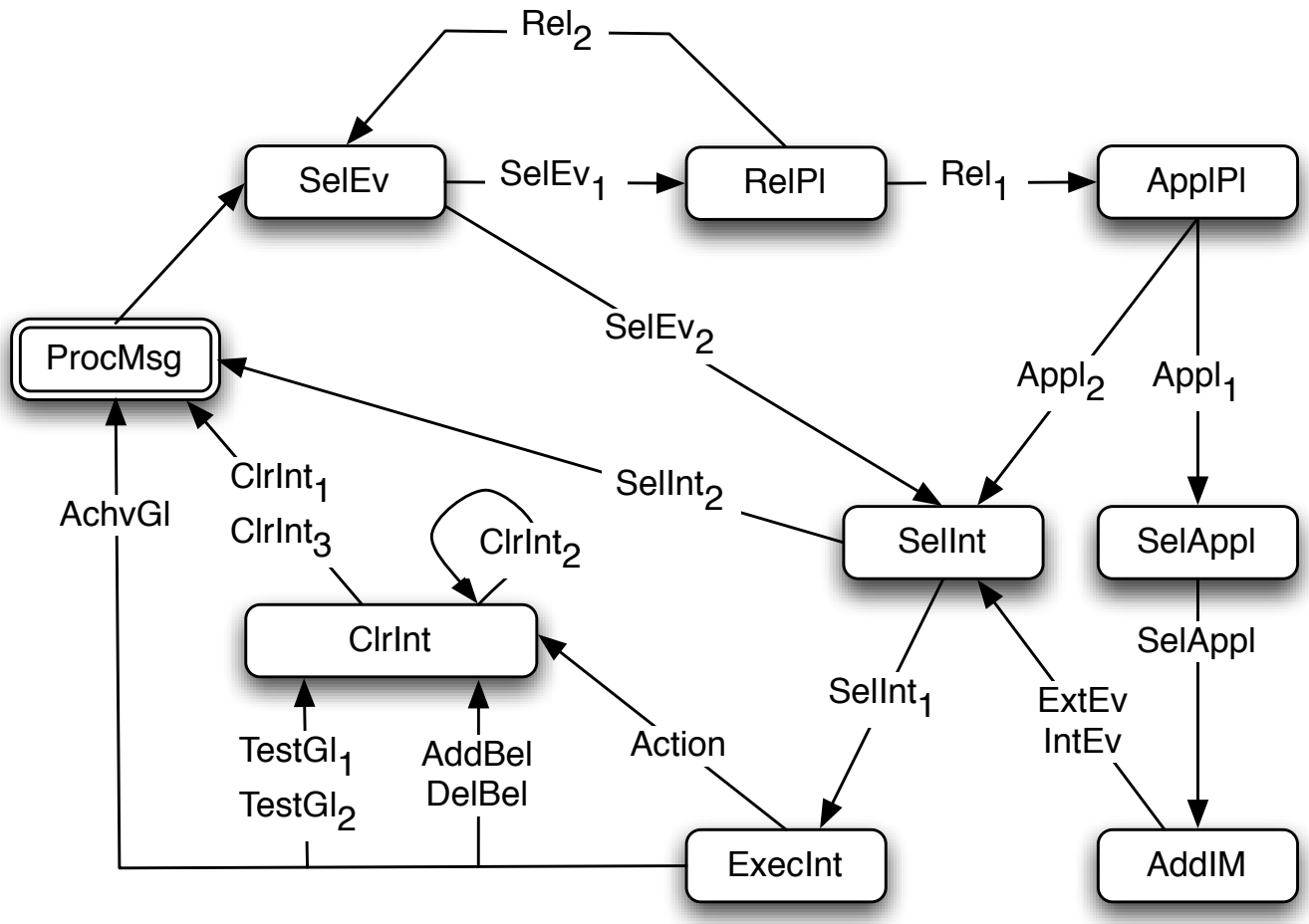
Universidad Veracruzana

# Limpieza II

$$(\text{ClrInt}_3) \qquad \frac{T_\iota \neq [head \leftarrow \top] \wedge T_\iota \neq i[head \leftarrow \top]}{\langle ag, C, M, T, ClrInt \rangle \rightarrow \langle ag, C, M, T, ProcMsg \rangle} \qquad (43)$$

Universidad Veracruzana

# Grafo de transiciones




Universidad Veracruzana

# Semántica operacional vs Lógicas BDI

- Ganamos una semántica clara, precisa y computable.
- Pero ¿Donde están mis operadores $BDI_{CTL}$?
- ¿Qué significa que el agente crea, desee o intente algo?
- Recuperados en $CTL_{AgentSpeak(L)}$ [4, 5].

Universidad Veracruzana

# Sintaxis

- Si $at \in AgentSpeak(L)$, entonces $at$, BEL($at$), DES($at$), INTEND($at$) son fbf intencionales de $CTL_{AgentSpeak(L)}$.
- Las fbf de estado son:
  - s1 Toda fbf intencional es una fbf de estado.
  - s2 Si $\phi$ y $\psi$ son fbf de estado, $\phi \wedge \psi$ y $\neg\phi$ lo son.
  - s3 Si $\phi$ es una fbf de camino, entonces E$\phi$ es una fbf de estado.
- Las fbf de camino son:
  - p1 Toda fbf de estado es una fbf de camino.
  - p2 Si $\phi$ y $\psi$ son fbf de camino, $\neg\phi$, $\phi \wedge \psi$, $\bigcirc\phi$, $\Diamond\phi$ y $\phi$ U $\psi$ son fbf de camino.
- Ej. INTEND(A$\Diamond go(paris)$) U $\neg$BEL($go(paris, summer)$).

Universidad Veracruzana

# Semántica: Metas realizables

- Dada una intención, colectar las fbf atómicas que son sujeto de una meta realizable (*achieve goals*):

$$
\begin{aligned}
agls(\top) &= \{\}, \\
agls(i[p]) &= \begin{cases} \{at\} \cup agls(i) & \text{if } p = +!at : ct \leftarrow h, \\ agls(i) & \text{otherwise} \end{cases}
\end{aligned}
$$

Universidad Veracruzana

# Semántica: BDI

$$\text{BEL}_{\langle ag, C\rangle}(\phi) \equiv ag_{bs} \models \phi$$

$$\text{INTEND}_{\langle ag, C\rangle}(\phi) \equiv \phi \in \bigcup_{i \in C_I} agls(i) \vee \bigcup_{\langle te, i\rangle \in C_E} agls(i)$$

$$\text{DES}_{\langle ag, C\rangle}(\phi) \equiv \langle +!\phi, i\rangle \in C_E \vee \text{INTEND}(\phi)$$

Universidad Veracruzana

# Semántica: Modelo

- $K = \langle S, R, V \rangle$ es una estructura de Kripke definida sobre el sistema de transición ($\Gamma$) de $AgentSpeak(L)$, donde:
  - $S$ es un conjunto de configuraciones $\langle ag, C, M, T, s \rangle$.
  - $R \subseteq S^2$ es una relación serial t.q. para todo $(c_i, c_j) \in R$, $(c_i, c_j) \in \Gamma$.
  - $V$ es una función de evaluación sobre los operadores intencionales y temporales, por ej., $V_{\text{BEL}}(c, \phi) \equiv \text{BEL}_{\langle ag, C \rangle}(\phi)$ en la configuración $c = \langle ag, C, M, T, s \rangle$, etc.
- $x = c_0, \ldots, c_n$ denota un camino, una secuencia de configuraciones t.q. para todo $c_i \in S$, $(c_i, c_{i+1}) \in R$.
- $x^i$ denota el sufijo del camino $x$ a partir de la configuración $c_i$.

Universidad Veracruzana

# Semántica: fbf de estado

$$
\begin{aligned}
K, c_i \models \text{BEL}(\phi) &\Leftrightarrow \phi \in V_{\text{BEL}}(c_i, \phi) \\
K, c_i \models \text{INTEND}(\phi) &\Leftrightarrow \phi \in V_{\text{INTEND}}(c_i, \phi) \\
K, c_i \models \text{DES}(\phi) &\Leftrightarrow \phi \in V_{\text{DES}}(c_i, \phi) \\
K, c_i \models \text{E}\phi &\Leftrightarrow \exists x^i \exists c_{j \geq i} \in x^i \text{ t.q. } K, c_j \models \phi \\
K, c_i \models \text{A}\phi &\Leftrightarrow \forall x^i \exists c_{j \geq i} \in x^i \text{ t.q. } K, c_j \models \phi
\end{aligned}
$$

Universidad Veracruzana

# Semántica: fbf de camino

- La semática del operador "hasta" es la del weak until ($\psi$ puede no ocurrir nunca).
- Observe que $\models \bigcirc\alpha \equiv T_\iota = i[head \leftarrow \alpha; h] \wedge s = ExecInt$.

$$
\begin{aligned}
K, c_i \models \phi &\Leftrightarrow K, x^i \models \phi, \text{cuando } \phi \text{ es una fbf de estado} \\
K, c_i \models \bigcirc\phi &\Leftrightarrow K, x^{i+1} \models \phi \\
K, c_i \models \Diamond\phi &\Leftrightarrow \exists c_{j\geq i} \in x^i \text{ t.q. } K, c_j \models \phi \\
K, c_i \models \phi \ \mathsf{U} \ \psi &\Leftrightarrow (\exists c_{k\geq i} \text{ t.q. } K, x^k \models \psi \wedge \\
&\quad \forall c_{i\leq j<k} \quad K, x^j \models \phi) \vee (\exists c_{j\geq i} \quad K, x^j \models \phi).
\end{aligned}
$$

Universidad Veracruzana

# Semántica: Corridas, satisfacción y validez

- Dada una configuración inicial $c_0$, la corrida $K_\Gamma^0$ denota una secuencia de configuraciones $c_0, c_1, \ldots$ t.q. $\forall i \geq 1, c_i = \Gamma(c_{i-1})$.
- Dada una corrida $K_\Gamma^0$, la propiedad $\phi \in CTL_{AgentSpeak(L)}$ se satisface si $\forall i \geq 0, K_\Gamma^0, c_i \models \phi$.
- Una propiedad $\phi \in CTL_{AgentSpeak(L)}$ es válida, si $K_\Gamma^0, c_0 \models \phi$ para toda configuración inicial $c_0$.

Universidad Veracruzana

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

- Jason no es equivalente a las Lógicas BDI [1]:

| | AT1 | AT2 | AT3 | AT4 | AT5 | AT6 | AT7 | AT8 | AT9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Realismo fuerte | ✓ | | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | | ✓ |
| Realismo | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | |
| Realismo débil | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| *AgentSpeak*($L$) | | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | | ✓ | ✓ |

Universidad Veracruzana

# Posposición finita

- ¿Estos agente mantienen sus intenciones indefinidamente o no?
- ¿Es válido el axioma de posposición finita?

$$\text{INTEND}(\phi) \rightarrow \text{A}\Diamond(\neg\text{INTEND}(\phi))$$

- Prueba: Asumamos $K, c_0 \models \text{INTEND}(\phi)$, entonces dada la definición de INTEND, existe un plan $p \in C_I \cup C_E$ con la cabeza $+!\phi$ en $c_0$. $p$ es finito por definición. Siguiendo $ClrInt_X$ el plan es abandonado por éxito o fracaso.
- Observación: Mecanismos de fallo.

Universidad Veracruzana

# Compromiso ciego

- Los agentes *AgentSpeak*$(L)$ no satisfacen la propiedad de compromiso ciego:

$$\text{INTEND}(\text{A}\Diamond\phi) \rightarrow \text{A}\Diamond\text{BEL}(\phi)$$

- Prueba: Asumamos $c_0$ donde $ag = \langle\{b(t_1)\}, \{+b(t_1) : \top \leftarrow p(t_2). \quad +!p(t_2) : \top \leftarrow +b(t_3).\}$. Se obtendrá una configuración $c'$ donde $C_I = \{[+!p(t_2) : \top \leftarrow \ +b(t_3).]\}$ y $C_E = \{\}$ t.q. $K, c' \models \text{INTEND}(p(t_2))$ y $K, c' \not\models \text{BEL}(p(t_2))$. En la siguiente configuración $c''$, $K, c'' \models \neg\text{INTEND}(p(t_2))$ y $K, c'' \not\models \text{BEL}(p(t_2))$.

Universidad Veracruzana

# Compromiso racional

- Un agente *AgentSpeak*($L$) satisface una forma limitada del compromiso racional:

$$\text{INTEND}(\text{A}\Diamond\phi) \rightarrow \text{A}(\text{INTEND}(\text{A}\Diamond\phi)\ \text{U}\ \neg\text{BEL}(\text{E}\Diamond\phi))$$

- Prueba: Siguiendo la demostración de posposición finita, en los casos de fallo el agente satisface eventualmente $\bigcirc\neg\text{INTEND}(\phi)$ debido a $Rel_2$ –Para un evento $\langle te, i[+!\phi : c \leftarrow h.]\rangle$ no hubo planes relevantes y la intención asociada es abandonada.
- Se trata de una forma limitada de compromiso racional porque no hay representación explícita de la razón de abandono.

Universidad Veracruzana

# Antecedentes

- Vieira et al. [10] han propuesto una semántica operacional extendida de *AgentSpeak*($L$) para implementar un lenguaje de comunicación basado en actos de habla para Jason.
- Debido a una literatura más abundante, pero sobre todo por razones históricas, se optó por adoptar KQML en esta tarea.
- La semántica de KQML fue propuesta por Labrou y Finin [6], con base en los trabajos de Perrault y Allen [7] y Cohen y Levesque [3].

Universidad Veracruzana

# Condiciones para Tell

- Condiciones preparatorias:
  - $Pre(S) : bel(S, X) \wedge know(S, want(R, know(R, bel(S, X))))$
  - $Pre(R) : intend(R, know(R, bel(S, X)))$
- Condiciones posteriores:
  - $Pos(S) : know(S, know(R, bel(S, X)))$
  - $Pos(R) : know(R, bel(S, X))$
- Satisfacción:
  - $know(R, bel(S, X))$

Universidad Veracruzana

# Sintaxis

- Asumiremos la existencia de una acción especial predefinida para enviar mensajes: $.send(Id, Ilf, Cnt)$, donde:
  - $Id$ es la identidad del destinatario,
  - $Ilf$ es la fuerza ilocutoria del mensaje y
  - $Cnt$ su contenido.

Universidad Veracruzana

# Mensajes

- Los mensajes están soportados por una estructura $\langle mid, dest, fil, cnt \rangle$, donde:
  - *mid* es un identificador único del mensaje, generado automáticamente.
  - *dest* es el nombre del agente destinatario.
  - $fil \in \{Tell, Untell, Achieve, Unachieve, TellHow, UntellHow, AskOne, AskAll\}$ es la fuerza ilocutoria del mensaje.
  - *cnt* es el contenido del mismo. Dependiendo de la fuerza performativa del mensaje, su contenido puede ser: una fórmula atómica ($at$), o un conjunto de fórmulas atómicas ($ATs$), o una creencia ($b$), es decir una literal de base, o un conjunto de creencias ($Bs$), o un conjunto de planes ($PLs$).

Universidad Veracruzana

# Enviar una solicitud de información

$$\text{(ExecActSndAsk)}\ \frac{\begin{array}{c} T_\iota = i[head \leftarrow .send(id, ilf, cnt); h], \\ ilf \in \{AskOne, AskAll, AskHow\} \end{array}}{\langle ag, C, M, T, ExecInt\rangle \rightarrow \langle ag, C', M', T, ProcMsg\rangle} \tag{44}$$

Donde: $M'_{Out} = M_{Out} \cup \{\langle mid, id, ilf, cnt\rangle\}$

$M'_{SI} = M_{SI} \cup \{(mid, i[head \leftarrow h])\}$

$C'_I = C_I \backslash \{T_\iota\}$

Universidad Veracruzana

# Enviar otro tipo de mensaje

$$\text{(ExecActSnd)}\ \frac{\begin{array}{c} T_\iota = i[head \leftarrow .send(id, ilf, cnt); h], \\ ilf \notin \{AskOne, AskAll, AskHow\} \end{array}}{\langle ag, C, M, T, ExecInt\rangle \rightarrow \langle ag, C', M', T, ClrInt\rangle} \quad (45)$$

Donde: $M'_{Out} = M_{Out} \cup \{\langle mid, id, ilf, cnt\rangle\}$

$C'_I = (C_I \backslash \{T_\iota\}) \cup \{i[head \leftarrow h]\}$

Universidad Veracruzana

# Funciones auxiliares

- Una nueva función de Función de selección $\mathcal{S}_M$ opera sobre los buzones: Regresa el primer mensaje en el buzón que recibe como parámetro.
- Una función booleana $SocAcc(id, ilf, at)$ donde $ilf$ es la fuerza ilocutoria del mensaje del agente $id$ con contenido proposicional $at$, que determina si el mensaje es Socialmente aceptable en un contexto dado.

Universidad Veracruzana

# Recibir información no solicitada

$$\text{(Tell)}\quad \frac{\begin{array}{c}\mathcal{S}_M(M_{In}) = \langle mid, id, Tell, Bs\rangle,\\ \forall i\ (mid, i) \notin M_{SI},\\ SocAcc(id, Tell, Bs)\end{array}}{\langle ag, C, M, T, ProcMsg\rangle \rightarrow \langle ag', C', M', T, SelEv\rangle} \tag{46}$$

Donde: $M'_{In} = M_{In} \backslash \{\langle mid, id, Tell, Bs\rangle\}$

$\forall b.\ b \in Bs : ag'_{bs} = ag_{bs} + b[id]$

$C_{E'} = C_E \cup \{\langle +b[id], \top\rangle\}$

Universidad Veracruzana

# Recibir información solicitada

$$\text{(TellRepl)}\quad \frac{\begin{array}{c}\mathcal{S}_M(M_{In}) = \langle mid, id, Tell, Bs\rangle,\\ \exists i\ (mid, i) \in M_{SI},\\ SocAcc(id, Tell, Bs)\end{array}}{\langle ag, C, M, T, ProcMsg\rangle \rightarrow \langle ag', C', M', T, SelEv\rangle} \tag{47}$$

Donde:
$$M'_{In} = M_{In} \backslash \{\langle mid, id, Tell, Bs\rangle\}$$
$$M'_{SI} = M_{SI} \backslash \{(mid, i)\}$$
$$C'_I = C_I \cup \{i\}$$
$$\forall b.\ b \in Bs : ag'_{bs} = ag_{bs} + b[id]$$
$$C_{E'} = C_E \cup \{\langle +b[id], \top\rangle\}$$

Universidad Veracruzana

# Recibir una retractación no solicitada

$$\text{(Untell)}\quad \frac{\begin{array}{c}\mathcal{S}_M(M_{In}) = \langle mid, id, Untell, ATs\rangle,\\ \forall i\ (mid, i) \notin M_{SI},\\ SocAcc(id, Tell, ATs)\end{array}}{\langle ag, C, M, T, ProcMsg\rangle \rightarrow \langle ag', C', M', T, SelEv\rangle} \tag{48}$$

Donde: $M'_{In} = M_{In} \backslash \{\langle mid, id, Tell, ATs\rangle\}$

$\forall b.\ b \in \{at\theta \mid \theta \in Test(ag_{bs}, at) \wedge at \in ATs\}$ :

$ag'_{bs} = ag_{bs} - b[id]$

$C_{E'} = C_E \cup \{\langle -b[id], \top\rangle\}$

Universidad Veracruzana

# Recibir una retractación solicitada

$$\text{(UntellRepl)}\quad \frac{\begin{array}{c}\mathcal{S}_M(M_{In}) = \langle mid, id, Untell, ATs\rangle \\ \exists i\ (mid, i) \in M_{SI} \\ SocAcc(id, Untell, ATs)\end{array}}{\langle ag, C, M, T, ProcMsg\rangle \rightarrow \langle ag', C', M', T, SelEv\rangle}$$

Donde:

$$\begin{aligned} & M'_{In} = M_{In} \backslash \{\langle mid, id, Tell, ATs\rangle\} \\ & M'_{SI} = M_{SI} \backslash \{(mid, i)\} \\ & C'_I = C_I \cup \{i\} \\ & \forall b.\ b \in \{at\theta \mid \theta \in Test(ag_{bs}, at) \wedge at \in ATs\} : \\ & \quad ag'_{bs} = ag_{bs} - b[id] \\ & C_{E'} = C_E \cup \{\langle -b[id], \top\rangle\} \end{aligned} \tag{49}$$

Universidad Veracruzana

# Recibir una meta realizable

$$\text{(Achieve)} \quad \frac{\mathcal{S}_M(M_{In}) = \langle mid, id, Achieve, at \rangle \quad SocAcc(id, Achieve, at)}{\langle ag, C, M, T, ProcMsg \rangle \rightarrow \langle ag, C', M', T, SelEv \rangle} \tag{50}$$

Donde: $M'_{In} = M_{In} \backslash \{\langle mid, id, Achieve, at \rangle\}$

$C'_E = C_E \cup \{+!at, \top\}$

Universidad Veracruzana

# Recibir un plan solicitado (*know-how*)

$$\text{(TellHow)}\quad \frac{\begin{array}{c}\mathcal{S}_M(M_{In}) = \langle mid, id, TellHow, PLs\rangle \\ \exists i\ (mid, i) \in M_{SI} \\ SocAcc(id, TellHow, PLs)\end{array}}{\langle ag, C, M, T, ProcMsg\rangle \rightarrow \langle ag', C', M', T, SelEv\rangle} \tag{51}$$

Donde:
$$M'_{In} = M_{In} \backslash \{\langle mid, id, TellHow, at\rangle\}$$
$$M'_{SI} = M_{SI} \backslash \{(mid, i)\}$$
$$C'_I = C_I \cup \{i\}$$
$$ag'_{ps} = ag_{ps} \cup PLs$$

Universidad Veracruzana

# Recibir una retractación de plan

$$\text{(UntellHow)}\quad \frac{\mathcal{S}_M(M_{In}) = \langle mid, id, UntellHow, PLs\rangle \quad SocAcc(id, UntellHow, PLs)}{\langle ag, C, M, T, ProcMsg\rangle \rightarrow \langle ag', C', M', T, SelEv\rangle} \tag{52}$$

Donde:
$$M'_{In} = M_{In} \backslash \{\langle mid, id, UntellHow, at\rangle\}$$
$$M'_{SI} = M_{SI} \backslash \{(mid, i)\}$$
$$ag'_{ps} = ag_{ps} - PLs$$

Universidad Veracruzana

# Recibir una pregunta

$$\text{(AskOne)} \quad \frac{\mathcal{S}_M(M_{In}) = \langle mid, id, AskOne, \{at\}\rangle \quad SocAcc(id, AskOne, \{at\})}{\langle ag, C, M, T, ProcMsg\rangle \rightarrow \langle ag, C, M', T, SelEv\rangle}$$

Donde: $M'_{In} = M_{In} \backslash \{\langle mid, id, AskOne, at\rangle\}$

$$M'_{Out} = \begin{cases} M_{Out} \cup \{\langle mid, id, Tell, AT\rangle\}, & \\ AT = \{at\theta\}, \theta \in Test(ag_{bs}, at) & \text{Si } Test(ag_{bs}, at) \neq \{\} \\ M_{Out} \cup \{\langle mid, id, Untell, \{at\}\rangle\} & \text{En otro caso} \end{cases}$$

(53)

Universidad Veracruzana

# Referencias I


[1] RH Bordini y AF Moreira. "Proving BDI properties of agent-oriented programming languages". En: *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence* 42 (2004), págs. 197-226.

[2] WF Clocksin y CS Melish. *Programming in Prolog, using the ISO standard*. Berlin-Germany: Springer-Verlag, 2003.

[3] PR Cohen y HJ Levesque. "Speech Acts and Rationality". En: *ACL*. 1985, págs. 49-60.

[4] A Guerra-Hernández, JM Castro-Manzano y A El-Fallah-Seghrouchni. "Toward an AgentSpeak(L) Theory of Commitment and Intentional Learning". En: *MICAI 2008*. Ed. por A Gelbuch y EF Morales. Vol. 5317. Lecture Notes in Artificial Intelligence. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2008, págs. 848-858.

[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] Y Labrou y TW Finin. "A Semantics Approach for KQML - A General Purpose Communication Language for Software Agents". En: *CIKM '94 Proceedings of the third international conference on Information and knowledge management*. New York, NY, USA: ACM, 1994, págs. 447-455.


Universidad Veracruzana

# Referencias II


[7] CR Perrault y JF Allen. "A Plan-Based Analysis of Indirect Speech Acts". En: *American Journal of Computational Linguistics* 6.3-4 (1980), págs. 167-182.

[8] GD Plotkin. *A Structural Approach to Operational Semantics*. Inf. téc. DAIMI FN-19. University of Aarhus, 1981. URL: citeseer.ist.psu.edu/article/plotkin81structural.html.

[9] AS Rao y MP Georgeff. "Decision Procedures for BDI Logics". En: *Journal of Logic and Computation* 8.3 (1998), págs. 293-342.

[10] R Vieira et al. "On the Formal Semantics of Speech-Act Based Communication in an Agent-Oriented Programming Language". En: *Journal of Artificial Intelligence Research* 29 (2007), págs. 221-267.


Universidad Veracruzana