Project 4
Code Generation

Due Date

12월 14일 일요일 23:55

Projects

1. Lexical analyzer
2. Yacc programming
3. Semantic analysis
4. **Code generation**

Overview

- Code generation
- Stack simulator
  - Register
  - Instruction set
- Additional Implementation
- Examples
- Tips
- Submission

Code Generation

- 스택 기반의 중간코드(IR)를 생성
  - 자바 바이트코드와 유사함
- 생성된 코드를 스택 시뮬레이터에서 실행
- 코드는 subc.y의 Embedded action에서 생성
- 문법적으로 잘못된 코드(syntax, semantic)는 입력되지 않음

Stack Simulator

- operand들을 스택에 push하고 pop해서 연산을 수행한 뒤, 결과를 다시 스택에 push하는 구조
  - ex) JavaVM
- instruction
  - ex) add, sub, push_reg, pop_reg
- 설치 및 사용법
  - 강의 홈페이지에서 다운받은 뒤, 압축을 풀고 make를 실행하면 sim파일 생성
  - ./sim [file_name.s]
  - 동봉된 test.s로 테스트해볼 수 있다.

Example

Input C code (t.c)

```
int main() {
    write_string("hello world\n");
}
```

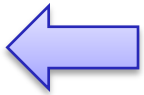
subc

Generated IR code (t.s)

```
                push_const EXIT
                push_reg fp
                push_reg sp
                pop_reg fp
                jump main
EXIT:
                exit
main:
main_start:
Str0. string "hello world\n"
                push_const Str0
                write_string
main_exit:
                push_reg fp
                pop_reg sp
                pop_reg fp
                pop_reg pc
main_end:
Lglob. data 0
```

Execution on stack simulator

```
smb1221@capella:~/compiler/sim$ ./sim t.s
code area size 12
data area size 14
hello world
program exits
```

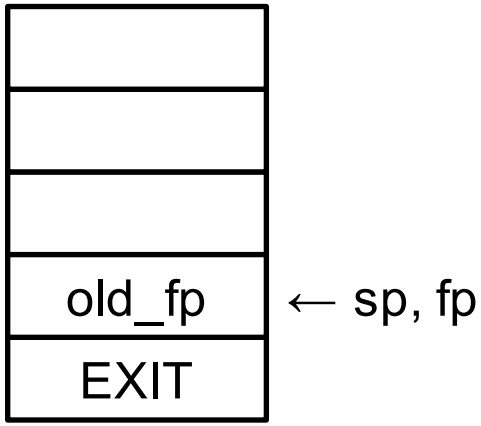


Registers

- SP
  - 스택을 가리키는 포인터
  - 주로, 지역 변수의 값을 접근하기 위해 사용
- FP
  - 스택 프레임 포인터
  - 전역 변수의 값을 접근하거나 함수의 호출, 리턴에 사용
- PC
  - 현재 수행중인 프로그램의 program counter
  - branch를 수행하기 위해서는 PC값을 변경

Start up code

```
        push_const EXIT
        push_reg fp
        push_reg sp
        pop_reg fp
        jump main
EXIT:
        exit
main:
```



- calling convention에 따라 다소 변할 수 있음.

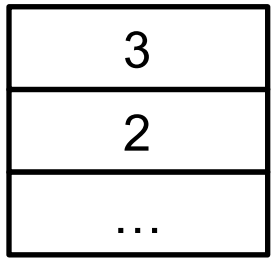
Arithmetic / Logic Instruction

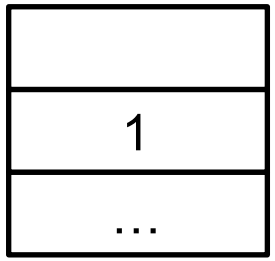
- Unary operation
  - pop top element of stack
  - apply operation
  - push result onto stack
- Example
  - negate

  - not

Arithmetic / Logic Instruction

- Binary operation
  - pop two top elements of stack
  - apply operation as top element on left hand, second element of right hand
  - push result onto stack
- Example
  - sub





Control

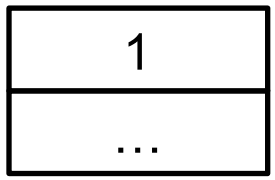
- Terminate program
  - exit
  - 실행중인 프로그램을 무조건 종료

- Unconditional jump
  - jump [label] [+/- offset]
  - example
    - jump L 6 → pc = L + 6
    - jump L → pc = L
    - jump 6 → pc = 6

Control

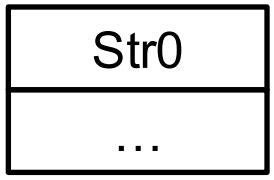
- Conditional jump
  - pop top element of stack
  - branch_true [label] [+/- offset]
  - branch_false [label] [+/- offset]

- pop한 값이 1인 경우 지정된 위치로 점프하고 0인 경우는 다음 코드를 수행

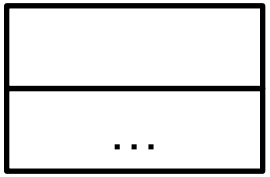


Stack Manipulation

- push
  - push_const <constant>
  - push_reg <reg>
  - example
    - push_const Str0



    - push_reg fp

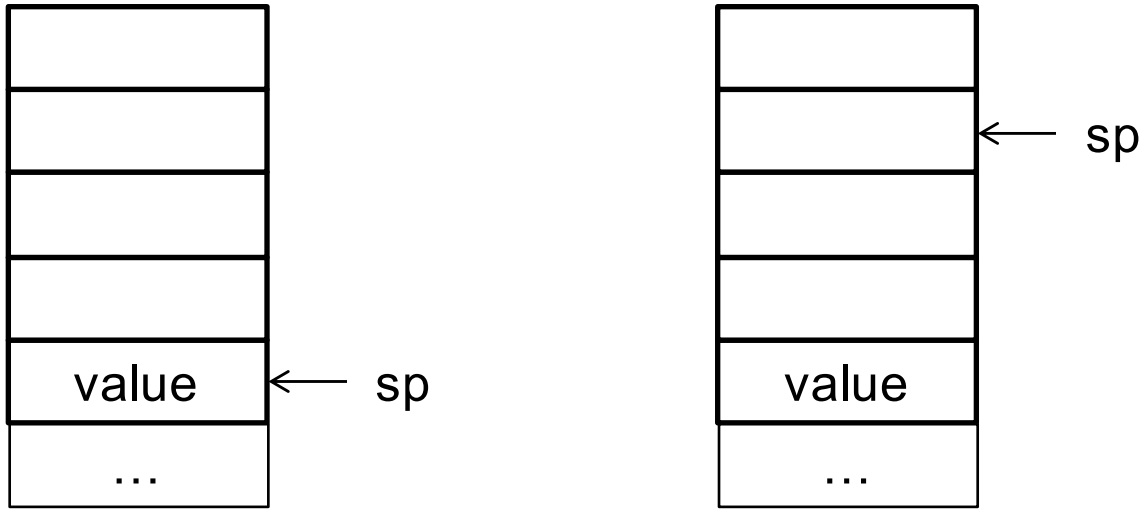


Stack Manipulation

- pop
  - pop_reg <reg>
  - example
    - pop_reg fp

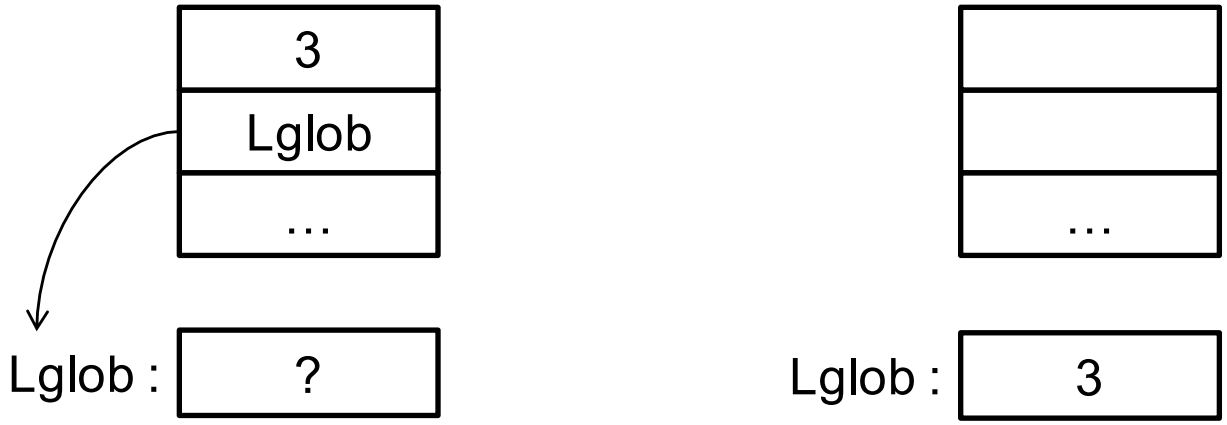
Stack Manipulation

- shift stack pointer
  - shift_sp <integer constant>
  - 지역 변수를 위한 스택 프레임 할당을 위해 사용
  - example
    - shift_sp 3



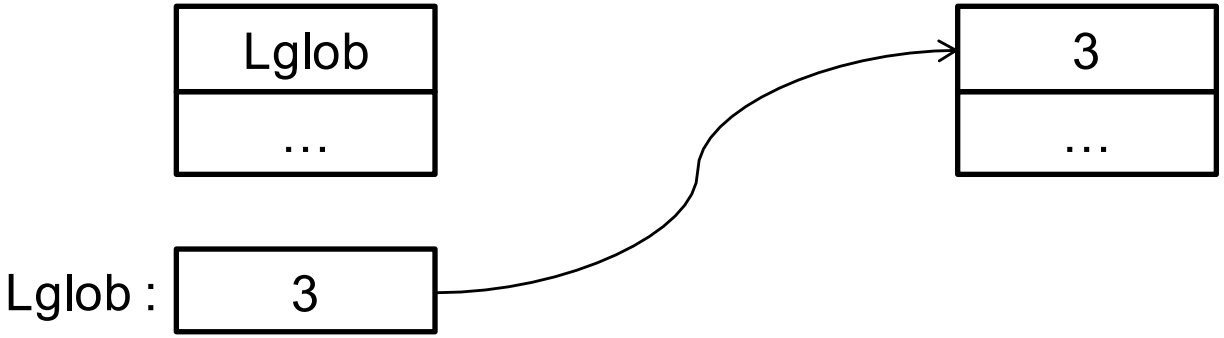
Assign / Fetch

- Assign value into specified address
  - example
    - push_const Lglob
    - push_const 3
    - assign



Assign / Fetch

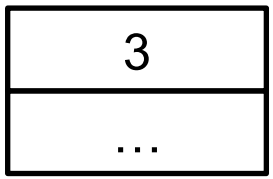
- Fetch value from specified address
  - example
    - push_const Lglob
    - fetch



I / O

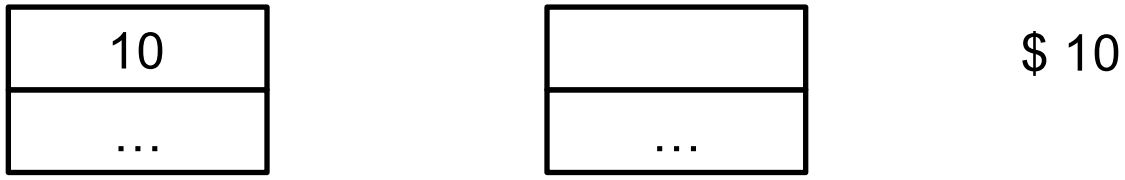
- Input
  - 숫자나 문자를 입력받고 스택에 push
  - read_int: 숫자(integer)를 입력 받음
  - read_char: 문자(character)를 입력 받음
  - example
    - read_int

$ read int:
$ 3



I / O

- Output
  - 화면에 숫자나 문자, 문자열을 출력한다
  - write_int: 화면에 숫자를 출력
  - write_char: 화면에 문자를 출력
  - write_string: 화면에 문자열을 출력
  - example
    - write_int



I / O

- 입력이 되는 C코드에서 read, write 함수를 지원
  - 프로그램이 정확히 동작하는 지를 체크
- C코드에서 I/O함수를 찾으면 해당하는 I/O instruction을 생성
- example

```
int main() {
        int i;
        i = 5;
        write_int(i);
}
```

More Details on Stack Machine

- 스택 머신은 asm.l과 gram.y 파일로 작성

- gram.y
  - 각 instruction의 실제 동작은 simulate_stack_machine 함수에서 찾을 수 있음
  - 코드, 스택 및 데이터영역의 크기와 오프셋을 확인할 수 있음

Global Variables

- 전역 변수 저장공간을 설정
  - <label>. data <size>
  - size는 word 단위
  - int, char, pointer 모두 1 word로 생각한다

```
int global_1;      1
int global_2;      1

struct _str1{
    int x;         1
    int y;         1
    struct _st2{
        int z;     1
        int w[5];  5
    } strstr
} sample_str;
    …
```

```
…
main_final:
            push_reg sp
            pop_reg sp
            pop_reg fp
            pop_reg pc
main_end:
Lglob. data 10
```

Global Variables

- 전역 변수에 값 대입하기

```
push_const Glob+4      전역 변수 시작주소 + 오프셋
push_const 12          대입하고 싶은 값
assign                 대입
```

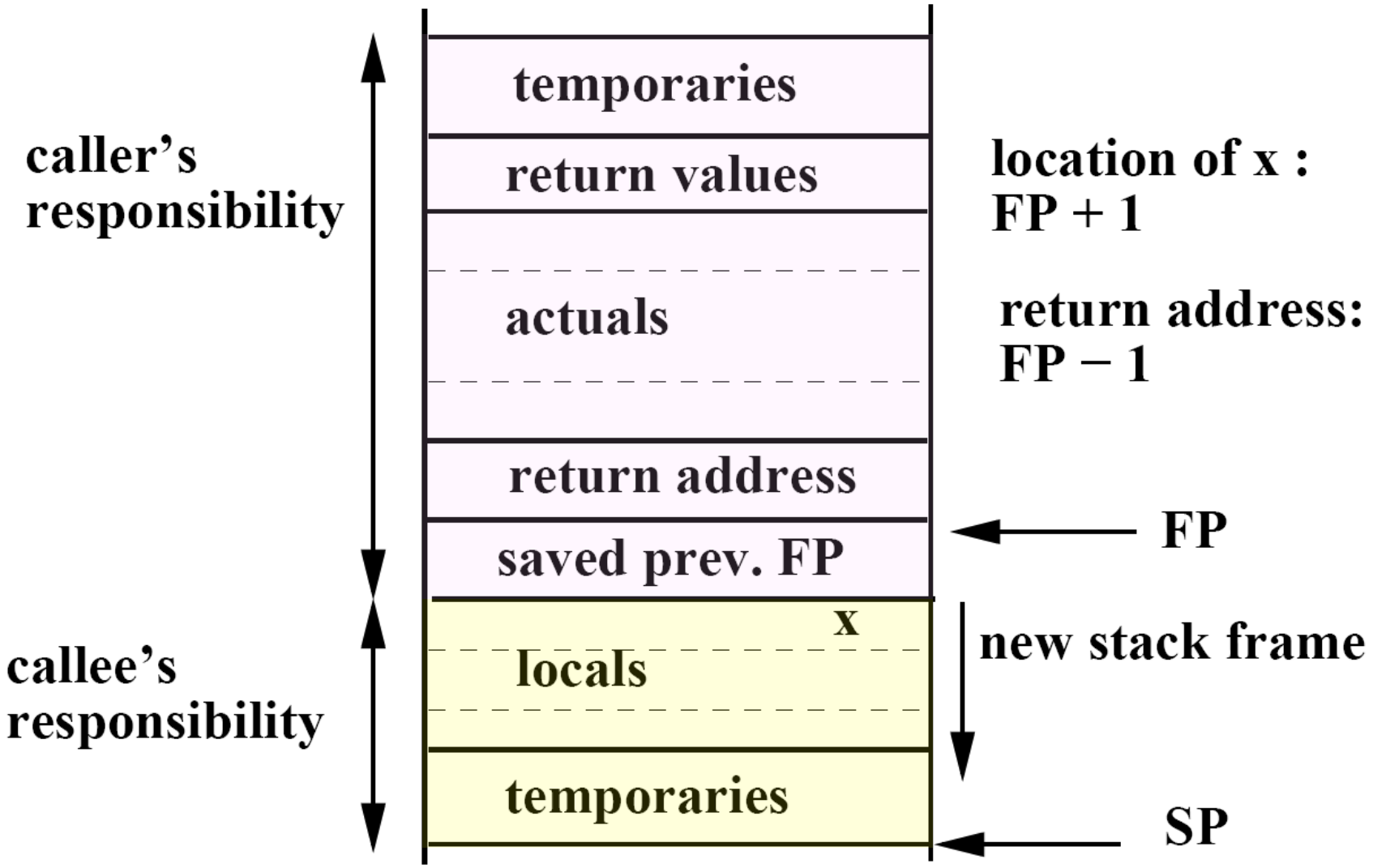
- 전역 변수에서 값 가져오기
  - 불러 온, 전역변수의 값은 스택에 저장됨

```
push_const Glob+4      전역 변수 시작주소 + 오프셋
fetch                  값 가져오기
```

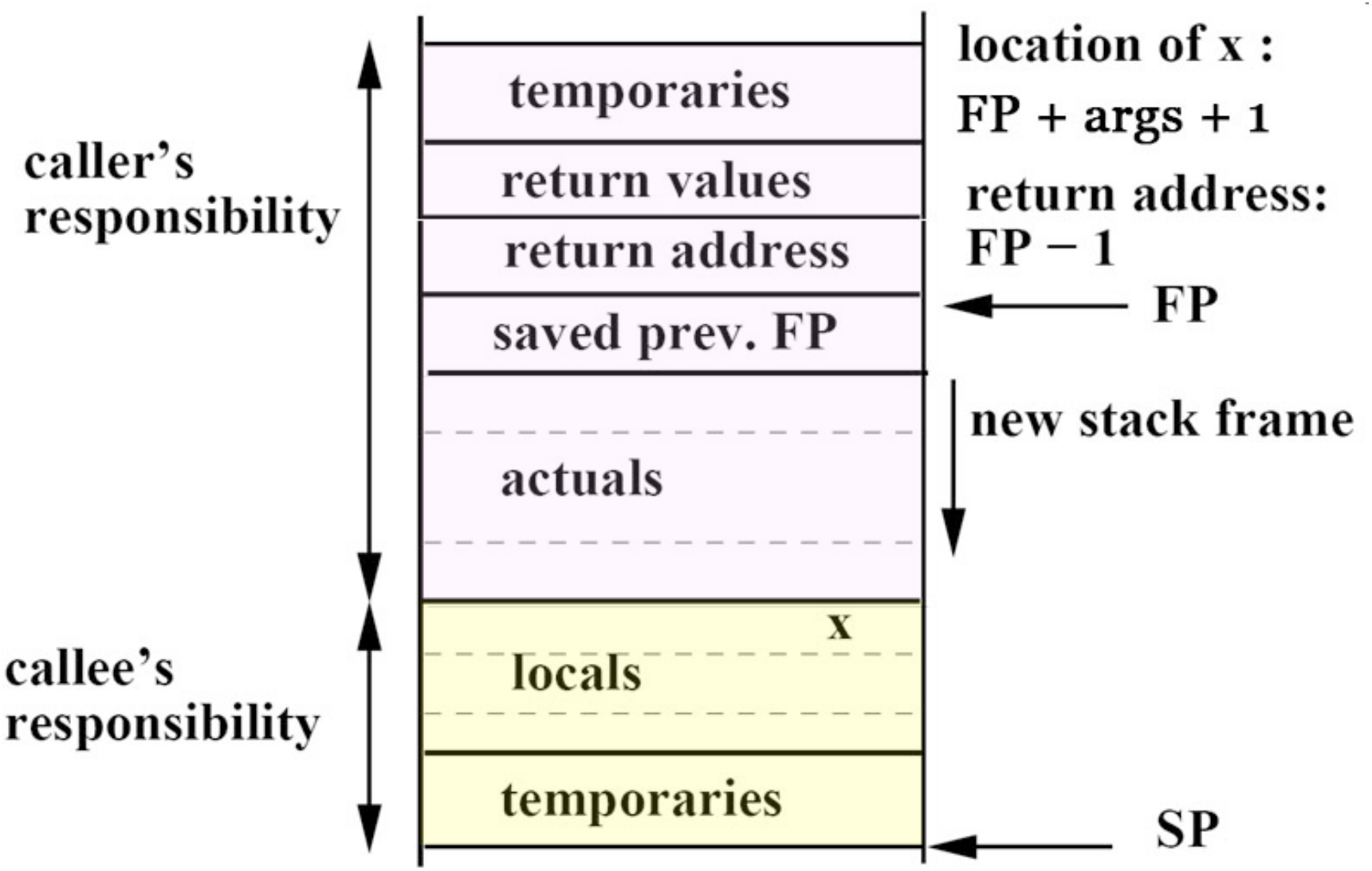
Function

- 각 함수의 이름을 label로 생성한뒤, 함수 호출 시에는 control 명령어를 사용해서 이동
- 강의 교재의 함수 부분을 참고해서 자신만의 calling convention을 만들기
- 지역 변수를 위한 스택 공간 할당은 shift_sp를 사용

Function: Calling Convention I



Example: Calling Convention II



Additional Implementation

- while, for문
  - for문의 경우 nested for문은 없다고 가정
- struct 구조체의 연산
  - assignment, return, parameter
- 구현 했을 경우 readme파일에 반드시 표시
  - 추가 구현 중 하나만 구현했을 경우도 표시

Example

- a++ (a는 int형 전역 변수, 오프셋 0)

```
push_const Lglob
fetch
push_const Lglob
push_const Lglob
fetch
push_const 1
add
assign
```

- a가 포인터인 경우는 포인터가 가리키는 대상의 크기만큼 증가
  - struct인 경우 size를 계산해야 함
  - push_const 1 → push_const <size>

Example - HelloWorld

```
            push_const EXIT
            push_reg fp
            push_reg sp
            pop_reg fp
            jump main
EXIT:
            exit
main:
main_start:
Str0. string “hello world\n”
            push_const Str0
            write_string
main_exit:
            push_reg fp
            pop_reg sp
            pop_reg fp
            pop_reg pc
main_end:
Lglob. data 0
```

```
int main() {
    write_string(“hello world\n”);
}
```

```
smb1221@capella:~/compiler/sim$ ./sim t.s
code area size 12
data area size 14
hello world
program exits
```

Example - struct1

```
main:
        shift_sp 84
main_start:
        push_reg fp
        push_const 1
        add
        push_reg sp
        fetch
        push_const 7
        assign
        fetch
        shift_sp -1
        push_reg fp
        push_const 5
        add
        push_reg fp
        push_const 1
        add
        fetch
        push_const 8
        mul
        add
        push_const 1
        add
        push_reg sp
        fetch
        push_reg fp
        push_const 1
        add
        fetch
        push_const 10
        sub
        assign
        fetch
        shift_sp -1
Lglob.  data 10
```

```
int global_1;
int global_2;

struct _str1{
    int x;
    int y;
    struct _st2{
        int z;
        int w[5];
    } strstr;
} sample_str;

int main(){
    int i;
    int j;
    int k;
    int *l;
    struct _str1 teststr[10];
    i = 7;
    teststr[i].y = i - 10;
}
```

Example - if

```
main:
        shift_sp 3
main_start:
        . . . . . .
label_0:
        push_reg fp
        push_const 1
        add
        fetch
        push_reg fp
        push_const 2
        add
        fetch
        equal
        branch_false label_1
        push_reg fp
        push_const 3
        add
        push_reg sp
        fetch
        push_const 1
        assign
        fetch
        shift_sp -1
        jump label_2
label_1:
        push_reg fp
        push_const 3
        add
        push_reg sp
        fetch
        push_const 0
        assign
        fetch
        shift_sp -1
label_2:
Lglob.  data 0
```

```
int main(){
    int a;
    int b;

    int x;

    a = 1;
    b = 2;

    if (a == b) {
        x = 1;
    } else {
        x = 0;
    }
}
```

Example - func2(caller)

```
main:
        shift_sp 4
main_start:
        push_reg fp
        push_const 1
        add
        push_reg sp
        fetch
        push_const 1
        assign
        fetch
        shift_sp -1
        push_reg fp
        push_const 2
        add
        push_reg sp
        fetch
        push_const 2
        assign
        fetch
        shift_sp -1
        push_reg fp
        push_const 3
        add
        push_reg sp
        fetch
        push_const 3
        assign
        fetch
        shift_sp -1
        …
```

```
int test(int a, int b, int c){
    return a;
}

int main(){
    int i;
    int j;
    int k;
    int l;

    i = 1;
    j = 2;
    k = 3;

    l = test(i, j, k);
}
```

Example - func2(caller)

```
…
push_reg fp
push_const 4
add
push_reg sp
fetch
shift_sp 1
push_const label_0
push_reg fp
push_reg fp
push_const 1
add
fetch
push_reg fp
push_const 2
add
fetch
push_reg fp
push_const 3
add
fetch
push_reg sp
push_const -3
add
pop_reg fp
jump test
label_0:
assign
fetch
shift_sp -1
Lglob.  data 0
```

```
int test(int a, int b, int c){
    return a;
}

int main(){
    int i;
    int j;
    int k;
    int l;

    i = 1;
    j = 2;
    k = 3;

    l = test(i, j, k);
}
```

Example - func2(callee)

```
test:
test_start:
        push_reg fp
        push_const -1
        add
        push_const -1
        add
        push_reg fp
        push_const 1
        add
        fetch
        assign
        jump test_final
test_final:
        push_reg fp
        pop_reg sp
        pop_reg fp
        pop_reg pc
test_end:
```

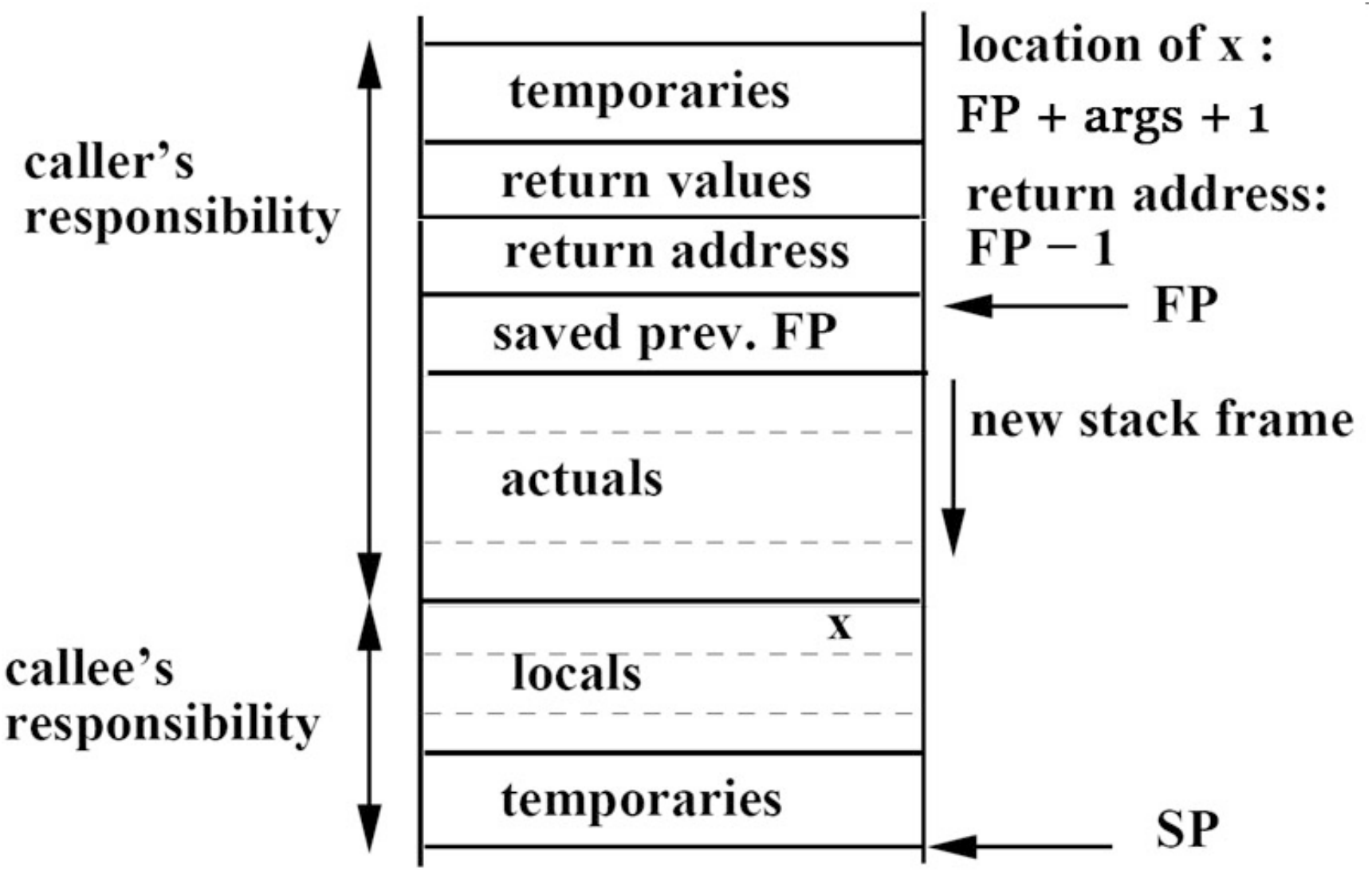
```
int test(int a, int b, int c){
    return a;
}

int main(){
    int i;
    int j;
    int k;
    int l;

    i = 1;
    j = 2;
    k = 3;

    l = test(i, j, k);
}
```

Example - func2



Tips

- Grammar의 변형은 code generation에 꼭 필요한 nonterminal 추가 위주로
- 모든 conflict를 해결할 필요 없음
- nonterminal이 가지는 data structure가 Project 3와 다를 수 있다.
  - binary operation 등을 구현하기 위해서는 reduce시에 operand인 nonterminal에 value가 저장되어 있어야 함
  - Project 3에서 해당 nonterminal이 type 정보만을 가지게 구현했다면 수정 필요

Submission

- 제출 기한
  - 12월 14일 23시 55분
  - 딜레이는 하루 10%씩, 이후 매일 5%씩 감점
- 제출 방법
  - newetl.snu.ac.kr을 통해서 제출
- 제출 파일
  - subc.l, subc.y, subc.h, hash.c, hash.h 등 소스파일과 Makefile, readme 파일, 결과 보고서를 압축해서 zip파일로 제출
  - 파일명: project4_학번.zip
  - readme 파일에는 이름, 학번, 이메일, 실행방법(Makefile을 변경하였을 경우)을 적는다.

Score

- Project 4는 총 200점 기준으로 배점

- 배점
  - 예제 코드 및 보고서 총 100점
  - 추가 코드 총 50점
    - 예제 코드보다 조금 더 복잡한 테스트 코드
  - 추가 구현 총 50점

- Delay 시 하루 10%, 이후 매일 5%씩 감점

Notice

- 수업 게시판 확인
  - 수정 또는 추가되는 사항은 항상 게시판을 통하여 공지
  - 제출 마지막날까지 공지된 사항을 반영해서 제출
- 소스코드에 자세히 주석달기
- Cheating 금지 (F처리, 모든 코드 철저히 검사)
- TA
  - 정인창 (301동 851호)
  - e-mail: jic0729@altair.snu.ac.kr