



Gerardo M.
Sarria M.

Modelos de
Concurrencia

Cálculos de
Procesos

Lenguaje
Semántica
Operacional
Semántica
Denotacional

Bases Formales de la Computación

Gerardo M. Sarria M.

Pontificia Universidad Javeriana

12 de septiembre de 2008



Gerardo M.
Sarria M.

Modelos de
Concurrencia

Cálculos de
Procesos

Lenguaje
Semántica
Operacional
Semántica
Denotacional

CÁLCULOS DE PROCESOS

Gerardo M.
Sarria M.

Modelos de
Concurrencia

Cálculos de
Procesos

Lenguaje
Semántica
Operacional
Semántica
Denotacional

1 Modelos de Concurrencia

2 Cálculos de Procesos

- Lenguaje
- Semántica Operacional
- Semántica Denotacional



Gerardo M.
Sarria M.

Modelos de
Concurrencia

Cálculos de
Procesos

Lenguaje
Semántica
Operacional
Semántica
Denotacional

Sistemas Concurrentes

Múltiples **agentes** (procesos) que interactúan entre ellos.

Algunos sistemas concurrentes fundamentales:

- Sistemas Reactivos
- Sistemas de Comunicación Síncronos
- Sistemas Móviles

Los sistemas concurrentes se pueden combinar:

Example

Internet (bien complejo)



Gerardo M.
Sarría M.

Modelos de
Concurrencia

Cálculos de
Procesos

Lenguaje
Semántica
Operacional
Semántica
Denotacional

Modelos de Concurrencia

Modelos formales para **describir** y **analizar** sistemas concurrentes

Como en otros modelos, estos deben

- ser simples
- ser expresivos
- ser formales
- proveer técnicas de razonamiento

Como el cálculo λ en la computación secuencial.



Gerardo M.
Sarria M.

Modelos de
Concurrencia

Cálculos de
Procesos

Lenguaje
Semántica
Operacional
Semántica
Denotacional

Modelos de Concurrencia

En la teoría de la concurrencia:

- Cada modelo se enfoca en un fenómeno fundamental. E.g. **sincronía** y **movilidad**
- Pero no existe un “modelo canónico”

Lo anterior debido (probablemente) a que la concurrencia es un área **muy joven** y **muy amplia**.



Gerardo M.
Sarria M.

Modelos de Concurrencia

Cálculos de Procesos

Lenguaje
Semántica
Operacional
Semántica
Denotacional

Modelos de Concurrencia

Modelos de Concurrencia:

- Redes de Petri
- Estructuras de Eventos
- Espacios de Chu
- **Cálculos de Procesos:**
 - CCS, CSP, ACP
 - Cálculo π
 - CCP, NTCC, RTCC



Gerardo M.
Sarria M.

Modelos de
Concurrencia

Cálculos de
Procesos

Lenguaje

Semántica

Operacional

Semántica

Denotacional

Cálculos de Procesos

Tratan procesos de manera parecida como el cálculo λ trata las funciones computables.

La definición de un cálculo de procesos contiene un **lenguaje** con **operadores básicos**, cada uno con un rollo distinto y fundamental.



Gerardo M.
Sarria M.

Modelos de
Concurrencia

Cálculos de
Procesos

Lenguaje
Semántica
Operacional
Semántica
Denotacional

Lenguaje

- Proceso **nulo** para denotar inactividad.
- **Composición secuencial** para organizar procesos.
- **Composición paralela** para simultaneidad e independencia.
- **Comunicación** para la interacción entre procesos.
- **Sumatoria** para expresar cursos alternativos de computación.
- **Restricción** (o **localidad**) para delimitar la interacción de procesos.
- **Recursión** y/o **replicación** que permite descripciones finitas de comportamientos infinitos.

Gerardo M.
Sarría M.

Modelos de
Concurrencia

Cálculos de
Procesos

Lenguaje
Semántica
Operacional
Semántica
Denotacional

El lenguaje de procesos es, a menudo, dado en una forma inductiva.

Ejemplo:

CCS: Calculus of Communicating Systems

P, Q, \dots	$::=$	K	Proceso Constante
		$\alpha.P$	Acción
		$\sum_{i \in I} P_i$	Sumatoria
		$P \mid Q$	Composición Paralela
		$P[f]$	Renombrado
		$P \setminus L$	Restricción

Gerardo M.
Sarria M.

Modelos de
Concurrencia

Cálculos de
Procesos

Lenguaje

Semántica
Operacional
Semántica
Denotacional

P, Q, \dots son **terminos** del lenguaje de procesos tambien llamados **procesos, agentes o expresiones**.

El proceso constante $\mathbf{0}$ se coloca para una suma vacía de procesos, i.e. $\mathbf{0} = \sum_{i \in \emptyset} P_i$, y $P_1 + P_2$ se coloca para una suma de dos procesos, i.e. $P_1 + P_2 = \sum_{i \in \{1,2\}} P_i$.



Semántica Operacional

Gerardo M.
Sarria M.

Modelos de
Concurrencia

Cálculos de
Procesos

Lenguaje
Semántica
Operacional
Semántica
Denotacional

La semántica operacional fue introducida para **definir** los **estados** en los cuales los programas pueden estar durante la ejecución.

Es dinámica: Sistema = secuencia de operaciones.

Cada ocurrencia de una operación es llamada una **transición**.



Gerardo M.
Sarria M.

Modelos de
Concurrencia

Cálculos de
Procesos

Lenguaje
Semántica
Operacional
Semántica
Denotacional

Un **sistema de transición** es una estructura $\langle \Gamma, \longrightarrow \rangle$, donde Γ es un conjunto de *configuraciones* γ , y $\longrightarrow \subseteq \Gamma \times \Gamma$ es una relación de transición.

La notación $\gamma \longrightarrow \gamma'$ define la transición desde la configuración γ hasta la configuración γ' .

Las transiciones a menudo están divididas en **internas** y **externas**, dependiendo del comportamiento del sistema.

Gerardo M.
Sarria M.

Modelos de
Concurrencia

Cálculos de
Procesos

Lenguaje
Semántica
Operacional
Semántica
Denotacional

Un **sistema de transiciones etiquetadas** es una estructura $\langle \Gamma, A, \longrightarrow \rangle$ donde Γ es un conjunto de configuraciones, A es un conjunto de operaciones etiquetadas y $\longrightarrow \subseteq \Gamma \times A \times \Gamma$ es una relación de transición.

Se escribe la transición $\gamma \xrightarrow{a} \gamma'$ donde γ y γ' son configuraciones y a es una acción.

Esta acción provee **información** sobre el **comportamiento** de la transición (acciones internas) o sobre la **interacción** entre el sistema y su ambiente (acciones externas).



Gerardo M.
Sarria M.

Modelos de
Concurrencia

Cálculos de
Procesos

Lenguaje
Semántica
Operacional
Semántica
Denotacional

Semántica Operacional

Las relaciones \xrightarrow{a} están definidas para ser la menor relación que obedece reglas de la forma:

$$\frac{\text{Condiciones}}{\text{Conclusión}}$$

Una regla afirma que siempre que las **condiciones** han sido obtenidas en el curso de alguna derivación, la **conclusión** especificada se debe tomar como obtenida también.



Gerardo M.
Sarria M.

Modelos de
Concurrencia

Cálculos de
Procesos

Lenguaje
Semántica
Operacional
Semántica
Denotacional

Semántica Operacional

$$\frac{P \xrightarrow{\alpha} P'}{K \xrightarrow{\alpha} P'} \quad K \stackrel{\text{def}}{=} P$$

Regla de la Constante

Si K es definido como el nombre constante del proceso P y este proceso evoluciona al proceso P' realizando α , entonces podemos decir que K evoluciona a P' realizando α .



Semántica Operacional

Gerardo M.
Sarría M.

Modelos de
Concurrencia

Cálculos de
Procesos

Lenguaje
**Semántica
Operacional**
Semántica
Denotacional

$$\frac{}{\alpha.P \rightarrow P}$$

Regla de la Acción

Un proceso acción $\alpha.P$ simplemente evoluciona a P realizando α .

Gerardo M.
Sarria M.

Modelos de
Concurrencia

Cálculos de
Procesos

Lenguaje
Semántica
Operacional
Semántica
Denotacional

$$\frac{P_j \xrightarrow{\alpha} P'_j}{\sum_{i \in I} P_i \xrightarrow{\alpha} P'_j} \quad j \in I$$

Regla de la Sumatoria

Un proceso sumatoria escoge no-determinísticamente un proceso para su evolución (de aquellos que tienen la capacidad de hacerlo) y previene la ejecución de los otros.

Gerardo M.
Sarria M.

Modelos de
Concurrencia

Cálculos de
Procesos

Lenguaje
Semántica
Operacional
Semántica
Denotacional

$$\begin{array}{c}
 \frac{P \xrightarrow{\alpha} P'}{P \mid Q \xrightarrow{\alpha} P' \mid Q} \quad \frac{Q \xrightarrow{\alpha} Q'}{P \mid Q \xrightarrow{\alpha} P \mid Q'} \\
 \\
 \frac{P \xrightarrow{a} P' \quad Q \xrightarrow{\bar{a}} Q'}{P \mid Q \xrightarrow{\tau} P' \mid Q'}
 \end{array}$$

Regla de la Composición Paralela

La primera y segunda: Interpretación concurrente de ambos procesos P y Q separadamente.

La tercera regla: Comunicación entre dos procesos actuando en paralelo en la cual el estado de transición no es observable.

Gerardo M.
Sarria M.

Modelos de
Concurrencia

Cálculos de
Procesos

Lenguaje
Semántica
Operacional
Semántica
Denotacional

$$\frac{P \xrightarrow{\alpha} P'}{P[f] \xrightarrow{f(\alpha)} P'[f]}$$
$$\frac{P \xrightarrow{\alpha} P'}{P \setminus L \xrightarrow{\alpha} P' \setminus L} \quad \alpha, \alpha' \notin L$$

Reglas de Renombrado y Restricción

En una transición la funciones de renombrado y las variables locales se mantienen.



Semántica Operacional

Gerardo M.
Sarria M.

Modelos de
Concurrencia

Cálculos de
Procesos

Lenguaje
Semántica
Operacional
Semántica
Denotacional

Las reglas en un sistema de transición definen las transiciones **válidas** en el sistema que se está modelando.

También permiten el estudio de relaciones entre elementos del sistema como la **bisimulación**.

Gerardo M.
Sarria M.

Modelos de
Concurrencia

Cálculos de
Procesos

Lenguaje
Semántica
Operacional
Semántica
Denotacional

La **bisimulación** es a menudo esencial para la semántica de lenguajes y puede ser definida en pocas palabras como:

Una equivalencia semántica de sistemas donde un sistema simula el otro y viceversa.

Un término P **simula** a un término Q si para cada término P' y acción a tal que $P \xrightarrow{a} P'$, entonces existe un término Q' tal que $Q \xrightarrow{a} Q'$ y P' simula a Q' .



Gerardo M.
Sarria M.

Modelos de
Concurrencia

Cálculos de
Procesos

Lenguaje
Semántica
Operacional
Semántica
Denotacional

Semántica Denotacional

A diferencia de la semántica operacional la cual enfatiza en **cómo el proceso es evaluado**, la semántica denotacional se enfoca en el **significado** de los procesos.

Está semántica está basada en la **estructura estática** del proceso y no en el **cambio dinámico** de la configuración.



Gerardo M.
Sarria M.

Modelos de
Concurrencia

Cálculos de
Procesos

Lenguaje
Semántica
Operacional
Semántica
Denotacional

Semántica Denotacional

Una semántica denotacional determina el significado de un proceso de una manera **composicional**.

Esto permite razonar sobre las denotaciones separándolas en partes simples y conocidas.

También hace mucho más fácil probar cosas sobre la semántica ya que puede ser usada la **inducción estructural**.



Gerardo M.
Sarria M.

Modelos de
Concurrencia

Cálculos de
Procesos

Lenguaje
Semántica
Operacional
Semántica
Denotacional

Semántica Denotacional

Un proceso ahora es visto como una **función matemática** [] que asocia su sintaxis en el álgebra de procesos a un objeto abstracto (su denotación o significado).

Cada objeto abstracto denota un proceso bajo la función matemática.



Gerardo M.
Sarría M.

Modelos de
Concurrencia

Cálculos de
Procesos

Lenguaje
Semántica
Operacional
Semántica
Denotacional

Ejemplo:

Lenguaje para obtener los números naturales.

La sintaxis del lenguaje es

$$Exp ::= 0 \mid \mathbf{succ} \ Exp$$

En este lenguaje el valor de cualquier expresión es la representación abstracta de un **número natural** (similar a los números de Church), sin embargo su **significado** es más complejo ya que el valor podría depender del estado.



Semántica Denotacional

Gerardo M.
Sarria M.

Modelos de
Concurrencia

Cálculos de
Procesos

Lenguaje
Semántica
Operacional
Semántica
Denotacional

El **significado de una expresión** es una función que aplicada al estado actual, da el valor de la expresión relativo a ese estado particular:

$$\begin{aligned} \llbracket 0 \rrbracket &= 0 \\ \llbracket \text{succ } Exp \rrbracket &= \llbracket Exp \rrbracket + 1 \end{aligned}$$

Note la diferencia entre el símbolo 0 (que es parte del lenguaje), y el concepto matemático de cero 0 escogido para denotar el objeto abstracto en el lenguaje.



Gerardo M.
Sarria M.

Modelos de
Concurrencia

Cálculos de
Procesos

Lenguaje
Semántica
Operacional
Semántica
Denotacional

Fin de la Presentación