

Evolved Packet System의 3G LTE에서 패킷별 지연허용시간을 고려한 AMC 선택 기법

정회원 전 경 구*

Packet Delay Budget Aware AMC Selection for 3G LTE of Evolved Packet System

Kyungkoo Jun* *Regular Member*

요 약

3GPP의 Evolved Packet System (EPS)는 LTE, HSPA/HSPA+는 물론 non-3GPP 네트워크까지 포함한 다양한 액세스 네트워크를 지원하는 all-IP 기반 시스템이다. 최근, 패킷수준 QoS를 지원하는 IP flow에 대한 요구사항이 EPS에 추가되었다. 본 논문에서는 이러한 패킷수준 QoS 요구사항을 3G LTE에서 효과적으로 지원하기 위한 adaptive modulation coding (AMC) 선택 기법을 제안한다. 제안방법에서는 전송오류에 따른 재전송을 패킷 QoS 만족에 가장 큰 영향을 끼치는 요소로 보고, 패킷별로 다른 최대 패킷전송 오류 확률 P_{max} 를 적용하여 AMC 전송 모드를 선정하는 기준으로 삼는다. 이러한 P_{max} 를 결정할 때는 채널 상황은 물론 패킷별 QoS 요구사항, 그리고 NACK-to-ACK 에러 확률을 고려하여 결정한다. 이러한 방식의 목적은 QoS를 만족시키면서 동시에 spectral efficiency를 최대로 하는 것이다. 시뮬레이션을 통해 제안한 방법과 기존 방법을 비교한 결과, 지연허용 시간 위반과 재전송과 관련있는 status report 발생은 10% 감소하고, throughput이 12% 증가했음을 확인할 수 있었다.

Key Words : AMC, QoS, 3G LTE, Evolved Packet System

ABSTRACT

3GPP evolved packet system (EPS) is an all-IP based system that supports various access networks such as LTE, HSPA/HSPA+, and non-3GPP networks. Recently, the support of IP flows with packet level QoS profiles was added to the requirements of the EPS. This paper proposes an adaptive modulation and coding (AMC) scheme that supports the QoS of such IP flows in the 3G LTE access network of the EPS. Defining the retransmission as a critical factor for QoS, the proposed scheme applies different maximum packet error probability P_{max} to each packet when selecting the AMC transmission mode. In determining P_{max} , the QoS constraints and NACK-to-ACK error as well as channel condition are considered, balancing two objectives: the satisfaction of the QoS and the maximization of spectral efficiency. The simulation results show that it is able to reduce both delay violation and status report by 10%, while improving the throughput 10% in comparison with an existing scheme.

I. 서 론

3GPP의 evolved packet system (EPS)은 항상

연결된 상태의 IP 서비스 제공을 목적으로 한다. 이 시스템은 끊임 없는 이동성 지원과 최소한의 패킷 지연만을 허용하는 QoS 제공을 그 특징으로 한다

※ 본 연구는 2007년도 인천대학교 교내연구비 지원으로 수행되었습니다.

* 인천대학교 멀티미디어시스템공학과 (kjun@incheon.ac.kr)

논문번호 : KICS2008-03-141, 접수일자 : 2008년 3월 25일, 최종논문접수일자 : 2008년 7월 30일

[1]. 이것은 evolved packet core (EPC)라는 코어 네트워크와 여러 가지 액세스 네트워크들로 구성되는데, 패킷 기반 서비스만을 지원한다. 또한 3G LTE, HSPA/HSPA+는 물론 non-3GPP 액세스 네트워크와도 연동된다. 그림 1은 LTE를 액세스 네트워크로 하는 EPS의 구조를 보여준다. eNodeB는 무선 액세스를 제공하는 기지국이며, Serving Gateway (S-GW)는 이동성 지원을 위한 앵커역할, 그리고 Packet Data Network Gateway (P-GW)는 외부 IP 네트워크와의 연결을 담당한다.

EPS는 QoS 지원을 위해 ‘EPS 베어러’ 개념을 사용한다. EPS 베어러는 동일한 QoS 프로파일을 가진 IP flow들의 집합을 의미하는 것으로, 그림 1과 같이 사용자 단말 UE와 P-GW 사이의 구간을 의미한다. 즉, 같은 EPS 베어러에 속한 IP flow들은 최대 지연 허용시간, 패킷 소실율 같은 QoS 요구사항에 있어서 동일한 조건을 가지게 된다. EPS는 이러한 EPS 베어러별 QoS 요구사항을 만족시키기 위해서 효율적인 자원관리를 해야 한다. QoS 프로파일은 [1]에 정리되어 있다.

QoS 프로파일을 구성하는 여러 가지 파라미터들 중에서 QoS class identifier (QCI)는 베어러 종류, 최대 지연 허용시간, 그리고 패킷 소실율로 구성된 QoS class에 대한 식별자이다. 베어러 종류에는 전송율을 보장받는 guaranteed bit rate (GBR) 베어러와 그렇지 않은 non-GBR 베어러가 있다. 최대 지연 허용시간은 L2 packet delay budget (L2PDB)으로 표시하며, UE와 P-GW간의 구간을 지나는 패킷의 최대 지연 시간을 의미한다. 패킷 소실율은 L2 packet loss rate (L2PLR)으로 표시하며, UE와 eNodeB간 패킷 소실율에 대한 최대 허용치이다. 여기서 패킷 소실은 congestion에 의한 것을 제외한 것으로, 재전송 회수 초과에 의한 것 등을

포함한다.

L2PDB와 L2PLR과 연관된 패킷 지연과 소실 요구사항을 만족시키기 위해서 MAC 스케줄링과 관련된 많은 연구들^[4-7]이 있어왔으며, cross-layer 기반의 adaptive modulation and coding (AMC) 기법^[2]도 연구되었다. [2]의 연구는 요구되는 지연과 소실 수준을 반영하여 modulation과 coding 수준을 결정한다. 특히, 이러한 결정에는 패킷에 허용된 지연시간이 어느 정도 남아 있는지가 중요한 요소로 작용한다. 왜냐하면, 허용 시간에 따라 시도할 수 있는 재전송 회수가 달라지기 때문이다. 예를 들어, 허용 시간이 많이 남아 있을 경우, 여러 번 재전송이 가능하므로 modulation과 coding 수준을 결정할 때 오류 확률이 높지만, spectral efficiency가 좋은 전송 모드를 선택할 수 있다. [2]에서는 링크 레이어의 automatic repeat request (ARQ)에 의한 재전송을 고려한다.

하지만 [2]의 방법은 패킷마다 다를 수 있는 지연 허용치를 고려하지 못한다. 실제로, 패킷들은 EPS 베어러 구간을 거치는 동안 서로 다른 큐잉 지연과 무선 구간에서의 재전송 여부에 따라, 지연 허용치 (L2PDB) 중 남은 시간이 다를 수 있다. 예를 들어, 외부 IP 네트워크로부터 UE로 전달되는 다운링크 패킷의 경우, P-GW에 진입한 순간 동일 EPS 베어러에 속한 패킷들은 같은 L2PDB를 갖는다. 하지만 이 후에는 큐잉과 재전송으로 인해 이들 패킷들은 서로 다른 지연시간을 갖게 되어, 무선 전송 순간에는 남아있는 지연 허용치가 다를 수 있다. 하지만 [2]에서는 이러한 상황을 고려하지 않고, 동일한 지연허용 시간을 가정한다. 이것은 패킷의 QoS 요구사항 만족에 심각한 영향을 끼친다. 특히, TCP 트래픽의 경우, L2PDB에 크게 영향을 받는다. 왜냐하면, L2PDB 초과로 인해 버려지는 패킷들은

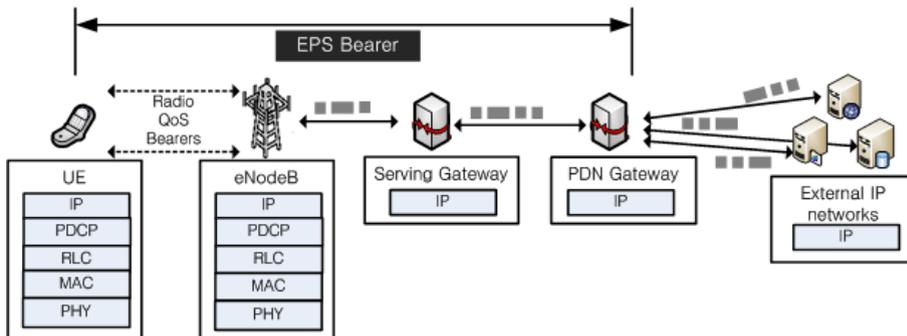


그림 1. 3G LTE를 액세스 네트워크로 하는 EPS 시스템 아키텍처와 EPS bearer의 범위

TCP의 congestion avoidance mechanism을 동작시켜 전송율을 감소시키기 때문이다.

본 논문에서는 패킷별로 다른 지연허용시간을 고려하여 modulation과 coding 수준을 결정하는 방법을 제안한다. 지연 허용 시간을 고려하기 위해서 패킷의 최대 오류 확률 P_{max} 를 이용한다. P_{max} 는 패킷의 무선 전송시 (UE에서, 혹은 eNodeB에서), modulation/coding에 의해 만족되어야 하는 최대 오류 확률을 나타낸다. P_{max} 는 modulation/coding 수준 선택과 밀접하게 관련되어 있다. 예를 들어, P_{max} 가 높게 설정된 패킷에 대해서는 오류 확률이 높지만 전송율이 좋은 modulation/coding 수준을 선택할 수 있으며, P_{max} 가 낮을 경우, 전송율이 떨어지지만 오류 확률이 낮도록 modulation/coding을 설정해야 한다. 따라서 지연 허용 시간에 따라 다른 P_{max} 값을 적용함으로써 modulation/coding 수준을 제어할 수 있다.

제안한 방법에 의한 기대 효과는 다음과 같은 예들을 통해 보다 쉽게 설명될 수 있다. 우선, 남은 지연허용시간이 짧은 패킷일 경우, P_{max} 를 낮게 설정하는 것이 유리하다. 이것은 선택되는 modulation과 coding 수준을 낮춤으로써 (spectral efficiency를 낮춤), 패킷 여러 확률을 감소시키고, 이는 시간 소모의 원인이 되는 재전송 발생을 줄일 수 있다. 이는 지연허용시간 내에 성공적으로 패킷을 전달할 확률이 높인다. 반대로, 남은 지연허용시간이 긴 패킷일 경우, 재전송 발생의 위험을 감수하더라도 P_{max} 를 높게 설정하여 spectral efficiency가 높은 modulation과 coding을 선택하도록 하는 것이 전송량 측면에서 유리하다. 이로 인해 재전송이 발생하더라도 지연허용시간 내에 처리될 수 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 시스템 모델을 소개하고, III장에서는 패킷마다 다른 지연 허용시간을 고려한 modulation과 coding 방법을 제안하며, IV장에서는 시뮬레이션을 통해 제안방법의 성능을 기존 방법과 비교한다. 마지막으로 V장에서는 본 논문을 결론짓는다.

II. E-UTRAN 시스템

이 장에서는 EPS의 구성요소 중에서 본 논문의 제안 방법이 적용될 E-UTRAN의 시스템에 대해서 자세히 설명한다. 특히 eNodeB와 UE간의 무선전송 구간은 EPS 베어러 전체 구간 중에서 패킷의 지연과 소실에 가장 큰 영향을 미친다.

그림 1에서와 같이, eNodeB와 UE 사이의 무선 구간에서, 패킷은 대칭적으로 배열된 프로토콜 스택을 통해 전달된다. 각 프로토콜 스택은 각각의 목적을 가지고 있다. 우선, PDCP 레이어는 IP 패킷에 대해 헤더 압축과 암호화를 수행해서 service data unit (SDU)로 만들어 RLC 레이어에 넘겨주고, RLC 레이어는 MAC 레이어의 프레임포기에 SDU들이 맞도록 하나의 SDU를 여러 개로 나누거나 합치는 역할을 한다. RLC 레이어에서는 세 가지 전송 모드를 지원한다: transparent mode (TM), acknowledgement mode (AM), 그리고 unacknowledgement mode (UM). 이 중에서 AM은 각 SDU에 일련번호를 할당하여, 중간에 소실되는 SDU들을 검출할 수 있으며, 필요한 경우 해당 SDU를 재전송한다. MAC 레이어는 SDU들로 transport block (TB)를 만들고, 이들의 전송을 스케줄링한다. 마지막으로, PHY 레이어는 TB에 적절한 modulation과 coding을 적용한 후 무선전송하게 된다. 특히 MAC과 PHY 레이어의 HARQ는 전송 오류의 경우 재전송을 빠르게 시행할 수 있다.

Modulation과 coding 수준의 결정은 채널상태를 고려하여 spectral efficiency를 최대화하는 동시에 전송 오류 확률을 최소화하는 두 가지 상반된 목적의 균형점을 찾는 식으로 결정된다. 채널 상태를 측정하기위해 UE들은 eNodeB가 보내는 파일럿 시그널로부터 SNR을 결정하고, 이것을 이용해서 선택 가능한 modulation과 coding 조합들 중 하나를 선택하게 된다.

재전송은 프로토콜 레이어별로 처리되는 방식이 다르다. MAC과 PHY 레이어는 재전송과 관련하여 HARQ를 이용하는 반면, RLC 레이어는 ARQ를 이용한다. HARQ의 경우, 송신측과 수신측에 각각 TB 송수신을 담당하는 HARQ 프로세스들이 있고, TB를 성공적인 수신할 때마다 acknowledgement (ACK)를 송신측에 보내고, 전송오류의 경우에는 negative acknowledgement (NACK)을 보내어, 재전송이 이뤄지도록 한다. 이러한 HARQ 재전송은 다음에 설명할 ARQ에 비해 재전송에 걸리는 시간이 짧다. ARQ의 경우, RLC 레이어의 AM을 사용한 전송에만 해당된다. 송신측과 수신측에 각각 ARQ를 담당하는 모듈들이 있고, 송신 모듈에서는 SDU를 전송할 때 일련번호를 SDU 헤더에 포함시켜 보내고, 수신 모듈은 이를 이용하여 소실된 SDU를 검출하고, status report를 보내 소실된 SDU의 재전송을 요구한다. Status report는 각 SDU 수신상태를

나타내는 비트맵이다.

ARQ와 HARQ는 비슷한 목적을 가지고 있어, 중복 기능으로 보일 수 있지만, ARQ는 HARQ를 보완하는 역할을 한다. ARQ는 HARQ에 의해 처리될 수 없는 두 가지 전송 오류를 다룬다. 첫 번째 오류 사항은 HARQ에 의해 허용된 최대 재전송 회수를 초과하여 전송 실패하는 경우이다. 두 번째 오류 사항은 NACK-to-ACK 오류 인한 것이다. NACK-to-ACK 오류란 HARQ의 NACK을 ACK으로 잘못 인식하는 것을 말한다. 이 경우, 해당 SDU는 전송 성공으로 오해되어, 전송되지 못한다. 이러한 NACK-to-ACK 오류의 발생확율은 $10^{-2} \sim 10^{-4}$ 에 이른다. 이러한 두 가지 전송 오류는 ARQ의 일련번호 검사에 의해 감지되며, status report를 이용한 재전송으로 처리될 수 있다.

III. 패킷별 지연허용시간을 고려한 AMC 선택 기법

이 장에서는 패킷별 지연허용시간을 고려한 AMC 선택기법을 제안한다. 제안 방법에서는 지연 시간에 큰 영향을 미치는 재전송을 주요 인자로 고려한다. 왜냐하면 재전송으로 인해 지연허용시간을 초과한 패킷은 drop되므로 패킷 소실과도 연관이 있고, 이로 인해 QoS와 시스템 성능에 영향을 미치기 때문이다. 또한 ARQ에 의한 재전송 경우를 별도로 고려하는데, ARQ가 일련번호를 검사하는 오버헤드로 인해 HARQ보다 더 많은 시간을 소모하기 때문이다.

패킷 QoS의 주요인자인 지연과 소실에 관련한 요구사항을 만족시키기 위해서는 다음 두 가지 조건 만족이 중요하다. 첫 번째는 패킷의 최대 전송 회수 N_{max} (재전송 포함)를 수행하는데 걸리는 시간이 최대 지연허용시간 $L2PDB$ 이내여야 한다. 즉,

$$N_{max} * T_{rtt} < L2PDB - T_e \quad (1)$$

위 식에서 T_{rtt} 는 패킷 전송에서부터 이에 대한 수신확인 (성공 혹은 실패) 메시지를 받는 데까지 걸리는 시간이며, T_e 는 패킷이 무선전송을 위해 PDCP 레이어에 도착한 이 후 경과된 시간을 의미한다. 그리고 (1)로부터 아래 식을 얻을 수 있다.

$$N_{max} < \frac{L2PDB - T_e}{T_{rtt}} \quad (2)$$

두 번째 조건은 N_{max} 전송 시도 후의 패킷 오류

확률인 P_{err} 은 반드시 최대 패킷 소실을 $L2PLR$ 보다 작아야 한다. 즉,

$$(P_{err})^{N_{max}} < L2PLR \quad (3)$$

위 식을 변환하면, 아래 식을 얻을 수 있다.

$$P_{err} < (L2PLR)^{\frac{1}{N_{max}}} \quad (4)$$

그리고 식 (2)와 (4)를 이용하면 아래 식을 얻을 수 있다.

$$P_{err} < (L2PLR)^{\frac{T_{rtt}}{L2PDB - T_e}} = P_{max} \quad (5)$$

식 (5)로부터 각 패킷 전송에서 최대 허용할 수 있는 오류 확률인 P_{max} 를 얻을 수 있다. 따라서 P_{max} 를 준수하도록 modulation과 coding수준을 결정하여 패킷을 전송하면 지연과 소실에 관한 요구사항을 지킬 수 있게 된다. 특히 식(5)에서 경과시간 T_e 은 패킷이 재전송될 때마다 커지기 때문에, 허용 오류 확률인 P_{max} 도 달라지고, 이로 인해 전송할 때 마다 modulation과 coding수준도 바뀌어야 함을 알 수 있다.

식 (5)를 자세히 보면 P_{max} 를 계산할 때 T_{rtt} 가 조정 가능한 중요 인자임을 알 수 있다. $L2PDB$, $L2PLR$, T_e 도 영향을 미치지만, 이미 정해졌거나 조정이 불가능하다. 반면, T_{rtt} 는 예를 들어, T_{rtt} 를 크게 설정하면 식 (2)로부터 N_{max} 를 감소시킬 수 있고, 이는 패킷에 허용된 최대 전송회수가 작아지게 되는 것을 의미한다. 이렇게 줄어든 회수 내에 전송이 성공하기 위해서는 작은 에러 확률을 허용하도록 modulation과 coding 수준을 결정하여야 한다. 즉, 작은 P_{max} 가 식 (5)에서 사용되어야 한다.

이러한 T_{rtt} 를 통한 P_{max} 의 제어관계를 이용하여, 본 논문에서는 패킷의 지연허용시간을 고려하여 P_{max} 를 결정하는 방법을 제안한다. 즉, 이 방법에서는 고정된 T_{rtt} 를 사용하기 보다는 QoS 만족과 시스템 성능 조건을 만족시키기 위해 동적으로 T_{rtt} 를 설정하게 된다.

이를 위해 T_{rtt} 를 세 가지 인자의 함수로 모델링한다. 이 세 가지 인자는 남아있는 허용지연시간, NACK-to-ACK 오류확률, 그리고 SNR이고, 이것은 아래 식으로 표현된다.

$$T_{rtt} = f(T_{delay}, P_e, SNR) \quad (6)$$

여기에서 $T_{delay} = L2PDB - T_e$, P_e 는 NACK-to-ACK 오류확률을 의미한다. 이러한 인자들은 T_{rtt} 와 다음

의 관계를 가진다.

- T_{delay} 와는 반비례한다. 예를 들어, T_{delay} 가 짧은 경우, 재전송으로 인한 시간 낭비를 막아야 한다. 이를 위해서는 T_{rtt} 를 길게 설정해서 P_{max} 를 작게 만들어야 한다.
- P_e 와는 비례관계에 있다. 이러한 관계설정의 이유는 조금 복잡하다. P_e 가 크면 NACK-to-ACK 오류가 자주 발생할 수 있다는 의미이다. 이 경우, NACK이 발생하지 않도록 해서 NACK-to-ACK 오류 자체를 피해야 한다. 왜냐하면, NACK-to-ACK 오류는 RLC ARQ에 의한 재전송을 필요로 하고, 이것은 많은 시간을 낭비하기 때문이다. 따라서 P_e 가 큰 경우, 패킷 오류가 발생하지 않도록 P_{max} 를 큰 값으로 설정해야 한다.
- SNR과는 반비례관계에 있다. 예를 들어, SNR이 클수록, spectral efficiency를 높여서 전송량을 늘려야 한다. 이러한 높은 spectral efficiency는 패킷 오류 확률 P_{max} 를 높임으로써 가능하다. 이를 위해 T_{rtt} 는 작게 설정해야 한다. 이러한 관계는 다음 식으로 정리될 수 있다.

$$T_{rtt} = \left(\frac{w_1}{T_{delay}}\right)(w_2 P_e) \left(\frac{w_3}{SNR}\right) \quad (7)$$

$$= \frac{w P_e}{T_{delay} SNR}, w = w_1 w_2 w_3$$

여기에서 w_1, w_2, w_3 는 각 인자별 가중 상수이며, w 로 합쳐서 쓸 수 있다.

식 (7)에서 P_e 는 NACK-to-ACK 오류 확률에 비례하는 실수 값을 사용해서 나타낸다. 이를 위해, NACK-to-ACK 오류가 발생할 때 마다, P_e 에 $k (> 1)$ 를 곱하고, 그렇지 않을 경우에는 δ 만큼씩 감소시킨다.

$$P_e = \begin{cases} k^* P_e & \dots (a) \\ P_e - \delta & \dots (b) \end{cases} \quad (8)$$

위 식(8)에서 (a)의 경우는 NACK-to-ACK 오류가 발생할 경우이다. NACK-to-ACK 오류는 status report를 검사함으로써 감지할 수 있다. HARQ에 의해 전송 성공으로 보고되었으나, 이후 status report에서 수신되지 않은 것으로 보고된 경우는 NACK-to-ACK 오류가 발생한 것이다. (b)는 HARQ가 ACK 응답을 받을 때 마다 실행된다. 그리고 P_e 값의 범위는 최대값 P_e^{max} , 최소값 P_e^{min} 내로 한정된다.

표 1. AMC가 지원하는 전송모드

	Modulation	CodingRate	a_n	g_n
Mode1	BPSK	1/2	274.7	7.99
Mode2	QPSK	1/2	90.2	3.49
Mode3	QPSK	3/4	67.6	1.68
Mode4	16-QAM	9/16	50.1	0.66
Mode5	16-QAM	3/4	53.3	0.37
Mode6	64-QAM	3/4	35.3	0.09

마지막으로, 식 (7)에 의해 T_{rtt} 가 계산되면, 식 (5)를 이용해서 패킷에 적용할 P_{max} 가 결정된다. 그리고 P_{max} 를 이용해서 modulation과 coding 수준을 결정하게 되는데, 이 과정은 참고문헌 [2]에서 제안한 방법과 동일하다. 이 방법에 대해서 여기에서는 개략적으로 설명한다. [2]에서는 SNR이 가질 수 있는 값의 범위를 7개 영역으로 나누고, 각 영역간의 경계값을 $\gamma_n (n=1 \dots 6)$ 이라고 한다. 그리고 측정된 SNR값이 $[\gamma_n, \gamma_{n+1})$ 에 해당하면, 적용해야 할 modulation과 coding을 모드 n 으로 결정한다. 이 때 사용하는 modulation과 coding 조합은 표 1과 같다. 따라서 modulation과 coding 수준은 γ_n 에 따라 결정된다. 그리고 이러한 γ_n 은 P_{max} 를 이용해서 다음 식으로부터 계산된다.

$$\gamma_n = \frac{1}{g_n} \ln\left(\frac{a_n}{P_{max}}\right) \quad (9)$$

여기에서 g_n 과 a_n 은 표 1과 같다.

IV. 시뮬레이션 결과

이 장에서는 제안한 방법과 [2]의 방법 간의 성능을 비교하기 위한 시스템 레벨 시뮬레이션에 대해 소개하고, 그 결과를 설명한다.

시스템 시뮬레이터는 [3]에 기술된 대로 환경을 설정한다. 7개의 셀로 구성되며, 바깥경계는 반대편 셀로 연결되는 형태이다. 사용자는 전체 셀에 고르게 분포하고 있으며 3 km/h의 속도로 임의로 방향을 전환하면서 움직인다. 셀은 1 km 반경과 1 MHz 대역폭을 사용하여 1 msec. 단위의 TTI 마다 6개의 PRB를 사용가능하다. 식 (7)과 (8)에 사용되는 인수들에 대해서는 다음과 같은 값을 사용한다. w 는 557, P_e 의 초기값은 1, 그리고 $\delta, k, P_e^{min}, P_e^{max}$ 는 각각 0.1, 2, 1, 4의 값을 갖는다.

트래픽으로는 각 UE는 하나씩의 TCP와 UDP 다운링크 트래픽 갖도록 한다. TCP 트래픽의 경우에 시작 시점에 50 kbps의 전송량을 가지며, UDP 트

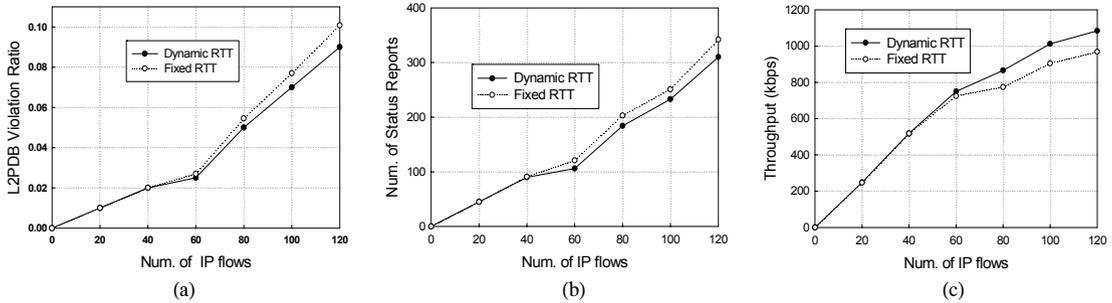


그림 2. 제안 알고리즘(dynamic RTT)과 기존방법[2](fixed RTT)와의 시뮬레이션 결과비교. (a) L2PDB 위반패킷비율 (b) status report 발생 회수 (c) throughput

래픽은 32 kbps로 전송한다. 또한 이러한 트래픽에 대한 L2PDB와 L2PLR 요구사항은, TCP의 경우 각각 50 msec과 10^{-3} , UDP의 경우 각각 50 msec과 10^{-2} 이다. L2PDB를 초과하여 수신측에 도착하는 패킷들은 drop 되거나, 송신 단계의 큐에서 drop 된다. 또한 시뮬레이터는 패킷들을 임의의 시간만큼 송신 큐에서 지연되도록 하여, 오버로드된 시스템 환경을 시뮬레이션 한다.

그림 2(a)는 IP flow 수가 증가함에 따라 L2PDB를 위반하는 패킷의 비율이 변화하는 것을 나타낸 것이다. 그림에서 'fixed RTT'라고 표시된 것은 [2]의 방식에 따른 것이고, 'dynamic RTT'라고 표시된 것은 본 논문에서 제안한 방식을 이용한 것이다. 제안 방식의 L2PDB 위반 비율이 [2]의 방법에 비해 약 10% 정도 개선된 것을 볼 수 있다 (IP flow 개수 80, 100, 120 기준). 이러한 결과는 제안한 방법이 패킷별로 다른 지연허용 시간을 고려하여 modulation과 coding 수준을 결정하기 때문이다.

이러한 향상된 성능은 그림 2(b)와 같이 status report의 발생 개수를 비교하면 좀 더 잘 드러날 수 있다. 여기서도 status report의 발생이 10%정도 감소한 것을 볼 수 있다 (IP flow개수 80, 100, 120 기준). 이러한 감소는 수식 (7)에서 NACK-to-ACK 오류 발생확률을 고려하여 RTT를 계산했기 때문이다. 한편, 그림 2(a)(b)에서 IP flow의 개수가 작을 때 성능 개선 효과가 미미한 것은 셀의 수용능력과 관계가 있는 것으로 사료된다. 트래픽량이 수용능력 이내일 경우, L2PDB와 L2PLR 요구조건이 대부분 경우에 만족되므로 제안방식에 의한 개선효과를 보기가 어렵다.

이와 같은 L2PDB 위반비율 감소와 status report 발생 감소는 그림 2(c)에서와 같이 데이터 전송 throughput의 향상으로 이어져서, 약 12%의 전송량

증가가 있음을 볼 수 있다 (IP flow개수 80, 100, 120 기준). 이러한 향상 역시 동적인 RTT 사용으로 인한 것이다. 앞서 설명한 대로 지연 허용시간이 짧은 상황에서 RTT를 길게 예상하면, 그에 따라 P_{max} 도 낮아지며, 그 결과 재전송을 피할 수 있다. 이것은 TCP의 congestion avoidance를 필요 없게 하여 데이터 throughput을 유지할 수 있게 한다. 반대로 지연 허용시간이 긴 상황에서는 여러 번의 재전송이 가능하므로 패킷 전송 오류의 위험을 감수하는 대신 spectral efficiency를 높이는 modulation과 coding을 사용하여 전체 throughput을 높일 수 있게 된다.

향후 실험에서는 제안 방식의 성능개선 효과를 보다 다양한 환경에서 검증하기 위해, 2 tier 인접셀의 영향을 고려하는 조건인자를 추가하는 안을 고려중이다. 또한 보행수준의 단말 이동 속도를 차량 이동 속도 수준으로 증가시켜 실험하는 방안도 고려 중이다.

V. 결론

본 논문에서의 패킷별 지연허용 시간을 고려하는 AMC 선택 기법을 제안하였다. 패킷별로 다를 수 있는 남은 허용 지연 시간에 따라 패킷 오류 확률 P_{max} 를 다르게 설정하여, L2PDB 위반 확률과 status report 발생 개수를 감소시키는 동시에 throughput을 향상시킬 수 있었다. 또한, P_{max} 를 결정하는데 있어서 남은 허용 지연시간뿐만 아니라 NACK-to-ACK 오류 확률과 SNR도 고려함으로써 보다 채널 상태를 고려한 AMC 선택이 가능하도록 하였다. TCP와 UDP 트래픽을 이용한 시뮬레이션 결과, 기존 방법[2]보다 L2PDB 위반율과 status report 발생은 각 10%씩 향상되었으며, throughput 역시 12% 향상되었음을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 3GPP, "General Packet Radio Service (GPRS) enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) access, Rel. 8," TS 23.401
- [2] Q. Liu, S. Zhou, G. Giannakis, "Cross-Layer Combining of Adaptive Modulation and Coding with Truncated ARQ Over Wireless Links," IEEE Trans. on Wireless Communications, Vol.3, No.5, Sep. 2004.
- [3] 3GPP, "Physical layer aspects for evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA), Rel. 7," TS 25.814
- [4] S. Choi, K. Jun, Y. Shin, S. Kang, B. Choi, "MAC Scheduling Scheme for VoIP Traffic Service in 3G LTE," Proceedings of IEEE VTC Fall 2007.
- [5] F. Persson, "Voice over IP Realized for the 3GPP Long Term Evolution," Proceedings of IEEE VTC Fall 2007.
- [6] D. Jiang, H. Wang, E. Malkamaki, E. Tuomaala, "Principle and Performance of Semi-Persistent Scheduling for VoIP in LTE System," Proceedings of WiCom 2007.
- [7] M. Wernersson, S. Wanstedt, P. Synnergren, "Effects of QoS Scheduling Strategies on Performance of Mixed Services over LTE," Proceedings of PIMRC 2007.

전 경 구 (Kyungkoo Jun)

정회원

한국통신학회 논문지 제31권 제4B호 참조

현재 인천대학교 멀티미디어시스템공학과 조교수