멀티쓰레드-1

게임서버프로그래밍

정내훈

한국공학대학교 게임공학과

내용

- 병렬 처리
- 멀티 쓰레드
- 멀티 쓰레드 프로그래밍

지금 까지 - 1

- 게임서버에서 가장 중요한 것
  - 안정성
  - 성능
- 성능을 높이려면?
  - 프로그램 최적화
  - 멀티코어활용
- 멀티코어를 활용하려면
  - 멀티쓰레드 프로그래밍이 필요

지금 까지 - 2

- 온라인 게임을 만들려면
  - 소켓 프로그래밍 필요
- 다중 접속 서버를 만들려면
  - 서버에서 동접과 같은 수의 소켓을 관리하여야 함.
- 효율적인 다중 접속 관리는?
  - IOCP가 필수
- IOCP의 특징
  - 멀티쓰레드프로그래밍을 요구한다.

멀티쓰레드

- 하나의 프로그램의 여러 곳이 동시 다발적으로 실행되는 프로그래밍 기법
- 최근에 가장 많이 사용되는 병렬처리 프로그래밍 기법
- 운영체제 수업시간에 쓰레드를 배움

병렬처리

- 하나의 작업을 여러 개의 콘텍스트에서 동시 수행하는 것
  - 콘텍스트 => CPU의 실행 상태 => PC를 포함한 모든 레지스터의 값
  - 여러 대의 컴퓨터를 사용하는 경우
    - 분산시스템, 클러스터
    - SETI
  - 한대의 컴퓨터를 사용하는 경우
    - SMP : 여러 개의 CPU
    - Multi-Core : 여러 개의 core

병렬처리 (2024)

- 왜 병렬처리를 하는가?
  - 한 개의 CPU의 처리속도가 너무 느리기 때문
  - 프로그램의 구조가 깔끔해 지므로
- 왜 지금 병렬처리가 각광을 받고 있는가?
  - 발열의 한계에 부딪친 클럭속도 증가
  - 제작사의 사활을 건 멀티코어 CPU의 보급
  - 콘솔, 모바일 기기의 멀티 core화
- Game Server는 25년 전부터 병렬처리!

멀티 쓰레드 복습

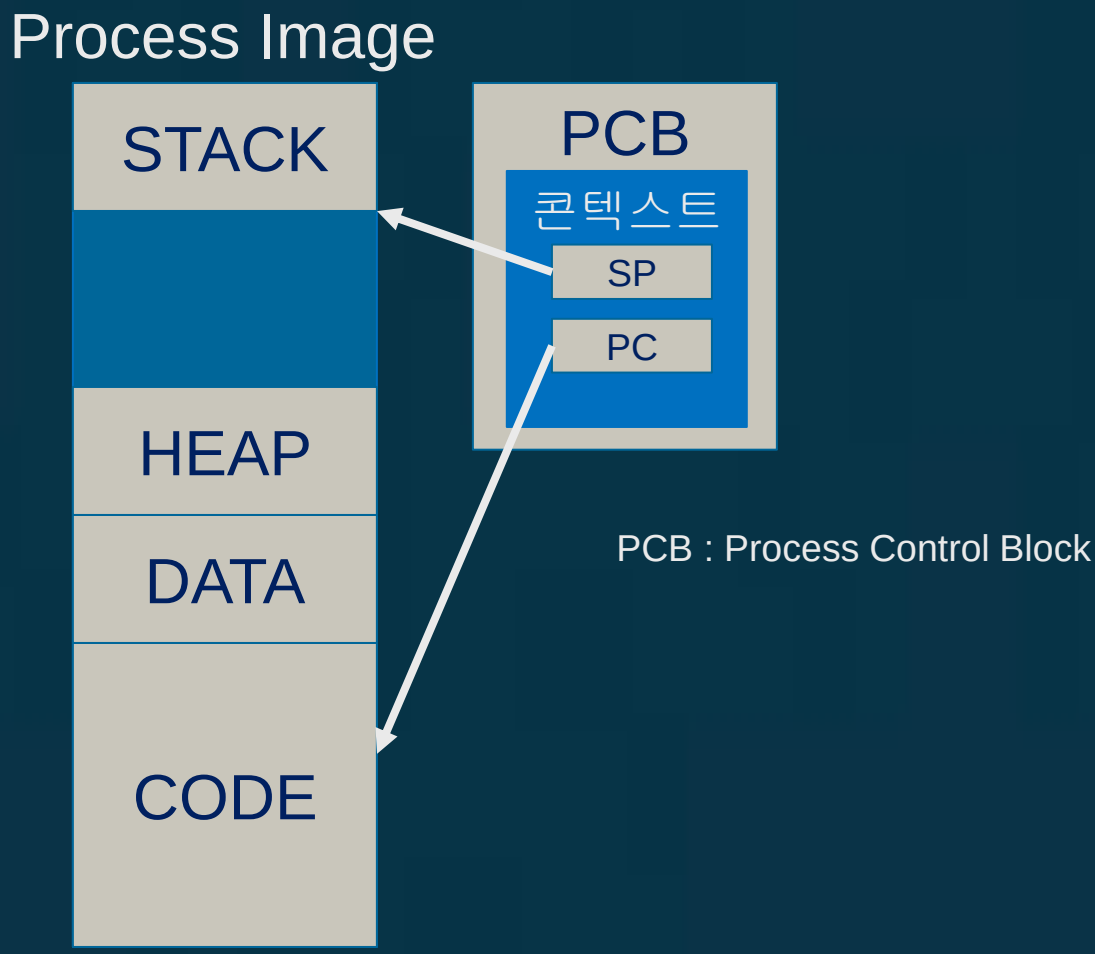
- 프로세스와 쓰레드
  - 프로세스 : 실행 중인 프로그램
    - 하나의 프로세스는 하나의 실행화일에서 출발한다.
  - 쓰레드 : 프로그램 실행의 흐름
    - 프로세스실행 중 프로그램이 쓰레드 생성 명령 실행

멀티 쓰레드 복습

- 프로세스와 쓰레드
  - 프로그램은 하나의 프로세스가 되어서 실행된다.
  - 처음에는 하나의 쓰레드로 실행
  - 쓰레드는 다른 쓰레드를 만들 수 있다.
    - 멀티쓰레드의 시작
  - 각각의 쓰레드는 자신의 스택을 가지고 있고, 같은 프로세스의 모든 쓰레드는 Data와 Code, HEAP을 공유한다.

멀티 쓰레드

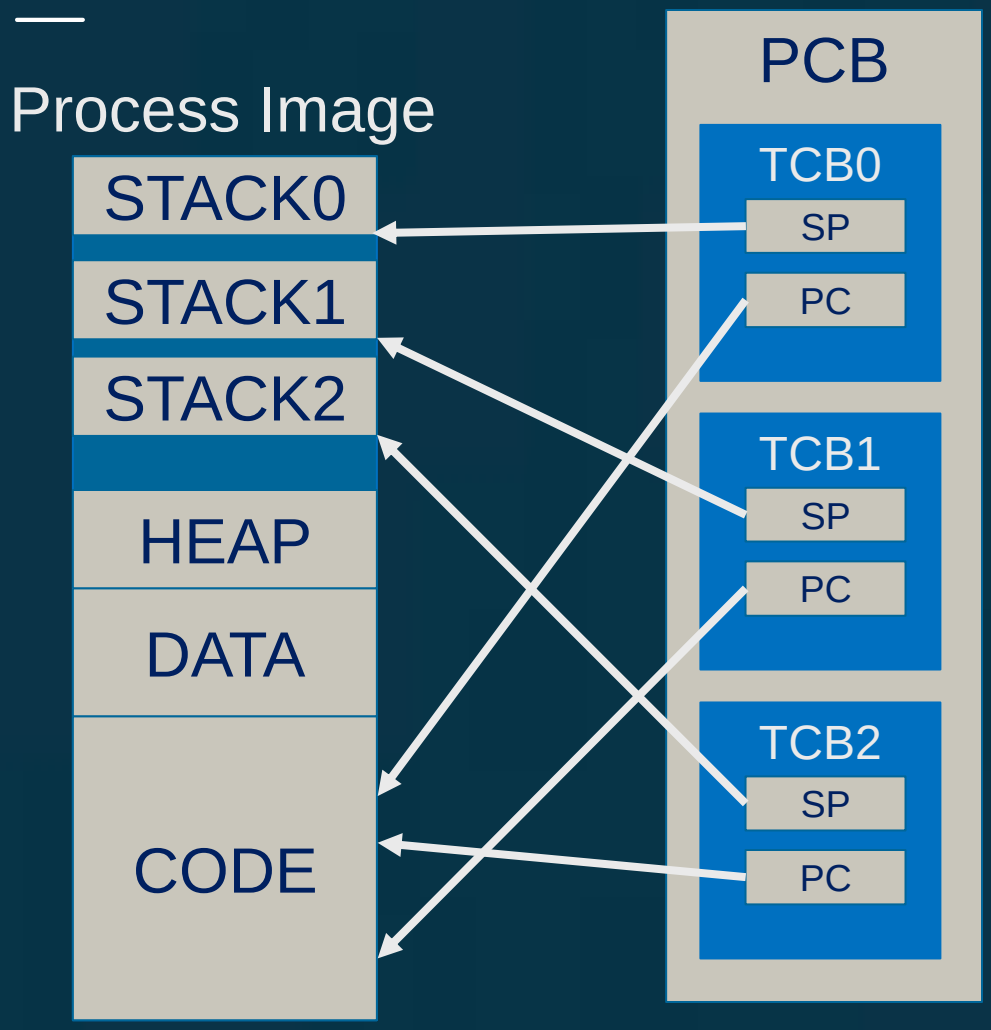
- 프로세스


Process Image
STACK
HEAP
DATA
CODE
PCB
콘텍스트
SP
PC
PCB : Process Control Block

멀티 쓰레드

- 멀티쓰레드

TCB : Thread Control Block



멀티 쓰레드

- 멀티쓰레드에서의 메모리 접근
  - 메모리?? -> C의 경우 변수(variable)
  - 전역변수 : 모든 쓰레드가 공유한다.
  - 지역변수 : 쓰레드마다 따로 따로 존재한다.
  - 지역변수도 강제로 공유 가능
    - 지역변수의 주소를 전역변수에 저장하면 됨
    - 그러지 말자.
- 멀티쓰레드에서의 자원 공유
  - 모든 자원(메모리, 파일 핸들, 윈도우 핸들...)은 공유된다.

멀티 쓰레드

- 장점
  - 성능 향상
  - 빠른 응답 속도
  - 더 나은 자원 활용 (CPU Core)
  - 프로세스보다 효율적인
    - 통신 (=메모리 읽고 쓰기)
    - context switch
- 위험
  - 프로그램 복잡도 증가
  - 디버깅의 어려움 (data race, deadlock)

멀티 쓰레드

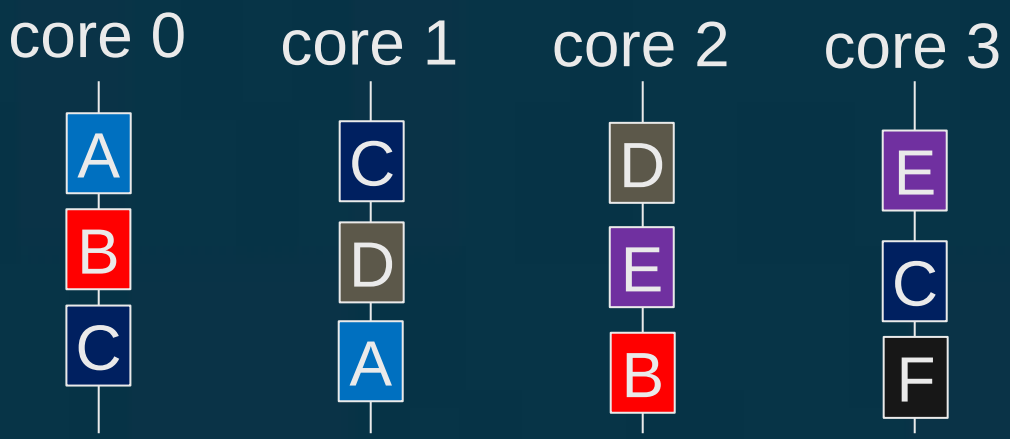
- 게임 서버에서 멀티 쓰레드를 사용하는 이유
  - 동접을 늘리기 위해서
    - 싱글 쓰레드는 1000명 정도가 한계
    - 5대의 기계로 5000명 만드는 것과의 차이?
  - 빠른 응답 속도를 위해서
    - 작업의 길이의 차이
- 실제 많은 게임 서버에서 멀티 쓰레드 사용
  - Lineage, Lineage2, AION, Lineage2 Revolution, ArchAge

멀티 쓰레드

- 두 종류의 프로그래밍 스타일
  - Heterogeneous
    - 작업을 역할 별로 나누어서 전용 쓰레드에게 맞기는 스타일
  - Homogenous (event driven, data driven)
    - 작업을 쪼개서 쓰레드 구분 없이 나누어 하는 스타일
- Game 서버는 Homogenous
  - 패킷 하나를 한 조각의 작업으로 생각
  - 동접 5000이면 최대 5000개의 조각
- Game 클라이언트는 Heterogeneous
  - 렌더링 쓰레드, 물리 엔진 쓰레드, 장면 구성 쓰레드..

멀티 쓰레드

- 주의점
  - 쓰레드의 개수가 많다고 좋은 것이 아니다
  - 프로세서/코어 의 개수에 맞추어라.
    - 코어보다 많은 쓰레드 -> 컨텍스트 스위치 부하, 반응속도 저하, Convoying
  - 너무 많은 쓰레드 => 운영체제 및 하드웨어에 부담



멀티 쓰레드

- 주의점
  - 내가 사용하는 메모리의 내용이 내가 아닌 다른 쓰레드에 의해서 변경될 수 있음을 항상 유념해야 한다.
    - DATA RACE라고 부름
    - Single Core Computer도 마찬가지
  - Debugging의 어려움

멀티 쓰레드 프로그래밍

- Windows에서의 멀티 쓰레드 프로그래밍
  - Windows에서는 멀티쓰레드를 기본 지원
    - Kernel Level Thread
    - 사실상 멀티쓰레드에 특화된 OS
    - 추가 header화일, library 필요없음
    - 쓰레드를 멀티코어에 잘 분배
      - Affinity 적용
  - 쓰레드 문맥 전환
    - Windows의 scheduler가 알아서 함
      - x86 CPU에 쓰레드 전환 명령어 존재
    - 프로그램에서 OS에 요청할 수도 있음

멀티 쓰레드 프로그래밍

- Windows에서의 멀티 쓰레드 프로그래밍
  - Windows고유의 API가 존재하나 C++11의 표준을 따르는 프로그래밍 방식 권장

멀티 쓰레드 프로그래밍

- 쓰레드 만들기
  - 쓰레드 객체를 생성하고 생성자에 초기값으로 실행할 함수를 넣어 준다.

```
#include <thread>

std::thread t1 { mythread };
```

  - mythread : 새 쓰레드가 시작될 함수

```
void mythread()
{
    // 쓰레드가 실행할 프로그램
}
```

멀티 쓰레드 프로그래밍

- 쓰레드 종료 검사
  - 자식 쓰레드를 생성한 쓰레드는 생성한 쓰레드의 종료를 확인해야 한다.
    - new/delete, open/close 와 같은 개념
    - join() 메소드를 호출하면 된다.

```
std::thread t1 {mythread};
t1.join();
```

멀티 쓰레드 프로그래밍 (실습)

- Thread를 만들어서 실행하는 프로그램 작성
  - 10개의 쓰레드를 만들어서 각자 자신의 쓰레드 ID를 출력

```
#include <thread>
#include <iostream>
#include <vector>

using namespace std;

void ThreadFunc(int threadid)
{
        cout << threadid << endl;
}

int main()
{
        vector <thread> my_thread;

        for (int i=0; i< 10; ++i)
           my_thread.emplace_back(ThreadFunc, i);

        for (auto &t:my_threads) t.join();
}
```

멀티 쓰레드 프로그래밍

- 멀티 쓰레드 프로그램의 성능 측정
  - high_resolution_clock으로 성능 측정
  - 2를 5000만번 더하는 프로그램
- 싱글 쓰레드 프로그램 부터 테스트
- 주의!! 모든 성능 측정은 Release Mode로 한다!

```
#include <chrono>
using namespace std::chrono;

auto t = high_resolution_clock::now();
// 측정하고 싶은 프로그램을 이곳에 위치시킨다.
auto d = high_resolution_clock::now() - t;
cout << duration_cast<milliseconds>(d).count() << " msecs\n";
```

멀티 쓰레드 프로그래밍

- 덧셈 프로그램 싱글 쓰레드

```
#include <iostream>
#include <chrono>

using namespace std;
using namespace std::chrono;

int sum;

int main()
{
   auto t = high_resolution_clock::now();
   for (auto i = 0; i < 50000000; ++i) sum = sum + 2;
   auto d = high_resolution_clock::now() - t;
   cout << "Sum = " << sum << "  duration = ";
   cout << duration_cast<milliseconds>(d).count() << endl;
}
```

멀티 쓰레드 프로그래밍

- 덧셈 프로그램 싱글 쓰레드
  - 결과는?
    - 말도 안되는 실행 속도
  - 무엇이 문제인가?
    - 컴파일러가 너무 똑똑함

```
...

volatile int sum;

int main()
{
    auto t = high_resolution_clock::now();
    for (auto i = 0; i < 50000000; ++i) sum = sum + 2;
    auto d = high_resolution_clock::now() - t;
    cout << "Sum = " << sum << "  duration = ";
    cout << duration_cast<milliseconds>(d).count() << endl;
}
```

멀티 쓰레드 프로그래밍

- Thread 2개로 합을 구하는 프로그램 작성
  - 전역변수 sum
  - 쓰레드가 하는 일은 “sum = sum + 2” 오천만 / 2 번 수행
  - 쓰레드 종료 후 sum 출력

멀티 쓰레드 프로그래밍

- 쓰레드 2개 합계 구하기 프로그램

```
#include <iostream>
#include <thread>

using namespace std;
volatile int sum = 0;

void thread_func()
{
    for (auto i = 0; i < 25000000; ++i) sum = sum + 2;
}

int main()
{
    thread t1 { thread_func };
    thread t2 { thread_func };
    t1.join();     t2.join();
    cout << "Sum = " << sum << "\n";
}
```

멀티 쓰레드 프로그래밍

- 쓰레드2개 합계 구하기 프로그램의 결과
  - 속도는?
  - 결과는?

- 수정
  - 쓰레드 4개는?
  - 쿼드 코어 CPU에서는???

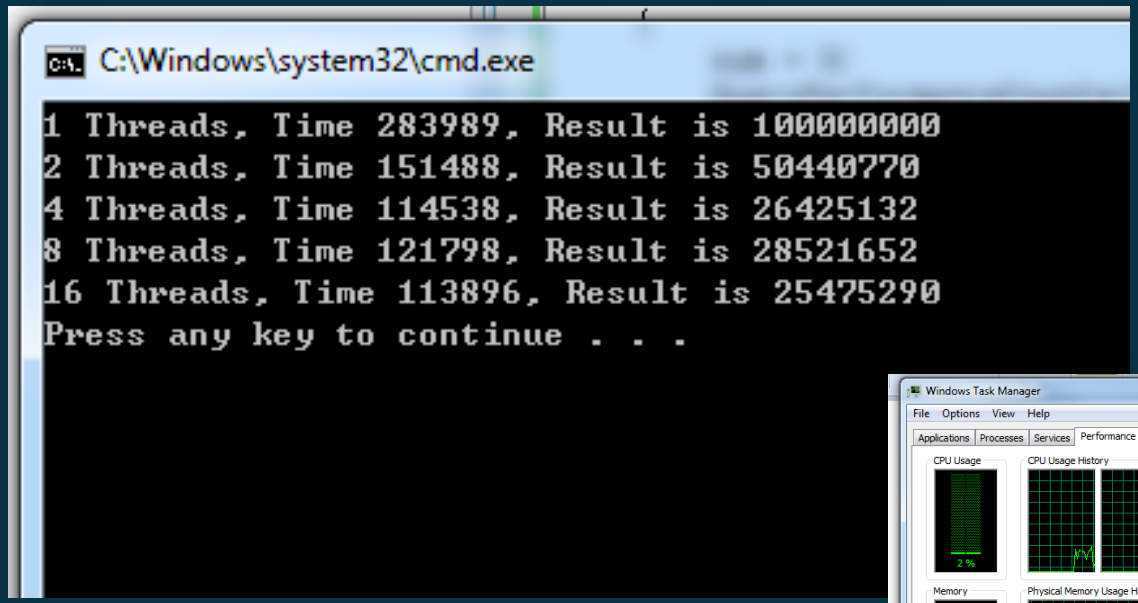
멀티 쓰레드 프로그래밍

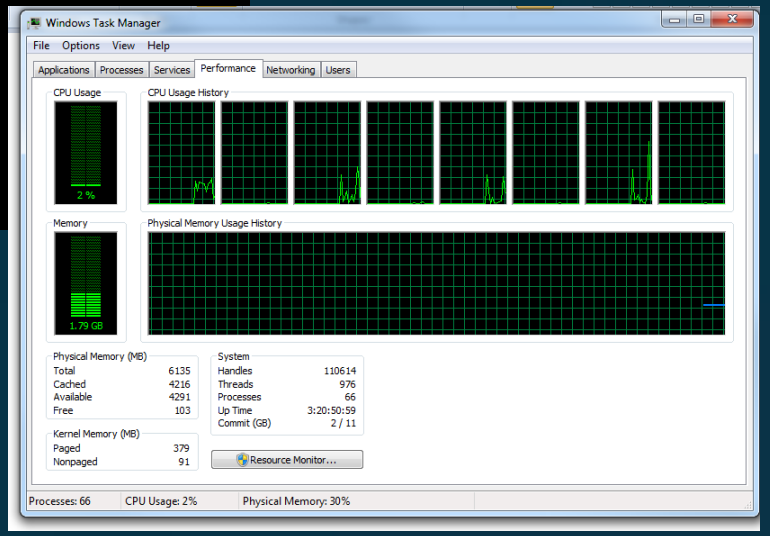
- 다중 쓰레드

```
#include <iostream>
#include <thread>
#include <chrono>
#include <vector>
const auto MAX_THREADS = 64;
using namespace std;
using namespace std::chrono;
volatile int sum;
void thread_func(int num_threads) {
   for (auto i = 0; i < 50000000 / num_threads; ++i)  sum = sum + 2;
}
int main() {
   vector<thread> threads;
   for (auto i = 1; i <= MAX_THREADS; i *= 2) {
      sum = 0;
      threads.clear();
      auto start = high_resolution_clock::now();
      for (auto j = 0; j < i; ++j) threads.push_back(thread{ thread_func, i });
      for (auto &tmp : threads) tmp.join();
      auto duration = high_resolution_clock::now() - start;
      cout << i << " Threads,   Sum = " << sum;
      cout << "  Duration = " << duration_cast<milliseconds>(duration).count() << " milliseconds\n";
}  }
```

멀티 쓰레드 프로그래밍

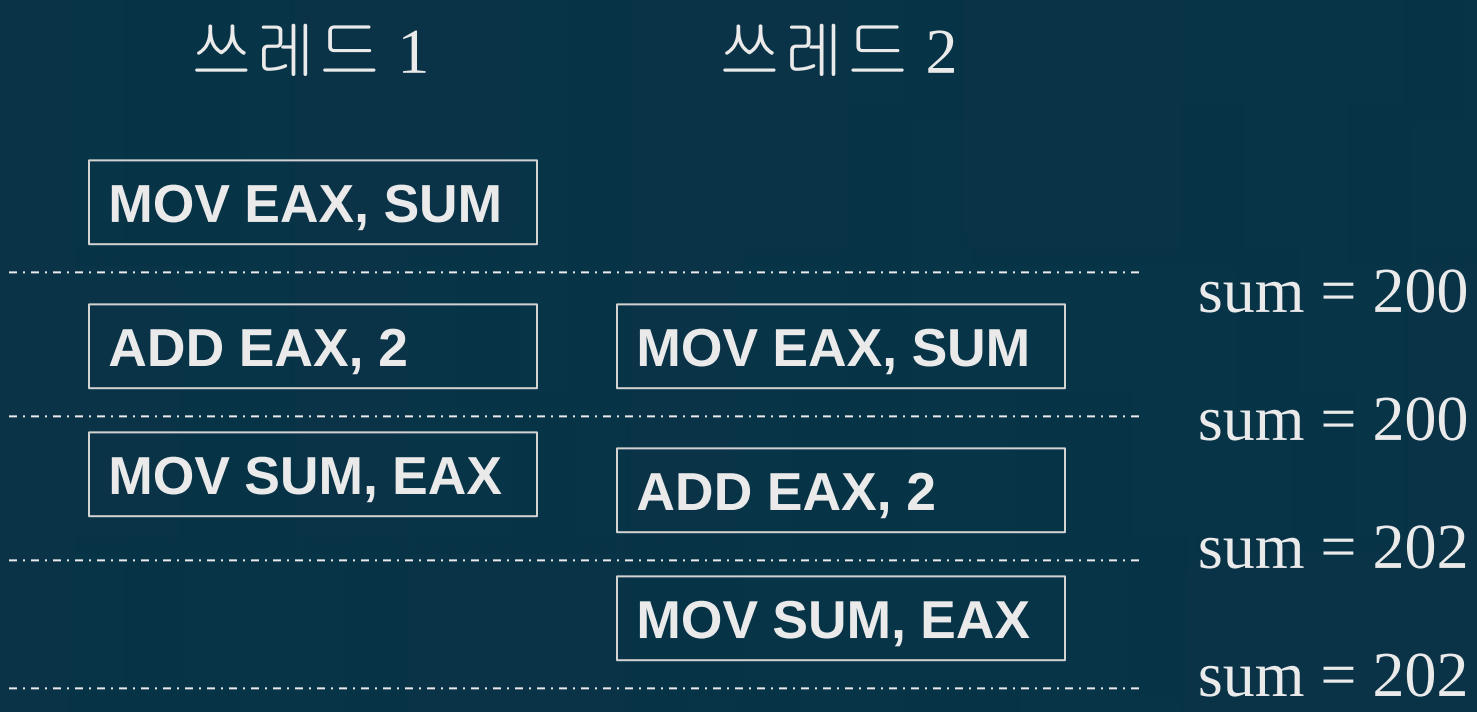
- 다중 쓰레드 - 결과





멀티쓰레드

- 왜 틀린 결과가 나왔을까?
  - "sum = sum + 2"가 문제이다.



멀티 쓰레드

- 틀리게 나오는 이유
  - Data Race 때문
- Data Race란?
  - 같은 메모리를 한 개 이상의 쓰레드가 동시에 읽고 쓰는 경우
  - 그 중 적어도 한 개는 반드시 쓰기 일것

멀티 쓰레드

- Data Race 해결
  - Data Race 없애기 : 한번에 하나만 수행할 수 있도록 한다.
  - Lock (L) : L을 다른 쓰레드에서 사용하고 있으면 대기, 없으면 사용 중 표시
  - Unlock(L) : 사용 중 표시를 지움
  - 용어 (mutual exclusion, critical section….)

쓰레드 1	쓰레드 2
Lock (LA) **A+=2;** **Unlock (LA);**	**Lock (LA)** **A+=2;** **Unlock (LA);**

결과는 항상 **A = 4**

멀티 쓰레드 프로그래밍

- Lock과 Unlock
  - C++11 표준에 존재
  - Mutex 클래스의 객체 생성 후 lock(), unlock() 메소드 호출

```
#include <mutex>

using namespace std;
mutex mylock;

…
    mylock.lock();
    // Critical Section
    mylock.unlock();
```

멀티 쓰레드 프로그래밍

- Lock과 Unlock : 주의점
  - Mutex객체는 전역 변수로.
  - 같은 객체 사이에서만 Lock/Unlock이 동작.
    - 다른 mutex객체는 상대방을 모름.
  - 서로 동시에 실행돼도 괜찮은 critical section이 있다면 다른 mutex객체로 보호하는 것이 성능이 좋음
    - 같은 mutex객체로 보호하면 동시에 실행이 안됨

멀티 쓰레드 프로그래밍

- Why

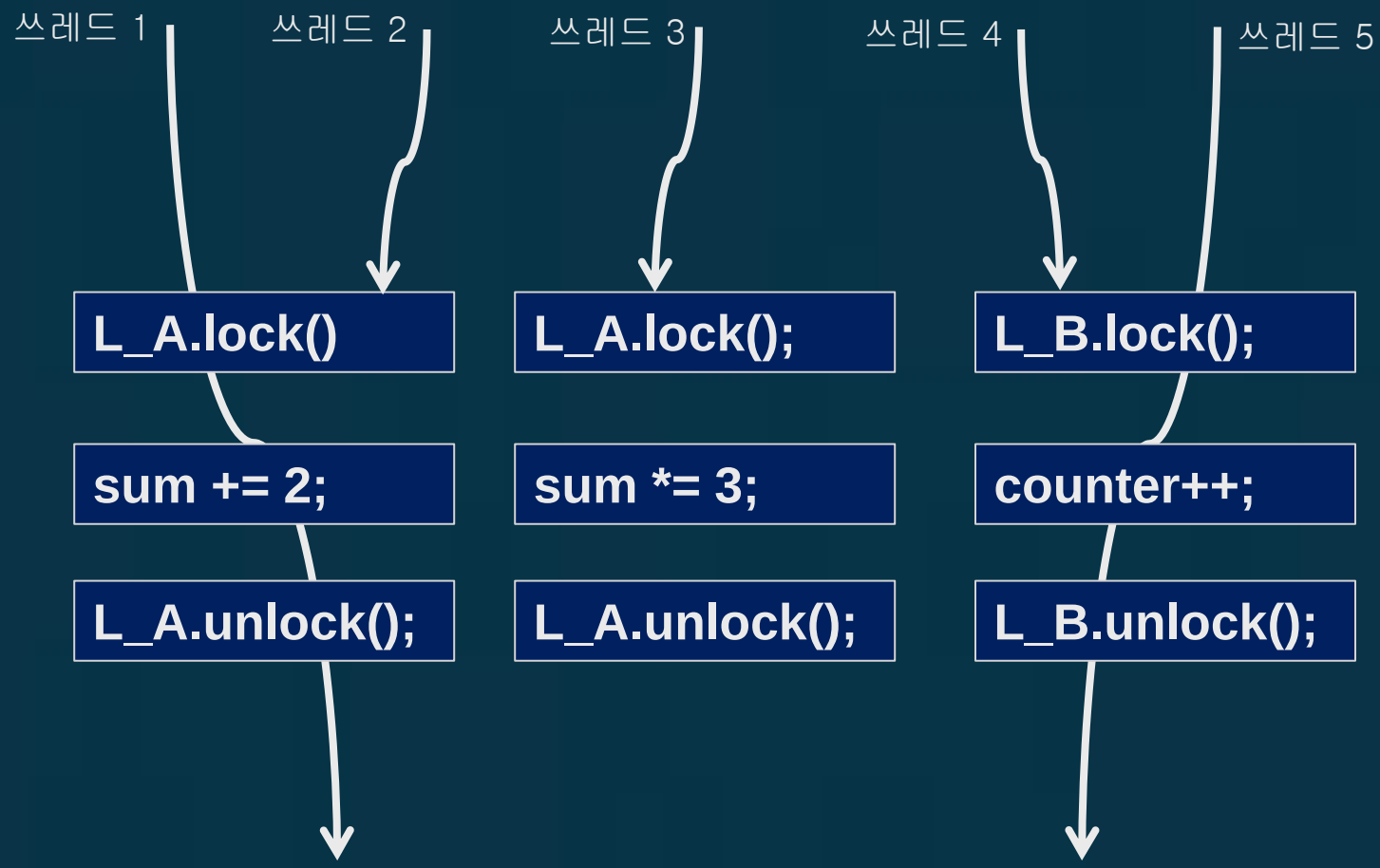
```
mylock.lock();
```

- Not

```
lock();
```

멀티 쓰레드 프로그래밍

- Mutex 객체가 필요한 이유.



멀티 쓰레드 프로그래밍 (실습)

- Thread 2개를 만드는 프로그램 작성
  - 전역변수 sum
  - 쓰레드가 하는 일은 “sum += 2” 오천만 / 2 번 수행
    - 쓰레드 종료 후 sum 출력
  - 맞는 결과가 나오도록 프로그램 수정

```
mutex mylock;

mylock.lock();
mylock.unlock();
```

멀티 쓰레드 프로그래밍 (실습)

- Lock을 사용한 멀티 쓰레드
  - 결과는 맞는가?
  - 수행 시간은?

멀티 쓰레드

- Lock 사용시 주의점
  - Lock의 부하
    - lock 호출 자체가 상당한 부하를 유발한다.
    - 호출한 코어 뿐만 아니라 다른 코어와 다른 CPU에도 Delay를 발생시킨다.
  - Lock의 크기 (임계영역의 크기)
    - 의미 : 하나의 Lock으로 보호 받는 변수의 크기 또는 프로그램의 길이
    - 너무 작다 : lock이 자주 호출되어 성능 저하가 심해진다.
    - 너무 크다 : lock을 얻지 못해 오랫동안 대기하는 쓰레드로 인한 성능 감소가 커진다. 병렬성이 떨어진다.

멀티 쓰레드 프로그래밍 (실습)

- Thread 여러개로 성능향상
  - 올바른 결과가 나와야 함.
  - Single Thread프로그램보다 빨라야 함.
  - 멀티 쓰레드프로그램은 싱글코어에서 Single Thread프로그램보다 느릴 수 있음.
  - 방법 : Lock의 개수를 최소화 하고, 병렬 수행을 최대화 해야 함. => 알고리즘 수정 (재작성)

멀티 쓰레드 프로그래밍 (실습)

- 쿼드 코어(with Hyperthread)에서의 결과

```
void optimal_thread_func(int num_threads)
{
    volatile int local_sum = 0;
    for (auto i = 0; i < 50000000 / num_threads; ++i) local_sum += 2;
    mylock.lock();
    sum += local_sum;
    mylock.unlock();
}

int main()
{
    vector<thread*> threads;
    for (auto i = 1; i <= MAX_THREAD
    {
        sum = 0;
        threads.clear();
        auto start = high_resolution
        for (auto j = 0; j < i; ++j)
        for (auto tmp : threads) tmp
        auto duration = high_resolut
        cout << i << " Threads" << "
        cout << "  Duration = " << d
    }
```

```
C:₩Windows₩system32₩cmd.exe
1 Threads    Sum = 100000000  Duration = 116 milliseconds
2 Threads    Sum = 100000000  Duration = 58 milliseconds
4 Threads    Sum = 100000000  Duration = 30 milliseconds
8 Threads    Sum = 100000000  Duration = 32 milliseconds
16 Threads    Sum = 100000000  Duration = 30 milliseconds
32 Threads    Sum = 100000000  Duration = 28 milliseconds
64 Threads    Sum = 100000000  Duration = 23 milliseconds
계속하려면 아무 키나 누르십시오 . . .
```

멀티 쓰레드 프로그래밍 (실습)

- 수행시간 비교
  - 싱글 쓰레드 수행시간
  - 멀티 쓰레드 수행시간
  - 멀티 쓰레드 + lock수행시간
  - (성능개선) 멀티 쓰레드 + local 계산 후 합산

정리

- 게임서버의 성능향상을 위해서는 멀티스레드 프로그래밍이 필수이다.
- 멀티 코어환경에서는 메모리 공유에 주의해야 한다. (Data Race)
- Lock은 성능저하를 초래한다.
- Lock을 최소한도로 사용하도록 프로그램을 재작성해야 한다.

끝?????

- 문제 : 모든 알고리즘이 저렇게 깔끔하게 해결 될까?

- 답 : No

- Mutex를 사용하지 않고 Data Race없이 옳바른 결과가 나오는 자료구조가 필요

Atomic

- Data Race없이 올바른 결과가 나오는 자료구조가 필요
- 우리는 그것을 Atomic 자료구조라고 부름
- Atomic 자료구조
  - 멀티쓰레드에서 동시다발적으로 메소드들을 호출해도 Data Race없이 항상 올바른 결과가 나오는 자료구조

Atomic

- 구현
  - 쉽다 : 모든 메소드 호출 시 Lock()을 걸고 실행 후 Unlock()을 하면 된다.

```
std::queue <int> my_queue;

void push_num(int x)
{
    my_queue.push(x);
}

int pop_num()
{
   int x = my_queue.front();
   my_queue.pop();
   return x;
}
```

```
std::queue <int> my_queue;
std::mutex mqm;

void atomic_push_num(int x)
{
    mqm.lock();
    my_queue.push(x);
    mqm.unlock();
}

int atomic_pop_num()
{
   mqm.lock();
   int x = my_queue.front();
   my_queue.pop();
   mqm.unlock();
   return x;
}
```

Atomic

- mutex를 사용한 atomic 구현의 문제
  - 느리다. 1억 만들기의 교훈

- 우리가 진짜 필요한 것은
  - 효율적인 Atomic 자료구조
- 효율적인?
  - Non Blocking 자료구조
    - atomic하고, lock없고, 상호배제가 없고, 다른 쓰레드의 행동에 상관없이 메소드를 수행하고, convoying 이 없고, 빠른

Atomic

- 효율적인 Atomic 자료구조
  - Non Blocking 자료구조
    - Wait-Free나 Lock-Free자료구조가 여기에 속함
    - 자세한 것은 “멀티코어 프로그래밍”, “고급 멀티쓰레드 프로그래밍“ 시간에.
  - 멀티쓰레드 프로그래밍을 할 때는 가능하면 Non-Blocking자료구조를 사용하는 것이 성능에 막대한 도움이 된다.

Non Blocking 자료구조

- 어디있는가?
- C++11의 <atomic>

```
#include <atomic>
std::atomic <int> sum;
```

- sum에 대한 모든 메소드 호출은 atomic하게 수행
  - 예), sum.load(), sum.store(int x), sum += 2, sum--;

Non Blocking 자료구조

- sum = sum + 2를 Non Blocking으로 바꾸어 실행하라.

```
#include <atomic>
std::atomic <int> sum;

void ThreadFunc(int num_threads)
  {
   for (int i=0;i<50000000 / num_threads; i++)
      sum += 2;
  }
```

Non Blocking 자료구조

- 실행 시간 비교

	실행시간	결과
1 Threads	91	100000000
2 Threads	61	50436198
4 Threads	49	37940594
8 Threads	52	26257512

No LOCK

	실행시간	결과
1 Threads	1183	100000000
2 Threads	1203	100000000
4 Threads	1362	100000000
8 Threads	1555	100000000

With LOCK

	실행시간	결과
1 Thread	262	100000000
2 Thread	550	100000000
4 Thread	799	100000000
8 Thread	833	100000000

Atomic 연산

Non Blocking 자료구조

- 주의점
  - <atomic>의 한계
    - <atomic> + <atomic> =!= <atomic>
      - "**sum = sum + 2**"과 "**sum += 2**"는 다르다!
  - volatile과 차이는?
    - 컴파일러 레벨에서 대응이 끝나는가?
    - 성능!

Non Blocking 자료구조

- 그러면 <atomic>은 만능인가?
- 아니다.
  - atomic <std::queue<int>> my_queue가 안된다.
    - 복잡한 자료구조는 atomic으로 변환하지 못한다.
  - 항상 non-blocking으로 구현되지 않는다.
    - int, bool, short, char는 non-blocking
    - 간단한 struct 나 class 는 atomic으로 선언할 수 있으나 내부적으로 mutex를 사용해서 atomic하게 동작한다

Non Blocking 자료구조

- non-blocking queue, vector, map, set을 쓰려면
  - Visual Studio Parallel Pattern Library나 Intel Thread Building Block 또는 상용 라이브러리를 구매해서 사용하거나, 직접 작성해야 한다.
  - 예) Visual Studio PPL
    - concurrent_vector
    - concurrent_queue
    - concurrent_unordered_map
    - concurrent_unordered_set
    - …

Non Blocking 자료구조

- 직접 작성
  - Why? : 기존 알고리즘이 없을 때
    - 기존 알고리즘에는 원하는 method가 없을 때
    - 나만의 제한 조건으로 최적화를 하고 싶을 때
  - Why Not?
    - 제작이 너무 어렵다.
    - 버그 없음을 증명하는 것도 어렵다
  - So : 능력 있는 프로그래머는 높은 대우를 받는다.