

무선 멀티 홉 비디오 스트리밍을 위한 모니터링 기반의 네트워크 적응적 FEC 코디네이션

정희원 최 고*, 유재용*, 종신회원 김종원*

Monitoring-based Coordination of Network-adaptive FEC for Wireless Multi-hop Video Streaming

Koh Choi*, Jae-Yong Yoo* *Regular Members*, Jong-Won Kim* *Lifelong Member*

요약

무선멀티홉네트워크(WMNs)는 무선 채널의 페이딩 및 가변적인 대역폭에 의해 패킷 손실 및 전송 지연에 의해 비디오 스트리밍의 성능이 저하된다. 고품질의 비디오 스트리밍의 성능을 보장하기 위해 FEC (Forward Error Correction) 기반의 네트워크 적응적인 비디오 스트리밍 기법이 제안되어 왔다. 종단간 FEC와 홉간의 FEC 기법 등을 사용하는 기존 네트워크 적응 기법들은 제한적인 모니터링 정보에 기반 하므로 스트리밍 경로의 전체적인 상태를 반영하기 힘들다. 본 논문에서는 WMNs 환경에서 모니터링 기반의 네트워크 적응적 FEC 코디네이션을 이용하여 모니터링을 통해 경로 전체의 네트워크 상태를 판별한 후 적응적으로 특정 홉으로부터 종단까지 제어하는 H2E(hop-to-end) FEC 기법을 제안한다. H2E-FEC 기법은 FEC의 시작노드와 중복도(redundancy)를 네트워크 상태에 따라 적절히 결정해야 하며, 이를 위해 중앙집중형 코디네이터를 활용해 획득한 정확한 모니터링 정보를 바탕으로 H2E-FEC를 위한 코디네이션을 적용한다. 제안된 기법은 OMF(Orbit Measurement Framework) 기반의 WMN 테스트베드에서 다수의 실험을 통해 검증하며, 강압적인 네트워크 환경에서 H2E-FEC가 기존의 E2E 및 HbH-FEC 기법에 비해 패킷 복구율 및 전송 지연 시간에 의한 복잡성에서 높은 성능을 나타낸다. 구축된 테스트 베드 환경에서 코디네이터를 적용한 후 E2E-FEC 기법에 비해 패킷 복구율이 약 17% 향상됨을 보인다.

Key Words : Network-Adaptation, Wireless Multi-hop Video Streaming, Monitoring-based FEC

ABSTRACT

Video streaming over wireless multi-hop networks(WMNs) contains the following challenges from channel fading and variable bandwidth of wireless channel, and it cause degradation of video streaming performance. To overcome the challenges, currently, WMNs can use Forward Error Correction (FEC) mechanism. In WMNs, traditional FEC schemes, E2E-FEC and HbH-FEC, for video streaming are applied, but it has long transmission delay, high computational complexity and inefficient usage of resource. Also, to distinguish network status in streaming path, it has limitation. In this paper, we propose monitoring-based coordination of network-adaptive hop-to-end(H2E) FEC scheme. To enable proposed scheme, we apply a centralized coordinator. The coordinator has observing overall monitoring information and coordinating H2E-FEC mechanism. Main points of H2E-FEC is distinguishing operation range as well as selecting FEC starting node and redundancy from monitored results in coordination. To verify the proposed scheme, we perform extensive experiment over the OMF(Orbit Measurement Framework) and IEEE 802.11a-based multi-hop WMN testbed, and we carry out performance improvement, 17%, from performance comparison by existing FEC schemes.

※ 본 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. KRF-2008-313-D00682)

* 광주과학기술원 정보통신 공학부 네트워크미디어 연구실 (kchoi, jyyoo, jongwon@netmediat.gist.ac.kr)

논문번호: KICS2010-08-408, 접수일자: 2010년 8월 19일, 최종논문접수일자: 2011년 2월 8일

I. 서 론

최근 멀티홉 무선 네트워크(WMNs)는 낮은 비용과 유연한 인프라 구성으로 미래 인터넷의 잠재적인 후보로 주목받고 있다. 네트워크망 설치의 경제적인 측면 뿐만 아니라 무선 인터넷의 확장성에 따라 WMNs에서 비디오 스트리밍과 같은 멀티미디어 응용들은 유비쿼터스 시대에 요구되는 중요한 사용자 서비스 중의 하나로서 고려된다. 하지만 실시간 전송과 같은 멀티미디어 전송은 WMNs에서 태생적으로 발생하는 채널 에러 및 간섭, 혼잡에 의해 다량의 패킷 손실과 전송 지연 및 대역폭의 감소로 인한 급격한 성능 감소를 일으킨다. WMNs에서 고품질의 비디오 스트리밍을 위한 성능 저하 문제를 해결하기 위한 방법으로 FEC 기반의 네트워크 적응적인 비디오 스트리밍이 제안되었다^[1].

FEC 기법은 원본 데이터로부터 잉여 데이터를 추가하여 채널 에러로부터 발생하는 패킷 손실을 복구해 주는 기법으로 WMNs 환경에서 고품질의 비디오 스트리밍을 보장하기 위해 네트워크 적응적으로 FEC의 중복도의 조절과 종단간 및 홉간을 통해 FEC를 적용하는 방법들이 기존에 연구되었다. 종단간 FEC 기법은 종단으로부터 보내지는 피드백 데이터를 바탕으로 네트워크 상태를 판별하지만, 이와 같은 방법은 네트워크 상태를 적응적으로 적용하는데 지연이 걸리게 된다. 또한 잉여 데이터에 따른 비효율적인 자원의 사용과 부적절한 FEC 코딩 비율에 따른 자기 정체(self-congestion)에 의한 손실이 발생한다^[2]. 다음과 같은 문제를 보완하기 위해 중간 노드에서 FEC의 인코딩/디코딩 기능을 추가하여 홉간의 네트워크 상태에 따라 FEC를 적용하는 홉간 FEC 기법이 제안 되었으며^[3-5], 전송 경로의 전 구간에서 걸쳐 중간 노드에서 각 홉의 네트워크 상태를 판별하여 FEC를 적용하며, 홉간 FEC 기법이 종단간 FEC 기법보다 비디오 스트리밍을 위한 패킷 손실의 복구를 측면에서 더 좋은 성능을 나타낸다^[6]. 하지만, 홉간 FEC 기법은 로컬 정보를 바탕으로 네트워크 상태를 판별하여 전송 경로의 전체적인 상황을 이해하는데 제한적이며, 중간 노드에서 중복적으로 FEC를 적용함으로써 복잡성 및 오버헤드가 증가하며, FEC의 인코딩/디코딩 동작의 증가에 따른 비디오 스트리밍의 지연이 길어지며, WMNs에서 비디오 스트리밍의 성능을 보장하는데 어려움이 따른다.

본 논문에서는 모니터링을 통해 얻은 네트워크 정보를 바탕으로 특정 홉에서 종단까지 제어하는 H2E(Hop-to-End) FEC 코디네이션 기법을 제안한다.

H2E-FEC 기법은 멀티홉 FEC 기법^[6]의 일환으로 네트워크 모니터링의 결과를 바탕으로 코디네이션 하여 패킷손실이 발생하는 품질이 낮은 링크(low-quality link)와 연결된 노드 X에서 FEC 기법을 적용한다. 이때, 정교한 네트워크 모니터링을 위해 제한적인 중앙 집중형(centralized) 코디네이터를 이용하여 전송 경로에 포함된 모든 노드로부터 네트워크 상태를 판별하는데 필요한 정보들을 취합하는 모니터링을 적용한다. 제안된 기법의 검증은 위해 OMF^[7]와 IEEE 802.11 기반의 멀티홉 무선 테스트베드를 구축하여 강압적인 네트워크 환경을 구축하여 H2E-FEC 기법을 E2E-와 HbH-FEC 기법과 성능을 비교한다. 이후 코디네이터를 적용하여 실험 결과로부터 성능 검증 및 기존의 E2E-FEC 기법과 비교한다.

본 논문의 구성으로는, 2절에서 비디오 스트리밍을 위한 모니터링 및 멀티홉 FEC 기법에 대해 소개한다. 3절에서는 H2E-FEC 기법을 소개하며, 이를 위한 가이드라인 및 적용 구간에 대한 정의를 한다. 4절에서는 본 논문에서 제안하는 모니터링 기반의 H2E-FEC 코디네이션 기법을 설명하며, 이에 대한 구현 및 실험 결과를 다룬다. 5절에서는 본 논문을 마무리 한다.

II. 비디오 스트리밍을 위한 모니터링 및 멀티홉 FEC 기법

멀티홉 무선 네트워크 환경에서 비디오 스트리밍의 성능 향상을 위해 네트워크 적응적으로 FEC 기법들이 제안됐다. 특히, 멀티홉 FEC 기법^[6]은 기존의 E2E-FEC 및 HbH-FEC 기법의 문제점을 개선하기 위해 제안되었으며, 이를 위해 제한적인 모니터링 방법들이 적용되었다. 본 절에서는 멀티홉 FEC 기법들과 무선 멀티홉 비디오 스트리밍(WMVs)을 위한 모니터링 방법에 대한 관련 연구를 정리한다.

2.1 멀티홉 FEC

E2E-FEC와 HbH-FEC 기법의 제한적인 부분을 개선하기 위해 멀티홉 FEC 기반의 오버레이 멀티홉(OM-FEC)^[5], 적응적 멀티홉(AM-FEC)^[8] 기법들이 제안됐다. 멀티홉 FEC 기법은 E2E-FEC 기법과

1) WMNs 환경에서 중앙집중형 제어 기법은 제어에 포함되는 노드의 증가에 따른 처리량의 증가와 복잡도의 증가에 따른 오버헤드가 증가한다. 하지만, 실질적인 WMNs의 홉 카운트는 성능 제한 문제에 의해 제한적이다. 이러한 이유로 본 논문에선 실험적 검증을 사용할 때 제한적 홉 카운트를 바탕으로 실험 결과를 도출한다.

HbH-FEC 기법을 절충한 것으로 중간 홉에서 FEC 기법을 네트워크 상태에 따라 적응적으로 사용되는 기법을 나타낸다.

OM-FEC 기법은 유선 환경에서 오버레이 경로에 있는 중간 노드에 FEC 인코딩/디코딩 기능이 적용된 상태에서 멀티홉 FEC 기법을 이용하여 전체적인 FEC의 복잡성과 오버헤드를 줄이며 전송되는 비디오의 성능을 최대화 하는데 목표를 둔다. OM-FEC는 패킷 손실률을 바탕으로 네트워크 상태를 판별한 후 전송 경로를 분할하여 FEC 기법을 적용한다. 하지만 비디오 스트리밍의 기본적 특성인 전송 지연에 대한 고려가 이루어지지 않았으며, 이러한 부분에서 제한적인 성능만을 보장한다. 특히 유선 환경에서 적용되는 오버레이 기법을 기반으로 한 기법으로 WMNs 환경에서 비디오 스트리밍을 위한 기법으로 적용하는데는 어려움이 따른다.

AM-FEC 기법은 OM-FEC 기법에서 고려되지 않은 전송 지연에 대한 제약 조건을 추가하여 전송 경로의 패킷 손실률과 수신단에서 계산되는 DFR (Decoding Coding Rate)의 결과를 모니터링 하며 주어진 네트워크의 경로를 분할하여 FEC 기법을 적용한다. 하지만, AM-FEC 기법의 DFR은 실질적인 전송 지연의 결과 보다는 리시버 단에서 시행되는 디코딩 결과에 의해 결정되며, 네트워크 경로 분할기법을 통해 FEC의 복잡성 문제를 개선 하지만 네트워크 자원의 효율적인 측면을 고려하지 않은 부분에 제한적인 제어 기법을 적용한다.

2.2 모니터링 방법

WMNs 환경에서 비디오 스트리밍의 성능 향상을 위한 네트워크 적응적 제어 기법들은 정확한 네트워크 상태를 판별하기 위해 모니터링 기법을 적용한다. 기존에 사용되는 방법은 종단 노드가 전달하는 피드백 정보 혹은 로컬 노드가 얻는 정보를 바탕으로 네트워크 상태를 판별한다.

그림 1은 특정 데이터가 주어진 전송 경로를 통해 전송 중 네트워크 상태를 판별하기 위한 모니터링 기법을 간략하게 나타낸다. 피드백 기반의 모니터링 기

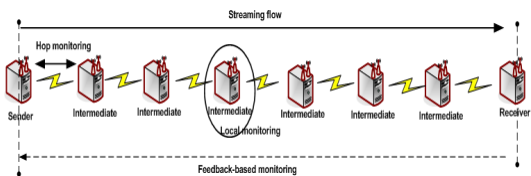


그림 1. 로컬 및 피드백 기반의 모니터링 기법.

법은 전송 노드와 수신 노드 사이의 전체적인 정보를 수신 노드가 취합하여 전송 노드에 전달하는 기법으로 전체 경로에서 스트리밍 트래픽에 의해 발생하는 네트워크 상태를 판별한다. 로컬 기반의 모니터링 기법은 링크 계층과 같은 하위 계층 및 이웃 노드로부터 얻을 수 있는 정보를 바탕으로 이웃 노드와의 네트워크 상태를 판별하는데 용이하다.

피드백 기반의 모니터링 기법은 전송 경로의 동적인 채널 상태를 반영하는데 어려움이 따르며, 로컬 기반의 모니터링 기법은 전송 경로의 전체적인 네트워크 상태를 판별하는 데 어려움이 따른다.

본 논문에서는 기존의 제한적인 모니터링 기법을 개선하고자 중앙 코디네이터를 이용하여 전송 경로에 포함된 노드들로부터 네트워크 상태를 판별하는데 도움을 주는 정보들을 실시간으로 수집하는 모니터링 기법을 적용한다. 또한 크로스 레이어 모니터링 기법을 적용하여 MAC 계층의 큐잉 정보를 모니터링 하여 측정되는 링크의 혼잡 상태를 판별한다.

III. Hop-to-End FEC (H2E-FEC) 기법

본 논문에서는 제안하는 H2E-FEC 기법은 특정 홉으로부터 종단까지 FEC 기법을 이용하여 패킷 손실의 복구를 통해 비디오 스트리밍의 성능을 보장한다. 특히 비디오 스트리밍의 효율적인 자원의 활용 측면을 고려하여 WMNs 환경에 적합한 제어 구조를 제안한다.

멀티 홉 무선 테스트베드 환경에서 FEC를 적용한 다양한 실험 결과로부터 H2E-FEC 적용 방법을 제안한다. 이와 같은 결과는 H2E-FEC의 가이드라인을 제공하며, 코디네이터에서 사용하는 모니터링에서 H2E-FEC를 위한 파라미터들을 결정한다.

3.1 H2E-FEC 기법

H2E-FEC 기법은 WMNs 환경에서 네트워크 상태에 따라 특정 홉으로부터 종단까지 FEC를 이용하여 손실된 패킷을 복구한다.

그림 2는 H2E-FEC의 제어 구조를 나타낸다. 주어진 스트리밍 경로에서 네트워크 상태 및 채널 상태를 바탕으로 특정 노드(2)에서 FEC 기법을 적용하며, 기존의 홉간 제어구조의 복잡성과 종단 제어 구조의 불필요한 자원의 소비를 해결한다. 특히 홉간 제어 구조의 경우 중복적인 FEC의 인코딩 및 디코딩에 의해 추

2) 네트워크 상태 정보를 바탕으로 손실이 발생하는 구간의 노드.

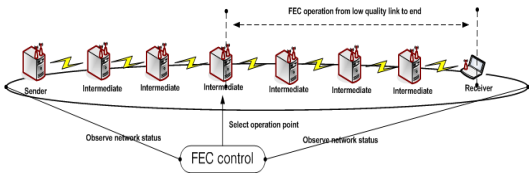


그림 2. H2E-FEC 제어 구조.

가적인 전송 지연과 불필요한 네트워크 자원의 사용에 따른 이웃 링크에 영향을 주어 전체적인 성능을 오히려 저하시키는 문제를 발생한다. 하지만 H2E-FEC 구조는 손실이 발생하는 구간에서부터 FEC를 걸어주어 추가적인 네트워크의 자원 낭비 및 전송 지연의 문제를 해결한다.

H2E-FEC에서 중점적으로 다루어야 할 부분은 주어진 전송 경로에서 FEC를 적용하는 노드 X와 노드 X에서 적용하는 적절한 FEC 잉여도(redundancy)의 결정이다.

3.2 H2E-FEC를 위한 가이드라인

H2E-FEC 기법을 적용하기 위해 다음과 같은 부분을 고려해야 한다.

- 1) FEC 적용 구간: 멀티 홉 무선 네트워크의 큰 문제점으로 사용 가능한 대역폭이 홉 카운트 증가에 따라 감소한다. 이는 추가적인 대역폭을 사용하는 FEC 기법에서 제한적인 요소로 작용한다. 전송 경로에 포함된 각 노드로부터 종단까지 허용 가능한 대역폭이 제한적이며, 그에 따른 FEC 잉여 패킷의 양도 제한함이 필요하다. 잉여 데이터의 제한에 따른 복구 가능한 손실 패킷의 양이 정해지며, 그 구간에 따라 FEC 적용 구간을 정하는 것이 필요하다.
- 2) 네트워크 상태에 따른 H2E-FEC 기법의 수행: H2E-FEC는 X 노드로부터 종단까지 FEC 기법을 적용하는 것으로, 최적의 FEC 시작 부분인 특정 노드를 선택하는 것이 중요하다. 주요 관점으로는 특정 노드 X의 결정과 FEC의 잉여 데이터의 양이다. 최적의 시작 노드의 경우, 전송 경로에서 손실이 발생하는 구간을 확인이 필요하다. 또한, 결정된 FEC 시작 노드로부터 종단까지 적용해야 할 FEC의 잉여 데이터의 양의 적절한 결정이 필요하다.

두 가지의 주요 관점으로 봤을 때, 적용 구간의 결정과 FEC 시작 노드의 선택 및 잉여 데이터의 결정은 주어진 전송 경로의 전체적인 네트워크 상태에 따라

결정이 된다. H2E-FEC 기법을 네트워크 적응적으로 적용하기 위해서는 정확하고 빠르게 네트워크 상태를 판별할 수 있는 모니터링이 필요하며, 신뢰적인 모니터링 결과를 바탕으로 적절한 FEC 기법들을 적용해야 한다.

3.3 적용구간 범위의 정의

H2E-FEC 기법은 자원의 효율적인 측면과 기존 홉간 FEC 기법의 복잡성과 오버헤드를 줄이기 위해 제안했다. 하지만, 일반적으로 FEC 기법을 적용하는데에는 한계가 존재한다. FEC의 경우 잉여 데이터를 추가로 전송하는 기법으로 주어진 네트워크 환경에서 잉여 데이터에 의한 추가적인 대역폭이 가용할 수 있는 대역폭을 넘길 경우 MAC 계층에서 발생하는 큐드랍에 의한 손실이 발생하며, 이는 자기 정체 현상이 발생함과 동시에 급격한 성능 감소가 발생한다. 또한, 허용 이상의 손실이 발생하는 경우 실제 환경에서 제한적인 FEC 코딩율에 의해 복구 가능한 패킷 손실률이 존재한다. 위에서 언급한 부분을 고려하여 손실된 패킷을 모두 복구 할 수 있는 구간인 “적용 구간의 범위(Covered)”와 그렇지 않은 구간인 “비적용 구간의 범위(Uncovered)”를 정의한다.

- 1) “적용 구간의 범위”: FEC 기법을 통해 손실된 패킷의 전체 복구가 가능한 구간을 나타낸다. FEC가 적용된 홉으로부터 종단까지의 가용 할 수 있는 대역폭에 영향을 받으며, 제한된 FEC 코딩율에 의해 손실된 패킷 복구율에도 제한이 따른다.
- 2) “비적용 구간의 범위”: FEC 기법을 통해 손실된 패킷의 전체 복구가 불가능한 구간을 나타낸다. 즉, 잉여 데이터를 추가할 수 없는 환경으로 FEC 코딩율에 의한 복구율보다 높은 패킷 손실이 나오는 구간과 혼잡에 의해 추가적인 대역폭이 존재하지 않는 구간이 해당한다.

적용 구간과 비 적용 구간의 범위는 크게 3가지 파라미터로 정의 하였으며, 대역폭(Bandwidth factor)은 FEC에 의해 발생하는 잉여 데이터를 처리할 수 있는 대역폭의 양을 나타내며, 가용한 대역폭에 따른 손실된 패킷의 복구 가능한 구간을 나타내는 패킷 손실 요인(Packet loss factor)이 정해지게 된다. 마지막으로 혼잡 상태(Congestion factor)에 따른 적용 구간이 정의 된다. 다음과 같은 정의를 바탕으로 E2E-FEC 기법과 H2E-FEC 기법의 적용 구간을 정의한다.

E2E-FEC의 경우 종단간의 제어 기법으로 전송자

에서만 FEC 제어가 들어간다. 따라서 전송 경로의 중간 홉카운트에 따른 사용 가능한 대역폭의 양은 일정하다. 이때, 가용한 대역폭의 양이 일정하기 때문에 최대한 사용할 수 있는 잉여 데이터의 양도 일정하게 나타난다. 반면에 H2E-FEC의 경우는 전송 경로의 중간 노드부터 FEC 제어가 가능하며, 이때 사용 가능한 대역폭의 양은 홉 카운트가 줄어 들수록 증가한다. 가용한 대역폭의 증가에 따른 최대 잉여 데이터의 값 또한 증가한다. H2E-FEC 기법이 E2E-FEC 기법보다 “적용 구간의 범위”가 넓게 분포됨에 따라 개념적으로 보다 높은 성능을 갖는다. 이와 같은 내용은 실측 실험을 통해 확인한다.

IV. 모니터링 기반의 H2E-FEC 코디네이션

그림 3은 코디네이터를 이용하여 H2E-FEC의 코디네이션을 적용하기 위한 전체적인 문제 영역을 나타낸다. 앞 절에서 언급한 것처럼, H2E-FEC의 핵심은 정확한 네트워크 상태의 판별과 적절한 FEC 시작노드 X 및 잉여도의 결정이다. 이를 위해 코디네이터를 적용하여 전송 경로에 포함된 무선 노드들로부터 전체적인 정보를 취합한 후 H2E-FEC을 위한 코디네이션을 통해 비디오 성능의 향상을 도모한다.

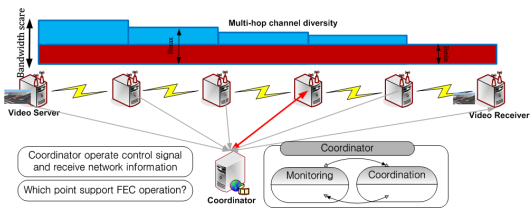


그림 3. 네트워크 적응적 H2E-FEC을 위한 코디네이터와 구성 요소

4.1 코디네이터를 이용한 모니터링 및 코디네이션 기법

그림 3에서 코디네이터를 통해 네트워크 상태 판별을 위한 모니터링 부분과 모니터링 된 결과를 바탕으로 한 코디네이션 부분으로 나눈다. 모니터링 부분에서는 전송 경로에 포함된 모든 노드로부터 네트워크 상태를 판별하기 위한 데이터를 수집한 후 네트워크 상태를 유추한다. 유추한 결과를 바탕으로 적용 구간을 및 네트워크 상태를 판별한다. 확인된 정보로부터 코디네이션에서는 H2E-FEC를 위한 FEC 인코딩 위치와 잉여도(redundancy, n-k)를 결정한다.

- 1) 모니터링: 모니터링에서는 비디오 전송 경로의 네트워크 상태를 패킷 손실률 및 전송 지연의 결과를 바탕으로 유추해야 한다. 특히, FEC를 적용하기 위해서는 기본적으로 정확한 패킷 손실률과 각 홉의 링크 성능을 파악하기 위해 중간 홉에서의 상태 정보를 확인해야 한다. 즉, 종단간의 전체적인 네트워크 상태 정보와 중간 노드들 사이의 네트워크 상태 정보를 동시에 확인해야 하며, 패킷 손실률 및 전송 지연 결과 뿐만 아니라, 링크의 혼잡 상태 및 수용 가능한 대역폭을 확인해야 한다. 이는 FEC 기법을 사용할 경우 추가적으로 발생하는 잉여 데이터에 의해 원본 비디오의 대역폭 뿐만 아니라 추가적인 대역폭이 필요하다.
- 2) 코디네이션: 모니터링으로부터 유추한 결과를 바탕으로 H2E-FEC의 적용 구간 판별 및 FEC 인코딩을 적용하는 노드와 적절한 잉여 데이터를 결정해야 한다. 또한 유효 대역폭(Achievable bandwidth)과 큐잉 정보를 바탕으로 네트워크 자원의 효율적인 측면을 고려한다.

4.2 모니터링 방법

그림 4는 코디네이터에서 모니터링 정보를 각 노드로부터 취합하기 위한 전체적인 구조를 나타낸다. 앞 절에서 설명한 바와 같이 각 노드로부터 주어진 전송 경로의 네트워크 상태를 정확하고 빠르게 측정하기 위해 코디네이터를 사용하여 모니터링 정보를 취합한 후 각 특성에 맞는 형태로 분류한다. 분류된 데이터를 바탕으로 네트워크 상태를 유추할 수 있는 모니터링 정보를 계산하며, 계산된 결과로부터 적용 구간 및 링크 성능이 낮은 구간을 판별한다. 모니터링에서 취합하는 모니터링 정보는 다음과 같다.

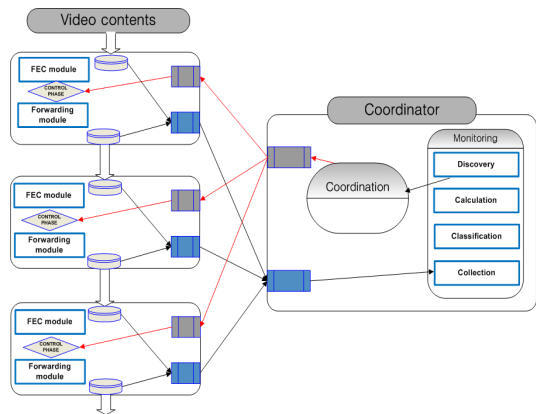


그림 4. 모니터링 기법의 구조

- 1) **중단간 패킷 손실 및 전송 지연:** 멀티홉 전송 경로의 비디오 스트리밍이 미치는 성능을 패킷 중단간 패킷 손실 및 전송 지연의 결과를 이용하여 네트워크 상태를 유추한다.
- 2) 각 홉마다 발생하는 네트워크 상태를 패킷 손실정보를 통해 유추한다. 홉간 발생하는 패킷 손실 정보를 바탕으로 전송 경로에서 손실이 발생하는 구간을 확인한다.
- 3) **링크 계층의 큐잉 길이:** IEEE 802.11 기반의 무선 네트워크에서는 링크 계층에서 전송 대기큐가 존재한다. 이때 대기 큐의 길이 정보를 바탕으로 링크의 혼잡 상태를 유추한다.
- 4) **유효 대역폭:** 각 노드로부터 중단까지의 유효 대역폭을 전송 전에 측정하여, FEC의 잉여 데이터를 결정하는데 제한을 두는 정보를 제공한다.

코디네이터에서 사용하는 모니터링 기법은 실시간으로 정보를 취합 할 수가 있으며, 정확한 네트워크 상태를 판별을 지원한다. 이렇게 측정된 모니터링 결과는 H2E-FEC 기법의 코디네이션을 위한 정보로 제공된다.

4.3 네트워크 적응적 H2E-FEC 코디네이션

H2E-FEC 기법에 대해 소개한 것처럼, 코디네이션을 위해 우리는 3가지 부분을 고려해야 한다. 모니터링에서 제공하는 정보를 바탕으로 **적용 구간의 범위를 판별**하며, 손실이 발생하는 구간에서 부터 **FEC 인코딩 위치를 선택**한다. 선택한 노드로부터 중단까지 **FEC의 잉여 데이터를 네트워크 상태에 따라 선택**한다.

- 1) **단계 1. 적용 구간의 범위 판별:** 주어진 전송 경로의 유효 대역폭 및 원본 데이터에 의한 대역폭을 바탕으로 중단 및 중간 홉으로부터 가용한 대역폭)을 실험적 방법을 통해 확인한다. 확인된 결과를 바탕으로 홉에 따른 잉여 데이터의 양을 결정한다. 또한, 링크의 혼잡 상태를 확인하기 위해 모니터링으로부터 얻은 MAC 인터페이스 큐 길이 정보를 바탕으로 혼잡 상태를 확인한다.
- 2) **단계 2. FEC 인코딩 위치 선택:** 모니터링을 통해 얻은 홉간의 패킷 손실률을 바탕으로 손실이 발생하는 홉에서부터 FEC 제어를 적용한다. 인코딩 위치가 선택 된 후 선택된 홉으로부터 중단까지의 패

킷 손실률을 계산한다.

- 3) **단계 3. 적용 구간의 범위 확인 후 FEC의 잉여 데이터 선택:** FEC 인코딩 위치가 선택된 홉으로부터 중단까지 패킷 손실률 및 혼잡 상태의 모니터링 결과를 바탕으로 단계 1에서 정의한 적용 구간의 범위에 포함된 경우에 적절한 잉여 데이터의 양을 결정한다. 우선 최소 잉여 패킷양($minimum_n$)을 결정한 후 앞에서 정의한 “적용 구간의 범위”의 최대 잉여 패킷 값과 비교하여 보다 적절한 값을 적용한다.

3가지 단계로 구분하여 H2E-FEC 코디네이션을 실험 실험 환경에 적용한다. 다음과 같은 기법을 적용하기 위해서는 유효 대역폭과 원본 데이터에 의해 발생하는 대역폭을 알아야 한다. 또한, 최소 잉여 패킷양이 최대 잉여 값 보다 낮을 경우 좀더 높은 복구율을 얻기 위해 최대 잉여 패킷 값을 적용하도록 한다. 위에서 언급한 3단계에 대한 알고리즘을 표 1에서 나타낸다.

전송 경로의 네트워크 상태를 유추하는 모니터링 정보를 전송 경로를 구성하는 노드들로부터 수집한 후 제어 시간을 통해 중단 및 홉간 패킷 손실률을 계산하여 FEC 시작 노드와 중복도를 결정하여 이를 적용 시간이 포함된다. 이때, 기본적으로 제어 시간은 전체 노드의 수에 의해 정해져 있으며, 모니터링 시간보다 짧아야 한다. 다음과 같은 문제점에 의해 동적

표 1. H2E-FEC 코디네이션

```

Algorithm 1. H2E Coordination
Step 1: Define "Covered" boundary
for(i = 0; i ≤ hop_count; i++)
    // measure limited bandwidth from achievable bandwidth and source sending rate
    maximum = Limited_bw(i)
    Maximum_number_n(i) = original_bw * (n - k) / k // k is fixed
if(queue_length < threshold_queue_length) "Covered" conditions
Step 2: select encoding point x
if (h2e_packet_loss = zero) "do not change current status"
else
    // select encoding point
    for(i = 0; i ≤ per_hop; i++)
        if(per_hop_loss(i) > 0) i node is encoding point x // from sender to in front of receiver
        i_node = starting_node_x
        h2e_loss(x) = 1 - (1 - hop_loss(x-1)) * (1 - hop_loss(i))
    // find block number n and distinguish "Covered" and "Uncovered"
    h2e(x)_n = find_block_number(h2e_loss(x)) + k
    distinguish_Covered(Maximum_number_n(x), Queue_Len(x), h2e(x)_n)
Step 3: find block number n and distinguish "Covered" and "Uncovered"
h2e(x)_n = k / (1 - h2e_loss(x))
if(h2e(x)_n < Maximum_number_n(x))
    if(queue_len(x) < threshold_queue_length) "Covered"
else "Uncovered"
    "During "Covered" operating H2E-FEC Coordination"
    
```

- 4) 패킷 손실률에 따른 이론적인 FEC 잉여 패킷 양

$$minimum_n = \frac{k}{1 - h2e_loss}$$

$$1 - h2e_loss = 1 - (1 - hop_loss(i-1)) \dots (1 - hop_loss(1)).$$

3) 잉여 대역폭 = $\frac{i-k}{k} - 1$, ($Maximum_n \leq i \leq minimum_n$)

네트워크 상태에서의 정확한 적용에 제한적이다. 또한 적용 이후에 각 노드별로 FEC 적용 상태의 변화에 의한 인터벌 시간이 존재하며, 이와 같은 부분들을 고려해야 한다. 실제 실험이 적용되는 환경에서는 제어 시간을 고려한 모니터링 시간을 결정하며, 급격한 네트워크 상태 변화에 따른 성능 개선의 한 개점에 대해서 실험 결과를 바탕으로 확인한다.

4.4 구현

본 논문에서는 비디오 전송 및 FEC 기법을 적용하는 부분과 위에서 언급한 코디네이터에서 네트워크 상태를 유추할 수 있는 모니터링 정보를 취합하는 모니터링의 구현을 정리한다.

그림 5는 H2E-FEC 기법을 수행하기 위해 중간노드에서 FEC 기법을 적용하기 위한 구현 구조이다. 포워딩(forwarding) 모듈에서는 이웃 노드로부터 전송되는 비디오 패킷을 받고 보내주는 역할을 한다. 이때, FEC 기법을 사용하기 위해서 버퍼를 두어 FEC의 블록 개수에 맞추어 인코딩과 디코딩이 적용된다. 또한 코디네이터에 전송 및 수신된 패킷들의 정보와 FEC가 적용된 상태 및 코디네이션을 통한 제어 신호를 받기 위해 모니터링 인터페이스와 제어 인터페이스를 적용하여 코디네이터와 통신이 가능하게 한다.

FEC 기법으로는 RS(Reed-Solomon) 코딩 기법을 적용한 패킷 단위로 인여 데이터를 생성하여 특정 개수 이상의 패킷을 받을 경우 전체 데이터를 다시 복구한다. 또한 패킷 단위 FEC 기법은 비디오 데이터를 인코딩 및 디코딩을 적용할 때 인코딩된 비디오 패킷들 마다 고유 블록 숫자를 적용하여 디코딩 시 고유 블록 숫자를 비교하며 적용한다. 그림 6은 RS 코딩 기반의 패킷 단위 FEC 기법의 구현 구조를 나타낸다.

그림 7은 코디네이터 내부에서 동작하는 모니터링 모듈의 구현 구조를 나타낸다. 종단간 전송 지연 및

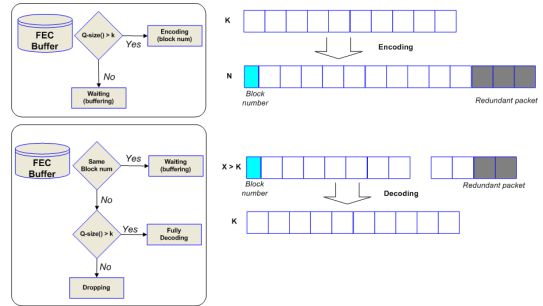


그림 6. RS 코딩 기법을 적용한 패킷 단위 FEC.

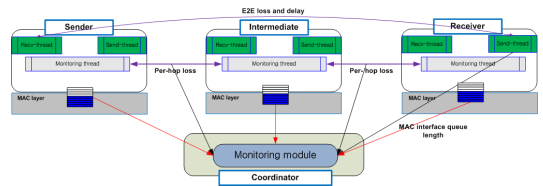


그림 7. 모니터링 구현 구조

패킷 손실률, 홉당 발생하는 패킷 손실 및 각 노드의 MAC 인터페이스 큐의 길이 정보를 취합한다. 종단간의 패킷 손실률과 전송 지연의 결과를 얻기 위해 우리는 전송단에서 전송 패킷의 헤더에 비디오 패킷의 고유 아이디와 전송되는 시간의 시간 정보를 추가한다. 수신단에서는 패킷의 고유 아이디의 정보와 수신되어지는 시간을 고려하여 전송 지연과 패킷 손실률을 계산한다. 중간 노드들 사이 패킷 손실률의 정보는 각 노드별로 전송되는 패킷의 양과 수신되는 패킷의 양을 취합하여 코디네이터 내부의 모니터링 모듈에서 홉간의 패킷 손실률을 계산한다. 여기서 모니터링 파트에서는 실시간으로 전송되는 모니터링 정보들을 취합하며, 실시간으로 패킷 손실률 및 전송 지연들의 결과를 코디네이션 파트로 넘겨준다. 코디네이션은 모니터링 정보로부터 실시간으로 네트워크 상태를 판별하여 H2E-FEC를 적용한다. 또한 PaPMo^[12]를 적용하여 무선 네트워크의 링크 계층, MAC 계층을 통과하는 패킷 헤더의 정보와 MAC 인터페이스 큐 길이 정보를 실시간으로 모니터링 하는 구조를 나타낸다. 측정 서버는 코디네이터에 구현된 모니터링 모듈을 나타내며, 큐 길이 정보를 바탕으로 링크의 혼잡도를 확인한다.

V. 실험 구성 및 결과

본 절에서는 구축된 무선 테스트베드 환경에서 네

5) RTP 타임 스템프 옵션으로 사용이 가능하다.

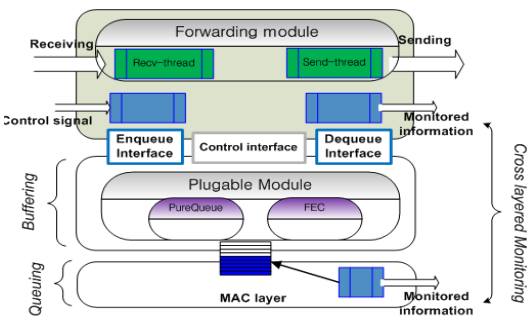


그림 5. H2E-FEC의 네트워크 적용적으로 적용하기 위한 구현 구조

트위크 상태 변화를 조절하여 기본적인 H2E-FEC 기법의 성능을 검증한다. 이후 코디네이터를 적용한 모니터링 기반의 H2E-FEC 코디네이션 기법에 대한 실험 결과로부터 성능에 대한 평가한다.

5.1 소단원 작성 기법

본 논문에서는 제안된 기법을 검증하기 위해 OMF^[7] 기반으로 구축된 멀티홉 무선 테스트베드로서 OMEGA^[13] 테스트베드로 명칭을 사용하며, IEEE 802.11를 사용한다. OMEGA 테스트베드는 OMF 프레임워크를 이용하여 중앙 관리자 머신에서 테스트베드 자원 및 실험을 위한 관리를 제공하며, 효율적으로 다수의 실험 적용이 가능하다. 비디오 전송 실험을 위한 OS 구성 및 소스 코드의 분배를 OMF를 활용하며, 전송 경로는 그림 8과 10은 4홉 및 5홉 경로로 구축하여 비디오 스트리밍 실험을 위해 실험환경을 한다. 구축된 무선 채널 및 환경 구성은 IEEE 802.11a 기반의 MAC 프로토콜을 사용하며, Madwifi^[14]를 활용하여 MAC 계층 재전송 기법을 사용하면서 동시에 PaPMo를 이용한 MAC 계층 패킷 모니터링을 적용한다.

첫 번째 실험으로는 멀티홉 무선 채널 환경을 구성하여 4 홉 전송 경로에서 H2E-FEC 기법의 기본적인 성능 실험을 위한 구성이다. 이때, 손실이 발생하는 노드에 대한 정보는 알고 있는 상태이며, 코디네이터를 적용하지 않고 정적인 방법으로 H2E-FEC 기법을 적용한다. 그림 8는 노드 N1부터 N5까지의 4-홉 전송 경로로써 중간 홉인 N2부터 N3 링크의 채널 상태를 조절한다.

그림 9는 실험 환경 구성 #1의 홉간에 발생하는 패킷 손실률의 정보를 모니터링 한 결과이다. 다음과 같은 환경에서 E2E-와 HbH-FEC 그리고 H2E-FEC 기

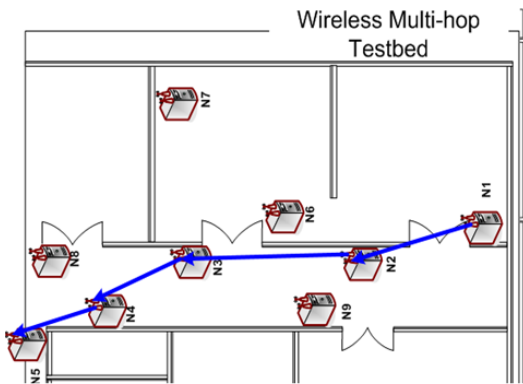


그림 8. H2E-FEC와 기존 FEC 기법들의 성능 검증을 위한 실험 구성 #1.

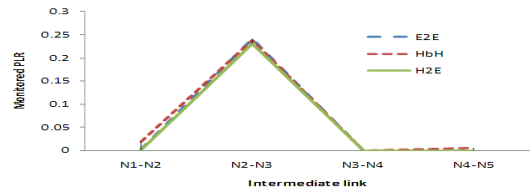


그림 9. FEC 제어 기법들의 사용중 홉간에 발생하는 패킷 손실률 결과.

법을 적용하여 성능을 비교한다.

그림 10은 총 5홉의 전송 경로로써 코디네이터를 적용한 환경이며, 노드 N9으로부터 비디오 스트리밍이 시작되며, N5에서 최종 비디오 수신을 한다. 이때, 중간 노드에서도 FEC 및 코디네이션 결과를 얻기 위해 구현된 코드를 적용한다. 비디오 전송률은 주어진 전송 경로의 유효 대역폭(achievable bandwidth) 3.7Mbps를 넘지 않는 2Mbps로 고정을 하며, 채널 품질은 전송 파워를 조절하여 변경한다. 비디오 전송 시스템은 MPEG-2 TS를 사용하며 VLC^[11]를 활용하여 응용 계층에서 비디오 전송이 이루어 진다. 각 MAC 인터페이스 대기 큐의 길이는 100로 제한을 두며, MAC 계층의 재전송 최대 개수는 8로 설정한다.

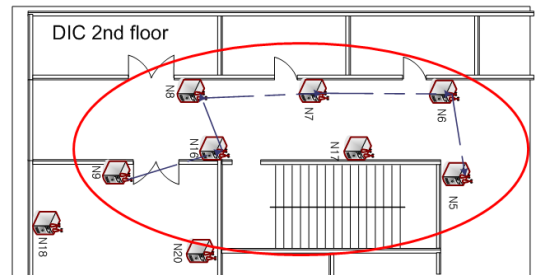


그림 10. 코디네이터가 적용되었을 경우의 실험 환경 구성

5.2 H2E-FEC 기법의 성능 검증 결과

UDP 기반의 2Mbps CBR 비디오 전송을 사용하였으며, 코디네이터를 통한 모니터링이 적용되지 않은 FEC 제어를 통해 얻은 결과이다.

그림 11은 전송 경로의 각 노드로부터 중단까지의 유효 대역폭의 결과를 나타낸다. 결과에서 확인할 수 있듯이, N1부터 중단까지의 유효 대역폭은 2Mbps에서 조금 높은 상태이며 충분한 잉여 대역폭을 갖고 있지 않은 상태에서 잉여 패킷의 증가에 따라 혼잡도가 증가하면서 성능이 감소 됨을 확인해 볼 수 있다. 유효 대역폭의 감소는 FEC에 의해 발생하는 잉여 패킷의 양에 제한을 갖으며, 사용 가능한 대역폭의 넘는

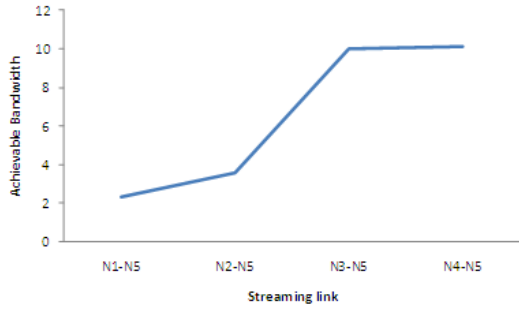


그림 11. 실험 환경구성 #1에서 전송 경로의 노드들로부터 중단까지 유효 대역폭(Mbps).

잉여 패킷이 발생하는 경우 자기 정체 현상에 의해 성능 저하를 일으킨다.

그림 12는 각각 E2E와 H2E-FEC 기법이 적용된 이후 전송 경로에 포함된 노드들로부터 측정된 MAC 인터페이스 큐 길이의 결과다. 큐에서 대기하는 패킷들의 양을 바탕으로 혼잡상태를 유추할 수 있다. 결과로부터 확인해 볼 수 있듯이, 그림 12-(a) E2E-FEC의 경우는 N1으로부터 FEC에 의해 잉여 패킷을 생산하며, 측정된 패킷 손실률을 바탕으로 FEC 잉여 패킷양이 결정된다. 하지만, 사용 가능한 대역폭의 양이 제한적이며 잉여 패킷에 의한 추가적인 대역폭의 증가에 따른 혼잡도가 점차적으로 증가함을 확인해 볼 수 있다. 반면에 그림 12-(b) H2E-FEC의 경우는 중간 노드 N2로부터 FEC 인코딩이 적용되며, N1에서 중단까지의 유효 대역폭 보다 큰 대역폭을 차지하여, 추가

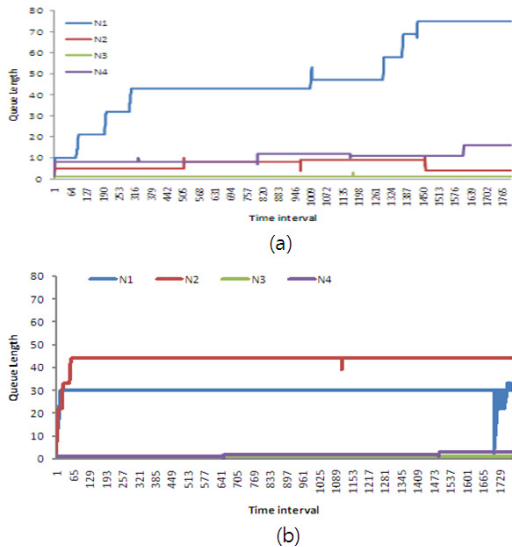


그림 12. 실험 환경구성 #1에서의 MAC 인터페이스 큐 길이: (a) E2E-FEC 적용 그리고 (b) H2E-FEC 적용.

적인 대역폭에 대해 비교적 안정적인 혼잡도를 나타낸다. 이와 같은 결과는 손실된 패킷 복구율에도 영향을 준다.

그림 13은 E2E와 HbH-FEC 그리고 H2E-FEC 기법을 적용한 후의 패킷 손실률과 전송지연의 결과를 나타낸다. 이때, H2E-FEC의 경우 노드 N2로부터 FEC 인코딩이 적용된다. 측정된 결과를 확인해 보면, 패킷 손실률의 성능 비교는 HbH와 H2E-FEC가 비슷한 복구 성능을 갖으며, E2E-FEC가 가장 낮은 결과를 얻는다. 이는 멀티홉 무선 네트워크의 문제점 중 하나인 홉카운트 증가에 따른 유효 대역폭의 감소에 따라 전송단부터 잉여 패킷의 양이 증가하면서 발생하는 자기 정체(self-congestion) 문제가 발생하여 전체적인 성능을 떨어뜨린다.

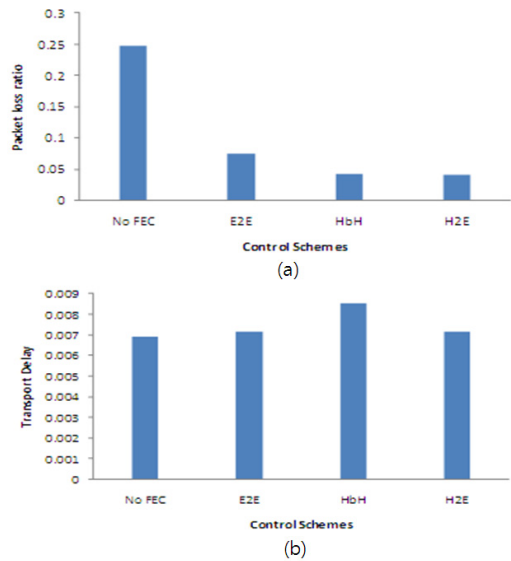


그림 13. 실험 환경구성 #1에서 FEC 기법들의 적용 결과: (a) 패킷 손실률 그리고 (b) 전송 지연.

5.3 코디네이터를 이용한 H2E-FEC의 성능 결과

그림 14는 실험 환경구성 #2(그림 10)에서 구축된 전송 경로에서 홉 카운트에 따른 유효 대역폭을 나타낸다. 표 1에서 H2E-FEC의 코디네이션 부분에서 적절한 FEC의 블록 개수를 정하기 위해서 유효 대역폭과 MAC 인터페이스의 큐 길이 정보를 바탕으로 결정한다. 위 결과를 바탕으로 비디오 스트리밍의 본래 대역폭에 따른 추가적으로 전송이 가능한 대역폭을 유추한다. 중단간의 패킷 손실률 및 홉간에 발생하는 패킷 손실률은 EWMA(exponential weighted moving averabe)를 사용하여 급격한 값의 변동을 줄여주며,

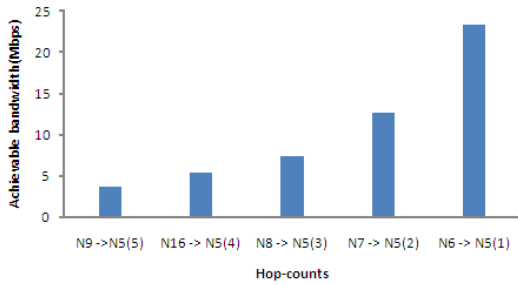


그림 14. 홉 카운트에 따른 유효 대역폭

일정 주기의 코디네이션을 통한 제어 시간⁶⁾을 두어서 H2E-FEC 기법을 적용한다.

그림 15-(a)는 모니터링을 통해 측정된 홉간에 발생하는 패킷 손실률의 정보이다. 가로축은 제어⁶⁾가 적용되는 인터벌 시간을 나타내며, 1초 간격으로 제어⁶⁾가 적용된다. 세로축은 각 홉마다 측정된 패킷 손실률을

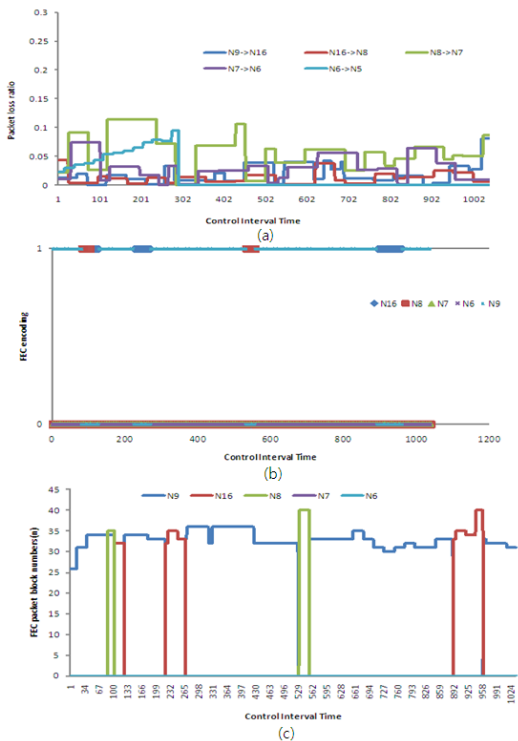


그림 15. 실험 환경구성 #2에서 코디네이션을 적용한 H2E-FEC 기법의 실험 결과: (a) 모니터링을 통한 홉간 손실률, (b) FEC 인코딩 적용 포인트, 그리고 (c) FEC 인코딩 포인트에서 네트워크 적응적 FEC 잉여(redundancy) 데이터 (k=25 고정).

6) 본 논문에서는 계산 시간등의 오버헤드를 고려하여 제어 주기 시간을 2초로 정한다. 주기 시간 동안의 평균적인 모니터링 결과를 바탕으로 제어를 적용한다.

나타낸다. H2E-FEC 코디네이션 알고리즘에 따라 제어⁶⁾가 적용되는 시간에서 전송 노드로부터 종단까지의 경로중 손실이 발생하는 홉에 걸친 노드에서부터 FEC 인코딩이 적용된다. 초반 시간대에는 첫 번째 홉인 N9와 N16 사이에 손실이 발생함으로 FEC 인코딩은 N9에서 시작이 된다. 이때, FEC 잉여 패킷의 양은 앞에서 측정된 유효 대역폭에 따른 허용 가능한 대역폭의 양에 의해 결정된다. 이후 첫 번째 홉에서 손실이 발생되지 않을 경우 다음 홉의 손실 결과를 바탕으로 FEC 인코딩 노드가 결정이 된다. 그림 15-(b)는 모니터링을 통해 측정된 그림 24의 결과를 바탕으로 선택된 FEC 인코딩 포인트를 나타낸다. 전송 노드로부터 가까운 홉을 바탕으로 손실이 발생하는 구간에서 FEC 인코딩이 적용되며, N9번 노드에서 FEC가 적용될 경우 E2E-FEC 동작을 한다. 하지만, N9에서 N16 사이에 손실이 존재하지 않고, 다음 홉에서 손실이 발생하면 FEC 인코딩 포인트는 이동한다. 그림 15-(c)는 FEC 인코딩 포인트로부터 적용된 FEC 패킷의 블록 숫자 n을 나타낸다. 여기서 원본 블록 사이즈 k는 25로 고정을 하며, n 값을 26부터 50 까지 가용한 대역폭 및 손실된 패킷의 정보에 따라 적응적으로 적용된다. 전송 노드 N9에서는 가용 할 수 있는 대역폭의 한계에 의해 35 이하의 패킷 블록을 적용하며, 그 이후의 노드에서는 손실된 패킷의 증가에 따라 더 높은 패킷 블록을 적용한다⁷⁾.

그림 16은 비디오 스트리밍시 H2E-FEC 코디네이션을 적용하여 얻은 종단간의 패킷 손실률을 나타낸다. 12분간 비디오 스트리밍을 적용하였을 경우의 결과이며, 초당 제어⁶⁾가 적용 된 결과를 나타낸다. X축은 위에서 정의된 제어 구간에 따른 시간 흐름이며, Y축은 측정된 패킷 손실률을 나타낸다. 측정된 결과로는 0.01 미만의 종단간 패킷 손실률이 발생한다. 대부분의 손실된 패킷의 복구를 확인해 볼 수가 있다.

그림 17은 앞에서 정의한 “적용 구간의 범위”에 따

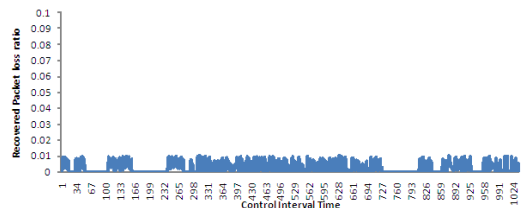


그림 16. H2E-FEC 코디네이션 적용 후의 종단간 측정된 패킷 손실률.

7) “적용 구간의 범위”에서의 실험 결과

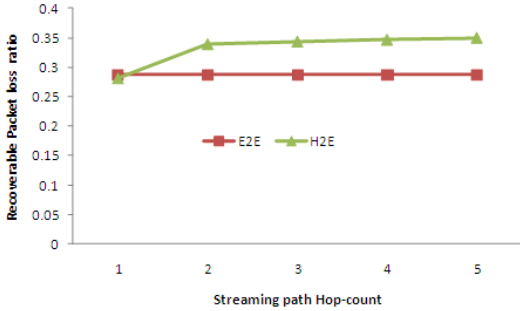


그림 17. “적용 구간의 범위”에 따른 성능 비교

른 E2E-FEC와 H2E-FEC의 성능 비교를 나타낸 결과이다. 전송 경로 및 전체 경로는 정해져 있으며, H2E-FEC의 경우 각 홉에서 발생하는 패킷 손실률에 따른 전체 복구 가능 구간을 확인해 볼 수 있다. 가로축은 E2E의 경우 전송 노드에서 FEC를 적용한 결과를 나타낸 것이며, H2E의 경우 각 홉에서 FEC를 적용하였을 경우를 나타낸다. 세로축은 모니터링 된 결과를 바탕으로 중단간에 발생하는 패킷 손실률을 나타낸다. 홉간에서 발생하는 패킷 손실률의 결과를 바탕으로 중단간의 실제 패킷 손실률에 대해 예측한 결과이며, 다수의 실험을 통해 평균 값을 이용하여 결과를 도출한다. 이때, FEC에 의해 발생하는 잉여 패킷의 양은 25로 제한을 둔다⁸⁾. H2E의 경우 홉에 따른 유희 대역폭의 양의 증가에 따라 복구 가능한 패킷 손실률의 구간이 증가한다. 하지만, 앞에서 잉여 패킷의 양의 제한에 따라 유효 대역폭의 증가에 따른 복구 가능한 패킷 손실률의 구간은 큰 변화를 나타나지 않는다. 반면에 E2E의 경우는 전송 노드에서만 제어가 이루어지며, 이에 따른 제한적인 중복도에 의해 복구 가능한 패킷 손실률의 구간이 일정하게 나온다. 다음과 같은 실험 결과는 멀티홉 무선 네트워크 환경에서 홉 카운트에 증가에 따른 대역폭의 감소하는 성질에 맞추어 H2E-FEC를 적용 하였을 경우 E2E-FEC 보다 효율적인 자원의 사용에 따른 17%의 높은 패킷 복구율의 성능 향상을 나타낸다. 이와 같은 수치는 구축된 실험환경에 따라 다르게 나올 수가 있으며, 사용 가능한 대역폭의 양에 따라 변동할 수 있다.

5.4 급격한 네트워크 변화에 따른 성능결과

그림 18-(a)는 네트워크 상태 변화가 급진적인 환

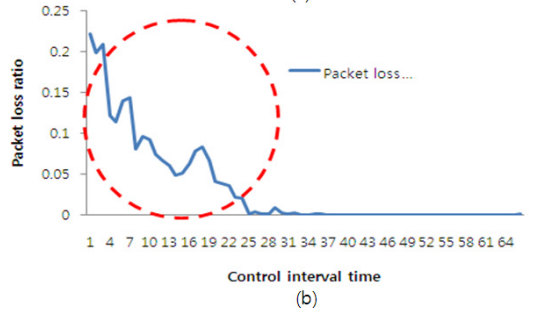
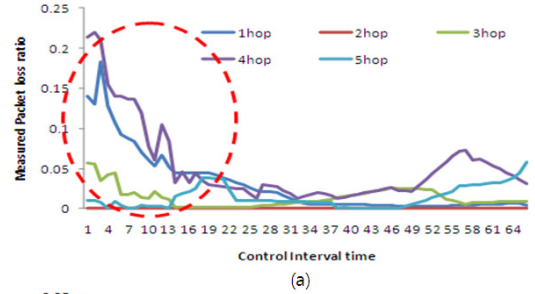


그림 18. 실험 환경 구성 #2에서 급격한 네트워크 변화에 따른 실험 결과: (a) 홉간 패킷 손실률 그리고 (b) H2E-FEC 코디네이션 결과.

경에 대한 모니터링 결과를 나타낸다. 기본적으로 각 홉에서 발생하는 패킷 손실률이 높을 뿐만 아니라 급진적으로 패킷 손실률의 변화를 나타낸다. 다음과 같은 환경에서 H2E-FEC 코디네이션을 적용했을 경우의 결과는 그림 18-(b)와 같다. 급진적으로 변화하는 네트워크 환경에서 H2E-FEC 코디네이션을 적용 한 결과이다. 결과를 확인해 보면, 모니터링 결과를 바탕으로 적용된 결과이며, 손실된 패킷에 대한 전체 복구가 제대로 이루어지지 않는 구간이 발생한다. 이는 전체적인 패킷 손실률이 높은 구간에서는 앞에서 정의한 “적용 구간의 범위”를 넘는 구간으로써 제어에 어려움이 따른다. 이후 급격히 변하는 네트워크 상태에 따라 적응적으로 제어가 이루어지며, 이후 손실된 패킷에 대한 전체적인 복구가 이루어짐을 확인해 볼 수 있다. 결론적으로, 급격히 변하는 네트워크 상태에 대해 손실된 전체 패킷에 대한 복구는 어렵지만, 어느 정도 적응적으로 수렴 하는 것을 알 수 있다.

코디네이터를 적용한 상태에서 E2E-FEC와 H2E-FEC의 성능 비교는 유효 대역폭의 한계에 따라 제한적인 FEC 중복도에 의해 E2E-FEC의 성능이 낮게 나오며, 오히려 부적절한 FEC 코딩률을 적용하였을 경우 자기 정제 현상에 의해 패킷 손실률이 늘어나게 된다. 또한, HbH-FEC의 경우는 일반적으로 제어의 복잡성과 오버헤드로 인하여 문제가 제기 되었으며, 코디네

8) 원본 패킷 블록(k)는 25로 고정을 하며, FEC 코딩률의 비율이 0.5이하로 내려가지 않은 상태로 환경을 구성하기 위해 전체 패킷 블록 사이즈 n은 50을 넘지 않도록 한다.

이터를 적용하였을 경우 실질적으로 구현을 하는데 어려움이 따른다.

VI. 결 론

본 논문에서는 무선 멀티홉 비디오 스트리밍의 성능 향상을 위하여 중앙집중형 코디네이터를 사용하여 모니터링 기반의 H2E-FEC 코디네이션을 제안했다. 특히 H2E-FEC 기법은 기존의 HbH-FEC가 갖고 있는 제어를 위한 오버헤드와 복잡성의 문제를 해결하기 위해 적용 되었으며, H2E-FEC를 실측 환경에서 효과적으로 적용하기 위해 중앙 기반적 코디네이터를 적용하여 실시간으로 네트워크 상태를 판별 및 H2E-FEC에 대한 코디네이션을 적용했다. 실험 결과로부터 H2E-FEC는 기존의 E2E-FEC와 HbH-FEC 보다 손실된 패킷의 복구율과 전송 지연 측면에서 각각 더 좋은 성능을 나타낸다. 하지만 제안된 기법에는 가용한 대역폭을 위해 유효 대역폭을 실험적인 결과를 통해 적용했다. 이는 실질적으로 가변하는 가용 대역폭을 제대로 반영하지 않은 결과로써, 실제 환경에서 무선 채널의 가변적인 대역폭의 변화를 반영하는 데에는 어려움이 따른다. 또 다른 점으로는 중앙적 코디네이터의 사용에 따른 확장성 및 오버헤드 증가의 제한이 있다. 코디네이션을 적용하는 노드들의 수가 증가 할수록 제어를 위한 계산 시간 및 실시간 처리 능력 양에 제한이 생기게 된다.

이러한 제한적인 부분을 개선하기 위해서는 실험적 연구 결과와 이론적 연구 결과를 이용하여 제안된 기법에 대한 추가적인 검증이 필요하며, 멀티 홉 무선 네트워크 환경에서 가용 대역폭을 측정하는 메커니즘을 적용하여 동적인 채널 변화에 따른 부분에 대한 좀 더 정확한 검증이 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] F. Vanhaverbeke, M. Moeneclaey, and DD. Vleeschauer, "Retransmission strategies for an acceptable quality of HDTV in the wireless and wired home scenario," in Proc. *International Journal of Communication systems*, 2007.
- [2] A. Nafaa, T. Taleb, and L. Murphy, "Forward error correction strategies for media streaming over wireless networks," in Proc. *IEEE Communications Magazine*, 2008.
- [3] MF. Tsai, NK. Chilamkurti, Z. Sherali, CK. Shieh, and H. El-Sayed, "An efficient multi-hop forward error correction control scheme for wireless mesh networks," in Proc. *IEEE International Symposium on Wireless Communication Systems*, Oct. 2008.
- [4] DS. Michalopoulos and TA. Tsiftsis, "Performance analysis of wireless multihop diversity systems," in Proc. *International Journal of Communication Systems*, 2008.
- [5] D. Jurca and P. Frossard, "Optimal FEC rate for media streaming in active networks," in Proc. *IEEE International Conference on Multimedia Expo*, Jun. 2004.
- [6] Y. Shan, IV. Bajic, S. Kalyanaraman, and JW. Woods, "Overlay multi-hop FEC schme for video streaming," in Proc. *Signal Processing: Image Communications*, 2005.
- [7] OMF, "<http://omf.mytestbed.net>"
- [8] T. Ming-Fong, S. Ce-Kuen, H. Wen-Shyang, and D. Der-Jiunn, "An adaptive multi-hop forward error correction protection scheme for video streaming over wireless mesh networks," in Proc. *International Journal of Communication Systems*, 2009.
- [9] OMEGA Wireless Mesh Network Testbed, <http://wiki.nm.gist.ac.kr>.
- [10] C. Huitema, "The case for packet level FEC," in Proc. *IFIP 5th International Workshop on Protocols for High Speed Networks*, Oct. 1996.
- [11] VLC, "<http://www.videolan.org>".
- [12] J. Yoo, T. Hehn, and J. Kim, "Active capture of wireless traces: overcome the lack in protocol analysis," in Proc. *WinTech*, Sep. 2008.
- [13] OMEGA Wireless mesh network testbed, "<http://wiki.nm.gist.ac.kr>".
- [14] Madwifi, "<http://madwifi-project.org/>".

최 고 (Koh Choi)

정회원



2008년 2월 충북대학교 전자공학과 학사

2010년 8월 광주과학기술원 정보통신 공학과 석사 졸업

2010년 10월~현재 LG 전자 CTO 연구원 과정

<관심분야> Wireless Network,

Video Streaming, Error Control, Video Conferencing System

김 종 원 (Jong-Won Kim)

중신회원



1987년 서울대학교 제어계측공학과 학사

1989년 서울대학교 제어계측공학과 석사

1994년 서울대학교 제어계측공학과 박사

1994년 3월~1999년 7월 공주대학교 전자공학과 조교수

1998년 12월~2001년 7월 미국 Univ. of Southern California, Los Angeles, CA, EE System Department 연구조교수

2000년 7월~2001년 6월 미국 InterVideo Inc., Fremont, CA, 개발 자문

2001년~현재 광주과학기술원 정보통신공학과 교수

<관심분야> Networked Media Systems and Protocols focusing “Dynamic Composition of Immersive Media oriented Services over the Wire/Wireless IP Convergence Networks”

유 재 용 (Jae-Yong Yoo)

정회원



2004년 중앙대학교 컴퓨터공학과 학사

2006년 광주과학기술원 정보통신공학과 석사

2006년~현재 광주과학기술원 정보통신공학과 박사과정

<관심분야> Wireless network,

wireless multi hop networks, multimedia streaming, backpressure scheduling, flow control