

표준 DDS 미들웨어의 디스커버리 시간 계산식

최종우*, 최윤석*

*삼성탈레스 해양/시스템연구소

e-mail:jongwoos.choi@samsung.com

Discovery Time Formula for Standard DDS Middleware

Jong-Woo Choi*, Yoon-Suk Choi*

*Naval/System R&D Center, Samsung Thales Co., Ltd.

요 약

최근 분산 임베디드 시스템에서 실시간 데이터 교환에 대한 요구가 증가하면서 발간/구독(Publish/Subscribe) 기반의 데이터 중심 통신 미들웨어인 DDS(Data Distribution Service)에 대한 활용 분야가 증가하고 있다. 국방 분야의 시스템과 같은 고신뢰성을 요구하는 환경에서는 시스템 개발에 앞서, DDS 통신에 동적으로 참여하게 하는 디스커버리 과정의 안정적인 성능 검증을 요구한다. 성능 검증 및 신뢰성 있는 시스템 개발을 위해 실제 시스템과 유사한 환경에서 DDS의 디스커버리 사전시험(Prototype)을 수행하는 데, 이 때 많은 시간과 비용을 소요하게 된다. 본 논문에서는 DDS의 표준 프로토콜인 RTPS(Real-Time Publish-Subscribe)에서 필수로 요구하는 SDP(Simple Discovery Protocol)를 이용하여 디스커버리 시간을 추정할 수 있는 계산식을 제안한다. 계산식은 참여자(Participant) 수를 이용한 연결 쌍(pair)의 수식과 단말개체(Endpoints) 수를 이용한 가중치(weight) 수식을 이용하며, 실제 상용 DDS 미들웨어를 이용하여 유형별로 DDS 디스커버리 시험을 수행한 결과와 비교하여 계산식을 실제로 사용할 수 있음을 보인다.

1. 서론

최근 분산 네트워크 환경에서는 임베디드 시스템, 센서 등 다양한 장치들로부터 대량의 데이터가 끊임없이 생성, 배포되는 특징이 있다. 이러한 데이터는 네트워크 참여자 간에 실시간으로 공유가 요구되며 시간의 경과에 따라 데이터 전송에 참여하는 참여자들의 동적인 변경을 수용할 수 있는 데이터 중심 통신(Data Centric Communication) 기술을 요구하고 있다. 그 중 발간/구독(Publish/Subscribe) 기반 미들웨어인 DDS의 활용 분야가 증가하고 있고, 특히 최근 고신뢰성을 요구하는 국방 분야에서 활발히 사용되고 있다[1]. OMG(Object Management Group)에서 표준으로 정의한 DDS는 여러 벤더들에서 개발한 응용 간에 상호운용성을 보장할 수 있도록 RTPS(Real-Time Publish-Subscribe)를 표준 프로토콜로 정의한다.[3,4] DDS 통신을 하는 시스템에서 가장 중요한 요소는 통신에 참여하는 개체(Entity)들 간에 서로의 존재를 인식하는 디스커버리 과정이다. 이 과정에서 서로의 QoS를 확인하고 통신을 맺을 지 판단하게 된다. 디스커버리 성능이 점차 중요해져 관련 알고리즘만을 연구하는 분야도 생겨나고 있다[2]. 고신뢰성을 요구하는 시스템에서는 디스커버리의 안정적인 성능 검증을 요구하여 시스템 개발에 앞서 유사한 환경에서 DDS의 디스커버리 성능을 측정하는 사전시험(Prototype)을 수행하는데, 이 과정에서

많은 비용과 시간을 소요하게 된다.

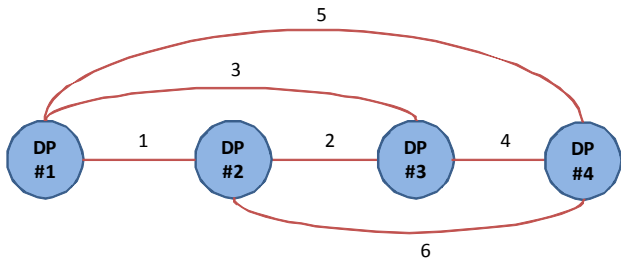
본 논문에서는 사전시험의 비용과 시간을 절약할 수 있도록 RTPS 표준명세에서 정의하는 SDP(Simple Discovery Protocol)를 이용하여 디스커버리 시간을 추정할 수 있는 계산식을 제안한다. SDP는 참여자(Participant) 검색을 위한 SPDP(Simple Participant Discovery Protocol)과 참여자에 속한 단말개체(Endpoint)를 검색하기 위한 SEDP(Simple Endpoint Discovery Protocol)로 나누어진다.[3,4,5] 제안하는 계산식은 통신에 참여하는 참여자의 증가에 따른 연결 쌍(pair)의 수를 수식으로 도출하고, 사용자 데이터를 교환하는 단말개체의 수에 따른 가중치(weight) 수식을 도출하여 계산식을 최종적으로 도출한다. 그리고 실제 상용 DDS를 이용한 디스커버리 시험 결과와 제안한 계산식 결과를 비교하여 계산식을 실제로 활용할 수 있음을 보인다.

2. 기본 수식 도출

가. 참여자 수를 이용한 연결 쌍 수식 도출

DDS 통신을 하기 위해서는 참여자와 단말개체를 생성해야 한다. 디스커버리 과정에서 참여자 간의 정보교환은 SPDP 단계에서 이루어지며 정보는 특정 대상을 두지 않고 네트워크 망에 멀티캐스트 방식으로 주기적으로 전송한다. 따라서 네트워크 망에 존재하는 참여자의 수는 중요하지 않다. 또한 정보는 상대 참여자가 없더라도 주기적으

로 전송하기 때문에 정보 교환에 신뢰성을 보장할 필요가 없다. 그러나 네트워크 망에서 다른 참여자의 존재를 인식한 후 연결 쌍을 맺으면 SEDP 단계에서 단말개체 writer와 reader의 정보를 교환한다. 이 정보는 실제로 응용프로그램에서 사용자 생성 데이터를 교환하는 핵심 정보가 되기 때문에 유니캐스트 방식으로 전송하며 신뢰성 있는 교환을 보장할 필요가 있다. 이 단계에서 1대1로 교환을 하기 때문에 연결 쌍의 수에 따라 네트워크 망에는 주고받는 패킷의 수가 결정된다. (그림 1)은 참여자 간에 연결 쌍을 이룬 결과를 보여준다.



(그림 1) 참여자와 연결 쌍의 관계

(그림 1)에서 DP는 참여자를 의미한다. DP 간에 연결된 선이 연결 쌍을 의미한다. 참여자 안에 속하는 단말개체의 정보를 1대1로 교환해야하기 때문에 그림과 같이 연결된다. (그림 1)은 참여자가 4개이고, 연결 쌍은 6개이다. <표 1>은 참여자 증가에 따른 연결 쌍의 수를 보여준다.

<표 1> 참여자 수와 연결 쌍 수의 관계

참여자 수	1	2	3	4	...	n
연결 쌍 수	1	3	6	10	...	$\frac{n(n-1)}{2}$

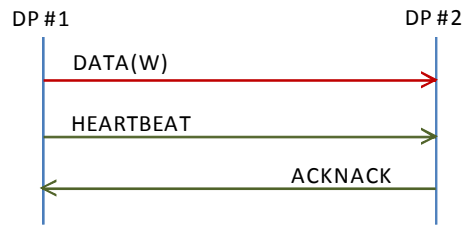
<표 1>과 같이 참여자 수가 n이면 연결 쌍 수는 $n(n-1)/2$ 가 된다. 이것은 공차가 1인 등차수열의 합을 나타내며 아래와 같은 수식으로 정리할 수 있다.

$$N_c = \frac{N_p(N_p - 1)}{2} = \sum_{k=1}^{n-1} k, (N_p \geq 1) \text{ (수식 1)}$$

(수식 1)에서 N_c 는 연결 쌍의 수를 의미하고, N_p 는 참여자의 수를 의미한다.

나. 단말개체 수를 이용한 가중치 수식 도출

단말개체 writer와 reader의 정보는 SEDP 단계에서 교환한다. 이 단계에서 신뢰성 있는 정보 교환을 위해 정보를 보내면 전송 여부를 확인하는 Heartbeat 데이터를 전송하고, 이 Heartbeat를 수신하면 단말개체 정보의 수신 여부를 통보하기 위해 AckNack를 전송한다.[3] 신뢰성 있는 단말개체 정보 교환은 (그림 2)와 같은 과정으로 이뤄진다.



(그림 2) 신뢰성 있는 단말개체 정보 교환

DP#1과 DP#2가 서로 연결 쌍을 이루고 DP#1이 단말개체 writer를 1개 생성한다. DP#1이 단말개체 writer의 정보 DATA(W)를 DP#2에게 유니캐스트 방식으로 전송한 후 전송 여부를 확인하기 위해 DP#2에게 Heartbeat를 전송한다. DP#2는 Heartbeat를 수신 후에 DATA(W)에 대한 수신 여부를 AckNack에 저장해서 전송한다. 이렇게 신뢰성 있는 정보교환을 위해 단말개체 정보 1개당 3개의 패킷을 주고받는다. 이 과정을 기본으로 연결 쌍 당 가중치 수식을 아래와 같이 정리할 수 있다.

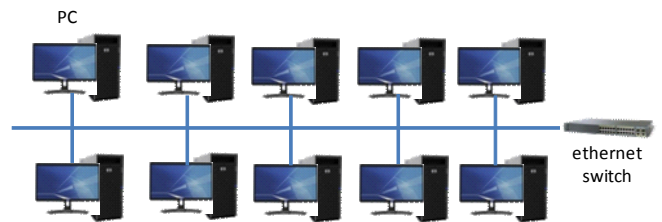
$$W = \frac{(3N_w + 3N_r)}{c} = \frac{3N_c}{c}, (c \geq 1) \text{ (수식 2)}$$

(수식 2)에서 W는 연결 쌍의 가중치를 의미하고, N_w 는 단말개체 writer의 수, N_r 은 단말개체 reader의 수를 의미한다. N_c 는 단말개체의 합을 의미하고, c는 최종 수식에서 결과 값을 실제 시험 값에 근접하도록 조정하기 위한 가중치 상수이다. 이 상수는 다음 장에서 시험을 통해 도출한다.

3. 가중치 상수 도출

가. 시험 환경

가중치 상수는 상용 DDS를 이용한 디스커버리 시험을 통해 도출하였다. 시험을 위한 환경은 (그림 3)과 같다.



(그림 3) 상용 DDS 디스커버리 시험 환경

시험은 PC 10대와 1기가비트(Gbps) 이더넷 스위치 1대를 이용해 구성하였다. 시험 환경의 사양은 <표 2>와 같다.

<표 2> 상용 DDS 디스커버리 시험 환경 사양

하드웨어	PC(Intel i7 / 4GB) 10대
이더넷 스위치	1Gbps 이더넷 스위치 1대
운영체제	Microsoft Windows 7 Professional
상용 DDS	RTI DDS 4.5c

나. 시험 방법

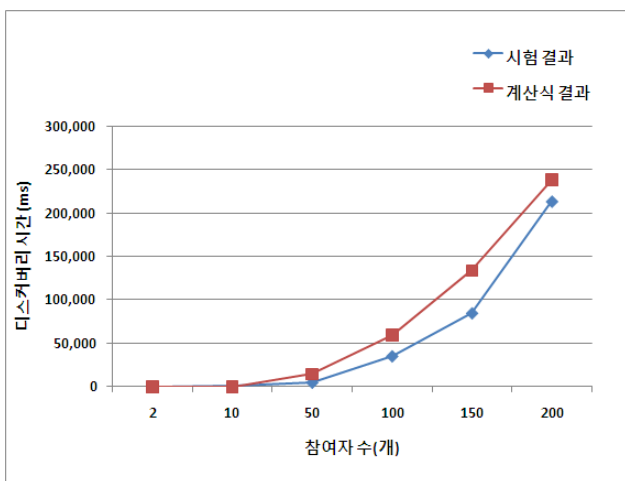
PC 마다 동일하게 참여자의 수를 증가시키면서 디스커버리 시간을 측정한다. 디스커버리 시간은 가장 마지막에 디스커버리를 완료한 PC에서 측정한 값으로 한다. 이 시험은 연결 쌍의 가중치를 계산하기 위한 시험으로 가중치를 일정하게 고정하기 위해 참여자 1개당 단말개체 writer와 reader의 수를 100개씩으로 고정하였다.

다. 시험 결과 및 가중치 상수 도출

시험 과정에서 가중치 상수를 변경하면서 실제 디스커버리 시험 결과와 유사하게 도출하기 위해 값을 변경하면서 시험을 하였고 가중치 값을 100으로 했을 경우 시험 결과값과 유사한 그래프를 나타냈다. <표 3>과 (그림 4)에 시험 결과를 정리하였다.

<표 3> 가중치 상수를 구하기 위한 시험 결과

N_p	N_e	시험결과(ms)	계산식결과(ms)
2	400	78	12
10	2,000	869	540
50	10,000	5,141	14,700
100	20,000	35,547	59,400
150	30,000	85,110	134,100
200	40,000	213,921	238,800



(그림 4) 가중치 상수를 구하기 위한 시험 결과

(그림 4)의 그래프에서 보면 시험 결과와 계산식 결과가 유사한 값을 나타냄을 볼 수 있다. 이 결과에서 도출한

가중치 상수 값은 본 시험 환경에서 찾아낸 값으로 다른 환경에서는 값이 달라 질 수 있다. 가중치 상수를 추가한 최종 계산식은 다음과 같다.

$$T_d = N_c \times W = \frac{N_p(N_p - 1)}{2} \times \frac{(3N_w + 3N_r)}{c}$$

$$= \left(\sum_{k=1}^{n-1} k \right) \times \frac{3N_e}{c}, (c=100) \text{ (수식 3)}$$

(수식 3)에서 T_d 는 디스커버리 시간을 의미하고, 가중치 상수 c 는 100이 도출되었다.

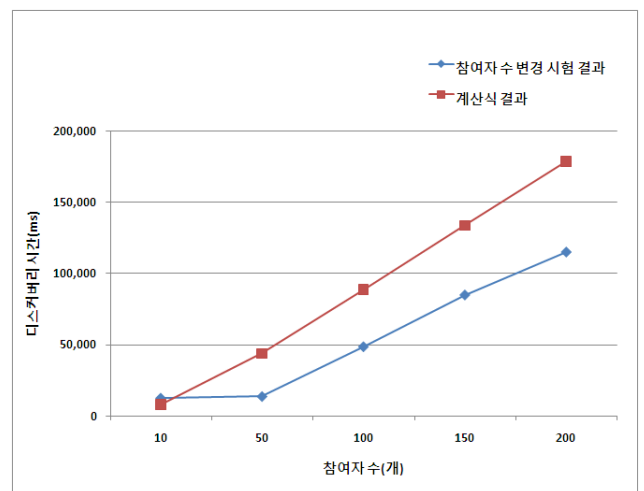
4. 계산식 검증

가. 참여자 수 변경 시험

도출한 디스커버리 시간 계산식을 검증하기 위해 실제 시스템에서 설계 시 고려하는 사항을 시험하였다. 첫 번째 시험 유형으로 전체 네트워크의 참여자 수를 변경하는 시험을 하였다. 실제 시스템 설계 시 노드 당 참여자의 구성에 따라 소프트웨어의 설계뿐만 아니라 개발 이후 성능에도 영향을 주기 때문이다. 네트워크에 있는 총 단말개체의 수는 30,000개로 고정을 하고 참여자 수를 변경하며 시험하였다. 이 시험에서는 참여자의 수가 증가함에 따라 참여자 당 생성하는 단말개체의 수가 줄기 때문에 연결 쌍의 가중치가 줄어들게 된다. 시험 결과는 <표 4>와 (그림 5)와 같다.

<표 4> 참여자 수 변경 시험 결과

N_p	N_e	W	시험결과(ms)	계산식결과(ms)
10	30,000	18,000	12,766	8,100
50	30,000	3,600	13,906	44,100
100	30,000	1,800	48,828	89,100
150	30,000	1,200	85,110	134,100
200	30,000	9	115,219	179,100



(그림 5) 참여자 수 변경 시험 결과

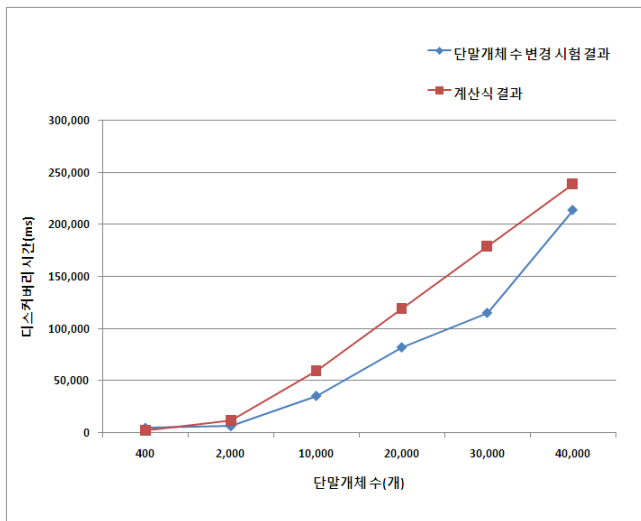
(그림 5)와 같이 시험 결과와 계산식 결과가 비슷한 그래프를 나타내고 있다. 계산식 결과보다 실험 결과가 낮게 나오는데 이것은 RTI DDS의 디스커버리 성능 개선을 위한 내부 알고리즘의 영향을 받는 것으로 보인다.

나. 단말개체 수 변경 시험

두 번째 시험 유형으로 단말개체의 수를 변경하면서 시험을 하였다. 실제 시스템에서 메시지를 교환하는 단말개체의 수도 소프트웨어 설계에 큰 영향을 주기 때문에 실제 사전시험에서 이 유형도 수행한다. 네트워크에 있는 총 참여자의 수는 200개로 고정하고 총 단말개체의 수를 변경하며 시험 하였다. 이 시험에서는 단말개체의 수가 증가함에 따라 참여자 당 생성하는 단말개체의 수가 증가하기 때문에 연결 쌍의 가중치가 증가하게 된다. 시험 결과는 <표 5>와 (그림 6)과 같다.

<표 5> 참여자 수 변경시험 결과

N_p	N_e	W	시험결과(ms)	계산식 결과(ms)
200	400	0.12	4,891	2,388
200	2,000	0.6	6,438	11,940
200	10,000	3	35,547	59,700
200	20,000	6	82,172	119,400
200	30,000	9	115,219	179,100
200	40,000	12	213,921	238,800



(그림 6) 참여자 수 변경시험 결과

(그림 6)과 같이 시험 결과와 계산식 결과가 비슷한 그래프를 나타내고 있다. 첫 번째 유형의 시험과 마찬가지로 계산식 결과보다 시험 결과가 낮게 나오는데 이것은 RTI DDS의 디스커버리 성능 개선을 위한 내부 알고리즘의 영향을 받는 것으로 보인다. 두 가지 유형의 시험결과를 통해 계산식 결과값을 디스커버리 시간 최대값(Maximum)으로 가정해 사용할 수 있음을 보였다.

5. 결론 및 향후연구

본 논문에서는 OMG에서 데이터 중심 통신 미들웨어 표준으로 정의한 DDS의 SDP과정을 이용하여 디스커버리 시간 계산식을 도출하고, 시험을 통해서 검증하였다. 기존에 디스커버리 시험을 위해 많은 시간과 비용을 소요하여 수행하였지만 본 계산식을 통해 시스템 구성별로 디스커버리 시간의 최대값을 계산할 수 있다. 유형별 시험 결과가 계산값 보다 낮게 나왔는데 이는 벤더별 디스커버리 성능 개선을 위한 내부 알고리즘의 영향으로 판단된다. RTPS 표준명세의 과정만을 이용하여 패킷의 재전송, 노드 수, 네트워크 대역폭, CPU 처리 능력은 고려하지 않았다. 또한 실제 시스템에서는 참여자마다 단말개체 수가 다르지만 검증시험에서는 모든 단말개체 수를 동일하여 시험을 하였다.

향후 재전송 발생 확률, 단말개체 배치의 다양성을 반영하여 계산식을 확장할 수 있을 것이다. 또한 다른 벤더의 상용 DDS를 이용한 디스커버리 시험 결과값 비교를 통해 본 계산식을 보완할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] 안성우, 최중우, 최윤석, “DDS 미들웨어의 상호운용성 제공을 위한 표준 디스커버리 프로토콜”, 한국해양정보통신학회 춘계학술대회, pp.205-208 (2011).
- [2] Javier Sánchez-Monedero, Javier Povedano-Molina, Juan Manuel Lopez Soler, “Scalable DDS Discovery Protocols Based on Bloom Filters”, OMG Real-time & Embedded Systems Workshop (2007).
- [3] RTI, “RTI Data Distribution Service Core Libraries and Utilities User’s Manual”, Version 4.5 (2011).
- [4] OMG, “Data Distribution Service for Real-time Systems”, Version1.2 (2007).
- [5] OMG, “The Real-time Publish-Subscribe Wire Protocol DDS Interoperability Wire Protocol Specification”, Version 2.1 (2008).