Schlussbericht: Rationale Zahlen für IML

Christian Güdel, Peter Rudolf von Rohr

Compilerbau, HS 2015, Team GR

# Abstract

Unsere Erweiterung für IML führt rationale Zahlen ein. Rationale Zahlen werden als Bruch von zwei Integern (Zähler) und (Nenner) dargestellt. Für den Nenner *n* ist die Zahl nicht zulässig.

Ein Literal einer rationalen Zahl wird im Programmcode dargestellt als . Zur Laufzeit werden die Brüche jeweils gekürzt, so dass und keine gemeinsamen Teiler grösser als ausser besitzen. Wobei der gemeinsame Teiler auch positiv sein muss!

# Lexikalische Syntax

Die rationalen Zahlen werden als neuer Datentyp *Ratio* in IML eingebaut. Dazu wird die Aufzählung *Type* um den Wert *RATIO* erweitert.

Ein neues Literal für rationale Zahlen wird eingeführt:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Pattern | Beispiel Lexeme | Beispiel Token |
| [0-9]+(‘\*[0-9]+)\*/[1-9]+(‘\*[0-9]+)\* | 1‘337/42 | LITERAL, RatioVal 1337 42 |

Durch die zusätzliche Einschränkung dass im Nenner keine führende 0 vorkommen kann, wird das Problem der Division durch 0 elegant gelöst. Als Kompromiss können Zahlen wie 0001 nicht im Nenner verwendet werden.

Als Konsequenz wird ein neues Attribut *RatioVal* eingeführt, welches zwei ganzzahlige Werte und akzeptiert.

Zusätzlich fügen wir folgende Schlüsselwörter ein:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Pattern | Token | Funktion |
| ratio | (TYPE, RATIO) | Deklaration einer Variable für eine rationale Zahl |
| num | (RATIOOPR, NUMERATOR) | Zähler einer rationalen Zahl als *int* auslesen |
| denom | (RATIOOPR, DENOMINATOR) | Nenner einer rationalen Zahl als *int* auslesen |
| floor | (RATIOOPR, FLOOR) | Abrunden auf die grösste ganze Zahl, die kleiner oder gleich gross wie die rationale Zahl ist, als *int* |
| ceil | (RATIOOPR, CEIL) | Aufrunden auf die kleinste ganze Zahl, die grösser oder gleich gross wie die rationale Zahl ist, als *int* |
| round | (RATIOOPR, ROUND) | Runden auf die am nächsten liegende ganze Zahl, 0.5 wird auf 1 gerundet, als *int*. |

# Grammatikalische Syntax

Wir erweitern die Grammatik um die folgende Regeln:

monadicOpr ::= RATIOOPR | asRatio

Die Operatoren der Gruppe RATIOOPR haben die gleiche Präzedenz wie diejenigen der Gruppe der monadischen Operatoren (*monadicOpr*). Sie sind nicht assoziativ. Dies ergibt keinen Sinn, da die Operatoren einen anderen Rückgabe- als Eingabetyp aufweisen. Somit sieht die Operatorentabelle neu wie folgt aus:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Präzedenz | Assoziativität |
| MONADICOPR  (NOT ADDOPR asRatio) | 4 (=höchste) | Keine |
| **RATIOOPR (num denom floor ceil round)** | **4** | **Keine** |
| MULTOPR (\* divE modE) | 3 | Links |
| ADDOPR (+ -) | 2 | Links |
| RELOPR (< <= > >= = /=) | 1 | Keine |
| BOOLOPR (&? |?) | 0 (= niedrigste) | Rechts |

Deklaration:

const r1 : ratio;  
const r2 : ratio;  
const r3 : ratio;  
const r4 : ratio;

Initialisierung:

r1 init := 4/3;  
r2 init := 0/1;  
r3 init := 24/24;  
r4 init := 12/3;

Zugriff auf den Zähler:

debugout num r1; // Ausgabe: 4  
debugout num r2; // Ausgabe: 0  
debugout num r3; // Ausgabe: 1  
debugout num r4; // Ausgabe: 4

Zugriff auf den Nenner:

debugout denom r1; // Ausgabe : 3  
debugout denom r2; // Ausgabe : 1  
debugout denom r3; // Ausgabe : 1  
debugout denom r4; // Ausgabe : 1

Abrunden auf die nächstkleinere oder gleich grosse ganze Zahl:

debugout floor r1; // Ausgabe: 1  
debugout floor r2; // Ausgabe: 0  
debugout floor r3; // Ausgabe: 1  
debugout floor r4; // Ausgabe: 4

Aufrunden auf die nächstgrössere oder gleich grosse ganze Zahl:

debugout ceil r1; // Ausgabe: 2  
debugout ceil r2; // Ausgabe: 0  
debugout ceil r3; // Ausgabe: 1  
debugout ceil r4; // Ausgabe: 4

Runden auf die am nächsten liegende ganze Zahl:

debugout round r1; // Ausgabe: 1  
debugout round r2; // Ausgabe: 0  
debugout round r3; // Ausgabe: 1  
debugout round r4; // Ausgabe: 4

Ausgabe einer relationalen Zahl mittels debugout:

debugout 51/10; // Ausgabe: 5.1  
debugout 2/3 // Ausgabe: 0.(6) // ()-Klammern um den periodischen Teil

Anhand des Beispiels mit der rationalen Zahl -281/280 wird gezeigt wie der Output dargestellt wird:

Debugout -281/280 // Ausgabe: -1.003(571428)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Vorzeichen | Ganzzahlteil | Trennzeichen | Nichtperiodische Nachkommastellen | ( | Perodische Nachkomastellen | ) |
| - | 1 | . | 003 | ( | 571428 | ) |

Vorzeichen:  
Zuerst werden Zähler und Nenner überprüeft ob sie negativ sind und falls ja jeweils negiert. D. h. Es wird immer mit postiven rationalen Zahlen bei der Ausgabe gerechnet. Am Schluss wird dann einfach wieder ein negatives Vorzeichen ausgegeben. Sollten Zähler und Nenner negativ sein, werden diese bei der Ausgabe nicht mehr dargestellt. Im Beispiel hat der Zähler ein negatives Vorzeichen, also wird dieses dargestellt.

Ganzzahlteil:  
Der Ganzzahlteil der rationalen Zahl wird ganz einfach mit einer Division des Zählers durch den Nenner berechnet und dann dargestellt. Im Beispiel wird 281/280 gerechnet und das Ergibt 1. Weiter wird nur noch mit dem Bruch 1/280 gerechnet, da wir für die Nachkomastellenberechnung den Ganzzahlteil nicht mehr benötigen.

Trennzeichen:  
Das Trennzeichen «.», dass den Ganzzahlteil vom Nachkommastellenteil trennt wird in jedem Fall ausgegeben. D.h. Auch für unser Beispiel wird dieses Trennzeichen dargestellt.

Nichtperiodische Nachkommastellen:  
Die Nichtperiodischen Nachkommastellen werden nur dargestellt sofern es diese gibt. Um zu prüfen ob es eine rationale Zahl nichtperiodische Nachkommastellen hat, werden zwei Teilbrüche ausgerechnet. Ein Teilbruch für den nichtperiodischen Nachkomastellenteil und ein Teilbruch für den periodischen Teil. Hat der nichtperiodische Nachkomastellenbruch den Wert 0 existiert kein nichtperiodischer Nachkommastellenteil.  
Existiert überhaupt kein Nachkommastellenteil (werder periodisch noch nichtperiodisch), wird stadessen eine «0» ausgegeben. In unserem Beispiel ist der nichtperiodische Nachkommastellenteil «003», also wird dieser auch so ausgegeben.

Klammer «(»:  
Diese Klammer wird nur dargestellt, sofern ein periodischer Nachkommastellenteil existiert und kennzeichnet dessen Anfang. Existiert nur ein periodischer Nachkomastellenteil, folgt diese Klammer direkt nach dem Trennzeichen. In unserem Beispiel existiert ein peridodischer Nachkommastellenteil, also wird diese Klammer dargestellt.

Periodische Nachkommastellen:  
Diese Nachkommastellen werden nur ausgegeben sofern sie existieren. Dieser periodische Teil der Ausgabe haben wir auf 50 Stellen begrenzt. Hat der periodische Teil der rationalen Zahl mehr als 50 Stellen wird dies mit drei Punkten nach der 50isten Stelle gezeigt. D. h. vor dem Berechnen der Zahlenfolge wird berechnet wie viele Nachkomastellen überhaupt existieren.

Beispiel einer Ausgabe mit mehr als 50 periodischer Nachkommastellen:

Debugout 378171782/1177818189  
// Ausgabe: 0.(32107823221942109097450863021100788926600623247804...)

In unserem Beispiel ist dieser Teil kleiner als 50 Stellen, also wird er vollständig als «571428» dargestellt.

Klammer «)»:  
Diese Klammer wird nur dargestellt, wenn ein periodischer Nachkommastellenteil existiert und schliesst diesen ab. In unserem Beispiel wird dies Klammer natrülcih ebenfalls dargestellt.

# Kontext- und Typeinschränkungen

Die Operatoren der Gruppe *RATIOOPR* unterstützen als Argument nur solche vom Typ *RATIO*. Für die Operatoren der Gruppen *RELOPR*, *ADDOPR* und *MULTOPR* werden gemischte Argumenttypen aus *RATIO* und *INT* unterstützt. Dabei wird jeweils die *INT*-Seite in eine *RATIO*-Zahl konvertiert. Der Rückgabetyp von *ADDOPR* und *MULTOPR* bei gemischten Argumenttypen ist dann ebenfalls *RATIO*.

Die Zuweisung eines *RATIO*-Ausdrucks an eine *INT*-Variable führt zu einem Type-Error.

# Vergleich mit anderen Programmiersprachen

Common Lisp unterstützt den Datentyp *RATIO* und bietet ebenfalls Funktionen zur Bestimmung des Zählers (*numerator*) bzw. des Nenners (*denominator*).

In Haskell gibt es einen *Rational* Datentyp welcher ähnlich funktioniert.

Java unterstützt rationale Zahlen nicht direkt. Es gibt aber Bibliotheken, mit denen die Funktionalität nachgebildet werden kann[[1]](#footnote-1),[[2]](#footnote-2).

# Warum wurde die Erweiterung so entworfen und nicht anders?

Beim Entwurf der Erweiterung wurde darauf geachtet, dass der Datentyp *RATIO* möglichst konsistent mit den anderen Datentypen verwendet werden kann. Wir haben uns bei der Syntax an bestehenden Implementationen in Lisp[[3]](#footnote-3) sowie Python[[4]](#footnote-4) orientiert.

Durch die automatische Konvertierung bei gemischten Ausdrücken wird der Umgang mit rationalen Zahlen weiter vereinfacht.

Typenkonvertierungen bei denen Präzision verloren gehen könnte, müssen explizit mit *floor*, *ceil* oder *round* durchgeführt werden. Damit wird vom Programmierer eine explizite Entscheidung gefordert und implizite Annahmen werden verhindert.

Das Literal hat eine gewisse Ähnlichkeit mit einem Bruchstrich, so können rationale Zahlen schnell als solche erkannt werden.

# Anhang: IML Testprogramme

Akzeptiert einen rationalen Input und gibt eine ganze Zahl aus, wenn der Input ganzzahlig dargestellt werden kann.

program isInteger  
global  
 const m:ratio;  
 const isInteger:bool;  
  
 proc checkInteger(copy const m:ratio, ref var isInteger:bool)  
 do  
 isInteger := denom m = 1  
 endproc  
   
do  
 debugin m init;  
 call checkInteger(m, isInteger init);  
 if isInteger = true then  
 debugout num m  
 endif  
endprogram

Liest die erreichten Punkte und die maximale Punktzahl ein und gibt die erreichte Note berechnet nach dem linearen Notenmassstab gerundet auf Zehntel aus:

program notenberechnung  
global  
 const pkt:int;  
 const max:int;  
 const grade:ratio;  
  
 proc calculate(copy const pkt:int, copy const max:int, ref var g:ratio)  
 do  
 g := pkt \* 5 / max + 1  
 g := round (grade \* 10) / 10  
 endproc  
  
do  
 debugin pkt init;  
 debugin max init;  
  
 call calculate(pkt, max, grade init);  
  
 debugout grade  
endprogram

1. http://jscience.org/api/org/jscience/mathematics/number/Rational.html [↑](#footnote-ref-1)
2. http://commons.apache.org/proper/commons-math/userguide/fraction.html [↑](#footnote-ref-2)
3. https://en.wikipedia.org/wiki/Rational\_data\_type [↑](#footnote-ref-3)
4. https://docs.python.org/3.1/library/fractions.html [↑](#footnote-ref-4)