

An Efficient Time-Sensitive Communication Scheme to Support Service Continuity in 5G System

Jae-Hyun Kim*

*Associate Professor, Dept. of Digital ICT Engineering, Andong National University, Andong, Korea

[Abstract]

In this study, we propose an efficient time-sensitive communication scheme which supports service continuity in 5G system. The main idea of this communication strategy is to quickly provide time sensitive communications(TSC) for ultra-reliable low latency communication services by effectively supporting TSC capabilities between UEs(User Equipments) and 5G core networks. Also, this scheme appropriately reallocates the 5G network node which can support TSC based on the TSC capability indication. If a TSC capable UE moves a TSC supportive network from a TSC unsupportive network, based on the TSC capability indication, the 5G core network effectively finds a TSC supportive network node to successively support TSC. Through the performance evaluation, we show that the proposed efficient reallocation mechanism based on TSC capability indication improves the service continuity of TSC in 5G system compared to the existing mechanisms.

▶ **Key words:** TSN, Time Sensitive Communication, Session Management, URLLC, 5G, 3GPP

[요 약]

본 연구에서는 5G 시스템에서 효율적인 서비스 연속성을 지원하는 시간 민감형 통신 기법을 제안한다. 제안하는 통신 기법의 핵심 아이디어는 단말과 5G 핵심망 사이에 효과적으로 시간 민감형 통신 능력 정보를 지원함으로써 초신뢰 저지연 통신을 위해서 빠르게 시간 민감형 통신을 지원하는 것이다. 또한, 제안하는 기법은 시간 민감형 통신 능력 정보에 기반하여 시간 민감형 통신을 제공할 수 있는 5G 망 노드를 적절하게 재할당한다. 만약, 시간 민감형 통신 지원 가능한 단말이 시간 민감형 통신이 지원 가능한 네트워크로 이동했을 때, 시간 민감형 능력 정보에 기반하여 5G 핵심망은 연속적인 시간 민감형 통신을 제공하기 위해서 시간 민감형 통신 지원 가능한 네트워크를 효과적으로 찾는다. 시뮬레이션을 통해 시간 민감형 능력 정보에 기반한 효율적인 재할당 방안이 기존 방안과 비교하여 시간 민감형 통신의 연속성을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

▶ **주제어:** TSN, 시간 민감형 통신, 세션 관리, URLLC, 5G, 3GPP

-
- First Author: Jae-Hyun Kim, Corresponding Author: Jae-Hyun Kim
 - *Jae-Hyun Kim (jaekim@anu.ac.kr), Dept. of Digital ICT Engineering, Andong National University
 - Received: 2024. 12. 04, Revised: 2024. 12. 30, Accepted: 2024. 12. 30.

I. Introduction

3GPP(3rd Generation Partnership Project) 시간 민감형 통신(TSC; Time-Sensitive Communication) 기술은 3GPP 5G 시스템에서 시간 민감형 네트워킹(TSN; Time-Sensitive Networking)을 지원하는 통신 기술로써, 시간 민감형 네트워킹은 초신뢰 저지연 통신(URLLC; Ultra Reliable and Low Latency Communications) 기반의 다양한 버티컬 산업 분야들, 예를 들면, 자율주행, 스마트 공장, 항공전자 분야 등의 산업용 사물 인터넷(IIoT; Industrial IoT(Internet of Things))을 지원하기 위해서 IEEE에서 기술 개발되었다[3-10].

본 논문에서는 먼저 IEEE 시간 민감형 네트워킹(TSN)과 3GPP 시간 민감형 통신(TSC)에 대해서 살펴본다. 그리고 이동성 환경에서 현재 3GPP 시간 민감형 통신 기술 지원 문제에 대해서 고찰해 본다. 이후, 문제점을 해결하기 위해서 효율적인 TSC 서비스 연속성 지원 두 가지 방안(5GCN_ETSC과 RAN_ETSC) 3GPP 5G 시스템에서 효과적이고 신속하게 TSC 서비스를 제공하기 위한 효율적인 시간 민감형 통신 기법을 제안한다. 성능평가를 위한 실험을 통해서 제안하는 두 가지 방안 모두 기존 TSC 서비스 지원 통신 기술보다 성능이 우수함을 확인하며, 마지막으로 향후 연구를 통해 발전 방향을 제시한다.

II. Preliminaries

2.1 Time sensitive communications

2.1.1 TSN

시간 민감형 네트워킹(TSN; Time-Sensitive Networking)은 IEEE 802.1 TSN TS(Task Group)에서 2012년부터 개발해 온 기술로써 이더넷(Ethernet) 기반의 실시간 통신 지원을 위해서 표준화한 기술이다. TSN은 산업 제어 및 자동화 분야의 활용을 위해서 초저지연, 저지터(low jitter), 초신뢰성 보장을 위한 데이터 전송 지원 기술이다. TSN은 기본적으로 링크 계층 이더넷 기반으로 동작하며, 실시간 산업 자동 제어 시스템(IACS; Industrial Automation and Control System) 응용 분야에 활용될 수 있는 기술이다 [1-7, 20].

2.1.2 TSC in 3GPP 5G system

3GPP에서는 다양한 버티컬 산업(Vertical Industry) 분야의 요구사항들을 5G 시스템에서 지원하기 위해서 IEEE

TSN을 5G 시스템과 연동하여 URLLC를 지원하기 위해 개발된 기술이다. 3GPP TSC(Time-Sensitive Communication) 기술은 기본적으로 두 가지 방향성을 기반으로 기술 개발되었다. 첫 번째는 5G 시스템에서 시간 동기화(Time Synchronization)이다. 3GPP TSC는 정확한 시간 동기화를 위해서 gPTP(generic Precision Time Protocol)를 사용한다. gPTP는 클록 마스터(clock mater)로부터 주기적인 동기 시간 정보가 클록 슬레이브(clock slave)에 전달되어 네트워킹된 장치들의 로컬 클록들과 다른 장치들과 동기화가 된다.

두 번째는, 3GPP 5G 시스템과 TSN 시스템과의 연동구조이다. 그림 1에서 보이듯이, 3GPP 5G 시스템에서는 외부 TSN 네트워크와 연동을 위해 TSN 브릿지(Bridge)로 동작하고 있으며, TSN 네트워크와 통신을 하기 위해서 변환기(TT; TSN Translator)를 새롭게 추가하였다. DS-TT(Device side TSN Translator)는 장치 측면 TSN 변환기를 의미하며, NW-TT(Network side TSN Translator)는 네트워크 측면 TSN 변환기를 의미한다. 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(Packet Data Unit) 세션(Session)을 통해 수신한 gPTP 메시지를 전달받아 시간을 수정하여 최종 TSN 종단국에 전달한다[8-13].

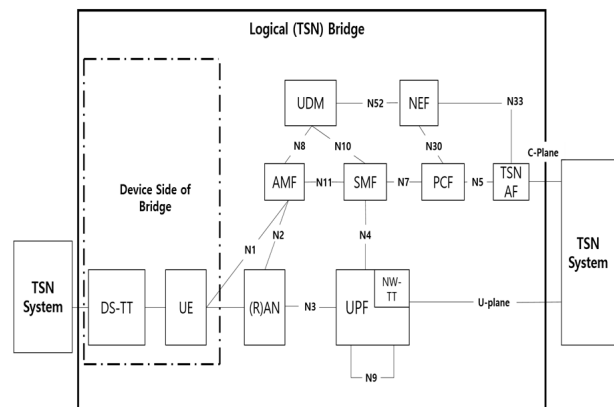


Fig. 1. TSC in 3GPP 5GS

2.1.3 Always-on PDU Session in 3GPP 5G system

3GPP 5G 시스템에서는 URLLC 관련 버티컬 산업 서비스를 지원 보장하기 위해서 Always-on PDU 세션을 정의 개발하였다. Always-on PDU 세션은 실시간 초저지연 통신을 지원하기 위해서 일반 PDU 세션과 달리 리소스(Resource)를 세션이 해제되기까지는 계속 활성화 유지하

는 세션을 의미한다. Always-on PDU 세션은 TSC 같은 응용 서비스가 요구하는 QoS(Quality of Service)를 보장해 주기 위해서 일반 PDU 세션과 차별화된 것으로써 TSC 지원 단말이 TSC 서비스를 지원받기 위해서 응용 계층에서 TSC 서비스를 위한 데이터 전송을 수행하는 경우 Always-on PDU 세션을 설정 혹은 수정 절차를 진행하게 된다. 이것을 위해서 단말은 PDU 세션 설정 혹은 수정 요청 메시지에 Always-on PDU 세션 요청 정보를 포함하여 전송하게 되고, 네트워크는 PDU 세션 설정 혹은 수정을 수락하는 응답에 Always-on PDU 세션 인디케이션 정보를 포함하여 단말에게 전송한다. 이후 TSC 서비스를 지원 데이터 송수신을 할 수 있게 된다. 이러한 Always-on PDU 세션은 TSC 및 URLLC, IIoT 등의 초저지연 및 초신뢰성을 요구하는 응용 서비스 관련 데이터 전송을 위해서 사용될 수 있다[13-22].

III. The Proposed Scheme

3GPP 5GS(5G System)에서 TSC 서비스를 이용하는 상황에서 네트워크 구성 상황에 따라서 TSC 서비스를 지원하는 네트워크와 TSC 서비스를 지원하지 않는 네트워크가 혼재될 수 있다. 이러한 상황에서 TSC 서비스 이용 가능한 단말이 TSN 서비스를 지원하거나 지원하지 않는 네트워크 영역으로 이동했을 때 TSC 서비스 이용에 대한 심각한 문제가 초래될 수 있다. 이러한 문제는 현재 3GPP 기술 규격에는 TSC 서비스 이용 가능한 단말이 5G 네트워크에게 TSC 서비스 이용 가능함에 대한 정보를 알려 줄 수 없기 때문이다. 따라서, 네트워크는 단말의 TSC 서비스 이용 가능함 정보를 제공 받아서 효과적으로 단말에게 TSC 서비스를 제공해 줄 수 있는 네트워크 노드를 찾을 수 없으므로 단말에게 신속한 TSC 서비스 제공을 해줄 수 없기 때문이다[12-13, 22]. 특히, 이러한 문제는 단말이 TSC 서비스 제공 네트워크 영역과 비지원 영역을 이동했을 때 TSC 서비스 제공 측면에서 심각한 문제를 초래할 수 있다. 현재, 3GPP 기술 규격은 IEEE TSN과 5GS와의 연동만을 고려하였으며, 단말의 이동 상황을 고려하지 않고 기술 개발되었다 [3, 11-13]. 향후, 단말의 이동 상황을 고려한 기술 개발은 꼭 필요할 것으로 여겨진다.

다음 절에서 이러한 문제에 대해서 자세히 살펴본다.

3.1 Problem Statement

그림 2는 단말이 TSC 서비스 비지원 영역에서 TSC 서비스 지원 영역으로 이동하는 상황에서 TSC 서비스를 효

과적으로 제공하지 못하는 상황을 보여준다. 그림 2에서 보이듯이, TA(Tracking Area)#1영역은 TSC 서비스 비지원 영역이며, TA(Tracking Area)#2영역은 TSC 서비스 지원 영역이다. 또한, TSC 서비스를 지원하지 않는 5G 네트워크를 AMF(Access and Mobility Function)#1, TSC 서비스를 지원하는 5G 네트워크를 AMF(Access and Mobility Function)#2라고 가정한다. AMF는 5G 시스템에서 단말의 망 접속을 위한 NAS(Non Access Stratum) 제어 신호 메시지 처리와 단말 위치 등록을 통해 이동성을 관리하는 네트워크 기능을 수행한다. 또한 단말의 인증 및 페이징(paging) 처리 기능을 수행한다. 이후, TSC 서비스 이용 가능한 단말이 TA#1영역에서 일반 서비스를 제공 받고 있다가, TA#2영역으로 이동하였다.

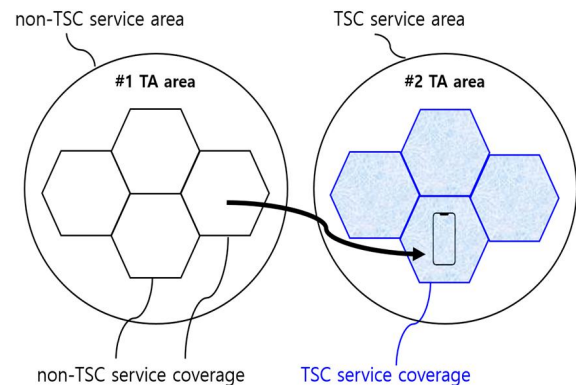


Fig. 2. TSC Service Continuity Problem

이러한 상황에서 다음과 같이 단말과 네트워크는 동작을 수행하게 된다.

1) TSC 서비스 이용 가능한 단말은 TA#1에서 일반 서비스를 제공 받고 있다가, TA#2로 이동한다. 이때, 단말은 일반적인 이동성 업데이트 절차를 수행하기 위해서 이동성 등록 업데이트를 위한 등록 요청(registration request for mobility registration update) 메시지를 네트워크에게 전송한다. 등록 요청 메시지는 초기 등록 요청(registration request for initial registration), 주기적 등록 요청(registration request for periodic update), 이동성 업데이트 등록 요청(registration request for mobility update)의 세 가지 형태가 있다. 초기 등록 요청 메시지는 단말이 전원을 켜 후, 단말의 인증, 능력 정보, 위치 정보(예컨대, TA 정보) 등을 포함하여 네트워크에게 전달하여 관련 정보들을 등록하게 되며, 이때 네트워크는 단말이 전달한 정보에 기반하여 관련 서비스 및 기능을 제공하는 네트워크를 찾게 된다. 주기적 등록 요청 메시지는 단말의 위치 변경과 상관없이 일정 시간 이후에 단말의 위치 및 상태 정보를 네트워크에게 전달하여 네트워크가 단

말의 위치 및 상태를 확인하게 된다. 이동성 업데이트 등록 요청 메시지는 단말의 위치가 변경이 된 경우 (예컨대, TA#1에서 TA#2로 이동한 경우)에 단말의 위치 정보를 바로 네트워크에게 전달하여 네트워크가 단말의 위치를 확인하게 된다.

2) 5G 네트워크 (예컨대, AMF#1)는 단말이 요청한 이동성 등록 업데이트를 위한 등록 요청 메시지를 처리한다. 이는 일반적인 단말의 위치 이동에 따른 이동성 업데이트 처리를 위한 것이다. 하지만, TSC 서비스 이용 가능한 단말이 TSC 서비스 이용이 가능한 TA#2영역으로 이동했음에도 불구하고 단말이 신속하게 TSC 서비스 제공 요청을 할 수 없으며, 네트워크 AMF#1 또한 단말에게 TSC 서비스를 제공해주기 위해서 TSC 서비스를 지원해 줄 수 있는 5G 네트워크 (예컨대, AMF#2)를 찾아 연결해 줄 수 없다. 이것은 현재 3GPP 기술 규격에는 TSC 지원 가능성 정보를 단말과 네트워크에게 빠르게 전달해 줄 수 없으며, 또한 이를 기반으로 기존 네트워크는 단말에게 TSC 서비스 제공해줄 수 있는 네트워크를 찾아 재할당(re-allocation)해줄 수 없기 때문이다. 따라서, AMF#1은 단말의 이동성 업데이트 처리만을 수행하게 된다.

3) TSC 서비스 이용 가능한 단말은 TSC 서비스 제공 TA#2 영역으로 이동했음에도 불구하고 일반적인 위치 이동성 업데이트만을 수행하게 되고 TSC 서비스 제공 요청 및 지원을 받을 수 없다.

4) TSC 비지원 네트워크 AMF#1도 TSC 서비스 이용 가능한 단말에게 효과적으로 TSC 지원 네트워크 AMF#2를 찾아 재할당을 해주지 못하여, 최종적으로 단말에게 TSC 서비스를 지원해줄 수 없게 된다.

5) 단말이 TA#2 영역에서 TSC 서비스를 제공 받기 위해서는 단말이 초기 등록(initial registration) 절차를 수행해야 하는데, 네트워크가 단말에게 초기 등록 절차를 수행하도록 요청하거나, 단말이 일정 시간이 지난 이후 초기 등록 절차를 수행할 수밖에 없다. 하지만, 현재 3GPP 기술 규격에서는 이러한 상황에서 네트워크가 단말에게 초기 등록 절차를 수행하지 않으며, 단말이 일정 시간이 지난 이후 초기 등록 절차를 수행하는 것도 비효율적이다.

결론적으로, 현재 5G 시스템에서는 TSC 이용 가능한 단말이 TSC 서비스 비지원 영역에서 TSC 서비스 지원 영역으로 이동하는 상황에서 단말이 TSC 서비스 지원 요청을 5G 네트워크에게 할 수 없으며, 5G 네트워크 또한, 단말의 TSC 서비스 지원 요청에 대해서 효과적으로 TSC 서비스 지원 네트워크를 찾아 재할당(re-allocation)을 수행하지 못하여 신속하게 단말에게 TSC 서비스를 지원해 주

지 못한다. 이는 5G 시스템의 이동성 환경에서 URLLC 관련 TSC 서비스를 효과적으로 지원하지 못하게 되므로, 심각하게 서비스 보장을 못하게 주는 문제가 발생한다. 다음 절에서는 이러한 문제를 효율적으로 해결해 줄 수 있는 ETSC 방안의 특징과 구체적인 두 가지 방안(5GCN_ETSC과 RAN_ETSC)에 대해서 살펴본다.

3.2 An Enhanced Time-Sensitive Communication scheme(ETSC) in 5G System

본 논문에서는 전술한 문제를 해결하기 위해서 5G 시스템에서 효율적인 TSC 지원 방안(ETSC: Enhanced Time-Sensitive Communication scheme)을 제안한다. 제안하는 ETSC 기법은 TSC 서비스 이용 가능한 단말이 5G 네트워크에게 TSC 서비스 이용 능력 정보를 명확하게 전달한다. 5G 네트워크는 단말이 제공한 TSC 서비스 이용 능력 정보에 기반하여 단말에게 효과적으로 TSC 서비스를 제공해줄 수 있는 네트워크를 찾아 신속하게 재할당(re-allocation)해준다. 이후, TSC 서비스를 제공해줄 수 있는 네트워크는 효율적으로 단말에게 TSC 서비스를 제공해주게 된다.

한편, ETSC 기법은 단말에게 효과적으로 TSC 서비스를 제공해줄 수 있는 네트워크를 찾아 신속하게 재할당해주는 방식에 따라서, 5GCN_ETSC(5G Core Network based Enhanced Time-Sensitive Communication scheme)과 RAN_ETSC(RAN based Enhanced Time-Sensitive Communication scheme)으로 형태로 동작 수행될 수 있다. 다음 절에서 제안하는 두 가지 방식에 대해서 자세히 살펴본다.

3.2.1 5G Core Network based ETSC(5GCN_ETSC)

첫 번째 제안하는 5GCN_ETSC 기법은 단말이 제공한 TSC 서비스 이용 가능함 정보에 기반하여 5G 핵심 네트워크 노드가 TSC 서비스 지원 가능한 네트워크를 찾아 재할당을 수행하는 것이다. 이후, TSC 서비스 지원 가능한 네트워크는 단말에게 TSC 서비스를 제공해준다. 단말이 이후 TSC 관련 데이터 전송을 위한 Always-on PDU 세션을 요청하는 경우, TSC 서비스 지원 가능한 네트워크를 찾아 단말의 Always-on PDU 세션 요청을 수락하여 TSC 서비스 지원을 해주는 기법이다.

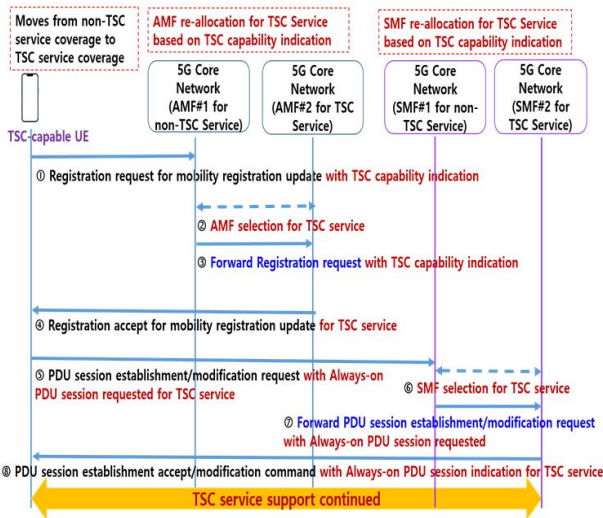


Fig. 3. The Proposed 5GCN_ETSC Operation

그림 3에서 보이듯이, 자세한 동작은 다음과 같다.

1) TSC 지원 가능한 단말이 TSC 비지원 서비스 영역에서 TSC 제공 서비스 영역으로 이동하여 이동성 등록 업데이트를 위한 등록 요청 메시지를 5G 네트워크 (예컨대, AMF#1)에게 전송한다. 이때, 등록 요청 메시지에는 이동성 업데이트를 위한 TA TSC 이용 가능함 정보를 포함하여 단말은 5G 네트워크에게 TSC 서비스 지원에 대한 정보를 제공해준다.

2) 5G 네트워크 AMF#1은 단말이 전송한 이동성 등록 업데이트를 위한 등록 요청 메시지를 수신하고 포함되어 있는 TSC 이용 가능함 정보에 기인하여 단말이 TSC 서비스 이용 가능한 영역으로 이동하여 TSC 서비스 지원 요청 및 단말의 위치 이동성 업데이트를 수행하고자 TSC 서비스를 지원하는 네트워크 (예컨대, AMF#2)를 찾아 재할당한다(AMF selection과 re-allocation 수행).

3) AMF#1은 TSC 서비스를 지원하는 AMF#2에게 단말이 제공한 TSC 이용 가능함 정보를 포함하여 이동성 등록 업데이트를 위한 등록 요청 메시지를 전달한다.

4) AMF#2는 AMF#1으로부터 전달받은 단말의 TSC 이용 가능함 정보를 포함한 이동성 등록 업데이트를 위한 등록 요청 메시지를 처리하고 단말에게 이동성 등록 업데이트 등록 수락 메시지를 응답하게 된다. 이렇게 함으로써 단말과 AMF#1 및 AMF#2는 단말의 위치 이동성 업데이트 절차를 완료한다. 또한 단말과 AMF#2는 TSC 서비스를 지원 요청 및 제공해줄 수 있게 된다.

5) 이후, 단말은 네트워크에게 TSC 서비스 관련 데이터 전송을 위해서 Always-on PDU 세션 요청 및 수정 메시지를 전송한다. Always-on PDU 세션 요청 및 수정 메시지는 PDU 세션과 관련된 QoS(Quality of Service) 정보

(예컨대, QoS 플로우 정보), PDU 세션 형태 (예컨대, IPv6, IPv6, IPv4v6), PDU 세션 ID(Identifier) 정보 등을 포함하여 네트워크에게 전달된다. 이때, Always-on PDU 세션 요청(Always-on PDU session requested) 정보를 포함하여 전송한다.

6-7) 단말로부터 Always-on PDU 세션 요청 정보를 포함한 Always-on PDU 세션 요청 및 수정 메시지는 수신한 네트워크 SMF(Session Management Function)#1은 필요시 TSC 서비스를 지원하는 네트워크 (예컨대, SMF(Session Management Function)#2)를 찾아 선택한 후, 단말의 Always-on PDU 세션 요청 및 수정 메시지를 전달한다. SMF는 5G 시스템에서 단말과 데이터망과의 세션(Session)에 대한 제어를 처리하는 네트워크 기능을 수행한다. 또한 SMF는 IP(Internet Protocol) PDU 세션을 위한 IP 주소들 할당을 수행한다.

8) TSC 서비스를 지원하는 네트워크 SMF#2는 단말이 요청한 Always-on PDU 세션 요청 및 수정 메시지를 처리하여 수락 응답한다. 최종적으로 TSC 지원 가능한 5G 네트워크가 단말의 TSC 서비스 요청을 신속하게 효과적으로 제공해줄 수 있다.

3.2.2 5G RAN based ETSC(RAN_ETSC)

두번째 제안하는 RAN_ETSC 기법은 단말이 제공한 TSC 서비스 이용 가능함 정보에 기반하여 5G RAN(Radio Access Network)이 TSC 서비스 지원 가능한 네트워크를 찾아 재할당을 수행하는 것이다. 5G RAN은 5G 시스템에서 단말기와 기지국이 무선 접속 기술로 연결된 망을 의미한다. 5G RAN은 단말기의 초기 접속, 기지국과 단말기 간의 데이터 전송, 핵심망과 단말기 간의 사용자 데이터와 제어 명령 송수신, 각 단말기의 서비스별 QoS 제어 등을 처리한다.

이후, TSC 서비스 지원 가능한 네트워크는 단말에게 TSC 서비스를 제공해준다. 단말이 이후 TSC 관련 데이터 전송을 위한 Always-on PDU 세션을 요청하는 경우, TSC 서비스 지원 가능한 네트워크를 찾아 단말의 Always-on PDU 세션 요청을 수락하여 TSC 서비스 지원을 해주는 기법이다. 그림 4에서 보이듯이, 자세한 동작은 다음과 같다.

1) TSC 지원 가능한 단말이 TSC 비지원 서비스 영역에서 TSC 제공 서비스 영역으로 이동하여 이동성 등록 업데이트를 위한 등록 요청 메시지를 5G 네트워크 (예컨대, AMF#1)에게 전송한다. 이때, TSC 이용 가능함 정보를 포함하여 단말은 5G 네트워크에게 TSC 서비스 지원에 대한 정보를 제공해준다.

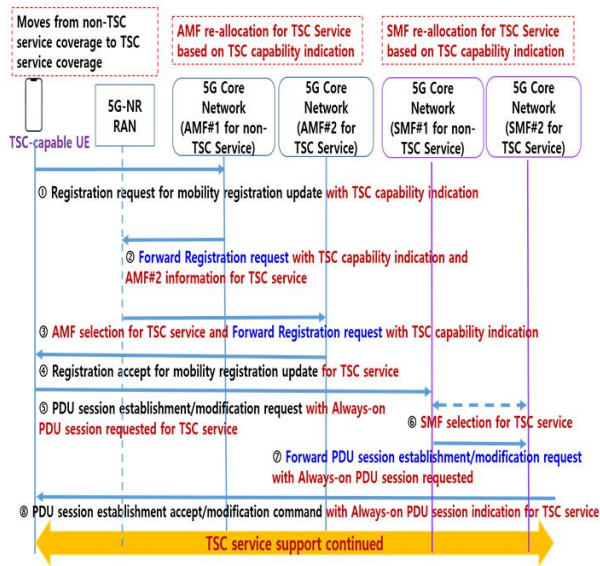


Fig. 4. The Proposed RAN_ETSC Operation

2) 5G 네트워크 AMF#1은 단말이 전송한 이동성 등록 업데이트를 위한 등록 요청 메시지를 수신하고 포함되어 있는 TSC 이용 가능함 정보에 기인하여 단말이 TSC 서비스 이용 가능한 영역으로 이동하여 TSC 서비스 지원 요청 및 단말의 위치 이동성 업데이트를 수행하고자 TSC 서비스를 지원하는 네트워크 (예컨대, AMF#2)를 찾아 관련 AMF#2 및 TSC 이용 가능함 정보를 5G RAN에게 전달한다.

3) 5G RAN은 전달받은 AMF#2 및 TSC 이용 가능함 정보에 기반하여 이동성 등록 업데이트를 위한 등록 요청 메시지를 선택한 AMF#2에게 전달한다(AMF selection과 re-allocation 수행).

4) AMF#2는 RAN으로부터 전달받은 단말의 TSC 이용 가능함 정보를 포함한 이동성 등록 업데이트를 위한 등록 요청 메시지를 이동성 등록 업데이트를 위한 등록 요청 메시지를 처리하고 단말에게 이동성 등록 업데이트 등록 수락 메시지를 응답하게 된다. 이렇게 함으로써 단말과 AMF#2는 단말의 위치 이동성 업데이트 절차를 완료한다. 또한 단말과 AMF#2는 TSC 서비스를 지원 요청 및 제공할 수 있게 된다.

5) 이후, 단말은 네트워크에게 TSC 서비스 관련 데이터 전송을 위해서 Always-on PDU 세션 요청 및 수정 메시지를 전송한다. 이때, Always-on PDU 세션 요청 (Always-on PDU session requested) 정보를 포함하여 전송한다.

6-7) 단말로부터 Always-on PDU 세션 요청 정보를 포함한 Always-on PDU 세션 요청 및 수정 메시지는 수신한 네트워크 SMF#1은 필요시 TSC 서비스를 지원하는 네

트워크 (예컨대 SMF#2)를 찾아 선택한 후, 단말의 Always-on PDU 세션 요청 및 수정 메시지를 전달한다.

8) TSC 서비스를 지원하는 네트워크 SMF#2는 단말이 요청한 Always-on PDU 세션 요청 및 수정 메시지를 처리하여 수락 응답한다. 최종적으로 TSC 지원 가능한 5G 네트워크가 단말의 TSC 서비스 요청을 신속하게 효과적으로 제공할 수 있다.

한편, 3GPP 기술 규격으로는 이동통신 사업자 정책 및 설정에 기반하여 5G 네트워크에서 AMF 선택 및 재할당을 5G 핵심망 혹은 RAN에서 수행할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 향상된 ETSC 방안을 제안하며, 5G 네트워크에서 단말의 TSC 서비스 이용 가능함 정보에 기반하여 AMF 선택 및 재할당을 5G 핵심망 혹은 RAN에서 수행하는 방식에 따라서 5GCN_ETSC 및 RAN_ETSC 기법을 제안한다. 제안하는 두 가지 기법들 모두 단말의 TSC 서비스 이용 가능함 정보에 기반하여 5G 네트워크가 신속하고 효과적으로 단말에게 TSC 서비스를 지원해줄 수 있다. 다음 절에서 제안하는 5GCN_ETSC 및 RAN_ETSC 방안과 기존의 5G 시스템에서의 동작 방안에 대해서 비교 성능평가에 대해서 살펴본다.

IV. Performance Evaluation

본 논문에서 제안하는 두 가지 방안(5GCN_ETSC 및 RAN_ETSC)에 대해서 MATLAB[23] 시뮬레이터를 사용하여 성능평가를 하였으며, 성능평가 관련 파라미터는 표 1과 같다. 단말이 이동성 절차를 위하여 네트워크에 전송하는 등록 요청 및 수락 메시지(초기 및 이동성 등록 업데이트), Always-on PDU 세션 요청, 수정 및 수락등의 TSC 제어 메시지 처리 지연시간을 UE processing delay, 상기 TSC 제어 메시지 전송 지연시간을 Transmission delay라고 각각 정의하였으며, 5G 시스템의 무선 구간에서 상기 TSC 제어 메시지들의 처리 지연시간을 RAN processing delay라고 정의하였다. 또한, 5G 시스템에서 TSC 제어 메시지들의 처리 지연시간을 5G core network delay라고 정의하였다.

본 성능평가에서는 5G 시스템에서 TSC 이용 가능한 단말이 TSC 서비스 비지원 영역(예컨대, TA#1)에서 TSC 서비스 지원 영역(예컨대, TA#2)으로 이동하는 시나리오를 고려하였다. 한편, 현재 3GPP 5G 시스템 기술 규격에서는 TSC 서비스를 위한 이동성 시나리오 상황에서 서비스 연속성 기술을 지원하지 못하고 있다. 따라서 본 성능

평가를 위해서 5G 시스템에서의 TSC를 위한 이동성 지원 방안(5G_TSC)의 경우 단말이 상기 TA#2로 이동했을 때 이동성 등록 업데이트를 위한 등록 요청 절차를 수행한 후, 일정 시간 이후 초기 등록(initial registration) 절차를 수행할 수 있다고 가정하였다. 초기 등록 후, TA#2에서 TSC 서비스를 요청 및 지원받을 수 있다고 가정하였다. 이때, 일정 시간은 3GPP 5G 시스템 기술 규격에서 사용하는 T3512[15]를 적용하였다. 일반적으로, T3512 값은 네트워크에서 보통 수십 분으로 설정하여 단말에게 제공 동작하며, 만약 네트워크에서 설정하여 제공하지 않는 경우, 기본값으로 54분으로 설정하여 동작한다.

Table 1. Simulation Environment

Parameter	Value
UE Processing Delay	3 (ms)
Transmission Delay	1 (ms)
RAN Processing Delay	2 (2ms)
5G Core Network Delay	1 (ms)
Registration Update Timer for initial Registration	T3512[17]

4.1 Delay for TSC in 5G System

그림 5는 TSC 서비스 지연에 대한 성능평가 결과로써 T3512를 30min으로 설정한 성능평가 결과이다. 제안하는 5GCN_ETSC 기법은 TSC 지원 가능 단말이 TSC 서비스 지원 영역으로 이동했을 때, 이동성 등록 업데이트를 위한 등록 요청 절차를 수행하게 되는데, 이때 TSC 이용 가능 정보를 함께 포함하여 네트워크에 전송하게 된다. 이후 네트워크 (예컨대, AMF#1)는 단말의 TSC 이용 가능 정보에 기반하여 신속하게 TSC 서비스 지원해줄 수 있는 네트워크(예컨대, AMF#2)를 찾아 재할당 절차를 수행한다. TSC 서비스 지원 가능한 AMF#2는 단말이 요청한 이동성 등록 업데이트 절차를 완료하고 단말에게 TSC 서비스를 지원해줄 수 있다. 이후, 단말은 TSC 서비스를 위한 데이터 전송을 수행하기 위해서 Always-on PDU 세션 설정 혹은 수정 절차를 네트워크는 요청하게 되고, 네트워크 (예컨대, SMF#1)는 TSC 서비스를 지원해줄 수 있는 네트워크 (예컨대, SMF#2)는 단말이 요청한 TSC 서비스 지원을 위한 Always-on PDU 세션 설정 혹은 수정 절차를 수락하여 최종적으로 TSC 서비스를 효과적으로 지속 지원해주게 된다.

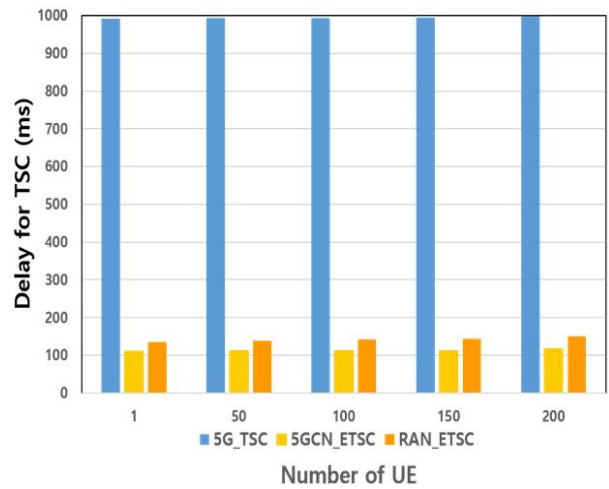


Fig. 5. Delay for TSC (with T3512 = 30 min)

제안하는 RAN_ETSC 기법은 기본적인 동작은 상기 전술한 5GCN_ETSC 기법과 동일하다. 차이점은 네트워크 (예컨대, AMF#1)는 단말의 TSC 이용 가능 정보에 기반하여 신속하게 TSC 서비스 제공해줄 수 있는 네트워크(예컨대, AMF#2)를 찾아 재할당 절차를 수행한다. 이때, AMF#2 정보에 기반하여 AMF#2를 선택하고 재할당 절차를 수행하는 것이 5GCN_ETSC 기법은 5G 핵심망 노드 (AMF#1)이 직접 수행하게 되는데, RAN_ETSC는 5G RAN이 수행하는 것이 다르다. 이후 TSC 서비스 제공 가능한 AMF#2는 단말이 요청한 이동성 등록 업데이트 절차를 완료하고 단말에게 TSC 서비스를 지원해줄 수 있으며, 마찬가지로, 단말은 TSC 서비스를 위한 데이터 전송을 수행하기 위해서 Always-on PDU 세션 설정 혹은 수정 절차를 네트워크는 요청하게 되고, 네트워크(예컨대, SMF#1)는 TSC 서비스를 지원해줄 수 있는 네트워크(예컨대, SMF#2)는 단말이 요청한 TSC 서비스 지원을 위한 Always-on PDU 세션 설정 혹은 수정 절차를 수락하여 최종적으로 TSC 서비스를 효과적으로 지속 제공해주게 된다.

하지만, 3GPP 5G 시스템에서의 TSC 지원 기법의 경우에는, TSC 지원 가능 단말이 TSC 서비스 지원 영역(예컨대, TA#2)으로 이동했을 때, 단순히 이동성 등록 업데이트를 위한 등록 요청 절차를 수행하게 되는데, 단말의 TSC 지원 여부 정보를 제공할 수 없기에 이에 기반한 신속한 TSC 서비스 지원 담당 네트워크 (예컨대, AMF#2)를 찾아 재할당하는 과정을 수행할 수 없으며, 결과적으로 일정 시간 이후, 단말이 초기 등록 요청을 수행함에 따라 비로소 TSC 서비스 지원 담당 AMF#2를 찾아 선택하는 과정을 수행하여 최종적으로 TSC 서비스를 제공 받을 수 있

게 된다. 이러한 비효율적인 동작 방안은 일정 시간 즉, T3512 영향에 기반하여 TSC 서비스 지연이 상당히 크다.

본 연구에서 제안하는 5GCN_ETSC 기법과 RAN_ETSC 기법은 단말의 초기 등록 요청 수행과 연관된 T3512와 상관없이 단말이 제공한 TSC 이용 가능함 정보에 기반하여 신속하게 TSC 서비스 지원 담당 네트워크를 찾아 재할당 해준다. 이후, TSC 서비스 관련 데이터 전송을 위한 Always-on PDU 세션을 설정 혹은 수정하여 효과적으로 TSC 서비스를 지원받을 수 있어 TSC 서비스 지연이 상당히 적다. 특히, 5GCN_ETSC 기법의 경우 TSC 서비스 제공 가능한 네트워크를 찾고 재할당해 주는 동작을 5G 핵심망 노드가 직접 수행하므로, RAN에 거쳐서 수행하는 RAN_ETSC 기법에 비해 TSC 서비스 지연이 상대적으로 적다.

그림 6은 TSC 서비스 지연에 대한 성능평가 결과로써 T3512를 54min으로 설정한 성능평가 결과이다. 결과에서 보이듯이, T3512 설정값이 크면 클수록 기존 3GPP 5G 시스템에서의 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 타이머 값을 제공하지 않는 경우, 기본값으로 54min이 설정 동작한다[15].

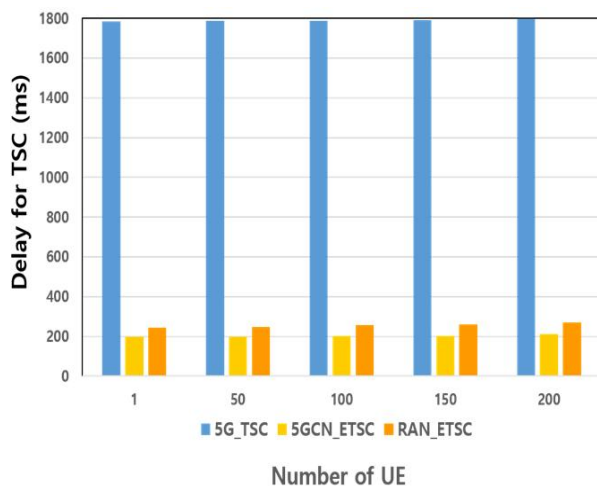


Fig. 6. Delay for TSC (with T3512 = 54min)

결론적으로, TSC 서비스의 경우는 일반적인 5G 버티컬 서비스에 비해서 매우 통신 지연에 민감하며 시간 민감형 통신 시간을 보장해야만 한다. 이러한 관점에서 이동성 환경에서 제안하는 5GCN_ETSC 및 RAN_ETSC 방안이 때

우 효율적인 TSC 서비스 연속성 지원 방안임을 확인할 수 있다.

V. Conclusions

본 논문에서는 5G 시스템에서 TSC 서비스 지원 영역과 TSC 서비스 미지원 영역 사이에서 TSC 서비스 사용 가능한 단말이 TSC 서비스 지원 영역으로 이동한 경우, 즉시, 5G 네트워크에게 단말의 TSC 서비스 이용 가능함 정보를 제공하고, 5G 네트워크는 신속하게 TSC 서비스 제공 가능한 네트워크를 찾아 재할당한다. 이후, 단말에게 TSC 서비스 제공을 해주게 된다. 또한 단말은 TSC 서비스를 위한 데이터 전송을 위하여 Always-on PDU 세션 설정 혹은 수정을 5G 네트워크에게 요청하여 즉시, TSC 서비스를 제공 받게 된다. 시뮬레이션을 통한 성능평가를 통해서 제안하는 두 가지 방안(5GCN_ETSC 및 RAN_ETSC)들은 기존 3GPP 5G 시스템에서 제공해줄 수 있는 TSC 서비스 제공 방안에 비하여 TSC 서비스 지연이 현저하게 적어 신속하게 효율적으로 TSC 서비스 연속성을 지원해 줄 수 있음을 확인하였다.

향후, 3GPP TSC 기술 표준화 발전 방향을 고려하여, 다양한 TSC 서비스 및 버티컬 서비스 지원 시나리오에 따른 제안하는 두 가지 방안들의 활용 및 최적화 방안에 관해서 연구 개선되어야 할 것으로 보인다.

ACKNOWLEDGEMENT

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

REFERENCES

- [1] IEEE 802.1 TSN working group, <https://1.ieee802.org/tsn/>
- [2] "Driving Digital Transformation through IEEE 802.1 TSN", <https://www.ieee802.org/1/files/public/docs2021/webinar-farkas-TSN-overview-1221.pdf>
- [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, October 2021. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3120769

- [4] 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, January 2019. DOI: 10.1109/COMST.2018.2869350
- [5] J. L. Messenger, "Time-sensitive networking: An introduction," *IEEE Commun. Standards Mag.*, vol. 2, no. 2, pp. 29-33, June 2018. DOI: 10.1109/MCOMSTD.2018.1700047
- [6] N. Finn, "Introduction to time-sensitive networking," *IEEE Commun. Standards Mag.*, vol. 6, no. 4, pp. 8-13, December 2022. DOI: 10.1109/MCOMSTD.0004.2200046
- [7] A. Mahmood, L. Beltramelli, S. F. Abedin, S. Zeb, N. I. Mowla, and S. A. Hassan, "Industrial IoT in 5G-and-Beyond Networks: Vision, Architecture, and Design Trends," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 18, pp. 4122-4137, June 2022. DOI: 10.1109/TII.2021.3115697
- [8] S. Bhattacharjee, K. Katsalis, O. Arouk; R. Schmidt, T. Wang, and X. An, "Network Slicing for TSN-Based Transport Networks," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 62788 - 62809, April 2021. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3074802
- [9] 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.340610
- [10] 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, January 2020. DOI: 10.22648/ETRI.2020.J.350504
- [11] 3GPP TS 22.261 v18.15.0: "Service requirements for the 5G system; Stage 1", September 2024.
- [12] 3GPP TS 22.278 v18.0.1: "Service requirements for the Evolved Packet System (EPS)", April 2024.
- [13] 3GPP TS 23.501 v18.7.0: "System Architecture for the 5G System; Stage 2", September 2024.
- [14] 3GPP TS 23.502 v18.7.0: "Procedures for the 5G System; Stage 2", September 2024.
- [15] 3GPP TS 24.501 v18.8.0: "Non-Access-Stratum (NAS) protocol for 5G System (5GS); Stage 3". September 2024.
- [16] 3GPP TS 24.502 v18.7.0: "Access to the 3GPP 5G Core Network (5GCN) via Non-3GPP Access Networks (N3AN); Stage 3". September 2024.
- [17] 3GPP TS 38.331 v18.3.0: "NR; Radio Resource Control (RRC); Protocol specification", September 2024.
- [18] 3GPP TS 38.413 v18.3.0: "NG-RAN; NG Application Protocol (NGAP)", September 2024.
- [19] 3GPP TS 29.502 v18.8.0: "5G System; Session Management Services", September 2024.
- [20] 3GPP TR 23.700-25 v18.1.0: "Study on timing resiliency and TSC and URLLC enhancements (Release 18)", March 2023.
- [21] 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, February 2020. DOI: 10.9708/JKSCI.2020.25.02.083
- [22] J.H. Kim, "A Novel Mobility Management Scheme for Time Sensitive Communications in 5G-TSN," *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, Vol. 27, No. 10, pp. 105-113, October 2022. DOI: 10.9708/JKSCI.2022.27.10.105
- [23] MATLAB, <https://kr.mathworks.com>

Author



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 Digital ICT Engineering, Andong National University in 2019. He is currently an Associate Professor in the Dept. of Digital ICT Engineering, Andong National University. He is interested in advanced communication networks like 5G/6G mobile communications, Artificial Intelligence(AI), IoT and system engineering.