

모바일 와이맥스 환경에서의 효율적인 무선링크 자원 활용을 위한 ROHC Optimistic 모드의 개선 방안

김 주 영[†] · 우 현 제^{**} · 이 미 정^{***} · 권 정 민^{****}

요 약

모바일 와이맥스에서 IP 기반의 무선 광대역 서비스를 효율적으로 제공하기 위해, 제한적인 무선링크의 대역폭을 보다 효율적으로 활용하는 방안이 필요하다. 모바일 와이맥스 표준에서 정의된 헤더 압축 기법인 PHS(Payload Header Suppression) 대신에 ROHC(RObust Header Compression) O(Bi-directional Optimistic) 모드를 사용할 경우, 압축효율성과 견고성 면에서 성능을 향상시킬 수 있으나[1, 2], 모바일 와이맥스의 음성서비스 지역이나 비트 에러로 인한 수신단에서의 연속적인 패킷의 손실이 발생할 경우 컴프레셔와 디컴프레셔가 유지하는 압축 정보가 비동기화되어 O 모드의 패킷 복구 실패율이 증가하게 되므로 이를 보완할 방안이 필요하다. 이에 본 논문에서는, 모바일 와이맥스 환경에서 패킷 손실에 대한 ROHC O 모드의 성능 향상을 위해 O 모드의 압축률과 견고성에 모두 영향을 미치는 Optimistic 파라미터의 값을 동적으로 조절하는 방안을 제안하고, OPNET 시뮬레이터를 사용하여 제안한 방안의 성능 분석을 하였다.

키워드 : Optimistic 방안, 헤더 압축기법, 모바일 와이맥스

Improved ROHC Optimistic Mode for Efficient Utilization of the Resources in Mobile WiMAX

Kim, Jooyoung[†] · Woo, Hyunje^{**} · Lee, Meejeong^{***} · Kwon, Jeongmin^{****}

ABSTRACT

In order to efficiently provide IP based Wireless Broadband services in Mobile WiMAX, schemes for more efficiently utilizing a limited bandwidth in radio links are needed. Robust Header Compression (ROHC), a standard header compression scheme proposed by IETF, Bi-directional Optimistic (O) mode provides higher compression efficiency and robustness compared with Payload Header Suppression (PHS) which is an optional header compression scheme for mobile WiMAX [1, 2]. However, if consecutive packet losses occur because of a Shadow Region of Mobile WiMAX or bit errors, header decompression failure rate of the ROHC O mode increases due to inconsistency of the compression information between the Compressor and the Decompressor. Therefore, a complementary mechanism is needed. In this paper, we propose an approach for the dynamic adjustment of an optimistic parameter, which has an effect on both the compression efficiency and the robustness, for improving the performance of ROHC O mode. We also analyze the performance of the proposed approach using an OPNET simulator.

Keywords : Optimistic approach, Header compression scheme, Mobile WiMAX

1. 서 론

IEEE 802.16 표준은 고정형 와이맥스 표준[3]으로 제안되어 단말의 고속 이동을 지원하는 이동형 와이맥스 표준[4]으로 발전하였으며, 이동형 와이맥스 표준은 모바일 와이맥스

(Mobile WiMAX)라고도 불린다. 모바일 와이맥스는 광대역 주파수를 이용하기 때문에 대용량의 데이터 통신이 가능하며, IP 기반의 음성 서비스에 대한 관심이 높아지면서 기존 전화 통신망보다 네트워크 구축비용이 저렴한 이유로 주목 받고 있다. 기존 기술인 무선랜(Wireless LAN)의 경우에도 저렴하게 고대역의 데이터 통신이 가능하지만 거리와 속도 측면에서 한계성을 가지고 있기 때문에, 향후 무선랜보다 넓은 지역을 커버할 수 있으며 고속의 이동성을 제공하는 모바일 와이맥스가 이를 대체할 가능성이 있다[5].

모바일 와이맥스와 같이 사용자가 이동하면서도 대용량의 멀티미디어 서비스를 고속으로 제공받을 수 있는 능력을 가진 무선 네트워크 기술의 발달로 인해, VoIP와 MPEG4 비디

* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (ITA-2008-(C1090-0801-0036)). 그리고 본 연구는 지식경제부 정보통신표준화사업의 일환으로 수행되었음 [2008-P1-01-06K51].

† 준 회 원 : 이화여자대학교 컴퓨터공학과 석사과정

** 준 회 원 : 이화여자대학교 컴퓨터공학과 박사과정

*** 정 회 원 : 이화여자대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수

**** 정 회 원 : 한국전자통신연구원 무선접속표준연구팀 연구원

논문접수 : 2008년 10월 9일

수 정 일 : 1차 2008년 12월 24일

심사완료 : 2008년 12월 29일

오와 같은 IP 기반의 무선 광대역 서비스에 대한 요구가 증가하고 있다. 특히, 실시간 음성 서비스인 VoIP의 경우 데이터 패킷의 크기보다 IP 기반 프로토콜의 헤더 오버헤드가 크고 실시간 서비스의 특성 상 시간 지연에 민감하기 때문에, 물리적으로 제한적인 무선링크의 대역폭은 모바일 와이맥스의 성능을 저하하는 요인이 된다. [1, 2]에서는 모바일 와이맥스에 IETF(Internet Engineering Task Force)에서 제안된 헤더압축기법인 ROHC(RObust Header Compression)[6]를 적용하여 모바일 와이맥스의 대역폭을 보다 효율적으로 활용하는 연구를 수행하고, 시뮬레이션을 통해 압축률과 패킷 손실에 대한 압축기법의 견고성 면에서 O(bi-directional Optimistic) 모드로 동작하는 ROHC의 성능이 가장 우수함을 확인하였다. 특히, [1, 2]에서는 ROHC O 모드의 성능에 영향을 미치는 Optimistic 파라미터에 대한 실험을 통해, Optimistic 파라미터 값이 압축률과 패킷 손실에 대한 압축 기법의 견고성에 서로 상반된 영향을 미침을 보였다. Optimistic 파라미터는 무선링크의 연속적인 패킷 손실과 관련하여 압축 효율성과 견고성에 상반된 영향을 미치게 되므로 이를 고려하여 Optimistic 파라미터 값의 동적 조절을 통해 ROHC의 압축 성능과 견고성을 최적화하는 방안이 필요하다.

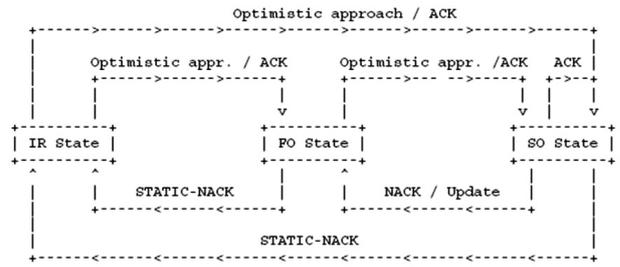
본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장의 서론에 이어 2장에서는 ROHC 표준[6]에 정의된 O 모드의 동작과정을 통해 Optimistic 파라미터가 ROHC의 성능에 미치는 영향 및 Optimistic 파라미터를 포함한 ROHC 파라미터를 동적으로 조절하는 기존 연구에 대해 설명하고, 3장에서는 제안하는 Optimistic 파라미터 값의 동적 조절 방안에 대해 소개한다. 4장에서는 제안한 방안에 대한 성능 검증 및 평가를 위한 시뮬레이션 결과를 제시하고, 마지막으로 5장에서는 이 논문의 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

이 장에서는 ROHC O 모드의 컴프레서와 디컴프레서 간의 동작과정에 대한 설명을 통해, 무선링크의 패킷 손실이 존재하는 환경에서 Optimistic 파라미터가 압축률과 압축기법의 견고성에 미치는 영향에 대해 살펴본다. 또한, ROHC의 성능 향상을 위해 Optimistic 파라미터를 포함한 ROHC 파라미터들의 값을 설정하는 기존 연구에 대해 살펴본다.

2.1 ROHC O 모드의 동작과정

ROHC의 컴프레서는 (그림 1)과 같이 압축 수준에 따라 3 가지 압축 상태를 유지하며, 초기에 제일 압축 수준이 낮은 IR(Initialization and Refresh) 상태에서 시작하여 점차 높은 수준의 압축 상태인 FO(First Order)와 SO(Second Order) 상태로 전이한다. 컴프레서가 IR 상태에서 FO 상태로의 전이 혹은 FO 상태에서 SO 상태로의 전이와 같이 현재 상태보다 높은 수준의 압축을 제공하는 압축 상태로 전이하기 위해서는 디컴프레서가 헤더 복구를 위해 필요한 모든 정보를 가졌다는 확신이 필요하다. 이를 위해, O 모드에서는



(그림 1) ROHC O 모드의 컴프레서 상태와 전이

Optimistic 방법을 사용한다. Optimistic 방법이란, 컴프레서가 헤더 복구에 필요한 정보를 업데이트 패킷을 통해 전송하는데, 이를 N번 보낸 후에 디컴프레서가 필요한 업데이트 정보를 수신하였다고 확신하고 상위 압축 상태로 전이하는 방법이다. 컴프레서와 디컴프레서는 각각 압축 또는 복구를 위해 필요한 이전 패킷 헤더 필드에 대한 정보와 패킷 스트림의 특징에 대한 부가적인 정보가 저장된 컨텍스트를 유지한다. 컴프레서는 헤더 정보의 변화 패턴이 변경된 경우, 디컴프레서의 컨텍스트 정보를 업데이트 하기 위해 업데이트 패킷을 전송한다. 무선링크의 패킷 손실이 존재하는 환경에서 컴프레서가 전송한 업데이트 패킷이 무선링크의 연속적인 패킷 손실로 인해 전부 손실될 경우, 디컴프레서는 컴프레서로부터 변화된 헤더 정보를 전달받지 못한다. 이로 인해 디컴프레서는 이전 컨텍스트를 계속 유지하는 반면에, 컴프레서는 무선링크에서의 패킷 손실을 모르므로 N 개의 업데이트 패킷을 전송하고는 디컴프레서에서 컨텍스트를 업데이트 했다고 확신하기 때문에, 상위 압축상태로 전이 후 변경된 컨텍스트를 기반으로 패킷 헤더를 압축한다. 따라서 디컴프레서는 이후에 수신한 패킷의 헤더를 복구할 때 변경된 헤더 정보의 변화 패턴을 반영하지 못한 기존의 컨텍스트 정보에 기반하므로, 패킷 헤더 복구에 실패하게 되고 이를 알리기 위해 컴프레서에게 부정적인 피드백을 전송한다. (그림 1)에서 보면 NACK이나 STATIC-NACK과 같은 부정적인 피드백을 수신한 컴프레서는 디컴프레서가 현재 잘못된 헤더 정보를 유지한다는 것을 인지하고, 디컴프레서의 복구에 필요한 정보를 업데이트하기 위해 하위 압축 상태로 전이하여 Optimistic 방법에 따라 업데이트 패킷을 전송한다. Optimistic 파라미터인 N의 값은 O 모드의 압축률과 패킷 손실에 대한 압축기법의 견고성을 결정하는 중요한 변수이며, ROHC 규격에서는 N을 구현 파라미터로 정의하고 있다.

2.2 ROHC 파라미터의 동적 조절을 위한 기존 연구

[7]은 UMTS(Universal Mobile Telecommunication System) 환경에서 ROHC의 성능 향상을 위해, 무선링크의 전송 지연과 비트 에러율에 따라 ROHC의 성능에 영향을 미치는 파라미터들의 값을 동적으로 구성하는 방안을 제안하였다. [7]에서는 ROHC 동작 전에 컴프레서와 디컴프레서에서 압축과 복구에 필요한 파라미터를 교환하는 과정이 끝나면, RRC(Radio Resource Control)에서 동적 업데이트 과정

을 트리거하여 무선 링크의 전송 지연과 비트 에러율의 값을 주기적으로 업데이트한다. RRC에서 동적 업데이트 과정을 통해 이러한 채널 속성 값들이 변경되었을 경우 컴프레서와 디컴프레서에 변경된 값을 알려주어 ROHC 파라미터의 값을 업데이트하도록 하였으며, 실험을 통해 무선링크의 비트 에러율에 따른 Optimistic 파라미터의 최적값을 제시하였다. 하지만 이 방안은 무선링크의 상태가 변할 때마다 그 상태 변화를 ROHC에 전달해야 하는 오버헤드가 존재한다. 또한, 이를 위해 UMTS에 정의된 RRC 프로토콜을 이용함에 따라 UMTS 시스템에 의존적이다. 이에 본 논문에서는 추가적인 정보의 교환이나 모바일 와이맥스 시스템에 영향 없이, ROHC O 모드의 패킷 손실에 대한 견고성을 향상시키는 방안을 제안하고자 한다. 제안한 방안은 무선시스템에 독립적이므로, 무선링크에서의 패킷 손실률 또는 비트 에러로 인한 수신단에서의 패킷 손실률이 높은 다른 무선링크에도 적용 가능하다.

3. Optimistic 변수의 동적 조절 방안

이 장에서는 모바일 와이맥스에서 ROHC O 모드의 성능을 최적화 하기 위해, 무선링크의 상태에 따라 업데이트 전송 횟수 N을 조절하는 방안을 설명한다.

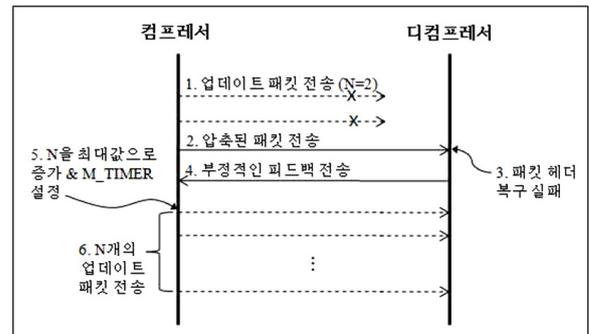
모바일 와이맥스의 무선링크는 대부분 안정된 성능을 보이나 옥외용 기지국 만으로 가로수, 건물벽 등 다양한 장애물을 통과하면서 심한 투과 손실 및 페이딩을 겪는다. 이로 인해 모바일 와이맥스에서 서비스 음영 지역이 존재할 수 있으며, 잠시 동안 연속적인 패킷 손실이 발생할 수 있다. 또한, 비트 에러가 포함된 패킷의 경우에 모바일 와이맥스의 에러 체크 기법에 의해 감지되어 그 패킷을 수신단에서 버리게 되고, 시간 제약이 큰 실시간 응용의 경우 손실된 패킷에 대해 재전송을 하지 않으므로 패킷 손실이 발생하게 된다. 이러한 환경에서 패킷 헤더의 변화 패턴을 전달하는 업데이트 패킷의 전송 횟수인 N의 값이 너무 작을 경우 패킷 손실에 의한 헤더 복구의 실패율이 증가하게 된다. 이를 방지하기 위해, N의 값을 크게 설정하면 패킷 손실에 의한 헤더 복구의 실패는 발생하지 않으나 압축 효율성이 떨어진다. 이것이 본 논문에서 동적으로 Optimistic 변수 N을 조절하도록 제안한 동기이다. 제안한 방안에서는 N의 초기값을 2로 설정하여 무선링크가 안정된 환경에서 O 모드의 압축 성능을 최적화한다. 반면, 컴프레서가 부정적인 피드백을 수신하면 무선링크의 상태가 불안정하다는 것을 인지하고, N을 최대값으로 증가시킨다. 이를 통해 디컴프레서에서의 업데이트 패킷 수신율을 증가시켜 무선링크의 높은 패킷 손실에 대한 ROHC의 견고성을 최대화 한다. 이후에 무선링크가 안정되면 N을 단계적으로 감소시켜 불필요한 업데이트 패킷을 줄임으로써 압축률에 대한 영향을 최소화한다. 본 방안에서는 동적으로 조절된 N 값의 유지기간을 설정하기 위해 M_TIMER를 정의하였으며, M_TIMER는 컴프레서가 N을 최대값으로 증가 시켰을 때 초기화되고 N의 값이 감소될 때

마다 재설정 되어야 한다. M_TIMER의 기간은 이 기간 동안 부정적인 피드백을 수신하지 않는 경우 N을 줄여도 ROHC의 견고성에 영향을 미치지 않는다고 확신할 정도의 충분한 시간으로 설정해야 하며, 다음과 같이 결정하였다.

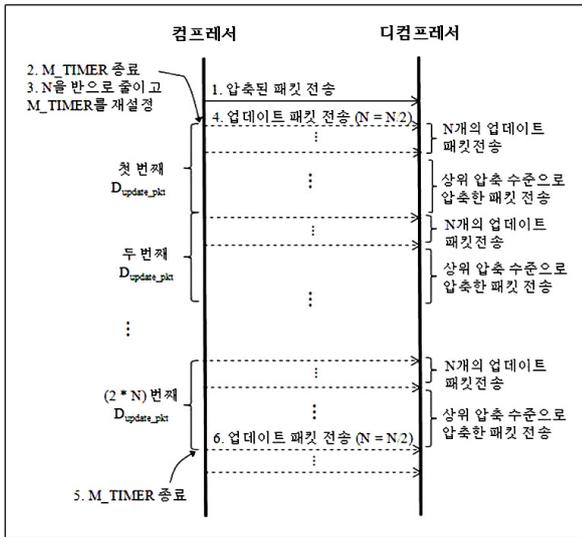
$$M_TIMER = 2 * N * D_{update_pkt} \quad (1)$$

(그림 3)과 같이 D_{update_pkt} 은 컴프레서의 업데이트 패킷의 전송 주기를 의미한다. 즉, 컴프레서에서 N개의 업데이트 패킷을 전송하는 시점부터 컨텍스트 정보의 변경으로 인해 다음 번 업데이트 패킷을 전송해야 하는 이전까지의 시간이다. 컴프레서가 D_{update_pkt} 동안 부정적인 피드백의 수신 여부를 확인하여 그 기간 동안 부정적인 피드백을 수신하지 않았다면, 디컴프레서가 업데이트 패킷을 최소한 하나 이상을 수신하여 변경된 컨텍스트를 기반으로 압축된 패킷들을 성공적으로 복구했다는 것을 의미한다. 본 방안에서는 M_TIMER의 기간을 N에 비례하게 설정하여, 패킷 손실에 의한 헤더 복구 실패가 발생한 경우에 컴프레서가 보다 큰 N의 값을 오랫동안 유지하도록 하여 일시적으로 연속적인 패킷 손실에 대한 압축기법의 견고성 저하를 방지한다. 또한, 무선링크의 패킷 손실률이 높은 경우에 가까운 시간 내에 패킷 손실이 다시 발생할 수 있으므로, N의 값을 단계적으로 반씩 감소하여 패킷 복구 실패율을 최소화한다. (그림 2)는 디컴프레서로부터 부정적인 피드백을 수신한 경우 N을 증가시키는 과정이며, (그림 3)은 M_TIMER가 끝난 경우 N을 감소시키고 M_TIMER를 재설정하는 과정을 보여준다. 동적으로 Optimistic 변수 값을 조절하는 방안의 구체적인 동작 과정은 다음과 같다.

- 1) 컴프레서는 N의 초기값을 2로 설정한다.
- 2) 컴프레서가 디컴프레서로부터 부정적인 피드백을 수신한 경우, N을 최대값으로 증가하고 (1)에 따라 M_TIMER를 초기화한다.
- 3) 컴프레서는 업데이트 패킷을 전송해야 하는 시점에 M_TIMER가 끝났는지를 확인하여, M_TIMER가 끝난 경우 현재 N 값을 N/2 값으로 변경한다. 그리고 (1)에



(그림 2) 디컴프레서로부터 부정적인 피드백을 수신한 경우 N 값의 증가



(그림 3) N 값의 감소와 M_TIMER의 재설정

따라 M_TIMER를 재설정하고 새롭게 변경된 N의 값에 따라 업데이트 패킷을 전송한다. M_TIMER가 종료하지 않고 부정적인 피드백을 받은 경우에는 N을 최대값으로 증가하고 (1)에 따라 M_TIMER를 재설정 한다.

- 4) 컴프레서는 업데이트 패킷을 전송해야 하는 시점마다 N의 값이 초기값인 2로 감소할 때까지 3)을 반복한다.

제안 방안의 주요 요소인 Optimistic 변수인 N을 최대값으로 증가하는 방법과 N에 비례하도록 M_TIMER의 기간을 설정하는 방법의 적합성을 검증하였으며, 그 결과는 4.1에서 보여준다.

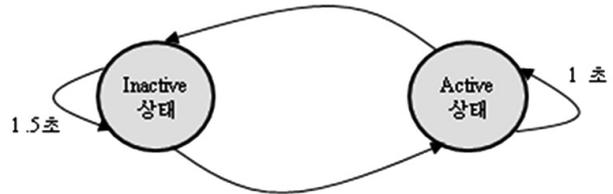
4. 성능 평가

Optimistic 변수의 동적 조절 방안의 검증과 성능 평가를 위해 OPNET Modeler 12.0을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그리고 비교 모델인 ROHC 규격에서 정의된 표준 Optimistic 방안과의 성능 비교를 통해 제안한 방안의 성능을 분석하였다. 표준 Optimistic 방안에서는 한 세션 동안 동일한 N 값을 유지하며, 본 논문에서는 ROHC 규격에서 정의된 방안을 Static OPT라고 부르고 제안한 방안을 Adjust OPT라 부른다. 모바일 와이맥스 환경에서 두 방안의 성능 비교를 위해 (그림 4)와 같은 간단한 네트워크 모델을 구성하였다. 네트워크는 모바일 와이맥스 단말과 기지국 그리고 VoIP 서버로 구성된다.

모바일 와이맥스의 맥과 물리 계층의 속성은 IEEE 802.16m draft[8]와 IEEE 802.16e 표준[4]에 따라 설정하였으며, PHY는 OFDMA를 적용하였다. 단말과 기지국 간의 트래픽은 IEEE 802.16m draft[8]에서 제시한 VoIP 서비스를 기반으로 설정 하였다. [8]에서 VoIP 사용자 (그림 5)와 같이 세션 동안 지수 분포에 따라 Active 또는 Inactive 상



(그림 4) 네트워크 모델



(그림 5) VoIP 서비스의 상태 전이

태가 되나, 우리는 동일한 시뮬레이션 환경을 구성하기 위해, Active 또는 Inactive 상태의 전이와 관련된 업데이트 패킷의 주기를 Active와 Inactive 상태의 기간을 각각 1초와 1.5초로 설정하여 동일한 주기를 갖도록 설정하였다.

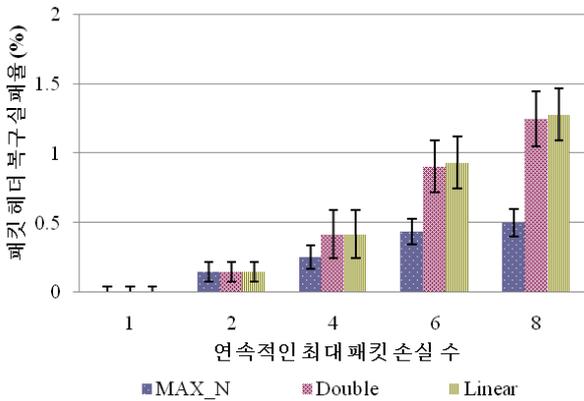
또한, [8]에서는 VoIP 트래픽의 모델링을 간단히 하기 위해 Simplified AMR(Adaptive Multi-Rate) 보코더를 사용하였다. Simplified AMR 보코더는 12.2kbps의 Source rate로 Active 상태에서는 20ms마다 33 바이트의 AMR 페이로드를 생성하고 Inactive 상태에서는 160ms마다 7 바이트의 AMR 페이로드를 생성한다. [8]에서 정의된 VoIP 서비스는 Active와 Inactive 상태 간 전이 특성으로 인해, 패킷 헤더의 패턴이 자주 변경되므로 이로 인해 자주 업데이트 패킷을 전송하므로 N의 값에 따른 성능을 살펴보는 데 적합하다.

모바일 와이맥스의 넓은 서비스 영역으로 인한 서비스 음영 지역에서의 패킷 손실과 비트 에러로 인한 수신단에서의 패킷 손실로 인해 일시적으로 연속적인 패킷의 손실이 발생하는 환경에서 제안 방안의 성능을 측정하기 위해, 무선링크 상의 패킷손실률을 증가시켜 연속적인 패킷 손실의 수가 최대 1개~8개인 상황에서 30초간 30번 반복하여 시뮬레이션을 수행하였으며 이러한 실험 결과들을 평균 내어 결과를 얻었다.

4.1 제안하는 방안에 대한 검증

Optimistic 변수의 동적 조절을 위해 제안한 방안에서는 2 개의 주요 요소가 존재하는데, 하나는 디컴프레서가 자신의 컨텍스트가 비 동기화 되었음을 부정적인 피드백을 통해 알려주면 컴프레서가 N 을 최대값으로 증가시키는 것이고, 나머지는 N 값의 유지기간을 N에 비례하도록 하는 것이다. 이 절에서는 다양한 N의 증가 및 M_TIMER 기간의 설정 방법에 대한 실험을 통해 제안하는 방안의 접근방법이 가장 타당함을 보인다.

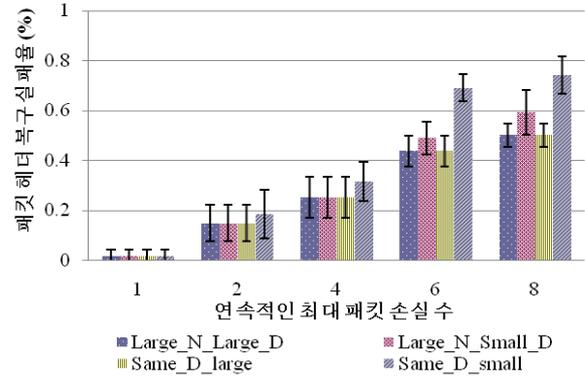
(그림 6)은 여러 가지의 N의 증가 방법들에 대해 일시적으로 무선링크의 손실이 발생하는 구간에서의 연속적인 최



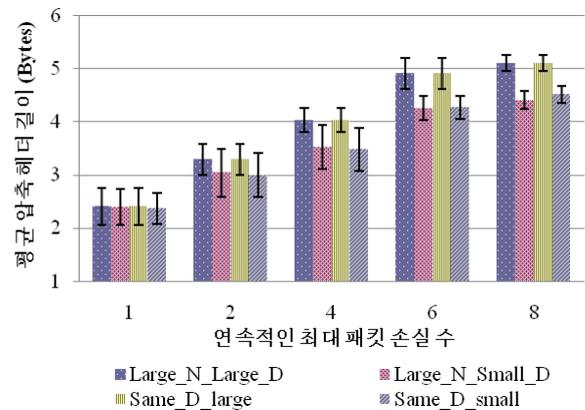
(그림 6) N의 증가방법에 따른 패킷 헤더 복구 실패율

대 패킷 손실 수에 따른 패킷 헤더 복구 실패율을 측정 한 결과이다. 패킷 헤더 복구 실패율은 디컴프레서에서 총 수신한 패킷의 수에 대한 패킷 헤더 복구 실패의 수의 비율이다. “MAX_N”은 제안하는 방법으로서 N을 최대값으로 증가시키는 방법이고, “Double”은 N을 현재 N 값의 2배로 증가시키는 방법이며, “Linear”는 N을 N+2로 증가시키는 방법이다. 연속적인 최대 패킷 손실 수가 많을수록 MAX_N의 패킷 헤더 복구 실패율이 다른 두 방법에 비해 낮으며, 특히 연속적인 최대 패킷 손실 수가 6개 이상일 경우엔 MAX_N이 다른 두 방법에 비해 2배 이상 좋은 성능을 보인다. 컴프레서에서 부정적인 피드백을 수신한 경우 MAX_N은 N을 최대값으로 증가시켜 이후 발생할 헤더 복구 실패를 최소화 하지만, Double이나 Linear는 연속적인 최대 패킷 손실 수가 많은 경우에 충분히 크지 않은 N 값에 의해 업데이트 패킷이 모두 손실될 가능성이 커진다. 한편, MAX_N이 다른 두 방법에 비해 패킷의 평균 압축 헤더 길이가 길어질 수 있으나, 전체 세션 기간 중 패킷 손실이 발생하는 기간이 매우 짧으며 M_TIMER를 통해 N 값이 다시 점차적으로 감소되므로 전체 압축률에 미치는 영향이 거의 없다. 따라서 무선링크 상의 패킷 손실에 의한 ROHC 기법 자체의 패킷 손실률을 최소화하기 위해서는 MAX_N 방식이 가장 적합함을 볼 수 있다.

(그림 7)과 (그림 8)은 다양한 M_TIMER의 기간 설정 방법에 대해 일시적으로 무선링크의 손실이 발생하는 구간에서의 연속적인 최대 패킷 손실 수에 따른 패킷 헤더 복구 실패율과 평균 압축 헤더 길이를 측정 한 결과를 보여준다. Large_N_Large_D는 제안한 방안으로서 N에 비해하여 M_TIMER의 기간을 설정하였고, Large_N_Small_D는 N에 반비례하여 M_TIMER를 설정하였다. Same_D_large와 Same_D_small는 각각 N과 상관없이 모든 N에 대해 동일한 M_TIMER 기간을 설정한 것으로 각각 M_TIMER 기간의 최대값, 최소값으로 설정하였다. (그림 7)을 보면, Large_N_Large_D 또는 Same_D_large와 같이 보다 큰 N의 값에 대한 M_TIMER의 기간이 길수록, 보다 큰 N의 값을 오래 유지하게 되므로 헤더 복구 실패율이 낮다. 연속적인 최대 패킷 손실 수가 많아질수록 업데이트 패킷을 모두 손실할 가



(그림 7) M_TIMER의 기간 설정 방법에 따른 패킷 헤더 복구 실패율

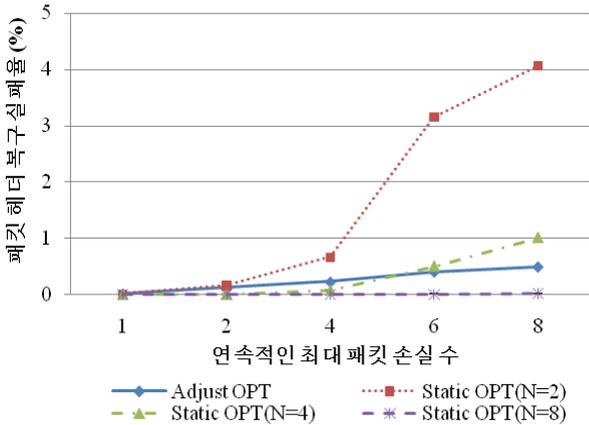


(그림 8) M_TIMER의 기간 설정 방법에 따른 평균 압축 헤더 길이

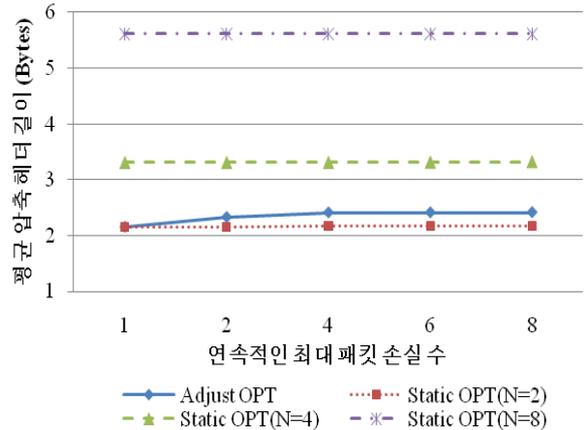
능성이 커지므로, 보다 큰 N의 값에 대한 M_TIMER의 기간을 길게 하여 큰 N의 값을 오랫동안 유지하는 것이 더 적합하다. (그림 7)을 통해 Large_N_Large_D와 Same_D_large가 패킷 헤더 복구 실패율에 대해 거의 같은 좋은 성능을 보임을 확인하였다. (그림 8)에서는 연속적인 최대 패킷 손실 수가 8개인 경우에도 Large_N_Large_D와 Large_N_Small_D의 평균 압축 헤더 길이의 차이가 약 0.6 바이트 정도밖에 나지 않는다. 이러한 일시적인 패킷 손실 구간은 전체 세션에서 매우 적은 횟수로 나타나며 그 구간의 길이도 짧기 때문에, 전체 세션에서의 평균 압축 헤더 길이에 거의 영향을 미치지 않는다고 볼 수 있다. 그러므로 Large_N_Large_D 방법이 일시적으로 연속적인 패킷 손실이 많은 구간에서도 패킷 헤더 복구 실패를 최소화하고, 압축률에서도 다른 방법들과 비교해 봤을 때 비슷한 성능을 가지므로 가장 적합하다.

4.2 성능 비교

제안한 방안의 성능 평가를 위해 비교모델인 N을 정적으로 주는 Optimistic 방법과 비교 하였다. (그림 9)는 일시적인 무선링크의 손실이 발생하는 구간에서 연속적인 최대 패킷 손실 수를 변화시켜 보면서 손실이 발생하는 구간에서의 패킷 헤더 복구 실패율을 측정 한 결과를 보여주며, <표 1>



(그림 9) 일시적인 무선링크상의 패킷 손실에 따른 패킷 헤더 복구 실패율



(그림 10) 일시적인 무선링크 상의 패킷 손실에 따른 평균 압축 헤더 길이

<표 1> 일시적인 무선링크상의 패킷 손실에 따른 패킷 헤더 복구 실패율에 대한 표준편차

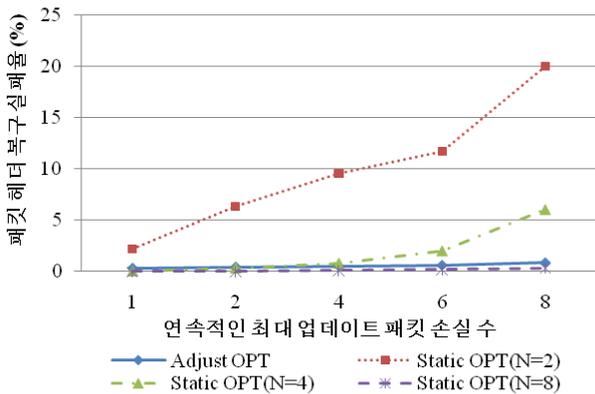
연속적인 최대 패킷 손실 수 비교 방안	1	2	4	6	8
Adjust OPT	0.04	0.13	0.14	0.17	0.18
Static OPT(N=2)	0.04	0.18	0.27	0.48	0.55
Static OPT(N=4)	0	0	0.13	0.24	0.29
Static OPT(N=8)	0	0	0	0	0.07

은 이 결과에 대한 표준 편차를 보여준다. Static OPT(N=2), Static OPT(N=4), Static OPT(N=8)는 각각 N을 2, 4, 8로 설정한 Static OPT를 말한다. 시뮬레이션을 통해 Static OPT(N=8)에서 모든 연속적인 최대 패킷 손실 수에 대해 거의 패킷 헤더 복구의 실패가 발생하지 않는 것을 확인한 후, 제안한 방안에서 N의 최대값은 8로 설정하였다. 연속적인 최대 패킷 손실 수가 증가할수록 N 값이 작은 Static OPT(N=2)의 패킷 헤더 복구 실패율이 큰 폭으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 반면에 Adjust OPT는 연속적인 최대 패킷 손실 수가 증가하더라도 0.5% 이하의 패킷 복구 실패율을 보임에 따라 패킷 손실에 견고한 성능을 보인다. Adjust OPT는 연속적인 최대 패킷 손실 수가 6개 이하인 경우에 Static OPT(N=4)와 유사한 성능을 보이는데, 이것은 연속적인 최대 패킷 손실 수가 6개 이하인 환경에서 패킷 손실에 대한 N의 최적값이 4임을 보여주는 결과이다. 하지만 Static OPT(N=4)의 경우 (그림 10)과 같이 전체 세션 동안의 압축률이 Adjust OPT보다 약 1 바이트 정도 줄어들어 따라, 압축률 면에서 제안 방안이 보다 좋은 성능을 보인다. 또한, 연속적인 최대 패킷 손실 수가 8개로 증가하면 패킷 복구 실패율이 Static OPT(N=4)는 증가하는 반면에 Adjust OPT는 여전히 0.5% 이하로 유지된다.

다음은 제안한 방안에서 업데이트 패킷 전송 횟수인 N을 동적으로 조절함에 따른 전체 압축률에 대한 영향을 평가해

보였다. (그림 10)은 전체 시뮬레이션 시간을 1000초로 두고 30초 동안의 일시적인 무선 링크의 손실 구간이 3번 발생하는 환경에서 다양한 연속적인 최대 패킷 손실 수에 대한 평균 압축 헤더 길이를 보여준다. (그림 10)에서 Adjust OPT의 평균 압축 헤더 길이는 일시적인 무선 링크의 손실 구간에서의 연속적인 최대 패킷 손실 수가 많아질수록 약간 증가하나 Static OPT(N=2)와 거의 유사한 값을 보인다. 이것은 Adjust OPT는 N의 초기값을 2로 설정하고 무선 링크가 불안정한 경우에 N을 증가 하지만 무선링크가 안정이 되면 다시 N을 감소하므로 결국에 N의 값이 대부분의 시간 동안 2로 유지되기 때문이다. 그러므로 Adjust OPT와 Static OPT(N=2)는 압축률에서는 비슷한 결과를 보여주지만, (그림 11)에서 볼 수 있듯이 패킷 헤더 복구 실패율에 대해서 제안하는 Adjust OPT가 Static OPT(N=2)보다 훨씬 더 좋은 성능을 가진다. Static OPT(N=4)는 패킷 손실에 대한 패킷 헤더 복구 실패율이 연속적인 최대 패킷 손실 수가 8개인 경우를 제외하면 Adjust OPT와 거의 유사한 성능을 보였으나, 평균 압축 헤더 길이에서 약 1 바이트의 차를 보인다. 또한, Static OPT(N=8)의 경우 패킷 손실에 대한 견고성 측면에선 매우 우수하지만 압축효율성에서는 평균 압축 헤더 길이가 Adjust OPT의 약 2.5 배 이상 차이가 날 정도로 낮은 성능을 보인다. (그림 9)와 (그림 10)을 통해 Adjust OPT는 무선링크의 상태에 따라 최적의 N 값을 설정하여 압축 효율성을 유지하면서 패킷 손실에 대한 압축기법의 견고성을 높여줌을 확인할 수 있다.

패킷의 크기가 클수록 패킷 손실의 확률이 높아지기 때문에 다른 압축 패킷 보다 크기가 큰 업데이트 패킷이 손실될 확률이 더 커지므로, 본 논문에서는 업데이트 패킷에 대해서만 패킷 손실을 적용하는 극적인 경우에 대한 실험도 수행 하였다. (그림 11)은 업데이트 패킷의 연속적인 최대 패킷 손실 수를 변경하면서 패킷 헤더 복구 실패율을 측정할 결과를 보여주며, <표 2>는 이 결과에 대한 표준 편차를 보여준다. 업데이트 패킷에 대한 연속적인 최대 패킷 손실 수가 증가할수록 N 값이 작은 Static OPT(N=2)는 패킷 헤더



(그림 11) 업데이트 패킷에 대한 패킷 손실에 따른 패킷 헤더 복구 실패율

〈표 2〉 업데이트 패킷에 대한 패킷 손실에 따른 패킷 헤더 복구 실패율에 대한 표준편차

연속적인 최대 패킷 손실 수 비교 방안	1	2	4	6	8
Adjust OPT	0.15	0.19	0.10	0.19	0.26
Static OPT(N=2)	0.30	0.51	0.41	0.54	0.70
Static OPT(N=4)	0.06	0.24	0.20	0.28	0.32
Static OPT(N=8)	0	0.05	0.06	0.22	0.27

복구 실패율이 (그림 9)의 실험 결과에 비해 큰 폭으로 증가하는 것을 볼 수 있다. Adjust OPT는 업데이트 패킷에 대한 연속적인 최대 패킷 손실 수가 증가하더라도 1% 이하의 패킷 복구 실패율을 보이는데, 컴프레서에서 부정적인 피드백을 수신하면 N을 최대로 증가시키므로 업데이트 패킷에 대한 연속적인 최대 패킷 손실 수가 많더라도 디컴프레서가 최소한 하나 이상의 업데이트 패킷을 수신할 가능성이 커지기 때문이다. Adjust OPT는 패킷 헤더 복구 실패율에 대해 Static OPT(N=8)과 거의 같은 성능을 보인다. 업데이트 패킷에 대한 연속적인 최대 패킷 손실 수가 4개 이상인 경우 Static OPT(N=4)보다 좋은 성능을 보이며, 특히, 업데이트 패킷에 대한 연속적인 최대 패킷 손실 수가 8개인 경우엔 패킷 헤더 복구 실패율이 Static OPT(N=4)에 비해 5% 정도 더 낮다.

5. 결 론

본 논문에서는 모바일 와이맥스 환경에서 패킷 손실에 대한 ROHC O 모드의 견고성 향상을 위해, 무선링크의 상태에 따라 업데이트 전송 횟수 N을 동적으로 조절하는 Adjust OPT 방안을 제안하였다. 또한, 연속적인 최대 패킷 손실 수에 대한 실험을 통해 Static OPT와의 성능을 비교해 보았다. ROHC O 모드는 업데이트 패킷 전송 횟수인 N의 값에 따라 압축 효율성과 패킷 손실에 대한 견고성에 영

향을 받는다. Static OPT가 무선링크의 상태와 관계없이 동일한 N의 값을 가지는 반면에, Adjust OPT는 M_TIMER에 기반하여 N 값을 동적으로 조절함에 따라 패킷 손실에 의한 압축 기법의 영향을 최소화하였다. 시뮬레이션을 통해 N을 조절하는 방안과 관련된 제안한 방안의 두 가지 주요한 요소를 검증하였다. 또한 제안한 방안이 높은 압축 효율성을 보이면서도 다양한 연속적인 최대 패킷 손실 수에 대한 패킷 헤더의 복구 실패율 줄여서, ROHC O 모드의 패킷 손실에 대한 견고성을 향상시켰음을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] H.J. Woo, J.Y. Kim, M.J. Lee, "Performance analysis of Robust Header Compression over mobile WiMAX," ICACT 2008, pp.1742~1746, February, 2008.
- [2] 우현제, 김주영, 권정민, 이미정, "모바일 와이맥스에서의 효율적인 무선링크 대역폭 활용을 위한 헤더압축기법인 ROHC RTP 프로파일의 성능 분석", 정보처리학회논문지 C 제15-C권 제5호, pp.399-408, 10, 2008.
- [3] IEEE Standard 802.16-2004, "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems," February, 2005.
- [4] IEEE Standard 802.16e-2005, "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems," February, 2006.
- [5] 전수연, 김태현, "모바일 와이맥스의 현황 및 주요 이슈", 정보통신정책 제 19권 15호 통권 422호, 8, 2007.
- [6] Bormann, C., et., Al., "Robust Header Compression (ROHC): Framework and four profiles: RTP, UDP, ESP, and uncompressed," IETF RFC 3095, 2001.
- [7] Ana Carolina Minaburo et., Al., "Proposed Behavior for Robust Header Compression over a radio link", IEEE ICC 2004, pp.4222-4226, June, 2004.
- [8] IEEE 802.16m-07/080r1, "Draft IEEE 802.16m Evaluation Methodology Document", June, 2007.



김 주 영

e-mail : jykim84@ewhain.net

2007년 이화여자대학교 컴퓨터학과(학사)

2007년~현재 이화여자대학교 컴퓨터공학과 석사과정

관심분야: 모바일 네트워크, 무선 네트워크, MAC 프로토콜



우 현 제

e-mail : hjwoo@ewhain.net
 2004년 이화여자대학교 컴퓨터학과(학사)
 2006년 이화여자대학교 대학원 컴퓨터학과
 (공학석사)
 2007년~현 재 이화여자대학교 박사과정
 관심분야: 무선 네트워크, 모바일
 네트워크, 프로토콜 설계 및 성능 분석



이 미 정

e-mail : lmj@ewha.ac.kr
 1987년 이화여자대학교 전자계산학과(학사)
 1989년 University of North Carolina at
 Chapel Hill 컴퓨터학과(공학석사)
 1994년 North Carolina State University
 컴퓨터공학과(공학박사)
 1994년~현 재 이화여자대학교 공과대학
 컴퓨터정보통신 공학과 교수

관심분야: 프로토콜 설계 및 성능 분석, 멀티미디어 전송을
 위한 트래픽 제어, 인터넷 QoS, 트래픽 엔지니어링,
 무선 이동 네트워크, Ad-hoc 네트워크



권 정 민

e-mail : jmkwon@etri.re.kr
 2004년 2월 고려대학교 전자정보공학부
 (학사)
 2006년 8월 고려대학교 전자정보공학과
 (석사)
 2007년~현 재 한국전자통신연구원 무선접속
 표준연구팀 연구원

관심분야: 통신망 설계 및 성능 분석, MAC 프로토콜