

# 시스템프로그래밍 과제 보고서

## Proxy 3-1

수업 명: 시스템프로그래밍 월5수6

담당 교수: 김태석 교수님

학과: 컴퓨터정보공학부

학번: 2023202070

이름: 최현진

제출일: 2025.05.29

## Introduction

이번 Proxy 3-1 과제는 Proxy 2-4 과제의 확장 버전으로, 다중 클라이언트 환경에서 로그 파일 (logfile.txt)에 대한 동시 접근을 제어하기 위해 System V Semaphore를 도입한 것이 핵심이다.

기존 프록시 서버는 수신한 HTTP 요청을 SHA-1 해시 기반으로 처리하여 캐시 HIT 또는 MISS 여부를 판별하고, 사용자가 직접 입력한 요청에 대해서만 로그 파일에 기록하였다. 이번 과제에서는 다수의 자식 프로세스가 동시에 로그 파일에 접근할 수 있는 상황을 고려하여, 서버 포트 번호와 동일한 값의 semkey를 사용한 System V Semaphore를 설정하였다.

로그 기록 시에는 P 연산(wait\_semaphore)과 V 연산(post\_semaphore)을 통해 임계 구역(critical section)을 설정하고 보호하며, 진입 및 탈출 시점에 프로세스 PID와 함께 터미널에 다음과 같은 메시지를 출력한다:

\*PID# XXXX is waiting for the semaphore.

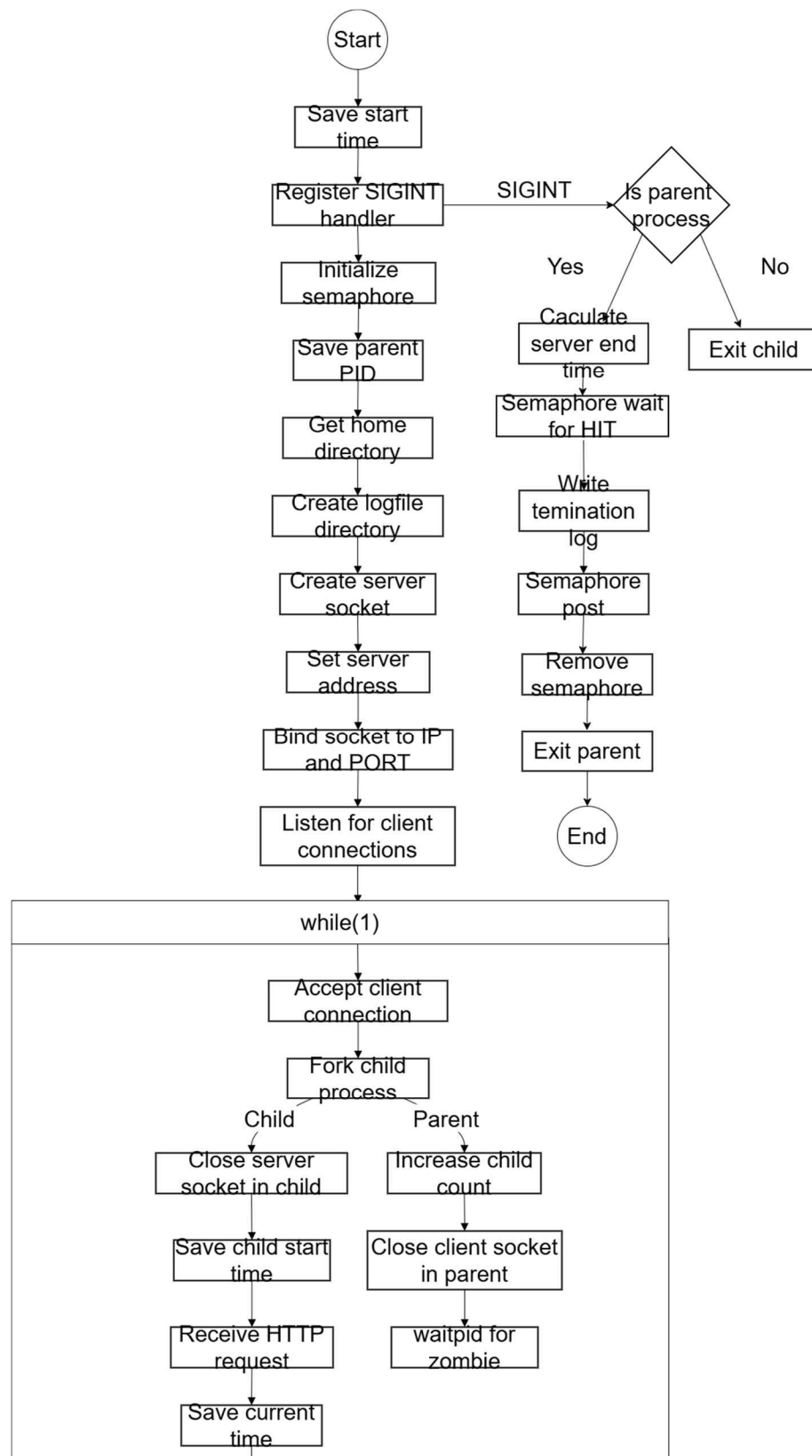
\*PID# XXXX is in the critical zone.

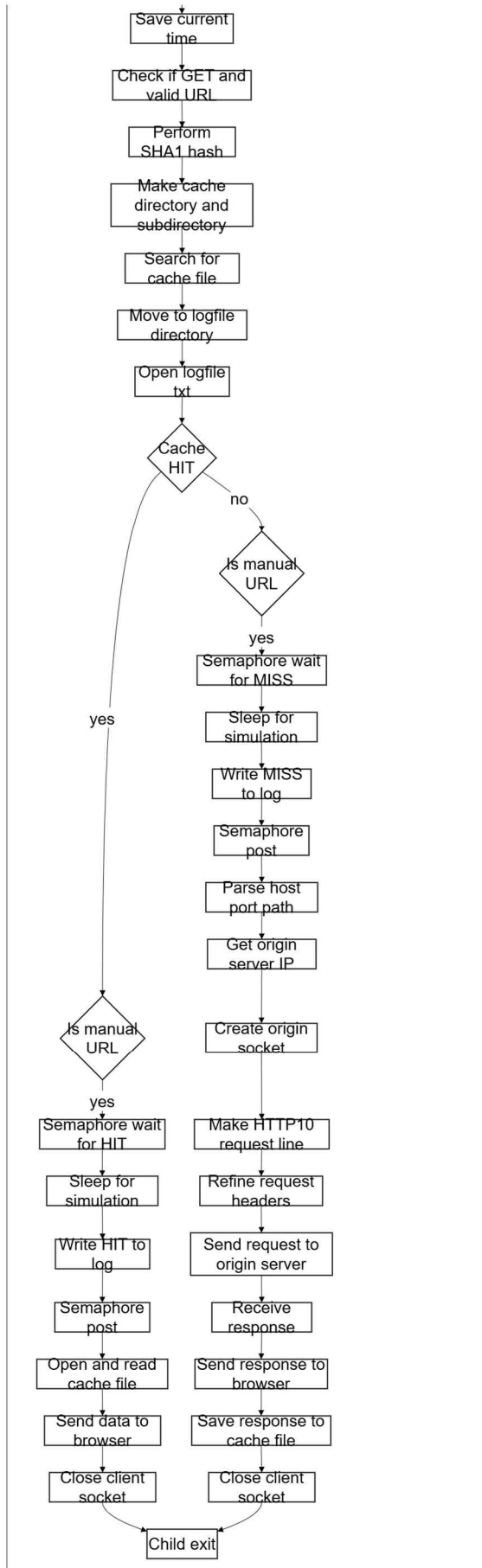
\*PID# XXXX exited the critical zone.

특히 sleep(1)을 임계 구역 내에 삽입함으로써, 실제로 동시 접근이 발생하는 상황을 시뮬레이션 하였으며, SIGINT를 통한 서버 종료 시에도 semaphore를 안전하게 해제하고, 서버 실행 시간과 자식 프로세스 수를 로그에 기록한다.

이를 통해 이번 과제는 멀티프로세스 환경에서 공유 자원 보호, 임계 구역 설정, semaphore 동기화 기법에 대한 이해를 실습적으로 강화하는 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 포함되면 isURL = 0

SHA1 해시 수행

앞 3자리 → 캐시 디렉토리 이름

뒤 37자리 → 캐시 파일 이름

~/cache 디렉토리 생성

~/cache/xxx 디렉토리 생성

디렉토리에서 캐시 파일 탐색

~/logfile 디렉토리 이동

logfile.txt 열기

캐시 HIT이면:

isURL이면:

세마포어 wait

sleep(1) → 동시 접근 시뮬레이션

로그 파일에 [HIT] 기록

세마포어

캐시 파일 열기

캐시 데이터 브라우저로 전송

캐시 MISS이면:

isURL이면:

세마포어 wait

sleep(1) → 동시 접근 시뮬레이션

로그 파일에 [MISS] 기록

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)

sig\_int(signo)

자식 프로세스면 바로 종료

종료 시각 저장

실행 시간 계산

세마포어 wait

로그파일에 서버 종료 로그 작성

세마포어 post

세마포어 삭제

부모 프로세스 종료

## 결과 화면

### 1. proxy 3-1

#### 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  wor
```

\$ 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# 16561 is waiting for the semaphore.
*PID# 16561 is in the critical zone.
*PID# 16561 exited the critical zone.
*PID# 16571 is waiting for the semaphore.
*PID# 16571 is in the critical zone.
*PID# 16572 is waiting for the semaphore.
*PID# 16573 is waiting for the semaphore.
*PID# 16574 is waiting for the semaphore.
*PID# 16575 is waiting for the semaphore.
*PID# 16571 exited the critical zone.
*PID# 16572 is in the critical zone.
*PID# 16572 exited the critical zone.
*PID# 16573 is in the critical zone.
*PID# 16573 exited the critical zone.
*PID# 16574 is in the critical zone.
*PID# 16574 exited the critical zone.
*PID# 16575 is in the critical zone.
*PID# 16575 exited the critical zone.
^C*PID# 16557 is waiting for the semaphore.
*PID# 16557 is in the critical zone.
*PID# 16557 exited the critical zone.
```

먼저 Proxy 2-4 과제와 동일하게 <http://gaia.cs.umass.edu/wireshark-labs/HTTP-wireshark-file3.html> 을 브라우저 상에 입력하여 MISS 1번을 수행했다.

이후, 같은 주소에 대해 브라우저에서 빠르게 5회 새로고침을 수행하여 자식 프로세스들이 동시에 logfile.txt에 접근하려는 상황을 유도하였다.

또한 write\_log\_sync() 함수 내 Critical Section에 sleep(1)을 삽입함으로써, 여러 자식 프로세스들이 semaphore에 접근하여 순차적으로 동기화된 로그 출력이 터미널에 나타나는 모습을 확인할 수 있었다.



다음은 pid별 세부적인 동작 해석이다.

순서	pid	동작
1	16561	MISS -> semaphore wait -> 진입 -> exit
2	16571	wait (동시 접근)-> 16561 종료 후 진입 (MISS는 빠르게 진행하지 않음)
3	16572	wait (동시 접근)
4	16573	wait (동시 접근)
5	16574	wait (동시 접근)
6	16575	wait (동시 접근)
7	16571	exit
8	16572	진입 -> exit
9	16573	진입 -> exit
10	16574	진입 -> exit
11	16575	진입 -> exit
12	16557	Ctrl+C(SIGINT) 직후 fork되어있던 자식 -> wait -> 진입 -> exit

첫 pid # 16561은 MISS 로깅이 완료될 때까지 기다리며 다른 브라우저 요청을 보내지 않았고, pid # 16571~16575 5개의 자식 프로세스는 새로고침을 빠르게 5번 진행함으로써 동시 접근 및 wait하는 시나리오가 진행됐다. 이후 순서대로 진입 및 로그 기록 후 exit를 수행했다. 마지막 16557은 SIGINT 직후에도 안전하게 종료 로그를 기록하고 exit 한다.

한 번에 하나의 자식만 logfile.txt에 접근하고 있으며 sleep(1) 덕분에 대기열이 만들어지고, 이 순서대로 진입하는 모습이 잘 보인다.

Historical Documents:THE B... x

← → ↻ Not Secure galea.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-[2025/05/28, 08:46:20]
[HIT]17f/dfdf9b8d3e1680f5ce00777638c24b8dd4b4a-[2025/05/28, 08:46:28]
[HIT] http://gaia.cs.umass.edu/wireshark-labs/HTTP-wireshark-file3.html
[HIT]17f/dfdf9b8d3e1680f5ce00777638c24b8dd4b4a-[2025/05/28, 08:46:29]
[HIT] http://gaia.cs.umass.edu/wireshark-labs/HTTP-wireshark-file3.html
[HIT]17f/dfdf9b8d3e1680f5ce00777638c24b8dd4b4a-[2025/05/28, 08:46:29]
[HIT] http://gaia.cs.umass.edu/wireshark-labs/HTTP-wireshark-file3.html
[HIT]17f/dfdf9b8d3e1680f5ce00777638c24b8dd4b4a-[2025/05/28, 08:46:29]
[HIT] http://gaia.cs.umass.edu/wireshark-labs/HTTP-wireshark-file3.html
[HIT]17f/dfdf9b8d3e1680f5ce00777638c24b8dd4b4a-[2025/05/28, 08:46:29]
[HIT] http://gaia.cs.umass.edu/wireshark-labs/HTTP-wireshark-file3.html
**SERVER** [Terminated] run time: 40 sec. #sub process: 8
kw2023202070@ubuntu:~$
```

로그파일을 확인한 결과, 처음 요청에 대해 1건의 MISS가 발생했고, 이후 같은 URL에 대해 5건의 HIT 로그가 기록되었다.

이 외에도 브라우저의 자동 요청(favicon)으로 인해 총 2건의 추가적인 자식 프로세스가 생성되어 로그는 작성되지 않았지만 캐시파일이 생성되었다.

최종 종료 로그에는 총 실행 시간과 #sub process: 8로 전체 자식 프로세스 수가 정확히 기록되었으며, 이는 수동 요청 1회 + 새로고침 5회 + 자동 요청 2회가 반영된 값이다.

터미널에 출력된 semaphore 관련 로그는 logfile.txt에 접근하려는 자식 프로세스들의 PID에 한정되므로, 실제 종료 로그에 기록된 전체 자식 프로세스 수와는 차이가 발생한다. 이는 자동 요청(favicon 등)처럼 로그 기록 조건을 만족하지 않는 요청은 HIT/MISS를 기록하지 않아 logfile.txt에 접근하지 않기 때문에 semaphore 동기화 구간에 진입하지 않고, 그에 따라 터미널에도 출력되지 않는 것이다.

### 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] dfdf9b8d3e1680f5ce00777638c24b8dd4b4a
~/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>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><a name="3"><strong><h3>Amendment III</h3></strong></a>  
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><a name="4"><strong><h3>Amendment IV</h3></strong></a>  
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><a name="5"><strong><h3>Amendment V</h3></strong></a>  
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><a name="6"><strong><h3>Amendment VI</h3></strong></a>  
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><a name="7"><strong><h3>Amendment VII</h3></strong></a>  
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><a name="8"><strong><h3>Amendment VIII</h3></strong></a>  
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><a name="9"><strong><h3>Amendment IX</h3></strong></a>  
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><a name="10"><strong><h3>Amendment X</h3></strong></a>  
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 3-1 과제는 Proxy 2-4 과제를 기반으로 하되, 로그파일 접근에 대한 동기화를 구현하는 것이 핵심 목표였다. 기존 2-4 코드 구조는 그대로 유지하되, 추가 요구사항인 동시 접근 제어를 위해 세마포어를 활용한 동기화 기능만을 최소한으로 삽입하는 방향으로 구현하였다. 따라서 터미널 상의 출력문은 모두 과감히 제거하고, 시뮬레이션 결과와 분석은 보고서 상의 시나리오 설명을 통해 명확히 전달할 수 있도록 구성하였다.

특히 세마포어의 동시 접근 시나리오를 유도하기 위해 브라우저에서 매우 빠르게 새로고침을 반복하는 방식으로 요청이 겹치도록 실험 환경을 구성하였다. Critical Section 내에 sleep(1)을 삽입함으로써, 하나의 자식 프로세스가 로그파일에 접근 중일 때 다른 프로세스들이 대기하는 상황을 자연스럽게 연출할 수 있었고, 실제 터미널 출력에서도 세마포어 대기 → 진입 → 해제 순서를 확인할 수 있었다.

초기 내가 한 구현은 POSIX 세마포어 기반이었지만, 과제 요구사항을 다시 확인하던 중 "semkey 값은 포트 번호와 같게 할 것"이라는 조건을 발견했다. 이로 인해 POSIX에서 System V 세마포어 방식으로 전환하게 되었고, semget, semop, semctl 등을 사용하여 구현을 수정하였다.

여기서 semkey는 System V IPC(Inter-Process Communication)에서 사용하는 세마포어 식별자 키 값으로, 동일한 키 값을 사용하는 프로세스끼리 세마포어를 공유할 수 있도록 해준다. 과제에서는 이 키를 포트 번호로 고정함으로써 실행 환경 간 일관성을 유지하도록 요구하였다.

전반적으로 세마포어만 추가하는 간단한 작업이었지만, 기존 구조를 손상시키지 않고 안전하게 삽입해야 했기 때문에 코드 흐름을 면밀히 파악하고 삽입 위치를 신중히 고려해야 했다. 이를 통해 세마포어의 P연산, V연산 개념과 System V 방식 구현법을 직접 체득할 수 있었고, 프로세스 동기화의 실제 동작 원리를 명확히 이해할 수 있는 계기가 되었다.

## Reference

시스템프로그래밍 이론 및 실습 자료 참고하였습니다.