KNX-ZigBee 게이트웨이의 설계 및 구현

Design and Implementation of KNX-ZigBee Gateway

이 우 석, 홍 승 호*
(Woo Suk Lee¹ and Seung Ho Hong²)

¹Purdue University

²Hanyang University

Abstract: The demand for wireless technology in home automation systems has recently been increasing due to several advantages such as installation cost reduction, easy placement, easy extension, aesthetic benefits, and mobile device connectivity. Among the many wireless technologies, ZigBee is one of the most useful for home automation; a wireless home networking system can be configured using ZigBee alone. Compatibility with conventional home networking systems that are based on wired media, however, is not supported. KNX is a mature protocol for wired media that is recognized as an international standard. This paper proposes a KNX-ZigBee gateway to interface between KNX and ZigBee systems and thereby enable integration of wired and wireless home automation systems.

Keywords: KNX, ZigBee, gateway, wireless sensor network, home automation

I. 서론

최근 주거 환경의 고급화에 발맞추어 집안의 조명, 냉난방, 방재, 방법, 오락 및 통신 기능을 하나의 시스템으로 통합·제어함으로써 가정을 안락하고, 안전하며, 편리하게 하는 다양한 홈 오토메이션 및 홈 네트워크 기술과 제품이 보급되고 있다. 또한, 유비쿼터스 개념의 출현 및 확산에 따라 외부 환경과의 통신 기능 확보 및 무선 기능의 확충 등 홈 네트워크의 벽을 넘어 홈 네트워크 시스템은 유비쿼터스 사회의 기본 단위로서 변화해 가고 있다.

유비쿼터스 환경에서의 홈 네트워크가 충실한 제 기능을 발휘하기 위해서는 통신 매체의 추가적인 설치 없이도 통신 경로를 확보하여 휴대형 장치들과의 통신 연결성을 확보할 수 있는 무선 기술의 도입이 필수적이다. 또한, 무선 기술이 가지고 있는 위와 같은 물리적인 장점뿐만 아니라, 설치·확장 비용의 절감 및 심미적 욕구의 충족 등의 부가적인 장점들 역시 홈 네트워크 시스템에 대한 무선 기술의 도입의 타당성을 뒷받침 하는 요소들이다[1,2].

그러나 홈 네트워크에 대한 무선 기술의 도입에 있어서, 역으로 고려해야 할 것은 기존에 설치되어 있는 유선 기반의 홈 네트워크 통신망에 대한 호환성이다. 진정한 유비쿼터스 환경의 도래를 위해서는 모든 홈 네트워크 시스템은 서로간의 데이터 교환이 가능한 단일 네트워크를 구성할 수 있어야 한다. 따라서, 홈 네트워크 시스템에 도입되기 위한 무선 기술들은 기존의 기 설치된 시스템에 대한 상호 운용성을 보장할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 위와 같은 필요성에 입각

하여 기술적으로 가장 성숙한 국제 표준 홈 네트워크 시스템 프로토콜 중 하나인 KNX (ISO/IEC 14543)와 유비쿼터스 환경의 무선 네트워크 시스템으로 가장 각광 받고 있는 프로토콜 중 하나인 ZigBee간의 연동 방법을 개발하여 서로 다른 유선 및 무선 기반 시스템간의 연동을 통해 유·무선 통합 홈 네트워크 시스템을 구축하는 방법에 대해 논의한다.

본 논문에서는 KNX-ZigBee의 게이트웨이 설계의 기본 개념에 관하여 저자들이 발표한 논문 [3]을 확장하여 구체적인 구현 방법을 제안한다. 본 논문의 II 장에서는 KNX와 ZigBee 프로토콜에 대하여 간략히 기술하였다. III 장에서는 KNX와 ZigBee의 인터페이스 방법에 대하여 기술하였다. IV 장에서는 KNX와 ZigBee 간의 매핑 방법을 기술하였다. V 장에서는 KNX-ZigBee 게이트웨이의 하드웨어 및 소프트웨어 구현에 대하여 기술하였다. VI 장에서는 실험을 통하여 KNX-ZigBee 게이트웨이의 기능 및 동작에 대한 타당성을 검증하였다. 마지막으로 VII 장에 본 연구의 결론을 기술하였다.

II. KNX 및 ZigBee 프로토콜

1. KNX 프로토콜

KNX는 빌딩 및 주택에서의 전력, 조명, 냉난방, 보안, 에너지 시스템 등의 제어를 위해 유럽에서 개발된 표준 통신망 프로토콜로서 본래 유럽 지역에서 널리 쓰이던 3개의 주요 홈 네트워크 프로토콜인 BatiBus, EIB (European Installation Bus) 및 EHS (European Home System)가 하나로 통합되어 KNX 프로토콜이 완성되었다[4-6]. 이후, KNX는 국제 표준 프로토콜로서 ISO/IEC 14543-3으로 승인되었다. 이러한 표준 프로토콜이라는 특징을 통해 각기 다른 생산자가 개발한 장치에 대해서도 호환성 및 상호 운용성을 보장할 수 있다.

KNX의 계층 구조는 OSI 7계층에 입각해 볼 때, 그림 1과 같이 물리계층, 데이터링크 계층, 네트워크 계층, 트랜스포트 계층 및 응용 계층으로 구성 되어 있다.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2011. 2. 7., 수정: 2011. 4. 20., 채택확정: 2011. 5. 26.

이우석: 퍼듀대학교 전자컴퓨터공학과(lee992@purdue.edu)

홍승호: 한양대학교 전자시스템공학부(shhong@hanyang.ac.kr)

※ 본 연구는 경기도의 경기도지역협력연구센터(GRRC) 사업의 일환으로 수행하였음[(GRRC Hanyang 2010-B01), Building/Home USN Technology for Smart Grid].

그림 1. KNX의 계층 구조.
Fig. 1. KNX Layer structure.

KNX는 Twisted Pair, Power Line, RF (Radio Frequency) 및 Ethernet 등의 다양한 통신 매체를 지원한다. 대부분의 KNX 시스템에서는 다른 매체에 비해 상대적으로 높은 안정성을 제공하는 Twisted Pair가 사용되며, 상전원 Power Line을 이용하여 PLC (Power Line Communication)를 구성할 수도 있다. 또한, 이러한 유선 통신 매체의 설치가 용이하지 않은 경우를 위해 RF역시 지원하지만, 보안 및 지능적인 망 관리 등의 기능이 다른 프로토콜에 비해 미비하다. 그리고 이상의 모든 매체는 KNX Ethernet Coupler를 통해 외부 인터넷 망과 연결 될 수 있다. KNX는 유선 매체 사용의 경우 전기적 요구조건 (resistive and capacitive length)을 충족시키는 범위 내에서 다양한 와이어링이 가능하다. 또한, 일반 동작 절차에서 멀티캐스트 기반으로 동작하므로 네트워크 토폴로지는 장치 동작에 영향을 미치지 않는다.

표 1. KNX DPT의 Sub number 분류 체계.

Table 1. Sub number classification of KNX DPT.

Application Domain	Sub-number	MAIN number			≥ 60 000
		0 ... 199	200 ... 299	300 ... 59 999	
		mainly unstructured	structured		
Common use	0 ... 99	DPT is • standard • mainly unstructured • common use	DPT is • standardised • structured • common use	reserved for future use managed by WGI	Reserved. These DPT-IDs shall not be used.
HVAC	100 ... 499	DPT is • standardised • unstructured • HVAC specific use	DPT is • standardised • structured • HVAC LTE only		
Load Management	500 ... 599	DPT is • standardised • unstructured • LMM specific usage	DPT is • standardised • structured		
Lighting	600 ... 999	DPT is • standardised • unstructured • lighting	DPT is • standardised • structured • lighting		
System	1 000... 1 199	DPT is • standardised • unstructured • system	DPT is • standardised • structured • system		
Reserved	1200... 50 999	reserved for other applications (managed by WGI)			
Manufacturer specific	≥ 60 000	manufacturer specific extensions *		manufacturer specific extensions *	

³ For interpretation of these Datanpoint Types the device type needs to be known

* For interpretation of these Datapoint Types the device type needs to be known.

그림 2. KNX 텔레그램 구조.
Fig. 2. KNX Telegram structure.

KNX는 동일한 사용자 데이터(user data) 값을 다양한 용도로 사용하기 위하여 DPT (Datapoint Type)를 정의하고 있다. DPT는 16-bit main number와 16-bit Sub number로 구분되며, main number는 DPT의 형식 또는 인코딩을 의미하고, Sub number는 사용자 데이터의 차원 또는 단위를 나타낸다. DPT는 KNX 협회의 관리를 통해 표준 규격화 되어 유지 보수되며, 새로운 용도의 DPT가 필요할 경우 KNX 협회에 심사를 통해 표준 DPT로 추가된다. 2007년 12월 현재 최신 DPT 관련 표준 규격 문건에는 296종류의 DPT가 표 1과 같이 지정되어 있다.

프로토콜의 측면에서 서비스란 프로토콜의 각 계층이 제공하는 기능을 의미한다. 각 계층별로 여러 가지 서비스가 존재하지만 사용자가 접근할 필요가 있는 서비스는 응용계층 서비스가 일반적이다. KNX는 일반 동작 단계에서 장치들은 멀티캐스트 기반으로 동작하며 로컬 및 리모트 장치 통신 객체의 값을 읽어오기 위한 ‘A_GroupValue_Read’와 로컬 및 리모트 장치의 통신 객체에 값을 쓰기 위한 ‘A_GroupValue_Write’가 사용된다.

KNX에는 16bit 물리 주소(Physical Address) 및 16bit 그룹 주소(Group address)의 두 가지 주소체계가 존재한다. 물리 주소는 모든 장치들이 갖는 고유 주소이며 이를 통해 각각의 장치를 구별할 수 있다. 물리 주소는 장치의 확인, 커미셔닝 과정에서 장치에 대한 프로그래밍 및 진단 절차에 사용된다. 반면에 그룹 주소는 평상시의 일반 동작에 사용되는 주소로서, 장치 내부의 통신 객체에 부여되는 주소이다. 장치들은 멀티캐스트를 기반으로, 통신 객체에 할당된 그룹 주소를 목적지 주소로 갖는 텔레그램에 의해 동작된다. 이로써 설치자는 장치의 위치 및 토폴로지에 전혀 상관없이 장치들 간의 동작을 정의할 수 있으며 일반 사용자는 보다 직관적으로 전체 시스템을 이해할 수 있다.

KNX 텔레그램은 통신 매체에 따른 KNX 세부 표준마다 약간의 차이가 있으나 기본적으로 그림 2에서 보는 바와 같이 최대 23바이트이며 필요에 따라 확장 텔레그램의 사용이 가능하다. KNX 텔레그램에서 주목할 점은 사용자 데이터의 사용 용도에 대한 기술(user data description)인 DPT 정보가 텔레그램 안에 포함되어 있지 않다는 점이다. DPT 정보는 초기 커미셔닝 단계에서 KNX의 공인 커미셔닝 툴 소프트웨어인 ETS를 통해 관리되며, 네트워크 자원의 효율적 사용을 위해 텔레그램 안에는 포함되어 있지 않다.

2. ZigBee 프로토콜

ZigBee는 전세계 250개 이상의 회사들이 개발하고 지원하

는 사실상 표준(de facto standard) 프로토콜이다. 다양한 무선 기반 프로토콜들이 있으나, ZigBee는 유비쿼터스 및 센서 네트워크 환경에 가장 적합하다고 인정 받는 프로토콜이다[7,8]. ZigBee는 일상 기기들에 무선 지능 및 성능을 구축함으로써 유연성과 이동성 및 편리성을 제공하기 위해 디자인 되었으며 신뢰성, 확장성, 긴 배터리 수명 및 저비용 등의 특징을 강점으로 내세우고 있다. ZigBee는 무선 센서 네트워크의 개념이 도입 가능한 다양한 분야에 적용 가능하며, 현재까지는 ‘홈 오토메이션’ 및 ‘원격 검침’에 관련한 ‘활용 표준 문건’이 발표되었다.

ZigBee의 프로토콜 계층은 물리 계층과 MAC 계층의 IEEE 802.15.4와 라우팅 프로토콜이 정의된 네트워크 계층, 네트워크 계층과 응용계층의 연계를 위한 응용 지원 하부 계층(Application Support Sub-layer)으로 구성된다[9]. ZigBee의 물리 계층과 MAC 계층은 IEEE 802.15.4 규격을 따르고 있기 때문에 ZigBee의 통신 매체는 IEEE 802.15.4에서 정의하고 있는 2.4GHz, 868MHz 및 915MHz를 사용하고 있다. 또한 IEEE 802.15.4의 가장 큰 특징 중 하나인 저전력 통신 기술로, 유사한 용도의 프로토콜 중 저전력 고속 통신에 보다 적합한 특징을 지니고 있다.

ZCL (ZigBee Cluster Library)은 ZigBee 규격을 통해 응용 프로그램을 개발할 때 기본적으로 사용되는 기능을 종류별로 모아 기능 블록으로 구성해 놓고 있다[10,11]. 이는 ZigBee 기술의 응용 용도에 따라 ZigBee Profile로 재정의되며 이를 통해 개발자는 호환성 있는 장치를 개발할 수 있다. ZigBee Profile은 ZigBee 응용 분야에 맞추어 호환성 있는 장치를 개발할 수 있도록 ZCL을 기반으로 작성된 규격이다. 현재 ‘HAP (Home Automation Public Application Profile)’ 및 ‘SEP (Smart Energy Public Application Profile)’ 및 ‘CBA (Commercial Building Application)’ 등의 Profile이 발표 되었으며, 지속적으로 추가 되고 있다.

그림 3. HAP에 정의된 ‘On/Off switch’ 장치.
Fig. 3. ‘On/Off switch’ device defined in HAP.

그림 4. HAP의 ‘On/Off switch’에 대한 설정.
Fig. 4. Configuration of ‘On/Off switch’ in HAP.

ZigBee Profile은 ZigBee Cluster Library에서 정의하고 있는 Cluster들의 조합을 통해 이루어진다. 예를 들어 HAP에서 정의하고 있는 ‘On/Off Switch’ 장치의 경우 그림 3 [3]과 같이 ZCL에서 정의하고 있는 ‘On/Off’, ‘Scenes’, ‘Groups’, ‘Identify’ 및 On/Off Switch Configuration’ Cluster들의 조합으로 구성되어 있다[11].

사용자 데이터의 사용 용도를 정확히 표현하기 위해서는 ZigBee 프로파일의 Profile, Endpoint, Device ID, Cluster, Attribute, Data type, 및 Attribute data 값들을 정확히 기술해야 한다. 예를 들어 HAP에서 정의하고 있는 On/Off Switch에서 사용 가능한 데이터를 기술하기 위해서는 그림 4와 같은 값 설정이 필요하다.

위의 그림에서 보는 바와 같이 스위치를 켜기 위한 데이터인 0x01이라는 데이터의 용도를 표현하기 위해 Profile ID는 HAP를 가리키는 0x0104로 설정되었으며 Device ID는 On/Off Switch임을 알리는 0x0000으로, Cluster ID는 On/Off Cluster임을 알리기 위해 0x0006으로, Attribute ID는 On/Off Attribute임을 알리기 위해 0x0000으로 설정되었다. 또한 사용자 데이터인 0x01의 데이터 형을 알리기 위해 Data Type은 Boolean을 나타내는 0x01으로 설정되었다(여기서 Endpoint 번호는 사용자에 의해 임의로 바뀔 수 있으며 HAP와는 관련 없음). 이와 같이, ZigBee에서는 사용자 데이터의 사용 용도에 대한 기술을 위해, Profile ID, Device ID, Cluster ID, Attribute ID, Data type 및 규정된 Attribute data가 필요함을 알 수 있다.

ZigBee는 64bit IEEE 주소 및 16bit 네트워크 주소의 두 가지 주소체계를 지원한다. 64bit IEEE address는 장치 고유의 주소로서 사용되며, 16bit 네트워크 주소는 네트워크 관리에 사용되고 Ad-hoc 네트워크 ID로서 네트워크 접속시 부여된다. 일반 동작에는 16bit 네트워크 주소가 사용되며 최대 64,000여 개의 주소 할당이 가능하다.

ZigBee 프레임은 계층별로 다수의 필드와 복잡한 구조를 가지고 있으나 그림 5와 같이 개괄적으로 표현 될 수 있다.

ZigBee 네트워크는 PAN Coordinator, Router 및 End device로 구성되는데 이 장치들은 기능의 완전성에 따라 FFD (Full Function Device)와 RFD (Reduced Function Device)로 구분된다.

그림 5. ZigBee 계층 프레임 구조.
Fig. 5. Frame structure of each layer in ZigBee.

FFD는 PAN Coordinator, Router 및 End device로 동작할 수 있는 반면, RFD는 End device로만 동작할 수 있다. ZigBee 네트워크는 PAN Coordinator를 중심으로 Router와 End device가 연결되는 계층 구조를 가지고 있으며, 이를 통해 Star, Cluster 및 Mesh 네트워크 구성이 가능하다.

III. KNX와 ZigBee 인터페이스

유선 기반의 홈 네트워크 프로토콜로서 국제 표준으로 승인된 KNX는 실제로 많은 가정 및 건물에 설치되어 있는 상대적으로 성숙한 프로토콜이다. 이에 비해 무선 기반의 ZigBee 프로토콜은 각종 어플리케이션에 적용될 수 있도록 새롭게 제안된 차세대 프로토콜로서 자체적으로는 지능적인 라우팅 및 자원관리 등 효율적인 기능을 지니고 있다. 따라서, ZigBee와 KNX의 연동 방법을 모색하여 두 네트워크의 연동 가능성을 확보함으로써, ZigBee는 기존의 KNX 홈 네트워크 시스템이 설치된 환경에 추가적인 도입이 가능해지고, KNX 기반의 홈 네트워크 시스템은 기존의 KNX가 지원하는 무선 매체 기반의 KNX/RF보다 상대적으로 성능이 뛰어난 저전력 센서 네트워크 기술인 ZigBee 시스템을 이용할 수 있게 되므로, 유무선 프로토콜의 장점을 결합하여 효율성 및 이용성을 극대화할 수 있다.

이중 프로토콜 간의 연동 방법으로 ‘게이트웨이(gateway)’를 이용할 수 있다. 게이트웨이는 서로 다른 통신망 프로토콜을 사용하는 네트워크간의 통신을 가능하게 하는 장치로서 종류가 다른 네트워크 간의 통로 역할을 한다. 게이트웨이를 통해 KNX와 ZigBee네트워크 및 프로토콜을 연동하면 양측 네트워크는 본연의 기능을 순수하게 유지할 수 있으므로 양 네트워크의 장점을 그대로 유지할 수 있으며, 각 네트워크의 단점은 이중 네트워크 사용을 통해 극복할 수 있다. 그림 6에 게이트웨이를 이용한 KNX와 ZigBee 간의 연동에 대한 네트워크 구성이 나와 있다[3].

그러나 일반적으로 게이트웨이 구현을 위해서는 양측 프로토콜의 각 요소를 일일이 매핑해 주어야 하므로, 그 구조가 복잡해 지거나 유지보수가 필요하고 경우에 따라 매핑이 완전히 불가능할 수도 있다. 따라서 양측 네트워크가 게이트웨이를 통해 연결 가능한가에 대한 철저한 사전 분석이 선행되어야 하며 이를 통해 매핑의 가능성이 검증되어야만 비로써 게이트웨이 개발이 가능하다. 위와 같은 필요성에 따라

그림 6. KNX-ZigBee 게이트웨이를 이용한 네트워크 구성.
Fig. 6. Network configuration using KNX-ZigBee gateway.

사전 분석에 앞서, KNX 및 ZigBee, 두 네트워크가 홈 네트워크를 대상으로 하여 디자인 되거나 홈 네트워크에 대한 적용 방법을 제공하고 있다는 점에서 매핑의 가능성을 확보할 수 있을 것이라고 가정해 볼 수 있으며, 실제로 매핑 가능성에 대한 검토 및 연구를 통해 효과적으로 KNX와 ZigBee 간의 변환 기능을 구현할 수 있는 방법을 도출할 수 있었다.

IV. KNX-ZigBee 게이트웨이 매핑 방법

게이트웨이는 세부적으로는 양 네트워크 프로토콜의 각 요소에 대해 해당 네트워크로부터 상대 네트워크로의 변환을 수행할 수 있어야 하므로, 상응하는 각 요소간의 맵핑 및 변환이 가능해야 하며 이러한 맵핑 및 변환은 다음과 같이 세가지 부분에 걸쳐 이루어져야 한다.

- (1) 속성 변환(attribute translation)
- (2) 응용 계층 서비스 변환(application level service translation)
- (3) 주소 변환(address translation)

1. 속성 변환 (Attribute translation)

여기서 말하는 속성이란 프로토콜에서 사용자 데이터를 기술하기 위한 정보를 의미한다. 예를 들어 ‘1’이라는 사용자 데이터가 있을 때 이 ‘1’이라는 숫자가 무엇을 의미할 것인지에 대한 정보가 필요하게 되는데, 이때의 ‘1’이라는 ‘사용자 데이터(user data)’와 이의 용도에 대한 ‘사용자 데이터의 사용 용도에 대한 기술(user data description)’이 속성이 된다. KNX와 ZigBee는 사용자 데이터의 사용 용도에 대한 기술을 위해 각각 ‘DPT (Datapoint Type)’과 ‘Profile’을 정의하고 있다. 비교의 관점에 따라 DPT보다 Profile이 조금 더 큰 범주이기는 하나 Profile 내부의 세부 요소인 Cluster가 DPT와 상응하는 기능을 하고 있다는 점에서 KNX의 DPT와 ZigBee의 Profile 간의 맵핑을 통해 속성 변환을 달성할 수 있음을 알 수 있다. 게다가, KNX와 ZigBee에는 시스템 구동의 핵심 요소인 논리 객체 또는 연결 포인트로 기능하는 통신 객체 (communication object)와 Endpoint가 존재하는데 KNX의 DPT와 ZigBee의 Profile은 각각 KNX의 통신 객체와 ZigBee의 Endpoint와 연관되어 사용되는 유사한 구조를 가지고 있다. 따라서 각 시스템의 속성들은 그림 7과 같이 표현될 수 있다[3].

2. 응용계층 서비스 변환(Application service translation)

KNX에서 일반적으로 사용되는 서비스는 데이터를 읽거나 쓰기 위한 A_GroupValue_Write와 A_GroupValue_Read의 두 가

그림 7. KNX DPT와 ZigBee Profile 비교.
Fig. 7. Comparison of KNX DPT and ZigBee Profile.

지 서비스로 요약해 볼 수 있으며, ZigBee 측면에서도 이에 상응하는 응용 계층 서비스의 지원이 필요하다. 이에 상응하는 ZigBee의 응용 계층 서비스를 찾기에 앞서 ZigBee의 응용 계층 서비스 분류 체계에 주목할 필요가 있다.

ZigBee의 경우, ZCL의 Cluster가 각기 정의하고 있는 특정 명령과 Cluster에 구애 받지 않고 사용할 수 있는 공용 명령의 두 가지로 응용 계층 서비스를 대분할 수 있다. KNX의 경우 A_GroupValue_Write 및 A_GroupValue_Read 서비스가 전체 시스템을 아우르고 있으나, 앞 절의 속성 변환 과정이 DPT와 Profile안의 Cluster간의 맵핑을 통해서 이루어진다는 점에서 경우에 따라 ZigBee 측에서는 공용 명령 대신 Cluster가 정의하고 있는 명령을 사용해야 할 수도 있다. 즉, 양측 네트워크간의 읽고 쓰기를 위한 응용 계층 서비스가 KNX의 A_GroupValue_Write 및 A_GroupValue_Read 서비스와 이에 상응하는 두 가지의 ZigBee 공용 명령이 될 수도 있으나, 실제로는 KNX의 두 가지 서비스는 ZigBee Cluster의 특징에 따라 공용 명령이 아닌 ZigBee Cluster 고유의 명령과 맵핑 될 수도 있다.

3. 주소 변환(Address translation)

KNX-ZigBee 게이트웨이에서 가장 주목할 부분은 주소 변환 부분이다. KNX-ZigBee 게이트웨이의 효율적인 주소 변환 방법은 자칫 복잡해 질 수 있는 KNX-ZigBee 게이트웨이의 구조를 단순하고 효율적으로 유지할 수 있게 하기 때문이다. KNX는 일반 동작 시 16bit 그룹 주소만을 사용하며, ZigBee 역시 16bit 네트워크 주소만을 사용한다. 이에 덧붙여 ZigBee 역시 16bit의 그룹 주소기능을 지원한다. 따라서 기본적으로 같은 주소 길이를 가지고 있으므로 양 네트워크에는 접근 불가능한 장치가 없다. 또한, 각각의 네트워크가 그룹 주소라는 같은 기능의 주소 체계를 지원함으로써 결과적으로 주소 변환 과정은 양측의 그룹주소를 그대로 사용함으로써 자동적으로 해결되게 된다.

V. KNX-ZigBee 게이트웨이 구현

1. KNX-ZigBee 게이트웨이 하드웨어 구현

KNX-ZigBee 게이트웨이 구현을 위해서는 기본적으로 KNX 통신 기능을 위한 KNX 모듈 및 ZigBee 통신을 위한 ZigBee 모듈이 필요하며, 이 둘 간의 데이터 교환을 가능하게 하는 주변 장치 회로가 필요하다. KNX 통신 모듈은 KNX 통신의 기능은 물론 ZigBee 통신 모듈과의 데이터 교환을 위한 기능을 모두 갖추어야 한다. 이러한 KNX 통신 모듈은 사용하는 매체에 따라 물리계층 회로가 다르게 구현되어야 하므로 KNX 통신 모듈을 구현하기에 앞서 어떠한 매체를 사용하는 KNX 세부 규격을 이용할 것인지를 먼저 결정해야 한다. 본 연구에서는 KNX 세부 규격 중 가장 많이 사용되는, Twisted Pair를 통신 매체로 사용하는 KNX/TP1을 대상으로 선정 하였다.

KNX/TP1 규격은 물리 계층으로 29VDC powered bus를 사용하고 있다. KNX 통신 모듈은 KNX/TP1 통신 라인의 데이터를 송수신할 수 있게 하는 물리 계층 칩을 사용해야 하기 때문에 본 연구에서는 KNX에서 공급하고 있는 'TP-UART-IC' 칩이 사용됐다. TP-UART-IC 칩은 KNX/TP1 통신 라인의

데이터를 MCU가 이해할 수 있는 UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) 데이터 포맷으로 변환하는 역할 및 KNX의 데이터 링크 계층의 역할을 수행한다.

KNX 프로토콜의 하위 계층 기능은 물리 계층 칩을 통해 제공되지만 상위 계층의 기능을 제공하기 위해서는 추가적인 하드웨어가 필요하며, 이를 위해 Atmel사의 ATmega128 AVR MCU를 사용하였다. ZigBee 통신 모듈과의 데이터 교환을 위해서는 UART 방식이 사용되었다. ATmega128 MCU에는 두 쌍의 UART 포트가 존재하며 하나의 UART 포트는 TP-UART-IC를 통해 KNX/TP1 통신 라인의 데이터를 송수신하는데 사용되었으며, 다른 하나는 ZigBee 통신 모듈과의 데이터 교환을 위해 사용되었다.

ZigBee 통신 모듈은 ZigBee 통신의 기능은 물론 KNX 통신 모듈과의 데이터 교환을 위한 기능을 모두 갖추어야 한다. 따라서 ZigBee 통신 모듈은 2.4Ghz 무선 통신이 가능해야 하며 IEEE 802.15.4에서 정의하는 물리 계층의 기능을 제공할 수 있어야 한다. ZigBee 통신 모듈의 구현을 위해서 본 연구에서는 ZigBee의 물리 계층 및 MAC 계층으로 사용되는 IEEE 802.15.4를 만족할 수 있는 무선 RF 회로 및 ZigBee 프로토콜을 구동할 수 있는 8051 코어가 된 칩 형태로 내장되어 있는 RadioPulse의 MG2455 칩을 사용하였다.

KNX 통신 모듈과의 데이터 교환을 위해서는 UART 방식이 사용되었다. MG2455에는 두 쌍의 UART 포트가 존재하며 하나의 UART 포트는 USB 장치와 연결되어 MG2455 칩에 대한 프로그램 다운로드 및 디버깅을 위해 사용 되었으며 다른 하나는 KNX 통신 모듈과의 데이터 교환을 위해 사용되었다.

각각의 KNX 통신 모듈 및 ZigBee 통신 모듈 이외에도 KNX-ZigBee 게이트웨이 구현을 위해서는 두 모듈간의 데이터 교환을 위한 통신 회로 및 변환 과정을 표시할 수 있는 회로와 각 모듈에 전원을 공급할 수 있는 전원회로가 필요하다. 주변 장치 구현에 있어 가장 중요한 부분은 전원 회로이다. KNX 통신 모듈은 5VDC 기반으로 동작하며, ZigBee 통신 모듈은 3.3VDC 기반으로 동작하기 때문에 전원회로는 5VDC를 입력 받아 3.3VDC로 변환하는 기능을 가지고 있다. 전원 공급은 SMPS등의 어댑터 또는 USB로부터 이루어진다. KNX 통신 모듈과 ZigBee 통신 모듈은 각각 UART 데이터

그림 8. KNX-ZigBee 게이트웨이 기능 블록 다이어그램.
Fig. 8. Functional block diagram of KNX-ZigBee gateway.

그림 9. KNX-ZigBee 게이트웨이 사진.

Fig. 9. Picture of KNX-ZigBee gateway.

형식을 통해 데이터를 교환하지만 각 모듈의 구동 전압이 다르기 때문에 두 모듈간의 데이터 교환은 UART 데이터를 변환한 RS-232 기반의 표준화된 전압 레벨을 통해 이루어진다. KNX-ZigBee 게이트웨이 상에서 이루어지는 모든 변환 과정은 128X64 그래픽 LCD를 통해 출력되어, 변환 진행 과정을 모니터링할 수 있다. 또한, 각 통신 모듈에서 출력되는 UART 신호는 테스트 포인트 및 추가적인 RS-232 회로를 통해서도 출력되므로 각종 테스트 장치 및 컴퓨터를 통해 모니터링 될 수 있다.

그림 8과 9는 각각 본 연구를 통하여 개발된 KNX-ZigBee 게이트웨이의 블록다이어그램 및 사진이다[3].

2. KNX-ZigBee 게이트웨이 소프트웨어 구현

KNX-ZigBee 게이트웨이의 변환 과정을 위한 소프트웨어 구현을 위해서는 KNX 및 ZigBee 프로토콜이 필요하다. 본 연구의 목적은 KNX-ZigBee 게이트웨이의 구현에 있으므로 KNX의 경우에는 게이트웨이 구현에 필요한 응용 계층 서비스인 A_GroupValue_Write 및 A_GroupValue_Read 서비스들만 포함한 부분적인 KNX 통신 스택이 개발되었다. 또한, 네트워크상에서의 장치 자원관리를 위한 통신 객체 및 응용 프로그램 구현을 위한 API (Application Program Interface)등도 구현되어 있다. 구현된 KNX 통신 스택의 전체적인 구조는 그림 10과 같다.

ZigBee 통신 스택의 경우 RadioPulse에서 제공하는 ZigBee 전체 스택을 사용하였다. 이 스택의 경우 ZigBee 규격에서 정의하고 있는 모든 기능이 구현되어 있으나, ZigBee 통신 스택 개발자의 지적 재산권 보호를 위해 User Edit 부분 외의 세부 계층의 기능에는 접근할 수 없다. 그림 11은 ZigBee 프로토콜 스택의 구조이다.

KNX 및 ZigBee 통신 스택의 구현에 이어 KNX-ZigBee 게이트웨이 구현의 가장 핵심이 되는 ‘KNX-ZigBee 매핑 루틴’의 개발이 필요하다. KNX-ZigBee 매핑 루틴은 속성 변환, 응용 계층 서비스 변환 및 주소 변환의 세 가지 부분으로 구성된다. 이 매핑 루틴은 각각의 모듈에 나뉘어져 있으며 세 가지 변환 과정에 대한 데이터를 상대 네트워크로 보내거나 받는 데이터 교환의 역할을 하고 있다. 이 때 각 모듈이 주고 받는 데이터는 일정한 형식을 가지고 있어야만 체계적인 데

그림 10. KNX 프로토콜 스택의 구조.

Fig. 10. Structure of KNX protocol stack.

그림 11. ZigBee 프로토콜 스택의 구조.

Fig. 11. Structure of ZigBee protocol stack.

STX	LEN	PKT	ETX
0xAA	Length of stream	Information to be transferred	0x55

그림 12. Simple frame 구조.

Fig. 12. Structure of simple frame.

이터 교환이 가능하기 때문에 그림 12와 같은 이른바 ‘Simple 프레임’을 정의하였다. Simple 프레임은 STX와 ETX 필드를 통해 프레임의 시작과 끝을 알리게 되며 LEN 필드에는 전체 프레임의 길이가 명기되고 PKT 필드에는 현재의 변환 과정에 대한 정보가 기록된다.

매핑 루틴에서 주목할 점은 ‘DPT & GA (Group Address; 그룹 주소) 테이블’이다. KNX 텔레그램에는 DPT에 관한 정보가 없기 때문에 변환과정의 진행도 불가능 하다. 이러한 DPT 정보는 네트워크 커미셔닝 단계에서 커미셔닝 툴 소프트웨어인 ETS를 통해 그룹 주소를 기반으로 관리되므로 ETS로부터 DPT와 GA의 연관정보를 가져와 게이트웨이에서 이용할 수 있다. 따라서 KNX 통신 모듈측의 KNX-ZigBee 매핑 루틴은 텔레그램의 생성 및 분해 과정 이외에도 DPT&GA 테이블을 유지 보수하는 기능이 필요하다.

그림 13 [3]의 KNX-ZigBee 게이트웨이 소프트웨어 구조에서 보는 바와 같이 KNX 통신 모듈이 KNX/TP1 통신 라인으로부터 KNX 텔레그램을 수신하면 수신된 KNX 텔레그램은 KNX 통신 모듈의 물리 계층 칩을 통해 UART 데이터 포맷으로 변환되어 MCU에 전달된다. MCU에 저장되어 있는 KNX-ZigBee 변환 루틴은 DPT & GA 테이블을 참조하여 수신된 텔레그램의 그룹 주소에 해당하는 DPT 정보를 찾아낸

후, 세 가지 변환 과정에 따른 Simple 프레임을 구성하여 ZigBee 통신 모듈에 저장되어 있는 KNX-ZigBee 변환 루틴에 전달한다. ZigBee 통신 모듈의 KNX-ZigBee 변환 루틴은 수신한 Simple 프레임의 내용을 분석하여 ZigBee 프레임을 생성하고 통신 스택의 APS_Data.Req 프리미티브를 통해 ZigBee 네트워크로 송신하여 변환 과정을 완료한다.

ZigBee 통신 모듈이 ZigBee 네트워크로부터 ZigBee 프레임을 수신하면 수신된 ZigBee 프레임은 ZigBee 통신 모듈의 KNX-ZigBee 변환 루틴을 통해 세 가지 변환 과정에 따른 Simple 프레임을 구성하여 KNX 모듈에 전달한다. KNX 통신 모듈에 저장되어 있는 KNX-ZigBee 변환 루틴은 주소 변환과 관련한 Simple 프레임과 DPT & GA 테이블을 참조하여 올바른 Simple Frame이 수신되었는지 검증한 후 Simple 프레임의 내용을 이용하여 KNX 텔레그램을 생성해 KNX/TP1 통신 라인에 전송한다.

VI. KNX-ZigBee 게이트웨이 매핑 실험

본 절에서는 실제 예제를 이용하여 KNX 텔레그램을 ZigBee 프레임으로 변환하는 실험을 진행해 KNX-ZigBee 게이트웨이의 성능을 검증한다. 실험을 위해 KNX 네트워크와 ZigBee 네트워크 및 KNX-ZigBee 게이트웨이로 구성된 간단한 데모 시스템이 구축되었다. 그림 14에서 왼편의 원으로 표시된 등은 KNX Binary Output 장치에 연결되어 있으며 DPT 1.001에 해당하는 1bit 데이터를 받아 전등을 On/Off 제어 가능하다. 오른편의 원으로 표시된 전등은 ZigBee의 On/Off Light 장치에 연결되어 있으며 HAP를 통해 구현되어 있다.

그림 13. KNX-ZigBee 게이트웨이 소프트웨어 구조.

Fig. 13. Structure of KNX-ZigBee Gateway software.

그림 14. 실험을 위한 데모 시스템.

Fig. 14. Demo system for experiment.

본 실험의 목표는 장치 On/Off를 위한 텔레그램을 생성할 수 있는 KNX의 Binary Input Switch에서 전등을 켜기 위한 (사용자 데이터: 0x01) KNX 텔레그램을 생성하여, KNX-ZigBee 게이트웨이를 통해 속성 변환, 응용계층 서비스 변환, 주소 변환의 세 가지 변환 과정을 수행해 ZigBee 프레임으로 변환하고, 생성된 ZigBee 프레임을 통해 ZigBee의 On/Off Light 장치에 연결된 전등을 켜는 On/Off 제어를 하는 것이다.

(1) KNX 텔레그램의 생성

전등을 켜기 위해 그림 14에서 사각형으로 표시된 KNX Binary input Switch가 텔레그램을 생성한다. 그림 15에는 생성된 텔레그램의 프레임 구조가 나타나 있다[3].

(2) KNX 텔레그램의 수신

수신된 텔레그램의 목적지 주소는 그룹 주소로 0x3801이며, 응용 계층 서비스는 APCI 필드를 통해 A_GroupValue_Write이고, 사용자 데이터는 0b000001 (즉, 1)임을 알 수 있다. 목적지 그룹 주소 0x3801에 대한 DPT는 KNX-ZigBee 게이트웨이의 DPT & GA 테이블에 따로 저장되어 있으며, 본 실험에서 그룹 주소 0x3801에 대한 DPT는 DPT_Switch (DPT 1.001)로써, 사용자 데이터 '1'은 On을 의미하고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 분석을 통해 KNX-ZigBee 게이트웨이를 통한 변환 절차에 필요한 세 가지 정보를 모두 파악했다.

(3) KNX 통신 모듈에서 ZigBee 통신 모듈로의 Simple frame 전송

KNX 통신모듈에 저장되어 있는 KNX-ZigBee 변환 루틴에 의해 생성된 Simple 프레임들은 ZigBee 통신 모듈 측의 KNX-ZigBee 변환 루틴에 전달되어 ZigBee 프레임을 생성하기 위한 정보로 활용된다.

(4) ZigBee 통신 모듈의 변환 루틴을 통해 ZigBee 프레임 생성

그림 16. KNX-ZigBee 게이트웨이 속성 변환 결과.

Fig. 16. Result of attribute conversion in KNX-ZigBee gateway.

그림 17. KNX-ZigBee 게이트웨이 응용계층 서비스 변환 결과.

Fig. 17. Result of service conversion in KNX-ZigBee gateway.

그림 18. KNX-ZigBee 게이트웨이 주소 변환 결과.

Fig. 18. Result of address conversion in KNX-ZigBee gateway.

ZigBee 통신 모듈의 KNX-ZigBee 변환 루틴은 수신된 Simple 프레임의 정보에 따라 ZigBee 프레임을 구성한다. 그림 16, 17 및 18에는 KNX-ZigBee의 속성 변환, 응용서비스 변환 및 주소 변환에 대한 결과가 주어져 있으며, 이와 같은 변환 과정을 통해 ZigBee APS 계층 프레임은 그림 19와 같이 완성된다[3].

(5) 생성된 ZigBee 프레임을 통한 ZigBee 장치 제어

생성된 ZigBee 프레임은 KNX-ZigBee 게이트웨이를 통해 ZigBee 네트워크에 전송된다. 전송된 ZigBee 프레임은 ZigBee 네트워크의 On/Off Light 장치에 수신되어 On/Off Light 장치에 연결된 전등을 켜게 된다. 그림 20은 KNX-ZigBee 게이트웨이가 변환이 LCD를 통해 모니터링된 결과이다.

위의 변환 과정 모니터링 결과와 같이 수신된 KNX의 텔레그램은 'BC 11 01 38 01 E1 00 81'로서 KNX의 Binary Input 장치가 생성한 KNX 텔레그램과 일치하는 것을 알 수 있다. 이 텔레그램에서의 목적지 주소는 '0x3801'이며 사용자 데이

Byte : 0	1, 2	3, 4	5			6		7		8	
Bit : 8	16	16	1	3	4	6		2	2	6	8
Control Field	Source Address	Destination Address	Frame Type	Routing Counter	Length	TPCI (T_Data_Group_Req)		APCI (A_GroupValue_Write)		User Data	Check Byte
Hex : BC	1103	3801	E1			00		b_10 81		b_000001	08

그림 15. 실험을 위한 KNX/TP1 텔레그램.

Fig. 15. KNX/TP1 telegram for experiment.

그림 19. 실험을 통해 생성된 ZigBee 프레임.

Fig. 19. ZigBee frame generated from experiment.

그림 20. KNX-ZigBee 게이트웨이 상에서 변환 과정 모니터링.

Fig. 20. Monitoring of conversion in the KNX-ZigBee gateway.

터는 '1'이다. 또한, 변환 과정을 통해 DPT는 DPT_1.001이라는 것과 응용 계층 서비스로써 A_GroupValue_Write 서비스를 이용하고 있음이 확인 되었다.

KNX 통신 모듈측의 KNX-ZigBee 변환 루틴이 ZigBee 통신 모듈측에 전송한 위와 같은 정보를 이용하여 ZigBee 통신 모듈측의 KNX-ZigBee 변환 루틴은 매핑 테이블 상의 매핑 정보를 활용하여 ZigBee 프레임을 생성한다. 이 실험에서는 ZigBee 프레임 생성 과정에, KNX 통신 모듈 측의 KNX-ZigBee 변환 루틴을 통해 수신한 정보를 이용하여 HAP 프로파일 및 On/Off Cluster와 사용자 데이터 '1'로써 변환이 진행되고 있음을 알 수 있다.

모든 변환 과정이 완료되면 KNX-ZigBee 게이트웨이의

SRC-EP	DST-EP	Profile	ClusterID	Payload
01	01	0104	0006	18.01.05. 00.00.11.01

On/Off cluster

그림 21. ZigBee 프레임의 모니터링 결과.

Fig. 21. Monitoring result of ZigBee frame.

그림 22. 데모 시스템을 통한 KNX-ZigBee 동작 확인.

Fig. 22. Verification of the operation of KNX-ZigBee gateway using demo system.

ZigBee 통신 모듈은 생성된 ZigBee 프레임을 ZigBee 네트워크로 전송한다. ZigBee 네트워크 상의 송수신되는 ZigBee 프레임들은 ZigBee Packet Analyzer라는 장치를 통해 모니터링될 수 있다. 그림 21은 본 실험을 통해 변환된 ZigBee 프레임 중 APS 계층부분을 모니터링한 결과이다.

그림 21에서 보는 바와 같이 Profile ID는 HAP를 가리키는 0x0104로 설정되어 있으며 Cluster ID는 On/Off Cluster를 가리키는 0x0006으로 설정되어 있고 APS계층의 페이로드로써 사

용자 데이터 0x01이 입력되어 있는 것을 알 수 있다.

위와 같은 실험 과정을 통해 그림 22에서 보는 바와 같이 KNX 네트워크 상의 Binary Output 장치와 ZigBee 네트워크 상의 On/Off Light 장치가 KNX Binary Input 스위치가 생성한 하나의 프레임을 통해 동시에 제어 됨을 확인할 수 있으며, 이로써 KNX-ZigBee 게이트웨이가 정상적으로 구동됨을 확인할 수 있다[3].

VII. 결론

본 연구에서는 홈 네트워크를 위한 유선 기반 프로토콜인 KNX와 무선 센서 네트워크 프로토콜인 ZigBee간의 연동을 위하여 KNX-ZigBee 게이트웨이를 구현하는 기술적인 방법을 소개하였다. 게이트웨이 방식은 서로 다른 네트워크 연동을 위해 사용되는 가장 전형적인 방법 중 하나이다. 본 연구를 통해 개발된 KNX-ZigBee 게이트웨이는 주소 변환의 간결함으로 인해 구현의 복잡도를 현저히 낮추었으며, 양 네트워크간의 데이터 표현 방법에 입각하여 각 요소간의 체계적인 맵핑을 달성하였다. 또한, KNX-ZigBee 게이트웨이를 통해 KNX 시스템은 ZigBee 네트워크를 이용해 기존의 KNX 시스템이 제공하지 못했던 효율적인 무선 기능을 제공할 수 있게 되었으며, ZigBee 시스템은 기존 KNX 네트워크에 대한 호환성을 제공하게 됨으로써 기존 구축된 홈 네트워크 시스템에 대한 상호 운용성을 확보하였다. 결과적으로 KNX-ZigBee 게이트웨이 개발을 위한 본 연구를 통해 KNX와 ZigBee 표준 프로토콜 기반의 유무선 통합 홈 네트워크 시스템 구축에 대한 기틀이 마련되었다.

참고문헌

- [1] W. Kastner, G. Neugschwandtner, S. Soucek, and H. Newman, "Communication systems for building automation and control," *Proc. of the Institute of Electrical and Electronics Engineers*, vol. 93, pp. 1178-1203, June 2005.
- [2] C. Reinisch, W. Kastner, G. Neugschwandtner, and W. Granzer, "Wireless technologies in home and building automation," *Proc. 7th Institute of Electrical and Electronics Engineers International Conference on Industrial Informatics*, vol. 1, pp. 93-98, 2007.
- [3] W. S. Lee and S. H. Hong, "Implementation of a KNX-ZigBee gateway for home automation," *Proc. Institute of Electrical and Electronics Engineers International Symposium on Consumer Electronics 2009*, pp. 545-549, Kyoto, May 2009.

- [4] KNX Specification, "03_07_02 Datapoint Types v1.4 AS v20071214a. doc v1.4," Dec. 2007.
- [5] KNX Specification, "03_03_07 layer application v1.0 AS," Dec. 2001.
- [6] KNX Specification, "07_20 (S12) lighting v1.7 AS," Mar. 2002.
- [7] ZigBee Alliance home page, <http://www.zigbee.org/en/about/>
- [8] Sinem Coleri Ergen, "ZigBee/IEEE 802.15.4 summary," U.C. Berkeley, Sep. 2004.
- [9] ZigBee Specification, "ZigBee specification," ZigBee document 053474r17, ZigBee Standard Organization, Jan. 2008.
- [10] ZigBee Specification, "ZigBee cluster library specification," ZigBee document 075123r01ZB, ZigBee Standard Organization, Oct. 2007.
- [11] ZigBee Specification, "ZigBee home automation public application profile," v1.0 revision 25, ZigBee document 053520r25, ZigBee Standard Organization, Oct. 2007.
- [12] D. S. Kim and J. I. Lee, "Wireless control networks, IEEE 802.15.4 network, dynamic GTS allocation methods, periodic data transmission," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 16, no. 5, pp. 510-516, May 2010.
- [13] M. G. Kim and N. H. Phong, "Reliable message routing protocol for periodic messages on wireless sensor networks," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 17, no. 2, pp. 190-197, Feb. 2011.

이 우 석

1981년 8월 24일생. 2007년 한양대학교 전자전기공학부(공학사). 2009년 한양대학교 대학원 전자전기제어계측공학과(공학석사). 2010년~현재 퍼듀대학교 전자컴퓨터공학과 박사 과정 재학중. 관심분야는 저전력 시스템, 무선네트워크, 자동화 통신망.

홍 승 호

1956년 5월 31일생. 1982년 연세대학교 기계공학과(공학사). 1985년 텍사스텍 대학원 기계공학과(공학석사). 1989년 펜실베이니아 주립 대학원 기계공학과(공학박사). 1992년~현재 한양대학교 전자시스템공학과 교수. 관심분야는 필드 버스, 산업 통신망, 빌딩 통신망, 스마트 그리드.