

시스템프로그래밍 과제 보고서

Proxy 3-2

수업 명: 시스템프로그래밍 월5수6

담당 교수: 김태석 교수님

학과: 컴퓨터정보공학부

학번: 2023202070

이름: 최현진

제출일: 2025.06.01

Introduction

이번 Proxy 3-2 과제는 Proxy 3-1 과제의 연장선으로, semaphore 기반의 동기화에 더해 POSIX Thread를 활용한 비동기 로그 기록 기능이 추가된 것이 핵심이다.

기존에는 자식 프로세스가 직접 logfile.txt에 접근하여 로그를 작성했지만, 이번 과제에서는 자식 프로세스가 생성한 thread가 로그 기록을 수행하도록 구현하여, 다중 자식 프로세스 환경에서 로그 접근 구조를 보다 유연하게 확장하였다.

특히 로그 기록은 이전과 동일하게 System V Semaphore를 통해 보호되며, 임계 구역(critical section) 진입 전과 종료 후에는 다음과 같은 터미널 메시지가 출력된다:

*PID# XXXX is waiting for the semaphore.

*PID# XXXX is in the critical zone.

*PID# XXXX create the *TID# XXXXX.

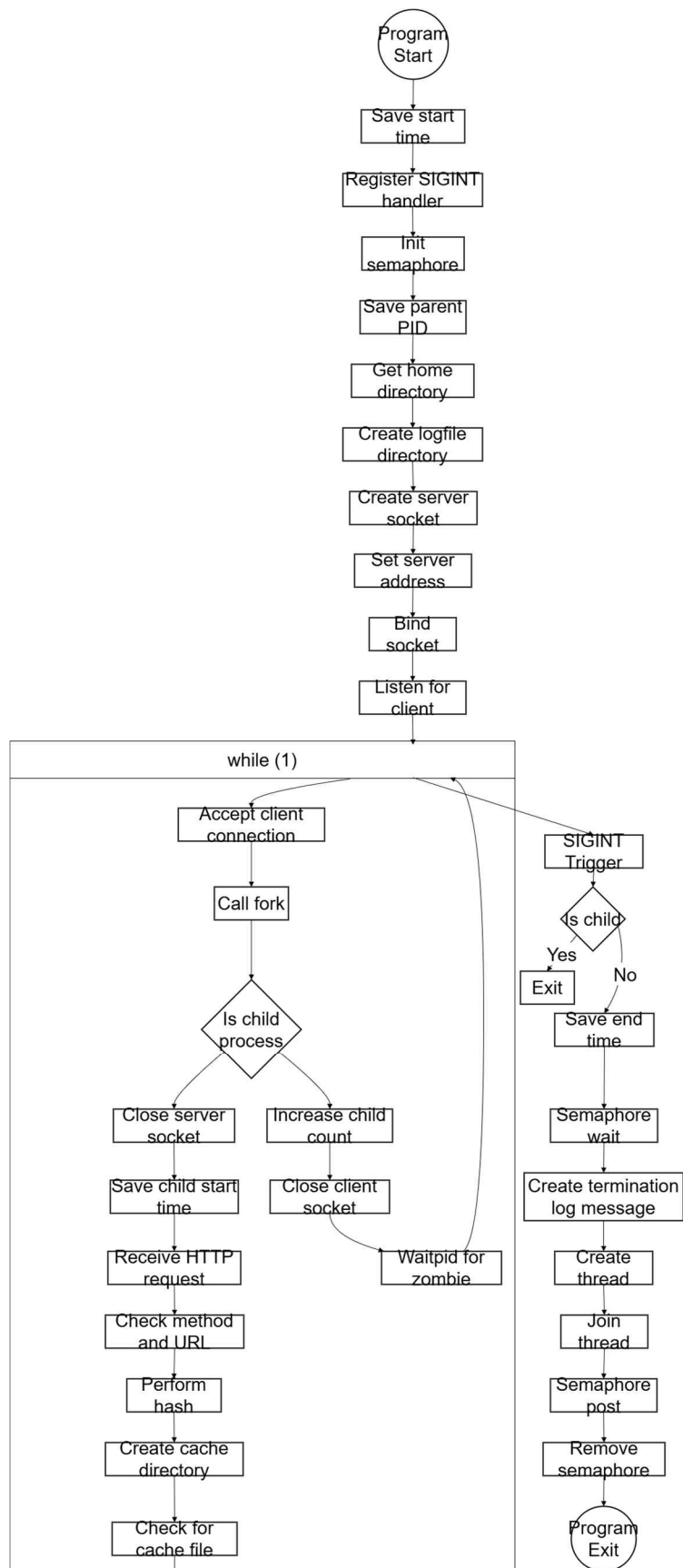
*TID# XXXXX is exited.

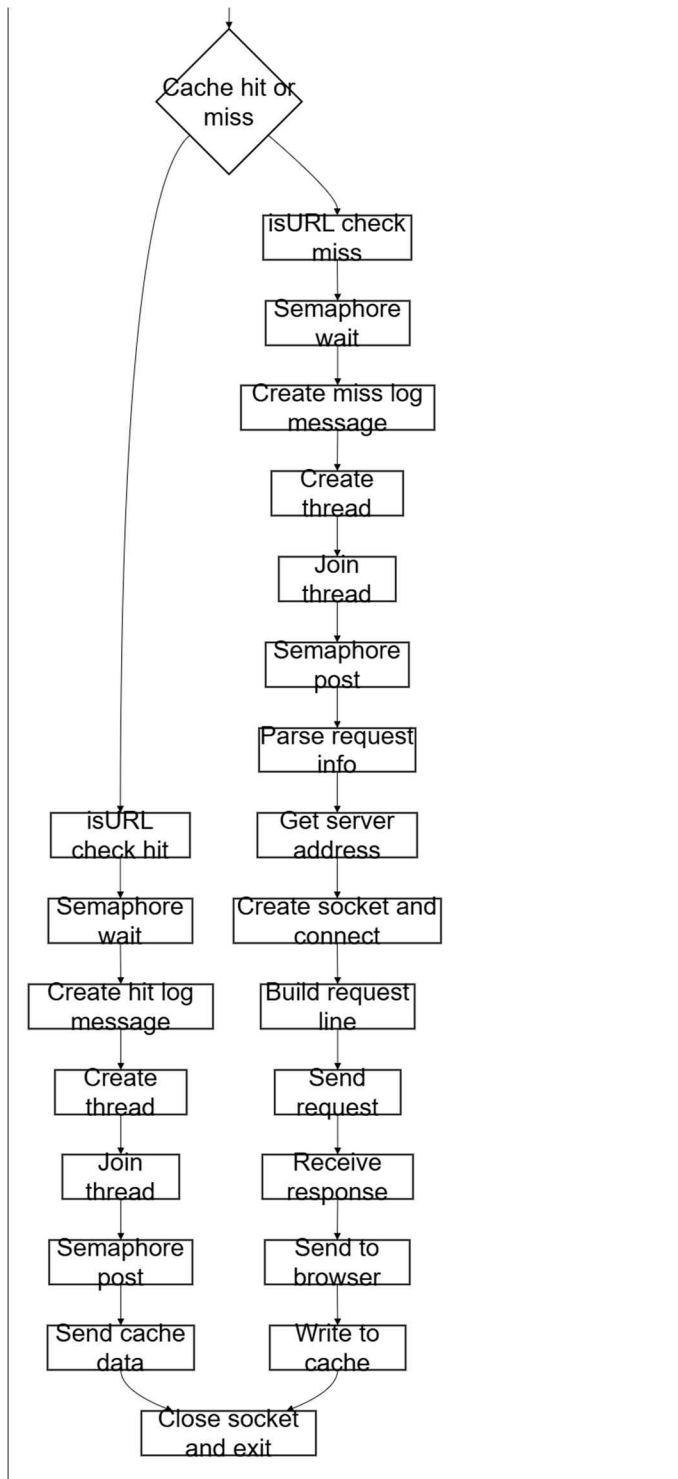
*PID# XXXX exited the critical zone.

HIT 및 MISS 판단 이후 로그 작성 시, 자식 프로세스는 동적으로 thread를 생성하여 로그 메시지를 전달하며, 생성된 thread는 로그 기록 후 종료를 출력한다. pthread_join()을 통해 스레드 종료를 기다림으로써 로그 순서의 일관성을 보장하였다. 또한, 과제의 통일성과 구조적 일관성을 위해 부모 프로세스의 종료 로그 역시 thread를 생성하여 기록하도록 구현하였다.

이를 통해 이번 과제는 멀티프로세스-멀티스레드 환경에서의 공유 자원 접근 제어, thread 기반의 작업 위임, 임계 구역의 thread-safe한 처리 방식에 대한 이해를 실습적으로 심화시키는 데 목적이 있다.

Flow Chart





Pseudo code

main:

프로그램 시작

시작 시간 저장

SIGINT 핸들러 등록

세마포어 초기화

부모 PID 저장

홈 디렉토리 경로 얻기

~/logfile 디렉토리 생성

서버 소켓 생성

서버 주소 설정

bind()로 IP/PORT 할당

listen()으로 클라이언트 연결 대기

무한 반복:

accept()로 클라이언트 연결 수락

fork()로 자식 생성

자식이면:

서버 소켓 닫기

자식 시작 시간 저장

클라이언트 요청 수신

현재 시간 저장

method가 GET이 아니거나 URL이 없거나

.ico/.css/.txt/.firefox 포함되면 isURL = 0

SHA-1 해시 수행

앞 3자리 → 캐시 디렉토리 이름

뒤 37자리 → 캐시 파일 이름

~/cache 디렉토리 생성

~/cache/xxx 디렉토리 생성
디렉토리에서 캐시 파일 탐색

캐시 HIT이면:

isURL이면:

세마포어 wait
로그 메시지 생성
pthread_create()로 log_thread 실행
TID 출력
pthread_join()으로 스레드 종료 대기
세마포어 post

캐시 파일 열기

캐시 데이터 브라우저로 전송

캐시 MISS이면:

isURL이면:

세마포어 wait
로그 메시지 생성
pthread_create()로 log_thread 실행
TID 출력
pthread_join()으로 스레드 종료 대기
세마포어 post

요청에서 hostname, port, path 추출

origin 서버 IP 얻기

소켓 생성 및 origin 서버 연결

요청 라인 구성 (HTTP/1.0)

요청 헤더 정리 및 추가

origin 서버로 요청 전송

origin 서버로부터 응답 수신

응답을 브라우저로 전송

캐시 파일 생성 및 응답 저장

클라이언트 소켓 닫기 자식 종료
부모면: 자식 수 증가 클라이언트 소켓 닫기 waitpid로 좀비 프로세스 회수

init_semaphore
semkey = PORT 번호 semget()로 세마포어 생성 (1개짜리 세트) SETVAL 통해 초기값 1로 설정

wait_semaphore
sembuf 구조체로 P 연산 (-1) semop() 호출 → 세마포어 진입 (임계영역 진입)

post_semaphore
sembuf 구조체로 V 연산 (+1) semop() 호출 → 세마포어 해제 (임계영역 탈출)

log_thread(void *arg)
홈 디렉토리 경로 얻기 ~/logfile 경로로 이동 logfile.txt 열기 (a 모드) log 메시지 내용 기록 파일 닫기 TID 종료 메시지 출력 인자 메모리 해제 pthread_exit() 호출

sig_int(signo)
현재 프로세스가 자식이면 바로 종료

종료 시각 저장

실행 시간 = 종료 시각 - 시작 시각

세마포어 wait

*PID# 메시지 출력 (진입)

종료 로그 메시지 생성

pthread_create()로 log_thread 실행

*TID# 생성 메시지 출력

pthread_join()으로 스레드 종료 대기

*PID# 메시지 출력 (탈출)

세마포어 post

세마포어 삭제

부모 프로세스 종료

결과 화면

1. proxy 3-2

1. make

```
proxy_cache: proxy_cache.c  
gcc proxy_cache.c -o proxy_cache -lcrypto -pthread
```



```
kw2023202070@ubuntu:~$ ls
Desktop Documents Downloads Makefile Music Pictures proxy_cache.c Public snap Templates Videos work
kw2023202070@ubuntu:~$ make
gcc proxy_cache.c -o proxy_cache -lcrypto -pthread
kw2023202070@ubuntu:~$ ls
Desktop Documents Downloads Makefile Music Pictures proxy_cache proxy_cache.c Public snap Templates Videos work
```

\$ ls: Makefile과 소스 코드를 작성하였다.

\$ make: make를 실행하여 컴파일을 수행하였고, gcc 컴파일 명령어가 정상적으로 실행되었다.

\$ ls: 컴파일 결과, 실행 파일 proxy_cache가 생성된 것을 확인했다.

2. Operation

```
kw2023202070@ubuntu:~$ ./proxy_cache
*PID# 3301 is waiting for the semaphore.
*PID# 3301 is in the critical zone.
*PID# 3301 create the *TID# 139646684555008.
*TID# 139646684555008 is exited.
*PID# 3301 exited the critical zone.
*PID# 3313 is waiting for the semaphore.
*PID# 3313 is in the critical zone.
*PID# 3313 create the *TID# 139646684555008.
*TID# 139646684555008 is exited.
*PID# 3313 exited the critical zone.
*PID# 3315 is waiting for the semaphore.
*PID# 3315 is in the critical zone.
*PID# 3315 create the *TID# 139646684555008.
*TID# 139646684555008 is exited.
*PID# 3315 exited the critical zone.
^C*PID# 3297 is waiting for the semaphore.
*PID# 3297 is in the critical zone.
*PID# 3297 create the *TID# 139646684555008.
*TID# 139646684555008 is exited.
*PID# 3297 exited the critical zone.
```

Proxy 3-1, 2-4 과제와 동일하게, 브라우저에서 <http://gaia.cs.umass.edu/wireshark-labs/HTTP-wireshark-file3.html> 주소에 대해 처음 한 번 요청을 보내 MISS 상황을 발생시켰고, 이후 동일한 주소로 2번 연속 요청하여 HIT을 유도하였다.

로그는 각 자식 프로세스가 pthread_create()를 통해 생성한 thread에서 작성되며, 임계 구역(critical section)은 Semaphore로 보호된다. 로그 기록 시 다음과 같은 출력 흐름이 나타난다:

*PID# XXXX is waiting for the semaphore.

*PID# XXXX is in the critical zone.

*PID# XXXX create the *TID# XXXXX.

*TID# XXXXX is exited.

*PID# XXXX exited the critical zone.

임계 구역 내의 각 자식 프로세스가 로그를 기록하도록 동기화되어 있고, 로그 thread는 생성 직후 로그를 작성하고 종료 메시지를 출력한다.

다음은 PID 및 TID별 동작 분석이다.

순서	PID	동작 내용
1	3301	첫 요청으로 MISS 발생 → 자식 프로세스 로그 thread 생성 및 종료 후 세마포어 탈출
2	3313	두 번째 요청으로 캐시 HIT → 로그 thread 생성 및 종료 후 탈출
3	3315	세 번째 요청으로 또다시 HIT 발생 → 동일한 방식으로 로그 thread 실행 후 종료
4	3297	Ctrl+C (SIGINT) 입력 시, 부모 프로세스가 종료 로그를 남기기 위해 thread 생성 후 정상 종료

해당 흐름을 통해, 자식 프로세스가 로그 기록을 thread에 위임하고, 세마포어를 통해 thread가 순차적으로 logfile.txt에 접근하고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 종료 시점에서조차 thread 기반으로 로그를 남김으로써 구현의 통일성과 thread-safe한 구조가 잘 반영되었음을 알 수 있다.

Historical Documents:THE B... +

← → Not Secure gaia.cs.umass.edu/wireshark-labs/HTTP-wireshark-file3.html

THE BILL OF RIGHTS

Amendments 1-10 of the Constitution

The Conventions of a number of the States having, at the time of adopting the Constitution, expressed a desire, in order to prevent misconstruction or abuse of its powers, that further declaratory and restrictive clauses should be added, and as extending the ground of public confidence in the Government will best insure the beneficent ends of its institution;

Resolved, by the Senate and House of Representatives of the United States of America, in Congress assembled, two-thirds of both Houses concurring, that the following articles be proposed to the Legislatures of the several States, as amendments to the Constitution of the United States; all or any of which articles, when ratified by three-fourths of the said Legislatures, to be valid to all intents and purposes as part of the said Constitution, namely:

Amendment I

Congress shall make no law respecting an establishment of religion, or prohibiting the free exercise thereof; or abridging the freedom of speech, or of the press; or the right of the people peaceably to assemble, and to petition the government for a redress of grievances.

Amendment II

A well regulated militia, being necessary to the security of a free state, the right of the people to keep and bear arms, shall not be infringed.

Amendment III

No soldier shall, in time of peace be quartered in any house, without the consent of the owner, nor in time of war, but in a manner to be prescribed by law.

Amendment IV

The right of the people to be secure in their persons, houses, papers, and effects, against unreasonable searches and seizures, shall not be violated, and no warrants shall issue, but upon probable cause, supported by oath or affirmation, and particularly describing the place to be searched, and the persons or things to be seized.

Amendment V

No person shall be held to answer for a capital, or otherwise infamous crime, unless on a presentment or indictment of a grand jury, except in cases arising in the land or naval forces, or in the militia, when in actual service in time of war or public danger; nor shall any person be subject for the same offense to be twice put in jeopardy of life or limb; nor shall be compelled in any criminal case to be a witness against himself, nor be deprived of life, liberty, or property, without due process of law; nor shall private property be taken for public use, without just compensation.

Amendment VI

In all criminal prosecutions, the accused shall enjoy the right to a speedy and public trial, by an impartial jury of the state and district wherein the crime shall have been committed, which district shall have been previously ascertained by law, and to be informed of the nature and cause of the accusation; to be confronted with the witnesses against him; to have compulsory process for obtaining witnesses in his favor, and to have the assistance of counsel for his defense.

Amendment VII

In suits at common law, where the value in controversy shall exceed twenty dollars, the right of trial by jury shall be preserved, and no fact tried by a jury, shall be otherwise reexamined in any court of the United States, than according to the rules of the common law.

Amendment VIII

Excessive bail shall not be required, nor excessive fines imposed, nor cruel and unusual punishments inflicted.

Amendment IX

The enumeration in the Constitution, of certain rights, shall not be construed to deny or disparage others retained by the people.

Amendment X

The powers not delegated to the United States by the Constitution, nor prohibited by it to the states, are reserved to the states respectively, or to the people.

MISS일 때 browser에 web server가 보내온 응답과 같은 화면이 HIT일 때도 잘 출력된다.

3.logfile

```
kw2023202070@ubuntu:~$ cat ~/logfile/logfile.txt
[MISS]http://gaia.cs.umass.edu/wireshark-labs/HTTP-wireshark-file3.html-[2025/05/31, 23:47:47]
[HIT]17f/dfdf9b8d3e1680f5ce00777638c24b8dd4b4a-[2025/05/31, 23:48:01]
[HIT] http://gaia.cs.umass.edu/wireshark-labs/HTTP-wireshark-file3.html
[HIT]17f/dfdf9b8d3e1680f5ce00777638c24b8dd4b4a-[2025/05/31, 23:48:02]
[HIT] http://gaia.cs.umass.edu/wireshark-labs/HTTP-wireshark-file3.html
**SERVER** [Terminated] run time: 21 sec. #sub process: 4
```

로그 파일(logfile.txt)을 확인한 결과, 첫 번째 요청에 대해 1건의 [MISS] 로그가 기록되었고, 이후 같은 URL에 대한 요청이 총 2회 이루어져 [HIT] 로그가 각각 2건 작성되었다. 각 HIT 로그는 캐시 파일 경로와 함께 로그 시각 정보가 포함되어 있으며, 로그 구조는 자식 프로세스가 생성한 thread에 의해 기록되었다.

이후 Ctrl+C 시그널을 통해 서버를 종료하였고, 종료 시점에는 thread를 통해 기록된 ****SERVER**** [Terminated] 로그가 확인된다. 종료 로그에는 실행 시간 21초, 생성된 자식 프로세스 수가 #sub process: 4로 정확히 출력되었으며, 이는 총 1회 MISS, 2회 HIT, 1회 favicon 자동 요청이 포함된 결과이다.

해당 로그 결과를 통해 다음과 같은 사실을 확인할 수 있다:

최초 수동 요청 1건 → [MISS] 로그 발생

이후 같은 URL에 대해 2회 새로고침 → [HIT] 로그 2건 기록

favicon 브라우저의 자동 요청으로 인한 자식 프로세스 생성도 포함되어 총 자식 수는 4명으로 기록됨

자동 요청은 로그 조건을 만족하지 않으므로 [HIT]/[MISS] 로그 없이 캐시만 생성되고, logfile.txt 접근이 없어 세마포어 동기화 메시지도 출력되지 않음

따라서 logfile.txt에는 수동 요청으로 인한 로그만 남지만, 종료 로그에 기록되는 자식 프로세스 수는 자동 요청까지 포함한 실제 전체 fork 수를 반영하고 있다. 이를 통해 종료 로그의 자식 프로세스 수와 터미널의 pid 수가 일치하지 않는 이유를 확인할 수 있으며, 로그 기록 조건 및 세마포어 동기화 구간 진입 여부에 따라 터미널 및 로그파일의 출력 범위가 다를 수 있다.

4. cache directory

```
kw2023202070@ubuntu:~$ ls -R ~/cache
/home/kw2023202070/cache:
17f  38d

/home/kw2023202070/cache/17f:
dfdf9b8d3e1680f5ce00777638c24b8dd4b4a

/home/kw2023202070/cache/38d:
74330601906716b38bfbf6472d7f23438c838
```

\$ ls -R ~/cache: ls 명령어를 -R 옵션을 통해 재귀적으로 실행하여 ~/cache 디렉토리 및 그 하위 디렉토리까지 출력하여 캐시 디렉토리 및 파일이 생성됨을 확인했다.

```
kw2023202070@ubuntu:~$ tree ~/cache/
/home/kw2023202070/cache
├── 17f
│   └── dfdf9b8d3e1680f5ce00777638c24b8dd4b4a
└── 38d
    └── 74330601906716b38bfbf6472d7f23438c838

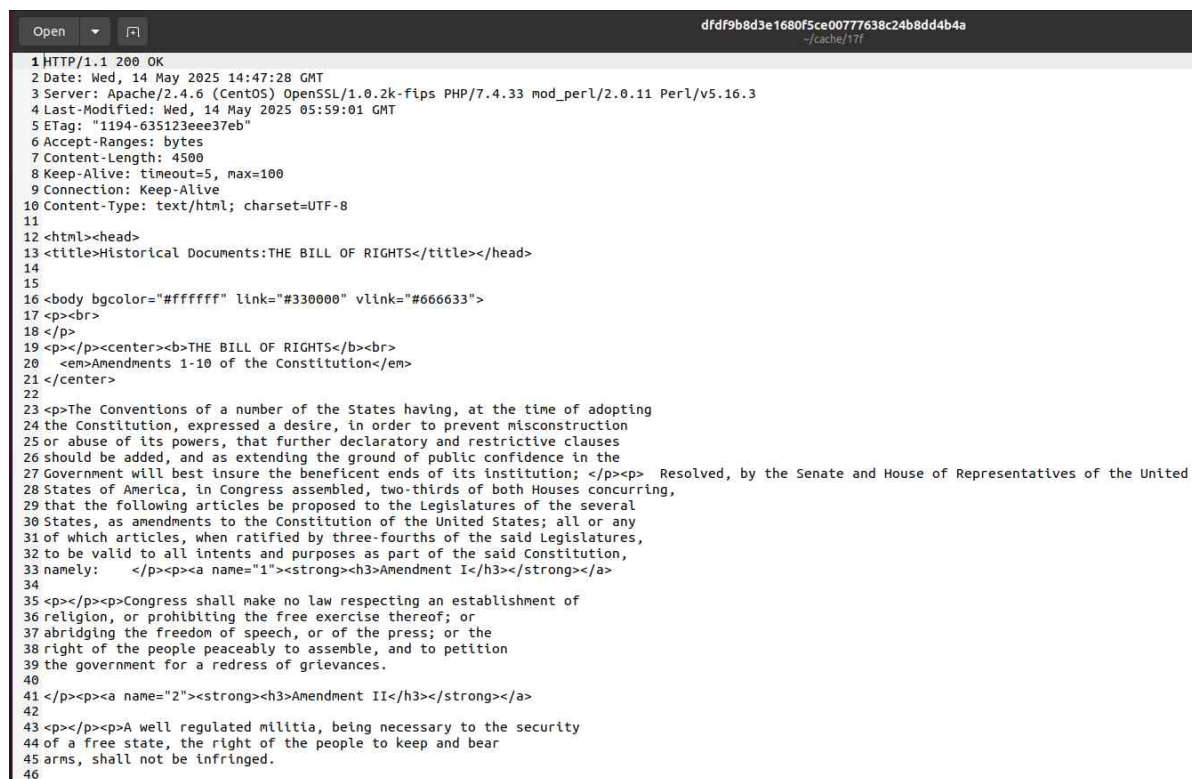
2 directories, 2 files
```

\$ tree ~/cache/: ~/cache 구조 확인 결과, SHA1 해시된 url의 앞 3글자를 이름으로 하여 디렉토리가 생성되었다. 그 디렉토리의 하위에는 나머지 37글자 이름으로 파일이 생성되었다.

17f/... 캐시는 직접 입력한 <http://gaia.cs.umass.edu/wireshark-labs/HTTP-wireshark-file3.html> url에 대한 SHA1 해시값에 해당하는 캐시 파일이다.

38d/... 캐시는 자동으로 요청된 <http://gaia.cs.umass.edu/favicon.ico> url에 해당하는 캐시 파일로, 로그에는 기록되지 않지만 실제로는 origin 서버로 요청이 나가고 응답이 캐시에 저장되었다.

이처럼 로그는 수동 요청만 기록, 캐시는 모든 요청 저장 구조가 정확히 반영되었음을 확인할 수 있다.



```
Open [icon] ddf9b8d3e1680f5ce00777638c24b8dd4b4a
~/cache/17f

1 HTTP/1.1 200 OK
2 Date: Wed, 14 May 2025 14:47:28 GMT
3 Server: Apache/2.4.6 (CentOS) OpenSSL/1.0.2k-fips PHP/7.4.33 mod_perl/2.0.11 Perl/v5.16.3
4 Last-Modified: Wed, 14 May 2025 05:59:01 GMT
5 ETag: "1194-635123eee37eb"
6 Accept-Ranges: bytes
7 Content-Length: 4500
8 Keep-Alive: timeout=5, max=100
9 Connection: Keep-Alive
10 Content-Type: text/html; charset=UTF-8
11
12 <html><head>
13 <title>Historical Documents:THE BILL OF RIGHTS</title></head>
14
15
16 <body bgcolor="#ffffff" link="#330000" vlink="#666633">
17 <p><br>
18 </p>
19 <p><center><b>THE BILL OF RIGHTS</b><br>
20 <em>Amendments 1-10 of the Constitution</em>
21 </center>
22
23 <p><p>The Conventions of a number of the States having, at the time of adopting
24 the Constitution, expressed a desire, in order to prevent misconstruction
25 or abuse of its powers, that further declaratory and restrictive clauses
26 should be added, and as extending the ground of public confidence in the
27 Government will best insure the beneficent ends of its institution; </p><p> Resolved, by the Senate and House of Representatives of the United
28 States of America, in Congress assembled, two-thirds of both Houses concurring,
29 that the following articles be proposed to the Legislatures of the several
30 States, as amendments to the Constitution of the United States; all or any
31 of which articles, when ratified by three-fourths of the said Legislatures,
32 to be valid to all intents and purposes as part of the said Constitution,
33 namely: </p><p><a name="1"><strong><h3>Amendment I</h3></strong></a>
34
35 <p></p><p><p>Congress shall make no law respecting an establishment of
36 religion, or prohibiting the free exercise thereof; or
37 abridging the freedom of speech, or of the press; or the
38 right of the people peaceably to assemble, and to petition
39 the government for a redress of grievances.
40
41 </p><p><a name="2"><strong><h3>Amendment II</h3></strong></a>
42
43 <p></p><p><p>A well regulated militia, being necessary to the security
44 of a free state, the right of the people to keep and bear
45 arms, shall not be infringed.
46
```


47 </p><p><h3>Amendment III</h3>
48
49 <p><p><p><p>No soldier shall, in time of peace be quartered in any house,
50 without the consent of the owner, nor in time of war, but
51 in a manner to be prescribed by law.
52
53 </p><p><h3>Amendment IV</h3>
54
55 <p><p><p><p>The right of the people to be secure in their persons, houses,
56 papers, and effects, against unreasonable searches and seizures,
57 shall not be violated, and no warrants shall issue, but upon
58 probable cause, supported by oath or affirmation, and
59 particularly describing the place to be searched, and the
60 persons or things to be seized.
61
62 </p><p><h3>Amendment V</h3>
63
64 <p><p><p><p>No person shall be held to answer for a capital, or otherwise
65 infamous crime, unless on a presentment or indictment of a grand
66 jury, except in cases arising in the land or naval forces,
67 or in the militia, when in actual service in time of war
68 or public danger; nor shall any person be subject for the
69 same offense to be twice put in jeopardy of life or limb;
70 nor shall be compelled in any criminal case to be a witness
71 against himself, nor be deprived of life, liberty, or property,
72 without due process of law; nor shall private property be
73 taken for public use, without just compensation.
74
75 </p><p><h3>Amendment VI</h3>
76
77 <p><p><p><p>In all criminal prosecutions, the accused shall enjoy the right
78 to a speedy and public trial, by an impartial jury of the state
79 and district wherein the crime shall have been committed, which
80 district shall have been previously ascertained by law, and
81 to be informed of the nature and cause of the accusation;
82 to be confronted with the witnesses against him; to have
83 compulsory process for obtaining witnesses in his favor,
84 and to have the assistance of counsel for his defense.
85
86 </p><p><h3>Amendment VII</h3>
87
88 <p><p><p><p>In suits at common law, where the value in controversy shall
89 exceed twenty dollars, the right of trial by jury shall be
90 preserved, and no fact tried by a jury, shall be otherwise
91 reexamined in any court of the United States, than according
92 to the rules of the common law.
93
94 </p><p><h3>Amendment VIII</h3>
95
96 <p><p><p><p>Excessive bail shall not be required, nor excessive fines
97 imposed, nor cruel and unusual punishments inflicted.
98
99 </p><p><h3>Amendment IX</h3>
100
101 <p><p><p><p>The enumeration in the Constitution, of certain rights, shall
102 not be construed to deny or disparage others retained by the people.
103
104 </p><p><h3>Amendment X</h3>
105
106 <p><p>

Open



74330601906716b38bf6472d7f23438c83

~/cache/38d

```
1 HTTP/1.1 404 Not Found
2 Date: Wed, 21 May 2025 20:39:00 GMT
3 Server: Apache/2.4.6 (CentOS) OpenSSL/1.0.2k-fips PHP/7.4.33 mod_perl/2.0.11 Perl/v5.16.3
4 Content-Length: 209
5 Keep-Alive: timeout=5, max=100
6 Connection: Keep-Alive
7 Content-Type: text/html; charset=iso-8859-1
8
9 <!DOCTYPE HTML PUBLIC "-//IETF//DTD HTML 2.0//EN">
10 <html><head>
11 <title>404 Not Found</title>
12 </head><body>
13 <h1>Not Found</h1>
14 <p>The requested URL /favicon.ico was not found on this server.</p>
15 </body></html>
```

두 캐시 파일을 열어 MISS일 때 web server로부터의 response가 저장된 것을 확인했다.

고찰

이번 Proxy 3-2 과제는 Proxy 3-1 과제를 기반으로 하되, 로그 파일 기록을 스레드를 활용해 처리하는 것이 핵심 목표였다. 기존의 자식 프로세스가 직접 로그를 기록하던 구조에서 확장하여, 각 자식 프로세스가 `pthread_create()`를 통해 thread를 생성하고, 이 thread가 `logfile.txt`에 로그를 남기는 구조로 변경되었다.

기본적인 구조는 3-1에서 구현한 세마포어 기반 동기화 코드를 유지하되, log 기록을 담당하는 함수를 `log_thread()`라는 별도의 thread 함수로 분리하여 처리하였다. 로그 기록 시점에는 각 프로세스가 스레드를 생성하고, 세마포어 진입/탈출 시점에는 PID와 함께 TID도 출력되도록 구성하여, 전체 동작 흐름이 보다 명확히 드러나도록 구현하였다.

과제 구현 중 고민이 되었던 부분은, 종료 로그 작성 시에도 thread를 사용할 것인지에 대한 판단이었다. 제안서에는 “어떤 자식 프로세스가 스레드를 생성하였는가?”라는 문장이 명시되어 있어, 자식 프로세스만 스레드를 생성해야 한다는 인상을 주었다. 그러나 과제 구현 구조의 통일성과 일관성을 고려했을 때, 종료 로그 역시 thread를 통해 기록하는 것이 더 자연스럽고 실습 목표에도 부합한다고 판단하여, 부모 프로세스에서도 thread를 생성하고 터미널에 출력하도록 구현하였다.

실습 자료를 바탕으로 `pthread_create()`, `pthread_join()`, `pthread_exit()` 등 thread 생성 및 종료에 필요한 함수들을 익히고, 기존의 fork 기반 프로세스 생성과의 차이점도 학습하였다. 특히 fork는 프로세스 단위로 메모리를 복사하여 독립적으로 실행되는 반면, pthread는 같은 메모리 공간에서 실행되기 때문에 공유 자원 접근 시 동기화가 더욱 중요하다는 점을 이해할 수 있었다.

전반적으로, 이번 과제는 멀티프로세스 + 멀티스레드 환경에서의 자원 공유 및 동기화 처리에 대한 개념을 실습적으로 익히는 데 큰 도움이 되었으며, 시스템 수준에서의 동기화 처리 방식에 대한 실전 감각을 키울 수 있는 계기가 되었다.

Reference

시스템프로그래밍 이론 및 실습 자료 참고하였습니다.