산업용 IoT 네트워크 기술의 진화: 과거, 현재, 미래 동향

Evolution of Industrial IoT Network Technology: Past, Present, and Future Trends

박태준 (T.J. Park, tjpark@etri.re.kr) 자율형IoT연구실 책임연구원
김은희 (E.H. Kim, eunheekim@etri.re.kr) 자율형IoT연구실 책임연구원
차재선 (J.S. Cha, jscha@etri.re.kr) 자율형IoT연구실 책임연구원
이계선 (K.S. Lee, seonny@etri.re.kr) 자율형IoT연구실 책임연구원

ABSTRACT

Wireless communication technology has mainly been used to fulfill the demands of industrial sites at which performance is not a critical concern. However, ongoing discussions and efforts are now focused on securing core wireless communication technologies to enable the transformation or expansion of wired industrial IoT (Internet of Things) network technology into a flexible and dynamic smart manufacturing system. This paper provides an overview of current wireless industrial IoT network technology and the recent wireless time-sensitive networking technology. It outlines the challenging level of reliability required for wireless communication technology to coexist with or replace its wired counterpart in future smart manufacturing systems. Additionally, we introduce ultra-reliable time deterministic network as the core technology of wireless industrial communications and focus on its reliability and delay characteristics.

KEYWORDS URTDN, 무선 TSN, 산업용 IoT

Ⅰ. 서론

유선통신 기술만을 사용하던 산업현장에 무선통신 기반의 IoT 기술이 확산하고 있으며, 필요성에 대한 인식도 확대되고 있다. 초기의 IoT 네트워크 기술은 지연과 오류가 서비스 품질에 큰 문제가 되지 않는 댁 내의 소규모 응용을 중심으로 적용되었다. 이후 전기와 가스 검침 등 사업용으로 적용 범위가 확대되고 있다. 사업용으로의 확산은 통신선 연결을 대신할 수 있고, 장기간 배터리를 교체할 필요가 없는 등 저비용과 저전력의 장점을 활용할 수 있는 응용이 중심이 되었다. 단순 응용에서 산업용

* DOI: https://doi.org/10.22648/ETRI.2023.J.380303
* 본 연구는 과학기술정보통신부/정보통신기획평가원의 "제조 현장의 무선 연결성 한계 극복을 위한 산업용 비면허대역 무선 IoT 네트워크 개발" 지원으로 수행되었음[과제번호: 2020-0-00144].

본 저작물은 공공누리 제4유형
출처표시+상업적이용금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.
©2023 한국전자통신연구원

IoT 네트워크로 수요가 확대되면서 무선통신 기술에 대한 신뢰성과 확장성에 대한 구체적인 요구가 나타나기 시작했고, 이를 만족하기 위한 후속 기술들이 등장하게 된다.

산업용 IoT 네트워크 기술은 그림 1과 같이 기술의 성격에 따라, 전통적인 IoT 네트워크에서 저비용으로 운용되는 저전력 IoT 네트워크 기술(Legacy IoT)과 최근 기술적 관심도가 높아지고 있는 고부가가치의 초고신뢰 IoT 네트워크 기술(Critical IoT)로 구분할 수 있다. 저전력 IoT 네트워크는 지연에 민감하지 않은 저속의 서비스에 대해 필요에 따라 장기간 배터리로도 동작할 수 있는 저비용의 저전력 IoT 네트워크 기술이다. 초고신뢰 IoT 네트워크 기술은 최근 논의되는 TSN과 같은 유선통신 기술과 공존 또는 대체 가능한 수준의 초고신뢰 확정적 데이터 전달 지연 특성을 제공할 수 있는 고부가가치의 IoT 네트워크 기술이다.

산업용 IoT 네트워크는 적용되는 응용의 특성에 따라 상태 모니터링, 프로세스 자동화, 공장 자동화 등으로 성격을 구분할 수 있다. 상태 모니터링과 프로세스 자동화를 위해서는 주로 저전력 IoT 네트워크 기술을 기반으로 발전된 기술들이 적용되고, 특정 개체의 제조 프로세스에 적용되는 공장 자동화를 위해서는 초고신뢰 IoT 네트워크 기술이 적용된다.

상태 모니터링 네트워크는 전류, 진동, 온도 등 센서를 통해 생산 설비, 공정 등 상태를 감시하며, 에너지 소비 및 생산 비용 절감, 불량률 감소 등을 목적으로 운용된다. 프로세스 자동화는 공장, 시설 운영을 위한 제어 응용을 자동화하며, 상태 모니터링을 통해 획득한 정보를 기반으로 프로세스의 변수를 조절한다. 두 응용 모두가 실시간성보다 일관된

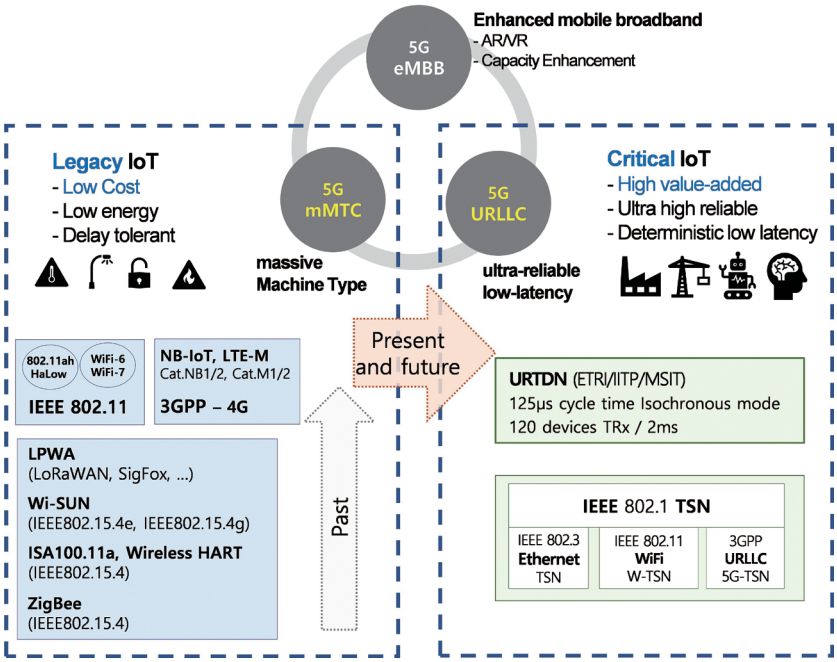

그림 1 산업용 IoT 네트워크 기술의 진화–과거, 현재, 미래 동향

시간 기준에 따른 상태관리와 지속적인 분석을 위한 데이터의 기록 및 전송이 필요하다. 따라서 상태 모니터링과 프로세스 자동화를 위해서는 지연에 민감하지 않은 저전력 IoT 네트워크 기술을 기반으로 발전된 기술들이 적용되고 있다.

특정 개체 제조 프로세스에 적용되는 공장 자동화는 제한된 공간 범위에서 확정적 지연과 높은 신뢰성의 매우 짧고 빠른 움직임을 제어하는 폐루프 제어 시스템에 적용된다. 따라서 공장 자동화를 위해서는 높은 수준의 신뢰도와 정밀도가 필요한 초고신뢰 산업용 IoT 네트워크 기술의 적용이 필요하다. 저비용의 초기 IoT 네트워크 기술과 다르게 고부가가치의 초고신뢰 산업용 IoT 네트워크 기술은 산업4.0의 미래 스마트 제조 시스템을 위한 유선통신 시스템과 같은 수준의 높은 신뢰성과 확정적 지연 특성을 제공할 수 있는 무선통신 시스템에 적용된다. 미래 스마트 제조 시스템의 유연 생산 시스템은 동적 모듈을 원활히 운용하기 위하여 유선통신 시스템 수준의 높은 신뢰성과 확정적 지연 특성을 제공할 수 있는 무선통신 기반의 정밀한 제어 시스템이 필요하다.

본고에서 Ⅱ장은 산업계에 사용되는 기존의 저비용 무선 IoT 네트워크 기술을 소개하고, Ⅲ장은 초고신뢰 IoT 네트워크를 위한 TSN 기술의 특징과 TSN 기술의 무선화 동향을 소개한다. Ⅳ장은 URTDN 기술을 통해 최근의 초고신뢰 무선 IoT 네트워크 핵심기술을 소개하고, Ⅴ장에서 마무리한다.

Ⅱ. 저전력 산업용 IoT 네트워크 기술

1. 개요

통신 거리, 데이터 속도 등 응용이 요구하는 구체적인 특성에 따라 적합한 기술이 결정된다. 저전력 산업용 IoT 네트워크 응용의 다양성에 따라 ZigBee, WirelessHART, Wi-SUN, LPWA 등 다양한 유형의 저전력 무선통신 기술이 활용된다. 대부분의 무선 IoT 네트워크 기술이 저전력 통신 기술을 사용하는 이유는 장기간 배터리로 운용할 필요가 있거나, 이동통신망에서 운용되는 셀룰러 IoT를 제외한다면 면허 없이 사용할 수 있는 주파수 사용을 위해서 나라별로 지정된 출력제한 법규를 준수하기 때문이다.

2. 저전력 산업용 IoT 네트워크

가. IEEE 802.15.4 기반 IoT 네트워크

IEEE 802.15.4 표준은 신뢰성에 민감하지 않은 소규모 데이터를 저비용과 저전력으로 전달하기에 최적화된 물리계층과 매체접근제어 부계층을 정의한 대표적인 저속 근거리 무선통신 기술 표준이다. 초기의 저비용 저전력 통신 기술이 필요한 대부분의 응용에 활용되었다.

Zigbee는 IEEE 802.15.4 표준을 적용하여, 무선 리모컨, 홈 오토메이션 등 집 안에서 사용되는 IoT 디바이스들 간의 저비용 저전력 무선통신 응용에 적용하는 기술로 시작되었다. 시간이 지나면서 산업용으로도 신뢰성과 전달 지연에 민감하지 않은 응용을 중심으로 점차 적용 범위가 확대되었다. 집 안에서 사용하기에 적절한 근거리 무선통신 기술을 산업용으로 활용하기 위해서는 서비스 영역 확대를 위한 물리적 통신영역의 확장이 필요했다. Zigbee는 성상(Star Topology)의 다중홉 네트워크 구조를 적용하여 물리적인 통신영역을 확장한다.

WirelessHART, ISA100.11a는 Zigbee와 마찬가지로 IEEE 802.15.4 표준을 적용하나, 저비용의 단순한 구조에 최적화된 기술을 신뢰성이 필요한 산업용으로 활용하기 위해 채널 도약 방법을 적용하였

다. 채널 도약 방법은 논리적 전송채널에 대해 물리적으로 도약하는 채널을 사용하여 전송 신뢰성을 높인다. 채널의 도약에 따라 현재 통신하는 채널에서 물리적인 오류가 발생하더라도 도약한 다른 채널을 통해 오류가 복구될 수 있는 확률이 높아진다. 또한, 메시 구조의 다중홉 네트워크 적용으로 서비스 영역 확대와 함께 우회경로 선택 가능성을 높여 전송 신뢰성도 함께 높인다.

나. Wi-SUN

Wi-SUN은 스마트 그리드 확산을 위한 특정 목적을 위해 개발된 기술이다. 스마트 유틸리티를 위한 응용 목적에 맞게 신뢰성이 향상된 기술로서, 물리계층은 IEEE 802.15.4g 표준을, 매체접근 부계층은 IEEE 802.15.4e 표준을 적용한다. 물리계층은 물리적인 전송 신뢰성을 높이기 위해 오류정정 기능이 보완되었으며, 매체접근제어 부계층은 상위계층의 논리적인 채널 도약을 사용한 앞의 기술들과 다르게 매체접근 부계층에 채널 도약 기능이 포함된다.

이전의 기술들에 비해 산업용의 용도에 맞게 신뢰성이 개선된 물리계층과 매체접근 부계층 표준을 사용하나, 전송거리에는 변화가 없어서 물리적인 통신영역 확대를 위해서는 이전 기술과 마찬가지로 다중홉 전송 방법을 사용한다.

다. LPWA 네트워크

LPWA(Low Power Wide Area) 네트워크는 저전력 장거리 무선통신 기술을 활용하여 통신이 가능한 영역을 물리적으로 확장한 기술로서, LoRaWAN, Sigfox 등의 기술이 시장에서 사용되고 있다. 물리적 서비스 영역 확대를 위하여, 앞서 설명한 기술들은 다중홉 네트워크 구조를 적용하나 LPWA 네트워크는 단일홉이다.

LPWA 네트워크는 제한된 출력으로 장거리 통신을 위해 확산 스펙트럼(Spread Spectrum) 통신 또는 초협대역(Ultra Narrowband) 통신 등의 방법을 적용하므로 앞서 언급했던 다중홉 통신 기술에 비해 통신속도가 낮다는 특징이 있다.

다중홉 연결은 최초 연결설정을 안정적으로 신속히 마무리하기 쉽지 않다. 또한, 연결 경로의 중간에서 문제가 발생하면 제한된 시간 이내에 최적의 우회경로를 확보해야 하는 등 안정적인 연결유지에 어려움이 따른다. 따라서 단일홉의 장거리 통신으로 서비스 영역을 모두 지원할 수 있다면 망 구성과 운용이 단순해지고 안정성이 향상된다.

라. IEEE 802.11 기반 IoT 네트워크

본고에서 제시하는 IEEE 802.11 기반 IoT 기술은 IEEE 802.11 표준 중에서 저전력, 저속 등 전통적인 IoT 네트워크 응용 대상의 기술이며, IEEE 802.11ah 기술과 WiFi-6, WiFi-7의 다중사용자 OFDMA 기술로 제한한다. 일반적으로 사용되는 IEEE 802.11 표준은 무선랜의 물리계층과 매체접근 부계층 기술로 사용되어 사람 대상의 서비스에 대해 짧은 반응시간에 고속으로 대용량의 데이터를 전달하는 목적에 최적화된 기술로서 본고의 범위에 포함되지 않는다.

IEEE 802.11ah는 기존의 WiFi 기술을 재사용하나 1GHz 대역 아래의 주파수에서 좁은 채널을 사용하여 통신 거리가 늘어난 저속 IoT 네트워크 기술로 활용한다. 기존 WiFi 기술의 많은 부분을 재사용할 수 있으나, 서로 다른 주파수 대역을 사용함에 따라 RF 부분은 공유가 곤란하다.

WiFi-6, WiFi-7의 다중사용자 OFMDA 기술은 고성능 데이터 송수신을 위한 하나의 채널을 서브채널로 나눠서 다수의 IoT 사용자가 함께 사용한다. IEEE 802.11ah과는 달리 고성능의 대용량 데이터 송수신과 좁은 주파수 대역 사용에 따라 확장된 거

리의 저속 IoT 서비스를 동일 디바이스로 제공할 수 있다. 그러나 상향링크의 다중사용자 OFDMA를 위해서는 한 채널을 다수의 사용자가 동시에 공유하므로 직교성 유지를 위해 기존보다 엄격한 수준의 동기와 출력제한이 필요하다.

마. 셀룰러 IoT 네트워크

셀룰러(Cellular) IoT 네트워크는 NB-IoT와 LTE-M 등 이동통신망 기반의 IoT 네트워크 기술이다.

LTE-M은 사람 대상의 고성능 통신 기술인 LTE 기술을 사물을 대상으로 최적화한 기술로서, 상대적으로 저속의 저전력의 특성을 제공하면서도 이동성을 포함한 LTE의 기본적인 특성을 제공한다.

NB-IoT는 면허대역 LPWA 네트워크 기술로도 불리는 저속 저전력 IoT 네트워크에 최적화한 기술로서, LTE-M보다 더 경량화하여 LTE 네트워크 인프라는 사용하나 LTE 특유의 끊김 없는 이동성은 없다.

Ⅲ. 초고신뢰 산업용 IoT 네트워크

1. 개요

최근 산업4.0의 새로운 패러다임의 등장과 함께 기존의 무선통신 기술로는 지원하기 어려운 새로운 요구사항에 대한 논의가 확대되고 있다[1].

그림 2는 실시간 네트워크의 지연 및 지연 변이 특성을 비교한다. 그림과 같이, 기존의 IoT 네트워크 시스템은 제한된 지연 조건을 만족한다면 지연 변이와 일정 수준의 손실에 대해서는 문제가 되지 않으나, 폐루프 제어를 위해서는 초고신뢰 산업용 IoT 시스템의 높은 신뢰성과 확정적 지연 특성(Isochronous Real-time)을 요구한다.

미래 제조 시스템의 유연 공정을 위해서는 무선 연결이 필요하다는 인식과 함께 IEEE 802 이더넷 기반의 TSN에 무선 연결성을 도입하려는 노력이

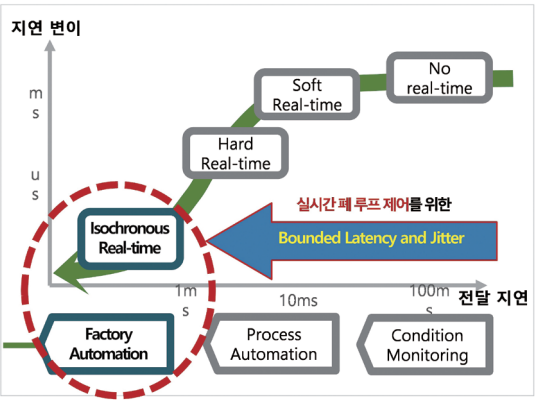

그림 2 실시간 네트워크의 지연 특성 비교

3GPP와 IEEE 802 등 표준화 단체에서도 진행되고 있다[2].

2. 5G-TSN

5G-TSN은 단대단의 IEEE 802 이더넷 기반 TSN 시스템을 5G 인프라를 활용한 무선으로 확장한다. 3GPP 등에서 5G 네트워크를 활용한 TSN 확장방안을 제시하고 있다[2-4]. 단대단 TSN 시스템이 유지되며 사용자는 변화 없는 투명한 확장이 가능하다.

그림 3은 서비스에 따른 5G 네트워크의 전파자원 활용을 설명한다. 5G 서비스의 특성에 따라 할당되는 주파수의 특성을 확인할 수 있다. 소량의 IoT 데이터를 적시에 전송하기 위하여 5G-TSN은 URLLC로 연결된다.

5G 네트워크의 안정적인 자원관리는 TSN의 높은 전달 신뢰성과 확정적 전달 지연 특성 확보에 도움이 된다. 또한, 단대단 TSN 시스템의 5G 네트워크를 통한 투명한 확장은 고신뢰 인프라를 활용한 지리적 확장을 위한 목적에 경쟁력이 있을 것으로 예상된다.

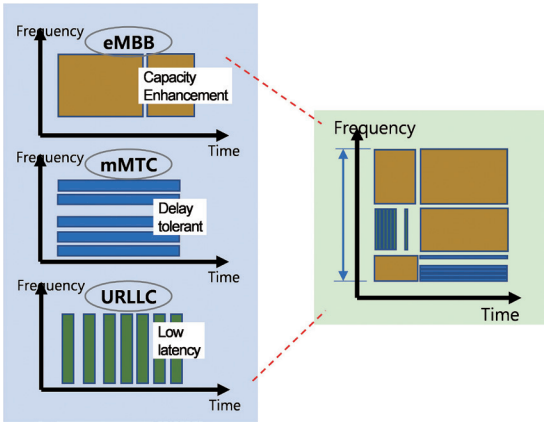

그림 3 5G 네트워크의 전파자원 활용

3. 무선 TSN

무선 TSN은 TSN의 마지막 홉을 무선으로 확장하는 방안으로서 IEEE 802.11 무선랜 표준화에 참여하는 전문가를 포함한 다양한 연구자가 논의에 참여하고 있다[5-7]. 특히 IEEE 802 TGbe에서는 이더넷 기반 TSN의 마지막 홉을 무선 연결로 확장한 무선 TSN 도메인의 구성 방안이 제안되었다[6]. TSN을 IEEE 802 기반의 무선통신 기술로 확장하는 방안의 시장 지배적인 표준 기술이 아직 없으므로 본고에서는 무선 TSN이라 하겠다.

무선통신의 기술적 한계를 극복하고 유선통신이 제공하는 수준의 초고신뢰, 확정적 지연 특성을 지원할 수 있는 무선 TSN의 실현을 위해서는 요구수준을 만족할 수 있는 핵심기술의 개발이 선행되어야 한다.

기존의 저전력 IoT와 마찬가지로 산업용 IoT도 수요자가 필요에 따라 자유롭게 설치 및 제거할 수 있고, 데이터가 외부로 유출될 위험이 없는 사설망(Private Network)에 대한 선호도가 아직은 높아서 여전히 충분한 경쟁력을 확보할 것으로 예상된다.

Ⅳ. 초고신뢰 IoT 핵심기술-URTDN

URTDN은 제조현장의 무선 연결성 한계 극복을 위한 산업용 비면허대역 무선 IoT 네트워크 핵심기술로서 산업현장의 열악한 무선통신환경을 극복할 수 있는 선도적 기술로 개발이 진행되고 있다. URTDN은 기존의 무선랜(IEEE 802.11)과 공존하면서, 무선랜으로는 극복하기 어려운 이더넷 기반의 TSN을 무선통신 영역으로 확장할 수 있는 핵심기술을 제시한다.

1. 기술적 요구사항

URTDN 기술은 시분할의 매체접근 제어를 통해 확정적 실시간성과 높은 신뢰도의 접속 효율성을 제공한다. 확정적 실시간성을 위하여 125μs마다 확정적으로 무선 자원에 접속하는 기회를 제공하고, 안정적 고신뢰성을 위해 10^{-6} PER(Packet Error Ratio)을 제공하며, 규모의 확장성을 위해서는 2ms 주기에 대해 120개 단말에 대한 확정적인 통신 기회를 제공할 수 있다.

비면허대역을 사용하는 URTDN 시스템은 5GHz와 6GHz 대역에 대해서는 무선랜의 사용이 적절하게 관리되는 장소에서 운용된다고 가정한다. 5GHz와 6GHz 대역 무선랜 전파의 전파거리가 짧고 투과성이 낮아서 외부에서 유입되는 전파에 대한 우려는 작다. 따라서 미래 제조 시스템과 같이 제한된 영역에서 운용되는 환경을 고려하면, URTDN 시스템의 운용에 필요한 수준의 관리는 어렵지 않다고 판단된다.

기존의 무선랜과 공존을 위해 무선랜의 프리앰블 구조를 포함한 기술적인 일관성을 유지하며, 기존 무선랜의 많은 부분을 재활용한다.

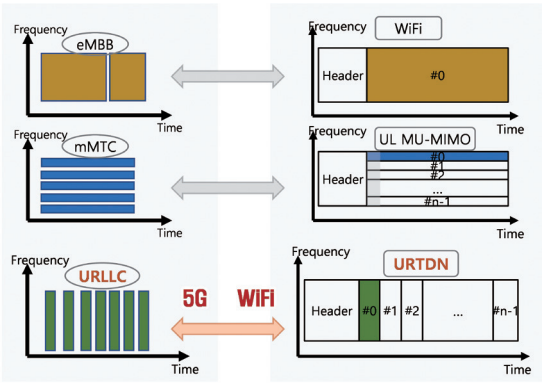

그림 4 5G와 무선랜의 전파자원 활용 비교

2. 기술의 특징

그림 4는 5G 시스템과 무선랜의 무선 전파자원 활용을 비교한다. URTDN 시스템의 무선 전파자원의 활용은 5G URLLC와 같이 소량 데이터의 적시 전송에 최적화된 구조이다.

5G의 eMBB와 mMTC에 대응하는 특징의 무선랜 기술은 있으나 5G의 URLLC에 대응하는 기술은 기존의 무선랜에는 없다. 따라서 그림과 같이 URTDN은 무선 TSN과 같이 소량 데이터의 적시 전송에 최적화된 구조를 제안하여 적용하였다.

그림 5는 무선랜과 공존성을 유지하면서도 확정적 실시간성을 제공하는 URTDN PSDU 구조이다. 기존의 무선랜과 동일한 프리앰블 사용으로 공존성을 제공하며, 시분할 매체접근 제어를 통해 확정적 실시간성과 2ms 이내에 120개 단말에 대한 확정적인 통신 기회를 제공하는 높은 효율을 제공할 수 있다.

표 1 물리계층 요구사항

Modulation	Coding rate	Minimum sensitivity(dBm)
BPSK	1	−74
QPSK	1/2	−77
QPSK	0.68	−80

표 1은 물리계층에 대한 최소 수신감도 요구사항이다. 최소 수신 입력 감도는 3개 OFDM 심볼 길이의 URTDN PSDU에 대해 10^{-6} PER을 만족하는 최소 수신 입력 감도이다. 이때 무선랜과 같은 noise factor는 10dB, 구현 여유를 5dB로 가정한다.

3. 신뢰도 수준

URTDN 시스템의 높은 신뢰도 목표 달성을 위해서는 오류정정부호를 사용하는 전통적인 방법과 물리적인 다양성(Diversity)의 활용이 중요하다.

그림 6은 지향성 안테나를 적용한 URTDN 통

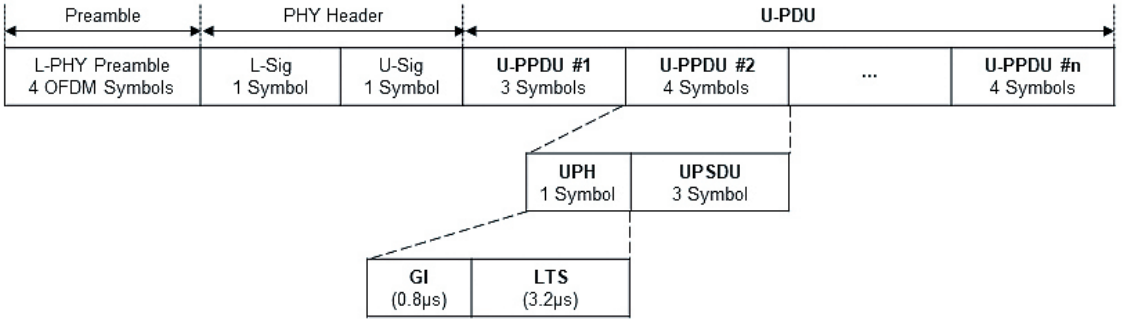

그림 5 URTDN PSDU 구조

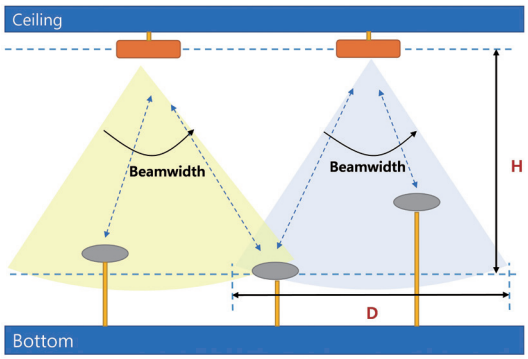

그림 6 URTDN 통신 환경

신환경이다. URTDN 시스템이 사용하는 5GHz와 6GHz 대역에 대한 산업현장의 잡음 특성을 측정한 결과, 거리와 방향이 미치는 영향을 확인하였다. 따라서 URTDN 시스템은 잡음의 영향을 최소화하고 전송 신뢰성을 높이기 위해 그림 6의 시스템 환경으로 지향성 안테나를 사용한다. AP와 단말 안테나 간의 높이 H를 12m라 하고, AP 안테나의 지향성 빔폭에 의한 통신 반경 D를 30m라 하면 AP와 단말 간 전송손실은 약 71dB이다. 따라서 표 1의 최소 수신 감도 조건을 만족한다면 20dBm의 출력에서 20dB 이상의 여유를 확보할 수 있다[8].

4. 유선 대체 수준의 URTDN 신뢰성

NIST는 표 2와 같은 실시간 폐루프 제어 시스템의 공정 모듈을 위한 무선 사용자 요구사항을 제시한다. NIST의 요구사항은 통신 시스템의 평균 장애 도달 시간(MTTF)을 1,000년 이상으로 가정한다[9]. 전통적으로 평균 장애 도달 시간이 1,000년이면 기존의 유선통신을 무선으로 대체할 수도 있는 수준으로 판단한다[9-11].

표 2의 폐루프 제어는 PER 10^{-7}일 때 제시된 사이클(1/Rate) 이내에 동일 데이터를 두 번 전송하는, 즉 다이버시티 지수가 2인, 시간 다이버시티를 적용하여 평균 장애 도달 시간 1,000년을 달성한다. 평균 장애 도달 시간이 사이클 시간, PER 및 다이버시티 지수의 함수로 결정되므로, 다양한 조합으로 목표하는 평균 장애 도달 시간의 신뢰도를 달성할 수 있다.

URTDN 시스템은 표 2의 조건에 비해 제공하는 사이클 시간이 짧고, 가능한 데이터 전송 횟수가 많아서 신뢰도 목표 달성을 위한 좀 더 다양한 조합도 가능하다. URTDN은 8,000Hz의 전송 Rate를 지원할 수 있고, 500Hz에 대해 매번 120개의 패킷을 전송할 수 있다. 또한, 서로 다른 주파수 대역을 동일 데이터의 전송을 위해 동시에 사용할 수 있다. URTDN의 경우는 PER이 10^{-6}에 대해 다이버시티 지수를 3으로 적용하면 유선을 대체할 수 있다는 평균 장애 도달 시간 1,000년 이상의 신뢰도를 달성할 수 있다.

URTDN 기술은 현재 국내 전문가 그룹인 TTA 표준화위원회의 근거리 무선통신 프로젝트그룹(PG907)을 통해서 물리계층과 매체접근 부계층 규격의 표준화를 진행하고 있으며, 2023년까지 완료를 목표로 표준화가 진행되고 있다.

표 2 공정 모듈을 위한 사용자 요구사항

요구사항		클래스 0: 안전	클래스 1: 폐루프 제어
PER	T	10^{-7}	10^{-7}
	S	10^{-8}	10^{-7}
거리 (m)	T	10	10
	M	30	30
Rate (Hz)	T	125	125
	M	1,000	2,000

T: Tipical, S: Strict, M: Maximum
출처 Reproduced from [9].

Ⅴ. 결론

산업계의 수요에 따라 다양한 특성의 저전력 산업용 IoT 네트워크 기술이 활용되고 있다. 최근 산업4.0의 새로운 패러다임의 유연 공정으로 구성되는 미래 공장의 제어 시스템을 위해서는 통신 시스템도 적절한 변화가 필요하게 되었다. 선으로 연결하던 통신 시스템은 모듈화된 공정의 유연한 재조합을 위해서 무선 연결로 전환될 필요가 있다. 폐루프 공정제어가 가능한 수준의 높은 요구사항을 지원하기 위하여 5G 시스템을 활용하는 5G-TSN과 유선 TSN의 마지막 홉을 무선 영역으로 확장하는 wireless TSN에 대한 논의가 진행되고 있다. 단대단 TSN 영역을 확장하는 5G-TSN은 광역 네트워크로 물리적인 범위를 확장하는 장점이 있으며, 규격에 따른 구현이 시도되고 있다. 기존 이더넷 기반 TSN의 최종 홉을 무선으로 확장하는 무선 TSN은 마지막 홉에 무선 연결성을 제공하는 의미가 있으며, IEEE 802의 전문가를 중심으로 규격 준비에 앞서 기술적인 논의가 진행되고 있다.

본고는 저전력 산업용 IoT 네트워크 기술부터 초고신뢰 산업용 IoT 네트워크 기술까지의 현황을 알아보고, 필요에 따라 유선을 대체할 수도 있는 초고신뢰 산업용 IoT 네트워크 핵심기술에 대한 연구현황을 소개하였다.

약어 정리

eMBB	enhanced Mobile BroadBand
IoT	Internet of Things
LPWA	Low Power Wide Area
mMTC	massive Machine Type Communication
MTTF	Mean Time To Failure
PER	Packet Error Rate
PSDU	Phy Service Data Unit
TSN	Time Sensitive Network
URLLC	Ultra-Reliable Low Latency Communication
URTDN	Ultra Reliable Time Deterministic Network

참고문헌

[1] A. Kumar and D. Roberts, “Business impact of TSN for industrial systems,” Industrial Ethernet Book, Issue 114/14.

[2] 강유화, “3GPP 5G TSN 기술동향,” Wireless TSN 기술 워크숍, 2021. 10. 19.

[3] K. Landernas et al., “5G Smart Manufacturing-D5.1,” 5G-SMART, 2020.

[4] 5G-ACIA white paper, “Integration of 5G with time-sensitive networking for industrial communications,” Jan. 2021.

[5] M. Galeev et al., Next-Generation Wi-Fi Networks for TimeCritical Applications, Intel, 2019.

[6] D. Cavalcanti et al., “TSN support in 802.11 and potential extensions for TGbe,” IEEE 802.11-19/1287r1, 2018.

[7] Avnu Alliance, “Wireless TSN-definitions, use cases & standards roadmap,” White Paper 2020.

[8] 과학기술정보통신부, “신고하지 아니하고 개설할 수 있는 무선국용 무선설비의 기술기준,” 과학기술정보통신부고시 제2022-75호, 2022. 12. 30.

[9] K. Montgomery et al., Wireless User Requirements for the Factory Workcell, Advanced Manufacturing Series (NIST AMS) 300-8.

[10] S. Dietrich et al., “Performance indicators and use case analysis for wireless networks in factory automation,” in Proc. IEEE Int. Conf. Emerg. Technol. Factory Autom. (ETFA), (Limassol, Cyprus), Sept. 2017, pp. 1-8.

[11] International Electrotechnical Commission(IEC), IEC 61784 Industrial communication networks-Profiles, 2016.