

## 코어마크를 사용한 엣지 컴퓨팅용 에지 디바이스 전력 효율 측정 비교

박진우, 홍영준, 김영준, 오명훈

호남대학교 컴퓨터공학과

wlsn5571@gmail.com, mhoh@honam.ac.kr

## Power Efficiency Comparison of Edge Devices Using CoreMark for Edge Computing

Jin-Woo Park, Young-Jun Hong, Young-Jun Kim, and Myeong-Hoon Oh

Dept. of Computer Engineering, Honam University

## 요약

본 논문에서는 각 엣지 컴퓨팅 환경에서 코어 벤치마크를 사용해 전력 효율을 따져 무엇이 더 전력 효율이 더 좋은지를 제시한다. 엣지 컴퓨팅은 데이터를 생성하는 장치 가까운 지점(네트워크의 "엣지")에서 데이터를 직접 처리, 분석, 저장하는 컴퓨팅 방식이다. 이러한 비교를 위해, 성능을 정량화하는 CoreMark 벤치마크와 실시간 전력 소모를 측정하는 Wattman Viewer를 사용하여 다양한 엣지 컴퓨팅용 저사양 디바이스의 평균 전력 소모량을 측정하였다. 이후, 각 장치의 성능 대비 전력 소비를 비교함으로써 전력 효율을 산출하고, 이를 통해 어떤 엣지 디바이스가 보다 에너지 효율적인지 정량적으로 분석을 진행하고자 한다.

## 1. 서론

최근 사물인터넷(IoT), 스마트 시티, 자율주행, 산업 자동화와 같은 응용 분야에서 엣지 컴퓨팅(Edge Computing)의 중요성이 급속히 증가하고 있다. 엣지 컴퓨팅은 데이터의 수집 및 처리를 클라우드가 아닌 장치 가까이에서 수행함으로써, 지연을 줄이고, 네트워크 부담을 완화하며, 보안성을 강화할 수 있는 장점이 있다. 이에 따라, 다양한 종류의 소형 엣지 컴퓨터들이 시장에 출시되고 있으며, 각 장치의 성능, 소비 전력, 확장성 등은 선택에 있어 중요한 판단 기준이 된다[1]. 현재 대표적인 엣지 컴퓨팅용 저사양 디바이스로는 라떼판다(LattePanda)[2], 라즈베리 파이(RaspberryPi)[3], 젯슨나노(Jetson Nano)[4], 카다스(Khadas)[5], 비전파이브(VisionFive)[6] 등이 있다. 이러한 장치들은 각기 다른 하드웨어 구조와 기능을 제공하고 있다.

본 연구에서는 이들 엣지 컴퓨팅 디바이스를 대상으로 CPU 처리 성능과 전력 소비를 비교 분석하였다. 이를 위해 임베디드 시스템 성능 측정에 널리 사용되는 CoreMark 벤치마크[6]를 각 장치에 동일한 조건에서 실행하고, 벤치마크 수행 중의 전력 소비를 측정하였다. 특히 전력 측정에는 고해상도 실시간 측정이 가능한 전력측정장비를 사용하여, 각 디바이스의 작업 수행 동안의 소비 전력을 정밀하게 기록하고 분석하였다.

## II. 연구 내용

본 연구에서는 다양한 아키텍처를 기반으로 하는 소형 엣지 컴퓨팅 디바이스들을 대상으로 CPU 처리 성능과 전력 효율성을 비교하기 위한 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 디바이스는 총 다섯 종류로, 각기 다른 아키텍처와 하드웨어 구성, 소비 전력 특성을 지닌다. 실험의 일관성과 신뢰성을 확보하기 위해, 동일한 조건에서 벤치마크를 수행하고, 동일한 측정 장비를 사용하여 실시간 전력 소비 데이터를 수집하였다.

아래 표 1은 실험에 사용된 디바이스 및 사양에 관한 자료이다. 위 디바이스

로 성능측정을 실시하였다. JetPack 4.6 [8]은 NVIDIA Jetson 시리즈 보드를 위한 통합 소프트웨어 개발 키트(SDK)이다. OS 기반은 Ubuntu(18.04)를 사용한다. 성능 측정에는 임베디드 시스템 성능 평가에 특화된 벤치마크 도구인 CoreMark를 사용하였다. CoreMark는 EEMBC에서 개발한 테스트 프로그램으로, 정수 연산, 배열 정렬, 링크드 리스트 조작, CRC 계산 등의 연산을 포함하여 CPU의 연산 처리 능력을 정량적으로 평가한다. 각 디바이스에는 CoreMark 공식 소스 코드를 동일한 조건에서 빌드하였다.

표 1. 실험에 사용된 디바이스 및 사양

디바이스	아키텍처	CPU 사양	RAM	OS
LattePanda Alpha	x86	Intel 8th m3-8100y 3.4 GHz Dual-core	8GB	Ubuntu 22.04.02
Khadas VIM4	ARM	Amlogic A311D2 SoC, 2.2GHz Quad-core	4GB	Ubuntu 22.04.02
Raspberry Pi 5	ARM	Broadcom BCM2712 2.4GHz Quad-core	4GB	Ubuntu 22.04.02
Jetson Nano	ARM	Quad-core ARM Cortex-A57	4GB	JetPack 4.6
VisionFive	RISC-V	StarFive JH7110 SoC - 4x SiFive U74	4GB	Ubuntu 22.04.02

아래 그림 1은 CoreMark를 실행한 결과의 일부를 캡처한 것이다. 비교를 위해, 각 디바이스마다 CoreMark를 실행하여 걸리는 시간, iterations/sec 값을 측정하였다. iterations/sec는 전체 연산 반복 횟수를 실행 시간으로 나눈 성능 지표이다.

```
2K performance run parameters for coremark.
CoreMark Size : 666
Total ticks : 15907
Total time (secs): 15.907000
Iterations/Sec : 27660.778274
Iterations : 440000
Compiler version : GCC7.5.0
Compiler flags : -O2 -DMULTITHREAD=4 -DUSE_PTHREAD -DPERFORMANCE_RUN=1
d -lrt
Parallel PThreads : 4
```

그림 1. 코어마크를 실행한 결과

아래 그림 2는 CoreMark 벤치마크를 실행하는 동안 전력측정장치인 HPM-300[9]를 이용하여 Jetson Nano의 측정된 소비 전력을 Wattman View [10]를 통해 시각화한 실시간 결과이다. CoreMark 실행은 약 54초부터 시작되어 69초까지 지속되며, 이 시간 동안 소비 전력이 급격히 증가하여 약 7W~7.1W 수준에 도달하는 것을 확인할 수 있다. 이는 벤치마크 수행 중 Jetson Nano의 프로세서가 최대 성능으로 동작함에 따라 전력 소비가 크게 증가했음을 의미한다. 각 디바이스는 독립 전원 환경에서 측정되었으며, CoreMark 수행 전후의 초기소비전력, 벤치마크 수행 중의 평균 전력 소비량을 측정한다.

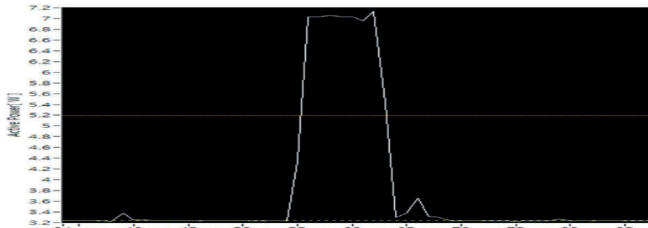


그림 2. Wattman Viewer을 사용한 그래프

아래 그림 3은 엣지 컴퓨팅 디바이스의 전력 효율 측정을 위한 실험 환경을 나타낸 것이다. 사용자는 엣지 디바이스 안에 있는 리눅스 기반 (Ubuntu)의 시스템에서 CoreMark 벤치마크를 실행하며, 측정 장치인 HPM-300을 통해 각 디바이스의 전력 소비를 실시간으로 측정한다.

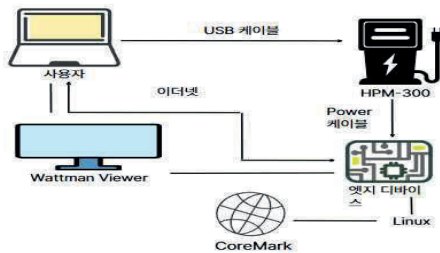


그림 3. 실험 환경 다이어그램

### III. 실험결과

본 실험 결과를 통해 확인된 바와 같이, 각 엣지 디바이스는 아키텍처 및 하드웨어 설계 차이로 인해 성능과 전력 소비 특성에 있어 뚜렷한 차이를 보였다.

표 2. 각 디바이스 CoreMark 벤치마크 전력 및 성능 비교

디바이스	초기 소비 전력	평균 소비 전력	실행 시간(초)	초당 interaction 값
LattePanda Alpha	4.9~5.1	10~10.5	15	19842
Khadas VIM4	3.2~3.3	5.5~5.6	17	11799
Raspberry Pi 5	4.8~5.0	7.0~7.1	17	17640
Jetson Nano	3.3~3.4	7.0~7.1	15	25268
VisionFive	2.6~2.8	4.9~5.0	17	5125

표 2는 각 디바이스의 전력 및 성능 비교치이다. 실험에 사용된 총 5개의 엣지 디바이스 중, VisionFive는 전체적으로 가장 낮은 전력 소비를 기록하였으며, 반대로 LattePanda Alpha는 가장 높은 소비 전력을 나타냈다. CoreMark 실행 중 소비 전력기준으로, VisionFive는 4.9~5.0W를 소모하였으며, LattePanda Alpha는 10.0~10.5W를 소모하였다. 이로 인해, LattePanda Alpha의 소비 전력은 VisionFive 대비 약 2.1배 더 높으며, VisionFive는 약 52% 더 낮은 소비 전력을 보였다.

성능 면에서는 초당 CoreMark interaction 수치는 Jetson Nano가 가장 높았다. VisionFive CoreMark 성능 자체는 다른 디바이스에 비해 낮았지만, 소비 전력이 매우 낮은 것으로 관찰되었다. 이는 RISC-V 아키텍처 기반 디바이스가 기존 ARM 및 x86 기반 시스템에 비해 전력 제약이 존재하는 응용 환경, 예를 들어 배터리 기반의 엣지 디바이스 또는 연산이 간헐적으로 필요한 IoT 센서 게이트웨이 등에서 효율적인 선택이 될 수 있음을 시사한다.

### IV. 결 론

본 논문에서는 엣지 컴퓨팅 환경에서 널리 활용되는 다섯 종류의 디바이스(LattePanda, Khadas VIM4, Raspberry Pi 5, Jetson Nano, VisionFive)를 대상으로 CoreMark 벤치마크를 수행하고, 각 디바이스의 성능과 전력 소비를 측정하여 비교하였다. 가장 낮은 전력 소비를 기록한 것은 VisionFive였으며, 가장 높은 전력 소비를 기록한 것은 LattePanda이다. 초당 interaction 값 기준으로 성능이 가장 높은 것은 Jetson Nano이고, 초당 interaction 값 기준으로 성능이 가장 낮은 것은 VisionFive이다. 특히 VisionFive는 소비전력에서 매우 낮은 값으로 RISC-V 아키텍처를 채택한 디바이스로서 저전력 특성이 두드러지게 나타났다. RISC-V가 ARM, Intel 계열의 CPU를 채용한 엣지 디바이스에서 소비 전력 측면에서는 유리한 것으로 측정되었다.

### 참 고 문 헌

- [1] 엣지 컴퓨팅 기술 동향 Trends in Edge Computing Technology 전자통신동향분석 = Electronics and telecommunications trends, v.35 no.6, 2020년, pp.78 - 87
- [2] LattePanda, "LattePanda Alpha/Delta Documentation," [Online]. Available: <https://www.lattepanda.com/>
- [3] Raspberry Pi Foundation, "Raspberry Pi 5 Model B," [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-5-model-b/>
- [4] NVIDIA, "Jetson Nano Developer Kit," [Online]. Available: <https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-nano-developer-kit>
- [5] Khadas, "VIM4 Specifications," [Online]. Available: <https://www.khadas.com/vim4>
- [6] StarFive Technology Co., Ltd., "VisionFive Single Board Computer Software Technical Reference Manual," Version V1.1, Feb. 17, 2022. [Online]. Available: <https://starfivetech.com/uploads/VisionFive%20Single%20Board%20Computer%20Software%20Technical%20Reference%20Manual.pdf>
- [7] EEMBC, coremark GitHub Repository, GitHub. [Online]. Available: <https://github.com/eembc/coremark>
- [8] NVIDIA Corporation, JetPack 4.6 Documentation, NVIDIA Developer, 2021. Available: <https://developer.nvidia.com/embedded/jetpack-archive>
- [9] HPM-300A : <https://adpower21.com/product/%EB%8B%A8%EC%83%81%EC%A0%84%EB%A0%A5%EC%B8%A1%EC%A0%95%EA%B8%B0hpm-300a-acdc-%EA%B2%B8%EC%9A%A9/18/>
- [10] WattmanViewer GUI Program 메뉴얼 : [ADpower- 에이디파워 - Wattman Viewer GUI Program\(Ver. 1.0.4\) 메뉴얼 GUI Program GUIDE - ADPower](#)