K8s DNP3.0 CIM Adaptor

김호중*, 조승근*, 김용성*, 최영*, 송병권*, 황지희**, 김경훈**, 전진홍**

*서경대학교, **한국전기연구원

hotteok@skuniv.ac.kr, wiw4477@skuniv.ac.kr, wiz@skuniv.ac.kr, cy@skuniv.ac.kr, bksong@skuniv.ac.kr, jhwang@keri.re.kr, kqh1001@keri.re.kr, jhjeon@keri.re.kr

K8s DNP3.0 CIM Adaptor

HoJung Kim*, SeungGeun Jo*, YongSeong Kim*, Young Choi*, ByungKwen Song*, JiHui Hwang**, GyeongHun Kim**, JinHong Jeon**

*SeoKyeong Univ., **Korea Electrotechnology Research Institute

요 약

오늘날에 운용되는 전력 관련 분산 서비스의 크기가 방대해짐에 따라 가상화를 통한 하드웨어와의 논리적인 분리를 추구하는 추세를 보이고 있다. 또한, 업계에서 데이터 통신 및 공유에 사용하는 프로토콜이 혼합되어 있어, 다른 장치 및 시스템 간의 상호운용성을 보장하기 위한 표준화된 공통 정보 모델과 미들웨어가 필요하다. 본 논문에서는 가상화 환경에서 전력 프로토콜 DNP3.0을 공통 정보 모델로 변환한 후, DDS 미들웨어로 전송하는 플랫폼을 구현하였으며, 이에 사용한 여러 DDS 미들웨어의 성능을 비교하였다.

Ⅰ. 서 론

컨테이너 가상화 기술은 애플리케이션 실행 환경을 가상화하는 기술로, 기존 가상 머신 대비 경량화된 실행 환경을 제공하여 빠르고 유연한 구현 및 세분화된 자원 공유가 가능하다는 장점이 있어 활용도가 높다. 컨테이너 오케스트레이션 플랫폼은 컨테이너화된 워크로드와 서비스의 자동화된 관리를 제공하며, 대표적으로 Google에서 개발한 Kubernetes가 있다. K8s라고도 알려진 Kubernetes는 선언적 기술을 통해 자동화된 배포, 확장, 로드밸런싱 등을 제공한다[1].

DNP(Distributes Network Protocol3.0은 1990년에 Westronic, Inc.(현재 GE Harris)사에 의해 개발되었으며, 1993년 'DNP3.0 Basic 4'프로토콜 상세 문서가 배포되고, DNP User Group이 결성되었다. DNP3.0은 개방적이고 공개적인 프로토콜로 RTU(Remote Terminal Unit), IED(Intelligent Electronic Device)와 마스터 스테이션 사이의 상호운용성을 확립하기 위해 개발되었다[2][3]. DNP3.0은 SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition) 시스템에서 사용되는 다양한 프로토콜 중 하나이기 때문에, 각기 다른 프로토콜을 사용하는 장치 및 시스템 간의 상호운용성을 보장하기 위해서는 표준화된 공통 정보 모델과 미들웨어가 필요하다. 또한 수많은 장치 및 시스템을 큰 비용 없이 운용 및 관리하기 위해서는 환경에 구애받지 않으면서 구축, 배포, 확장에 유리한 Cloud나 컨테이너화 등의 가상화 기술이 필요하다.

본 논문에서는 Proxmox VE(Virtual Environment) 기반으로 Private Cloud를 구성하고, DDS 미들웨어를 이용하여 DNP3.0을 사용하는 시스템들을 관리하기 위한 Kubernetes 환경을 구현하였다. DNP3.0 정보를 DDS로 전송하기 전 CIM Adaptor를 통해 CIM 정보로 매핑하는 과정을 거쳐, DNP3.0이 아닌 다른 SCADA 프로토콜을 사용하는 경우에 대한 상호운용성을 확보하였다. 모든 시스템을 컨테이너 기반으로 작성하여 어느 환경에서나 동일하게 실행할 수 있고, 더 나아가 Kubernetes 환경을 적용함으로써 자동화, 확장성, 자가 치유 등의 이점을 가지도록 구현하였다.

Ⅱ. 본 론

2.1 Proxmox VE

Proxmox VE는 Debian 기반의 오픈소스 Type1 Hypervisor이다. VM이나 Container를 실행하여 원하는 워크로드를 구동할 수 있으며, Proxmox SDN(Software Defined Network)을 통해 가상화된 시스템끼리의 네트워크 구성을 자유롭게 설정할 수 있다. Proxmox VE는 CLI뿐만 아니라, 리소스 모니터, 방화벽 등을 포함한 Web기반의 GUI또한 제공[4]하고 있어, Private Cloud를 구성하기 위한 플랫폼으로 자주 사용된다.

2.2 DDS

DDS는 OMG(Object Management Group)에서 정의한 통신 미들웨어 프로토콜 및 API 표준이다. DDS는 분산 환경에서 실시간 통신을 위한 데이터 중심 Publish/Subscriber 방식의 통신을 지원하며, 분산 데이터 처리 시스템의 개발 용이성, 성능, 확장성, 가용성 측면에서 강점이 있다. 각 DDS 객체에 원하는 QoS(Quality of Service)를 지정함으로써, 데이터가 어떻게 전달되는지에 대한 방식을 지정할 수 있다. 이러한 강점을 기반으로 국방, 교통, 항공, 의료 분야 등 다양한 산업 시스템에서 사용되고 있다[5].

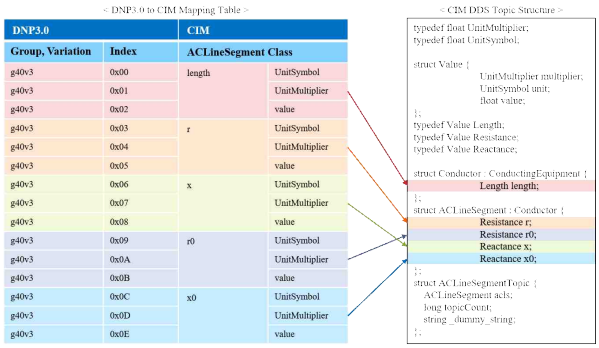
2.3 CIM

CIM은 EPRI(Electric Power Research Institute)의 CCAPI(Control Center Application Program Interface)연구 프로젝트에서 시작되어 현재는 IEC61970 시리즈로 등록되었다. CIM은 유틸리티 운용에 관여하는 전력유틸리티 사업체의 모든 주요 객체를 나타내는 추상 모델이며, 객체 클래스와 속성 그리고 그들 간의 관계로 전력 시스템 리소스를 표현하는 표준화된 방법을 제공한다. 따라서 CIM은 다양한 벤더들에 의해 독립적으로 만들어진 EMS(Energy Management System) 애플리케이션의 통합과 같이 제품이나 시스템 간의 정보 표현의 일관성을 제공한다[6].

2.4 CIM Adaptor 설계

DNP3.0 정보를 DDS로 전송하기 위한 Adaptor를 설계한다. DNP3.0 이 아닌 다른 프로토콜을 사용할 경우에 대한 확장성을 보장하기 위해,

DNP3.0 정보를 그대로 DDS로 전송하는 것이 아니라, DNP3.0 정보를 CIM 정보로 매핑한 후, CIM 정보를 DDS Topic으로 발행하는 과정을 거치도록 설계한다.



DNP3.0		CIM	
Group, Variation	Index	ACLineSegment Class	
g40v3	0x00	length	UnitSymbol
g40v3	0x01		UnitMultiplier
g40v3	0x02		value
g40v3	0x03	r	UnitSymbol
g40v3	0x04		UnitMultiplier
g40v3	0x05		value
g40v3	0x06	x	UnitSymbol
g40v3	0x07		UnitMultiplier
g40v3	0x08		value
g40v3	0x09	r0	UnitSymbol
g40v3	0x0A		UnitMultiplier
g40v3	0x0B		value
g40v3	0x0C	x0	UnitSymbol
g40v3	0x0D		UnitMultiplier
g40v3	0x0E		value

그림 1. DNP3.0 to CIM Adaptor Mapping

2.5 K8s DNP3.0 구현

Private Cloud 구현을 위해 사용한 PC의 성능은 다음과 같다.

- CPU : 12th Gen Intel(R) Core(TM) i7-12700 (20Cores)
- RAM : 32GB DDR5 Memory
- NIC : 1Gbps Network

또한 Kubernetes Cluster에서 각 Node에 부여한 자원은 다음과 같다.

- CPU : 4Cores
- RAM: 4GB

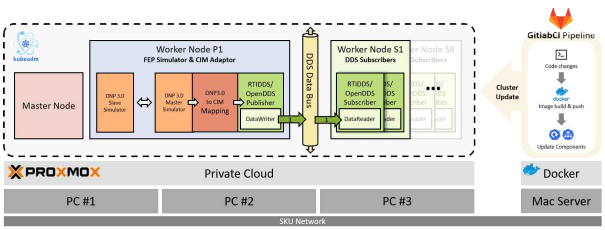


그림 2. System Architecture

그림 2는 K8s DNP3.0의 전체 구조를 나타낸다. Worker Node P(Publisher)1은 다음과 같이 구성되어 있다.

- DNP3.0 Master/Slave Simulator
- CIM Adaptor
- DDS Publisher

DNP3.0 Master Simulator는 DNP3.0 정보를 요청하고, DNP3.0 Slave Simulator가 그 요청에 대한 응답으로 DNP3.0 정보를 전달한다. CIM Adaptor는 DNP3.0 Master가 수신한 DNP3.0 정보를 그림 1에서 정한 매핑 규칙에 따라 CIM으로 매핑하고 이를 DDS Topic으로 변환한다. DDS Publisher는 변환된 Topic을 DDS를 통해 Subscriber에게 전달한다. Worker Node S(Subscriber)1부터 S8까지는 각 최대 3개의 DDS Subscriber로 구성되어 있어, Publisher로부터 CIM정보를 수신하고, 다른 서비스에서 연계적으로 사용할 수 있도록 구현하였다.

2.6 K8s DNP3.0 성능 분석

그림 2에서 제시된 구조에서 CIM으로 매핑된 DDS Topic을 전송할 때 사용하는 DDS 종류는 OpenDDS, RTIDDS 두 가지다. 아래에서는 각 DDS를 사용했을 때의 성능, 특별히 Subscriber가 여러 개인 상황에서의 성능을 측정하였다. 모든 측정은 Reliable Reliability QoS를 사용하여 Sample을 잃어버리는 일 없이 확정적으로 전달될 수 있도록 하였다.

그림 3은 Subscriber가 16개인 경우에서 Multicast와 Unicast를 사용하였을 때의 Throughput을 측정한 결과이다. 모든 구간에서 Multicast가 Unicast보다 Throughput이 높았으며, 두 Transport 각각 CIM Topic의 크기가 4kB 미만일 경우에는 RTIDDS가 OpenDDS보다 Throughput이 높았지만, 4kB 이상인 경우부터는 두 DDS 간의 성능 차이가 1% 미만이었다.

그림 4는 10kB 크기의 CIM Topic을 전송한다고 가정할 때, Subscriber의 수에 따른 Latency의 변화를 측정한 결과이다. Subscriber의 수가 OpenDDS는 8개에서 12개로 넘어갈 때, RTIDDS는 20개에서 24개로 넘어갈 때 Unicast보다 Multicast가 Latency가 낮아졌으며, 각 Transport마다 RTIDDS가 OpenDDS보다 Latency가 낮았다.

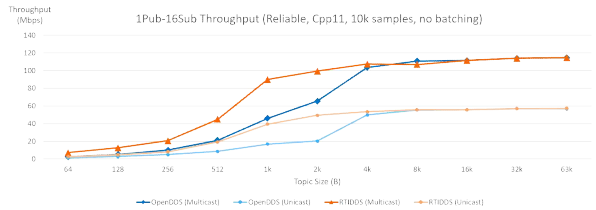


그림 3. 1Pub-16Sub Throughput Test Results

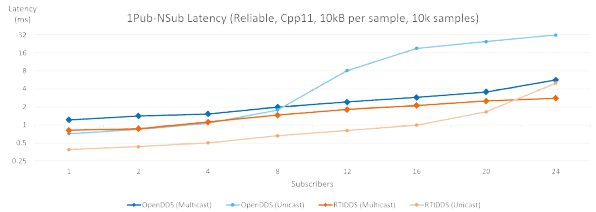


그림 4. 1Pub-NSub Latency Test Results

Ⅲ. 결 론

본 논문에서는 Kubernetes 환경에서 CIM Adaptor를 구현하였고 DNP3.0 정보를 CIM 정보로 변환하여 DDS로 전송할 수 있는 플랫폼을 구현하였다. 제안한 Cloud 기반의 K8s DNP3.0 은 가상화 환경에서 구축했기 때문에 배포 환경에 구애받지 않으므로, 어느 환경에서나 동일하게 실행할 수 있고, Cloud 환경이 가지는 확장성과 Kubernetes 환경이 가지는 관리의 자동화 등의 이점도 동시에 가질 수 있다. 또한 DDS Implementation 중 OpenDDS와 RTI Connext DDS를 사용한 성능을 비교하여, 비슷한 구조를 가지는 플랫폼을 구현하고자 할 때의 참고가 될 수 있는 자료를 제공한다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20225500000060)

참 고 문 헌

[1] Kubernetes, (https://kubernets.io)

[2] DNP User Group, “Overview Of DNP3 Protocol”, (https://www.dnp.org/About/Overview-of-DNP3-Protocol“)

[3] DNP User Group, “DNP3 Protocol Primer”

[4] Proxmox, “Proxmox VE Features”, (“https://www.proxmox.com/en/proxmox-virtual-environment/features”)

〔5〕 OMG Data Distribution Service Version 1.4 Apr. 2015.

〔6〕 Energy management system appliation program interface (EMS-API) - Part 301 : Common Information Model(CIM) Base