

5G 모바일 네트워크의 Industrial IoT 표준기술 동향

Industrial IoT Standardization Trend of the 5G Mobile Network

김경수 (K.S. Kim, ksjiang@etri.re.kr)

강유화 (Y.H. Kang, yhkang@etri.re.kr)

김창기 (C.K. Kim, cckim1@etri.re.kr)

초저지연네트워크연구실 선임기술원

초저지연네트워크연구실 책임연구원

초저지연네트워크연구실 책임연구원

ABSTRACT

Industrial networks has been developing various technologies from fieldbus technology to industrial Ethernet and time-sensitive networking. The industry expects that the 5G mobile network will solve the diverse and highly specific industrial site requirements. Accordingly, 3GPP has been developing standard functions to provide ultra-high reliability, ultra-high speed, ultra-connection, and ultra-low latency services, and 3GPP Rel-16 began developing ultra-low latency and ultra-high reliability communication functions for 5G mobile networks to support vertical industries. In this paper, we show the related standardization trends and requirements to apply industrial IoT service scenarios to 5G mobile networks, and in particular, we introduce 5G system features and extended 5G system architecture to provide time sensitive communication and time synchronization services.

KEYWORDS 5G 코어, industrial IoT, time sensitive communication, time-sensitive networking, 산업네트워크

1. 서론

산업 네트워크는 필드버스(Field Bus) 기술을 시작으로 산업이더넷을 거쳐 TSN(Time Sensitive Networking)에 이르기까지 다양한 기술의 발전을 거듭하고 있다. 이러한 기술의 발전과 함께 산업 네트워크는 ‘자동화’를 거쳐 최근 ‘스마트 팩토리’에 이르기까지 서비스의 완성도와 효율성을 높여가며

진화하고 있다. 특히 근래에는 IIoT(Industrial IoT) 서비스 분야가 확대되고, 각 산업 특성에 따른 서비스별 요구사항은 다양해지고 정밀해짐에 따라 이를 수용하기 위한 인프라 기술의 진화도 함께 요구되고 있다. 업계에서는 IIoT 분야의 요구사항 충족과 혁신을 이루기 위한 중추적인 역할을 5G 통신기술이 수행할 것으로 평가하고 있다. 이에 5G 시스템은 산업현장에서 유선의 한계를 극복하는

* DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2021.J.360602>

* 본 연구는 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임[No. 2020-0-00974-002, 고신뢰·저지연 5G+ 코어 네트워크 및 5G-TSN 스위치 기술 개발].



본 저작물은 공공누리 제4유형

출처표시+상업적이용금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.

©2021 한국전자통신연구원

것을 넘어 각 산업분야의 특성 및 요구사항을 반영할 수 있도록 5G 시스템이 가지는 기술과 장점들을 융합하기 위한 연구가 활발하게 진행 중이다 [1].

IIoT 서비스는 높은 신뢰성, 낮은 지연시간, 유연성 및 보안을 포함한 특별한 통신 요구사항을 가지고 있다. 현재 5G 시스템이 지원하는 IIoT는 품질 검사, 공급망 관리, 일반 기계 제어 등으로 한정되어 있지만, 주요 시스템 제조업체들은 현장 프로세스 최적화 및 자동화 향상 등을 5G 시스템과의 통합이 가지는 강점으로 보고 산업 운영의 다른 영역들을 적극적으로 탐색하고 있다[2]. 이는 5G 통합 IIoT 장치가 현장 중심의 작업에서 가상 회의 및 원격 작업으로의 전환을 가져올 수 있으며, 특히 최근 COVID-19로 인하여 비즈니스 운영을 현장 작업 운영과 동등하게 유지하기 위하여 원격 근무로의 대대적인 전환을 가져오면서 이를 더 가속화하고 있다[2]. 이에, 5G 시스템 기술 역시 IIoT가 요구하는 임무지향적(Mission Critical)인 서비스들의 특별한 요구사항들을 충족할 수 있도록 연구가 활발하게 진행되고 있다.

본고에서는 3GPP에서 논의 중인 5G의 IIoT 관련 요구사항과 IIoT 서비스 적용을 위한 관련 기술의 동향을 살펴본다. 특히, 3GPP 표준규격을 중심으로 5G-TSN, URLLC(Ultra Reliable Low Latency) 기술과 IIoT 기술 및 표준화 동향을 소개한다.

II. Industrial IoT 서비스 요구사항

3GPP는 SA1 WG(Working Group)에서 5G 시스템의 서비스 및 기능/성능 요구사항을 표준규격 TS 22.261[3]에서 정의하고 있다. 해당 규격은 전반적으로 5G 시스템의 상위 레벨 요구사항, 기능 및 성능 요구사항 등을 포함하고 있으며, 2020년

10월부터는 Release 18 규격화 작업을 새롭게 진행하고 있다. 규격에서 제시하는 대표적인 요구사항에서 특히 QoS(Quality of Service) 모니터링, 인터넷 전송, 포지셔닝(Positioning) 서비스 및 cyberCAV(cyber-physical Control Applications in Vertical domains, 사이버 물리제어 어플리케이션)에 대한 요구사항은 IIoT 서비스와 밀접한 연관을 가진 요구사항들이다. 규격에 따르면 IIoT 서비스 기능 요구사항과 함께 성능 요구사항에서는 타 서비스보다 높은 수준의 KPI(Key Performance Indicator)를 제시하고 있는데, 특히 포지셔닝, 정확도, 가용성 및 지연 등이 있어 매우 엄격한 성능 KPI를 요구하고 있다.

IIoT 서비스 중에서 특히 산업 및 에너지 자동화를 위한 cyberCAV에 대한 서비스는 TS 22.104[4]에서 별도로 기술하고 있을 만큼 매우 다양한 시나리오별 KPI를 제시하고 있다. 스마트 팩토리와 같은 산업현장에서 생산주기가 다양한 기계 간의 실시간 정보를 공유하기 위해 URLLC가 요구되고, 서비스 시나리오에 따라 요구사항에 적합한 엄격한 성능을 요구하고 있으며, 시간민감형 통신(TSC: Time Sensitive Communication)을 지원하기 위하여 시간 동기화 기능의 요구사항도 함께 제시하고 있다.

1. QoS 모니터링

URLLC 서비스와 같은 특정 서비스를 위한 QoS 요구사항은 네트워크로부터의 QoS 보장을 필요로 한다. 그러나 무선이라는 특성으로 인해 서비스에 필요한 QoS를 네트워크가 항상 보장하지 못할 수 있다. 그러한 경우 어플리케이션에 적시에 알리는 것은 매우 중요하며, 이에 5G 시스템은 URLLC 서비스에 대한 QoS 모니터링/보증을 지원할 수 있어야 한다. 5G 시스템은 실시간 E2E(End to End) QoS

모니터링 지원 메커니즘을 제공하고, QoS 모니터링을 위한 인터페이스를 제공하도록 하고 있다. 특히, 5G 시스템은 요청 수신 후 지정된 시간(예: 5초 이내) 내에 요청에 응답해야 하며, 실시간 QoS 모니터링을 위한 업데이트/새로고침 속도를 지원하도록 정의하고 있다.

2. 이더넷 전송 서비스

이더넷 전송 서비스는 5G 네트워크에서 지원하는 응용 데이터의 타입이 이더넷인 데이터의 전송을 의미한다. 이는 종래의 산업 네트워크가 이더넷 기반의 통신이므로 5G 시스템이 IIoT 서비스를 지원하기 위해서는 종래의 IP 타입뿐만 아니라 이더넷 타입의 데이터 전송은 필수적이라고 할 수 있다. 주로 이더넷을 기반으로 하는 cyberCAV를 지원하기 위해 5G 시스템은 이더넷 전송 서비스를 지원할 수 있어야 하며, 이더넷 프레임과 같은 non-IP 패킷의 라우팅을 지원하고 QoS를 제공할 수 있어야 한다. 이더넷을 이용한 사이버 물리 어플리케이션

지원 지원을 위한 5G 시스템 요구사항은 3GPP TS 22.104[4]에 포함되어 있다. 이러한 이더넷 전송 서비스는 이더넷 장치가 연결된 단말과 DN(Data Network)의 이더넷 네트워크 간 이더넷 프레임 전송을 지원해야 하며, 소스 및 대상 MAC(Media Access Control) 주소, Ethertype 및 802.1Q[5] VLAN (Virtual Local Area Network) tag에 기반한 트래픽 필터링 및 우선순위 설정을 지원해야 한다.

3. 포지셔닝 서비스

포지셔닝 서비스는 공장과 같은 버티컬 도메인에서 cyberCAV에 특히 중요하다. 이는 스마트 팩토리에서 모바일 장치 및 자산이 유연한 생산환경에서 점점 보편화되고 있으며, 이에 따라 장치 및 자산의 실시간 위치 정보에 대한 필요성이 증가하고 있기 때문이다. 포지셔닝 서비스의 필요성이 증가함에 따라 3GPP는 Release 17에서 5G 포지셔닝 서비스 요구사항을 규격화하였다. 5G 포지셔닝 서비스는 10m보다 나은 포지셔닝 정밀도를 갖춘 버

표 1 버티컬 산업의 시나리오별 포지셔닝 성능 요구사항

Scenario	Horizontal accuracy	Vertical accuracy	Availability	Heading	Latency for position estimation of UE	UE Speed	Corresponding Positioning Service Level
안전 기능을 갖춘 모바일 제어 패널(비위험지역)	< 5m	< 3m	90%	n/a	< 5s	n/a	Service Level 2
프로세스 자동화	< 1m	< 3m	90%	n/a	< 2s	< 30km/h	Service Level 3
스마트 공장에 유연한 모듈식 조립 영역 (직업장에서 도구 추적)	< 1m	n/a	99%	n/a	1s	< 30km/h	Service Level 3
스마트 공장의 증강현실	< 1m	< 3m	99%	< 0.17 rad	< 15ms	< 10km/h	Service Level 4
스마트 공장에서 안전 기능을 갖춘 모바일 제어 패널 (공장 위험 영역 내)	< 1m	< 3m	99.9%	< 0.17 rad	< 1s	n/a	Service Level 4
스마트 공장에 유연한 모듈식 조립 영역 (자율주행차용, 모니터링)	< 50cm	< 3m	99%	n/a	1s	< 30km/h	Service Level 5

출처 Reproduced with permission from [4].

터컬 및 어플리케이션 지원을 목표로 기존의 TS 22.071[6]에 기술된 LCS(Location Services) 요구사항보다 더 정밀하게 요구사항을 정의하고 있다.

공장에서 움직이는 물체(예: 포크리프트나 조립 할 부품)를 추적하는 것은 매우 중요한 내용으로, 철도, 도로, UAV(Unmanned Aerial Vehicle) 사용과 같은 운송과 물류 환경에서도 유사하게 적용될 수 있다. 특히, 임무지향적 서비스 운영기관에서는 실내·외에 긴급 구조원들이 배치될 수 있도록 보다 정확한 포지셔닝을 얻기 위한 서비스가 필요하며, 이에 요구되는 포지셔닝 정밀도(및 기타 KPI) 수준은 훨씬 엄격하게 요구한다. 이에 따라 5G 시스템은 포지셔닝 서비스를 제공하도록 정의하고, 서로 다른 단일 및 하이브리드 포지셔닝 방식으로 절대(Absolute) 및 상대(Relative) 포지셔닝을 제공하도록 한다. 이러한 맥락에서 높은 정확도의 위치 정보를 요구하는 5G 포지셔닝 서비스는 스마트 팩토리에서 중요해지는 이동 단말과 자산의 추적이 산업환경에서 증가하는 유연성과 프로세스 향상에 필수적인 요구가 되고 있다. 5G 시스템은 네트워크 범위를 벗어난 UE(User Equipment)에 대해 근접하고 네트워크 내에 있는 다른 UE에 비해 1m 이하의 정확도로 포지셔닝 정보를 제공해야 한다. 표 1은 시나리오 별 수평 및 수직 정확도, 가용성 등에 대한 포지셔닝 요구사항을 나열하고 있다. 표에서 알 수 있듯이 단순 도구 및 장비 추적에 비해, 위험 영역이나 자율주행차와 같이 포지셔닝 서비스 레벨이 높은 시나리오들은 보다 엄격한 KPI를 제시함을 알 수 있다.

4. cyberCAV

3GPP는 별도로 작성된 TS 22.104[4] 규격에서 cyberCAV(버티컬 도메인의 사이버 물리 제어 어플리케이션)에 대한 서비스 요구사항을 정의한다.

버티컬 도메인이란 유사한 서비스 및 제품을 개발, 생산 및 제공하는 특정 산업 또는 기업 집단으로 버티컬 도메인에서의 자동화는 프로세스, 장치 또는 시스템을 자동적인 방법으로 제어하는 것을 의미한다. 통상 자동제어 시스템의 제어기능을 통해 도메인의 여러 동작 및 처리를 수행하며, 이러한 기능들은 센서, 제어기 등에 의해 수행된다. CPS(Cyber Physical System, 사이버 물리 시스템)는 공학적이고, 상호작용하는 물리 요소와 컴퓨터 구성 요소를 포함하는 시스템으로 정의될 수 있으며, cyberCAV는 물리적 프로세스를 제어하는 어플리케이션이다. 이러한 cyberCAV를 지원하는 통신 서비스는 높은 통신 서비스 가용성과 신뢰성 그리고 매우 낮은 전송지연이 요구된다. 3GPP에서는 버티컬 도메인에서의 자동화 통신을 통신 패턴에 따라 주기적인 결정론적 통신(Deterministic Communication), 비주기적인 결정론적 통신과 비결정론적 통신으로 정의하고, 서비스 시나리오별 성능 요구사항을 해당 트래픽 클래스를 기준으로 식별하고 있다. 특히, 스마트 팩토리의 모션 제어 시나리오에서 매우 엄격한 통신을 위한 결정론적 주기적 통신을 수행하도록 요구사항을 제시하고 있다.

표 2 5G 시간 동기화 서비스 성능 요구사항

정밀도 수준	최대 장치수	동기화 버짓	서비스 영역	시나리오
1	300UEs	≤900ns	≤100m × 100m	• 모션 제어 • 제어 간 통신
2	300UEs	≤900ns	≤1,000m × 100m	• 제어 간 통신
3	10UEs	≤10μs	≤2,500m ²	• 고속 비디오 스트리밍
3a	100UEs	≤1μs	≤10km ²	• AVPROD 동기화 및 패킷 타이밍
4	100UEs	≤1μs	<20km ²	• 스마트 그리드: PMU 간의 동기화
5	10UEs	≤50μs	400m	• 원격수술 및 원격진단

출처 Reproduced with permission from [4].

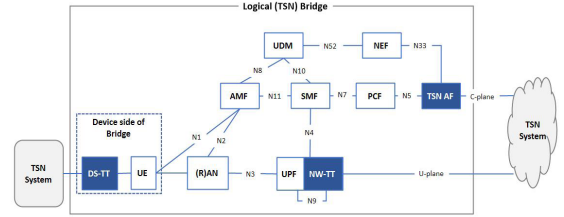
표 2는 5G 시스템 결정론적 통신의 기본이 되는 시간 동기화 서비스의 성능 요구사항을 나타낸다. 여러 산업 분야에서 필요한 시간 동기화는 시간민감형 통신을 위한 기준을 시나리오에 따라 정밀도 수준으로 분류하고 있다. 시간 정밀도는 동기 마스터와 동기 디바이스 사이에 정의된다. 이에, 5G 시스템은 IEEE1588v2/PTP(Precision Time Protocol) 메시지를 처리하고 전송하기 위한 체계를 지원하여야 하며, 해당 PTP 메시지를 이용하여 장치 간에 정확한 클럭 동기화를 수행하여야 한다.

III. 3GPP Rel-16 5G TSN 기술

3GPP는 Rel-16부터 시간감통신 지원을 위한 5G 시스템의 표준규격 작업을 시작하였다. II 장에서 살펴본 IIoT 서비스 요구사항을 기반으로 SA2 WG에서는 해당 서비스의 실현을 위한 아키텍처 및 기술 규격 작업을 진행하였다. Rel-16에서는 일차적으로 TSN 네트워크와의 통합을 위한 주요 기술 규격에 대한 표준을 완료하였고, 현재는 Rel-17 중심으로 시간민감형 통신 확장 및 시간동기화 서비스 지원을 위한 표준을 2020년 6월 말로 현재 마무리하고, Release 18을 위한 SI(Study Item) 도출 작업도 함께 진행 중이다. 이 장에서는 Rel-16 중심의 5G TSN 기술을 살펴보도록 한다.

1. 5G-TSN 네트워크 연동 아키텍처

Rel-16에서는 IEEE Std 802.1Qcc[7]에 정의된 TSN 구성모델 가운데 완전 중앙집중식 모델을 적용하는 IEEE 802.1 TSN 네트워크와 5G 시스템과의 연동 규격을 지원한다. 5G 시스템은 TSN 네트워크의 하나의 논리적인 TSN 브릿지로 동작하도록 연동되고, TSN 트래픽 처리를 위하여 PSFP



출처 Reproduced with permission from [8].

그림 1 TSN 브릿지로 동작하는 5G 시스템 아키텍처

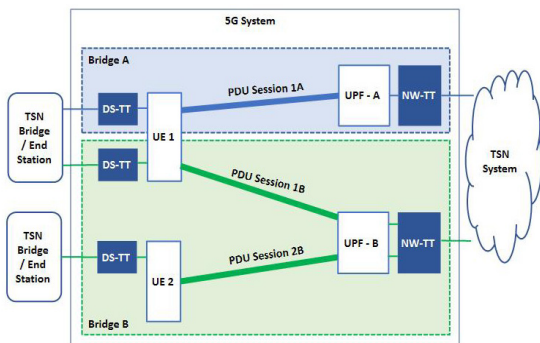
(Per-Stream Filtering and Policy, 스트림별 필터링 및 정책)와 스케줄드 트래픽(Scheduled Traffic)을 지원한다[5]. 그림 1은 TSN 브릿지로 동작하는 5G 시스템 아키텍처를 나타낸다[8]. 그림에서 보는 바와 같이 5G 시스템은 TSN 네트워크와의 통합을 위해 논리적인 TSN 브릿지로 동작하고 있으며, 사용자 평면(UP: User Plane)과 제어 평면(CP: Control Plane) 모두에 대해 TSN 변환 기능을 추가하여 TSN 시스템과 5G 시스템 간의 상호 연동을 수행한다.

5G 시스템에서 사용자 평면의 변환기는 DS-TT(Device-Side TSN Translator)와 NW-TT(Network-Side TSN Translator)로 구성되며, 제어 평면의 변환기는 TSN AF(TSN Application Function)가 수행한다. 그 외, 5G 시스템의 코어, RAN(Radio Access Network) 등은 TSN 네트워크로부터 숨겨져 있게 된다. 즉, TSN네트워크에서는 5G 시스템이 TSN 네트워크 내의 하나의 브릿지와 동일하게 취급된다. 따라서 DS-TT, NW-TT 역시 종래의 TSN 브릿지의 기능을 수행해야 한다. 예를 들면, 사용자 평면에서 DS-TT, NW-TT는 각각 연결된 인터넷 장치의 검색을 위해 IEEE Std 802.1AB[9]에 정의된 LLDP(Link Layer Discovery Protocol, 링크 레이어 연결 검색 및 보고) 기능을 DS-TT 내지는 NW-TT에서 지원하여야 한다. TSN AF는 DS-TT와 NW-TT가 TSN 트래픽을 처리할

수 있도록 5G 시스템과 TSN 네트워크 간의 브릿지 정보 및 구성정보를 교환하는 역할을 담당한다. PDU(Protocol Data Unit) 세션 설정 후, TSN AF는 5G 시스템의 브릿지 정보를 구성하여 TSN 네트워크의 CNC(Central Network Controller)에게 보고한 후, CNC로부터 TSN 네트워크 구성 정보를 수신하게 되며, 수신된 브릿지 구성정보에 따라 PDU 세션 QoS 플로우의 5G 시스템 QoS 정보(예: 5QI(5G QoS Identifier), TSCAI(TSC Assistance Information))와 매핑하여 5G 시스템 내에서 TSN 트래픽이 처리될 수 있도록 한다.

그림 2는 5G 시스템 TSN 브릿지 구성도이다. 그림에서 보듯이 논리적인 L2 이더넷 브릿지 역할을 수행하는 5G 시스템 TSN 브릿지는 단일 UPF(User Plane Function) 측의 포트, UE와 UPF 사이의 사용자 평면 터널, DS-TT 측의 포트로 구성되며, 다수의 UPF를 가질 수 있는 5G 시스템은 UPF 별로 논리적인 TSN 브릿지로 동작하고, 개별 브릿지 ID도 가질 수 있다.

앞서 언급했듯이 시 결정적 통신을 위한 TSN 트래픽은 TSN 네트워크 내부의 QoS를 가지게 되며, 이를 논리적인 TSN 브릿지인 5G 시스템은 해당 QoS를 만족하기 위해 TSN QoS를 5G 시스템



출처 Reproduced with permission from [8].

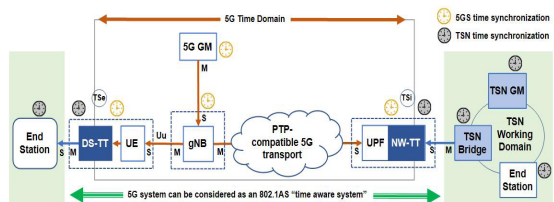
그림 2 5G 시스템 TSN 브릿지 구성도

내부에서 사용하는 QoS 프로파일과 매핑을 수행하여야 한다. 이는 5G에서 정책관리를 담당하는 PCF(Policy Control Function)가 TSN AF를 통해 전달되는 브릿지 구성정보를 바탕으로 트래픽 클래스에 해당하는 5G QoS 플로우를 생성할 수 있으며, 이렇게 생성된 TSN QoS 파라미터들은 포트당 트래픽 클래스/우선순위, 브릿지 지연 및 포트당 전달지연 정보들을 포함한다.

2. 5G TSN 시간동기화

5G 시스템이 TSN 브릿지로서 시간민감형 통신을 지원하기 위해서는 TSN 시간동기화 기능이 제공되어야 한다. DS-TT와 NW-TT는 IEEE Std 802.1AS[10]의 기능을 지원하여 TSN 네트워크의 시간과 동기화를 수행하고, 5G 시스템 내부는 RAN 동기화[11]를 사용하여 5G 시스템의 시간동기화를 수행한다. 따라서 TSN 브릿지로 동작하는 5G 시스템은 5G 시스템 동기화와 함께 TSN 네트워크와의 시간동기화를 지원할 수 있다. 그림 3은 5G 시스템의 시간동기화 지원 모델을 나타낸다.

그림에서 보는 바와 같이 시간민감형 통신 지원을 위해 5G RAN을 통한 5G 시스템의 내부 시간동기화와 IEEE Std 802.1AS[10] 기반의 TSN 네트워크 시간 동기화는 각각 독립적으로 동작한다. 5G 시스템 시간동기화는 DS-TT 및 NW-TT



출처 Reproduced with permission from [8].

그림 3 TSN 시간동기화를 지원하는 5G 시스템 모델

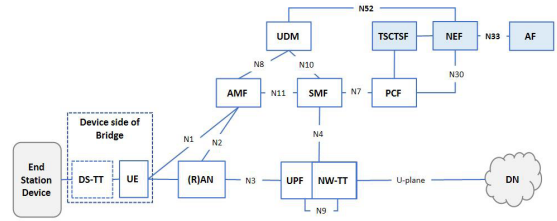
를 포함한 5G 시스템 내부의 모든 노드들을 5G GM(Grand Master)을 기준으로 동기화한다. TSN 네트워크 시간동기화는 기본적으로 네트워크 측의 TSN GM을 기준으로 5G 시스템 및 TSN End 시스템까지 동기화하여야 한다. 이를 위해 5G 시스템의 양 끝단의 DS-TT, NW-TT에서 5G 시스템의 체류시간(Residence Time) 계산하여 gPTP(generic Precision Time Protocol) 메시지를 통해 전달함으로써 TSN 네트워크의 시간동기화가 이루어질 수 있도록 지원한다.

IV. 3GPP Rel-17 IIoT 기술

Rel-16에서는 5G 시스템이 논리적인 TSN 가상 브릿지로 동작하여 TSN 네트워크와 함께 연동하기 위한 5G 시스템 아키텍처 및 연동 규격에 대해 살펴보았다. Rel-17에서는 비디오, 오디오, 이미지와 같은 응용 서비스에서도 시간민감형 통신을 요구하면서, Rel-16에서 5G 시스템이 TSN 네트워크와의 연동으로만 제한했던 것을 시간민감형 서비스를 요구하는 응용서비스 및 시스템으로 확장되었다. 또한 5G 시스템의 시간동기화도 하나의 서비스로 이를 이용하고자 하는 외부 응용서비스에 익스포저(Exposure)하는 기능도 추가되었다. 이 장에서는 Rel-17에서 논의된 시간민감형 통신 및 시간동기화 서비스를 제공하는 5G 시스템 구조와 기능을 살펴본다.

1. TSC 지원 5G 시스템 구조

그림 4는 3GPP Rel-17에서 논의된 시민감통신 및 시간동기화 서비스를 제공하는 5G 시스템의 아키텍처를 보여준다[12]. Rel-16과 달리 Rel-17에서는 non-TSN 네트워크 응용서비스가 AF(Appli-



출처 Reproduced with permission from [12].

그림 4 시민감통신 및 시간동기화 서비스 지원 5G 시스템 구조

cation Function)을 통해 5G 시스템으로 시민감통신 및 시간동기화 서비스를 요청할 수 있다. 이 경우, 응용 서비스들은 5G 시스템의 NEF(Network Exposure Function)을 통해 5G 내부 기능들과 통신할 수 있다. NEF는 5G 시스템에서 서비스 익스포저를 담당하는 기능이며, Rel-17에서는 NEF가 제공하는 기존의 QoS 서비스를 확장하여 결정적 QoS (Deterministic QoS) 서비스가 추가되고, 시간 동기화 서비스도 익스포저 기능에 새롭게 추가된다. 따라서 응용서비스는 NEF를 통한 서비스 익스포저를 사용하여 시민감통신 및 시간동기화 서비스를 요청할 수 있고, 5G 시스템 내부에서는 기존 QoS 익스포저 서비스가 확장된 형태의 결정적 QoS 서비스를 제공하며, 새롭게 시간 동기화 서비스도 제공할 수 있게 된다. 응용서비스가 요청할 수 있는 각각의 서비스는 다음 절에서 설명한다.

응용서비스가 요청하는 시민감통신 및 시간동기화 서비스를 제공하기 위하여 5G 시스템에는 새로운 기능으로 TSCTSF(Time Sensitive Communication Time Synchronization Function) 기능이 추가되는 것으로 논의되었다. 이는 AF가 사업자 도메인 내에 존재할 경우에 NEF를 통하지 않고 직접 TSCTSF와 인터페이스를 할 수 있으므로, 응용서비스의 위치에 상관없이 AF를 통해 요구되는 시민감통신 및 시간동기화 서비스가 모두 TSCTSF로

요청하는 것이 가능하다. 따라서, TSCTSF는 시민 감통신 및 시간동기화 서비스를 위해 PCF와 단일 인터페이스를 사용할 수 있는 장점이 있다. AF가 사업자 도메인 내에 존재하는 Trusted AF이든지 사업자 도메인 외부에 존재하는 Untrusted AF이든지 상관없이 AF가 요청하는 시민감통신 및 시간동기화 서비스는 모두 TSCTSF에서 동일하게 처리된다.

2. 결정적 QoS 서비스

결정적 QoS를 제공하기 위하여 5G 시스템은 Critical GBR(Guaranteed Bit Rate) QoS 플로우를 사용하여 다음의 2가지 추가적인 기능을 제공한다.

- TSCAI: TSC 플로우 트래픽 패턴을 gNB로 알려줌으로써 gNB, UE 간의 무선 구간에서 시민감통신이 가능하도록 한다.
- Hold & forward buffering mechanism: 플로우의 디지털(De-jitter)을 위하여 DS-TT, NW-TT에서 제공한다.

표 3에서 보여주는 TSCAI는 TSC 트래픽의 특성을 설명하는 정보이다[13]. TSCAI는 SMF(Session Management Function)가 RAN에 제공하며, Rel-17부터 Survival Time 정보가 새롭게 추가되었다. 이

표 3 TSCAI

Assistance Information	설명
Flow Direction	TSC 플로우 (uplink/downlink) 방향
Periodicity	두 버스트 데이터 간의 시간 주기
Burst Arrival time	RAN(downlink) 또는 UE(uplink)의 버스트 데이터 도착 시간
Survival Time	어플리케이션이 버스트 없이 생존할 수 있는 시간

출처 Reproduced with permission from [13].

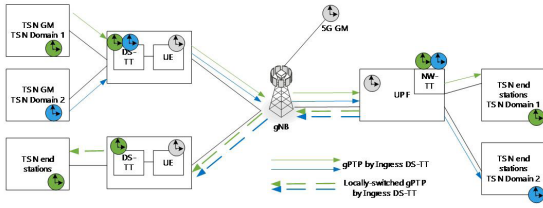
는 주기적이고 결정론적인 트래픽 플로우를 보다 효율적으로 스케줄링할 수 있도록 하는 데 유용하다. 따라서 시민감통신을 제공하기 위하여 5G 시스템은 Critical GBR QoS 플로우를 무선 구간에서도 결정적 통신을 보장하기 위하여 TSCAI를 gNB로 제공하고, DS-TT, NW-TT에서 홀드 앤 포워드 버퍼링을 제공하여 TSN 네트워크뿐만 아니라 응용서비스가 요구하는 시민감통신을 지원할 수 있다.

3. 업링크 시간동기화 서비스

Rel-16에서는 TSN을 위한 IEEE Std 802.1AS[10] 표준규격에 따른 시간동기화만을 제공하였지만, Rel-17에서는 다양한 응용서비스를 지원하기 위하여 이더넷뿐만 아니라 IP 기반의 시간동기화가 가능한 IEEE 1588 표준규격을 지원하도록 확대되었다. 따라서 현재 Rel-17 규격에서 논의된 5G 시스템이 지원 가능한 시간동기화 모드는 다음과 같다.

- IEEE 802.1AS time-aware system
- IEEE 1588 Boundary Clock
- IEEE 1588 peer-to-peer Transparent Clock
- IEEE 1588 end-to-end Transparent Clock

또한, III장에서 언급하였듯이 Rel-16에서는 TSN GM이 UPF와 연결된 네트워크쪽에 존재하는 경우로 한정하여 지원하였지만, Rel-17에서는 TSN GM이 UE와 연결된 디바이스 쪽에 존재하는 경우도 포함하도록 확대되었다. 그림 5는 업링크 시간동기화를 위한 PTP 메시지의 정보 전달의 예를 나타낸다[14]. 그림 5의 예에서 보면 TSN 도메인 1의 TSN GM은 UE와 연결된 쪽에 존재하며, TSN GM이 보내는 시간동기화 메시지는 UE를 통



출처 Reproduced with permission from [14].

그림 5 업링크 시간동기화를 위한 정보 전달 예

해 UPF로 전달되고, UPF는 TSN 도메인 1에 해당하는 모든 TSN 노드로 메시지를 전달하기 위하여 네트워크 쪽에 연결된 TSN 노드로 시간동기화 메시지를 전달할 뿐만 아니라 동일한 UPF 내의 다른 UE에 연결된 TSN 노드로도 시간동기화 메시지를 전달한다. 이 과정에서 하나의 UPF 내에 존재하는 동일한 TSN 도메인 1에 속하는 UE 간에 패킷 전송이 발생하게 되는데, 이를 위해서는 기존의 Rel-16에서 제공하는 VN(Virtual Network) 그룹 간의 통신 방식과 유사하게 사용하여 UPF 내에서 로컬 스위칭(Local Switching)을 수행한다.

시간동기화 서비스를 위해 Rel-17에서는 TSN GM 외에도 새롭게 5G GM을 사용할 수 있는 기능을 제공한다. 응용서비스는 IEEE Std 802.1AS[10]나 IEEE 1588 규격에 따른 Boundary Clock, Transparent Clock, PTP relay instance 기능을 요청할 수도 있지만, 5G 내부 클록을 사용하는 5G GM 시간동기화 서비스도 요청할 수 있다. 이때, 5G GM을 사용하여 외부 네트워크와 IEEE 시간동기화 표준규격을 사용할 수도 있지만, 비표준 구현에 따른 시간동기화 기능도 제공할 수 있다.

V. 3GPP Rel-16/17 URLLC 기술

1. URLLC를 위한 중복 전송

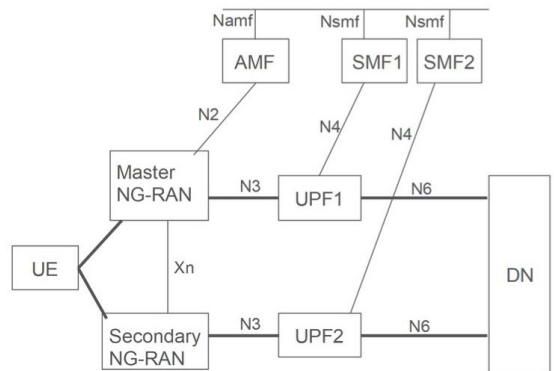
5G 시스템은 높은 신뢰성의 URLLC 서비스를

지원하기 위해, UE는 2개의 중복 PDU 세션을 설정하여 5G 시스템이 중복 PDU 세션의 사용자 평면 경로를 분리하여 구성될 수 있도록 설정할 수 있다. 현재 규격의 URLLC는 3GPP 액세스에만 적용되며, 다음의 3가지의 중복 전송(Redundant Transmission) 서비스를 지원한다.

- DC(Dual Connectivity)를 사용한 E2E 중복 사용자 평면 경로
- N3/N9 인터페이스의 중복 전송 지원
- 전송 계층에서 중복 전송 지원

DC와 같은 기존 메커니즘을 활용하여 제공하는 종단 간 중복 사용자 평면 경로는 매우 신뢰할 수 있는 URLLC 서비스를 지원하기 위해 UE가 5G 네트워크를 통해 두 개의 중복 PDU 세션을 설정하고, 5G 시스템이 두 개의 중복 PDU 세션의 사용자 평면 경로가 분리되도록 설정한다.

그림 6은 이중화가 적용될 때 이중 PDU 세션의 사용자 평면 리소스 구성의 예를 보여준다. 하나의 PDU 세션은 Master NG-RAN을 통해 UE에서 PDU 세션 앵커 역할을 하는 UPF1에 걸쳐 있고, 다른 PDU 세션은 UE에서 Secondary NG-RAN



출처 Reprinted with permission from [8].

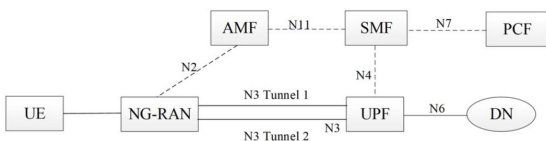
그림 6 DC를 사용한 E2E 중복 사용자 평면 경로

을 통해 PDU 세션 앵커 역할을 하는 UPF2에 걸쳐 있다. TS 37.340[15]에서 NG-RAN은 두 개의 NG-RAN 노드 또는 단일 NG-RAN 노드에 두 개의 PDU 세션을 위한 중복 사용자 평면 리소스를 구성할 수 있다고 설명하고 있다. 두 경우 모두 AMF(Access and Mobility Management Function)에 대한 단일 N1 인터페이스를 가지며, 이 두 개의 PDU 세션을 기반으로 두 개의 독립적인 사용자 평면 경로가 설정된다. UPF1 및 UPF2를 통한 트래픽은 DN 내의 다른 사용자 평면 노드를 통해 라우팅 될 수 있지만 UPF1 및 UPF2는 동일한 DN에 연결된다. 두 개의 중복 PDU 세션을 설정하고 동일한 어플리케이션에서 들어오는 중복 트래픽을 이 PDU 세션에 연결하기 위해 TS 23.503[16]에 명시한 URSP(UE Route Selection Policy) 또는 UE 로컬 구성이 사용되며, 중복 사용자 평면 설정은 IP 및 이더넷 PDU 세션 모두에 적용된다.

그림 7과 그림 8은 각각 UPF와 NG-RAN 간에 두 개의 N3 터널을 통한 중복 전송, 두 개의 N3/

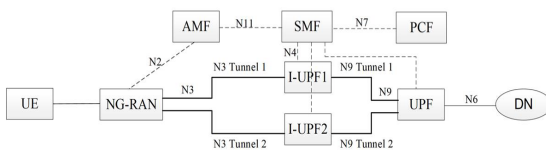
N9 터널을 통한 중복 전송을 나타낸다. 인터페이스 중복 전송 지원은 동일한 트래픽에 대해 두 개의 중복 N3(또는 N9) 터널을 생성하여 NG-RAN과 UPF 사이에 중복 경로를 제공한다. 이는 높은 신뢰성을 요구하는 URLLC 서비스에 대해 NG-RAN, UPF 및 CP NF(Network Function)에 비해 단일 N3 터널의 신뢰성이 충분하지 못한 것으로 여겨지기 때문이다. 중복 터널이 설정되면 NG-RAN은 업링크 방향에서 수신된 패킷을 식별한 다음 복제하여 두 N3 터널에 모두 전송해야 하며, 반대로 UPF도 다운링크 트래픽을 두 개의 터널을 통해 전송한다. 터널 끝의 각 노드는 수신된 모든 중복 패킷을 삭제한다. SMF가 중복 터널을 설정하며, Rel-17에서는 SMF가 NWDAF(Network Data Analytics Function)에서 제공하는 중복 전송 경험 분석(Redundant Transmission Experience analytics)을 통해 PDU 세션에 대한 중복 전송이 수행되어야 하는지 또는 중지되어야 하는지 여부를 결정할 수 있도록 하고 있다.

전송 계층에서 중복 전송 지원은 어플리케이션 계층에서 IEEE FRER(Frame Replication and Elimination for Reliability)과 같은 프로토콜의 지원을 가정하지 않고도 5G 시스템 내에서 중복 전송을 지원할 수 있으며, 동시에 N3상에 중복 GTP-U 터널 없이 지원될 수 있다. 백홀(Backhaul)은 UPF와 NG-RAN 간에 두 개의 분리된 전송 경로를 제공한다.



출처 Reprinted with permission from [8].

그림 7 UPF와 NG-RAN 간 두 개의 N3 터널이 있는 중복 전송



출처 Reprinted with permission from [8].

그림 8 UPF와 NG-RAN 간의 두 개의 N3/N9 터널이 있는 중복 전송

2. URLLC 지원 QoS 모니터링

Rel-16/Rel-17에서 QoS 모니터링은 패킷 지연 측정에 적용된다. UE와 UPF 사이의 패킷 지연은 TS 38.314[17]에 정의된 UL/DL 패킷 지연의 RAN 파트와 NG-RAN과 UPF 사이의 UL/DL 패킷 지

연의 조합이다. RAN 부분의 UL/DL 패킷 지연 측정에 대한 QoS 모니터링을 제공하려면 NG-RAN이 필요하다. NG-RAN과 UPF 간의 UL/DL 패킷 지연에 대한 QoS 모니터링은 운영자의 구성, 셋드 파티(3rd Party) 어플리케이션의 요청 또는 URLLC 서비스에 대한 PCF 정책 제어에 따라 다양한 수준으로 수행될 수 있다.

PCF는 AF로부터 수신된 QoS 모니터링 요청을 기반으로 SDF(Service Data Flow)에 대한 승인된 QoS 모니터링 정책을 생성하며, PCC(Policy and Charging Control) rule에 QoS 모니터링 정책을 포함하여 이를 SMF에 전달한다.

VI. 결론

본고에서는 5G 모바일 네트워크의 Industrial IoT 기술 및 표준화 동향을 3GPP 표준규격들을 중심으로 Rel-16 5G-TSN, Rel-17 IIoT 기술들을 살펴보았다. 3GPP는 산업 네트워크의 분야별 특성에 적합한 요구사항 분석을 시작으로 Rel-16에서 5G-TSN 시스템을 위한 표준규격을 완료하고, Rel-17부터는 시간민감형 통신 서비스를 TSN에만 한정하지 않고 다양한 시간민감형 통신 서비스 지원을 위하여 표준화를 진행 중이다.

5G 모바일 네트워크가 다양한 산업의 요구를 수용하고 함께 성장하고 발전시키도록 진화를 함에 따라, 산업 네트워크 역시 한 단계 더 성장할 수 있도록 5G 모바일 네트워크가 그 중심에서 중추적인 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다. Industry 4.0에서 5G 모바일 네트워크는 산업네트워크의 핵심 인프라로서 다양한 Industrial IoT 서비스들을 수용하고 정밀하게 지원할 수 있도록 지속적인 성능향상 및 기술개발이 이루어져야 할 것이다.

용어해설

시민감형 통신(TSC) 고신뢰성 및 가용성을 가진 결정론적 통신을 제공하는 통신 서비스

결정론적 통신(Deterministic Communication) 예측할 수 있으며 오차(불확실성)를 허용하지 않는 통신 서비스

약어 정리

5QI	5G QoS Identifier
AF	Application Function
AMF	Access and Mobility Management Function
CNC	Central Network Controller
CP	Control Plane
CPS	Cyber Physical System
cyberCAV	cyber-physical Control Applications in Vertical domains
DC	Dual Connectivity
DN	Data Network
DS-TT	Device-Side TSN Translator
E2E	End to End
FRER	Frame Replication and Elimination for Reliability
GBR	Guaranteed Bit Rate
GM	Grand Master
gPTP	generic Precision Time Protocol
IIoT	Industrial IoT
KPI	Key Performance Indicator
LCS	Location Services
LLDP	Link Layer Discovery Protocol
MAC	Media Access Control
NEF	Network Exposure Function
NF	Network Function
NWDAF	Network Data Analytics Function

NW-TT	Network-Side TSN Translator
PCC	Policy and Charging Control
PCF	Policy Control Function
PDU	Protocol Data Unit
PSFP	Per-Stream Filtering and Policy
PTP	Precision Time Protocol
QoS	Quality of Service
RAN	Radio Access Network
SDF	Service Data Flow
SI	Study Item
SMF	Session Management Function
TSC	Time Sensitive Communication
TSCAI	TSC Assistance Information
TSCTSF	Time Sensitive Communication Time Synchronization Function
TSN	Time Sensitive Networking
TSN AF	TSN Application Function
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UE	User Equipment
UP	User Plane
UPF	User Plane Function
URLLC	Ultra Reliable Low Latency Communication
URSP	UE Route Selection Policy
VLAN	Virtual Local Area Network
VN	Virtual Network
WG	Working Group

참고문헌

- [1] 김원익 외, "이동통신기반 Industrial IoT기술 동향," 전자통신 동향분석, 제33권 제5호, 2018.
- [2] <https://futureiot.tech/5g-integration-in-iiot-systems-hastens-industry-4-0-goal/>
- [3] 3GPP TS 22.261, "Service requirements for 5G system," 2021. 3.
- [4] 3GPP TS 22.104, "Service requirements for cyber-physical control applications in vertical domains," 2021. 3.
- [5] IEEE Std 802.1Q-2018, "IEEE standard for local and metropolitan area networks-Bridges and bridged networks," 2018.
- [6] 3GPP TS 22.071, "Location services(LCS); Service description," 2020. 7.
- [7] IEEE Std 802.1Qcc-2018, "IEEE standard for local and metropolitan area networks-bridges and bridged networks amendment 31: Stream reservation protocol(SRP) enhancements and performance improvements," 2018. 10.
- [8] 3GPP TS 23.501, V16.8.0 "System architecture for the 5G system," 2021. 3.
- [9] IEEE Std 802.1AB-2016, "IEEE standard for local and metropolitan area networks-station and media access control connectivity discovery," 2016. 3.
- [10] IEEE Std 802.1AS-2016, "IEEE standard for local and metropolitan area networks-timing and synchronization for time-sensitive applications in bridged local area networks," 2011. 3.
- [11] 3GPP TS 38.331, "NR; Radio resource control(RRC); Protocol specification," 2020. 9.
- [12] 3GPP S2-2105082, "Introduction of architecture for AF requested support of time sensitive communication and time synchronization," 2021. 5.
- [13] 3GPP TS 23.501, V17.0.0 "System architecture for the 5G system," 2021. 3.
- [14] 3GPP TR 23.700-20, "Study on enhanced support of industrial internet of things(IIoT) in the 5G system(5GS)," 2020. 6.
- [15] 3GPP TS 37.340, "Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA) and NR, multi-connectivity," 2021. 3.
- [16] 3GPP TS 23.503, "Policy and charging control framework for the 5G system(5GS)," 2021. 3.
- [17] 3GPP TS 38.314, "NR; Layer 2 measurements," 2021. 3.