ML 演習 第 6 回

おおいわ

May 20, 2003

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

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

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

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)
```

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)

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

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

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
    - ||, &&, ; なども同様

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

Call by Name (1)

- 外側の関数適用を引数より先に評価
  - let f x = x * x in f (5 + 3)
    → f (5 + 3)
    → (5 + 3) * (5 + 3)
    → 8 * (5 + 3)
    → 8 * 8
    → 64

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

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

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)* # 2つの (5+3) は同一
    → 8 * 8
    → 64
  - cf. “Haskell” (Call by need な関数型言語)

Call by Need (2)

- 利点
  - 計算能力が高い (call by name と同じ)
  - 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
    - Sharing があるのでさらに複雑に

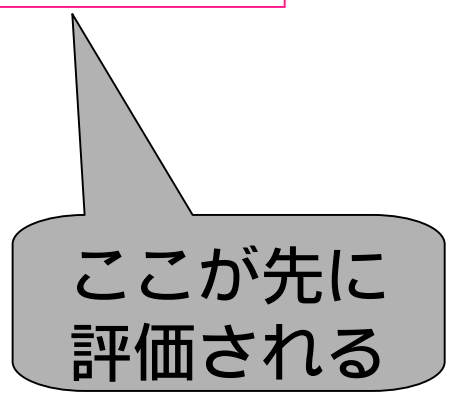
遅延評価の実装 (1)

- 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

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…)
```



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
```

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。

課題1 (ヒント)

- データ構造: Reference Cell
  - 評価される前の値 : unit → α
  - 評価された後の値 : α

  を格納できる reference を作って

  前者を一回評価したら後者に書き換える

  - global な記憶を作る戦略はうまくいかない
    - 型が違う delayed value を扱えない

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: α seq → α　　先頭要素を取得
    - tail: α seq → α seq　　先頭を除いた Seq.
    - nil: α seq　　空 Sequence
    - cons: α → α seq delayed → α seq
    - take: α seq → int → α list
      - take s n : s の先頭最大 n 要素を取り出す

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。

課題3 (ヒント)

- 戦略
  - force → 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
      - 変数や _ にマッチする部分は force しなくてよい

提出方法

- 〆切: 2003年6月3日 (火) 13:00
- 提出先: ml-report@yl.is.s.u-tokyo.ac.jp
- 題名: Report 6 (学生証番号)