



Optimierende Compiler

3. Kontextanalyse

Andreas Koch

FG Eingebettete Systeme und ihre Anwendungen
Informatik, TU Darmstadt

Sommersemester 2007

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Organisatorisches

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Bis zum 3.5. Anmeldung in 3er Gruppen
 - Anmeldebogen in der Vorlesung
- Erste Aufgabe
 - Ausgabe am 4.5.
 - Abgabe am 17.5., 18:00 Uhr

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

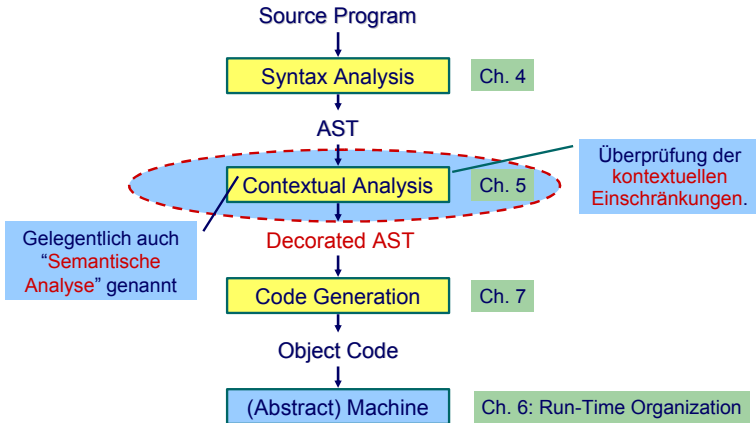
Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Einleitung



Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Kontextuelle Einschränkungen: Geltungsbereiche



Syntaktische Korrektheit reicht nicht aus für sinnvolle Übersetzung

Geltungsbereiche (Scope)

- Betreffen *Sichtbarkeit* von Bezeichnern
- Jeder verwendete Bezeichner muss vorher *deklariert* werden
 - *Beispiel* nicht bei dem Programmiersprachen
- Deklaration ist sog. *bindendes Auftreten* des Bezeichners
- Benutzung ist sog. *verwendendes Auftreten* des Bezeichners
- Aufgabe: Bringe jede Verwendung mit genau der einen passenden Bindung in Zusammenhang

Kontextuelle Einschränkungen: Geltungsbereiche



Syntaktische Korrektheit reicht nicht aus für sinnvolle
Übersetzung

Geltungsbereiche (Scope)

- Betreffen *Sichtbarkeit* von Bezeichnern
- Jeder verwendete Bezeichner muss vorher *deklariert* werden
 - ... nicht bei allen Programmiersprachen
- Deklaration ist sog. *bindendes Auftreten* des Bezeichners
- Benutzung ist sog. *verwendendes Auftreten* des Bezeichners
- Aufgabe: Bringe jede Verwendung mit genau der einen passenden Bindung in Zusammenhang

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Kontextuelle Einschränkungen: Geltungsbereiche



Syntaktische Korrektheit reicht nicht aus für sinnvolle
Übersetzung

Geltungsbereiche (Scope)

- Betreffen *Sichtbarkeit* von Bezeichnern
- Jeder verwendete Bezeichner muss vorher *deklariert* werden
 - ... nicht bei allen Programmiersprachen
- Deklaration ist sog. *bindendes Auftreten* des Bezeichners
- Benutzung ist sog. *verwendendes Auftreten* des Bezeichners
- Aufgabe: Bringe jede Verwendung mit genau der einen passenden Bindung in Zusammenhang

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Kontextuelle Einschränkungen: Geltungsbereiche



Syntaktische Korrektheit reicht nicht aus für sinnvolle
Übersetzung

Geltungsbereiche (Scope)

- Betreffen *Sichtbarkeit* von Bezeichnern
- Jeder verwendete Bezeichner muss vorher *deklariert* werden
 - ... nicht bei allen Programmiersprachen
- Deklaration ist sog. *bindendes Auftreten* des Bezeichners
- Benutzung ist sog. *verwendendes Auftreten* des Bezeichners
- Aufgabe: Bringe jede Verwendung mit genau der einen passenden Bindung in Zusammenhang

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Kontextuelle Einschränkungen: Geltungsbereiche



Syntaktische Korrektheit reicht nicht aus für sinnvolle
Übersetzung

Geltungsbereiche (Scope)

- Betreffen *Sichtbarkeit* von Bezeichnern
- Jeder verwendete Bezeichner muss vorher *deklariert* werden
 - ... nicht bei allen Programmiersprachen
- Deklaration ist sog. *bindendes Auftreten* des Bezeichners
- Benutzung ist sog. *verwendendes Auftreten* des Bezeichners
- Aufgabe: Bringe jede Verwendung mit genau der einen passenden Bindung in Zusammenhang

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Kontextuelle Einschränkungen: Geltungsbereiche



Syntaktische Korrektheit reicht nicht aus für sinnvolle
Übersetzung

Geltungsbereiche (Scope)

- Betreffen *Sichtbarkeit* von Bezeichnern
- Jeder verwendete Bezeichner muss vorher *deklariert* werden
 - ... nicht bei allen Programmiersprachen
- Deklaration ist sog. *bindendes Auftreten* des Bezeichners
- Benutzung ist sog. *verwendendes Auftreten* des Bezeichners
- Aufgabe: Bringe jede Verwendung mit genau der einen passenden Bindung in Zusammenhang

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Kontextuelle Einschränkungen: Geltungsbereiche



Syntaktische Korrektheit reicht nicht aus für sinnvolle
Übersetzung

Geltungsbereiche (Scope)

- Betreffen *Sichtbarkeit* von Bezeichnern
- Jeder verwendete Bezeichner muss vorher *deklariert* werden
 - ... nicht bei allen Programmiersprachen
- Deklaration ist sog. *bindendes Auftreten* des Bezeichners
- Benutzung ist sog. *verwendendes Auftreten* des Bezeichners
- Aufgabe: Bringe jede Verwendung mit genau der einen passenden Bindung in Zusammenhang

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiele Geltungsbereiche



```
let
  const m ~ 2;
  var n: Integer
in begin
  ..
  n := m*2;
  ..
end
```

Deklaration von n:
Bindung

Benutzung von von n:
Verwendung

??

```
let
  var n: Integer
in begin
  ..
  n := m*2;
end
```

Falls im Geltungsbereich der
Verwendung vom m keine Bindung
von m existiert: Fehler!

Verwendung von m

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Typen

- Jeder Wert hat einen Typ
- Jede Operation
 - ... hat Anforderungen an die Typen der Operanden
 - ... hat Regeln für den Typ des Ergebnisses

... auch nicht bei allen Programmiersprachen.

- Hier: statische Typisierung (zur Compile-Zeit)
- Alternativ: dynamische Typisierung (zur Laufzeit)

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



Typen

- Jeder Wert hat einen Typ
- Jede Operation
 - ... hat Anforderungen an die Typen der Operanden
 - ... hat Regeln für den Typ des Ergebnisses

... auch nicht bei allen Programmiersprachen.

- Hier: statische Typisierung (zur Compile-Zeit)
- Alternativ: dynamische Typisierung (zur Laufzeit)

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Typen

- Jeder Wert hat einen Typ
- Jede Operation
 - ... hat Anforderungen an die Typen der Operanden
 - ... hat Regeln für den Typ des Ergebnisses

... auch nicht bei allen Programmiersprachen.

- Hier: statische Typisierung (zur Compile-Zeit)
- Alternativ: dynamische Typisierung (zur Laufzeit)

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



Typen

- Jeder Wert hat einen Typ
- Jede Operation
 - ... hat Anforderungen an die Typen der Operanden
 - ... hat Regeln für den Typ des Ergebnisses

... auch nicht bei allen Programmiersprachen.

- Hier: statische Typisierung (zur Compile-Zeit)
- Alternativ: dynamische Typisierung (zur Laufzeit)

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Typen

- Jeder Wert hat einen Typ
- Jede Operation
 - ... hat Anforderungen an die Typen der Operanden
 - ... hat Regeln für den Typ des Ergebnisses

... auch nicht bei allen Programmiersprachen.

- Hier: statische Typisierung (zur Compile-Zeit)
- Alternativ: dynamische Typisierung (zur Laufzeit)



Typen

- Jeder Wert hat einen Typ
- Jede Operation
 - ... hat Anforderungen an die Typen der Operanden
 - ... hat Regeln für den Typ des Ergebnisses

... auch nicht bei allen Programmiersprachen.

- Hier: statische Typisierung (zur Compile-Zeit)
- Alternativ: dynamische Typisierung (zur Laufzeit)

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Beispiele Typen



```
let
  var n: Integer
in begin
  ...
  while n > 0 do
    n := n-1;
  ...
end
```

Typregel für $E_1 > E_2$ (GreaterOp):
Wenn E_1 und E_2 beide vom Typ **int**,
dann ist **Ergebnis** vom Typ **bool**.

Typregel für **while** E **do** C (WhileCmd):
E muss vom Typ **boolean** sein.

Typregel für $V := E$ (AssignCmd):
Die Typen von **V** und **E** müssen
äquivalent sein.

Typregel für $E_1 - E_2$ (SubOp):
Wenn E_1 und E_2 beide vom Typ **int**,
dann ist **Ergebnis** vom Typ **int**.

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Was prüfen?



- Benutzung eines Bezeichners muss passende Deklaration haben
- Funktionsaufrufe müssen zu Funktionsdefinitionen passen
- LHS einer Zuweisung muss eine Variable sein
- Ausdruck in `if` oder `while` muß `Boolean` sein
- Beim Aufruf von Unterprogrammen müssen Anzahlen und Typen der aktuellen Parameter mit den formalen Parametern passen
- ...

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Was prüfen?



- Benutzung eines Bezeichners muss passende Deklaration haben
- Funktionsaufrufe müssen zu Funktionsdefinitionen passen
- LHS einer Zuweisung muss eine Variable sein
- Ausdruck in `if` oder `while` muß `Boolean` sein
- Beim Aufruf von Unterprogrammen müssen Anzahlen und Typen der aktuellen Parameter mit den formalen Parametern passen
- ...

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Was prüfen?



- Benutzung eines Bezeichners muss passende Deklaration haben
- Funktionsaufrufe müssen zu Funktionsdefinitionen passen
- LHS einer Zuweisung muss eine Variable sein
- Ausdruck in `if` oder `while` muß `Boolean` sein
- Beim Aufruf von Unterprogrammen müssen Anzahlen und Typen der aktuellen Parameter mit den formalen Parametern passen
- ...

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Was prüfen?



- Benutzung eines Bezeichners muss passende Deklaration haben
- Funktionsaufrufe müssen zu Funktionsdefinitionen passen
- LHS einer Zuweisung muss eine Variable sein
- Ausdruck in **if** oder **while** muß **Boolean** sein
- Beim Aufruf von Unterprogrammen müssen Anzahlen und Typen der aktuellen Parameter mit den formalen Parametern passen
- ...

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Was prüfen?



- Benutzung eines Bezeichners muss passende Deklaration haben
- Funktionsaufrufe müssen zu Funktionsdefinitionen passen
- LHS einer Zuweisung muss eine Variable sein
- Ausdruck in `if` oder `while` muß `Boolean` sein
- Beim Aufruf von Unterprogrammen müssen Anzahlen und Typen der aktuellen Parameter mit den formalen Parametern passen
- ...

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Was prüfen?



- Benutzung eines Bezeichners muss passende Deklaration haben
- Funktionsaufrufe müssen zu Funktionsdefinitionen passen
- LHS einer Zuweisung muss eine Variable sein
- Ausdruck in `if` oder `while` muß `Boolean` sein
- Beim Aufruf von Unterprogrammen müssen Anzahlen und Typen der aktuellen Parameter mit den formalen Parametern passen
- ...

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zuordnung von Namen zu Attributen 1



- **Bezeichner sind zunächst Zeichenketten**
- Bekommen Bedeutung durch **Kontext**
 - Variablen, Konstanten, Funktion. ...
- Bei jeder Benutzung nach Namen suchen
 - ...viel zu **langsam**
- **Besser: Weitgehende Vermeidung von String-Operationen**
 - Nehme Zuordnung durch direktes Nachschlagen in Tabelle vor
 - Genannt: Symboltabelle, Identifizierungstabelle, ...

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zuordnung von Namen zu Attributen 1



- Bezeichner sind zunächst Zeichenketten
- Bekommen Bedeutung durch **Kontext**
 - Variablen, Konstanten, Funktion. . . .
- Bei jeder Benutzung nach Namen suchen
 - ...viel zu langsam
- Besser: Weitgehende Vermeidung von String-Operationen
 - Nehme Zuordnung durch direktes Nachschlagen in Tabelle vor
 - Genannt: Symboltabelle, Identifizierungstabelle, . . .

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zuordnung von Namen zu Attributen 1



- Bezeichner sind zunächst Zeichenketten
- Bekommen Bedeutung durch **Kontext**
 - Variablen, Konstanten, Funktion. . . .
- Bei jeder Benutzung nach Namen suchen
 - ...viel zu langsam
- Besser: Weitgehende Vermeidung von String-Operationen
 - Nehme Zuordnung durch direktes Nachschlagen in Tabelle vor
 - Genannt: Symboltabelle, Identifizierungstabelle, . . .

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zuordnung von Namen zu Attributen 1



- Bezeichner sind zunächst Zeichenketten
- Bekommen Bedeutung durch **Kontext**
 - Variablen, Konstanten, Funktion. . . .
- Bei jeder Benutzung nach Namen suchen
 - . . . viel zu **langsam**
- Besser: Weitgehende Vermeidung von String-Operationen
 - Nehme Zuordnung durch direktes Nachschlagen in Tabelle vor
 - Genannt: Symboltabelle, Identifizierungstabelle, . . .

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zuordnung von Namen zu Attributen 1



- Bezeichner sind zunächst Zeichenketten
- Bekommen Bedeutung durch **Kontext**
 - Variablen, Konstanten, Funktion. . . .
- Bei jeder Benutzung nach Namen suchen
 - . . . viel zu **langsam**
- Besser: Weitgehende Vermeidung von String-Operationen
 - Nehme Zuordnung durch direktes Nachschlagen in Tabelle vor
 - Genannt: Symboltabelle, Identifizierungstabelle, . . .

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zuordnung von Namen zu Attributen 1



- Bezeichner sind zunächst Zeichenketten
- Bekommen Bedeutung durch **Kontext**
 - Variablen, Konstanten, Funktion. . . .
- Bei jeder Benutzung nach Namen suchen
 - . . . viel zu **langsam**
- Besser: Weitgehende Vermeidung von String-Operationen
 - Nehme Zuordnung durch direktes Nachschlagen in Tabelle vor
 - Genannt: Symboltabelle, Identifizierungstabelle, . . .

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zuordnung von Namen zu Attributen 1



- Bezeichner sind zunächst Zeichenketten
- Bekommen Bedeutung durch **Kontext**
 - Variablen, Konstanten, Funktion. . . .
- Bei jeder Benutzung nach Namen suchen
 - . . . viel zu **langsam**
- Besser: Weitgehende Vermeidung von String-Operationen
 - Nehme Zuordnung durch direktes Nachschlagen in Tabelle vor
 - Genannt: Symboltabelle, Identifizierungstabelle, . . .

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zuordnung von Namen zu Attributen 1



- Bezeichner sind zunächst Zeichenketten
- Bekommen Bedeutung durch **Kontext**
 - Variablen, Konstanten, Funktion. . . .
- Bei jeder Benutzung nach Namen suchen
 - . . . viel zu **langsam**
- Besser: Weitgehende Vermeidung von String-Operationen
 - Nehme Zuordnung durch direktes Nachschlagen in Tabelle vor
 - Genannt: Symboltabelle, Identifizierungstabelle, . . .

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zuordnung von Namen zu Attributen 2



- Beispiel für zugeordnete Attribute

Typ int, char, boolean, record, array pointer, ...

Art Konstante, Variable, Funktion, Prozedur,
Wert-Parameter, ...

Sichtbarkeit Public, private, protected

Anderes synchronized, static, volatile, ...

- Typische Operationen
- **Eintragen** einer neuen Zuordnung Namen-Attribute
- **Abrufen** der Attribute zu einem Namen
- Hierarchische Blockorganisation

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zuordnung von Namen zu Attributen 2



- Beispiel für zugeordnete Attribute

Typ int, char, boolean, record, array pointer, ...

Art Konstante, Variable, Funktion, Prozedur,
Wert-Parameter, ...

Sichtbarkeit Public, private, protected

Anderes synchronized, static, volatile, ...

- Typische Operationen
- **Eintragen** einer neuen Zuordnung Namen-Attribute
- **Abrufen** der Attribute zu einem Namen
- Hierarchische Blockorganisation

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zuordnung von Namen zu Attributen 2



- Beispiel für zugeordnete Attribute

Typ int, char, boolean, record, array pointer, ...

Art Konstante, Variable, Funktion, Prozedur,
Wert-Parameter, ...

Sichtbarkeit Public, private, protected

Anderes synchronized, static, volatile, ...

- Typische Operationen
- **Eintragen** einer neuen Zuordnung Namen-Attribute
- **Abrufen** der Attribute zu einem Namen
- Hierarchische Blockorganisation

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zuordnung von Namen zu Attributen 2



- Beispiel für zugeordnete Attribute

Typ int, char, boolean, record, array pointer, ...

Art Konstante, Variable, Funktion, Prozedur,
Wert-Parameter, ...

Sichtbarkeit Public, private, protected

Anderes synchronized, static, volatile, ...

- Typische Operationen
- **Eintragen** einer neuen Zuordnung Namen-Attribute
- **Abrufen** der Attribute zu einem Namen
- Hierarchische Blockorganisation

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zuordnung von Namen zu Attributen 2



- Beispiel für zugeordnete Attribute

Typ int, char, boolean, record, array pointer, ...

Art Konstante, Variable, Funktion, Prozedur,
Wert-Parameter, ...

Sichtbarkeit Public, private, protected

Anderes synchronized, static, volatile, ...

- Typische Operationen
- **Eintragen** einer neuen Zuordnung Namen-Attribute
- **Abrufen** der Attribute zu einem Namen
- Hierarchische Blockorganisation

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zuordnung von Namen zu Attributen 2



- Beispiel für zugeordnete Attribute

Typ int, char, boolean, record, array pointer, ...

Art Konstante, Variable, Funktion, Prozedur,
Wert-Parameter, ...

Sichtbarkeit Public, private, protected

Anderes synchronized, static, volatile, ...

- Typische Operationen
- **Eintragen** einer neuen Zuordnung Namen-Attribute
- **Abrufen** der Attribute zu einem Namen
- Hierarchische Blockorganisation

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zuordnung von Namen zu Attributen 2



- Beispiel für zugeordnete Attribute

Typ int, char, boolean, record, array pointer, ...

Art Konstante, Variable, Funktion, Prozedur,
Wert-Parameter, ...

Sichtbarkeit Public, private, protected

Anderes synchronized, static, volatile, ...

- Typische Operationen
- **Eintragen** einer neuen Zuordnung Namen-Attribute
- **Abrufen** der Attribute zu einem Namen
- Hierarchische Blockorganisation

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zuordnung von Namen zu Attributen 2



- Beispiel für zugeordnete Attribute

Typ int, char, boolean, record, array pointer, ...

Art Konstante, Variable, Funktion, Prozedur,
Wert-Parameter, ...

Sichtbarkeit Public, private, protected

Anderes synchronized, static, volatile, ...

- Typische Operationen
- **Eintragen** einer neuen Zuordnung Namen-Attribute
- **Abrufen** der Attribute zu einem Namen
- Hierarchische Blockorganisation

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zuordnung von Namen zu Attributen 2



- Beispiel für zugeordnete Attribute

Typ int, char, boolean, record, array pointer, ...

Art Konstante, Variable, Funktion, Prozedur,
Wert-Parameter, ...

Sichtbarkeit Public, private, protected

Anderes synchronized, static, volatile, ...

- Typische Operationen
- **Eintragen** einer neuen Zuordnung Namen-Attribute
- **Abrufen** der Attribute zu einem Namen
- Hierarchische Blockorganisation

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zuordnung von Namen zu Attributen 2



- **Geltungsbereich** von Zuordnung von Namen zu Attributen innerhalb des Programmes
- **Block** Konstrukt im Programmtext zur Beschreibung von Geltungsbereichen
 - In Triangle:
`let Declarations in Commands`
`proc P (formal-parameters) ~ Commands`
 - In Java:
Geltungsbereiche durch {, } gekennzeichnet
- Unterschiedliche Handhabungsmöglichkeiten von Geltungsbereichen

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zuordnung von Namen zu Attributen 2



- **Geltungsbereich** von Zuordnung von Namen zu Attributen innerhalb des Programmes
- **Block** Konstrukt im Programmtext zur Beschreibung von Geltungsbereichen
 - In Triangle:
`let` Declarations `in` Commands
`proc` P (formal-parameters) ~ Commands
 - In Java:
Geltungsbereiche durch {, } gekennzeichnet
- Unterschiedliche Handhabungsmöglichkeiten von Geltungsbereichen

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Zuordnung von Namen zu Attributen 2



- **Geltungsbereich** von Zuordnung von Namen zu Attributen innerhalb des Programmes
- **Block** Konstrukt im Programmtext zur Beschreibung von Geltungsbereichen
 - In Triangle:
`let` Declarations `in` Commands
`proc` P (formal-parameters) ~ Commands
 - In Java:
Geltungsbereiche durch {, } gekennzeichnet
- Unterschiedliche Handhabungsmöglichkeiten von Geltungsbereichen

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Zuordnung von Namen zu Attributen 2



- **Geltungsbereich** von Zuordnung von Namen zu Attributen innerhalb des Programmes
- **Block** Konstrukt im Programmtext zur Beschreibung von Geltungsbereichen
 - In Triangle:
`let` Declarations `in` Commands
`proc` P (formal-parameters) ~ Commands
 - In Java:
Geltungsbereiche durch {, } gekennzeichnet
- Unterschiedliche Handhabungsmöglichkeiten von Geltungsbereichen

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Zuordnung von Namen zu Attributen 2



- **Geltungsbereich** von Zuordnung von Namen zu Attributen innerhalb des Programmes
- **Block** Konstrukt im Programmtext zur Beschreibung von Geltungsbereichen
 - In Triangle:
`let` Declarations `in` Commands
`proc` P (formal-parameters) ~ Commands
 - In Java:
Geltungsbereiche durch {, } gekennzeichnet
- Unterschiedliche Handhabungsmöglichkeiten von Geltungsbereichen

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



Geltungsbereiche und Symboltabellen

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

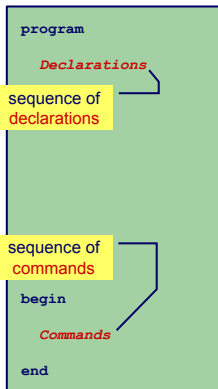
Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Monolithische Blockstruktur



- Charakteristika

- Nur **ein** Block
- Alle Deklarationen gelten **global**

- Regeln für Geltungsbereiche

- Bezeichner darf nur **genau einmal** deklariert werden
- Jeder benutzte Bezeichner **muß** deklariert sein

- Symboltabelle

- Für jeden Bezeichner **genau ein** Eintrag in der Symboltabelle
- Abruf von Daten muß **schnell** gehen (binärer Suchbaum, Hash-Tabelle)

- Beispiele: BASIC, COBOL, Skriptsprachen

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

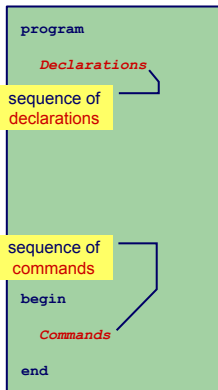
Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Monolithische Blockstruktur



- Charakteristika
 - Nur **ein** Block
 - Alle Deklarationen gelten **global**
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Bezeichner darf nur **genau einmal** deklariert werden
 - Jeder benutzte Bezeichner **muß** deklariert sein
- Symboltabelle
 - Für jeden Bezeichner **genau ein** Eintrag in der Symboltabelle
 - Abruf von Daten muß **schnell** gehen (binärer Suchbaum, Hash-Tabelle)
- Beispiele: BASIC, COBOL, Skriptsprachen

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

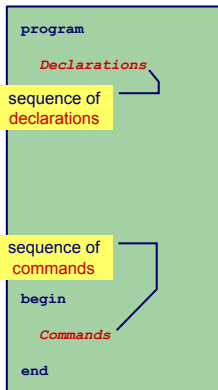
Triangle

Zusammenfassung

Monolithische Blockstruktur



- Charakteristika
 - Nur **ein** Block
 - Alle Deklarationen gelten **global**
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Bezeichner darf nur genau **einmal** deklariert werden
 - Jeder benutzte Bezeichner **muß** deklariert sein
- Symboltabelle
 - Für jeden Bezeichner genau **ein** Eintrag in der Symboltabelle
 - Abruf von Daten muß schnell gehen (binärer Suchbaum, Hash-Tabelle)
- Beispiele: BASIC, COBOL, Skriptsprachen



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

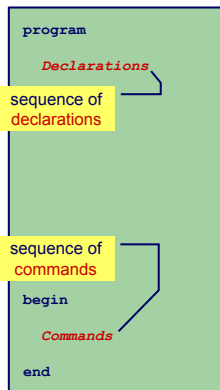
Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Monolithische Blockstruktur



- Charakteristika
 - Nur **ein** Block
 - Alle Deklarationen gelten **global**
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Bezeichner darf nur genau **einmal** deklariert werden
 - Jeder benutzte Bezeichner **muß** deklariert sein
- Symboltabelle
 - Für jeden Bezeichner genau **ein** Eintrag in der Symboltabelle
 - Abruf von Daten muß schnell gehen (binärer Suchbaum, Hash-Tabelle)
- Beispiele: BASIC, COBOL, Skriptsprachen

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

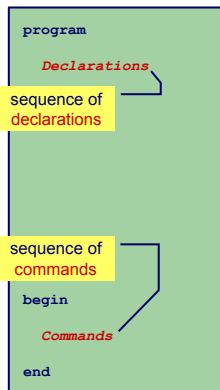
Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Monolithische Blockstruktur



- Charakteristika
 - Nur **ein** Block
 - Alle Deklarationen gelten **global**
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Bezeichner darf nur genau **einmal** deklariert werden
 - Jeder benutzte Bezeichner **muß** deklariert sein
- Symboltabelle
 - Für jeden Bezeichner genau **ein** Eintrag in der Symboltabelle
 - Abruf von Daten muß schnell gehen (binärer Suchbaum, Hash-Tabelle)
- Beispiele: BASIC, COBOL, Skriptsprachen

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

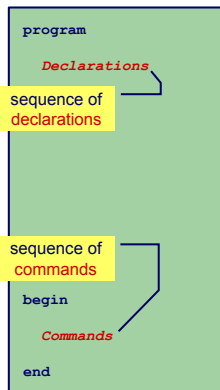
Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Monolithische Blockstruktur



- Charakteristika
 - Nur **ein** Block
 - Alle Deklarationen gelten **global**
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Bezeichner darf nur genau **einmal** deklariert werden
 - Jeder benutzte Bezeichner **muß** deklariert sein
- Symboltabelle
 - Für jeden Bezeichner genau **ein** Eintrag in der Symboltabelle
 - Abruf von Daten muß schnell gehen (binärer Suchbaum, Hash-Tabelle)
- Beispiele: BASIC, COBOL, Skriptsprachen

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

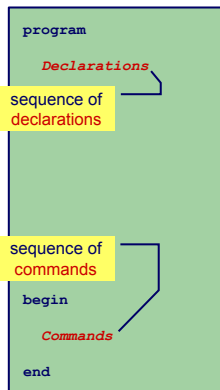
Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Monolithische Blockstruktur



- Charakteristika
 - Nur **ein** Block
 - Alle Deklarationen gelten **global**
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Bezeichner darf nur genau **einmal** deklariert werden
 - Jeder benutzte Bezeichner **muß** deklariert sein
- Symboltabelle
 - Für jeden Bezeichner genau **ein** Eintrag in der Symboltabelle
 - Abruf von Daten muß schnell gehen (binärer Suchbaum, Hash-Tabelle)
- Beispiele: BASIC, COBOL, Skriptsprachen

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

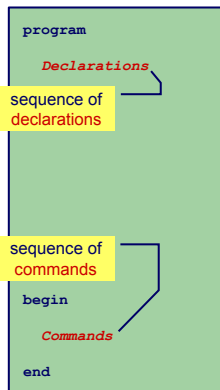
Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Monolithische Blockstruktur



- Charakteristika
 - Nur **ein** Block
 - Alle Deklarationen gelten **global**
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Bezeichner darf nur genau **einmal** deklariert werden
 - Jeder benutzte Bezeichner **muß** deklariert sein
- Symboltabelle
 - Für jeden Bezeichner genau **ein** Eintrag in der Symboltabelle
 - Abruf von Daten muß schnell gehen (binärer Suchbaum, Hash-Tabelle)
- Beispiele: BASIC, COBOL, Skriptsprachen

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

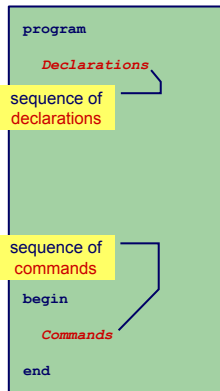
Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Monolithische Blockstruktur



- Charakteristika
 - Nur **ein** Block
 - Alle Deklarationen gelten **global**
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Bezeichner darf nur genau **einmal** deklariert werden
 - Jeder benutzte Bezeichner **muß** deklariert sein
- Symboltabelle
 - Für jeden Bezeichner genau **ein** Eintrag in der Symboltabelle
 - Abruf von Daten muß schnell gehen (binärer Suchbaum, Hash-Tabelle)
- Beispiele: BASIC, COBOL, Skriptsprachen

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

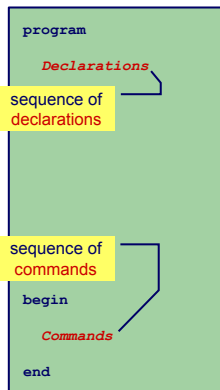
Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Monolithische Blockstruktur



- Charakteristika
 - Nur **ein** Block
 - Alle Deklarationen gelten **global**
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Bezeichner darf nur genau **einmal** deklariert werden
 - Jeder benutzte Bezeichner **muß** deklariert sein
- Symboltabelle
 - Für jeden Bezeichner genau **ein** Eintrag in der Symboltabelle
 - Abruf von Daten muß schnell gehen (binärer Suchbaum, Hash-Tabelle)
- Beispiele: BASIC, COBOL, Skriptsprachen

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel-Code Symboltabelle



```
public class Attribute {
    // Attribute details
    ...
}

public class IdentificationTable {

    /** Adds a new entry */
    public void enter(String id, Attribute attr) { ... }

    /** Retrieve a previously added entry. Returns null
        when no entry for this identifier is found */
    public Attribute retrieve(String id) { ... }

    ...
}
```

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Flache Blockstruktur



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

- Charakteristika

- Mehrere überlappungsfreie Blöcke
- Zwei Geltungsbereiche: Global und Lokal

- Regeln für Geltungsbereiche

- Global deklarierte Bezeichner dürfen nicht global redefiniert werden
- Lokal deklarierte Bezeichner dürfen nicht im selben Block redefiniert werden
- Jeder benutzte Bezeichner muss global oder lokal zu seiner Verwendungsstelle deklariert sein

- Symboltabelle

- Bis zu zwei Einträge für jeden Bezeichner (global und lokal)
- Nach Bearbeiten eines Blocks müssen lokale Deklarationen verworfen werden

- Beispiel: FORTRAN

```
program
```

```
  D
```

```
  procedure P
```

```
    D
```

```
  begin
```

```
    C
```

```
  end
```

```
  procedure Q
```

```
    D
```

```
  begin
```

```
    C
```

```
  end
```

```
begin
```

```
  C
```

```
end
```



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

- Charakteristika
 - Mehrere überlappungsfreie Blöcke
 - Zwei Geltungsbereiche: Global und Lokal
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Global deklarierte Bezeichner dürfen nicht global redefiniert werden
 - Lokal deklarierte Bezeichner dürfen nicht im selben Block redefiniert werden
 - Jeder benutzte Bezeichner muss global oder lokal zu seiner Verwendungsstelle deklariert sein
- Symboltabelle
 - Bis zu zwei Einträge für jeden Bezeichner (global und lokal)
 - Nach Bearbeiten eines Blocks müssen lokale Deklarationen verworfen werden
- Beispiel: FORTRAN

```
program
```

```
  D
```

```
  procedure P
```

```
    D
```

```
  begin
```

```
    C
```

```
  end
```

```
  procedure Q
```

```
    D
```

```
  begin
```

```
    C
```

```
  end
```

```
begin
```

```
  C
```

```
end
```

Flache Blockstruktur



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

- Charakteristika
 - Mehrere überlappungsfreie Blöcke
 - Zwei Geltungsbereiche: Global und Lokal

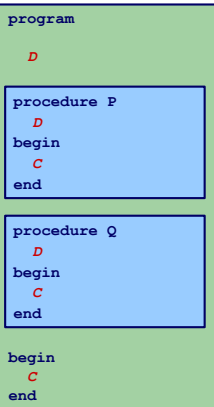
- Regeln für Geltungsbereiche

- Global deklarierte Bezeichner dürfen nicht global redefiniert werden
- Lokal deklarierte Bezeichner dürfen nicht im selben Block redefiniert werden
- Jeder benutzte Bezeichner muss global oder lokal zu seiner Verwendungsstelle deklariert sein

- Symboltabelle

- Bis zu zwei Einträge für jeden Bezeichner (global und lokal)
- Nach Bearbeiten eines Blocks müssen lokale Deklarationen verworfen werden

- Beispiel: FORTRAN



Flache Blockstruktur



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

- Charakteristika
 - Mehrere überlappungsfreie Blöcke
 - Zwei Geltungsbereiche: Global und Lokal

- Regeln für Geltungsbereiche

- Global deklarierte Bezeichner dürfen nicht global redeclariert werden
- Lokal deklarierte Bezeichner dürfen nicht im selben Block redeclariert werden
- Jeder benutzte Bezeichner muss global oder lokal zu seiner Verwendungsstelle deklariert sein

- Symboltabelle

- Bis zu zwei Einträge für jeden Bezeichner (global und lokal)
- Nach Bearbeiten eines Blocks müssen lokale Deklarationen verworfen werden

- Beispiel: FORTRAN

```
program
  D
  procedure P
    D
    begin
      C
    end
  procedure Q
    D
    begin
      C
    end
begin
  C
end
```


Flache Blockstruktur



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

- Charakteristika
 - Mehrere überlappungsfreie Blöcke
 - Zwei Geltungsbereiche: Global und Lokal

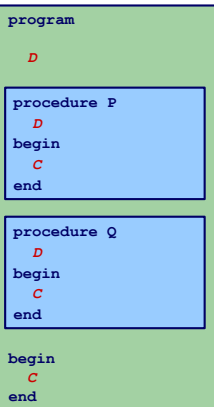
- Regeln für Geltungsbereiche

- Global deklarierte Bezeichner dürfen nicht global redeclariert werden
- Lokal deklarierte Bezeichner dürfen nicht im selben Block redeclariert werden
- Jeder benutzte Bezeichner muss global oder lokal zu seiner Verwendungsstelle deklariert sein

- Symboltabelle

- Bis zu zwei Einträge für jeden Bezeichner (global und lokal)
- Nach Bearbeiten eines Blocks müssen lokale Deklarationen verworfen werden

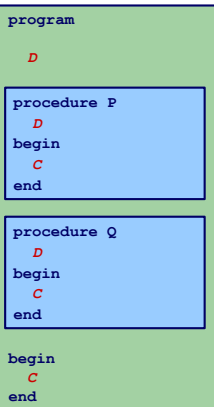
- Beispiel: FORTRAN



Flache Blockstruktur



- Charakteristika
 - Mehrere überlappungsfreie Blöcke
 - Zwei Geltungsbereiche: Global und Lokal
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Global deklarierte Bezeichner dürfen nicht global redeclariert werden
 - Lokal deklarierte Bezeichner dürfen nicht im selben Block redeclariert werden
 - Jeder benutzte Bezeichner muss global oder lokal zu seiner Verwendungsstelle deklariert sein
- Symboltabelle
 - Bis zu zwei Einträge für jeden Bezeichner (global und lokal)
 - Nach Bearbeiten eines Blocks müssen lokale Deklarationen verworfen werden
- Beispiel: FORTRAN



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

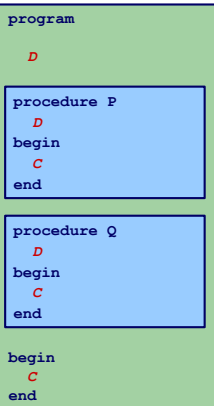
Zusammenfassu

- Charakteristika
 - Mehrere überlappungsfreie Blöcke
 - Zwei Geltungsbereiche: Global und Lokal
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Global deklarierte Bezeichner dürfen nicht global redeclariert werden
 - Lokal deklarierte Bezeichner dürfen nicht im selben Block redeclariert werden
 - Jeder benutzte Bezeichner muss global oder lokal zu seiner Verwendungsstelle deklariert sein

- Symboltabelle

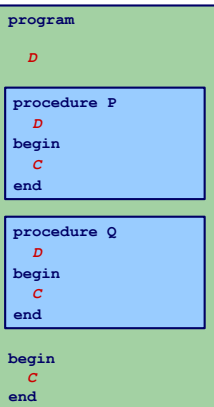
- Bis zu zwei Einträge für jeden Bezeichner (global und lokal)
- Nach Bearbeiten eines Blocks müssen lokale Deklarationen verworfen werden

- Beispiel: FORTRAN





- Charakteristika
 - Mehrere überlappungsfreie Blöcke
 - Zwei Geltungsbereiche: Global und Lokal
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Global deklarierte Bezeichner dürfen nicht global redeclariert werden
 - Lokal deklarierte Bezeichner dürfen nicht im selben Block redeclariert werden
 - Jeder benutzte Bezeichner muss global oder lokal zu seiner Verwendungsstelle deklariert sein
- Symboltabelle
 - Bis zu zwei Einträge für jeden Bezeichner (global und lokal)
 - Nach Bearbeiten eines Blocks müssen lokale Deklarationen verworfen werden
- Beispiel: FORTRAN



Flache Blockstruktur



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

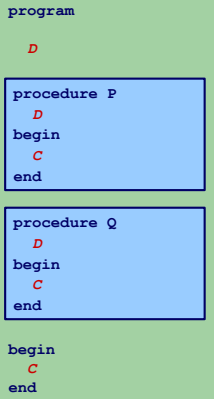
Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

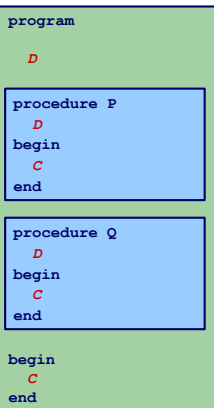
- Charakteristika
 - Mehrere überlappungsfreie Blöcke
 - Zwei Geltungsbereiche: Global und Lokal
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Global deklarierte Bezeichner dürfen nicht global redeclariert werden
 - Lokal deklarierte Bezeichner dürfen nicht im selben Block redeclariert werden
 - Jeder benutzte Bezeichner muss global oder lokal zu seiner Verwendungsstelle deklariert sein
- Symboltabelle
 - Bis zu zwei Einträge für jeden Bezeichner (global und lokal)
 - Nach Bearbeiten eines Blocks müssen lokale Deklarationen verworfen werden

● Beispiel: FORTRAN



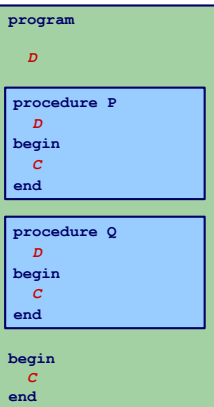


- Charakteristika
 - Mehrere überlappungsfreie Blöcke
 - Zwei Geltungsbereiche: Global und Lokal
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Global deklarierte Bezeichner dürfen nicht global redeclariert werden
 - Lokal deklarierte Bezeichner dürfen nicht im selben Block redeclariert werden
 - Jeder benutzte Bezeichner muss global oder lokal zu seiner Verwendungsstelle deklariert sein
- Symboltabelle
 - Bis zu zwei Einträge für jeden Bezeichner (global und lokal)
 - Nach Bearbeiten eines Blocks müssen lokale Deklarationen verworfen werden





- Charakteristika
 - Mehrere überlappungsfreie Blöcke
 - Zwei Geltungsbereiche: Global und Lokal
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Global deklarierte Bezeichner dürfen nicht global redeclariert werden
 - Lokal deklarierte Bezeichner dürfen nicht im selben Block redeclariert werden
 - Jeder benutzte Bezeichner muss global oder lokal zu seiner Verwendungsstelle deklariert sein
- Symboltabelle
 - Bis zu zwei Einträge für jeden Bezeichner (global und lokal)
 - Nach Bearbeiten eines Blocks müssen lokale Deklarationen verworfen werden
- Beispiel: FORTRAN



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel-Code Symboltabelle



```
public class IdentificationTable {
```

```
    /** Adds a new entry */
```

```
    public void enter(String id, Attribute attr) { ... }
```

```
    /** Retrieve a previously added entry. If both global and local entries exist  
        for id, return the attribute for the local one. Returns null  
        when no entry for this identifier is found */
```

```
    public Attribute retrieve(String id) { ... }
```

```
    /** Add a local scope level to the table, with no initial entries */
```

```
    public void openScope() { ... }
```

```
    /** Remove the local scope level from the table.  
        Deletes all entries associated with it */
```

```
    public void closeScope() { ... }
```

```
    ...
```

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Verschachtelte Blockstruktur



- Charakteristika

- Blöcke ineinander **verschachtelt**
- Beliebige Schachtelungstiefe der Blöcke

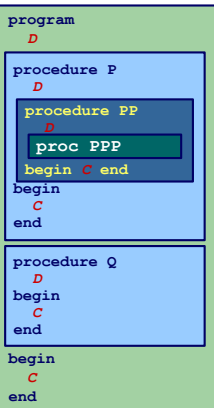
- Regeln für Geltungsbereiche

- Kein Bezeichner darf mehr als einmal innerhalb eines Blocks deklariert werden
- Kein Bezeichner darf verwendet werden, ohne dass er lokal oder in den **umschliessenden** Blöcken deklariert wurde

- Symboltabelle

- **Mehrere** Einträge je Bezeichner möglich
- Aber maximal ein Paar (Verschachtelungstiefe, Bezeichner)
- Schneller Abruf des Eintrags mit der größten Verschachtelungstiefe

- Beispiele: Pascal, Modula, Ada, Java, ...



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Verschachtelte Blockstruktur



- Charakteristika
 - Blöcke ineinander **verschachtelt**
 - Beliebige Schachtelungstiefe der Blöcke
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Kein Bezeichner darf mehr als einmal innerhalb eines Blocks deklariert werden
 - Kein Bezeichner darf verwendet werden, ohne dass er lokal oder in den **umschliessenden** Blöcken deklariert wurde
- Symboltabelle
 - **Mehrere** Einträge je Bezeichner möglich
 - Aber maximal ein Paar (Verschachtelungstiefe, Bezeichner)
 - Schneller Abruf des Eintrags mit der größten Verschachtelungstiefe

- Beispiele: Pascal, Modula, Ada, Java, ...



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Verschachtelte Blockstruktur



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

- Charakteristika
 - Blöcke ineinander **verschachtelt**
 - Beliebige Schachtelungstiefe der Blöcke

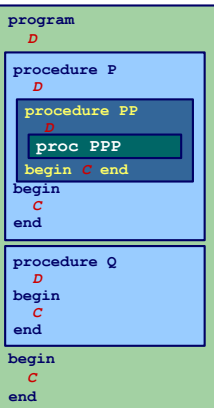
- Regeln für Geltungsbereiche

- Kein Bezeichner darf mehr als einmal innerhalb eines Blocks deklariert werden
- Kein Bezeichner darf verwendet werden, ohne dass er lokal oder in den **umschliessenden** Blöcken deklariert wurde

- Symboltabelle

- **Mehrere** Einträge je Bezeichner möglich
- Aber maximal ein Paar (Verschachtelungstiefe, Bezeichner)
- Schneller Abruf des Eintrags mit der größten Verschachtelungstiefe

- Beispiele: Pascal, Modula, Ada, Java, ...



Verschachtelte Blockstruktur



- Charakteristika
 - Blöcke ineinander **verschachtelt**
 - Beliebige Schachtelungstiefe der Blöcke

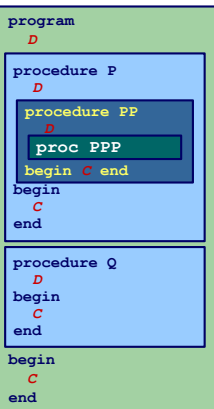
- Regeln für Geltungsbereiche

- Kein Bezeichner darf mehr als einmal innerhalb eines Blocks deklariert werden
- Kein Bezeichner darf verwendet werden, ohne dass er lokal oder in den **umschliessenden** Blöcken deklariert wurde

- Symboltabelle

- **Mehrere** Einträge je Bezeichner möglich
- Aber maximal ein Paar (Verschachtelungstiefe, Bezeichner)
- Schneller Abruf des Eintrags mit der größten Verschachtelungstiefe

- Beispiele: Pascal, Modula, Ada, Java, ...



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Verschachtelte Blockstruktur



- Charakteristika
 - Blöcke ineinander **verschachtelt**
 - Beliebige Schachtelungstiefe der Blöcke
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Kein Bezeichner darf mehr als einmal innerhalb eines Blocks deklariert werden
 - Kein Bezeichner darf verwendet werden, ohne dass er lokal oder in den **umschliessenden** Blöcken deklariert wurde
- Symboltabelle
 - **Mehrere** Einträge je Bezeichner möglich
 - Aber maximal ein Paar (Verschachtelungstiefe, Bezeichner)
 - Schneller Abruf des Eintrags mit der größten Verschachtelungstiefe

- Beispiele: Pascal, Modula, Ada, Java, ...



Orga

Einleitung

Symbolverwalту

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Verschachtelte Blockstruktur

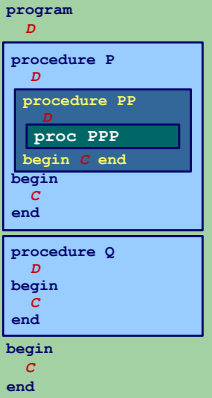


- Charakteristika
 - Blöcke ineinander **verschachtelt**
 - Beliebige Schachtelungstiefe der Blöcke
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Kein Bezeichner darf mehr als einmal innerhalb eines Blocks deklariert werden
 - Kein Bezeichner darf verwendet werden, ohne dass er lokal oder in den **umschliessenden** Blöcken deklariert wurde

- Symboltabelle

- Mehrere Einträge je Bezeichner möglich
- Aber maximal ein Paar (Verschachtelungstiefe, Bezeichner)
- Schneller Abruf des Eintrags mit der größten Verschachtelungstiefe

- Beispiele: Pascal, Modula, Ada, Java, ...



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

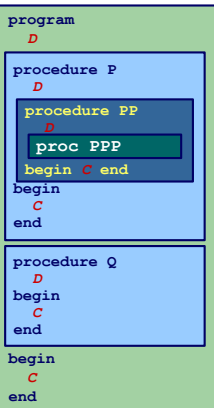
Triangle

Zusammenfassu

Verschachtelte Blockstruktur



- Charakteristika
 - Blöcke ineinander **verschachtelt**
 - Beliebige Schachtelungstiefe der Blöcke
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Kein Bezeichner darf mehr als einmal innerhalb eines Blocks deklariert werden
 - Kein Bezeichner darf verwendet werden, ohne dass er lokal oder in den **umschliessenden** Blöcken deklariert wurde
- Symboltabelle
 - **Mehrere** Einträge je Bezeichner möglich
 - Aber maximal ein Paar (Verschachtelungstiefe, Bezeichner)
 - Schneller Abruf des Eintrags mit der größten Verschachtelungstiefe
- Beispiele: Pascal, Modula, Ada, Java, ...



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

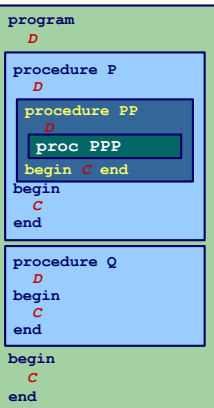
Triangle

Zusammenfassu

Verschachtelte Blockstruktur



- Charakteristika
 - Blöcke ineinander **verschachtelt**
 - Beliebige Schachtelungstiefe der Blöcke
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Kein Bezeichner darf mehr als einmal innerhalb eines Blocks deklariert werden
 - Kein Bezeichner darf verwendet werden, ohne dass er lokal oder in den **umschliessenden** Blöcken deklariert wurde
- Symboltabelle
 - **Mehrere** Einträge je Bezeichner möglich
 - Aber maximal ein Paar (Verschachtelungstiefe, Bezeichner)
 - Schneller Abruf des Eintrags mit der größten Verschachtelungstiefe
- Beispiele: Pascal, Modula, Ada, Java, ...



Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

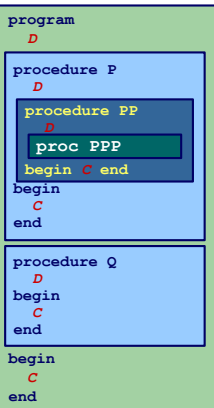
Triangle

Zusammenfassu

Verschachtelte Blockstruktur



- Charakteristika
 - Blöcke ineinander **verschachtelt**
 - Beliebige Schachtelungstiefe der Blöcke
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Kein Bezeichner darf mehr als einmal innerhalb eines Blocks deklariert werden
 - Kein Bezeichner darf verwendet werden, ohne dass er lokal oder in den **umschliessenden** Blöcken deklariert wurde
- Symboltabelle
 - **Mehrere** Einträge je Bezeichner möglich
 - Aber maximal ein Paar (Verschachtelungstiefe, Bezeichner)
 - Schneller Abruf des Eintrags mit der größten Verschachtelungstiefe
- Beispiele: Pascal, Modula, Ada, Java, ...



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

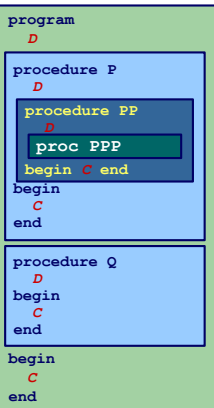
Triangle

Zusammenfassu

Verschachtelte Blockstruktur



- Charakteristika
 - Blöcke ineinander **verschachtelt**
 - Beliebige Schachtelungstiefe der Blöcke
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Kein Bezeichner darf mehr als einmal innerhalb eines Blocks deklariert werden
 - Kein Bezeichner darf verwendet werden, ohne dass er lokal oder in den **umschliessenden** Blöcken deklariert wurde
- Symboltabelle
 - **Mehrere** Einträge je Bezeichner möglich
 - Aber maximal ein Paar (Verschachtelungstiefe, Bezeichner)
 - Schneller Abruf des Eintrags mit der größten Verschachtelungstiefe



- Beispiele: Pascal, Modula, Ada, Java, ...

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

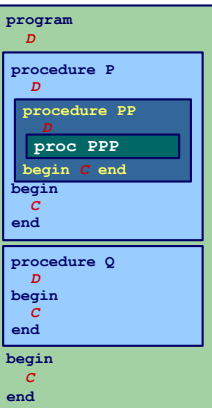
Triangle

Zusammenfassung

Verschachtelte Blockstruktur



- Charakteristika
 - Blöcke ineinander **verschachtelt**
 - Beliebige Schachtelungstiefe der Blöcke
- Regeln für Geltungsbereiche
 - Kein Bezeichner darf mehr als einmal innerhalb eines Blocks deklariert werden
 - Kein Bezeichner darf verwendet werden, ohne dass er lokal oder in den **umschliessenden** Blöcken deklariert wurde
- Symboltabelle
 - **Mehrere** Einträge je Bezeichner möglich
 - Aber maximal ein Paar (Verschachtelungstiefe, Bezeichner)
 - Schneller Abruf des Eintrags mit der größten Verschachtelungstiefe
- Beispiele: Pascal, Modula, Ada, Java, ...



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel: Verschachtelte Blockstruktur



```
let !level 1
  var a, b, c ;
in begin
  let !level 2
    var a, b ;
  in begin
    let !level 3
      var a, c ;
    in begin
      a := b + c ;
    end;
    a := b + c ;
  end;
  a := b + c ;
end
```

Geltungsbereiche und Sichtbarkeit

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Beispiel: Verschachtelte Blockstruktur



```
let !level 1
  var a, b, c ;
in begin
  let !level 2
    var a, b ;
  in begin
    let !level 3
      var a, c ;
    in begin
      a := b + c ;
    end;
    a := b + c ;
  end;
  a := b + c ;
end
```

Geltungsbereiche und Sichtbarkeit

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Beispiel: Verschachtelte Blockstruktur



```
let !level 1
  var a, b, c ;
in begin
  let !level 2
    var a, b ;
  in begin
    let !level 3
      var a, c ;
    in begin
      a := b + c ;
    end;
    a := b + c ;
  end;
  a := b + c ;
end
```

Geltungsbereiche und Sichtbarkeit

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb.

Triangle

Zusammenfassung

Beispiel: Verschachtelte Blockstruktur



```
let !level 1
  var a, b, c ;
in begin
  let !level 2
    var a, b ;
  in begin
    let !level 3
      var a, c ;
    in begin
      a := b + c ;
    end;
    a := b + c ;
  end;
  a := b + c ;
end
```

Geltungsbereiche und Sichtbarkeit

a und b aus Ebene 1
redeklariert,
nun nicht mehr sichtbar
auf Ebene 2

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Beispiel: Verschachtelte Blockstruktur



```
let !level 1
  var a, b, c ;
in begin
  let !level 2
    var a, b ;
  in begin
    let !level 3
      var a, c ;
    in begin
      a := b + c ;
    end;
    a := b + c ;
  end;
  a := b + c ;
end
```

Geltungsbereiche und Sichtbarkeit

a und b aus Ebene 1
redeklariert,
nun nicht mehr sichtbar
auf Ebene 2

a aus Ebene 2 und c aus
Ebene 1 redeklariert, nun
nicht mehr sichtbar auf
Ebene 3

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

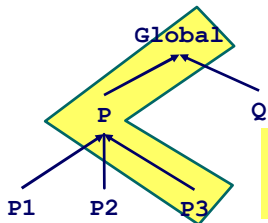
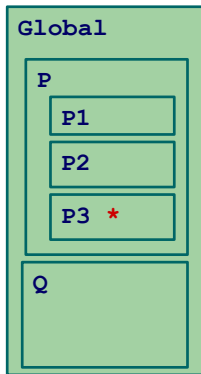
Triangle

Zusammenfassung

Struktur der Geltungsbereiche



- Für Sprachen mit verschachtelter Blockstruktur
- Modellierung als Baum



Suchpfad für ein
verwendendes
Auftreten in P3

Während der Programmanalyse ist immer
nur ein **einzelner** Pfad sichtbar.

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel-Code Symboltabelle



```
public class IdentificationTable {  
  
    /** Adds a new entry */  
    public void enter(String id, Attribute attr) { ... }  
  
    /** Retrieve a previously added entry with the deepest scope level.  
        Returns null when no entry for this identifier is found */  
    public Attribute retrieve(String id) { ... }  
  
    /** Add a new deepest scope level to the table, with no initial entries */  
    public void openScope() { ... }  
  
    /** Remove the deepest local scope level from the table.  
        Deletes all entries associated with it */  
    public void closeScope() { ... }  
  
    ...  
}
```

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Beispiel verschachtelte Geltungsbereiche



```
let !level 1
(1) var a: Integer;
(2) var b: Boolean
in begin
  ...
  let !level 2
(3) var b: Integer;
(4) var c: Boolean;
  in begin
    let !level 3
(5) const x ~ 3
      in ...
    end
  let !level 2
(6) var d: Boolean
(7) var e: Integer
  in begin
end
end
```

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Beispiel verschachtelte Geltungsbereiche



```
let !level 1
(1) var a: Integer;
(2) var b: Boolean
in begin
  ...
  let !level 2
  (3) var b: Integer;
  (4) var c: Boolean;
  in begin
    let !level 3
    (5) const x ~ 3
    in ...
  end
  let !level 2
  (6) var d: Boolean
  (7) var e: Integer
  in begin
end
end
```

level	id	Attr.
1	a	(1)
1	b	(2)

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Beispiel verschachtelte Geltungsbereiche



```
let !level 1
(1) var a: Integer;
(2) var b: Boolean
in begin
  ...
  let !level 2
(3) var b: Integer;
(4) var c: Boolean;
in begin
  let !level 3
(5) const x ~ 3
in ...
  end
  let !level 2
(6) var d: Boolean
(7) var e: Integer
in begin
end
end
```

level	id	Attr.	
1	a	(1)	
1	level	id	Attr.
1	a	(1)	
1	b	(2)	
2	b	(3)	
2	c	(4)	

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel verschachtelte Geltungsbereiche



```
let !level 1
(1) var a: Integer;
(2) var b: Boolean
in begin
  ...
  let !level 2
(3) var b: Integer;
(4) var c: Boolean;
in begin
  let !level 3
(5) const x ~ 3
  in ...
end
let !level 2
(6) var d: Boolean
(7) var e: Integer
in begin
end
```

level	id	Attr.	
1	a	(1)	
1	level	id	Attr.
1	a	(1)	
1	b	(2)	
2	b	(3)	
2	level	id	Attr.
1	a	(1)	
1	b	(2)	
2	b	(3)	
2	c	(4)	
3	x	(5)	

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

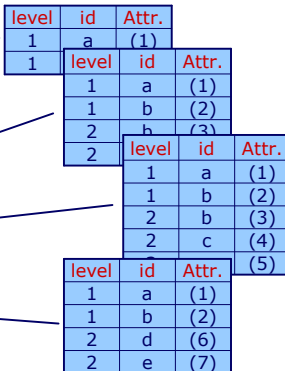
Triangle

Zusammenfassung

Beispiel verschachtelte Geltungsbereiche



```
let !level 1
(1) var a: Integer;
(2) var b: Boolean
in begin
  ...
  let !level 2
(3) var b: Integer;
(4) var c: Boolean;
in begin
  let !level 3
(5) const x ~ 3
  in ...
end
let !level 2
(6) var d: Boolean
(7) var e: Integer
in begin
end
```



Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Verschiedene Varianten**

- Verkettete Liste und lineare Suche
 - Einfach aber langsam
 - In Triangle verwendet (natürlich ...)
- Hier: Bessere Möglichkeiten
- Hash-Tabelle (effizienter)
- **Stack** aus Hash-Tabellen

- **Design-Kriterium**

- **Gleiche** Bezeichner tauchen häufiger in Tabelle auf
- Aber auf unterschiedlichen **Ebenen**
- Abgerufen wird immer der am **tiefsten** gelegene

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Verschiedene Varianten**
 - **Verkettete Liste und lineare Suche**
 - Einfach aber langsam
 - In Triangle verwendet (natürlich ...)
 - Hier: Bessere Möglichkeiten
 - Hash-Tabelle (effizienter)
 - **Stack** aus Hash-Tabellen
- **Design-Kriterium**
 - **Gleiche** Bezeichner tauchen häufiger in Tabelle auf
 - Aber auf unterschiedlichen **Ebenen**
 - Abgerufen wird immer der am **tiefsten** gelegene

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Verschiedene Varianten**
 - Verkettete Liste und lineare Suche
 - Einfach aber langsam
 - In Triangle verwendet (natürlich ...)
 - Hier: Bessere Möglichkeiten
 - Hash-Tabelle (effizienter)
 - **Stack** aus Hash-Tabellen
 - **Design-Kriterium**
 - **Gleiche** Bezeichner tauchen häufiger in Tabelle auf
 - Aber auf unterschiedlichen **Ebenen**
 - Abgerufen wird immer der am **tiefsten** gelegene

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Verschiedene Varianten**
 - Verkettete Liste und lineare Suche
 - Einfach aber langsam
 - In Triangle verwendet (natürlich ...)
 - Hier: Bessere Möglichkeiten
 - Hash-Tabelle (effizienter)
 - **Stack** aus Hash-Tabellen
- **Design-Kriterium**
 - **Gleiche** Bezeichner tauchen häufiger in Tabelle auf
 - Aber auf unterschiedlichen **Ebenen**
 - Abgerufen wird immer der am **tiefsten** gelegene

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Verschiedene Varianten**
 - Verkettete Liste und lineare Suche
 - Einfach aber langsam
 - In Triangle verwendet (natürlich ...)
 - **Hier: Bessere Möglichkeiten**
 - Hash-Tabelle (effizienter)
 - **Stack** aus Hash-Tabellen
- **Design-Kriterium**
 - **Gleiche** Bezeichner tauchen häufiger in Tabelle auf
 - Aber auf unterschiedlichen **Ebenen**
 - Abgerufen wird immer der am **tiefsten** gelegene

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Verschiedene Varianten**
 - Verkettete Liste und lineare Suche
 - Einfach aber langsam
 - In Triangle verwendet (natürlich ...)
 - Hier: Bessere Möglichkeiten
 - Hash-Tabelle (effizienter)
 - Stack aus Hash-Tabellen
- **Design-Kriterium**
 - Gleiche Bezeichner tauchen häufiger in Tabelle auf
 - Aber auf unterschiedlichen Ebenen
 - Abgerufen wird immer der am tiefsten gelegene

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Verschiedene Varianten**
 - Verkettete Liste und lineare Suche
 - Einfach aber langsam
 - In Triangle verwendet (natürlich ...)
 - Hier: Bessere Möglichkeiten
 - Hash-Tabelle (effizienter)
 - **Stack** aus Hash-Tabellen
- Design-Kriterium
 - Gleiche Bezeichner tauchen häufiger in Tabelle auf
 - Aber auf unterschiedlichen Ebenen
 - Abgerufen wird immer der am tiefsten gelegene

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Verschiedene Varianten**
 - Verkettete Liste und lineare Suche
 - Einfach aber langsam
 - In Triangle verwendet (natürlich ...)
 - Hier: Bessere Möglichkeiten
 - Hash-Tabelle (effizienter)
 - **Stack** aus Hash-Tabellen
- **Design-Kriterium**
 - **Gleiche** Bezeichner tauchen häufiger in Tabelle auf
 - Aber auf unterschiedlichen **Ebenen**
 - Abgerufen wird immer der am **tiefsten** gelegene

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Verschiedene Varianten**
 - Verkettete Liste und lineare Suche
 - Einfach aber langsam
 - In Triangle verwendet (natürlich ...)
 - Hier: Bessere Möglichkeiten
 - Hash-Tabelle (effizienter)
 - **Stack** aus Hash-Tabellen
- **Design-Kriterium**
 - **Gleiche** Bezeichner tauchen häufiger in Tabelle auf
 - Aber auf unterschiedlichen **Ebenen**
 - Abgerufen wird immer der am **tiefsten** gelegene

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Verschiedene Varianten**
 - Verkettete Liste und lineare Suche
 - Einfach aber langsam
 - In Triangle verwendet (natürlich ...)
 - Hier: Bessere Möglichkeiten
 - Hash-Tabelle (effizienter)
 - **Stack** aus Hash-Tabellen
- **Design-Kriterium**
 - **Gleiche** Bezeichner tauchen häufiger in Tabelle auf
 - Aber auf unterschiedlichen **Ebenen**
 - Abgerufen wird immer der am **tiefsten** gelegene

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Verschiedene Varianten**
 - Verkettete Liste und lineare Suche
 - Einfach aber langsam
 - In Triangle verwendet (natürlich ...)
 - Hier: Bessere Möglichkeiten
 - Hash-Tabelle (effizienter)
 - **Stack** aus Hash-Tabellen
- **Design-Kriterium**
 - **Gleiche** Bezeichner tauchen häufiger in Tabelle auf
 - Aber auf unterschiedlichen **Ebenen**
 - Abgerufen wird immer der am **tiefsten** gelegene

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Effizientere Implementierung 1



```
public class SymbolTable {  
    private Map    symtab    = new HashMap();  
    private Stack scopeStack = new Stack();  
    ...  
}
```

Optimiert **Schließen** eines Geltungsbereiches

In Java 5 (aka 1.5):

```
Map<String, Stack<Attribute>> symtab;  
Stack<List<String>> scopeStack;
```

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



syntab

- Bildet von **strings** auf **Attribute**-Objekte ab
- Bezeichnernamen dienen als **Schlüssel**
- **Wert** ist ein Stack aus Attributen, **obenauf** liegt die Deklaration mit der **tiefsten** Verschachtelungsebene

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



`syntab`

- Bildet von `strings` auf `Attribute`-Objekte ab
- Bezeichnernamen dienen als **Schlüssel**
- **Wert** ist ein Stack aus Attributen, **obenauf** liegt die Deklaration mit der **tiefsten** Verschachtelungsebene

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



`syntab`

- Bildet von `strings` auf `Attribute`-Objekte ab
- Bezeichnernamen dienen als **Schlüssel**
- **Wert** ist ein Stack aus Attributen, **obenauf** liegt die Deklaration mit der **tiefsten** Verschachtelungsebene

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



scopeStack

- Stack bestehend aus Listen von Strings
- Bei **Öffnen** eines neuen Geltungsbereichs:
 - Lege leere Liste auf `scopeStack`
 - Jeder in diesem Bereich gefundene Bezeichner wird in Liste eingetragen
- Bei **Schließen** des aktuellen Geltungsbereiches
 - Gehe Liste oben auf `scopeStack` durch
 - Lösche alle diese Bezeichner aus `symtab` (entferne jeweils oberstes Stapелеlement)
 - Entferne dann oberstes Elements von `scopeStack`

Andere Implementierungen möglich!



scopeStack

- Stack bestehend aus Listen von Strings
- Bei **Öffnen** eines neuen Geltungsbereichs:
 - Lege leere Liste auf `scopeStack`
 - Jeder in diesem Bereich gefundene Bezeichner wird in Liste eingetragen
- Bei **Schließen** des aktuellen Geltungsbereiches
 - Gehe Liste oben auf `scopeStack` durch
 - Lösche alle diese Bezeichner aus `symtab` (entferne jeweils oberstes Stapелеlement)
 - Entferne dann oberstes Elements von `scopeStack`

Andere Implementierungen möglich!

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



scopeStack

- Stack bestehend aus Listen von Strings
- Bei **Öffnen** eines neuen Geltungsbereichs:
 - Lege leere Liste auf **scopeStack**
 - Jeder in diesem Bereich gefundene Bezeichner wird in Liste eingetragen
- Bei **Schließen** des aktuellen Geltungsbereiches
 - Gehe Liste oben auf **scopeStack** durch
 - Lösche alle diese Bezeichner aus **syntab** (entferne jeweils oberstes Stapелеlement)
 - Entferne dann oberstes Elements von **scopeStack**

Andere Implementierungen möglich!

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



scopeStack

- Stack bestehend aus Listen von Strings
- Bei **Öffnen** eines neuen Geltungsbereichs:
 - Lege leere Liste auf **scopeStack**
 - Jeder in diesem Bereich gefundene Bezeichner wird in Liste eingetragen
- Bei **Schließen** des aktuellen Geltungsbereiches
 - Gehe Liste oben auf **scopeStack** durch
 - Lösche alle diese Bezeichner aus **syntab** (entferne jeweils oberstes Stapелеlement)
 - Entferne dann oberstes Elements von **scopeStack**

Andere Implementierungen möglich!

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



scopeStack

- Stack bestehend aus Listen von Strings
- Bei **Öffnen** eines neuen Geltungsbereichs:
 - Lege leere Liste auf **scopeStack**
 - Jeder in diesem Bereich gefundene Bezeichner wird in Liste eingetragen
- Bei **Schließen** des aktuellen Geltungsbereiches
 - Gehe Liste oben auf **scopeStack** durch
 - Lösche alle diese Bezeichner aus **syntab** (entferne jeweils oberstes Stapелеlement)
 - Entferne dann oberstes Elements von **scopeStack**

Andere Implementierungen möglich!

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



`scopeStack`

- Stack bestehend aus Listen von Strings
- Bei **Öffnen** eines neuen Geltungsbereichs:
 - Lege leere Liste auf `scopeStack`
 - Jeder in diesem Bereich gefundene Bezeichner wird in Liste eingetragen
- Bei **Schließen** des aktuellen Geltungsbereiches
 - Gehe Liste oben auf `scopeStack` durch
 - Lösche alle diese Bezeichner aus `syntab` (entferne jeweils oberstes Stapелеlement)
 - Entferne dann oberstes Elements von `scopeStack`

Andere Implementierungen möglich!

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



scopeStack

- Stack bestehend aus Listen von Strings
- Bei **Öffnen** eines neuen Geltungsbereichs:
 - Lege leere Liste auf **scopeStack**
 - Jeder in diesem Bereich gefundene Bezeichner wird in Liste eingetragen
- Bei **Schließen** des aktuellen Geltungsbereiches
 - Gehe Liste oben auf **scopeStack** durch
 - Lösche alle diese Bezeichner aus **syntab** (entferne jeweils oberstes Stapелеlement)
 - Entferne dann oberstes Elements von **scopeStack**

Andere Implementierungen möglich!



scopeStack

- Stack bestehend aus Listen von Strings
- Bei **Öffnen** eines neuen Geltungsbereichs:
 - Lege leere Liste auf **scopeStack**
 - Jeder in diesem Bereich gefundene Bezeichner wird in Liste eingetragen
- Bei **Schließen** des aktuellen Geltungsbereiches
 - Gehe Liste oben auf **scopeStack** durch
 - Lösche alle diese Bezeichner aus **syntab** (entferne jeweils oberstes Stapелеlement)
 - Entferne dann oberstes Elements von **scopeStack**

Andere Implementierungen möglich!



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Attribute



- Welche **Informationen** konkret zu einem Bezeichner speichern?
- **Wofür** werden Attribute gebraucht?
- Mindestens für
 - Überprüfung der Regeln für Geltungsbereiche von Deklarationen
 - *Beispiel: Das globale Implementierungssymbol `main` ist nicht in diesem Modul definiert.*
 - *Beispiel: Das globale Symbol `main` ist in diesem Modul definiert.*
 - Überprüfung der Typregeln
 - *Beispiel: `int x = 1.0;` ist ungültig.*
 - (Code-Erzeugung)

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



- Welche **Informationen** konkret zu einem Bezeichner speichern?
- **Wofür** werden Attribute gebraucht?
- Mindestens für
 - Überprüfung der Regeln für Geltungsbereiche von Deklarationen
 - Einmalige Überprüfung der Deklarationsbereiche
 - Einmalige Überprüfung der Deklarationsregeln
 - Überprüfung der Typregeln
 - Einmalige Überprüfung der Typregeln
 - (Code-Erzeugung)

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



- Welche **Informationen** konkret zu einem Bezeichner speichern?
- **Wofür** werden Attribute gebraucht?
- Mindestens für
 - Überprüfung der Regeln für Geltungsbereiche von Deklarationen
 - Bei geeigneter Implementierung der Symboltabelle:
 - Einfaches Abrufen reicht
 - Alle Regeln bereits in Datenstruktur realisiert
 - Überprüfung der Typregeln
 - Erfordert Abspeicherung von **Typinformationen**
 - (Code-Erzeugung)
 - Benötigt später z.B. **Adresse** der Variable im Speicher



- Welche **Informationen** konkret zu einem Bezeichner speichern?
- **Wofür** werden Attribute gebraucht?
- Mindestens für
 - Überprüfung der Regeln für Geltungsbereiche von Deklarationen
 - Bei geeigneter Implementierung der Symboltabelle: Einfaches Abrufen reicht
 - Alle Regeln bereits in Datenstruktur realisiert
 - Überprüfung der Typregeln
 - Erfordert Abspeicherung von **Typinformationen**
 - (Code-Erzeugung)
 - Benötigt später z.B. **Adresse** der Variable im Speicher

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



- Welche **Informationen** konkret zu einem Bezeichner speichern?
- **Wofür** werden Attribute gebraucht?
- Mindestens für
 - Überprüfung der Regeln für Geltungsbereiche von Deklarationen
 - Bei geeigneter Implementierung der Symboltabelle:
Einfaches Abrufen reicht
 - Alle Regeln bereits in Datenstruktur realisiert
 - Überprüfung der Typregeln
 - Erfordert Abspeicherung von **Typinformationen**
 - (Code-Erzeugung)
 - Benötigt später z.B. **Adresse** der Variable im Speicher



- Welche **Informationen** konkret zu einem Bezeichner speichern?
- **Wofür** werden Attribute gebraucht?
- Mindestens für
 - Überprüfung der Regeln für Geltungsbereiche von Deklarationen
 - Bei geeigneter Implementierung der Symboltabelle: Einfaches Abrufen reicht
 - Alle Regeln bereits in Datenstruktur realisiert
 - Überprüfung der Typregeln
 - Erfordert Abspeicherung von **Typinformationen**
 - (Code-Erzeugung)
 - Benötigt später z.B. **Adresse** der Variable im Speicher

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



- Welche **Informationen** konkret zu einem Bezeichner speichern?
- **Wofür** werden Attribute gebraucht?
- Mindestens für
 - Überprüfung der Regeln für Geltungsbereiche von Deklarationen
 - Bei geeigneter Implementierung der Symboltabelle: Einfaches Abrufen reicht
 - Alle Regeln bereits in Datenstruktur realisiert
 - Überprüfung der Typregeln
 - Erfordert Abspeicherung von **Typinformationen**
 - (Code-Erzeugung)
 - Benötigt später z.B. **Adresse** der Variable im Speicher

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



- Welche **Informationen** konkret zu einem Bezeichner speichern?
- **Wofür** werden Attribute gebraucht?
- Mindestens für
 - Überprüfung der Regeln für Geltungsbereiche von Deklarationen
 - Bei geeigneter Implementierung der Symboltabelle: Einfaches Abrufen reicht
 - Alle Regeln bereits in Datenstruktur realisiert
 - Überprüfung der Typregeln
 - Erfordert Abspeicherung von **Typinformationen**
 - (Code-Erzeugung)
 - Benötigt später z.B. **Adresse** der Variable im Speicher

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



- Welche **Informationen** konkret zu einem Bezeichner speichern?
- **Wofür** werden Attribute gebraucht?
- Mindestens für
 - Überprüfung der Regeln für Geltungsbereiche von Deklarationen
 - Bei geeigneter Implementierung der Symboltabelle: Einfaches Abrufen reicht
 - Alle Regeln bereits in Datenstruktur realisiert
 - Überprüfung der Typregeln
 - Erfordert Abspeicherung von **Typinformationen**
 - (Code-Erzeugung)
 - Benötigt später z.B. **Adresse** der Variable im Speicher

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



- Welche **Informationen** konkret zu einem Bezeichner speichern?
- **Wofür** werden Attribute gebraucht?
- Mindestens für
 - Überprüfung der Regeln für Geltungsbereiche von Deklarationen
 - Bei geeigneter Implementierung der Symboltabelle: Einfaches Abrufen reicht
 - Alle Regeln bereits in Datenstruktur realisiert
 - Überprüfung der Typregeln
 - Erfordert Abspeicherung von **Typinformationen**
 - (Code-Erzeugung)
 - Benötigt später z.B. **Adresse** der Variable im Speicher

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



Beispiel 1:

```
let const m~2;  
in m + x
```

Beispiel 2:

```
let const m~2 ;  
    var n:Boolean  
in begin  
    n := m<4;  
    n := n+1  
end
```

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiele: Verwendung von Attributen 2



Beispiel 1:

```
let const m~2;  
in m + x Undefiniert!
```



Geltungsbereichs-
regeln

Beispiel 2:

```
let const m~2 ;  
  var n:Boolean  
in begin  
  n := m<4;  
  n := n+1 Typfehler!  
end
```



Typregeln

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Speicherung von Attributen 1



Imperativer Ansatz (explizite Speicherung)

```
public class Attribute {  
  
    public static final byte // kind  
        CONST = 0,  
        VAR    = 1,  
        PROC  = 2,  
        ... ;  
  
    public static final byte // type  
        BOOL  = 0,  
        CHAR  = 1,  
        INT   = 2,  
        ARRAY = 3,  
        ... ;  
  
    public byte kind;  
    public byte type;  
  
}
```

OK für sehr einfache
Sprachen

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

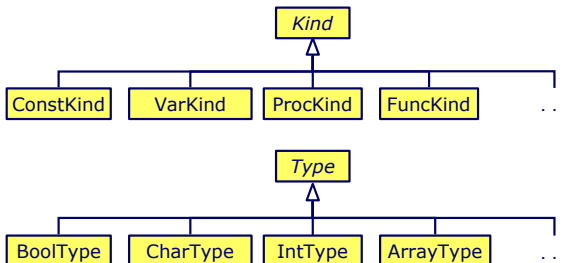
Zusammenfassung



Objektorientierter Ansatz (explizite Speicherung)

```
public class Attribute {  
    public Kind kind;  
    public Type type;  
}
```

Funktioniert, wird aber bei
realistischer Sprache
sehr leicht **unhandlich**



Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



- Schon bloße Aufzählung in Form von Klassen langatmig
- Noch nicht berücksichtigt: Kombinationen
 - `array [1:10] of record int x; char y end;`
- Explizite Strukturen können leicht sehr **komplex** werden
- **Idee:** Im AST stehen bereits alle Daten
 - Deklarations-Unterbaum
- Als Attribute einfach Verweise auf **ursprüngliche Definition** eintragen
 - Dabei Geltungsbereiche beachten!

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Schon bloße Aufzählung in Form von Klassen langatmig
- Noch nicht berücksichtigt: Kombinationen
 - `array [1:10] of record int x; char y end;`
- Explizite Strukturen können leicht sehr **komplex** werden
- **Idee:** Im AST stehen bereits alle Daten
 - Deklarations-Unterbaum
- Als Attribute einfach Verweise auf **ursprüngliche Definition** eintragen
 - Dabei Geltungsbereiche beachten!

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Schon bloße Aufzählung in Form von Klassen langatmig
- Noch nicht berücksichtigt: Kombinationen
 - `array [1:10] of record int x; char y end;`
- Explizite Strukturen können leicht sehr **komplex** werden
- **Idee:** Im AST stehen bereits alle Daten
 - Deklarations-Unterbaum
- Als Attribute einfach Verweise auf **ursprüngliche Definition** eintragen
 - Dabei Geltungsbereiche beachten!

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Schon bloße Aufzählung in Form von Klassen langatmig
- Noch nicht berücksichtigt: Kombinationen
 - `array [1:10] of record int x; char y end;`
- Explizite Strukturen können leicht sehr **komplex** werden

- **Idee:** Im AST stehen bereits alle Daten
 - Deklarations-Unterbaum
- Als Attribute einfach Verweise auf **ursprüngliche Definition** eintragen
 - Dabei Geltungsbereiche beachten!

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Schon bloße Aufzählung in Form von Klassen langatmig
- Noch nicht berücksichtigt: Kombinationen
 - `array [1:10] of record int x; char y end;`
- Explizite Strukturen können leicht sehr **komplex** werden

- **Idee:** Im AST stehen bereits alle Daten
 - Deklarations-Unterbaum
- Als Attribute einfach Verweise auf **ursprüngliche Definition** eintragen
 - Dabei Geltungsbereiche beachten!

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Schon bloße Aufzählung in Form von Klassen langatmig
- Noch nicht berücksichtigt: Kombinationen
 - `array [1:10] of record int x; char y end;`
- Explizite Strukturen können leicht sehr **komplex** werden

- **Idee:** Im AST stehen bereits alle Daten
 - Deklarations-Unterbaum
- Als Attribute einfach Verweise auf **ursprüngliche Definition** eintragen
 - Dabei Geltungsbereiche beachten!

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Schon bloße Aufzählung in Form von Klassen langatmig
- Noch nicht berücksichtigt: Kombinationen
 - `array [1:10] of record int x; char y end;`
- Explizite Strukturen können leicht sehr **komplex** werden

- **Idee:** Im AST stehen bereits alle Daten
 - Deklarations-Unterbaum
- Als Attribute einfach Verweise auf **ursprüngliche Definition** eintragen
 - Dabei Geltungsbereiche beachten!

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Schon bloße Aufzählung in Form von Klassen langatmig
- Noch nicht berücksichtigt: Kombinationen
 - `array [1:10] of record int x; char y end;`
- Explizite Strukturen können leicht sehr **komplex** werden

- **Idee:** Im AST stehen bereits alle Daten
 - Deklarations-Unterbaum
- Als Attribute einfach Verweise auf **ursprüngliche Definition** eintragen
 - Dabei Geltungsbereiche beachten!

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

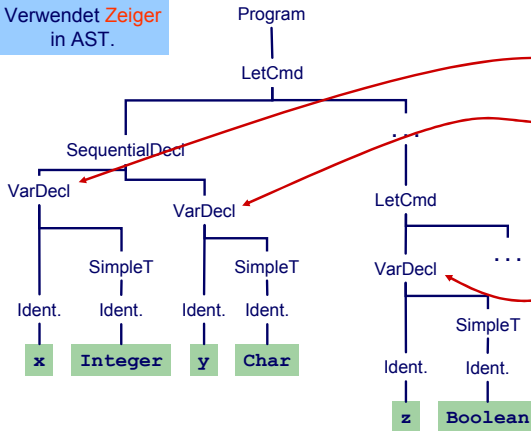
Triangle

Zusammenfassu

AST-basierte Attribute



Verwendet **Zeiger** in AST.



```
let var x: Integer;
      var y: Char
in begin
  ...
  let var z: Boolean
  in ...
end
```

level	id	Attr.
1	x	•
1	y	•
2	z	•

Sehr hilfreich für **Dekoration** des ASTs.

- Orga
- Einleitung
- Symbolverwaltung
- Attribute
- Identifikation
- Typprüfung
- Implementierung
- Standardumgebung
- Triangle
- Zusammenfassung



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Identifikation



- **Erster Schritt der Kontextanalyse**
- Beinhaltet Aufbau einer geeigneten Symboltabelle
- Aufgabe: Ordne Verwendungen von Bezeichnern ihren Definitionen zu
- Durch Pass über den AST realisierbar ...

- aber besser: Kombinieren mit nächstem Schritt

➔ **Typprüfung**

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Erster Schritt der Kontextanalyse**
- **Beinhaltet Aufbau einer geeigneten Symboltabelle**
- Aufgabe: Ordne Verwendungen von Bezeichnern ihren Definitionen zu
- Durch Pass über den AST realisierbar ...

- aber besser: Kombinieren mit nächstem Schritt

➔ **Typprüfung**

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Erster Schritt der Kontextanalyse
- Beinhaltet Aufbau einer geeigneten Symboltabelle
- Aufgabe: Ordne Verwendungen von Bezeichnern ihren Definitionen zu
- Durch Pass über den AST realisierbar ...
- aber besser: Kombinieren mit nächstem Schritt

➔ Typprüfung

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Erster Schritt der Kontextanalyse
 - Beinhaltet Aufbau einer geeigneten Symboltabelle
 - Aufgabe: Ordne Verwendungen von Bezeichnern ihren Definitionen zu
 - Durch Pass über den AST realisierbar ...
- aber besser: Kombinieren mit nächstem Schritt

➔ Typprüfung

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Erster Schritt der Kontextanalyse
- Beinhaltet Aufbau einer geeigneten Symboltabelle
- Aufgabe: Ordne Verwendungen von Bezeichnern ihren Definitionen zu
- Durch Pass über den AST realisierbar ...

- aber besser: Kombinieren mit nächstem Schritt

➔ Typprüfung

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Erster Schritt der Kontextanalyse
- Beinhaltet Aufbau einer geeigneten Symboltabelle
- Aufgabe: Ordne Verwendungen von Bezeichnern ihren Definitionen zu
- Durch Pass über den AST realisierbar ...

- aber besser: Kombinieren mit nächstem Schritt

➔ Typprüfung

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Erster Schritt der Kontextanalyse
- Beinhaltet Aufbau einer geeigneten Symboltabelle
- Aufgabe: Ordne Verwendungen von Bezeichnern ihren Definitionen zu
- Durch Pass über den AST realisierbar ...

- aber besser: Kombinieren mit nächstem Schritt

➔ **Typprüfung**

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Typprüfung



- **Was** ist ein **Typ**?
 - “Eine Einschränkung der möglichen Interpretationen eines Speicherbereiches oder eines anderen Programmkonstrukts.”
 - Eine Menge von Werten
- **Warum** Typen benutzen?
 - **Fehlervermeidung**: Verhindere eine Art von Programmierfehlern (“eckiger Kreis”)
 - **Laufzeitoptimierung**: Bindung zur Compile-Zeit erspart Entscheidungen zur Laufzeit
- **Muß** man immer Typen verwenden?
 - **Nein**, viele Sprachen kommen ohne aus

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Was** ist ein **Typ**?
 - “Eine Einschränkung der möglichen Interpretationen eines Speicherbereiches oder eines anderen Programmkonstrukts.”
 - Eine Menge von Werten
- **Warum** Typen benutzen?
 - **Fehlervermeidung**: Verhindere eine Art von Programmierfehlern (“eckiger Kreis”)
 - **Laufzeitoptimierung**: Bindung zur Compile-Zeit erspart Entscheidungen zur Laufzeit
- **Muß** man immer Typen verwenden?
 - **Nein**, viele Sprachen kommen ohne aus

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Was** ist ein **Typ**?
 - “Eine Einschränkung der möglichen Interpretationen eines Speicherbereiches oder eines anderen Programmkonstrukts.”
 - Eine Menge von Werten
- **Warum** Typen benutzen?
 - **Fehlervermeidung**: Verhindere eine Art von Programmierfehlern (“eckiger Kreis”)
 - **Laufzeitoptimierung**: Bindung zur Compile-Zeit erspart Entscheidungen zur Laufzeit
- **Muß** man immer Typen verwenden?
 - **Nein**, viele Sprachen kommen ohne aus

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



- **Was** ist ein **Typ**?
 - “Eine Einschränkung der möglichen Interpretationen eines Speicherbereiches oder eines anderen Programmkonstrukts.”
 - Eine Menge von Werten
- **Warum** Typen benutzen?
 - **Fehlervermeidung**: Verhindere eine Art von Programmierfehlern (“eckiger Kreis”)
 - **Laufzeitoptimierung**: Bindung zur Compile-Zeit erspart Entscheidungen zur Laufzeit
- **Muß** man immer Typen verwenden?
 - **Nein**, viele Sprachen kommen ohne aus

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Was** ist ein **Typ**?
 - “Eine Einschränkung der möglichen Interpretationen eines Speicherbereiches oder eines anderen Programmkonstrukts.”
 - Eine Menge von Werten
- **Warum** Typen benutzen?
 - **Fehlervermeidung**: Verhindere eine Art von Programmierfehlern (“eckiger Kreis”)
 - **Laufzeitoptimierung**: Bindung zur Compile-Zeit erspart Entscheidungen zur Laufzeit
- **Muß** man immer Typen verwenden?
 - **Nein**, viele Sprachen kommen ohne aus

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Was** ist ein **Typ**?
 - “Eine Einschränkung der möglichen Interpretationen eines Speicherbereiches oder eines anderen Programmkonstrukts.”
 - Eine Menge von Werten
- **Warum** Typen benutzen?
 - **Fehlervermeidung**: Verhindere eine Art von Programmierfehlern (“eckiger Kreis”)
 - **Laufzeitoptimierung**: Bindung zur Compile-Zeit erspart Entscheidungen zur Laufzeit
- **Muß** man immer Typen verwenden?
 - **Nein**, viele Sprachen kommen ohne aus

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Was** ist ein **Typ**?
 - “Eine Einschränkung der möglichen Interpretationen eines Speicherbereiches oder eines anderen Programmkonstrukts.”
 - Eine Menge von Werten
- **Warum** Typen benutzen?
 - **Fehlervermeidung**: Verhindere eine Art von Programmierfehlern (“eckiger Kreis”)
 - **Laufzeitoptimierung**: Bindung zur Compile-Zeit erspart Entscheidungen zur Laufzeit
- **Muß** man immer Typen verwenden?
 - **Nein**, viele Sprachen kommen ohne aus
 - Assembler, Skriptsprachen, LISP, ...

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Was** ist ein **Typ**?
 - “Eine Einschränkung der möglichen Interpretationen eines Speicherbereiches oder eines anderen Programmkonstrukts.”
 - Eine Menge von Werten
- **Warum** Typen benutzen?
 - **Fehlervermeidung**: Verhindere eine Art von Programmierfehlern (“eckiger Kreis”)
 - **Laufzeitoptimierung**: Bindung zur Compile-Zeit erspart Entscheidungen zur Laufzeit
- **Muß** man immer Typen verwenden?
 - **Nein**, viele Sprachen kommen ohne aus
 - Assembler, Skriptsprachen, LISP, ...

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Was** ist ein **Typ**?
 - “Eine Einschränkung der möglichen Interpretationen eines Speicherbereiches oder eines anderen Programmkonstrukts.”
 - Eine Menge von Werten
- **Warum** Typen benutzen?
 - **Fehlervermeidung**: Verhindere eine Art von Programmierfehlern (“eckiger Kreis”)
 - **Laufzeitoptimierung**: Bindung zur Compile-Zeit erspart Entscheidungen zur Laufzeit
- **Muß** man immer Typen verwenden?
 - **Nein**, viele Sprachen kommen ohne aus
 - Assembler, Skriptsprachen, LISP, ...

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Bei **statischer Typisierung** ist jeder Ausdruck E **entweder**
 - Misstypisiert, **oder**
 - Hat einen statischen Typ T , der ohne Evaluation von E bestimmt werden kann
- E wird bei jeder (fehlerfreien) Evaluation den statischen Typ T haben
- Viele moderne Programmiersprachen bauen auf statische Typüberprüfung auf
 - OO-Sprachen haben aber auch dynamische Typprüfungen zur Laufzeit (Polymorphismus)

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



- Bei **statischer Typisierung** ist jeder Ausdruck E **entweder**
 - **Misstypisiert, oder**
 - Hat einen statischen Typ T , der ohne Evaluation von E bestimmt werden kann
- E wird bei jeder (fehlerfreien) Evaluation den statischen Typ T haben
- Viele moderne Programmiersprachen bauen auf statische Typüberprüfung auf
 - OO-Sprachen haben aber auch dynamische Typprüfungen zur Laufzeit (Polymorphismus)

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



- Bei **statischer Typisierung** ist jeder Ausdruck E **entweder**
 - Misstypisiert, **oder**
 - Hat einen statischen Typ T , der ohne Evaluation von E bestimmt werden kann
- E wird bei jeder (fehlerfreien) Evaluation den statischen Typ T haben
- Viele moderne Programmiersprachen bauen auf statische Typüberprüfung auf
 - OO-Sprachen haben aber auch dynamische Typprüfungen zur Laufzeit (Polymorphismus)

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



- Bei **statischer Typisierung** ist jeder Ausdruck E **entweder**
 - Misstypisiert, **oder**
 - Hat einen statischen Typ T , der ohne Evaluation von E bestimmt werden kann
- E wird bei jeder (fehlerfreien) Evaluation den statischen Typ T haben
- Viele moderne Programmiersprachen bauen auf statische Typüberprüfung auf
 - OO-Sprachen haben aber auch dynamische Typprüfungen zur Laufzeit (Polymorphismus)

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



- Bei **statischer Typisierung** ist jeder Ausdruck E **entweder**
 - Misstypisiert, **oder**
 - Hat einen statischen Typ T , der ohne Evaluation von E bestimmt werden kann
- E wird bei jeder (fehlerfreien) Evaluation den statischen Typ T haben
- Viele moderne Programmiersprachen bauen auf statische Typüberprüfung auf
 - OO-Sprachen haben aber auch dynamische Typprüfungen zur Laufzeit (Polymorphismus)

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



- Bei **statischer Typisierung** ist jeder Ausdruck E **entweder**
 - Misstypisiert, **oder**
 - Hat einen statischen Typ T , der ohne Evaluation von E bestimmt werden kann
- E wird bei jeder (fehlerfreien) Evaluation den statischen Typ T haben
- Viele moderne Programmiersprachen bauen auf statische Typüberprüfung auf
 - OO-Sprachen haben aber auch dynamische Typprüfungen zur Laufzeit (Polymorphismus)

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Generelles Vorgehen

- 1 **Berechne oder leite Typen von Ausdrücken her**
 - Aus den Typen der Teilausdrücke und der Art der Verknüpfung
- 2 **Überprüfe, das Typen der Ausdrücke Anforderungen aus dem Kontext genügen**
 - Beispiel: Bedingung in `if/then` muß einen Boolean liefern



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Generelles Vorgehen

- 1 Berechne oder leite Typen von Ausdrücken her
 - Aus den Typen der Teilausdrücke und der Art der Verknüpfung
- 2 Überprüfe, das Typen der Ausdrücke Anforderungen aus dem Kontext genügen
 - Beispiel: Bedingung in `if/then` muß einen Boolean liefern



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Generelles Vorgehen

- 1 Berechne oder leite Typen von Ausdrücken her
 - Aus den Typen der Teilausdrücke und der Art der Verknüpfung
- 2 Überprüfe, das Typen der Ausdrücke Anforderungen aus dem Kontext genügen
 - Beispiel: Bedingung in `if/then` muß einen Boolean liefern



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Generelles Vorgehen

- 1 Berechne oder leite Typen von Ausdrücken her
 - Aus den Typen der Teilausdrücke und der Art der Verknüpfung
- 2 Überprüfe, das Typen der Ausdrücke Anforderungen aus dem Kontext genügen
 - Beispiel: Bedingung in **if/then** muß einen Boolean liefern



Genauer: Bottom-Up Verfahren für statisch typisierte Programmiersprache

- Typen an den **Blättern** des AST sind bekannt
 - Literale Direkt aus Knoten (true/false, 23, 42, 'a')
 - Variablen Aus Symboltabelle
 - Konstanten Aus Symboltabelle
- Typen der internen Knoten herleitbar aus
 - Typen der Kinder
 - **Typregel** für die Art der Verknüpfung im Ausdruck

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Genauer: Bottom-Up Verfahren für statisch typisierte Programmiersprache

- Typen an den **Blättern** des AST sind bekannt
 - Literale** Direkt aus Knoten (true/false, 23, 42, 'a')
 - Variablen** Aus Symboltabelle
 - Konstanten** Aus Symboltabelle
- Typen der internen Knoten herleitbar aus
 - Typen der Kinder
 - **Typregel** für die Art der Verknüpfung im Ausdruck

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Genauer: Bottom-Up Verfahren für statisch typisierte Programmiersprache

- Typen an den **Blättern** des AST sind bekannt
 - Literale** Direkt aus Knoten (true/false, 23, 42, 'a')
 - Variablen** Aus Symboltabelle
 - Konstanten** Aus Symboltabelle
- Typen der internen Knoten herleitbar aus
 - Typen der Kinder
 - **Typregel** für die Art der Verknüpfung im Ausdruck

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Genauer: Bottom-Up Verfahren für statisch typisierte Programmiersprache

- Typen an den **Blättern** des AST sind bekannt
 - Literale** Direkt aus Knoten (true/false, 23, 42, 'a')
 - Variablen** Aus Symboltabelle
 - Konstanten** Aus Symboltabelle
- Typen der internen Knoten herleitbar aus
 - Typen der Kinder
 - **Typregel** für die Art der Verknüpfung im Ausdruck

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Genauer: Bottom-Up Verfahren für statisch typisierte Programmiersprache

- Typen an den **Blättern** des AST sind bekannt
 - Literale** Direkt aus Knoten (true/false, 23, 42, 'a')
 - Variablen** Aus Symboltabelle
 - Konstanten** Aus Symboltabelle
- Typen der internen Knoten herleitbar aus
 - Typen der Kinder
 - **Typregel** für die Art der Verknüpfung im Ausdruck

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Genauer: Bottom-Up Verfahren für statisch typisierte Programmiersprache

- Typen an den **Blättern** des AST sind bekannt
 - Literale** Direkt aus Knoten (true/false, 23, 42, 'a')
 - Variablen** Aus Symboltabelle
 - Konstanten** Aus Symboltabelle
- Typen der internen Knoten herleitbar aus
 - Typen der Kinder
 - **Typregel** für die Art der Verknüpfung im Ausdruck

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Genauer: Bottom-Up Verfahren für statisch typisierte Programmiersprache

- Typen an den **Blättern** des AST sind bekannt
 - Literale** Direkt aus Knoten (true/false, 23, 42, 'a')
 - Variablen** Aus Symboltabelle
 - Konstanten** Aus Symboltabelle
- Typen der internen Knoten herleitbar aus
 - Typen der Kinder
 - **Typregel** für die Art der Verknüpfung im Ausdruck

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

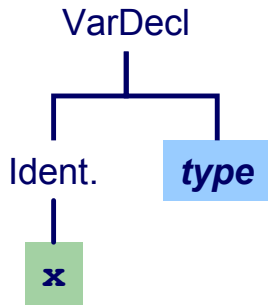
Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel: Typherleitung für Variablen



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

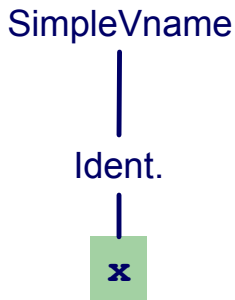
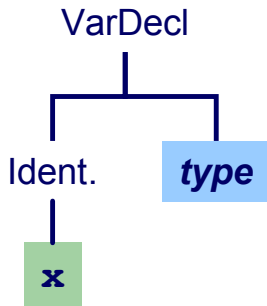
Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel: Typherleitung für Variablen



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

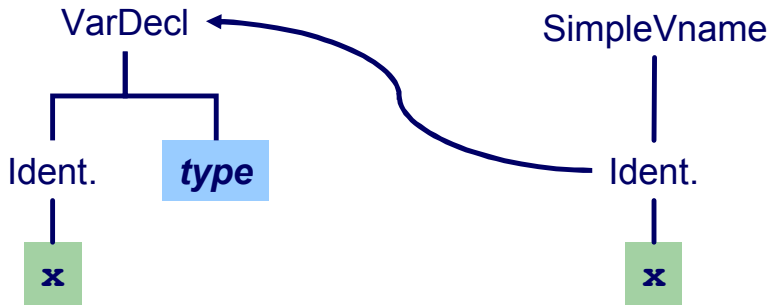
Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel: Typherleitung für Variablen



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

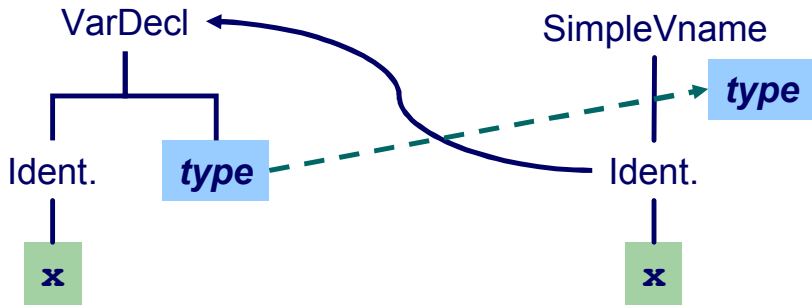
Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel: Typherleitung für Variablen



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

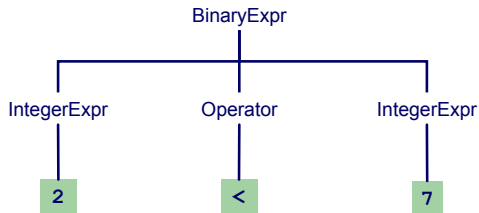
Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel: Typherleitung für Ausdrücke



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

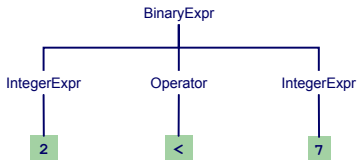
Triangle

Zusammenfassu

Beispiel: Typherleitung für Ausdrücke



Typregel für **Binären Ausdruck**:
Wenn op Operation vom Typ $T_1 \times T_2 \rightarrow R$ ist, dann ist $E_1 op E_2$ typkorrekt und vom Typ R wenn E_1 and E_2 typkorrekt sind und typkompatibel zu T_1 bzw. T_2 sind



Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

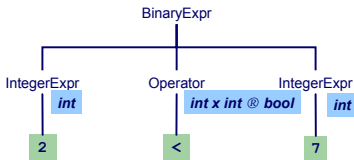
Zusammenfassung

Beispiel: Typherleitung für Ausdrücke



Typregel für Binären Ausdruck:

Wenn op Operation vom Typ $T_1 \times T_2 \rightarrow R$ ist, dann ist $E_1 op E_2$ typkorrekt und vom Typ R wenn E_1 and E_2 typkorrekt sind und typkompatibel zu T_1 bzw. T_2 sind



Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

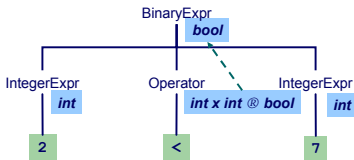
Triangle

Zusammenfassung

Beispiel: Typherleitung für Ausdrücke



Typregel für Binären Ausdruck:
Wenn op Operation vom Typ $T_1 \times T_2 \rightarrow R$ ist, dann ist $E_1 op E_2$ typkorrekt und vom Typ R wenn E_1 und E_2 typkorrekt sind und typkompatibel zu T_1 bzw. T_2 sind



Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



Anweisungen mit Ausdrücken

Typregel für **ifCommand**:

if E **then** $C1$ **else** $C2$

ist **typkorrekt** genau dann, wenn

- E vom Typ Boolean ist und
- $C1$ und $C2$ selbst typkorrekt sind

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Anweisungen mit Ausdrücken

Typregel für **ifCommand**:

`if E then $C1$ else $C2$`

ist **typkorrekt** genau dann, wenn

- E vom Typ Boolean ist und
- $C1$ und $C2$ selbst typkorrekt sind

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Anweisungen mit Ausdrücken

Typregel für **ifCommand**:

`if E then $C1$ else $C2$`

ist **typkorrekt** genau dann, wenn

- E vom Typ Boolean ist und
- $C1$ und $C2$ selbst typkorrekt sind

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

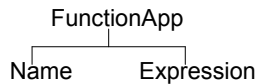
Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel: Typherleitung für Funktionsaufruf

isOdd(42)



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

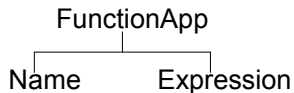
Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel: Typherleitung für Funktionsaufruf

isOdd(42)



Aus Symboltabelle:
isOdd: int -> bool

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

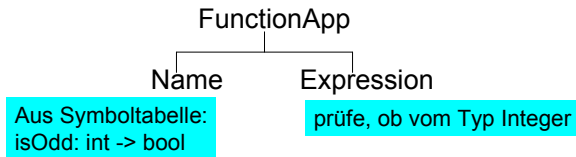
Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel: Typherleitung für Funktionsaufruf

isOdd(42)



Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

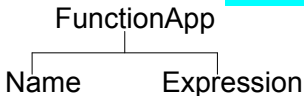
Zusammenfassung

Beispiel: Typherleitung für Funktionsaufruf

isOdd(42)



Kombiniere, dass Knoten vom Typ Boolean



Aus Symboltabelle:
isOdd: int -> bool

prüfe, ob vom Typ Integer

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Typüberprüfung einer Funktionsdefinition



```
func f ( x : ParamType ) : ResultType ~  
Expression
```

- Typprüfung des Körpers `Expression`
- Stelle sicher, dass Ergebnis von `ResultType` ist
- Dann Herleitung: `f: ParamType → ResultType`

Idee: Vereinheitliche Typüberprüfung von Funktionen und Operatoren

- `+`: `Integer × Integer → Integer`
- `<`: `Integer × Integer → Boolean`

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Typüberprüfung einer Funktionsdefinition



```
func f ( x : ParamType ) : ResultType ~  
Expression
```

- Typprüfung des Körpers **Expression**
- Stelle sicher, dass Ergebnis von **ResultType** ist
- Dann Herleitung: **f: ParamType → ResultType**

Idee: Vereinheitliche Typüberprüfung von Funktionen und Operatoren

- **+**: **Integer × Integer → Integer**
- **<**: **Integer × Integer → Boolean**

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Typüberprüfung einer Funktionsdefinition



```
func f ( x : ParamType ) : ResultType ~  
Expression
```

- Typprüfung des Körpers **Expression**
- Stelle sicher, dass Ergebnis von **ResultType** ist
- Dann Herleitung: **f: ParamType → ResultType**

Idee: Vereinheitliche Typüberprüfung von Funktionen und Operatoren

- **+**: **Integer × Integer → Integer**
- **<**: **Integer × Integer → Boolean**

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Typüberprüfung einer Funktionsdefinition



```
func f ( x : ParamType ) : ResultType ~  
Expression
```

- Typprüfung des Körpers **Expression**
- Stelle sicher, dass Ergebnis von **ResultType** ist
- Dann Herleitung: **f: ParamType → ResultType**

Idee: Vereinheitliche Typüberprüfung von Funktionen und Operatoren

- **+**: **Integer × Integer → Integer**
- **<**: **Integer × Integer → Boolean**

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Typüberprüfung einer Funktionsdefinition



```
func f ( x : ParamType ) : ResultType ~  
Expression
```

- Typprüfung des Körpers **Expression**
- Stelle sicher, dass Ergebnis von **ResultType** ist
- Dann Herleitung: **f: ParamType → ResultType**

Idee: Vereinheitliche Typüberprüfung von Funktionen und Operatoren

- **+**: **Integer × Integer → Integer**
- **<**: **Integer × Integer → Boolean**

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Typüberprüfung einer Funktionsdefinition



```
func f ( x : ParamType ) : ResultType ~  
Expression
```

- Typprüfung des Körpers **Expression**
- Stelle sicher, dass Ergebnis von **ResultType** ist
- Dann Herleitung: **f: ParamType → ResultType**

Idee: Vereinheitliche Typüberprüfung von Funktionen und Operatoren

- **+**: **Integer × Integer → Integer**
- **<**: **Integer × Integer → Boolean**

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Kombiniere Identifikation und Typprüfung in **einem** Pass
 - Funktioniert, solange Bindung immer vor Verwendung
 - In (mini-)Triangle der Fall
 - Mögliche Vorgehensweise
 - Tiefensuche von **links nach rechts** durch AST
 - Dabei sowohl Identifikation und Typüberprüfung
 - Speichere Ergebnisse durch **Dekorieren** des ASTs
- (Note: The text 'Speichere Ergebnisse durch Dekorieren des ASTs' is partially obscured by a faint watermark '© 2019 Universität Wien' in the original image.)*

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Algorithmus für Kontextanalyse



- Kombiniere Identifikation und Typprüfung in **einem** Pass
 - Funktioniert, solange Bindung immer vor Verwendung
 - In (mini-)Triangle der Fall
 - Mögliche Vorgehensweise
 - Tiefensuche von **links nach rechts** durch AST
 - Dabei sowohl Identifikation und Typüberprüfung
 - Speichere Ergebnisse durch **Dekorieren** des ASTs
- [Kontextanalyse](#) → [Informallogik](#)

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Kombiniere Identifikation und Typprüfung in **einem** Pass
 - Funktioniert, solange Bindung immer vor Verwendung
 - In (mini-)Triangle der Fall
 - Mögliche Vorgehensweise
 - Tiefensuche von **links nach rechts** durch AST
 - Dabei sowohl Identifikation und Typüberprüfung
 - Speichere Ergebnisse durch **Dekorieren** des ASTs
- (Note: The last two items in the list are faded in the original image.)*

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Kombiniere Identifikation und Typprüfung in **einem** Pass
- Funktioniert, solange Bindung immer vor Verwendung
 - In (mini-)Triangle der Fall
- Mögliche Vorgehensweise
 - Tiefensuche von **links nach rechts** durch AST
 - Dabei sowohl Identifikation und Typüberprüfung
 - Speichere Ergebnisse durch **Dekorieren** des ASTs
 - Hinzufügen weiterer Informationen

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Kombiniere Identifikation und Typprüfung in **einem** Pass
- Funktioniert, solange Bindung immer vor Verwendung
 - In (mini-)Triangle der Fall
- Mögliche Vorgehensweise
 - Tiefensuche von **links nach rechts** durch AST
 - Dabei sowohl Identifikation und Typüberprüfung
 - Speichere Ergebnisse durch **Dekorieren** des ASTs
 - Hinzufügen weiterer Informationen

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Kombiniere Identifikation und Typprüfung in **einem** Pass
- Funktioniert, solange Bindung immer vor Verwendung
 - In (mini-)Triangle der Fall
- Mögliche Vorgehensweise
 - Tiefensuche von **links nach rechts** durch AST
 - Dabei sowohl Identifikation und Typüberprüfung
 - Speichere Ergebnisse durch **Dekorieren** des ASTs
 - Hinzufügen weiterer Informationen

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Kombiniere Identifikation und Typprüfung in **einem** Pass
- Funktioniert, solange Bindung immer vor Verwendung
 - In (mini-)Triangle der Fall
- Mögliche Vorgehensweise
 - Tiefensuche von **links nach rechts** durch AST
 - Dabei sowohl Identifikation und Typüberprüfung
 - Speichere Ergebnisse durch **Dekorieren** des ASTs
 - Hinzufügen weiterer Informationen

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Kombiniere Identifikation und Typprüfung in **einem** Pass
- Funktioniert, solange Bindung immer vor Verwendung
 - In (mini-)Triangle der Fall
- Mögliche Vorgehensweise
 - Tiefensuche von **links nach rechts** durch AST
 - Dabei sowohl Identifikation und Typüberprüfung
 - Speichere Ergebnisse durch **Dekorieren** des ASTs
 - Hinzufügen weiterer Informationen

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

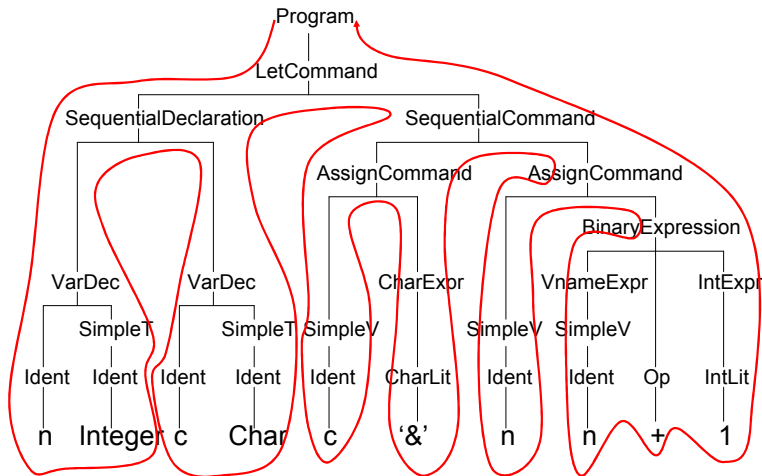
Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

AST-Durchlauf



Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Abstrakter Syntaxbaum



Grammatik von
abstrakter Syntax
von Mini-Triangle

```
Program ::= Command
Command ::= Command ; Command
          | V-name := Expression
          | Identifier ( Expression )
          | if Expression then single-Command
            else single-Command
          | while Expression do single-Command
          | let Declaration in single-Command
Expression ::= Integer-Literal
            | V-name
            | Operator Expression
            | Expression Operator Expression
V-name ::= Identifier
Declaration ::= Declaration ; Declaration
            | const Identifier ~ Expression
            | var Identifier : Type-denoter
Type-denoter ::= Identifier
```

```
Program
SequentialCmd
AssignCmd
CallCmd
IfCmd
WhileCmd
LetCmd
IntegerExpr
VnameExpr
UnaryExpr
BinaryExpr
SimpleVname
SeqDecl
ConstDecl
VarDecl
SimpleTypeDen
```

AST Knoten von Mini-Triangle

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

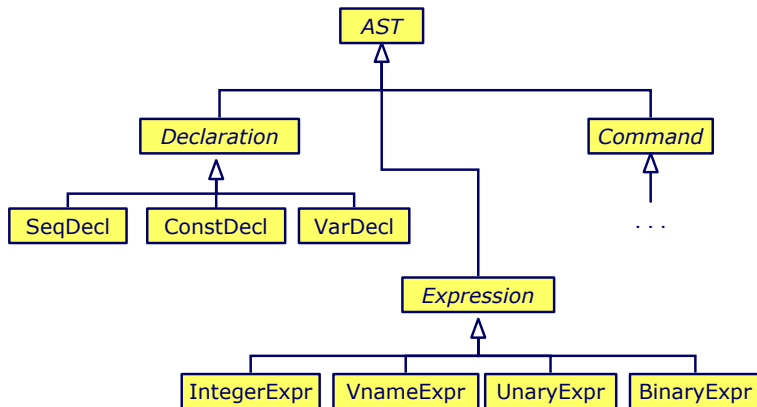
Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Klassenstruktur für AST



Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Klassendefinitionen für AST



Expression ::= Integer-Literal	IntegerExpr
V-name	VnameExpr
Operator Expression	UnaryExpr
Expression Operator Expression	BinaryExpr

```
public class BinaryExpr extends Expression {
    public Expression E1, E2;
    public Operator O;
}

public class UnaryExpr extends Expression {
    public Expression E;
    public Operator O;
}

...
```

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

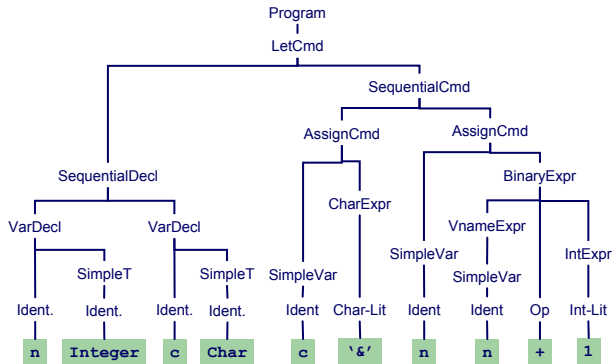
Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Gewünschtes Ergebnis



Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

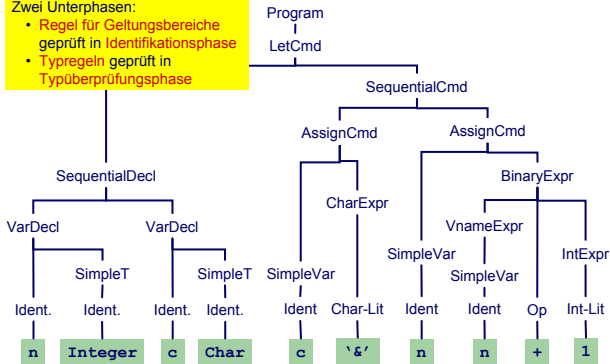
Zusammenfassu

Gewünschtes Ergebnis



Zwei Unterphasen:

- Regel für Geltungsbereiche geprüft in Identifikationsphase
- Typregeln geprüft in Typüberprüfungsphase



Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

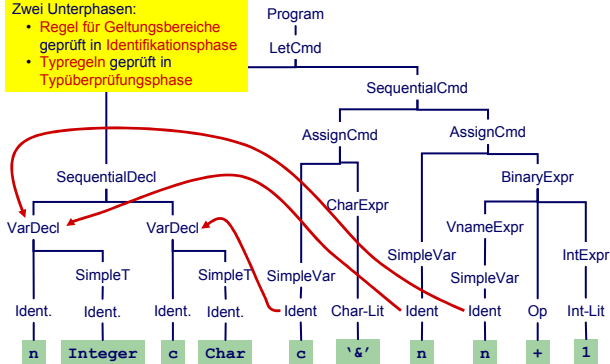
Zusammenfassu

Gewünschtes Ergebnis



Zwei Unterphasen:

- Regel für Geltungsbereiche geprüft in Identifikationsphase
- Typregeln geprüft in Typüberprüfungsphase



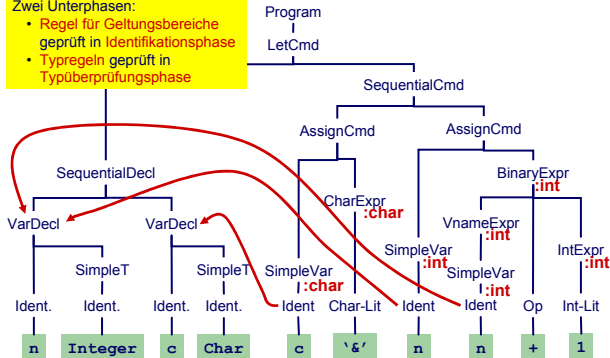
- Orga
- Einleitung
- Symbolverwaltung
- Attribute
- Identifikation
- Typprüfung**
- Implementierung
- Standardumgebung
- Triangle
- Zusammenfassung

Gewünschtes Ergebnis



Zwei Unterphasen:

- Regel für Geltungsbereiche geprüft in Identifikationsphase
- Typregeln geprüft in Typüberprüfungsphase



Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Dekorierung des AST: Datenstruktur



Benötigt Erweiterung einiger AST Knoten um zusätzlich Instanzvariablen.

```
public abstract class Expression extends AST {  
    // Every expression has a type  
    public Type type;  
    ...  
}
```

```
public class Identifier extends Token {  
    // Binding occurrence of this identifier  
    public Declaration decl;  
    ...  
}
```

Wie nun bei Implementierung vorgehen?

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



Implementierung

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

1. Versuch: Dekoration mit OO-Ansatz



- Erweitere jede AST-Subklasse um **Methoden** für
 - Typprüfung, Code-Erzeugung, Pretty-Printing, ...
- In jeder Methode: Durchlauf über Kinder

- **Vorteil** OO-Vorgehen leicht verständlich und implementierbar
- **Nachteil** Verhalten (Prüfung, Erzeugung, ...) ist **verteilt** über alle AST-Klassen, nicht sonderlich **modular**.

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

1. Versuch: Dekoration mit OO-Ansatz



- Erweitere jede AST-Subklasse um **Methoden** für
 - Typprüfung, Code-Erzeugung, Pretty-Printing, ...
- In jeder Methode: Durchlauf über Kinder

- **Vorteil** OO-Vorgehen leicht verständlich und implementierbar
- **Nachteil** Verhalten (Prüfung, Erzeugung, ...) ist **verteilt** über alle AST-Klassen, nicht sonderlich **modular**.

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

1. Versuch: Dekoration mit OO-Ansatz



- Erweitere jede AST-Subklasse um **Methoden** für
 - Typprüfung, Code-Erzeugung, Pretty-Printing, ...
- In jeder Methode: Durchlauf über Kinder

- **Vorteil** OO-Vorgehen leicht verständlich und implementierbar
- **Nachteil** Verhalten (Prüfung, Erzeugung, ...) ist **verteilt** über alle AST-Klassen, nicht sonderlich **modular**.

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

1. Versuch: Dekoration mit OO-Ansatz



- Erweitere jede AST-Subklasse um **Methoden** für
 - Typprüfung, Code-Erzeugung, Pretty-Printing, ...
- In jeder Methode: Durchlauf über Kinder

```
public abstract AST() {  
    public abstract Object check(Object arg);  
    public abstract Object encode(Object arg);  
    public abstract Object prettyPrint(Object arg);  
}  
...  
Program program;  
program.check(null);
```

- **Vorteil** OO-Vorgehen leicht verständlich und implementierbar
- **Nachteil** Verhalten (Prüfung, Erzeugung, ...) ist **verteilt** über alle AST-Klassen, nicht sonderlich **modular**.

1. Versuch: Dekoration mit OO-Ansatz



- Erweitere jede AST-Subklasse um **Methoden** für
 - Typprüfung, Code-Erzeugung, Pretty-Printing, ...
- In jeder Methode: Durchlauf über Kinder

```
public abstract AST() {  
    public abstract Object check(Object arg);  
    public abstract Object encode(Object arg);  
    public abstract Object prettyPrint(Object arg);  
}  
...  
Program program;  
program.check(null);
```

Rückgabewert propagiert Daten
aufwärts im AST

Extra **arg** propagiert Daten
abwärts im AST

- **Vorteil** OO-Vorgehen leicht verständlich und implementierbar
- **Nachteil** Verhalten (Prüfung, Erzeugung, ...) ist **verteilt** über alle AST-Klassen, nicht sonderlich **modular**.

1. Versuch: Dekoration mit OO-Ansatz



- Erweitere jede AST-Subklasse um **Methoden** für
 - Typprüfung, Code-Erzeugung, Pretty-Printing, ...
- In jeder Methode: Durchlauf über Kinder

```
public abstract AST() {  
    public abstract Object check(Object arg);  
    public abstract Object encode(Object arg);  
    public abstract Object prettyPrint(Object arg);  
}  
...  
Program program;  
program.check(null);
```

- **Vorteil** OO-Vorgehen leicht verständlich und implementierbar
- **Nachteil** Verhalten (Prüfung, Erzeugung, ...) ist **verteilt** über alle AST-Klassen, nicht **sonderlich modular**.

1. Versuch: Dekoration mit OO-Ansatz



- Erweitere jede AST-Subklasse um **Methoden** für
 - Typprüfung, Code-Erzeugung, Pretty-Printing, ...
- In jeder Methode: Durchlauf über Kinder

```
public abstract AST() {  
    public abstract Object check(Object arg);  
    public abstract Object encode(Object arg);  
    public abstract Object prettyPrint(Object arg);  
}  
...  
Program program;  
program.check(null);
```

Rückgabewert propagiert Daten
aufwärts im AST

Extra **arg** propagiert Daten
abwärts im AST

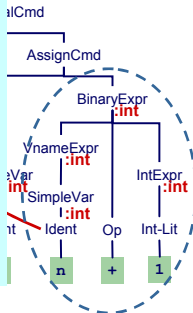
- **Vorteil** OO-Vorgehen leicht verständlich und implementierbar
- **Nachteil** Verhalten (Prüfung, Erzeugung, ...) ist **verteilt** über alle AST-Klassen, nicht sonderlich **modular**.

Beispiel: Dekorierung via OO Ansatz



```
public abstract class Expression extends AST {
    public Type type;
    ...
}
public class BinaryExpr extends Expression {
    public Expression E1, E2;
    public Operator O;

    public Object check(Object arg) {
        Type t1 = (Type) E1.check(null);
        Type t2 = (Type) E2.check(null);
        Op op = (Op) O.check(null);
        Type result = op.compatible(t1, t2);
        if (result == null)
            report type error
        return result;
    }
    ...
}
```



Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Beispiel: Dekorierung via OO Ansatz

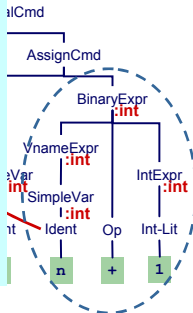


```
public abstract class Expression extends AST {
    public Type type;
    ...
}
public class BinaryExpr extends Expression {
    public Expression E1, E2;
    public Operator O;

    public Object check(Object arg) {
        Type t1 = (Type) E1.check(null);
        Type t2 = (Type) E2.check(null);
        Op op = (Op) O.check(null);
        Type result = op.compatible(t1, t2);
        if (result == null)
            report type error
        return result;
    }
    ...
}
```

oder

```
Object[] tmp = new Object[2];
tmp[0] = t1; tmp[1] = t2;
Type result = (Type) O.check(tmp);
```



Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

2. Versuch: "Funktionaler" Ansatz



Besser (?): Hier alles Verhalten zusammen in einer Methode

```
Type check(Expr e) {
  if (e instanceof IntLitExpr)
    return representation of type int
  else if (e instanceof BoolLitExpr)
    return representation of type bool
  else if (e instanceof EqExpr) {
    Type t = check(((EqExpr)e).left);
    Type u = check(((EqExpr)e).right);
    if (t == representation of type int &&
        u == representation of type int)
      return representation of type bool
    ...
  }
```

➡ Nicht sonderlich OO, ignoriert eingebauten Dispatcher

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Alternative: Entwurfsmuster “Besucher”



- Engl. *Visitor Pattern*
- 1994 Gamma, Johnson, Helm, Vlissides (GoF)
- Neue Operationen auf Teilelementen (**part-of**) eines Objekts (z.B. AST)
- ... **ohne** Änderung der Klassen der Objekte
- Besonders nützlich wenn
 - viele unterschiedliche und
 - unzusammenhängende Operationen
- ... ausgeführt werden müssen
- **ohne** die Klassen der Teilelemente aufzublähen

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Alternative: Entwurfsmuster “Besucher”



- Engl. *Visitor Pattern*
- 1994 Gamma, Johnson, Helm, Vlissides (GoF)
- Neue Operationen auf Teilelementen (**part-of**) eines Objekts (z.B. AST)
- ... **ohne** Änderung der Klassen der Objekte
- Besonders nützlich wenn
 - viele unterschiedliche und
 - unzusammenhängende Operationen
- ... ausgeführt werden müssen
- **ohne** die Klassen der Teilelemente aufzublähen

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Alternative: Entwurfsmuster “Besucher”



- Engl. *Visitor Pattern*
- 1994 Gamma, Johnson, Helm, Vlissides (GoF)
- Neue Operationen auf Teilelementen (**part-of**) eines Objekts (z.B. AST)
- ... ohne Änderung der Klassen der Objekte
- Besonders nützlich wenn
 - viele unterschiedliche und
 - unzusammenhängende Operationen
- ... ausgeführt werden müssen
- ohne die Klassen der Teilelemente aufzublähen

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Alternative: Entwurfsmuster “Besucher”



- Engl. *Visitor Pattern*
- 1994 Gamma, Johnson, Helm, Vlissides (GoF)
- Neue Operationen auf Teilelementen (**part-of**) eines Objekts (z.B. AST)
- ... **ohne** Änderung der Klassen der Objekte
- Besonders nützlich wenn
 - viele unterschiedliche und
 - unzusammenhängende Operationen
- ... ausgeführt werden müssen
- **ohne** die Klassen der Teilelemente aufzublähen

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Alternative: Entwurfsmuster “Besucher”



- Engl. *Visitor Pattern*
- 1994 Gamma, Johnson, Helm, Vlissides (GoF)
- Neue Operationen auf Teilelementen (**part-of**) eines Objekts (z.B. AST)
- ... **ohne** Änderung der Klassen der Objekte
- Besonders nützlich wenn
 - viele unterschiedliche und
 - unzusammenhängende Operationen
- ... ausgeführt werden müssen
- **ohne** die Klassen der Teilelemente aufzublähen

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Alternative: Entwurfsmuster “Besucher”



- Engl. *Visitor Pattern*
- 1994 Gamma, Johnson, Helm, Vlissides (GoF)
- Neue Operationen auf Teilelementen (**part-of**) eines Objekts (z.B. AST)
- ... **ohne** Änderung der Klassen der Objekte
- Besonders nützlich wenn
 - viele unterschiedliche und
 - unzusammenhängende Operationen
- ... ausgeführt werden müssen
- **ohne** die Klassen der Teilelemente aufzublähen

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Alternative: Entwurfsmuster “Besucher”



- Engl. *Visitor Pattern*
- 1994 Gamma, Johnson, Helm, Vlissides (GoF)
- Neue Operationen auf Teilelementen (**part-of**) eines Objekts (z.B. AST)
- ... **ohne** Änderung der Klassen der Objekte
- Besonders nützlich wenn
 - viele unterschiedliche und
 - unzusammenhängende Operationen
- ... ausgeführt werden müssen
- **ohne** die Klassen der Teilelemente aufzublähen

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Alternative: Entwurfsmuster “Besucher”



- Engl. *Visitor Pattern*
- 1994 Gamma, Johnson, Helm, Vlissides (GoF)
- Neue Operationen auf Teilelementen (**part-of**) eines Objekts (z.B. AST)
- ... **ohne** Änderung der Klassen der Objekte
- Besonders nützlich wenn
 - viele unterschiedliche und
 - unzusammenhängende Operationen
- ... ausgeführt werden müssen
- **ohne** die Klassen der Teilelemente aufzublähen

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Alternative: Entwurfsmuster “Besucher”



- Engl. *Visitor Pattern*
- 1994 Gamma, Johnson, Helm, Vlissides (GoF)
- Neue Operationen auf Teilelementen (**part-of**) eines Objekts (z.B. AST)
- ... **ohne** Änderung der Klassen der Objekte
- Besonders nützlich wenn
 - viele unterschiedliche und
 - unzusammenhängende Operationen
- ... ausgeführt werden müssen
- **ohne** die Klassen der Teilelemente aufzublähen

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Eigenschaften des Visitor-Pattern



- Operationen können mit dem Visitor-Pattern leicht **hinzugefügt** werden
- Visitor sammelt zusammengehörige Operationen und trennt sie von unverwandten
- Visitor durchbricht Kapselung
- Parameter und Return-Typen müssen in allen Visitors gleich sein
- Hängt stark von Klassenstruktur ab
- ... Visitor problematisch, wenn die Struktur sich noch ändert

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Eigenschaften des Visitor-Pattern



- Operationen können mit dem Visitor-Pattern leicht **hinzugefügt** werden
- Visitor sammelt zusammengehörige Operationen und trennt sie von unverwandten
- Visitor durchbricht Kapselung
- Parameter und Return-Typen müssen in allen Visitors gleich sein
- Hängt stark von Klassenstruktur ab
- ... Visitor problematisch, wenn die Struktur sich noch ändert

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Eigenschaften des Visitor-Pattern



- Operationen können mit dem Visitor-Pattern leicht **hinzugefügt** werden
- Visitor sammelt zusammengehörige Operationen und trennt sie von unverwandten
- Visitor durchbricht Kapselung
- Parameter und Return-Typen müssen in allen Visitors gleich sein
- Hängt stark von Klassenstruktur ab
- ... Visitor problematisch, wenn die Struktur sich noch ändert

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Eigenschaften des Visitor-Pattern



- Operationen können mit dem Visitor-Pattern leicht **hinzugefügt** werden
- Visitor sammelt zusammengehörige Operationen und trennt sie von unverwandten
- Visitor durchbricht Kapselung
- Parameter und Return-Typen müssen in allen Visitors gleich sein
- Hängt stark von Klassenstruktur ab
- ... Visitor problematisch, wenn die Struktur sich noch ändert

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Eigenschaften des Visitor-Pattern



- Operationen können mit dem Visitor-Pattern leicht **hinzugefügt** werden
- Visitor sammelt zusammengehörige Operationen und trennt sie von unverwandten
- Visitor durchbricht Kapselung
- Parameter und Return-Typen müssen in allen Visitors gleich sein
- Hängt stark von Klassenstruktur ab
- ... Visitor problematisch, wenn die Struktur sich noch ändert

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Eigenschaften des Visitor-Pattern



- Operationen können mit dem Visitor-Pattern leicht **hinzugefügt** werden
- Visitor sammelt zusammengehörige Operationen und trennt sie von unverwandten
- Visitor durchbricht Kapselung
- Parameter und Return-Typen müssen in allen Visitors gleich sein
- Hängt stark von Klassenstruktur ab
- ... Visitor problematisch, wenn die Struktur sich noch ändert

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



- Definiere `visitor`-Schnittstelle für Besuch von AST-Knoten
- Füge zu jeder AST-Subklasse `xyz` **eine einzelne** `visit`-Methode hinzu
 - In der Literatur auch `accept` genannt, hier Konflikt mit Parser
- Rufe dort Methode `visitxyz` der `visitor`-Klasse auf

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Definiere `visitor`-Schnittstelle für Besuch von AST-Knoten
- Füge zu jeder AST-Subklasse `xyz` **eine einzelne `visit`-Methode** hinzu
 - In der Literatur auch `accept` genannt, hier Konflikt mit Parser
- Rufe dort Methode `visitxyz` der `visitor`-Klasse auf

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Definiere `visitor`-Schnittstelle für Besuch von AST-Knoten
- Füge zu jeder AST-Subklasse `xyz` **eine einzelne `visit`-Methode** hinzu
 - In der Literatur auch **`accept`** genannt, hier Konflikt mit Parser
- Rufe dort Methode `visitxyz` der `visitor`-Klasse auf

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Definiere **visitor**-Schnittstelle für Besuch von AST-Knoten
- Füge zu jeder AST-Subklasse **xyz** **eine einzelne visit-Methode** hinzu
 - In der Literatur auch **accept** genannt, hier Konflikt mit Parser
- Rufe dort Methode **visitxyz** der **visitor**-Klasse auf

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Definiere **visitor**-Schnittstelle für Besuch von AST-Knoten
- Füge zu jeder AST-Subklasse **xyz** **eine einzelne visit-Methode** hinzu
 - In der Literatur auch **accept** genannt, hier Konflikt mit Parser
- Rufe dort Methode **visitXYZ** der **visitor**-Klasse auf

```
public abstract AST() {
    public abstract Object visit(Visitor v, Object arg);
}
public class AssignCmd extends Command {
    public Object visit(Visitor v, Object arg) {
        return v.visitAssignCmd(this, arg);
    }
}
```

Benutzung von Visitors 1



- Definiere **visitor**-Schnittstelle für Besuch von AST-Knoten
- Füge zu jeder AST-Subklasse **xyz** **eine einzelne visit**-Methode hinzu
 - In der Literatur auch **accept** genannt, hier Konflikt mit Parser
- Rufe dort Methode **visitXYZ** der **visitor**-Klasse auf

```
public abstract AST() {
    public abstract Object visit(Visitor v, Object arg);
}
public class AssignCmd extends Command {
    public Object visit(Visitor v, Object arg) {
        return v.visitAssignCmd(this, arg);
    }
}
```

Unterschiedliche Implementierungen der Methode realisieren die geforderte Funktionalität (Typüberprüfung, Code-Erzeugung, ...)

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Benutzung von Visitors 2



```
public interface Visitor {
    public Object visitProgram
        (Program prog, Object arg);
    ...
    public Object visitAssignCmd
        (AssignCmd cmd, Object arg);
    public Object visitSequentialCmd
        (SequentialCmd cmd, Object arg);
    ...
    public Object visitVnameExpression
        (VnameExpression e, Object arg);
    public Object visitBinaryExpression
        (BinaryExpression e, Object arg);
    ...
}
```

```
public class XYZ extends ... {
    Object visit(Visitor v, Object arg) {
        return v.visitXYZ(this, arg);
    }
}
```

Interface Visitor definiert `visitXYZ` für alle Subklassen `XYZ` von AST

```
public Object visitXYZ
    (XYZ x, Object arg);
```

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Jetzt alle benötigten Methoden zusammen in einer Klasse

```
public class Checker implements Visitor {  
  
    private SymbolTable symtab;  
  
    public void check(Program prog) {  
        symtab = new SymbolTable();  
        prog.visit(this, null);  
    }  
  
    ... + implementations of all methods of Visitor  
}
```

Wurzelknoten des AST

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Beispiel: AssignCmd



Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

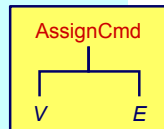
Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

```
public class XYZ extends ... {  
    Object visit(Visitor v,  
                Object arg) {  
        return v.visitXYZ(this, arg);  
    }  
}
```

```
public Object visitAssignCmd  
    (AssignCmd com, Object arg) {  
    Type vType = (Type) com.V.visit(this, null);  
    Type eType = (Type) com.E.visit(this, null);  
    if (! com.V.variable)  
        error: left side is not a variable  
    if (! eType.equals(vType))  
        error: types are not equivalent  
    return null;  
}
```



Beispiel: LetCmd



Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

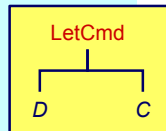
Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

```
public class XYZ extends ... {  
    Object visit(Visitor v,  
                Object arg) {  
        return v.visitXYZ(this, arg);  
    }  
}
```

```
public Object visitLetCmd  
    (LetCmd com, Object arg) {  
    symtab.openScope();  
    com.D.visit(this, null);  
    com.C.visit(this, null);  
    symtab.closeScope();  
    return null;  
}
```



letCmd **öffnet** (und **schließt**) eine Ebene von Geltungsbereichen in **Symboltabelle**.

Beispiel: IfCmd



Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

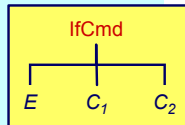
Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

```
public class XYZ extends ... {  
    Object visit(Visitor v,  
                Object arg) {  
        return v.visitXYZ(this, arg);  
    }  
}
```

```
public Object visitIfCmd  
    (IfCmd com, Object arg) {  
    Type eType = (Type)com.E.visit(this, null);  
    if (! eType.equals(Type.bool))  
        error: condition is not a boolean  
    com.C1.visit(this, null);  
    com.C2.visit(this, null);  
    return null;  
}
```



Beispiel: IntegerExpr



Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

```
public class XYZ extends ... {  
    Object visit(Visitor v,  
                Object arg) {  
        return v.visitXYZ(this, arg);  
    }  
}
```

```
public Object visitIntegerExpr  
    (IntegerExpr expr, Object arg) {  
    expr.type = Type.int;  
    return expr.type;  
}
```

Dekoriere den IntegerExpr
Knoten im AST

IntegerExpr

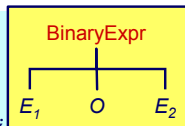
|
IL

nicht ins Terminal
IL absteigen

Beispiel: BinaryExpr



```
public Object visitBinaryExpr
    (BinaryExpr expr, Object arg) {
    Type e1Type = (Type) expr.E1.visit(this, null);
    Type e2Type = (Type) expr.E2.visit(this, null);
    OperatorDeclaration opdecl =
        (OperatorDeclaration) expr.O.visit(this, null);
    if (opdecl == null) {
        error: no such operator
        expr.type = Type.error;
    } else if (opdecl instanceof BinaryOperatorDeclaration) {
        BinaryOperatorDeclaration bopdecl =
            (BinaryOperatorDeclaration) opdecl;
        if (! e1Type.equals(bopdecl.operand1Type))
            error: left operand has the wrong type
        if (! e2Type.equals(bopdecl.operand2Type))
            error: right operand has the wrong type
        expr.type = bopdecl.resultType;
    } else {
        error: operator is not a binary operator
        expr.type = Type.error;
    }
    return expr.type;
}
```



Weitere Methoden in
PLPJ.

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Beispiel: VarDecl und ConstDecl



// Declaration checking

```
public Object visitVarDeclaration (VarDeclaration decl, Object arg) {  
    decl.T.visit(this, null);  
    idTable.enter(decl.I.spelling, decl);  
    return null;  
}
```

```
public Object visitConstDeclaration (ConstDeclaration decl, Object arg) {  
    decl.E.visit(this, null);  
    idTable.enter(decl.I.spelling, decl);  
    return null;  
}
```

...

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Beispiel: simpleVName



```
// VName checking
public Object visitSimpleVName (SimpleVname vname, Object arg) {
    Declaration decl = vname.l.visit(this, null);
    if (decl==null) {
        // error: VName not declared
    } else if (decl instanceof ConstDeclaration) {
        vname.type = ((ConstDeclaration) decl).E.type;
        vname.variable = false;
    } else if (decl instanceof VarDeclaration) {
        vname.type = ((VarDeclaration) decl).T.type;
        vname.variable = true;
    }
    return vname.type;
}
```

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Zusammenfassung aller `visitXYZ`-Methoden



Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Program	<code>visitProgram</code>	<ul style="list-style-type: none">• return <code>null</code>
Command	<code>visit..Cmd</code>	<ul style="list-style-type: none">• return <code>null</code>
Expression	<code>visit..Expr</code>	<ul style="list-style-type: none">• dekoriere ihn mit seinem <code>Typ</code>• return <code>Typ</code>
Vname	<code>visitSimpleVname</code>	<ul style="list-style-type: none">• dekoriere ihn mit seinem <code>Typ</code>• setze <code>Flag</code>, falls <code>Variable</code>• return <code>Typ</code>
Declaration	<code>visit..Decl</code>	<ul style="list-style-type: none">• trage alle deklarierten Bezeichner in <code>Symboltabelle</code> ein• return <code>null</code>
TypeDenoter	<code>visit..TypeDenoter</code>	<ul style="list-style-type: none">• dekoriere ihn mit seinem <code>Typ</code>• return <code>Typ</code>
Identifizier	<code>visitIdentifizier</code>	<ul style="list-style-type: none">• prüfe ob Bezeichner deklariert ist• verweise auf bindende Deklaration• return diese Deklaration
Operator	<code>visitOperator</code>	<ul style="list-style-type: none">• prüfe ob Operator deklariert ist• verweise auf bindende Deklaration• return diese Deklaration

Ausnutzung von Overloading



Ersetze in Java

```
public class SomePass implements Visitor {  
    ...  
    public Object visitXYZ(XYZ x, Object arg); ...  
}
```

durch:

```
public class SomePass implements Visitor {  
    ...  
    public Object visit(XYZ x ,Object arg); ...  
}
```

Unklar: `visit` in AST-Subklasse, `visit` in Visitor

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Ausnutzung von Overloading



Ersetze in Java

```
public class SomePass implements Visitor {  
    ...  
    public Object visitXYZ(XYZ x, Object arg); ...  
}
```

durch:

```
public class SomePass implements Visitor {  
    ...  
    public Object visit(XYZ x ,Object arg); ...  
}
```

Unklar: `visit` in AST-Subklasse, `visit` in Visitor

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Standardumgebung

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Wo kommen Definitionen her z.B. von ...
 - `Integer, Char, Boolean`
 - `true, false`
 - `putint, getint`
 - `+, -, *`
- Müssen vorliegen, damit Algorithmus funktionieren kann.

➔ **Vorher** definieren (leicht gesagt ...)

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



- Wo kommen Definitionen her z.B. von ...
 - **Integer, Char, Boolean**
 - `true, false`
 - `putint, getint`
 - `+, -, *`
- Müssen vorliegen, damit Algorithmus funktionieren kann.

➔ **Vorher** definieren (leicht gesagt ...)

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



- Wo kommen Definitionen her z.B. von ...
 - **Integer, Char, Boolean**
 - **true, false**
 - `putint, getint`
 - `+, -, *`
- Müssen vorliegen, damit Algorithmus funktionieren kann.

➔ **Vorher** definieren (leicht gesagt ...)

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



- Wo kommen Definitionen her z.B. von ...
 - **Integer, Char, Boolean**
 - **true, false**
 - **putint, getint**
 - **+, -, ***
- Müssen vorliegen, damit Algorithmus funktionieren kann.

➔ **Vorher** definieren (leicht gesagt ...)

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



- Wo kommen Definitionen her z.B. von ...
 - **Integer, Char, Boolean**
 - **true, false**
 - **putint, getint**
 - **+, -, ***
- Müssen vorliegen, damit Algorithmus funktionieren kann.

➔ **Vorher** definieren (leicht gesagt ...)

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



- Wo kommen Definitionen her z.B. von ...
 - **Integer, Char, Boolean**
 - **true, false**
 - **putint, getint**
 - **+, -, ***
- Müssen vorliegen, damit Algorithmus funktionieren kann.

➔ **Vorher** definieren (leicht gesagt ...)

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



- Wo kommen Definitionen her z.B. von ...
 - **Integer, Char, Boolean**
 - **true, false**
 - **putint, getint**
 - **+, -, ***
- Müssen vorliegen, damit Algorithmus funktionieren kann.

➔ **Vorher** definieren (leicht gesagt ...)

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



- Wo kommen Definitionen her z.B. von ...
 - **Integer, Char, Boolean**
 - **true, false**
 - **putint, getint**
 - **+, -, ***
- Müssen vorliegen, damit Algorithmus funktionieren kann.

➔ **Vorher** definieren (leicht gesagt ...)

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Mini-Triangle: Eingebaute (primitive) Typen 1



Entsprechende Type-Objekte als Singletons anlegen

```
public class Type {  
    private byte kind; // INT, BOOL or ERROR  
    public static final byte  
        BOOL=0, INT=1, ERROR=-1;  
  
    private Type(byte kind) { ... }  
  
    public boolean equals(Object other) { ... }  
  
    public static Type boolT = new Type(BOOL);    // eingebaute Typen!  
    public static Type intT  = new Type(INT);  
    public static Type errorT = new Type(ERROR);  
}
```

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Mini-Triangle: Eingebaute (primitive) Typen 2



Damit jetzt möglich

```
// Type denoter checking
public Object visitSimpleTypeDen (SimpleTypeDen den, Object arg) {
    if (den.l.spelling.equals("Integer"))
        den.type = Type.intT;
    else if (den.l.spelling.equals("Boolean"))
        den.type = Type.boolT;
    else {
        // error: unknown type denoter
        den.type = Type.errorT;
    }
    return den.type;
}
```

...

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Handhabung von Standardumgebung

- Einlesen von Definitionen aus Quelltext
 - Ada, Haskell, VHDL, ...
- Direkt im Compiler implementiert
 - Pascal, teilweise C, Java, ...
 - (mini)-Triangle
- In beiden Fällen
 - Primitive Operationen nicht weiter in Eingabesprache beschreibbar
 - "black boxes", nur Deklarationen sichtbar
- Geltungsbereich der Standardumgebung
 - Ebene 0: Um gesamtes Programm herum oder
 - Ebene 1: Auf Ebene der globalen Deklarationen im Programm



Handhabung von Standardumgebung

- Einlesen von Definitionen aus Quelltext
 - Ada, Haskell, VHDL, ...
- Direkt im Compiler implementiert
 - Pascal, teilweise C, Java, ...
 - (mini)-Triangle
- In beiden Fällen
 - Primitive Operationen nicht weiter in Eingabesprache beschreibbar
 - "black boxes", nur Deklarationen sichtbar
- Geltungsbereich der Standardumgebung
 - Ebene 0: Um gesamtes Programm herum oder
 - Ebene 1: Auf Ebene der globalen Deklarationen im Programm

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Handhabung von Standardumgebung

- Einlesen von Definitionen aus Quelltext
 - Ada, Haskell, VHDL, ...
- Direkt im Compiler implementiert
 - Pascal, teilweise C, Java, ...
 - (mini)-Triangle
- In beiden Fällen
 - Primitive Operationen nicht weiter in Eingabesprache beschreibbar
 - ➔ "black boxes", nur Deklarationen sichtbar
- Geltungsbereich der Standardumgebung
 - Ebene 0: Um gesamtes Programm herum oder
 - Ebene 1: Auf Ebene der globalen Deklarationen im Programm



Handhabung von Standardumgebung

- Einlesen von Definitionen aus Quelltext
 - Ada, Haskell, VHDL, ...
- Direkt im Compiler implementiert
 - Pascal, teilweise C, Java, ...
 - (mini)-Triangle
- In beiden Fällen
 - Primitive Operationen nicht weiter in Eingabesprache beschreibbar
 - ➔ "black boxes", nur Deklarationen sichtbar
- Geltungsbereich der Standardumgebung
 - Ebene 0: Um gesamtes Programm herum oder
 - Ebene 1: Auf Ebene der globalen Deklarationen im Programm

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Handhabung von Standardumgebung

- Einlesen von Definitionen aus Quelltext
 - Ada, Haskell, VHDL, ...
- Direkt im Compiler implementiert
 - Pascal, teilweise C, Java, ...
 - (mini)-Triangle
- In beiden Fällen
 - Primitive Operationen nicht weiter in Eingabesprache beschreibbar
 - ➔ "black boxes", nur Deklarationen sichtbar
- Geltungsbereich der Standardumgebung
 - Ebene 0: Um gesamtes Programm herum oder
 - Ebene 1: Auf Ebene der globalen Deklarationen im Programm

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



Handhabung von Standardumgebung

- Einlesen von Definitionen aus Quelltext
 - Ada, Haskell, VHDL, ...
- Direkt im Compiler implementiert
 - Pascal, teilweise C, Java, ...
 - (mini)-Triangle
- In beiden Fällen
 - Primitive Operationen nicht weiter in Eingabesprache beschreibbar
 - ➔ "black boxes", nur Deklarationen sichtbar
- Geltungsbereich der Standardumgebung
 - Ebene 0: Um gesamtes Programm herum oder
 - Ebene 1: Auf Ebene der globalen Deklarationen im Programm

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Handhabung von Standardumgebung

- Einlesen von Definitionen aus Quelltext
 - Ada, Haskell, VHDL, ...
- Direkt im Compiler implementiert
 - Pascal, teilweise C, Java, ...
 - (mini)-Triangle
- In beiden Fällen
 - Primitive Operationen nicht weiter in Eingabesprache beschreibbar
 - ↳ “black boxes”, nur Deklarationen sichtbar
- Geltungsbereich der Standardumgebung
 - Ebene 0: Um gesamtes Programm herum oder
 - Ebene 1: Auf Ebene der globalen Deklarationen im Programm

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



Handhabung von Standardumgebung

- Einlesen von Definitionen aus Quelltext
 - Ada, Haskell, VHDL, ...
- Direkt im Compiler implementiert
 - Pascal, teilweise C, Java, ...
 - (mini)-Triangle
- In beiden Fällen
 - Primitive Operationen nicht weiter in Eingabesprache beschreibbar
 - ↳ “black boxes”, nur Deklarationen sichtbar
- Geltungsbereich der Standardumgebung
 - Ebene 0: Um gesamtes Programm herum **oder**
 - Ebene 1: Auf Ebene der globalen Deklarationen im Programm

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



Handhabung von Standardumgebung

- Einlesen von Definitionen aus Quelltext
 - Ada, Haskell, VHDL, ...
- Direkt im Compiler implementiert
 - Pascal, teilweise C, Java, ...
 - (mini)-Triangle
- In beiden Fällen
 - Primitive Operationen nicht weiter in Eingabesprache beschreibbar
 - ↳ “black boxes”, nur Deklarationen sichtbar
- Geltungsbereich der Standardumgebung
 - Ebene 0: Um gesamtes Programm herum **oder**
 - Ebene 1: Auf Ebene der globalen Deklarationen im Programm

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



Handhabung von Standardumgebung

- Einlesen von Definitionen aus Quelltext
 - Ada, Haskell, VHDL, ...
- Direkt im Compiler implementiert
 - Pascal, teilweise C, Java, ...
 - (mini)-Triangle
- In beiden Fällen
 - Primitive Operationen nicht weiter in Eingabesprache beschreibbar
 - ↳ “black boxes”, nur Deklarationen sichtbar
- Geltungsbereich der Standardumgebung
 - Ebene 0: Um gesamtes Programm herum **oder**
 - Ebene 1: Auf Ebene der globalen Deklarationen im Programm

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Triangle

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Idee: Trage **Deklarationen** vorher direkt in AST ein
- Wohlgemerkt: **Ohne** konkrete Realisierung
 - Behandlung als Sonderfälle während Optimierung und Code-Erzeugung
- Deklarationen als Sub-ASTs **ohne** Definition

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



- Idee: Trage **Deklarationen** vorher direkt in AST ein
- Wohlgemerkt: **Ohne** konkrete Realisierung
 - Behandlung als Sonderfälle während Optimierung und Code-Erzeugung
- Deklarationen als Sub-ASTs **ohne** Definition

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

Standardumgebung: Realisierung in Triangle 1



- Idee: Trage **Deklarationen** vorher direkt in AST ein
- Wohlgemerkt: **Ohne** konkrete Realisierung
 - Behandlung als Sonderfälle während Optimierung und Code-Erzeugung
- Deklarationen als Sub-ASTs **ohne** Definition

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Idee: Trage **Deklarationen** vorher direkt in AST ein
- Wohlgemerkt: **Ohne** konkrete Realisierung
 - Behandlung als Sonderfälle während Optimierung und Code-Erzeugung
- Deklarationen als Sub-ASTs **ohne** Definition

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

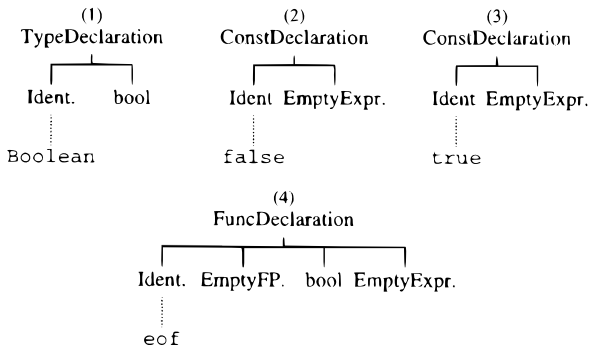
Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass



Beispiel: `Boolean`, `false`, `true`, `eof()` : `Boolean`



Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

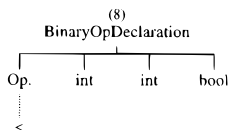
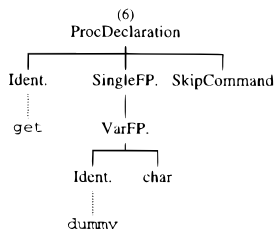
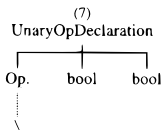
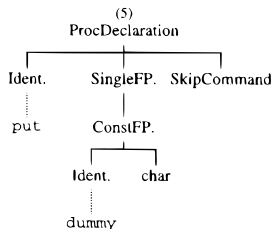
Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



Beispiel: `put (c) , get (var c) , \ b, e1 < e2`



Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



Eintragen der Umgebung am Anfang der syntaktischen Analyse

```
private void establishStdEnvironment () {  
    // idTable.startIdentification();  
    StdEnvironment.booleanType = new BoolTypeDenoter(dummyPos);  
    StdEnvironment.integerType = new IntTypeDenoter(dummyPos);  
    StdEnvironment.charType = new CharTypeDenoter(dummyPos);  
    StdEnvironment.anyType = new AnyTypeDenoter(dummyPos);  
    StdEnvironment.errorType = new ErrorTypeDenoter(dummyPos);  
  
    StdEnvironment.booleanDecl = declareStdType("Boolean", StdEnvironment.booleanType);  
    StdEnvironment.falseDecl = declareStdConst("false", StdEnvironment.booleanType);  
    StdEnvironment.trueDecl = declareStdConst("true", StdEnvironment.booleanType);  
    StdEnvironment.notDecl = declareStdUnaryOp("\\", StdEnvironment.booleanType, StdEnvironment.booleanType);  
}
```

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



Anlegen einer vorbelegten Konstante

```
// Creates a small AST to represent the "declaration" of a standard  
// type, and enters it in the identification table.
```

```
private ConstDeclaration declareStdConst (String id, TypeDenoter constType) {  
  
    IntegerExpression constExpr;  
    ConstDeclaration binding;  
  
    // constExpr used only as a placeholder for constType  
    constExpr = new IntegerExpression(null, dummyPos);  
    constExpr.type = constType;  
    binding = new ConstDeclaration(new Identifier(id, dummyPos), constExpr, dummyPos);  
    idTable.enter(id, binding);  
    return binding;  
}
```

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Mini-Triangle: Nur primitive Typen

- Einfach:
- Beispiel: `if E1 = E2 then ...`
- Typen von `E1` und `E2` müssen identisch sein
- `e1.type == e2.type`



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Mini-Triangle: Nur primitive Typen

- Einfach:
- Beispiel: `if E1 = E2 then ...`
- Typen von `E1` und `E2` müssen identisch sein
- `e1.type == e2.type`



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Mini-Triangle: Nur primitive Typen

- Einfach:
- Beispiel: `if E1 = E2 then ...`
- Typen von $E1$ und $E2$ müssen identisch sein
- `e1.type == e2.type`



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Mini-Triangle: Nur primitive Typen

- Einfach:
- Beispiel: `if E1 = E2 then ...`
- Typen von $E1$ und $E2$ müssen identisch sein
- `e1.type == e2.type`



Triangle ist komplizierter:
Arrays, Records, benutzdefinierte Typen

Beispiel 1

```
type T1 ~ record n: Integer; c: Char end;  
type T2 ~ record c: Char; n: Integer end;
```

```
var t1 : T1; var t2 : T2;
```

```
if t1 = t2 then ...
```

Legal?

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgebung

Triangle

Zusammenfassung

Beispiel 2

```
type Word ~ array 8 of Char;
```

```
var w1 : Word;
```

```
var w2 : array 8 of Char;
```

```
if w1 = w2 then ...
```

Legal?

➔ Wann sind zwei Typen äquivalent?

1. Möglichkeit: Strukturelle Typäquivalenz



Typen sind genau dann äquivalent, wenn ihre **Struktur** äquivalent ist.

- Primitive Typen: Müssen identisch sein
- Arrays: Äquivalenter Typ für Elemente, gleiche Anzahl
- Records: Gleiche Namen für Elemente, äquivalenter Typ für Elemente, gleiche Reihenfolge der Elemente

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

1. Möglichkeit: Strukturelle Typäquivalenz



Typen sind genau dann äquivalent, wenn ihre **Struktur** äquivalent ist.

- Primitive Typen: Müssen identisch sein
- Arrays: Äquivalenter Typ für Elemente, gleiche Anzahl
- Records: Gleiche Namen für Elemente, äquivalenter Typ für Elemente, gleiche Reihenfolge der Elemente

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

1. Möglichkeit: Strukturelle Typäquivalenz



Typen sind genau dann äquivalent, wenn ihre **Struktur** äquivalent ist.

- Primitive Typen: Müssen identisch sein
- Arrays: Äquivalenter Typ für Elemente, gleiche Anzahl
- Records: Gleiche Namen für Elemente, äquivalenter Typ für Elemente, gleiche Reihenfolge der Elemente

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfass

1. Möglichkeit: Strukturelle Typäquivalenz



Typen sind genau dann äquivalent, wenn ihre **Struktur** äquivalent ist.

- Primitive Typen: Müssen identisch sein
- Arrays: Äquivalenter Typ für Elemente, gleiche Anzahl
- Records: Gleiche Namen für Elemente, äquivalenter Typ für Elemente, gleiche Reihenfolge der Elemente

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

2. Möglichkeit: Typäquivalenz über Namen



Jedes Vorkommen eines nicht-primitiven Typs (selbstdefiniert, Array, Record) beschreibt einen neuen und **einzigartigen** Typ, der nur zu sich selbst äquivalent ist.

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



In Triangle: strukturelle Typäquivalenz

Beispiel 1

```
type T1 ~ record n: Integer; c: Char end;
```

```
type T2 ~ record c: Char; n: Integer end;
```

```
var t1 : T1; var t2 : T2;
```

```
if t1 = t2 then ...
```

Struktur nicht äquivalent, Namen nicht äquivalent

Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Orga

Einleitung

Symbolverwaltung

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

In Triangle: strukturelle Typäquivalenz

Beispiel 1

```
type T1 ~ record n: Integer; c: Char end;
```

```
type T2 ~ record c: Char; n: Integer end;
```

```
var t1 : T1; var t2 : T2;
```

```
if t1 = t2 then ...
```

Struktur nicht äquivalent, Namen nicht äquivalent



Beispiel 2

```
type Word ~ array 8 of Char;
```

```
var w1 : Word;
```

```
var w2 : array 8 of Char;
```

```
if w1 = w2 then ...
```

Struktur äquivalent, Namen nicht äquivalent

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Beispiel 2

```
type Word ~ array 8 of Char;
```

```
var w1 : Word;
```

```
var w2 : array 8 of Char;
```

```
if w1 = w2 then ...
```

Struktur äquivalent, Namen nicht äquivalent

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Beispiel 3

```
type Word ~ array 8 of Char;
```

```
var w1 : Word;
```

```
var w2 : Word;
```

```
if w1 = w2 then ...
```

Struktur äquivalent, Namen äquivalent

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Beispiel 3

```
type Word ~ array 8 of Char;
```

```
var w1 : Word;
```

```
var w2 : Word;
```

```
if w1 = w2 then ...
```

Struktur äquivalent, Namen äquivalent

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Einfache Klasse **Type** reicht nicht mehr aus
- Kann beliebig kompliziert werden
- Idee: Verweis auf Typbeschreibung im AST
- Abstrakte Klasse **TypeDenoter**, Unterklassen
 - `IntegerTypeDenoter`
 - `ArrayTypeDenoter`
 - `RecordTypeDenoter`
 - ...

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Handhabung komplexer Typen 1



- Einfache Klasse **Type** reicht nicht mehr aus
- Kann beliebig kompliziert werden
- Idee: Verweis auf Typbeschreibung im AST
- Abstrakte Klasse **TypeDenoter**, Unterklassen
 - `IntegerTypeDenoter`
 - `ArrayTypeDenoter`
 - `RecordTypeDenoter`
 - ...

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

Handhabung komplexer Typen 1



- Einfache Klasse **Type** reicht nicht mehr aus
- Kann beliebig kompliziert werden
- Idee: Verweis auf Typbeschreibung im AST
- Abstrakte Klasse **TypeDenoter**, Unterklassen
 - `IntegerTypeDenoter`
 - `ArrayTypeDenoter`
 - `RecordTypeDenoter`
 - ...

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Einfache Klasse **Type** reicht nicht mehr aus
- Kann beliebig kompliziert werden
- Idee: Verweis auf Typbeschreibung im AST
- Abstrakte Klasse **TypeDenoter**, Unterklassen
 - `IntegerTypeDenoter`
 - `ArrayTypeDenoter`
 - `RecordTypeDenoter`
 - ...

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Einfache Klasse **Type** reicht nicht mehr aus
- Kann beliebig kompliziert werden
- Idee: Verweis auf Typbeschreibung im AST
- Abstrakte Klasse **TypeDenoter**, Unterklassen
 - **IntegerTypeDenoter**
 - `ArrayTypeDenoter`
 - `RecordTypeDenoter`
 - ...

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Einfache Klasse **Type** reicht nicht mehr aus
- Kann beliebig kompliziert werden
- Idee: Verweis auf Typbeschreibung im AST
- Abstrakte Klasse **TypeDenoter**, Unterklassen
 - **IntegerTypeDenoter**
 - **ArrayTypeDenoter**
 - **RecordTypeDenoter**
 - ...

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Einfache Klasse **Type** reicht nicht mehr aus
- Kann beliebig kompliziert werden
- Idee: Verweis auf Typbeschreibung im AST
- Abstrakte Klasse **TypeDenoter**, Unterklassen
 - **IntegerTypeDenoter**
 - **ArrayTypeDenoter**
 - **RecordTypeDenoter**
 - ...

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Einfache Klasse **Type** reicht nicht mehr aus
- Kann beliebig kompliziert werden
- Idee: Verweis auf Typbeschreibung im AST
- Abstrakte Klasse **TypeDenoter**, Unterklassen
 - **IntegerTypeDenoter**
 - **ArrayTypeDenoter**
 - **RecordTypeDenoter**
 - ...

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Vorgehen

- 1 Ersetze in Kontextanalyse alle Typenbezeichner durch Verweise auf Sub-ASTs der Typdeklaration
- 2 Führe Typprüfung durch strukturellen Vergleich der Sub-ASTs der Deklarationen durch

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Vorgehen

- 1 Ersetze in Kontextanalyse alle Typenbezeichner durch Verweise auf Sub-ASTs der Typdeklaration
- 2 Führe Typprüfung durch strukturellen Vergleich der Sub-ASTs der Deklarationen durch

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

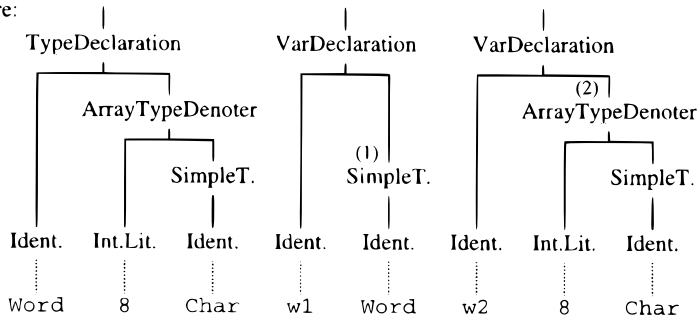
Triangle

Zusammenfassu

Beispiel komplexe Typäquivalenz



Before:



Nun durch Vergleich während Graphdurchlauf überprüfbar.

Beispiel komplexe Typäquivalenz



Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

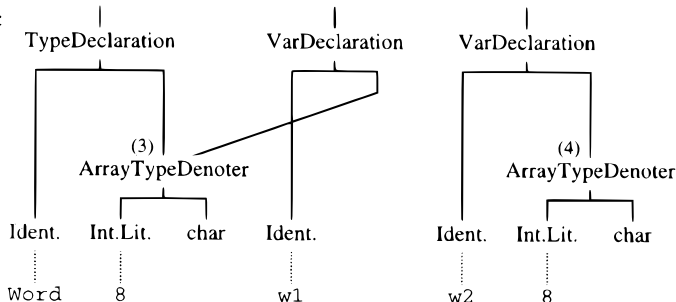
Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu

(2) After:



Nun durch Vergleich während Graphdurchlauf überprüfbar.

Beispiel komplexe Typäquivalenz



Nun durch Vergleich während Graphdurchlauf überprüfbar.

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



Zusammenfassung

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Kontextanalyse**
- Identifikation
- Typüberprüfung
- Organisation von Symboltabellen
- Implementierung von AST-Durchläufen

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Kontextanalyse**
- **Identifikation**
- Typüberprüfung
- Organisation von Symboltabellen
- Implementierung von AST-Durchläufen

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- **Kontextanalyse**
- **Identifikation**
- **Typüberprüfung**
- Organisation von Symboltabellen
- Implementierung von AST-Durchläufen

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Kontextanalyse
- Identifikation
- Typüberprüfung
- Organisation von Symboltabellen
- Implementierung von AST-Durchläufen

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu



- Kontextanalyse
- Identifikation
- Typüberprüfung
- Organisation von Symboltabellen
- Implementierung von AST-Durchläufen

Orga

Einleitung

Symbolverwaltu

Attribute

Identifikation

Typprüfung

Implementierung

Standardumgeb

Triangle

Zusammenfassu