

## ML 演習 第 6 回

おおいわ  
May 14, 2002

## 今回の内容

- 補足
  - デバッグ環境
  - 標準出力
- ML風言語のインタプリタ (その2)
  - 式の評価順序と評価結果

2

## デバッグ環境

- ocaml インタプリタ
  - `#trace func;;` で `func` の呼び出しを監視
  - `#untrace func;;` で監視を解除
- ocamldebug
  - コンパイルされた実行ファイルに対してソースレベルデバッグを実現
    - emacs との協調が可能
    - 後退実行のサポート

3

## 標準出力関係

- `print_int`, `print_string`, `print_float`, `print_char`: それぞれの型の値を出力
- `print_newline`: 改行
- `print_endline`: 文字列を出力し改行
- `Printf.printf`: C 言語の `printf` 相当
  - 引数はきちんと型チェックされる
    - `printf` 用のちょっと特殊な型規則が存在
- その他はマニュアルを参照

4

## 式の評価順序 (1)

- 関数型言語の性質:
  - 基本的には評価順は評価結果に影響しない
    - 例外1: 副作用の存在
    - 例外2: 止まらないプログラム
      - `let rec iter x = iter x in fst (5, iter x)`

5

## 式の評価順序 (2)

- 代表的な3つの評価戦略
  - Call By Value (値渡し)
  - Call By Name (名前渡し)
  - Call By Need (遅延評価)

6

## Call by Value (1)

- 関数などの引数を適用の前に評価
  - fib (1 + 1) → fib 2 →  
if 2 < 2 then 1 else fib (2 - 1) + fib (2 - 2)  
→ if false then 1 else fib (2 - 1) + fib (2 - 2)  
→ fib (2 - 1) + fib (2 - 2)  
→ fib 1 + fib (2 - 2)  
→ (if 1 < 2 then 1 else ...) + fib (2 - 2)  
→\* 1 + fib (2 - 2) → 1 + fib 0  
→\* 1 + 1 → 2

7

## Call By Value (2)

- 利点
  - 高速な実装が可能
    - ほとんどの値は計算中に即値として現れる
  - 評価順がわかりやすい
    - 副作用が扱いやすい

8

## Call By Value (3)

- 欠点
  - 結果が定まっている式の評価が止まらないことがある
    - let rec loop x = loop x in fst (5, loop x) → 発散
  - 対策: いくつかの special form を用意
    - if は条件節と必要な方の節しか評価しない
      - if は関数ではない
    - ||, && などと同様

9

## Call By Value (4)

- 評価順序の制御
  - λ 抽象は評価順の制御に使える
    - let if\_f b x y = if b then x else y
      - if\_f true 5 (loop x) → 発散
    - let if\_d b x y = if b then x () else y ()
      - if\_d true (fun () -> 5) (fun () -> loop x)  
→\* if true then (fun () -> 5) () else (fun () -> loop x) ()  
→ (fun () -> 5) () → 5

10

## Call By Name (1)

- 外側の関数適用を先に評価
  - let f x = x \* x in f (5 + 3)  
→ f (5 + 3)  
→ (5 + 3) \* (5 + 3)  
→ 8 \* (5 + 3)  
→ 8 \* 8  
→ 64

11

## Call By Name (2)

- 利点
  - 計算能力が高い
    - Call By Value で評価可能なものは評価可能
    - さらに let rec loop x = loop x in fst (5+3, loop x)  
→ fst (5+3, loop x) → 5 + 3 → 8
  - if も通常の組み込み関数として定義可能
    - let (if) b x y = { b を評価し x か y を返す }
    - (if) true (5 + 3) (loop x) →\* 5 + 3 → 8

12

## Call by Name (3)

- 欠点
  - 実装が遅くなる
    - 常に「式」の形で評価を進める必要がある
  - 同じ式を何回も評価する
  - 式の評価回数やタイミングが制御困難
    - 副作用がある言語では使いづらい

13

## Call By Need (1)

- 外側の関数適用を先に評価
- 同じ式は1回だけ評価、結果を使い回す
  - `let f x = x * x in f (5 + 3)`
    - `f (5 + 3)`
    - `(5 + 3) * (5 + 3)`
    - `8 * 8`
    - `64`

14

## Call By Need (2)

- 利点
  - 計算能力が高い
  - 1つの式の評価は1回で済む
- 欠点
  - 実装が遅くなる
  - 式の評価タイミングは依然制御困難

15

## 遅延評価の実装 (1)

- `module Delayed: Call-by-Name の実現`
  - `delay` : 遅延評価される式を表すオブジェクトを生成
    - 使い方: `delay (fun () -> 式)`
  - `force` : `delay` された式の実際の値を得る

16

## 遅延評価 (2)

- 例 (1)

```
# let eager_if b x y = if b then x else y;;
val lazy_if : bool -> 'a -> 'a -> 'a = <fun>
# let rec eager_fact x = eager_if (x = 0) (1)
    (x * eager_fact (x - 1));;
val eager_fact : int -> int = <fun>
# eager_fact 10;;
(止まらない...)
```

17

## 遅延評価 (3)

- 例 (2): `if` の2つの選択肢を遅延評価

```
# open Delayed;;
# let lazy_if b x y = if b then (force x) else (force y)
val lazy_if : bool -> 'a Delayed.delayed ->
    'a Delayed.delayed -> 'a = <fun>
# let lazy_fact x = lazy_if (x = 0) (delay (fun () -> 1))
    (delay (fun () -> x * lazy_fact (x - 1)));;
val lazy_fact : int -> int = <fun>
# lazy_fact 10;;
- : int = 3628800
```

18

## 課題1

- module Delayed を Call-by-Need semantics で再実装せよ。
  - 1回 force された値を記憶しておき、同じ値が2回以上 force された場合でも評価が1回しか起こらないようにする。
  - 現状:
    - `let p = delay (fun () -> print_endline "eval!"; 5 + 3)`  
`in (force p) * (force p)` とやると eval! が2回表示される。

19

## 課題2

- 遅延 (無限) リストを表現する module Sequence を実装せよ。
  - tail 部分を遅延させます。
    - head:  $\alpha \text{ seq} \rightarrow \alpha$  先頭要素を取得
    - tail:  $\alpha \text{ seq} \rightarrow \alpha \text{ seq}$  先頭を除いた Seq.
    - nil:  $\alpha \text{ seq}$  空 Sequence
    - cons:  $\alpha \rightarrow \alpha \text{ seq delayed} \rightarrow \alpha \text{ seq}$
    - take:  $\alpha \text{ seq} \rightarrow \text{int} \rightarrow \alpha \text{ list}$ 
      - take s n : s の先頭最大 n 要素を取り出す

20

## 課題3 (optional)

- 前回のインタプリタを Call-by-need で再実装せよ。
  - データ構造は任意です: 必ずしもプリントの type lazymlvalue に従わなくていいです。
  - データ型を変えた際は make clean; make で Reader などを作り直してください。

21

## 課題3 (ヒント)

- 戦略
  - force  $\rightarrow$  式の形を見ながら今すぐに必要なところだけを評価
    - Primitive: 引数がすべて必要
    - Cons, Pair: 引数は delay されていてよい
    - Apply: 左辺の値 (λ式) が必要
    - Match: パターンマッチに必要な部分だけは force されていないといけない

22

## 提出方法

- 〆切: 2002年5月28日 (火) 13:00
- 提出先: [ml-report@yl.is.s.u-tokyo.ac.jp](mailto:ml-report@yl.is.s.u-tokyo.ac.jp)
- 題名: Report 6 (学生証番号)

23