4471028: 프로그래밍언어

Lecture 11 — 타입 추론 (1) Type Inference (1)

> 임현승 2020 봄학기

# 다음 표현식들의 타입은?

- (fun x -> x) 1:
- fun  $x \to x 1$ :
- fun  $x \rightarrow$  fun  $y \rightarrow x$ :

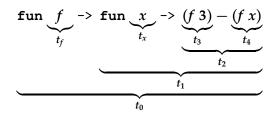
# 타입 추론(Type Inference)

- 표현식이 프로그램에서 어떻게 사용되고 있는지 분석하여 자동으로 표현식의 타입을 찾아주는 정적 분석(static analysis) 기법
- 잘 설계된 프로그래밍 언어의 경우 정적 타입 분석을 통해 모든 표현식의 타입을 항상 추론할 수 있음
  - 표현식 E가 타입 시스템에 의해 타입 T를 가질 수 있으면, i.e.,
    [] ⊢ E: T, 타입 추론을 통해 타입 T를 찾을 수 있음
  - ▶ 타입 추론 기법이 표현식 E의 타입으로 T를 추론하면, 타입 시스템에 의해 E는 타입 오류가 없으며(well-typed) 타입 T를 가질 수 있음, i.e.,  $[] \vdash E : T$
- 타입 추론은 다음 두 단계로 구성됨:
  - 🚺 주어진 프로그램을 분석하여 타입 방정식(type equation)을 생성
  - ② 생성된 타입 방정식을 해결

#### 타입 방정식 생성

모든 하위 표현식(subexpression)과 변수에 대해,

타입 변수를 도입
 예) fun f -> fun x -> (f 3) - (f x):



• 타입 변수들 간의 방정식을 유도

# 타입 규칙을 이용하여 방정식 유도

$$\bullet \frac{\Gamma \vdash E_1 : \mathsf{int} \qquad \Gamma \vdash E_2 : \mathsf{int}}{\Gamma \vdash E_1 + E_2 : \mathsf{int}}$$

$$t_{E_1} = \operatorname{int} \wedge t_{E_2} = \operatorname{int} \wedge t_{E_1+E_2} = \operatorname{int}$$

 $\Gamma \vdash E : \mathsf{int}$   $\Gamma \vdash \mathsf{iszero} E : \mathsf{bool}$ 

$$t_E = \text{int } \wedge t_{(\mathtt{iszero}\; E)} = \mathsf{bool}$$

$$\frac{\Gamma \vdash E_1 : \mathsf{bool} \qquad \Gamma \vdash E_2 : t \qquad \Gamma \vdash E_3 : t}{\Gamma \vdash \mathsf{if} E_1 \mathsf{then} E_2 \mathsf{else} E_3 : t}$$

$$egin{array}{lll} t_{E_1} &=& \mathsf{bool} \land \ t_{E_2} &=& t_{(\mathtt{if}\ E_1\ \mathtt{then}\ E_2\ \mathtt{else}\ E_3)} \land \ t_{E_3} &=& t_{(\mathtt{if}\ E_1\ \mathtt{then}\ E_2\ \mathtt{else}\ E_3)} \end{array}$$

# 타입 규칙을 이용하여 방정식 유도

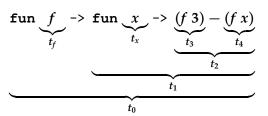
$$\bullet \frac{\Gamma \vdash E_1 : t_1 \to t_2 \qquad \Gamma \vdash E_2 : t_1}{\Gamma \vdash E_1 E_2 : t_2}$$

$$t_{E_1} = t_{E_2} \rightarrow t_{(E_1 E_2)}$$

$$\frac{[x \mapsto t_1]\Gamma \vdash E: t_2}{\Gamma \vdash \text{fun } x \rightarrow E: t_1 \rightarrow t_2}$$

$$t_{(\texttt{fun }x \rightarrow E)} = t_x \rightarrow t_E$$

$$\bullet \frac{\Gamma \vdash E_1 : t_1 \qquad [x \mapsto t_1]\Gamma \vdash E_2 : t_2}{\Gamma \vdash \mathsf{let}\ x = E_1\ \mathsf{in}\ E_2 : t_2}$$



7/10

$$fun f \rightarrow f 11$$

if x then x-1 else 0

$$fun f \rightarrow iszero (f f)$$