

정적 실행시간 분석을 위한 외부 요인의 예측 방안

김윤관^{0*} 신원* 김태완** 장천현*

*건국대학교 컴퓨터공학과

**명지대학교 전기공학과

apostlez@konkuk.ac.kr, wonjjang@konkuk.ac.kr, twkim@mju.ac.kr, chchang@konkuk.ac.kr

A predict methodology for static analysis of execution time

Yunkwan Kim^{0*} Won Shin* TaeWan Kim** ChunHyon Chang*

*School of Computer Engineering, Konkuk Univ.

**Dept. of Electrical Engineering, Myongji Univ.

1. 서론

실시간 시스템은 위험 요소나 작업 실패를 허용하지 않고 응답 시간 제약을 정확히 만족하는 시간적 신뢰성을 가장 중요시한다. 따라서 시간적 신뢰성을 보장하기 위한 기준으로써 WCET(Worst-Case Execution Time)를 분석하는 정적 실행시간 분석에 대한 연구가 진행되었다. 이에 따라 정적 실행시간 분석을 위한 여러 도구들이 제안되었지만, 이들은 실행시간을 과대 추정하고 분석이 제한적인 문제를 가지고 있다[1]. 이러한 문제점의 원인들 중에서 외부 요인은 입력 값이나 공유 메모리로 인한 잠금과 같이 나타날 수 있는 모든 상황이나 값에 대한 고려가 필요하기 때문에 정적 실행시간 분석을 어렵게 한다. 따라서 무한할 수 있는 외부 요인을 단순하고 일반적인 범위로 예측하기 위한 방안이 필요하다. 이를 위한 분석 방법론으로써 요약 해석(Abstract Interpretation)은 실제 값 대신에 여러 값들을 의미하는 요약 값을 사용하여 실행함으로써 프로그램의 동작에 대한 정보를 계산할 수 있고 안전한(safe) 근사(approximate) 정보를 제공할 수 있다[2]. 본 논문에서는 이러한 요약 해석을 개발자의 코드를 분석하여 제어변수테이블을 사용해 반복횟수와 실행시간을 정적으로 분석하는 PTETBA(Program segment Time Execution Time Bound Analyzer)[3]에 적용하여 외부 요인에 대해 안전한 근사값을 제공할 수 있도록 하는 예측 방안을 제시한다. 이를 통해 정적 실행시간 분석의 어려운 부분을 줄이고 시간적 신뢰성을 보장하기 위해 개발자에게 더 많은 정보를 제공할 수 있도록 한다.

2. 본론

정적 실행시간 분석을 어렵게 하는 외부 요인을 예측하기 위하여 가장 먼저 이를 분석하고 예측 대상을 결정해야 한다. 이러한 예측 대상에는 실행 시간에 영향을 줄 수 있는 요소와 함께 그 요소에 영향을 주는 대상을 포함해야 한다. 이러한 요소들은 하드웨어나 운영체제와 관련되어 다양하기 때문에 본 논문에서는 그 대상을 외부 입력 변수와 데이터 입출력에 의한 지연 시간만으로 제한한다. 이에 따라 외부 요인의 영향을 값과 시간으로 분류하고 이와 함께 외부 요인에 영향을 줄 수 있는 요소를 함께 고려하여 나타나는 유형에 따라 항목들을 정의한다. 이러한 외부 요인과 영향 요소들의 분류에 따라 서로 다른 결과를 나타내도록 도메인을 정의한다. 이 도메인은 각각 값에 관한 항목의 예측 결과를 interval 도메인, 시간에 관한 항목은 값의 도메인과 구분을 위해 range 도메인이라고 한다. 이러한 실행시간 분석에 어려움을 주는 외부 요인들을 예측하고 예측한 결과를 정적 실행시간 분석에서 활용할 수 있도록 PTETBA에서 요약 해석을 사용하기 위한 구조는 그림 1과 같다.

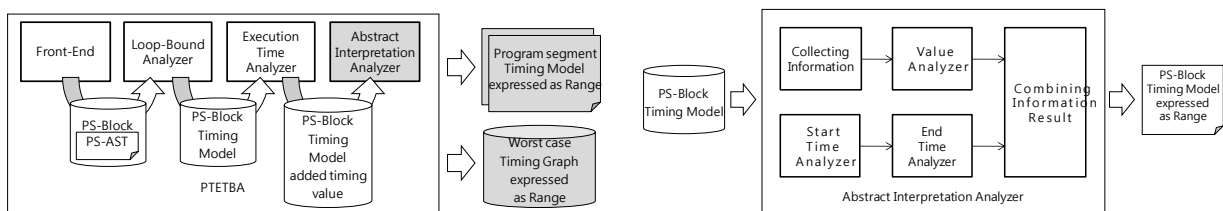


그림 1 요약 해석 기법을 적용한 PTETBA의 구조

요약 해석을 수행하는 Abstract Interpretation Analyzer는 외부 요인의 분류에 따라 분석 과정을 둘로 나누어 진행한다. 첫 번째는 값에 관한 항목으로 interval 정보를 도출하는 과정이다. 먼저 Collecting Information은 예측을 수행할 외부 요인을 결정하고 영향 요소의 정보를 수집한다. 다음으로 Value Analyzer에서 수집된 정보를 사용해 값에 관하여 요약 해석을 수행하고 외부 요인 항목에 대한 interval을 도출한다. 두 번째로 시간에 관한 항목은 분류에 따라 시작 시점의 시간을 예측하는 Start Time Analyzer와 종료 시간을 예측하는 End Time Analyzer의 순서로 전체 지연 시간을 예측한 range 정보를 도출한다. 앞의 두 과정을 거친 결과는 Combining Information Result에 의해 예측 정보인 interval 정보와 range 정보를 시간에 관한 범위로 표현되는 PS-Block Timing Model에 결합된다.

PTETBA에 요약 해석 기법을 적용하기 위하여 Abstract Interpretation Analyzer는 시간에 관한 정보를 포함한 PS-Block Timing Model을 사용한다. 왜냐하면, PS-Block Timing Model은 입력된 소스의 어휘 및 구문 정보를 모두 가지고 있어 요약 해석을 위해 필요한 정보를 얻을 수 있고 반복횟수 분석과 실행시간 분석 과정에서 분석을 하지 못한 부분을 통해 요약 해석의 대상을 결정할 수 있기 때문이다. 요약 해석을 통해 얻은 결과는 값이나 시간에 관한 범위 정보로 나타나고 Program Segment Timing Model과 Worst Case Timing Graph에 결합된다. 먼저 값에 관한 외부 요인의 범위를 나타내는 interval 도메인은 Program Segment Timing Model을 구성하는 PS-Timing Model에서 각각의 변수를 나타내는 구조에 결합되고 시간에 관한 범위 정보를 나타내는 range 도메인은 시간을 표현하기 위한 구조에 결합된다. Program Segment Timing Model은 각각의 작업에 대한 PS-Block Timing Model들을 연관 관계에 따라 결합한 구조로써 기존에 분석이 어려웠던 부분을 요약 해석을 통해 얻은 interval과 range 결과를 시간에 관한 범위로 변환하여 나타낸다. Worst Case Timing Graph는 Program Segment Timing Model에 존재하는 WCET를 계산하는 경로를 표현한 구조이다. 이 또한 요약 해석을 통해 얻은 interval과 range 도메인 결과로 최악 경우가 될 수 있는 경로를 표현할 수 있다.

이러한 과정을 통해 얻은 각각의 도메인에 대한 근사값으로 나타나는 예측 결과에서 값에 관한 항목은 반복횟수의 분석에 사용될 수 있다. 이를 통해 기존의 반복횟수 계산이 불가능했던 부분을 실제 최대 반복횟수를 포함한 근사값으로 예측하여 기존에는 불가능했던 전체 실행시간을 계산할 수 있도록 한다. 다음으로 외부 요인으로 인한 시간 지연에 관한 항목은 실행시간 분석과 최악 경로의 결정에서 사용된다. 시간 항목에 대한 범위는 기존에 실행시간을 분석하기 어려운 부분에 대해 범위를 결정할 수 있도록 하여 다른 부분과 결합하여 각각의 경로에서 발생할 수 있는 최악 경우 실행 시간의 범위를 결정할 수 있도록 한다.

3. 결론

실시간 시스템의 시간적 신뢰성을 보장하기 위해 정적 실행시간 분석이 필요하지만 외부 요인으로 인해 과대 추정을 하고 분석이 제한적인 문제가 있다. 따라서 본 논문에서는 외부 요인의 범위를 예측하여 제한함으로써 정적 실행시간 분석이 어려운 부분을 줄이도록 PTETBA를 기반으로 요약 해석을 사용한 예측 방안을 제시하였다. 이 방안은 PTETBA가 프로그램이나 작업에 포함된 외부 요인의 값이나 경우의 수를 예측할 수 있도록 하여 외부 요인을 포함한 프로그램의 반복횟수나 실행시간의 분석이 가능하게 하고 정적 실행시간 분석의 결과가 개발자에게 더 많은 정보와 도움을 줄 수 있도록 한다.

향후에는 제안하는 요약 해석의 적용 방안을 증명하고 정적 실행시간 분석에 실제로 반영하는 연구를 진행하고자 한다. 또한 범위로 나타나는 예측 결과를 표현하기 위한 방안을 연구할 계획이다.

4. 참고 문헌

- [1] R. Wilhelm, J. Engblom, A. Ermedahl, N. Holsti, S. Thesing, D. Whalley, G. Bernat, C. Ferdinand, "The worst-case execution-time problem-overview of methods and survey of tools," Trans. on Embedded Computing Sys., vol. 7, no. 3, pp. 1-53, 2008.
- [2] P. Cousot, R. Cousot, "Abstract interpretation:a unified lattice model for static analysis of programs by construction or approximation of fixpoints," in Proc. of ACM Symp. on Principle of Programming Languages, pp.238-252, ACM Press, 1977.
- [3] yun kwan kim, won shin, tae wan kim, chun-hyon chang, "Organizing Information for Execution Time Analysis in Real-Time Embedded Systems," Proc. Of 2007 International Conference on software engineering Research & Practice SERP, pp. 710~714, 2007.