

쿠버네티스 기반 엣지 IoT 환경의 에너지 모니터링 시스템 설계

이장원¹, 금두호², 이규민², 김수일³, 한명훈³, 김영한^{1*}
승실대학교, LIG 넥스원, 국방과학연구소

jangwon.lee@dcn.ssu.ac.kr, {dooho.keum, gyumin.lee}@lignex1.com, {sikim777, mengddor}@add.re.kr, *younghak@ssu.ac.kr

A Design of Energy Monitoring System for Kubernetes based IoT Edge

JangWon Lee¹, DooHo Keum², Gyu-min Lee², Su-il Kim³, Myounghun Han³, *YoungHan Kim¹
*Soongsil Univ., LIG Nex1, ADD

요 약

본 논문은 IoT 환경의 엣지에 요구되는 에너지 효율화 및 안정성을 위한 에너지 모니터링 시스템 설계 구조를 설명한다. 전체 시스템의 기반은 쿠버네티스 클러스터로 구축하며, 종합적인 관리체계를 위한 Flotta 프로젝트와 모니터링을 위한 Prometheus 및 Kepler에 대해 설명한다. 본 제안 구조에서 에너지 모니터링 절차와 머신러닝 기술을 통한 모니터링 방법을 설명하여 엣지의 하드웨어 및 워크로드의 에너지 모니터링 및 시각화 할 수 있음을 보인다.

I. 서 론

컨테이너를 통한 경량화, 업데이트의 편의성, 가용성 등의 장점때문에 IoT를 위한 엣지 노드도 쿠버네티스 클러스터로 기반으로 구축되는 추세에 있다[1]. 그런데 IoT 엣지 시스템은 기존과 달리 에너지의 효율화 및 안정성이 중요한 요소이다. 그러므로 기존 클러스터 환경과 달리 엣지 환경에서는 에너지 모니터링 및 이에 따른 종합적인 관리 체계 구축이 요구된다. 본 논문에서는 쿠버네티스 클러스터를 기반으로 구축되어 있는 대표적인 IoT 엣지 구성요소에 추가적으로 에너지 모니터링 에이전트를 통한 관리 체계를 설계하였다.

II. 본론

본 논문에서는 쿠버네티스 인프라 기반의 엣지 IoT 환경의 에너지 모니터링 시스템 설계 구조인 그림 1에 대해 설명한다. 본 구조는 크게 3가지의 오픈소스 프로젝트인 쿠버네티스, Flotta, Kepler를 기반하여 설계되었다. 쿠버네티스는 컨테이너 관리 플랫폼으로 클라우드 네이티브라는 정의 하에 클라우드 인프라의 주요 플랫폼이 된다. 쿠버네티스 인프라는 컨트롤 플레인을 위한 Master Node와 실제 서비스에 해당하는 워크로드인 Pod가 배치되는 여러 개의 Worker Node로 구성되어 운영된다. 관리자의 요구사항 및 운영을 위한 자원들은 쿠버네티스의 요구사항 정의 형식인 CRD(Custom Resource Definition) 및 배포 요구사항을 정의하는 매니페스트(Manifest) 파일로 구성되며, etcd에 저장된 파일을 확인하여 실제 동작을 수행하는 Operator(ML, 엣지, IoT 등)을 통해 Cloud 및 엣지에 필요 동작을 수행한다.

엣지 영역은 클라우드 영역의 일반적인 서버가 아닌 단일 장치 혹은 특수한 장치로 구성될 수 있으므로, Flotta 프로젝트를 활용하여 IoT 장비와 엣지의 구성

자동화 및 클라우드와의 통신을 구성한다[2]. 그림 1과 같이 클라우드 영역에 Flotta의 EdgeDevice, EdgeWorkload 리소스를 활용하여 전체 관리 체계를 구성할 수 있다. EdgeDevice는 각 엣지에 대응되며 엣지의 연결 및 상태 정보 등의 Status를 포함하며 EdgeWorkload는 엣지에 배포되는 워크로드와 대응 및 관련 정보를 포함하게 된다.

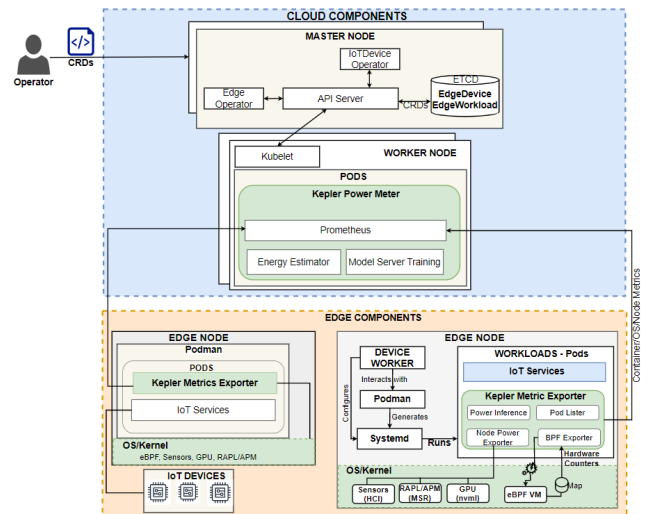


그림 1 - IoT 환경 에너지 모니터링 시스템 구조

시스템 전체 및 에너지 모니터링은 쿠버네티스에서 대표적으로 사용된 CNCF 오픈소스 모니터링 프로젝트인 Prometheus(프로메테우스)를 기반으로 하며, CNCF의 샌드박스 프로젝트인 Kepler를 사용하여 에너지 모니터링을 위한 메트릭을 프로메테우스에 보내게 된다. 프로메테우스와 Kepler는 다음의 장점을 갖으므로 본 환경의 특수성에 적합하다. 첫 번째로 프로메테우스

모니터링 시스템은 폴링(Polling) 방식으로, 모든 에이전트의 상태를 메트릭 수집만으로 빠르게 파악할 수 있다. 두 번째로, 무수히 많은 애플릿 수가 부담이 되는 경우 정책을 설정하여 선택적으로 일부만 모니터링을 수행할 수도 있다. 세 번째로, 프로메테우스는 에이전트를 Exporter 라는 구조로 정의된 유연한 시스템을 제공하여 각 Exporter 마다 어떤 메트릭을 정의하고 수집하는지를 사용자화 할 수 있으므로, 다양한 IoT 에서 발생하는 데이터를 메트릭으로 손쉽게 추가할 수 있다. 또한 프로메테우스 및 Kepler 는 Exporter 를 단순히 컨테이너 형식이 아닌, 호스트 서비스 등으로도 지원하므로 인프라 구조 전체의 모니터링을 수행할 수 있다.

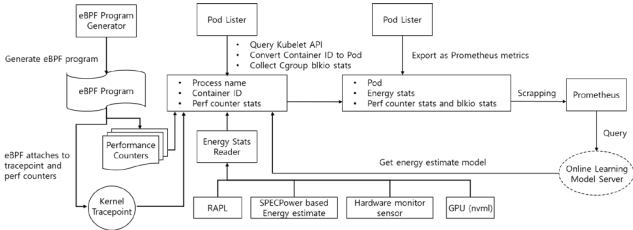


그림 2 - Kepler 의 모니터링 흐름도[3]

Kepler 는 호스트(커널), VM 계층의 여러 기술들을 사용하여 에너지 모니터링을 수행하며 그림 2 와 같다. Kepler 는 하드웨어 인터페이스 기술인 IPMI 및 Redfish 를 지원하며 이를 통해 하드웨어가 제공하는 여러 센서 데이터를 메트릭으로 가공할 수 있다. 특히 Intel 하드웨어를 위한 RAPL 을 지원하며 현재 Kernel 내 실 데이터를 확인하여 처리할 수 있는 eBPF 프로그램도 제공한다. eBPF 프로그램을 통해 특정 컨테이너인 프로세스의 에너지 사용 이유를 커널 내 트레이스 정보와 매핑하여 면밀히 분석할 수 있다. 현재는 특별한 하드웨어 시나리오의 경우, 현재는 많은 도메인에 적용되고 있는 AI 서비스에 필요한 GPU 의 에너지 모니터링을 제공하며 다른 가속화 및 특수 하드웨어를 위한 모니터링 인터페이스도 개발 중에 있다.

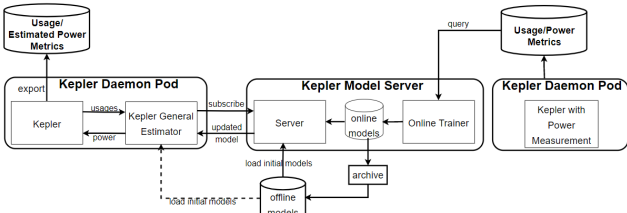


그림 3 - Kepler 의 에너지 추정 모델 배포 구조[4]

하지만 모니터링 시스템 구축을 위해 하드웨어 인터페이스 및 여러 기술을 명확히 이해하고 구성하는 것은 어렵다. 대안으로 Kepler 는 인프라의 하드웨어 모니터링 등을 제대로 구성할 수 없더라도, 머신러닝 기반의 에너지 모니터링 모델을 통해 대상의 에너지 사용량을 대략적으로 확인할 수 있는 기능을 그림 3 과 같이 제공한다. Kepler 는 온/오프라인의 학습 시스템을 구성하여 에너지 사용량을 추정하는 estimator 의 연산을 통해 에너지 메트릭을 생성할 수 있다. Kepler 컴포넌트 내 오프라인 트레이너를 구성 및 Model Server 를 통한 온라인 트레이너 컴포넌트를 제공하며 파이프라인을 통해 오프라인 모델을 지속적으로 업데이트할 수 있다.

마지막으로 Kepler 를 통해 에너지 모니터링을 하여 그림 4 와 같이 시각화 프로그램인 Grafana 대시보드를

통해 CO2 관련, 각 프로세스의 전력 소모량 등을 확인할 수 있게 된다. 따라서 본 시스템을 통해 IoT 인프라에 중요 요소인 에너지를 포함한 전반적인 모니터링이 가능해지며, 추후 에너지 부족 시에 해당 애플릿을 이전하거나 서비스 연속성 관련 연구를 결합하여 시스템 안정성 향상이 기대된다.



그림 4 - Grafana 를 대시보드를 통한 모니터링 시각화

III. 결론

본 논문에서는 엣지 IoT 환경의 에너지 모니터링 의 필요성과 이를 위한 시스템을 설계하여 호스트 및 프로세스의 에너지 사용량을 시각화할 수 있음을 보였다. 시스템 설계에 프로메테우스, Flotta 및 Kepler 를 활용하여 종합적인 관리 체계 및 여러 계층의 종합 에너지 모니터링 방법을 설명하였다. 또한 하드웨어의 의존되는 소프트웨어 없이 머신러닝 모델을 통해서도 에너지 소모량을 추정할 수 있음도 설명하였다. 추후 본 제안을 서비스 연속성 연구와 결합하여 IoT 시스템의 안정성을 향상시킬 수 있을 것이라 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 국방과학연구소가 지원하는 QoS 적응형 복합무선전송/다계층 연동 시스템 과제의 일환으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] M. Abuibaid, A. H. Ghorab, A. Seguin-Mcpeake, O. Yuen, T. Yungblut and M. St-Hilaire, "Edge Workloads Monitoring and Failover: a StarlingX-Based Testbed Implementation and Measurement Study," in IEEE Access, vol. 10, pp. 97101-97116, 2022.
- [2] Mafeni Vitumbiko, Young Han Kim. "IoT Smart Farm as A Service: A Project-Flotta Use Case, pp. 129-132, 2023 년도 한국통신학회 동계종합학술발표회.
- [3] Kepler Architecture- Exporter [Online], Available: <https://sustainable-computing.io/design/architecture/> Accessed: Jan 01, 2024
- [4] Kepler Model Server - Power Estimation Deployment [Online], Available: https://sustainable-computing.io/kepler_model_server/power_estimation/ Accessed: Jan 01, 2024