Project 4

Code Generation

Virtual Machine & Optimization Laboratory

Dept. of Electrical and Computer Engineering

Seoul National University

Projects

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

Code generation & Stack Simulator

Input

Input C code (t.c)

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

subc

Generated IR code (t.s)

Output

```
        shift_sp 1
        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
```

Test

Execution on stack simulator

```
> ./sim ./test.s
hello world
program exits
```

Code Generation

스택 기반의 중간코드(IR)를 생성

- 자바 바이트코드와 유사함
- Intermediate code 는 subc.y의 bison action 을 실행하며 생성

생성된 코드를 스택 시뮬레이터에서 실행

문법적으로 잘못된 코드(syntax, semantic)는 입력되지 않음

Stack Machine 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.

INSTRUCTION SET

Registers

SP

- 스택을 가리키는 포인터
- 주로, 지역 변수의 값을 접근하기 위해 사용

FP

- 스택 프레임 포인터
- 함수의 호출, 리턴에 사용

PC

- 현재 수행중인 프로그램의 program counter
- branch를 수행하기 위해서는 PC값을 변경

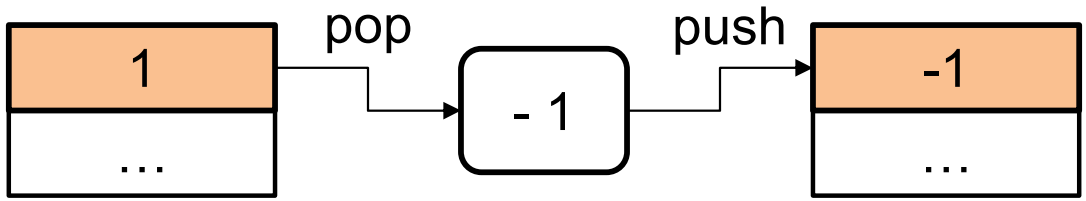
Arithmetic / Logic Instruction

Unary operation

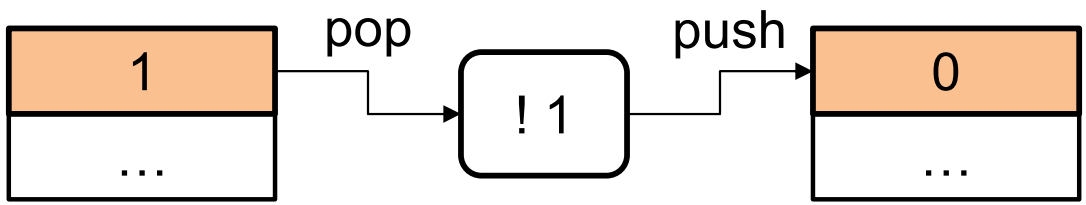
- pop top element of stack
- apply operation
- push result onto stack

Example

- negate



- not



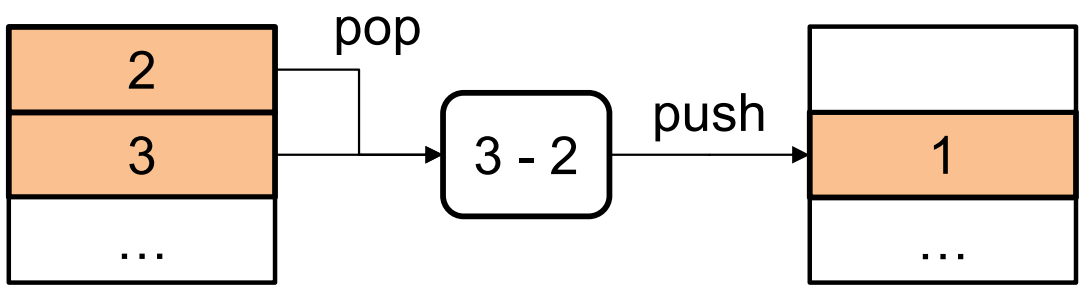
Arithmetic / Logic Instruction

Binary operation

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

Example

- sub



Control Instruction

Terminate program

- exit
- 실행중인 프로그램을 무조건 종료

Unconditional jump

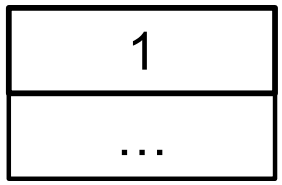
- jump [label] [+/- offset]
- example
  - jump L 6 → pc = L + 6
  - jump L → pc = L
  - jump 6 → pc = 6

Control Instruction

Conditional jump

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

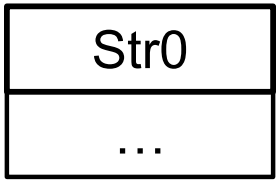
pop한 값이 1인 경우 지정된 위치로 점프하고 0인 경우는 다음 코드를 수행



Stack Manipulation Instruction

push

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



  - push_reg fp

Stack Manipulation Instruction

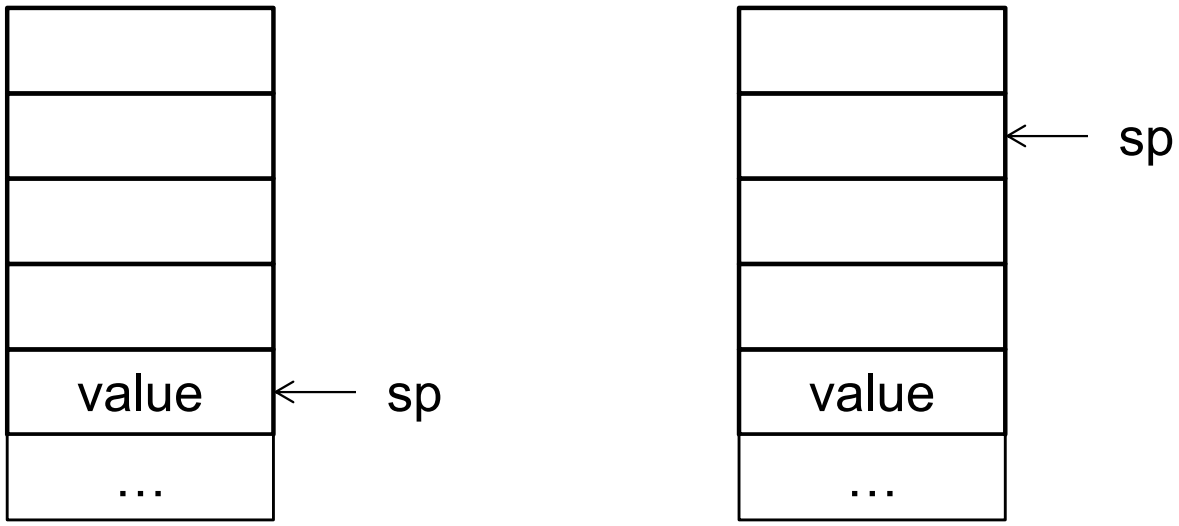
pop

- pop_reg <reg>
- example
  - pop_reg fp

Stack Manipulation Instruction

shift stack pointer

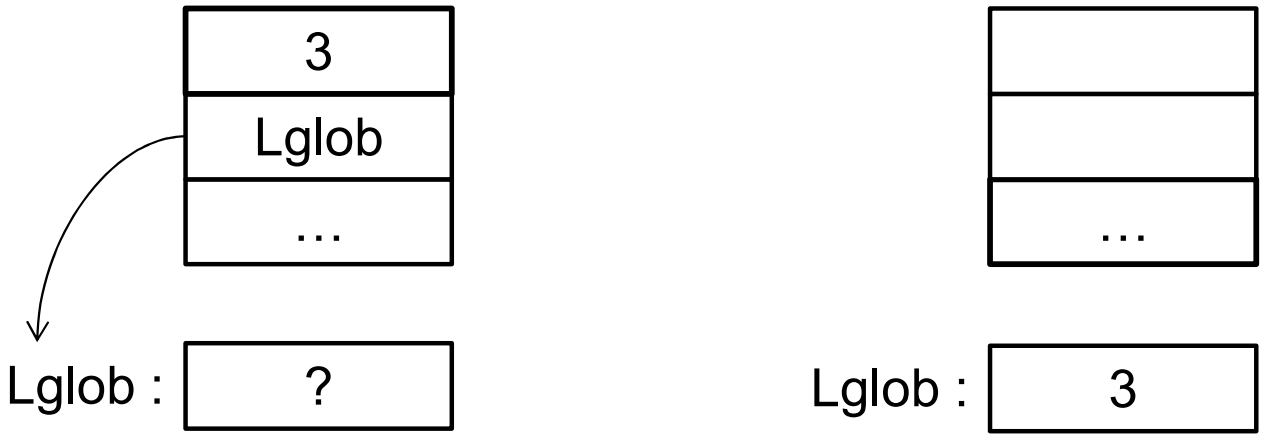
- shift_sp <integer constant>
- 지역 변수를 위한 스택 프레임 할당을 위해 사용
- example
  - shift_sp 3



Assign / Fetch Instruction

Assign value into specified address

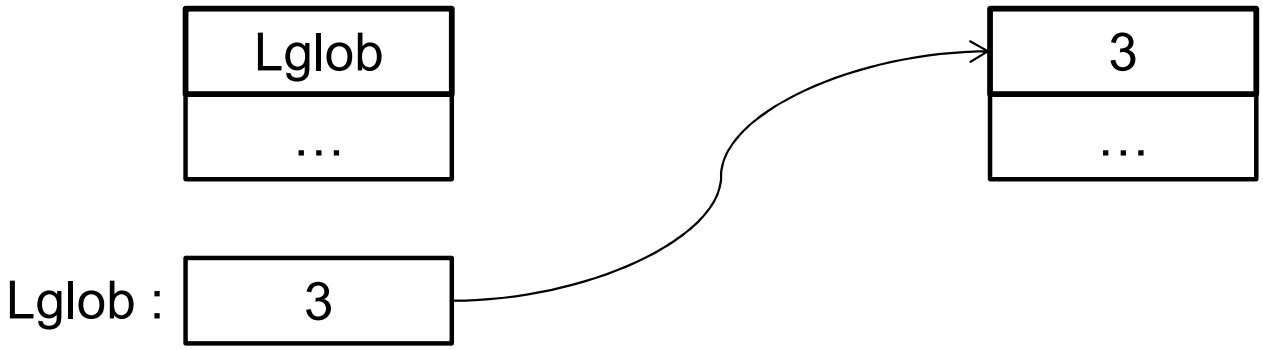
- example
  - push_const Lglob
  - push_const 3
  - assign



Assign / Fetch Instruction

Fetch value from specified address

- example
  - push_const Lglob
  - fetch

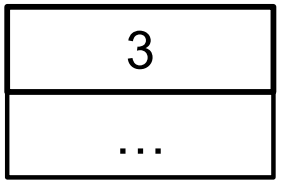


I / O Instruction

Input

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

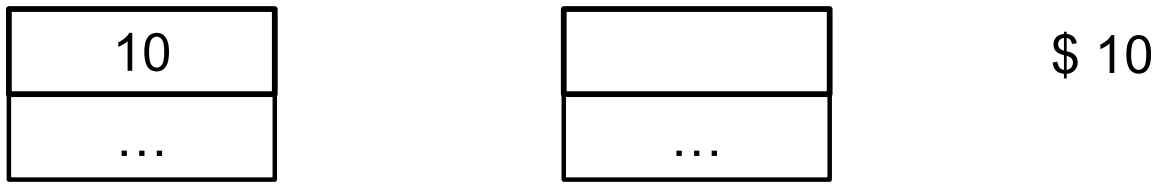
$ read int:
$ 3



I / O Instruction

Output

- POP한 뒤 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 - TODO

입력이 되는 C코드에서 read, write 함수를 지원

- 프로그램이 정확히 동작하는 지를 체크

C코드에서 I/O함수를 찾으면 해당하는 I/O instruction을 생성하도록 구현

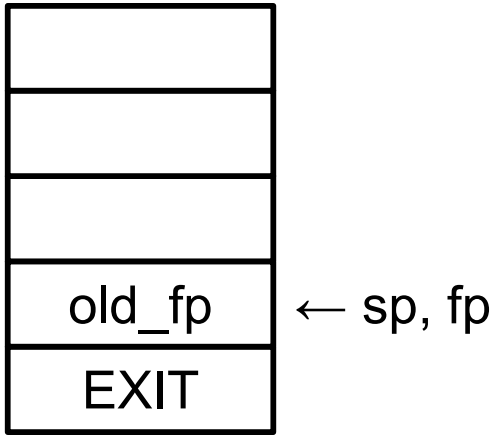
example

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

* read 함수는 Instruction set에 있긴 하지만,
본 프로젝트에 쓰이지 않을 것이므로 구현하지 않아도 됨

Startup code

```
        shift_sp 1
        push_const EXIT
        push_reg fp
        push_reg sp
        pop_reg fp
        jump main
EXIT:
        exit
main:
```



calling convention 에 따라 다소 변할 수 있음.
main 함수는 parameter가 없다고 가정

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.

IMPLEMENTATIONS

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 Lglob+4
push_const 12
assign
```

전역 변수 시작주소 + 오프셋
대입하고 싶은 값
대입

전역 변수에서 값 가져오기

- 불러 온, 전역변수의 값은 스택에 저장됨

```
push_const Lglob+4
fetch
```

전역 변수 시작주소 + 오프셋
값 가져오기

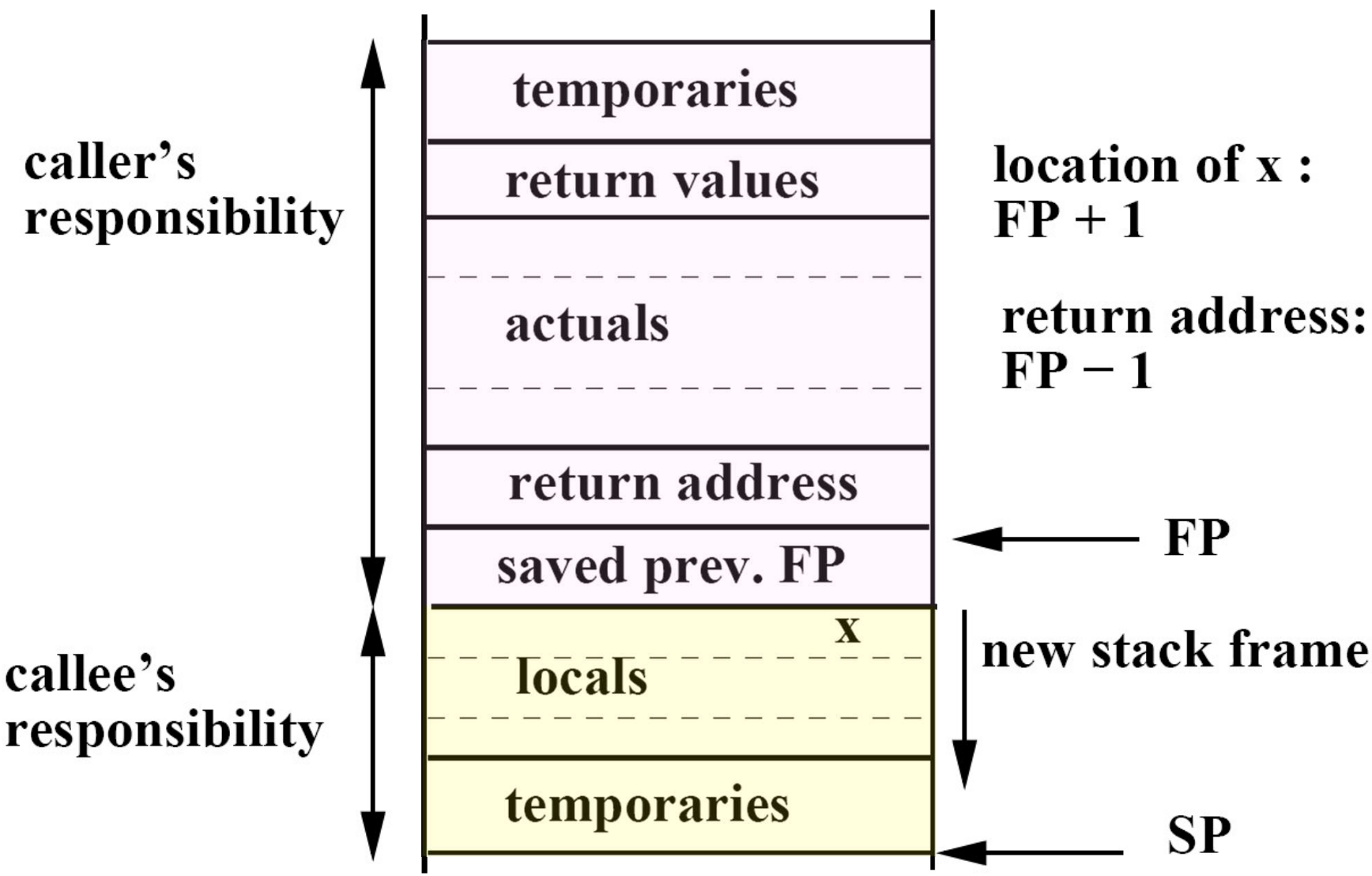
Function

각 함수의 이름을 label로 생성한뒤, 함수 호출시에는 control 명령어를 사용해서 이동

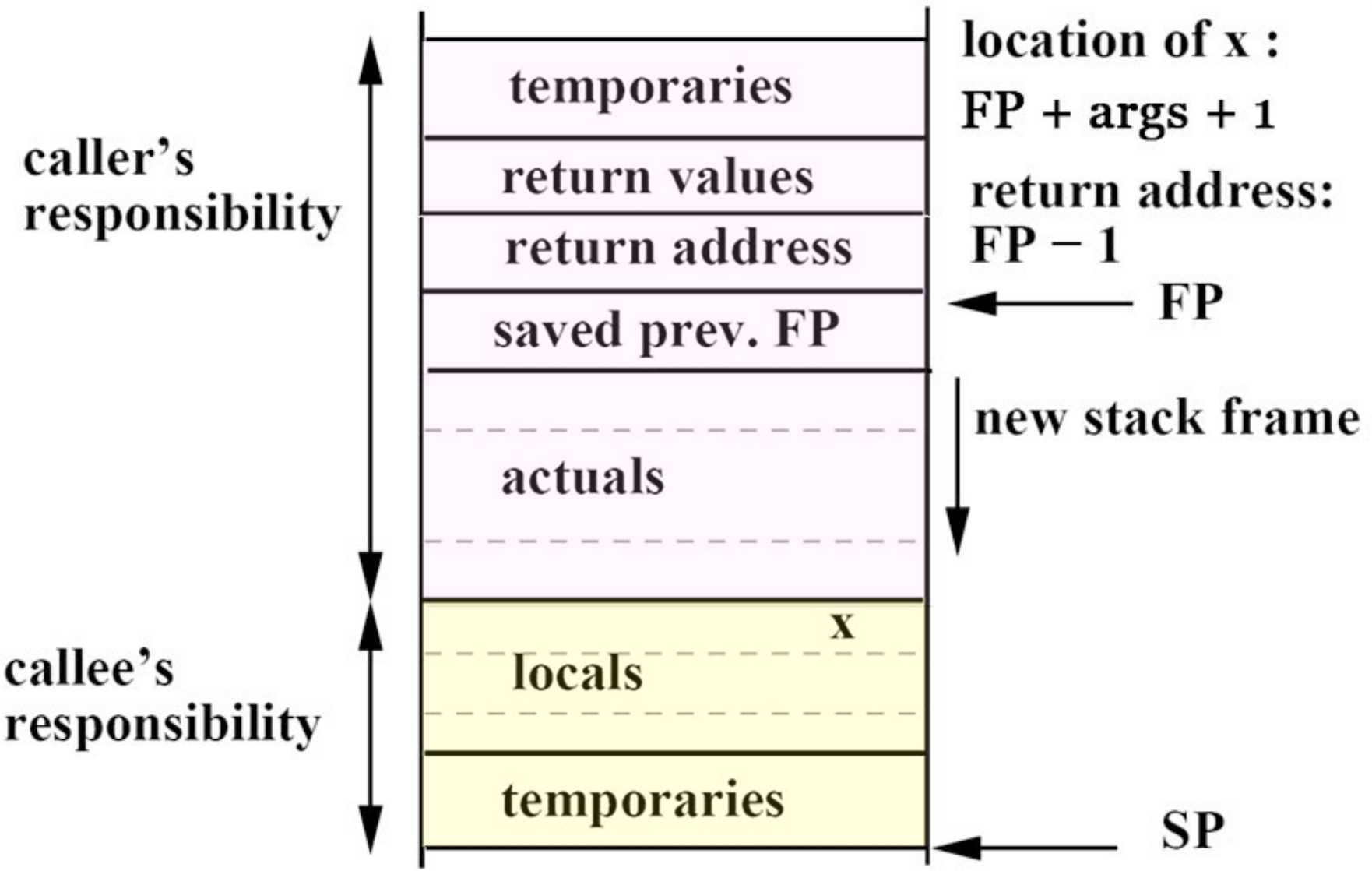
강의 교재의 함수 부분을 참고해서 자신만의 calling convention을 만들기

지역 변수를 위한 스택 공간 할당은 shift_sp를 사용

Example: Calling Convention I



Example: Calling Convention II



Deeper Implementation

심화 구현의 경우 예제 코드가 제공되지 않음

while, for문

- nested for문은 없다고 가정
- nested while문은 고려해야 함
- break, continue

struct의 연산

- assignment, return, parameter

구현 했을 경우 결과 보고서에 반드시 작성

- 각각의 구현에 대해 자세한 설명이 필요함
- 작성하지 않은 경우 0점 처리

EXAMPLES

Example - HelloWorld

```
            shift_sp 1
            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”);
}
```

```
> ./sim ./test.s
hello world
program exits
```

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 - 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

a++ (a는 int형 전역 변수, 오프셋 0 가정)

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

TIPS & SUBMISSION

Assumptions

Code Generation시에 고려하지 않아도 되는 사항들

- Syntax Error, Semantic Error 가 발생하는 코드
- NULL 이 사용되는 코드
- 자기 자신을 call하는 함수, 자기 자신을 멤버로 갖는 구조체
- Char pointer string (e.g. char* a = "Hello";)
  - 따라서 write_string의 경우 `write_string("strings\n");` 형태로의 사용만 고려
  - `char* s = "strings\n"; write_string(s);` 와 같은 경우는 고려하지 않음
- 배열과 포인터, 배열과 배열간 operation
  - ex)
```
int *a;
int arr[3];
a = arr;
```
- Function body 가 아닌 compound_stmt 안에서 새로운 변수, 오브젝트를 선언하는 코드
  - `ex) while(1) { int a; }`

Score

채점 방식

- 문법적(Syntax, Semantic)으로 아무 문제가 없는 소스코드가 입력됨
  - Project #3에서의 에러 체크를 할 필요는 없음
- `./subc (source .c file_input) (assembly .s file_output)` 의 형식으로 코드를 생성하도록 구현할 것 ex) `./subc test.c output.s`
- 생성된 코드를 simulator에 입력으로 주고 출력 결과를 비교

Submission

제출 기한

- **December 20, 2024**

제출 방법

- etl.snu.ac.kr을 통해서 제출

제출 파일

- 'src' directory 안의 파일들과 'report.pdf' 를 제출

- report.pdf 를 project4 디렉토리 안에 복사한 후 submit.sh 로 압축
  - project4 의 subdirectory 도 인식할 수 있으니 아무 곳에나 넣어도 됨.
  - Project container 안에서 ./submit.sh xxxx-xxxxx 실행

- Archive 의 파일 이름 확인
  - project4_학번.zip (학번 format은 20xx-xxxxx)

Teams

Project 4 는 최대 2인의 팀을 구성하여 진행 가능

- 해당 eTL 공지에 댓글로 팀 구성을 명시 (학번 및 이름)
- 제출물 역시 둘 중 한 명만 제출하여도 됨.

혼자 프로젝트를 완료하면 bonus credit 이 부여됨

Notice

수업 게시판 확인

- 수정 또는 추가되는 사항은 항상 게시판을 통하여 공지
- 제출 마지막날까지 공지된 사항을 반영해서 제출
- Please, **start early**, as this project might be quite challenging.

Cheating 금지 (F처리, 모든 코드 철저히 검사)