ASIO

MM4220 게임서버 프로그래밍

정내훈

내용

- BOOST/ASIO 소개
- Boost/ASIO API
- Boost/ASIO 실습

BOOST/ASIO

- Boost
  - 1999년 9월 1일에 첫 공개
  - C++ 프로그래밍에 사용되는 여러가지 유용한 라이브러리들의 집합
    - 선형대수, 랜덤, 멀티쓰레딩, 영상처리, 정규식, 유닛테스팅, 리플렉션, 시간계산… 등 160가지
  - 현재 1.85가 최신버전 (2024년)
  - C++11, C++17, C++20에 많이 들어갔고, C++23에도 많이 들어갈 예정

BOOST

- Boost
  - 많은 라이브러리들이 header file로 구현됨.
    - Template Programming
    - 장점 : 호환성, 실행 속도
    - 단점 : 가독성, 컴파일 속도
    - 일부는 바이너리 라이브러리 필요 (예: ASIO)
  - 라이선스는 Boost 라이선스 : 자유롭게 이용 가능
  - 한번 맛을 들이면 헤어나올 수 없음
    - 예) C++ 표준위원회

ASIO

- Asio C++ Library (think-async.com)
  - 이곳에서 다운 받으면, boost 제외하고 asio만 설치 가능
- 2003년 부터 개발 시작
- 2005년에 Boost에 채용

ASIO

- Cross-platform C++ library for network and low-level I/O programming that provides developers with a consistent asynchronous model using a modern C++ approach
  - https://www.boost.org/doc/libs/1_79_0/doc/html/boost_asio.html

ASIO

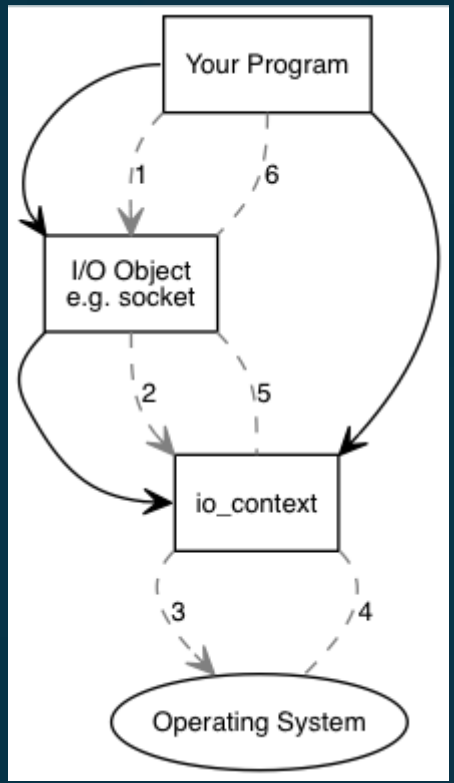
- 특징
  - IOCP와는 달리 C++ API이다.
  - 기존의 Socket API를 전부 C++ API로 재작성 했다.
    - 기존 socket 사용 프로그램은 전부 재작성 해야 한다.
    - C++ API이므로 매우 직관적이고, 사용하기 편하다.
      - 과거의 잔재가 없다.
    - Lamba 함수에 매우 의존적이다.
    - Socket 객체의 관리에 주의 해야 한다.
      - destructor가 호출되어야 커널 자료구조가 반환된다
      - 포인터가 강제 된다. 멀티쓰레드 사용 시 shared_ptr가 강제 된다.
  - 동기식 동작도 가능하다.
    - 사용법이 매우 간단하다.
    - 기존 Socket API를 C++ Layer로 감싼 것

ASIO

- 동작 : 동기식
  - 준비 : io_context와 socket이 필요

```
boost::asio::io_context io_context;
boost::asio::ip::tcp::socket socket(io_context);
```

1. socket API 호출
   - socket.connect(server_endpoint);
2. socket이 요청을 io_context에 전달
3. io_contex가 운영체제 호출
4. 운영체제가 결과를 io_context에 리턴
5. io_context가 에러 처리 후 socket에 결과 전달
6. socket은 결과를 프로그램에 전달.



ASIO

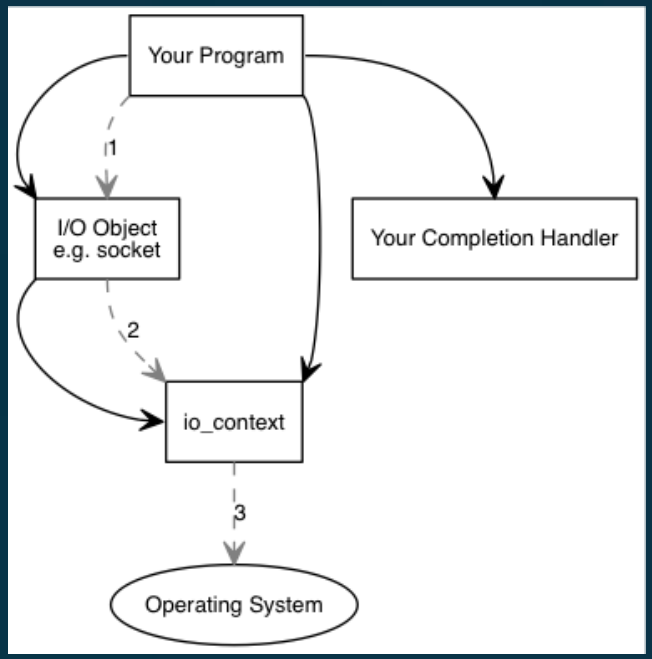
- 동작 : 비동기식 (시작 부분)
  1. socket API 호출

```
socket.async_connect(server_p, my_handler);
```

  - my_handler는 완료했을 때 호출되는 함수

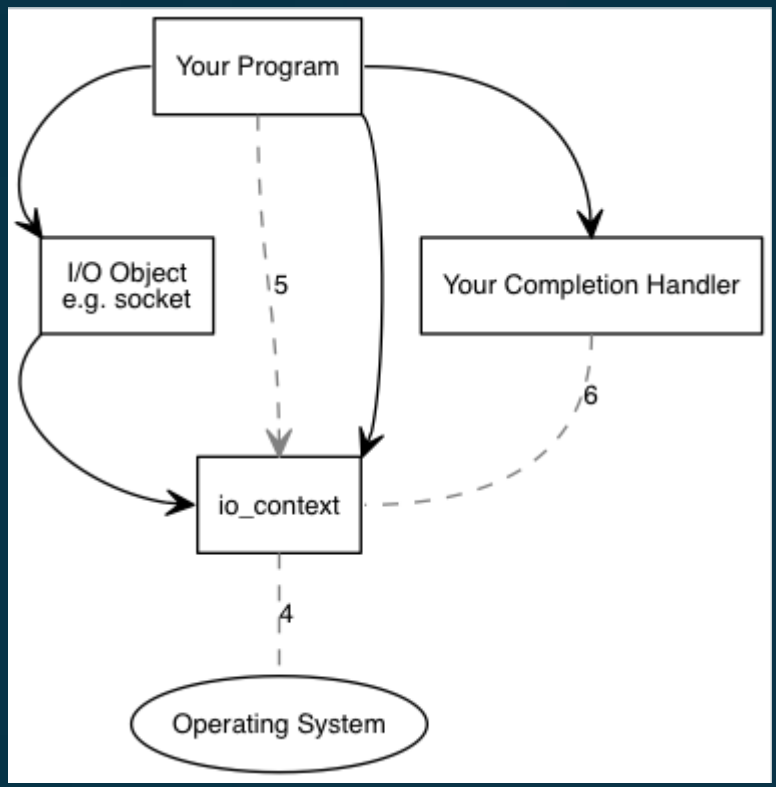
```
void my_handler(const boost::system::error_code& ec);
```

  2. socket이 io_context에 전송
  3. io_contex가 운영체제 호출



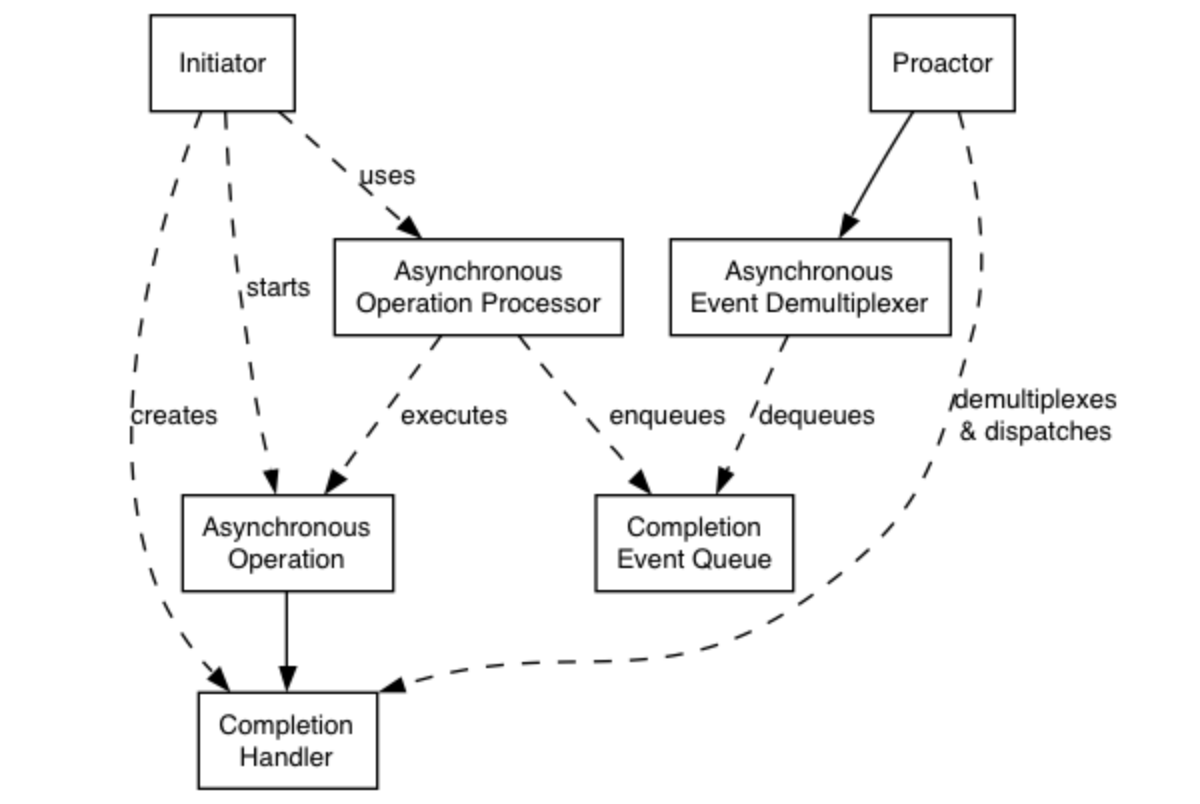
ASIO

- 동작 : 비동기식 (완료 부분)
  4. 운영체제가 결과를 queue에 넣어놓고 io_context에 완료를 알려줌.
  5. 프로그램에서 io_context::run()을 호출
     run()은 완료를 발견할 때 까지 block
  6. run()이 완료를 발견하면 결과를 queue
     에서 빼낸 후 my_handler에 전달.



ASIO

- 비동기 구조 : Proactor 패턴
  - 내부에 event queue를 갖고 epoll같은 reactor 패턴도 Proactor패턴으로 변환



ASIO

- IOCP와의 차이

```
worker_thread()
{
   while(true) {
      GQCS(g_iocp,…);
      if (is_recv)
         ProcessBuffer();
   }
}
```

```
worker_thread()
{
    io_context->run();
}
```

```
WSARecv(sock, WSABUF)
```

```
sock.async_read(
   buffers,
   ProcessBuffer);
```

ASIO

- 멀티쓰레드 연동
  - io_context객체에 대한 모든 접근은 thread safty를 보장한다.
  - 여러 개의 쓰레드에서 io_context::run()을 호출함으로서 병렬성을 얻을 수 있다.
  - 내부적으로 비동기처리를 위해 별도의 쓰레드를 사용할 수 있는데, 이것의 동작은 최소화 되어있고, 사용자에게 숨겨져 있다.

ASIO

- Strands
  - handler가 여러 쓰레드에서 동시에 처리될 때 순서가 뒤바뀌는 것을 막기위한 구조
  - handler를 같은 strand에 등록하면 handler의 호출이 직렬화 된다.
    - 원래는 mutex를 사용해서 직렬화 해야 하나. strand를 사용하면 mutex없이 효율적으로 커널레벨에서 직렬화 된다고 한다. => 거짓말. Linux의 경우 내부적으로 mutex를 사용해서 직렬화 한다. => 성능 하락의 주범. 쓰지 말 것.

내용

- BOOST/ASIO 소개
- Boost/ASIO API
- Boost/ASIO 실습

ASIO 준비

- TCP API를 전부 새로 작성
  - 따라서, 기존의 socket api 재사용은 전무하다.
  - 주소는 ip::tcp::endpoint 클래스로 관리한다.
    - 기존의 struct sockaddr를 대체

- Client API

```
boost::asio::io_context io_context;
ip::tcp::endpoint server_addr(ip::address::from_string("127.0.0.1"), 3500);
ip::tcp::socket socket(io_context);
boost::asio::connect(socket, server_addr);
// 또는 socket.connect(server_addr);
```

ASIO 준비

- (SKIP) Name Resolving
  - 숫자 주소가 아닌 문자 주소를 사용하려면
  - resolver 객체를 사용해서 query객체를 변환해야 한다.
  - 문자 주소는 여러 개의 숫자 주소로 바뀔 수 있다.

```
ip::tcp::resolver resolver(my_io_context);
ip::tcp::resolver::query query("www.boost.org", "http");
ip::tcp::resolver::iterator iter = resolver.resolve(query);
ip::tcp::resolver::iterator end; // End marker.
while (iter != end)
{
  ip::tcp::endpoint endpoint = *iter++;
  std::cout << endpoint << std::endl;
}
```

ASIO 준비

- 서버 API
  - listen socket 대신 acceptor 객체 사용

```
ip::tcp::endpoint my_endpoint(ip::tcp::v4(), 3500);
ip::tcp::acceptor acceptor(my_io_context, my_endpoint);
ip::tcp::socket socket(my_io_context);
acceptor.accept(socket);
```

ASIO 준비

- 송수신 API : 동기식
  - write : 버퍼의 내용이 다 전송될 때 까지 대기
    - WSASend는 여기에 해당. (예외적으로 다 전송이 안되는 경우도 있지만. 여기서는 무시)
  - read : 버퍼가 다 찰 때까지 대기

```
size_t boost::asio::ip::tcp::socket::write(
    const ConstBufferSequence& buffers,
    boost::system::error_code& ec

size_t boost::asio::ip::tcp::socket::read(
    const ConstBufferSequence& buffers,
    boost::system::error_code& ec
```

ASIO 준비

- 송수신 API : 동기식
  - 버퍼가 다 전송되지 않아도 완료
  - Windows의 WSARecv는 여기에 해당.
  - Linux는 recv, send 둘 다 여기에 해당

```
size_t boost::asio::ip::tcp::socket::write_some(
    const ConstBufferSequence& buffers,
    boost::system::error_code& ec

size_t boost::asio::ip::tcp::socket::read_some(
    const ConstBufferSequence& buffers,
    boost::system::error_code& ec
```

ASIO 준비

- 비동기 송수신 API
  - buffers는 WSABUF와 비슷한 여러 개의 버퍼의 모임
  - handler 가 필요로 하는 추가 정보는 람다로 전달

```
boost::asio::async_write(AsyncWriteStream& s,
    const ConstBufferSequence& buffers,
    BOOST_ASIO_MOVE_ARG(WriteHandler) handler);
boost::asio::ip::tcp::socket::async_read_some(
    const MutableBufferSequence& buffers,
    BOOST_ASIO_MOVE_ARG(ReadHandler) handler);
```

```
void handler(
 const boost::system::error_code& error,
 std::size_t bytes_transferred;
);
```

ASIO 준비

BSD Socket API Elements	Equivalents in Boost.Asio
socket descriptor - int (POSIX) or SOCKET (Windows)	For TCP: ip::tcp::socket, ip::tcp::acceptor For UDP: ip::udp::socket basic_socket, basic_stream_socket, basic_datagram_socket, basic_raw_socket
in_addr, in6_addr	ip::address, ip::address_v4, ip::address_v6
sockaddr_in, sockaddr_in6	For TCP: ip::tcp::endpoint For UDP: ip::udp::endpoint ip::basic_endpoint
accept()	For TCP: ip::tcp::acceptor::accept() basic_socket_acceptor::accept()
bind()	For TCP: ip::tcp::acceptor::bind(), ip::tcp::socket::bind() For UDP: ip::udp::socket::bind() basic_socket::bind()
close()	For TCP: ip::tcp::acceptor::close(), ip::tcp::socket::close() For UDP: ip::udp::socket::close() basic_socket::close()
connect()	For TCP: ip::tcp::socket::connect() For UDP: ip::udp::socket::connect() basic_socket::connect()
getaddrinfo(), gethostbyaddr(), gethostbyname(), getnameinfo(), getservbyname(), getservbyport()	For TCP: ip::tcp::resolver::resolve(), ip::tcp::resolver::async_resolve() For UDP: ip::udp::resolver::resolve(), ip::udp::resolver::async_resolve() ip::basic_resolver::resolve(), ip::basic_resolver::async_resolve()
gethostname()	ip::host_name()
getpeername()	For TCP: ip::tcp::socket::remote_endpoint() For UDP: ip::udp::socket::remote_endpoint() basic_socket::remote_endpoint()
getsockname()	For TCP: ip::tcp::acceptor::local_endpoint(), ip::tcp::socket::local_endpoint() For UDP: ip::udp::socket::local_endpoint() basic_socket::local_endpoint()
getsockopt()	For TCP: ip::tcp::acceptor::get_option(), ip::tcp::socket::get_option() For UDP: ip::udp::socket::get_option() basic_socket::get_option()
inet_addr(), inet_aton(), inet_pton()	ip::address::from_string(), ip::address_v4::from_string(), ip_address_v6::from_string()
inet_ntoa(), inet_ntop()	ip::address::to_string(), ip::address_v4::to_string(), ip_address_v6::to_string()

ASIO 준비

BSD Socket API Elements	Equivalents in Boost.Asio
ioctl()	For TCP: ip::tcp::socket::io_control() For UDP: ip::udp::socket::io_control() basic_socket::io_control()
listen()	For TCP: ip::tcp::acceptor::listen() basic_socket_acceptor::listen()
poll(), select(), pselect()	io_context::run(), io_context::run_one(), io_context::poll(), io_context::poll_one() Note: in conjunction with asynchronous operations.
readv(), recv(), read()	For TCP: ip::tcp::socket::read_some(), ip::tcp::socket::async_read_some(), ip::tcp::socket::receive(), ip::tcp::socket::async_receive() For UDP: ip::udp::socket::receive(), ip::udp::socket::async_receive() basic_stream_socket::read_some(), basic_stream_socket::async_read_some(), basic_stream_socket::receive(), basic_stream_socket::async_receive(), basic_datagram_socket::receive(), basic_datagram_socket::async_receive()
recvfrom()	For UDP: ip::udp::socket::receive_from(), ip::udp::socket::async_receive_from() basic_datagram_socket::receive_from(), basic_datagram_socket::async_receive_from()
send(), write(), writev()	For TCP: ip::tcp::socket::write_some(), ip::tcp::socket::async_write_some(), ip::tcp::socket::send(), ip::tcp::socket::async_send() For UDP: ip::udp::socket::send(), ip::udp::socket::async_send() basic_stream_socket::write_some(), basic_stream_socket::async_write_some(), basic_stream_socket::send(), basic_stream_socket::async_send(), basic_datagram_socket::send(), basic_datagram_socket::async_send()
sendto()	For UDP: ip::udp::socket::send_to(), ip::udp::socket::async_send_to() basic_datagram_socket::send_to(), basic_datagram_socket::async_send_to()
setsockopt()	For TCP: ip::tcp::acceptor::set_option(), ip::tcp::socket::set_option() For UDP: ip::udp::socket::set_option() basic_socket::set_option()
shutdown()	For TCP: ip::tcp::socket::shutdown() For UDP: ip::udp::socket::shutdown() basic_socket::shutdown()
sockatmark()	For TCP: ip::tcp::socket::at_mark() basic_socket::at_mark()
socket()	For TCP: ip::tcp::acceptor::open(), ip::tcp::socket::open() For UDP: ip::udp::socket::open() basic_socket::open()
socketpair()	local::connect_pair() Note: POSIX operating systems only.

ASIO 구현

- 운영체제 별로 최신 API를 사용해 구현
  - Linux Kernel 2.6부터 : epoll
    - io_uring : asio 1.21.0
  - Mac OS X : kqueue
  - Windows : IOCP
- 원래는 소스를 다운받아 컴파일해야 하지만, Visual Studio의 Nuget사용
  - boost-v143를 설치할 것. (Visual Studio 2022)
  - asio만 받으면 좋은데 따로 떨어져 있지 않아서 전체를 받아야함. 한 시간정도 걸림

내용

- BOOST/ASIO 소개
- Boost/ASIO API
- Boost/ASIO 실습

실습

- eClass 자료실에서 다운

ASIO

- 실습
  - 설치
    - www.boost.org에서 다운받아서 설치
    - 또는, Nuget사용

ASIO 예제 : 에코 클라이언트

```
#include <iostream>
#include <SDKDDKVER.h>
#include <boost/asio.hpp>

using namespace std;

int main()
{
    try {
        boost::asio::io_context io_context;
        boost::asio::ip::tcp::endpoint server_addr(boost::asio::ip::address::from_string("127.0.0.1"), 3500);
        boost::asio::ip::tcp::socket socket(io_context);
        boost::asio::connect(socket, &server_addr);
        for (;;) {
            . . .   // 입력 -> 전송 -> 수신 -> 출력
        }
    }
    catch (std::exception& e) {
        std::cerr << e.what() << std::endl;
    }
}
```

ASIO 예제 : 에코 클라이언트

```
for (;;) {
    std::string buf;
    boost::system::error_code error;

    std::cout << "Enter Message: ";
    std::getline(std::cin, buf);
    if (0 == buf.size()) break;

    socket.write_some(boost::asio::buffer(buf), error);
    if (error == boost::asio::error::eof) break;
    else if (error) throw boost::system::system_error(error);

    char reply[1024 + 1];
    size_t len = socket.read_some(boost::asio::buffer(reply, 1024), error);
    if (error == boost::asio::error::eof) break;
    else if (error) throw boost::system::system_error(error);

    reply[len] = 0;
    std::cout << len << " bytes received: " << reply << endl;
}
```

ASIO 예제 : 에코 클라이언트

- 실습 : 컴파일 및 실행
  - Visual Studio 2022

ASIO 예제 : 에코 서버

```
#include <iostream>
#include <sdkddkver.h>
#include <unordered_map>
#include <boost/asio.hpp>

using boost::asio::ip::tcp;
using namespace std;

constexpr int PORT = 3500;

class session;
unordered_map <int, session> g_clients;
int g_client_id = 0;

void accept_callback(boost::system::error_code ec, tcp::socket& socket, tcp::acceptor& my_acceptor);

int main(int argc, char* argv[])
{
    try {
        boost::asio::io_context io_context;
        tcp::acceptor my_acceptor{ io_context, tcp::endpoint(tcp::v4(), PORT) };
        my_acceptor.async_accept([&my_acceptor](boost::system::error_code ec, tcp::socket socket) {
            accept_callback(ec, socket, my_acceptor); });
        io_context.run();
    } catch (std::exception& e) {
        std::cerr << "Exception: " << e.what() << "₩n";
    }
}
```

ASIO 예제 : 에코 서버

```
class session
{
    int my_id;
    tcp::socket socket_;
    enum { max_length = 1024 };
    char data_[max_length];

public:
    session() : socket_(nullptr) {
        cout << "Session Creation Error.₩n";
    }
    session(tcp::socket socket, int id) : socket_(std::move(socket)), my_id(id)  {
        do_read();
    }
    void do_read() {
        socket_.async_read_some(boost::asio::buffer(data_, max_length),
            [this](boost::system::error_code ec, std::size_t length) {
               if (ec) g_clients.erase(my_id);
               else g_clients[my_id].do_write(length); });
    }
    void do_write(std::size_t length) {
        boost::asio::async_write(socket_, boost::asio::buffer(data_, length),
            [this](boost::system::error_code ec, std::size_t /*length*/) {
               if (!ec)g_clients[my_id].do_read();
               else g_clients.erase(my_id); });
    }
};
```

ASIO 예제 : 에코 서버

```
void accept_callback(boost::system::error_code ec, tcp::socket& socket, tcp::acceptor& my_acceptor)
{
    g_clients.try_emplace(g_client_id, move(socket), g_client_id);
    g_client_id++;

    my_acceptor.async_accept([&my_acceptor](boost::system::error_code ec, tcp::socket socket) {
        accept_callback(ec, socket, my_acceptor);
    });
}
```

ASIO 게임서버

- 객체 컨테이너
  - shared_ptr 사용이 강제 된다.
    - SESSION을 destruct할 때 ip::tcp::socket도 destruct되어 한다.
    - 다른 쓰레드에서 ip::tcp::socket사용 시 destruct되면 안된다. => 모든 쓰레드에서 참조하지 않을 것이 확실해 진 경우에만 destruct해야 한다.
  - atomic<shared_ptr<T>>를 사용해야 한다.
  - array 또는 병렬 container 사용이 강제 된다.
    - mutex 사용은 엄청난 병렬성 감소

ASIO 게임서버

- 객체 컨테이너
  - concurrency::concurrent_unordered_map<int, atomic<shared_ptr<SESSION>>> objects;
    - atomic<>에서 오류 발생
    - 원인 : atomic은 copyable이 아님
    - 해결책 : https://stackoverflow.com/questions/77983268/is-there-a-way-to-store-stdatomic-in-a-structure-as-a-value-in-ms-concurrency
  - 성능을 고려 할 때, 졸업 작품 수준의 난이도.

ASIO 게임서버

- Worker Thread에서 작업 넘기기
  - boost::asio::post() 사용.
- Timer Thread
  - boost::asio::steady_timer t(io_context, boost::chrono::seconds(1));
  - t.async_wait(&func);