중간 코드를 스택-기반 코드로의 변환기

김영국° 고훈준°° 유원희°
인하대학교 컴퓨터정보공학과
경인여자대학 컴퓨터정보기술학부
ykkims@spymac.com° hjkouh@daum.net whyoo@inha.ac.kr

Translator for Stack-Based Codes from Intermediated Codes

Young Kook Kim° Hoon-Joon Kouh°° Weon Hee Yoo°
°Department of Computer Science & Information Inha University
°°School of Computer Information Technology Kyungin Women's College

요 약

자바의 문제점은 실행속도의 저하이다. 실행속도 저하의 해결 방법으로 네이티브 코드로 변환, JIT컴파일러, 바이트코드 최적화등의 연구가 되어 왔다. 그 중에 바이트코드 최적화 방법을 사용하는 CTOC(Class To Optimized Classes)에서 중간코드로 사용하는 3-주소 코드를 스택-기반 코드로 코드 확장 기법으로 변환 시 불필요한 store/load 코드가 생성된다.

따라서 본 논문은 불필요한 store/load 코드를 제거하기 위해서 부분 중복 코드 제거 후 불필요한 store/load문을 제거함으로서 불필요한 store/load 코드의 양을 줄이는 변환기를 제안하고, 거기에 대한 간단한 예를 들어 설명한다.

1. 서론

자바는 컴파일 언어에 비하여 실행속도 저하라는 단점을 가진다. 단점을 극복하기 위해 네이티브 코드로 변환[1], JIT 컴파일러[2], 바이트코드 최적화[3]등의 연구가 진행 중에 있다.

바이트코드 최적화의 장점을 사용할 수 있는 CTOC라는 프레임워크가 존재한다[4]. CTOC에서 3-주소 코드(CTOC-T)를 스택-기반 코드(CTOC-B)로의 변환 시 생기는 불필요한 store/load 코드가 생성된다. 따라서 본 논문에서는 CTOC-T를 CTOC-B로 변환 시 생성되는 불필요한 store/load 코드를 제거하는 방법으로 부분 중복 코드 제거후 store/load 패턴을 이용하여 최적화 시키는 optimizer부분을 추가한 변환기를 제안하고 예제를 들어 설명한다. 그리고 결론과 향후 연구와 방향에 대해서 기술한다.

2. CTOC-T에서 CTOC-B로 변환 시 문제점

[그림 1]은 CTOC-T의 간단한 산술 코드 예제이다. [그림 1]에서 표현한 예제에서 굵은 글씨로 표현한 코드는 부분 중복 코드를 의미한다. 일반적인 변환기의 경우에는 부분 중복된 코드에 대해서도 일반 코드와 동일하게 변환한다. 변환된 코드에 대해서 일반적인 최적화 방법으로 store/load 패턴을 이용한다. 일반적인 최적화 방법을 적용해도 불필요한 store/load 코드가 나타난다.

```
public class Exp_Assign2 extends java.lang.Object {
    public static void main(java.lang.String[]) {
        java.lang.String[] args;
        int a, b, c;
        args := @parameter0: java.lang.String[];
        a = -10;
        if a >= 0 goto label0;
        b = neg a;
        c = b * b;
        goto label1;
     label0:
        b = 5;
     label1:
        c = b * b;
        return;
    }
    public void <init>() {
        Exp_Assign2 this;
        this := @this: Exp_Assign2;
        specialinvoke this.<java.lang.Object: void <init>()>();
        return;
    }
}
```

[그림 1] CTOC-T의 산술 코드

[그림 2]에서 굵은 글씨로 표현된 코드는 store/load패턴을 이용한 코드 최적화 기법만을 사용할 경우에는 제거될 수 없다.

그러나 중복 제거 후에 store/load패턴을 적용할 경우에는 굵은 글씨로 표현된 부분 중 불필요한 코드들을 제거 할 수 있다.

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R05-2004-000-11694-0) 지원으로 수행되었음.

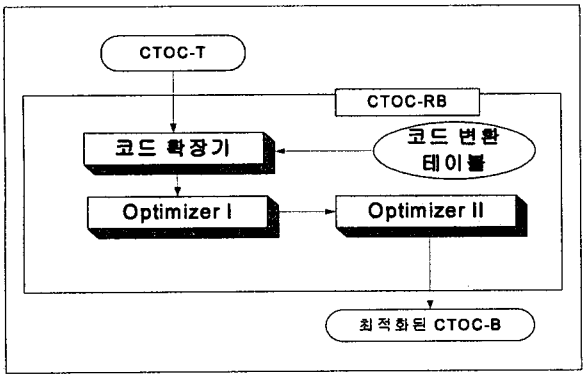
```
public class Exp_Assign2 extends java.lang.Object {
    public static void main(java.lang.String[]) {
        word r0, i2;
        r0 := @parameter0: java.lang.String[];
        push 10;
        store.b r0;
        load.b r0;
        ifge label0;
        load.b r0;
        neg.i;
        store.i r0;
        load.i r0;
        load.i r0;
        mul.i;
        store.i i2;
        goto label1;
    label0:
        push 5;
        store.b r0;
    label1:
        load.i r0;
        load.i r0;
        mul.i;
        store.i i2;
        return;
    }
    public void <init>() {
        word r0;
        r0 := @this: Exp_Assign2;
        load.r r0;
        specialinvoke <java.lang.Object: void <init>()>;
        return;
    }
}
```

[그림 2] store/load만 적용한 경우

3. CTOC-T를 CTOC-B로의 변환기

본 논문에서 제안하는 CTOC-T를 CTOC-B로 변환하는 변환기는 코드 확장기, 코드 변환 테이블, Optimizer I, Optimizer II로 이루어져 있고, 구성은 [그림 3]와 같다.

코드 확장기는 CTOC-B를 생성하는 핵심 부분으로서 코드 변환 테이블 정보를 참조하여 각 CTOC-T에 대한 코드 확장 기법을 이용한다. 따라서 하나의 CTOC-T에 대해서 동일한 기능을 갖는 CTOC-B코드로 변환된다. 코드 변환 테이블에는 중간 코드 변환 정보에 대한 실질적인 정보를 저장하는 부분으로서 CTOC-T 특성을 고려하여 유사한 기능을 갖는 명령어 그룹으로 구성되어 있다.



[그림 3] CTOC-T를 CTOC-B로의 변환기

Optimizer I은 부분 중복 코드를 제거하는 부분이다. 부분 중복 코드는 공통 부분 수식과 접근 연산 수식을 통틀어서 말한다. 부분 중복 제거는 First-order식을 사용한다. First-order식은 상수와 변수만을 포함하는 수식을 말한다. 부분 중복 코드 제거의 간단한 [알고리즘 1]은 다음과 같다.

[알고리즘 1]

1. 입력 : CTOC-B코드
2. 출력 : 부분 중복 코드가 제거된 CTOC-B코드
3. 변환 알고리즘
① 프로그램을 전위순서로 정렬시킨 CFG내에First-order식이 나타났을 경우 worklist에 삽입
② worklist가 비어 있을 경우 정지, 아니면 worklist의 수식(E)에 대해서 선택하거나 제거
③ 수식(E)에 대해서 Ø노드 위치시킴
④ 생성된 수식(E) 대해서 SSA 생성
⑤ 결정된 Ø 노드에 대해서 down-safety
⑥ 결정된 Ø 노드에 사용 가능한 수식에 대해 코드 삽입과 실행
⑦ 수식 E에 대해서 임시 변수로 저장하고 재로드
⑧ 코드 보션 실행
⑨ ②번으로 돌아감[6]

[그림 2]에서 굵은 글씨로 표현된 부분 중복 코드(c=b+b;)를 제거하기 위해서 부분 중복 코드 제거 알고리즘을 이용한다. [알고리즘 1]을 적용한 내용은 [그림 5]와 같다.

그러나 [그림 4]는 [그림 3]보다 실제로 코드에서 증가된다. 증가된 부분은 임시변수의 생성과 임시변수와 관련된 load/store문 부분이다. 중간에 증가된 부분을 이용하여 Optimizer II에서 최적화를 더 효율적으로 할 수 있다.

```
public class Exp_Assign2 extends java.lang.Object {
    public static void main(java.lang.String[]) {
        word r0, i2;
        r0 := @parameter0: java.lang.String[];
        push 10;
        store.i r0;
        load.i r0;
        ifge label0;
        load.i r0;
        neg.i;
        store.i r0;
        load.i r0;
        load.i r0;
        mul.i;
        store.i i2;
        goto label1;
    label0:
        push 5;
        store.i r0;
        load.i r0;
        load.i r0;
        mul.i;
        store.i i2;
    label1:
        load.i i2;
        store.i i2;
        return;
    }
    public void <init>() {
        word r0;
        r0 := @this: Exp_Assign2;
        load.r r0;
        specialinvoke <java.lang.Object: void <init>()>;
        return;
    }
}
```

[그림 4] Optimizer I을 적용 후

Optimizer II는 생성된 CTOC-B를 메소드 단위로 기본 블록을 생성한다. 생성된 기본블록에 대해서 각 변수별로 정의-사용 고리와 사용-정의 고리에 대한 정보 테이블을 구성하고 변수별로 레이블 표시한다. 이렇게 생성된 정보를 통하여 과다한 store/load코드에 대해서 store/load패턴에 대한 최적화를 실행

한다. 적용 알고리즘은 아래에 [알고리즘 2]와 같다.

[알고리즘 2]

1. 입력 : CTOC-B코드
2. 출력 : 불필요한 store/load문이 제거된 CTOC-B코드
3. 변환 알고리즘
① 프로그램의 CFG의 흐름 순서에 따라 기본블록리스트를 worklist에 삽입
② worklist가 비었을 경우 레이블로 표시된 store/load문에 대해서 store/load패턴을 적용, 아니면 worklist의 기본블럭을 선택
③ 선택된 기본블록의 사용-정의 고리 정보를 사용하여 제거 가능한 store/load명령어를 같은 레이블로 표시
④ worklist에서 선택된 기본블록 제거
⑤ ②번으로 돌아감

Optimizer II에서 정의된 패턴은 크게 store/load 문과 store/load/load문으로 구분한다. 기본 블록 내에 변수들의 값의 변화를 Optimizer II가 생성한 정보를 이용하여 체크한다. 변수들의 값의 변화가 없을 경우에만 위의 두 패턴이 적용 가능하기 때문이다.

store/load문은 기본블록에서 생성된 변수별 정보 테이블에서 재사용이나 재정의가 없는 변수에만 store위치와 load위치에만 레이블을 이용하여 구분한다. 레이블로 구분된 store/load문의 경우 두 개의 구문을 모두 삭제한다.

store/load/load문의 경우에도 store/load문과 비슷하게 최적화가 적용된다. 레이블로 구분된 store/load/load문이 올 경우에는 마지막에 오는 load문에 위치에 dup문을 적용하고 store/load문에 대한 최적화를 적용하면 store/load문 모두 제거된다.

```
public class Exp_Assign2 extends java.lang.Object {
    public static void main(java.lang.String[]) {
        word r0, i2;
        r0 := @parameter0: java.lang.String[];
        push -10;
        store.i r0;
        load.i r0;
        ifge label0;
        load.i r0;
        neg.i;
        dup1.i;
        mul.i;
        store.i i2;
        goto label1;
    label0:
        push 5;
        dup1.i;
        mul.i;
        store.i i2;
    label1:
        load.i i2;
        store.i i2;
        return;
    }
    public void <init>()    {
        word r0;
        r0 := @this: Exp_Assign2;
        load.r r0;
        specialinvoke <java.lang.Object: void <init>()>;
        return;
    }
}
```

[그림 5] Optimizwer I 후 Optimizer II을 적용 후

Optimizer II에서 하는 최적화를 Optimizer I후에 적용하면 [그림 5]과 같다. [그림 5]에서 변화된 코드 부분은 굵은 글씨로 표현하였다. 변화된 코드는 이전의 코드보다 효율적인 코드이다. 여기에 대한 내용은 [그림 2]와 [그림 4] 그리고 [그림 5]을 통해서 알 수 있다. 그리고 Optimizer I과 Optimizer II의 순서를 바꾸어서 최적화를 적용한 경우와 Optimizer II만 적용한 경우에는 [그림 2]과 같다.

불필요한 store/load 코드 중에는 일반적으로 사용하는 최적화 방법으로 store/load 패턴만을 이용해서 제거한 경우에도 불필요한 store/load 코드가 남아있을 수 있음을 [그림 2]에서 보였다. 따라서 [그림 2]에서 제거할 수 없는 코드를 제거하기 위해서 store/load패턴 적용 전에 부분 중복 수식 제거를 사용하면 [그림 6]과 같이 효율적인 코드를 생성한다.

4. 결론 및 향후 연구

자바 실행속도 저하의 해결 방법으로 네이티브 코드로 변환, 바이트코드 최적화, JIT 컴파일러등의 연구가 진행 중이다. 그 중에서 바이트코드 최적화 방법을 사용하는 CTOC중 3-주소 코드에서 스택 기반 코드로 변환하는 변환할 때 생기는 불필요한 코드는 실행속도의 저하의 문제점을 가지고 있었다. 문제점으로 발견된 CTOC-T에서 CTOC-B로 변환할 때 생기는 불필요한 store/load 코드가 생성된다.

불필요한 store/load 코드를 제거하기위해 본 논문에서는 부분 중복 수식 제거 후에 store/load 패턴을 적용함으로서 보다 효과적인 코드를 생성함을 예를 통하여 보였다.

그러나 지금의 변환기는 store/load패턴에 대해서 만 필홀 최적화를 적용하므로 향후 연구과제는 Optimizer II를 적용한 후에도 남아 있을 수 있는 불필요한 코드에 대한 필홀 최적화 패턴을 정의하고 적용하는 것이다.

참고문헌

[1] Ronald Veldema, "JCC, a native Java compiler",Technical report, 1998

[2] Frank Yellin, "The JIT Compiler API", http://java.sun.com/docs/jit_interface.html, 1996

[3] Taiana Shpeisman, Mustafa Tikir, "Generating Efficient Stack Code for Java", Technical report, University of Maryland, 1999

[4] 김영국, 김기태, 조선문, 유원희,"바이트코드 최적화 프레임워크의 설계," 제21회 춘계학술발표대회 제11권 제1호, pp. 297-300, 한국정보처리학회 2004. 05.

[5] 김영국, 김기태, 조선문, 유원희,"CTOC에서 중간 코드에서 효율적인 바이트코드로의 변환기 설계," 한국정보처리학회 2004년 추계 학술대회,pp. 445-448, 2004.

[6] Nathaniel John Nystrom, "BYTECODE-LEVEL ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF CLASSES", Master's Thesis, Purdue University, August 1998