

## 과제 #2

M1522.006700 확장형 고성능 컴퓨팅 (001)

M3239.005400 데이터사이언스를 위한 컴퓨팅 2 (001)

Due: 2023년 10월 20일(금) 23:59:59

### 1 (40점) Theoretical Peak Performance of CPU

실습에 사용하는 CPU의 FP32 theoretical peak performance ( $R_{peak}$ , FLOPS, Floating-point operations per second) 를 계산해 보자. 본 문제에서 하나의 CPU 는 메인보드에 장착되는 하나의 microprocessor chip 을 의미한다(Figure 1 참조).

- (a) (5점) 실습 서버의 **계산 노드**에 장착된 CPU의 모델명을 답하라.
- (b) (5점) 실습 서버의 **계산 노드**에 장착된 CPU의 개수 (socket 수) 를 답하라.
- (c) (5점) 실습 서버의 **계산 노드**에 장착된 CPU의 base clock frequency 와 boost clock frequency 를 답하라. 두 종류가 있는 이유와, 어떤 조건에서 boost clock frequency 로 작동하는지 각각 한 문장으로 서술하라.
- (d) (5점) 실습 서버의 **계산 노드**에 장착된 CPU 하나의 physical 코어 개수와 logical 코어 개수를 답하라. CPU의 FP32 theoretical peak performance 계산을 위해선 어떤 값을 사용해야 하는지와 그 이유를 한 문장으로 서술하라.
- (e) (10점) 실습 서버의 **계산 노드**에 장착된 CPU는 AVX512 instruction set 을 지원한다. AVX512 instruction 을 사용하는 경우 하나의 코어가 한 clock cycle에 몇개의 FP32 연산을 수행할 수 있는가?  
Hint: 한 clock cycle 당 실행되는 AVX512 instruction 개수와 AVX512 instruction 하나당 FP32 연산 개수로 나누어 생각하면 좋다
- (f) (10점) 실습 서버 **계산 노드**의 theoretical peak performance ( $R_{peak}$ ) 를 GFLOPS 단위로 답하라. 모든 CPU 의 모든 코어를 사용한다고 가정한다. base clock frequency 를 기준으로 계산하라. GPU 의 연산 능력은 제외한다.

Hint: 위 소문제들에서 계산한 값들을 적절히 곱하면 됨.

### 2 (60점) Matrix Multiplication using Pthread

두 FP32 행렬의 곱을 여러 CPU 스레드가 협업해 계산하는 프로그램 `matmul.c` 를 작성하라. CPU 스레드 생성을 위해서 C 에서 제공하는 pthread 라이브러리를 이용할 것. 병렬화를 위해 OpenMP 라이브러리를 사용하는 것은 불허한다.

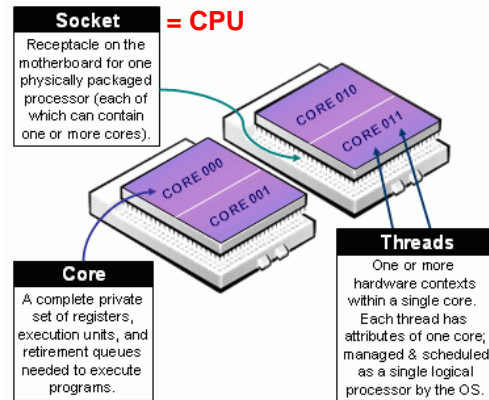


Figure 1: Definitions of CPU(Socket), Core, and Thread. Image from [https://slurm.schedmd.com/mc\\_support.html](https://slurm.schedmd.com/mc_support.html)

빠대 코드와 Makefile 이 실습 서버 로그인 노드의 /shpc23/skeleton/hw2/matmul 디렉토리에 제공된다. 빠대 코드를 읽고 이해한 뒤, matmul.c 파일을 작성하면 된다. matmul.c 를 제외한 파일은 수정 불가능하다 (채점 시 matmul.c 를 제외한 파일들은 빠대코드의 것을 사용함).

Slurm 작업 스케줄러에 작업을 제출하는 ./run.sh 스크립트가 제공된다. 실행 예시는 다음과 같다.

```
$ ./run.sh -v -n 3 -t 1 123 456 789
```

Options:

```
Problem size: M = 123, N = 456, K = 789
Number of threads: 1
Number of iterations: 3
Print matrix: off
Validation: on
```

Initializing... done!

Calculating...(iter=0) 0.022331 sec

Calculating...(iter=1) 0.022036 sec

Calculating...(iter=2) 0.020891 sec

Validating...

Result: VALID

Avg. time: 0.021752 sec

Avg. throughput: 4.068816 GFLOPS

```
$ ./run.sh -v -n 10 -t 20 1024 1024 1024
```

Options:

```
Problem size: M = 1024, N = 1024, K = 1024
Number of threads: 20
Number of iterations: 10
```

```

Print matrix: off
Validation: on

Initializing... done!
Calculating...(iter=0) 0.037430 sec
Calculating...(iter=1) 0.045339 sec
Calculating...(iter=2) 0.035642 sec
Calculating...(iter=3) 0.039488 sec
Calculating...(iter=4) 0.044530 sec
Calculating...(iter=5) 0.037089 sec
Calculating...(iter=6) 0.046988 sec
Calculating...(iter=7) 0.038763 sec
Calculating...(iter=8) 0.036270 sec
Calculating...(iter=9) 0.041329 sec
Validating...
Result: VALID
Avg. time: 0.040287 sec
Avg. throughput: 53.304776 GFLOPS

Hint1: 스레드 간의 동기화는 최소화하는 것이 좋다. 어떻게 하면 각 스레드가 서로 독립적인 일을 할 수 있을
지 생각해 보자.

Hint2: 스레드를 생성하고 기다리는 코드가 이미 뼈대 코드에 구현되어 있다. Pthread 라이브러리에서 제공하는
pthread_create 와 pthread_join 함수의 작동 방식과 사용법을 알아볼 것. 참고 자료 - https://www.cs.cmu.edu/afs/cs/academic/class/15492-f07/www/pthreads.html

보고서에 다음 질문들에 대한 답을 서술하라

```

- 자신의 병렬화 방식에 대한 설명.
- 스레드를 1개부터 256개까지 사용하였을 때의 행렬곱 성능을 측정해 보자 (스레드 개수는 적당한 간격을 두고 측정). 스레드 개수가 늘어남에 따라 일정한 추세로 성능이 증가하는가? 이유는 무엇인가?
- 가장 높은 성능을 보이는 스레드 개수에서 행렬곱 성능은 1번 문제에서 계산한 peak performance 대비 어느 정도인가? 더 높은 성능을 달성하기 위해선 어떤 점을 개선해야 하는가?

본 문제는 정확성 및 성능 평가를 한다. 채점 기준은 다음과 같다.

**보고서 (15점)** 명시된 질문들에 대한 답으로 평가.

**정확성 (15점)** 64개 이하의 스레드, 4096 이하의  $M$ ,  $N$ ,  $K$ 에 대해서 `-v` 옵션을 통한 validation을 통과해야 한다. 제공된 `./run_validation.sh` 스크립트를 이용해 채점할 예정임.

**성능 (30점)** 실습 서버에서 32 스레드,  $M = N = K = 4096$  옵션을 주고 실행했을 때, 80 GFLOPS를 넘으면 만점. 그 이하는 비율에 따라 점수를 부여한다 (e.g., 72 GFLOPS인 경우 성능 점수의 90%를 부여). 답이 틀린 경우 0점. 제공된 `./run_performance.sh` 스크립트를 이용해 채점할 예정임. 주어진 `num_threads` 인자보다 많은 스레드를 생성해 계산하는 경우 0점. `matmul` 이 호출되는 main 스레드는 개수에 포함하지

않음.

### 3 제출 방법

- 과제 제출은 실습 서버에서 이루어진다.
- 보고서는 pdf 형식으로 만들어 `report.pdf` 이름으로 제출한다. 제출할 `report.pdf` 파일이 위치한 디렉토리에서 `shpc-submit submit hw2 report.pdf` 명령을 실행한다.
- 제출할 `matmul.c` 파일이 위치한 디렉토리에서 `shpc-submit submit hw2 matmul.c` 명령을 실행한다.
- 파일들이 잘 제출되었는지 확인을 위해 `shpc-submitt status` 명령을 실행한다.
- 과제 마감 기한이 지난 뒤 다시 제출 명령을 실행하면 마지막 제출시간이 변경되므로 주의할 것.
- 과제 마감 기한이 지난 뒤 파일이 수정된 경우 `grace day` 를 사용한 것으로 간주한다.

### 4 주의 사항

- 뼈대 코드를 각자의 홈 디렉토리로 복사해 가 작업하도록 한다.
- 실습용 서버에서 과제를 수행하도록 한다. 소스 코드를 제출하는 과제의 경우 실습용 서버에서 작동하지 않으면 점수를 받을 수 없다.
- 보고서는 간략하게 필요한 내용만 적는다.
- Pthread 가 아닌 다른 병렬화 라이브러리를 사용하지 말 것 (OpenMP, CUDA, OpenCL 등).