

5G URLLC 기술 동향

Technical Trends of Ultra-Reliable Low-Latency Communication for 5G

박옥선 (O.S. Park, ospark@etri.re.kr)	미래이동통신연구본부 책임연구원
김석기 (S.K. Kim, kimsk0729@etri.re.kr)	미래이동통신연구본부 선임연구원
박기윤 (G.Y. Park, gypark@etri.re.kr)	미래이동통신연구본부 선임연구원
신우람 (W.R. Shin, w.shin@etri.re.kr)	미래이동통신연구본부 선임연구원
신재승 (J.S. Shin, sjs@etri.re.kr)	미래이동통신연구본부 책임연구원/실장

ABSTRACT

The fifth generation (5G) wireless technology is expected to be the trigger for the fourth industrial revolution. In particular, 5G ultra reliable low latency communication (URLLC) is expected to lead the wireless automation in vertical domains. In this paper, we analyze use cases, key metrics, and physical layer technologies for 5G URLLC standardized in 3rd Generation Partnership Project Radio Access Network (3GPP RAN). Additionally, we discuss enabling RAN technologies towards beyond 5G to support high reliability and low latency.

KEYWORDS 5G, URLLC, 공장자동화, 저지연, 고신뢰

1. 서론

제4차 산업혁명은 제조업과 정보통신이 융합되어 모든 것이 상호 연결되고 지능화된 사회로 변화시킬 것으로 전망하고 있다. 5G 시스템은 제4차 산업혁명의 기폭제로서 사이버물리시스템(CPS) 기반의 다양한 버티컬 도메인으로 구성된 산업구조를 구축해 나갈 것이다[1].

기존에는 버티컬 도메인의 자동화가 유선 및 근

거리 무선 네트워크 기반으로 구축되었으나, 5G 또는 향후 B5G/6G 이동통신은 무선 네트워크 기반의 국제표준으로 버티컬 도메인의 자동화를 점차 확대해 나갈 예정이다. 그러나 이동통신 기반으로 자동화를 구축할 경우 유선 링크 수준의 초고신뢰/초저지연(Ultra-Reliable Low Latency) 성능을 제공하는 데 큰 어려움이 예상된다.

현재 3GPP(The 3rd Generation Partnership Project)는 다양한 버티컬 서비스를 제공하기 위해 eMBB

* DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2019.J.340604>

* 본 연구는 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임[No.2017-0-00724, 셀룰라 기반 산업 자동화 시스템 구축을 위한 5G 성능한계 극복 저지연, 고신뢰, 초연결 통합 핵심기술 개발].



본 저작물은 공공누리 제4유형

출처표시+상업적이용금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.

©2019 한국전자통신연구원

(enhanced Mobile Broad-Band), mMTC(massive Machine Type Communication), URLLC(Ultra-Reliable Low Latency Communication) 시나리오를 고려하여 5G 이동통신기술인 NR(New Radio)을 표준화하고 있다. NR Phase2 표준은 산업계로 5G 기술을 확장하기 위해 URLLC 서비스 분야에 집중하고 있고, 제한된 URLLC 이용사례와 서비스 요구사항을 기반으로 NR URLLC/IIoT(Industrial Internet of Things) 개선 기술을 논의하고 있다[2,3].

5G 기술은 아직 제한된 수준의 URLLC 성능을 만족할 수 있기 때문에 일부 산업에서만 5G 기술을 도입하여 유선링크를 무선링크로 대체할 수 있다.

한편, 독일전기전자산업협회는 5G 기술에 기반하여 스마트 팩토리 구축을 추진하기 위한 국제 포럼인 5G-ACIA(5G Alliance for Connected Industries and Automation)를 설립하였다. 5G-ACIA는 운용 기술업체 및 ICT 업체를 비롯한 모든 관련사들이 참여하여 5G 이동통신 표준과 규제에 산업계의 요구를 충분히 반영하고, 5G 기술이 산업계에 효과적으로 확산되도록 하는 것을 목표로 하고 있다 [4]. 5G-ACIA는 3GPP NR 표준화에서 URLLC 서비스 요구사항 정의, Indoor IIoT를 위한 채널모델링 등과 같은 실질적인 성과를 거두고 있다.

본 고에서는 URLLC 서비스와 5G URLLC 기술 동향을 소개하고, 5G 이후의 URLLC 기술에 대한 전망을 살펴보고자 한다.

II. URLLC 서비스

1. 5G URLLC 서비스

빌딩자동화, 미래형 공장, eHealth, 스마트 시티, 배전, 스마트 농업 등은 대표적인 URLLC 응용분야이다. 이러한 모든 응용분야의 자동화를 실현

표 1 5G URLLC use cases

Use case	Reliability	Latency*
AR/VR	99.999%	1ms(air interface delay) for 32bytes 1~4ms(air interface delay) for 200bytes
Factory automation (Motion control)	99.9999%	2ms(end to end latency) Note: 1ms air interface latency
Transport industry (Remote driving)	99.999%	5ms(end to end latency) Note: 3ms air interface latency
Power distribution (Power distribution grid fault and outage management)	99.9999%	5ms(end to end latency) Note: 2~3ms air interface latency

* E2E latency는 센서에서 PLC(Programmable Logic Controller)로 데이터를 전송하는 데 소요되는 지연시간을 측정한다.

하려면 0.5ms 이하의 E2E(End-to-End) latency와 BLER(block error rate)= 10^{-9} 에 해당하는 reliability 성능을 달성해야 한다. 그러나 5G 기술은 제한된 수준의 URLLC 성능 요구사항을 만족하는 것을 목표로 공장 자동화(factory automation), 운송산업(transport industry), 전력분배(power distribution) 서비스를 우선적으로 제공하고자 한다.

표 1은 대표적인 5G URLLC 응용사례에 대한 신뢰도 및 지연 특성을 요약하고 있다[5]. 5ms 이내의 E2E latency와 10^{-6} 의 패킷 오류율을 만족해야 한다.

가. 공장 자동화

공장 자동화는 공장 내에 공정이나 작업흐름의 자동제어, 모니터링, 최적화를 통해 대량생산을 주도하는 기술로서 모션제어, C2C(Control-to-Control), 모바일 로봇 등의 응용분야가 있다(그림 1). 공장 자동화는 통신을 제외한 영역이

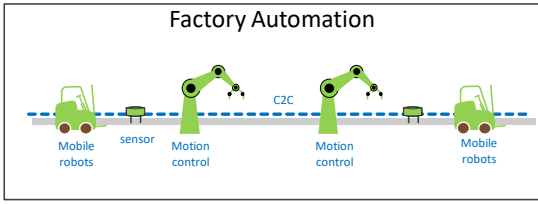


그림 1 공장 자동화의 예

80% 이상을 차지할 뿐만 아니라[6], 통신측면에서도 가장 높은 latency와 reliability 성능을 만족해야 하는 어려움이 있다.

1) 모션제어

모션 제어 시스템은 모션 제어기와 여러 개의 센서와 액추에이터로 구성되고 모션 제어기와 센서/액추에이터 간 통신(C2S/C2A)을 통해 머신의 이동이나 회전을 제어한다(그림 2).

모션 제어기는 명확히 정의된 방식으로 머신의 동작이나 회전을 제어하기 위해 여러 개의 액추에이터에게 이동지점의 좌표를 전송한다[7]. 센서들은 미리 정의된 방식이나 주기적으로 현재 상태 및 위치를 측정하여 모션 제어기로 전송한다.

한편, 유선 이더넷기반의 C2S/C2A 통신을 순차적으로 5G URLLC 기술로 전환함에 따라 모션 제어시스템은 기존의 유선 이더넷과 새로운 무선 5G 시스템 간 통합 문제를 해결해야 한다.

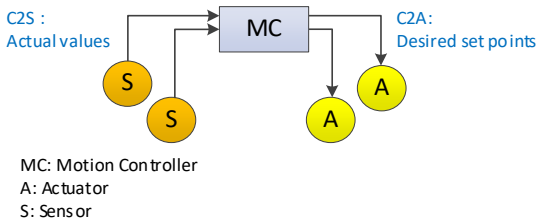
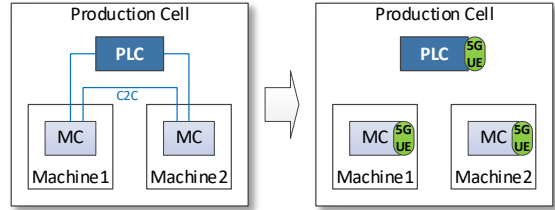


그림 2 모션제어를 위한 통신 개념도



MC: Motion Controller

그림 3 C2C-유선링크에서 무선링크로 전환 예시

2) C2C

PLC와 모션 제어기 등 산업용 제어기간 통신을 일컫는 C2C(Control-to-Control) 통신은 대형 머신 내에 여러 개의 제어기 사이에 동기를 맞추고 실시간 데이터를 교환하거나, 공장 내에 같은 일을 수행하는 여러 개의 머신 사이에 작업재료를 넘겨주거나 제어하는 데 URLLC 성능을 달성해야 한다[8].

그림 3은 기존의 유선 C2C 통신링크로 구성된 생산 셀에 5G 기술을 도입하여 무선 C2C 통신링크로 전환한 예를 보여주고 있다. 각 머신의 제어기에 5G UE를 설치함으로써 제어기간에 연결된 케이블을 대체하여 무선으로 C2C 통신을 구현할 수 있다.

C2C 통신은 모션 제어를 위한 C2S/C2A 통신에 비해 지연과 신뢰도 측면에서 비교적 낮은 성능이 필요한 반면, 많은 양의 데이터가 주기적 또는 비주기적으로 전송되어야 하고, UE 밀도도 점차 높아질 것으로 예상된다.

3) 모바일 로봇

모바일 로봇은 다중작업이 가능하도록 프로그램할 수 있는 일종의 머신이며 무인운반차(AGV)와 같은 모바일 로봇은 작업보조, 상품 운송 등의 일을 수행하는 데 있어 미래형 공장에서 점차 중요한 역할을 할 것으로 예상된다.

모든 모바일 로봇과 유도 제어 시스템(guidance

control system)에 5G UE를 설치하면 5G 네트워크에 연결되어 URLLC 서비스가 가능하다. 모바일 로봇은 유도 제어 시스템으로 실시간 스트리밍 데이터를 전송하고, 이를 기반으로 제어 시스템은 높은 수준의 URLLC 통신을 통해 효율적으로 모바일 로봇의 자율주행을 제어하고 트래픽을 관리할 수 있다.

나. 운송산업

운송산업에서 URLLC 통신이 필요한 이용사례로서 자율주행과 도로안전 및 교통량 최적화 등이 있다. 자율주행의 경우 군집운행이나 추월 시 차량 간 높은 수준의 URLLC 통신이 필요하고, 도로안전의 경우 충돌과 위험상황에 대한 경고 메시지를 신속하고 정확하게 전송해야 한다. 운송산업의 이용사례에 따라 10^{-5} 정도의 패킷 오류율과 10~100ms 이하의 E2E latency를 달성해야 한다.

다. 전력분배

신재생 에너지의 발전으로 태양열 및 풍력 발전소가 급격히 늘어나면서 양방향 전력흐름이 가능해지고 전력시스템의 상태가 급변하게 된다. 따라서 센서와 액추에이터를 전력시스템 주변에 설치하여 효율적으로 상태를 모니터하고 제어하기 위해 실시간으로 정보를 교환해야 한다. 이와 같은 차세대 지능형 배전시스템을 스마트 그리드라고 하고, 10^{-6} 정도의 패킷 오류율과 1~50ms의 E2E latency를 만족해야 한다.

2. URLLC 성능지표

URLLC RAN(Radio Access Network) 기술 개발의 최대 난제는 초고신뢰와 초저지연이라는 상충되는 요구사항을 동시에 만족하는 것이다. 예를 들

어, 초저지연을 달성하기 위해서 짧은 블록길이 채널 코드를 사용하면 코딩이득이 감소하여 신뢰도가 감소한다. 한편, 초고신뢰를 달성하기 위해서 채널 코드의 부호율을 낮추거나 재전송을 적용하면 지연시간이 증가한다. 본 절에서는 5G URLLC의 대표적인 성능지표인 latency와 reliability에 대해 자세히 설명한다.

가. Latency

RAN 기술관점에서 latency는 크게 user plane latency와 control plane latency로 구분된다. User plane latency는 응용계층 패킷을 송신측 무선 프로토콜 L2/L3 SDU 계층에서 무선 인터페이스를 거쳐 수신측 무선 프로토콜 L2/L3 SDU 계층에 전달하는 시간을 의미한다. Control plane latency는 단말이 Idle 상태에서 Active 상태의 시작시점까지 전환하는데 걸리는 시간을 의미한다.

User plane latency는 ACIVE 상태에서 단말과 기지국 간 패킷 전송시간을 의미하며, 주로 물리계층에서 발생하는 송수신기 프로세싱 지연, TTI, 재전송시간을 포함한다(그림 4).

E2E latency는 송신측에서 애플리케이션 데이터를 받는 시점부터 수신측에서 성공적으로 수신하여 애플리케이션으로 전달하기 시작하는 시간까지를 의미하며, 무선구간 전송 지연, MEC(Mobile Edge Computing)나 기지국에서의 큐잉 지연, 프로세싱 지연, 재전송시간을 포함한다(그림 4).

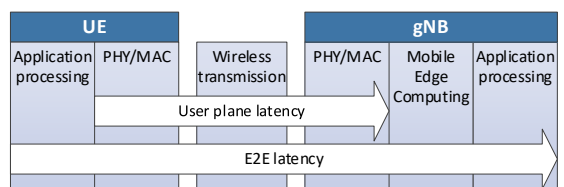


그림 4 Latency 성능지표

URLLC 서비스는 E2E latency 요구사항을 만족해야 하지만 RAN 기술 관점에서 user plane latency를 고려한다.

나. Reliability

일반적으로 reliability란 크기가 K인 데이터를 시간 주기 T 이내에 성공적으로 전송할 확률($1-10^{-x}$)을 의미한다. 5G 기술에서 reliability는 커버리지 경계 영역의 채널 상태에서 32바이트의 layer 2 PDU를 1ms 이하의 user plane latency 내에 성공적으로 전송할 확률($1-10^{-6}$)로 정의한다.

물리계층 관점에서 reliability는 BLER(10^{-x})을 의미하고 채널, 성상도, 오류검출부호, 변조기술, 다이버시티, 재전송방식에 의해 오류율을 최소화함으로써 reliability를 최대화할 수 있다. 상위계층 관점에서 패킷 오류는 패킷이 손실되거나 정해진 지연시간 내에 수신되지 않는 경우에 해당한다.

III. 5G URLLC 기술 동향

URLLC는 3GPP에서 표준화하고 있는 5G 기술의 주요 특징 중 하나이다. 3GPP는 5세대 이동통신 표준인 NR(New Radio) Phase 1을 2019년 3월까지 마무리하였다. 현재 Rel-16 표준화가 진행 중이며, 2020년 6월까지 NR Phase2 표준을 완성할 예정이다. 2020년 2월부터 시작되는 Rel-17 표준화에서도 NR URLLC/IoT 개선 기술을 계속 보완할 계획이다.

현재 3GPP는 NR URLLC를 위한 물리계층 개선 기술과 IoT를 위한 프로토콜 개선 기술을 논의하고 있다. 물리계층 기술은 초저지연, 초고신뢰에 가장 큰 영향을 주므로 본 장에서 물리계층 기술을 자세히 소개한다.

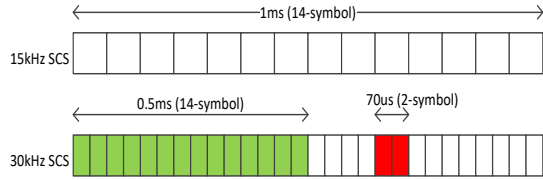


그림 5 전송시간간격 단축의 예

1. 저지연 기술

가. 전송시간간격 단축

데이터 채널의 전송시간간격(TTI)을 줄이기 위해 부반송파 간격을 15kHz뿐만 아니라 30kHz, 60kHz, 120kHz로 늘리거나, 14-symbol 단위의 스케줄링 대신 2/4/7-symbol mini-slot을 스케줄링 단위로 정의한다.

그림 5의 예에서 15kHz 부반송파 간격을 사용할 경우 전송시간간격은 1ms이고, 30kHz 부반송파 간격을 사용할 경우 전송시간간격은 0.5ms로 줄어든다. 여기에 2-symbol mini-slot을 사용하면 전송시간간격은 70 μ s로 줄어든다.

또한 제어채널을 1-symbol 단위로 전송함으로써 전송지연을 줄일 수 있다. DL 제어채널로 DL/UL 데이터 채널의 스케줄링 정보를 전송할 때 대기시간을 줄이기 위해 DL 제어채널의 모니터링 시간을 OFDM 심볼 단위로 단축할 수 있다.

스케줄링기반 UL 데이터 전송인 경우, UE는 gNB에게 SR(Scheduling Request)을 보내 UL 자원할당을 요청한다. SR을 보낼 때 대기시간을 줄이기 위해 SR 자원 설정 주기를 줄일 수 있다.

나. 프로세싱 시간 단축

HARQ(Hybrid Automatic Repeat Request)는 고신뢰를 위한 주요 기술인 반면 저지연을 고려하여 재전송 회수를 제한해야 한다. 또한 HARQ-ACK 피

드백 전송주기를 심볼이나 서브슬롯단위로 줄임으로써 프로세싱 시간을 단축할 수 있다.

송수신기 프로세싱 시간을 단축함으로써 latency를 줄일 수 있다. 데이터 채널 구조측면에서 파일럿을 데이터 채널의 시작위치에 전송함으로써 복조 및 복호 프로세싱 시간을 줄일 수 있다. OFDM 심볼 간 시간 인터리빙은 시간다이버시티를 제공하지만 수신 프로세싱 시간을 줄이기 위해 시간영역의 인터리빙을 사용하지 않는다. 주파수 우선 매핑을 이용하면 심볼단위로 처리할 수 있으므로 수신 프로세싱 시간을 줄일 수 있다.

다. Grant-free 상향링크 전송

앞에서 기술한 바와 같이 SR 자원설정주기를 줄임으로써 스케줄링기반 UL 데이터전송 지연시간을 많이 줄이긴 했으나 1ms 이하의 latency 요구사항을 만족하기에는 부족하다. Grant-free 또는 configured grant(CG) 상향링크 전송 방식은 UE에게 주기적인 상향링크 자원을 설정하여 데이터가 발생할 때 UL grant 없이 이미 설정된 자원으로 전송할 수 있도록 한다. 따라서 UE와 gNB 간 동적으로 grant를 요청하고 응답하는 시간만큼 latency를 줄일 수 있다.

또한 서비스나 트래픽 종류에 따라 복수의 CG 설정을 허용함으로써 latency를 줄일 뿐만 아니라 reliability도 높일 수 있다.

2. 고신뢰 기술

가. CSI/MCS

기존 eMBB 서비스는 CSI(Channel State Information) 보고를 위한 BLER 타겟이 10^{-1} 인 반면, URLLC 서비스는 BLER 타겟이 10^{-6} 이므로 해당 CQI(Channel Quality Indication) 테이블을 제공해야

한다.

URLLC는 무선자원의 효율성(Spectral Efficiency)을 낮춤으로써 BLER을 줄이고, HARQ 전송 횟수를 줄임으로써 지연을 줄일 수 있다. 따라서 MCS(Modulation and Coding Scheme) 테이블에 낮은 spectral efficiency에 해당하는 MCS를 추가해야 한다.

나. Multi-TRP/panel transmission

Rel-16 eMIMO(enhancements on MIMO for NR) work item에서 URLLC를 위한 multi-TRP(multiple Transmission and Reception Points) 전송에 대한 표준화가 진행되고 있다[9]. FR2(Frequency Region2) 운용에 있어 채널 단절과 이동성에 의한 성능 열화를 극복하거나 급격한 채널 변화를 극복하기 위해서 복수의 TRP로부터 단일 PDCCH/PDSCH를 전송받거나 복수의 TRP에게 PUCCH/PUSCH를 전송하는 것을 고려하고 있다[10].

전송 신뢰도를 높이기 위해서는 복수의 TRP를 이용하여 동일한 데이터를 전송해야 하는데, 서로 다른 시간, 주파수, 공간 자원 분할을 통해 다중화할 수 있다. 그림 6과 같이 공간 자원 분할을 통해 다중화 시, 서로 다른 TRP에서 한 코드워드의 동일한 RV(Redundancy Version)를 서로 다른 PRB(Physical Resource Block)들을 통해 전송하여(그림 6의 (b)) SINR 이득과 채널에 따라 추가적으로 다이버시티 이득을 높이거나 채널 단절 상황에서도 강인성을 향상시킬 수 있고, 한 코드워드의 서로 다

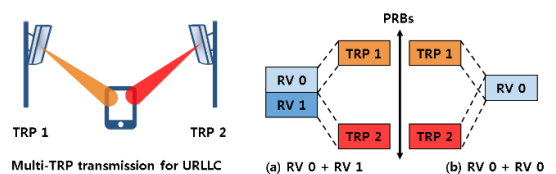


그림 6 URLLC를 위한 multi-TRP 전송 예

른 RV를 서로 다른 PRB들을 통해 전송하여(그림 6의 (a)) 코딩 이득과 채널에 따라 추가적으로 다이버시티 이득을 향상시킬 수도 있다.

다. Channel Coding

제어채널의 payload 크기를 줄이거나 낮은 코딩율을 사용함으로써 reliability를 높일 수 있다.

HARQ ACK/NACK 피드백을 처리할 시간이 충분하지 않으면 재전송 대신 반복전송을 함으로써 reliability를 높일 수 있다.

데이터 채널의 부호화에 사용되는 LDPC(Low Density Parity Check) 부호의 BP(Belief Propagation) 복호 성능은 부호어의 길이가 짧아지면 ML(Maximum Likelihood) 복호 대비 성능열화가 증가하는 특성이 있다. URLLC 서비스 패킷에 대해서는 복호 성능을 향상하되 지연시간을 줄이기 위해 병렬 처리 구조를 가지는 알고리즘의 개발이 필요하다.

제어채널의 부호화에 사용되는 극(polar) 부호의 SCL(Successive Cancellation List) 복호 성능은 ML 복호 성능에 근접하는 것으로 알려져 있다. 그러나 정보 비트를 순차적으로 결정해 나가는 알고리즘의 구조 등으로 인한 지연시간을 줄이기 위한 연구가 필요하다.

3. Indoor IIoT 채널 모델

NR Phase 1의 채널모델 관련 기술보고서인 TR 38.901은 실내 환경을 포함하여 4개의 평가 시나리오(Indoor Office, Urban Macro, Urban Micro, Rural Macro)를 위한 채널모델링 방법과 채널모델 파라미터에 대한 내용을 포함하고 있다[11]. 그러나 실내 공장환경에서의 전파특성에 대한 연구 필요성이 제기되었고, 2018년 9월 3GPP RAN plenary 회의에서 5G-ACIA의 요청에 따라 실내 공장환

경에서의 전파특성 분석 및 채널모델 개발을 위한 study item(Rel-16 FS_IIIOT_CM)이 승인되었다[12]. 이후 약 1년간의 논의를 거쳐 2019년 8월 3GPP RAN1 회의에서 InF(Indoor Factory) 시나리오 및 채널 파라미터를 TR 38.901에 추가하는 데 합의하였다.

IV. 결론

공장 자동화와 에너지 자동화 등의 다양한 버티컬 도메인에서 산업 자동화를 구축하기 시작함에 따라 실시간 제어와 정보교환을 위해 유선링크 수준의 초저지연/초고신뢰 무선통신을 요구하는 디바이스가 점차 늘어날 전망이다.

대규모 디바이스를 수용하기 위해서는 더 많은 무선자원이 소요되기 때문에 더 높은 대역을 사용하는 것은 필연적이다. 그러나 고주파 대역에서 도달거리를 확보하기 위해 빔(beam) 관리 기술을 높은 신뢰도로 운용해야 하는 기술적 과제가 남아 있다.

한편 사이드 링크도 단말 개수의 급격한 증가에 대응할 수 있는 기술로 고려해야 한다. 사이드 링크는 릴레이, 커버리지 확장, 패킷 수집 등을 목적으로 LTE 시스템에 도입된 기술로서 기지국의 중설을 전제로 하지 않는다는 장점이 있으나 산업 자동화의 저지연/고신뢰 요구사항에 맞추어 기술적 개선이 요구된다.

반복전송을 통해 신뢰도를 높이는 방법은 구현이 용이하다는 장점이 있지만, 무선자원의 효율 측면에서 대규모 디바이스를 지원하기 위한 개선이 필요하다.

5G 채널부호의 복호 알고리즘을 개선하기 위한 연구와 함께 보다 우수한 부호의 개발도 필요하다. BCH, RS 부호 등의 순환부호는 1960년대부터 연

구가 이루어져 왔으며 해밍거리 측면에서 현대의 부호보다 우수한 특성을 보이기도 하지만, 연판정 복호 알고리즘의 부재로 응용이 제한되어 있다. 이에 관한 해법을 모색함으로써 신뢰도를 한층 더 끌어올릴 수 있을 것으로 기대된다.

본 고에서 산업자동화를 위한 5G 저지연, 고신뢰 기술 동향을 살펴보았다. 5G 이후 기술은 각각 latency와 reliability 성능을 향상할 수 있는 기술뿐만 아니라 5G URLLC의 성능 한계점을 극복할 수 있는 저지연, 고신뢰, 초연결 통합 기술 개발에도 집중해야 할 것이다.

용어해설

- Vertical Domain** 유사한 제품이나 서비스를 생산하고 제공하는 산업이나 기업군을 나타냄
- CPS** 대규모 센서/액추에이터를 가지는 물리적 요소와 이를 실시간으로 제어하는 컴퓨팅요소가 결합된 융합시스템
- PLC** 산업 플랜트의 자동제어 및 감시에 사용하는 프로그래밍을 기반으로 한 제어장치
- MEC** 무선네트워크 엣지에서 클라우드 컴퓨팅과 IT 서비스환경을 제공하는 플랫폼
- FR2** Above-6GHz 주파수대역으로 밀리미터파를 의미하고 신호도달거리가 FRI(sub-6GHz)보다 짧음

E2E	End-to-End
HARQ	Hybrid Automatic Repeat request
ICT	Internet and Communication Technology
IIoT	Industrial Internet of Things
InF	Indoor Factory
LDPC	Low Density Parity Check
MEC	Mobile Edge Computing
ML	Maximum Likelihood
mMTC	massive Machine Type Communication
NR	New Radio
PLC	Programmable Logic Controller
RAN	Radio Access Network
RV	Redundancy Version
SCL	Successive Cancellation List
SCS	Subcarrier Spacing
SR	Scheduling Request
TTI	Transmission Time Interval
URLLC	Ultra-Reliable Low Latency Communications

약어 정리

AGV	Automated Guided Vehicle
BLER	Block Error Rate
BP	Belief Propagation
CG	Configured Grant
CPS	Cyber Physical System
CQI	Channel Quality Indication
CSI	Channel State Information
C2A	Control-to-Actuator
C2C	Control-to-Control
C2S	Control-to-Sensor
eMBB	enhanced Mobile Broad-Band

참고문헌

- [1] 3GPP TS22.104, "Service requirements for cyber-physical control automations in vertical domains," June 2019.
- [2] 3GPP RP-191584, "Physical layer enhancements for NR URLLC," 2019.
- [3] 3GPP RP-191561, "Support of NR Industrial Internet of Things (IIoT)," 2019.
- [4] 5G-ACIA, "(White Paper) 5G for Automation in Industry," 2019.
- [5] 3GPP TR38.824, "Study on physical layer enhancements for NR URLLC (Release 16)," 2019.
- [6] 5G Forum, "스마트공장 백서," 2019.
- [7] 3GPP TR22.804, "Study on Communications for Automation in Vertical domains (Release 16)," 2018.
- [8] 3GPP TR22.832, "Study on enhancements for cyber-physical control applications in vertical domain (Release 17)," 2019.

- [9] RP-182863, "Revised WID: Enhancements on MIMO for NR," Dec. 2018.
- [10] 3GPP RAN1 Chairman's Notes during 3GPP RAN1 Meetings #94b, #95, Ad-hoc 1901, #96, #96b, #97, and #98.
- [11] TR 38.901, Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz (Release 15), June 2018.
- [12] RP-182138, New SI proposal: Study on Channel Modeling for Indoor Industrial Scenarios, Sept. 2018.