

A Novel Mobility Management Scheme for Time Sensitive Communications in 5G-TSN

Jae-Hyun Kim*

*Assistant Professor, Dept. of Information & Communication Eng., Andong National University, Andong, Korea

[Abstract]

In this paper, we present and analyze 5G system and IEEE time-sensitive networking(TSN) and propose a novel mobility management scheme for time sensitive communications in 5G-TSN to support ultra-low latency networks. Time-sensitive networking(TSN) has a promising future in the Industrial Automation and Industrial Internet of Things(IIoT), as a key technology that is able to provide low-latency, high-reliable and deterministic communications over the Ethernet. When a TSN capable UE moves the TSN service coverage from the non-TSN service coverage, the UE cannot get the TSN service promptly because the related mobility management is not performed appropriately. For the mobility situation with the TSN service coverage, the proposed scheme reports TSN capability to the network and triggers the initial registration in order to be provided the TSN service immediately and ultra-low latency communications compared to existing schemes in 5G mobile networks.

▶ **Key words:** Time-Sensitive Networking, TSN, Time Sensitive Communication, TSC, 5G, Low Latency

[요 약]

본 논문에서는 5G 시스템과 IEEE 시간 민감형 네트워킹(TSN)에 대해서 소개 분석하고 초저지연 네트워크를 지원하기 위하여 5G-TSN에서 시간 민감형 통신을 위한 새로운 이동성 관리 방안을 제안한다. 시간 민감형 네트워킹(TSN)은 이더넷 기반의 저지연, 높은 신뢰성, 결정형 통신을 제공할 수 있는 핵심 요소 기술로써 산업 자동화와 산업용 사물인터넷(IIoT) 분야의 유망한 미래 기술이다. TSN 지원 단말이 TSN 비서비스 영역에서 TSN 서비스 영역으로 이동했을 때, 단말은 관련 이동성 관리가 적절히 수행되지 못하기 때문에 신속하게 TSN 서비스를 받을 수 없다. TSN 서비스 영역의 이동성 상황의 경우, 제안하는 방안은 기존 5G 이동통신망에서의 방안과 비교하여 TSN 서비스 및 초저지연 통신을 즉시 제공받기 위해서 TSN 서비스 사용 가능성을 네트워크에 알리고, 초기 등록을 동작시킨다.

▶ **주제어:** 시간 민감형 네트워킹, TSN, 시간 민감형 통신, TSC, 5G, 저지연

• First Author: Jae-Hyun Kim, Corresponding Author: Jae-Hyun Kim
*Jae-Hyun Kim (jaekim@anu.ac.kr), Dept. of Information & Communication Eng., Andong National University
• Received: 2022. 09. 26, Revised: 2022. 10. 18, Accepted: 2022. 10. 18.

I. Introduction

5G 이동통신망은 4G보다 높은 대역폭, 초연결성 및 초저지연 신뢰성 통신을 제공한다. 이러한 5G 이동통신망 기술은 다양한 버티컬 산업들의 요구사항을 충족시키는 서비스들을 지원하고자 개발되었다[1, 13-14, 23-24].

TSN(Time-Sensitive Networking) 기술은 이더넷(Ethernet) 기반의 신뢰성 결정형 통신을 지원하기 위한 기술로써 스마트팩토리와 같은 산업 사물인터넷(IIoT; Industrial Internet of Things)의 핵심기술로써 여겨지고 있다[3-7]. IEEE TSN task group에서는 이더넷 기반의 실시간 신뢰성 저지연 통신 기술들을 활발히 개발해오고 있다[2]. TSN 기술은 초저지연(ultra-low latency), 낮은 지터(low-jitter), 제로 손실 신뢰성(zero-loss reliability)과 같은 다양한 요구사항들을 만족하는 데이터 전송을 특징으로 하는 기술이다. 최근에, 3GPP 5G 이동통신망에서는 산업 사물인터넷(IIoT)을 지원하고자 IEEE TSN 연동 기술을 개발하고 있으며, 시간 민감형 네트워킹 동기화(Time-Sensitive Networking Synchronization)와 시간 민감 통신(Time Sensitive Communications) 기술을 특징으로 하고 있다[6-9]. 또한, IEEE 802.11, 5G 이동통신망과 IEEE TSN 연동 기술도 개발 진행되어오고 있으며, 이동성을 고려한 시나리오에서의 TSN 통신 지원 기술을 활발히 개발해오고 있다[10-12].

본 논문에서는 먼저, IEEE TSN 기술을 소개하고, 5G 이동통신망에서의 TSN 지원 기술인 TSN 동기화 및 TSC 기술을 분석하고 이동성 지원 환경에서의 문제점을 살펴본다. 이후, 5G-TSN 환경에서의 효율적인 TSC를 지원하기 위한 새로운 이동성 관리 기법을 제안하고, 그 성능을 비교하여 살펴본다. 마지막으로, 향후 5G 이동통신망에서 다양한 이동성 시나리오 상황을 고려한 최적화된 이동성 관리 기법의 개선 방향에 대해서 고찰해본다.

II. Preliminaries

1. Time-Sensitive Networking(TSN)

1.1 IEEE TSN

시간 민감형 네트워킹(TSN; Time-Sensitive Networking)은 이더넷 기반의 신뢰성 시간 결정형 통신 기술이다. IEEE 802.1 TSN task group[2]에서 TSN 기술을 개발해오고 있는데, TSN 기술은 여러 개의 기술들의 집합체(TSN family of standards)로 구성되어 있다[2].

그림 1에서 보여지듯이, IEEE TSN 기술은 크게 동기화(Synchronization), 지연(Latency), 신뢰성(Reliability), 리소스 관리(Resource Management) 관련 기술들의 집합으로 구성된다[2].

시간 동기화는 TSN 네트워크상의 스위치들, 브릿지들, 종단국들의 시간 동기화 과정들의 절차들을 정의하고 있다. 정확한 시간 동기화를 위해서 gPTP(generic precision time protocol)를 사용하며, 가장 정확한 시간 리소스를 가지고 있는 장치를 GM(GrandMaster)라고 불리우며, GM의 클럭(clock)이 TSN 네트워크상의 모든 장치들에게 시간 참조(time reference)로써 사용된다. gPTP는 클럭 마스터(clock mater)로부터 주기적인 동기 시간 정보가 클럭 슬레이브(clock slave)에게 전달되어 네트워크화된 장치들의 로컬 클럭들과 다른 장치들과 동기화가 된다. 지연은 크게 트래픽 셰이핑과 스케줄링 관련 기술로써 매우 엄격한 실시간 트래픽을 형태화하여 큐잉 모델로써 관리 제어하고 스케줄링하는 기술이다. 또한 시간 확정형 포워딩 및 큐잉도 지원하며, 트래픽에 대한 스트림 ID, 우선순위, 패킷 크기 등에 기반한 필터링 및 폴리싱(filtering and policing)도 지원한다. 신뢰성은 TSN 응용들에서 지연과 함께 매우 중요한 요구사항으로써 프레임 복사(replication) 및 삭제(elimination) 동작을 수행한다. TSN 네트워크 경로상에서 단일 또는 다중 경로 발생 시에도 패킷 손실 없이 스트림을 목적지까지 잘 전달하는 방식이다. 이것은 프레임 중복성을 제공하나 패킷 손실 확률을 상대적으로 낮추게 된다. 또한 신뢰성을 위한 경로 제어 및 예약 기능도 정의하고 있다. 표 1은 IEEE TSN 기술 집합체에 대해서 요약 정리하였다[2-4].

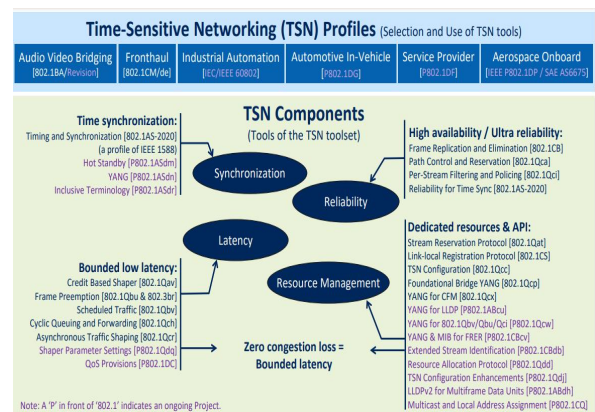


Fig. 1. TSN Technologies in IEEE TSN Task Group

리소스 관리는 TSN을 위한 자원 예약과 제어 관리를 위한 기술로써 분산형, 중앙집중형, 부분집중형의 세가지

모델을 기반으로 사용된다. 분산형 모델은 토크(발신지)에서 스트림을 스트림 예약 프로토콜 (SRP: Stream Reservation Protocol)을 사용하여 중계기(브릿지)를 거쳐 리스너(목적지)까지 전달하는 방식이며, 중앙집중형 모델은 중앙집중형 사용자 컨트롤러(CUC: Centralized User Controller)와 CNC를 통해 자원 예약 및 제어 관리를 수행한다. 부분집중형 모델은 토크와 리스너는 스트림 예약 프로토콜(SRP)을 사용하여 자원을 예약하고 중계기는 중앙집중 네트워크 컨트롤러(CNC: Centralized Network Controller)를 통해 자원을 예약한다[11-12].

Table 1. IEEE TSN Features and Standards

TSN components	Standards
Time synchronization	- Timing and synchronization (802.11AS-2020)
Latency : Time shaping and scheduling	- Scheduled traffic (802.Qbv-2015) - Frame preemption (802.1Qbu-2016) - Credit based shaper (802.1Qav-2009) - Asynchronous traffic shaping (802.1Qcr-2020) - Cyclic queuing & forwarding (802.1Qch-2017)
Reliability	- Frame replication & elimination (802.1CB-2017) - Path control & reservation (802.1Qca-2015) - Per-stream filtering & policing (802.1Qci-2017)
Resource management	- Stream reservation protocol (802.1Qat-2010) - TSN configuration (802.1Qcc-2018) - YANG model for Bridging (802.1Qcp-2018) - YANG model for CFM (802.1Qcx-2020)

2. TSN in 5G Communication System

1.1 Synchronization for TSN in 3GPP 5G System

그림 2는 3GPP 5G 이동통신망에서 IEEE TSN 기술 및 시간 민감형 통신(TSC: Time Sensitive Communications) 지원을 위한 시스템 구조를 보여주고 있다. 3GPP 5G 이동통신망에서는 IEEE TSN 기술에서 중앙집중형 모델만 지원한다. 5G 이동통신망에서는 외부 TSN 네트워크와 연동을 위해 TSN 브릿지로 동작하고 있으며, TSN 네트워크와 통신을 하기 위해서 변환기(TTs: TSN Translators)를 새롭게 추가하였다. DS-TT는 장치 측면 TSN 변환기(Device side TSN Translator)를 의미하며, NW-T는 네트워크 측면 TSN 변환기(Network side

TSN Translator)를 의미한다. 5G 기지국(gNB)은 5G GM 클록으로부터 시간 동기화하고, UPF/NW-TT는 기지국으로부터 gPTP를 통해 시간 동기화를 하며, 단말(UE)은 기지국으로부터 제어 시그널링을 통해 동기화되고, DS-TT는 연결된 단말과 동기화를 수행한다. 5G GM의 클록으로 동기화된 5G 이동통신망은 5G TSN 브릿지로써 외부 TSN 도메인과 시간 동기화를 수행한다. NW-TT는 TSN 도메인의 TSN 노드로부터 gPTP 메시지를 수신하여 시간 동기화 정보를 획득한 후, 가지고 있는 정보들을 기반으로 수정하여 단말에게 전달한다. DS-TT는 단말이 PDU 세션을 통해 수신한 gPTP 메시지를 전달받아 시간을 수정하여 최종 TSN 종단국에게 전달한다.[11-12, 15]

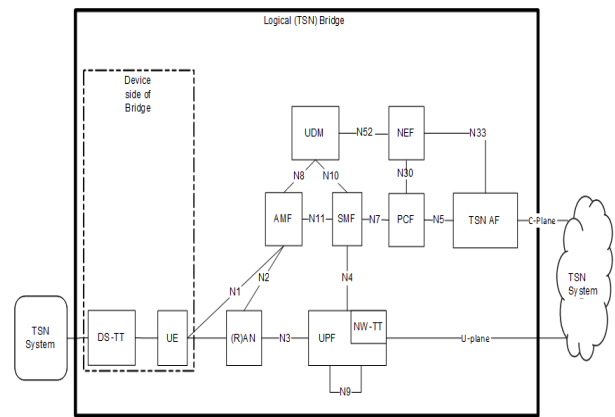


Fig. 2. 3GPP System Architecture for 5G-TSN

1.2 Time Sensitive Communications(TSC) in 3GPP 5G System

3GPP 5G 이동통신망에서는 IEEE TSN 기술 기반의 통신 즉, 시간 민감형 통신(TSC: Time Sensitive Communications)을 지원하기 위해서 기본적으로 전송한 시간 동기화 및 브릿지로써의 기능들은 IEEE TSN 기반으로 동작된다. 5G-TSN 환경에서 네트워크는 TSN 브릿지 역할을 수행하는데, RAN(Radio Access Network)에서 TSC 트래픽 특성에 따라 확정적 QoS(Quality of Service)를 제공하기 위해서 TSC 트래픽 특성 정보 (TSCAI: TSC Assistance Information)을 구성하여 RAN에 전송한다. TSCAI는 5G 이동통신망에서 TSC 트래픽을 구분하는 정보로써 플로우 방향(Flow Direction), 주기성(Periodicity), 버스트 도착 시간(Burst Arrival Time) 정보를 포함하고 있다[15]. 네트워크는 QoS 플로우 기준 TSCAI를 도출하여 RAN으로 전송한다. RAN에서는 TSN QoS 파라미터들에 기반한 QoS를 TSC 트래픽에 적용하여 시간 민감형 통신을 수행하게 된다[15-21].

한편, 3GPP Release 18에서는 TSC 기술 향상 개선에 대해서 개발 논의 중이다[22]. Release 18에서는 기존 TSN(Time-Sensitive Networking)의 동기화 기술에 대한 개선사항들과 저지연 서비스 지원 향상을 위한 TSC 지원 기술 향상을 중심으로 개발 논의 중이며, 최근에 TSC에 대해서 이동성을 고려한 기술 개발도 함께 진행 중이다[21]. 현재 3GPP 기술 규격에서는 단말이 non-TSN 서비스 지역에서 TSN 서비스 가능 지역으로 이동했을 때, 신속하게 TSN 서비스(TSC)를 지원받을 수 없다. 다음 장에서는 이러한 이동성 환경에서 현재 3GPP 5G 이동통신망에서의 TSC 지원 방안의 문제점을 고찰해보고 문제점을 해결하여 본 논문에서 제안하는 방안에 대해서 설명하고자 한다.

III. The Proposed Scheme

앞 장에서 전술하였듯이, 현재 3GPP Release 18에서는 기존 TSN(Time-Sensitive Networking)의 동기화 기술에 대한 개선사항들과 저지연 서비스 지원 향상을 위한 TSC 지원 기술 향상을 중심으로 개발 논의 중이다[22]. 최근에 TSC에 대해서 이동성을 고려한 기술 개발도 함께 진행 중이다[21].

이동성을 고려한 상황에서는 단말의 이동성과 더불어 TSN 서비스 이종 지역(TSN service heterogeneous area)을 함께 고려하여 지원 기술 개발이 이뤄져야만 한다. 현재 3GPP 기술 규격에서는 단말이 non-TSN 서비스 지역에서 TSN 서비스 가능 지역으로 이동했을 때, 신속하게 TSN 서비스(TSC)를 지원받을 수 없다. 본 장에서는 이러한 문제 상황을 고찰 분석해보고, 문제점을 해결하기 위해서 제안하는 NMM_TSC(Novel Mobility Management scheme for TSC) 기법에 대해서 살펴본다.

1. Problem Statement

우선, TSN 지원 단말이 non-TSN 서비스 영역에서 일반 서비스를 제공받고 있다가, TSN 지원 서비스 영역으로 이동하는 시나리오를 고려해 본다.

그림 3에서 보여지듯이, 제1 TA 영역은 non-TSN 서비스 영역으로만 구성되어 있어서 일반 서비스(Normal Service)만 제공받게 된다. 반면에, 제2 TA 영역은 TSN 서비스와 non-TSN 서비스 영역이 혼합되어 구성되어 있는데, 일반적으로 이종 서비스 제공에 따라서 TSN 서비스 영역을 관리 제어하는 AMF#1(Access and Mobility

Function#1)과 non-TSN 서비스 영역을 관리 제어하는 AMF#2(Access and Mobility Function#2)가 서로 다르게 운영된다.

TSN 지원 단말이 non-TSN 서비스 영역(제1 TA 영역)에서 일반 서비스를 제공받고 있다가, TSN 지원 서비스 영역(제2 TA 영역)으로 이동했을 때, 단말은 이동성 등록 업데이트를 위한 등록 요청(Registration Request for mobility registration update) 메시지를 네트워크(AMF#1)로 전송하여 이동성 업데이트 발생을 알린다 [23-24]. 이때, 현재 3GPP 기술 규격에 의하면, TSN 지원 단말이 TSN 지원 여부 정보를 네트워크로 별도로 알려주지 않는다. 이에, 네트워크는 TSN 서비스를 지원하는 AMF를 찾아 선택하는 절차를 수행하지 않는다. 따라서, 상기 이동성 등록 업데이트를 위한 등록 요청 메시지를 수신 처리를 non-TSN 서비스 영역을 담당하는 네트워크 엔티티(Network Entity), AMF#1이 수행하게 된다. 이후 TSN 지원 단말은 AMF#1로부터 이동성 등록 업데이트 완료에 대한 등록 허락(Registration Accept) 메시지를 받게 되는데, 결국은 제2 TA 영역에 TSN 서비스 영역을 지원 담당하는 AMF#2가 있음에도 불구하고 AMF#1에 의해서 일반 서비스만을 제공받게 된다.

상기 문제 시나리오 상황을 좀 더 구체적인 단계로 기술하면 다음과 같다.

step 1) TSN 지원 단말이 non-TSN 서비스 영역(제1 TA 영역)에서 일반 서비스를 제공받고 있다가, TSN 서비스와 non-TSN 서비스가 혼용되어 있는 영역(제2 TA 영역)으로 이동한다.

step 2) TSN 지원 단말은 제1 TA 영역에서 제2 TA 영역으로 이동했으므로 이동성 등록 업데이트를 위한 등록 요청 메시지를 네트워크로 전송한다.

step 3) 이때, 네트워크 엔티티는 non-TSN 서비스 영역을 담당하는 AMF#1가 상기 등록 요청 메시지를 수신한다.

step 4) AMF#1은 이동성 등록 업데이트를 위한 상기 등록 요청 메시지를 처리한 후, 등록 허락 메시지를 단말에게 응답한다.

step 5) 하지만, AMF#1은 non-TSN 서비스 영역을 담당하게 되어 결과적으로 TSN 서비스 지원이 가능한 단말임에도 불구하고 제2 TA 영역에서 TSN 서비스를 지원받지 못하게 된다.

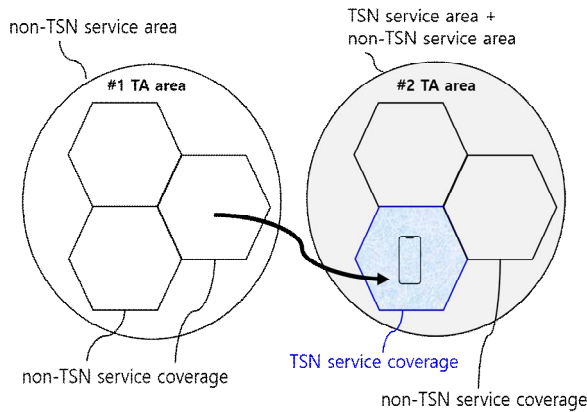


Fig. 3. The Problem Scenario

TSN 서비스는 시간 결정형 통신을 지원하는 서비스로 초저지연 서비스를 지원하는 다양한 버티컬 서비스들에게 활용될 수 있다. 따라서, TSN 지원 가능한 단말의 경우는 네트워크가 TSN 서비스를 지원하는 경우, 신속하게 TSN 서비스를 제공받을 수 있도록 네트워크에게 등록하는 것이 매우 중요하다. 결론적으로, 이러한 이동성 상황에서 TSN 지원 단말이 신속하게 네트워크에게 TSN 지원 여부 정보를 알리고, 네트워크는 이를 기반으로 단말에게 초기 등록(initial registration) 절차를 수행하게 하여 AMF 선택(selection) 절차를 수행 TSN 지원 영역을 담당하는 AMF를 찾아 선택하여 이후 단말에게 TSN 서비스를 제공할 수 있도록 하는 방안이 필요하다. 다음 절에서는 이러한 문제를 해결하고자 제안하는 NMM_TSC에 대해서 자세히 살펴본다.

2. A Novel Mobility Management scheme for TSC(NMM_TSC) in 5G-TSN

본 논문에서는 TSN 지원 단말이 non-TSN 서비스 영역에서 일반 서비스를 제공받고 있다가, TSN 지원 서비스 영역으로 이동하는 상황에서,

우선 TSN 지원 단말은 제1 TA 영역에서 제2 TA 영역으로 이동했으므로 일반적인 이동성 등록 업데이트를 위한 등록 요청 메시지를 네트워크에게 전송한다. 이때, TSN 지원 여부 정보(TSN indication)를 포함하여 등록 요청 메시지를 전송한다. 이때, 네트워크는 등록 요청 메시지에 포함된 TSN 지원 여부 정보(TSN indication)를 수신하기 전까지는 TSN 지원 여부를 인지 못하고 일반적인 이동성 등록 업데이트 절차에 의하여 관련 TSN 서비스 영역을 담당하는 AMF를 찾아 선택하는 절차를 수행할 수 없다. 따라서, 일반 서비스를 담당하는 AMF#1에게 상기

등록 요청 메시지가 전송되게 된다. AMF#1은 이동성 등록 업데이트를 위한 등록 요청 메시지에 포함된 TSN 지원 여부 정보(TSN indication)를 받고 단말의 TSN 지원 여부를 인지하게 된다. 이후 단말에게 등록 요청에 대한 응답으로 등록 허락(Registration Accept) 메시지를 전송하게 된다.

AMF#1은 TSN 서비스 지원 영역을 담당하지 않고 일반 서비스만을 지원 제공할 수 있으므로 TSN 서비스 지원 영역을 담당하는 AMF를 찾아 선택해야 한다. 이를 위해서 단말에게 초기 등록 절차를 수행하도록 요청하기 위해서 설정 업데이트 명령(Configuration Update Command) 메시지를 전송한다. 이때, 초기 등록(initial registration) 절차를 요청하는 인디케이션을 설정하여 전송한다. 단말은 AMF#1로부터 초기 등록 절차를 요청하는 인디케이션이 포함된 설정 업데이트 명령 메시지를 수신하면 이에 대한 응답으로 설정 업데이트 완료(Configuration Update Complete) 메시지를 네트워크로 전송한다.

이후, 단말은 바로 초기 등록 요청(Initial Registration Request) 메시지를 네트워크(AMF#1)에게 전송한다. 이때 이전의 이동성 등록 업데이트를 위한 등록 요청 메시지 때와 마찬가지로 TSN 지원 여부 정보(TSN indication)를 포함하여 전송한다. 단말로부터 초기 등록 요청 메시지를 수신한 AMF#1은 포함된 TSN 지원 여부 정보(TSN indication)과 함께 초기 등록 요청 절차에 의해서 TSN 서비스 영역을 지원 담당하는 AMF를 찾아 선택하는 AMF 선택(AMF selection) 절차를 수행한다. 이후 선택된 TSN 서비스 영역을 지원하는 AMF#2를 선택하여 초기 등록 요청 메시지를 전달한다. 선택된 AMF#2는 최종적으로 초기 등록 요청 수락하는 등록 허락(Registration Accept) 메시지로 단말에게 응답한다. 결과적으로 TSN 지원 단말은 TSN 지원 영역을 담당하는 AMF#2로부터 등록 절차를 수행하여 TSN 서비스(TSC; Time Sensitive Communications)를 지원받을 수 있게 된다.

그림 4는 제안하는 NMM_TSC(Novel Mobility Management scheme for TSC) 방안에 대해서 단계별 동작 과정을 보여주고 있다. 이를 다시 설명하면 다음과 같다.

step 1a) TSN 지원 단말이 non-TSN 서비스 영역으로부터 TSN 서비스 영역으로 이동했을 때, 단말은 이동성 등록 업데이트를 위한 등록 요청(Registration Request for mobility registration update) 메시지를 네트워크에게 전송한다. 이때 TSN 지원 여부 정보(TSN indication)를 포함하여 전송한다.

step 1b) 네트워크는 등록 요청 메시지에 포함된 TSN 지원 여부 정보(TSN indication)를 수신하기 전까지는 TSN 지원 여부를 인지 못하고 일반적인 이동성 등록 업데이트 절차에 의하여 관련 TSN 서비스 영역을 담당하는 AMF를 찾아 선택하는 절차를 수행할 수 없다. 따라서, 일반 서비스를 담당하는 AMF for non-service에게 상기 등록 요청 메시지가 전송되게 된다.

step 2) AMF for non-service는 이동성 등록 업데이트를 위한 등록 허락(Registration Accept) 메시지를 단말에게 응답한다.

step 3) AMF for non-service는 등록 요청 메시지에 포함된 TSN 지원 여부 정보(TSN indication)에 의하여 TSN 지원 가능한 단말임을 인지하여 TSN 서비스 지원을 제공하기 위하여 TSN 서비스 영역 담당 AMF를 찾아 선택하기 위해서 단말에게 초기 등록 요청(Initial Registration Request)을 하기 위한 설정 업데이트 명령(Configuration Update Command)을 전송한다.

step 4) AMF for non-service로부터 설정 업데이트 명령 메시지를 수신 받은 단말은 설정 업데이트 완료(Configuration Update Complete) 메시지를 AMF for non-service에게 응답한다.

step 5) 또한, 단말은 초기 등록 요청 설정이 포함된 설정 업데이트 명령 메시지에 의하여 AMF for non-service에게 초기 등록 요청(Initial Registration Request) 메시지를 전송한다. 이때 TSN 지원 여부 정보(TSN indication)를 포함하여 전송한다.

step 6) AMF for non-service는 단말로부터 TSN 지원 여부 정보(TSN indication)를 포함한 초기 등록 요청 메시지를 수신 후, 이에 기반하여 TSN 서비스 지원 담당 AMF를 찾아 선택하기 위하여 AMF 선택(AMF selection) 절차를 수행한다.

step 7) 이후, AMF for non-service는 TSN 서비스 지원 담당 AMF for service를 찾아 선택 후 단말로부터 수신받은 초기 등록 요청 메시지를 전달한다.

step 8) 최종적으로, AMF for service는 단말에게 초기 등록 허락 (Initial Registration Accept) 메시지를 응답하여, 결과적으로 TSN 지원 단말은 TSN 서비스(TSC)를 제공받을 수 있게 된다.

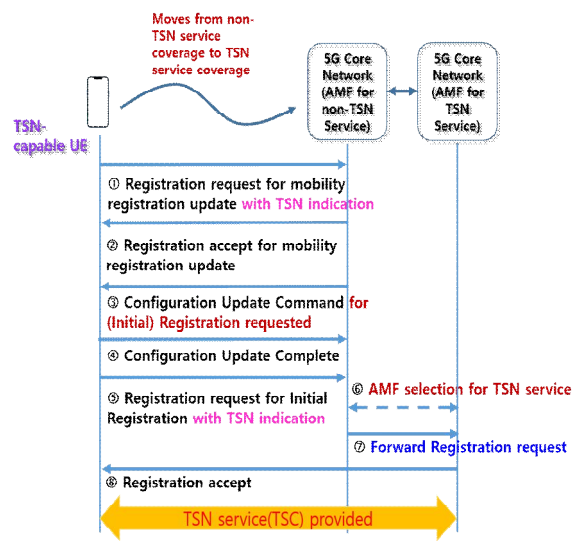


Fig. 4. The Proposed Scheme (NMM_TSC) Operation

결론적으로, TSN 지원 단말이 단말의 이동성과 더불어 TSN 서비스 이종 지역(TSN service heterogeneous area), 즉, TSN 지원 서비스 영역과 non-TSN 지원 서비스 영역이 공존하는 상황에서, 현재 3GPP 기술 규격 방안으로는 TSN 서비스를 신속하게 제공받을 수 없지만, 본 논문에서 제안하는 NMM_TSC 기법은 신속하게 TSN 서비스 지원 담당 네트워크 엔티티(ex, AMF for TSN service)를 찾아 등록 절차를 수행하여 TSN 서비스를 제공받을 수 있게 된다.

IV. Simulation and Performance Evaluation

이번 장에서는, 본 논문에서 제안하는 시간 민감형 통신을 위한 새로운 이동성 관리 기법(NMM_TSC; Novel Mobility Management scheme for TSC)과 5G 이동통신망에서의 TSC를 위한 이동성 관리 기법(3GPP_TSC)을 비교 실험하여 성능 평가하고자 한다. 실험은 MATLAB[25]으로 하였으며, 관련 실험 파라미터들은 표 2와 같다. 단말이 이동성 관리를 위하여 네트워크에 전송하는 등록 요청 메시지(초기 및 이동성 등록 업데이트), 설정 업데이트 완료 등의 제어 메시지 처리 지연시간을 UE processing delay, 상기 제어 메시지 전송 지연시간을 Transmission delay라고 각각 정의하였으며, 이동통신망의 무선 구간에서 상기 제어 메시지들의 처리 지연시간을 RAN processing delay라고 정의하였다. 또한, 5G 이동

통신망에서 제어 메시지들의 처리 지연시간을 5G core network delay라고 정의하였다.

본 성능 평가 실험에서는 TSN 지원 서비스 영역과 non-TSN 지원 서비스 영역이 공존하는 상황에서, 3GPP 5G 이동통신망에서 TSN 지원 단말이 non-TSN 서비스 지원 영역(제1 TA영역)에서 TSN 서비스 지원 영역(제2 TA 영역)으로 이동하는 시나리오를 고려하였다. 한편, 현재 3GPP 5G 이동통신망 기술 규격에서는 이러한 TSC 서비스를 위한 이동성 시나리오 기술 개발이 미흡하여 지원하지 못하고 있다. 따라서 본 성능 평가 실험을 위해서 기존 5G 이동통신망에서의 TSC를 위한 이동성 관리 기법(3GPP_TSC)의 경우 단말이 상기 제2 TA 영역으로 이동했을 때 이동성 등록 업데이트를 위한 등록 요청 절차를 수행한 후, 일정 시간 이후 초기 등록(initial registration) 절차를 수행할 수 있다고 가정하였다. 이때, 일정 시간은 3GPP 5G 이동통신 기술 규격에서 사용하는 T3512[17]를 적용하였다. 일반적으로, T3512 값은 네트워크에서 보통 수십 분으로 설정하여 단말에게 제공 동작하며, 만약 네트워크에서 설정하여 제공하지 않는 경우, 기본값으로 54분으로 설정하여 동작한다.

Table 2. Simulation Parameters

Parameters	Value
Traffic model	Exponential dist. with mean 60(s)
UE processing delay	3(ms)
Transmission delay	1(ms)
RAN processing delay	2(ms)
5G core network delay	1(ms)
Registration update timer for initial registration	T3512[17]

1. Latency for TSC in 5G-TSN

그림 5는 T3512를 10min으로 설정한 실험 결과이다. 제안하는 NMM_TSC 기법은 TSN 지원 가능 단말이 TSN 서비스 지원 영역으로 이동했을 때, 우선 이동성 등록 업데이트를 위한 등록 요청 절차를 수행하게 되는데, 이때 TSN 지원 여부 정보를 함께 포함하여 네트워크에 전송하게 된다. 이후 네트워크는 단말의 TSN 지원 여부 정보에 기반하여 신속하게 초기 등록(Initial Registration) 절차를 단말에게 요청하기 위하여 설정 업데이트 명령 절차를 수행한다. 이후 단말은 설정 업데이트 명령 메시지에 포함된 초기 등록 절차 요구 인디케이션에 따라서 초기 등록 절차를 수행하고 네트워크는 이러한 초기 등록 절차에 따른 AMF 선택(AMF selection) 절차를 수행하여 TSN 서비스

지원 영역을 담당하는 AMF를 선택하여 초기 등록 절차를 완료하게 된다. 결과적으로, 이후 TSN 지원 가능 단말이 신속하게 TSN 서비스 지원 담당 AMF에 의한 TSC 서비스를 제공 받을 수 있게 된다. 하지만, 3GPP 이동통신망에서의 TSC 지원 기법의 경우에는, TSN 지원 가능 단말이 TSN 서비스 지원 영역으로 이동했을 때, 단순히 이동성 등록 업데이트를 위한 등록 요청 절차를 수행하게 되는데, 단말의 TSN 지원 여부 정보를 제공할 수 없기에 이에 기반한 단말과 네트워크 간에 신속한 초기 등록(Initial Registration) 절차를 수행할 수 없다. 결과적으로 신속한 초기 등록 절차에 따른 TSN 서비스 지원 담당 AMF를 찾아 선택하는 과정 또한 수행할 수 없다. 따라서 일정 시간 이후, 단말이 초기 등록 요청을 수행함에 따라 비로소 TSN 서비스 지원 담당 AMF를 찾아 선택하는 과정을 수행하여 최종적으로 TSC 서비스를 제공받을 수 있게 된다.

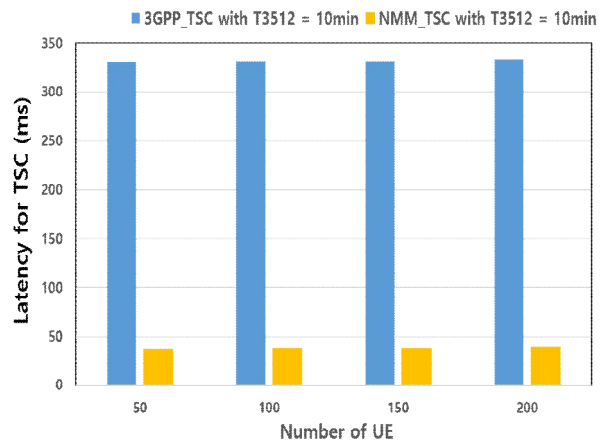


Fig. 5. Latency for TSC (with T3512 = 10min)

결론적으로, 제안하는 NMM_TSC 방안은 단말이 이동성 환경에서도 신속하게 TSC 서비스를 제공받을 수 있지만, 기존 3GPP 이동통신망에서의 TSC 방안은 단말이 이동성 환경에서 비효율적으로 일정 시간이 지난 후에야 TSC 서비스를 제공받을 수 있는 상황으로 전환된다. 결과적으로 TSC 서비스를 위한 통신 지연이 상당히 크게 발생한다.

그림 6과 그림 7은 T3512를 각각 30min, 54min으로 설정한 실험 결과이다. 결과에서 보여지듯이, T3512 설정 값이 크면 클수록 기존 3GPP 이동통신망에서의 TSC 방안은 단말 이동했을 때 초기 등록 수행하는 시간이 그만큼 지연되기 때문에 결과적으로 TSC 서비스 제공 지연시간이 더욱 크게 된다. 일반적으로 T3512는 네트워크에서 설정하여 동작되는 타이머값으로써 보통 수십 분의 값이 설정 사용되며, 네트워크에서 설정 타이머값을 제공하지 않

는 경우, 기본값으로 54min이 설정 동작한다[17].

결론적으로, TSC 서비스의 경우는 일반적인 버티컬 서비스에 비해서 매우 통신 지연에 민감하며 결정형 시간을 보장해야만 한다. 따라서 통신 지연을 최소화시켜 결정형 시간 통신을 보장해줘야만 한다. 이러한 관점에서 이동성 환경에서 제안하는 NMM_TSC 방안이 매우 효율적인 이동성 지원 방안임을 확인할 수 있다.

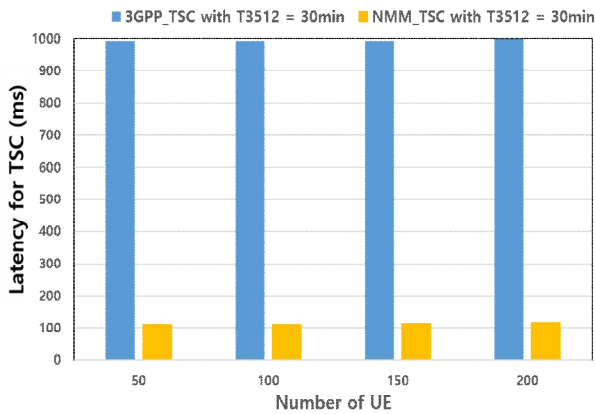


Fig. 6. Latency for TSC (with T3512 = 30min)

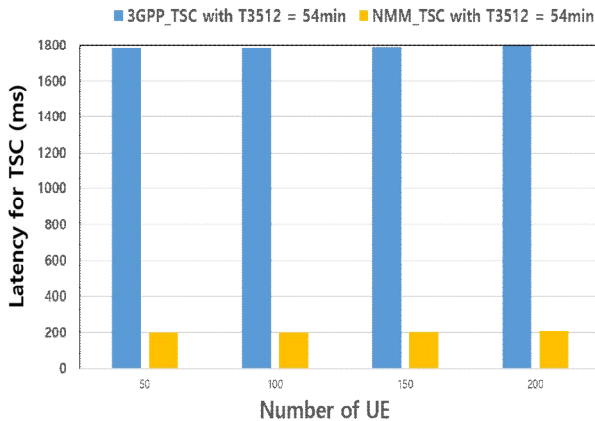


Fig. 7. Latency for TSC (with T3512 = 54min)

V. Conclusions

본 논문에서는 TSN 지원 가능한 단말이 non-TSN 서비스 영역과 TSN 서비스 영역이 혼재된 상황에서 이동했을 때, 신속하게 TSN 서비스 지원 네트워크 엔티티 AMF를 찾아 선택하여 등록 절차를 수행하여 최종적으로 신속한 TSN 서비스를 제공 받을 수 있는 새로운 이동성 관리 방안(Novel Mobility Management scheme for Time Sensitive Communications in 5G-TSN)을 제안하였다.

제안하는 NMM_TSC는 TSC 지원 단말이 non-TSN 서비스 영역에서 TSN 서비스 지원 영역으로 이동했을 때, TSN 지원 여부 정보를 포함하여 이동성 등록 업데이트(Registration request for mobility update) 절차를 수행한 이후, 즉시 네트워크와의 설정 업데이트 명령 절차에 의한 초기 등록(Initial Registration) 절차를 수행하게 된다. 이러한 초기 등록 절차에 의해서 TSN 서비스 지원 담당 네트워크 엔티티 AMF를 찾아 선택하여 등록 절차를 완료하게 되어 결과적으로 신속하게 TSC 서비스를 제공할 수 있게된다. 실험 평가를 통하여, 제안하는 기법이 기존 3GPP 이동통신망에서의 TSC 지원 기법에 비해서 통신 지연이 현저하게 최소화시킬 수 있음을 확인하였다.

향후 3GPP TSN 표준화 작업과 함께, 이동성을 고려한 다양한 TSN 및 TSC 서비스 시나리오에 따른 제안하는 효율적인 이동성 관리 방안의 최적화 방안이 함께 연구 개선되어야 할 것이다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by a Research Grant of Andong National University.

REFERENCES

- [1] A. Chosh, A. Maeder, M. Baker, and D. Chandramouli, "5G Evolution: A View on 5G Cellular Technology Beyond 3GPP Release 15," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 127639-127651, Sep. 2019. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2939938
- [2] IEEE 802.1 TSN working group, <https://1.ieee802.org/tsn/>
- [3] Y.H. Seol, D.Y. Hyeon, J.H. Min, M.B. Kim, and J.Y. Paek, "Timely Survey of Time-Sensitive Networking: Past and Future Directions," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 142506-142527, Oct. 2021. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3120769
- [4] M.K. Atiq, R. Muzaffar, O. Seijo, I. Val, and H.P. Bernhard, "When IEEE 802.11 and 5G Meet Time-Sensitive Networking," *IEEE Open Journal of the Industrial Electronics Society*, vol. 3, pp. 14-36, Jan. 2022. DOI: 10.1109/OJIES.2021.3135524
- [5] A. Nasrallah, A.S. Thyagaturu, Z. Alharbi, C. Wang, X. Shao, M. Reisslein, and H. ElBakoury, "Ultra-Low Latency (ULL) Networks: The IEEE TSN and IETF DetNet Standards and Related 5G ULL Research," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 21, pp. 88-145, Jan. 2019. DOI: 10.1109/COMST.2018.2869350

- [6] T. Striffler, N. Michailow, and M. Bahr, "Time-Sensitive Networking in 5th Generation Cellular Networks – Current State and Open Topics," Proceedings of 2019 IEEE 2nd 5G World Forum (5GWF), pp. 547-552, 2019. DOI: 10.1109/5GWF.2019.8911720
- [7] Z. Lin, L. Du, Z. Gao, L. Huang, X. Du, and M. Guizani, "Industrial IoT in 5G-and-Beyond Networks: Vision, Architecture, and Design Trends" IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 18, pp. 4122-4137, Sep. 2021. DOI: 10.1109/TII.2021.3115697
- [8] F. Hamidi-Sepehr, M. Sajadieh, S. Panteleev, T. Islam, I. Karls, D. Chatterjee, and J. Ansari, "5G URLLC: Evolution of High-Performance Wireless Networking for Industrial Automation" IEEE Communications Standards Magazine, vol. 5, pp. 132-140, Apr. 2021. DOI: 10.1109/MCOMSTD.001.2000035
- [9] A. Larranaga, M.C. Lucas-Estan, I. Martinez, I. Val, and J. Gozalvez, "Analysis of 5G-TSN Integration to Support Industry 4.0" Proceedings of 25th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), pp. 1111-1114, Sep. 2020. DOI: 10.1109/ETFA46521.2020.9212141
- [10] K. Nikhileswar, K. Prabhu, and D. Cavalcanti, "Traffic Steering in Edge Compute Devices using eXpress Data Path for 5G and TSN Integration" Proceedings of IEEE 18th International Conference on Factory Communication Systems (WFCS), Apr. 2022. DOI: 10.1109/WFCS53837.2022.9779167
- [11] T.K. Kang, Y.H. Kang, Y.C. Ryoo, and T.S. Cheung, "Research Trend in Ultra-Low Latency Networking for Fourth Industrial Revolution" Electronics and Telecommunications Trends, vol. 34, pp. 108-122, Dec. 2019. DOI: 10.22648/ETRI.2019.J.34061
- [12] K.S. Kim, Y.H. Kang, and C.K. Kim, "Research Trend in 5G-TSN for Industrial IoT" Electronics and Telecommunications Trends, vol. 35, pp. 43-56, Jan. 2020. DOI: 10.22648/ETRI.2020.J.350504
- [13] 3GPP TS 22.261 v17.10.0: "Service requirements for the 5G system; Stage 1", May 2022.
- [14] 3GPP TS 22.278 v17.2.0: "Service requirements for the Evolved Packet System (EPS)", April 2021.
- [15] 3GPP TS 23.501 v17.5.0: "System Architecture for the 5G System; Stage 2", June 2022.
- [16] 3GPP TS 23.502 v17.5.0: "Procedures for the 5G System; Stage 2", June 2022.
- [17] 3GPP TS 24.501 v17.7.1: "Non-Access-Stratum (NAS) protocol for 5G System (5GS); Stage 3". June 2022.
- [18] 3GPP TS 24.502 v17.6.0: "Access to the 3GPP 5G Core Network (5GCN) via Non-3GPP Access Networks (N3AN); Stage 3". June 2022.
- [19] 3GPP TS 38.331 v17.0.0: "NR; Radio Resource Control (RRC); Protocol specification", April 2022.
- [20] 3GPP TS 38.413 v17.1.0: "NG-RAN; NG Application Protocol (NGAP)", June 2022.
- [21] 3GPP TS 29.502 v17.5.0: "5G System; Session Management Services", June 2022.
- [22] 3GPP TR 23.700-25 v1.0.0: "Study on timing resiliency and TSC and URLLC enhancements (Release 18)", September 2022.
- [23] J.H. Kim and S.G. Kim, "An efficient session management scheme for low-latency communications in 5G systems," Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 25, No. 2, pp. 83-92, Feb. 2020. DOI: 10.9708/JKSCI.2020.25.02.000
- [24] J.H. Kim, "An Enhanced Control Protocol Design for LADN in 5G Wireless Networks," Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 25, No. 12, pp. 109-117, Dec. 2020. DOI: 10.9708/JKSCI.2020.25.12.109
- [25] MATLAB, <https://kr.mathworks.com>

Authors



Jae-Hyun Kim received the M.S. and Ph.D. degrees in Electrical & Electronic Engineering from Yonsei University, Korea, in 2003 and 2011 respectively. He worked as chief research engineer in LG Electronics from

2010 to 2019. Dr. Kim joined the faculty of the Dept. of Information & Communication Engineering, Andong National University in 2019. He is currently an Assistant Professor in the Dept. of Information & Communication Engineering, Andong National University. He is interested in advanced communication networks like 5G/6G mobile communications, IoE, Artificial Intelligence, and Metaverse.