

논문 2012-07-30

CPS에서 효율적인 데이터분배 기술 (Efficient Data Distribution Service in CPS)

이수형*, 김원태, 류재철

(Soo-Hyung Lee, Won-Tae Kim, Jae-Cheol Ryou)

Abstract : As the convergence between the conventional physical systems and IT computing resource is increased, the new paradigm of embedded system called Cyber Physical System (CPS) emerged. CPSs have many sensors, actuators and computing devices to understand and to control the physical system. As these all components are tightly coupled each other, standardized middleware such as Data Distribution Service (DDS) is considered to be deployed. But DDS takes too long time to discover each other in the large-scal CPS environment and has not precise specification of its execution architecture to provide efficient data exchange. In this paper, we design the efficient DDS architecture for development with interoperability to provide the high reliable data distribution. in real-time and propose the communication entity discovery procedure.

Keywords : CPS, DDS, Middleware, Discovery, QoS

1. 서 론

정보기술의 비약적 발전은 자연물을 포함한 인간환경을 둘러싼 모든 환경에 IT 자원의 내재화를 가능하게 함으로써 CPS로 불리는 새로운 패러다임의 임베디드시스템이 등장하게 되었다. CPS는 대규모의 센서 및 액츄에이터와 컴퓨팅시스템을 통합하여 하나의 단일 시스템처럼 동작하는 복합시스템 구조를 가지게 된다. 물리시스템 혹은 물리 환경에 대한 정보는 센서를 통해 수집된다. 센서를 포함한 로컬시스템에서 제어할 필요가 있는 경우에는 일부 센서 데이터는 로컬 시스템에서 처리되고 그 결과가 로컬 시스템의 액츄에이터로 전달된다. 반면

전체 CPS 시스템에서 필요로 하는 정보는 중앙의 제어시스템으로 전송된다. 제어 시스템에서는 각 센서에서 수집된 정보를 바탕으로 각 센서가 탑재된 부분에 대한 상태 정보뿐만 아니라 모든 센서 데이터를 처리하여 전체 CPS 시스템의 현재 상태를 분석 판단하게 된다. 이를 바탕으로 CPS 시스템이 효율적이고 안정적으로 유지되기 위해서 필요로 하는 제어 방법을 결정하게 된다. 이 정보를 바탕으로 실제 물리시스템의 동작 상태를 변화시키기 위해 해당 액츄에이터에 제어 정보를 전송하게 된다. 네트워크로 연결된 분산 임베디드시스템 구조하에서 물리시스템과 밀접하게 연동하는 CPS의 등장은 소프트웨어 개발 패러다임을 변화시키고 있다 [1]. 또한 CPS 기술은 고신뢰 의료장비, 전력그리드, 스마트 빌딩, 차세대 국방 시스템, 스마트 자동차등 다양한 스케일, 유형의 핵심적 기반 시설에 적용될 수 있다. CPS기술은 궁극적으로 다양한 규모의 물리적 시스템 및 공간을 이해하고 제어하기 위한 수단을 제공하고 그 결과로써 사람과 물리적 환경과의 상호작용하는 방법을 변화시킬 것이다 [2].

CPS는 많은 수의 통신개체가 상호 밀접하게 통합되는 형태를 취할 뿐만 아니라 이들 통신개체간의 신뢰성 있는 데이터 교환이 개발 CPS 시스템의

* 교신저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2012. 08. 10., 수정일 : 2012. 09. 13.,
채택확정 : 2012. 09. 26.

이수형, 김원태: 한국전자통신연구원

류재철: 충남대학교 컴퓨터공학과

※ 본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가원의 산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음.
[10035708, “고신뢰 자율제어 SW를 위한 CPS 핵심 기술 개발”]

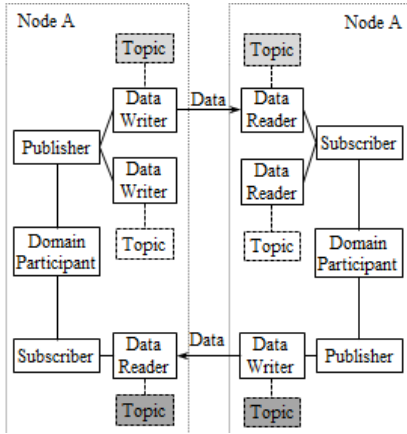


그림 1. DDS 통신 모델
Fig. 1. DDS Communication Model

안정적 운용을 위한 핵심 사항이기 때문에 통신 미들웨어가 필수적이다. 이를 위해 최근에 등장한 차세대 데이터 중심 미들웨어인 DDS 기술이 CPS 미들웨어 플랫폼으로 적용되고 있다. DDS 기술은 Object Management Group (OMG)에서 표준화된 것으로 분산 환경에서 발간(Publish)/구독(Subscribe) 모델에 따른 데이터베이스를 명세하고 있다 [3, 4]. DDS는 응용이 발간이나 구독을 원하는 데이터를 토픽 형태로 정의하고 이와 관련된 서비스품질(Quality of Service: QoS) 지정하기만 하면 실제 통신을 위한 상대방 통신개체의 탐색, 통신 연결의 설정, 지정된 QoS의 지원 등이 미들웨어 차원에서 응용에 투명하게 제공된다. 또한 센서 네트워크 기반의 CPS에서 센서 데이터 토픽별 속성에 따른 데이터 품질을 정의하고 이를 반영한 독자적인 발간-구독 통신 방식이 제안되고 있다 [5].

기존 DDS를 CPS에 실제 적용함에 있어서 OMG에서 명세된 규격이 제공 기능 위주로 되어 있어 명세 수준의 명확도가 낮다. 따라서 구현 상의 다양한 해석이 가능하여 구현을 위해서는 DDS의 실행 구조 및 절차의 재설계가 필요하다. 또한 데이터 교환을 위해 상대방 통신개체를 탐색하고 통신 연결을 설정하는 단계에서 기 개발 제품과의 상호 운용성 및 DDS의 확장성을 보장할 수 있는 탐색절차의 설계 및 적용이 필요하다. 기존 DDS에 정의된 표준 탐색 절차가 대규모의 통신개체를 탐색하는데 있어 디렉토리 서버와 같은 중앙의 서버가 없는 완전 분산된 구조를 가진다. 이로 인해 통신개체의 연결정보 및 유효성(Liveliness) 정보 교환을 위한

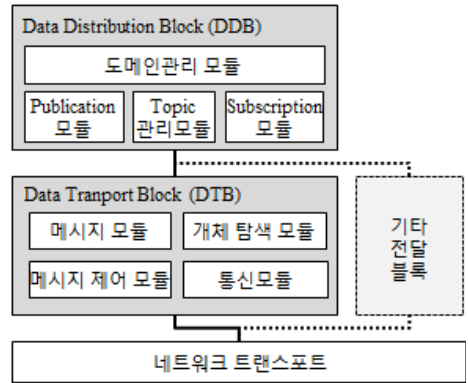


그림 2. EDDS 개념 구조
Fig. 2. EDDS Conceptual Architecture

메시지 과다로 인해 네트워크에 트래픽이 집중되어 참여 통신개체 수 증가에 그 성능이 지속적으로 감소하기 때문에 확장성에 있어 문제를 가진다 [6, 7].

본 논문에서는 표준 DDS를 실제 구현하여 적용하기 위한 EDDS (ETRI DDS) 실행 구조를 설계하고 통신 연결 설정을 위한 표준 탐색 절차를 확장 설계한다. 본 논문의 구성은 2장에 DDS 실행 구조 설계, 3장에서 표준 탐색 절차의 확장 설계, 4장에서는 설계된 DDS의 시험을 설명하고 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. EDDS 실행 구조 및 기능

1. DDS 통신 모델

DDS의 통신 모델은 그림 1과 같다. DDS는 응용에 따른 논리적으로 독립된 데이터 공간인 도메인을 정의하고 응용에서 교환하고자하는 데이터인 토픽에 따라 이를 발간하고 구독할 통신개체인 *DataWriter*와 *DataReader*를 생성한다.

이들 통신개체를 집합적으로 관리하기 위한 컨테이너 개체로써 각각 *Publisher*와 *Subscriber*가 정의되고 이들 개체는 다수개의 *DataWriter*나 *DataReader*에게 적용될 QoS 및 데이터 전송 특성을 설정, 관리하게 된다. 각 노드에는 응용별로 생성된 통신개체를 관리하기 위한 *DomainParticipant*가 정의된다. 동일한 유형의 토픽일지라도 도메인간에는 독립성이 유지된다. 따라서 통신개체의 탐색은 각 노드에서 해당 응용을 담당하고 있는 *DomainParticipant*를 탐색하고 이들이 관리하고 있는 통신개체인 *DataWriter*와 *DataReader*를 탐색하

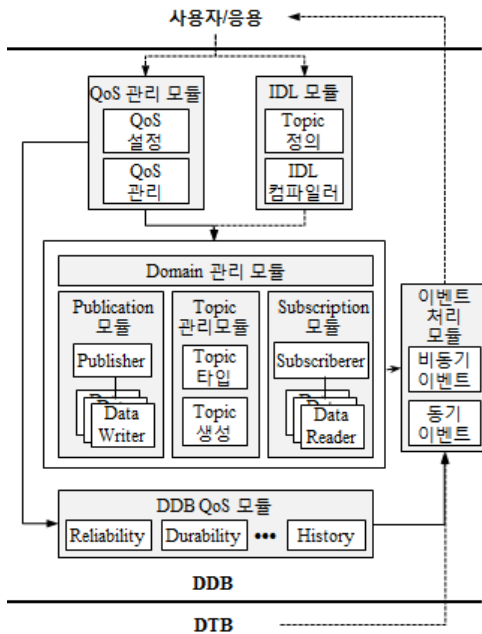


그림 3. 데이터배포블록 구조
Fig. 3. Data Distribution Block Architecture

여 이들 간에 연결을 설정하는 일로 정의될 수 있다.

그림 2에서와 같이 EDDS는 미들웨어 응용에게 표준화된 인터페이스를 제공하기 위한 데이터배포블록(DDB)와 통신연결의 설정 및 데이터 전송을 수행하기 위한 데이터전달블록 (DTB)로 구성된다.

그림 3에 EDDS의 DDB에 대한 상세 구조를 보였다. DDB는 응용이 발간/구독하기 위한 표준화된 인터페이스를 제공한다. 따라서 응용이 미들웨어를 사용하기 위한 토픽의 정의, QoS 요구조건과 자동-탐색 메커니즘을 설정하기 위한 인터페이스를 제공함으로써 응용으로 하여금 신뢰성 있는 데이터 교환 환경을 제공한다.

EDDS는 응용이 교환하고자하는 토픽의 데이터 타입을 정의하기 위한 인터페이스로써 IDL (Interface Description Language) 모듈을 제공한다. Domain관리 모듈은 해당 응용이 참여하는 도메인과 그에 따라 도메인에서 사용될 각종 통신개체를 생성 관리하게 된다. Publication/Subscription 모듈은 토픽을 발간/구독할 DataWriter, DataReader들의 관리를 통한 토픽의 전달, 수신 및 그 과정에서의 흐름 제어를 수행한다. 이벤트처리 모듈은 DTB혹은 응용으로 데이터 송수신 상태의

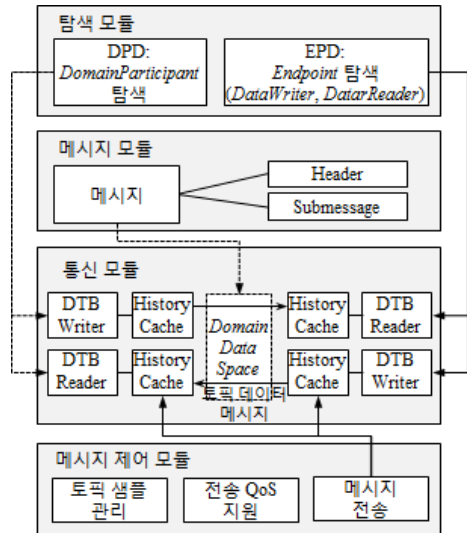


그림 4. 데이터전달블록 구조
Fig. 4. Data Transport Block Architecture

변화, 설정 QoS의 위반 여부 등을 비동기적으로 통보하는 기능을 수행한다. QoS 관리모듈은 QoS의 설정, 상대방과의 QoS 협상을 통한 제어 등을 담당한다. DDS QoS 모듈은 DTB에서 제공되는 토픽 데이터 메시지의 송수신 과정에서 응용이 요구한 개별 QoS를 수행/관리하게 된다.

그림 4를 참조하면 DTB는 4개의 모듈로 구성된다. 탐색 모듈은 데이터를 교환할 통신개체 (Endpoint - DataWriter, DataReader)를 탐색하는 것이 궁극적인 목적이다. 응용을 구성하는 각 노드에서의 해당 응용 도메인을 관장하는 DP (DomainParticipant)를 탐색하는 DPD(DP Discovery)와 탐색된 DP내에서 자신이 송수신하고자 하는 토픽과 일치하고 요구 QoS를 만족할 수 있는 통신개체를 탐색하고 연결을 설정하는 EPD(End Point Discovery)로 구분될 수 있다. EPD는 해당 토픽을 담당하는 통신개체가 DDB를 통해 설정된 QoS 수준과 토픽내 데이터를 구분하기 위한 인스턴스 키 값을 활용한다.

메시지제어 모듈에서는 메시지 송수신 과정에서 지원되어야 할 QoS에 따라 토픽 샘플별 송수신 기능을 관리한다. 또한 데이터 메시지뿐만 아니라 탐색과정 및 데이터 메시지 전송과정에서 상대 통신개체의 유효성을 검사하기 위한 제어 메시지들의 송수신 상태를 관리한다.

메시지모듈은 DDB에서 요청한 토픽별 응용의 데이터뿐만 아니라 미들웨어 운용을 위해 필요한

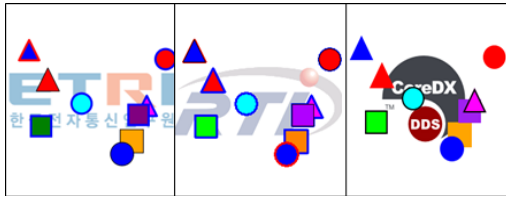


그림 7. Basic Connectivity 시험 결과 화면
Fig. 7. Basic Connectivity Test Result

간의 일치성 여부를 확인하게 된다. 이후 응용의 실제 토픽 데이터를 교환할 통신개체의 준비여부를 확인하기 위한 Handshaking 절차를 거친 후에 탐색 절차를 마무리하고 데이터 교환 단계에 들어가게 된다. 만약에 EPD를 위한 Built-in 통신개체에 대한 유효성 검사가 설정되어 있다면 'Liveliness State'로 변하고 이 상태에서는 별도의 Liveliness 메시지가 사용된다.

IV. 구현 및 시험

제안 탐색절차의 기능의 동작 및 OMG 규격 준수에 따른 타 DDS 기반 미들웨어 제품과의 상호운용성을 시험하기 위해 OMG에서 제안하고 있는 상호운용성 시험 절차 중 첫 번째 테스트케이스인 'Basic Connectivity'에 따라 국내 적용되었거나 적용 예정인 RTI사 및 CoreDX사의 DDS 제품과의 탐색 및 데이터 교환 시험을 수행하였다. 삼각형, 사각형, 원형의 3가지 토픽을 정의하였으며 각 구현물별로 각기 다른 색의 토픽을 발간하고 3가지 토픽 모두에 대해서 구독한다. 토픽 내 실 데이터는 해당 도형의 화면 내 위치 정보를 나타내고 이를 화면에 도식화함으로써 상호간에 탐색이 이루어져서 정상적인 데이터 교환이 이루어지면 3 화면 모두 동일한 위치에 도형을 표현하게 된다. 그림 7에서 보인 각 구현물의 화면에서와 같이 모두 동일한 위치에 각 도형을 표시하였다. 사용된 사각형 토픽의 데이터 타입의 IDL 표현 예는 다음과 같다.

```
struct square {
    string color;
    long positionX;
    long positionY;
    long shapeSize;
};
```

제안 구조에 따른 결과물의 성능시험 결과를 그

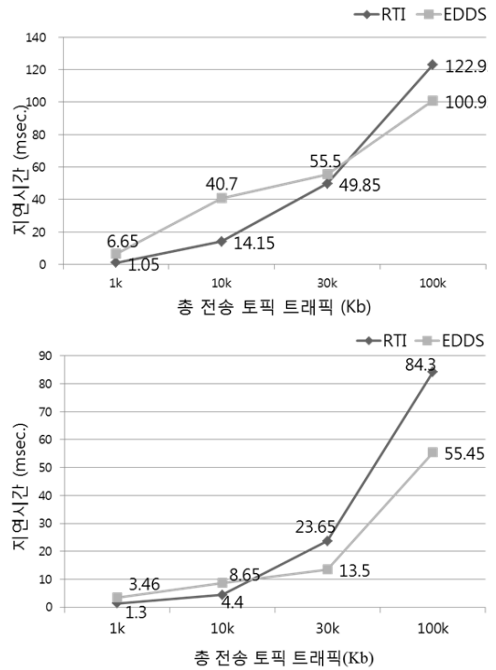


그림 8. 토픽 전달 성능 - 왕복지연시간
Fig. 8. Topic Transmission Performance

림 8에 보였다. 토픽 크기를 512바이트, 1024바이트 단위로 발간하였을 경우 왕복지연시간을 측정하였다. 단위 메시지 전송 성능은 RTI사 제품의 성능이 우수한 것으로 판단된다. 반면 전송 데이터를 저장하기 위한 히스토리 캐시에 대해 Lock-free 기법을 적용하여 메시지의 횡수가 증가함에 따라 그 성능상의 이득을 보였다. 이에 따라 전달 메시지 수가 적은 구간에서는 RTI사 제품에 비해 전달 성능이 떨어지나 전달 메시지 수 증가에 따른 총 전송 트래픽량이 증가함에 따라 RTI사 제품과 동일하거나 우수한 성능을 보인 것으로 판단된다.

V. 결론

물리 시스템에 IT 자원이 융합으로 인해 대규모 분산 임베디드 시스템인 CPS는 각 통신개체간 데이터 교환이 필수적으로 고신뢰, 실시간, 다양한 QoS를 보장할 수 있는 통신 미들웨어가 핵심적이다. 본 논문에서는 OMG의 DDS에 기반한 통신 미들웨어의 구현을 위한 구조를 설계하고 데이터 교환을 위해 우선적으로 처리되어야 하는 탐색 절차를 제안하였다. 시험결과 OMG

규격에 따라 구현된 상용제품과의 기본적인 연결 및 데이터 발간/구독이 성공적으로 연동되어 상호운용성이 확보되었다. 또한 다양한 토픽 크기에 따른 왕복지연시간 성능 시험에 따라 상용제품과의 유사한 토픽 전송 성능을 보임을 확인하였다.

향후 다양한 저자원 임베디드시스템 형태의 단말에 적용하기 위한 경량 고성능 실행 구조를 설계하고 대규모 통신개체간의 탐색 및 데이터 전달 성능을 더욱 향상하기 위한 고속탐색기능 및 하이브리드 멀티캐스팅 기법을 개발할 예정이다.

참고문헌

- [1] E.A. Lee, "Cyber-Physical System - Are the Computing Foundation Adequate?," Proceedings on NSF Workshop on Cyber Physical System, 2006.
- [2] E.A. Lee, "Cyber-Physical System: Design Challenges," Proceedins on ISORC'08 pp.363-369, 2008.
- [3] Object Management Group, "Data Distribution Service for Real-time System Ver. 1.2," 2007.
- [4] Object Management Group, "The Real-time Publish-Subscribe Wire Protocol, DDS Interoperability Wire Protocol Specification Ver. 2.1," 2009.
- [5] W.C. Kang, K. Kapitanova, S.H. Son, "RDDS: A Real-Time Data Distribution Service for Cyber-Physical System", IEEE Trans. on Industrial Informatics, Vol. 8, No. 2, pp. 393-405, 2012.
- [6] J.H. Kim, S.H. Lee, K.T. Kim, W.T. Kim, S.M. Park, "A Structure of Fast Discovery in DDS Middleware", Proceedings on International Symposium on Embedded Technology, (ISET'11) pp.1-8, 2011.
- [7] 정용환, "대형 실시간 분산 시스템을 위한 하이브리드 경로탐색기법에 관한 연구," 한국군사과학기술학회지, Vol. 11, No. 4, pp.46-58, 2008.

저 자 소 개

이 수 형



1991년 한양대 전자과 학사.

1993년 한양대 전자과 석사.

현재, 한국전자통신연구원 책임연구원.

관심분야: CPS, IT융합

Email: soohyung@etri.re.kr

김 원 태



1994년 한양대 전자과 학사.

1996년 한양대 전자과 석사.

2000년 한양대 전자과 박사.

현재, 한국전자통신연구원 CPS연구팀장.

관심분야 : CPS, M&S

Email: wtkim@etri.re.kr

류 재 철



1985년 한양대 산업공학과 학사.

1998년 미 아이오와주립대 컴퓨터공학과 석사.

1990년 미 아이오와주립대 컴퓨터공학과 박사.

현재, 충남대학교 컴퓨터공학과 교수.

관심분야: 인터넷 보안, 전자지불, 무선네트워크 보안

Email: jcryou@cnu.ac.kr