

자바 언어를 위한 중간 언어 번역기

정지훈, 박진기, 이양선
서경대학교 컴퓨터 공학과

Intermediate Language Translator for Java Language

Ji-Hoon Jung, Jin-Ki Park Yang-Sun Lee
*Dept. of Computer Engineering, Seokyeong University

요약

자바와 .NET 언어는 프로그래머들이 프로그램을 개발하는데 가장 널리 사용되고 있는 언어이다. 프로그래머가 작성한 자바 프로그램은 JVM 플랫폼에서는 실행이 되지만 .NET 플랫폼에서 실행이 되지 않고, 반대로 C#과 같은 .NET 언어로 작성한 프로그램은 .NET 플랫폼에서는 실행이 되지만 JVM 플랫폼에서 실행이 되지 않는다. 그러므로 자바 프로그래머는 .NET 플랫폼 환경에 맞추어 프로그래밍하지 못하고, .NET 프로그래머는 JVM 플랫폼 환경에 맞추어 프로그래밍하지 못하는 단점이 있다. 본 논문에서 연구한 Bytecode-to-MSIL 번역기는 위의 단점을 해결한 것이다. 먼저 자바로 작성된 프로그램을 컴파일하여 생성된 클래스 파일(*.class)로부터 Oolong 역어셈블러를 이용하여 Oolong 코드를 추출한다. 추출된 Oolong 코드를 본 논문에서 연구한 Bytecode-to-MSIL 번역기로 .NET의 중간언어인 MSIL 코드로 변환하여 .NET 어셈블러로 실행파일을 만들어 자바 언어로 구현된 프로그램이 .NET 환경에서도 실행될 수 있도록 한다. 따라서, 자바 프로그래머나 .NET 프로그래머는 JVM이나 .NET 플랫폼 환경에 관계없이 프로그램을 작성하여 실행시킬 수 있다.

1. 서론

자바는 썬 마이크로시스템즈사의 제임스 고슬링(James Gosling)에 의해 고안된 언어로 운영체제 및 하드웨어 플랫폼에 독립적인 차세대 언어로 최근에 가장 널리 사용하는 범용 프로그래밍 언어 중 하나이다. 자바 프로그램은 컴파일러에 의해 각 플랫폼에 독립적인 중간 코드 형태의 바이트코드로 변환된 클래스 파일이 생성되면 JVM(Java Virtual Machine)에 의해 실행된다. 마이크로소프트사의 .NET 언어는 프로그래머들의 요구를 충족시키고 썬사의 JVM 환경과 자바 언어에 대응하기 위해서 개발된 언어이다[2,5,8,11,12]. C#과 같은 .NET 언어는 컴파일러에 의해 MSIL(MicroSoft Intermediate Language) 코드로 번역되어 .NET 플랫폼 환경에서 런타임 엔진인 CLR(Common Language Runtime)에 의해 실행이 된다.[1,3,4,7,13].

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2002-000-00041-0) 지원으로 수행되었음.

자바와 .NET 언어는 프로그래머들이 프로그램을 개발하는데 가장 널리 사용되고 있는 언어이다. 프로그래머가 작성한 자바 프로그램은 JVM 플랫폼에서는 실행이 되지만 .NET 플랫폼에서 실행이 되지 않고, 반대로 C#과 같은 .NET 언어로 작성한 프로그램은 .NET 플랫폼에서는 실행이 되지만 JVM 플랫폼에서 실행이 되지 않는다. 그러므로 자바 프로그래머는 .NET 플랫폼 환경에 맞추어 프로그래밍하지 못하고, .NET 프로그래머는 JVM 플랫폼 환경에 맞추어 프로그래밍하지 못하는 단점이 있다.

본 논문에서 연구한 Bytecode-to-MSIL 번역기는 위의 단점을 해결한 것이다. 먼저 자바로 작성된 프로그램을 컴파일하여 생성된 클래스 파일(*.class)로부터 Oolong 역어셈블러(Gnoloo.class)를 이용하여 Oolong 코드를 추출한다. 추출된 Oolong 코드를 본 논문에서 연구한 Bytecode-to-MSIL 번역기로 .NET의 중간언어인 MSIL 코드로 변환하여 .NET 어셈블러(ilasm.exe)로 실행

파일을 만들어 자바 언어로 구현된 프로그램이 .NET 환경에서도 실행될 수 있도록 한다. 따라서, 자바 프로그래머나 .NET 프로그래머는 JVM이나 .NET 플랫폼 환경에 관계없이 프로그램을 작성하여 실행시킬 수 있다.

2. 중간 언어

2.1 바이트코드

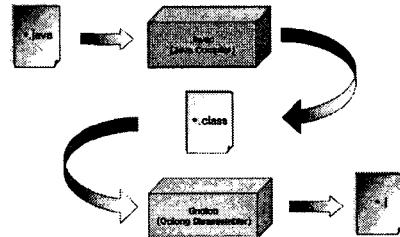
일반적으로 자바 언어를 컴파일하면 생성되는 것으로서, Opcode가 한 바이트로 구성되어 있기 때문에 바이트코드(Bytecode)라고 부른다. 한 명령은 한 바이트 이상으로 구성되는데 명령마다 다른 길이를 가진다. 이 바이트코드 해석은 JVM 또는 자바 API를 통해 운영체제에 연결되어 원하는 작업을 할 수 있다. 바이트코드는 플랫폼 독립적으로 수행된다. 따라서, 새로운 프로그램을 개발 할 때 이식성(portability)에 따른 개발노력의 단축뿐만 아니라 소프트웨어의 확산이 증가할 것이다. [그림1]은 바이트코드가 자바 클래스 파일 내에 바이너리 형식으로 저장되어 있는 것을 보여주는 예이다[2,5,11,12].

label	babe	0003	0024	0014	0040	0000	0009	0010	0014	0004	0000
0013	0014	0700	1507	0018	0100	0036	6974	5801	0031	0000	2259
0040	0004	4361	6465	0100	0042	6966	6446	756d	6265	7254	6162
0045	0200	0465	6161	6401	0016	2838	4656	6176	6124	6611	6667
0250	7472	6966	6738	2566	0100	0060	6775	7263	6246	696c	6501
0004	5465	7374	3424	6661	7661	0000	0700	0507	0017	0030	1800
1901	0001	4965	6664	6202	5761	724c	6420	2107	0016	0000	1100
0101	0005	5465	7374	3401	0010	6661	7661	210c	616c	6721	4102
0465	0274	0100	1064	6726	6124	6661	6467	2123	7973	7465	6401
0003	6755	7401	0015	4361	6176	6123	6661	2150	7229	6674	5374
7265	616d	3501	0013	4361	7661	2169	6722	5072	696c	7433	7472
6661	6201	0007	7072	6667	746c	6201	0015	384c	6661	7661	216c
616c	0722	3574	7259	6667	3739	5000	2000	0500	0000	0000	0000
0200	0000	0700	0000	0100	0500	0000	1400	0100	0100	0000	0524
6700	01b1	00000	0001	0000	0000	0000	0001	0000	0001	0000	0000
0004	0001	00000	0000	0002	0000	0000	0009	5200	0212	0356	0000
0100	00000	0100	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000

[그림1] 클래스 파일의 내부

2.2 Oolong 코드

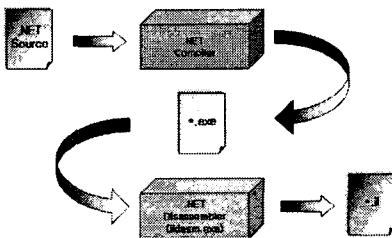
JVM은 자바 프로그래밍 언어로 작성된 소스코드를 클래스 파일 형식을 사용해서 저장하고 실행하는데, 클래스 파일이 바이너리 형식으로 되어 있기 때문에 분석하거나 수정하기가 매우 어렵다. 이에 비해 또 다른 형태의 자바 중간언어인 Oolong 코드는 읽고 쓰기가 클래스 파일 형식에 비해서 훨씬 쉽다. 이 Oolong 코드는 존 메이어(John Meyer)의 자스민(Jasmin)언어를 기반으로 만들어 졌으며 프로그래머가 바이트 코드 수준에서 프로그램을 작성할 수 있도록 설계되어 있다. [그림2]는 자바 클래스 파일로부터 역어셈블하여 Oolong 코드를 추출하는 과정이다. 이렇게 추출된 Oolong 코드를 중간언어 번역기 시스템의 입력으로 사용할 것이다[2,5,11].



[그림2] Oolong 코드 추출과정

2.3 MSIL 코드

MSIL(MicroSoft Intermediate Language)은 C#을 포함한 .NET 언어들의 중간언어로 .NET 언어로 작성된 소스코드가 컴파일되면 MSIL로 작성된 코드가 생성된다. MSIL은 오퍼런드 스택을 이용하는 스택 기반의 명령어 집합으로 언어 상호 운용성과 플랫폼 독립성의 두 가지 큰 특징을 가지는 언어이다. 또한, 처음부터 JIT(Just In Time)를 목적으로 설계되었으며, 자바 언어와는 다르게 처음부터 언어 독립적으로 설계되어 포괄적인 프로그래밍을 목적으로 하기 때문에 프로그램의 기능 및 구조의 변화에 잘 적응하는 언어이다. [그림3]은 .NET의 실행 파일로부터 역어셈블하여 MSIL 코드를 추출하는 과정이다. 이렇게 추출된 MSIL 코드로 중간언어 번역기 시스템이 번역한 MSIL 코드의 결과와 비교 분석하여 더욱 정확한 번역을 할 수 있다[1,3,6,13].

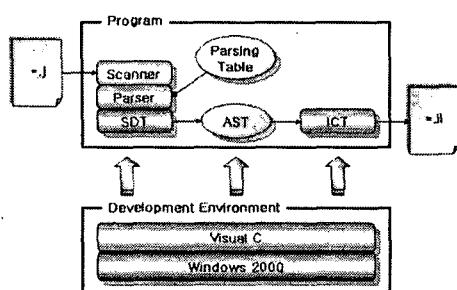


[그림3] MSIL 코드 추출과정

3. 자바 언어를 위한 중간 언어 번역기

3.1 시스템 구조

본 번역기 시스템은 윈도우즈 2000 환경 하에서 비주얼 C를 이용하여 구현하였으며, 스캐너, 파서, SDT(Syntax Directed Translation), AST (Abstract Syntax Tree) 그리고 ICT(Intermediate Code Translator)로 구성된다. [그림4]는 시스템 구성도를 나타낸 것이다.



[그림4] 번역기 시스템 구성도

3.2 Bytecode-to-MSIL 번역기

Bytecode-to-MSIL 번역기를 정형화한 형태로 구성하기 위해 Oolong 코드의 명령어 집합을 context-free 문법(Oolong.g)을 이용하여 설계하였고, 설계된 문법을 가지고 파서 생성기(PGS)를 이용하여 문법에 대한 어휘 정보와 파싱 테이블을 얻는다. 여기서 얻어진 어휘 정보를 이용하여 스캐너를 작성하고, 파싱 테이블을 이용하여 파서를 구성하였다. Bytecode-to-MSIL 번역기가 자바의 클래스 파일에서 추출한 Oolong 코드를 입력으로 받으면 파서에서 스캐너를 호출하여 토큰을 인식한 후 파싱 테이블을 참조하여 LR 구문 분석을 한다. 파싱을 성공하면 입력 문법의 구조에 따라 그 생성 규칙에 대한 의미 수행 코드를 작성하여 AST를 생성하고 이 AST를 탐색하면서 코드 변환을 하는 ICT를 작성하였다. ICT에서는 Oolong 코드와 MSIL 코드간에 서로 기능적으로 동일한 부분이 될 수 있도록 명령어를 번역하고, Oolong 코드에 포함되어 있는 라이브러리 함수들이 .NET의 MSIL 코드에 포함되어 있는 라이브러리 함수와 대응될 수 있도록 매크로 처리를 하며, Oolong 코드가 가지고 있는 의사 코드도 MSIL 코드가 가지고 있는 의사 코드와 동일한 기능을 수행 할 수 있도록 변환을 하였다. 다음 [표1]과 [표2]는 Oolong 코드와 MSIL 코드를 비교 할 수 있도록 매칭시킨 테이블이다. ICT에서는 이것을 바탕으로 코드 변환을 한다.

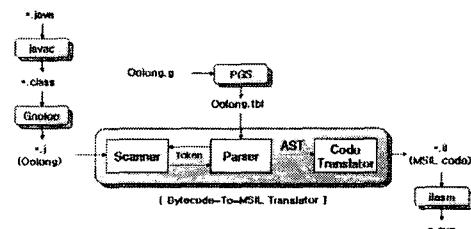
Oolong	MSIL
String	string
...	...
byte	int8
short	int16
int	int32
long	int64
...	...
float	float32

[표1] 데이터 타입 매핑표

Oolong	MSIL
nop	nop
...	...
iload_num	ldloc.num
istore_num	stloc.num
iadd, isub	add, sub
imul, idiv	rmul, div
...	...
return	ret

[표2] 명령어 집합 매핑표

이렇게 함으로써, 입력 코드인 Oolong 코드의 기능과 출력 코드인 MSIL 코드의 기능을 같게 하고, 결과적으로 Oolong 코드와 의미적으로 동등한 MSIL 코드를 생성함으로써 자바 프로그램이 .NET 플랫폼 환경에서 실행될 수 있다. [그림5]는 Oolong 파일이 번역기 시스템에 입력으로 들어가 출력으로 MSIL 코드가 나오면 그것을 다시 MSIL IL 어셈블리를 이용해 실행이 되는 과정을 나타낸 것이다.



[그림5] Bytecode-to-MSIL 번역기

3.3 실험 결과 및 분석

다음 [예제1]부터 [예제3]까지는 Bytecode-to-MSIL 번역기를 사용하여 하여 예외 처리 소스를 번역하고 그 결과를 살펴본 것이다.

```

public class Program {
    void orange() {
        int m = 25, i;
        i = m / 0;
        System.out.println("The End of orange method");
    }
    void apple() {
        orange();
        System.out.println("The End of apple method");
    }
    public static void main(String[] args) {
        Program p = new Program();
        try {
            p.apple();
        } catch (ArithmaticException e) {
            System.out.println("Arithmatic Exception is processed");
        }
        System.out.println("The End of main method");
    }
}

another public static main ([Ljava/lang/String;)
line 1:stack 2
line 2:local 3
line 3:catch_arithmatic_exception line 4 to 7 using REG
line 4:REG = new Program()
line 5:REG =
line 6:REG.main([Ljava/lang/String;)
line 7:REG =
line 8:REG =
line 9:REG =
line 10:REG =
line 11:REG =
line 12:REG =
line 13:REG =
line 14:REG =
line 15:REG =
line 16:REG =
line 17:REG =
line 18:REG =
line 19:REG =
line 20:REG =
line 21:REG =
line 22:REG =
line 23:REG =
line 24:REG =
line 25:REG =
line 26:REG =
line 27:REG =
line 28:REG =
line 29:REG =
line 30:REG =
line 31:REG =
line 32:REG =
line 33:REG =
line 34:REG =
line 35:REG =
line 36:REG =
line 37:REG =
line 38:REG =
line 39:REG =
line 40:REG =
line 41:REG =
line 42:REG =
line 43:REG =
line 44:REG =
line 45:REG =
line 46:REG =
line 47:REG =
line 48:REG =
line 49:REG =
line 50:REG =
line 51:REG =
line 52:REG =
line 53:REG =
line 54:REG =
line 55:REG =
line 56:REG =
line 57:REG =
line 58:REG =
line 59:REG =
line 60:REG =
line 61:REG =
line 62:REG =
line 63:REG =
line 64:REG =
line 65:REG =
line 66:REG =
line 67:REG =
line 68:REG =
line 69:REG =
line 70:REG =
line 71:REG =
line 72:REG =
line 73:REG =
line 74:REG =
line 75:REG =
line 76:REG =
line 77:REG =
line 78:REG =
line 79:REG =
line 80:REG =
line 81:REG =
line 82:REG =
line 83:REG =
line 84:REG =
line 85:REG =
line 86:REG =
line 87:REG =
line 88:REG =
line 89:REG =
line 90:REG =
line 91:REG =
line 92:REG =
line 93:REG =
line 94:REG =
line 95:REG =
line 96:REG =
line 97:REG =
line 98:REG =
line 99:REG =
line 100:REG =
line 101:REG =
line 102:REG =
line 103:REG =
line 104:REG =
line 105:REG =
line 106:REG =
line 107:REG =
line 108:REG =
line 109:REG =
line 110:REG =
line 111:REG =
line 112:REG =
line 113:REG =
line 114:REG =
line 115:REG =
line 116:REG =
line 117:REG =
line 118:REG =
line 119:REG =
line 120:REG =
line 121:REG =
line 122:REG =
line 123:REG =
line 124:REG =
line 125:REG =
line 126:REG =
line 127:REG =
line 128:REG =
line 129:REG =
line 130:REG =
line 131:REG =
line 132:REG =
line 133:REG =
line 134:REG =
line 135:REG =
line 136:REG =
line 137:REG =
line 138:REG =
line 139:REG =
line 140:REG =
line 141:REG =
line 142:REG =
line 143:REG =
line 144:REG =
line 145:REG =
line 146:REG =
line 147:REG =
line 148:REG =
line 149:REG =
line 150:REG =
line 151:REG =
line 152:REG =
line 153:REG =
line 154:REG =
line 155:REG =
line 156:REG =
line 157:REG =
line 158:REG =
line 159:REG =
line 160:REG =
line 161:REG =
line 162:REG =
line 163:REG =
line 164:REG =
line 165:REG =
line 166:REG =
line 167:REG =
line 168:REG =
line 169:REG =
line 170:REG =
line 171:REG =
line 172:REG =
line 173:REG =
line 174:REG =
line 175:REG =
line 176:REG =
line 177:REG =
line 178:REG =
line 179:REG =
line 180:REG =
line 181:REG =
line 182:REG =
line 183:REG =
line 184:REG =
line 185:REG =
line 186:REG =
line 187:REG =
line 188:REG =
line 189:REG =
line 190:REG =
line 191:REG =
line 192:REG =
line 193:REG =
line 194:REG =
line 195:REG =
line 196:REG =
line 197:REG =
line 198:REG =
line 199:REG =
line 200:REG =
line 201:REG =
line 202:REG =
line 203:REG =
line 204:REG =
line 205:REG =
line 206:REG =
line 207:REG =
line 208:REG =
line 209:REG =
line 210:REG =
line 211:REG =
line 212:REG =
line 213:REG =
line 214:REG =
line 215:REG =
line 216:REG =
line 217:REG =
line 218:REG =
line 219:REG =
line 220:REG =
line 221:REG =
line 222:REG =
line 223:REG =
line 224:REG =
line 225:REG =
line 226:REG =
line 227:REG =
line 228:REG =
line 229:REG =
line 230:REG =
line 231:REG =
line 232:REG =
line 233:REG =
line 234:REG =
line 235:REG =
line 236:REG =
line 237:REG =
line 238:REG =
line 239:REG =
line 240:REG =
line 241:REG =
line 242:REG =
line 243:REG =
line 244:REG =
line 245:REG =
line 246:REG =
line 247:REG =
line 248:REG =
line 249:REG =
line 250:REG =
line 251:REG =
line 252:REG =
line 253:REG =
line 254:REG =
line 255:REG =
line 256:REG =
line 257:REG =
line 258:REG =
line 259:REG =
line 260:REG =
line 261:REG =
line 262:REG =
line 263:REG =
line 264:REG =
line 265:REG =
line 266:REG =
line 267:REG =
line 268:REG =
line 269:REG =
line 270:REG =
line 271:REG =
line 272:REG =
line 273:REG =
line 274:REG =
line 275:REG =
line 276:REG =
line 277:REG =
line 278:REG =
line 279:REG =
line 280:REG =
line 281:REG =
line 282:REG =
line 283:REG =
line 284:REG =
line 285:REG =
line 286:REG =
line 287:REG =
line 288:REG =
line 289:REG =
line 290:REG =
line 291:REG =
line 292:REG =
line 293:REG =
line 294:REG =
line 295:REG =
line 296:REG =
line 297:REG =
line 298:REG =
line 299:REG =
line 300:REG =
line 301:REG =
line 302:REG =
line 303:REG =
line 304:REG =
line 305:REG =
line 306:REG =
line 307:REG =
line 308:REG =
line 309:REG =
line 310:REG =
line 311:REG =
line 312:REG =
line 313:REG =
line 314:REG =
line 315:REG =
line 316:REG =
line 317:REG =
line 318:REG =
line 319:REG =
line 320:REG =
line 321:REG =
line 322:REG =
line 323:REG =
line 324:REG =
line 325:REG =
line 326:REG =
line 327:REG =
line 328:REG =
line 329:REG =
line 330:REG =
line 331:REG =
line 332:REG =
line 333:REG =
line 334:REG =
line 335:REG =
line 336:REG =
line 337:REG =
line 338:REG =
line 339:REG =
line 340:REG =
line 341:REG =
line 342:REG =
line 343:REG =
line 344:REG =
line 345:REG =
line 346:REG =
line 347:REG =
line 348:REG =
line 349:REG =
line 350:REG =
line 351:REG =
line 352:REG =
line 353:REG =
line 354:REG =
line 355:REG =
line 356:REG =
line 357:REG =
line 358:REG =
line 359:REG =
line 360:REG =
line 361:REG =
line 362:REG =
line 363:REG =
line 364:REG =
line 365:REG =
line 366:REG =
line 367:REG =
line 368:REG =
line 369:REG =
line 370:REG =
line 371:REG =
line 372:REG =
line 373:REG =
line 374:REG =
line 375:REG =
line 376:REG =
line 377:REG =
line 378:REG =
line 379:REG =
line 380:REG =
line 381:REG =
line 382:REG =
line 383:REG =
line 384:REG =
line 385:REG =
line 386:REG =
line 387:REG =
line 388:REG =
line 389:REG =
line 390:REG =
line 391:REG =
line 392:REG =
line 393:REG =
line 394:REG =
line 395:REG =
line 396:REG =
line 397:REG =
line 398:REG =
line 399:REG =
line 400:REG =
line 401:REG =
line 402:REG =
line 403:REG =
line 404:REG =
line 405:REG =
line 406:REG =
line 407:REG =
line 408:REG =
line 409:REG =
line 410:REG =
line 411:REG =
line 412:REG =
line 413:REG =
line 414:REG =
line 415:REG =
line 416:REG =
line 417:REG =
line 418:REG =
line 419:REG =
line 420:REG =
line 421:REG =
line 422:REG =
line 423:REG =
line 424:REG =
line 425:REG =
line 426:REG =
line 427:REG =
line 428:REG =
line 429:REG =
line 430:REG =
line 431:REG =
line 432:REG =
line 433:REG =
line 434:REG =
line 435:REG =
line 436:REG =
line 437:REG =
line 438:REG =
line 439:REG =
line 440:REG =
line 441:REG =
line 442:REG =
line 443:REG =
line 444:REG =
line 445:REG =
line 446:REG =
line 447:REG =
line 448:REG =
line 449:REG =
line 450:REG =
line 451:REG =
line 452:REG =
line 453:REG =
line 454:REG =
line 455:REG =
line 456:REG =
line 457:REG =
line 458:REG =
line 459:REG =
line 460:REG =
line 461:REG =
line 462:REG =
line 463:REG =
line 464:REG =
line 465:REG =
line 466:REG =
line 467:REG =
line 468:REG =
line 469:REG =
line 470:REG =
line 471:REG =
line 472:REG =
line 473:REG =
line 474:REG =
line 475:REG =
line 476:REG =
line 477:REG =
line 478:REG =
line 479:REG =
line 480:REG =
line 481:REG =
line 482:REG =
line 483:REG =
line 484:REG =
line 485:REG =
line 486:REG =
line 487:REG =
line 488:REG =
line 489:REG =
line 490:REG =
line 491:REG =
line 492:REG =
line 493:REG =
line 494:REG =
line 495:REG =
line 496:REG =
line 497:REG =
line 498:REG =
line 499:REG =
line 500:REG =
line 501:REG =
line 502:REG =
line 503:REG =
line 504:REG =
line 505:REG =
line 506:REG =
line 507:REG =
line 508:REG =
line 509:REG =
line 510:REG =
line 511:REG =
line 512:REG =
line 513:REG =
line 514:REG =
line 515:REG =
line 516:REG =
line 517:REG =
line 518:REG =
line 519:REG =
line 520:REG =
line 521:REG =
line 522:REG =
line 523:REG =
line 524:REG =
line 525:REG =
line 526:REG =
line 527:REG =
line 528:REG =
line 529:REG =
line 530:REG =
line 531:REG =
line 532:REG =
line 533:REG =
line 534:REG =
line 535:REG =
line 536:REG =
line 537:REG =
line 538:REG =
line 539:REG =
line 540:REG =
line 541:REG =
line 542:REG =
line 543:REG =
line 544:REG =
line 545:REG =
line 546:REG =
line 547:REG =
line 548:REG =
line 549:REG =
line 550:REG =
line 551:REG =
line 552:REG =
line 553:REG =
line 554:REG =
line 555:REG =
line 556:REG =
line 557:REG =
line 558:REG =
line 559:REG =
line 560:REG =
line 561:REG =
line 562:REG =
line 563:REG =
line 564:REG =
line 565:REG =
line 566:REG =
line 567:REG =
line 568:REG =
line 569:REG =
line 570:REG =
line 571:REG =
line 572:REG =
line 573:REG =
line 574:REG =
line 575:REG =
line 576:REG =
line 577:REG =
line 578:REG =
line 579:REG =
line 580:REG =
line 581:REG =
line 582:REG =
line 583:REG =
line 584:REG =
line 585:REG =
line 586:REG =
line 587:REG =
line 588:REG =
line 589:REG =
line 590:REG =
line 591:REG =
line 592:REG =
line 593:REG =
line 594:REG =
line 595:REG =
line 596:REG =
line 597:REG =
line 598:REG =
line 599:REG =
line 600:REG =
line 601:REG =
line 602:REG =
line 603:REG =
line 604:REG =
line 605:REG =
line 606:REG =
line 607:REG =
line 608:REG =
line 609:REG =
line 610:REG =
line 611:REG =
line 612:REG =
line 613:REG =
line 614:REG =
line 615:REG =
line 616:REG =
line 617:REG =
line 618:REG =
line 619:REG =
line 620:REG =
line 621:REG =
line 622:REG =
line 623:REG =
line 624:REG =
line 625:REG =
line 626:REG =
line 627:REG =
line 628:REG =
line 629:REG =
line 630:REG =
line 631:REG =
line 632:REG =
line 633:REG =
line 634:REG =
line 635:REG =
line 636:REG =
line 637:REG =
line 638:REG =
line 639:REG =
line 640:REG =
line 641:REG =
line 642:REG =
line 643:REG =
line 644:REG =
line 645:REG =
line 646:REG =
line 647:REG =
line 648:REG =
line 649:REG =
line 650:REG =
line 651:REG =
line 652:REG =
line 653:REG =
line 654:REG =
line 655:REG =
line 656:REG =
line 657:REG =
line 658:REG =
line 659:REG =
line 660:REG =
line 661:REG =
line 662:REG =
line 663:REG =
line 664:REG =
line 665:REG =
line 666:REG =
line 667:REG =
line 668:REG =
line 669:REG =
line 670:REG =
line 671:REG =
line 672:REG =
line 673:REG =
line 674:REG =
line 675:REG =
line 676:REG =
line 677:REG =
line 678:REG =
line 679:REG =
line 680:REG =
line 681:REG =
line 682:REG =
line 683:REG =
line 684:REG =
line 685:REG =
line 686:REG =
line 687:REG =
line 688:REG =
line 689:REG =
line 690:REG =
line 691:REG =
line 692:REG =
line 693:REG =
line 694:REG =
line 695:REG =
line 696:REG =
line 697:REG =
line 698:REG =
line 699:REG =
line 700:REG =
line 701:REG =
line 702:REG =
line 703:REG =
line 704:REG =
line 705:REG =
line 706:REG =
line 707:REG =
line 708:REG =
line 709:REG =
line 710:REG =
line 711:REG =
line 712:REG =
line 713:REG =
line 714:REG =
line 715:REG =
line 716:REG =
line 717:REG =
line 718:REG =
line 719:REG =
line 720:REG =
line 721:REG =
line 722:REG =
line 723:REG =
line 724:REG =
line 725:REG =
line 726:REG =
line 727:REG =
line 728:REG =
line 729:REG =
line 730:REG =
line 731:REG =
line 732:REG =
line 733:REG =
line 734:REG =
line 735:REG =
line 736:REG =
line 737:REG =
line 738:REG =
line 739:REG =
line 740:REG =
line 741:REG =
line 742:REG =
line 743:REG =
line 744:REG =
line 745:REG =
line 746:REG =
line 747:REG =
line 748:REG =
line 749:REG =
line 750:REG =
line 751:REG =
line 752:REG =
line 753:REG =
line 754:REG =
line 755:REG =
line 756:REG =
line 757:REG =
line 758:REG =
line 759:REG =
line 760:REG =
line 761:REG =
line 762:REG =
line 763:REG =
line 764:REG =
line 765:REG =
line 766:REG =
line 767:REG =
line 768:REG =
line 769:REG =
line 770:REG =
line 771:REG =
line 772:REG =
line 773:REG =
line 774:REG =
line 775:REG =
line 776:REG =
line 777:REG =
line 778:REG =
line 779:REG =
line 780:REG =
line 781:REG =
line 782:REG =
line 783:REG =
line 784:REG =
line 785:REG =
line 786:REG =
line 787:REG =
line 788:REG =
line 789:REG =
line 790:REG =
line 791:REG =
line 792:REG =
line 793:REG =
line 794:REG =
line 795:REG =
line 796:REG =
line 797:REG =
line 798:REG =
line 799:REG =
line 800:REG =
line 801:REG =
line 802:REG =
line 803:REG =
line 804:REG =
line 805:REG =
line 806:REG =
line 807:REG =
line 808:REG =
line 809:REG =
line 810:REG =
line 811:REG =
line 812:REG =
line 813:REG =
line 814:REG =
line 815:REG =
line 816:REG =
line 817:REG =
line 818:REG =
line 819:REG =
line 820:REG =
line 821:REG =
line 822:REG =
line 823:REG =
line 824:REG =
line 825:REG =
line 826:REG =
line 827:REG =
line 828:REG =
line 829:REG =
line 830:REG =
line 831:REG =
line 832:REG =
line 833:REG =
line 834:REG =
line 835:REG =
line 836:REG =
line 837:REG =
line 838:REG =
line 839:REG =
line 840:REG =
line 841:REG =
line 842:REG =
line 843:REG =
line 844:REG =
line 845:REG =
line 846:REG =
line 847:REG =
line 848:REG =
line 849:REG =
line 850:REG =
line 851:REG =
line 852:REG =
line 853:REG =
line 854:REG =
line 855:REG =
line 856:REG =
line 857:REG =
line 858:REG =
line 859:REG =
line 860:REG =
line 861:REG =
line 862:REG =
line 863:REG =
line 864:REG =
line 865:REG =
line 866:REG =
line 867:REG =
line 868:REG =
line 869:REG =
line 870:REG =
line 871:REG =
line 872:REG =
line 873:REG =
line 874:REG =
line 875:REG =
line 876:REG =
line 877:REG =
line 878:REG =
line 879:REG =
line 880:REG =
line 881:REG =
line 882:REG =
line 883:REG =
line 884:REG =
line 885:REG =
line 886:REG =
line 887:REG =
line 888:REG =
line 889:REG =
line 890:REG =
line 891:REG =
line 892:REG =
line 893:REG =
line 894:REG =
line 895:REG =
line 896:REG =
line 897:REG =
line 898:REG =
line 899:REG =
line 900:REG =
line 901:REG =
line 902:REG =
line 903:REG =
line 904:REG =
line 905:REG =
line 906:REG =
line 907:REG =
line 908:REG =
line 909:REG =
line 910:REG =
line 911:REG =
line 912:REG =
line 913:REG =
line 914:REG =
line 915:REG =
line 916:REG =
line 917:REG =
line 918:REG =
line 919:REG =
line 920:REG =
line 921:REG =
line 922:REG =
line 923:REG =
line 924:REG =
line 925:REG =
line 926:REG =
line 927:REG =
line 928:REG =
line 929:REG =
line 930:REG =
line 931:REG =
line 932:REG =
line 933:REG =
line 934:REG =
line 935:REG =
line 936:REG =
line 937:REG =
line 938:REG =
line 939:REG =
line 940:REG =
line 941:REG =
line 942:REG =
line 943:REG =
line 944:REG =
line 945:REG =
line 946:REG =
line 947:REG =
line 948:REG =
line 949:REG =
line 950:REG =
line 951:REG =
line 952:REG =
line 953:REG =
line 954:REG =
line 955:REG =
line 956:REG =
line 957:REG =
line 958:REG =
line 959:REG =
line 960:REG =
line 961:REG =
line 962:REG =
line 963:REG =
line 964:REG =
line 965:REG =
line 966:REG =
line 967:REG =
line 968:REG =
line 969:REG =
line 970:REG =
line 971:REG =
line 972:REG =
line 973:REG =
line 974:REG =
line 975:REG =
line 976:REG =
line 977:REG =
line 978:REG =
line 979:REG =
line 980:REG =
line 981:REG =
line 982:REG =
line 983:REG =
line 984:REG =
line 985:REG =
line 986:REG =
line 987:REG =
line 988:REG =
line 989:REG =
line 990:REG =
line 991:REG =
line 992:REG =
line 993:REG =
line 994:REG =
line 995:REG =
line 996:REG =
line 997:REG =
line 998:REG =
line 999:REG =
line 1000:REG =
line 1001:REG =
line 1002:REG =
line 1003:REG =
line 1004:REG =
line 1005:REG =
line 1006:REG =
line 1007:REG =
line 1008:REG =
line 1009:REG =
line 1010:REG =
line 1011:REG =
line 1012:REG =
line 1013:REG =
line 1014:REG =
line 1015:REG =
line 1016:REG =
line 1017:REG =
line 1018:REG =
line 1019:REG =
line 1020:REG =
line 1021:REG =
line 1022:REG =
line 1023:REG =
line 1024:REG =
line 1025:REG =
line 1026:REG =
line 1027:REG =
line 1028:REG =
line 1029:REG =
line 1030:REG =
line 1031:REG =
line 1032:REG =
line 1033:REG =
line 1034:REG =
line 1035:REG =
line 1036:REG =
line 1037:REG =
line 1038:REG =
line 1039:REG =
line 1040:REG =
line 1041:REG =
line 1042:REG =
line 1043:REG =
line 1044:REG =
line 1045:REG =
line 1046:REG =
line 1047:REG =
line 1048:REG =
line 1049:REG =
line 1050:REG =
line 1051:REG =
line 1052:REG =
line 1053:REG =
line 1054:REG =
line 1055:REG =
line 1056:REG =
line 1057:REG =
line 1058:REG =
line 1059:REG =
line 1060:REG =
line 1061:REG =
line 1062:REG =
line 1063:REG =
line 1064:REG =
line 1065:REG =
line 1066:REG =
line 1067:REG =
line 1068:REG =
line 1069:REG =
line 1070:REG =
line 1071:REG =
line 1072:REG =
line 1073:REG =
line 1074:REG =
line 1075:REG =
line 1076:REG =
line 1077:REG =
line 1078:REG =
line 1079:REG =
line 1080:REG =
line 1081:REG =
line 1082:REG =
line 1083:REG =
line 1084:REG =
line 1085:REG =
line 1086:REG =
line 1087:REG =
line 1088:REG =
line 1089:REG =
line 1090:REG =
line 1091:REG =
line 1092:REG =
line 1093:REG =
line 1094:REG =
line 1095:REG =
line 1096:REG =
line 1097:REG =
line 1098:REG =
line 1099:REG =
line 1100:REG =
line 1101:REG =
line 1102:REG =
line 1103:REG =
line 1104:REG =
line 1105:REG =
line 1106:REG =
line 1107:REG =
line 1108:REG =
line 1109:REG =
line 1110:REG =
line 1111:REG =
line 1112:REG =
line 1113:REG =
line 1114:REG =
line 1115:REG =
line 1116:REG =
line 1117:REG =
line 1118:REG =
line 1119:REG =
line 1120:REG =
line 1121:REG =
line 1122:REG =
line 1123:REG =
line 1124:REG =
line 1125:REG =
line 1126:REG =
line 1127:REG =
line 1128:REG =
line 1129:REG =
line 1130:REG =
line 1131:REG =
line 1132:REG =
line 1133:REG =
line 1134:REG =
line 1135:REG =
line 1136:REG =
line 1137:REG =
line 1138:REG =
line 1139:REG =
line 1140:REG =
line 1141:REG =
line 1142:REG =
line 1143:REG =
line 1144:REG =
line 1145:REG =
line 1146:REG =
line 1147:REG =
line 1148:REG =
line 1149:REG =
line 1150:REG =
line 1151:REG =
line 1152:REG =
line 1153:REG =
line 1154:REG =
line 1155:REG =
line 1156:REG =
line 1157:REG =
line 1158:REG =
line 1159:REG =
line 1160:REG =
line 1161:REG =
line 1162:REG =
line 1163:REG =
line 1164:REG =
line 1165:REG =
line 1166:REG =
line 1167:REG =
line 1168:REG =
line 1169:REG =
line 1170:REG =
line 1171:REG =
line 1172:REG =
line 1173:REG =
line 1174:REG =
line 1175:REG =
line 1176:REG =
line 1177:REG =
line 1178:REG =
line 1179:REG =
line 1180:REG =
line 1181:REG =
line 1182:REG =
line 1183:REG =
line 1184:REG =
line 1185:REG =
line 1186:REG =
line 1187:REG =
line 1188:REG =
line 1189:REG =
line 1190:REG =
line 1191:REG =
line 1192:REG =
line 1193:REG =
line 1194:REG =
line 1195:REG =
line 1196:REG =
line 1197:REG =
line 1198:REG =
line 1199:REG =
line 1200:REG =
line 1201:REG =
line 1202:REG =
line 1203:REG =
line 1204:REG =
line 1205:REG =
line 1206:REG =
line 1207:REG =
line 1208:REG =
line 1209:REG =
line 1210:REG =
line 1211:REG =
line 1212:REG =
line 1213:REG =
line 1214:REG =
line 1215:REG =
line 1216:REG =
line 1217:REG =
line 1218:REG =
line 1219:REG =
line 1220:REG =
line 1221:REG =
line 1222:REG =
line 1223:REG =
line 1224:REG =
line 1225:REG =
line 1226:REG =
line 1227:REG =
line 1228:REG =
line 1229:REG =
line 1230:REG =
line 1231:REG =
line 1232:REG =
line 1233:REG =
line 1234:REG =
line 1235:REG =
line 1236:REG =
line 1237:REG =
line 1238:REG =
line 1239:REG =
line 1240:REG =
line 1241:REG =
line 1242:REG =
line 1243:REG =
line 1244:REG =
line 1245:REG =
line 1246:REG =
line 1247:REG =
line 124
```

```

    헤드 부분과 생성자 메소드 생략...
.method private hidebysig instance void orange() cil managed {
    ...
}

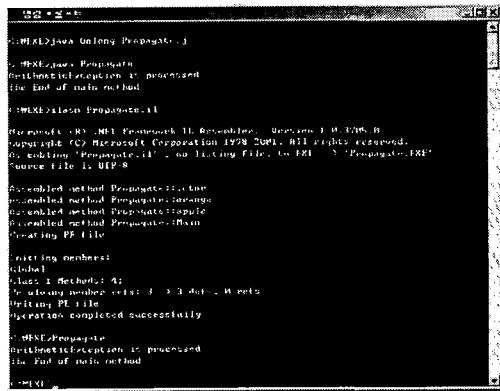
.method private hidebysig instance void apple() cil managed {
    ...
}

.method public hidebysig static void Main() cil managed {
    .entrypoint
    .maxstack 2
    .locals init (int32 V_0, class Propagate V_1,
                 class [mscorlib]System.ArithmeticException V_2)
    10: newobj   instance void Propagate::.ctor()
    13: nop
    14: nop
    17: stloc.1
    .try {
        18: ldloc.1
        19: callvirt  instance void Propagate::apple()
        22: leave.s  24
    }
    catch [mscorlib]System.ArithmeticException {
        25: stloc.2
        26: nop
        27: ldstr   "ArithmeticException is processed."
        28: call    void [mscorlib]System.Console::WriteLine(string)
        29: leave.s  24
    }
}
    출처 부분 생략...
    32: ret
}

```

[예제3] 생성된 MSIL 코드

[그림6]은 번역기를 통해 생성된 MSIL 코드를 실행파일로 변환해서 실행한 결과를 자바 프로그램의 출력결과와 비교한 화면이다.



[그림6] 실행 결과 비교

4. 결론

자바로 작성된 프로그램은 JVM 플랫폼에서는 실행이 되지만 .NET 플랫폼에서 실행이 되지 않고, 반대로 C#과 같은 .NET 언어로 작성된 프로그램은 .NET 플랫폼에서는 실행이 되지만 JVM 플랫폼에서 실행이 되지 않는다. 이런 이유로 본 논문에서는 자바소스를 컴파일하여 생성된 클래스 파일에서 Oolong 코드를 생성하고 생성된 Oolong 코드를 .NET의 MSIL 코드로 변환하여 자바로 구현된 프로그램이 .NET 환경에서 실행되도록 하는 Bytecode-to-MSIL 번역기 시스

템을 구현하였다. 따라서, 자바 프로그래머는 JVM이나 .NET 플랫폼 환경에 관계없이 프로그램을 작성하여 실행시킬 수 있다. 앞으로 자바 플랫폼 프로그래밍 언어에서 지원하는 기능 및 모듈들을 .NET 플랫폼 환경에서도 동일하게 사용할 수 있도록 번역기를 확장하고, Oolong 코드와 MSIL 코드 자체를 분석하여 실험을 통해 보다 나은 코드를 낼 수 있는 코드 최적화를 위한 연구를 수행할 예정이다.

[참고문헌]

- Andrew Troelsen, C# and the .NET Platform, 2nd ed, APRESS, 2001.
- Bill Venners, Inside the JAVA Virtual Machine, 2nd ed, McGraw-Hill, 2000.
- Don Box & Chris Sells, Essential .NET Volume 1 The Common Language Runtime, Addison Wesley, 2002.
- Arthur Gittleman, Computing With C# and the .Net Framework, Jones & Bartlett Publishers, 2003.
- Hoshua Engel, Programming for the Java Virtual Machine, Addison Wesley, 1999.
- Jeff Prosise, Programming Microsoft .NET, Microsoft Press, 2002.
- John Gough, Compiling for the .NET Common Language Runtime(CLR), Prentice Hall, 2002.
- Ken Arnold, James Gosling & David Holmes, The Java Programming Language, 3rd ed., Addison Wesley, 2000.
- Microsoft Corporation, Common Language Infrastructure(CLI), Dec. 2001.
- Serge Lindin, Inside Microsoft .NET IL Assembler, Microsoft Press, 2002.
- Troy Downing & Jon Meyer, Java Virtual Machine, O'REILLY, 1997.
- Tim Lindholm & Frank Yellin, The Java™ Virtual Machine Specification, 2nd ed, Addison Wesley, 1999.
- Tom Archer, INSIDE C#, 2nd ed, 정보문화사, 2002.
- 오세만, 컴파일러 입문, 정의사, 2000.
- 오세만 & 이양선 & 김상훈 & 고풍만, 자바 입문, 생활출판사, 1998.