

Comprobaciones semánticas estáticas

Pueden realizarse en tiempo de compilación y no dependen de un contexto de ejecución determinado.

- **Comprobación del ámbito de las variables.** Control del uso de las variables
- **Comprobaciones de tipo.** Comprobación de la compatibilidad de operadores y operandos
- **Comprobación de la unicidad de las variables.** Las variables deben declararse solo una vez (en la misma región o bloque).
- **Comprobación de la declaración de las variables.** Una variable debe declararse (implícita o explícitamente) antes de usarse.
- **Comprobaciones en los argumentos.** Los métodos deben llamarse con el número y el tipo de los argumentos correcto.
- **Otras.** Comprobación del flujo de control, relaciones de herencia, comprobación de la unicidad de las clases y de los métodos en las clases, etc.

Comprobaciones semánticas dinámicas

Dependen de un determinado contexto de ejecución.

- Verificación del estado del “stack” y del “heap”
- Verificación de posibles “overflow” y “underflow”
- Verificación de posibles divisiones por cero
- Verificación de direcciones e índices en variables indexadas
- ...

Los requerimientos dependen del Lenguaje

ÁMBITO DE LAS VARIABLES

Ámbito (alcance) de las variables

Define el segmento de programa en el que una variable es accesible.
Relaciona la declaración de una variable con su uso.

- Si el ámbito de la variable está completamente determinada por su posición en el programa, entonces se denomina **Lenguaje de ámbito estático**
 - ⇒ La mayor parte de los lenguajes son de ámbito estático.
- Si, por el contrario, el ámbito de la variable depende del estado durante la ejecución del programa, entonces se denomina **Lenguaje de ámbito dinámico**
 - ⇒ Solo unos pocos lenguajes tienen ámbito dinámico (Lisp, SNOBOL)
(Lisp ha cambiado a un ámbito principalmente estático)

COMPROBACIONES DEL ÁMBITO DE LAS VARIABLES

- En muchos lenguajes, un mismo nombre puede identificar objetos diferentes en distintas partes de un programa.
(los diferentes ámbitos de un mismo nombre no se pueden solapar)
- La mayor parte de los lenguajes de ámbito estático (incluyendo C, C++, o Java) permiten anidamiento de declaraciones.
(las declaraciones internas “ocultan” las externas)
- Los métodos no necesitan definirse en la clase que se utilizan, pero sí en alguna clase antecesora. Los métodos pueden ser redefinidos: En Java o C++ (no en C o Python), se puede utilizar el mismo nombre para más de un método.
- **Declaraciones explícitas o implícitas**
 - Java y C++ requieren declaraciones explícitas; C es más “indulgente”.
 - Python permite declaraciones implícitas.
 - Fortran declara implícitamente todas las variables usadas.
 - En lo que respecta al compilador, siempre debe haber una declaración.

EJEMPLO DE LEB: C

```
main()
{
.   int a = 0;
.   int b = 0;
.   {
.       int b = 1;
.       {
.           int a = 2;
.           B2 printf('%d %d\n', a, b);
.       }
B0 .   }
.   B1 {
.       int b = 3;
.       B3 printf('%d %d\n', a, b);
.       }
.       printf('%d %d\n', a, b);
.   }
.   printf('%d %d\n', a, b);
.   }
}
```

SISTEMA DE TIPOS

- **Tipos** Un tipo es un conjunto de valores junto con un conjunto de operaciones sobre dichos valores.
Las clases son una instanciación de esta moderna noción de tipo.
- **Sistema de tipos** El sistema de tipos de un *Lenguaje de Programación* especifica que operaciones son válidas para cada tipo
El objetivo de la comprobación de tipos es asegurar que las operaciones se utilizan con los tipos correctos
- **Tipos y operaciones** La mayoría de las operaciones son legales solo para los valores de algunos tipos
 - En C no tiene sentido añadir un puntero de función a un entero
 - Tiene sentido sumar dos números enteros
 - Sin embargo, ¡ ambos tienen la misma implementación en ensamblador !

SISTEMA DE TIPOS

➤ Utilidad de los sistemas de tipos

➤ Detección de errores

- Errores de memoria, como la de utilizar un número entero como un puntero.
- Violaciones de los límites de la abstracción, como el uso de un campo privado desde fuera de una clase

➤ Ayuda a la compilación

- En Python (p.ej. en $x + y$) el sistema de tipos aporta muy poca información respecto a los tipos de x e y , por lo que el código debe ser general
- En C, C++ y Java, el código para $x + y$ será más pequeño y eficiente debido a que las representaciones son conocidas.

SISTEMA DE TIPOS

➤ Sistema de Tipos

- **Sistema de tipos estático.**- Toda o la mayor parte de la comprobación de tipos se realiza en tiempo de compilación (C, Java, C++). El sistema de tipos estáticos es generalmente muy rico.
- **Sistema de tipos dinámico.**- Casi toda la comprobación de tipos se realiza en tiempo de ejecución (Scheme, Python, Ruby). El sistema de tipos estáticos es generalmente poco importante.
- **Sin tipos.**- Sin comprobación de tipos (código máquina).

SISTEMA DE TIPOS

> La “Guerra de tipos”

Conflicto de puntos de vista entre sistemas de tipos estático y dinámico.

> Los que proponen sistemas de tipos dinámicos

- Los sistemas de tipos estático son restrictivos. En general requieren más trabajo para hacer cosas razonables.
- El prototipado rápido es complicado en el marco de un sistema de tipos estático.

> Los que proponen sistemas de tipos estáticos

- La comprobación de tipos estática captura la mayor parte de los errores del programa en tiempo de compilación.
- Evita la sobrecarga de cálculo en la comprobaciones de tipo en tiempo de ejecución.

COMPROBACIONES DE TIPO

> Compatibilidad (equivalencia) de tipos

- > **Nominal.** Cada nombre de tipo representa un tipo distinto (Java, Ada, C#, ...)
- > **Estructural.** Dos tipos son equivalente si tienen la misma estructura, después de sustituir todos los nombres de tipo por las expresiones de tipo que representan (Algol, Modula, C, Pascal, ...)

<pre>typedef struct { char nombre [20]; char apellidos [35]; int edad; } cliente; empleado e1, e2; clientes c1, c2;</pre>	<pre>typedef struct { char nombre [20]; char apellidos [35]; int edad; } empleado;</pre>
--	--

Equivalencia nominal : $e1 \equiv e2$ y $c1 \equiv c2$;

Equivalencia estructural: $e1 \equiv e2 \equiv c1 \equiv c2$

COMPROBACIONES DE TIPO

> Conversión de tipos Se permite un tipo en un contexto donde se esperaba otro.

```
int a, c; short b;
a = b * c
```

- > **Implícita (coerción)** introducida por el compilador
- > **Explícita** introducida por el programador en el programa fuente (casting).

Sistema	Usuario
a = b; ✓	a = (int) b; ✓
b = a; ✗	b = (short) a; ✓ (warning)

COMPROBACIONES DE TIPO

> Sobrecarga de operadores (y funciones) Un mismo nombre de operador (o función) tiene distintos significados. La sobrecarga se resuelve en tiempo de compilación.

Ejemplo.- En Java el operador + denota el operador de concatenación de cadenas o el operador de suma. O se puede sobrecargar una función:

```
void alfa() { ... }
void alfa(int a, int b) { ... }
```

> Polimorfismo. se denomina a cualquier fragmento de código que se puede ejecutar con argumentos de diferentes tipos. El polimorfismo se resuelve en tiempo de ejecución.

Ejemplo.- Dado un segmento de código en el lenguaje ML [Aho et al.2007]

```
fun length (x) =
  if null(x) then 0 else length(tail(x)) + 1;

length(['sun','non','true']) + length([10,9,8,7])
```

COMPROBACIONES DE TIPO

⇒ Representación: **Sistema de Tipos**

Sistema de tipos.- Asigna *expresiones de tipo* a las distintas partes de un programa y definen la equivalencia y la compatibilidad de tipos así como la inferencia de tipos.

Expresión de tipo.- Es una representación formal de los tipos de un lenguaje. Una Expresión de tipo es un tipo básico o se forma mediante un *constructor de tipos* aplicado a otras expresiones de tipo.

⇒ Interpretación: **ETDS que implementa el Sistema de Tipos**

- Determinar el tipo de objetos y expresiones ⇒ **Inferencia de Tipos**
- Comprobar el tipo de las operaciones ⇒ **Comprobación de Tipos**

EJEMPLO INTERPRETACIÓN

	Inferencia de de tipos	Comprobación de tipos
tipos básicos	$int \quad x$	$z = x + y$
punteros	$char \quad *p$	$z = *p$
vectores	$int \quad A [27]$	$z = A[i]$
registros	$struct \{ int \, c_1; \, char \, c_2; \, int \, c_3 \} \, R$	$z = R.c_i$
funciones	$int \quad F (int \, p_1, \, char \, p_2, \, int \, p_3)$	$z = F (a, \, b, \, c)$

SISTEMA DE TIPOS

➤ **Expresiones de Tipo.**- Una Expresión de Tipo (ET), se define como:

- 1.— un tipo básico: *tcarácter*, *tentero*, *treal*, *tlógico*, ..., *terror* y *tvacio*,
- 2.— el nombre de una ET,
- 3.— un constructor de tipos aplicado a una ET:
 - **punteros:** *tpuntero*(*T*), donde *T* es una ET;
 - **vectores:** *tvector*(*I*, *T*), donde *I* denota la información de los índices y *T* es una ET,
 - **registros:** *tregistro*($(N_1 \times T_1) \times \dots \times (N_k \times T_k)$), donde N_1, \dots, N_k son nombres y T_1, \dots, T_k son ET.
 - **funciones:** *tfunción*(*D*, *R*), donde *D* (dominio) y *R* (rango) son ET,

Dominio $D \equiv (t_{p_1} \times t_{p_2} \times \dots \times t_{p_n})$ t_{p_i} tipo del *i*-ésimo parámetro

ETDS PARA LA COMPROBACIÓN DE TIPOS

1/4

Declaración de objetos

P ⇒ LD	
LD ⇒ LD D	
⇒ D	
D ⇒ DV ;	InsertarTDS(DV.nom, "variable-global", DV.t);
DV ⇒ T id	DV.nom=id.nom; DV.t=T.t;
⇒ T * id	DV.nom=id.nom; DV.t=tpuntero(T.t);
⇒ T id [cte]	$\underline{Si} \neg [cte.t=tentero \wedge cte.num>0] \text{ MenError}(.)$ DV.nom=id.nom; DV.t=tvector(cte.num, T.t);
T ⇒ char	T.t=tcarácter;
⇒ int	T.t=tentero;
⇒ float	T.t=treal;
⇒ bool	T.t=tlógico;

InsertarTDS: Inserta en la TDS toda la información de un objeto. **MenError:** Genera un cierto mensaje de error.

P: Programa; **LD:** Lista de Declaraciones; **D:** Declaración; **DV:** Declaración de variables; **T:** Tipo;

Declaración de objetos (cont.)

$T \Rightarrow \text{struct } \{ LC \}$	$T.t = \text{registro}(LC.t)$
$LC \Rightarrow DV ;$	$LC.t = (DV.nom \otimes DV.t);$
$\Rightarrow LC DV ;$	$LC.t = LC'.t \otimes (DV.nom \otimes DV.t);$
$D \Rightarrow DV ;$	$\text{InsertarTDS}(DV.nom, \text{"variable-global"}, DV.t);$
$\Rightarrow T \text{ id } (PF)$	$\text{InsertarTDS}(id.nom, \text{"función"}, tfunción(PF.t, T.t));$
$\{ DL LI \}$	
$DL \Rightarrow \epsilon$	
$\Rightarrow DL DV ;$	$\text{InsertarTDS}(DV.nom, \text{"variable-local"}, DV.t);$
$PF \Rightarrow \epsilon$	$PF.t = \text{tvacio};$
$\Rightarrow LF$	$PF.t = LF.t;$
$LF \Rightarrow DV$	$\text{InsertarTDS}(DV.nom, \text{"parámetro"}, DV.t); LF.t = DV.t;$
$\Rightarrow DV ,$	$\text{InsertarTDS}(DV.nom, \text{"parámetro"}, DV.t);$
LF	$LF.t = DV.t \otimes LF'.t;$

PF: Parámetros Formales; DL: Declaraciones Locales; LI: Lista de Instrucciones;

LC: Lista de Campos; LF: Lista de parámetros Formales.

Expresiones

$E \Rightarrow E \text{ mod } E$	$E.t = \text{tentero};$ $\text{Si } \neg [E_1.t = E_2.t = \text{tentero}] \{ E.t = \text{error}; \text{MenError}(.); \}$
$\Rightarrow \text{cte}$	$E.t = \text{cte.t};$
$\Rightarrow \text{id}$	$\text{Si } \neg [\text{ObtenerTDS}(id.nom, E.t)] \{ E.t = \text{error}; \text{MenError}(.); \}$
$\Rightarrow * \text{id}$	$\text{Si } \neg [\text{ObtenerTDS}(id.nom, id.t) \wedge id.t = \text{tpuntero}(E.t)]$ $\{ E.t = \text{error}; \text{MenError}(.); \}$
$\Rightarrow \text{id } [E]$	$\text{Si } \neg [\text{ObtenerTDS}(id.nom, id.t) \wedge id.t = \text{tvector}(id.nel, E.t) \wedge$ $(E_1.t = \text{tentero})] \{ E.t = \text{error}; \text{MenError}(.); \}$
$\Rightarrow \text{id} . \text{id}$	$\text{Si } \neg [\text{ObtenerTDS}(id_1.nom, id_1.t) \wedge (id_1.t = \text{registro}(id_1.lc) \wedge$ $\text{BuscarCampo}(id_1.lc, id_2.nom, E.t))] \{ E.t = \text{error}; \text{MenError}(.); \}$

ObtenerTDS: Función que obtiene la información de un objeto, devuelve el valor *falso* si el objeto no está en la TDS.

BuscarCampo: Función que obtiene el tipo asociado al nombre de un elemento del *struct*, devuelve el valor *falso* si el nombre del elemento no existe.

E: Expresión;

Expresiones (cont.)

$E \Rightarrow \text{id } (PA)$	$\text{Si } \neg [\text{ObtenerTDS}(id.nom, id.t) \wedge id.t = tfunción(id.D, E.t) \wedge (id.D = PA.t)] \{ E.t = \text{error}; \text{MenError}(.); \}$
$PA \Rightarrow \epsilon$	$PA.t = \text{tvacio};$
$\Rightarrow LA$	$PA.t = LA.t;$
$LA \Rightarrow E$	$LA.t = E.t;$
$\Rightarrow E , LA$	$LA.t = E.t \otimes LA'.t;$

Instrucciones

$I \Rightarrow \text{id} = E ;$	$\text{Si } \neg [\text{ObtenerTDS}(id.nom, id.t) \wedge id.t = E.t] \text{MenError}(.);$
$\Rightarrow * \text{id} = E ;$	$\text{Si } \neg [\text{ObtenerTDS}(id.nom, id.t) \wedge (id.t = \text{tpuntero}(id.tobap)) \wedge$ $(id.tobap = E.t)] \text{MenError}(.);$
$\Rightarrow \text{id } [E] = E ;$	$\text{Si } \neg [\text{ObtenerTDS}(id.nom, id.t) \wedge id.t = \text{tvector}(id.nel, id.tel) \wedge$ $(E_1.t = \text{tentero}) \wedge (id.tel = E_2.t)] \{ \text{MenError}(.); \}$
$\Rightarrow \text{id} . \text{id} = E ;$	$\text{Si } \neg [\text{ObtenerTDS}(id_1.nom, id_1.t) \wedge (id_1.t = \text{registro}(id_1.lc) \wedge$ $\text{BuscarCampo}(id_1.lc, id_2.nom, id_2.t) \wedge (id_2.t = E.t))] \text{MenError}(.);$
$\Rightarrow \text{while } (E) I$	$\text{Si } (E.t \neq \text{t lógico}) \text{MenError}(.);$

PA: Parámetros Actuales; LA: Lista de parámetros Actuales; I: Instrucciones.