

Termination Analysis with Algorithmic Learning

(비통계적 학습 알고리즘으로 종료 분석하기)

Wonchan Lee¹

Bow-Yaw Wang²

Kwangkeun Yi¹

¹Seoul National University, Korea

²Academia Sinica, Taiwan

1. 종료 분석이란?

무엇?

- 프로그램이 항상 종료함을 증명

```
while (i > 0 && j > 0) {
  if (*) i--; else j--;
}
```

→ i 또는 j가 결국 0이 되어 항상 종료

왜?

- 프로그램이 올바름을 보이는 마지막 단추
- 종료 안 하는 프로그램은 자원을 조용히 잠식
 - 메모리를 할당한 채 종료하지 않는 경우

어떻게?

주어진 반복문

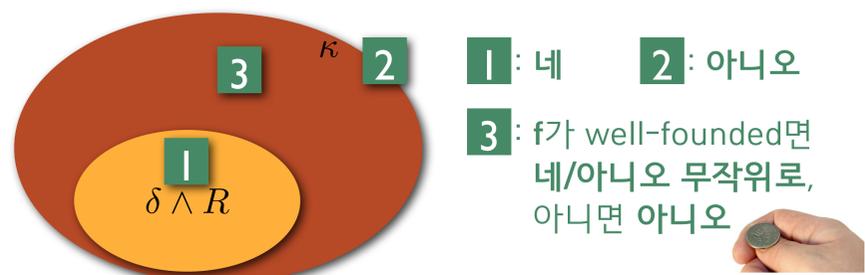
```
{δ} while κ do S end
```

에 대해 다음을 만족하는 \mathcal{T} 를 찾음 ($R = \kappa \wedge R_S$)

- (a) $\mathcal{T} \Rightarrow \kappa$
 - (b) $\delta \wedge R \Rightarrow \mathcal{T}$
 - (c) $R \vee \mathcal{T} \circ R \Rightarrow \mathcal{T}$
 - (d) $\mathcal{T} = T_1 \cup \dots \cup T_n$ T_i is well-founded
- \mathcal{T} 가 종료를 증명
- \mathcal{T} 가 반복문의 모든 변화를 포섭 (이행 불변식)

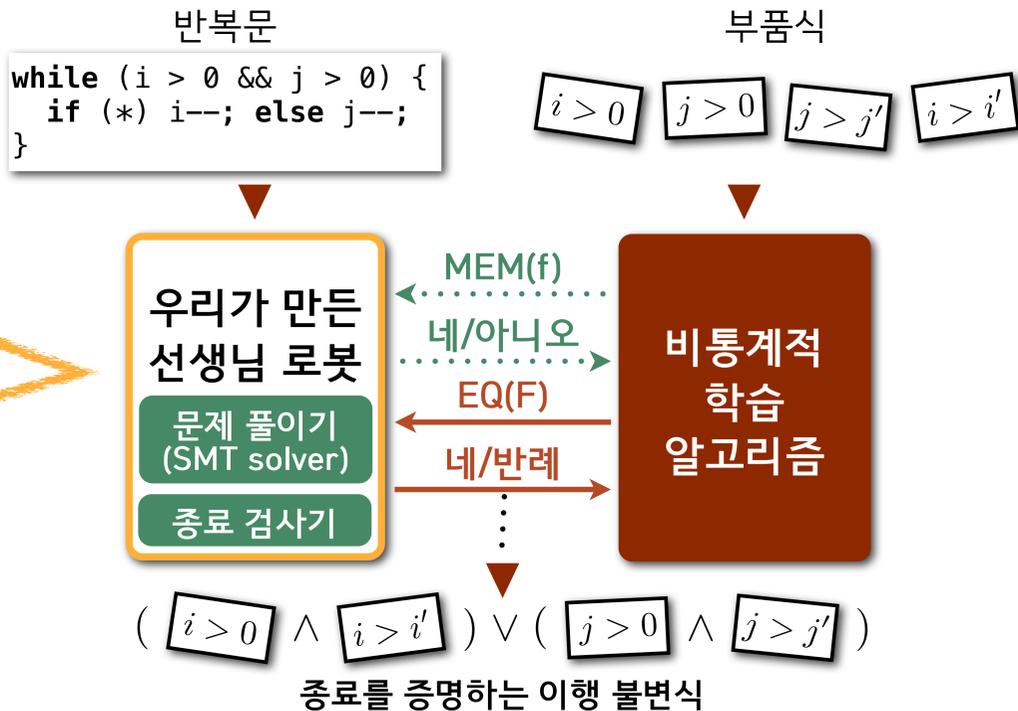
2. 비통계적 학습 알고리즘으로 종료 분석하기

MEM(f)에 대답하기



EQ(F)에 대답하기

- 1) F가 조건 (a), (b), (c)를 모두 만족하면: 2번으로 만족 안하는 것이 있으면: 반례를 돌려줌
- 2) F가 조건 (d)를 만족하면: 네
만족 안하면: $F \wedge V' = V$ 인 반례가 있으면 반례를 돌려줌
아니면 재시작



3. 실험 결과

1) 옥타곤 예제들 (쉬운 예제)

	1	2	3	4	5	6
우리분석기	0.01	0.01	0.59	0.12	0.01	0.03
LR[1]	0.20	0.16	실패	0.32	0.21	0.79
CTA[2]	0.58	0.26	9.48	실패	실패	0.48
LF[3]	0.01	0.01	0.02	0.03	실패	0.01

2) 윈도우 장치 드라이버 예제들 (복잡한 예제)

	1	4	5	6	7	8	10
우리분석기	0.43	0.02	0.01	0.60	0.30	0.20	0.03
LR[1]	0.66	0.32	0.16	0.34	0.54	0.29	0.28
CTA[2]	초과	0.41	0.44	2.04	8.86	8.87	초과
LF[3]	실패	0.00	0.00	실패	실패	실패	실패

3) SNU 실시간 벤치마크 예제들 (반복문이 여러개)

이름 (종료하는 갯수/ 전체 갯수)	bs (1/1)	fft1k (3/3)	fft1 (2/5)	insertsort (1/2)	ludcmp (11/11)	minver (15/15)	qsort (2/6)
우리분석기	0.01 (1)	0.04 (3)	0.03+ (2)	0.01+ (1)	0.13 (11)	0.23+ (15)	0.66+ (2)
LR[1]	0.6 (1)	실패†	비교불가†	비교불가†	실패†	실패†	비교불가†
CTA[2]	실패 (0)	0.54+ (2)	0.66+ (2)	0.29+ (1)	1.50+ (4)	5.21+ (15)	실패 (0)
LF[3]	실패 (0)	0.03+ (2)	0.18+ (2)	0.01+ (1)	0.07+ (5)	0.22+ (16)	실패 (0)

- 모든 단위는 초, 괄호안 숫자는 증명된 반복문 갯수
- 시간은 종료하는 반복문에 대해서만 취함 (+표시)
- †LR은 종료 안하는 반복문 발견 시 분석을 바로 종료, 결과의 직접 비교는 불가

References

- [1] Ranking Abstractions, A. Chawdhary, B. Cook, S. Gulwani, M. Sagiv, and H. Yang, *ESOP'08*
- [2] Termination Analysis with Compositional Transition Invariants, D. Kroening, N. Sharygina, A. Tsitovich, and C. M. Wintersteiger, *CAV'10*
- [3] Loop summarization and termination analysis, A. Tsitovich, N. Sharygina, C. M. Wintersteiger, and D. Kroening, *TACAS'11*

4. 결론

- 종료 분석의 새로운 방법 제시
- 더 빠른, 더 많은 종료 증명 가능
- CAV'12 학회에 발표