

SNU 4190.210 프로그래밍 원리(Principles of Programming) Part II

Prof. Kwangkeun Yi

차례

- 1 데이터 구현하기 (data implementation)
- 2 데이터 속구현 감추기 (data abstraction)
- 3 여러 구현 동시 지원하기 (multiple implemenations)
- 4 각 계층별로 속구현 감추기(data abstraction hierarchy)

다음

- 1 데이터 구현하기 (data implementation)
- 2 데이터 속구현 감추기 (data abstraction)
- 3 여러 구현 동시 지원하기 (multiple implemenations)
- 4 각 계층별로 속구현 감추기(data abstraction hierarchy)

데이터 구현하기 (data implementation)

새로운 타입의 데이터/값 구현하기

- ▶ 기억하는가: 타입들(types)

$\tau ::=$	ι	primitive type
	$\tau \times \tau$	pair(product) type
	$\tau + \tau$	or(sum) type
	$\tau \rightarrow \tau$	ftn type, single param
	$\tau * \dots * \tau \rightarrow \tau$	ftn type, multi params
	\top	any type
	t	user-defined type's name
	τt	user-defined type's name, with param
$\iota ::=$	$int \mid real \mid bool \mid string \mid symbol \mid unit$	

- ▶ 새로운 타입(t 혹은 τt)의 데이터 구현해야

새로운 데이터 타입

- ▶ 기본으로 제공되는 타입들

int, real, bool, string, symbol, unit

이 아닌

- ▶ 소프트웨어마다 새로운 타입의 데이터/값이 필요
 - ▶ 예) 짝, 집합, 리스트, 가지, 나무, 숲, 땅, 감정, 관계, 지식, 자동차, 목표표, 하늘, 바람, 원자, 분자, 세포, 뉴런, 책, 색깔, 종이, 건물, 층, 벽, 기둥, 사람, 테란, 젤-나가, 저그, 프로토스, 등등

새로운 데이터 타입 구현하기

기억하는가:



모든 프로그래밍 언어에는 각 타입마다 그 타입의 값을 만드는 식과 사용하는 식을 구성하는 방법이 제공된다.

구현할 새로운 타입의 데이터/값에 대해서도

- ▶ 만드는(introduction, construction) 방법과
- ▶ 사용하는(elimination, use) 방법을 함수로 구현해서 사용하면 된다.

새로운 데이터 타입 구현하기



- ▶ 새로운 타입을 τ 라고 하면
 - ▶ 만들기 함수들의 타입은

$\dots \rightarrow \tau$

- ▶ 사용하기 함수들의 타입은

$\tau \rightarrow \dots$

예) 짝(pair) $\tau \times \tau'$

- ▶ 만들기

$\text{pair} : \tau * \tau' \rightarrow \tau \times \tau'$

- ▶ 사용하기

$l : \tau \times \tau' \rightarrow \tau$

$r : \tau \times \tau' \rightarrow \tau'$

그 함수들의 구현:

(define pair cons)

(define l car)

(define r cdr)

예) 합(sum) $\tau + \tau'$

▶ 만들기

```
inl  :  $\tau \rightarrow \tau + \tau'$   
inr  :  $\tau' \rightarrow \tau + \tau'$ 
```

▶ 사용하기

```
is-left? :  $\tau + \tau' \rightarrow bool$   
left    :  $\tau + \tau' \rightarrow \tau$   
right   :  $\tau + \tau' \rightarrow \tau'$ 
```

그 함수들의 구현:

```
(define (inl x) (pair 'left x))  
(define (inr y) (pair 'right y))  
(define (is-left? t) (?eq (l t) 'left))  
(define (left t) (r t))  
(define (right t) (r t))
```

예) 리스트(list) $\tau list$

▶ 만들기

```
empty  :  $\tau list$   
link   :  $\tau * \tau list \rightarrow \tau list$ 
```

▶ 사용하기

```
is-empty? :  $\tau list \rightarrow bool$   
fst       :  $\tau list \rightarrow \tau$   
rest     :  $\tau list \rightarrow \tau list$   
vs.  
length   :  $\tau list \rightarrow int$   
nth-elmt :  $\tau list * int \rightarrow \tau$ 
```

그 함수들의 구현:

```
(define empty ())  
(define is-empty? null?)  
(define link-pair) → (define link cons)  
(define fst-l) → (define fst car)  
(define rest-r) → (define rest cdr)
```

예) 두갈래 가지구조(binary tree) $\tau bintree$

▶ 만들기

```
leaf   :  $\tau \rightarrow \tau bintree$   
node   :  $\tau * \tau bintree * \tau bintree \rightarrow \tau bintree$ 
```

▶ 사용하기

```
is-leaf? :  $\tau bintree \rightarrow bool$   
node-val :  $\tau bintree \rightarrow \tau$   
l-subtree :  $\tau bintree \rightarrow \tau bintree$   
r-subtree :  $\tau bintree \rightarrow \tau bintree$ 
```

그 함수들의 구현:

```
(define (leaf x) (pair x 'leaf)) → (define (leaf x) (pair 'leaf x))  
(define (node x lt rt) (pair x (pair lt rt)))  
→ (define (node x lt rt) (pair 'node (pair x (pair lt rt))))  
(define (is-leaf? t) (?eq (r t) 'leaf)) → (define (is-leaf? t) (?eq (l t) 'leaf))  
(define (node-val t) (l t))  
→ (define (node-val t) (if (is-leaf? t) (r t) (l (r t))))  
...
```

예) 일반 가지구조(tree) $\tau tree$

▶ 만들기

```
node :  $\tau * (\tau tree) list \rightarrow \tau tree$ 
```

▶ 사용하기

```
node-val :  $\tau tree \rightarrow \tau$   
node-subtrees :  $\tau tree \rightarrow (\tau tree) list$ 
```

그 함수들의 구현:

```
(define (node x trees) (pair x trees))  
(define (node-val t) (l t))  
(define (node-subtrees t) (r t))
```

데이터 타입 구현 이슈들

하나의 데이터 타입에 대해서

- ▶ 여러버전 가능: 만들기/사용하기 함수들의 **기획**

$\left. \begin{array}{l} \text{leaf, node-l, node-r, node-lr} \\ \text{node-val, is-leaf?, is-rtree?, is-ltree?, is-lrtree?} \\ \text{l-subtree, r-subtree} \end{array} \right\} \text{v.s.} \left\{ \begin{array}{l} \text{empty, node} \\ \text{node-val, is-empty?} \\ \text{l-subtree, r-subtree} \end{array} \right.$

- ▶ 여러버전 가능: 만들기/사용하기 함수들의 **구현**

$\left. \begin{array}{l} (\text{define empty } A) \\ (\text{define node } B) \\ (\text{define node-val } C) \\ (\text{define l-subtree } D) \\ (\text{define r-subtree } E) \end{array} \right\} \text{v.s.} \left\{ \begin{array}{l} (\text{define empty } \neg) \\ (\text{define node } \perp) \\ (\text{define node-val } \sqsupset) \\ (\text{define l-subtree } \kappa) \\ (\text{define r-subtree } \mu) \end{array} \right.$

데이터 타입 기획과 구현 원리



새로운 데이터 타입의 구현은 만들기(*introduction*) 함수와 사용하기(*elimination*) 함수들을 정의하면 된다.



이 때, 만들기/사용하기 함수들의 **기획**은 드러내고 **구현**은 감추어서, 외부에서는 기획이 드러난(*interface, 끝*) 내용만 이용해서 프로그램을 작성하도록 한다.

- ▶ 기획을 작성하는 언어: **이름, 타입, 하는일**

프로그래밍언어 자연어, 수학

- ▶ 기획(*interface*)과 구현(*implementation*)은 독립적으로: **데이터 속구현 감추기(data abstraction)**

다음

- 1 데이터 구현하기 (*data implementation*)
- 2 데이터 속구현 감추기 (*data abstraction*)
- 3 여러 구현 동시 지원하기 (*multiple implemenations*)
- 4 각 계층별로 속구현 감추기(*data abstraction hierarchy*)

데이터 속구현 감추기(*data abstraction*)

분리: 외부와 데이터 구현의 속내용

- ▶ 외부에 알릴것. 변하지 말것. (*interface*)
 - ▶ 만들기/사용하기 함수들의 **기획**: 이름, 타입, 하는일
 - ▶ 외부에서는 만들기/사용하기 함수들만 **이용하기**
- ▶ 외부에 알리지 말것. 변해도 될것. (*implementation*)
 - ▶ 만들기/사용하기 함수들의 **구현**

장점: **외부**는 데이터 **구현과 무관**

- ▶ 데이터구현 변경과 외부사용 코드변경이 독립됨
- ▶ 데이터구현과 외부사용 프로그래밍 동시진행 가능

예) 짝 $\tau \times \tau'$

- ▶ 기획 (interface)

```
pair :  $\tau * \tau' \rightarrow \tau \times \tau'$   
l   :  $\tau \times \tau' \rightarrow \tau$   
r   :  $\tau \times \tau' \rightarrow \tau'$ 
```

- ▶ 구현은 기획에 맞기만하면 다양하게 가능

- ▶ 안1: cons, car, cdr
- ▶ 안2: lambda

- ▶ 외부사용

```
(define (leaf x) (pair 'leaf x))  
(define (node-l x t) (pair 'r (pair x t)))  
(define (node-r x t) (pair 'l (pair x t)))  
(define (l-subtree t) (if (equal (l t) 'l) (r (r t))))  
(define (r-subtree t) (if (equal (l t) 'r) (r (r t))))
```

예) 두갈래 가지구조(tree) τ bintree

- ▶ 기획 (interface)

```
leaf   :  $\tau \rightarrow \tau$  bintree  
node   :  $\tau * \tau$  bintree *  $\tau$  bintree  $\rightarrow \tau$  bintree  
is-leaf? :  $\tau$  bintree  $\rightarrow$  bool  
node-val :  $\tau$  bintree  $\rightarrow \tau$   
l-subtree :  $\tau$  bintree  $\rightarrow \tau$  bintree  
r-subtree :  $\tau$  bintree  $\rightarrow \tau$  bintree
```

- ▶ 외부사용

```
(node 10 (node 8 (leaf 5) (leaf 9)) (leaf 7))  
(node 1 (leaf 5) (node 2 (leaf 4) (leaf 3)))
```

```
(define (traverse t)  
  (begin (print (node-val t))  
         (if (is-leaf? t) ()  
             (begin (traverse (l-subtree t)) (traverse (r-subtree t))))))
```

연습: 데이터 구현하기 + 속구현 감추기

- ▶ 대수식(algebraic expression) 데이터
 - ▶ 미분함수(symbolic differentiation)

```
diff :  $ae * string \rightarrow ae$ 
```

- ▶ 부분계산함수(partial evaluation)

```
eval :  $ae * string * real \rightarrow ae$ 
```

다음

- 1 데이터 구현하기 (data implementation)
- 2 데이터 속구현 감추기 (data abstraction)
- 3 여러 구현 동시 지원하기 (multiple implemenations)
- 4 각 계층별로 속구현 감추기(data abstraction hierarchy)

여러 구현 동시지원: 예) 복소수 데이터

“표면” 단계

▶ 기획(interface)

```
make-from-real-imag : real * real → complex
make-from-mag-angle : real * real → complex
is-complex?       : T → bool
  real             : complex → real
  imag             : complex → real
  mag              : complex → real
  angle           : complex → real
```

외부 사용

```
add-complex : complex * complex → complex
mul-complex : complex * complex → complex
...
```

여러 구현 동시지원: 예) 복소수 데이터

한가지 방식만 구현한 경우

add-complex mul-complex make-from-real-imag make-from-mag-angle real imag mag angle is-complex?
rectangular representation

```
(define (make-from-real-imag r i) ...)
(define (make-from-mag-angle m a) ...)
(define (is-complex? x) ...)
(define (real x) ...)
(define (imag x) ...)
(define (mag x) ...)
(define (angle x) ...)
```

여러 구현 동시지원: 예) 복소수 데이터

두가지 방식의 구현을 같이 이용하는 경우

add-complex mul-complex make-from-real-imag make-from-mag-angle real imag mag angle is-complex?	
*~rectangular	*~polar
rectangular representation	polar representation

```
(define (make-from-real-imag r i) ...)
(define (make-from-mag-angle m a) ...)
(define (is-complex? x) ...)
(define (real x) ...)
(define (imag x) ...)
(define (mag x) ...)
(define (angle x) ...)
```

예) 복소수 데이터 구현A

“rectangular representation”

▶ 기획(interface)

```
make-from-real-imag-rectangular : real * real → complex
make-from-mag-angle-rectangular : real * real → complex
  is-rectangular?             : complex → bool
  real-rectangular            : complex → real
  imag-rectangular            : complex → real
  mag-rectangular              : complex → real
  angle-rectangular           : complex → real
```

예) 복소수 데이터 구현B

“polar representation”

▶ 기획(interface)

```

make-from-real-imag-polar : real * real → complex
make-from-mag-angle-polar : real * real → complex
is-polar?                 : complex → bool
real-polar                 : complex → real
imag-polar                 : complex → real
mag-polar                  : complex → real
angle-polar                : complex → real
    
```

여러 구현방식을 지원할 때의 원리



데이터 속구현 감추기(data abstraction) 원리를 유지한다.

- ▶ 즉, 각 구현방식마다 만들기와 사용하기 함수를 제공한다.
- ▶ 단, 그 함수들의 이름이 다른 구현방식과 구별되게 한다.
- ▶ 그리고, “표면” 단계의 만들기와 사용하기 함수들을 아랫단계의 여러 구현방식들을 이용해서 정의한다.

새로운 구현방식도 사용하도록 확장하려면?

같은 원리로:

add-complex mul-complex

make-from-real-imag		make-from-mag-angle	
real	imag	mag	angle
is-complex?			
*-rectangular	*-polar	*-xyz	
rectangular representation	polar representation	xyz representation	

그리고, 바꿀 것은?

- ▶ “표면” 단계의 만들기와 사용하기 함수들: make-from-real-imag, ..., angle, is-complex?

새로운 구현방식을 첨가/삭제하기 더 쉬운 방법?

“표면” 단계의 함수들 모두를 **매번 변경**해주는 번거로움:

```

(define (real x)
  (cond ((is-rectangular? x) (real-rectangular x))
        ((is-polar? x) (real-polar x))
        ((is-xyz? x) (real-xyz x))
        (else (error))))
    
```

```

(define (angle x)
  (cond ((is-rectangular? x) (angle-rectangular x))
        ((is-polar? x) (angle-polar x))
        ((is-xyz? x) (angle-xyz x))
        (else (error))))
    
```

⋮

새로운 구현방식을 첨가/삭제하기 더 쉬운 방법?

- ▶ 2차원의 함수 테이블 사용. (테이블은 변환 수 있는 물건으로)
 - ▶ 가로: 함수이름 태그 ('real', 'imag, 등등)
 - ▶ 세로: 구현방식 태그 ('rectangular', 'polar, 등등)

	'real	'imag	...
'rectangular	real-rectangular	imag-rectangular	...
'polar	real-polar	imag-polar	...
'xyz	real-xyz	imag-xyz	...

- ▶ 새로운 구현방식? 해당 함수들을 테이블에 등록
- ▶ “표면”의 함수들은 고정됨
 - ▶ 두 개의 태그(함수이름, 구현방식)로 테이블에서 가져온다

```
(define (real x) ((lookup ftn-tbl 'real (rep-tag x)) x))  
(define (imag x) ((lookup ftn-tbl 'imag (rep-tag x)) x))
```

⋮

다음

- 1 데이터 구현하기 (data implementation)
- 2 데이터 속구현 감추기 (data abstraction)
- 3 여러 구현 동시 지원하기 (multiple implemenations)
- 4 각 계층별로 속구현 감추기(data abstraction hierarchy)

계층별로 속구현 감추기 원리

여러 구현방식을 지원할 때의 원리와 같다:



데이터 속구현 감추기(data abstraction) 원리를 유지한다.

- ▶ 즉, 각 구현방식마다 만들기와 사용하기 함수를 제공한다.
- ▶ 단, 그 함수들의 이름이 다른 구현방식과 구별되게 한다.
- ▶ 그리고, “표면” 단계의 만들기와 사용하기 함수들을 아랫단계의 여러 구현방식들을 이용해서 정의한다.