Parsec による簡易インタプリタの実装と構文の設計

機械科学・航空宇宙学科 3 年 1w192224 田久健人

June 28, 2021

はじめに

進捗 →

https://github.com/tkyawa/project_research_a

abstract

Haskell のパーサコンビネータの Parsec を用いた簡易なインタプリタの実装を通して，パーサコンビネータの雰囲気を学び，実際に構文の設計を行う．

目次

Monad とは

(Haskell の型クラスとしての)Monad・・・

```
class Monad m where
(>>=) :: m a -> (a -> m b) -> m b
return :: a -> m a
```

Monad とは

Monad の利点・・・

- **状態量**の扱いを，副作用を気にせずに行える場合がある
- 関数合成等ができる

状態量について

状態量の例・・・

```
add: x -> e:e + 1
```

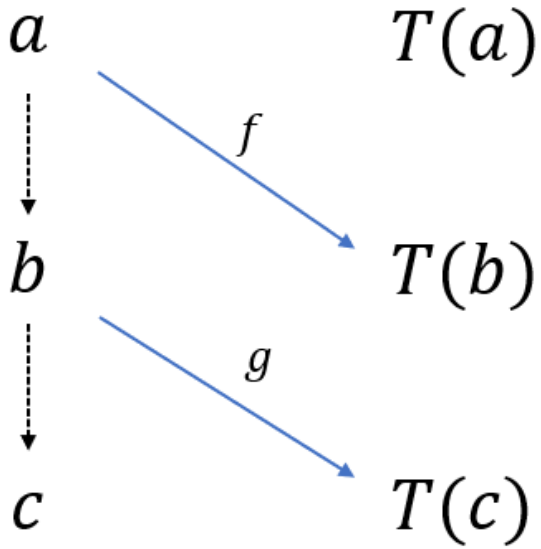
関数呼び出しの度に異なる結果が返る

状態量について

定義 1.1

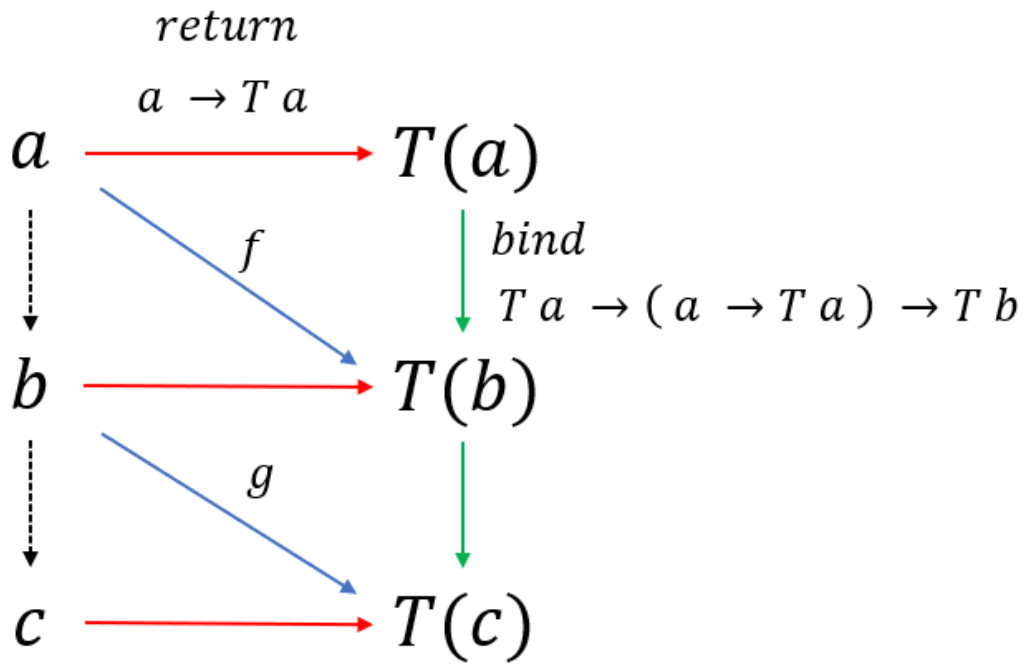
ある値 x が状態量を持つことを $T(x)$ と表記する

状態量を用いた Monad 概要図①



$a \to T(b), b \to T(c)$ の関数合成はできない

状態量を用いた Monad 概要図②



bind,return によって関数合成っぽいことができる

Monad の例 1:Maybe ①

```
data Maybe a = Nothing
             | Just a
            deriving (Eq, Ord)

instance Monad Maybe where
    (Just x) >>= f = f x
    Nothing >>= f = Nothing
    return x = Just x
```

bind の実装が，Just と Nothing のパターンマッチ

Monad の例 1:Maybe ②

モナド値が取りうる全ての状態に対しパターンマッチを行うことにより，bind が実装されている

→ 抽象的な概念と実装の橋渡し

Monad の例 2:State

```
instance Monad (State s) where
    f >>= m = State $ \s ->
        let (s', a) = runState f s
            in runState (m a) s'
```

→ 取り出した値の状態に対するパターンマッチで bind を実装

Parser Monad ①

パーサを Monad として扱うことを考える.

```
Parser :: String -> AST
            ↓
Parser :: String -> (AST, String)
            ↓
Parser :: String -> (a, String)
```

Parser Monad ②

```
data Parser a = Parser (String -> [(a,String)])

instance Monad Parser where
    return a = Parser $ \cs -> [(a,cs)]
    p >>= f  =
    Parser $ \cs -> let l = parse p cs
                        ll = map func l
                    in concat ll
        where
            func (a,cs') = parse (f a) cs'
```

最小構成のパーサ

一文字を受理するパーサ

```
item :: Parser Char
item = Parser $ \cs -> case cs of
                         ""     -> []
                         (c:cs') -> [(c,cs')]
```

必ず失敗するパーサ

```
failure :: Parser a
failure = \inp -> []
```

最小構成のパーサ

各パーサは，bind により合成可能，do 記法が使用できる

四則演算の実装

全体の構成:

AST: data 型で表現
Lexer,Parser: Parsec の各関数で実装
Eval: Haskell に渡す

```
data AST = ...
(lexer :: String -> Parser String)
parser :: Parser AST
eval :: AST -> Integer
```

演算子順位の実装

演算子順位は，パーサ実装で (おそらく) 最初に頭を使う (面白い，難しい) 部分
Parsec では，buildExpressionParser を用いて直感的 (?) に実装可能

buildExpressionParser ①

実装例:

```
expr :: Parser Expr
expr = buildExpressionParser
       [[binary "*" Mul AssocLeft,
        binary "/" Div AssocLeft]
       ,[binary "+" Add AssocLeft,
        binary "-" Sub AssocLeft, prefix "-" Negate]
       ]
       atom
  where
    binary name fun assoc =
        Infix (reservedOp name >> return fun) assoc
    prefix name fun = Prefix (fun <$ reservedOp name)
```

buildExpressionParser ②

つづき:

```
atom :: Parser Expr
atom = do symbol "("
          x <- expr
          symbol ")"
          return x
       <|> (Const <$> natural)
```

buildExpressionParser を用いない実装

一般的には...

- 構文段階 or パース段階で再帰的な定義を与える
- chainl 等を用いる

デモ①

(いろんな四則演算)

まとめ

Parser を Monad で実装することで，幅広いパーサ関数を実装できた

IMP 概要

IMP is a simple imperative language

IMP の構文 (BNF)

```
Command ::= Command; Command
          | if BExpr then Command else Command
          | while BExpr do Command
          | String := AExpr
          | Skip

BExpr ::= true
        | false
        | AExpr < AExpr

AExpr ::= integer
        | var
        | AExpr + AExpr
        | AExpr × AExpr
```

全体の構成

ファイル構成:

```
IMP - - Syntax.hs
    | - Parser.hs
    | - Env.hs
    | - Eval.hs
    | - Main.hs
```

Syntax.hs

構文を AST で，AST をデータ型で表現

```
data Command = Seq [Command]
       | If BExpr Command Command
       | While BExpr Command
       | Assign String AExpr
       | Skip
       deriving (Eq,Show)

data BExpr = Bool Bool
       |  Greater AExpr AExpr
       |  Less AExpr AExpr
       deriving (Eq,Show)
```

Syntax.hs

つづき

```
data AExpr = Id String
           | Integer Integer
           | Add AExpr AExpr
           | Sub AExpr AExpr
           | Mul AExpr AExpr
           | Div AExpr AExpr
           | Pow AExpr AExpr
           | Fact AExpr
           | Negate AExpr
          deriving (Eq, Show)
```

Parser.hs

Parsec の関数を用いて，Lexer,Parser 部を実装

parseAExpr

四則演算のパーサと同じ雰囲気で実装
(実装自体は buildExpressionParser に丸投げ)

parseCommand

予約語を受理するパーサと式のパーサを組み合わせる
例: parseIfCommand

```
parseIfCommand :: Parser Command
parseIfCommand =
    do reserved "if"
       cond <- parseBExpr
       reserved "then"
       stmt1 <- parseCommand
       reserved "else"
       If cond stmt1 <$> parseCommand
```

Seq について

```
sequenceOfCommand =
    do list <- sepBy1 parseCommand semi
    return $ if length list == 1
        then head list else Seq list
```

セミコロンをセパレータとして使用

(補足)セミコロンについて①

本実装におけるセミコロン:

```
Statement ; Statement ; ... ; Statement
```

- 一番最後のには付けない
- Pascal 等が同じ方式

(補足.) セミコロンについて②

C 言語のセミコロン:
式，文よりも細かいレベルでセミコロンの規則が定められている

(補足.) セミコロンについて③

例 (C の BNF):

```
<statement> ::= <labeled-statement>
              | <expression-statement>
              | <compound-statement>
              | <selection-statement>
              | <iteration-statement>
              | <jump-statement>

<expression-statement> ::= {<expression>}? ;
```

→ 本実装では，大まかな機能の実装に集中したいため，(とりあえず) セミコロンは単に文のセパレータとして用いる

Env.hs

変数 (環境) を Data.map (連想リスト) で実装

```
type Env = Map String Integer
```

Eval.hs

Command(文) は Env を返す

```
evalCommand :: Env -> Command -> Env
```

AExpr, BExpr(式) は値を返す

```
evalBExpr :: Env -> BExpr -> Bool
```

```
evalAExpr :: Env -> AExpr -> Integer
```

デモ②

```
x := 1;

x := 1; y := 2; if(x > y) then{x := 10} else{y := 10}

x := 1; while(x < 10) do {x := x + 1}
```

IMP の構文上の問題点

IMP の型 (Integer と Boolean) は，構文上完全に切り離されている．(AExpr と BExpr)

→ 関数の実装を考えると...
各型に対し別の構文で関数を実装することになる

まとめ

- IMP を実装した
- IMP の型表現の窮屈さを感じた

式を統合する

2 つの Expr を統合する

```
data Expr =  Var String
         |  Integer Integer
         |  Bool Bool
         |  Negative Expr
         |  Add Expr Expr
         ...
         |  Sub Expr Expr
         |  Greater Expr Expr
         |  Less Expr Expr
         |  Equal Expr Expr
        deriving (Eq,Show)
```

型の表現

Expr の統合により，これまで AExpr.Integer に限定していた変数の型を Expr の各リテラル (Integer,Bool) に対応できるようにする必要がある.

Env.hs の変更点

変数部分を汎用に (型環境みたいな)

```
type Env = Map String TypeEnv

data TypeEnv = Integer Integer
             | TypeBool Bool
             deriving(Show)
```

Env の変更に伴う評価の変更

```
evalStatement :: Env -> Statement -> Env

evalExpr :: Env -> Expr -> TypeEnv
```

→(if 文の expr 等) 構文レベルでの型制限ができないため，パターンマッチで絞る必要がある

型エラーについて

例:if 文の評価

```
evalStatement env (If b x y) =
    case evalExpr env b of
        TypeBool True -> evalStatement env x
        TypeBool False -> evalStatement env
        _ -> error
          "If statement expected type 'Bool' as Expr"
```

デモ③

```
x := 1; y := true

x := 1; y := 2; if(x > y) then{x := 10} else{y := 10}

x := 1; while(x < 10) do {x := x + 1}
```

まとめ

式を統合し，拡張性を高めた

今後の展開

関数の実装

Func の構文的な位置づけ①

Expr に組み込むことを検討

```
data Expr = ...
          | Func Expr  Statement
          | Apply Expr Expr
```

func (引数) 処理

Func の構文的な位置づけ②

処理が Statement だが，値を返したい
→Statement 内に，Expr との橋渡しとなるような構文が必要

```
data Statement = ...
               | Return Expr
```

(Statement の構文も Expr に入れてもいい感じになる?)

関数型の実装

TypeEnv 内に関数型を実装したい

```
data Env = Map String TypeEnv

data TypeEnv = TypeInteger Integer
             | TypeBool Bool
             | Closure Env Expr Statement
```

Env の入れ子みたいに実装？

想定動作例

```
hoge := func(arg1){x := arg1 * 2; };
> fromList [("hoge",Closure[("arg1",Assign(Var(x),
  Mul(Var(arg1),Integer(2))))])]
x := hoge(2);
> fromList [("hoge",Closure[("arg1",Assign(Var(x),
  Mul(Var(arg1),Integer(2))))],"x",TypeInteger(4))]
```