JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지 Vol. 24, No. 8: 985~992, Aug. 2020

오픈 소스 엣지 컴퓨팅 플랫폼 분석: 구조, 특징, 비교

임헌국[1*] · 이희진[2]

Analysis of Open Source Edge Computing Platforms: Architecture, Features, and Comparison

Huhnkuk Lim[1*] · Heejin Lee[2]

[1*]Assistant Professor, Division of Computer and Information Engineering, Hoseo University, Asan, 31499 Korea
[2]Undergraduate Student, Division of Computer and Information Engineering, Hoseo University, Asan, 31499 Korea

요 약

엣지 컴퓨팅은 데이터를 처리하고 연산하는 곳이 멀리 떨어진 데이터센터에 있는 게 아니라, 단말 장치 혹은 게이트웨이와 같은 엑세스 포인트에 가까운 엣지 사이드에 컴퓨팅 능력 및 데이터 처리 능력을 부가함으로써 저지연/초고속컴퓨팅의 실현을 가능케 한다. 이러한 엣지 컴퓨팅의 종류로는 Mobile edge computing, Fog computing, Cloudlet computing이 있으며, 본 논문에서는 엣지 컴퓨팅을 실제 구현/구축하기 위해 현존하는 오픈 소스 플랫폼들에 대해 초점을 맞추고 분석한다. 각 오픈 소스 엣지 플랫폼에 대해 구조 및 특징들을 체계적으로 묘사하고 비교 분석함으로써 오픈 소스 엣지 플랫폼을 이용하여 실제 엣지 노드를 구축 하고자 하는 산업계 엔지니어들에게 사용 사례에 부합한 최선의 엣지 플랫폼을 선택 할 수 있도록 하나의 제반 지식을 제공하고자 한다.

ABSTRACT

Edge computing is a technology that can prepare for a new era of cloud computing. Edge computing is not a remote data center where data is processed and computed, but low-latency/high-speed computing is realized by adding computing power and data processing power to the edge side close to an access point such as a terminal device or a gateway. It is possible. The types of edge computing include mobile edge computing, fog computing, and cloudlet computing. In this article, we describes existing open source platforms for implementing edge computing nodes. By presenting and comparing the structure, features of open source edge platforms, it is possible to acquire knowledge required to select the best edge platform for industrial engineers who want to build an edge node using an actual open source edge computing platform.

키워드 : 엣지 컴퓨팅, 데이터센터, 저지연/초고속 컴퓨팅, 오픈 소스 엣지 컴퓨팅 플랫폼

Keywords : Edge Computing, Data center, Low Delay/High speed Computing, Open Source Edge Computing Platform

Received 21 July 2020, **Revised** 23 July 2020, **Accepted** 28 July 2020

*** Corresponding Author** Huhnkuk Lim(E-mail:hklim@hoseo.edu, Tel:+82-41-540-5942)
Assistant Professor, Division of Computer and Information Engineering, Hoseo University, Asan, 31499 Korea

Open Access http://doi.org/10.6109/jkiice.2020.24.8.985 print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

ⓒThis is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/li-censes/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright Ⓒ The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

Ⅰ. 서 론

엣지 컴퓨팅은 분산 컴퓨팅 패러다임으로 컴퓨팅 테스크를 사용자와 가까운 엣지 장치로 분산하거나 오프로딩하여 다양한 사용자 엣지 응용 시나리오를 충족시키는 데 활용 되어질 수 있다. 즉, 엣지 영역에서 호스트 및 단말로 흘러들어온 데이터를 컴퓨팅/분석/처리/저장하는 역할을 수행한다. 엣지 컴퓨팅을 이용하여 데이터를 처리하고 연산하는 곳이 멀리 떨어진 데이터센터에 있는 게 아니라, 사용자들이 사용하는 단말 장치들과 가까운 엣지에 컴퓨팅 및 데이터 처리 능력을 부가하여 컴퓨팅 작업을 수행하여 초고속/저지연 컴퓨팅 의 실현을 가능하게 한다.

일반적으로 다양한 경로로 수집된 데이터들이 모이는 곳은 데이터 분석을 위한 클라우드 데이터센터로, 클라우드 데이터센터에서 처리할 수 있는 데이터의 양은 한정돼 있는데 지속적으로 데이터가 몰리면 정체 현상이 발생하게 된다. 그렇게 될 경우 빠르게 분석 결과를 받아보는 것은 불가능해진다는 문제점이 생긴다.

클라우드 컴퓨팅과 달리 엣지 컴퓨팅은 데이터 로컬리티 및 데이터 중심의 네트워킹/컴퓨팅을 가능하게 하고 응용 대기 시간을 줄여 준다. 이러한 요소로 인해 엣지 컴퓨팅은 거의 실시간 상호 작용, 대규모 데이터 저장 및 이동, 향상된 보안 및 데이터 개인 정보 보호, 컨텍스트 인식, 대규모 및 소규모 사이트에 대한 다중 액세스 네트워킹을 필요로 하는 다양한 응용에 활용 된다.단말 데이터가 수집되는 에지에서 바로 데이터를 분석하고 이를 다시 현장에 적용함으로써, 클라우드 데이터센터에서 분석된 결과를 기다리는 것보다 훨씬 빠르게 대응할 수 있다.

이러한 엣지 컴퓨팅의 종류로는 Mobile edge computing, Fog computing, Cloudlet computing로 나눌 수 있으며, 최근 이러한 세 가지 엣지 컴퓨팅 종류 안에 다양한 연구가 이루어져 왔다 [1-7].

본 논문에서는 StalingX, Akraino 엣지 스택[8]을 포함하여 엣지 컴퓨팅 노드를 실제 구축하기 위해 필요한 현존하는 오픈 소스 엣지 플랫폼들의 구조 및 특징 분석에 초점을 맞춘다. 현존하는 오픈 소스 엣지 플랫폼들에 대해 구조, 특징들을 체계적으로 묘사하고 비교 분석함으로써 오픈 소스 엣지 플랫폼을 이용하여 실제 엣지 노드를 구축 하고자 하는 산업계 엔지니어들에게 목표로 하는 사용/응용 사례에 부합한 최선의 엣지 플랫폼을 선택 할 수 있도록 하나의 제반 지식을 제공하고자 한다.

Ⅱ. 엣지 컴퓨팅 종류

본 섹션에서는 에지 컴퓨팅을 구현한 일반적인 세 가지 종류에 대해 간략히 기술 한다. Fog Computing, Mobile Edge Computing, Cloudlet Computing은 엣지 컴퓨팅의 세 가지 일반적인 종류이다.

- MEC (Mobile Edge Computing) : 컴퓨팅 액세스 및 스토리지 용량을 무선 액세스 네트워크 내 네트워크 에지로 가져와 대기 시간을 줄이고 상황 인식을 향상시킨 분산 컴퓨팅 인프라 이다 [1-3]. MEC 노드 혹은 서버는 일반적으로 무선 네트워크 컨트롤러 또는 매크로 기지국과 함께 배치된다. MEC 무선 단말은 이러한 MEC 인프라를 이용, 가상화된 자원에서 계산 및 저장을 수행할 수 있다.
- FC (Fog Computing) : 엔드 디바이스와 클라우드 사이의 아키텍처 지점에 배치된 Fog Computing 노드를 기반으로 하는 분산 컴퓨팅 인프라 이다. 이러한 노드는 본질적으로 이기종이므로 라우터, 스위치, 액세스 포인트, 사물 인터넷 디바이스 등 다양한 요소를 기반으로 할 수 있다 [2-3].
- Cloudlet Computing (CC) : WLAN을 통해 최종 단말 및 사용자에게 자원을 실시간으로 프로비저닝할 수 있는 기능을 제공하며, 가상 시스템을 지원하는 데이터 센터를 이용한다 [2-3]. 고 대역폭의 원 홉 액세스를 통해 제공하므로 애플리케이션에 대한 지연 시간이 짧다.

표 1 안에 정리한 것처럼 세 가지 엣지 컴퓨팅 종류에는 사용 사례에 적합한 고유한 특징이 있다. FC는 더 적은 자원, 낮은 지연, 다양한 장치 유형에 연결을 필요로 하는 사용 사례에 더 적합할 수 있고, 반면 MEC와 CC는 계산에 더 많은 자원이 필요한 경우와 자원 프로비저닝 요구 사항이 있는 경우에 더 적합하다.

Table. 1 Comparison between edge computing types

Edge Computing Type	FC (Fog Computing)	MEC	CC (Cloudlet Computing)
Device/ Location	Router/Switch, Access points, gateways	Servers in BS or CO	Compact size data centers

Edge Computing Type	FC (Fog Computing)	MEC	CC (Cloudlet Computing)
Logical Proximity	One/multiple hops	One hop	One hop
Ability for real-time interaction	High	Medium	Medium
Multi-tenancy	Supported	Supported	Supported
Computation power	Medium	High	High
Power Consumption	Low	High	Medium
Coverage	Low	High	Low
Server Density	Medium	Low	High

Ⅲ. 오픈 소스 엣지 플랫폼 분석

3.1. 오픈 소스 엣지 플랫폼

최근 엣지 컴퓨팅을 위한 오픈 소스 플랫폼이 많이 등장했으며, 이를 기반으로 한 다양한 use case 시나리오를 지원하고 있다. 본 섹션에서는 현재까지 소개된 오픈 소스 엣지 플랫폼을 구조, 특징 관점에서 분석 제시한다. 이를 통해 특정 유스 케이스를 지원하는 최선의 오픈 소스 엣지 컴퓨팅 플랫폼을 찾을 때 유용한 정보를 제공하고자 한다.

첫 번째 플랫폼은 Linux Foundation에 의해 지원되는 엣지 스택인 Akraino 이다 [9]. Akraino의 목표는 Akraino 커뮤니티에서 생성한 다양한 사용 사례에 최적화된 엣지 소프트웨어 스택을 만드는 것이다. Akraino의 이러한 다양한 사용 사례에 최적화된 E2E 스택을 blueprint라 정의하며, 이는 클라우드 아래 인프라 계층에서 상위 에지 오케스트레이션 계층에 이르기까지 에지 구현에 필요한 모든 계층을 포괄한다. Akraino는 무선 에지 클라우드, 통합 에지 클라우드, 원거리 분산 클라우드 등 다양한 에지 사용 사례에 구축 가능한 최초의 오픈 소스 플랫폼을 지원하였다. 사용자는 Akranino를 이용해 사용자 요구 사항에 따른 모든 분야의 사용 사례에 적용 가능한 엣지 구축을 위한 blueprint를 선택할 수 있다 [9].

그림 1은 Upstream 프로젝트와의 연계성 그리고 앞으로 추가될 기능들을 표시한 Akraino 엣지 스택의 구조를 나타낸다. 주황색은 Akraino와 관련된 upstream을 나타내며, 하늘색은 새롭게 추가된 기능들을 나타낸다.

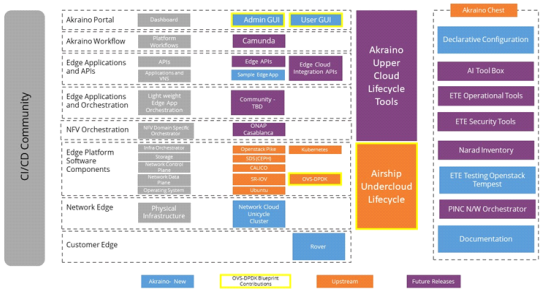

Fig. 1 Akraino edge stack architecture [9]

그리고 보라색은 앞으로 추가될 기능들을 의미한다 [9]. Akraino 엣지 스택은 5G, AI, Edge IaaS/PaaS, IoT를 포함한 다양한 사용 사례에 걸쳐 공급자 및 엔터프라이즈 에지 도메인 모두에 적용되는 Edge 용 인프라 및 응용 설계도를 이야기 한다.

AT & T, Intel 및 SK Telecom에서 참여한 Airship은 OpenStack Foundation 의해 탄생된 플랫폼이다. 처음부터 전체 클라우드 인프라를 부트 스트랩 하는데 사용 할 수 있는 편리한 엣지 노드 구축 도구이다 [10]. 그림 2 안에 Airship 구조에서 보여 지듯이 Airship은 Helm 차트로 이루어진 모든 플랫폼을 처리할 수 있을 뿐만 아니라 YAML 파일 내에서 간단한 변경을 통해 인프라에 대한 지속적인 업데이트를 지원할 수 있다 [10].

인프라는 YAML 파일을 통해 관리되며, 구축 및 업데이트를 위한 하나의 워크플로우가 존재한다. 플랫폼을 자동화하기 위해 복잡한 오케스트레이션 툴을 개발할 것을 요구하지 않는다. Containers 및 Helm 차트는 Airship 자체를 포함한 모든 소프트웨어의 기본 구축 단위로 소프트웨어 오케스트레이션 로직을 엣지에 위치시킨다. Airship은 새 차트를 추가하는 것만큼 간단하게 소프트웨어 스택을 확장할 수 있다. 모든 버전을 포함한

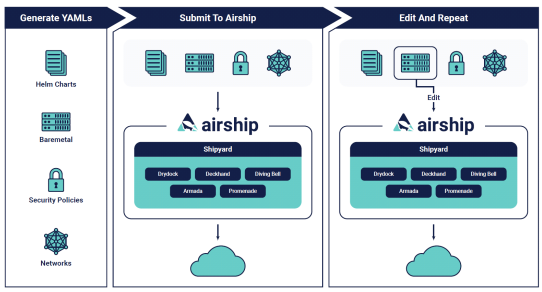

Fig. 2 Airship simplified architecture [10]

플랫폼 상태는 선언적으로 지정되며 Airship, Helm 및 Kubernetes는 매번 동일한 방식으로 컨테이너 구성을 정렬한다. 모든 작업과 서비스는 컨테이너로 실행되고 Kubernetes의 복원력을 최대한 활용하여 복원된다. Airship 구성 요소는 Helm 차트로 구축되고 Kubernetes 서비스로 실행되어, 이를 통해 시스템의 다른 소프트웨어 구성 요소처럼 업그레이드할 수 있다 [10].

위에서 설명한 Airship 엣지 스택 기능을 토대로 Airship 엣지 스택 구조의 특징을 정리하면 “simple”, “flexible”, “repeatable”, “resilient”, “self-hosed”로 요약되어질 수 있다 [10].

2018년 5월 StarlingX는 OpenStack Foundation에 의해 탄생하였다. StarlingX는 에지 및 IoT 사용 사례에 최적화된 통합 플랫폼을 제공한다 [11]. 그림 3에서처럼 OpenStack, Kubernetes, Ceph 등과 같은 더 많은 오픈 소스 구성 요소를 기반으로 하며, 안정성이 뛰어난 에지 인프라 소프트웨어 플랫폼이다. 호스트 관리(host management), 오류 관리(fault management), 서비스 관리(service management), 소프트웨어 관리(software management)와 같은 향상된 기능을 제공한다[11]. 그림 3의 엣지 스택을 기반으로 원격 엣지 환경을 관리하기 위한 호스트에서의 노드 환경 설정, 서비스 관리, 원격 소프트웨어 업데이트 수행 등의 기능을 제공하며, 서버나 네트워크에 발생한 문제를 운영자에게 알리는 알림 기능을 제공한다. OVS-DPDK, SR-IOV를 포함한 여러 가속화 기술도 플랫폼 내부에 구현된다. 이러한 기능을 통해 StarlingX는 관리 효율성과 플랫폼 안정성을 향상시킬 수 있으므로 최단 대기 시간, 작은 설치 공간 및 확장성을 제공한다. 아키텍쳐 측면에서 StarlingX는 MEC와 Cloudlet Computing의 특성에 보다 부합한다. 가상화 자원을 기반으로 자원 프로비저닝 기능이 있기 때문이다. 사용자 응용 사례는 MEC 범주 안에 있다 [11].

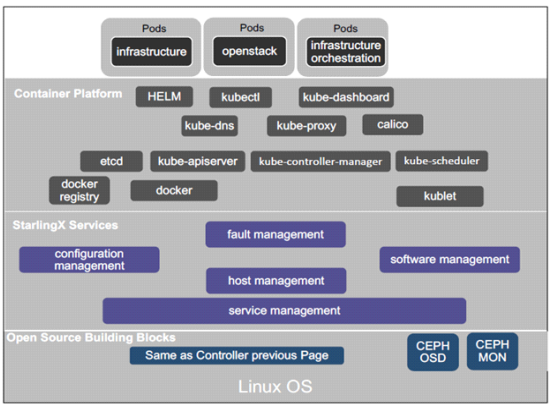

Fig. 3 StarlingX architecture [11]

다음으로 CORD은 SDN, NFV 기술을 활용하여 네트워크 엣지를 위한 데이터센터를 구축한다 [12]. 여러 오픈 소스 프로젝트를 통합한 CORD는 네트워크 운영자에게 혁신적인 서비스를 생성할 수 있도록 해주고, 개방형 프로그래밍이 가능한 플랫폼을 제공한다. 이를 바탕으로 엣지를 서비스 제공 플랫폼으로 전환하여 통신 사업자가 혁신적인 서비스를 제공할 수 있도록 해주었다 [12].

CORD는 내장 서비스 기능을 갖춘 에지 데이터센터를 구축하는데 필요한 모든 것을 통합하는 클라우드 네이티브 설계 원칙을 이용한다. 데이터센터 (CORD)는 기존 Central office를 컴퓨팅, 네트워킹, 스토리지를 위한 엣지 클라우드로 관리한다. AT&T에서 제안한 CORD는 그림 4와 같이 ONOS (Open Network Operating System)를 SDN (Software-Defined Network) 컨트롤러로 사용하고 XOS를 오케스트레이터로 사용하여 종단간 서비스 프레임워크를 제공한다. CORD는 다음과 같은 네 가지 소프트웨어 서브시스템으로 구성된다[12].

- PLATFORM: 공통 기본 계층인 PLATFORM 에는 각 스위치에 Stratum이 로드된 Kubernetes (컨테이너 관리시스템) 및 ONOS (SDN 컨트롤러)가 포함된다.
- PROFILE: PROFILE은 특정 POD 위에 동작시키기 위해 선택된 마이크로서비스와 SDN 컨트롤러 응용의 집합체라 이야기할 수 있다.
- WORKFLOW: WORKFLOW는 운영자 네트워크 안에 POD를 동작시키기 위해 필요한 통합 로직이다.
- CI/CD TOOLCHAIN: 특정 platform, profile, workflow 조합을 조립, 구축, 운영 및 업그레이드하는 데 사용된다.

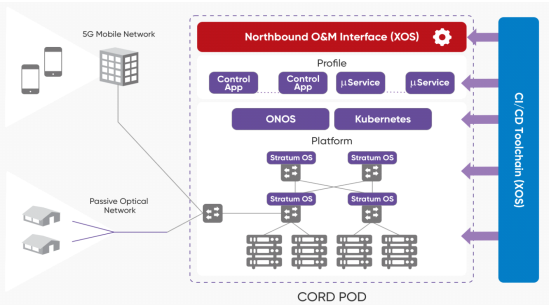

Fig. 4 CORD architecture [12]

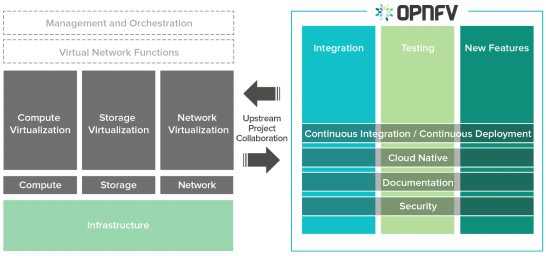

Fig. 5 OPNFV architecture [13]

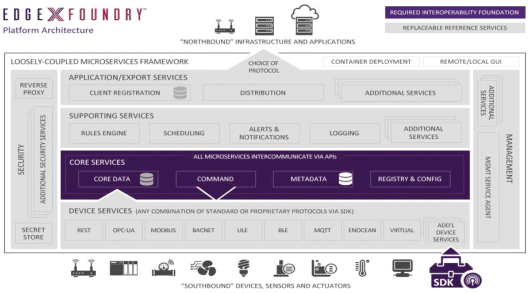

Fig. 6 EdgeX Foundry platform architecture [14]

다음으로 OPNFV는 무선 네트워크를 기반으로 엣지 컴퓨팅 기능을 향상시키며, MEC 구현의 한 종류라 할 수 있다. OPNFV는 성능 및 전력 효율성을 향상시켜 안정성, 가용성 및 서비스 가용성을 개선하고 포괄적인 플랫폼을 제공함으로써 NFV 서비스를 향상시키는 것을 목표로 한다 [13].

OPNFV는 그림 5와 같이 OpenDaylight, OVN, OpenStack, Kubernetes, Ceph Storage, KVM, Open vSwitch, Linux, DPDK 및 FD.io와 같은 업스트림 프로젝트 구성 요소를 통합하여 NFV (NFV Infrastructure) 및 VIM (Virtualized Infrastructure Management) 구축에 중점을 둔다. 또한 NFV 구성 요소들에 API를 제공하는 능력은 VNF 및 MANO 구축을 위한 기초 인프라를 형성한다. OPNFV는 ODN (OpenDaylight)을 SDN 컨트롤러로 사용하고 ONAP (Open Network Automation Platform)를 오케스트레이터로 사용한다 [13].

OPNFV 구조는 Software Platform, Tooling and testing, Applications 기본 블록으로 구성되고, OPNFV 소프트웨어 플랫폼은 다음 두가지 요소로 구성된다.

- Virtual Infrastructure Management (VIM): OPNFV는 OpenStack 및 Kubernetes를 이용해 가상 인프라를 관리 한다. OpenStack은 클라우드 관리 시스템 및 관련 기술을 제공하는데, 모든 기술이 NFV 도메인과 관련이 있는 것은 아니다. OPNFV는 OpenStack의 하위 세트를 이용해 설치하고, 컨테이너 오케스트레이션 엔진인 Kubernetes를 이용한다. Kubernetes는 CNF (Cloud Native Network Functions) 용 VIM으로 설계된다.
- Operating Systems: OPNFV는 모든 대상 시스템에서 Linux를 사용하며 여기에는 Ubuntu, Centos, SUSE Linux가 포함된다.

EdgeX Foundry는 Linux Foundation 아래의 또 다른 엣지 플랫폼 구조이며, 산업 IoT 분야에 적합한 플랫폼이라할 수 있다 [14]. EdgeX Foundry은 엣지 프로토콜 표준에서 상호 운용성을 증가시킨 동시에 에지 분석, 데이터 오케스트레이션, 데이터베이스, 보안, 시스템 관리 같은 부분을 강화하고, IoT 엣지에서 필요에 따라 north, south 통신을 지원한다. EdgeX Foundry는 그림 6에서처럼 느슨하게 결합되어 계층화된 엣지 아키텍처로, 사용자가 솔루션 스택에 있는 호스트 장치 기능에 따라 에지 컴퓨팅 노드에 다양한 플러그 앤 플레이 마이크로 서비스를 구축할 수 있도록 해준다. 특히 그림 6에서 보여지는 바와 같이 장치 관리 및 다양한 통신 프로토콜을 모두 지원하므로 모든 종류의 장치와 통신하기에 적합한 플랫폼 구조이다 [14].

EdgeX Foundry는 설치 공간이 작기 때문에 게이트웨이 및 라우터와 같은 엔드 디바이스 내부에 위치하는 경우가 많다. 구조가 느슨하게 결합되어 있기 때문에 사용자가 자신의 컴퓨팅, 네트워킹 및 스토리지 장치를 개발하고 장치 내부에 배치하는 것이 편리하다. EdgeX Foundry는 다양한 액세스 장치에 위치함으로 인해 일반적인 FC (Fog Computing) 구현으로 분류 할 수 있다.
EdgeX Foundry의 기본 구조는 그림 6과 같으며, 다음처럼 크게 두 부분으로 구성된다[14].

- Required Interoperability Foundation (그림 6 안에 보라색 부분): 코어 서비스 (Core Services), 디바이스 서비스 (Device Services via SDK), 마이크로 서비스 배포 프레임워크 (Microservice Deployment Framework), 데이터 플로우를 위한 APIs 제공, (Foundational APIs for Data Flow), 시스템 관리 (System Management), 등록 및 구성(Registry and config) 기능을 담당한다.

• Optional Reference Services (그림 6 안에 회색 부분): 완전한 에지 소프트웨어 플랫폼을 구성하는데 필요한 레퍼런스 서비스를 제공한다. 따라서 개발자는 이러한 옵셔널 서비스를 부가하여 기능적으로 차별화된 서비스를 제공할 수 있으며, 원하는 대체 서비스로 변경할 수 있다.

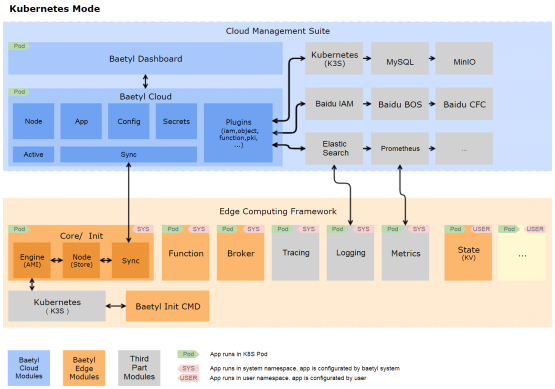

Fig. 7 OpenEdge architecture [15]

OpenEdge는 Linux Foundation의 또 다른 오픈 에지 컴퓨팅 프레임워크로 클라우드 컴퓨팅 및 데이터 서비스를 에지 장치로 확장하였다 [15]. OpenEdge는 일시적인 오프라인 서비스, 저지연 컴퓨팅 서비스 및 디바이스 연결, 메시지 라우팅, 원거리 동기화, 기능 컴퓨팅, 비디오 캡쳐, 상태 보고, 구성 관리와 같은 세부 기능을 제공한다.

OpenEdge는 새로운 엣지-클라우드 통합 플랫폼을 제공하기 위해 클라우드 및 엣지 운영 관리 시스템을 또한 제공한다. 이를 이용하여 노드, 어플리케이션 등과 같은 클라우드의 모든 자원을 관리하고 애플리케이션을 에지 노드에 자동으로 배포하여 다양한 에지 컴퓨팅 시나리오를 동작 시킬 수 있다. AI 머신 및 5G 도로 장치와 같은 최신 엣지 장치에 특히 적합하다 [15].

OpenEdge는 컨테이너 기반 서비스, 통신에 사용되는 MQTT 프로토콜을 통해 컴퓨팅 및 네트워킹을 위한 성능 데이터를 제공한다. 또한 최근 OpenEdge는 Kubernetes에 대한 지원을 추가하고 자체 에지 운영 체제를 구축하였다.

OpenEdge는 FC(Fog Computing)으로 분류할 수 있고, 그 구조는 그림 7에서처럼 Edge Computing Framework과 Cloud Management Suite로 구성된다 [15].

• Edge Computing Framework: Edge Computing Framework는 에지 노드의 Kubernetes에 의해 실행되며 다양한 기능을 제공하는 엣지 응용 프로그램을 관리, 구축할 수 있다. 응용 프로그램에는 시스템 응용 프로그램 (baetyl-init, baetyl-core, baetyl- function) 및 일반 응용 프로그램이 포함된다. 모든 시스템 응용 프로그램은 Baetyl에서 공식적으로 제공하므로 구성 할 필요가 없다.

• Cloud Management Suite: Cloud Management Suite는 노드, 어플리케이션, 구성 및 배포를 포함하여 모든 자원을 관리하는 것을 책임진다. 이러한 자원 관리는 기능 확장, 서비스 접속, 다양한 응용 제공을 가능케 하는 플러그 인 기능을 통해 실현된다. 따라서 Cloud Management Suite의 배포/구축은 매우 유연하게 적용될 수 있다. K8S/K3S을 지원하고 단일 테넌시 및 다중 테넌시를 지원한다. Cloud Management Suite가 제공하는 기본 기능은 엣지 노드 관리, 온라인 설치, 엣지와 클라우드 사이에 동기화, 노드 정보 및 상태 수집, 응용 구축 관리, 구성 관리 등을 포함한다.

Huawei 주도하에 탄생한 KubeEdge는 최초의 Kubernetes 기반 엣지 플랫폼이다 [16]. 기본 컨테이너화 된 응용 오케스트레이션 기능을 에지 호스트로 확장하는데 주로 사용된다. KubeEdge를 사용하면 사용자는 이미 내부에 장치 관리, 클라우드 동기화 및 서비스 유지 관리 키트를 적용하여 에지 사이트의 Kubernetes 기반으로 미니 클라우드를 쉽게 관리할 수 있다. KubeEdge는 설치 공간이 작기 때문에 게이트웨이와 같은 자원이 제한적인 환경에서 사용하기 용이하다. 따라서 KubeEdge는 일반적인 FC (Fog Computing)으로 분류할 수 있으며, key 구성 요소는 그림 8에 보이는 바와 같이 다음과 같다 [16].

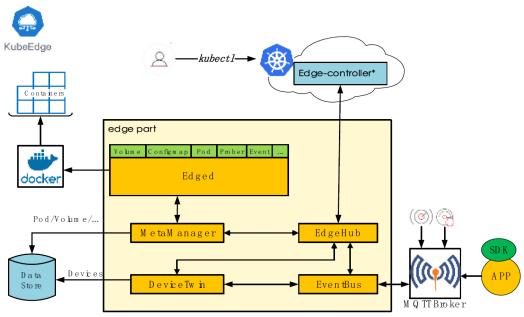

Fig. 8 KebeEdge architecture [16]

- Edged: Edged는 사용자 응용을 관리하기 위한 엣지 노드 위에 동작하는 하나의 에이전트이다.
- EdgeHub: EdgeHub는 클라우드 서비스와 소통, 클라우드 자원 업데이트, 엣지 호스트 및 장치 상태 변화 보고 역할을 하는 웹 소켓 클라이언트이다.
- EventBus: EventBus는 MQTT 서버와 소통하기 위한 그리고 타 구성 요소들에게 등록 및 출판 기능을 제공하기 위한 MQTT 클라이언트이다.
- DeviceTwin: DeviceTwin은 클라우드에 디바이스 상태를 저장하고 동기화하는 역할을 수행한다. 또한 응용들을 위한 query 인터페이스 기능을 제공한다.
- MetaManager: MetaManager는 Edged와 Edgehub사이에 메시지 프로세서이다. 또한 데이터베이스에 메타데이터를 저장하고 혹은 데이터베이스로부터 메타데이터를 가져오는 역할을 수행한다.

kubeEdge의 강점은 다음처럼 요약되어질 수 있다. 엣지와 클라우드 사이에 대역폭을 감소시키고 데이터의 보안 기능이 엣지에 위치함으로 인해 향상된다. 또한 사용자의 데이터 privacy를 보호한다. 개발자는 보통의 HTTP 혹은 MQTT 기반의 통신 프로토콜을 사용 할 수 있고, 엣지/클라우드 영역 어디에도 동작시킬 수 있기 때문에 개발을 단순화 시킨다. 또한 사용자는 클라우드 안에 보통의 클러스트 자원과 같이 엣지 노드를 위한 응용을 조직화하고, 디바이스를 관리할 수 있으며, 응용/디바이스 상태를 모니터할 수 있다. 마지막으로 엣지 노드에 복잡한 기계 학습 응용, 이미지 인식, 이벤트 처리 등 다양하고 높은 수준의 응용들을 동작시킬 수 있다 [16].

3.2. 오픈 소스 엣지 플랫폼 비교

표 2는 3.1절에서 구체적으로 묘사한 각 오픈 소스 엣지 플랫폼을 edge computing 종류, 다양한 특징(foundation, scope, layer, SDN, focus, version, infra) 관점에서 비교 분석한 것이다. 표 2 안에 각 오픈 소스 엣지 플랫폼의 특징은 3.1절 안에 설명 한바 있다. 표 2 안에 내용을 토대로 엣지 노드를 구축/구현하고자하는 산업계 엔지니어들에게 실제 목표로 하는 사용/응용 사례에 부합하는 특징을 갖는 최선의 엣지 플랫폼을 선택하는데 필요한 하나의 제반 지식을 제공하고자 한다.

Ⅳ. 결 론

엣지 컴퓨팅은 컴퓨팅 테스크를 사용자와 가까운 엣지 장치로 분산하거나 오프로딩하여 다양한 사용자 엣지 응용 시나리오를 만족시키기 위한 분산 컴퓨팅 패러다임이다. 엣지 컴퓨팅의 구현 종류로는 Mobile edge computing, Fog computing, Cloudlet computing이 있다. 본 논문에서는 엣지 컴퓨팅을 실제 구축하기 위해 필요한 현존하는 오픈 소스 플랫폼들을 묘사하였다. 각 오픈

Table. 2 Comparison between open source edge computing platforms

Edge Platform	Edge Computing Type	Foundation	Scope	SDN	Focus	Latest version
Akraino	Not classified	Linux Foundation	Development of edge solution to address Enterprise, and Industrial IoT	N/A	All-in-one edge stack	2.0
StarlingX	MEC or CC	OpenStack Foundation	Development of integrated edge solution optimized to IoT use cases	ODL	Industrial IoT and MEC	3.0
Airship	Not classified	OpenStack Foundation	Open edge computing framework	Calico	Openstack on Kubernetes	1.0
CORD	CC	Linux Foundation	Building of edge data-center and its framework	ONOS	MEC for residential, enterprise & mobile	6.0
OPNFV	MEC	Linux Foundation	Building of NFV and VIM to both cloud and edge	ODL	MEC for residential, enterprise & mobile	3.0
EdgeX Foundry	FC	Linux Foundation	Common framework for Edge solutions	N/A	Industrial IoT	4.0
OpenEdge	FC	N/A	Open edge computing framework	N/A	IoT	2.0
KubeEdge	FC	Linux Foundation	Extend native containerized application orchestration capabilities at Edge	N/A	IoT	1.3

소스 엣지 플랫폼에 대해 구조 및 특징들을 체계적으로 기술하고 오픈 엣지 플랫폼들을 비교 분석하였다. 본 오픈 소스 엣지 컴퓨팅 플랫폼의 묘사 및 비교 분석 내용을 통해 산업계 엔지니어들이 실제 엣지 노드 구현/구축을 위한 최선의 엣지 플랫폼을 선택하는데 필요한 하나의 제반 지식으로 활용되어질 수 있기를 기대한다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was funded and conducted under 「the Competency Development Program for Industry Specialists」 of the Korean Ministry of Trade, Industry and Energy (MOTIE), operated by Korea Institute for Advancement of Technology (KIAT). (No. P0012453, Next-generation Display Expert Training Project for Innovation Process and Equipment, Materials Engineers)

REFERENCES

[1] P. Mach, and Z. Becvar, “Mobile edge computing: A survey on architecture and computation offloading,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 19, no. 3,

[2] W. Yu, F. Liang, X. He, W. G. Hatcher, C. Lu, and J. Lin, “A survey on the edge computing for the Internet of Things,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 6900-6919, Nov. 2017.

[3] W. Shi, J. Cao, Q. Zhang, Y. Li, and L. Xu, “Edge computing: Vision and challenges,” *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 3, no. 5, pp. 637-646, Oct. 2016.

[4] Y. Mao, C. You, J. Zhang, K. Huang, and K. B. Letaief, “A Survey on Mobile Edge Computing: The Communication Perspective,” *IEEE Communicartions Surveys & Tutorials*, vol. 19, pp. 2322-2358, Aug. 2017.

[5] L. Tong, Y. Li, and W. Gao, “A hierarchical edge cloud architecture for mobile computing,” *IEEE International Conference on Computer Communications 2016*, pp. 1-9

[6] D. M. Shila, W. Shen, Y. Cheng, X. Tian, and X. S. Shen, “AMCloud: Toward a secure autonomic mobile ad hoc cloud computing system,” *IEEE Wireless Commun*, vol. 24, no. 2, pp. 74-81, Apr. 2017.

[7] B. Ismail, E. Goortani, M. Karim, and W. Setapa, “Challenges and opportunities in edge computing,” *2015 IEEE Conference on Open Systems*, pp. 24-29, Aug. 2015.

[8] Y. Kim, H. Yang, and J. Oh, “Edge Computing Open Source Project Trends,” *The Proceedings of the Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 30, no. 3, pp. 16-22, May. 2019.

[9] Akraino [Internet]. Available: https://www.lfedge.org/projects-old/akraino/.

[10] StalingX [Internet]. Available: https://www.starlingx.io/.

[11] Airship [Internet]. Available: https://www.airshipit.org/.

[12] OpenEdge [Internet]. Available: https://www.opennetworking.org/cord/.

[13] OPNFV [Internet]. Available: https://www.opnfv.org/.

[14] EdgeX Foundy [Internet]. Available: https://www.edgexfoundry.org/.

[15] OpenEdge [Internet]. Available: https://www.opencompute.org/.

[16] KubeEdge [Interent]. Available: https://kubeedge.io/ko/

임헌국(Huhnkuk Lim)

2020년 3월~현재 : 호서대학교 컴퓨터정보공학부 조교수
2015년 3월~2020년 2월 : 과학기술연합대학원대학교 HPC 및 데이터과학 전공 교수
2006년 3월~2020 2월 : 한국과학기술정보연구원 슈퍼컴퓨팅본부 책임연구원
2006년 2월 : 광주과학기술원 정보통신공학과 박사
2001년 2월 : 광주과학기술원 정보통신공학과 석사
1999년 2월 : 항공대학교 전자공학과 학사
※ 관심분야 : 사물인터넷, 엣지 컴퓨팅, Vehicular NDN, 통신 컴퓨팅 융합, 컨넥티드 차량

이희진(Heejin Lee)

2018년 3월~현재 : 호서대학교 컴퓨터정보공학부
※ 관심분야 : 엣지 컴퓨팅, 정보중심네트워킹