메타 제곱 (메타²)

명세 메타 언어도 메타 언어로 명세해줘

이재현, 안세혁, 류석영

@ 2026 SIGPL 여름학교

PLRG
Programming Language Research Group

명세 기계화 프레임워크와 명세 메타 언어

- **PL 명세**는 실행기, 타입 검사기, 컴파일러, 검증기, ... 의 기반
- **PL 명세**는 대부분 엄밀하지 않고, 대강 작성되어 있음



공식 명세

"if 문의 문법과 의미는 대부분의 프로그래밍 언어와 비슷하다."

명세 기계화 프레임워크
e.g., K, P4-SpecTec

$$
\begin{aligned}
&C \vdash \texttt{IF `(}\ expr_c\ \texttt{`)}\ stmt_t\ \texttt{ELSE}\ stmt_f \\
&\quad \text{-- } Expr_{ok}\colon C \vdash expr_c : type_c \\
&\quad \text{-- } \texttt{if}\ type_c = \texttt{BOOL} \\
&\quad \text{-- } Stmt_{ok}\colon C \vdash stmt_t \\
&\quad \text{-- } Stmt_{ok}\colon C \vdash stmt_f
\end{aligned}
$$

- 문법과 의미 구조를 **메타 언어**로 정밀하고 엄밀하게 표현

그러면 명세 메타 언어는 명세가 있나?

메타 언어 명세 기계화 프레임워크

- ~~PL 명세~~는 ~~실행기, 타입 검사기, 컴파일러, 검증기~~, ... 의 기반
- ~~PL 명세~~는 대부분 엄밀하지 않고, 대강 작성되어 있음

메타 언어



공식 명세

"if 문의 문법과 의미는 대부분의 프로그래밍 언어와 비슷하다."

$$C \vdash \texttt{IF `(}\ expr_c\ \texttt{`)}\ stmt_t\ \texttt{ELSE}\ stmt_f$$

-- $Expr_{ok}$: $C \vdash expr_c : type_c$

-- if $type_c = \texttt{BOOL}$

-- $Stmt_{ok}$: $C \vdash stmt_t$

-- $Stmt_{ok}$: $C \vdash stmt_f$

if 조건의 정확한 의미가 무엇인가?

해결 방법: 메타², 그리고 P4-SpecTec²

- 메타 언어의 문법과 의미 구조를,
  명세 기계화 프레임워크의 메타 언어로 엄밀하게 정의하기

메타²

P4-SpecTec²

```
E ⊢ --IF e ⊣ E
 -- Exp_eval: E ⊢ e : true
```

- P4-SpecTec 메타 언어의 문법과 의미 구조를,
  P4-SpecTec 메타 언어로 엄밀하게 정의

(1) P4-SpecTec² 명세 테스트하기



P4 프로그램



P4 명세
(P4-SpecTec 메타 언어로 작성)



P4-SpecTec² 명세
(P4-SpecTec 메타 언어로 작성)



P4-SpecTec 메타 언어 실행기
(OCaml로 작성)

P4 테스트 프로그램이
올바른 출력값을 내놓는지 테스트 ✅

아래에서 위로,
아래에 있는 층이
위에 있는 층을 실행

(2) P4-SpecTec² 명세가 메타 언어 이해에 도움이 되나?

FAQ: $e_0[e_1 : e_2]$의 의미가 뭔가요?

e_0 을 자르는데, (a) $[e_1, e_2]$ (b) $[e_1, e_2)$ (c) $[e_1, e_1 + e_2)$

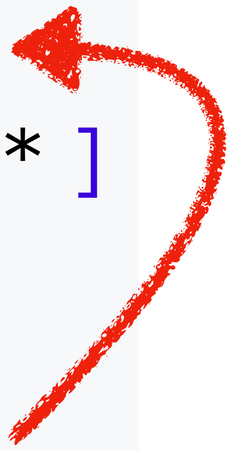
(2) P4-SpecTec² 명세가 메타 언어 이해에 도움이 되나?

FAQ: $e_0[e_1 : e_2]$의 의미가 뭔가요?

e_0 을 자르는데, ~~(a) $[e_1, e_2]$~~ ~~(b) $[e_1, e_2)$~~ (c) $[e_1, e_1 + e_2)$

P4-SpecTec² 명세가 있으면 이해가 되나?

```
E ⊢ e0 `[ e1 ':' e2 ] : v
 -- Exp_eval: E ⊢ e0 : `[ v0* ]
 -- Exp_eval: E ⊢ e1 : n1
 -- Exp_eval: E ⊢ e2 : n2
 -- if v = v0*[ n1 : n2 ]
```



순환!

$e_0[e_1 : e_2]$의 의미가 다시,
$v_0*[v_1 : v_2]$ 로 정의됨

(2) 순환 문제를 완화하는 방법: 교차-메타²



P4 프로그램



P4 명세
(P4-SpecTec 메타 언어로 작성)



P4-SpecTec² 명세
(P4-SpecTec 메타 언어로 작성)



P4-SpecTec 메타 언어 실행기
(OCaml로 작성)

한 메타 언어를

다양한 메타 언어로 명세하기



P4-SpecTec² 명세
(K 메타 언어로 작성)



K 프레임워크

메타 제곱 (메타²)

명세 메타 언어도 메타 언어로 명세해줘

포스터 없음
질문/의견 나눠 주세요

문제

- 메타 언어의 엄밀한 기계화 명세가 없다.

해결 방법: 메타²

- 메타 언어로 메타 언어 명세 기술

진행중

- **P4-SpecTec²** 명세 작성 및 테스팅
- **교차-메타²** 로 순환 정의 문제 완화