논·문

JNI 함수 호출을 통한 C에서의 자바 배열 객체 사용 (Using Java Array Objects in C through the JNI Function Calls)

이 창 환, 오 세 만
동국대학교 컴퓨터공학과
{yich, smoh}@dongguk.edu

요 약

JNI는 자바와 네이티브 코드간에 상호 연동을 위해서 정의된 인터페이스이다. JNI를 이용하면 C/C++에서 자바 객체를 사용할 수 있다. 하지만 C/C++에서 자바 객체에 대한 연산을 위해서는 연산에 필요한 JNI 함수 호출을 사용자가 기술해야 한다. 사용자가 직접 기술하는 경우, 사용자는 JNI 함수의 잘못된 사용으로 오류 발생 가능성이 높아지고 JNI의 복잡한 사용 방법을 익혀야 하는 문제점이 있다.

본 논문에서는 자바에서 인덱스 연산자("[]")를 사용하여 배열 객체에 대해 연산하는 것처럼 C에서도 인덱스 연산자를 사용하여 자바 배열 객체에 대한 연산할 수 있는 방법을 제안하고 구현하였다. 제안된 방법을 통한 배열 객체 사용은 JNI를 통해 자바 배열 객체 사용할 때보다 복잡성을 줄여 오류가 발생할 가능성을 줄일 수 있다.

1. 서론

자바는 자바 실행 환경(Java Runtime Environment)이 아닌 다른 환경에서 자바 객체를 사용할 수 있도록 JNI(Java Native Interface)라는 방법을 제공하고 있다.[1] JNI를 사용하면 C에서 자바 객체에 대한 연산을 할 수 있다.

C에서 자바 객체에 대한 연산을 하기 위해서는 객체 연산의 종류에 따른 일정한 JNI 함수 호출 패턴을 이용해야 한다. 사용자가 직접 자바에 대한 연산을 기술하는 경우, 사용자는 복잡한 함수 호출 패턴을 익히고 패턴에 필요한 정보를 직접 입력해야 하고, 패턴의 잘못된 기술과 올바르지 않은 정보의 입력에 따른 오류 발생할 가능성이 높은 문제점이 있다.

본 논문에서는 자바 객체중 자바 배열 객체를 자바에서 인덱스("[]") 연산자를 사용하

여 객체에 대해 연산하는 것처럼 C에서도 인덱스 연산자를 사용하여 자바 배열 객체에 대한 연산할 수 있는 방법을 제안하고 구현할 것이다.

2. 배경연구

2.1. RPC와 rpcgen

RPC(Remote Procedure Call)은 분산 시스템을 구현하는데 많이 사용되는 형태이다. RPC는 이 기종으로 구성된 네트워크 환경에서 작동되기 때문에 이 기종간의 통신을 위해 여러 규칙을 정해서 사용하고 있다. 그러나 이 규칙을 개발자가 직접 사용하여 RPC를 사용하기에는 복잡한 사용 과정과 이에 따른 오류 발생 가능성의 증가, 이 기종으로 구성된 네트워크 상에서의 디버깅의 어려움이 나타난다.

이런 문제점을 해결하기 위해서, RPC에서는 시스템에서 사용할 인터페이스를 XDR를 통해서 정의하고, 이 XDR에서 RPC 사용에 필요한 서버와 클라이언트 코드를 작동으로 생성할 수 있는 rpcgen이라는 도구를 제공하고 있다. [2]

이 도구를 사용하여, 개발자는 RPC를 사용할 때 필요한 여러 RPC에 관련된 규칙을 자세히 모르고도 RPC를 사용할 수 있다.

이와 유사하게 본 논문에서도 C에서 자바 배열 객체를 인덱스 연산자를 통해서 사용할 수 있는 방법을 제공하여, 개발자는 자바 배열 객체 사용에 필요한 JNI를 모르고도 배열 객체를 사용할 수 있도록 하였다.

2.2. 자바와 C간의 변환기

현재까지의 자바와 C간의 변환에 대한 연구는 자바 실행 성능을 향상시키기 위해 자바 소스를 같은 의미의 C나 C++ 소스로 변환하는 것이었다. 그리고 이전 C 소스를 재활용하기 위해 C 소스를 자바 바이트 코드로 컴파일하여 자바 가상 기계에서 실행할 수 있도록 연구도 있다.[3][4]

그러나 본 논문에서는 성능 향상을 위한 자바와 C 사이의 변환이 아닌, JNI의 사용 편이성을 개선하기 위한 방법으로 C에서 자바 객체를 사용할 수 있는 방법을 제안하려 한다.

2.3. 자바 배열 객체 연산에 따른 JNI 함수 호출 형태

C로 구현되는 네이티브 메소드에서는 JNI를 사용하여 배열 객체의 원소 값을 읽어오거나 변경하는 것과 같은 자바 배열 객체에 대한 연산을 할 수 있다.

JNI를 사용한 자바 배열 객체에 대한 연산을 하기 위해서는 연산할 자바 배열 객체의 멤버에 대한 참조와 연산을 수행하는 JNI 함수, 이 JNI 함수의 인자에 대한 정보가 필요하다. 자바 배열 객체는 원소가 객체인지 기본형인지에 따라 다른 JNI 함수가 사용이 된다. 원소가 기본형인 경우에는 배열 원소 전체에 대해 접근할 수 있는 포인터를 얻는 방식과 배열 원소중 일부에만 접근할 수 있는 방식의 두 가지 종류의 JNI 함수군을 제공하고 있다. 본 논문에서는 배열 원소중 일부에만 접근할 수 있는 방식을 사용하였고, 각 자바 배열 객체의 연산을 수행

할 때, 필요한 JNI 함수 호출 패턴을 정리하면 [그림 1], [그림 2]와 같다.[5][6]

```
/*
 * jobjectarray array
 *              연산할 자바 배열 객체 참조
 * jobject      obj
 *              자바 객체에 대한 참조
 * jsize        index
 *              배열 원소의 인덱스
 */

// Read a value of array element
jobject obj;
obj = (*env)->GetObjectArrayElement(
                env, array, index);

// Write a value into array element
(*env)->SetGetObjectArrayElement(
                env, array, index, obj);
```

(그림1) 자바 배열 객체의 원소 값 읽기와 변경하기 (객체)

```
/*
 * j<PrimitiveType>array array
 *              연산할 자바 배열 객체 참조
 * <NativeType> buf
 *              원소 값이 저장될 장소
 * jsize        index
 *              배열 원소의 인덱스
 */

// Read a value of array element
<NativeType> buf;
(*env)->Get<PrimitiveType>ArrayRegion(
             env, array, index, 1, &buf);

// Write a value into array element
(*env)->Set<PrimitiveType>ArrayRegion(
             env, array, index, 1, &buf);
```

(그림2) 자바 배열 객체의 원소 값 읽기와 변경하기 (기본형)

2.4. 자바 배열 객체 연산에 필요한 정보

네이티브 메소드에서 자바 배열 객체에 대한 연산을 자동으로 JNI 함수 패턴으로 변환하기 위해서는 다음과 같은 정보들이 필요하다.

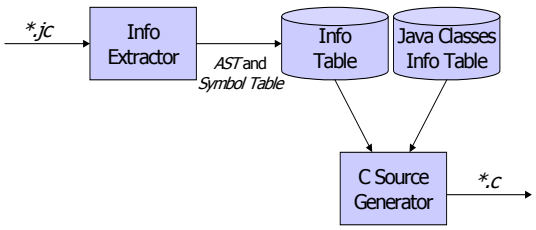
- 배열 객체의 종류
- 배열 원소의 형

위 정보에서 자바 배열 객체에 대한 정보는 사용자가 제공해야 하고, 기타 정보는 네이티브 메소드를 구현한 C 소스 코드를 분석해서 추출해야 한다.

3. 설계

3.1. 시스템 구조

자바 배열 객체에 대한 연산을 JNI 함수 패턴으로 변환하는 시스템의 구조는 [그림 3]과 같다. 이 시스템은 인덱스 연산자를 사용한 자바 배열 객체 연산을 기술한 *.jc 파일을 입력으로 받아, 배열 객체 연산을 해당하는 JNI 함수 호출로 변환하여 *.c의 C 소스로 출력한다.



(그림 3) 시스템 구조도

3.2. 구현 환경 및 실행 환경

구현 환경은 다음과 같다.

- 한글 Windows 2000 Professional
- Java Development Kit 1.4.0

실행 환경은 다음과 같다.

- Java2 Runtime Environment

3.3. 입력 파일 형식

입력 파일은 자바 배열 객체 연산과 자바 배열 객체 연산에 필요한 정보를 기술한 파일이다.

자바 배열 객체에 대한 연산은 자바 네이티브 메소드를 구현한 C 함수 안에 인덱스 연산자를 사용하여 나타낸다. 자바 배열 객체 연산를 위해 추가되는 정보는 입력 파일에서 사용하는 패키지에 대한 정보, 네이티브 메소드가 속한 클래스 이름, 메소드 이름, 메소드 시그네춰등이다. 패키지에 대한 정보는 #import <"패키지 이름">과 같은 형태로 클래스보다 앞에 선언한다. 네이티브 메소드에 대한 정보는 자바 문서화 도구인 javadoc에서 사용하는 형태를 따르고 있다.

```
#import "<package_name>"

...

/**
 @class       class_name
 @method      method_name
 @signature   signature
 @param       ...
 */
JNIEXPORT <return_type> JNICALL
Java_<class_name>_<method_name>(
    JNIEnv* env, ...)
{
    ... // Java Object Operations in C
}
```

(그림4) 입력파일형식

4. 구현

4.1. 정보 추출기

정보 추출기는 입력 파일에서 자바 배열 객체 연산을 변환하고, C 소스를 생성할 때 사용되는 정보를 추출한다. 정보 추출기는 기본적으로는 C 파서이지만, 입력 파일에 새로 추가된 정보를 처리 할 수 있도록 파서를 수정하였다.

파서는 C 파서에 대한 입력 예제 파일을 가지고 있어, 쉽게 C 파서를 생성할 수 있는 JavaCC 파서 생성기를 사용하였고, 정보 추출기는 JavaCC 입력 파일을 수정하여 구현하였다.[7]

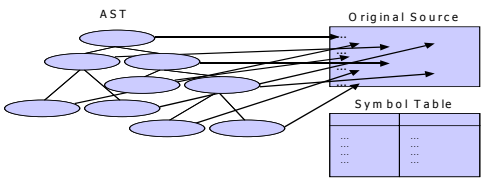
수정된 부분은 다시 C 소스로 생성할 수 있도록 입력 파일 정보를 정보 테이블에 저장할 수 있도록 변경하였고, 네이티브 메소드에 대한 정보를 수집하여 정보 테이블에 추가하도록 하였다. 또한 입력 파일 안에서 사용되는 자바 패키지에 대한 정보도 수집할 수 있도록 하였다. 그리고 각 환경마다 추가

적으로 사용되는 키워드를 처리할 수 있도록 하였다.

4.2. 정보테이블

정보 테이블은 소스 파일의 AST(Abstract Syntax Tree) 정보, 심볼 정보, 결과 C 소스 생성을 위한 원 C 소스 정보, 네이티브 메소드 정보, 사용 자바 패키지 정보등을 가지고 있다.

이 중 AST와 심볼 정보는 파서를 통해 일반적으로 생성되는 정보와 변환을 위해서 사용되는 정보로 구성된다. 이 추가된 정보는 AST의 노드 정보를 확장하여 추가된다. 자바 배열 객체에 대한 연산을 변환하는데 필요한 정보는 어떤 심볼이 자바 배열인지 C 심볼인지를 구분하는 정보와 자바 객체의 배열인지 기본형의 배열인지를 구분하는 자바 배열 종류를 나타내는 정보, 배열 원소의 형이 무엇인지를 나타내는 정보들로 구성된다.



(그림 5) 정보 테이블 구조

4.3. C 소스 생성기

C소스 생성기는 정보 테이블에 저장된 C 소스의 AST 검색하여 네이티브 메소드내의 자바 배열 객체 연산을 찾아, 이를 해당하는 일련의 JNI 함수 호출로 변환한다.

생성기는 C 소스를 생성하기 위해서 AST를 탐색하여 자바와 관련이 없는 코드는 C 소스에 그대로 출력한다. 자바와 관련된 코드는 네이티브 메소드인 경우에는 변환을 위해서 노드를 더 탐색하고, 생성기에 정보를 제공하기 위한 노드의 경우에는 정보를 얻고, 노드를 무시한다.

생성기가 네이티브 메소드를 검색하는 경우, 객체에 대한 연산을 찾기 위해서, 인덱스 연산자가 사용된 수식을 찾는다. 다른 노드의 경우에는 그대로 결과 파일에 출력한다. 인덱스 연산자가 사용된 수식을 찾으면, 연산자의 피연산자가 자바 배열 객체인지 C 구조체인지를 판별한다. 만약 자바 배열 객체라면, 자바 객체의 배열에 대한 연산인지 기본형의 배열에 대한 연산인지를 구분해야 한다. 자바 객체의 배열에 대한 연산이라면, 자바 객체의 배열에 해당하는 JNI 함수 호출 패턴으로 변환한다. 변환할 때, 배열의 연산이 값을 읽어오는 연산인지 저장하는 연산인지를 구분하여 해당하는 함수 호출 패턴으로 변환해야 한다. 기본형의 배열이라도, 객체의 배열에 대한 연산도 비슷한 과정을 거쳐 JNI 함수 호출 패턴으로 변환한다. 다만 다른 점은 기본형의 경우에는 형에 따라 다른 JNI 함수를 호출해야 하며, 배열 원소의 값을 읽고 저장하는 방식이 다른 호출 패턴을 이용해야 점이다.

5. 실험결과

본 논문에서는 [그림 6]와 같은 자바 배열 객체의 연산을 가진 C 소스를 변환하여 [그림 7]과 같은 결과를 얻었다.

[그림 6]의 입력은 JNI를 사용하여 네이티브 메소드를 구현한 것으로, 메소드내에서 자바 배열 객체의 원소 값을 읽고 값을 변경하는 나타낸 것이다. 이 입력을 논문에서 제안된 방법으로 변환하면, 인덱스 연산자를 사용한 자바 배열 객체 연산이 해당하는 일련의 JNI 함수 호출로 변환된 [그림 7]과 같은 결과를 얻을 수 있다.

```
JEXPORT void JNICALL
Java_Exam_NativeMethod(JNIEnv *env,
    jobject obj, jintegerarray array)
{
    jint a, b = 10;
    a = array[1];
    array[2] = b;
}
```

(그림6) 입력 소스

```
JEXPORT void JNICALL
Java_Exam_NativeMethod(JNIEnv *env,
    jobject obj, jinteger array)
{
    jint a, b = 10;

    /* a = array[1];*/
    (*env)->GetIntegerArrayRegion(
        env, array, 1, 1, &a);

    /* array[2] = b;*/
    (*env)->SetIntegerArrayRegion(
        env, array, 2, 1, &b);
}
```

(그림7) 변환 결과

6. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 C에서 인덱스 연산자를 사용한 자바 배열 객체 연산을 같은 의미의 JNI 함수 호출 패턴으로 변환하는 방법을 제안하고 구현하였다. 제안된 방법을 사용하면 C에서의 자바 배열 객체 연산의 복잡성과 사용자에 의해 발생할 수 있는 오류의 가능성을 줄이는 장점을 가지고 있다.

향후 연구로는 자바 객체에 대한 연산을 C++에서도 변환 가능도록 하고, C++의 new 연산자를 통해 자바 객체의 생성과 생성된 객체의 참조를 반환받고, delete 연산자를 통해 객체 참조를 제거할 수 있는 방법도 연구할 것이다. 그리고 객체에 대한 연산을 해당 패턴으로 1:1 변환하면, 결과에 필요 없는 JNI 함수 호출이 나타나고, 필요 없는 함수 호출을 줄여 JNI 실행 성능을 향상시키는 방법에 대한 연구도 필요할 것이다. 다음으로 자바 코드와 네이티브 코드를 같은 파일에서 기술할 수 있는 JNI 전처리기인 JPP에 C에서 자바 객체의 사용에 대한 내용과 논문에서 제안 방법을 통합하여 자바 네이티브 메소드를 쉽게 구현할 수 있는 일관된 방법을 제공하도록 할 것이다.[8][9]

감사의 글

본 연구는 동국대학교 논문게재연구비 지원으로 이루어졌음.

참고문헌

[1] Java Native Interface, Javasoft, 1997.

[2] George Coulouris , Jean Dollimore , Tim Kindberg, *"Distributed Systems Concepts and Design 2/e"*, Addison-Wesley, 1994

[3] Toba: A Java-to-C Translator, http://www.cs.arizona.edu/sumatra/toba/

[4] GCJ: The GNU Compiler for Java, http://gcc.gnu.org/java/

[5] Compione, Walrath, Huml, and Tutorial Team, "*Java Tutorial continued*", Addison-Wesley, 1998.

[6] Rob Gordon, "*Essential JNI*", Prentice-Hall, 1998.

[7] JavaCC, http://www.webgain.com/products/java_cc/

[8] 이창환, 오세만, "*JPP: JNI 전처리기*", 정보처리학회 논문지 9-A권 1호

[9] 이창환, 오세만, "*JNI 함수 호출을 통한 C에서의 자바 객체 사용*", 정보과학회 2002년 봄 학술발표논문집(B) 29권 1호, pp. 340-342, 2002년 4월

이창환
1998년 동국대학교 컴퓨터공학과 졸업(학사)
2000년 동국대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
2000년~현재 동국대학교 대학원 컴퓨터공학과(박사과정)
관심분야: 프로그래밍 언어론, 컴파일러 구성론, 임베디드 시스템 등

오세만
1977년 서울대학교 사법대학 수학과 졸업(학사)
1979년 한국과학기술원 대학원 전산학과(이학석사)
1985년 한국과학기술원 대학원 전산학과(이학박사)
1985년~1988년 동국대학교 전산학과 조교수
1988년~1989년 미국 USL대학 교환교수.
1994년~현재 동국대학교 컴퓨터공학과 교수.
관심분야: 프로그래밍 언어론, 컴파일러 구성론 등