

# 오버레이 네트워크를 이용한 DDS 경량화 기법

류상현, 김인혁, 엄영익  
성균관대학교 정보통신공학부  
e-mail : { shryu, kkojiband, yeom }@ece.skku.ac.kr

## Light-weight DDS using Overlay Networks

Sanghyun Ryu, Inhyuk Kim, Young Ik Eom  
School of Information and Communication Engineering  
SungkyunKwan University

### 요 약

최근 자료 송수신을 위한 분산 컴퓨팅 시스템들이 다양하게 연구되고 있다. 특히 센서를 이용하는 임베디드 어플리케이션들을 위한 분산 시스템들은 다양한 방면으로 연구되고 있다. 그 중 분산 미들웨어는 다양한 하드웨어 시스템과 응용 시스템 중간에 존재하며 유기적인 연결을 돕는 역할을 해왔다. 분산 미들웨어는 크게 원격 객체 관리를 위한 서버-클라이언트 모델, 메시지 패싱을 목적으로 하는 메시지 패싱 모델, 자료 분배를 목적으로 하는 출판-구독 모델로 나눌 수 있다. 이중 출판-구독 모델은 원하는 데이터를 선택하여 다양한 수신 단말에 전송하기에 최적화된 구조를 지닌다. 본 논문에서는 대표적인 출판-구독 모델인 Data Distribution Service 를 소개하고 특정 상황에서 발생할 수 있는 네트워크 집중화를 막기 위해 오버레이 네트워크를 이용하는 기법을 제시한다.

### 1. 서론

최근 하드웨어에 기반한 시스템들이 안전성 및 성능 향상의 한계를 보임에 따라 기존의 물리적 시스템에 가상 시스템을 유기적으로 연결시켜 보다 고성능이며 안전한 시스템들을 구축하는 Cyber Physical System 에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1][2]. 이런 CPS 연구 가운데서도 물리적 시스템을 보다 효과적으로 지원하기 위한 분산 미들웨어 기술 역시 함께 발전하고 있다.

분산 미들웨어는 다음과 같이 3 가지 모델로 분류된다. 첫 번째로 서버 클라이언트 모델은 원격에 존재하는 서버들에 접근하여 다양한 기능을 사용하는 것을 목표로 한다. 두 번째로 메시지 전송을 목적으로 하는 메시지 큐 모델은 큐를 이용하여 메시지를 효과적으로 분배한다. 마지막으로 출판-구독 모델은 메시지 전송을 위한 출판자와 메시지 수신을 위한 구독자를 정하여 메시지를 전송한다. 위의 미들웨어 모델 중 서버-클라이언트 구조는 일대일의 구조를, 메시지 큐 모델과 출판-구독 모델은 다대다의 구조를 지닌다. 본 논문에서는 출판-구독 모델 중 자료 전송을 주 목적으로 하는 Data Distribution Service 모델을 소개한다.

DDS 는 출판-구독 분산 미들웨어로서 다양하고 많은 종류의 자료를 다룬다. 다양한 출판자 개체들이 적당한 수의 구독자 개체들로 자료를 전송하는 경우

에는 적절하겠지만, 소수의 출판자 개체에 많은 수의 구독자 개체가 몰릴 경우 출판자 개체에 과도한 네트워크 트래픽이 문제될 수 있다. 본 논문에서는 이를 해결하기 위해 오버레이망을 이용해 효과적으로 자료를 전송하기 위한 기법을 제시한다.

본 논문은 다음과 같은 구조로 구성된다. 2 장 관련연구에서는 DDS 와 오버레이망에 대하여 알아본다. 3 장에서는 DDS 에서 단일 출판자 개체에 많은 수의 구독자가 몰릴 경우 트래픽 량을 감소시키기 위한 오버레이망 기법을 제안한다. 4 장에서는 본 논문에서 살펴본 분산 미들웨어와 제안 기법에 대하여 결론을 짓고 차후 연구할 점들에 대하여 생각해본다.

### 2. 관련연구

2 장에서는 대표적인 출판-구독 미들웨어 중 하나인 Data Distribution Service 에 대하여 소개하고, 오버레이 네트워크망을 이용하여 출판-구독 미들웨어에서 존재하는 문제점을 해결하기 위한 연구를 보인다.

#### 2.1 Data Distribution Service

Data Distribution Service[3][4]는 Object Management Group(OMG)[5]에서 제안한 자료 중심형 출판-구독 모델이다. DDS 는 대표적인 출판-구독 모델로서 자료 전송을 목적으로 하는 출판자들과 자료를 구독을 목적으로 하는 구독자들을 이어준다. 그림 1 은 DDS 의 구조를 나타낸다. 그림에서 보여지는 Global Data Space 는 하나의 도메인 영역으로 그 안에는 여러 호스트들이 각각 하나의 Participant 로서 참여한다. Participant 내에는 하나 혹은 여러 개의 Publisher 와 Subscriber 가 존재한다. 각 Publisher 는 실제 사용자가

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2010-(C1090-1021-0008))

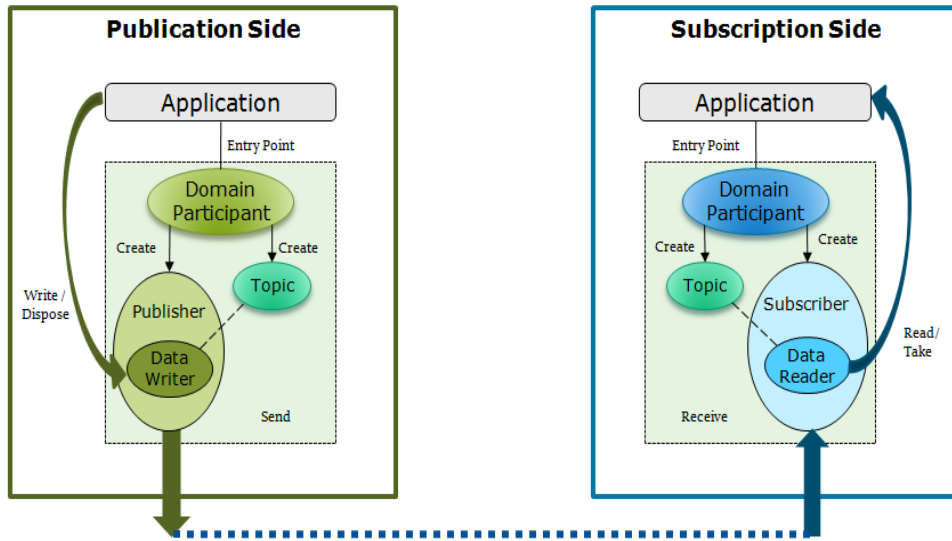


그림 1. Data Distribution Service 의 구조

자료를 출판하기 위한 Data Writer 를 포함하고 있으며 이와 유사하게 각 Subscriber 내에는 출판된 자료의 구독을 위한 Data Reader 가 존재한다. 각각의 Data Writer 와 Data Reader 는 출판 혹은 구독하려는 정보를 Topic 이라는 이름으로 객체화 시켜 정의한다. Topic 은 OMG 에서 제정한 Interface Definition Language(IDL)로 정의 된다. IDL 을 이용한 Topic 을 이용함으로써 분산 컴퓨팅에서 흔히 존재하는 Marshalling 없이 자료를 주고받는다.

또 다른 DDS 의 특징은 다양하고 폭넓은 QoS (Quality of Service) 지원이다. DDS 는 다양한 QoS 를 위하여 리소스 관리, 자료 스케줄, 자료의 사용 가능성, 자료의 전송 관리라는 큰 4 가지 항목에 대한 QoS 를 지원한다. 각각의 항목은 해당 항목에 대한 세부 항목으로 나뉘어 DDS 에서 자료 전송 시 출판은 원하는 출판자가 원하는 자료를 올바른 때 전송할 수 있게 해주고 구독을 원하는 구독자가 올바른 자료를 올바른 상황에 획득 할 수 있게 돕는다. 이런 특성은 DDS 가 물리적 변수가 존재하는 임베디드 환경에서 효과적인 분산 미들웨어로서 동작할 수 있게 한

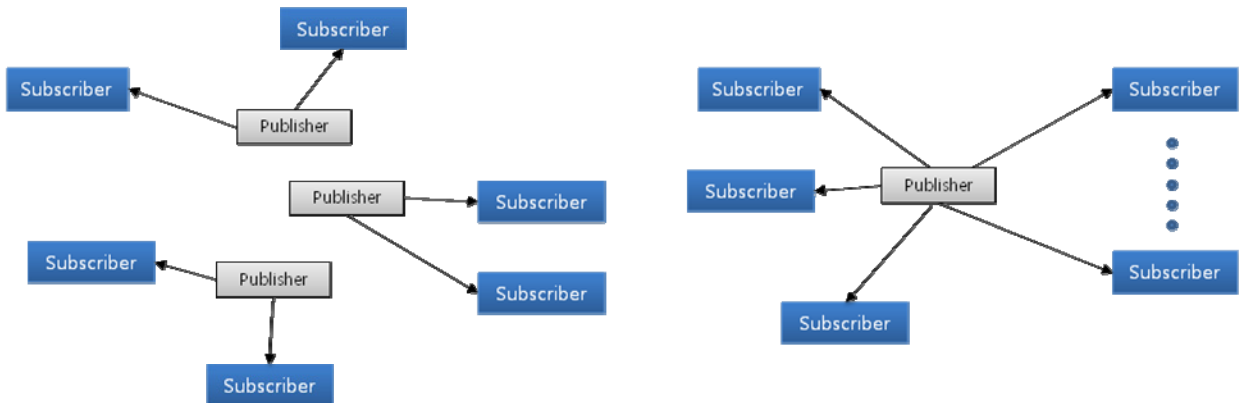
다.

그러나 DDS 는 출판자와 구독자 간의 통신을 위해 기본적으로 각 개체 간 P2P 통신을 사용한다. 그림 2 의 (a)와 같이 적당한 수의 출판자와 적당한 수의 구독자가 P2P 로 연결되어 자료를 전송할 경우 효과적인 자료 전송이 가능하다. 하지만 그림 2 의 (b)와 같이 소수의 출판자들에게 다수의 구독자들이 자료 전송을 요구할 경우 소수의 출판자들에게 전송을 위한 전송 과부하가 집중되는 단점이 있다.

### 2.2 오버레이 네트워크

오버레이 네트워크는 물리 네트워크 위에 성립되는 가상의 컴퓨터 네트워크로서 각 개체는 가상, 논리 링크로 연결될 수 있으며, 각 링크는 네트워크 안에서 많은 물리적 링크를 통하지만 물리적 링크를 고려하지 않는다. 이런 오버레이 네트워크를 이용하여 보다 나은 출판-구독 분산 미들웨어를 만들기 위한 연구들이 다양하게 진행중이다[6][7][8][9][10].

Gregory Chockler 외 3 인은 다수의 Topic 을 이용하는 출판-구독 분산 미들웨어에서 보다 효과적인 자료 전송을 위하여 오버레이 네트워크를 이용하는 기법을



(a) 각 출판자 별로 적절한 수의 구독자

(b) 소수의 출판자에 다수의 구독자가 연결

그림 2 DDS 출판자와 구독자

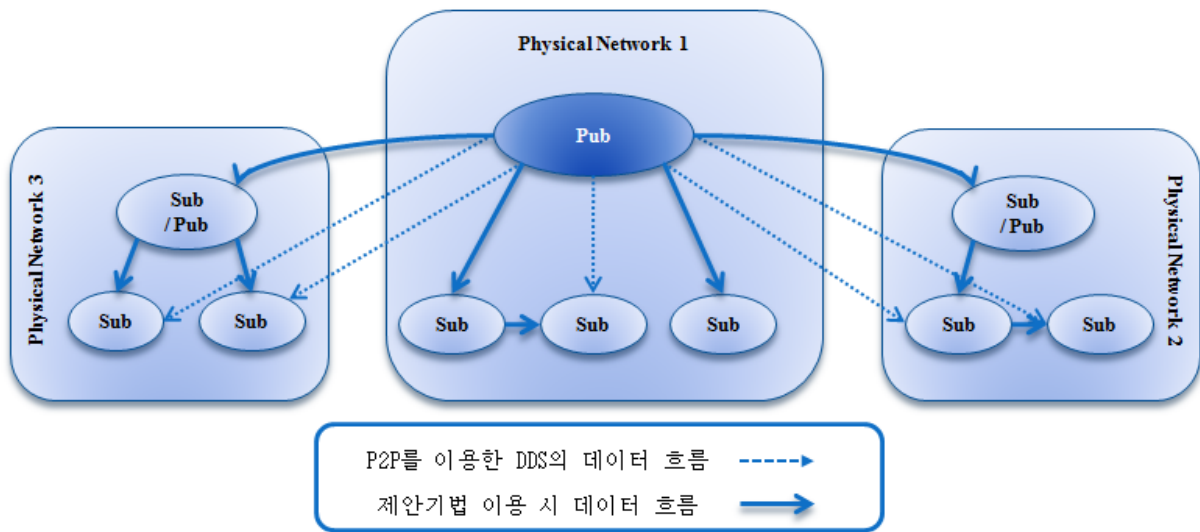


그림 3 제안 기법의 물리적 네트워크 간 연결과 그 내부 구조

제안하였다. 이 논문은 다수의 Topic 을 가지는 출판-구독 분산 미들웨어에서 Greedy Algorithm 을 사용하여 출판자들과 구독자 간을 연결하는 방법을 제시한다. 모든 개체의 수를 V, 모든 Topic 의 수를 T 라고 할 때, 제안 기법을 적용 시  $O(V^4T)$ 라는 복잡도가 계산되지만 동적 프로그래밍을 이용한 최적화 기법을 사용하였을 경우  $O(V^2T)$ 라는 복잡도로 최적화 시킬 수 있음을 보인다.

### 3. 제안 기법

본 논문은 DDS 에서 소수의 출판자에 다수의 구독자들에게 자료 전송을 요청할 경우에 발생하는 문제를 해결하기 위해 오버레이 네트워크를 이용하는 기법을 제안한다. 해당 기법은 다음과 같이 크게 두 부분으로 나누어 진다. 첫째로, 참여 개체들을 자신들이 속한 물리적 네트워크로 군집화한다. 각각의 물리적 네트워크 별로 군집화 후 자료를 전송할 출판자는 다른 물리적 네트워크로 전송 시 가장 적은 전송비용을 요구하는 하나의 구독자 개체로 자료를 전송하고, 자료를 전송 받은 개체는 임시로 출판자가 되어 자신의 물리적 네트워크 내의 개체들에게 수신된 자료를 전송하고 또 다른 물리적 네트워크로 전송함으로써

필요한 전송 비용을 감소시킨다. 둘째로, 하나의 물리적 네트워크 내부에 존재하는 개체들 간의 전송 경로를 정하기 위하여 관련연구에서 소개한 Greedy Algorithm 기법을 이용하여 개체간 전송 망 구축에 활용한다.

일반적으로 오버레이 네트워크는 물리적 네트워크를 고려하기 보다는 여러 개체간의 전송 과정을 최적화 하기 위하여 사용된다. 따라서 출판자가 많은 수의 다른 물리적 네트워크에 속한 구독자 개체들에게 자료를 전송 하기 위해 단순하게 오버레이 네트워크를 사용한다면 물리적 네트워크간 추가 비용이 요구된다. 자료 전송을 위해 다른 물리적 네트워크를 탐색하는 비용부터 라우팅 비용까지 추가되므로 이런 추가 비용을 감소시킨다면 분산 컴퓨팅 환경에서 여러 개체간 자료 전송에 드는 비용을 더 효과적으로 사용할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 제안기법에서는 모든 개체들을 그림 3 과 같이 물리적 네트워크 범위 내에서 군집화 한다. 군집화 후 다른 물리적 네트워크에 존재하는 구독자들에게 자료를 전송하기 위해 물리적 네트워크 1 의 출판자는 다른 물리적 네트워크에 존재하는 모든 구독자 개체들에게 자료를 전송하는 대신 다른 물리적 네트워크 2 와 3 에서 가장 적은 비용을 요구하는 구독자 개체들을 선택하여 해당 개체에게만 자료를 전송한다. 자료를 전송 받은 구독자 개체들은 자신이 속한 물리적 네트워크 내에 해당 자료를 필요로 하는 구독자 개체들에게 자료를 전송하기 위해 Participant 내에서 임시적으로 출판자를 생성하고 자료를 전송한다. DDS 에서 하나의 Participant 내에는 여러 개의 출판자와 구독자들이 같이 존재할 수 있으므로 자료를 수신하고 새롭게 출판하는 개체는 큰 추가 비용 없이 자료를 다른 구독자 개체들에게 전송할 수 있게 된다.

결과적으로 모든 물리적 네트워크들은 그림 4 와 같이 연결 된다. 출판자가 포함된 물리적 네트워크(Pub Net)는 가장 적은 비용으로 전송 가능한 다른 물리적 네트워크들(Sub Net1, Sub Net3)의 개체로 전송하게 되

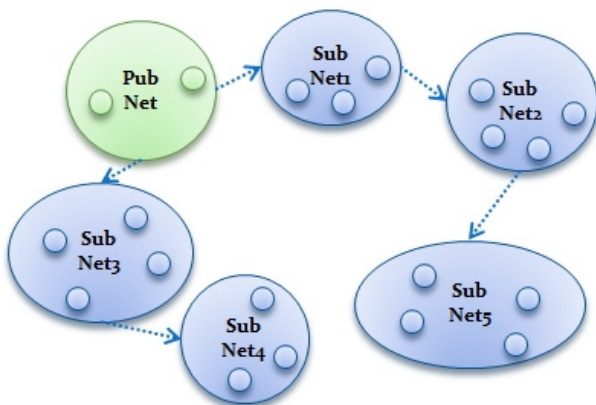


그림 4 물리적 네트워크들의 연결

표 1. 제안기법의 복잡도

	복잡도
기존 Greedy Algorithm 을 이용한 기법	$O( V ^4T)$
기존 Greedy Algorithm 을 이용한 기법 (동적 프로그래밍을 이 용한 최적화 시)	$O( V ^2T)$
제안 기법	$O( V_1 ^4T) + O( V_2 ^4T) \dots$ $+ O( V_m ^4T)$ $= O(N V_{\max} ^4T)$
제안 기법 (동적 프로그래밍을 이 용한 최적화 시)	$O( V_1 ^2T) + O( V_2 ^2T) \dots$ $+ O( V_m ^2T)$ $= O(N V_{\max} ^2T)$

고 연결된 물리적 네트워크들은 다시 다른 네트워크들(Sub Net2, Sub Net4, Sub Net5)로 자료를 전송하여 최종적으로 모든 물리적 네트워크들과 내부의 출판, 구독자 개체들은 최소 자료 전송 비용을 요구하는 순서로 자료를 전송한다. 이렇게 이어진 망은 자료 전송 시 소수의 출판 개체들만 존재할 경우에도 다른 물리적 네트워크에 최소한의 전송만을 하게 됨으로 보다 효과적인 자료 전송이 가능할 수 있게 된다.

동일 물리적 네트워크에 속하는 구독자들에게 자료를 전송하기 위하여, 각 물리적 네트워크 내의 출판자는 자료 전송에 드는 비용을 계산하여 개체간에 그래프를 생성한다. 여기서 최저 자료 전송 비용을 위한 개체간 연결을 위해 관련연구에서 소개된 Greedy Algorithm 를 이용한다. 각 물리적 네트워크내의 출판자 개체들은 Greedy Algorithm 에 따라 최소 비용의 전송 구간을 순차적으로 선택함에 따라 모든 출판자 개체들과 구독자 개체들이 연결되게 된다. 이렇게 모든 물리적 네트워크들이 각 개체들을 연결하고 나면 전체 분산 시스템은 최소 비용으로 자료를 전송하기 위한 전송 망이 구축된다.

제안 기법을 이용한 분산 미들웨어는 표 1 과 같은 복잡도를 가진다. 표 1 에서  $V_n$  은 각각의 물리적 네트워크  $n$  내에 존재하는 출판자와 구독자 개체들의 총합이고  $T$  는 Topic 의 수이다. 기존 Greedy Algorithm 을 이용한 오버레이 네트워크 연구에서 보여주던 복잡도의 경우 모든 구독자 및 출판자 개체수를 고려하여 모든 개체수의 제공에 Topic 의 수를 곱해야 했지만, 제안 기법에서는 자료 전송 시 각 네트워크의 대표 구독자 개체에 한번만 전송함으로써 제공되는 전체의 개체 수가 크게 낮아지게 된다. 모든 물리적 네트워크의 수를  $N$  이라고 하면 제안 모델의 최종 복잡도는 물리적 네트워크 중 가장 많은 개체 수를 가지는  $V_{\max}$  의 제공에 총 물리적 네트워크의 수  $N$  을 곱하게 되어 복잡도가  $O(N|V_{\max}|^2T)$ 까지 낮아짐을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 대표적인 출판-구독 분산 미들웨어

모델인 DDS 와 출판-구독 모델을 위한 오버레이 네트워크 기법에 대하여 소개하였다. 또한 DDS 에서 출판자가 구독자에게 자료 전송 시 소수의 출판자가 다수의 구독자에게 자료를 전송해야 하는 지나친 트래픽 집중화 문제를 해결하기 위하여 물리적 네트워크 단위로 개체들을 군집화 하고 전송 횟수를 감소시켜 다른 물리적 네트워크 간 전송 비용을 최소화 하는 기법을 제안하였다. 또한 동일 물리적 네트워크 안에서 자료 전송을 위한 개체간 연결 시 Greedy Algorithm 을 이용함으로써 기존에 연구되던 기법들 보다 적은 복잡도로 자료를 전송하는 기법을 제안하였다.

향후 연구로서는 본 논문에서 제안한 기법을 구현하고 다른 기법들과 성능을 비교, 분석하여 그 효용성을 입증 할 것이다. 또한 기존의 센서 네트워크 분야에서 연구중인 미들웨어 기법들과 라우팅 기법들에 대하여 더 조사하여 보다 효과적인 전송을 위한 기법을 연구할 것이다.

#### 참고문헌

- [1] Lee, E.A., "Cyber-Physical Systems - Are Computing Foundations Adequate?," Position Paper for NSF Workshop On Cyber-Physical Systems: Research Motivation, Techniques and Roadmap, 2006
- [2] Sha, L. and Gopalakrishnan, S. and Liu, X. and Wang, Q., "Cyber-physical systems: a new frontier," Machine Learning in Cyber Trust, PP 3-13, 2009
- [3] Wu, CH and Ip, WH and Chan, CY, "Real-time distributed vision-based network system for logistics applications," International Journal of Intelligent Systems Technologies and Applications, Vol.6, Num.3, PP309-322, 2009
- [4] <http://www.omgwiki.org/dds/>
- [5] <http://www.omg.org/>
- [6] Chockler, G. and Melamed, R. and Tock, Y. and Vitenberg, R., "Constructing scalable overlays for pub-sub with many topics," Proceedings of the twenty-sixth annual ACM symposium on Principles of distributed computing, PP 109-118, 2007
- [7] Huang, Y. and Garcia-Molina, H., "Publish/Subscribe Tree Construction in Wireless Ad-Hoc Networks," Mobile Data Management, PP 122-140, 2003
- [8] Baldoni, R. and Marchetti, C. and Virgillito, A. and Vitenberg, R., "Content-based publish-subscribe over structured overlay networks," 25th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems, 2005. ICDCS 2005. Proceedings, PP 437-446, 2005
- [9] Chockler, G. and Melamed, R. and Tock, Y. and Vitenberg, R., "Spidercast: a scalable interest-aware overlay for topic-based pub/sub communication", Proceedings of the 2007 inaugural international conference on Distributed event-based systems, PP14-25, 2007
- [10] Yoneki, E. and Hui, P. and Chan, S.Y. and Crowcroft, J., "A socio-aware overlay for publish/subscribe communication in delay tolerant networks," Proceedings of the 10th ACM Symposium on Modeling, analysis, and simulation of wireless and mobile systems, PP 225-234, 2007