ML 演習 第 5 回

おおいわ
May 8, 2001

お願い

- メールアドレスを確認してください
  - ml-query の返事が不達で戻ってきます
  - 特に、foobar@cses0g.is 形式が多いです

今回の内容

- モジュールと分割コンパイル
- 言語処理系の実装 (1)
  - 形無し関数型言語のインタプリタの作成
    - 文法と構文木
    - Call-by-value 戦略に基づく式の評価

ocamlc (1)

- Ocaml のコンパイラ
  - モジュール単位の分割コンパイルサポート
  - unix の実行形式ファイルを作成
  - 複数の backend
    - ocamlc: バイトコードコンパイラ
    - ocamlopt: ネイティブコードコンパイラ

ocamlc (2)

- 拡張子一覧
  - ソースファイル
    - .ml → module の実装 (structure)
    - .mli → module のインタフェース (signature)
  - オブジェクトファイル
    - .cmo → 実装のバイトコード
    - .cmi → インタフェース定義のバイトコード
    - .cmx → 実装のネイティブコード

分割コンパイル (1)

- .ml と .mli
  - 実装とインタフェースをそれぞれ記述
    - module SomeThing :
      sig [someThing.mli の内容] end
      = struct [someThing.ml の内容] end
      に相当
  - .mli をコンパイル → .cmi を生成
  - .ml をコンパイル → .cmi が無ければ
    制約無しで生成、あれば型チェック

分割コンパイル (2)

- 例
  - mySet.mli, mySet.ml
    - module MySet の定義 (内容はほぼ第4回の実装)
  - uniq.ml
    - メインプログラムのモジュール

7

分割コンパイル (3)

- 実行例 (1)

```
% ocamlc -c mySet.mli
% ocamlc -c mySet.ml
% ocamlc -c uniq.ml
% ls -F *.cm*
mySet.cmi   mySet.cmo   uniq.cmi   uniq.cmo
% ocamlc -o myuniq mySet.cmo uniq.cmo
% ls -F myuniq
myuniq*
```

8

分割コンパイル (4)

- 実行例 (1)

```
% ./myuniq
OCaml
Standard ML
C++
OCaml
^D
C++
OCaml
Standard ML
%
```

9

分割コンパイル (5)

- .cmo のインタプリタでの利用

```
# #load "mySet.cmo";;
# MySet.empty;;
- : 'a MySet.set = <abstr>
# MySet.remove_top;;
Unbound value MySet.remove_top
```

10

言語処理系の作成

- 今後3回の予定
  - 第5回: 基本的なインタプリタの作成
    - 形無しMLの処理系の作成
  - 第6回: インタプリタの様々な拡張
    - 式の評価順序に関する考察
  - 第7回: 言語処理系と型システム
    - ML 風の型推論の実装

11

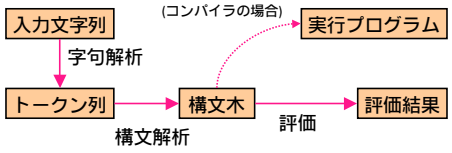
今回の言語の構文

- OCaml の小さな subset
  - データ型: int, bool, 関数, pair, list
  - 構文: 定数, 加減乗除, =, pair, ::,
    if, fun, 関数適用, match,
    let, let rec
  - とりあえず今回は動的な型チェックで実装
    (Scheme 風に)

12

言語処理系の構造

- 入力: プログラム文字列
- 出力: 評価結果



13

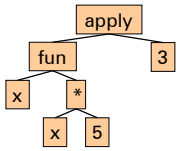
字句解析

- 入力文字列を「単語」に切り出す
  - 例: (fun x -> x * 5) 3
  - 出力: (fun x -> x * 5) 3
  - ツール: lex, flex, ocamllex etc…

14

構文解析 (1)

- 字句の列から文法解釈して構文木に
  - 例: (fun x -> x * 5) 3
  -



15

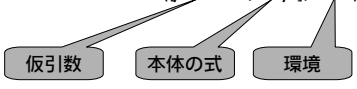
構文解析 (2)

- ツール: yacc, bison, ocamlyacc, etc…
- 今回は字句・構文解析はこちらで提供します
  - モジュール MiniMLReader

16

Mini-ML の値

- ML の subset (type mlvalue: miniML.ml)
  - 整数 (0, 1, 2, ...) Int *x*
  - 論理値 (true, false) Bool *b*
  - リスト Nil, Cons(*x*, *xs*)
  - ペア Pair(x1, x2)
  - 関数 Closure([*pattern*, *exp*], *env*)



17

Mini-ML の式 (1)

- Caml 上での表現: type expr
  - 定数式 Const(*x* : mlvalue)
  - 変数参照 Var(*x* : string)
  - 整数演算 Plus(*e1*, *e2*)
    Minus(...), Times(...), Div(...)
  - 等値比較 Equal(*e1*, *e2*)
  - リストの生成 ConsExp(*e1*, *e2*)
  - ペアの生成 PairExp(e1, e2)

18

Mini-ML の式 (2)

- if 文　IfExp (*e1*, *e2*, *e3*)
- λ抽象　LambdaExp [IdentPtn *id*, *e*]
- 関数適用　App(e1, e2)
- match　MatchExp(*e*, *match_list*)
  - match_list: [*pattern1*, *exp1*; *pattern2*, *exp2*; ...]
- let 束縛　LetExp([IdentPtn *id*, *e1*], *e2*)
  LetRecExp ([IdentPtn *id*, *e1*], *e2*)

optional 課題のための拡張。
とりあえず気にしなくてよい。

19

Mini-ML のパターン言語

- 定数パターン　ConstPtn(*x*)
- 変数束縛パターン　IdentPtn(*ident*)
- 任意パターン　IdentPtn("_")
- リストパターン　ConsPtn(*ptn1*, *ptn2*)
- ペアパターン　PairPtn(*ptn1*, *ptn2*)

20

環境

- 自由変数と値の間の束縛関係を記憶
  - 評価の進行に応じて拡張される

例: let x = 5 in let y = 3 in x + y

- この下線部を評価している時点での環境は
  { x → 5, y → 3 }
- Mini-ML で環境を拡張する構文の例:
  - App, MatchExp, LetExp, LetRecExp, ...

21

環境の表現

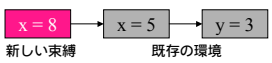
- 束縛 (string * mlvalue ref) のリスト
  - Scheme と違い、一回束縛した値は
    書き換わることが無いので、原理的には
    mlvalue でいいのだが、
    LetRecExp の実装の都合上
    mlvalue ref の方が都合がいいので
    こうしてあります。

22

環境の実装

- get (miniMLInterp.ml)
- eval (LetExp の節)

```
let rec eval env LetExp([IdentPtn id, e1], e2) =
  let v1 = eval env e1 in
  eval ( (id, ref v1) :: env ) e2
```



23

式の評価 (1)

- λ抽象
  - その時点での環境を保存
- 関数適用
  - 実引数を現在の環境で評価
  - 仮引数を実引数の評価結果に束縛し、
    それで保存されていた環境を拡張
  - 関数本体を拡張した環境で評価

24

式の評価 (2)

- f := let x = 5 in (fun y -> x + y)
  - f : y → x + y　x = 5
- let x = 3 in f x
  - この時点での環境 : x = 3
  - 実引数 “x” の評価結果 3 を y に束縛
  - 環境 y = 3 → x = 5 で “x + y” を評価

25

式の評価 (3)

- Let 式:
  - まず値を計算
  - 変数に束縛して環境を拡張
  - in 節の式を拡張された環境で評価

26

式の評価 (4)

- LetRec 式:
  - 先に環境を拡張 (中身の値は参照禁止)
  - 拡張された環境で式を評価
  - その値を束縛
  - in 節の式を拡張された環境で評価

  → 自分自身が束縛された環境を参照

27

パターンマッチ (1)

- パターンと値を見比べて束縛を作る
- データ構造パターン (ConsPtn) とのマッチは内部を再帰的に調査
  - 例:

    ConsPtn (IdentPtn x, ConstPtn (Nil)) と
    Cons (Int 1, Nil)
    → 結果は { x = 1 }

28

パターンマッチ (2)

ConsPtn (IdentPtn x, ConstPtn (Nil))
Cons (Int 1, Nil)

1. トップのデータ構造の比較:
   ConsPtn ←→ Cons : 内部が合えば合致
2. 第1要素の比較:
   IdentPtn x ←→ Int 1 : x を 1 に束縛
3. 第2要素の比較:
   ConstPtn (Nil) ←→ Nil : 合致

29

構文解析モジュール (1)

- Mini-ML 用パーサの使い方:
  - .cmo ファイルを3つ読み込む
    - miniMLReader.ml のコメント参照
    - ファイルは演習の URL を参照
  - なお、miniML.ml の定義を変更した場合、Makefile を用いて再コンパイルの必要がある場合があります。

30

構文解析モジュール (2)

- 例

```
# let exp = mlexp_of_string "fun x -> x + 1";;
- : MiniML.expr =
  LambdaExp
    [IdentPat "x", Plus (Var "x", Const (Int 1))]
# eval [] (mlexp_of_string "5 + 3");;
- : MiniML.mlvalue = Int 8
```

  - fun x y → x + y や let f x = x + 3 などは LambdaExp などの組み合わせに展開されます。

31

課題1

- miniMLInterp.ml のインタプリタに、関数適用 (App) と LetRec 式 (LetRecExp) に対する実装を追加せよ。
  - それぞれ failwith "..." になっている所を各自の実装で埋めてください。
  - 実装方針はここまでの説明を参照。

32

課題2

- パターンと値をとって、pattern match 時に生じる束縛を生成する関数
  match_pattern :
  pattern → mlvalue →
  (string * mlvalue ref) list
  を作成し、
  eval に MatchExp に対する実装を追加せよ。

33

課題3 (optional)

- LetExp, LetRecExp の実装をパターンと and 節に対応させよ。
  - 束縛のタイミングに要注意。
  - [IdentPtn id, e1] と書いてあったところに [pattern1, exp1; pattern2, exp2] という形で複数パターンが与えられます。
- Lambda 式を複数パターン選択 (function 式) に対応させよ。
  - もちろん実際は App の書き換えの方が重要。

34

提出方法

- 〆切: 2001年5月21日 (月) 24:00
- 提出先: ml-report@yl.is.s.u-tokyo.ac.jp
- 題名: Report 5 学生証番号

35