

스마트공장을 포함한 사이버 물리 제어 시스템을 위한 3GPP 표준 현황

박동주 5G 버티컬 서비스 프레임워크(PG1104) 위원, 에릭슨LG Technical Director

1. 머리말

5G는 자동차, 공장, 의료, 에너지, 도시공학 등 다양한 산업에 적용하고자 개발되었다[1][2]. 각 산업에는 고유의 사업 모델과 서비스가 있다. 이에 따라 이들 산업을 지원하는 통신 시스템에 필요한 성능 요구사항도 다양하다. 각 산업 고유의 요구사항을 파악하고 이를 만족할 수 있도록 5G 기술을 발전시키는 것은 5G를 통한 산업 융합에 필수적이다.

본고에서는 3GPP에서 진행하는 일련의 산업 별 유스케이스 분석[3]과 요구사항 도출 결과 중 사이버 물리 제어 시스템(Cyber-physical control system)의 요구사항을 소개한다. 이는 주로 자동화를 필요로 하는 산업에서 제어부와 물리 시스템 사이를 제어해 서비스가 이루어지는 유스케이스다. 특히 5G의 세 가지 특징인 mMTC, eMBB, URLLC 중 URLLC 특성을 많이 요구한다.

3GPP에서는 사이버 물리 제어 시스템의 유스케이스를 가지는 산업군으로 미래 공장, 에너지, 의료 분야에 대한 분석을 진행했다[4]. 그리고 각 산업에서 필요한 유스케이스와 특성, 이에 따른 요구사항을 도출하였다. 2장에서는 사이버물리 제어 시스템에서의 통신 특성을 살펴보고, 3장에서 미래 공장, 에너지, 의료 분야의 유스케이스를 살펴본 후 4장에서 관련 유스케이스의 성능 요구사항을 소개한다.

2. 사이버 물리 제어시스템에서의 5G 적용 고려사항

자동화(Automation)란 자동화된 방법을 통해 프로세스, 단말 혹은 시스템을 제어하는 것이다. 이런 기능은 센서, 송신부, 제어기 그리고 구동장치(actuator)를 거치는 일련의 작업을 통해 수행된다. 사이버 물리 제어 시스템은 물리구성요소와 계산 구성요소가 엔지니어링을 통해 서로 관계를 가지고 동작하는 시스템이다. 이 경우 제어는 물리적인 절차(physical process)를 제어하는 것이다. 자동화에서 사이버 물리 제어는 어떤 동작 패턴을 지니며, 개방형 순환 제어(Open-loop control), 폐쇄형 순환 제어(Closed-loop control), 순차 제어(Sequence control) 그리고 일괄 제어(batch control)가 있다[5][6].

산업 분야의 자동화에 적용되는 통신은 사이버 물리 제어 서비스를 지원하기 위해 안정도가 높아야 한다. 때에 따라 종단 간 지연시간이 극도로 낮아야 하며, 이 과정에서 특정한 통신 패턴을 따른다. 자동화 분야에서 통신은 주기성(Periodicity)과 결정성(Deterministic)이라는 두 가지 특성을 지닌다. 주기성은 전송 간격이 반복적인 것을 의미한다. 예를 들어 위치의 주기적 갱신, 특성 파라미터에 대한 반복적 모니터링이 있다. 이를 지원하는 통신에서의 주기 간격은

대부분 비교적 짧게 구성되며 전송이 한 번 시작된 후 특별한 중단 조치가 없으면 지속되는 특성이 있다. 반면 비주기성 전송은 주로 이벤트에 의해 발생한다. 이벤트의 예로는 온도, 압력, 수준 등의 값이 주어진 임계치 아래나 위로 변화될 때 프로세스로부터 발생하는 프로세스 이벤트(Process event)가 있다. 자동화 단말이나 모듈의 오동작(전원 장치의 결함, 회로의 단선, 고열의 발생 등)을 나타내는 진단 이벤트(Diagnostic event), 유지보수 작업이 필요함을 나타내는 유지보수 이벤트(Maintenance event) 등이 있다.

또 다른 요소인 결정성은 메시지의 송신과 수신 사이의 지연이 안정적인지 여부를 나타낸다. 일반적으로 지연 시간/전송 시간이 주어진 임계치로 제한되는 경우이다. 자동화를 지원하기 위한 주기성과 결정성이라는 두 개의 통신 특성을 기반으로 주기적인 결정성 통신(Periodic deterministic communication), 비주기적 결정성 통신(a-Periodic deterministic communication)과 비결정성 통신(non-Deterministic communication) 등의 전형적 통신 패턴을 정의할 수 있다. 미래 공장, 에너지, 의료 산업에서의 5G 적용은 이상의 통신 패턴 혹은 이들의 혼재된 상황으로 설명할 수 있다[7].

다양한 산업에서의 5G 유스케이스는 고유의 성능 요구사항이 있다. 5G 시스템은 이런 다양성을 수용하기 위해 특정 핵심 성능 지표(KPI)를 만족하여야 한다. 여기에는 신뢰성(Reliability), 가용성(Availability), 유지보수성(Maintainability), 안전성(Safety)과 무결성(Integrity) 등이 있다. 각각의 분야에서 어떤 특정한 요구사항을 필요로 하는지는 각 유스케이스와 각 산업 분야의 특수성에 의해 결정된다. 본 문서에서 다루는 요구사항은 다양한 산업 분야에서 사용되는 사이버 물리 제어 응용 프로그램의 서로 다른 유스케이스에 필요한 성능 범위를 포함한다.

3. 사이버 물리 제어 시스템에서의 5G 적용 산업 현황

사이버 물리 제어 시스템이 적용되는 대표적인 산업에는 미래 공장, 에너지, 의료가 있다. 각 산업에서의 유스케이스와 그 특성을 살펴보면 다음과 같다.

3.1 미래 공장

공장 산업은 4차 산업 혁명의 변화를 겪고 있다. 4차 산업 혁명의 목표는 유연성, 다재다능함, 자원/비용 효율성, 작업자 지원 그리고 산업 생산과 물류에서의 품질 향상이다.

공장에서의 유스케이스를 분야별로 살펴보면 아래와 같다.

1) 공장 자동화 분야: 공장 자동화는 자동화된 제어와 모니터링, 프로세스의 최적화 그리고 공장 내에서의 업무 흐름을 다룬다. 공장 자동화는 고품질, 저가격을 실현하는 산업 대량 생산을 위한 핵심 요소로서 통신 인프라에 대한 요구사항이 높다. 특히 통신 서비스의 가용성, 결정성 지연시간이 중요하다. 여기에는 움직임 제어(Motion control), 제어 간 통신(Control-to-control communication), 이동형 로봇(Mobile robots), 유선 무선 간 링크 교체(Wired to wireless link replacement), 협력 운송 (Cooperative carrying) 등이 있다.

2) 프로세스 자동화: 프로세스 자동화는 생산의 제어와 재료를 다루는 일을 자동화하는 것이다. 프로세스 자동화는 생산 프로세스 효율, 에너지 소비, 공장에서의 안전을 주요 목적으로 한

다. 압력이나 온도와 같은 프로세스상의 값을 측정하는 센서는 중앙집중형/분산형 폐쇄형 제어 장치와 함께 동작한다. 제어장치는 밸브, 펌프, 히터와 같은 구동장치(actuator)와 상호 작용한다. 여기에는 폐쇄형 제어(Closed-loop control), 프로세스와 자산 모니터링(Process and asset monitoring), 공장 자산 관리(Plant asset management) 등이 있다.

3) HMI와 생산 IT: 휴먼 머신 인터페이스(HMI, Human Machine Interface)는 기계나 생산 라인에 장착된 패널이나 일반 IT 장치 같은 생산 설비와 인간이 상호 작용하기 위한 모든 종류의 장치이다. 최근에는 증강 현실과 가상 현실 장치가 많은 관심을 끌고 있다. 여기에는 이동형 제어 패널(Mobile control panels), 이동형 운영 패널(Mobile operation panels), 증강 현실(Augmented reality) 등의 유스케이스가 있다.

4) 물류와 창고: 산업 생산 측면에서 재료와 제품의 수송 및 저장 구성과 제어를 의미한다. 이 경우 물류는 공장 등 특정 지역에서 다루는 물류를 의미하며, 자동화된 운송장비(AGVs, Automated Guided Vehicles)나 지게차를 활용한 작업장에서의 원재료 지속 공급을 들 수 있다.

5) 모니터링과 관리: 프로세스 자체에 영향을 주지 않는 생산 현장에서의 프로세스/자산에 대한 모니터링을 의미한다. 여기에는 센서 데이터에 기반한 상태 모니터링이나 예측기반 유지보수와 특정 프로세스에서의 파라미터 최적화를 위한 빅데이터 분석이 포함된다. 이 과정에서 데이터의 습득 프로세스는 지연시간에 민감하다. 여기에는 원격 접속과 유지관리(Remote access and maintenance) 유스케이스가 포함된다.

3.2. 에너지 산업

에너지 산업은 현재 태양광과 풍력 발전 방식 발전소의 수적 증가 같은 신재생 에너지의 발전으로 근본적 변화를 겪고 있다. 이런 변화는 양방향 전기 흐름과 전력 시스템의 역동성을 도모한다. 이 과정에서 센서와 구동장치(Actuators)가 전력 시스템에 적용되어 에너지 그리드의 다양한 상태를 효과적으로 모니터링하고 에너지 생산을 조절하는 데 사용된다. 이때 실시간으로 정보를 교환하는 것이 필요하다. 전력의 생산, 분배, 소비 시스템에 통신을 적용하여 기대할 수 있는 이득은 전력 안정성과 품질, 그리드 탄력성, 전력 사용 최적화, 운영 통제력, 재생 에너지의 에너지 체계로의 포함 등이 있다.

에너지 분야에서는 5G 유스케이스는 크게 전기 에너지 배급 산업과 중앙 집중형 에너지 생산 분야로 나눌 수 있다. 전기 에너지 배급(Electric-power distribution) 산업에서의 사용 예는 기본 주파수 제어(Primary frequency control), 분산형 전압 제어(Distributed voltage control), 오류 격리와 서비스 복원을 위한 분산 자동 스위칭(Distributed automated switching for isolation and service restoration), ms 수준의 스마트 그리드 고정밀 부하 제어(Smart grid millisecond-level precise load control) 등이 있다. 중앙 집중형 에너지 생산(Central power generation) 산업에서의 사용 예는 풍력 발전 네트워크(Windpower plant network)를 들 수 있다.

3.3. 의료 산업

의료 산업은 보다 광범위한 지역에 양질의 의료 서비스를 제공하고, 비용 효율적으로 가치를 제공하고자 변하고 있다. 고품질 무선 네트워크를 비롯한 ICT산업의 기술적 진보와 향상된 사

회 기반 시설은 협력 기반의 치료와 서비스, 건강 분석, 효과적인 결론 도출 시스템을 가능하게 해 이와 같은 변화를 지원한다. 5G는 의료 행위가 일어나는 위치를 더 광범위한 시설로 변경하는 것을 가능하게 한다. 또한 비용도 절감시킬 수 있다.

의료 산업에서의 5G 유스케이스로는 로봇 지원 수술(Robot aided surgery), 로봇 지원 진단(Robot aided diagnosis)을 들 수 있다.

4. 사이버 물리 제어 시스템에서의 5G 적용 서비스 성능 요구사항

사이버 물리 제어 시스템의 요구사항은 3장에서 설명한 각각의 유스케이스에 따라 다르게 정의된다. 사이버 물리 제어 시스템을 통신 측면에서 바라보면, 2장에 설명한 바와 같이 4가지 통신 패턴에 따라 분류된다[9].

이 밖에 많은 산업에서는 5G를 활용하여 사이버 물리 제어 시스템을 구성할 때 클럭 동기화, 수직 및 수평 위치 정확도, 시간에 민감한 네트워크(Time-sensitive network)에 대한 요구사항을 갖고 있다. 또한 5G 네트워크를 운영하는 과정에서의 요구사항, 이더넷과 공존하기 위한 요구사항이 더 있다. 또한 최근에는 사이버 물리 제어 시스템에서의 3GPP ProSe기술[8]의 적용이 확대되면서, 사이버 물리 제어 시스템과 관련된 ProSe 기술에 대한 요구사항도 추가되었다. 상세 요구사항은 참고 문헌[4]을 통해 확인할 수 있다.

5. 맺음말

세계 최초 5G 상용화를 시작한 후 여러 곳에서 5G를 산업에 적용하는 시도가 진행 중이다. 이 과정에서 많은 사람이 5G의 URLLC 특성과 그 적용에 대해 질문한다. 본고에서는 5G의 URLLC 특성을 산업에 적용하는 것 중 3GPP에서 정리한 사이버 물리 제어 시스템의 적용 사례와 요구사항을 미래 공장, 에너지, 의료 분야를 중심으로 살펴보았다. 사이버 물리 제어 분야이외에도 촉각통신, 가상현실, 게임 등 미디어 분야를 비롯하여 저지연과 고신뢰성을 기반으로 한 서비스가 적용되는 산업은 지금도 많이 있으며 앞으로도 새로운 서비스의 개발이 기대된다.

5G의 산업 융합은 국가 경쟁력의 필수 요소이다. 본 기고를 통해, 5G의 사이버 물리 제어 서비스 특성을 이해하고 공장, 에너지, 의료 분야에서의 적용을 통한 기술 개발, 서비스 개발 그리고 사업 개발로 이어질 수 있기를 기대한다.

[참고문헌]

- [1] 박동주, 이현우, '수직적 통합을 위한 5G 기술 개발 동향', TTA 저널, 2016년 11월, pp61-69
- [2] 박동주, '5G와 버티컬 산업 융합 동향', TTA 저널, 2018년 1월, pp70-76
- [3] 박동주, '스마트공장을 위한 3GPP 표준 현황', TTA 저널, 2019년 9월, pp89-95
- [4] 3GPP TS22.104, 'Service requirements for cyber-physical control applications in vertical domains', V17.2.0, 2019. 12.
- [5] Richard C. Dorf and Robert H. Bishop, 'Modern Control Systems', Pearson, Harlow, 13th Edition, 2017.

[6] IEC 61512 'Batch control - Part 1: Models and terminology'

[7] IEC 61158: 'Industrial communication networks – fieldbus specification', 2014

[8] 3GPP TS 23.303 V16.0.0 (2020-07) Proximity-based services (ProSe); Stage 2 (Release 16)]

[9] TTA.KO-06.0515, 산업분야의 5G 사이버 물리 제어 애플리케이션 요구사항, 2019.12

※ 출처: TTA 저널 제191호

(코로나 이슈로 각 표준화기구의 표준화회의가 연기·취소됨에 따라 TTA 저널로 대체합니다)