

이동통신망에서의 VoLTE 트래픽 분류 방법에 관한 연구

현중환¹, 리건², 임채태³, 유재형¹, 홍원기¹

¹ 포항공과대학교 컴퓨터공학과

² 포항공과대학교 정보전자융합공학부

³ 한국인터넷진흥원

^{1,2}{noraki, gunine, styoo, jwkhong}@postech.ac.kr

³ chtim@kisa.or.kr

요 약

2012년 8월, 국내에서 All-IP 기반의 LTE 네트워크에서 고품질의 음성 및 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있는 VoLTE(Voice over LTE) 서비스가 상용화되었다. VoLTE 트래픽 양은 사업자 간 VoLTE 서비스 연동에 대한 표준화 완료, VoLTE 지원 단말 증가 등으로 인해 갈수록 증가할 것으로 예측되며, 이에 따라 VoLTE 서비스 품질 관리가 중요해질 전망이다. 본 논문에서는 VoLTE 통화 세션 수립에 사용되는 SIP/SDP 패킷 분석을 통해, 이동통신망에서 VoLTE 패킷을 분류할 수 있는 트래픽 분류 구조를 제안하고 제안한 방법의 처리 속도를 측정하였으며, commodity 서버를 사용하여 분산처리 및 병렬처리 기술을 적용함으로써 트래픽 처리 성능을 향상시키기 위한 구조를 제안한다.

1. 서론

국내의 인터넷 트래픽은 매년 40% 이상 증가하고 있다. 모바일 트래픽은 2016년 전세계 모바일 데이터 트래픽이 2011년 대비 18 배가량 증가할 것이며, 이는 유선 데이터 트래픽의 3 배에 이를 것으로 예측된다[1]. 국내에서도 최근 수 년간 스마트폰을 비롯한 각종 모바일 단말의 보급과 LTE(Long Term Evolution) 서비스 시장의 급성장으로 인해 모바일 트래픽이 꾸준히 증가하고 있다. 2011년 7월 국내에서 LTE 서비스가 처음으로 시작된 이후 2년 만에 가입자 2400만 명을 돌파하였으며, 그에 따라 모바일 트래픽도 폭증하고 있다. 2012년 1월 이후 모바일 트래픽은 2.65 배 증가하였으며, 그 중 LTE 트래픽은 약 19 배 증가하였다[2].

VoLTE (Voice over LTE) 서비스는 패킷 교환 방식만을 지원하는 All-IP 기반의 LTE 네트워크에서 음성 서비스 및 단문 메시지 서비스(SMS)를 지원하기 위해 개발되었다. 국내에서는 2012년 8월 VoLTE 서비스가 상용화되었으며 현재는 이동통신 3개 사업자 모두 VoLTE 서비스를 제공하고 있다.

2013년 9월 이동통신 3개 사업자 간에 VoLTE 서비스 연동에 관한 규격 표준화가 완료되어 서로 다른 통신사 가입자 간에 VoLTE 통화가 가능해질 전망이다. LTE 가입자 수 증가, VoLTE 지원 단말의 증가로 인해 VoLTE 트래픽 양은 갈수록 증가할 것으로 예측된다. 또한 2016년 전 세계 VoLTE 시장은 20억 달러에 이를 것으로 전망되며, 전 세계 통신사업자들이 네트워크 효율 증대 및 운영비용 절감, 수익 확대 등을 위한 방안으로 VoLTE 서비스를 도입할 것으로 분석된다[3].

본 연구는 미래부가 지원한 2013년 정보통신·방송(ICT) 연구개발사업의 연구결과로 수행되었음.

기존 3G 네트워크에서는 AMR (Adaptive Multi Rate) 음성 코덱을 사용하여 음성 서비스를 제공하였으며, 이는 유선 전화와 비슷한 음성 품질을 제공한다. 이에 비해 VoLTE 서비스는 AMR-WB (AMR-WideBand) 음성 코덱을 사용하여 좀 더 넓은 음성 대역폭과 높은 비트레이트를 제공하여 향상된 품질의 통화 서비스를 제공할 수 있다. 또한, VoLTE 서비스는 통화 연결 시 망 내부에서 별도의 QCI (QoS Class Identifier) 및 무선 베어러(Bearer)를 할당하기 때문에 QoS를 보장할 수 있어 Skype, Viber 등의 mVoIP (mobile VoIP) 서비스들보다 양질의 서비스를 제공할 수 있다. VoLTE 트래픽이 갈수록 증가할 것으로 예상되는 현 상황에서 이러한 고품질의 서비스를 제공하기 위해서는 지속적인 품질 관리가 필수적이다. 이를 위한 첫 단계로 이동통신망에서 VoLTE 트래픽의 검출에 관한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 이동통신망에 적용 가능한 VoLTE 트래픽 분류 구조를 제안하고 그 처리 속도를 측정하며, 분산처리 및 병렬처리 기술을 적용하여 트래픽 분류 속도를 향상시킬 수 있는 트래픽 분류 시스템 구조를 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 VoLTE 및 VoIP 트래픽 분류와 관련된 연구들에 대해 소개하고, 3 장에서는 VoLTE 서비스에 사용되는 프로토콜에 대해 알아본다. 4 장에서는 제안하는 VoLTE 트래픽 분류 방법 및 성능에 대해 살펴보고, 5 장에서는 트래픽 처리 속도 향상을 위한 분산처리 및 병렬처리 구조에 대해 소개한다. 6 장에서는 결론 및 향후 연구 계획에 대해 기술한다.

2. 관련 연구

VoLTE 는 기존의 VoIP 서비스와 동일하게 SIP(Session Initiation Protocol)를 사용하여 세션을 수립한 후, 음성, 영상, 문자 등의 멀티미디어 데이터를 RTP (Real-time Transport Protocol)를 통해 전송한다.

이와 같이 RTP와 SIP를 사용한 멀티미디어 세션 트래픽을 탐지하는 방법은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 RTP 세션을 수립하는 SIP 트래픽을 분석하여 얻은 정보를 바탕으로 멀티미디어 데이터를 전송하는 트래픽을 분류하는 방법이며, 두 번째 방법은 RTP 세션 트래픽 자체를 분류해내는 방법이다. 첫 번째 방법의 정확도가 높지만, 전체 패킷 페이로드에 접근할 수 있어야 한다. 이러한 제약조건 때문에 RTP 트래픽만을 분류해내는 두 번째 방법에 대한 연구가 주로 진행되고 있다[4].

RTP 는 세션 생성 시 임의의 포트를 할당하여 사용하기 때문에 포트 기반 분류 방법을 사용할 수 없으며, 모든 UDP 패킷에 대해 RTP 트래픽 분류 방법을 적용하여야 한다. L7-filter[5]에서는 개별 UDP 패킷에 적용할 수 있는 바이너리 형태의 시그니처를 제공하며, 시그니처와 일치하는 패킷을 RTP 패킷으로 분류한다. 이 시그니처는 RTP 헤더의 각 필드에서 가질 수 있는 값들을 조합한 것으로, 그림 1에 표시된 바와 같이 RTP 버전 필드(V, 2 비트), Padding 필드(P, 1 비트), Extension 비트(X, 1 비트), Contributing source identifier count 필드(CC, 4 비트), Payload type 필드(PT, 7 비트)로 구성되어 있으나 정확도는 그리 높지 않다.

8	7	6	5	4	3	2	1	
V=2	P=0	X=0	CC=0					1
M	PT = 0~34, 96~127							2
Sequence number								3~4
Timestamp								5~8
Synchronization source (SSRC) identifier								9~12
Contributing source (CSRC) identifiers								13~

그림 1 RTP 패킷 헤더 구조

패킷 단위가 아닌 UDP 플로우 단위로 RTP 스트림을 분류하는 휴리스틱 알고리즘에 대한 연구도 진행되었다[4][6]. 하나의 RTP 스트림을 구성하는 패킷들은 RTP 버전 필드, Synchronization source identifier 필드, 페이로드 타입 필드의 값이 모두 일정하여야 하며, sequence number는 일정하게 증가하여야 한다는 특성을 사용하여 UDP 스트림으로부터 RTP 스트림을 분류하였다.

이러한 방법들은 VoIP 및 VoLTE에 사용되는 RTP 트래픽을 분류해낼 수 있지만, 동일하게 RTP를 사용하여 멀티미디어 데이터를 주고받는 VoIP와 VoLTE 트래픽간의 구분이 어렵다.

본 연구에서는 SIP 패킷 분석을 통해 RTP 트래픽 분류뿐 아니라 VoLTE에 사용되는 RTP 트래픽만을 분류해낼 수 있는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 SIP 패킷으로부터 RTP 세션에 사용되는 포트, 코덱 등 RTP 세션에 대한 메타데이터를 얻을 수 있기 때문에 VoIP와 VoLTE 트래픽 분류가 가능하다. 또한, SIP 패킷 및 RTP 패킷 모두 IP 및 포트 정보를 사용하여 분류를 수행하기 때문에 RTP 패킷의 페이로드를 분석하지 않아도 되는 장점이 있다. 그리고 5장에서 제안하는 분산처리 및 병렬처리 기술을 적용한 트래픽 분류 구조를 사용하여 트래픽 처리 성능도 향상시킬 수 있다.

3. VoLTE 관련 프로토콜

본 장에서는 VoLTE에 사용되는 프로토콜(GTP, SDP, SIP)에 대해 살펴본다.

3.1. GTP

GTP(GPRS Tunneling Protocol)는 GSM, UMTS 및 LTE 무선 네트워크에서 사용되는 IP 및 UDP 기반 터널링 프로토콜이다. 사용 목적에 따라 GTP-C, GTP-U, GTP'으로 구분할 수 있으며, LTE 무선망에서 모든 사용자 데이터는 GTP-U 터널을 거쳐 전달된다. 사용자 단말이 생성한 IP 패킷은 LTE 망 내부에서는 GTP-U 패킷 속에 캡슐화(encapsulated)되어 전달된다. 따라서, 해당 구간에서 수집한 패킷을 분석하기 위해서는 수집된 패킷에서 GTP 헤더를 제거하여 사용자 단말이 생성한 IP 패킷을 복원한 후 분석을 진행하여야 한다.

3.2. SDP

SDP(Session Description Protocol)는 VoIP 통화, 비디오 스트리밍 등의 멀티미디어 세션 수립 과정에서 세션 이름, 세션에 사용될 IP와 포트 정보, 전송될 미디어 정보 등을 세션 참가자에게 전달하는 역할을 수행한다. 또한, 세션 참가자간에 세션에서 사용될 미디어 파라미터를 협상하는데 사용된다. SIP, RTSP 등의 프로토콜 상에서 동작하며, MIME extension이나 HTTP 등을 사용한다.

SDP 메시지에는 protocol version, session name, 등의 정보가 포함되어 있으며, connection information(c 필드)에서 IP 주소를, media description and transport address(m 필드)에서 RTP 세션에 사용될 포트 번호를 얻을 수 있다.

3.3. SIP

기존의 PSTN(Public Switched Telephone Network)과 같은 서킷 교환 망에서는 호출자와 수신자 사이의 연결을 위하여 두 단말 사이에 회선을

연결시킨다. 각각의 통화마다 할당된 회선을 사용하기 때문에 안정적이며 통화 품질도 좋지만, 통화가 끝날 때까지 회선을 유지해야 하기 때문에 자원 관리 측면에서는 비효율적이다. QoS 보장 측면에서의 단점은 존재하지만, 패킷 교환 방식은 자원 관리 측면에서 서킷 교환 방식보다 효율적이다. 패킷 교환 방식은 전화 통화와 같은 실시간 어플리케이션을 고려하지 않고 디자인되었기 때문에 SIP 과 같은 세션 컨트롤 프로토콜이 개발되어 패킷 교환 망에서의 전화나 영상 통화와 같은 실시간 어플리케이션을 가능케 한다. VoLTE 에서도 SIP 를 사용하여 음성 및 영상 통화 서비스를 제공하며, SDP 를 사용하여 코덱, 비트레이트 등의 정보를 교환한다.

4. VoLTE 트래픽 분류 방법 및 성능 측정

본 장에서는 SIP 프로토콜의 User-Agent 필드를 사용하여 VoLTE 트래픽을 분류하는 방법을 소개하고, 성능 측정 결과를 설명한다.

기존의 VoIP 트래픽 분류 방식을 사용하게 되면, VoLTE 트래픽과 VoIP 어플리케이션을 통해 생성된 트래픽을 구분할 수 없다. 하지만, SIP 프로토콜 헤더의 User-Agent 필드의 정보를 활용하여 VoLTE 서비스에서 사용하는 SIP 패킷을 분류할 수 있으며, 분류된 SIP 패킷에서 추출한 IP 및 포트 정보를 기반으로 VoLTE RTP 패킷을 분류할 수 있다. 상용망에서 2 분간 수집한 트래픽 (19,914 MB)을 분석한 결과, VoLTE SIP User-Agent 필드에 사용되는 값은 표 1 과 같다.

표 1 VoLTE User-Agent

User-Agent 시그니처
User-Agent: *-LTE-VOLTE*_AND/1.*

SIP 기반의 VoLTE 트래픽 분류 과정은 그림 2 와 같다. SIP 와 RTP 모두 UDP 기반의 프로토콜이므로 본 시스템에서는 수집되는 모든 UDP 패킷에 대해 다음과 같은 절차를 수행한다. 시스템에 입력되는 패킷은 GTP-U 터널에서 수집된 패킷이므로 3.1 절에서 언급한 바와 같이 GTP 헤더를 제거하여 원래의 IP 패킷을 복원한 이후 분류를 수행한다. 시스템은 VoLTE 통화 세션에 사용되는 IP 및 포트 정보를 저장하는 RTP 세션 테이블을 유지하고 있으며, 패킷이 입력되면 테이블에 해당 패킷의 IP 및 포트 정보와 일치하는 엔트리가 있는지 탐색한다. 일치하는 엔트리가 존재하는 경우, 해당 패킷을 VoLTE RTP 패킷으로 분류한다. 일치하는 엔트리가 없는 경우 VoLTE RTP 패킷이 아닌 것으로 분류하며, 추가적으로 SIP 패킷 분류 과정을 거치게 된다. SIP 는 잘 알려진(well-known) 포트번호 5060 을 사용하기 때문에 쉽게 분류할 수 있다. SIP 로 분류된 패킷에 대해 User-Agent 필드를 확인하여 VoLTE 단말에서 생성한 SIP 패킷인지 확인한다. VoLTE SIP 패킷 가운데 SDP 정보를 포함한 패킷의 경우, 3.2. 절에서 언급한 대로 c 필드의 IP 주소와 m 필드의 포트 번호를 추출하여 RTP 세션 테이블에 저장한다. 또한, SIP BYE 메시지의 경우, VoLTE 통화 세션이 종료된 것을 의미하므로 해당 RTP 세션을 RTP 세션 테이블에서 삭제한다. 또한, BYE 메시지가 수집되지 않거나 세션이 비정상적으로 종료된 경우에는 VoLTE 통화 세션이 종료되어도 해당 RTP 세션 정보는 RTP 세션 테이블에 그대로 남아있게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 각 엔트리마다 마지막으로 패킷이 매치된 시각을 기록하여 일정 시간 동안 사용되지 않은 엔트리는 삭제한다.

SIP 기반 분류 방식의 장점은 텍스트 기반 프로토콜인 SDP 에서 추출한 IP 주소 및 포트 번호

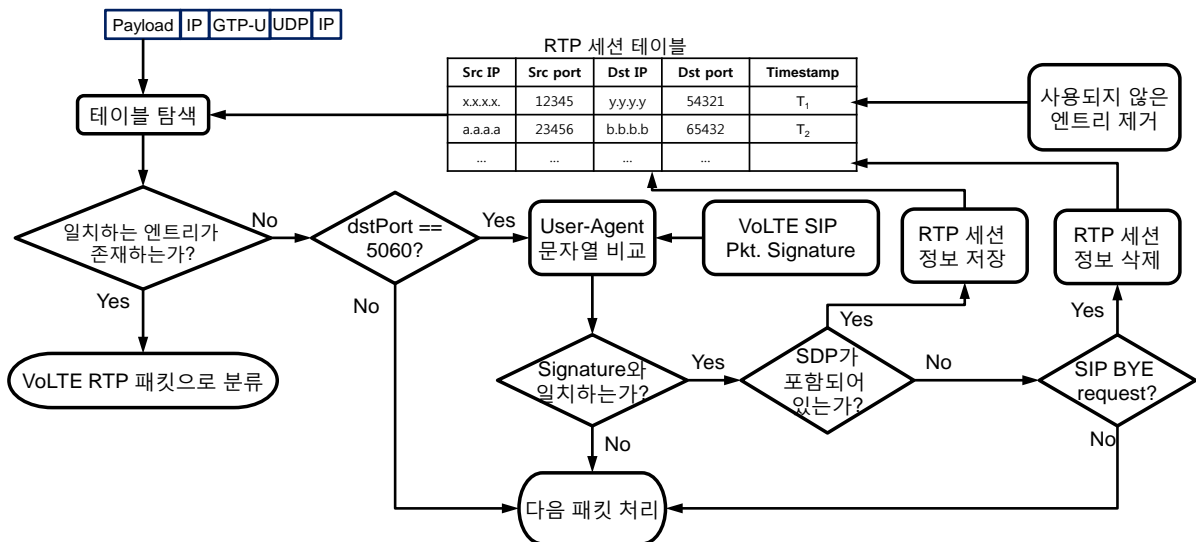


그림 2 VoLTE 트래픽 분류 구조

정보를 사용하여 RTP 패킷을 분류하기 때문에 정확도가 높다. 그리고 SIP의 User-Agent 필드의 정보를 활용하여 VoIP와 VoLTE 간의 트래픽 분류를 정확하게 할 수 있다.

실험을 통해 제안하는 방법의 성능을 측정하였다. 실험에는 실제 상용망의 S1 인터페이스(eNodeB - S-GW 구간)에서 2분간 수집한 트래픽이 사용되었으며, 트래픽 양은 19,914 MB이다.

Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2670 @ 2.60GHz, 96GB RAM으로 구성된 서버를 사용하여 pcap 포맷으로 저장된 파일을 분석하는 데 소요되는 시간을 측정 한 결과, 40.017(±0.420)초가 소요되어 3.878 Gbps의 성능을 보였다 (그림 3).

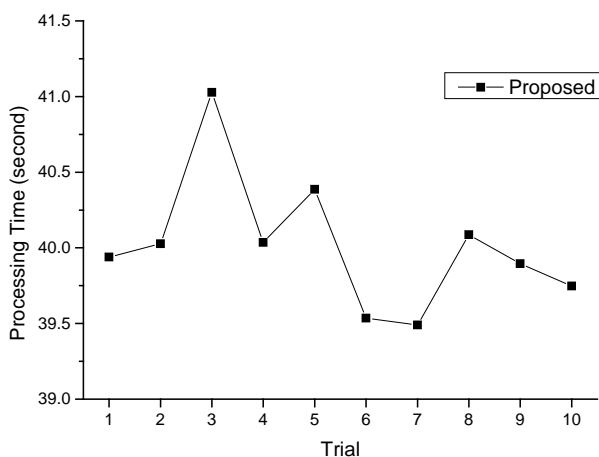


그림 3 트래픽 분류 방법의 데이터 셋 분석 시간

LTE 트래픽이 지속적으로 증가하게 되면 현재의 속도로는 단일 서버를 사용하여 VoLTE 트래픽을 분류하는 것은 불가능하며 VoLTE 트래픽을 보다 빠르게 분류할 수 있는 기술이 필요하다. 이를 해결하기 위하여 5장에서 HTCondor[7] 기반의 VoLTE 트래픽 분산처리 구조를 제안한다.

5. 트래픽 분산처리 구조

본 장에서는 4장에서 설명한 VoLTE 트래픽 분류 방법을 범용 멀티코어 CPU와 commodity 서버를 사용하여 분산처리 및 병렬처리 기술을 적용함으로써 트래픽 처리 성능을 향상시키기 위한 구조를 제안한다.

5.1. 관련 기술

제안하는 구조에 적용한 분산처리 및 병렬처리 기술은 다음과 같다.

● **Receiver-Side Scaling[8]:** Network Interface Card (NIC)에서 수집된 트래픽 데이터를 하나의 RX Queue에서부터 여러 개의 RX Queue로 나누어

할당하고 RX Queue들과 CPU 코어들 사이의 매핑을 통하여 각 CPU 코어에서 직접 RX Queue에 할당된 트래픽 데이터에 접근할 수 있도록 해준다.

● **PF_RING[9]:** NIC에서 수집된 트래픽을 멀티코어에 분산시켜 scalability를 제공하고, 각 코어에서 직접적으로 각 RX Queue에 저장된 데이터를 polling하여 패킷을 빠른 속도로 수집할 뿐만 아니라, 각 어플리케이션 Thread가 직접적으로 RX Queue에 접근할 수 있어 세마포어(semaphore)와 같은 기법을 사용할 필요가 없는 등 트래픽 수집 시스템의 성능을 개선해준다.

● **HTCondor:** 높은 컴퓨팅 파워를 필요로 하는 작업들을 분산시켜 병렬처리 하기 위한 소프트웨어 프레임워크이다. 작업 관리 메커니즘, 스케줄링 정책, 자원 모니터링 및 자원 관리 등 기능들을 제공한다. 또한, 서로 다른 프로그래밍 언어 및 병렬처리 수준을 제공하기 때문에 C 혹은 C++ 프로그래밍 언어로 작성된 사용자 프로그램에 대한 분산처리를 가능하게 하며, C로 프로그래밍된 오픈 소스로 C 혹은 C++ 사용자 프로그램을 완벽하게 지원하며 상당히 우수한 실행 성능을 보인다.

5.2. 트래픽 병렬 수집

제안하는 구조(그림 4)에서는 S1 인터페이스에서 트래픽을 수집하는 것을 가정한다. S1 인터페이스에서 수집된 트래픽은 NIC를 거쳐 RSS에 입력되어 n개의 RX Queue로 분산된다. 패킷 수집 머신에 장착된 CPU의 n개의 코어는 PF_RING의 도움을 받아 직접 각 RX Queue로부터 트래픽 데이터를 받아오고, 데이터는 곧바로 n개의 Submitter (HTCondor Agent)에 의하여 n개의 분할된 trace 파일로 로컬 혹은 원격 저장소에 저장된다. 뿐만 아니라 패킷 수집 과정에서 전체 수집된 트래픽 중 SIP 트래픽은 별도로 분류하여 n개의 분할된 trace 파일과 같은 저장소에 저장한다. SIP 트래픽을 전체 트래픽에서 분류하는 이유는 SIP trace 중 VoLTE RTP Port 정보만 따로 추출하여, 분할된 trace들 가운데 VoLTE RTP 트래픽만 분류하기 위함이다.

5.3. 트래픽 분산 처리

시스템은 n개의 분할된 파일마다 각각 하나의 VoLTE 트래픽 분석 작업(Job)을 생성하여 HTCondor Central Job Manager (HTCondor Matchmaker)에 제출한다. 여기서 분할된 trace 파일은 VoLTE 트래픽 분석 작업과 1:1로 매핑되며 Job ID가 매핑 키로 사용된다. Central Job Manager는 제출받은 VoLTE 트래픽 분석 작업에 적당한 Analysis Node (HTCondor Resource)를 server farm으로부터 matchmaking 과정을 통하여 선정한다. 선정된 Analysis Node는 직접 Submitter와 통신하여

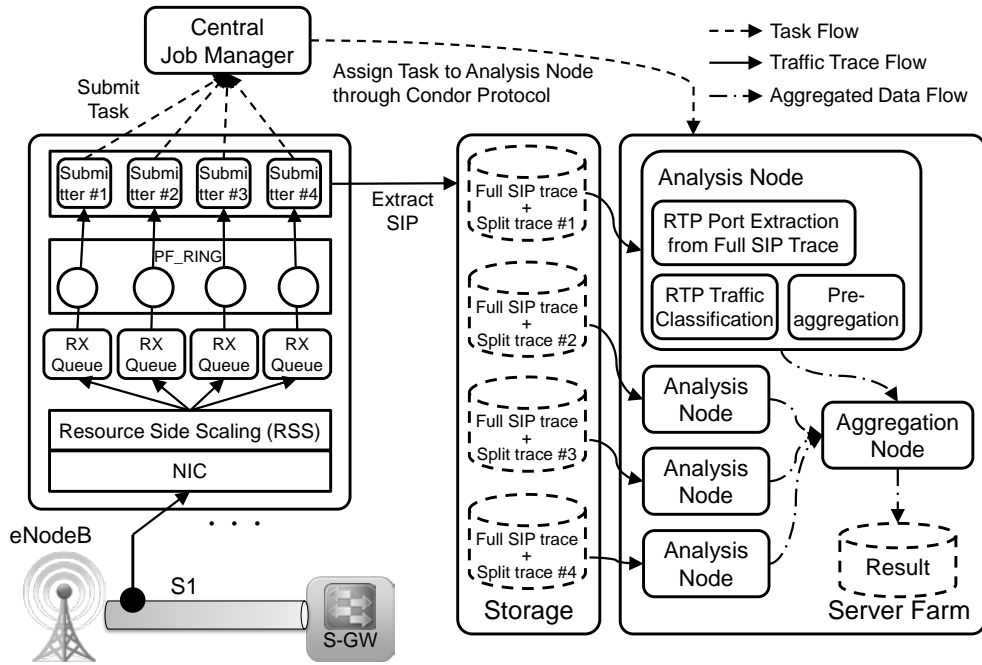


그림 4 VoLTE 트래픽 병렬수집 및 분산처리 구조

VoLTE 트래픽 분석에 필요한 분할된 trace 파일을 요청하게 되고 Submitter 는 VoLTE 트래픽 분석 작업에 필요한 정보를 모두 Analysis Node 로 전달한다. VoLTE 트래픽 분석 작업은 1) VoLTE SIP trace 에서 RTP Port 추출, 2) VoLTE RTP 트래픽 분류, 3) 초기 집계 3 단계에 거쳐서 실행된다. VoLTE 트래픽 분석 작업은 각 Analysis Node 들에서 실행되며 분류된 패킷들은 주기적으로 Aggregation Node 에 의하여 수집된다. 최종적으로 수집된 VoLTE 패킷으로부터 얻을 수 있는 각종 통계적 수치들 (Delay, jitter, call setup delay 등)을 VoLTE 서비스 품질 평가에 활용할 수 있다.

6. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 이동통신망에서 VoLTE 트래픽을 분류하기 위한 방법을 제안하고 그 성능을 측정하였으며, 트래픽 처리 성능을 향상시킬 수 있는 트래픽 분산처리 구조를 제안하였다. VoLTE 트래픽 분류 방법은 VoLTE 통화 연결에 사용되는 SIP 패킷을 분석하여 VoLTE 통화에 사용되는 RTP 세션의 IP 와 포트 번호를 얻어낸 후 이를 이용하여 실제 VoLTE 음성 데이터 패킷을 분류하는 방식이다. SIP 패킷의 User-Agent 문자열을 분석함으로써 VoLTE 서비스에 사용되는 음성 데이터 패킷을 구분해낼 수 있으며, 이를 통해 VoLTE 서비스의 품질 관리에 활용할 수 있다. 또한 제안한 트래픽 분산처리 구조를 통해 commodity 서버를 사용하여 트래픽 처리 속도를 향상시킬 수 있다.

향후 연구로는 VoLTE 트래픽 특성에 맞게

정답지 데이터를 생성하고 이를 바탕으로 본 연구에서 제안한 트래픽 분류 구조의 정확도를 검증하고자 한다.

7. 참고 문헌

- [1] Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2012–2017
- [2] 미래창조과학부, “무선데이터 트래픽 통계”, 미래창조과학부 통계정보, 2014 년 2 월
- [3] Voice over LTE: Market Analysis and Forecasts, ARCchart, 2012.
- [4] R. Birke, M. Mellia, M. Petracca, and D.Rossi, “Experiences of VoIP traffic monitoring in a commercial ISP,” IJNM, vol. 20, no. 5, pp. 339-359, 2010.
- [5] “L7-filter”, <http://l7-filter.sourceforge.net/protocols>
- [6] T. Sinam, I.T. Singh, P. Lamabam, N. N. Devi, and S. Nandi, “A technique for classification of VoIP flows in UDP media streams using VoIP signalling traffic,” in Advanced Computing Conference (IACC), 2014.
- [7] High Throughput Computing Framework – HTCCondor, <http://research.cs.wisc.edu/htcondor/>
- [8] Microsoft, MSDN: Introduction to Receive-Side Scaling. [http://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/hardware/ff556942\(v=vs.85\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/hardware/ff556942(v=vs.85).aspx)
- [9] High-speed Packet Capture – PF_RING, http://www.ntop.org/products/pf_ring/