

Efficient Congestion Control for Interworking between 5G-System and LTE

Seog-Gyu Kim*

Abstract

In this paper, we propose an efficient congestion control scheme for interworking between 5GS(5G system) and LTE(Long-Term Evolution), called ECC(Efficient Congestion Control). The proposed congestion control scheme (ECC) is considered for coexistence of 5GS and legacy LTE systems and provides a prompt service connectivity based on overriding method while the backoff timer is running in the UE. Also, we briefly introduce Rel-15 5GS from a congestion control perspective and the proposed ECC and simulation results for the existing legacy congestion control mechanism and ECC in the 5GS-LTE coexisting environment are presented. Lastly, the improvement direction is considered in future 3GPP 5GS phase 2 standard in this paper.

▶ Keyword: Congestion Control, 5G System, LTE, Backoff, IoT, 3GPP standard

I. Introduction

최근에 3GPP 국제 이동통신 표준화 단체에서 5G 시스템을 개발하여 Rel-15 5GS 페이스(phase) 1 규격을 제정 완료하였다. 5G 이동통신은 기존 4G 이동통신에 비해서 첫 번째로 데이터 전송 부분과 제어 부분을 분리하는 구조를 가지며, 두 번째로 다양한 액세스 네트워크를 통합 지원하며, 세 번째로 모듈화된 기능 디자인과 네 번째로 다양한 차세대 서비스 (e.g. 자율주행(V2X; Vehicle-to-Everything), 증강현실(AR; Artificial Reality), 가상현실(VR; Virtual Reality)) 등을 고려하여 기술 개발되었다. 특히, 사용자 관점에서 최대 하양 1Gbps 속도 지원 및 최소 서비스 지연 1ms를 특징으로 하는 차세대 이동통신 기술이다. 현재, 세계 많은 이동통신 사업자들이 초기 5G 이동통신 시장을 선점하기 위해서 기술 규격 개발이 완료된 Rel-15 5GS 페이스(phase) 1 기술 규격을 기반으로 5G 이동통신 시스템 상용화에 전력을 다하고 있다. 5G 이동통신 시스템의 경우 기존 4G LTE 이동통신 시스템에 비해서 커버리지는 작기 때문에, 초기에는 핫스팟 형태로 구성하여 기존 4G LTE 시스템과 상호 연동을 구축하여 상용화 될 것으로 예상된다. 이에, 3GPP Rel-15 5GS 페이스(phase) 1 기술 규격에는 이러한 기존 4G LTE 시스템과 상호연동을 지원하는 기술을 포함하여 개발되었다 [1-8]. 한편, 5G 시대에서는 다양하고 보다 많은

모바일 기기들 (e.g. 핸드폰, 태블릿, 스마트 워치, 사물인터넷 (IoT; Internet of Things) 디바이스 등)이 연동되어 서비스가 제공될 것으로 예상되는 바, 이에 따른 트래픽 및 액세스 폭주에 의한 네트워크 혼잡제어 기술이 매우 중요하다. 3GPP에서는 이동통신 환경에서 다수의 단말들이 한꺼번에 데이터 전송 및 네트워크 액세스를 시도할 경우 혼잡 상황이 발생할 것을 예상하여 Rel-10 LTE (Long-Term Evolution) 이동통신 시스템에서부터 이와 관련된 혼잡제어 방안들에 대해서 표준화 작업을 진행해 왔다. 기본적으로 네트워크에 혼잡 상황이 발생하는 경우, 일반적인 단말들의 접속 및 데이터 전송을 위한 접속 혹은 세션 연결을 차단하기 위해서 백오프(백오프) 메커니즘을 사용하게 된다. 이러한 백오프 메커니즘은 네트워크가 혼잡 상황이 발생했을 경우, 단말의 비-액세스 계층 (NAS; Non-Access Stratum) 요청 메시지에 혼잡제어를 위한 거절 원인 값과 더불어 백오프 타이머를 제공하게 되고 단말은 제공 받은 백오프 타이머의 동작이 완료되기 전까지는 네트워크에 접속 혹은 세션 연결을 요청하지 않는다 [9-14].

본 논문에서는 3GPP 5G 시스템 페이스(phase) 1 표준화에서 진행된 내용을 기반으로 5G 시스템과 기존 LTE 상호 연동 환경에서의 혼잡제어 방안에 대한 개념 및 기본적인 동작에 대해서

*First Author: Seog-Gyu Kim, Corresponding Author: Seog-Gyu Kim

*Seog-Gyu Kim (sgkion@andong.ac.kr) Dept. of Information & Communication Engineering, Andong National University

Received: 2019. 01. 15, Revised: 2019. 02. 12, Accepted: 2019. 02. 12.

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

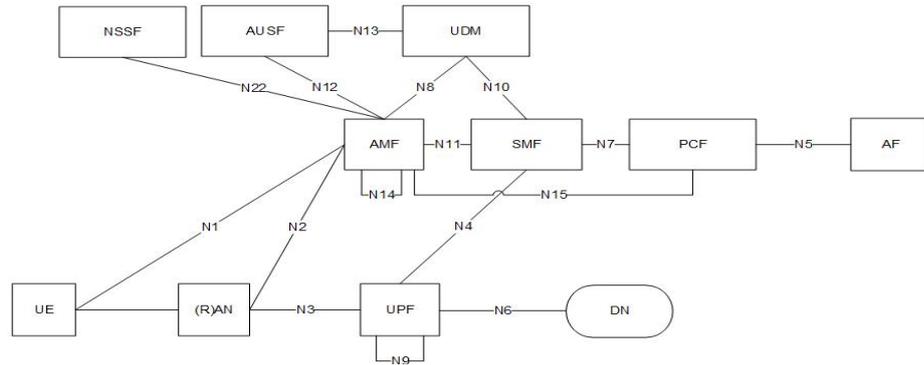


Fig. 1. 3GPP 5G System Architecture

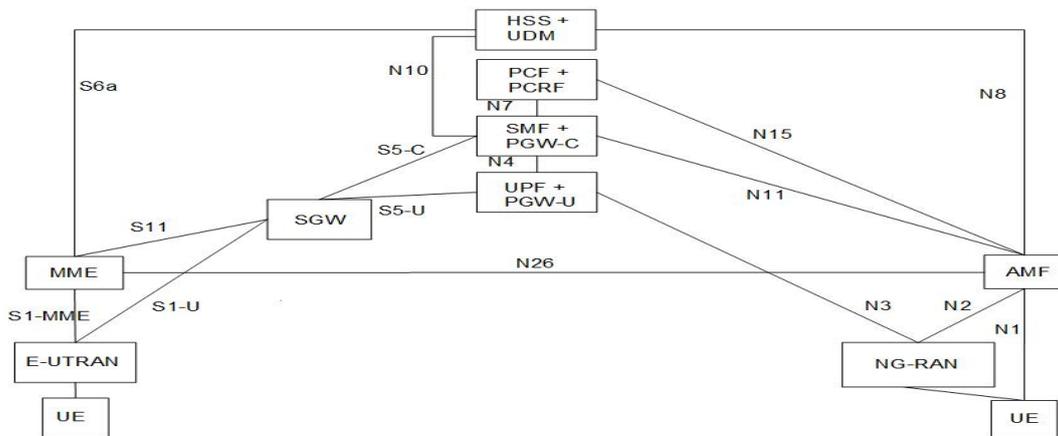


Fig. 2. 3GPP Interworking architecture between 5GS and LTE

살펴보고 개선된 혼잡제어 방안 제안과 그 성능 비교 및 향후 좀 더 효율적인 혼잡제어 기법의 개선방향에 대해서 살펴본다.

II. 3GPP 5G system and interworking architecture

1. 3GPP 5G System(5GS) Architecture

Fig. 1은 3GPP 5G 시스템 구조를 보여준다. 3GPP 5G 시스템 구조에서 기본적인 각각의 엔티티(Entity)를 간단히 요약하면 Table 1과 같다. 3GPP의 5G 시스템은 기본적으로 제어 평면(control plane)과 사용자 평면(user plane)으로 나누어진다. 제어 평면은 이동통신을 위한 제어 관련된 도메인을 의미하며, 사용자 평면은 실제 데이터 전송과 관련된 도메인을 의미한다. Fig. 1에서 (R)AN은 새로운 액세스 망(NG-RAN : New Generation Radio Access Network) 즉, 기지국을 의미하는 것이며, 단말(UE; User Equipment)에서 데이터가 N3 레퍼런스 포인트들을 통해 UPF(User Plane Function)과 DN (Data Network) N6 레퍼런스 포인트를 통해 최종 외부 네트워크로 전송되어 최종 상대방 사용자에게 전달된다[1-8]. 또한, Fig. 1에서 AMF와 SMF는 4G LTE 네트워크에서의 MME(Mobility Management Entity)의 이동성 관리 역할과 세션 관리 역할이 각각 별도로 나누어진 엔티티로써,

AMF는 단말의 이동성 관리 역할을 수행하며, SMF는 단말의 데이터 전송을 위한 세션 관리 역할을 수행한다. 또한, 5G 시스템은 기본적으로 복수의 AMF와 SMF가 동일한 단말에게 제어 서비스를 제공하는 것을 지원한다. PCF(Policy Control Function)는 사업자 과금이나 제어 정책에 대한 정보 관리를 수행하며, AF는 다양한 응용의 QoS(Quality of Service) 지원을 담당한다. UDM(Unified Data Management)은 4G LTE에서의 HSS(Home Subscriber Server) 역할을 담당하는 엔티티로써 단말의 가입자 정보를 관리한다. 더불어, 5G 시스템은 네트워크 슬라이스를 지원하는데, 이와 관련된 정보를 저장 관리하는 NSSF(Network Slice Selection Function)와 단말 인증을 담당하는 AUSF(Authentication Service Function) 엔티티로 구성되어 있다. 한편, 단말의 제어평면을 담당하는 AMF와 SMF는 단말의 비-액세스 계층(NAS) 프로토콜 (N1 레퍼런스 포인트)를 통해 N11 레퍼런스 포인트로 서로 연결된다. (R)AN에서는 기존 3GPP 액세스와 비-3GPP 액세스 (i.e. WLAN)를 통합 지원한다. 이와 같이, 5G 시스템은 크게, 단말(UE), 액세스 망(NG-RAN), 코어 망(5GCN)로 구성되어 5G 서비스를 제공하게 된다.

2. Interworking architecture between 5GS and LTE

Fig. 2는 3GPP 5G 시스템과 기존 LTE 시스템과의 상호 연동 구조를 보여준다. 일반적으로 3GPP 5G 네트워크의 경우, 기존 4G 네트워크에 비해 무선 커버리지가 상대적으로 작고 핫

스팟 형태로 초기에 구축될 것으로 예상된다. 이에, 기존 4G LTE 시스템과 5G 시스템과의 상호 연동은 이동통신 사업자와 사용자 모두 필수적인 지원 사항이다. 3GPP 5G 시스템에서는 두 가지 단일 등록 모드 (single-registration mode)와 이중 등록 모드 (dual-registration mode) 상호연동을 지원한다. 단일 등록 모드는 단말이 하나의 네트워크 시스템 즉, 5G 네트워크 시스템 혹은 LTE 네트워크 시스템에 등록하여 등록된 네트워크 시스템에 대해서만 이동성 관리를 유지하고 있는 것을 의미한다. 이중 등록 모드는 단말이 두 개의 네트워크 시스템 즉, 5G 네트워크 시스템과 LTE 네트워크 시스템에 등록하여 등록된 두 개의 네트워크 시스템에 대해서 모두 이동성 관리를 유지하고 있는 것을 의미한다. 단말은 기본적으로 단일 등록 모드를 반드시 지원해야 하며 이중 등록 모드는 선택 사항이다.

한편, 네트워크는 상호 연동을 지원하기 위해 5G 시스템의 AMF와 기존 LTE 시스템의 MME 사이의 N26 인터페이스를 이용하여 상호연동을 지원하는 방안과 N26 인터페이스를 사용하지 않고 상호연동을 지원하는 방안을 제공한다. N26 인터페이스를 이용하는 상호연동 방안의 경우, 단말이 5G 영역에서 4G LTE 영역으로 이동한 경우, 단말의 특별한 이동성 절차 없이 MME가 N26 인터페이스를 통해 AMF로부터 단말 콘텍스트 정보를 얻어와 바로 이동성 관리 및 세션 관리 수행을 하게 된다. 즉, 네트워크 기반의 상호연동 방안으로 볼 수 있다. 반면에, N26 인터페이스를 사용하지 않는 상호연동 방안의 경우, 단말이 5G 영역에서 4G LTE 영역으로 이동한 경우, 단말은 이동성 관리를 위해 어태치(Attach) 혹은 트래킹 지역 업데이트(Tracking Area Update) 요청 메시지를 MME에게 전송하여 이동성 관리 및 세션 관리 수행을 트리거링하게 된다. 이때, MME는 N26 인터페이스가 없으므로 AMF로부터 직접 단말의 콘텍스트 정보를 얻을 수 없어 S6a와 N10 인터페이스를 통해 HSS+UDM 및 SMF+PGW-C로부터 관련 단말 콘텍스트 정보를 획득하게 된다. 이 방안은 단말 기반의 상호연동 방안이라고 볼 수 있다. 이러한 두 가지 5G 시스템과 기존 LTE 시스템과의 상호 연동 구조는 사업자의 선택에 따라서 구축 및 제공될 수 있다.

Table 1. 3GPP 5G System Entities

Entities	Main Functions
UE	5G UE
(R)AN (Radio Access Network)	5GS's NR(New Radio) Access Network - Resource management - Scheduling - Access control - Paging
AMF (Access and Mobility Management Function)	5GS's Control plane entity - Registration and location update - Mobility management
SMF (Session Management Function)	5GS's Control plane entity - PDN session establishment/modification/release - Session management
UPF (User Plane Function)	5GS's User plane entity - IP address allocation - Packet routing/buffering - Paging triggering
PCF (Policy Control Function)	- Operator's policy control - Charging control

NSSF (Network Slice Selection Function)	5GS's network slice information selection and management
AUSF (Authentication Server Function)	UE's authentication information storage and management
UDM (Unified Data Management)	UE's subscription storage and management
AF (Application Function)	Data packet management for QoS guarantee
DN (Data Network)	Data traffic management between 3GPP networks and IP networks

III. Congestion Control in 3GPP 5G System

사물 통신 (IoT) 환경에서는 다양하고 수많은 사물통신 단말들이 정보를 수집하여 네트워크와 통신을 할 것으로 여겨지고 있다. 이러한 통신 환경에서는 네트워크에 혼잡 및 과부하가 발생할 가능성이 매우 높다. 따라서, 이러한 혼잡 과부하 제어 방안에 대해서 3GPP LTE 시스템에서는 Rel-10부터 표준화 작업을 진행해 왔으며, 3GPP 5G 시스템도 기본적으로 레거시 LTE 시스템에서의 혼잡 과부하 제어 방안을 그대로 적용하였다. 3GPP 5G 시스템에서의 혼잡 과부하 제어 방안이 크게 코어 네트워크의 혼잡제어와 액세스 망의 과부하 제어로 구분할 수 있다. 코어 네트워크의 혼잡제어는 비-액세스 계층(NAS) 수준 혼잡 제어 (NAS level congestion control)와 과부하 제어 (overload control)로 나누어 질 수 있다.

액세스 망의 과부하 제어 (Unified Access Control)는 과부하 상황이 발생한 경우, 단말이 무선 리소스 제어 (RRC; Radio Resource Control) 연결 요청을 기지국에 하는 것을 제어하는 방안이다. 먼저 액세스 망의 과부하 제어 방안을 살펴보고, 이후 비-액세스 계층(NAS) 수준 혼잡 제어 방안과 과부하 제어 방안을 살펴본다.

1. Unified Access Control

3GPP 5G 시스템에서는 액세스 망의 과부하 제어 방안을 통합 액세스 제어 (UAC; Unified Access Control)라고 불린다. 기존 레거시 LTE 시스템에서는 다양한 액세스 망의 과부하 제어 방안들 (ACB(Access Class Barring), EAB(Extended Access Barring), ACDC(Application specific Congestion control for Data Communication))이 제공되었으나, 3GPP 5G 시스템에서는 이러한 방안들을 모두 고려하여 통합된 액세스 망의 과부하 제어 방안을 제공한다. 통합 액세스 제어는 기본적으로 액세스 망의 과부하 상황이 발생한 경우, 5G 기지국이 브로드캐스트 채널의 시스템 정보 블록 (SIB; System Information Block)으로 액세스 카테고리(Access Category)에 기반을 둔 제어(barring) 정보 (barring factor, barring time)를 단말에게 제공하고 단말은 이동성 관리 및 세션 관리를 위한 비-액세스 계층(NAS) 제어 메시지 요청을 네트워크에 전송하고자 할 때 상응하는 무선 리소스 제어(RRC) 연결 요청을 기지국에게 했을 경우, 액세스 카테고리 정보에 기반하여

해당 무선 리소스 제어(RRC) 연결 요청을 거절하게 된다. 이때, 단말은 제공된 제어 타이머(barring 타이머) 값을 저장하게 되고, 이 타이머가 만료되기 전까지는 무선 리소스 제어(RRC) 연결 요청 메시지를 기지국에게 전송하지 않는다. 이러한 통합 액세스 제어 방안은 액세스 망의 혼잡 과부하 제어를 위해 관련 정보를 단말에게 제공하여 단말이 액세스 제어를 수행하는 방안으로써 단말의 액세스 계층(AS)이 수행한다 [3, 5, 8].

한편, 단말이 응급 통화(emergency call), 수신 통화(MT; Mobile Terminated call)의 페이징 응답을 하거나, 상위 순위 서비스들(high priority services) 요청에 대한 무선 리소스 제어(RRC) 연결 요청에 대해서는 예외적으로 통합 액세스 제어를 적용하지 않는다.

2. NAS level congestion control with Back-off mechanism

3GPP 5G 시스템에서의 비-액세스 계층(NAS) 수준 혼잡 제어는 이동성 관리 혼잡제어 (mobility management congestion control)와 세션 관리 혼잡제어 (session management congestion control)로 나누어질 수 있다. 비-액세스 계층(NAS) 수준 혼잡제어 방안은 기본적으로 백오프 메커니즘을 의미한다. 백오프 메커니즘이란 코어 네트워크 혼잡 상황 시, 네트워크는 단말의 접속 또는 연결 요청을 거절하며 백오프 타이머 값을 제공하게 되는데, 단말은 네트워크로부터 제공된 값으로 설정된 백오프 타이머가 동작 만료가 될 때까지 접속 혹은 연결 요청을 하지 않는다. 이렇게 단말의 접속 혹은 연결 요청을 금지함으로써 혼잡 상황을 해소하는 것이다. 기본적으로 단말의 접속 혹은 연결 요청은 비-액세스 계층(NAS) 요청 메시지를 통해서 수행된다[1, 3, 7, 8].

이동성 관리 혼잡제어는 단말의 접속, 위치 등록, 대기 모드에서 서비스 연결을 위해 연결 모드 전환을 위한 서비스 요청을 위한 관련 비-액세스 계층(NAS) 메시지들 요청 (등록 요청, 서비스 요청)에 대한 혼잡제어를 의미한다. 이동성 관리 혼잡제어는 단말 별로 수행되며, 네트워크가 단말에게 제공하는 백오프 타이머 (MM(Mobility Management) 백오프 타이머; T3346)는 기본적으로 코어 네트워크가 랜덤 값을 단말에게 제공하며, 만약 비-액세스 계층(NAS) 요청 메시지를 혼잡 제어 때문에 거절하는데 백오프 타이머를 제공하지 않는 경우, 단말은 15 ~ 30 분 사이의 임의의 랜덤 값을 기본 값으로 설정 사용한다. 세션 관련 혼잡제어는 단말의 서비스 연결을 위한 세션 설정, 수정 및 활성화 요청을 위한 비-액세스 계층(NAS) 메시지들 요청 (PDU 세션 설정 요청, PDU 세션 수정 요청)에 대한 혼잡제어를 의미한다. 세션 관리 혼잡제어는 크게 3가지 방안이 있는데, DNN(Data Network Name) 기반 혼잡제어, S-NSSAI(Single-Network Slice Selection Assistance Information) 기반 혼잡제어, S-NSSAI and DNN 기반 혼잡제어 방안으로 나누어질 수 있다. DNN이란 단말의 서비스 접속을 위한 논리적인 접속 이름을 의미하는 것으로써 4G LTE 시스템에서의 APN(Access Point Name)과 동일한 개념이며,

3GPP 5G 시스템에서는 기본적으로 세션 연결이 DNN 단위로 설정되어 관리된다. S-NSSAI란 네트워크 슬라이스를 구분하는 정보로써 S-NSSAI 기반 혼잡제어 방안의 경우, DNN 기반이 아닌 S-NSSAI 정보 기반의 세션 혼잡제어 방안을 의미한다. S-NSSAI and DNN 기반 혼잡제어 방안의 경우에는 S-NSSAI 정보와 DNN 정보를 모두 고려한 세션 혼잡제어 방안을 의미한다. 세 가지 세션 관리 혼잡제어 방안에 따라서 네트워크가 단말에게 제공하는 백오프 타이머 (SM(Session Management) 백오프 타이머)는 각각 다르며 (T3346 for DNN 기반 혼잡제어, T3585 for S-NSSAI 기반 혼잡제어, T3584 for S-NSSAI and DNN 기반 혼잡제어 방안), 기본적으로 코어 네트워크가 랜덤 값을 단말에게 제공하며, 최대 70 시간 값을 가질 수 있다. 만약 비-액세스 계층(NAS) 요청 메시지를 혼잡 제어 때문에 거절하는데 백오프 타이머를 제공하지 않는 경우, 단말은 10 ~ 30 분 사이의 임의의 랜덤 값을 기본 값으로 설정 사용한다.

이러한 이동성 관리 혼잡제어와 세션 관리 혼잡제어는 서로 독립적으로 수행되며, MM 백오프 타이머 T3346과 SM 백오프 타이머 T3396은 3GPP 5G 시스템과 기존 레거시 LTE 시스템에서 모두 동일하게 적용되어 동작된다. 하지만, 3GPP 5G 시스템에서 새롭게 도입된 SM 백오프 타이머 T3584와 T3585는 오직 5G 시스템에서만 적용되어 동작된다.

한편, 단말이 응급 통화(emergency call), 수신 통화(MT; Mobile Terminated call)의 paging 응답을 하거나, 상위 순위 서비스들(high priority services)을 요청하는 경우는 예외적으로 백오프 타이머가 동작되고 있더라도 바로 해당 서비스 요청을 5G 네트워크 시스템에게 전송할 수 있다.

3. Core Network Overload Control

코어 네트워크 과부하 제어는 5G 코어 네트워크가 직접 혼잡 과부하 제어를 하는 것이 아니라, 혼잡 과부하 상황 시 (혹은 예상될 때) 5G 코어 네트워크가 5G 기지국에 과부하 제어 시작 메시지를 전달한다. 이후 5G 기지국은 단말의 무선 리소스 제어(RRC) 연결 요청을 거절하게 되어 혼잡 과부하를 사전에 제어하는 방식이다. 이때, 무선 리소스 제어(RRC) 연결 요청에 대한 과부하 제어는 단말과 코어 네트워크 간의 데이터 전송을 위한 요청과 제어 신호 전송을 위한 요청에 대해서 각각 과부하 제어를 수행할 수 있다. 또한, 단말의 AS 계층에 포함하는 요청 NSSAI(Network Slice Selection Assistance Information)에 대한 무선 리소스 제어(RRC) 연결 요청을 해제하여 과부하 제어를 수행할 수도 있다. 5G 코어 네트워크에서 혼잡 과부하 상황이 해결된 후, 5G 코어 네트워크가 5G 기지국에 과부하 제어 종료 메시지를 전달한다. 이후 5G 기지국은 단말의 무선 리소스 제어(RRC) 연결 요청을 수락하게 된다. 또한, AMF가 얼마만큼의 무선 리소스 제어(RRC) 연결 요청을 거절하지에 대한 %정보를 과부하 제어 메시지를 통해 5G 기지국에 제공하여 5G 기지국이 과부하 제어 수행 시 이를 반영하여 단말의 무선 리소스 제

어(RRC) 연결 요청을 거절 할 수 있다[1, 6].

한편, 단말이 응급 통화(emergency call), 수신 통화(MT; Mobile Terminated call)의 paging 응답을 하거나, 상위 순위 서비스들(high priority services) 요청에 대한 무선 리소스 제어(RRC) 연결 요청에 예외적으로 코어 네트워크 과부하 제어를 적용하지 않는다.

IV. Proposed Efficient Congestion Control Scheme

1. Congestion Control in 3GPP 5G System for Interworking with legacy LTE System

기본적으로 T3396 백오프 타이머는 3GPP 5G 시스템과 기존 레거시 LTE 시스템에서 동일하게 적용된다. 따라서 단말이 5G 영역과 LTE 영역 사이를 이동하는 경우에 T3396은 동일하게 적용된다. 일반적으로 3GPP 5G 네트워크의 경우, 기존 4G 네트워크에 비해 무선 커버리지가 상대적으로 작고 핫스팟 형태로 초기에 구축될 것으로 예상되므로, 단말이 5G 영역에서 서비스를 제공 받고 있다가, 5G 커버리지 영역을 벗어나서 4G 커버리지 영역으로 이동되어 4G LTE 서비스를 제공받는 경우가 빈번할 것으로 예상된다. 더불어, 사업자 입장에서 5G 시스템과 기존 4G LTE 시스템과의 상호 연동을 지원하는 경우, 비용적인 측면을 고려해서 N26 인터페이스를 구축하지 않는 경우가 많을 것으로 예상된다. 이러한 3GPP 5G 시스템과 레거시 LTE 시스템이 공존하는 환경을 고려해 볼 때, 다음과 같은 심각한 문제 시나리오가 발생하게 된다.

1) 3GPP 5G 시스템에서 서비스를 받고 있던 단말이 네트워크 혼잡 상황 시, DNN 기반 혼잡제어가 적용될 수 있다. 이 경우, 5G 코어 네트워크는 단말에게 단말의 NAS 메시지 요청들에 대해 거절하면서 SM 백오프 타이머 (T3396) 값을 제공할 수 있으며, 단말은 제공받은 상기 백오프 타이머를 동작시키고 백오프 타이머가 만료되기 전까지는 해당 DNN에 대한 세션 연결 및 수정 요청을 할 수가 없다.

2) 단말이 5G 시스템 커버리지 영역을 벗어나 LTE 커버리지 영역으로 이동한다. 이때, 단말은 LTE 시스템에 위치 등록 및 5G 시스템에서 서비스 받고 있던 세션을 LTE 시스템으로 이동시키기 위해 어태치 요청 with PDN 연결 메시지를 전송해야 하는데, 만약 해당 백오프 타이머와 연관된 DNN에 기반한 어태치 요청 with PDN 연결 메시지인 경우 백오프 타이머가 동작되고 있으므로 단말은 어태치 요청 with PDN 연결 메시지를 전송할 수 없게 된다. 결국, 단말은 5G 커버리지 영역에서 벗어났기 때문에 4G 커버리지 영역에서 서비스를 받고자 함에도 불구하고 4G LTE 시스템에 등록조차 하지 못하게 되어 서비스 제공이 불가능하게 된다.

3) 만약 해당 백오프 타이머와 연관되지 않은 DNN에 기반

한 어태치 요청 with PDN 연결 메시지인 경우, 동작되고 있는 백오프 타이머와 무관하므로 단말은 해당 메시지를 LTE 네트워크에 전송할 수 있으며, 최종적으로 LTE 시스템에 등록을 할 수 있다. 하지만, 이후 5G 시스템에서 서비스를 받고 있던 세션들을 4G 시스템으로 이동시켜야 하므로, LTE 시스템 등록 절차 이후, 나머지 세션들을 이동시키기 위한 PDN 연결 절차를 수행하게 되는데, 이때 해당 백오프 타이머와 연관된 DNN에 기반한 PDN 연결 절차는 동작되고 있는 백오프 타이머로 인해서 전송할 수가 없게 된다. 결국은 세션 이동 절차가 완전하게 완료될 수 없다.

4) 또한, 상기 2)와 3)의 시나리오에서 해당 동작되고 있는 백오프 타이머와 연관된 DNN에 기반한 어태치 요청 with PDN 연결 메시지나 PDN 연결 요청 메시지 전송이 실패한 경우, 만약 단말에게 수신 데이터가 네트워크에 도착한 경우, 코어 네트워크에서는 아직 단말이 4G 시스템으로의 등록 또는 세션 이동이 실패되었기 때문에 5G 커버리지 영역으로 수신 데이터를 해당 단말에게 전달하려고 하지만, 해당 단말은 이미 5G 커버리지 영역을 벗어나 4G 커버리지 영역에 있으므로 결과적으로 수신 데이터 전달이 실패되게 된다. 즉, 수신 데이터 유실 및 사용자에게 수신 및 끊김 없는 데이터 서비스 제공 실패를 초래하게 된다.

상기 시나리오 1) ~ 4)는 초기 5G 네트워크와 4G LTE 네트워크가 상호 존재하는 상황에서 커버리지 및 핫스팟 구축 등으로 인하여 빈번하게 발생 할 수 있으며, 이에 따른 심각한 서비스 단절 문제를 초래할 수 있다.

따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 제안하는 효과적인 혼잡 제어 방안에 대해서 살펴본다.

2. Efficient Congestion Control (ECC) Scheme

본 논문에서는 상기 문제점의 해결 방안으로 5G 코어 네트워크에서 단말의 위치 정보에 기반하여 5G 커버리지 영역에서 벗어나 4G 커버리지 영역으로 이동이 예상되는 시점에 단말에게 상호연동을 위한 오버라이딩 인디케이션(overriding indication for interworking)을 제공한다. 5G 코어 네트워크로부터 상기 상호연동을 위한 오버라이딩 인디케이션 정보를 제공받은 단말은 비록 백오프 타이머가 동작되고 있더라도 이것을 오버라이딩하고 4G 커버리지 영역으로 이동해서 LTE 시스템으로 어태치 요청 with PDN 연결 혹은 PDN 연결 요청 메시지를 전송하여 LTE 시스템에 등록 및 이전 서비스 받고 있던 세션을 LTE 시스템으로 이동을 성공적으로 수행할 수 있다. 구체적인 제안하는 효과적인 혼잡 제어 방안 (ECC; Efficient Congestion Control scheme)은 다음과 같다.

1) 5G 코어 네트워크는 DNN 기반 혼잡 제어를 동작하고 있다. 더불어, 5G 코어 네트워크는 이동성 관리 혼잡 제어를 별도로 동작하고 있을 수 있다.

2) 5G 코어 네트워크 (AMF or SMF)는 단말의 위치 정보에 기반하여 단말이 5G 커버리지 영역에서 벗어나 4G 커버리지 영

역으로 이동이 예상되는 시점을 인지한다. 이것은 단말이 이전에 5G 코어 네트워크에 위치 등록 업데이트 혹은 주기적인 위치 등록 업데이트 절차 (Registration update procedure)를 통해 파악할 수 있거나, 단말이 주기적으로 위치 정보를 네트워크에 제공하여 (UE location update procedure) 파악할 수 있다.

3) 5G 코어 네트워크 (AMF or SMF)는 단말의 위치 정보에 기반하여 단말이 5G 커버리지 영역에서 벗어나 4G 커버리지 영역으로 이동하는 경우, 상호연동을 위한 오버라이딩 인디케이션(overriding indication for interworking) 정보를 제공한다. 이것은 단말이 위치 등록 업데이트 혹은 세션 연결/수정 요청을 한 것에 대한 응답 메시지에 포함하여 제공하거나 (등록 거절 메시지 또는 PDU 세션 설정/수정 거절 메시지), 아니면, 단말의 요청과 무관하게 네트워크가 단말에게 직접 제공할 수 있다. 한편 이때, 5G 코어 네트워크는 DNN 기반 혼잡 제어 (혹은 별도로 이동성 관리 혼잡 제어)를 동작하고 있을 수 있다. 따라서, 상기 거절 메시지에 상호연동을 위한 오버라이딩 인디케이션과 더불어, 백오프 타이머 (SM 백오프 타이머 or MM 백오프 타이머)를 포함하게 된다. 이에 단말은 네트워크로부터 제공받은 백오프 타이머를 동작하고 있다.

4) 단말이 5G 커버리지 영역에서 벗어나 4G 커버리지 영역으로 이동한 경우, 현재 백오프 타이머가 동작되고 있더라도 네트워크로부터 상호연동을 위한 오버라이딩 인디케이션을 제공받은 경우, 동작하고 있는 백오프 타이머를 오버라이딩하여 4G 네트워크에 어태치 with PDN 연결 요청 혹은 PDN 연결 요청 메시지를 전송하게 된다.

5) 4G 코어 네트워크에서 단말이 전송한 어태치 요청 with PDN 연결 혹은 PDN 연결 요청 메시지를 성공적으로 수행하여 해당 단말의 위치 등록 및 서비스를 받고 있던 세션 이동 절차를 성공적으로 완료하게 된다.

결국, 5G 코어 네트워크에서 5G 커버리지 영역에서 벗어나 4G 커버리지 영역으로 이동하는 단말에게 동작되고 있는 백오프 타이머를 오버라이딩하여 관련 비-액세스 계층(NAS) 메시지를 LTE 시스템에 전송할 수 있도록 상호연동을 위한 오버라이딩 인디케이션을 제공하여 단말과 LTE 네트워크가 성공적으로 위치 등록 및 세션 이동을 수행할 수 있도록 하는 효과적인 방안이다.

V. Simulation and Evaluation

본 장에서는 현재 3GPP 5G 시스템에서의 혼잡 제어 방안과 본 논문에서 제안하는 Efficient Congestion Control (ECC) 방안에 대해서 성능평가를 실험을 통해서 살펴보고자 한다. 일단, 5G 코어 네트워크에서 혼잡 제어를 수행하고 있으며, 단말이 서비스를 제공받기 위해 하나의 세션이 연결되어 있다고 가정하였다. MATLAB[15]을 사용하여 실험하였으며, 실험 환경은 Table 2와

같다. 실험 파라미터 가운데 MM 백오프 타이머 값은 30 분, SM 백오프 타이머 값은 60 분으로 정하였다. Mitigation factor (완화 계수)란 혼잡 상황에서 코어 네트워크가 정상 상태로 돌아온 계수를 의미하는 것으로 1.0은 기본 설정 백오프 타이머 값 대비 100% 정도 지나서 혼잡 상황에서 정상 상태로 돌아왔다는 것을 의미하며, 0.7은 기본 설정 백오프 타이머 값 대비 70% 정도 지나서 혼잡 상황에서 정상 상태로 돌아왔다는 것을 의미한다. 네트워크는 기본 백오프 타이머 값과 완화 계수를 고려하여 단말에게 백오프 타이머를 제공하게 된다. 또한, 실험에 적용된 지연 파라미터들은 실제 3GPP 5G 시스템 및 LTE 시스템에서 측정될 수 있는 값들이다[1, 3, 5, 10, 12].

Table 2. Simulation Environment

Parameters	Values
Traffic model	Exponential dist. with mean 10(s)
UE processing delay	3 (ms)
Buffering delay	0.5 (ms)
Retransmission (10%) in 5GS	0.8 (ms)
Retransmission (10%) in LTE	1.6 (ms)
Transmission delay in 5GS	1 (ms)
Transmission delay in LTE	2 (ms)
5G RAN processing delay	2 (ms)
LTE RAN processing delay	4 (ms)
5G core network delay	0.5 (ms)
LTE core network delay	1 (ms)
MM backoff timer	30 min
SM backoff timer	60 min
Mitigation factor	$\omega = 1.0, 0.7$

Fig. 3은 SM 혼잡 제어 관련 중단간 지연(end-to-end delay)을 나타낸 결과이다. 기본적으로 단말 개수가 많으면 많을수록 데이터 전송 시 지연(delay)이 증가하게 되는데 종래의 3GPP 혼잡 제어 방안인 3GPP CC(Congestion control)의 경우, 단말이 5G 커버리지 영역에서 벗어나 4G 커버리지 영역으로 이동하여 LTE 시스템에 등록 및 세션 이동을 시도 하는데, 네트워크에서 제공된 SM 백오프 타이머가 다 만료 될 때까지 기다린 후, 해당 절차를 수행 후, 단말은 데이터 전송을 보내게 되어서 중단간 지연(end-to-end delay)이 가장 크다. 완화 계수가 1.0인 경우, 네트워크에서 기본 설정된 SM 백오프 타이머를 그대로 단말에게 제공한 것을 의미함으로써 백오프 타이머 값이 상대적으로 크다. 완화 계수가 0.7인 경우, 네트워크에서 기본 설정된 SM 백오프 타이머에 비해 70% 정도를 단말에게 제공한 것을 의미함으로써 백오프 타이머 값이 상대적으로 작다. 따라서 완화 계수가 0.7인 경우 상대적으로 SM 혼잡 제어 관련 중단간 지연이 작게 된다.

반면에, 본 논문에서 제안하는 ECC 기법은 네트워크로부터 제공받은 SM 백오프 타이머에 상관없이 오버라이딩하여 어태치 요청 with PDN 연결 메시지 혹은 PDN 연결 요청 메시지를 바로 LTE 시스템에 전송하여 위치 등록 절차 및 세션 이동

을 수행할 수 있다. 이후 데이터 전송을 수행할 수 있어 그만큼 종단간 지연이 감소하게 된다. 따라서 단말이 5G 커버리지 영역에서 벗어나 4G 커버리지 영역으로 이동하는 상황에서 종래의 3GPP 혼잡 제어 방안 보다 백오프 타이머 동작과 상관없이 신속하게 네트워크에 접속, 위치 등록 및 세션 이동 과정을 수행할 수 있으므로 데이터 혹은 서비스 제공 지연을 최소화할 수 있어 효율적인 데이터 전송을 할 수 있다.

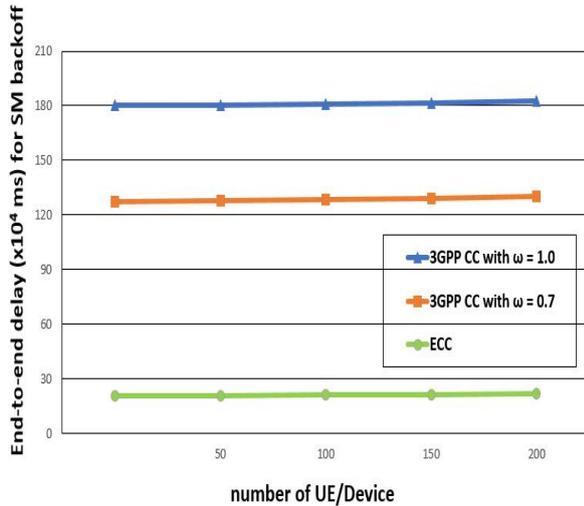


Fig. 3. End-to-end delay for SM 백오프

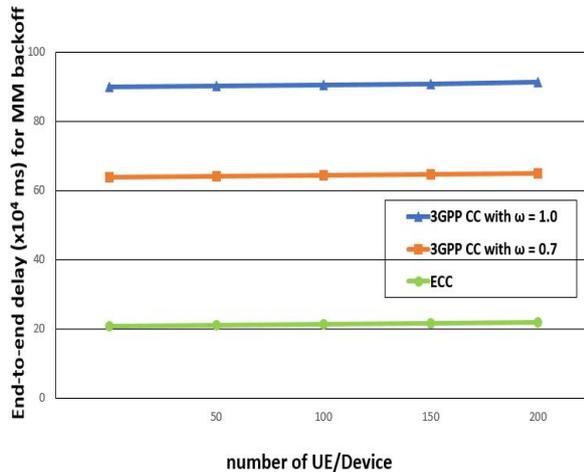


Fig. 4. End-to-end delay for MM 백오프

Fig. 4는 MM 혼잡 제어 관련 종단간 지연을 나타낸 결과이다. SM 혼잡 제어때와 마찬가지로, 종래의 3GPP 혼잡 제어 방안인 3GPP CC(Congestion control)의 경우, 단말이 5G 커버리지 영역에서 벗어나 4G 커버리지 영역으로 이동하여 LTE 시스템에 등록 및 세션 이동을 시도 하는데, 네트워크에서 제공된 MM 백오프 타이머가 다 만료 될 때까지 기다린 후, 해당 절차를 수행 후, 단말은 데이터 전송을 보내게 되어서 종단간 지연이 가장 크다.

반면에, 본 논문에서 제안하는 ECC 기법은 네트워크로부터 제공받은 MM 백오프 타이머에 상관없이 오버라이딩하여 어태치 요청 with PDN 연결 메시지를 바로 LTE 시스템에 전송하

여 위치 등록 절차 및 세션 이동을 수행할 수 있다. 이후 데이터 전송을 수행할 수 있어 그만큼 종단간 지연이 감소하게 된다. 따라서 단말이 5G 커버리지 영역에서 벗어나 4G 커버리지 영역으로 이동하는 상황에서 종래의 3GPP 혼잡 제어 방안 보다 백오프 타이머 동작과 상관없이 신속하게 네트워크에 접속, 위치 등록 및 세션 이동 과정을 수행할 수 있으므로 데이터 혹은 서비스 제공 지연을 최소화할 수 있어 효율적인 데이터 전송을 할 수 있다. 실험 결과, 종래 혼잡 제어 방안과 비교하여 제안하는 ECC 기법이 3GPP 혼잡 제어에 비해 완화계수와 상관없이 현저히 종단간 지연 개선 효과가 있음을 확인할 수 있으며, 실제로 5G 네트워크와 4G LTE 네트워크가 공존하는 환경에서 데이터 전송 지연 최소화를 요구하는 5G 응용 서비스 요구사항에 상당히 적합한 혼잡 제어 기법이라고 판단된다.

VI. Conclusions

본 논문에서는 최근 3GPP 5G 시스템의 표준화 작업과 혼잡 제어 방안에 대해서 살펴보았으며, 5G 시스템과 레거시 LTE 시스템이 공존하는 상황에서 기존 3GPP 혼잡 제어 방안의 문제점을 고찰해 보고, 효율적인 데이터 전송을 위한 개선된 혼잡 제어 기법 (ECC)을 제안하였다. 일반적으로 단말이 5G 코어 네트워크에서 5G 커버리지 영역에서 벗어나 4G 커버리지 영역으로 이동하는 상황에서, 기존 3GPP 5G 시스템에서의 혼잡 제어 방안의 경우, 동작되고 있는 백오프 타이머 때문에 단말은 4G 시스템에 접속, 위치 등록 및 세션 이동을 수행할 수 없어 서비스 지연 및 단절 문제가 발생한다.

반면, 제안하는 방안은 5G 코어 네트워크에서 5G 커버리지 영역에서 벗어나 4G 커버리지 영역으로 이동하는 단말에게 동작되고 있는 백오프 타이머를 오버라이딩하여 관련 NAS 메시지를 LTE 시스템에 전송할 수 있도록 상호연동을 위한 오버라이딩 인디케이션(overriding indication for interworking)을 제공하여 단말이 동작되고 있는 백오프 타이머를 오버라이딩하여 이동하는 LTE 네트워크에 성공적으로 위치 등록 및 세션 이동을 수행할 수 있도록 하여 끊김 없는 서비스 제공을 보장하는 효과적인 방안이다. 이러한 혼잡 제어 최적화 기법은 5G 기지국의 액세스 망 제어와 함께 연구되어 향후, 3GPP 5G 시스템 표준화 작업 페이스(phase) 2를 통해서 지속적으로 연구 개선되어야 할 것이다.

REFERENCES

- [1] 3GPP TS 23.501 v15.3.0: "System Architecture for the 5G System; Stage 2".

- [2] 3GPP TS 23.502 v15.3.0: "Procedures for the 5G System; Stage 2".
- [3] 3GPP TS 24.501 v15.1.0: "Non-Access-Stratum (NAS) protocol for 5G System (5GS); Stage 3".
- [4] 3GPP TS 22.261 v15.6.0: "Service requirements for next generation new services and markets; Stage 1".
- [5] 3GPP TS 38.331 v15.3.0: "NR; Radio Resource Control (RRC); Protocol specification".
- [6] 3GPP TS 38.413 v15.1.0: "NG-RAN; NG Application Protocol (NGAP)".
- [7] 3GPP TS 23.401 v15.5.0: "General Packet Radio Service (GPRS) enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) access".
- [8] 3GPP TS 24.301 v12.5.0: "Non-Access-Stratum (NAS) protocol for Evolved Packet System (EPS); Stage 3".
- [9] A. Ksentini, Y. Hadjadj-Aoul, and T. Taleb, "Cellular-based machine-to-machine: overload control," *IEEE Networks*, Vol. 26, No. 6, pp. 54-60, Dec. 2012.
- [10] F. Ghavimi and H. Chen, "M2M communications in 3GPP LTE/LTE-A Networks: Architectures, Service Requirements, Challenges and Applications," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 17, No. 2, pp. 525-549, Oct. 2015.
- [11] M. Tavana, V. Shah-Mansouri and V. W.S.-Wong, "Congestion control for bursty M2M traffic in LTE networks," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications*, pp. 5815-5820, Jun. 2015.
- [12] C. Chang, Y. Lin, Y. Ren and J. Chen, "Congestion Control for Machine-Type Communications in LTE-A Networks," in *Proceedings of the IEEE Global Communications Conference*, pp. 1-6, Dec. 2016.
- [13] D. Aragao, D. Vierira, and M. Franklin-de-Castro, "A mechanism to control the congestion in machine-to-machine communication in LTE-A networks," in *Proceedings of the IEEE Symposium on Computers and Communications*, pp. 794-797, Jul. 2017.
- [14] H. Mzoughi, F. Zarai, M. S. Obaidat, and L. Kamoun, "3GPP LTE-Advanced Congestion Control Based on MIH Protocol," *IEEE System Journal*, Vol. 11, No. 4, pp. 2345-2355, Dec. 2017.
- [15] MATLAB: <http://www.mathworks.co.kr>.

Authors



Seog-Gyu Kim received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in Electronic Engineering from Yonsei University, Korea, in 1990, 1992 and 1997, respectively. He worked as senior researcher in SK Telecom from 1997 to 2004. He joined the faculty of the

Department of Information & Communication Engineering, Andong National University in 2006. He is currently a Professor in the Dept. of Information & Communication Engineering, Andong National University. He is interested in Next-generation network like 5G network, mobile computing, AI and IoT.