

Zigbee Adaptor for Two-way Data/Event/Service Interoperation in Internet of Things

Moon-Ki Back[†] · Hyung-Jun Yim^{††} · Kyu-Chul Lee^{†††}

ABSTRACT

Things in the IoT(Internet of Things) make various services by exchanging information over networks. The IoT includes many types of WSNs(Wireless Sensor Networks) that consists of spatially distributed wireless sensor nodes and operates with the various purposes with useful technologies such as identification, sensing and communication. Typically, Zigbee network composed of low-cost and low-power devices is mainly used for wide-area monitoring and remote device control systems. The IoT composed of various WSNs cannot interoperate among networks because of heterogeneous communication protocol and different data representation of each network, but can facilitate interconnection and information exchange among networks via the DDS, which is communication middleware standard that aims to enable real-time, high performance and interoperable data exchanges. In this paper, we proposed design of Zigbee Adaptor for two-way interoperation and data exchange between Zigbee network and other networks in the IoT. Zigbee Adaptor communicates with Zigbee network according to the Zigbee protocol and communicates with external networks via DDS. DDS-based Zigbee Adaptor can facilitate interoperation between a Zigbee network and external networks by systematic cooperation among its components.

Keywords : Internet of Things, Two-way, Interoperation, Zigbee, DDS

사물인터넷의 양방향 데이터/이벤트/서비스 연동을 위한 지그비 어댑터

백 문 기[†] · 임 형 준^{††} · 이 규 철^{†††}

요 약

사물인터넷(Internet of Things) 환경의 사물들은 네트워크를 통해 정보를 교환하여 다양한 서비스가 이루어진다. 사물인터넷을 구성하는 WSN(Wireless Sensor Network)은 무선 센서 노드를 물리적인 공간에 배치하여 구성된 네트워크로 사물의 식별, 센싱, 통신 등의 기술이 더해져 다양한 목적으로 운용된다. 대표적으로 저가·저전력 장치들로 구성된 지그비(Zigbee) 네트워크는 지역 모니터링 및 원격 장치제어에 활용된다. 다양한 WSN으로 구성된 사물인터넷은 네트워크 간 통신 규약 및 데이터 표현이 상이하여 상호운용에 제약이 있지만 실시간 통신 미들웨어 표준인 DDS(Data Distribution Service)를 통해 이질적인 네트워크 간 상호연결 및 정보교환이 가능하다. 본 논문은 지그비 네트워크와 사물인터넷의 다른 네트워크 간 양방향 데이터/이벤트/서비스 연동을 위한 지그비 어댑터 설계를 다룬다. DDS 기반의 지그비 어댑터는 지그비 표준을 따라 지그비 네트워크와 통신하고 다양한 구성요소 간 유기적인 동작으로 지그비 네트워크와 사물인터넷의 다른 네트워크 간 상호운용을 가능케 한다.

키워드 : 사물인터넷, 양방향, 상호운용, 지그비, DDS

1. 서 론

최근 센싱, 액츄에이터, 유·무선 통신기술과 인터넷의 발전은 사람 대 사람 통신에서 사람 대 사물, 사물 간 통신을 포함하는 추세이다. ITU(International Telecommunication Union)에서 정의한 사물인터넷(IoT; Internet of Things)은 모든 사물들이 언제 어디서든 네트워크를 통해 정보를 교환하여 진보된 서비스가 이루어지는 개념이다[1].

※ 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2012R1A1A4A01015696).

† 준 회 원: 충남대학교 컴퓨터공학과 석사과정

†† 준 회 원: 충남대학교 컴퓨터공학과 박사과정

††† 정 회 원: 충남대학교 컴퓨터공학과 교수

논문접수: 2013년 12월 11일

수정일: 1차 2014년 2월 24일, 2차 2014년 3월 21일

심사완료: 2014년 3월 27일

* Corresponding Author: Kyu-Chul Lee(kclee@cnu.ac.kr)

전형적인 사물인터넷 아키텍처는 센싱, 네트워크, 응용시스템 도메인으로 구분된다[2]. 특히 센싱 도메인은 물리적인 사물들이 존재하는 환경으로 Wi-Fi 같은 IEEE 802.11의 무선랜(WLAN; Wireless Local Area Network)과 블루투스(Bluetooth), 지그비(Zigbee)[3], UWB(Ultra Wide Band) 같은 IEEE 802.15의 개인 무선 통신망(WPAN; Wireless Personal Area Network)을 포함한다. 다양한 네트워크로 구성되는 사물인터넷은 사물들의 식별, 센싱, 통신을 지원하는 기술이 뒷받침되어야 하며 유용한 기술로 IEEE 802.15.4[4] 표준 기반의 WSN(Wireless Sensor Network)이 있다[5]. WSN은 물리적인 공간에 무선 센서 노드를 광범위하게 배치하여 구성된 애드 혹(ad hoc) 네트워크로, 각 무선 센서 노드는 MCU, 센서, 무선통신 모듈, 전원장치로 구성되며, 센서를 통해 정보를 생산하거나 무선통신 모듈을 통해 원격으로 장치를 제어하는 서비스를 다룰 수 있다. WSN 내 정보와 서비스들은 수집 노드(sink node)로 전달되고 네트워크 도메인을 통해 전달되어 지역 모니터링, 원격 장치제어 등 다양한 응용 시스템에 활용된다. 센싱 도메인과 응용시스템 간 단순한 정보교환을 넘어서 다양한 네트워크로 구성된 센싱 도메인 간 정보교환이 이루어지면 보다 지능화되고 진보된 서비스가 가능할 것이다[5].

사물인터넷을 구성하는 WSN은 물리적인 제약과 운용 목적에 따라 스타(star), 트리(tree), 메쉬(mesh) 등의 토폴로지를 구성한다. 따라서 서비스와 같은 1:1 요청-응답 방식의 통신뿐 아니라 정보 공급자와 소비자 개념이 없는 P2P(peer to peer)방식의 1:N / N:1 / N:N 통신도 가능하다. 기존 TCP/IP 기반의 인터넷 및 모바일 통신은 상호간 명확한 엔드 포인트(end-point)를 알고 통신하기 때문에 P2P 방식의 통신을 지원하기 위해 엔드 포인트를 관리하는 서버를 두거나 클라이언트 스스로 엔드 포인트를 관리해야 한다. 반면 DDS(Data Distribution Service)[6]와 같은 엔드 포인트 없는 발간-구독 형태의 통신은 1:N / N:1 / N:N 통신에 적합하다. DDS는 OMG(Object Management Group)에서 제정한 발간-구독 통신을 지원하는 통신 미들웨어 표준으로, IDL(Interface Description Language)로 명세한 토픽(Topic) 단위로 정보를 교환한다. 게다가 DDS는 통신에 QoS(Quality of Service)를 지원하여 정보교환의 실시간 및 신뢰성을 보장한다. 따라서 센싱 도메인의 다양한 네트워크 간 DDS를 기반으로 정보를 교환하면 WSN의 P2P 방식의 통신을 지원하면서 네트워크 간 이질적인 통신규약 및 데이터 표현 문제를 극복하고 실시간 및 신뢰성이 보장된 정보교환이 가능하다.

본 논문은 사물인터넷의 WSN을 대표하는 지그비 네트워크와 사물인터넷의 다른 네트워크 간 정보교환을 지원하는 DDS 기반의 지그비 어댑터(Zigbee Adaptor) 설계를 다룬다. 지그비는 IEEE 802.15.4 표준을 기저로 상위레벨의 통신 규약을 규정한 표준으로 저가·저전력 장치로 구성된 WSN의 무선 센서 노드 간 통신 규약으로 적합하다. 지그비 어댑터는 지그비 통신을 통해 지그비 네트워크 내 정보를 수

집하고 이를 토픽으로 변환하여 DDS로 발간하거나 토픽을 구독하여 지그비 네트워크에 정보를 제공하는 양방향 통신을 특징으로 한다.

본 논문의 구성은 2장에서 사물인터넷을 구성하는 WSN과 다른 네트워크를 상호 연결한 연구들을 살펴보고, 제안한 지그비 어댑터가 다루는 데이터/이벤트/서비스를 3장에 명세한다. 4장에서는 지그비 어댑터의 설계를 다루고 5장에서 설계한 지그비 어댑터의 간단한 동작 시뮬레이션을 보인다. 6장에서는 지그비 어댑터의 향후 연구와 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

본 장은 WSN과 외부 네트워크를 상호 연결하고 정보를 교환하는 연구들을 살펴본다. WSN은 무선 센서 노드를 물리적인 공간에 배치하여 구성된 애드 혹 네트워크이다. 무선 센서 노드는 센서를 보유하여 물리적인 환경정보를 측정하거나 상황을 감지하는 데이터/이벤트 형태의 정보생산 또는 무선 센서 노드와 통신할 수 있는 다른 장치를 원격으로 제어하는 서비스를 다룰 수 있다. 무선 센서 노드의 데이터/이벤트/서비스 형태의 정보는 수집 노드로 전송되고 수집 노드와 연결된 여러 분야의 응용 시스템에서 활용한다.

WSN은 IEEE 802.15.4 표준을 기본적인 하위 통신 계층으로 사용하지만 네트워크 운용목적에 따라 다른 상위 프로토콜을 사용한다. 대표적으로 지그비 표준은 저가·저전력의 무선 센서 노드로 구성된 WSN의 상위 프로토콜 스택으로 사용된다. 지그비 표준을 따르는 지그비 네트워크는 물리적인 환경 및 운용목적에 따라 스타(star), 트리(tree), 메쉬(mesh) 등의 형태로 네트워크 토폴로지를 구성한다. 지그비 네트워크 내 무선 센서 노드들은 하나의 네트워크를 생성·유지관리하고 정보를 수집하는 지그비 코디네이터(ZC; Zigbee Coordinator), 애드 혹 네트워크 구성을 지원하는 지그비 라우터(ZR; Zigbee Router), 정보를 생산·소비 하고 다른 장치를 제어하는 지그비 말단 장치(ZED, Zigbee End Device)로 역할을 구분한다. 특히 지그비 코디네이터는 지그비 네트워크를 생성하고 유지관리하는 중추로 지그비 네트워크 내 모든 무선 센서 노드의 상태를 파악하고 지그비 네트워크 내 모든 데이터/이벤트/서비스를 수집하기 때문에 지그비 코디네이터는 하나의 지그비 네트워크를 대표한다고 할 수 있다.

사물인터넷 환경의 사물들은 스스로 인터넷에 연결하여 다른 사물들과 통신하기도 하지만 WSN을 활용하는 응용시스템에 종속적인 경우도 있다. 따라서 이 응용시스템이 외부 네트워크와 통신을 지원하지 않으면 해당 사물들은 사물인터넷 환경의 다른 사물들과 정보를 교환할 수 없다. WSN과 외부 네트워크를 연결하는 연구로 WSN 내 정보를 WLAN, 셀룰러 네트워크 등의 광역 네트워크(wide-area network)와 연동하는 WSN Gateway[7]와 IoT Gateway[8]가 있다.

Table 1. Comparison with related work

	[7]	[8]	[9]	[10]	Zigbee Adaptor
Data/Event/Service Description	Data/Service	Data/Service	-	Data/Service	Data/Event/Service
Communication with External Network	Server-client (TCP/IP)	Server-client (TCP/IP)	IP-enabled WSN (TCP/IP, UDP)	CoAP (TCP/IP, UDP)	DDS (UDP)
Communication Method	1:1	1:1	1:1	1:1 or 1:N Multicast	N:N (publish-subscribe)
Two-way Communication	X	X	O	O	O
QoS Support	X	X	X	X	O (DDS QoS)

WSN Gateway는 WSN 고유 프로토콜로 수집한 정보들을 레지스트리에 저장하고 이 정보를 TCP/IP 기반으로 통신하는 외부 네트워크와 XML 메시지를 교환하여 연동한다. WSN Gateway와 유사하게 사물인터넷 응용 아키텍처의 IoT Gateway는 와이어리스하트(wirelessHART), 마이와이(MiWi), Z-Wave, Rubee, 지그비 등 다양한 목적으로 구성된 WSN의 정보를 TCP/IP 기반의 인터넷 프로토콜로 외부 응용 시스템과 연동한다. WSN Gateway와 IoT Gateway는 TCP/IP로 통신하는 서버를 두고 WSN 내 정보를 외부 네트워크에 제공한다. TCP/IP 통신이 가능한 외부 네트워크의 클라이언트는 서버에게 정보를 요청할 수 있지만 반대로 WSN 내 센서 노드들은 외부 네트워크의 정보를 요청할 수 없다. 이는 특정 조건에 따라 발생하는 이벤트 형태의 정보를 외부 클라이언트에게 실시간으로 제공하는 데 한계가 있다.

또 다른 연구로 WSN과 IP 네트워크를 연결하는 [9]가 있다. [9]는 WSN 내 각 센서 노드가 게이트웨이를 통해 외부 IP 네트워크의 호스트와 통신한다. 이 게이트웨이는 WSN 내 각 노드에게 가상 IP 주소를 부여해 관리하고 WSN 프로토콜과 IP 네트워크 프로토콜 간 상호변환을 통해 양방향 통신이 가능하다. 하지만 정보 교환관점에서 정보를 표현하는 공통된 명세가 없고 자원 제약이 있는 센서 노드가 TCP/IP의 최대 전송 단위를 처리하는 데 큰 부담이 있어 사물인터넷 환경으로 확장하는 데 한계가 있다.

본 연구와 가장 유사한 연구로 WSN과 웹 콘텐츠를 연동하는 Smart Gateway[10]가 있다. Smart Gateway는 날씨 정보, 웹 캡 이미지 등 이미 웹에 존재하는 동적 콘텐츠를 가상 센서 노드(Virtual Sensor Node)로 변환하여 WSN에 제공한다. 가상 센서 노드는 주기적으로 웹 콘텐츠를 갱신하여 물리적인 센서 노드에게 제공하지만 실체는 Smart Gateway의 소프트웨어적 기능이다. 특히 프로토콜 변환에 있어 자원에 제약이 있는 센서 노드를 고려해 IETF (Internet Engineering Task Force)의 CoAP(Constrained Application Protocol)을 사용하여 부담을 완화한다. 하지만 CoAP은 UDP(또는 TCP) 기반의 응용 계층 프로토콜이기 때문에 이를 고려하지 않고 고유의 프로토콜로 운용되고 있는 기존 WSN의 센서 노드까지 빠르게 적용되기 어렵다.

3. 사물인터넷의 데이터/이벤트/서비스 명세

사물인터넷을 구성하는 네트워크 환경은 다양하고 각 네트워크 환경의 통신 프로토콜은 이질적인 문제가 있다. 지그비 어댑터는 DDS를 기반으로 지그비 네트워크와 사물인터넷을 구성하는 다른 네트워크 간 양방향 통신으로 상호운용을 가능하게 한다. DDS 기반의 발간-구독 형태의 통신은 지그비 네트워크 내 데이터/이벤트/서비스를 외부 네트워크에 제공하고 제공받는 양방향 통신이 가능하고 1:1형태의 통신이 이루어지는 서비스와 1:N / N:1 / N:N 형태로 통신하는 데이터/이벤트를 다루기 적합하다. 사물인터넷 환경의 데이터/이벤트/서비스는 IDL로 정의한 토픽을 DDS에 발간-구독하여 연동될 수 있다. 지그비 어댑터는 지그비 네트워크 내 데이터/이벤트/서비스를 IDL로 정의된 토픽으로 변환하여 DDS로 발간한다. 반대로 외부 네트워크에서 발간한 데이터/이벤트/서비스 토픽을 구독하여 지그비 네트워크에 가상 지그비 노드(Virtual Zigbee Node) 형태로 제공한다. 따라서 지그비 네트워크 내 무선 센서 노드들은 DDS나 토픽을 고려하지 않고 지그비 통신을 그대로 유지한 채 외부 네트워크와 양방향 통신 및 데이터/이벤트/서비스 연동이 이루어진다.

3.1 사물인터넷 환경의 데이터/이벤트/서비스

지그비 어댑터는 지그비 네트워크 내 데이터/이벤트/서비스를 IDL로 정의한 토픽으로 변환하여 DDS로 발간한다. 데이터/이벤트는 동일한 구조의 IDL로 정의하지만 측정값이나 로그 등을 다루는 데이터와 특정조건과 상태에 따라 발생하는 이벤트의 특성이 다르기 때문에 구분하여 처리한다.

- 데이터/이벤트 토픽(Tdata/Tevent): 토픽을 발간한 어댑터 식별자(ID), 데이터/이벤트의 종류(TYPE), 데이터/이벤트의 값(VALUE) 필드로 구성

서비스는 서비스 퍼블리쉬(Service Publish) 토픽을 DDS로 발간하여 사물인터넷 환경의 각 서비스를 식별한다. 서비스 퍼블리쉬 토픽을 구독한 어댑터는 서비스 요청(Service Request) 토픽을 DDS로 발간하고 서비스 응답(Service Response) 토픽을 구독하여 서비스 호출이 이루어진다. 예를 들어, 서비스 제공 어댑터는 Tspub를 DDS로 발간하고 다른 어댑터들

은 Tspub를 구독하여 서비스를 식별한다. 이후 서비스를 요청하는 어댑터가 Tsreq를 발간, 이를 서비스 제공 어댑터가 구독하여 서비스 처리 후 Tsres를 발간하여 처음에 요청했던 어댑터가 구독한다.

- 서비스 퍼블리쉬 토픽(Tspub): 서비스를 제공하는 어댑터 식별자(ID), 서비스 식별자(NAME), 호출에 필요한 인자(PARAMETERS)와 호출결과(RESULT) 필드로 구성
- 서비스 요청 토픽(Tsreq): 서비스를 제공하는 어댑터 식별자(DESTINATION), 서비스를 요청한 어댑터 식별자(SOURCE), 서비스 식별자(NAME), 서비스 호출 시 전달할 인자(PARAMETER) 필드로 구성
- 서비스 응답 토픽(Tsres): 서비스를 요청하는 어댑터 식별자(DESTINATION), 서비스를 제공하는 어댑터 식별자(SOURCE), 서비스 식별자(NAME), 서비스 호출 결과 값(RESULT) 필드로 구성

3.2 지그비 네트워크의 데이터/이벤트/서비스

지그비 말단 장치들은 개별적으로 데이터/이벤트/서비스를 생산하여 지그비 코디네이터로 전송하거나 지그비 코디네이터 관장아래 지그비 말단 장치 간 협업하여 데이터/이벤트/서비스를 생산한다. 예를 들어 무선 센서 노드 X는 데이터 DA, 서비스 SA를 다루고, SA는 DA, DB를 필요로 한다고 할 때, X는 지그비 코디네이터에게 DB를 요청하고 이를 수신한 지그비 코디네이터가 무선 센서 노드 Y에게 X의 존재를 알려주어 Y가 X에게 직접 DB를 제공해 X가 SA를 생산할 수 있도록 한다.

지그비 네트워크 내 모든 무선 센서 노드들은 지그비 표준에 따라 통신하지만 지그비 네트워크를 활용하는 응용 시스템의 모든 요구를 만족하지 않는다. 따라서 사물인터넷 환경의 데이터/이벤트/서비스를 지그비 네트워크에서 다루려면 지그비 표준을 기반으로 패킷을 설계해야 한다.

지그비 네트워크 내 무선 센서 노드들은 고유주소를 가지고 상호간 통신한다. 주소의 크기는 2바이트로 지그비 코디

네이터는 0x00, 지그비 라우터 및 지그비 말단 장치들은 0x01~0xFE의 주소를 가지며 0xFF는 브로드캐스트 주소로 사용된다. 무선 센서 노드들은 Fig. 1.의 Receiver 필드에 값이 자신의 주소나 브로드캐스트 주소일 경우 수신하고, Sender 필드에 자신의 주소를 기입하여 송신한다. 무선 센서 노드들은 수신된 패킷의 Operation 필드를 통해 수행할 동작을 결정하고 Pattern 필드를 통해 전달, 요청-응답, 요청-응답-확인 등의 송·수신 방식을 결정한다. 지그비 어댑터는 Fig. 1.의 패킷을 통해 지그비 네트워크를 유지·관리하고 사물인터넷의 다른 네트워크와 데이터/이벤트/서비스를 연동한다.

1) 지그비 네트워크 관리

Join(Operation 0x01): 새로운 무선 센서 노드가 지그비 네트워크에 접속 시 자신의 고유 주소와 역할(ZR/ZED/ZR+ZED)을 지그비 코디네이터에게 알린다.

Reset(Operation 0x02): 지그비 코디네이터는 센서 노드의 물리적인 제약을 고려해 네트워크를 재구성한다. 제한된 전원으로 운용되는 무선 센서 노드의 수명을 길게 유지하기 위해 통신 송·수신 비용이 적은 네트워크 구조로 재구성하는 경우가 대표적이다.

Leave(Operation 0x03): 지그비 네트워크 내 무선 센서 노드들은 지그비 네트워크와 접속을 끊기 전 지그비 코디네이터에게 Leave 패킷을 전송한다. Leave 패킷을 수신한 지그비 코디네이터는 해당 무선 센서 노드를 위해 할당했던 리소스를 해제한다.

Heartbeat(Operation 0x04): 무선 센서 노드의 특성상 물리적인 제약(주파수 간섭, 전원 공급 등)으로 간헐적인 고장이 발생할 수 있다. 지그비 코디네이터는 주기적으로 각 무선 센서 노드에게 Heartbeat패킷을 보내 무선 센서 노드의 동작 상태를 파악한다.

2) 에드 혹 네트워크 구성

Routing Information(Operation 0x05): 통신 범위가 약 10~75m인 무선 센서 노드로 구성된 지그비 네트워크는 지그비 라우터를 통해 에드 혹 네트워크를 구성하여 통신범위를 확장한다. 지그비 라우터 간 Routing Information 패킷을 송·수신하여 라우팅 테이블을 교환한다.

3) 데이터/이벤트/서비스 명세

Metadata(Operation 0x06): 무선 센서 노드들은 자신이 생산 하는 데이터/이벤트/서비스가 무엇인지 Metadata 패킷에 명세하여 지그비 코디네이터로 전송한다. Type 필드는 패킷에 포함된 정보의 종류(데이터:0x01/이벤트:0x02/서비스:0x03), Data필드는 JSON(JavaScript Object Notation)로 데이터/이벤트/서비스를 표현한다.

4) 데이터/이벤트/서비스 검색 및 연동

Activity(Operation 0x07): 지그비 네트워크 내 무선 센서 노드 들은 Activity패킷을 지그비 코디네이터에게 전송하여

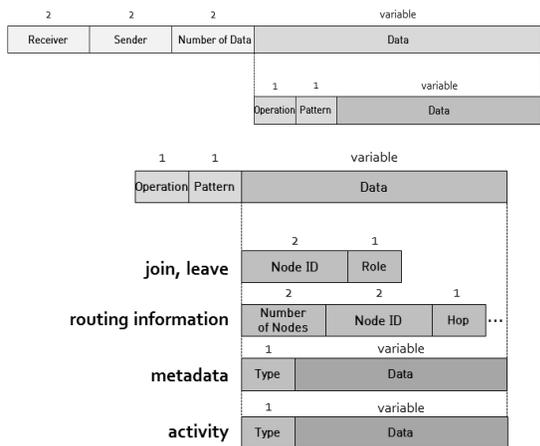


Fig. 1. Packet structure for Data/Event/Service of Zigbee network

다른 무선 센서 노드의 데이터/이벤트/서비스를 검색(Type: 0x04)할 수 있다. 검색된 데이터/이벤트/서비스는 무선 센서 노드간 Activity 패킷을 송·수신하여 연동된다.

4. 지그비 어댑터 설계

지그비 어댑터는 DDS를 기반으로 지그비 네트워크와 사물인터넷 환경의 다른 네트워크 간 상호운용을 제공한다. DDS 기반의 상호운용은 서로 다른 네트워크 간 양방향 통신 및 데이터/이벤트/서비스 연동을 가능하게 한다. 게다가 DDS가 지원하는 QoS를 통해 상호운용의 실시간 및 신뢰성을 보장할 수 있다.

4.1 지그비 어댑터 동작과정

지그비 어댑터는 지그비 네트워크의 데이터/이벤트/서비스를 토픽으로 변환하여 DDS로 발간하거나 DDS로부터 토픽을 구독해 지그비 네트워크에 가상 지그비 노드를 할당한다. Fig. 2는 지그비 네트워크의 데이터/이벤트/서비스를 토픽으로 변환해 DDS로 발간하는 과정이다. 지그비 어댑터는 지그비 네트워크와 통신하기 위해 내부적으로 지그비 코디네이터를 보유하여 지그비 네트워크 내 데이터/이벤트/서비스를 수집한다. 수집된 데이터/이벤트/서비스는 관계형 데이터베이스에 메타데이터 형태로 저장되고 데이터/이벤트 및 서비스 퍼블리쉬 토픽 인스턴스로 구체화하여 DDS로 발간한다. 반대로 DDS에서 구독한 토픽은 데이터/이벤트 및 서비스 퍼블리쉬 토픽 인스턴스로 분류하여 메타데이터 형태로 관계형 데이터베이스에 저장하고 가상 지그비 ID를 부여해 지그비 네트워크에 가상 지그비 노드를 할당한다.

1) 지그비 어댑터의 초기치 설정(initialization)

a) 데이터/이벤트/서비스를 DDS로 발간: 지그비 어댑터는 지그비 프로토콜로 전송된 데이터/이벤트/서비스 명세를 수집하여 관계형 데이터베이스에 저장한다. 저장된 명세 중 서비스 명세만 DDS로 발간하기 위해 서비스 퍼블리쉬 토픽 인스턴스를 생성한다. 데이터/이벤트 명세는 DDS로 발간하지 않고 유용한 값이 있는 실제 데이터/이벤트를 데이터/이벤트 토픽 인스턴스로 변환하여 DDS로 발간한다.

b) DDS의 토픽을 구독하여 가상 지그비 노드 생성: DDS에 발간된 데이터/이벤트 및 서비스 퍼블리쉬 토픽을 구독하면 QoS를 확인하여 유효한 토픽만 가상 지그비 ID를 부여해 관계형 데이터베이스에 저장한다.

2) 지그비 어댑터의 런 타임(run-time)

a) 지그비 노드 연결: 지그비 어댑터의 초기치 설정 이후 지그비 네트워크에 추가 되는 지그비 노드는 유효한 주소를 가졌는지 확인받고 자신의 데이터/이벤트/서비스 명세를 지그비 코디네이터로 전달한다.

b) 지그비 노드 연결 종료: 지그비 노드는 전원공급의 제약으로 네트워크 연결을 유지할 수 없거나 지그비 코디네이터의 네트워크 재구성 정책에 따라 지그비 네트워크와 연결을 종료한다. 지그비 코디네이터는 연결종료를 통해 해당 지그비 노드에 할당된 리소스를 명시적으로 해제한다.

c) 지그비 노드 연결 끊김: 지그비 노드는 물리적인 제약(주파수 간섭, 자연 재해, 전원 공급 등)으로 인하여 간헐적인 접속장애가 있을 수 있다. 지그비 코디네이터는 주기적으로 지그비 노드의 연결을 확인하여 연결이 끊긴 지그비 노드를 감지한다. 연결이 끊어진 지그비 노드에 할당한 자

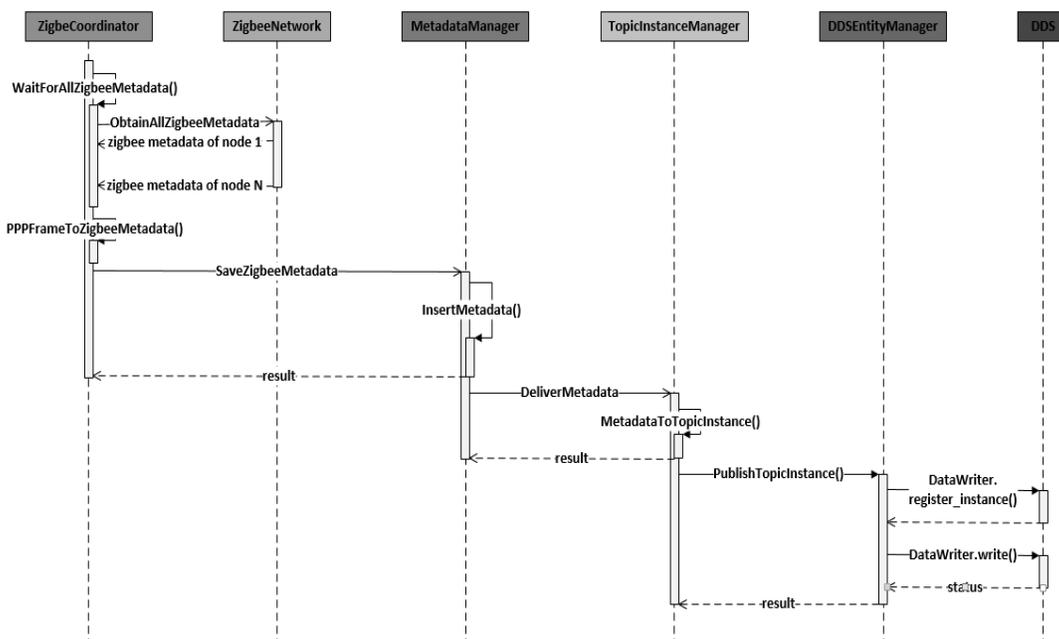


Fig. 2. Sequence diagram of Zigbee Adaptor (Publish Data/Event/Service of Zigbee network to the DDS)

원들을 해제하지 않는다.

d) 가상 지그비 노드 연결: 지그비 어댑터는 지속적으로 DDS에 발간된 데이터/이벤트 및 서비스 퍼블리셔 토픽을 구독한다. QoS가 유효하며 메타데이터 형태로 변환해 관계형 데이터베이스에 저장되지 않은 토픽은 가상 지그비 ID를 부여해 관계형 데이터베이스에 저장한다.

e) 가상 지그비 노드의 연결 종료: 지그비 어댑터는 DDS에 발간된 데이터/이벤트 및 서비스 퍼블리셔 토픽을 구독하면서 동시에 토픽의 QoS를 확인한다. 구독한 토픽의 QoS가 유효하지 않다면 토픽과 연결된 가상 지그비 노드의 ID와 관련 자원들을 해제하여 더 이상 지그비 노드에서 접근할 수 없도록 한다.

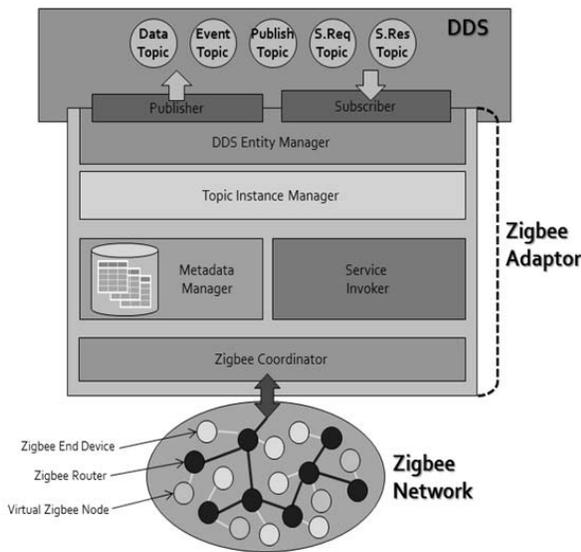


Fig. 3. Zigbee Adaptor

4.2 지그비 어댑터 구성요소

지그비 어댑터는 DDS를 기반으로 동작하기 위해 DDS API를 이용하여 DDS 엔터티(Entity)를 생성·관리한다. DDS 엔터티들은 IDL로 명세한 데이터/이벤트/서비스 토픽을 DDS로 발간-구독 한다. 지그비 어댑터는 DDS에 데이터/이벤트/서비스 토픽을 발간하기 위해 지그비 네트워크 내 데이터/이벤트/서비스를 수집하여 토픽으로 변환할 수 있어야 하며 반대로 DDS 엔터티를 통해 구독된 데이터/이벤트/서비스를 지그비 네트워크에 제공하기 위해 가상 지그비 노드를 생성한다. 가상 지그비 노드는 지그비 네트워크 내 무선 센서 노드들이 DDS나 토픽을 고려하지 않고 본래의 지그비 통신을 유지한 채 사물인터넷 환경의 다른 네트워크와 양방향 통신을 가능하게 한다. 지그비 어댑터는 Fig. 3과 같은 컴포넌트를 보유하여 지그비 네트워크에 상호운용성을 부여한다. 상호운용성이 부여된 지그비 네트워크는 사물인터넷 환경의 다른 네트워크와 양방향 통신 및 데이터/이벤트/서비스 연동이 가능하다.

1) 지그비 코디네이터(Zigbee Coordinator)

지그비 패킷을 송·수신하여 지그비 네트워크를 유지 관리하고 지그비 노드들이 전달한 데이터/이벤트/서비스를 수집한다. 반대로 DDS 토픽에서 추출된 데이터/이벤트/서비스를 가상 지그비 노드로 변환하여 지그비 네트워크에 제공한다. 가상 지그비 노드는 유효한 주소를 보유하기 때문에 지그비 라우터의 라우팅 테이블에 기록되어 물리적인 노드와 통신하는 것 같지만 정보를 처리하는 실체는 지그비 어댑터 구성요소들이다.

2) 메타데이터 매니저(Metadata Manager)

지그비 네트워크에서 수집되거나 DDS에서 구독된 데이터/이벤트/서비스를 메타데이터 형태로 변환하여 관계형 데이터베이스(Relation Database)에 저장한다. Table 2는 메타데이터 테이블의 일부분으로 NodeID와 Timestamp를 유일키로 각 행을 구분한다. Role 필드로 물리적인 지그비 노드와 가상 지그비 노드를 구분하고 각 노드가 생산하는 데이터/이벤트 및 서비스 명세를 Type, Key, Value필드에 저장한다.

Table 2. An example of Metadata table

ID	Role	State	Type	Key	Value	Stamp
0xB3	ZED	Sleep	Data	Temper	125	1357...
0xF3	ZR	Active	-	-	-	1359...
0x7E	Virtual	Active	Service	Electric	...	2332...
...
0xB8	ZR/ZED	Disconn	Event	GasLeak	-	2336...

3) 서비스 인보커(Service Invoker)

1:N / N:1 / N:N 발간-구독 형태의 통신이 주를 이루는 데이터/이벤트와 달리 서비스는 1:1 요청-응답 형태로 서비스 호출이 이루어진다. 서비스는 동기/비동기(synchronous/asynchronous)형태로 호출될 수 있다. 동기 형태의 경우 타임아웃(time-out)을 고려하고 비동기의 경우 서비스 리스너(service listener)를 통해 서비스 요청자(requester) 대신 응답을 받는 등의 특징을 지원해야 한다. 서비스 인보커는 DDS의 QoS를 기반으로 발간-구독 형태의 데이터 통신에 요청-응답 형태의 서비스 호출을 지원한다.

4) 토픽 인스턴스 매니저(Topic Instance Manager)

저장된 데이터/이벤트/서비스를 DDS에 발간할 수 있도록 토픽 인스턴스를 생성한다. 반대로 DDS에서 구독한 토픽 인스턴스의 유효성을 검사하고 관계형 데이터베이스에 저장하기 위해 메타 데이터 형태로 변환한다. 단 요청-응답 형태의 서비스 호출은 메타 데이터로 변환하지 않고 호출이 이루어지도록 한다.

5) DDS 엔터티 매니저(DDS Entity Manager)

DDS를 기반으로 발간-구독 형태의 통신을 위해 관련 엔터티를 생성하고 관리한다. DDS 퍼블리셔(Publisher)와 셉스크라이버(Subscriber)는 발간-구독형태의 통신을 주관하는

핵심 엔터티로 여러 데이터리더(DataReader)와 데이터라이터(DataWriter)를 보유한다. DDS 엔터티 매니저는 IDL로 정의한 데이터/이벤트/서비스 명세에 QoS를 부여해 토픽을 생성하고 데이터리더와 데이터라이터에 배치하여 복수개 토픽을 발간-구독할 수 있다.

4.3 양방향 통신 및 데이터/이벤트/서비스 연동

지그비 어댑터의 구성요소간 유기적인 동작을 통해 지그비 네트워크 내 데이터/이벤트/서비스를 DDS 토픽으로 발간한다. Fig. 4는 지그비 네트워크 내 데이터/이벤트/서비스를 DDS로 발간하거나 반대로 토픽을 구독하여 가상 지그비 노드를 만들기 위해 지그비 어댑터의 여러 구성요소가 기능을 분담하여 동작하는 과정을 담고 있다. 지그비 네트워크 내 데이터/이벤트/서비스는 지그비 코디네이터를 통해 수집되고 메타데이터 매니저에게 전달되어 메타데이터 형태로 저장된다. 이후 토픽 인스턴스 매니저를 통해 토픽 인스턴스로 변환되어 DDS 엔터티 매니저를 통해 DDS로 발간된다. 반대로 DDS로부터 데이터/이벤트/서비스 토픽 인스턴스를 구독한 DDS 엔터티 매니저는 토픽 인스턴스 매니저에게 구독한 토픽을 전달하여 유효성을 검사한다. 유효한 토픽 인스턴스들은 메타데이터 매니저에게 전달되어 메타데이터 형태로 저장된다. 저장된 메타데이터는 지그비 코디네이터가 가상 지그비 노드를 할당하여 데이터/이벤트/서비스 다루는 데 활용된다. 특히 서비스의 경우 물리적인 지그비 노드가 가상 지그비 노드에게 서비스를 요청하면 메타데이터 매니저가 아닌 서비스 인보커를 통해 DDS로 서비스 요청 토픽 인스턴스가 발간된다. 이후 서비스 응답 토픽 인스턴스가 구독되면 서비스 인보커에게 서비스 응답을 전달하고 지그비 코디네이터는 서비스 응답 패킷에 가상 지그비 노드의 주소를 실어 서비스를 요청한 물리적인 지그비 노드에게 보낸다. 가상 지그비 노드의 물리적인 실체는 없지만 지그비 어댑터의 컴포넌트 간 유기적인 동작으로 마치 지그비 네트워크 내 물리적인 노드가 존재하는 효과를 낸다. 따라

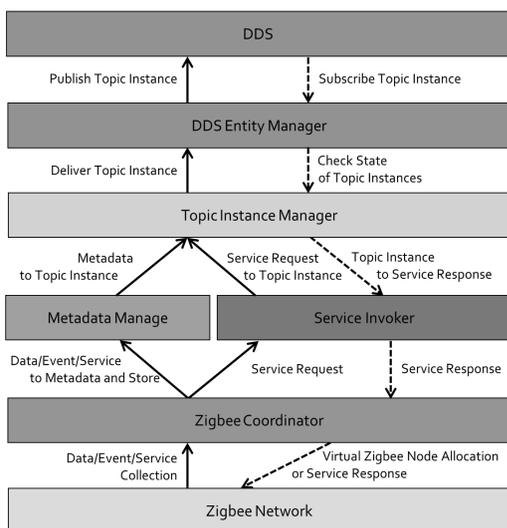


Fig. 4. Publish and subscribe the Topic instance

서 지그비 네트워크는 지그비 어댑터를 통해 사물인터넷 환경의 다른 네트워크와 양방향 통신이 가능하고 이를 통해 데이터/이벤트/서비스의 유기적인 연계가 이루어진다.

5. 동작 시뮬레이션

본 장은 지그비 네트워크 내 서비스가 지그비 어댑터를 통해 서비스 퍼블리쉬 토픽으로 변환되고 DDS에 발간(Fig. 2)되는 시뮬레이션을 보인다. 시뮬레이션 도해는 Fig. 5와 같으며 가상 어댑터(Virtual Adaptor)는 사물 인터넷의 다른 네트워크를 대신한다. 예를 들면, 가상 어댑터는 RFID 태그를 통해 수집한 데이터를 관리하는 RFID 어댑터, RESTful 웹 서비스를 다루는 REST 어댑터 등이 있다. 시뮬레이션에 사용한 DDS는 PrismTech의 OpenSplice DDS Community Edition v6.x를 사용하였고 지그비 네트워크 내 각 지그비 노드는 arduino UNO R3 보드와 XBee S2 통신 모듈을 사용하였다.

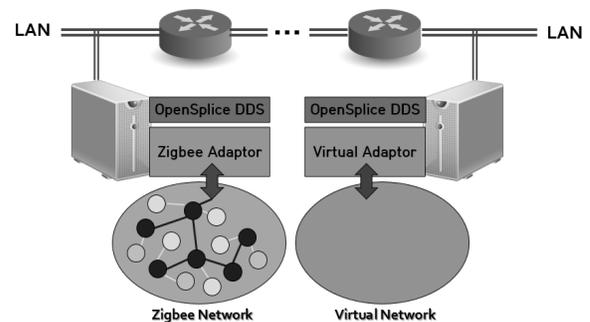


Fig. 5. Diagram of simulation

RecNo	DeviceID	ServiceName	Parameter
1	ZigbeeAdaptor_00	AirConditionerOnOff	("cmd":"0(off),1(on)")
2	ZigbeeAdaptor_00	GetElectricEnergy	("month":"1(January)-12(December)")

Fig. 6. Store the Metadata in the database

```

Console:
<terminated> ZigbeeAdaptor [Java Application] C:\Program Files\Java\jre7\bin\javaw.exe (2013. 7. 31. 오후 1:00:00)
=== [ZigbeeAdaptor_00] Write a PublishTopic Sample ===
ID: ZigbeeAdaptor_00
SERVICE: AirConditionerOnOff
PARAMETERS: {"cmd":"0(off),1(on)"}

=== [ZigbeeAdaptor_00] Write a PublishTopic Sample ===
ID: ZigbeeAdaptor_00
SERVICE: GetElectricEnergy
PARAMETERS: {"month":"1(January)-12(December)"}

Console:
<terminated> ZigbeeAdaptor [Java Application] C:\Program Files\Java\jre7\bin\javaw.exe (2013. 7. 31. 오후 1:00:00)
=== [ZigbeeAdaptor_00] Read a PublishTopic Sample ===
ID: ZigbeeAdaptor_00
SERVICE: AirConditionerOnOff
PARAMETERS: {"cmd":"0(off),1(on)"}

=== [ZigbeeAdaptor_00] Read a PublishTopic Sample ===
ID: ZigbeeAdaptor_00
SERVICE: GetElectricEnergy
PARAMETERS: {"month":"1(January)-12(December)"}
    
```

Fig. 7. Publish-Subscribe the Topics at the DDS

지그비 어댑터의 지그비 코디네이터는 지그비 노드가 전송한 서비스 정보를 지그비 패킷 형태로 수신하고 메타데이터 형태로 변환하여 메타데이터 매니저에게 전달한다. 메타

데이터 매니저는 전달받은 메타데이터를 관계형 데이터베이스에 저장하고(Fig. 6) 저장된 메타데이터는 토픽 인스턴스 매니저가 토픽 인스턴스를 생성하는 데 사용한다. 토픽 인스턴스 매니저는 메타데이터를 서비스 퍼블리쉬 토픽 인스턴스로 변환하여 DDS 엔터티 매니저에게 전달하면 적절한 QoS와 함께 DDS로 발간된다(Fig. 7).

6. 결론 및 향후 연구

본 연구는 지그비 네트워크와 사물인터넷의 다른 네트워크 간 DDS를 기반으로 데이터/이벤트/서비스를 교환하는 지그비 어댑터를 설계했다. 지그비 어댑터는 본 논문에서 명시한 사물인터넷 환경의 데이터/이벤트/서비스 형태의 정보를 토픽으로 변환하고 DDS를 통해 발간하여 외부 네트워크에 제공하거나, 반대로 토픽을 구독하여 지그비 네트워크에 제공하는 양방향 정보교환을 특징으로 한다. 특히 DDS의 발간-구독 형태의 통신은 IP 기반의 통신과 달리 사물 개체수 증가에 따른 엔드 포인트 제약이 없고 1:1뿐 아니라 1:N / N:1 / N:N 등 사물 간 다양한 형태의 정보교환을 지원할 수 있다. 게다가 DDS는 정보 교환에 QoS를 지원하여 실시간 및 신뢰성 있는 정보교환을 보장한다.

지그비 어댑터는 물리적 제약이 있는 무선 센서 노드로 구성된 지그비 네트워크의 특징을 고려해야 한다. 특히 지그비 네트워크 내 무선 센서 노드들은 제한된 전원공급으로 운용되기 때문에 빈번한 무선 통신은 전체적인 지그비 네트워크의 수명을 단축시킨다. 따라서 지그비 네트워크의 전체적인 네트워크 수명을 고려하여 보다 지속적이고 안정적인 정보교환을 가능하게 하는 요소들이 지그비 어댑터에 반영될 필요가 있다.

Reference

[1] Recommendation Y. 2060, "Overview of Internet of Things", ITU-T, Geneva, 2012.
 [2] Hao Chen, Xueqin Jia and Heng Li, "A Brief Introduction to IoT Gateway", Communication Technology and Application (ICCTA 2011), IET International Conference, pp.610-613, 2011.
 [3] Zigbee Specification Documnet 0547r17, Zigbee Specification, Zigbee Alliance, 2008.
 [4] IEEE std. 802.15.4-2011, IEEE Standard for Local and metropolitan area networks-Part 15.4: Low-rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 2011.
 [5] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, "The Internet of things: A survey", Computer Networks, Vol.54, No.15, pp.2787-2805, 2010.
 [6] Data Distribution Service for Real-time Systems Version 1.2, Object Management Group, 2007.
 [7] Lili Wu, J. Riihijarvi J. and P. Mahonen, "A Modular Wireless Sensor Network Gateway Design", Communications and Networking in China, CHINACOM '07. Second International Conference, pp.882-886, 2007.

[8] Q. Zhu, R. Wang, Q. Chen, Y. Liu and W. Qin, "IOT Gateway: Bridging Wireless Sensor Networks into Internet of Things", Embedded and Ubiquitous Computing, 2010 IEEE/IFIP 8th International Conference, pp.347-352, 2010.
 [9] K. A. Emara, M. Abdeen and M. Hashem, "A Gateway-based Framework for Transparent Interconnection WSN and IP Network", In EUROCON '09, pp.1775-1780, 2009.
 [10] D. Bimschas, H. Hellbruck, R. Mietz, D. Pfisterer, K. Romer and T. Teubler, "Middleware for Smart Gateways Connecting Sensornets to the Internet", In Proceedings of the 5th International Workshop on Middleware Tools, Services and Run-time Support for Sensor Networks (MidSens '10), pp.8-14, 2010.



백 문 기

e-mail : zmzment@gmail.com

2013년 충남대학교 컴퓨터공학과(학사)

2013년~현 재 충남대학교 컴퓨터공학과 석사과정

관심분야 : WSN, 사물인터넷, 웹서비스, 데이터 베이스 시스템, HTML5



임 형 준

e-mail : hyungjun25@cnu.ac.kr

2007년 충남대학교 전기정보통신공학부 컴퓨터전공(학사)

2007~2009년 충남대학교 컴퓨터공학과 (석사)

2009~현 재 충남대학교 컴퓨터공학과 박사과정

관심분야 : 사물 인터넷, 웹서비스, 실시간 조합



이 규 철

e-mail : kcleec@cnu.ac.kr

1984년 서울대학교 컴퓨터공학(학사)

1986년 서울대학교 컴퓨터공학(석사)

1990년 서울대학교 컴퓨터공학(박사)

1989년~현 재 충남대학교 컴퓨터공학과 교수

1989년 3월~1994년 6월 미국 IBM Almaden Research Center 초빙연구원

1995년 8월~1996년 8월 미국 Syracuse University, CASE Center 초빙 교수

1997년 1월~1998년 1월 교육부 학술진흥재단 부설 첨단학술센터 파견 교수

2009년 8월~현 재 웹코리아 포럼 의장

2009년 10월~현 재 정보통신사업진흥회 포럼 의장

2009년 11월~현 재 KISTI 정보화사업 평가위원회 위원

관심분야 : 데이터베이스, XML, 정보 통합, 사물 인터넷