

プログラミング言語AIII

2025年度講義資料 (8)

新潟大学 工学部工学科 知能情報システムプログラム

青戸等人

データ型
データ型の利用

目次

- 1 データ型
- 2 データ型の利用

データ型
データ型の利用

1 / 20

目次

- 1 データ型
- 2 データ型の利用

データ型
データ型の利用

2 / 20

データ型(教7章)

リスト型やオプション型は、より一般的な**データ型**とよばれる型の例となっている。データ型は、`datatype` 宣言によって定義される型のことをいう。

- リスト型の定義

```
1 datatype 'a list = :: of 'a * 'a list | nil
```

- オプション型の定義

```
1 datatype 'a option = NONE | SOME of 'a
```

- ブール型の定義

```
1 datatype bool = false | true
```

3 / 20

データ型
データ型の利用

データ型の宣言

`datatype` 宣言を使って、自分で新しい型を定義することができる。定義した新しいデータ型であっても使い方は組み込みのデータ型と同じ。

- ④ 複数の値からなる型を|で区切って列挙する。

```
1 datatype day_of_week = MON | TUE | WED | THU
2 | FRI | SAT | SUN
```

```
# datatype day_of_week = MON | TUE | WED | THU | FRI | SAT | SUN;
datatype day_of_week = FRI | MON | SAT | SUN | THU | TUE | WED
# fun next MON = TUE | next TUE = WED | next WED = THU
> | next THU = FRI | next FRI = SAT | next SAT = SUN
> | next SUN = MON;
val next = fn : day_of_week -> day_of_week
# next FRI;
val it = SAT : day_of_week
#
```

4 / 20

データ型
データ型の利用

データ型の宣言

- ⑤ `of...`によって、パラメータを指定することができる。

```
1 datatype graphic_obj = Circle of real
2 | Square of real | Rectangle of real * real
3 | Triangle of real * real * real
```

```
# datatype graphic_obj = Circle of real | Square of real
| Rectangle of real * real | Triangle of real * real * real;
datatype graphic_obj = ....
# fun area (Circle r) = Real.Math.pi * r * r
| area (Square i) = i * i
| area (Rectangle (i,j)) = i * j
| area (Triangle (i,j,k)) = let val l = (i + j + k) / 2.0
in Real.Math.sqrt (l * (l - i) * (l - j) * (l - k)) end;
val area = fn : graphic_obj -> real
# area (Circle 1.0);
val it = 3.14159265359 : real
```

5 / 20

データ型
データ型の利用

データ型の宣言

- ⑥ パラメータにいま定義している型を指定すると帰納的な定義になる。

```
1 datatype expr = NUM of int | PLUS of expr *
expr | TIMES of expr * expr
```

```
# datatype expr = NUM of int | PLUS of expr * expr
| TIMES of expr * expr;
datatype expr = ....
# fun eval (NUM n) = n
| eval (PLUS (e1,e2)) = eval e1 + eval e2
| eval (TIMES (e1,e2)) = eval e1 * eval e2;
val eval = fn : expr -> int
# eval (TIMES (PLUS (NUM 2, NUM 3), NUM 5));
val it = 25 : int
```

6 / 20

データ型
データ型の利用

データ型の宣言

- ⑦ パラメータに型変数を使うと多相型が定義できる。

```
1 datatype 'a tree = Empty
2 | Node of 'a * 'a tree * 'a tree
```

```
# datatype 'a tree = Empty
| Node of 'a * 'a tree * 'a tree;
datatype 'a tree = ...
# fun depth Empty = 0
| depth (Node (x,left,right)) = 1 +
Int.max (depth left, depth right);
val depth = fn : ['a. 'a tree -> int]
# Node (2, Node (1, Empty, Empty), Empty);
val it = Node (2, Node (1, Empty, Empty), Empty) : int tree
# depth it;
val it = 2 : int
```

7 / 20

データ型の宣言(まとめ)

目次

datatype 宣言による型定義

```
1 datatype 型変数列 型名 = 構成子 [of 型]
2 { | 構成子 [of 型] }*
```

- 型変数列の部分は、空列、型変数、もしくは、(型変数,...,型変数)。
- of 以下には、いま定義している型を使うことができる。
- 右辺に用いる型変数は型変数列に入れる必要がある。

構成子がないと複数の種類の値が区別できないが、種類が1つなら、構成子がなくても問題ない。その場合は type 宣言を用いる(⇒ 次ページ)。

① データ型

② データ型の利用

type 宣言による型定義

データ型の宣言では構成子が必要だった。構成子がない場合は、type 宣言を使う。この場合、型の種類は1つだから、単なる型の別名と考えてよい。

type 宣言による型定義

```
1 type 型変数列 型名 = 型
```

- 型変数列の部分は、空列、型変数、もしくは、(型変数,...,型変数)。

```
- type 'a stack = 'a list;
type 'a stack = 'a list
- type ('a,'b) dict = ('a * 'b) list;
type ('a,'b) dict = ('a * 'b) list
```

データ型の利用例(1) 命題論理式

命題論理式はBNFを用いて次のように定義できた。

$$P \in \text{Var} ::= P_0 \mid P_1 \mid \dots$$
$$A, B \in \text{Prop} ::= P \mid (\neg A) \mid (A \wedge B) \mid (A \vee B) \mid (A \rightarrow B)$$

データ型を用いて、ほぼ同じように、命題論理式の型を定義することが出来る。

```
1 datatype prop = VAR of int | NOT of prop
2 | AND of prop * prop | OR of prop * prop
3 | IMP of prop * prop
```

- 命題論理式のデータ型を宣言せよ。
- 命題論理式 $P_0 \wedge P_1 \rightarrow P_0$ を表わすprop型の式を与えよ。

実習課題 (1)

スライドp.8の'a tree型を宣言して、以下の関数を与えよ。

- ① 整数 x と整数型をノードにもつ二分木が与えられたとき、含まれるノードの値がすべて x 未満であるかどうかを返す関数 `ltAll`

```
# val t = Node(1,Node(3,Empty,Node(2,Empty,Empty)),Node(4,Empty,Empty));
val t = ...
# ltAll 5 t;
val it = true : bool
```
- ② 整数型をノードにもつ二分木が与えられたとき、含まれるノードの値の合計を返す関数 `sum`

```
# val t = Node(1,Node(3,Empty,Node(2,Empty,Empty)),Node(4,Empty,Empty));
val t = ...
# sum t;
val it = 10 : int
```

命題論理式の付値と解釈(復習)

命題変数集合Varから真理値集合Boolへの関数のことを付値とよび、付値 v のもとでの命題論理式 A の解釈 $\llbracket A \rrbracket_v$ は以下のように与えられた。

$$\begin{aligned} \llbracket P \rrbracket_v &= v(P) \quad (\text{ただし, } P \text{ は命題変数}) \\ \llbracket \neg A \rrbracket_v &= \begin{cases} \text{F} & (\llbracket A \rrbracket_v = \text{T} \text{ のとき}) \\ \text{T} & (\llbracket A \rrbracket_v = \text{F} \text{ のとき}) \end{cases} \\ \llbracket A \wedge B \rrbracket_v &= \begin{cases} \text{T} & (\llbracket A \rrbracket_v = \llbracket B \rrbracket_v = \text{T} \text{ のとき}) \\ \text{F} & (\text{それ以外}) \end{cases} \\ \llbracket A \vee B \rrbracket_v &= \begin{cases} \text{F} & (\llbracket A \rrbracket_v = \llbracket B \rrbracket_v = \text{F} \text{ のとき}) \\ \text{T} & (\text{それ以外}) \end{cases} \\ \llbracket A \rightarrow B \rrbracket_v &= \begin{cases} \text{F} & (\llbracket A \rrbracket_v = \text{T}, \llbracket B \rrbracket_v = \text{F} \text{ のとき}) \\ \text{T} & (\text{それ以外}) \end{cases} \end{aligned}$$

実習課題 (1)

実習課題 (2)

- ③ データの対 (x, y) と二分木が与えられたときに、その木の中の x を y に、 y を x に交換する関数 `swap`

```
# val t = Node(1,Node(3,Empty,Node(2,Empty,Empty)),Node(4,Empty,Empty));
val t = ...
# swap (1,2) t;
val it = Node(2, Node(3,Empty,Node(1,Empty,Empty)),Node(4,Empty,Empty))
: int tree
```
- ④ 整数型の二分木が与えられたときに、その木に含まれる最大値を(あれば)返す関数 `getMax`

```
# val t = Node(1,Node(3,Empty,Node(2,Empty,Empty)),Node(4,Empty,Empty));
val t = ...
# getMax t;
val it = SOME 4 : int option
```

- ① 命題論理式 $expr$ が与えられて、 $expr$ に含まれる命題変数(の添字)の整数リストを返す関数 `vars`

```
# vars;
val it = fn : prop -> int list
# vars (IMP (OR (VAR 2, VAR 1), NOT (VAR 2)));
val it = [1, 2] : int list
```

- ② 命題論理式を文字列に直す関数 `propToString` (命題論理式の表わし方は適当で構わない。)

```
# propToString;
val it = fn : prop -> string
# propToString (IMP (OR (VAR 2, VAR 1), NOT (VAR 2)));
val it = "((p2 | p1) -> (!p2))" : string
```

これとは逆に、文字列が与えられたときに、データ型の値に直す作業を「構文解析」とよぶ。

実習課題 (2)

- ④ 付値 v を`int -> bool`型の関数によって与えるものとする。命題論理式 $expr$ と付値 v が与えられて、付値 v のもとで $expr$ の解釈 $\llbracket expr \rrbracket_v$ を返す関数 `eval` を与えよ。

```
# eval;
val it = fn : (int -> bool) -> prop -> bool
# fun v x = (x mod 2 = 0);
val v = fn : int -> bool
# eval v (AND (OR (VAR 0, VAR 1), VAR 2));
val it = true : bool
```

(ヒント) `fun eval v (VAR i) = v i (* 引数にとった関数を使って計算 *)`
| `eval v (NOT e) = not (eval v e)`
| `eval v (AND (e1,e2)) = (eval v e1) andalso ...`
.....

このように、関数を引数にとるような関数(高階関数)を用いることができる。高階関数については後半で学習する。

実習課題 (3)

- ⑤ 与えられた木が二分探索木の制約を満たしているかを、ブール型で返す関数 `isBinSearchTree`

```
# val t = Node(1,Node(3,Empty,Node(2,Empty,Empty)),Node(4,Empty,Empty));
val t = ...
# isBinSearchTree t;
val it = false : bool
# val t2 = Node(6,Node(3,Empty,Node(4,Empty,Empty)),Node(8,Empty,Empty));
val t2 = ...
# isBinSearchTree t2;
val it = true : bool
```

データ型の利用例(2) 二分探索木

実習課題 (4)

二分木において、どの木`Node (v, l, r)`においても、

- v は l に含まれるどのノードの値よりも大きい
- v は r に含まれるどのノードの値よりも小さい

という性質が成立するとき、その木を**二分探索木**という。

うまく二分探索木を作ると、効率良くデータを検索できる。例えば、二分探索木のなかにデータが含まれているかどうかを判定する関数 `member` は以下のように書ける。

```
fun member Empty x = false
  | member (Node (v, l, r)) x =
    if x < v then member l x
    else x > v then member r x
    else true
```

- ① 変数、定数、加算、乗算をもつ多項式をデータ型で定義せよ。
- ② 与えたデータ型に関して、どのような関数があるとよいかを自分で考え、それらの関数を実現せよ。

実習課題 (3)

以下の関数を与えよ。

- ④ 二分探索木に(その値がまだなければ)値を追加する関数 `insert`
- ```
val t = insert 5 Empty;
val t = Node (5, Empty, Empty) : int tree
val t2 = insert 3 t;
val t2 = Node (5, Node (3, Empty, Empty), Empty) : int tree
```
- ⑤ 二分探索木の性質を使って、二分探索木に含まれる値をソートされたリストで返す関数 `btreeToList`
- ```
# val t = insert 7 (insert 8 (insert 2 (insert 6 Empty)));
val t = ...
# btreeToList t;
val it = [2, 6, 7, 8] : int list
```