SVC 비디오 스트리밍을 위한 복합형 전송 오류 제어 기법

(A Hybrid Scheme of the Transport Error Control for SVC Video Streaming)

서 광 덕 † 문 철 욱 †† 정 순 흥 ††† 김 진 수 ††††

(Kwang-deok Seo) (Chul-wook Moon) (Soon-heung Jung) (Jin-soo Kim)

요 약 본 논문에서는 패킷 오류가 빈번한 IP망을 통해 SVC 기반의 비디오 스트리밍 서비스를 제공하기 위한 실용적인 복합형 전송 오류 제어 기법을 제안한다. 기존에 이미 다양한 부호화 표준을 대상으로한 전송 오류 제어 기법들이 논문과 문헌을 통해 많이 발표가 되었으나, H.264/AVC의 확장형 부호화 기술인 SVC와 같은 다중 계층 부호화 구조에 적합한 오류 제어 기법에 관한 연구결과는 매우 부족한 실정이다. 본 논문에서는 SVC의 계층 부호화 구조를 고려하여 계층형 FEC(layered FEC)와 ARQ를 오류 강인 기법으로 적용하며 보다 효과적인 오류 강인 성능을 확보하기 위하여 이들 기법을 복합적인 형태로 동작시킬 수 있는 복합형 오류 제어 기법에 대해 제안한다. 제안된 복합형 기법에서는 ARQ의 NACK (Negative Acknowledgement) 메세지 기반의 기존 방법과는 달리 ACK(Acknowledgement) 메세지를 활용함으로써 복합형 오류 제어 기법 적용에 의한 효율(throughput)을 향상시킨다. 제안된 복합형 오류 강인 전송 및 제어 기법의 성능을 검증하기 위하여 패킷 손실 네트워크 환경을 NIST-Net 에뮬레이터를 활용하여 구축하며, 실험 결과를 통해 제안된 전송 오류 제어 기법의 성능이 우수함을 검증한다.

키워드 : 전송 오류제어, ARQ, FEC, SVC 비디오 전송

Abstract In this paper, we propose a practical hybrid transport error control scheme to provide SVC video streaming service over error-prone IP networks. Many error control mechanisms for various video coding standards have been proposed in the literature. However, there is little research result which can be practically applicable to the multilayered coding structure of SVC(the scalable extension of H.264/AVC). We present a new hybrid transport error control scheme that efficiently combines layered Forward Error Correction(FEC) and Automatic Repeat Request(ARQ) for better packet-loss resilience. In the proposed hybrid error control, we adopt ACK-based ARQ instead of NACK-based ARQ to maximize throughput which is the amount of effective data packets delivered over a physical link per time unit. In order to prove the effectiveness of the proposed hybrid error control scheme, we adopt NIST-Net network emulator which is a general-purpose tool for emulating performance dynamics in IP networks. It is shown by simulations over the NIST-Net that the proposed hybrid error control scheme shows improved packet-loss resilience even with much less number of overhead packets compared to various conventional error control schemes.

Key words : transport error control, ARQ, FEC, SVC video transport

· This work was supported by the IT R&D program of MKE/KCC/IITA. [2008-S-006-01, Development of Open-IPTV Technologies for Wired and Wireless Networks]

† 정 회 원 : 연세대학교 컴퓨터정보통신공학부 교수
kdseo@yonsei.ac.kr
†† 비 회 원 : 연세대학교 컴퓨터정보통신공학부
suance88@hanmail.net
††† 정 회 원 : ETRI 방통미디어연구부 선임연구원
suance88@hanmail.net
†††† 비 회 원 : 한발대학교 정보통신컴퓨터공학부 교수
suance88@hanmail.net

논문접수 : 2008년 8월 25일
심사완료 : 2008년 10월 30일

Copyright©2009 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 정보통신 제36권 제1호(2009.2)

1. 서 론

H.264/AVC의 확장형 부호화 기술인 SVC(Scalable Video Coding)는 기존의 MPEG-2, MPEG-4등에서 시도한 계층 부호화(layered coding) 기반의 스케일러빌리티가 갖는 문제점인 낮은 압축효율, 복합 스케일러빌리티 지원불가, 높은 구현 복잡도의 문제를 한꺼번에 해결하기 위하여 개발된 새로운 확장형 부호화 기법이다[1,2].

SVC 부호기의 VCL(Video Coding Layer) 계층에서는 기본계층 부호화 정보와 확장계층의 스케일러빌리티 부호화 정보를 슬라이스 단위로 생성하게 된다. 생성된 슬라이스는 네트워크를 통해 전송되기 위하여 NAL (Network Abstraction Layer) 계층에서 NAL unit으로 만들어지게 된다. SVC NAL unit들로 구성된 SVC 비트스트림은 RTP 패킷화 과정을 거쳐 IP(Internet Protocol) 망을 통하여 전달된다. 이러한 전송 과정에서 현재의 비디오 스트리밍 기술은 채널 특성 변화 및 단말의 제한된 성능에 의해 여전히 해결해야 할 많은 문제점들을 내포하고 있으며 전송지연, 패킷 손실 및 대역폭의 변동을 겪게 된다. 이러한 채널에서의 패킷 손실을 극복하기 위해서 일반적인 무선 네트워크에서는 링크계층(link layer)에서 ARQ(automatic repeat request)와 같은 전송 오류 제어를 수행할 수 있다. 그러나 이러한 접근 방법을 통해 모든 형태의 패킷 오류를 극복할 수는 없으며 상위 계층에서 패킷손실 및 전송지연의 변동을 유발하고 스트리밍 비디오의 급격한 품질 열화를 야기시킬 수도 있다. 따라서 채널의 패킷 오류 형태의 변동이 심한 유무선 네트워크 환경에서 성공적으로 비디오를 전송하기 위해서는 응용계층(application layer)에서 네트워크에 적응적인 전송 오류 제어 기법의 적용이 필요하다. 응용계층에서 기존에 제안된 오류 강인 기법으로는 FEC(layered forward error correction), 재전송을 통해 손실된 패킷을 복원하는 ARQ, 그리고 연속적인 패킷 손실의 분산을 위한 인터리빙(interleaving) 방식 등이 있다[3]. 본 논문에서는 SVC의 각 부호화 계층의 우선 순위를 고려하여 차등화된 패킷 보호(UEP: unequal error protection)를 적용할 수 있는 계층형 FEC를 채택하며 이와 더불어 ARQ의 ACK 메세지를 동시에 활용하는 복합형 오류제어 기법을 제안한다.

2. SVC NAL unit 및 비트스트림 구조

SVC 부호화에 의해 생성된 VCL 정보는 NAL unit으로 비트스트림에 저장이 되는데, 그림 1에 보이듯이 기본계층에서 생성된 NAL unit과 확장계층에서 생성된 NAL unit의 헤더 구조는 서로 다르다. 기본계층의 NAL unit은 H.264/AVC와 호환이 되어야 하므로 H.264/AVC의 NAL unit 헤더 구조와 동일한 헤더필드 3가지로 구성되며 총 1바이트 크기를 갖는다. 확장계층에서 생성된 NAL unit 헤더의 경우 기본계층 NAL unit 헤더에 추가적으로 3바이트 크기를 갖는 새로운 헤더 필드가 붙게 된다[1].

SVC의 복합 스케일러빌리티(combined scalability) 기능에 의해 시간적(temporal), 공간적(spatial) 및 SNR 스케일러빌리티를 하나의 SVC 비트스트림에 통합해서 제공할 수 있다[2]. 그림 2는 SVC의 복합 스케일러빌리티 부호화를 위한 화면 및 계층 구조의 예를 보인다.

그림 2에서는 SVC 스트림의 시작 부분인 IDR (instantaneous decoding refresh) 픽처와 첫 번째 GOP (group of picture)에 해당하는 화면만을 보이는데, 하나의 GOP는 16장의 화면으로 구성된다. 서로 다른 공간적 확장계층에서 각각 표현이 가능한 화면 해상도를 구분하기 위하여 그림 1의 (*TID, DID, QID*) 필드 중 *DID* 값을 이용한다. 즉, 그림 2에서 *DID*=0을 갖는 NAL unit은 해상도가 QCIF인 화면을 의미하며 *DID*=1로 설정된 NAL unit은 해상도가 CIF인 화면을 나타낸다. 시간적 스케일러빌리티 제공을 위해서 계층적 B-픽처(hierarchical B-picture) 방식이 적용되며 지원가능한 화면율을 표시하기 위하여 (*TID, DID, QID*) 필드 중 *TID* 값을 이용한다. 그림 2에서 *TID* 값은 사

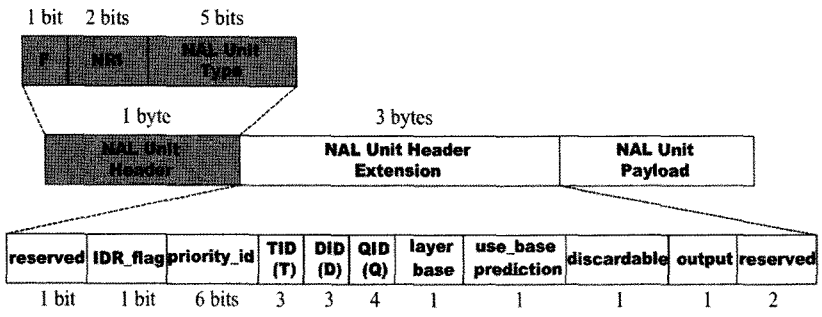

그림 1 SVC의 기본계층과 확장계층에서 사용되는 NAL unit의 헤더 구조

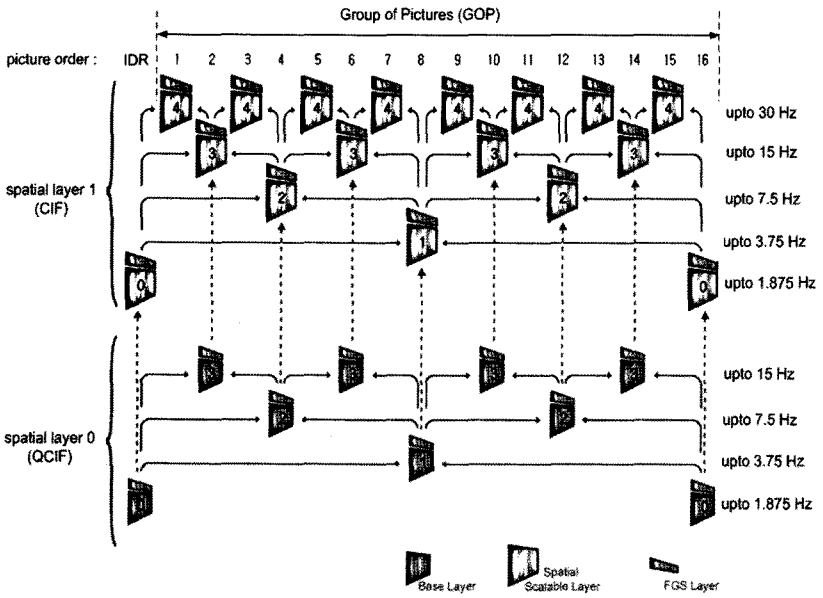

그림 2 SVC의 복합 스케일러빌리티

각형으로 표시된 각 화면의 가운데 부분에 숫자로 표시가 되어 있다. *TID*=0인 키 픽처(key picture)만 전송할 경우 1.875 fps(frame per second)까지 화면율 지원이 가능하며, *TID*=1인 B-픽처를 포함하여 전송할 경우 3.75 fps까지 화면율 지원이 가능하다. 추가적으로 *TID*=2인 B-픽처를 전송할 경우 7.5 fps까지 얻을 수 있으며, *TID*=3과 *TID*=4로 표시된 B-픽처를 추가적으로 전송하게 되면 각각 15 fps와 30 fps까지 화면율 지원이 가능하다.

3. SVC 비디오 전송에 적합한 오류 제어 기법

3.1 관련 연구

손실된 패킷을 복구하기 위해 기존에 제시된 대표적인 방법들로는 ARQ, FEC, 인터리빙 등이 있다 [3]. 이상의 패킷 손실 복구 방식들을 적절히 조합하여 무선 멀티미디어 전송에 적용하는 복합형 전송 오류 제어 기법들이 제안되었다. Aramvith등은 무선 채널 상태나 재전송 지연을 고려하여 ARQ와 인터리빙 방식의 혼합을 통해서 영상을 전송하는 기법에 대해서 제안하였다[4]. Hartanto, Vacirca, Gan 등은 데이타 패킷의 우선 순위에 기반한 하이브리드 FEC/ARQ 방식을 제안하였다 [5-7]. 이러한 방법들에서는 공통적으로 송신측에서 패킷 단위 FEC 부호화를 수행하는데 미디어 패킷의 중요도에 따라서 잉여 패킷의 량을 다르게 할당하여 전송한다. 패킷 단위 FEC는 packet-erasure 코드 기반의 Reed-Solomon 코딩 방법이 사용된다. 송신측에서 패킷화된 인접한 데이타 패킷들을 모아 k 개 단위의 블록으로 그룹화한 후, (n,k) Reed-Solomon 코딩 방법을 사용하여 $n-k$ 개의 잉여 패킷을 생성한다. 수신측에서는 전송된 n개의 FEC 패킷들 중에서 데이타 패킷이나 잉여 패킷에 상관없이 k개 이상의 FEC 패킷만 손실 없이 수신하면 전송하고자 했던 k개의 원본 데이타 패킷은 손실 없이 복원이 가능하다. 그러나 손실된 패킷의 개수가 $n-k$ 이상(또는 수신된 FEC 패킷 개수가 k 개 미만)일 경우 FEC 복호화에 의한 복구가 불가능하여 ARQ에 의한 NACK(Negative Acknowledgement) 메세지 전송을 통해 재전송을 요청하게 된다.

한편, 상기에 기술한 k개와 같은 다수의 패킷들을 하나로 묶어서 처리하는 패킷 단위의 하이브리드 FEC/ARQ 기법과는 달리, 하나의 패킷 내부의 비트들에 대해서 FEC와 ARQ를 하이브리드 형태로 적용할 수 있다. 이러한 방법은 HARQ라고 불리며 기본적으로 하나의 패킷을 처리 단위로 하여 그 패킷 내부의 비트 데이타에 대해 일정량의 중복성(redundancy)을 추가하는 FEC와 비트 데이타에 대한 오류 검출을 위한 CRC (Cyclic Redundancy Check) 부호가 함께 적용이 된다 [8]. 수신측에서는 CRC와 같은 간단한 비트단위의 오류 검출 부호를 사용하여 오류를 검출하게 되고 오류가 검출된 패킷에 대하여 FEC를 이용한 비트단위의 오류정정을 시도한 후 오류정정이 불가능할 경우 재전송을 요청하게 된다. HARQ 기법은 오류 강인 패킷을 생성하는 원리와 재전송 기법의 차이에 따라서 크게 다음과

같은 2가지 형태로 나뉘게 된다[8].

1) Type-I HARQ 기법 : 송신단은 각 패킷에 대해 CRC와FEC를 모두 적용하여 부호화한 후에 패킷을 전송하게 되고, 수신단은 CRC에 의해 오류 검출을 수행하고 FEC에 의해 오류정정이 실패하면 오류가 있는 패킷을 폐기하고 NACK 메세지를 송신측에 전송함으로써 패킷 재전송 요청을 한다. 송신단은 처음 전송시와 같은 패킷을 송신한다. 이 기법은 오류가 있는 패킷을 폐기시키고 폐기된 패킷과 동일한 패킷을 재전송을 통해 수신함으로써 시스템의 향상과 FEC를 통한 성능 향상을 얻어낸다. 그러나, 처음 전송시부터 FEC를 적용하기 때문에 채널의 상태가 좋을 경우 데이타 트래픽의 낮은 수율(throughput) 측면에서 단점이 있다.
2) Type-II HARQ 기법 : Type-I HARQ의 경우에서는 초기 전송시 FEC에 의해 생성된 불필요하게 높은 중복성의 부호를 전송하게 되는 경우가 자주 발생할 수 있다. 이를 방지하기 위하여 초기 전송에서는 FEC를 적용하지 않고, CRC만을 적용하여 패킷을 전송하고, 수신측에서 CRC에 의해 패킷의 비트 데이타가 손실된 것으로 판단되었을 경우에 NACK 메세지를 통해 재전송을 요청하면, 송신측에서는 손실된 패킷과 동일한 패킷에 대해 FEC를 적용한 후에 재전송하게 된다. 이 기법은 Type-I HARQ 의 낮은 수율을 개선시키기 위한 방법이다.

따라서, Type-I HARQ 기법과 Type-II HARQ 기법은 기본적으로는 패킷 내부의 비트가 손상되는 비트 오류 환경에서 유용하게 적용될 수 있는 오류 제어 기법이다.

상기에서 소개한 FEC와 ARQ를 복합적으로 적용한 기존의 기법들은 ARQ를 수행하기 위해 손실된 패킷에 대한 정보를 담고 있는 NACK 메세지를 통해 송신측에 재전송을 요청하게 된다. 본 논문에서는 이러한 NACK 메세지에 의한 ARQ 동작이 데이타 트래픽의 수율 측면에서 성능 저하를 야기시킬 수 있음에 대해 기술하고 이 문제를 해결하기 위한 ACK 메세지 기반의 ARQ 기법을 활용한 새로운 복합형 FEC/ARQ 기법을 제안한다.

3.2 제안된 복합형 오류 제어 기법

FEC와 ARQ의 혼합형으로 가장 일반적으로 널리 사용되는 방식이 3.1절에서 언급한 하이브리드 FEC/ARQ 방식이다[5-7]. 그러나 이 방법의 가장 큰 문제점은 FEC 부호화 후에 생성되는 n-k 개의 잉여 패킷을 모두 포함하여 n 개의 FEC 패킷을 전송함으로써 네트워크에서의 혼잡을 더욱 가중시킬 수 있다는 것이다. 채널에서 패킷 오류가 발생하는 경우라면 FEC에 의해 손실된 패킷을 복원함으로써 그 효과를 얻을 수 있지만, 만약 채널에서의 패킷 손실이 발생하지 않는 경우에는 잉여 패킷 전송으로 인한 오버헤드 트래픽(overhead traffic)량만 증가시켜 효율(throughput)을 오히려 크게 감소시키게 된다. 이러한 잉여 패킷 전송을 고려한 FEC의 성능 측도로서 확률과정(random process)에서 다루는 효율(throughput)을 고려할 수 있다. 효율은 (n,k) Reed-Solomon 기반의 패킷 단위 FEC 부호화를 사용하고 패킷 손실은 독립적으로 발생한다는 가정하에 계산할 수 있다. 기존의 FEC 기법에서는 기본적으로 n개의 FEC 패킷을 모두 전송하기 때문에 효율 T_{fec}는 n개의 패킷으로 이루어지는 FEC 블록 단위에서 손실되는 패킷의 개수가 n-k개 이하가 될 확률과 하나의 FEC 블록 당 데이타 패킷의 비율을 곱하여 계산할 수 있으며 다음 식과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} T_{fec} &= \frac{k}{n} Prob(X \le n-k) \\ &= \frac{k}{n}\sum_{j=0}^{n-k}\binom{n}{j}P_e^j\left(1-P_e\right)^{(n-j)} \\ &= \frac{k}{n}\sum_{j=0}^{n-k}P_e^j\left(1-P_e\right)^{(n-j)}\cdot\frac{n!}{j!(n-j)!}. \end{aligned} \quad (1)$$

이 식에서 X는 n개의 FEC 패킷으로 구성되는 FEC 블록 단위에서 손실된 패킷의 개수를 나타내는 확률변수(random variable)이며, P_e는 독립적으로 발생하는 패킷 손실률을 나타낸다.

그림 3은 원본 데이타 패킷 개수를 10으로 고정시키고 잉여 패킷 개수를 1개부터 5개까지 증가시켰을 경우 패킷 손실률 대비 얻을 수 있는 효율을 나타낸다. 이 그림으로부터 효율 측면에서 P_e가 5% 이내의 경우 최적의 잉여 패킷 개수는 한 개이고, P_e가 5% 이상 10% 이하의 경우 최적의 잉여 패킷 개수는 두 개이고, P_e가

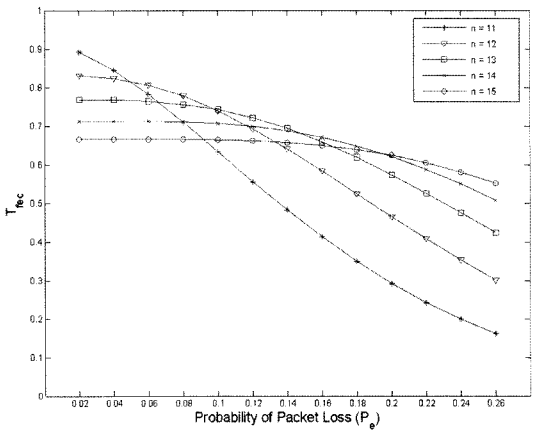

그림 3 패킷 손실률 변화에 따른 FEC 기법의 효율 (k=10인 경우)

10% 이상 15% 이하의 경우 최적의 잉여 패킷 개수는 대략 세 개 정도이고, P_e가 15% 이상 20% 이하일 경우 최적의 잉여 패킷 개수는 대략 네 개 정도이며, P_e가 20% 이상일 경우 최적의 잉여 패킷 개수는 대략 다섯 개가 됨을 관찰할 수 있다.

한편, 기존의 하이브리드 FEC/ARQ 방식에서는 FEC에 의한 손실된 패킷 복구가 실패할 경우에는 ARQ의 NACK 메세지를 통해 손실된 패킷에 대한 재전송을 요청하게 된다. NACK 패킷이 전송되는데 걸리는 시간을 l_N, 재전송에 의해 데이타 패킷이 도착하기까지 걸리는 시간을 l_D라고 가정하면, 순수한 ARQ 동작에 의한 효율은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$T_{ARQ} = \frac{l_D}{l_D + l_N}\cdot(1-P_{e'}). \quad (2)$$

이 식에서 $P_{e'}$은 역방향 채널(backward channel)을 통해 NACK 패킷이 수신측에서 송신측으로 전송되는 도중에 손실될 확률이다.

본 논문에서는 기존의 하이브리드 FEC/ARQ 기법의 효율을 개선시키기 위하여 조건부 잉여 패킷 전송(conditional parity packet transmission) 기법을 제안한다. 조건부 잉여 패킷 전송 기법에서는 FEC의 블록 단위에 포함되는 n개의 FEC 패킷을 한꺼번에 모두 전송하지 않고, 수신측 FEC 복호화에 최소로 필요한 k개의 FEC 패킷이 이미 수신측에 도착한 경우에는 더 이상 잉여 패킷을 전송하지 않는다. 송신측에서는 Reed-Solomon(n,k) 코딩 방법을 사용하여 FEC 부호화를 적용하고 k개의 원본 데이타 패킷들을 우선적으로 전송한다. 채널에서의 패킷 손실이 없는 상황이라면 수신측에서는 k개의 원본 데이타 패킷을 수신하게 되므로 FEC 복호화 적용이 필요 없게 되며 이를 송신측에 알리기 위하여 송신측으로 ARQ에 의한 ACK 신호를 보내게 된다. 그러나 만약 채널에서의 패킷 손실이 발생하는 상황이라면 FEC 복호화에 최소로 필요한 k개의 FEC 패킷을 수신할 때까지 계속 패킷을 수신하며, 비로서 k개의 FEC 패킷을 수신한 순간에 ACK 신호를 송신측에 발송하여 더 이상의 잉여 패킷 전송이 이루어지지 않도록 요청한다. 이러한 방식으로 복합형 오류 제어 기법을 구현할 경우 채널 오류가 발생하지 않는다면 불필요한 잉여 패킷 전송을 사전에 차단할 수 있다. 또한 제안하는 조건부 잉여 패킷 전송 기법의 경우 ACK 패킷이 전송 도중 유실이 되더라도 전체 오류제어 기법의 원활한 동작을 멈추게 하지 않는다. ACK 패킷이 손실될 경우 송신측은 ACK 패킷을 못 받게 되므로 수신측이 여전히 잉여 패킷이 필요하다고 판단하여 계속적으로 잉여 패킷을 전송하는데, 수신측은 불필요하게 전송되고 있는 잉여 패킷을 단순히 폐기 처분하면 되므로 전체 오류제어 기법의 동작 시스템에 문제를 야기시키지 않는다. 그러나, 기존의 NACK 메세지 기반의 하이브리드 FEC/ARQ 방식에서는 NACK 패킷이 전송 도중 손실될 경우 손실된 패킷에 대한 재전송 절차 자체가 성립될 수가 없으므로 전체 오류제어 기법의 동작이 중단되게 된다[5-7].

이러한 조건부 잉여 패킷 전송 기반의 새로운 복합형 오류 제어 기법을 적용할 경우 FEC 기능과 ARQ의 ACK 기능을 결합적으로 해석하여 결합 효율(joint throughput)을 계산할 수 있다. ACK 패킷이 전송되는 역방향 채널에 패킷 손실이 발생하지 않는다고 가정한다면 FEC와 ARQ에 의해 얻을 수 있는 결합 효율 T_{prop}은 다음 식과 같이 계산된다.

$$T_{prop} = \sum_{y=k}^{n} \frac{k\cdot l_d}{y\cdot l_d + l_a} Prob(Y=y)$$
$$= \sum_{y=k}^{n} \frac{k\cdot l_d}{y\cdot l_d + l_a}\cdot(1-P_e)^k P_e^{y-k}\frac{(y-1)!}{(y-k)!(k-1)!}. \quad (3)$$

이 식에서 l_d는 FEC 패킷이 도착하는데 걸리는 시간을 의미하며, l_a는 ARQ 의 ACK 패킷이 전송되는데 걸리는 시간을 나타낸다. 그리고 Y는 k개의 FEC 패킷을 성공적으로 수신하기까지 전송된 전체 FEC 패킷의 개수를 나타내는 확률변수이다.

제안된 복합형 오류 제어 기법의 효율과 식 (1)로 표현되는 기존의 FEC 기법의 효율을 비교하는 결과가 그림 4에 나타나 있다. 이 그림은 각 기법에 대해 패킷 손실률 P_e를 변화시킴에 따라 얻어지는 효율 값을 비교한다. 이 실험에서는 k=10으로 고정시킨 상태에서 잉여 패킷 개수를 2, 3, 5로 설정하여 실험하였다. 또한 식 (3)의 계산에 필요한 파라미터인 l_d와 l_a는 $\frac{l_d}{l_a}=10$ 의 관계를 갖는다고 가정하였다. 이 실험의 결과로부터 동일한 n 값에 대해 제안된 방법의 적용으로 기존의 FEC 기법보다 얻을 수 있는 효율의 향상이 매우 뚜렷함을 관찰할 수 있다. 그림 4에서 전 구간에 걸쳐 제안된 방법의 효율이 FEC보다 높게 나타나는데, P_e가 높을 경우 제안된 방식의 경우에도 잉여 패킷을 많이 전송하게 되므로 FEC와의 효율 격차가 줄어들게 된다. P_e가 낮은 구간에서 제안된 방식의 효율이 두드러지게 높은데, 이는 기존의 FEC방식의 경우 P_e가 낮아서 패킷 손실 가능성이 작은데도 불구하고 n개의 패킷을 모두 전송함으로써 효율의 감소를 초래하는 반면, 제안된 방법에서는 조건부 잉여 패킷 전송 기법에 의해 P_e가 낮을 경우 잉여 패킷 전송 빈도 또한 낮아지게 되어 효율이 높아지게 된다.

결론적으로 제안된 방법은 FEC를 기반으로 ARQ의

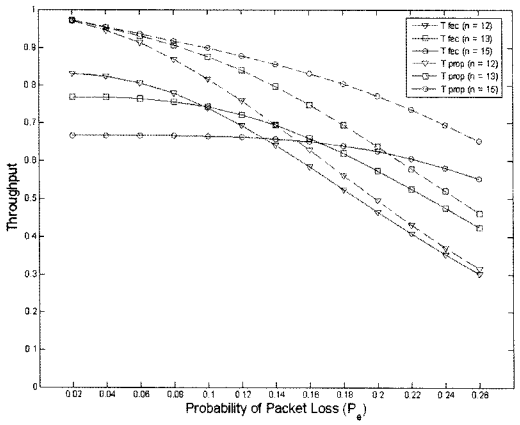

그림 4 패킷 손실률 변화에 따른 FEC와 제안된 방식의 효율 비교(k=10인 경우)

ACK 메세지가 결합되어 동작하는 복합형 오류 제어 구조를 이루며 패킷 손실률이 높은 네트워을 통해 실시간 비디오 전송을 해야 하는 경우에 높은 효율을 유지하면서 오류에 강인한 비디오 서비스를 제공할 수 있다.

3.3 계층형 FEC(layered FEC)

SVC 부호화는 기본적으로 기본계층과 확장계층으로 나뉘어 비트스트림을 생성하게 되는 계층 부호화 방식의 일종이다. 따라서 이러한 구조를 고려하여 FEC 기능을 설계하는 것이 필요하다.

그림 5는 총 v개의 확장계층을 갖는 SVC 계층 구조를 보이며, 계층에 상관없이 동일한 개수의 잉여 패킷을 생성하는 FEC의 원리를 나타낸다. 기본계층에서는 $k0$개의 원본 데이타 패킷에 FEC 부호화에 의해 추가적으로 m개의 잉여 패킷을 생성하고 있다. 확장계층 $L1$에서는 $k1$개의 데이타 패킷에 추가적으로 m개의 잉여 패킷을 생성하고 있고 최상위 확장계층인 Lv에서도 동일하게 추가적으로 m개의 잉여 패킷을 생성하고 있다. 여기서 각 계층 별로 m값을 달리하여 구현하게 될 경우 UEP 기반의 오류 제어 기능을 지원할 수 있다[9].

SVC의 모든 계층 별로 별도의 FEC를 적용하는 것은 SVC의 과다한 계층의 개수를 고려할 때 바람직하지 않다. 현실적으로 스트리밍 서버와 클라이언트의 복잡도를 고려할 때 기본계층 외에 나머지 모든 확장계층을 하나로 묶은 통합 확장계층을 형성하여 총 2개의 계층으로 나누어 계층형 FEC를 적용하는 방법이 실용적이다. 즉, 기본계층에 대해서는 그 중요도를 고려하여 FEC 부호화 강도를 높여서 상대적으로 많은 수의 잉여 패킷을 생성하도록 하고, 통합 확장계층에 대해서는 기본계층에 비해 상대적으로 작은 수의 잉여 패킷을 생성하도록 하여 UEP기반의 오류 강인 기법을 효과적으로 적용할 수 있다.

4. 오류 강인 SVC 스트리밍 시스템 구조

그림 6과 7은 각각 III장에서 제안한 복합형 오류 제어 기법이 포함된 오류 강인 SVC비디오 스트리밍 시스템의 송신측과 수신측의 동작 블록도를 나타낸다.

그림 6은 송신측에서의 오류 강인 패킷을 생성하는 과정을 나타낸다. SVC 비트스트림은 SVC extractor에 의해서 기본계층의 NAL unit과 확장계층의 NAL unit으로 추출되고 추출된 각 NAL unit은 UEP 제공을 위해 기본계층과 확장계층이 서로 분리되어 RTP 패킷화 과정을 거쳐 RTP패킷으로 만들어 진다. 그림 6에 표시된 (i)의 과정에서는 3.3절에서 설명한 계층형 FEC부호화를 기본계층과 확장계층의 RTP 패킷에 독립적으로 적용하여 데이타 패킷과 잉여 패킷으로 구성되는 FEC 패킷을 생성한다. 이후 (ii)의 과정에 의해 전송 시에는 k개의 원본 데이타 패킷이 먼저 전송되며 수신측으로부터 k개의 FEC 패킷을 성공적으로 수신하였다는 ACK 신호가 오기 전까지 조건부 잉여 패킷 전송 기법에 의해 조건적으로 잉여 패킷을 전송하게 된다. 수신측으로부터 ACK 신호가 도착하면 (iii)의 과정을 통해 더 이상 잉여 패킷을 전송하지 않고 다음의 FEC 블록 단위를 처리하는 과정으로 넘어가게 된다.

그림 7은 수신측에서 제안된 복합형 오류제어 기법의 동작 블록도를 나타낸다. 수신측은 송신측과 마찬가지로

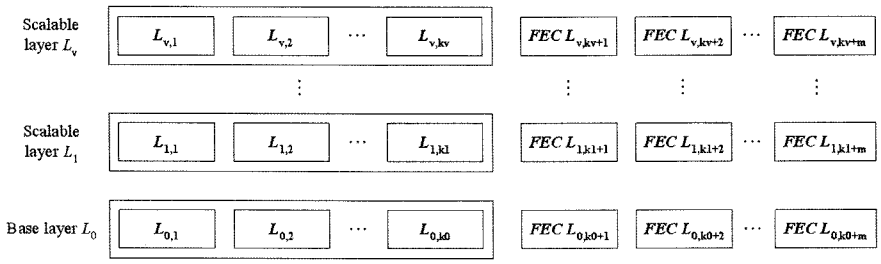

그림 5 SVC의 각 계층별 계층형 FEC 적용 원리

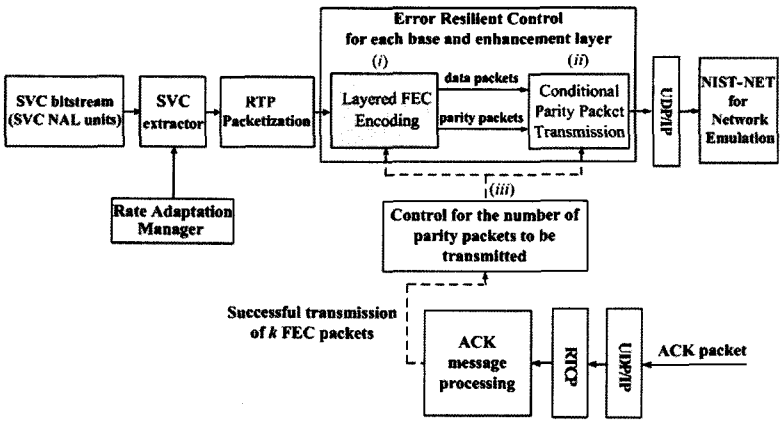

그림 6 SVC비디오 스트리밍을 위한 송신측 오류 강인 패킷 생성 블록도

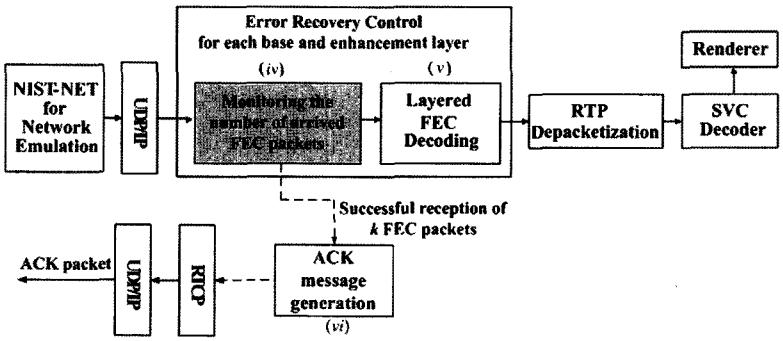

그림 7 SVC비디오 스트리밍을 위한 수신측 복합형 오류 제어 블록도

기본계층에 속하는 패킷과 확장계층에 속하는 패킷을 별도로 구분하여 독립적으로 처리하게 된다. 수신측의 FEC 패킷 처리 과정을 그림 7에 의해 설명하면 다음과 같다. (*iv*)의 과정에서 현재 FEC 블록 단위에 포함되어 도착하고 있는 FEC 패킷의 개수를 관찰한다. 수신된 k 개의 FEC 패킷이 모두 원본 데이타 패킷으로 구성되어 있으면 별도의 FEC 복호화가 필요 없지만, 원본 데이타 패킷이 손실되어 잉여 패킷이 하나 이상 포함되어 있을 경우 (*v*)의 과정을 통해 FEC 복호화가 수행되어 손실된 원본 데이타를 복원하게 된다. 한편, 수신측에서는 k 개의 FEC 패킷이 도착하는 즉시 (*vi*)의 과정을 통해 ACK 패킷을 생성하여 송신측에게 k개의 FEC 패킷을 모두 수신하였으므로 더 이상의 잉여 패킷 전송이 필요 없음을 알려주게 된다. 이러한 과정을 거쳐서 얻어진 RTP 패킷들은 RTP 역패킷화 과정을 거쳐 SVC NAL unit으로 복원이 되고 SVC NAL unit은 SVC복호기에 의해 재생된 후에 화면으로 디스플레이 된다.

5. 실험 결과

실제적인 네트워 환경에서 제안된 방법의 성능을 평가하기 위하여 IP 네트워 에뮬레이터인 NIST-Net 을 활용하여 실험을 하였다[10]. SVC 전송 실험에서 사용될 SVC 비디오의 경우 복합 스케일러빌리티 제공을 위해 그림 2의 GOP 구조를 따라서 부호화 되어 총 2개의 공간 계층으로 이루어진다. 실험에 적용된 오류 제어 기법은 ARQ, FEC, 하이브리드 FEC/ARQ, 그리고 제안된 방법 등이다.

실험에 적용될 전송 채널에서의 패킷 손실 환경은 표 1과 같이 설정되었다. 표 1에서는 평균 패킷 손실 확률(probability of packet loss)과 연속 패킷 손실의 길이(burst error length)를 각 구간 별로 나타낸다. 여기서 구간은 스트리밍 시작 후의 시간을 기준으로 구분이 되며 각 구간의 시간 간격은 20초이다.

표 1 전송 채널에서의 구간별 패킷 손실 환경

	구간 1	구간 2	구간 3	구간 4
평균 패킷 손실 확률(%)		5	12	18
연속 패킷 손실 길이(ms)		5	10	15

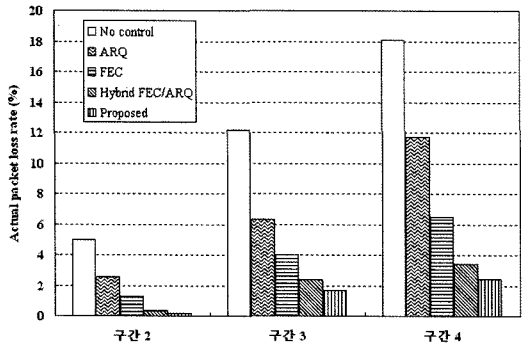

그림 8 (n,k)=(20,12)일 때 각 구간 별로 발생하는 최종 패킷 손실률 비교

그림 8은 이러한 실험 환경에서 여러 가지 오류 제어 기법을 적용했을 경우 각 구간별로 수신측에서 실제적으로 겪게 되는 최종 패킷 손실률(actual packet loss rate)을 비교한다. 구간 1은 패킷 손실률이 0%로 설정되었기 때문에 결과를 표시하지 않았다. 그림에서 "No control"로 표시된 항목은 전송될 RTP 패킷에 어떠한 오류 제어 기법도 적용하지 않았을 때의 결과이다. 그림 8에서는 FEC, 하이브리드 FEC/ARQ, 그리고 제안된 방법에 사용되는 FEC의 Reed-Solomon 부호화를 위한 (n,k) 값을 기본계층, 확장계층의 구분 없이 모두 (20, 12)으로 설정하였다. 그림 8의 결과에서 제안된 방법이 가장 낮은 최종 패킷 손실률을 나타내었다. 특히, 패킷 손실률이 가장 높은 구간 4에서 성능 차이가 두드러진다. 그 이유는 하이브리드 FEC/ARQ의 경우 구간 4에서 매우 높은 패킷 손실률로 인하여 FEC에 의해 복구가 되지 못한 패킷에 대한 ARQ의 재전송 과정에서 재전송된 패킷들 조차 또 다시 손실되어서 최종 패킷 손실률이 증가한 반면에, 제안된 방법의 경우 8개의 잉여 패킷을 채널상의 패킷 손실에 적응적으로 전송함으로써 높은 패킷 손실률에 잘 대응하기 때문이다.

그림 9는 그림 8과 동일한 실험을 수행하면서 시뮬레이션 시간별로 관측된 FEC, 하이브리드 FEC/ARQ, 그리고 제안된 방법에 의한 오버헤드 패킷(overhead packet)의 개수를 비교한다. 오버헤드 패킷은 실제 전송에 포함되는 FEC의 잉여패킷과 ARQ에 의한 재전송 패킷을 모두 포함한다. 그림 9에 보이듯이 FEC의 경우 모든 시간 구간에 걸쳐서 n-k 값에 해당하는 오버헤드 패킷을 전송한다. 하이브리드 FEC/ARQ의 경우 시간이 경과함에 따라 패킷 손실률이 증가하므로 ARQ에 의한 재전송 패킷의 개수가 증가함을 알 수 있다. 제안된 방법의 경우 패킷 손실률에 적응적으로 대처하기 때문에 구간 1에서 ARQ의 ACK를 위한 한 개의 오버헤드 패킷을 전송하며, 시간이 지나면서 점차 패킷 손실률이 높아짐에 따라 전송하는 잉여 패킷의 개수를 적응적으로 늘려서 오버헤드 패킷의 개수가 증가함을 관찰할 수 있다.

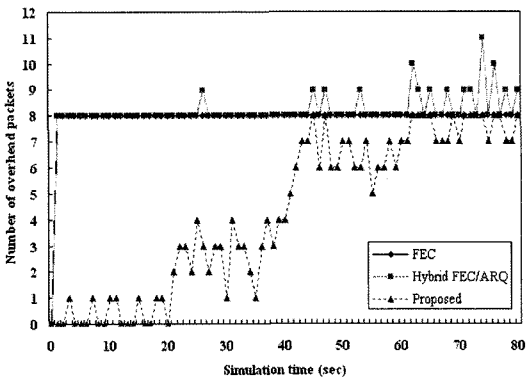

그림 9 (n,k)=(20,12)일 때 시뮬레이션 시간 별로 전송하는 오버헤드 패킷 개수 비교

표 2 PSNR 및 오버헤드 패킷에 의한 비용 비교

	ARQ	FEC	Hybrid FEC/ARQ	Proposed
Average PSNR(dB)	24.72	26.63	28.61	29.30
Cost(%)	2.42	66.75	69.57	35.81

표 2는 표 1의 전송 환경에서 (n,k)=(20,12)로 설정한 경우 각 오류 제어 기법에 의해 얻어지는 휘도 성분에 대한 평균 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio) 값과 이 PSNR 값을 얻기 위해 투입한 비용(cost)을 비교한다. 여기서의 비용은 전송된 전체 SVC 비디오 데이타 패킷량에 대한 각 오류제어 기법에서 사용된 전체 오버헤드 패킷량의 비율을 나타낸다. 표 2의 결과로부터 제안된 방법에 의해 낮은 비용으로 가장 높은 PSNR 결과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

6. 결 론

본 논문에서는 패킷 손실률이 높은 IP 망을 통해 SVC 비디오 스트리밍을 효과적으로 제공하기 위한 전송 오류 제어 기법을 제안하였다. 제안된 방법은 패킷 기반 FEC와 ARQ 기법을 결합하는 복합형 오류 제어 기법으로서 기존의 NACK 기반의 ARQ 대신에 ACK 기반의 ARQ를 응용하여 적용함으로써 효율을 향상시켰다. 또한 차등화된 패킷 보호를 위해 계층형 FEC를 적용하였다. 제안된 기법의 적용으로 오류 제어에 필요한 오버헤드 패킷의 량을 전송 채널의 패킷 손실률에 적응적으로 제어함으로써 오버헤드 패킷 전송에 의해 발생하는 비용을 낮추는 동시에 최종 패킷 손실률을 기존의 오류 제어 기법들 보다 줄임으로써 향상된 비디오 화질을 제공할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] T. Wiegand, G. Sullivan, J. Reichel, H. Schwarz, and M Wien, "Joint draft 10 of SVC amendment," *Joint Video Team*, Doc. *JVT-W201*, San Jose, USA, Apr. 2007.

[2] H. Schwarz, D. Marpe, and T. Wiegand, "Overview of the scalable video coding extension of the H.264/AVC standard," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technol.*, Vol.17, No.9, pp. 1103-1120, Sep. 2007.

[3] H. Liu, H. Ma, M. Zarki, and S. Gupta, "Error control schemes for networks: An overview," *Mobile Networks and Applications*, Vol.2, No.2, pp. 167-182, 1997.

[4] S. Aramvith, C. Lin, S. Roy, and M. Sun, "Wireless video transport using conditional retransmission and low-delay interleaving," *IEEE Trans. Multimedia*, Vol.12, No.6, pp. 558-565, June 2002.

[5] F. Hartanto, and H. Sirisena, "Hybrid error control mechanism for video transmission in the wireless IP networks," *IEEE Workshop on Local and Metropolitan Area Networks*, Sydney, Australia, Nov. 1999.

[6] F. Vacirca, A. Vendictis, and A. Baiocchi, "Optimal design of hybrid FEC/ARQ schemes for TCP over wireless links with Rayleigh fading," *IEEE Trans. Mobile Computing*, Vol.5, No.4, pp. 289-301, Apr. 2006.

[7] T. Gan, L. Gan, and K. Ma, "Expected run-time distortion based scheduling for scalable video transmission with hybrid FEC/ARQ error control," *IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech and Signal Processing*, Vol.1, pp. 829-832, Apr. 2007.

[8] H. Liu, H. Ma, M. Zarki, and S. Gupta, "Error control schemes for networks: An overview," *Mobile Networks and Applications*, Vol.2, No.2, pp. 167-182, Oct. 1997.

[9] K. Stuhlmuller, M. Link, B. Girod, "Scalable Internet video streaming with unequal error protection," *Int. Packet Video Workshop*, New York, USA, Apr. 1999.

[10] NIST-NET, Software provided by National Institute of Standards and Technology(NIST), http://www-x.antd.nist.gov/nistnet.

서 광 덕

1996년 KAIST 전기및전자공학과 학사 1998년 KAIST 전기및전자공학과 석사 2002년 KAIST 전자전산학과 박사. 2002년~2005년 LG전자 선임연구원. 2005년~현재 연세대학교 컴퓨터정보통신공학부 부교수. 관심분야는 영상부호화, 영상통신, 디지털 방송, 멀티미디어 통신시스템

문 철 욱

2004년 연세대학교 전산학과 학사. 2008년 연세대학교 컴퓨터정보통신공학부 석사. 2008년~현재 GE Healthcare Korea 연구원. 관심분야는 Scalable Video Coding, Error Resilient Video Coding, Channel Coding, 의료 영상처리

정 순 홍

2001년 부산대학교 전자공학과 학사. 2003년 KAIST 전기및전자공학과 석사. 2003년~2005년 LG전자 주임연구원. 2005년~현재 ETRI 방통미디어연구부 선임연구원. 관심분야는 영상부호화, IPTV, 영상통신

김 진 수

1991년 경북대학교 전자공학과 학사. 1993년 KAIST 전기및전자공학과 석사. 1998년 전기및전자공학과 박사. 1997년~2000년 삼성전자 선임연구원. 2000년~현재 한밭대학교 정보통신컴퓨터공학부 부교수. 관심분야는 멀티미디어 스트리밍, SVC, Distributed Video Coding, 디지털 방송