

Petite VM

컴퓨터의 개념 및 실습 Project 3

TA. Juneyoung Park
juneyoung.park@snu.ac.kr

May 18, 2023
Due date: June 9, 2023

컴퓨터는 입력을 받아, 미리 정해진 규칙(프로그램)에 따라 행동한 후, 출력을 돌려주는 장치입니다. 컴퓨터가 다루는 정보는 크게 두 가지로 나눌 수 있습니다; 외부와 교환하는 정보(I/O)와 컴퓨터의 내부 상태(state, memory)입니다. 컴퓨터를 흉내내는 소프트웨어를 가상머신(virtual machine, VM)이라 하는데 이번 프로젝트에서는 Petite-Language (Plang)를 읽고 동작하는 VM을 Python으로 구현해 봅시다.

Objectives

I. 중위 표현식을 후위 표현식으로 고쳐주는 ‘in2post’를 작성하십시오. - utils.py (30 pt.)

II. Plang VM, PTVM을 구현하십시오. - petite_vm.py, exceptions.py (60 pt.)

(Bonus) 고정 비트 길이 정수형 `ixx`를 구현하십시오. - `ixx.py` (20 pt.)

점수의 총합은 100을 넘을 수 없습니다.

1 utils.py (30 pt.)

1.1 is_numeral(s)

주어진 문자열이 정수형 숫자가 될 수 있는지 판단하십시오. ‘-’로 시작하는 음수를 받을 수 있어야 합니다.

1.2 is_varname(s)

주어진 문자열이 변수의 이름이 될 수 있는지 판단하십시오. 변수의 이름은 소문자 알파벳 혹은 ‘_’로 이루어져 있어야 합니다.

1.3 is_labelname(s)

주어진 문자열이 라벨의 이름이 될 수 있는지 판단하십시오. 라벨의 이름은 대문자 알파벳 혹은 ‘_’로 이루어져 있어야 합니다.

1.4 is_keyword(s)

주어진 문자열이 이미 정의된 예약어(keyword)인지 판단하십시오. Plang의 예약어는 ‘print’, ‘input’, ‘jmp’ 입니다.

1.5 is_getitem(s)

주어진 문자열이 list 참조(e.g., x[4])인지 판단하십시오.

TIP! 문자열에 '['가 적어도 한 개 존재하고 마지막 글자인 ']'가 첫번째 '['를 닫는 경우입니다.

1.6 in2post(operators, infix_tokens)

실습시간에 배운 차량기지(shunting yard) 알고리즘을 사용해 중위 표현식을 받아 후위 표현식을 반환하는 함수를 작성하십시오. 소괄호와 대괄호가 제대로 열리고 닫히는 것을 확인할 수 있어야 합니다. 만약, 소괄호가 제대로 여닫히지 않았다면 `MismatchingParentheses` 예외를, 대괄호가 제대로 여닫히지 않았다면 `MismatchingBrackets` 예외를 발생시켜야 합니다. 두 예외가 모두 발생할 수 있다고 판단되면 `MismatchingParentheses`를 발생시키십시오.

TIP! 소괄호('(')와 대괄호('[')는 두 기호가 한 쌍이 되어 처리되어야 함을 주의하십시오.

2 petite_vm.py (class PTVM(VM)) (60 pt.)

`virtual_machine.py`에 위치한 class VM을 상속받는 class PTVM을 작성하십시오.

- 입력으로 주어지는 코드는 항상 띄어쓰기를 엄격히 지켜야 합니다.
- 한 줄에는 최대 하나의 명령만 있을 수 있습니다.
- 'jmp', 'input', 'print'는 변수의 이름이 될 수 없습니다.
- PTVM은 라벨을 제외한 모든 정수 값을 'INT_TYPE' 형태로 저장해야 합니다.
- 라벨의 값은 항상 'int'형이어야 합니다.
- 입력으로 주어지는 프로그램은 유한한 시간안에 멈춤을 가정합니다. (무한히 돌지 않습니다.)
- 더 자세한 내용은 4번 항목, 'Plang'을 참고하십시오.

2.1 scan_labels(self)

코드 전체에 위치한 라벨 정의를 읽고 그 위치를 기억합니다. 실제 코드의 첫 번째 줄은 1번 줄이지만, PTVM은 0번째 줄부터 세는 점을 잊지 마십시오.

NOTE! 라벨의 줄 위치는 'ixx' 타입이 아닌 파이썬 기본 'int'를 사용하십시오. 짧은 정수를 사용하면 코드 줄이 많은 경우 라벨 위치를 정확히 파악할 수 없습니다.

2.2 evaluate(self, expr)

표현식 `expr`의 값을 계산합니다. 이항연산자가 아닌 표현식들은 해당 함수에서 계산할 수 있어야 합니다. 이항연산자의 경우 이를 위한 메소드 `compute(self, expr)`를 사용합니다.

2.3 execute(self, pc, cmdline)

현재 VM의 PC와 명령줄을 입력 받은 후, 명령을 수행하고 다음 PC값을 돌려줍니다. 알 수 없는 명령의 경우 `UnknownCommand` 예외를 발생시킵니다.

2.4 run(self, breakpoints)

VM을 실행합니다. 먼저 모든 라벨들을 읽어 메모리에 저장합니다. 이후, VM의 PC가 마지막 줄 너머에 도달할 때 까지 명령을 수행합니다. 만약 실행 중 현재 PC가 `set, breakpoints`에 있는 숫자라면 현재 VM의 상태를 리스트에 추가하고 실행이 끝난 뒤 반환합니다. VM의 상태는 해당 위치에 있는 명령이 실행되기 전에 저장되어야 합니다.

NOTE! 현재 PTVM의 상태는 string 형태로 저장되어야 합니다.

TIP! 편집기에서 보이는 코드의 줄 번호와 PTVM이 인식하는 위치의 번호가 다를 수 있습니다. 주의하십시오.
i.e., 첫 번째 줄 1→0(PTVM)

3 (Bonus) `ixx.py` (class `ixx`) (20pt.)

- 고정길이, 부호 있는(signed) 정수를 구현하는 `ixx`를 작성하십시오.
- 구현과정에서 `int(·, 2)`와 `format(·, b)`는 사용할 수 없습니다. 임의의 값을 10진 정수로 바꿔주는 `int(·)`는 사용 가능합니다.
- 연산자를 구현할 때에는, `int`의 동일한 연산자를 결과로 사용하실 수 없습니다.
(e.g., `__mul__`를 구현할 때에는 `ixx(int(x) * int(y))`를 반환할 수 없음. 계산 중간에 필요한 값을 계산하는 데에는 사용 가능)
- 구현을 완료한 후, PTVM의 `INT_TYPE`을 `ixx` 계열(e.g, `i8`, `i32`)로 바꿨을 때 동작이 되는지 확인하십시오.

3.1 `__init__(self, value)`

숫자의 2진 비트열을 튜플, `self.__bitvec`에 저장해야 합니다. `value`는 여러 타입의 값이 가능합니다.

1. `int`

10진수 정수 값을 받습니다. 이 값을 2진수로 바꾸어, `self.__bitvec`에 저장하십시오. 이 때, 작은 index에는 낮은 자리수의 값이 위치해야 합니다. 예를 들어, `self.__bitvec[0]`에는 가장 작은 자리의 비트(lsb, least significant bit)가, 반대로 `self.__bitvec[self.BIT_LENGTH-1]`에는 가장 큰 자리의 비트(msb, most significant bit)가 위치해야 합니다. 만약 변환한 결과가 정해진 비트 수보다 적다면, 남은 부분은 0으로 채워야 합니다. 만약 주어진 값이 'ixx'의 표현 범위를 벗어난다면 `OutOfCoverage` 예외를 발생시키십시오.

TIP! 0으로 남은 부분을 채워주는 `zext` (zero extent) 가 이미 구현되어 있습니다.

2. `list`

2진 비트열이 들어오는 것을 가정합니다. 비트열의 모든 자리에 0 혹은 1이 있는지 확인하십시오. 0, 1 외의 값이 있는 경우 `IllegalBitVector` 예외를 발생시켜야 합니다. 정해진 자리수(`self.BIT_LENGTH`)보다 긴 리스트가 들어오는 경우에는, 작은쪽 끝에서부터 자리수만큼을 잘라 사용합니다. 'OutOfCoverage' 예외를 발생시키십시오.

3. `ixx`의 파생 class

`issubclass(type(value), ixx)`를 통해 찾아낼 수 있습니다. 자신과 길이가 같거나 작은 정수형을 받을 수 있습니다. 이때, 부호를 유지하면서 빈 칸을 채워야 합니다.

TIP! 부호를 유지하면서 자리수를 늘리는 `sext` (signed extent) 가 이미 구현되어 있습니다.

4. 앞선 경우들이 아닌 경우, 마지막으로 `int(value)` 값으로 다시 생성(construct)을 시도합니다. 만약 실패한 경우에는 `IllegalType` 예외를 발생시켜야 합니다.

3.2 `__int__(self)`

비트열이 의미하는 숫자를 10진수로 반환하십시오. 이 메소드는 `int(·)`를 사용할 수 없습니다.

3.3 `__neg__(self)`

주어진 숫자의 부호를 반전하십시오. 2의 보수 표현 방식을 사용하므로, 일부 경우에 대해 `Overflow` 예외를 일으킬 수 있어야 합니다.

3.4 `--add--(self, other)`

- `other`은 `ixx`의 파생 `class`의 객체여야 합니다.
- `self`와 `other`의 길이가 다른 경우 큰 쪽을 따라야 합니다.
- 두 비트열을 각각의 비트 별로 더한 후, 더한 값이 1보다 큰 경우, 2로 나눈 몫을 그 위의 자리에 더해야 합니다. 그리고, 해당 위치에는 2로 나눈 나머지를 저장해야 합니다. 이렇게 아랫자리에서 윗자리로 전달되는 값을 `carry`라 합니다.
마지막 자리(가장 큰 비트)에 전달되는 `carry`와 마지막 자리에서 나가야 하는 `carry`의 값이 서로 다른 경우에는 `Overflow` 예외를 발생시켜야 합니다.

3.5 `--sub--(self, other)`

`--add--`와 동일하게 `Overflow`를 발생시킬 수 있어야 합니다.

3.6 `--mul--(self, other)`

- `Overflow`를 발생시킬 수 있어야 합니다.
- 앞서 구현한 덧셈을 응용해 구현해야 합니다.
- 0에 두 수 중 ‘큰 수’를 ‘작은 수’ 만큼 반복하며 더해야 합니다.

3.7 `--truediv--(self, other)`

- `DivideByZero`를 발생시킬 수 있어야 합니다.
- Python의 정수 나눗셈 `//`와 달리 소수점을 모두 버립니다.
e.g., $-999/10 = -99.9 \rightarrow -99$, $10/-3 = -3.3... \rightarrow -3$
TIP! 두 숫자의 부호 따로 절댓값 따로 계산하십시오.

3.8 `--abs--(self)`

숫자의 절댓값을 ‘`ixx`’계열로 반환해야 합니다.

3.9 `--bool--(self)`

가진 값이 0을 의미하면 `False`, 그 외의 경우에는 `True`를 반환해야 합니다.

3.10 `--{eq, ne, lt, gt, le, ge}--`

앞서 구현한 `--int--`와 `int`의 조건연산자들을 응용해 구현하십시오.

4 Plang

4.1 구성요소(Components)

Plang의 구성요소들은 다음과 같습니다.

1. **x**
임의의 변수를 의미합니다. 변수의 값은 항상 정수 혹은 list여야 합니다. 변수 이름은 소문자 영어 알파벳과 ‘_’로만 구성될 수 있습니다.
(e.g., ‘snake_case’, ‘rose_is_red’, ‘the_rolling_stones’)
2. **E**
임의의 표현식(expression)을 의미합니다. 표현식의 값은 항상 정수 혹은 list여야 합니다.
(e.g., ‘u != i’, ‘23 + 5’, ‘7 * x - 11’)
3. **LABEL**
코드 상에서 현재 위치를 가리키는 이름입니다. 라벨 이름은 항상 대문자 영어 알파벳 혹은 ‘_’로 구성돼야 합니다. (e.g., ‘SCREAMING_SNAKE_CASE:’, ‘PAINT_IT_BLACK:’)

4.2 명령(Commands)

PTVM이 받아들이는 명령들은 다음과 같습니다.

1. **jmp E, LABEL**
E의 값이 0이 아닐 때, ‘LABEL’의 위치로 이동합니다.
(e.g., ‘jmp 1, EXIT’, ‘jmp x != 4, HOME’, ‘jmp m >= 121687, MASTER’)
‘E’의 값이 정수가 아닌 경우 ‘Illegal Value’, 찾을 수 없는 라벨인 경우 Unknown Label 예외를 발생시켜야 합니다.
 2. **LABEL:**
현재 위치를 라벨로 지정합니다. 라벨은 jmp를 통해 도달할 수 있습니다. 라벨의 값(현재 위치 index)은 ‘INT_TYPE’이 아닌 ‘int’를 통해 저장해야 합니다.
 3. **print(E)**
‘E’를 출력합니다. ‘print’와 ‘(’ 사이에는 공백이 없음을 주의하십시오.
(e.g., ‘print(222)’, ‘print(ECE)’, ‘print(x + 4)’)
 4. **x = E**
변수 ‘x’에 ‘E’의 값을 저장합니다. ‘E’의 값은 항상 정수여야 합니다. 아닌 경우에는 IllegalValue 예외를 발생시켜야 합니다.
(e.g., ‘x = 12’, ‘y = x + 1’, ‘z = x != y’)
 5. **x = [E1; E2]**
변수 ‘x’에 ‘E2’개의 연속된 ‘E1’을 갖는 list를 저장합니다. E1, E2의 값은 항상 정수여야 합니다. 만약 아니라면, IllegalValue 예외를 발생시켜야 합니다.
(e.g., ‘x = [0; 16]’, ‘matrix_a = [1; 4 * 4]’)
 6. **x[E1] = E2**
list 변수 ‘x’의 ‘E1’ 번째 index 위치에 정수, ‘E2’를 저장합니다. 만약, ‘x’가 list가 아니거나 ‘E2’의 값이 정수가 아닌 경우, IllegalValue 예외를 발생시켜야 합니다.
(e.g., ‘x[4] = 1 + 2’, ‘matrix_a[4 * i + j] = 0’)
- 한 줄에는 하나의 명령만 위치할 수 있습니다.
 - 빈 명령줄이 가능함을 주의하십시오.
 - ‘#’부터 해당 줄의 끝까지는 주석입니다.

4.3 표현식(Expression)

Plang의 표현식은 다음과 같습니다.

1. `n`
임의의 10진 정수형 상수를 의미합니다. (e.g., 11, -7, 19721121)
2. `x`
변수 'x'의 값을 의미합니다.
3. `x[E]`
list 변수 'x'의 'E' 번째 값을 의미합니다. 'x'가 list가 아닌거나 'E'의 값이 정수가 아닌 경우 `Illegal Value` 예외를 발생시켜야 합니다.
4. `(E)`
'E'와 동일한 값입니다. 연산 우선순위를 나타내기 위해 사용합니다.
5. `E ⊖ E`
이항연산자 '⊖'를 적용한 값입니다.
6. `input()`
사용자로부터 키보드 입력을 받습니다. 입력은 항상 정수여야 합니다.

4.4 연산자(Operators)

이항연산자 \ominus 는 다음과 같습니다.

1. `'=='` (`__eq__`): 같을 때 1 다를 때 0의 `INT_TYPE`
 2. `'!='` (`__ne__`): 다를 때 1 같을 때 0의 `INT_TYPE`
 3. `'<'` (`__lt__`): 왼쪽이 더 작을 때 1의 `INT_TYPE`
 4. `'>'` (`__gt__`): 왼쪽이 더 클 때 1의 `INT_TYPE`
 5. `'<='` (`__le__`): 왼쪽이 더 작거나 같을 때 1의 `INT_TYPE`
 6. `'>='` (`__ge__`): 왼쪽이 더 크거나 같을 때 1의 `INT_TYPE`
 7. `'+'` (`__add__`): 둘 중 더 긴 타입의 `INT_TYPE`
 8. `'-'` (`__sub__`): 둘 중 더 긴 타입의 `INT_TYPE`
단항 연산자 '-'는 없음을 주의하십시오.
(e.g., '- expectation' (X) '0 - expectation' (O))
 9. `'*'` (`__mul__`): 둘 중 더 긴 타입의 `INT_TYPE`
 10. `'/'` (`__truediv__`): 정수 나눗셈의 몫. (`ixx` 사용 시, 왼쪽 타입의 `ixx`)
Python의 정수 나눗셈과 달리 소숫점 부분을 모두 버리는 점에 유의하십시오.
(e.g., `-999 / 10 = -99` (C/C++, Plang) `-999 / 10 = -100` (Python))
- 연산자와 피연산자(operand) 사이에는 항상 띄어쓰기가 있어야 합니다.
 - 단항연산자 '-'가 없음을 주의하십시오. (e.g., '- x # 불가능', '0 - x # 가능')
 - 나눗셈('/')은 항상 정수를 반환해야 합니다.

5 예외(Exceptions) - exceptions.py

예외 메시지의 대소문자 및 오타에 유의하십시오. 모든 예외는 해당 명령줄(command line)의 실행이 끝나기 전에 찾아낼 수 있어야 합니다. 또한, `NotImplementedError`를 제외한 모든 예외는 새로운 예외 class를 주어진 상속 계층에 맞게 정의하고 제공되는 기본 메시지를 설정하십시오.

- 아래 예외가 발생하는 경우 외에 문법적 오류는 없다고 가정합니다.
- `utils.py`의 경우는 'PTVM'과 별도로 채점하며 두 예외가 모두 발생할 수 있다 판단되면 소괄호를 우선으로 예외를 발생시키십시오. (e.g., `x[4]` \implies `MismatchingParentheses`)

5.1 NotImplementedError

구현되지 않았습니다. 해당 오류는 발생하면 안됩니다.

5.2 PTVMException의 sub-class들

1. `UnknownCommand` \rightarrow `PTVMException`
'Unknown Command': 알 수 없는 명령(command)입니다. Default 예외로 동작합니다.
2. `UnknownLabel` \rightarrow `PTVMException`
'Unknown Label': 정의되지 않은 라벨입니다.
3. `UnknownVariable` \rightarrow `PTVMException`
'Unknown Variable': 정의되지 않은 변수입니다.
4. `IllegalValue` \rightarrow `PTVMException`
'Illegal Value': 사용할 수 없는 값입니다. (e.g., 정수형 변수가 와야하는 위치에 list 변수가 오는 경우)
5. `SyntaxError` \rightarrow `PTVMException` (`utils.py`)
 - 1) `MismatchingParentheses` \rightarrow `SyntaxError`
'Mismatching Parentheses': 소괄호가 제대로 닫히지 않았습니다.
 - 2) `MismatchingBrackets` \rightarrow `SyntaxError`
'Mismatching Brackets': 대괄호가 제대로 닫히지 않았습니다.
6. `NumericException` \rightarrow `PTVMException` (`ixx.py`)
 - 1) `OutOfCoverage` \rightarrow `NumericException`
'Out of Coverage': `ixx`가 표현할 수 있는 범위의 값이 아닙니다.
 - 2) `IllegalBitVector` \rightarrow `NumericException`
'Illegal Bit Vector': 입력 비트열 중에 0과 1이 아닌 값이 있습니다.
 - 3) `IllegalType` \rightarrow `NumericException`
'Illegal Type': 연산에 사용된 변수들의 타입이 `ixx` 계열이 아닙니다.
 - 4) `Overflow` \rightarrow `NumericException`
'Overflow': 연산 결과가 타입이 표현할 수 있는 범위를 넘었습니다.
 - 5) `DvvideByZero` \rightarrow `NumericException`
'Divide by Zero': 0 으로 나눴습니다.

6 Appendix

6.1 Plang Example - fibonacci.plang

```

1 | jmp 1, MAIN
2 | # 1 1 2 3 5 8 13 21 34 55
3 |
4 | MAIN:
5 |     memo = [1; 10]
6 |     i = 2
7 | LOOP:
8 |     memo[i] = memo[i-1] + memo[i-2]
9 |     i = i + 1
10 |    jmp i < 10, LOOP
11 |
12 |     i = 0
13 | PRINTLOOP:
14 |     print (memo[i])
15 |     i = i + 1
16 |    jmp i < 10, PRINTLOOP

```

6.2 Abstract Syntax

$\ominus \longrightarrow + \mid - \mid * \mid / \mid \Delta$

Binary operators

$\Delta \longrightarrow == \mid != \mid < \mid > \mid <= \mid >=$

Relational operators

$E \longrightarrow n$

$\mid x$

$\mid x[E]$

$\mid (E)$

$\mid E \ominus E$

$\mid \text{input}()$

$C \longrightarrow C \text{ 'newline' } C$

Sequence

$\mid l :$

Label definition

$\mid x = E$

Assignment

$\mid x[E] = E$

Assignment (list element)

$\mid x = [E; E]$

Integer list definition

$\mid \text{jmp } E, l$

Conditional jump

$\mid \text{print}(E)$

$P \longrightarrow C$ Program