

工学部専門科目

「プログラミング言語」 SICP
第3章 ~ Modularity, Objects, State ~
その4

五十嵐 淳

`pl15@fos.kuis.kyoto-u.ac.jp`

京都大学 大学院情報学研究科
通信情報システム専攻

May 19, 2015

今日のメニュー

3.3 変更可能データを使ったモデリング

3.3.5 制約の伝播

3.3.5 制約の伝播

- ふつうのプログラムでは入力と出力が厳密に区別される
- n 変数の関係式

$$\begin{aligned}(\text{ひずみ}) \cdot (\text{断面積}) \cdot (\text{弾性係数}) &= (\text{応力}) \cdot (\text{長さ}) \\ (\text{電圧}) &= (\text{電流}) \cdot (\text{抵抗})\end{aligned}$$

では, $(n - 1)$ 変数の値が決まると最後のひとつが決まる

⇒ 入力・出力の立場が自在に決められるプログラム!?

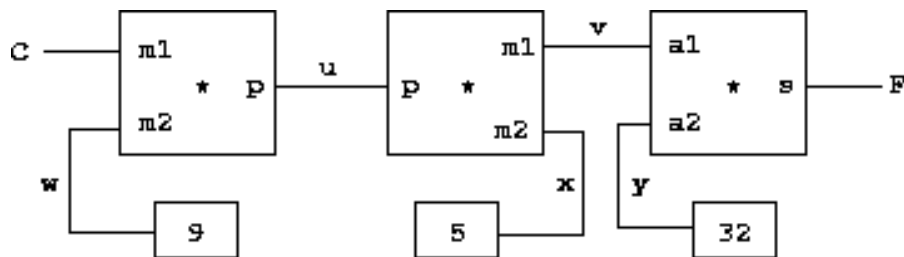
制約ネットワーク

- n 変数の関係式を「ネットワーク」で表現する
 - 原始制約
 - ▶ $a = b + c$
 - ▶ $a = b \cdot c$
 - コネクタ: ふたつの制約に現れる変数をつなぐ
 - ▶ 値を保持する
 - ▶ 「両端は同値である」という制約を課す

制約ネットワークの例

摂氏温度 (C) と華氏温度 (F) の換算式

$$9C = 5(F - 32)$$



- 線分がコネクタ
- 箱が原始制約

この節の内容

制約ネットワークを表現するための仕組みを実現する

- (make-connector)
 - ▶ コネクタを作る
- (multiplier c1 c2 c3)
 - ▶ コネクタ c_1 , c_2 , c_3 間に制約 $c_1 \cdot c_2 = c_3$ を課す
- (adder c1 c2 c3)
 - ▶ コネクタ c_1 , c_2 , c_3 間に制約 $c_1 + c_2 = c_3$ を課す
- (constant n c)
 - ▶ コネクタ c の値が常に n になるように制約を課す
- (probe s c)
 - ▶ コネクタ c の値を観察し、 c の値に変化があった時にメッセージ s とその値を表示する

摂氏・華氏変換の表現

```
(define (celsius-fahrenheit-converter c f)
  (let ((u (make-connector))
        (v ...) (w ...) (x ...) (y ...)))
    (multiplier c w u)
    (multiplier v x u)
    (adder v y f)
    (constant 9 w)
    (constant 5 x)
    (constant 32 y)
    'ok))
```

```
(define C (make-connector))  
(define F (make-connector))  
  
(celsius-fahrenheit-converter C F)  
  
(probe "Celsius temp" C)  
(probe "Fahrenheit temp" F)
```


ネットワークを使う

```
(set-value! C 25 'user)
```

```
(set-value! F 212 'user)
```

```
(forget-value! C 'user)
```

```
(set-value! F 212 'user)
```

コネクタの操作

- (has-value? c)
 - ▶ コネクタ c に値がセットされたかを調べる
- (get-value c)
 - ▶ コネクタ c の値を得る
- (set-value! c n i)
 - ▶ コネクタ c の値を n にセットする . i はセットした人
- (forget-value! c r)
 - ▶ コネクタ c の値をリセットする . r はリセットする人 (セットした人と同じでなければならない)
- (connect c constr)
 - ▶ コネクタ c を制約 constr につなぐ

実装の方針

制約・コネクタをオブジェクトとして実現 (ただし制約オブジェクトの状態は変化しない)

- 制約オブジェクト (probe オブジェクトも含む)
 - ▶ 状態: つながっているコネクタ
 - ▶ 受け付けるメッセージ: I-have-a-value, I-lost-my-value
- コネクタオブジェクト
 - ▶ 状態変数
 - ★ value: 値
 - ★ informant: 最後に値をセットしたのが誰か (#f なら値はセットされていない)
 - ★ constraints: 接続されている制約オブジェクトのリスト
 - ▶ 受け付けるメッセージ: has-value?, value, set-value!, forget, connect

加算・乗算の制約オブジェクトの動作

- メッセージ `I-have-a-value` を受け取る \implies
 - ▶ 接続されたコネクタ達から値を取り寄せる
 - ▶ 値が決まる場所があるなら, それを保持するためのコネクタに `set-value!` メッセージを送る
 - ▶ 値が決まらない場合はなにもしない
- メッセージ `I-lost-my-value` を受け取る \implies
 - ▶ 接続されたコネクタ全てに一旦値をリセットするよう `forget` メッセージを送信
 - ▶ `I-have-a-value` を受けた時の動作を行い値の再計算

定数制約オブジェクトの動作

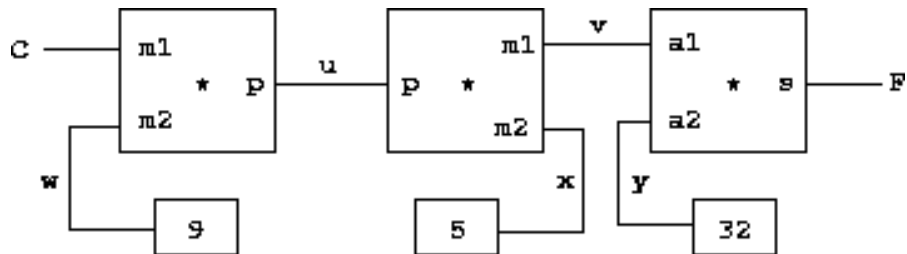
- オブジェクト作成時に与えられたコネクタに値をセットする
- が、後は何もしない

コネクタオブジェクトの動作

- メッセージ `set-value!` を受け取る \implies
 - ▶ 既に値を保持していて、それとは違う値をセットしようとしているならエラー
 - ▶ 値と誰がセットしたかを記憶
 - ▶ 接続された制約オブジェクト全て (セットしたオブジェクト以外) に `I-have-a-value` を送信する
- メッセージ `forget` を受け取る \implies
 - ▶ 前に値をセットした人とメッセージ送信者が同じかチェック (違うなら何もしない)
 - ▶ `informant` をクリア
 - ▶ 接続された制約オブジェクト全て (リセットしたオブジェクト以外) に `I-lost-my-value` を送信する

- メッセージ `connect` を受け取る \implies
 - ▶ 制約オブジェクトを登録
 - ▶ 自分が値を持っている状態なら, その値を新しい制約オブジェクトに知らせる (I-have-a-value)

例で説明



probe オブジェクトの動作

- メッセージ I-have-a-value を受け取る \implies
 - ▶ 接続されたコネクタの値を表示
- メッセージ I-lost-my-value を受け取る \implies
 - ▶ 値が無くなった旨メッセージを表示

adder の定義 (1/3)

```
(define (adder a1 a2 sum) ;; 引数はコネクタ
  (define (process-new-value) ...)
  (define (process-forget-value) ...)
  (define (me request) ;; リクエストメッセージで場合わけ
    (cond ((eq? request 'I-have-a-value)
           (process-new-value))
          ((eq? request 'I-lost-my-value)
           (process-forget-value))
          (else
           (error ...))))
  ;; 初期化 (接続) のための処理
  (connect a1 me) ;; 黄色地 の名はメッセージ送信手続き
  (connect a2 me)
  (connect sum me)
  me)
```

adder の定義 (2/3)

```
(define (adder a1 a2 sum)
  (define (process-new-value)
    (cond ((and (has-value? a1) (has-value? a2))
           (set-value! sum
                        (+ (get-value a1) (get-value a2))
                        me))
          ((and (has-value? a1) (has-value? sum))
           (set-value! a2
                        (- (get-value sum) (get-value a1))
                        me))
          ((and (has-value? a2) (has-value? sum))
           (set-value! a1
                        (- (get-value sum) (get-value a2))
                        me))))
  ...)
```

adder の定義 (3/3)

```
(define (adder a1 a2 sum)
  (define (process-new-value) ...)
  (define (process-forget-value)
    (forget-value! sum me)
    (forget-value! a1 me)
    (forget-value! a2 me)
    (process-new-value))
  ...)
```

multiplier の定義 (1/3)

```
(define (multiplier m1 m2 product)
  (define (process-new-value) ...)
  (define (process-forget-value) ...)
  (define (me request)
    (cond ((eq? request 'I-have-a-value)
           (process-new-value))
          ((eq? request 'I-lost-my-value)
           (process-forget-value))
          (else
           (error ...)))
    (connect m1 me)
    (connect m2 me)
    (connect product me)
  me)
```

multiplier の定義 (2/3)

```
(define (multiplier m1 m2 product)
  (define (process-new-value)
    (cond ((or (and (has-value? m1)
                    (= (get-value m1) 0))
              (and (has-value? m2)
                    (= (get-value m2) 0))))
          (set-value! product 0 me))
      ((and (has-value? m1) (has-value? m2))
       (set-value! product
                    (* (get-value m1) (get-value m2)
                       me))
       ((and (has-value? product) (has-value? m1))
        ...)
       ((and (has-value? product) (has-value? m2))
        ...))))
```

multiplier の定義 (3/3)

```
(define (multiplier m1 m2 product)
  (define (process-new-value) ...)
  (define (process-forget-value)
    (forget-value! product me)
    (forget-value! m1 me)
    (forget-value! m2 me)
    (process-new-value))
  ...)
```

constant の定義

```
(define (constant value connector)
  (define (me request)
    (error ...))
  (connect connector me)
  (set-value! connector value me)
  me)
```


probe の定義

```
(define (probe name connector)
  (define (print-probe value)
    (newline)
    (display "Probe: ")
    (display name)
    (display " = ")
    (display value))
  (define (process-new-value)
    (print-probe (get-value connector)))
  (define (process-forget-value)
    (print-probe "?"))
  (define (me request) ...) ;; ディスパッチャ
  (connect connector me)
  me)
```

メッセージ送信手続き

```
(define (inform-about-value constraint)
  (constraint 'I-have-a-value))
(define (inform-about-no-value constraint)
  (constraint 'I-lost-my-value))
```

make-connector の定義 (1/4)

```
(define (make-connector)
  (let ((value false)      (informant false)
        (constraints '()))
    (define (set-my-value newval setter) ...)
    (define (forget-my-value retractor) ...)
    (define (connect new-constraint) ...)
    (define (me request)
      (cond ((eq? request 'has-value?)
              (if informant true false))
            ((eq? request 'value) value)
            ((eq? request 'set-value!) set-my-value)
            ((eq? request 'forget) forget-my-value)
            ((eq? request 'connect) connect)
            (else (error ...))))
      me))
```

make-connector の定義 (2/4)

```
(define (make-connector)
  (let ((value false) ...)
    (define (set-my-value newval setter)
      (cond ((not (has-value? me))
              (set! value newval)
              (set! informant setter)
              (for-each-except setter
                                inform-about-value
                                constraints))
            ((not (= value newval))
             (error ...))
            (else 'ignored)))
    ...))
```

make-connector の定義 (3/4)

```
(define (make-connector)
  (let ((value false) ...)
    ...
    (define (forget-my-value retractor)
      (if (eq? retractor informant)
          (begin (set! informant false)
                 (for-each-except retractor
                                  inform-about-no-value
                                  constraints)))
          'ignored))
    ...))
```

make-connector の定義 (4/4)

```
(define (make-connector)
  (let ((value false) ...)
    ...
    (define (connect new-constraint)
      (if (not (memq new-constraint constraints))
          (set! constraints
                (cons new-constraint constraints)))
      (if (has-value? me)
          (inform-about-value new-constraint))
      'done)
    ...))
```

補助手続き

```
(define (for-each-except
        exception procedure list)
  (define (loop items)
    (cond ((null? items) 'done)
          ((eq? (car items) exception)
           (loop (cdr items)))
          (else (procedure (car items))
                 (loop (cdr items)))))
  (loop list))
```

- `exception` を除く `list` の要素それぞれに `procedure` を適用する

メッセージ送信手続き

```
(define (has-value? connector)
  (connector 'has-value?))
(define (get-value connector)
  (connector 'value))
(define (set-value! connector new-value informant)
  ((connector 'set-value!) new-value informant))
(define (forget-value! connector retractor)
  ((connector 'forget) retractor))
(define (connect connector new-constraint)
  ((connector 'connect) new-constraint))
```


宿題：5/26(火) 16:30 締切

- Ex. 3.33
- レポートには
 - ▶ 考え方の説明
 - ▶ プログラムリストと考え方の対応
 - ▶ 実行例を示すこと
- レポート (pdf) とプログラムファイルを提出システムを通じて提出
- 友達に教えてもらったなら、その人の名前を明記
- web は出典を明記 (「同じ」回答は減点)

来週の予定範囲 3.5.1 ~ 3.5.2

予習ポイント:

- ストリームとはどんなデータ構造か？ リストとの違いは何か？
- ストリームを使った素数列の計算の仕組み
- なぜ無限のデータ列が表現できるのか？