

Nat64 und Casting für IML

Marco Romanutti^{1,2} und Benjamin Meyer^{1,2}

¹Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW, Brugg

²Zwischenbericht

Im Modul Compilerbau wird eine Erweiterung für die bestehende Sprache IML spezifiziert und implementiert. Die Implementierung beinhaltet einen neuen Datentyp für natürliche Zahlen, sowie eine Möglichkeit den Datentyp `int64` in den neuen Datentypen zu casten und umgekehrt.

1 Erweiterung

1.1 Einleitung

Unter natürlichen Zahlen werden die positiven, ganzen Zahlen und 0 verstanden. Die IML soll um einen neuen Datentyp `nat64` erweitert werden. Der neue Datentyp soll solche positiven, ganzen Zahlen mit bis Länge 64 in Binärdarstellung abbilden können. Es sollen die bestehenden Operationen unterstützt werden. Ausserdem soll ein explizites Casting zwischen dem bestehenden Datentyp `int64` und dem neuen Datentyp `nat64` möglich sein.

1.2 Lexikalische Syntax

Für den neuen Datentyp wird das Keyword (`TYPE`, `NAT64`) und ein Castingoperator hinzugefügt.

| | | |
|-----------|--------------------|---|
| Datentyp: | <code>nat64</code> | (<code>TYPE</code> , <code>NAT64</code>) |
| Brackets: | <code>[]</code> | <code>LBRACKET</code> , <code>RBRACKET</code> |

Casting ist nur von (`TYPE`, `INT64`) zu (`TYPE`, `NAT64`) und umgekehrt möglich. Als Castingoperator werden rechteckige Klammern (nachfolgend Brackets genannt) verwendet. Innerhalb der Brackets befindet sich der Zieldatentyp ¹.

¹zum Beispiel `[int64]`

1.3 Grammatikalische Syntax

Das nachfolgende Code-Listing zeigt, wie der neue Datentyp `nat64` eingesetzt werden kann.

```
// Deklaration
var natIdent1 : nat64;
var natIdent2 : nat64;
var natIdent3 : nat64;

// Initialisierung
natIdent1 init := 50;
natIdent2 init := 10;
natIdent3 init := natIdent1 + natIdent2;

// Casting von int64 nach nat64
var intIdent1 : int64;
intIdent1 init := 30;
natIdent3 := [nat64] intIdent1;

call functionWithNatParam([nat64] intIdent1);

// Casting von nat64 nach int64
var intIdent2 : int64;
intIdent2 init := [int64] natIdent3;

call functionWithIntParam([int64] natIdent3);
```

Falls zwei Datentypen nicht gecastet werden können, wird ein Kompilierungsfehler geworfen. Folgendes Code-Listing zeigt ein solches Beispiel mit dem bestehenden Datentyp `bool`:

```
// Deklaration
var boolIdent : bool;
boolIdent init := false;
var natIdent : nat64;
// Throws type checker error:
natIdent init := [nat64] boolIdent
```

Unsere Erweiterung unterstützt keine impliziten Castings. Weitere Code-Beispiele sind in Kapitel 5 zu finden.

1.4 Änderungen an der Grammatik

Zusätzlich zu den bestehenden Operatoren wurde ein neuer `castOpr` erstellt, welcher anstelle des Nichtterminal-Symbol `factor` verwendet werden kann.

```
castOpr := LBRACKET ATOMTYPE RBRACKET
```

Das bestehende Nichtterminal-Symbol `factor` wird um diese neue Produktion ergänzt:

```
factor := LITERAL
| IDENT [INIT | exprList]
| castOpr factor
| monadicOpr factor
| LPAREN expr RPAREN
```

1.5 Kontext- und Typen-Einschränkungen

Der `ATOMTYPE` zwischen `LBRACKET` und `RBRACKET` muss vom Datentyp `int64` oder `nat64` sein. Ein Casting zum Typ `bool` oder vom Typ `bool` zu `int64` resp. `nat64` führt zu einem Kompilierungsfehler.

Tabelle 1 zeigt die unterstützten Typumwandlungen der verschiedenen Datentypen. Typumwandlungen, welche zu potentiell Informationsverlust führen, sind mit * gekennzeichnet. Bei der Umwandlung von `nat64` nach `int64` kann ein Informationsverlust resultieren, weil beim Datentyp `int64` das Most Significant Bit (MSB) für das Vorzeichen verwendet wird (vgl. Kapitel 4). Falls Werte von `int64` nach `nat64` umgewandelt werden, geht die Information zum Vorzeichen verloren und der Wert wird als absoluter Wert interpretiert.

Table 1: Casting zwischen Datentypen

| Quell- \ Zieldatentyp | int64 | nat64 | bool |
|-----------------------|-------|-------|------|
| int64 | ✓ | ✓* | ✗ |
| nat64 | ✓* | ✓ | ✗ |
| bool | ✗ | ✗ | ✗ |

2 Aufbau Compiler

Der Compiler basiert auf der IML (V2) und ist in Java geschrieben.

2.1 Statische Analyse

Scope checking

Für Routinen und Variablen liegen unterschiedliche Namespaces vor. Namen für Routinen und Variablen können deshalb identisch sein. Es wird zwischen globalen und lokalen Namespaces unterschieden: Bei

lokalen Namespaces werden die Variable innerhalb einer Routine definiert und haben dort ihre Gültigkeit. Globale Variablen dürfen nicht denselben Namen haben wie lokalen Variablen. Überladene Signaturen für Routinen² wurde in dieser Implementation nicht umgesetzt.

Bei *FunCallFactor*, *ProcCallCmd*, *DebugIn* und *AssignCmd* muss überprüft werden, ob die Parameter den richtigen LValue, resp. RValue besitzen. Folgende Kombinationen sind dabei allgemein erlaubt:

Table 2: LRValue-Kombinationen

| Callee | Caller | Resultat |
|--------|--------|--------------------------------|
| LValue | LValue | Valid |
| RValue | LValue | Valid (LValue dereferenzieren) |
| RValue | RValue | Valid |
| LValue | RValue | LRValueError ✗ |

Bei einem *AssignCmd* muss der Ausdruck links zudem zwingend ein LValue sein. Bei einem *DebugIn* muss es sich ebenfalls um einen LValue handeln, damit der Input-Wert dieser Variable zugewiesen werden kann.

Innerhalb des Scope checkings wird zudem überprüft, ob die Anzahl der erwarteten Parameter mit der Anzahl übergebener Parameter übereinstimmt.

Type checking

Das Casten zwischen zwei Datentypen ist nur für bestimmte Typen erlaubt (vgl. Tabelle 1). Zusätzlich sind bei der Abarbeitung des AST nur die folgenden Typen erlaubt:

Table 3: Erlaubte Typen

| Klasse | Types |
|-------------------------------|--|
| AddExpr, MultExpr, RelExpr | int64, nat64 * |
| BoolExpr, IfCmd | bool |
| AssignCmd | int64, nat64, bool * |
| FunCallFactor, ProcCallFactor | Typ von Caller muss Typ von Callee entsprechen |
| MonadicFactor | NOTOPR: bool ADDOPR: int64, nat64 |
| CastFactor | Typ von Factor und Typ von CastFactor müssen castable sein |

Bei Einträgen, die mit * gekennzeichnet sind, müssen LValue und RValue vom selben Typ sein. Beim Type checking innerhalb vom *CastFactor* wird überprüft, ob der Typ vom *CastFactor* und jener des zugehörigen *factors* gecasted werden können (vgl. Tabelle 1). Die effektive Typ-Konversion wird erst bei der Code-Generierung durchgeführt.

²selber Name, unterschiedliche Parameterlisten

Initialization checking

2.2 Virtuelle Maschine

Grundlage für die Code-Generierung ist der Abstract Syntax Tree (AST). Vom Root-Knoten ausgehend fügt jeder Knoten seinen Code zum Code-Array.

Im Falle eines Castings zwischen zwei Datentypen befindet sich an mindestens einer Stelle in der AST Struktur ein CastFactor-Element. Von diesem Element aus wird der Datentyp des zugehörigen factor geändert, indem dessen Attribut castFactor geändert wird. Dieses Attribut übersteuert den eigentlichen Datentyp des Elements innerhalb des AST. Weil der factor gemäss Grammatik unterschiedliche Produktionen besitzt (vgl. Änderungen an der Grammatik), muss die Typanpassung rekursiv weitergegeben werden. Die Rekursion wird durch Literale oder Expressions unterbrochen, wie am Beispiel in Anhang B aufgezeigt.

In der virtuellen Maschine wurde ein neuer generischer Typ NumData eingeführt. Dieser wird für die Konversion zwischen Daten vom Typ IntData³ und NatData⁴ verwendet. Abbildung 1 zeigt die Klassenhierarchie dieser Typen.

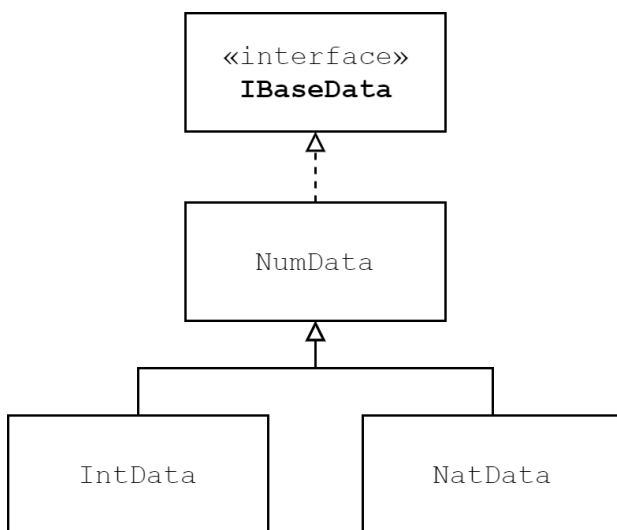


Figure 1: Daten in VM

3 Vergleich mit anderen Programmiersprachen (am Beispiel von Java)

3.1 Ganzzahlige Werte

In Java wird bei Zuweisungen die Länge einer Zahl in Bitdarstellung überprüft: Beim Datentyp long wird beispielsweise geprüft, ob der Wert als ganzzahliger Wert von 64-bit Länge dargestellt werden

³für den Datentyp int64

⁴für den Datentyp nat64

kann. Falls dies nicht der Fall ist, wird ein Fehler zur Kompilierungszeit geworfen. Das MSB wird als Vorzeichenbit verwendet, womit rund die Hälfte der vorzeichenlos darstellbaren Long-Werte entfällt, resp. zur Darstellung von negativen Zahlen eingesetzt wird. Falls bei fortlaufenden Berechnungen Wertebereiche unterschritten werden, führt dies zu einem arithmetischen Überlauf. Abbildung 2 zeigt den Überlauf bei ganzzahligen, vorzeichenbehafteten Datentypen (am Beispiel von Bitlänge 3 + 1).

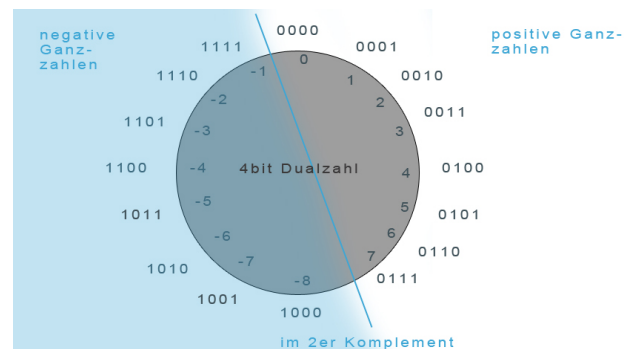


Figure 2: Überlauf mit Integerzahlen

Dadurch führt z.B. beim Datentyp int der Ausdruck `Integer.MAX_VALUE + 1` zum Wert `Integer.MIN_VALUE`. Dies kann dazu führen, dass mit „falschen“ Werten gerechnet wird, ohne dass der Entwickler dies bemerkt.

3.2 Fließkommazahlen

Im Gegensatz zur Darstellung im Zweierkomplement, welche für Integer-Typen in Java verwendet werden, werden Fließkommazahlen intern nach IEEE Standard dargestellt. Anders als bei der Zweierkomplement-Darstellung sieht dieses Format spezielle Werte für `POSITIVE_INFINITY` und `NEGATIVE_INFINITY` vor.

4 Designentscheidungen

4.1 Spezifiziertes Verhalten

Der neue Datentyp nat64 unterstützt die bestehenden Operationen aus IML⁵. Sofern sich die einzelnen Operanden und auch das Resultat im Wertebereich ($\in \mathbb{N}$) befinden, entspricht das Verhalten vom Datentyp nat64 jenem vom Datentyp int64. Andernfalls wird folgendes Verhalten festgelegt:

- **Wertebereich:** Bei einem Überlauf wird jeweils mit dem maximalen Wert weitergerechnet. Dieser

⁵Aktuell sind dies

- MULTOPR(*, divE, modE)
- ADDOPR(+, -)
- RELOPR(<, <=, >, >=, =, /=)
- BOOLOPR(/? \/?)

entspricht dem maximalen Wert von `int64`⁶.

- **Negative Werte:** Werte werden jeweils als absolute Werte Betrachtet. Ein negativer Wert -5 entspricht beispielsweise dem Betrag, also $|-5| = 5$.
- **Rest bei Division:** Wird analog `int64` behandelt und Nachkommastellen werden abgeschnitten.

4.2 Alternative Ansätze

5 Beispielprogramme

Operation:

```

program progAddition
global
var x:nat64;
var y:nat64;
var r:nat64;
var b:bool
do
x init := 4;
y init := 3;
r init := x + y;
b init := r = 7;

debugout r;
debugout b
endprogram

```

Casting:

```

program progCasting
global
var x:nat64;
var y:int64;
var r:nat64;
var b:bool
do
x init := 4;
y init := 3;
r init := x + [nat64] y;
b init := r = 7;

debugout r;
debugout b
endprogram

```

References

- [1] Wikipedia: Natürliche Zahl, https://de.wikipedia.org/wiki/Nat%C3%BCrliche_Zahl
- [2] Wikipedia: Natural numbers (engl.), https://en.wikipedia.org/wiki/Natural_number

⁶9,223,372,036,854,775,807

A Vollständige Grammatik

B Beispiel doppeltes Casting

IML:

```

program progDouble
global
var value:int64
do
value init := [int64] [nat64] ((4 + 1) + 1)
endprogram

```

Code-Array:

```

0: AllocBlock(1)
1: UncondJump(2)
2: LoadAddrAbs(0)
3: LoadImInt(4)
4: LoadImInt(1)
5: AddInt
6: LoadImInt(1)
7: AddInt
8: Store
9: Stop

```

UML:

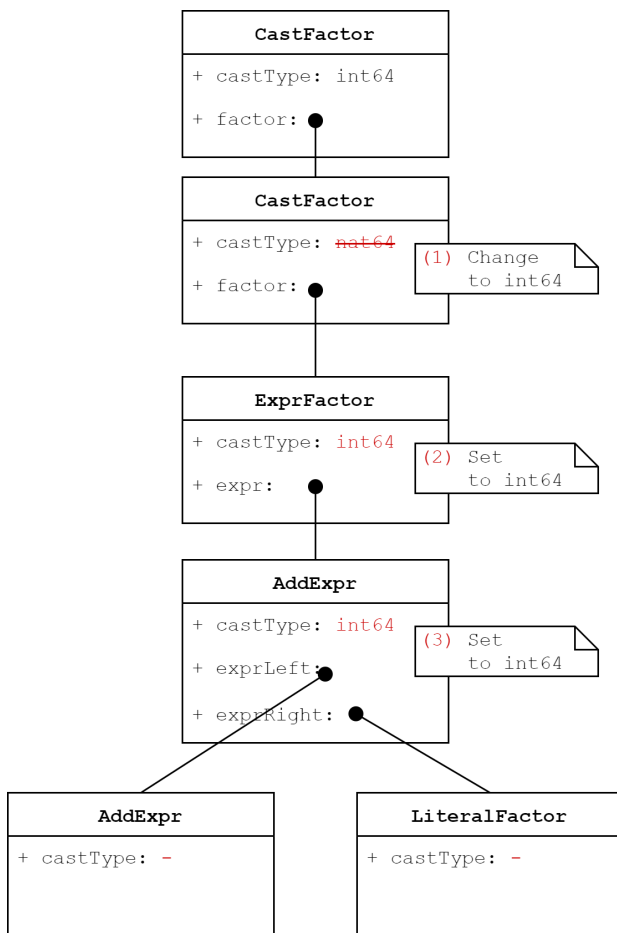


Figure 3: Auszug aus AST