

# 모바일 와이맥스에서의 효율적인 무선링크 대역폭 활용을 위한 헤더압축기법인 ROHC RTP 프로파일의 성능 분석

우 현 제<sup>†</sup> · 김 주 영<sup>\*\*</sup> · 권 정 민<sup>\*\*\*</sup> · 이 미 정<sup>\*\*\*\*</sup>

## 요 약

IP 기반 무선 광대역 서비스를 제공하는 모바일 와이맥스에서 물리적으로 제한적인 무선링크의 대역폭은 성능 저하의 큰 요인이 된다. 모바일 와이맥스 표준에서는 무선링크 대역폭의 효율적 활용을 위해 헤더 압축 기법인 PHS(Payload Header Suppression)를 정의하였으나, 제한적인 압축 가능 필드로 인해 PHS의 압축 효율성은 매우 낮다. 이에 본 논문에서는 높은 비트에러율과 긴 RTT(Round Trip Times) 및 제한적인 자원과 같은 특성을 지닌 무선 링크에 적절한 헤더 압축 기법으로 제안된 ROHC(Robust Header Compression)를 모바일 와이맥스에 적용하였을 때의 성능을 분석하고 PHS와 비교하였다. ROHC 성능에 대한 기존연구들은 무선링크에서의 비트에러에 대한 성능 분석에 초점을 맞추었으나, 맥 계층에서 에러 체크 기능을 제공하는 와이맥스와 같은 무선시스템의 경우 비트에러가 포함된 패킷이 상위 계층에 전달될 확률은 거의 없으므로 다른 측정 기준이 필요하다. 이에 본 논문에서는, 비트에러 대신 모바일 와이맥스 환경에서 발생할 수 있는 패킷 손실에 따른 ROHC의 성능 평가를 수행하였다. 다양한 ROHC 구현파라미터들이 ROHC 성능에 미치는 영향을 분석하고, ROHC와 기존의 방안인 PHS의 성능을 비교하였다.

키워드 : ROHC, 헤더압축기법, 모바일와이맥스, PHS, IEEE802.11e, IEEE802.16m

## Performance Analysis of ROHC RTP profile for Efficient Utilization of the bandwidth in Mobile WiMAX

Woo, Hyunje<sup>†</sup> · Kim, Jooyoung<sup>\*\*</sup> · Kwon, Jeongmin<sup>\*\*\*</sup> · Lee, Meejeong<sup>\*\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

Mobile WiMAX provides wireless broadband services for data communication based on IP protocol. The limitation of physical bandwidth in the radio links may cause performance degradation in providing wireless broadband services in WiMAX. To enhance the efficiency of the radio link utilization, Payload Header Suppression (PHS) is defined as an optional header compression mechanism for mobile WiMAX. It has, however, a very limited compression capability since it has very restrictive compression fields. In this paper, hence, we assumed the application of Robust Header Compression (ROHC), a header compression scheme proposed for links characterized by high bit error ratios, long round-trip times (RTT), and scarce resource, to Mobile WiMAX, and studied its performance. Previous studies on ROHC performance merely focused on the impact of high bit error rate. However, bit error is virtually transparent to ROHC in the wireless systems like WiMAX, since the MAC provides the bit error checking function. In order to evaluate the performance of ROHC in the Mobile WiMAX environments, therefore, we evaluated the performance of ROHC with respect to the packet losses instead of bit error. We investigated the impact of the ROHC parameters that are recommended for the implementation in the ROHC and compared the performance of ROHC with PHS.

Keywords : ROHC, Header Compression scheme, Mobile WiMAX, Payload Header Suppression (PHS), IEEE802.11e, IEEE802.16m

## 1. 서 론

모바일 와이맥스는 IP 기반 무선 광대역 서비스를 제공한다. 모바일 와이맥스를 통해 IP 기반의 실시간 서비스를 제공하기 위한 전송 프로토콜인 RTP(Real Time Protocol)[1]의 패킷 헤더 크기는 RTP(12 바이트), UDP(8 바이트) 그리고 IP(20 바이트)를 포함하여 총 40바이트이다. 특히, VoIP의 경우에 802.16m draft[2]에서 정의된 voice payload 크기가

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

† 준 회 원 : 이화여자대학교 컴퓨터학과 박사과정

\*\* 준 회 원 : 이화여자대학교 컴퓨터학과 석사과정

\*\*\* 정 회 원 : 한국전자통신연구원 무선접속표준연구팀 연구원

\*\*\*\* 정 회 원 : 이화여자대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수

논문접수 : 2008년 7월 21일

수정일 : 2008년 9월 10일

삼사완료 : 2008년 9월 11일

33 바이트임을 고려해볼 때 헤더가 차지하는 비중이 매우 크다. 이러한 패킷 헤더 오버헤드는 물리적으로 대역폭이 제한되어 있는 무선링크에서 성능 저하의 요인이 된다. 무선링크 대역폭의 효율적 활용을 위해 헤더압축기법을 통해 각 패킷의 중복적인 헤더 필드를 제거하여 패킷의 헤더 크기를 줄이는 방안이 사용된다. 모바일 와이맥스 표준[3]에서는 무선링크 대역폭의 효율적 활용을 위해 헤더 압축 알고리즘인 PHS(Payload Header Suppression) 기법이 선택적으로 적용되도록 정의하였다. PHS 기법은 한 세션 동안 사용자와 기지국 간에 주고 받는 각 패킷에서 계속 동일한 값을 유지하는 헤더 필드에 대해 압축이 가능하다. PHS는 동작 원리가 간단하여 구현이 쉽지만, 제한적인 압축 필드로 인해 압축 효율성이 떨어지는 단점이 있다.

한편, 제한적인 무선링크에서의 대역폭을 보다 효율적으로 활용하기 위한 방안으로 헤더 압축 알고리즘인 ROHC(Robust Header Compression) 기법[4]이 IETF Network WG(Working Group)에 의해 제안된 바 있다. ROHC는 한 세션 동안 주고 받는 각 패킷에 대해 지속적으로 동일한 값을 유지하는 헤더 필드뿐만 아니라 일정한 변화 규칙을 가진 동적 필드에 대해서도 압축이 가능하므로, PHS에 비해 헤더 압축률이 높다. 또한, ROHC는 무선 링크 상의 높은 비트에러나 데이터 손실에 의한 에러 감지 시 신속하고 정확하게 복구할 수 있는 방안을 제공한다. 다양한 무선 링크 상에서의 ROHC의 우수한 성능은 이미 여러 논문들을 통해 증명되었다.

[5]는 ROHC RTP profile에 대한 분석 모델을 정의하고 무선링크의 비트에러에 대한 ROHC의 견고성을 평가하였으나, 제한적인 성능평가로 인해 ROHC의 성능을 전반적으로 보여주기에 부족하다. [6]은 UMTS network에서 ROHC의 성능 향상을 위해 일부 ROHC 구현파라미터들의 동적 구성 방안을 제안하고, 이를 이용하여 무선링크의 높은 비트에러에 보다 더 좋은 성능을 보이는 방안을 제안하였다. [7]은 비트에러율이 높은 무선 채널 상에서 ROHC 구현파라미터의 조정을 통해 ROHC의 성능을 향상시키는 방안을 제안하였다. [8]은 비트에러율이 높은 환경에서 ROHC RTP profile에 대한 성능 분석을 통해 압축률 면에서 가장 좋은 성능을 보이는 ROHC 동작모드를 분석하였다. 이 외에도 무선링크 상의 비트에러율에 대한 ROHC 기법의 성능에 대해 분석한 논문들이 존재한다[9~11]. 이들 ROHC에 대한 기존 연구는 공통적으로 비트에러가 존재하는 무선 링크에서의 ROHC 성능을 평가하는데 중점을 두었다. 하지만, 맥 계층에서 비트에러 체크 기능을 제공하는 무선시스템의 경우 에러가 포함된 패킷이 상위 계층에 전달될 확률은 거의 없으므로, 이와 같은 무선시스템에서 ROHC에 대한 성능 평가를 위해서는 기존 연구들과는 다른 측정 기준이 필요하다. 모바일 와이맥스의 맥 CS(Convergence Sublayer)에 ROHC를 구현할 경우에도, 맥 CPS(Common Part Sublayer) 계층에서 정의한 CRC(Cyclic Redundancy Check)를 활용한 비트에러 체크 기법을 통해 에러가 포함된 패킷이 ROHC에 전달되지 않는다. 모바일 와이맥스에서는 서비스 플로우 생성 단계에서 각 서비스에 대해 ARQ (Automatic Repeat reQuest) 기능을 지원

할 지 여부를 결정하며, 엄격한 시간 제약으로 인해 VoIP와 같은 실시간 응용의 경우 ARQ 기능을 제공하지 않으므로 비트 에러가 포함된 패킷은 맥에서 삭제되고, 이는 ROHC에서 패킷 손실로 처리된다. 한편, 모바일 와이맥스는 넓은 서비스 영역으로 인한 무선링크에서의 긴 지연시간 및 서비스 음영 지역으로 인한 무선링크에서의 순간적으로 연속적인 패킷 손실이 발생할 수 있으므로, 모바일 와이맥스에서 ROHC를 활용하는데 대한 적합성을 살펴보기 위해 이에 대한 성능 평가가 필요하다. 이에 본 논문에서는 시뮬레이션을 통하여 모바일 와이맥스 환경에서 무선링크의 지연 및 패킷 손실을 변화시켜 보면서 ROHC 압축효율 및 견고성에 영향을 미치는 구현파라미터들에 대한 전반적이고 구체적인 성능평가 및 분석을 수행하고, ROHC와 PHS의 성능을 비교하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장의 서론에 이어 2장에서는 모바일 와이맥스 표준에서 정의된 헤더 기법인 PHS와 본 논문에서 PHS에 대한 대체 방안으로 제시하는 ROHC에 대하여 소개한다. 3장에서는 모바일 와이맥스에서의 ROHC의 성능을 살펴보기 위한 다양한 시뮬레이션 결과를 제시하고 마지막으로 4장에서는 이 논문의 결론을 맺는다.

## 2. 헤더압축 기법: PHS 및 ROHC

이 장에서는 모바일 와이맥스 표준에서 헤더 압축기법으로 제시한 PHS에 대해 살펴보고, 이 방안의 압축 비효율성에 대해 설명한다. 또한, 본 논문에서는 모바일 와이맥스 무선링크의 대역폭을 보다 효율적으로 활용하기 위해 PHS를 대체하는 헤더 압축 기법으로 제시한 ROHC를 소개하고 ROHC의 성능에 영향을 미치는 구현파라미터들에 대해 분석한다.

### 2.1 PHS

모바일 와이맥스 MAC CS(Media Access Control Convergence Sublayer)에서는 PHS 기법을 사용하여 한 세션 동안 사용자와 기지국 간에 주고 받는 상위 계층의 패킷 헤더 중 고정적인 값을 유지하면서 반복되는 헤더 필드들을 바이트 단위로 압축할 수 있다. 전송측에서 압축된 패킷은 수신측에서 본래의 헤더로 복구할 수 있으며, 모바일 와이맥스 무선링크에서 상향링크의 경우 전송측이 단말이고 수신측이 기지국이 되며, 하향링크의 경우 전송측이 기지국이고 수신측이 단말이 된다.

모바일 와이맥스(IEEE 802.16e)[3]의 송·수신측 MAC에서는 패킷의 헤더 압축 및 재구성성을 위해 PHS 규칙을 구성하고 유지한다. PHS 규칙은 단말이 네트워크 진입 시에 기지국과의 동적 서비스 플로우 생성 단계에서 미리 정의되며, 각 트래픽 전달을 위한 연결(connection)과 연관되어 전송측과 수신측에서 공유된다. 다음은 PHS 규칙의 구성 요소에 대한 설명이다.

- PHSI(PHS Index): 기지국의 MAC은 단말과의 각 연결에 대해 PHSI를 할당해야 하며, PHSI는 패킷의 클래스분류

(Classification) 과정에서 얻은 결과인 PHS 규칙을 식별하는데 사용된다. 따라서, 송신측 CS는 항상 압축 패킷에 PHSI를 붙여서 내보내며 수신측 CS는 수신한 패킷의 PHSI로 해당 PHS 규칙을 식별한다.

- PHSF(PHS Field): 송·수신측은 본래의 헤더 필드 값을 일련의 바이트들로 구성하여 저장하며, 수신측 CS는 이 PHSF를 참조하여 압축 헤더 필드를 본래의 값으로 재구성한다.
- PHSM(PHS Mask): PHSF에 대해 압축할 바이트를 표시하기 위해 PHSF의 각 바이트에 해당하는 일련의 비트들로 구성되며, 압축할 바이트는 1로 설정된다. 송신측 CS는 PHSF에 대해 PHSM 비트의 값이 설정되지 않은 바이트들만을 수신측에 전달하는 방식으로 압축을 수행한다.
- PHSS(PHS Size): 압축 및 복구되는 헤더의 총 바이트 수를 의미하며, 이는 PHSF의 크기(바이트 단위)와 항상 동일하다.
- PHSV: 송신측 CS가 헤더 필드를 압축하기 전에 PHSF 중 mask 대상인 바이트들의 값이 현재 해당 헤더 필드 값과 동일한지를 검증해야 하는지의 여부를 표시한다.

CS는 상위 패킷에 대해 미리 정의된 서비스 플로우를 제공하기 위해 패킷을 분류한 후, PHS 기법을 이용하여 패킷 헤더를 압축할 수 있다. PHS 기법은 송·수신측 간의 한 세션 동안 압축할 헤더 필드의 값이 변하지 않고 계속 같은 값을 유지함을 검증하기 위해, PHSM을 설정하여 압축을 수행하기 전에 현재 헤더와 본래의 헤더 필드 값이 저장된 PHSF를 비교할 수 있다. 검증 결과가 일치하면 송신측 CS는 PHSM를 참조하여 마스크로 지정된 바이트들을 압축해야 한다. 만일 압축 대상인 헤더 필드 값이 변경된 경우에, PHS 기법은 이를 오류로 판단하고 압축 없이 패킷 앞에 PHSI만 붙이며 이러한 경우를 위해 PHSI 0이 예약되었다. 압축을 완료한 전송측 CS는 수신측 CS가 압축된 내용을 재구성하는데 필요한 PHS 규칙을 식별할 수 있도록 압축된 헤더로 구성된 패킷 앞에 PHSI를 붙인다. 수신측 CS에서는 압축 헤더를 재구성하기 위해 전송측으로부터 수신한 CID와 PHSI를 이용하여 해당 PHS 규칙을 찾는다. 수신측 CS는 PHSF와 PHSM의 비교를 통해, PHSM 비트가 설정된 경우 해당 바이트는 송신측에서 압축되었으므로 PHSF의 해당 바이트 값으로 헤더를 구성하고 PHSM 비트가 설정되지 않은 경우에 수신한 헤더의 바이트 값으로 헤더를 구성한다. 이 과정을 PHSS 만큼 반복하면 본래의 헤더 필드를 복구할 수 있다.

PHS 기법에서 압축할 헤더 필드는 단말의 네트워크 진입에 의한 초기화 과정에서 동적 서비스 설립 단계를 통해 미리 정의되는데, PHS의 압축 대상은 사용자와 기지국 간의 한 세션 내 모든 패킷에 대해 동일한 값을 가지는 헤더 필드로 한정된다. 게다가, PHS는 바이트 단위로만 압축이 가능하므로 압축 가능한 헤더 필드이더라도 그 필드가 바이트 단위가 되지 않을 경우에는 압축될 수 없다. 이러한 특징들로 인해 PHS의 압축 효율은 매우 제한적이다.

## 2.2 ROHC

ROHC의 헤더 압축은 컴프레서와 디컴프레서 간의 상호

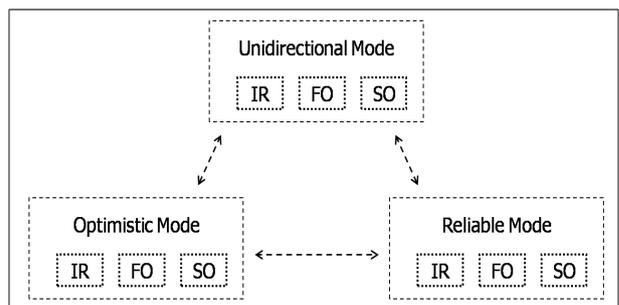
작용으로 이루어진다. ROHC는 한 세션 동안 계속 동일한 값을 유지하는 필드뿐 아니라 일정한 패턴으로 변하는 헤더 필드에 대해서도 압축이 가능하기 때문에 PHS에 비해 압축 효율성이 더 좋다. 이를 위해 ROHC에서는 컴프레서와 디컴프레서가 각각 압축 또는 복구를 위해 필요한 과거 패킷의 헤더 필드에 대한 정보와 패킷 스트림의 특징에 대한 부가적인 정보가 저장된 컨텍스트(Context)를 유지한다.

이 장에서는 먼저 ROHC 기법을 이해하기 위한 기본 동작에 대해 설명하고, ROHC 압축상태 및 동작모드에 정의된 ROHC 구현파라미터들에 대한 분석을 통해 모바일 와이맥스에서의 ROHC 성능 향상을 위한 핵심 요소를 식별한다.

### 2.2.1 ROHC 컴프레서/디컴프레서의 압축상태

ROHC 컴프레서는 (그림 1)과 같이 압축 정도에 따라 IR(Initiation and Refresh) 상태, FO(First Order) 상태 그리고 SO(Second Order) 상태로 구성된다. 컴프레서는 가장 낮은 압축 정도를 가진 IR 상태에서 시작하여 점차적으로 높은 압축률을 제공하는 압축상태로 이동한다. IR 상태에서의 컴프레서는 디컴프레서에게 한 세션 동안 계속 동일한 값을 유지하는 정적 헤더 필드에 대한 정보를 전달한다. FO 상태에서의 컴프레서는 디컴프레서에게 헤더의 동적 필드에 대한 정보(헤더 필드 값과 일정한 패턴을 가지고 변하는 동적 필드에 대한 변화 패턴 정보)를 전달한다. SO 상태의 컴프레서는 디컴프레서가 압축된 동적 필드의 재구성을 위해 필요로 하는 최소한의 필드 값만 전달하며, 따라서 최상의 압축률이 제공된다. 컴프레서는 디컴프레서가 압축된 헤더를 정확하게 복구할 모든 정보를 가지고 있다는 확신이 있는 경우 항상 가능한 최상의 압축률을 제공하는 압축상태에서 동작한다. 컴프레서 압축상태 간의 이동은 ROHC의 각 동작 모드에 따라 주기적인 타임아웃, 디컴프레서로부터의 긍정적/부정적 피드백, 패킷 헤더의 불규칙한 변화 패턴에 근거하여 이루어진다.

디컴프레서는 헤더를 복구하기 위해 필요한 정보를 어느 정도 소유했는지 여부에 따라 NC(No Context), SC(Static Context) 그리고 FC(Full Context) 상태로 구성된다. 초기 디컴프레서는 NC 상태로 시작하며, 한번의 패킷 복구를 성공하면 FC 상태로 이동한다. FC 상태에서의 디컴프레서는 헤더의 복구를 실패할 경우 SC 상태로 이동하게 되며, SC

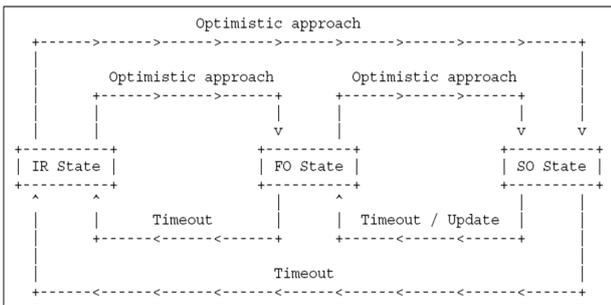


(그림 1) ROHC 동작 모드 및 컴프레서 압축 상태

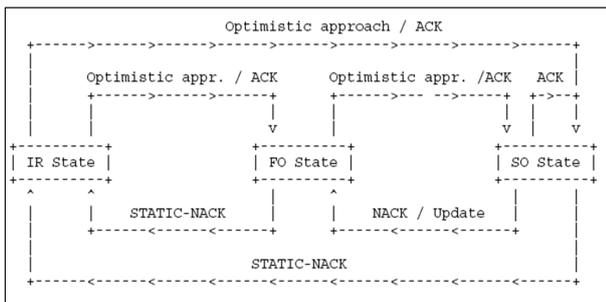
상태에서도 헤더의 복구를 실패할 경우 NC 상태로 이동하게 된다. ROHC는 헤더 필드가 정확하게 복구되었음을 검증하기 위해 다양한 비트(3/7/8-비트)의 순환잉여검사(CRC: Cyclic Redundancy Check) 기법을 사용한다.

2.2.2 ROHC 동작모드

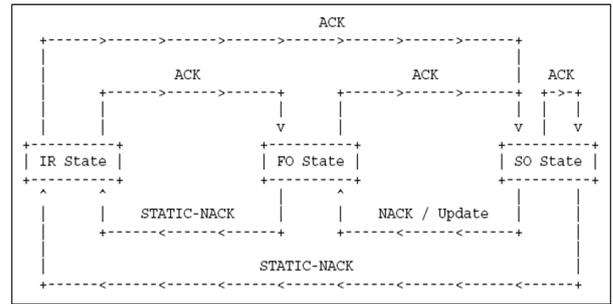
ROHC는 (그림 1)과 같이 U(Undirectional) 모드, O(bidirectional Optimistic) 모드 그리고 R(bidirectional Reliable) 모드의 3개의 모드로 동작한다. U 모드는 무선 링크가 단방향이거나 피드백 채널의 사용이 불가능한 경우에 사용된다. (그림 2)는 U 모드에서 컴프레서의 압축상태 간 이동을 보여준다. U 모드에서 컴프레서가 보다 높은 압축률을 제공하는 압축상태로 이동하는 근거는 Optimistic 방법에 의해 제공된다. Optimistic 방법이란, 컴프레서가 디컴프레서에 헤더 복구를 위해 필요로 하는 정보를 충분히 전달한 후에 보다 높은 압축률을 제공하는 압축상태로 이동하는 것을 말한다. Optimistic 방법을 사용할 경우, 무선링크 상에서 헤더의 변화 패턴을 전달하는 패킷이 연속적으로 손실되면 컴프레서와 디컴프레서 간에 유지되는 컨텍스트 정보가 비동기화되어 디컴프레서 측에서 본래의 헤더를 복구하는데 실패하게 된다. U 모드의 컴프레서는 헤더의 재구성 실패를 감지하기 위한 피드백 채널의 결여를 보완하기 위해 주기적으로 보다 낮은 압축상태로 이동하여 디컴프레서의 컨텍스트에 저장된 정보를 갱신하는 방법을 사용한다. 하지만 이로 인해 다른 모드에 비해 압축률이 낮으며 컴프레서와 디컴프레서의 컨텍스트가 비동기화된 이후부터 컴프레서가 주기적인 타임아웃을 통해 낮은 압축상태로 이동할 때까지 연속적으로 헤더 복구가 실패하는 문제가 발생하게 된다. 즉, U 모드는 ROHC의 다른 동작모드에 비해 압축 효율이 낮을



(그림 2) U 모드에서의 컴프레서 압축 상태 간 이동



(그림 3) O 모드에서의 컴프레서 압축 상태 간 이동



(그림 4) R 모드에서의 컴프레서 압축 상태 간 이동

뿐 아니라 손실 전파(loss propagation)의 가능성이 높다.

O 모드는 양방향 채널에서 동작하며, 디컴프레서가 컴프레서에게 에러 복구를 위한 요청을 보내거나 컨텍스트의 갱신에 대한 응답을 보내기 위해 (선택 사항) 피드백 채널을 사용된다. (그림 3)은 O 모드에서 컴프레서의 압축상태 간 이동을 보여준다. O 모드는 U 모드와 마찬가지로 optimistic 방법을 통해 높은 압축상태로 이동한다. 그러나 미리 정해진 시간마다 하위 압축상태로의 이동을 통해 컴프레서와 디컴프레서의 컨텍스트를 동기화하는 U 모드와 달리, O모드에서는 디컴프레서가 피드백 채널을 사용하여 컴프레서에 컨텍스트의 비동기화를 알림으로써 패킷 손실에 의한 에러를 신속하게 복구한다. 따라서 O 모드는 U 모드에 비해 압축률과 견고성 면에서 모두 우수하며, 압축 효율을 최대화하면서 피드백 채널의 사용은 최소화하기 위해 사용되는 동작 모드이다.

R 모드도 O 모드와 마찬가지로 양방향 채널에서 동작한다. (그림 4)는 R 모드에서 컴프레서의 압축상태 간 이동을 보여준다. R 모드에서의 피드백 채널은 O 모드와 같이 헤더 복구의 실패를 알리는 경우 외에도, 컴프레서가 디컴프레서의 컨텍스트를 갱신하기 위해 전송한 모든 패킷에 대한 디컴프레서의 응답을 전송하기 위해 사용되므로 O 모드에 비해 피드백 채널의 사용 빈도가 매우 높다. 반면에, R 모드는 컴프레서와 디컴프레서가 피드백에 근거하여 컨텍스트를 갱신함에 따라 컨텍스트 동기화가 항상 보장된다. 따라서 U 모드나 O 모드와 달리 패킷 손실로 인한 헤더 복구의 실패가 발생하지 않는다. 그러나 무선링크의 지연시간이 길 경우에, 컴프레서가 보다 높은 압축 상태로 이동하기 위해서는 피드백 전송의 지연시간만큼 기다려야 하므로 O 모드에 비해 압축 성능이 저하될 수 있다.

ROHC는 항상 U 모드에서 시작하며, 디컴프레서가 컴프레서에게 보내는 피드백에 원하는 동작 모드를 표시하여 모드를 변경할 수 있다. 최적의 동작 모드는 무선링크의 특성과 요구되는 성능 조건에 근거하여 결정해야 한다.

2.2.3 ROHC 구현 파라미터들

ROHC 표준에는 ROHC RTP profile의 압축 효율성 및 압축기법의 견고성에 영향을 미치는 다양한 구현파라미터들이 정의되어 있다. ROHC 표준에 정의된 ROHC 구현파라미터들 중 모바일 와이맥스의 성능에 영향을 미치는 파라미터들은 다음과 같다.

- $N_U, N_O$ : U와 O 모드에서, 컴프레서는 Optimistic 방법을 통해 보다 높은 압축률을 제공하는 압축상태로 이동한다. Optimistic 방법이란, 컴프레서가 연속적으로 일정 개수 이상의 업데이트 패킷을 전송함에 따라 디컴프레서가 본래의 헤더를 정확하게 복구하기 위해 필요로 하는 정보가 정확하게 전달되었다고 확신하는 것을 말한다. U 모드와 O 모드를 위해 각각  $N_U$ 와  $N_O$  값이 정의된다.
- $TIMEOUT_{FO}, TIMEOUT_{SO}$ : ROHC가 U 모드로 동작하는 경우에, 피드백의 결여로 인해 컴프레서는 미리 정해진 시간에 따라 주기적으로 하위 압축 상태로 이동한다. U 모드의 컴프레서는 FO 압축상태와 SO 압축상태를 위해 각각  $TIMEOUT_{FO}$ 와  $TIMEOUT_{SO}$  타이머를 유지한다.
- $k_1, k_2, n_1, n_2$ : 디컴프레서는  $n_1(n_2)$ 개의 패킷에 대해  $k_1(k_2)$ 번의 헤더 재구성을 실패할 경우 하위 상태로 이동한다.  $k_1$ 과  $n_1$ 은 FC 상태에서 사용되는 파라미터로 컨텍스트의 동적 필드에 대한 정보의 손상을 가정하는데 사용되며,  $k_2$ 와  $n_2$ 는 SC 상태에서 컨텍스트의 정적 필드에 대한 정보의 손상을 가정하는데 사용된다. 모바일 와이맥스의 경우, 무선링크에서의 패킷 손실에 의해 컴프레서와 디컴프레서에서 유지하는 동적 필드에 대한 정보가 비동기화 될 수 있다. ROHC 표준에서는 디컴프레서가 컴프레서에게 패킷 헤더 복구 실패 시 바로 피드백을 보내기 이전에 에러 복구 기법을 통해 컨텍스트의 비동기화를 해결하는 방법이 제시되어 있으나, 업데이트 정보의 손실로 인한 컨텍스트의 불일치는 에러 복구 기법을 통해 해결할 수 없으므로 신속하게 컴프레서에게 알리는 것이 중요하다. 따라서, 모바일 와이맥스에서  $k_1$ 과  $n_1, k_2$ 와  $n_2$  값은 모두 1로 설정해야 한다.
- $OPTIONAL\_ACK_{pkt\_name}$ : ROHC가 O모드에서 동작할 때, 디컴프레서는 일부 ROHC 패킷에 대해 헤더 필드의 재구성이 성공했음을 컴프레서에게 알리기 위해 피드백을 전송하며 컴프레서는 Ack에 기반하여 상위 압축상태로 이동할 수 있다.
- Sparse Ack 적용여부,  $k$ : R 모드에서는 모든 업데이트 패킷에 대해 피드백을 전송해야 하므로, 무선링크 상의 지연 시간이 길 경우에 피드백 오버헤드가 증가할 수 있다. Sparse Ack 알고리즘은 디컴프레서가 업데이트 패킷을 수신하면 미리 정의된 규칙에 따라 우선 최소의 Ack 만을 전송한 후, 디컴프레서가 이전 패킷과 비교하여 헤더 필드의 같은 변화 패턴을 전달하는 ROHC 패킷을 계속 수신하는 경우에 왕복시간(RTT: Round Trip Time) 당  $k$ 개의 패킷에 대해서만 Ack을 전송하여 피드백 오버헤드를 줄이는 방안이다.
- 피드백 전달 방식: 디컴프레서가 생성한 피드백을 전송하는 주체에 따라 피드백 전달 방식은 Piggybacked와 Interspersed 피드백으로 구분된다. 특히, R 모드에서는 피드백에 근거하여 컴프레서의 압축상태 이동이 이루어지므로, 압축 효율성이 피드백의 전달 방식에 매우 의존적이다. 위와 같은 파라미터들은 모바일 와이맥스에서 ROHC의

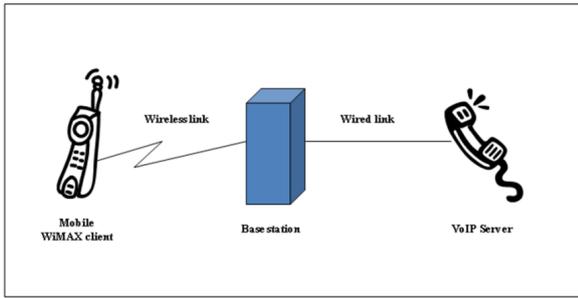
성능을 향상 시킬 핵심 요소들이나, ROHC 표준에는 구현 사항으로 정의만 되어 있을 뿐 실제 값에 대해서는 기술되지 않았다. ROHC의 성능은 각 동작모드 및 압축상태에 정의된 ROHC 구현파라미터들에 의해 영향을 받으므로, 모바일 와이맥스에 ROHC 기법을 적용하기 위해서는 ROHC 구현파라미터들의 적절한 값이 정의되어야 한다.

### 3. 시뮬레이션

모바일 와이맥스에서의 실시간 응용 서비스를 제공하기 위한 ROHC RTP profile의 성능 분석을 위해, OPNET Modeler 12.0을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 위해 OPNET Modeler의 WiMAX 프로세스 모델을 수정하여 802.16e MAC CS에 PHS 및 ROHC 기법을 구현하였다. 모바일 와이맥스의 경우 맥 CPS의 에러검출기법을 통해 무선링크의 비트 에러로 인해 손상된 패킷은 MAC CS의 ROHC로 전달되지 않고 수신측에서 패킷을 삭제하거나 송신측에서 재전송 된다. 모바일 와이맥스에서는 서비스 플로우 생성 단계에서 각 서비스에 대해 ARQ 기능을 지원할 지 여부를 결정하며, 엄격한 시간 제약으로 인해 VoIP와 같은 실시간 응용의 경우 ARQ 기능을 제공하지 않으므로 비트 에러가 포함된 패킷은 맥에서 삭제되고, 이는 ROHC 입장에서 패킷의 손실로 처리된다. 따라서 앞에서 설명한 기존연구들[5~8]의 방식과는 다르게 비트에러에 따른 성능 평가는 의미가 없다. 반면에, 모바일 와이맥스는 넓은 서비스 영역으로 인해 무선링크의 지연시간이 길어 질 수 있으며, 서비스 음영 지역으로 인해 패킷 손실이 발생할 수 있다. 제안된 방안의 검증을 위해 다음과 같은 기본 가정을 하였다.

- 모바일 와이맥스의 무선링크 상에서 전송된 패킷은 손실될 수 있으며, 피드백 또한 손실될 수 있다.
- 구현의 편의를 위해 IPv4 헤더의 IP identification 필드는 임의의 값을 가지도록 하였으며, 따라서 이 필드는 압축되지 않는다.
- 무선 환경에서 보통 보안의 이유로 UDP 헤더의 checksum 필드 값은 0으로 설정하므로, 본 시뮬레이션에서도 UDP 헤더의 checksum 필드 값은 항상 0 이다.
- RTP/UDP/IP 헤더는 옵션 필드들을 포함하지 않는다.
- 결과적으로 본 시뮬레이션 동안 RTP/UDP/IP 헤더 중 압축 가능한 동적 필드는 RTP Sequence Number와 RTP Timestamp 필드이다.

(그림 5)는 시뮬레이션 시나리오의 네트워크 토폴로지를 보여준다. 시뮬레이션 측정 기간인 1시간 동안에 모바일 와이맥스 단말은 VoIP 서버와 연속적인 세션을 유지한다. 모바일 와이맥스 단말이 움직이는 동안에 겪는 무선링크에서의 패킷 손실 및 지연 시간의 변화는 입력 값으로 조절하였으므로 시뮬레이션 동안 단말의 위치는 고정적이다. 모바일 와이맥스 환경 구성을 위해 단말과 기지국의 맥은 IEEE802.16m draft[2]와 IEEE 802.16e 표준[3]에서 정의된 값에 따라 설정



(그림 5) 네트워크 토폴로지

하였으며, 물리 계층은 OFDMA PHY를 적용하였다. VoIP 응용의 엄격한 시간 제약으로 인해 맥 계층의 ARQ 기능은 사용되지 않는다.

본 시뮬레이션은 표준에 근거한 성능 분석을 위해, OPNET Modeler에 <802.16m: 모바일 와이맥스에 대한 성능 평가 방법론[2]>에서 제시한 트래픽 모델을 구현하였다. [2]에서 정의된 실시간 서비스 중 VoIP 패킷의 헤더 정보가 가장 자주 변하므로 설정된 ROHC 구현파라미터 값에 의해 큰 영향을 받을 수 있다. 따라서 본 시뮬레이션에서는 VoIP 트래픽을 대상으로 ROHC RTP profile의 성능평가를 실시하였다. VoIP 사용자는 세션 동안 지수 분포에 따라 활성 또는 비활성 상태가 되며, 각 활성/비활성 상태 동안에 일정량의 패킷이 생성된다. <표 1>은 VoIP 트래픽 모델과 관련된 속성들을 보여준다. VoIP 모델링 과정을 간단히 하기 위해 Simplified AMR (Adaptive Multi-Rate) 코덱이 사용되었으며, implified AMR 코덱의 속성은 <표 2>와 같다. VoIP의 code rate는 12.2kbps이며, 사용자가 활성 상태의 경우 매 20ms 마다 33 바이트의 AMR 페이로드가 생성되며 비활성 상태 동안에는 매 160ms 마다 7 바이트 AMR 페이로드가 생성된다. 즉, 활성 상태 동안에는 73 바이트의 패킷이 생성되고 비활성 상태 동안에는 47 바이트의 패킷이 생성된다.

(그림 6)부터 (그림 17)을 통해 시뮬레이션 결과를 보여준다. 먼저 ROHC의 압축 성능에 대해 평가해 보기 위해 3가지 시나리오(ROHC, PHS 그리고 헤더 압축기법 적용 안 함)에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. (그림 6)과 (그림 7)은 세

<표 1> VoIP 트래픽 모델 속성

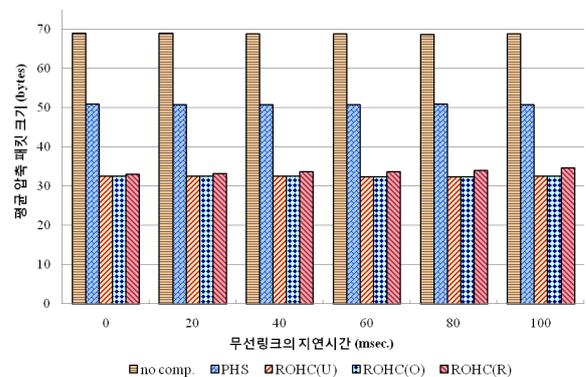
Component	Distribution	Parameters
Active state duration	Exponential	Mean = 1 sec
Inactive state duration	Exponential	Mean = 1.5 sec

<표 2> Simplified AMR 속성

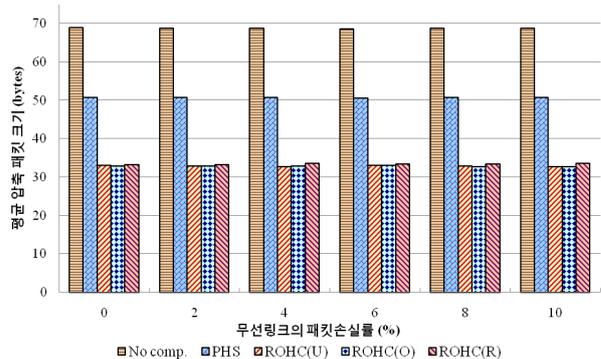
Description	Simplified AMR
Source Bit Rate (Kb/s)	12.2
Frame duration [ms]	20
Voice Payload	7bytes for inactive 33 bytes for active
Protocol headers	40 bytes
RTP	12 bytes
UDP	8 bytes
IPv4	20 bytes

개의 시나리오에서의 평균 압축 패킷 크기(총 수신한 패킷들의 크기 합/총 수신한 패킷 수)를 보여준다. (그림 6)은 무선링크 상에 지연시간이 주어졌을 때의 압축 효율을 비교한 것이다. 무선링크의 지연과 상관없이 패킷 헤더 압축기법을 적용하지 않은 경우에 비해, 패킷 헤더 압축기법을 적용한 경우 PHS는 약 25% 정도, ROHC는 절반 이상의 대역폭을 절약하게 된다. 특히, 헤더 압축기법의 헤더 크기만을 비교해보면 PHS는 제한적인 압축 필드로 인해 각 패킷마다 40바이트의 헤더 중 동일하게 18바이트만을 압축하는데 반해, ROHC는 동적 필드의 압축을 통해 U와 O 모드의 경우 4바이트 이하(그림 9, 10 참조), R 모드의 경우 6바이트 이하의 크기(그림 14 참조)로 헤더를 압축함에 따라 PHS에 비해 ROHC의 압축 효율성이 보다 우수함을 확인할 수 있다. 무선링크의 지연에 대한 ROHC 기법의 성능을 살펴보면, U나 O 모드의 경우 무선링크의 지연에 거의 영향을 받지 않으나, R 모드는 피드백 정보에 근거하여 압축 정도를 결정하는 방식을 사용함에 따라 무선링크 상의 지연시간이 길어질수록 ROHC R 모드의 압축률이 U 모드나 O 모드에 비해 조금 떨어지는 것을 볼 수 있다.

(그림 7)은 무선링크 상에서 패킷 손실이 발생할 경우의 압축 효율을 비교한 것이다. PHS와 ROHC의 평균 압축헤더 크기는 패킷 손실에 거의 영향을 받지 않고 (그림 6)과 매우 유사한 패턴을 보인다. 그러나 (그림 8)에서 보는 바와 같이, 패킷 손실률이 증가할 경우 ROHC의 U 모드와 O 모드는 헤더 복구의 실패 확률이 증가한다. 이는 무선링크 상에서 디



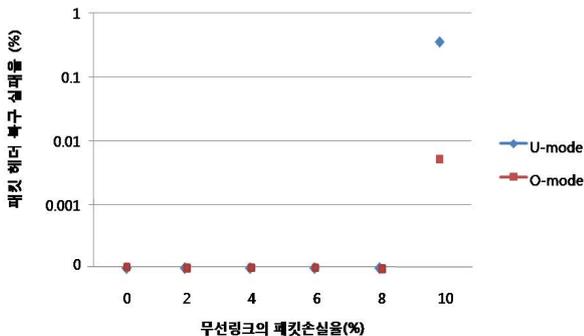
(그림 6) 무선링크 지연시간에 따른 평균 압축패킷크기 비교



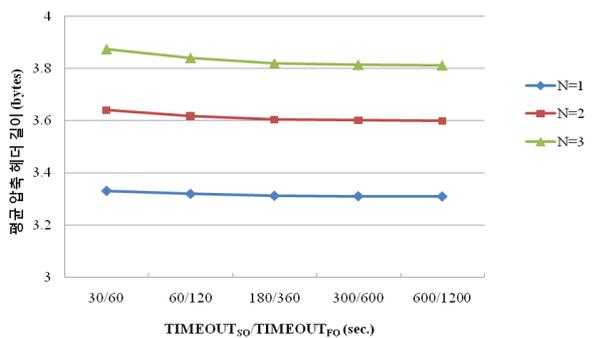
(그림 7) 무선링크 패킷손실률에 따른 평균 압축패킷크기 비교

컴프레서의 컨텍스트를 갱신하는 패킷이 손실되는 경우, Optimistic 방법에 의존하는 U/O 모드는 컴프레서와 디컴프레서 간의 컨텍스트 정보가 비동기화될 수 있기 때문이다. 이러한 경우는 연속적인 패킷 손실로 인한 N개의 업데이트 패킷이 모두 손실될 경우 발생하므로 패킷 손실률이 증가할수록 그 가능성이 커지게 된다. 특히, U 모드의 경우 컨텍스트의 에러를 신속하게 알리기 위한 피드백의 결여로 인해 연속적인 패킷 복구의 실패가 발생하게 되므로 O 모드에 비해 헤더 복구 실패율이 더 크다. R 모드의 경우에 컴프레서가 디컴프레서로부터 피드백을 수신할 때까지 연속적으로 업데이트 패킷을 전송하기 때문에 위와 같은 상황이 발생하지 않는다. (그림 6~8)의 실험 결과를 통해 ROHC는 패킷손실이나 무선링크의 지연에 견고하면서도 PHS에 비해 보다 효율적인 압축 성능을 보임을 검증하였다.

모바일 와이맥스에서 ROHC RTP profile의 성능을 향상시키는 핵심 구현파라미터를 찾아내고 그 ROHC 파라미터의 최적값을 제안하기 위해, ROHC의 3가지 동작 모드 별로 무선링크 상의 지연시간 및 패킷 손실률 변화에 따른 패킷 헤더 압축률(평균 압축 헤더 길이 = 총 수신한 패킷 헤더들의 크기의 합 / 총 수신한 패킷 수)과 헤더 복구 실패율(CRC로 에러를 감지한 경우와 감지하지 못한 경우 모두 포함)을 측정하였다. (그림 9)는 U 모드에서 업데이트 패킷 전송 횟수 N(실험의 복잡성을 줄이기 위해 파라미터  $N_U=N_O=N$ 으로 가정하였음)과 타임아웃의 주기 변화에 따른 헤더 평균 크기를 보여주고 있다. Optimistic 방법을 사용하는 U 모드에서는 업데이트 패킷 전송 횟수 N 값에 따라 평균 압축 헤더 길이



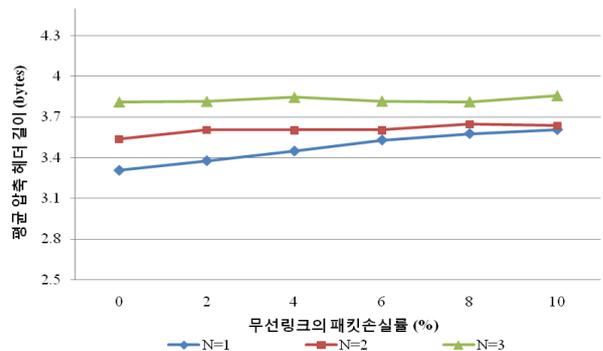
(그림 8) 무선링크 패킷손실률에 따른 패킷 헤더 복구 실패율



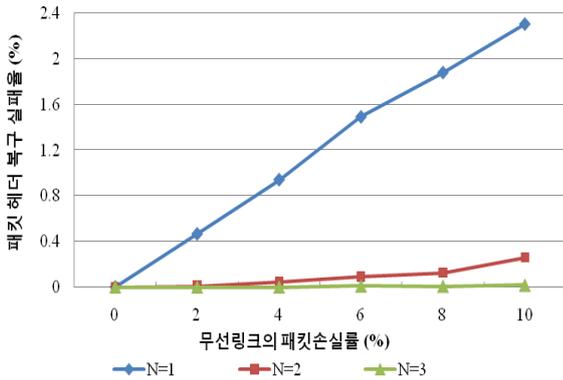
(그림 9) U 모드에서의 TIMEOUT 영향

가 변화하는데, N 값이 클수록 상위 압축 상태로 이동하는 시간이 길어지므로 평균 압축 헤더 길이가 약간 증가함을 볼 수 있다. 또한,  $TIMEOUT_{SO}/TIMEOUT_{FO}$  주기가 짧을 수록 압축 정도가 낮은 하위 상태로 자주 이동하게 되므로 평균 압축 헤더 길이가 증가하나 그 차이는 매우 작은데 이유는 다음과 같다. 모바일 와이맥스 표준에 기술된 VoIP 응용은 VoIP 사용자가 약 1초와 1.5초 간격을 두고 활성 상태와 비활성 상태를 통해 각각 20ms와 160ms마다 VoIP 페이로드를 발생한다. 이 페이로드가 RTP를 통해 전송될 때, RTP 타임스탬프 필드 값은 VoIP 페이로드가 생성된 시간으로 설정되므로 사용자의 상태가 변화할 때마다 RTP 타임스탬프 필드의 변화량이 변화된다. 이 때, SO 압축 상태의 컴프레서는 불규칙한 헤더 필드의 변화를 감지한다. 따라서 현재 컴프레서가 최상위 압축 정도를 제공하는 SO 상태에 머무르더라도 VoIP 사용자가 활성 또는 비활성 상태로 변화하는 순간마다, 컴프레서는 디컴프레서에게 RTP 타임스탬프의 변화량을 알려주기 위해 FO 상태로 이동해야 한다. 즉 컴프레서는 매번 약 1.5초 이내에 SO 상태에서 FO 상태로 이동을 하게 된다. 따라서 U 모드에서 파라미터  $TIMEOUT_{SO}$ 는 컴프레서가 약 1.5 초보다 짧은 주기로 FO 상태로 이동하지 않는 이상 ROHC의 압축 성능에 크게 영향을 끼치지 않는다. VoIP와 달리, 헤더 정보의 변화가 적은 실시간 서비스의 경우에 패킷손실에 의한 헤더 복구의 실패를 줄이기 위해 짧은 주기로 낮은 압축상태로의 이동을 해야 함을 예측할 수 있다.

(그림 10)과 (그림 11)은 O 모드의 성능을 보여준다. (그림 10)은 업데이트 패킷 전송 횟수 N과 패킷 손실률에 따른 헤더 압축 효율성을 보여주고 있다. U 모드와 동일하게 Optimistic 방법을 사용하는 O 모드는 U 모드와 마찬가지로 컨텍스트 업데이트 패킷의 전송 횟수가 증가할수록 평균 압축 헤더 길이가 약간 증가한다. (그림 11)은 패킷 손실률에 따른 패킷 헤더 재구성의 실패율을 보여주고 있다. 컴프레서가 패킷 헤더의 변화 규칙을 전달하기 위해 전송한 업데이트 패킷은 무선 링크 상에서 손실 될 수 있다. U와 O 모드에서는 컴프레서가 상위 압축 상태로 이동하기 위해 optimistic 방법을 사용한다. 즉, 컴프레서는 N 개의 업데이트 패킷을 전송한 후, 디컴프레서가 필요한 업데이트 정보를 수신했다고 확신하고 자신의 컨텍스트를 갱신하는 동시에 더 높은 압



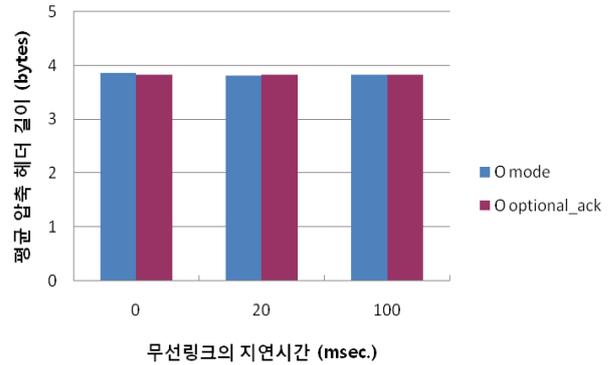
(그림 10) O 모드에서의 무선링크 패킷손실률에 따른 평균압축헤더길이



(그림 11) O 모드에서의 무선링크 패킷손실률에 따른 패킷헤더 복구 실패율

축 정도를 제공하는 압축상태로 이동하게 된다. 이 때, 무선링크 상에서 N 개의 컨텍스트 업데이트 패킷이 모두 손실될 경우 컴프레서와 디컴프레서 간의 컨텍스트가 비동기화될 수 있다. (그림 11)에서 볼 수 있듯이 이러한 상황은 N 값이 작을수록 발생할 가능성이 커지게 된다. O 모드에서는 헤더 복구를 실패한 경우, 디컴프레서가 피드백을 통해 신속하게 컴프레서에게 에러 발생을 알려주므로 헤더 복구 실패율이 높지 않다. 따라서 U 모드와 비교하여 보다 적은 N 값을 적용할 수 있으므로, 압축 효율 및 압축기법의 견고성 면에서 U 모드보다 좋은 성능을 보인다. 한편, O 모드에서는 디컴프레서가 에러 감지 시 컴프레서에게 에러 발생을 알리기 위해 피드백 채널을 사용하므로 그 사용 빈도는 (그림 11)과 거의 유사한 패턴을 보인다. 단, O 모드에서는 헤더 복구의 실패를 감지하기 위해 3-비트 CRC를 사용함에 따라, 디컴프레서의 헤더 복구 실패를 인지하지 못하는 경우가 발생하므로 (그림 11)과 약간의 차이를 보일 수 있다.

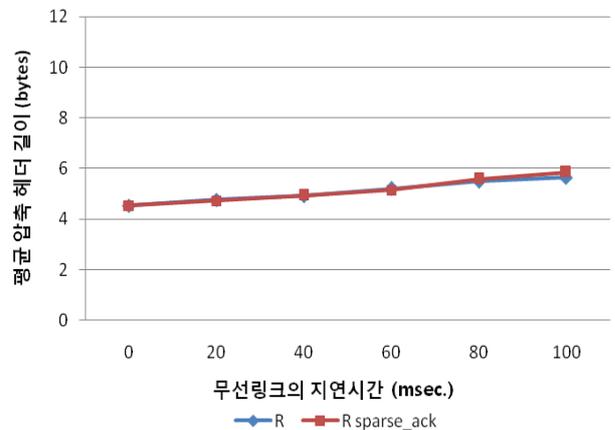
(그림 12)는 O 모드에서 Optional Ack의 영향을 보여주고 있다. ROHC 표준에는 Optional Ack을 통해, 디컴프레서가 IR 패킷에 대해 ACK을 전송하고 나머지 패킷에 대해서는 선택적으로 ACK 전송 여부를 결정하도록 정의되어 있다. 이에 본 실험에는 디컴프레서가 오직 IR 패킷에 대해서만 피드백을 전송한다고 가정하였다. O 모드에서 OPTIONAL\_ACK<sub>IR</sub>이 사용될 경우, 디컴프레서는 IR 패킷을 통해 원래의 패킷 헤더를 정확하게 재구성한 후 컴프레서에게 피드백을 전송해야 한다. (그림 13)에서 볼 수 있듯이 O모드에서의 압축률은 OPTIONAL\_ACK<sub>IR</sub> 적용 여부와 관계없이 거의 동일하며, 이것은 무선 링크의 지연 시간이 증가하더라도 같은 결과를 보여준다. O 모드에서 컴프레서는 세션 초기에 IR 상태에 머무르다가 디컴프레서가 충분한 정보를 수신했다고 확인하면 FO 상태로 이동한다. 컴프레서가 FO 상태에서 IR 상태로 이동하려면 컴프레서가 FO 상태에서 전송한 패킷들이 무선 링크 상에서 모두 손실되어 디컴프레서로부터 패킷 헤더 복구 실패에 대한 피드백을 수신해야 한다. 이런 경우는 무선 링크 상의 패킷 손실율이 매우 높지 않는 이상 거의 발생하지 않는다. 따라서 VoIP 세션 동안에 전송되는 모든 패킷 수에 비해



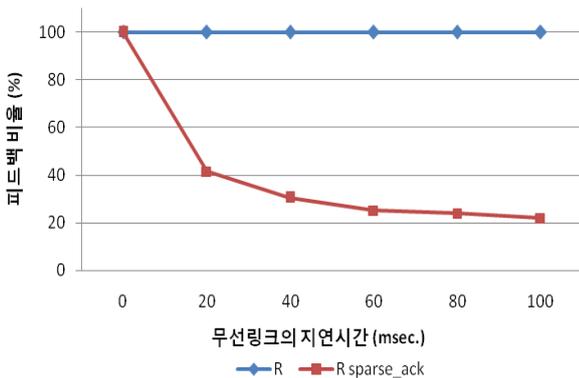
(그림 12) O 모드에서의 OPTIONAL\_ACK 효율성 평가

IR 패킷이 차지하는 비중은 극히 드물며 다른 실시간 응용 역시 마찬가지로의 결과를 보여줄 것이다. 그러므로 IR에 패킷에 대한 OPTIONAL\_ACK<sub>IR</sub>을 통해 보다 좋은 압축 성능을 제공하지는 못한다. 또한 무선 링크 상의 지연시간이 매우 짧을 경우 피드백에 근거하여 압축 정도를 결정하는 방법이 Optimistic 방법에 비해 비효율적이므로, 피드백에 의한 오버헤드와 피드백의 효율성을 고려해보았을 때 O 모드에서 OPTIONAL\_ACK<sub>pkt\_name</sub>은 적용하지 않는 게 좋은 선택이라 볼 수 있다.

R 모드에서는 큰 RTT로 인해 발생할 수 있는 피드백의 오버헤드를 줄이기 위해 Sparse Ack 방법을 사용할 수 있다. (그림 13과 14)는 Sparse Ack 기법(k=1)을 적용했을 때의 실험 결과를 보여주고 있다. (그림 13)은 무선 링크의 지연시간 변화에 따른 평균 압축 헤더 길이를 보여주고 있다. R 모드에서는 컴프레서가 디컴프레서로부터 긍정적인 피드백을 수신해야 상위 압축상태로 이동하므로, 무선링크의 지연시간이 길어질수록 피드백의 도착 또한 지연되어 압축률이 조금 떨어지는 경향이 있다. Sparse Ack 기법을 사용하는 경우에, R 모드의 견고성은 그대로 유지하면서 주어진 무선링크의 지연 시간에 따른 압축률은 거의 유사한 반면, (그림 14)에서 보는 것과 같이 Sparse Ack 기법을 적용할 경우에 피드백의 사용량을 현저하게 줄일 수 있다. R 모드는 U 모



(그림 13) R 모드에서의 압축효율비교: Sparse Ack 적용(k=1) vs. Sparse Ack 적용 안 함

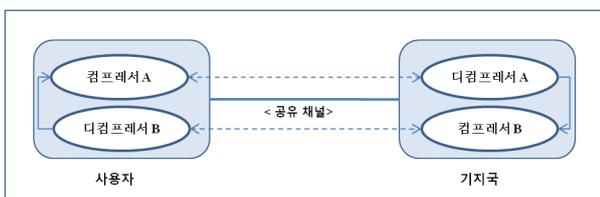


(그림 14) R 모드에서의 Sparse Ack 적용 시 사용 이득

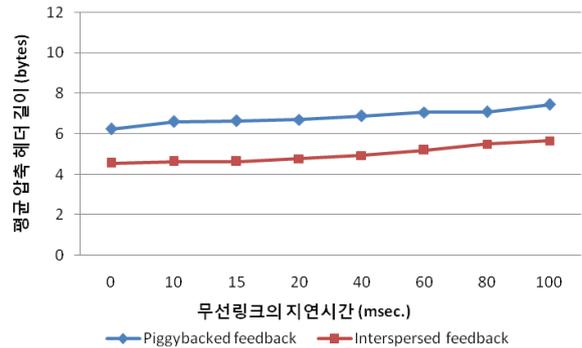
드나 O 모드에 비해 헤더 압축률은 조금 떨어지나 항상 성공적으로 패킷 헤더를 재구성할 수 있음을 보장한다. 따라서 모바일 와이맥스 환경에서 무선 링크의 패킷 손실률이 클 경우에, ROHC는 R 모드로 동작하여 압축기법의 견고성을 제공할 수 있다. 이 때, Sparse Ack 기법을 적용하면 피드백으로 인한 대역폭의 사용량을 크게 줄일 수 있으므로 ROHC의 성능을 보다 향상시킬 수 있다.

R 모드에서의 압축 상태 전이는 피드백에 근거하여 이루어지므로, 피드백의 구현 방법이 R 모드의 압축 성능에 영향을 미칠 수 있다. 우리는 피드백 전송의 주체가 다른 두 가지의 피드백 전달 방식(Piggybacked 피드백과 Interspersed 피드백이라 함)을 구현하여, 피드백 전달 방법에 따른 압축 성능을 평가해 보았다. 이를 위해 다음과 같이 가정하였다. 사용자와 기지국 간에는 한 개의 채널이 존재하며, 그 채널은 데이터 패킷과 피드백 전송을 위해 공유된다. (그림 15)에서와 같이 사용자와 기지국 간에는 각각 컴프레서와 디컴프레서 2쌍이 존재한다. piggybacked 피드백을 위해서 같은 편에 위치한 컴프레서와 디컴프레서 간에는 패킷 전송이 가능하다. 기지국을 예를 들면, 디컴프레서 A는 컴프레서 A에게 전송할 피드백을 생성한 후 우선 같은 편에 위치한 컴프레서 B에게 피드백을 전달한다. 컴프레서 B는 디컴프레서 A로부터 수신한 피드백을 버퍼에 임시로 저장해뒀다가, 상위 계층으로부터 패킷이 도착하면 압축한 패킷에 버퍼에 저장된 피드백을 포함하여 해당 컴프레서에 전달한다. 반면, Interspersed 피드백 방식을 사용할 경우 기지국의 디컴프레서 A는 피드백을 생성하자마자 직접 컴프레서 A에게 피드백을 전달한다.

(그림 16)은 피드백의 구현 방식이 R 모드에서의 압축 성능에 미치는 영향을 보여주고 있다. Piggybacked 피드백을 사용할 경우, 디컴프레서가 생성한 피드백은 바로 컴프레서에게 전



(그림 15) 피드백 구현 예



(그림 16) 구현 방법에 따른 압축 효율 비교

달되지 않고, 상위 계층으로부터 패킷을 수신할 때까지 기다렸다가 전송된다. 이러한 지연시간으로 인해, Interspersed 피드백을 사용하는 경우에 비해 컴프레서가 하위 압축 상태에 머무르는 시간이 길어진다. 따라서 piggybacked 피드백을 사용할 경우에 압축 효율성은 Interspersed 피드백을 사용하는 경우에 비해 떨어진다. 단, 802.16e 표준에는 VoIP와 같은 실시간 서비스를 제공하기 위해 ertPS(Extended real-time Polling Service) 스케줄링을 적용하도록 정의되었는데, 이로 인해 데이터 패킷에 비해 매우 작은 크기의 피드백 패킷이 단독으로 전송되는 형태의 Interspersed 피드백 방식의 사용이 대역폭의 낭비를 가져올 수 있다.

[8]에서와 같이 일반적으로 ROHC는 R모드로 동작할 때 압축효율성이 가장 좋으나, 무선링크나 응용서비스의 특징에 따른 다른 결과를 보일 수 있다. 모바일 와이맥스의 경우 넓은 서비스 영역으로 인해 무선링크의 지연시간이 긴 특성이 있는데, 이로 인해 디컴프레서의 피드백에 의존하여 압축상태를 결정하는 방식을 사용하는 R 모드의 경우에 이러한 무선링크의 지연시간에 영향을 받게 된다. 이에 추가적으로, VoIP 와 같이 세션 중에 패킷 헤더의 정보가 자주 변하는 특성을 가진 서비스의 경우에 ROHC 압축 상태 간 이동이 빈번하게 일어나게 되므로 지연시간에 영향을 받는 R 모드의 특성으로 인해 더욱 압축효율성이 떨어지게 된다. 또한, R 모드는 Sparse Ack 기법을 적용하더라도 O 모드에 비해 피드백에 의한 오버헤드가 크다. 시뮬레이션을 통해 확인해 본 결과, 비트에러가 포함된 패킷이 ROHC에 전달되지 않고 무선링크의 지연시간이 긴 모바일 와이맥스 무선링크의 특성을 고려해 보았을 때 모바일 와이맥스의 CS에서 동작하는 ROHC는 O 모드로 동작하는 것이 가장 적합하다는 것을 볼 수 있다. 특히, 피드백에 의한 오버헤드를 고려해 보면 O 모드와 R 모드의 성능 격차는 더욱 크다. 다만, 패킷손실률이 높은 구간의 경우 O 모드로 동작할 경우 패킷 헤더 복구 실패율이 증가할 수 있으므로 이 경우 R 모드로의 동작모드 전환이 필요하다.

## 5. 결 론

ROHC는 IETF에서 무선링크의 특징을 반영하여 이에 유연하게 동작하도록 설계한 헤더압축 기법이다. 본 논문에서

는 모바일 와이맥스 무선링크의 효율적인 대역폭 활용을 위해, 모바일 와이맥스 표준에서 제시한 헤더압축기법인 PHS를 대신하여 ROHC 기법을 사용하도록 제안하였고, 모바일 와이맥스 환경에서의 ROHC RTP profile의 전반적이고 구체적인 성능 분석을 위해 VoIP 응용을 대상으로 오프넷 시뮬레이터를 사용하여 실험을 하였다. 다양한 실험을 통하여 제안한 방안의 성능을 평가해 본 결과, ROHC가 PHS에 비해 좋은 압축 성능을 보임을 확인하였다. 특히, 모바일 와이맥스 무선링크의 지연과 패킷손실률에 대한 헤더 압축률과 압축기법의 견고성 및 피드백에 의한 오버헤드를 모두 고려해 보았을 때, 모바일 와이맥스에서는 ROHC가 O 모드로 동작하는 경우에 가장 효율적이라고 볼 수 있다. 또한, 모바일 와이맥스의 서비스 음영으로 인해 패킷손실률이 높은 구간에서는 ROHC가 R모드로 동작하여 높은 손실률이 존재하는 무선링크에서도 견고한 압축 성능을 제공함을 볼 수 있었다. 또한, 모바일 와이맥스에서 ROHC의 성능을 최적화하기 위한 핵심 요소 추출을 위해, ROHC 구현 파라미터들을 분석하고 시뮬레이션을 통해 다양한 값을 적용해 보았다. Optimistic 파라미터인  $N_0$ 는 O 모드의 압축률과 패킷손실에 의한 견고성을 결정하는데 가장 큰 영향을 미치는 구현파라미터로서 무선링크의 패킷손실률에 따라 적절한 값이 설정되어야 한다. 시뮬레이션 결과를 바탕으로 무선링크의 패킷손실률이 10% 이하로 발생하는 환경에서는 최소 2 이상의 값이 설정되어야 함을 확인하였다. 한편, 무선링크의 지연에 영향을 받는 R모드의 경우에 피드백의 구현 방식에 따라 압축 성능에 가장 큰 영향을 받게 되며 시뮬레이션을 통해 Interspersed 피드백 방식의 구현이 적절함을 보였다. 또한, Sparse Ack 기법의 적용을 통해 압축 성능에 영향을 받지 않고 피드백에 의한 오버헤드를 크게 줄일 수 있음을 확인하였다.

**참 고 문 헌**

[1] Schulzrinne, H., et., AL., "RTP: A Transport Protocol for Real-time Applications", RFC1889, 1996.  
 [2] IEEE 802.16m-07/080r1, "Draft IEEE 802.16m Evaluation Methodology Document", June 2007.  
 [3] IEEE 802.16e-2005, "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems", February 2006.  
 [4] Bormann, C., et., AL., "Robust Header Compression (ROHC): Framework and four profiles: RTP, UDP, ESP, and uncompressed", IETF RFC 3095, 2001.  
 [5] Wang, H., Seah, K.G., "An Analytical Model for the ROHC RTP profile", Wireless Communications and Networking Conference, March 2004.  
 [6] A. C. Minaburo, et., AL., "Proposed Behavior for Robust Header Compression over a radio link", Communications, 2004 IEEE International Conference on, June 2004.  
 [7] K. Sohrawy., et., AL., "Performance of Packet Header Compression and Context Replication in Wireless/Mobile Systems", MILCOM 2006, October 2006.

[8] H. Jin., et., AL., "Performance Comparison of Header Compression Schemes for RTP/UDP/IP Packets", Wireless Communications and Networking Conference 2004, March 2004.  
 [9] Wang, H., et., AL., "Performance analysis of ROHC U-mode in wireless links", IEE Proceedings-Communications, December 2004.  
 [10] Minaburo, A., et., AL., "Configuration and Analysis of Robust Header Compression in UMTS", IEEE PIMRC, September 2003.  
 [11] Frank H.P. Fitzek., et., AL., "RObust Header Compression (ROHC) Performance for Multimedia Transmission over 3G/4G Wireless Networks", 2005.

**우 현 제**



e-mail : hjwoo@ewhain.net  
 2004년 이화여자대학교 컴퓨터학과(학사)  
 2006년 이화여자대학교 대학원 컴퓨터학과(공학석사)  
 2007년~현재 이화여자대학교 대학원 박사과정

관심분야: 무선 네트워크, 모바일 네트워크, 프로토콜 설계 및 성능 분석

**김 주 영**



e-mail : jkim84@ewhain.net  
 2007년 이화여자대학교 컴퓨터학과(학사)  
 2007년~현재 이화여자대학교 대학원 석사과정

관심분야: 모바일 네트워크, 무선 네트워크, MAC 프로토콜

**권 정 민**



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

관심분야: 통신망 설계 및 성능 분석, MAC 프로토콜

**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~현재 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