

# 사물인터넷 기기에서의 프로그래밍 언어별 에너지 효율 비교

박시형<sup>○</sup> 이제민 김형신<sup>\*</sup>

충남대학교 컴퓨터공학과

{sihyeong, leejaymin, hyungshin}@cnu.ac.kr

## Comparison of Energy Efficiency of Programming Languages in Internet Of Things Devices

Sihyeong Park<sup>○</sup> Jemin Lee Hyungshin Kim<sup>\*</sup>

Department of Computer Science and Engineering, Chungnam National University

### 요 약

사물인터넷 기기는 작은 크기에 따른 적은 배터리 용량을 가진다. 따라서 배터리를 효율적으로 운용할 수 있는 운영체제와 언어가 필요하다. 특히 프로그래밍 언어에 따라 사용되는 하드웨어 자원과 에너지 효율성이 달라지기 때문에 사물인터넷 환경에서 언어에 대한 부분도 고려되어야 한다. 본 논문에서는 사물인터넷에 사용되는 언어인 C, 자바, 루아, 파이썬을 벤치마크를 통해 소모 에너지와 CPU 및 메모리 사용량을 측정하였다. 이를 통해 효율적인 에너지 사용은 CPU 및 메모리 사용량보다 실행 시간에 상관이 있음을 보였다. 따라서, 사물인터넷 환경에서는 C와 같이 실행 시간이 짧은 언어의 사용을 통해 효율적인 에너지 사용이 가능하다.

### 1. 서 론

사물인터넷(IOT, Internet of Things)은 모든 사물이 네트워크에 연결되어 사람 또는 사물과 상호 협력하는 서비스 및 기술이다. 최근에는 냉장고, 에어컨을 사용한 스마트 홈 시스템과 스마트 워치와 같은 웨어러블 기기를 통해 여러 가지 사물인터넷 서비스를 제공하고 있다[1].

사물인터넷 기기는 작은 크기로 인해 제한된 하드웨어 자원을 가져 효율적인 운영체제와 프로그래밍 언어의 사용이 요구된다. 특히 최근의 사물인터넷은 더 많은 서비스와 복잡한 기능의 수행에 관한 요구가 늘어나고 있으므로 효율적인 CPU와 메모리의 사용과 적은 에너지 사용이 필요하다. 이러한 부분을 위해 사물인터넷을 위한 경량화 및 에너지 효율적인 실시간 운영체제가 연구되었다[2]. 그리고 무선 센서 네트워크에 사용되는 운영체제에 대한 요구사항을 분석하고 저전력 모드, 다중 모드 등과 같은 운영체제의 저전력 기능을 비교한 연구도 있다[3]. 최근에는 여러 프로그래밍 언어를 통해 사물인터넷 응용프로그램과 서비스가 개발되었다[4-7].

기존의 사물인터넷의 효율적인 에너지 사용 연구들은 기기에서 사용되는 운영체제의 기능 혹은 운영체제의 비교에 대해서만 다루고 있다. 특히 사물인터넷 응용프로그램의 개발 및 연구는 언어에 따른 특성을 고려하지 않고 개발 편의성과 사용 능력에 중점을 두고 진행되었다. 개발 언어에 따라 동작 특성이 다르므로 같은 응용프로그램의 작성에서도 실행 시간과 에너지 소모의 차이가 발생하기 때문에 해당 부분도 고려되어야 한다. 이러한 동작 특성의 차이는 컴파일러

혹은 인터프리터가 생성하는 실행 파일 및 코드의 효율성과 사용하는 API에 상관성을 가진다. 따라서 사물인터넷의 개발에서는 언어에 따른 하드웨어 자원 사용과 소모 에너지에 대한 분석이 필요하다.

본 논문에서는 사물인터넷 응용프로그램 구현에 널리 사용되는 라즈베리 파이를 사용해 벤치마크를 통한 프로그래밍 언어별 성능과 에너지 사용에 대해 측정하고 분석한다. 라즈베리 파이에서 CPU 이용률 및 메모리 측정 위해 파이썬의 psutil을 사용하도록 벤치마크를 수정하고 깃허브에 공개하였다. 그리고 Monsoon Power Monitor를 이용해 벤치마크 수행의 에너지 소모를 측정하였다. 에너지 소모 측정 비교 결과 C언어가 다른 3개의 언어에 비해 약 3배 이상의 에너지 효율을 보여주었다. 또한, 피어슨 상관관계 분석을 통해 사용 에너지는 CPU와 메모리의 사용보다 실행 시간에 더 영향을 받는다는 것을 밝혀내었다.

본 논문의 2장에서는 측정에 사용되는 프로그래밍 언어에 관해 설명하고 3장에서는 벤치마크를 통한 에너지 및 CPU 이용률, 메모리 사용량과 실행시간을 다룬다. 마지막으로 4장에서는 향후 연구와 결론을 맺는다.

### 2. 프로그래밍 언어

본 논문에서는 사물인터넷에서 사용되는 4가지 C, 자바, 루아, 파이썬을 사용한다. 언어들의 가장 큰 차이점은 C는 실행하는 환경에 의존적이지만 나머지는 가상머신을 사용하기 때문에 환경에 상관없이 동작할 수 있다. 하지만 가상머신에서 코드가 실행되기 때문에 C에비해서 느린 실행 속도와 더 많은 메모리 사용량을

가진다. 따라서 메모리를 적게 사용하고 가상머신을 사용하지 않는 C언어가 에너지를 적게 소모할 것이라 예상된다. C언어는 컴파일러를 사용하는 언어로 하드웨어의 접근이 쉽고 빠른 속도와 적은 메모리 사용량을 가진다. 많은 사물인터넷 기기가 리눅스에서 동작하기 때문에 C언어도 사물인터넷 응용프로그램의 개발에 많이 사용된다. 그리고 자바는 객체 지향적 프로그래밍 언어로 소스코드를 바이트 코드로 변환하는 과정을 거쳐 자바 가상 머신에서 동작시킨다. 파이썬은 객체 지향적 대화형 언어로 인터프리터를 사용하지만, 소스코드를 컴파일해서 바이트 코드로 변환해서 수행한다. 이를 통해 반복적인 사용에서 빠른 성능을 보여준다. 루아는 절차적 스크립트 언어로 바이트 코드로 컴파일해서 루아 가상머신에서 실행되는 구조를 가진다. 루아 가상머신은 레지스터 기반으로 동작하며 작은 메모리 사용량과 작은 소스코드 크기를 가진다.

### 3. 프로그래밍 언어의 에너지 효율 비교

본 장에서는 사물인터넷 기기로 사용되는 라즈베리 파이에서 벤치마크를 통한 C, 자바, 파이썬, 루아의 CPU 이용률 및 메모리 사용량과 실행시간, 소모 에너지를 측정하고 비교, 분석한다.

#### 3.1 측정환경

성능 및 에너지 측정에 사용한 라즈베리 파이는 ARM-v6 기반으로 700MHz로 동작하며 512MB 메모리를 가진다. 그리고 데비안 기반 운영체제 raspbian wheezy를 사용하고, GCC 4.6.3, java 1.8.0, lua 5.2.1, python 3.2.3을 이용해 각각의 벤치마크 소스를 빌드 및 실행한다.

또한, 각 벤치마크 실행에 대한 소모 에너지의 측정을 위해 그림 1과 같이 Monsoon Power Monitor[8]를 라즈베리 파이를 연결해 전력을 공급하고 소모되는 에너지를 측정한다.

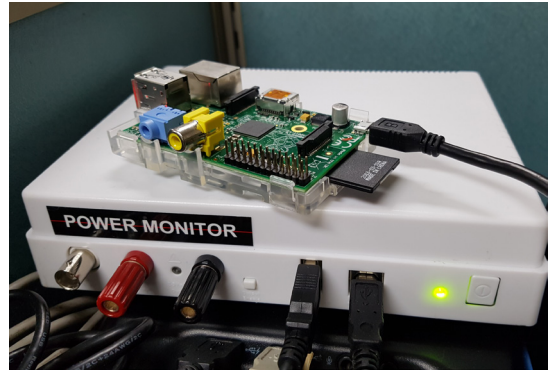


그림 1 측정 환경

#### 3.2 벤치마크

성능을 위한 벤치마크는 The Computer Language Benchmarks Game[9]을 사용해 각각의 언어의 CPU 이용률 및 메모리 사용량과 실행시간을 측정한다. 사용되는 벤치마크는 아래와 같다.

- binarytrees: 이진 트리의 할당 및 해제
  - n-body: 배열밀도 n체 시뮬레이션
  - fannkuch-redux: 아주 작은 정수 수열의 색인 접근
  - mandelbrot: 만델브로 집합의 생성
  - fasta: 임의 DNA 순서의 생성 및 기록
  - spectral-norm: 거듭제곱법을 이용한 고윳값 계산
- 측정을 위해 기존의 벤치마크 툴의 리눅스에서 더는 지원하지 않는 python-gtop 라이브러리를 psutil로 변경하였다. 변경한 벤치마크 툴과 측정에 사용된 소스코드는 깃허브[10]에서 확인할 수 있다.

#### 3.3 측정결과

측정 결과는 그림 2와 같이 벤치마크를 사용해 소모 에너지를 측정하였다. 소모 에너지는 각 벤치마크의 실행 시간 전체에 대해 사용한 에너지를 측정하였다. 자세한 측정 결과는 깃허브[10]에서 확인할 수 있다. 표 1은 벤치마크의 수행에서 각 언어에 대한 평균값이다.

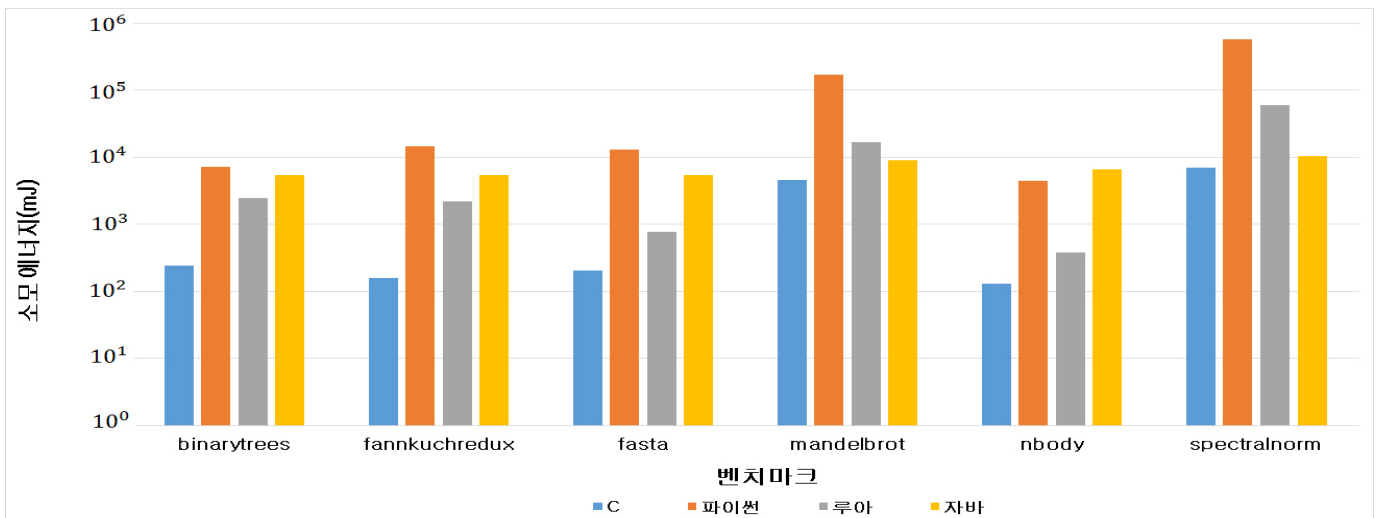


그림 2 벤치마크를 통한 소모 에너지 측정 결과

표 1 언어별 측정 평균 값

언어	C	자바	루아	파이썬
에너지 소비(mJ)	2023.66	6972.33	13832.90	129369.94
소스코드 줄	86	112	62	68
CPU 이용률(%)	92.60	92.78	92.88	93.23
메모리 사용량(MB)	0.36	14.45	3.36	99.25
실행시간(초)	1.06	3.53	7.07	66.89

3.4 결과분석

3.3의 측정 결과를 통해 C언어를 사용해서 소스코드를 작성하는 것이 가장 효율적인 것을 알 수 있었다. 특히 메모리 사용량의 경우 적게는 3배, 많게는 274배의 효율을 가지고, 에너지 사용량에서도 약 3배에서 63배의 효율을 가지는 것을 볼 수 있었다. CPU 사용률의 경우 언어에 따라 큰 차이가 발생하지 않았다. 그리고 소스코드의 길이는 프로그램 개발의 생산성을 나타내기 때문에 사용되는 에너지에 대해서는 영향을 주지 않는다. 그림 3은 R의 상관 분석 패키지를 이용해 피어슨 상관관계를 분석한 것이다. 이는 어떠한 요소가 가장 소모 에너지와 관련성이 높은지 분석한 것으로, 실행 시간이 가장 높은 관련성을 보였다. 따라서 사물인터넷의 개발에서는 C와 같이 실행 시간이 짧은 언어를 사용하는 것이 좋다. 이외의 메모리와 CPU 이용률은 에너지에 대해 비교적 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

자바의 경우 소스코드를 javac를 통해 클래스 파일을 생성해야 실행할 수 있는데, 해당 과정이 평균적으로 30초가 소모되었다. C의 컴파일 과정은 평균적으로 1초 미만이 걸렸고 나머지 언어는 별도의 과정 없이 실행되었다. 따라서 인터프리터 기반 언어를 사용하게 되면 추가적인 에너지 및 자원의 소모가 발생할 수도

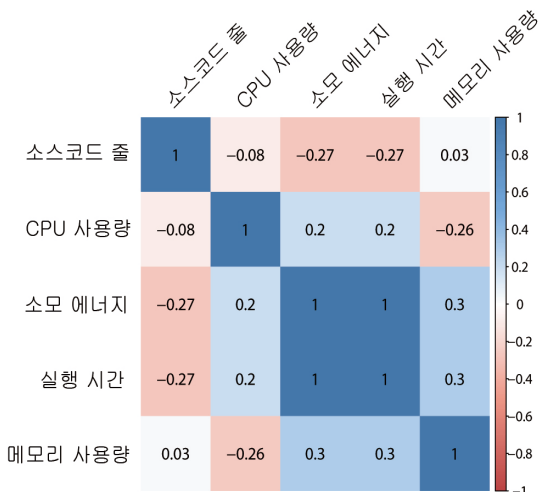


그림 3 소모 에너지에 대한 상관관계 분석

있다.

4. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 사물인터넷 기기에서의 프로그래밍 언어별 성능과 에너지 효율에 대해 비교하였다. 이를 통해 C언어가 다른 언어에 비해 약3~274배의 메모리 효율과 실행시간에서 약3~65배 빠른 결과를 보였다. 특히, 이를 통해 C언어가 다른 언어에 비해 약 3~63배의 에너지 효율을 가지는 것을 확인하였다. 따라서 사물인터넷에서의 에너지 효율적인 활용을 위해 수행 시간이 짧은 언어를 사용해야 한다는 것을 밝혀내었다.

향후 연구로는 사물인터넷 기기에서 사용하는 실시간 운영체제와 다양한 실제 사용 시나리오를 통해 에너지 효율성을 비교한다.

감사의 글

이 논문은 2014년도 교육부와 한국연구재단의 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2014R1A1A2059669)

참고 문헌

- [1] 전종암, 김내수, 고정길, 박대준, 강호용, 표철식, "IoT 디바이스 제품 및 기술 동향", 한국통신학회지, 31(4), 44-52, 2014.
- [2] Emmanuel Baccelli, Oliver Hahm, Mesut Günnes, Matthias Wählisch, Thomas C. Schmidt, "RIOT OS: Towards an OS for the Internet of Things", Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS), 2013 IEEE Conference on. IEEE, 2013.
- [3] 민홍, 이상호, 구본철, 허준영, 김용태, 조유근, "무선 센서 네트워크를 위한 운영체제들의 성능분석", 한국정보과학회 학술발표논문집, 331-333, 2006.
- [4] Stefano Bocchino, Szymon Fedor, Matteo Petracca, "PyFUNS: A Python Framework for Ubiquitous Networked Sensors", European Conference on Wireless Sensor Networks, 1-18, 2015.
- [5] Navjot Kaur Walia, Parul Kalra, Deepti Mehrotra, "An IOT by information retrieval approach: Smart lights controlled using WiFi", Cloud System and Big Data Engineering (Confluence), 2016.
- [6] 김정원, "라즈베리파이를 이용한 스마트 홈 프로토타입 구현", 한국전자통신학회 학술대회지 9(2), 307-311, 2015.
- [7] 서대규, 고한신, 노용덕, "사물인터넷을 이용한 디지털 도어락, DDI의 설계 및 구현", 정보과학회 컴퓨팅의 실제 논문지 21(3), 215-222, 2015.
- [8] Monsoon Solutions Inc., <https://www.msoon.com/LabEquipment/PowerMonitor>
- [9] The Computer Language Benchmarks Game, <http://benchmarksgame.alioth.debian.org>
- [10] <https://github.com/SihyeongPark/Benchmark>