Simple Implementation of Shell CLI in Linux

차 호 현(#32224560), outcider112@dankook.ac.kr[1]
Undergraduate Student in Mobile Systems Engineering, Dankook University

Index

0. Introduction

운영체제와 사용자 간의 상호작용을 위한 인터페이스로 사용되는 CLI는 터미널 환경에서 문자열을 입력하여 프로그램을 실행하거나, 컴퓨터 시스템을 구성할 수 있다. 이러한 CLI는 컴퓨터 시스템에 접근하기 위한 껍데기라는 의미로서, Shell이라고 칭하며 운영체제에서 제공하는 시스템 콜 및 라이브러리를 통해 상호작용을 구현할 수 있다. 이러한 리눅스에서 가장 흔하게 사용되는 Bash부터 시작하여 Sh, Zsh, Cshell 등의 다양한 Shell 프로그램이 존재하며, 기본으로 제공되는 쉘이 아닌 사용자가 직접 Shell을 구현하여 사용할 수 있다. 따라서 본 보고서에서는 리눅스 운영체제에서 자주 사용되는 Bash Shell을 모방하여 구현할 것이며, Shell을 통해서 어떻게 프로그램을 실행시킬 수 있는지 관찰할 것이다.

1. Build

구현된 SiSH 프로그램은 Cmake를 통해 빌드할 수 있으며, Makefile은 cmake를 호출하는 wrapper로서 동작한다.

```
~/2024-os-hw1/$ make
```

해당 명령어를 통해, 프로젝트 루트 경로 하위 build 디렉터리(2024-os-hw1/build)에서 생성된 프로그램을 확인할 수 있다.

```
~/2024-os-hw1/$ ./build/SiSH
```

```
hochacha@clion2:~/repos/2024-os-hw1$ ./build/SiSH
hochacha@clion2 /home/hochacha/repos/2024-os-hw1 $ls
build  cmake-build-debug  cmake-build-release  CMakeLists.txt  Makefile  src
hochacha@clion2 /home/hochacha/repos/2024-os-hw1 $
```

[1] Free days remaining: 5

2. Usage

SiSH에서 지원하는 명령어는 내장 명령어와, 프로그램 실행 명령어로 구분된다.

내장 명령어

- cd
- echo
- pwd

```
hochacha@any_hostname /home/hochacha/anywhere/ $ cd ..
> hochacha@any_hostname /home/hochacha/ $
```

```
hochacha@any_hostname /home/hochacha/ $ echo “hello world”
> hello world
hochacha@any_hostname /home/hochacha/ $ echo $PWD
> /home/hochacha
```

```
hochacha@any_hostname /home/hochacha/ pwd
> /home/hochacha
```

프로그램 실행 명령어

```
hochacha@any_hostname /home/hochacha/ $ [프로그램 바이너리] [인자 1] [인자 2]
```

명령어 파이프

```
hochacha@any_hostname /home/hochacha/ $ [명령어 1] | [명령어 2]
hochacha@any_hostname /home/hochacha/ $ [명령어 1] | [명령어 2] | ... | [명령어 n]
```

출력 리다이렉션

```
hochacha@any_hostname /home/hochacha/ $ [명령어 1] > [파일명]
```

파이프 및 리다이렉션 복합 사용

hochacha@any_hostname /home/hochacha/ $ [명령어 1] | [명령어 2] > [파일명]

사용 예시

hochacha@any_hostname /home/hochacha/ $ [명령어 1] | [명령어 2] > [파일명]

```
hochacha@clion2 /home/hochacha/repos/2024-os-hw1~$ls
build  cmake-build-debug  cmake-build-release  CMakeLists.txt  Makefile  src
hochacha@clion2 /home/hochacha/repos/2024-os-hw1~$ls -l | grep src > temp
hochacha@clion2 /home/hochacha/repos/2024-os-hw1~$cat temp
drwxrwxr-x 3 hochacha hochacha 4096  9월 30 02:19 src
```

3. Implementation

프로그램의 전반적인 흐름은 다음과 같다.

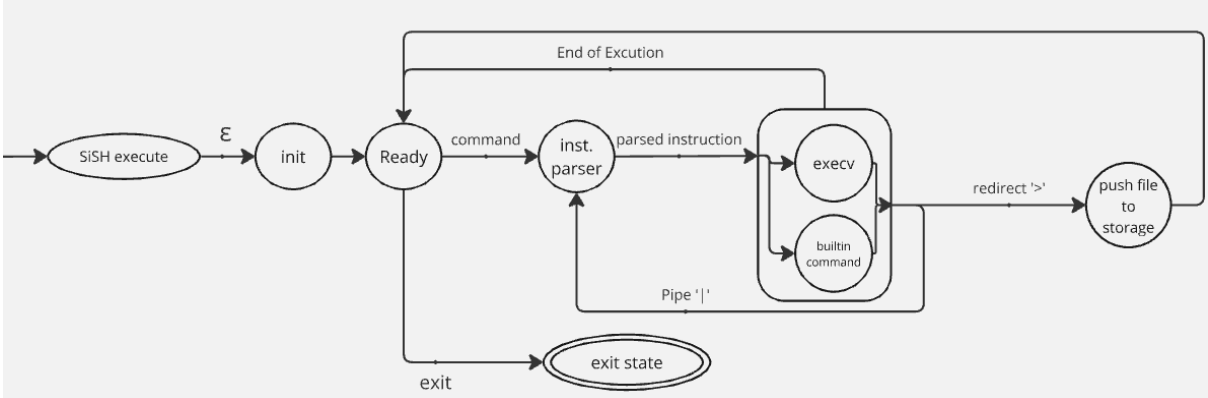


그림 1 SiSH의 상태도

3-1. init

- SiSH에서 사용해야 할 환경 변수들을 로드한다.
  - Hostname
  - Username
- 해당 단계에서는 사용자 및 시스템 정보를 수집한다.

3-2. Ready

- 기본 SiSH 프롬프트 출력 (username, hostname, current working directory 출력)
- stdin으로부터 문자열 명령어 입력
- exit case 처리

3-3. instruction parser & argument parser & file_prefixer

- instruction parser를 이용하여, 입력 명령어 파싱
  - parser state를 통해, 구분자 간 명령어 별 처리 반복하여 수행

        - ◆ Ex) echo “hello” | grep hello
        - ◆ echo “hello” 처리 → grep hello 처리 (파이프)
    - ■ 구분자 처리에 따른 예외 경우 제거
        - ◆ 문자열 내에서 사용된 구분자 문자에 대한 예외 처리
            - ● Ex) echo “he|1o world” | grep “world”
- argument parser를 이용하여, 단일 명령어를 인자 배열로 변환
    - ■ 단일 명령어 내, 문자열 인자를 처리할 수 있도록 예외 처리
        - ◆ Ex) echo “hello world”
        - ◆ args[0] == echo, args[1] == “hello world”

3-4. bin_path_finder & file_prefixer

- execv로 프로그램 실행 시, 첫번째 인자가 절대/상대경로로 지정되지 않은 경우
    - ■ PATH 환경 변수에 등록된 경로 중 첫번째 인자의 파일을 검색하여 절대 혹은 상대 경로로 명시
- execvp를 사용하는 경우, 프로그램의 경로 검색은 execvp 내에서 구현
    - ■ 해당 프로젝트에서는 PATH 변수에서 프로그램 경로 검색을 구현할 수 있도록 execvp를 사용하지 않고, execv를 사용하면서 bin_path_finder 구현

```
28      char* dir = strtok( Str: path_dup,  Delim: ":");
29      while (dir != NULL) {
30          char full_path[PATH_MAX] = {0};
31          snprintf( stream: full_path,  n: PATH_MAX,  format: "%s/%s", dir, bin);
32
33          if (access( Filename: full_path,  AccessMode: X_OK) == 0) {
34              free( Memory: path_dup);
35              // full_path is allocated in stack, so make it in heap
36              return strdup( Src: full_path);
37          }
38
39          dir = strtok( Str: NULL,  Delim: ":");
```

그림 2 bin_path_finder의 구현

- 첫 번째 인자 이후, 파일을 명시하는 인자에 대해서 file_prefixer를 통해 상대 경로로 명시된 파일을 절대 경로로 변환
    - ■ Ex) /home/hochacha 경로에서, cat ./temp
      → cat /home/hochacha/temp으로 변환

3-5. fork & execv, builtin command

- 프로그램 호출 시, fork와 execv를 통해 하위 프로세스 생성 및 실행
  - Fork 실행 시, 부모 프로세스의 동일한 복사본으로서 자식 프로세스 생성
    - 자식 프로세스는 동일한 프로그램 및 상태를 복사
    - 그러나, 자식 프로세스는 부모와 다른 주소 공간, 자신의 레지스터, 자신의 PC값을 가지게 됨
    - 부모와 자식 프로세스는 CPU 스케쥴러를 통해 CPU에 의해 처리될 수 있는 독립적인 개체로 존재하게 됨
- 부모 프로세스의 흐름
  - 부모 프로세스는 자식 프로세스와 독자적인 흐름을 가지고 실행될 수 있다.
  - 만약 자식 프로세스의 종료를 대기해야 하는 경우 wait() 함수를 통해 자식 프로세스로부터 전달되는 SIGTERM 신호를 전달받을 때까지 waiting 상태로 대기 가능
- 자식 프로세스의 흐름
  - Execv를 호출하여 새로운 프로그램 실행 가능
    - Execv를 호출하는 경우, 인자로 명시된 실행 파일의 코드와 정적 데이터를 읽어들여 현재 실행 중인 프로세스의 Code Segment와 Data Segment 부분을 덮어 쓴다.
    - 또한, Heap과 Stack 영역 및 프로그램 다른 주소 공간들로 새로운 프로그램 실행을 위해 다시 초기화된다.[2]
- builtin command 호출 시, 명령어 처리 함수 호출

[2] Arpaci-Dusseau, Remzi H., and Andrea C. Arpaci-Dusseau. *Operating Systems: Three Easy Pieces.*, 원유집 역, Arpaci-Dusseau Books, 2018, pp 39-49.

3-6. pipe & redirect

파일 디스크립터는 운영체제에서 파일이나 입력/출력 스트림을 식별하는 정수이다. stdin, stdout, stderr와 같이 입/출력 스트림은 파일로 관리가 되며 이를 파일 디스크립터를 통해 관리할 수 있다.

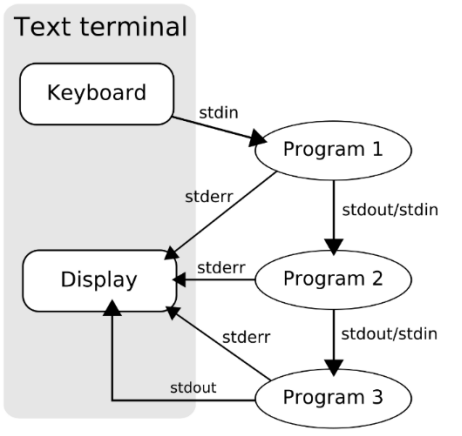
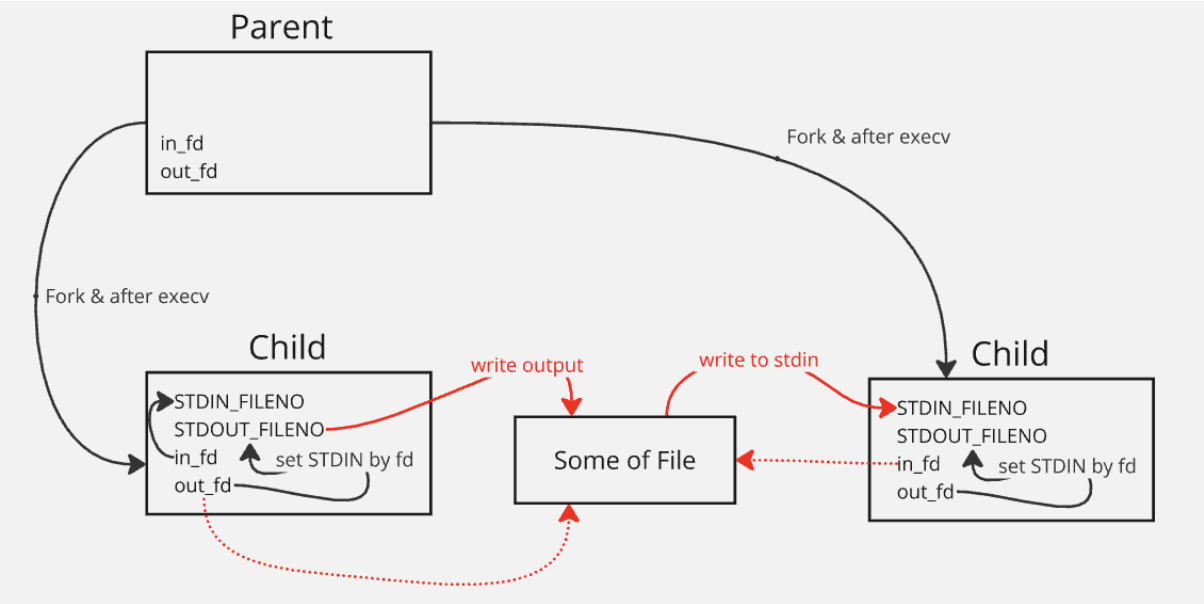


그림 3 UNIX 시스템에서의 파이프라인 동작 방식[3]

pipe() 함수를 통해 fd를 파이프로 생성하면, fd[0]는 파이프로부터 읽는 쪽의 파일 디스크립터가 되며 fd[1]은 파이프로부터 쓰는 쪽의 파일 디스크립터가 된다.



Fork된 자식은 부모의 파일 디스크립터를 그대로 전달받고, in_fd과 out_fd를 통해 STDIN_FILENO와 STDOUT_FILENO를 지정한다. 이에 따라서, 새로운 프로세스가 입력을 받아들이고 파일을 쓸 때, in_fd와 out_fd에 지정된 파일로부터 데이터를 읽거나 해당 파일에 쓰게 된다.

---

[3] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f6/Pipeline.svg/420px-Pipeline.svg.png

이를 구현한 코드 관점에서 보면 다음과 같다.

```
98          int in_fd = 0;
99          int out_fd = 1;
100         int fd[2];
101         pid_t pid;
```

- 파이프에 사용할 파일 디스크립터 배열 생성
  - int fd[2] : 읽기 끝과 쓰기 끝을 가리키는 파일 디스크립터
  - in_df: 입력 파일 디스크립터
  - out_df: 출력 파일 디스크립터

```
117                 if (parsed_instruction->delimiter == '|') {
118                     if (pipe(fd) == -1) {
119                         perror(s: "fail to pipe");
120                         exit(status: EXIT_FAILURE);
121                     }
122                     out_fd = fd[1];
```

- 파이프 파일 디스크립터 할당
  - out_fd = fd[1] : 파일의 쓰기 끝을 출력파일 디스크립터로 할당

```
149                 if (in_fd != 0) {
150                     dup2( FileHandleSrc: in_fd,  FileHandleDst: STDIN_FILENO);
151                     close( FileHandle: in_fd);
152                 }
153                 if (out_fd != 1) {
154                     dup2( FileHandleSrc: out_fd,  FileHandleDst: STDOUT_FILENO);
155                     if (parsed_instruction->delimiter == '|') {
156                         close( FileHandle: fd[0]);
157                         close( FileHandle: fd[1]);
158                     }
159                 }
```

- fork 이후, 자식 프로세스의 입출력 파일 디스크립터 할당
  - if_fd != 0 – 파이프 이전 프로세스로부터 전달받은 파일을 입력으로 설정
  - out_fd != 0 – 현재 프로세스의 출력을 파일에 작성

```
173             } else {
174                 // 부모 프로세스
175                 wait(NULL);
176                 if (in_fd != 0)
177                     close( FileHandle: in_fd);
178                 if (out_fd != 1)
179                     close( FileHandle: out_fd);
180                 if (parsed_instruction->delimiter == '|') {
181                     in_fd = fd[0];
182                 } else {
183                     in_fd = 0;
184                 }
185             }
186             out_fd = 1;
```

- fork 이후, 부모 프로세스의 입출력 파일 디스크립터 관리
  - 부모 프로세스에서 열려있는 파일 디스크립터 할당 해제
  - 현재 자식 프로세스로부터 받은 출력 (파일)을 파이프해야 하는 경우
    - fd[0] 값을 in_fd에 할당하여, 이후에 처리될 프로세스에서 입력에 사용

4. Limitation

해당 프로그램을 구현하면서, 다양한 입력 패턴에 따른 예외 경우를 제거하기 위해 노력하였으나 해결하지 못한 부분이 존재한다.

1. 파이프 및 리다이렉션 이외의 다양한 Syntax
- 〉〉 혹은 & 과 같은 출력 변환
2. 동적인 프롬프트 구현
- $HOME에 따라 현재 실행 경로 출력의 변화 (~/repo 와 /home/hochacha/repo의 차이)
3. 실제 파이프 구현 방식과 다른 형태의 구현 방식
- Stackoverflow 논의에 따르면, 각 명령어를 동시에 실행시킨 후 Block I/O를 통해 입력 대기를 수행하도록 함[4]
- SiSH 구현에서는 하나의 자식 프로세스가 출력을 파일 디스크립터를 통해 데이터를 작성, 해당 자식 프로세스 종료 후에 다음 자식 프로세스가 입력으로 받도록 구현하였다.
4. Vim 에디터 호출 시 터미널 출력 오류 발생
5. Builtin command의 충분하지 못한 구현
- bash에는 history, export 등의 다양한 builtin command가 존재하지만, SiSH에서 구현하지 못함

---

[4] Stackoverflow, "how does a pipe work in linux", accessed on 30th Sep., 2024, https://stackoverflow.com/questions/1072125/how-does-a-pipe-work-in-linux

5. Files

Annotations: / (directory), * (executable file), 'otherwise' (file)

2024-os-hw1/ (project root)

- build/
  - Makefile
  - SiSH*
- docs/
  - os-report1.docx
- src/
  - tools/
    - builtin_commands.c / .h
    - path_finder.c / .h
    - stack.c / .h
    - string_tools.c / .h
  - argument_parser.c / .h
  - instruction_parser.c / .h
  - shell.c / .h
  - main.c
- CMakeLists.txt
- Makefile

Conclusion

SiSH를 직접 구현함에 따라서 리눅스의 프로세스 생성 시스템 콜인 fork와 exec, wait를 사용하여 Shell의 동작을 모방하였다. 이 과정에서 fork와 exec로 분리된 프로그램 실행 절차에 따라서, exec를 통해 프로그램을 실행하기 전에 입/출력 파일 설정과 같은 프로세스의 사전 설정을 수행할 수 있었다. 이번 과제를 수행하면서, 아쉬운 점으로 프로세스에게 전달할 수 있는 시그널을 사용하여 프로세스 제어를 시도하지 못한 것이 아쉬웠으며, 이에 따라서 실제 Bash 처럼 실행 중인 프로세스를 ^C 입력을 통해 강제로 종료하거나, 다양한 기능을 구현하지 못한 것이 아쉽다.

Shell이 사용자로부터 문자열 입력을 받음에 따라서 입력될 수 있는 경우들을 제한하고 예외적인 경우를 처리하기 위해 시간을 많이 들였다. 또한 파이프를 구현하기 위하여 Instruction_parser를 고안하였을 때, 예외 처리를 구현하기 위해 시간이 많이 들었다.

또한, 해당 과제를 수행하면서 AI를 통한 코딩을 사용하였다. 코드 자체를 프롬프트를 통해 완전히 생성한 경우, 함수 본문 위에 /* Ai generated code */라고 명시하였다.