

Edge 환경에서 DDS 기반 IoT 센서 데이터 수집에 대한 아키텍처 설계 및 성능 분석에 관한 연구

손현서, 김가람, 이정섭, 신병철, 이상웅*

*(주) 인텔렉투스

{hs.son, ran.kim, sub.lee, bc.shin, *eric.lee}@int2.us

A Study on the architecture design and performance analysis for DDS-based IoT sensor data collection in edge environment

Son Hyeon Seo, Gim Ga Ram, Lee Jung Sup, Shin Byung Chul, Lee Sang Woong*

*Intellectus Corporation

요 약

사물인터넷(Internet of Things, IoT) 환경에서는 수많은 센서 디바이스로부터 데이터를 수집하고 분석하는 과정에서 실시간성과 신뢰성이 중요한 요소로 작용한다. 하지만 기존의 중앙집중형 구조(MQTT/HTTP 기반)는 네트워크 지연, 클라우드 의존성 등으로 인해 에지 환경에서의 실시간 대응력 저하라는 문제점을 안고 있다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해, edge 환경에서 Data Distribution Service(DDS)를 기반으로 한 IoT 센서 데이터 수집 아키텍처를 제안한다. 제안된 시스템은 Publisher-Subscriber 모델을 바탕으로 하여 데이터 전송의 유연성과 확장성을 확보하고, 다양한 QoS 설정을 통해 네트워크 환경에 따른 최적의 통신 품질을 보장할 수 있다. 이를 통해 통신과정에서 지연시간을 줄이고 데이터 손실을 최소화하며, 향후 실제 IoT 환경에 적용 가능한 아키텍처를 제공한다. 본 논문에서는 제안하는 아키텍처의 설계 과정을 설명하고, 이를 통해 기대할 수 있는 기술적 효과와 적용 가능성에 대해 논의한다.

I. 서 론

IoT 기술이 급속하게 발전하면서 다양한 센서를 활용하여 스마트 팩토리, 스마트 시티 등 다양한 분야에 적용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만, IoT 환경에서 데이터를 수집하는 구조는 대부분 브로커나 게이트웨이를 기반으로 한 중앙집중형 아키텍처(MQTT, HTTP 등)로 설계되어 있다. 따라서, 통신지연, 네트워크 병목현상, 등의 문제가 발생한다. 이러한 구조적 한계는 특히 저전력 디바이스가 운영되는 edge 환경에서 실시간 대응력 저하와 안정성 저하로 이어질 수 있다. [1]

이러한 문제를 해결하기 위해서는, 중앙 시스템에 의존하지 않고 edge 환경에서 직접 데이터를 분산 수집 및 처리할 수 있는 구조가 필요하다. 특히, 저지연과 신뢰성 있는 데이터 전송을 보장하기 위해서 오버헤드가 낮은 아키텍처가 요구된다. 본 연구는 이러한 필요성에 주목하여, Data Distribution Service(DDS)를 기반으로 한 분산형 IoT 센서 데이터 수집 아키텍처를 설계하고, 이를 실제 환경 또는 시뮬레이션을 통해 구현 및 분석하고자 한다. [2]

본 연구는 Edge 환경에서 DDS 를 적용하여 안정적이고 효율적인 IoT 데이터 수집을 위한 설계 방향을 제시함으로써, 차세대 IoT 인프라 구축에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

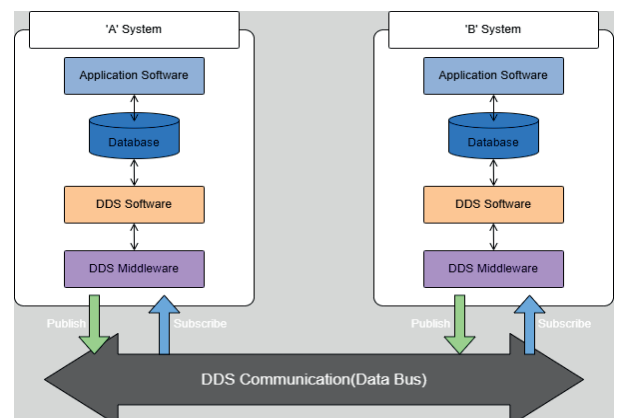
II. 본론

본 장에서는 DDS 의 다양한 QoS 설정(Best-effort vs Reliable, History, Durability 등)을 비교하고, 기존 MQTT/HTTP 기반 중앙집중형 구조와의 성능 차이를

지연 시간 관점에서 분석한다. 이를 통해 DDS 기반 분산 구조의 실효성과 실제 IoT 환경에의 적용 가능성을 검토하고자 한다.

2. 1. DDS 개요 및 특징

DDS 는 Object Management Group(OMG) 표준을 따르는 기반의 데이터 중심적인 통신 미들웨어이다. <그림 1>처럼 DDS 의 주요 특징으로는 Pub-Sub 모델, Quality of Service(QoS) 정책, RTPS 기반 통신, 브로커리스 구조를 들 수 있다. 토픽을 기준으로 Pub-Sub 방식을 통해 데이터를 송수신하여 확장성과 유연성이 뛰어나며 다양한 QoS 설정을 통해 신뢰성, 데이터 지속성, 이력 저장 등의 통신품질을 세밀하게 조정할 수 있다. 또한, 브로커가 없어 노드 간 직접 통신이 가능해 edge 환경에 적합하여 IoT, 로봇, 자율주행 등의 분야에 많이 적용하고 있다.



<그림 1> Structure of DDS system

2. 2. DDS 기반 IoT 센서 데이터 수집 아키텍처 설계

<그림 2> edge 환경에 적합한 DDS 기반의 IoT 센서 데이터 수집 아키텍처를 제안한다. 각 edge node 에는 여러 개의 IoT 센서를 장착하여 동작 중이며 edge node 수집한 IoT 센서 데이터를 payload 에 담아 서버로 전송하는 구조이다. 본 논문에서는 edge node 에서 서버로 데이터를 전송하기 까지 걸린 시간을 IoT 네트워크에서 가장 많이 사용하는 MQTT 통신과 DDS 통신을 비교하여 총 소요시간을 비교한다.

2. 3. 실험결과

DDS 기반 IoT 센서 데이터 수집 아키텍처의 통신 성능을 검증하기 위해, 데이터 전송 수량과 QoS 설정에 따라 MQTT 및 DDS 의 총 전송 시간을 비교 분석하였다. 실험은 데이터 크기 100 byte 를 기준으로 진행되었으며, 전송 데이터 수량은 각각 1 개, 10 개, 50 개, 100 개로 설정하였다. QoS 설정은 0(Best-effort)과 1(Reliable) 두 가지로 구분하여 각각의 성능 차이를 관찰하였다. 각 통신방법의 수치는 같은 실험을 10 번 반복하여 평균을 내어 기록하였다.

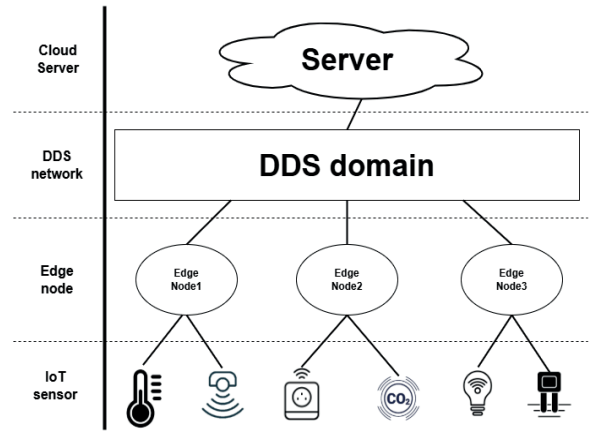
<표 1>에서 볼 수 있듯이 먼저 메시지 수에 따른 QoS 0 (Best-Effort) 과 QoS 1 (Reliable)의 차이는 낮았으나 QoS 1 일 때 소요시간이 소폭 증가함을 볼 수 있으며 설정에 따른 메시지 유실은 없었다. 이는 대량의 메시지가 메시지의 크기가 증가하면 차이가 훨씬 더 커질 것으로 보인다.

또한, 메시지 전송 개수의 따른 비교는 메시지 수가 증가함에 따라, 두 통신 모두 소요시간이 증가함을 볼 수 있다. 하지만 DDS 통신이 MQTT 통신에 비해 평균적으로 20~30% 더 적은 시간이 소요되었고 대량의 메시지를 활용하는 환경에서는 DDS 가 훨씬 더 우수한 성능을 보여줄 수 있다는 결과를 보여준다.

실험결과를 종합하면, DDS 기반 아키텍처는 실시간 데이터 전송에 있어 MQTT 기반 구조보다 우수한 성능을 보여주고 있으며, 특히 낮은 지연시간에 대한 특성이 두드러진다. 그리고 메시지 전송 수가 증가하더라도 DDS 의 전송 지연이 지속적으로 낮게 유지되는 점은, 에지 환경에서의 실시간 데이터 처리 요구사항을 충족하는 통신이라고 할 수 있다. 또한, QoS 설정에 따른 오버헤드는 양 프로토콜 모두에서 미미하지만, DDS 가 전반적으로 더 낮은 전송 시간을 기록함으로써 높은 효율성과 안정성을 보여주었다. 따라서, 제안한 DDS 기반 IoT 센서 데이터 수집 아키텍처는 중앙집중형 프로토콜 대비 저지연 전송, 안정적인 QoS 보장이 가능한 분산형 시스템 구현에 적합한 대안임을 실험 결과를 통해 확인할 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 기존 중앙집중형 IoT 센서 데이터 수집 방식이 가지는 지연, 네트워크 의존성 문제를 분석하고, 이를 해결하기 위한 방안으로 DDS 기반 분산형 IoT 센서 데이터 수집 아키텍처를 제안하였다. 제안된 아키텍처는 pub-sub 구조의 통신방법으로 edge 환경에서도 자율적이고 안정적인 데이터 전송을 가능하게 하며, 다양한 QoS 설정을 지원해 신뢰성과 유연성을 동시에 확보할 수 있는 특징이 있다.



<그림 2> DDS based IoT system architecture

| 데이터 갯수 | QoS | MQTT | DDS |
|-----------|----------------|------|-------|
| 1 | 0(Best-effort) | 0.8 | 0.017 |
| | 1(Reliable) | 0.87 | 0.022 |
| 10 | 0 | 154 | 109 |
| | 1 | 155 | 110 |
| 50 | 0 | 779 | 599 |
| | 1 | 817 | 608 |
| 100 | 0 | 1586 | 1212 |
| | 1 | 1623 | 1223 |

<표 1> MQTT and DDS data transfer time

이를 바탕으로 향후 연구에서는 실제 환경에서의 구현 및 시뮬레이션을 통해 대규모의 데이터가 사용되는 환경에 적용하여 더욱 안정성 있는 시스템을 구축할 수 있을 것으로 기대되며, 산업용 IoT, 스마트 시티, 스마트 팩토리 등의 다양한 분야에 적용할 수 있을 것으로 예상된다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2025 년 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2023-00277078, 자율주행을 위한 다중다중 센서 융합의 인공 신경망 구동 최적화 및 통합 인지 SW 기술 개발)

참 고 문 헌

- [1] M. -H. Ho, H. -C. Yen, M. -Y. Lai and Y. -T. Liu, "Implementation of DDS Cloud Platform for Real-time Data Acquisition of Sensors," 2021 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS), Hualien City, Taiwan, 2021, pp. 1-2,
- [2] 오홍기, 박상현, 김예원, 김종익, and 최훈, "효율적인 IoT 데이터 수집을 위한 분산 저장 에지 노드 설계 및 데이터 파이프라인에 관한 연구," 한국통신학회 학술대회논문집, pp. 317-318, 경북, 2022-11-16.
- [3] 이학훈 and 고대식, "JMS 및 DDS 기반 미들웨어의 데이터 전송효율 비교 분석," 한국정보기술학회논문지, vol. 18, no. 8, pp. 73-80, 2020. (10.14801/jkiit.2020.18.8.73)