

# 혼합형 출판-구독 메시징 시스템 구조 제안 및 연동 기법

민 경 준\*, 배 민 호\*, 박 규 동\*\*, 오 상 윤<sup>o</sup>

## Hybrid Messaging Architecture and Interfacing Scheme

Kyoung-jun Min\*, Min-ho Bae\*, Gyu-dong Park\*\*, Sang-yoon Oh<sup>o</sup>

### 요 약

전술 네트워크 및 IoT 환경과 같이 컴퓨팅 자원과 네트워크 대역폭이 제한적인 기기들 간 통신을 수행하는 경우, WAN 규모 메시지 교환에서 발생하는 대용량 메시지 전송으로 인해 P2P 기반 출판-구독 통신의 확장성이 제한받는 문제가 발생한다. 또한 브로커 기반의 구조를 적용할 경우에는 단일 장애점 문제로 인해 네트워크 전체의 통신 단절 문제가 발생할 가능성이 높아진다. 이러한 문제를 극복하기 위해 P2P와 브로커 구조를 혼합하여 사용하는 혼합형 출판-구독 메시징 시스템이 제안되었으나, 현재까지의 제안들은 P2P 중심의 통합-연동들이며 토픽관리 등과 같은 연구가 부족한 상황이다. 본 논문에서는 효과적인 혼합형 출판-구독 메시징 시스템 구조를 제안하고, 두 개의 서로 다른 소프트웨어 시스템을 연동하기 위해 API와 큐 기반의 연동 기법을 제안한다. P2P 기반의 출판-구독 미들웨어 표준인 DDS와 브로커 기반의 출판-구독 미들웨어 표준인 MQTT 브로커를 통해 혼합형 출판-구독 메시징 시스템을 구현하여 본 구조의 성능을 평가하였다.

**Key Words** : Publish-subscribe paradigm, P2P messaging, broker messaging, interfacing, message queue

### ABSTRACT

Publish-subscribe messaging paradigm is a popular event dissemination model for tactical communication environment and IoT communication environment. However, when it is applied to WAN, the network can suffer from either scalability problem caused by high network traffic to maintain auto-discovery capability for P2P or fault-tolerance problem caused by a single-point of failure issue of a broker. A hybrid messaging system architecture is proposed to resolve these problem, however the proposed architectures so far are integrations where P2P is the core and the other is attached to it. Thus, the current hybrid messaging architectures are limited to fully utilize benefits of hybrid architecture. In this paper, we proposed a hybrid messaging architecture where two messaging systems are integrated equally focused. In this proposal, we also proposed a interfacing scheme with API and queue to provide loosely coupled interfacing as well as a scheme to topic integration. We build a prototype with P2P based DDS and a broker based MQTT standard to evaluate the effectiveness of our proposed architecture and schemes.

\* 본 연구는 국방과학연구소의 국방 지휘통제 통합·연동기반기술 특화연구실 과제(UD180010ED)의 지원을 받아 수행되었습니다.

• First Author : Ajou University Department of Computer Engineering, leichtjoon@ajou.ac.kr, 학생(석사) 학생회원

<sup>o</sup> Corresponding Author : Ajou University Department of Computer Engineering, syoh@ajou.ac.kr, 교수, 정회원

\* Ajou University, minkang1@ajou.ac.kr, 연구원

\*\* Agency for Defense Development, iobject@add.re.kr, 책임 연구원, 정회원

논문번호 : 201911-295-0-SE, Received November 10, 2019; Revised December 29, 2019; Accepted December 30, 2019

## 1. 서론

출판-구독(Publish-Subscribe) 모델은 느슨한 결합(Loosely Coupled) 및 확장성(Scalability)이 뛰어난 장점으로 인해 다양한 환경의 메시징 시스템에서 사용되고 있는 대표적인 메시징 패러다임 중 하나이다. 출판-구독 모델 기반 메시징 시스템은 크게 메시지를 중앙화 된 서버에서 전달하는 브로커 기반 메시징 시스템 구조와 각 통신 기기별로 메시지를 전달하는 P2P 기반의 메시징 시스템 구조가 있다. 하지만 기존의 두 시스템 구조는, 네트워크 대역폭이 제한적이며 대부분의 통신 기기가 저전력으로 동작하는 특징을 지닌 사물 인터넷(Internet of Things), 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network) 및 군 전술 환경에서는 표 1과 같은 문제점이 존재한다.

이러한 문제점들을 해결하기 위해, 최근 멀티캐스트를 최대한 활용할 수 있는 LAN(Local Area Network) 규모 통신에서는 P2P 기반 메시징 전송을 사용하고, WAN(Wide Area Network) 규모에서의 통신은 브로커 기반 메시징 전송을 사용하는 혼합형(Hybrid) 출판-구독 시스템에 대한 연구들이<sup>[1-3]</sup> 진행되고 있다. 혼합형 구조를 통해 브로커 기반 구조에서 발생하는 단일 장애점 문제와, P2P 기반 구조에서 발생하는 통신 기기 성능에 의한 확장성 저하 및 WAN 규모 확장 시 발생하는 문제를 완화 할 수 있기 때문에, 실제 군 환경 및 다양한 사물 인터넷 환경에서의 적용이<sup>[4]</sup> 점차 증가하고 있다. 그러나 기존의 연구로부터 제안되어 온 혼합형 구조들은 서로 다른 출판-구독 구조를 통합함에 있어서 P2P 기반인 DDS(Data Distribution Service; 데이터 분배 서비스) 중심의 구조들을 제안하고 있어서 혼합형 구조가 제공할 수 있는 다양한 장점을 제공하지 못하고 있다. 혼합형 구조의 설계로부터 달성 가능한 장점의 예로서,

표 1. P2P 기반 구조 및 브로커 기반 구조의 비교  
Table 1. Comparison of P2P-based and broker-based structure

	P2P-based	Broker-based
Scalability	Determined by the performance of connected devices	Depends on broker's performance
Single Point of Failure	Not occur	Can be caused by broker failure
Network load at scale of WAN	The load on all connected devices increases	Only brokers have increased load

MQTT(Message Queuing Telemetry Transport; 메시지 큐잉 텔레메트리 트랜스포트) 기반 미들웨어의 경우, 사물 인터넷 환경에서 동작하기에 적합하도록 가볍고 단순한 메시지 구조를 가지고 있어서 혼합형 구조의 브로커의 통신에 이를 적용하는 경우 전체 네트워크의 통신량을 감소시키는 효과를 달성할 수 있다. 따라서, 서로 다른 출판-구독 모델을 기반으로 하는 두 메시징 미들웨어의 효과적인 통합(Seamless)을 위해서는 먼저 두 메시징 미들웨어 간 정보 연동을 위한 적합한 기법과 관련된 분석 연구 및 구현 기법이 필요하다.

본 논문에서는 혼합형 출판-구독 기반 메시징 시스템에서 서로 다른 미들웨어를 통합하여 운영하는 경우 발생하는 토픽 연동 및 메시지 상호운용성 문제를 해결하기 위한 효율적인 인터페이스의 설계와 구현 기법을 제안한다. 또한, 두 미들웨어의 연동과 메시지 유통의 제어를 위해 메시지 큐를 구현한 기법을 소개한다. 실험을 통해 P2P 기반 출판-구독 미들웨어인 DDS와 브로커 기반 출판-구독 미들웨어인 MQTT를 사용하는 혼합형(Hybrid) 출판-구독 시스템의 메시지 처리 성능을 평가하여, 제안하는 설계와 구현의 적절성을 판단하고자 한다. 이후 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 연구 배경 및 관련 연구를 소개하며, 3장에서는 혼합형 출판-구독 시스템의 연동에 대한 설계 및 구현에 대해 설명한다. 제안하는 구조의 효과에 대한 평가를 위한 실험 및 결과에 대해서 4장에 서술하고, 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 배경 및 관련 연구

### 2.1 연동 방식

분산된 두 소프트웨어 시스템을 연동시키기 위해 소프트웨어 공학 이론에서 사용하는 용어인 결합력(coupling) 그리고 시스템 관점에서의 정보전달 성능(communication performance) 측면에서 다양한 분석이 가능하다. 먼저 두 소프트웨어 시스템을 연동하기 위해 사용한 방식이 결합력이 높은 경우(예: 상대 시스템을 사용하기 위해 구체적이고 다양한 정보가 필요하다거나 프로그래밍 언어 및 운영체제들에 대하여 제한이 존재하는 등) 한 시스템의 변경이 다른 시스템의 운영에 영향을 미치게 된다. 반면, 느슨한 결합을 위해 인터페이스(interface)를 일반화하고 통신 방식에 있어서도 비동기 통신으로 두 시스템의 독립적인 구동이 가능하도록 하는 설계는 높은 정보전달 성능을 달성하기 어려운 구조인 경우가 많다. 따라서 주어진

시스템 및 운영 환경에 따라 적합한 연동 구조를 설계하고 구현하는 것은 분산된 소프트웨어를 연동하는데 반드시 필요하다.

시스템 간 통신 방식은 크게 동기와 비동기 방식으로 나뉘며, 두 소프트웨어 시스템의 협업 방식에 따라 요청-응답(request-response) 방식과 이벤트(event dissemination) 방식으로 나뉘게 된다. 짧은 요청들과 간단한 응답들의 경우, 통신량이 증가하더라도 동기식 요청-응답 방식으로 처리가 가능하다. 그러나 참여자의 수가 많아지는 경우에는 이 같은 방식의 복잡도가 매우 높아지게 되며, 메시지 교환 과정에서 발생하는 일정 오버헤드를 고려하더라도 이벤트 방식이 더 나은 통신성능(즉, 정보전달 성능)을 보인다. 언제 응답이 준비될지 모르는 환경에서는 비동기 방식이 우수한 경우가 많다.

본 논문에서 제안하는 연동 방식은 각 소프트웨어 시스템은 API(Application Programming Interface)를 제공하여 지역호출(local call)과 같은 원격실행이 가능하도록 하였다. 이는 DDS와 MQTT, 서로 다른 두 미들웨어가 서로의 기능을 사용하여 정보 전달을 수행하기 위해서 (RPC 혹은 자바의 RMI와 같은) 동기 방식의 직접 호출을 사용하는 것이다.

이와 같은 동기적 API 연동 방식이 가지는 단점으로는 호출의 성공여부에 따라 전체 시스템의 안정성이 취약해지는 문제가 있으며, 또한 특정 요청-응답 프로세스가 완료되지 않아서 전체 시스템의 성능이 나빠지는 문제가 있다. 본 제안에서는 이를 위해 인-메모리 데이터베이스(In-memory Database) 기반의 비동기 메시지 큐를 도입하여 위와 같은 문제를 해결하고자 하였다.

## 2.2 출판-구독 미들웨어 표준

### 2.2.1 P2P 기반의 DDS

DDS(Data Distribution Service)<sup>[5]</sup>는 OMG(Object Management Group)에 의해 규정된 토픽 기반의 출판-구독 미들웨어 표준이다. DDS는 그림 1과 같이 각각의 통신노드들이 중앙 브로커를 거치지 않고 P2P 통신을 기반으로 메시지를 교환하며, 자동 디스커버리(Auto-Discovery) 기능을 통해 같은 DDS 네트워크 내의 다른 참여자를 자동으로 식별하는 기능을 제공한다. 자동 디스커버리 기능이란 각 참여자가 디스커버리 메시지(네트워크 참여, 출판 또는 구독과 관련된 메타 정보)를 멀티캐스트 기반으로 네트워크에 전파하여 미들웨어에서 각 참여자에 대한 메타 정보를 자

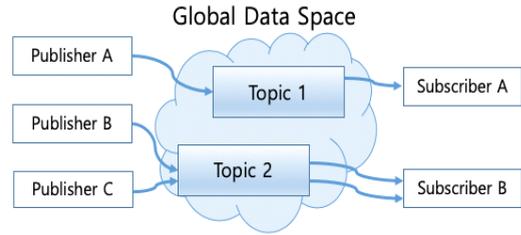


그림 1. P2P 기반의 DDS 미들웨어 구조도  
Fig. 1. Architecture of DDS Publish-Subscribe Middleware

동으로 관리하는 기능으로, 이를 통해 응용에서는 메시지를 교환할 때 다른 참여자들의 위치를 고려하지 않아도 된다는 특징을 가지고 있다. 이러한 특성들로 인해 DDS는 전술 네트워크에서 운용되는 군용 메시지 미들웨어와 같이 미션 크리티컬(Mission Critical)한 환경에서 활용하기에 적합한 미들웨어라고 여겨진다<sup>[6]</sup>. 그러나 자동 디스커버리 기능은 기본적으로 멀티캐스트가 지원되는 환경에서 동작하기에 적합하도록 설계되어 있기 때문에, 유니캐스트로 통신이 진행되는 WAN 규모의 네트워크 환경에서는 디스커버리 전파 및 메시지를 출판할 때 모든 구독자의 수만큼의 통신이 발생하여 상당한 통신 오버헤드가 발생 한다.

### 2.2.2 브로커 기반의 MQTT

MQTT(Message Queuing Telemetry Transport)<sup>[7]</sup>는 저사양의 기기에서 동작하기 위해 설계된 브로커 기반의 출판-구독 메시징 프로토콜이다. 그림 2는 브로커 기반의 미들웨어 구조를 나타내며, MQTT 프로토콜은 DDS와 다르게 메시지 송수신 과정이 브로커를 통해 수행되는 구조를 가진다. 또한 메시지 출판, 구독 등록, 메시지 QoS(Quality of Service) 설정과 같이 출판-구독에 필요한 최소한의 기능만을 제공하여 프로토콜 자체가 가볍고, 메시지 포맷의 구조가 단순하여 경량화된 메시지를 사용함으로써 통신에 소모하는 오버헤드가 크지 않다는 특징이 있다. N. Naik<sup>[8]</sup>가 분석한 실험 결과에 의하면, MQTT의 메시지 헤더의 크기는 AMQP(Advanced Message Queuing Protocol) 프로토콜<sup>[9]</sup> 대비 25% 수준이므로 WAN 환

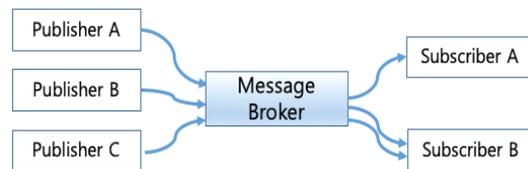


그림 2. 브로커 기반의 MQTT 출판-구독 미들웨어 구조도  
Fig. 2. Architecture of MQTT Publish-Subscribe Middleware

경에서 대량의 메시지를 전송할 때 AMQP보다 더욱 효율적인 통신이 가능하다는 장점을 가진다.

### 2.2.3 혼합형 출판-구독 시스템

기존의 제안된 혼합형 출판-구독 시스템들은 WAN 환경에서 대규모 자동 디스커버리에 의한 오버헤드 문제 해결에 집중하였다. 연구<sup>11)</sup>는 DDS 모든 노드들이 자동 디스커버리에 참여하는 대신 각 서버 네트워크 그룹(즉, LAN 그룹)에 관리자 노드(브로커)를 배치하여, 관리자들이 주기적으로 서로의 정보를 공유하는 가장 기본적인 혼합형 출판-구독 시스템 구조를 제안하였다. 연구<sup>13)</sup>는 DNS(Domain Name Server)가 동작하는 개념을 토픽 기반 출판-구독 시스템에 적용한 구조를 제안한 연구로, 다수의 그룹으로 분산되어 있는 DDS 네트워크의 전체 정보를 유지 및 관리하는 터미널 노드와 토픽의 이름을 계층적으로 분할하여 토픽의 계층에 따라 메시지 전달을 담당하는 토픽 네임 서버를 배치하였다. 해당 연구는 DDS 노드가 멀티캐스트에 의해 자신과 관련 없는 참여자의 정보까지 받아서 저장하던 기존 구조에서 토픽네임서버 및 터미널서버를 통해 디스커버리를 함으로서 DDS 노드의 불필요한 자원낭비 제거 하였다. 연구<sup>14)</sup>들에서의 브로커들은 WAN 규모에 걸쳐 분산되어 있는 참여자들의 식별의 최적화를 위해 사용되며, 참여자를 식별한 이후에는 기존 방식과 같이 WAN 규모의 메시지 전송은 노드가 직접 통신한다. 반면, 연구<sup>2)</sup>는 브로커가 참여자의 식별과 WAN 환경에서의 메시지 전달도 담당하는 구조를 제안하였다. 또한, 네트워크 과부하를 줄이기 위해 트리 기반의 오버레이 멀티캐스트 통신 기법을 브로커 노드에 적용하였다. 해당 구조에서는 멀티캐스트를 위한 트리 정보를 DDS 메시지의 헤더에 추가하고, 최초의 메시지 전송자는 트리의 첫 번째 레벨에 속한 노드에게 한 번의 메시지 전송만 수행한다. 이 후, 메시지를 수신한 노드는 자신의 하위 트리에 속한 노드에게 다시 메시지를 전달하는 과정을 반복하며 메시지가 네트워크 전체에 전파되는 방식으로 멀티캐스트 방식을 구현하였다.

기존의 기법들은 자동 디스커버리의 범위 제한을 통해 디스커버리 문제를 완화하였지만, 두 출판-구독 구조를 통합함에 있어서 여전히 DDS(P2P)기반 중심인 구조들로 설계 되어 있다. 따라서 서로 다른 출판-구독 모델을 기반을 적용하였을 때 달성할 수 있는 다양한 장점을 제공하지 못하고 있다.

## III. 혼합형 출판-구독 시스템

본 절에서는 제안하는 혼합형 출판-구독 시스템 구조에 대해서 설명한다. 본 논문에서는 서로 다른 출판-구독 시스템(P2P 기반의 DDS + MQTT 기반 브로커)을 기반으로 혼합형 출판-구독 시스템을 설계하였으며, 두 시스템 간 연동을 위해 API 방식을 기본으로 하고, 큐를 도입하여 두 시스템 간 연동이 약한 결합(loosely coupled)이 되도록 하였다. 또한 출판-구독 시스템에 핵심적인 요소인 토픽을 연동하기 위한 기법을 설명한다.

### 3.1 혼합형 출판-구독 시스템

기본적인 혼합형 출판-구독 시스템은 멀티캐스트의 활용이 가능한 LAN 내의 기기들은 P2P 통신을 수행 하면서, 멀티캐스트의 활용이 불가능한 외부 네트워크와의 통신은 각 LAN 마다 외부로의 메시지 전달을 담당하여 수행하는 브로커 노드를 배치하는 구조로 설계되어 있다. 하지만 1절에 설명 한 것처럼, 기존의 혼합형 출판-구독 시스템은 단일 미들웨어로 구성 되어 있기 때문에, 혼합형 구조로 달성할 수 있는 다양한 장점을 제공하지 못하고 있다.

기존 구조와는 다르게, 혼합형 출판-구독 시스템 구조에 그림 3과 같이 서로 다른 미들웨어로 구성되어 있는 경우, LAN 환경에서는 DDS 기반 미들웨어로 구성하여 확장성의 장점을, 그리고 브로커는 MQTT 기반 미들웨어로 구성하여 WAN단에서의 네트워크

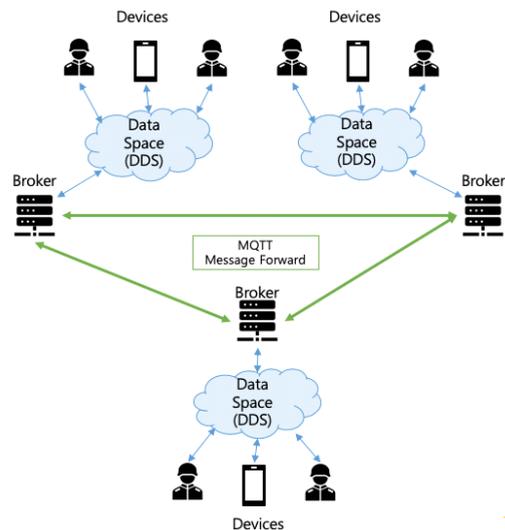


그림 3. 혼합형 출판-구독 시스템의 구조  
Fig. 3. Architecture of Hybrid Publish-Subscribe System

통신량을 줄일 수 있는 장점을 가진다. 해당 구조에서는 LAN 내의 DDS 노드 중에서 성능이 좋은 노드가 브로커의 후보군이 될 수 있으며, 브로커 노드는 LAN 내의 네트워크에서 출판되는 모든 토픽에 대해 구독하고, 필요한 경우 MQTT를 통해 외부 네트워크로 메시지 전달을 수행한다. 해당 구조는 브로커 노드가 장애 시, 후보군 노드 중 하나가 브로커 역할을 수행하여 단일 장애점 문제가 발생하지 않으며, 통신 기기들은 브로커의 위치를 인지하지 않아도 된다는 장점이 있다.

### 3.2 MQTT-DDS 시스템 간 연동

본 논문은 두 미들웨어 사이의 메시지 연동을 위해 XML 기반의 메시지 페이로드를 구성하며, 미들웨어 사이에서는 페이로드만을 교환 한다. 또한 페이로드를 교환할 수 있도록 프로세스 간 통신(IPC; Inter Process Communication)의 수단으로서 인-메모리 데이터베이스(In-memory Database) 기반의 메시지 큐를 구현하여 인터페이스 기능을 제공한다. 프로세스 간 통신 기법으로는 소켓(Socket), 세마포어(Semaphore) 또는 공유메모리(Shared Memory)와 같이 다양한 구현 수단이 존재하지만, 본 논문에서는 메시지 큐 자체의 안정성을 고려하기 위해 인-메모리 데이터베이스 기반으로 구현하였다. Redis<sup>[11]</sup>, Memcached<sup>[12]</sup>와 같은 인-메모리 데이터베이스 솔루션들은 메모리 접근 경쟁 상태(Race Condition)를 고려하여 구현 되었으며, 또 한 디스크에 메시지를 백업 해두는 영속성(Persistent) 기능을 지원하므로 브로커가 장애 발생 후 복구 할 때 전송이 미완료 된 메시지들의 재전송이 가능하다. 즉, 인-메모리 데이터베이스 기반 메시지 큐를 구현 할 경우 메모리 및 디스크 관점에서의 메시지 안정성을 보장할 수 있다. 따라서 본 논문은 인-메모리 데이터베이스 기반 시스템 중 가장 가볍다고 알려진 Redis를 통해 메시지 큐를 구현하여 혼합형 출판-구독 시스템에 적용하였다. 그림 4는 메시지 큐가 도입된 브로커의 내부 구조의 모습을 나타

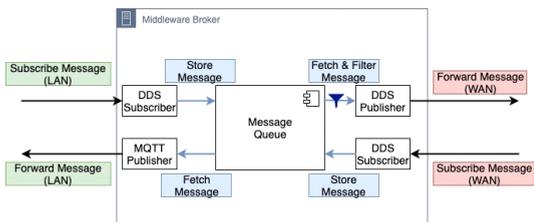


그림 4. 브로커의 내부 구조  
Fig. 4. Internal Architecture of Broker

낸다.

### 3.3 MQTT-DDS 시스템 토픽 연동

서로 다른 미들웨어를 동시에 사용 할 경우, 두 미들웨어 사이에서 출판 또는 구독중인 토픽 관리의 주체가 필요하다. LAN 환경의 경우는 DDS 기반으로 토픽이 관리되지만, WAN 환경에서의 통신을 담당하는 MQTT 기반 브로커는 DDS와 다른 독립적인 토픽 관리 구조가 존재한다. 따라서 DDS-MQTT 간의 새로운 토픽 관리 모듈이 필요하다. 이를 위해, 본 논문에서는 MQTT 기반 브로커 안에 DDS 표준에 포함된 프로토콜인 SEDP(Simple Endpoint Discovery Protocol)<sup>[10]</sup>을 사용하여 자신의 DDS 네트워크 내에 존재하는 토픽을 관리 하는 새로운 모듈을 구현하였다. SEDP는 자동 디스커버리 기능의 일부로, 각 DDS 노드가 메시지를 전달 할 때 필요한 DataWriter(메시지 출력을 위한 객체) 및 DataReader(메시지 구독을 위한 객체)와 같은 내장 토픽과 데이터 타입을 정의한 프로토콜이다.

그림 5는 LAN에 새로운 DataWriter가 생성 될 때 브로커가 출판(Publication) 데이터를 수집하여 구독을 등록하는 과정을 나타내고, 그림 6은 브로커가 LAN에 새로운 DataReader가 생성 될 때 구독(Subscription) 데이터를 수집하여 MQTT 미들웨어에 구독을 등록하는 과정을 나타낸다. 그림 5와 그림 6의 과정을 통해 브로커는 MQTT와 DDS의 토픽 연동을 수행하며, 연동 된 토픽을 이용하여 WAN 환경에서의 메시지 전달을 수행 할 수 있다.

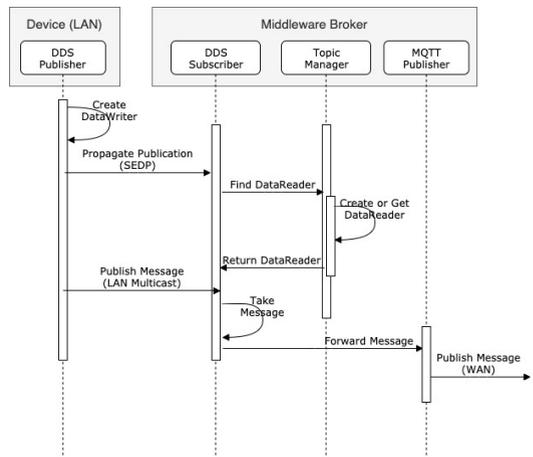


그림 5. 외부 브로커에게 메시지를 전달하는 과정 순서도  
Fig. 5. Sequence Diagram of LAN-to-WAN Message Forwarding

### IV. 실험

본 장에서는 제안하는 설계의 적합성을 평가하기 위해, 프로토타입으로 구현한 P2P 기반 출판-구독 미들웨어인 DDS와 브로커 기반 출판-구독 미들웨어인 MQTT 기반의 혼합형(Hybrid) 출판-구독 시스템의 메시지 처리 성능 평가 실험을 진행하였다. 성능 평가에 사용된 혼합형(Hybrid) 출판-구독 시스템 구현체는 오픈소스로 공개된 시스템들을 기반으로 구현하였다. DDS의 구현체로는 OpenDDS<sup>[14]</sup>를 사용 하였으며, MQTT 구현체로는 Mosquitto<sup>[15]</sup>를 사용 하였다. 표 2는 실험에 사용된 노드들의 성능을 나타내며, 통신 기기는 브로커 대비 낮은 컴퓨팅 사양을 가지는 기기들을 사영 하였다. 네트워크 환경은 전술 환경과 유사하도록 낮은 대역폭 환경을 가정하여 실험을 진행 하였다. 실험 노드의 배치는 서로 다른 지역의 두 개의 LAN으로 구성 하였으며, 각 LAN에는 3개의 통신 기기와 1개의 브로커 서버로 구성하였다.

명확한 메시지 처리 성능의 비교를 위해서 대조군으로 DDS-Only(DDS 미들웨어만으로 구성된 시스템)와의 메시지 처리 성능 평가를 진행 하였다. 이를 위해, DDS-Only 시스템과 제안 혼합형(Hybrid) 출판-구독 시스템에서의 중단 간 메시지의 전송 지연시간 측정하는 실험을 진행하였으며, 메시지의 전체 통신량에 따른 지연시간 변화를 측정하기 위해서 400B, 4kb, 40kb 크기의 Dummy XML 메시지를 구성하여 메시지 교환 실험을 수행하였다. 모든 실험은 10회 반복하여 평균값을 취하였다.

표 2. 실험용 노드의 사양  
Table 2. Specification of the nodes in the experiment

	Device	Broker
vCPU	2	8
RAM	2	16
Bandwidth	500Kbps	
Nodes	3	1

표 3. 측정된 메시지 통신량 변화에 따른 지연시간  
Table 3. Measured latency of each message size config.

Architecture-message size	Latency (ms)	Architecture-message size	Latency (ms)
Hybrid-400B	47.2	DDS Only-400B	49.5
Hybrid-4KB	51.4	DDS Only-4KB	54.5
Hybrid-40KB	72.3	DDS Only-40KB	77.4

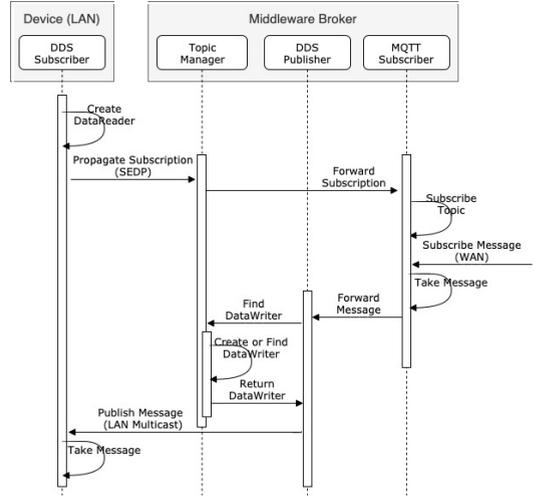


그림 6. 브로커가 전달받은 메시지를 DDS에 전달하는 과정 순서도  
Fig. 6. Sequence Diagram of WAN-to-LAN Message Forwarding

표 3은 출판하는 메시지 크기에 따른, DDS-Only 시스템과 제안 혼합형(Hybrid) 출판-구독 시스템에서의 메시지 크기 별 평균 지연시간을 측정 한 결과를 나타낸다. 실험 결과를 통해 제안 혼합형(Hybrid) 출판-구독 시스템의 프로토타입이 DDS-Only 대비 모든 경우에서 평균 지연 시간이 짧음을 확인할 수 있다 (400B : 4.6%, 4KB : 5.6%, 40KB : 6.5%). 이러한 성능 향상은 제안 혼합형(Hybrid) 출판-구독 시스템에서는 브로커 간 통신에서 MQTT 기반의 경량화 된 메시지 헤더 사용이 하나의 원인이며, 메시지의 크기가 감소하여 지연시간이 DDS-Only 시스템 보다 짧음을 알 수 있다. 또한 본 실험 결과는 한 번의 메시지 통신을 기준으로 진행 하였으며, 메시지 통신 횟수가 증가할수록 제안하는 혼합형(Hybrid) 출판-구독 시스템의 효율성은 더욱 증가 할 것이라고 예상된다.

### V. 결론

본 논문에서는 컴퓨팅 자원 및 네트워크 대역폭이 한정적인 통신 기기들이 주로 통신에 참여하는 WAN 규모의 혼합형 출판-구독 네트워크 구조에서 서로 다른 미들웨어 간 인터페이스 연동 과정에서 발생하는 문제를 해결하기 위한 MQTT와 DDS 프로토콜 기반의 인터페이스 설계 및 구현 기법을 제안한다. 또한 본 제안 기법의 우수성을 평가하기 위해 DDS-Only 기반의 프로토타입과의 메시지 처리 성능 비교 실험을 진행하였다. 성능 실험의 결과로서, 본 제안의 프

로토타입이 기존 DDS만으로 구성된 시스템 대비 평균적으로 5.6% 정도 더 낮은 지연시간을 확인하였다.

### References

[1] D. H. Cha, M. G. Kim, Y. Y. Kwon, G. J. Lee, and H. Choi, "The DDS Discovery mechanism for multi subnetwork environment," in *Proc. Conf. KISS 2008*, vol. 35, no. 6, pp. 251-252, Jun. 2008.

[2] H. Han, S. Ryu, and Y. Eom, "Tree-based overlay multicast scheme for DDS environments," in *Proc. KIISE KCC 2010*, vol. 37, no. 2b, pp. 161-164, Jeju Island, Korea, Jun. 2010.

[3] G. Yoon, J. Choi, H. Park, and H. Choi, "Topic naming service for DDS," in *Proc. ICOIN 2016*, pp. 378-381, Kota Kinabalu, Malaysia, Jan. 2016.

[4] N. Holzhauer, D. Milligan, R. James, and N. B. Soule, "A hybrid P2P and pub/sub messaging system for decentralized information management," in *Proc. MILCOM 2016*, pp. 1016-1021, Baltimore, USA, Nov. 2016.

[5] Object Management Group, "About the Data Distribution Service Version 1.4," Retrieved Nov. 2, 2019, from <https://www.omg.org/spec/DDS>

[6] RTInsights, *Why DDS is Essential for the Tactical Edge*, Retrieved Oct. 24, 2019, from <http://rtinsights.com/network-centric-warfare-edge-computing-cloudlets-dds>.

[7] A. Banks and R. Gupta, "MQTT Version 3.1.1," OASIS standard, pp. 29-89, 2014.

[8] N. Naik, "Choice of effective messaging protocols for IoT systems: MQTT, CoAP, AMQP and HTTP," *ISSE 2017*, pp. 1-7, Vienna, Austria, Oct. 2017.

[9] OASIS, *AMQP Version 1.0 / AMQP*, Retrieved Oct. 20, 2019, from <https://www.amqp.org/resources/specifications>

[10] RTI Com, *Discovery Implementation*, Retrieved Oct. 30, 2019, from <https://community.rti.com/static/documentation/connex-dds/5>.

2.3/doc/manuals/connex-dds/html\_files/RTI\_Connex-DDS\_CoreLibraries\_UsersManual/Content/UsersManual/Discovery\_Implementation.htm

[11] Redis Labs, *Redis*, Retrieved Oct. 29, 2019, from <https://redis.io>

[12] Dormando, *memcached - a distributed memory object caching system*, Retrieved Oct. 29, 2019, from <https://memcached.org>.

[13] Object Computing. Inc, *OpenDDS*, Retrieved Oct. 29, 2019, from <http://opendds.org>.

[14] Eclipse Foundation, *Eclipse Mosquitto*, Retrieved Oct. 29, 2019, from <https://mosquitto.org>

민 경 준 (Kyoung-jun Min)



2018년 2월 : 원광대학교 컴퓨터공학 학사  
 2018년 3월~현재 : 아주대학교 컴퓨터공학 석사과정  
 <관심분야> 고성능 컴퓨팅 (HPC), 분산 메시징 시스템, 클라우드 컴퓨팅

배 민 호 (Min-ho Bae)



2012년 2월 : 아주대학교 정보 컴퓨터공학 학사  
 2019년 8월 : 아주대학교 컴퓨터공학 박사  
 2019년 9월~현재 : 아주대학교 정보통신연구소

<관심분야> 고성능 컴퓨팅(HPC), 빅데이터, 병렬/분산 처리, 그래프 처리, 시멘틱 웹

**박 규 등 (Gyu-dong Park)**



2014년: 홍익대학교 컴퓨터공학 박사  
1996년~1998년: 국방정보체계 연구소  
1999년~현재: 국방과학연구소  
<관심분야> NCW, 지휘통제체계, 클라우드 컴퓨팅, 전술 미들웨어, 온톨로지

**오 상 윤 (Sang-yoon Oh)**



2006년: 미 인디애나 대학교 전산학 박사  
2006년~2007년: SK 텔레콤  
2008년~현재: 아주대학교 소프트웨어학과 교수  
<관심분야> 고성능 컴퓨팅 (HPC), 빅데이터 처리, 시멘틱 웹, 클라우드 컴퓨팅