

# 이종 무선망 환경에서 효과적인 영상 스트리밍 시스템

정회원 주현철\*, 이동주\*, 한상천\*, 송황준\*

## Efficient Video Streaming System over Heterogeneous Wireless Networks

Hyunchul Joo\*, Dongju Lee\*, SangChun Han\*,  
Hwangjun Song\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문은 이종 무선망 환경에서 효과적인 영상 스트리밍 시스템에 대해 다룬다. 제안하는 영상 스트리밍 시스템은 파운틴 코드를 영상 스트리밍 서비스에 적합하도록 변형하고, 파운틴 코드의 지연 및 블록 복구 실패율 제약 조건들을 만족시키면서 다중 경로를 통해 영상 스트림의 비트율을 최대화한다. 마지막으로, 제안하는 시스템이 이종 무선망 환경에서 각 경로의 상태 정보를 기반으로 제어 변수를 동적으로 설정함으로써 고품질의 안정적인 영상 스트리밍 서비스를 사용자에게 제공할 수 있음을 보인다.

**Key Words** : Fountain code, Quality of service, Path diversity, Heterogeneous wireless networks, Video streaming service.

### ABSTRACT

In this paper, we propose an efficient video streaming system over heterogeneous wireless networks. The proposed system modifies fountain code for the video streaming service and maximizes the target video encoding rate using multiple paths while satisfying delay and block recovery failure rate constraints of fountain code. Finally, the proposed system provides the seamless video streaming service of high quality to subscribers by dynamic adaptation of control parameters based on the states of each path over heterogeneous wireless networks.

### I. 서 론

현재 무선 환경은 사용자들의 다양한 요구 조건을 만족시키기 위해 다수의 무선망들이 공존하고 있다. 예를 들어, WiMAX (Worldwide interoperability for Microwave Access), WLAN (Wireless Local Area Network), HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) 등 다양한 무선망들이 각자의 고유한 서비스를 사용자들에게 제공해 주고 있다. 지금까지의 무선망의 발전 방향으로 볼 때, 앞으로 점점 더 다양한 종류의 무선망들이 등장할 것이라는 것을 예상할 수 있

다.

지금까지 이종 무선망 사이의 협력에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다. 이동 단말이 어떤 한 시점에서 단일 무선망만을 사용한다는 가정 하에 이종 무선망 사이의 핸드오프 기법 [1]은 복잡한 프로토콜을 요구하고, 무선망들을 통합하는데 많은 시간과 비용이 필요하며, 망 사업자 간의 이해관계를 조율해야 하는 문제점들을 내포하고 있다. 그리고 단일 무선망만을 사용하는 경우 영상 스트리밍 서비스에 대한 QoS (Quality of Service)를 지원하는 것에 한계가 있다. 이로 인해 원활한 영상 스트리밍 서비스를 지원하기

※ 본 연구는 방송통신위원회의 차세대통신네트워크 원천기술개발사업의 연구결과로 수행되었음 (KCA-2011-09913-05006)

\* 포항공과대학교 컴퓨터공학과 멀티미디어 통신네트워킹 연구실(chul1978@postech.ac.kr, ldjblaze@postech.ac.kr, pit30z@postech.ac.kr, hwangjun@postech.ac.kr)

논문번호 : KICS2011-01-049, 접수일자 : 2011년 1월 21일, 최종논문접수일자 : 2012년 1월 27일

위해 다수의 무선망들을 동시에 사용하는 접근 방식을 통해 해결하는 것이 합리적이다.

유선망은 일반적으로 패킷 손실률이나 전송 대역폭이 안정적인 반면, 무선망은 시변하는 특성을 갖는다. 무선망은 공기라는 매체를 공유하여 사용하므로 안정적이고 고유한 전송 매체를 갖는 유선망에 비해 그 성능이 저하될 수밖에 없다는 고질적인 문제를 내포하고 있다. 이로 인해 현재 유선망에서 일반화된 고품질의 영상 스트리밍 서비스를 무선망으로 확장하는 것은 쉽지 않은 문제이다. 그리고 현재 사용되고 있는 영상 코덱은 높은 비율로 영상 스트림을 압축하기 때문에 전송 에러로 인한 패킷 손실에 취약한 특성을 갖는다. 이러한 패킷 손실을 보정하기 위해 응용 계층에서의 ARQ (Automatic Repeat reQuest) 및 FEC (Forward Error Correction) 기법들이 폭넓게 사용된다 [2]. ARQ 기법은 기본적으로 수신 측으로부터 손실된 패킷에 대한 피드백 (Feedback) 정보를 기반으로 송신 측에서 재전송을 수행한다. 이로 인해 중단 간 지연을 증가시키므로 지연에 민감한 영상 스트리밍 서비스에 적합하지 않다. FEC 기법은 기존 영상 데이터에 추가적인 복구 데이터를 함께 전송하므로, ARQ 기법에 비해 상대적으로 망 대역폭을 어느 정도 희생해야 하는 반면 복구 데이터의 양을 적절히 조절할 경우 지연 시간을 효과적으로 줄일 수 있다. 최근 다양한 FEC 기법들 중에서 무선망 상태에 동적으로 복구 데이터의 양을 조절 가능한 파운틴 코드 [3, 4, 5]가 활발하게 연구되고 있다.

본 논문은 이중 무선망 환경에서 효과적인 영상 스트리밍 시스템에 대해 다룬다. 제안하는 영상 스트리밍 시스템은 파운틴 코드를 영상 스트리밍 서비스에 적합하도록 변형하고, 다중 경로를 통해 고품질의 안정적인 영상 스트리밍 서비스를 사용자에게 제공한다.

## II. 관련 연구

[6]의 저자는 다중 경로를 통해서 기 인코딩된 영상 스트림의 QoS를 만족시키기 위한 전송 기법을 연구하였다. 영상 전송을 위한 경로 선택과 각 경로로 전송되는 영상 데이터의 양을 조절하는 것이 이 연구의 주요 목적이다. 해당 연구에서는 패킷 손실률이 일정 수준 이하인 일부 경로들만을 선택하고, 선택한 경로들에 대해 가능한 최대한의 전송률로 영상 데이터를 전송한다. 이로 인해 다중 경로가 가지고 있는 자원을 충분히 활용할 수 없다. [7]의 저자는 다중 경로를 이용하여 안정적인 영상 재생을 위한 핸드오프 기법에

대한 연구를 수행하였다. 해당 연구는 영상 스트림을 계층적 영상 인코딩 기법으로 압축한다. 핸드오프가 일어나는 시점에서 기본 계층을 두 개의 액세스 포인트를 통해 중복 전송하는 방법을 사용하여 안정적인 영상 스트리밍 서비스를 지원한다. 그러나 중복 전송 자체가 오버헤드이며, 핸드오프가 일어나는 순간에만 다중 경로의 이점을 사용한다. [8]의 저자는 안정적인 영상 재생을 위해 영상 스트림을 MDC (Multiple Descriptions Coding) 기법으로 압축한 후, 각 독립적인 압축된 스트림을 다중 경로를 통해 전송한다. MDC 기법은 압축률이 현저히 떨어지는 문제점을 내포하고 있다. [9]의 저자는 다수의 서버에서 계층적 영상 인코딩 기반의 압축된 영상 스트림을 효과적으로 전송하는 연구를 수행하였다. 해당 연구는 각 GOP (Group of Pictures) 내 계층 별로 파운틴 인코딩을 수행한 후, 각 경로에 대한 전송률과 손실률을 기반으로 영상 스트림의 화질을 최대화하면서 대역폭 사용량을 최소화하기 위한 각 서버에서의 계층 별 전송률을 결정한다.

기존의 연구들은 원활한 영상 스트리밍 서비스를 사용자에게 제공하기 위해 채널 상태가 좋은 일부 무선망만을 사용하거나, 지연에 민감하고 비트율 조절이 가능한 영상 스트리밍 응용 및 코드율 조절이 가능한 파운틴 코드의 특성을 동시에 고려하지 않았다. 반면, 제안하는 시스템은 파운틴 코드를 영상 스트리밍 서비스에 적합하도록 변형하고, 각 경로의 상태 정보를 기반으로 제어 변수를 동적으로 설정함으로써 모든 무선망들을 동시에 사용하여 고품질의 안정적인 영상 스트리밍 서비스를 사용자에게 제공한다.

## III. 파운틴 코드

채널 코딩 방법 중의 하나인 파운틴 코드는 높은 코딩 효율성, 낮은 인코딩 및 디코딩 처리시간, 그리고 기존 정보량과 부호화한 데이터양의 비율을 나타내는 코드율을 자유롭게 조절할 수 있는 이점을 갖는다. 파운틴 코드는 블록 기반 코드이며, 대표적으로 LT (Luby Transform) 코드 및 RT (Raptor Transform) 코드가 이에 속한다. 우선 LT 코드의 인코딩 과정은 다음과 같다. 데이터 스트림은 먼저 다수의 가변 길이 소스 블록들로 나누어진다. 각 소스 블록은 미리 정해진 크기의 소스 심벌들로 이루어진다. 소스 블록에 포함된 총 소스 심벌들의 개수가  $k$ 일 때,  $\{1, 2, \dots, k\}$  값들에 대한 확률 분포가 이상적 솔리톤 분포 (Ideal Soliton Distribution) 및 견고한 솔리톤 분포 (Robust

Soliton Distribution)와 같은 기 정의된 확률 분포 함수에 의해 결정된다 [3]. 이 확률 분포를 통해 각 인코딩 심벌의 차수 ( $n_d$ )가 결정되며, 그림 1 (a)에서 보이듯이, 각 인코딩 심벌은  $n_d$  개의 소스 심벌들을 임의 선택하여 비트 단위로 XOR 연산을 적용하여 생성된다. LT 코드의 디코딩 과정은 인코딩 과정의 역으로 진행되며, 선형 방정식에 대한 해를 구하는 것과 동일하다. 일반적으로 메시지 전달 (Message Passing)과 같은 간단한 디코딩 알고리즘이 낮은 연산량으로 인해 폭넓게 사용된다. RT 코드는 인코딩 및 디코딩 연산량을 선형화시킨 LT 코드의 개선된 형태이다. 그림 1 (b)에서 보이듯이, RT 코드는 LT 코드를 포함한 XOR 연산을 기본으로 하는 코드들의 복합적인 구조로 되어있다.

파운틴 코드는 패킷 손실로 인해 인코딩 심벌들 중 일부가 손실되더라도, 일정 수준 이상의 인코딩 심벌들을 수신할 경우 원래의 소스 심벌들을 복구할 수 있다. 성공적으로 모든 소스 심벌들을 복구하기 위해 요구되는 인코딩 심벌들의 수는 다음과 같이 정의된다.

$$k' = (1 + \gamma)k \quad (1)$$

여기서  $\gamma$ 은 심벌 오버헤드를 의미하며, 일반적으로 작은 실수 값이다. 위 수식은 수신 측에서 소스 심벌들의 수 보다 약간 더 많은 수의 인코딩 심벌들을 통해 모든 소스 심벌들을 원활히 복구할 수 있음을 의미한다.

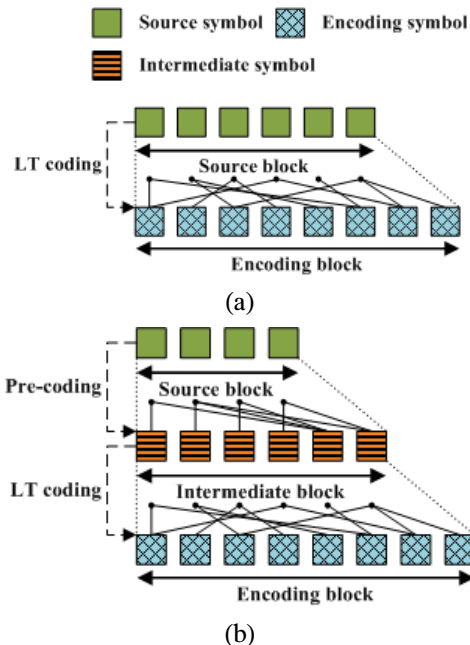


그림 1. 파운틴 코드의 인코딩 방식: (a) LT 인코딩 (b) RT 인코딩.  
Fig. 1. Encoding process of fountain code: (a) LT encoding and (b) RT encoding.

#### IV. 제안하는 영상 스트리밍 시스템

제안하는 영상 스트리밍 시스템은 이중 무선망 환경에서 종단 간 다중 경로를 통해 고화질의 안정적인 영상 스트리밍 서비스 제공을 목표로 한다. 이를 위해 본 논문에서는 영상 인코더와 상호 협력하는 시스템을 제안한다. 그림 2에서 보이듯이, 제안하는 시스템은 제어 유닛, 파운틴 인코더, 그리고 WRR (Weighted Round Robin) 분배기로 구성 된다. 제어 유닛은 수신 측의 피드백 정보를 기반으로 파운틴 코드의 지연 및 블록 복구 실패율 제약조건들을 만족시키면서 영상 스트림의 비트율을 최대화하기 위해 다른 요소들의 변수 값을 제어한다. 영상 인코더는 설정된 비트율에 따라 영상 스트림을 압축하고, 파운틴 인코더는 영상 스트리밍 서비스에 최적화된 파운틴 코드를 통해 압축된 영상 스트림에 대한 설정된 코딩률로 파운틴 인코딩 및 패킷화 (Packetization)를 수행하며, WRR 분배기는 이용 가능한 경로들에 대한 설정된 가중치를 기반으로 각 경로 상으로 패킷들을 분배한다. 제안하는 시스템은 수신 측에서 각 경로 상의 이용 가능한 대역폭 및 전파지연, 그리고 전체 경로들 상의 패킷 손실률에 대한 피드백 정보를 기반으로 동작한다. 각 경로 상의 이용 가능한 대역폭은 pathChirp 기법 [10]으로 예측되며, 각 경로 상의 전파지연과 전체 경로들 상의 패킷 손실률은 각각 수신된 패킷들의 패킷 헤더 내 타임스탬프와 인덱스 번호를 이용하여 추정할 수 있다.

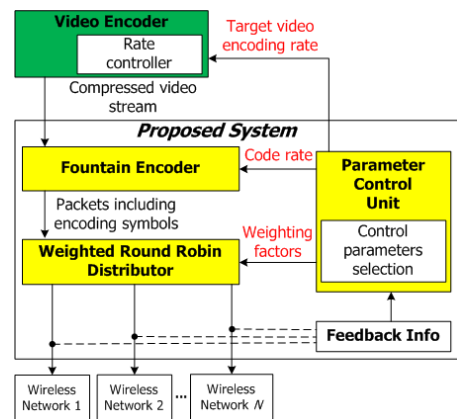


그림 2. 제안하는 영상 스트리밍 시스템 구조.  
Fig. 2. Structure of the proposed video streaming system.

##### 4.1. 영상 스트리밍 서비스에 최적화된 파운틴 코드

본 논문에서는 영상 스트리밍 서비스를 함에 있어 사용자에게 빠른 응답성을 제공하기 위해 압축된 영

상 스트림 내 각 GOP 단위로 소스 블록을 구성한다고 가정한다. 만약 여러 개의 GOP 단위들로 소스 블록을 구성하는 경우, 해당 소스 심벌들을 버퍼에 쌓은 후 파운틴 인코딩 및 디코딩을 수행하는 과정은 긴 지연을 야기한다. 일반적으로 파운틴 코드는 소스 블록 내 소스 심벌들의 수가 1000 개 이상일 때 좋은 성능을 보이고 있으므로 [11], 소스 심벌의 크기는 패킷 크기보다 상대적으로 작다고 가정하면 그림 3과 같이 하나의 패킷은 다수의 인코딩 심벌들을 포함한다. 위의 가정 하에서 패킷 내에 인코딩 심벌들이 소스 블록 내 어떠한 소스 심벌들과 연결을 맺고 있는 지는 소스 심벌들을 복구함에 있어 중요한 문제이다. 예를 들어 그림 4 (a)의 2번째 및 4번째 소스 심벌처럼 특정 소스 심벌과 연결을 맺고 있는 2개의 인코딩 심벌들이 모두 하나의 패킷에 포함된다면 해당 패킷의 손실은 관련 소스 심벌의 손실로 이어진다. 반면, 그림 4 (b)의 2번째, 3번째 및 4번째 소스 심벌처럼 특정 소스 심벌이 총 2개의 인코딩 심벌들과 연결을 맺고 있고 2개의 인코딩 심벌들은 각각 독립된 패킷으로 분산되어 있다고 하자. 이러한 2개의 패킷들 중 하나의 패킷이 손실되더라도 해당 소스 심벌은 높은 확률로 복구가 가능하다. 기존의 임의 소스 심벌 선택 확률을 적용한 파운틴 코드는 패킷화 과정을 고려하지 않으므로, 지연 시간에 민감한 영상 스트리밍 데이터 전송에 있어 이와 같은 문제가 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위해  $j$ 번째 패킷 내 인코딩 심벌들에서  $i$ 번째 소스 심벌과의 연결의 수  $L(s_i, p_j)$ 는 다음의 조건을 만족해야 한다.

$$L(s_i, p_j) \leq 1 \text{ for } \forall i \text{ and } \forall j \quad (2)$$

여기서  $s_i$ 는  $i$ 번째 소스 심벌이고,  $p_j$ 는  $j$ 번째 패킷을 의미한다. 만약 기존의 방식대로 소스 심벌 선택에 있어 균등 분포를 사용한다면,  $L(s_i, p_j) = v$ 일 확률은 다음과 같이 추정할 수 있다.

$$P(L(s_i, p_j) = v) = \binom{m}{v} \left(\frac{1}{k}\right)^v \left(\frac{k-1}{k}\right)^{m-v} \quad (3)$$

여기서  $m$ 은 한 패킷에 속한 모든 인코딩 심벌들에서 소스 심벌들과의 총 연결의 수를 나타낸다.  $k$ 와  $m$ 이 주어졌을 때, 위 식을 통해  $i$ 번째 소스 심벌과  $j$ 번째 패킷 사이의 의존 정도를 계산하는 것이 가능하다.

본 논문에서 제안하는 소스 심벌 선택 확률을 변경한 파운틴 코드는 소스 심벌들이 특정 패킷과 연관 관계를 맺는 것을 방지하여 패킷 손실로 인해 소스 심벌 복구에 미치는 영향을 최소화하고자 한다. 즉, 제안하

는 기법은 패킷화를 고려하여 패킷 내에 인코딩 심벌들이 소스 심벌을 선택하는 확률을 균등분포가 아닌 아래의 확률 값으로 대체한다.  $P(s_i, p_j)$ 는  $j$ 번째 패킷 내에 인코딩 심벌들이  $i$ 번째 소스 심벌을 선택하는 확률이며, 아래와 같이 정의된다.

$$P(s_i, p_j) = \begin{cases} 0 & : L(s_i, p_j) \neq 0 \\ \frac{1}{k-n(E)} & : L(s_i, p_j) = 0 \end{cases} \quad (4)$$

여기서  $n(A)$ 는 집합  $A$ 의 원소의 개수이고,  $E$ 는 패킷 내 기존 인코딩 심벌들과 연결 관계에 있는 소스 심벌들의 집합이다. 위의 수식을 적용함으로써 소스 심벌들은 특정 패킷과 연관 관계를 맺지 않고 다수의 패킷들과 연결을 맺음으로써 소스 심벌 복구 확률을 높일 수 있다. 제안하는 소스 심벌 선택 확률을 변경한 파운틴 코드는 소스 심벌들과 패킷들 간의 연관성을 제거하기 위한 추가적인 처리 과정이 요구되기 때문에 기존의 임의 소스 심벌 선택 확률을 적용한 파운틴 코드 보다 인코딩 및 디코딩 시간이 다소 증가하나 그 증가량은 크지 않다.

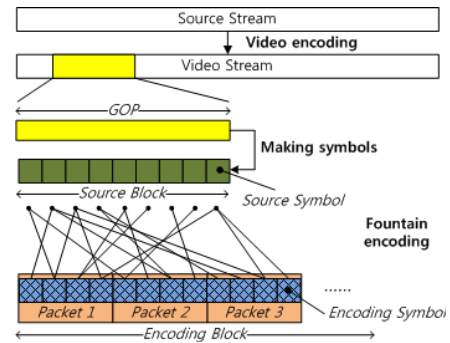


그림 3. 영상 스트리밍 서비스를 위한 파운틴 코드 적용 방법. Fig. 3. Fountain code deployment scheme for the video streaming service.

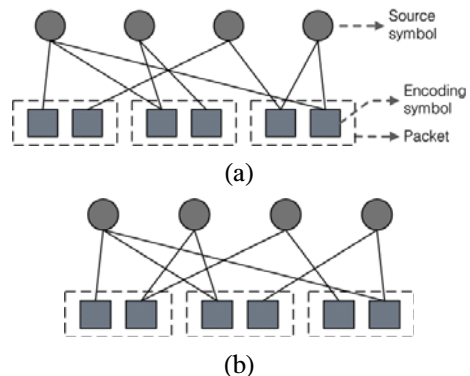


그림 4. 소스 심벌들과 패킷들 간의 관계에 대한 예제: (a) 기존의 임의 소스 심벌 선택 확률을 적용한 파운틴 코드 (b) 제안하는 소스 심벌 선택 확률을 변경한 파운틴 코드. Fig. 4. Examples of the relation between source symbols and packets: (a) Fountain code applying the conventional random source symbols selection and (b) Fountain code applying the proposed modified source symbols selection.

#### 4.2. 제어 변수 설정 알고리즘

제안하는 시스템의 제어 유닛은 이용 가능한 경로들의 상태를 고려하여 영상 인코더, 파운틴 인코더, 그리고 WRR 분배기의 제어 변수를 설정한다. 이에 대한 구체적인 과정은 3개의 단계로 구성되어 있으며, 각 단계에 대한 세부적인 내용은 다음과 같다.

##### 단계 1: 이용 가능한 경로들에 대한 가중치 결정

각 경로의 이용 가능한 대역폭과 전파지연을 기반으로 데이터 패킷들을 각 경로로 분배하기 위한 가중치를 결정할 수 있다. 우선  $i$ 번째 경로에 대한 전송지연 ( $d_{trans}^i$ )은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$d_{trans}^i = \frac{S_{pkt}}{bw_i} \quad (5)$$

여기서  $S_{pkt}$ 는 패킷 사이즈이고,  $bw_i$ 는  $i$ 번째 경로에 대한 이용 가능한 대역폭을 의미한다. 이를 이용하여 파운틴 코드의 지연 제약 조건을 만족하면서  $i$ 번째 경로를 통해 전송할 수 있는 최대 패킷 수 ( $g_i$ )를 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$g_i = \left\lfloor \frac{D_{max} - d_{prop}^i}{d_{trans}^i} \right\rfloor \quad (6)$$

여기서  $\lfloor x \rfloor$ 는  $x$ 보다 크지 않는 최대 정수 값이고,  $D_{max}$ 는 수신 측에서 버퍼 언더플로우를 일으키지 않는 파운틴 코드의 종단 간 허용 가능한 최대 지연이고,  $d_{prop}^i$ 는  $i$ 번째 경로에 대한 전파지연을 의미한다. 이 때, WRR 분배기는  $g_i$ 를  $i$ 번째 경로의 가중치로 설정한다.

##### 단계 2: 파운틴 코드의 최대 코드율 결정

제안하는 시스템은 전체 경로들 상의 패킷 손실률을 기반으로 파운틴 코드의 블록 복구 실패율 제약 조건을 만족하기 위한 파운틴 코드의 최대 코드율을 결정한다. 이를 위해 먼저 단계 1을 통해 얻은  $g_i$ 를 이용하여 모든 이용 가능한 경로들을 사용하여 전송할 수 있는 최대 패킷 수를 다음과 같이 정의한다.

$$T_{max} = \sum_{i=1}^N g_i \quad (7)$$

여기서  $N$ 은 이용 가능한 경로들의 총 수를 의미한다. 지금 파운틴 코드의 블록 복구 실패율  $\pi_{blk}(c)$ 은 이항 분포를 사용하여 다음과 같이 추정할 수 있다.

$$\pi_{blk}(c) = 1 - \sum_{i=T_{min\_dec}(c)}^{T_{max}} \binom{T_{max}}{i} (1 - \pi_{tot})^i (\pi_{tot})^{T_{max}-i} \quad (8)$$

여기서  $c$ 는 총 소스 심벌의 수를 총 인코딩 심벌의 수로 나눔으로 정의된 파운틴 코드의 코드율이고,  $\pi_{tot}$ 는 전체 경로들 상의 패킷 손실률이고,  $T_{min\_dec}(c)$ 는 성공적인 파운틴 디코딩을 위해 최소 요구되는 패킷의 수이며 식 (1)을 기반으로 다음과 같이 정의된다.

$$T_{min\_dec}(c) = \lceil (1 + \gamma) * T_{max} * c \rceil \quad (9)$$

여기서  $\lceil x \rceil$ 는  $x$ 보다 큰 가장 작은 정수 값이다. 지금 파운틴 인코더에서 파운틴 코드의 블록 복구 실패율을 만족시키는 최대 코드율 ( $c_{max}$ )은 다음과 같이  $d(c)$ 를 최소화하는 코드율로 설정된다.

$$c_{max} = \operatorname{argmin}_c (d(c)) \text{ for } 0 < c \leq 1 \quad (10)$$

$$d(c) = \begin{cases} \Pi_{max} - \pi_{blk}(c) & : \pi_{blk}(c) \leq \Pi_{max} \\ \infty & : \pi_{blk}(c) > \Pi_{max} \end{cases} \quad (11)$$

여기서  $\Pi_{max}$ 는 파운틴 코드의 최대 허용 가능한 블록 복구 실패율이다.

##### 단계 3: 영상 스트림의 비트율 결정

단계 2에서 계산된 파운틴 코드의 최대 코드율을 이용하여 영상 인코더에서 영상 스트림의 최대 비트율을 ( $v_{max}$ )은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$v_{max} = \frac{T_{max} * S_{pkt} * c_{max}}{N_{GOP}/Fr} \quad (12)$$

여기서  $N_{GOP}$ 은 GOP 내 총 프레임 수이고,  $Fr$ 은 프레임율을 나타낸다.

## V. 실험 결과

실험을 위해 제안한 시스템은 Java와 C/C++을 이용하여 구현되었고, H.264/AVC JM 소프트웨어 [12]가 영상 코덱으로 사용되었다. 실험 환경은 다음과 같이 설정되었다. 영상 스트림의 프레임율은 초당 30 프레임이고 각 GOP는 15 프레임 (IPPPPPPPPPPPPP)으로 구성된다. 영상 인코더는 전송을 위해 압축된 영상 스트림을 RTP (Realtime Transport Protocol) 패킷으로 생성한다. 실험 영상으로 총 300 프레임으로 구성된 4 CIF 크기의 City, Crew, Harbour, Soccer가 사용되었다. 대표적인 파운틴 코드인 RT 코드의 한 부류인 온라인 코드 [5]가 사용되었으며, 심벌 크기 및 패킷 크기는 각각 8 바이트와 1024 바이트로 설정



하였다. 즉, 하나의 패킷은 128개의 인코딩 심벌들로 구성된다.  $D_{max}$ 와  $I_{max}$ 는 각각 1000 ms와 0.01로 설정하였다. 영상 디코더는 사용자의 주관적인 화질 향상을 위한 오류 정정 기술로써 단순 프레임 복사 기법을 사용한다.

본 논문의 실험 결과는 크게 두 부분으로 구성된다. 첫 번째 부분에서는 제안한 소스 심벌 선택 확률을 변경한 파운틴 코드의 성능을 분석하고, 두 번째 부분에서는 이중 무선망 환경에서 제안한 시스템의 성능을 평가한다.

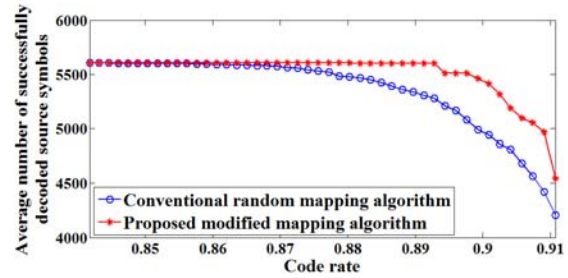
### 5.1. 제안한 소스 심벌 선택 확률을 변경한 파운틴 코드의 성능

이번 절에서는 제안한 소스 심벌 선택 확률을 변경한 파운틴 코드와 기존의 임의 소스 심벌 선택 확률을 적용한 파운틴 코드의 성능을 비교한다. 영상 스트림의 비트율은 700 kbps로 고정하였고, 각 실험 영상에 대해서 100번 실험을 반복하여 수행하였다. 전체 경로들 상의 패킷 손실률이 0.05로 설정하였을 때, 두 가지 파운틴 코드의 코드율 변화에 따른 복호화에 성공한 평균 소스 심벌들의 수를 그림 5에서 나타내었다. 그림 5에서 보이듯이, 제안한 소스 심벌 선택 확률을 변경한 파운틴 코드는 모든 코드율에서 기존의 임의 소스 심벌 선택 확률을 적용한 파운틴 코드보다 더 좋은 소스 심벌 복구 성능을 보이고 있다. 결론적으로 제안한 소스 심벌 선택 확률을 변경한 파운틴 코드는 소스 심벌들이 특정 패킷과 연관 관계를 맺는 것을 방지하여 패킷 손실로 인해 소스 심벌 복구에 미치는 영향을 최소화함으로써 소스 심벌 복호화 성공 확률을 증가시킨다.

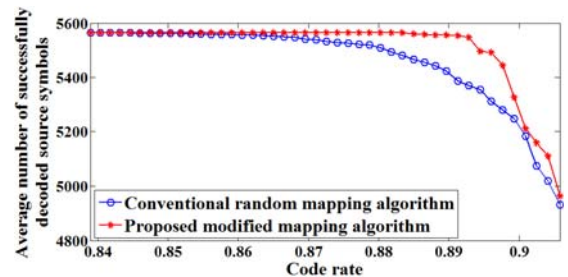
다음은 영상 화질 측정을 통해 두 가지 파운틴 코드의 성능을 비교하였다. 일반적으로 더 많은 소스 심벌들이 복호화 될 수록 높은 화질의 영상을 제공할 수 있으며, 그림 5를 통해 제안한 소스 심벌 선택 확률을 변경한 파운틴 코드가 더 좋은 소스 심벌 복구 성능을 보였다. 결과적으로 그림 6에서 보이듯이, 기존의 임의 소스 심벌 선택 확률을 적용한 파운틴 코드보다 제안한 소스 심벌 선택 확률을 변경한 파운틴 코드가 항상 더 높은 PSNR을 제공해 줄 수 있다. 전체 경로 상의 패킷 손실률을 다양하게 변화시켜가며 실험했을 때, 위와 같은 현상이 마찬가지로 관측되었다.

마지막으로 두 가지 파운틴 코드의 인코딩/디코딩 복잡도를 비교하였다. 제안한 소스 심벌 선택 확률을 변경한 파운틴 코드는 소스 심벌들과 패킷들 간의 연관성을 제거하기 위한 추가적인 처리 과정이 요구되

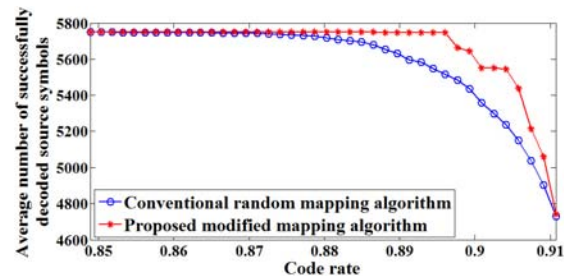
기 때문에 인코딩/디코딩 시간이 다소 증가한다. 실제 처리 시간의 증가 정도는 구현 방식에 따라 달라질 수 있지만, 단일 GOP에 대해 제안한 소스 심벌 선택 확률을 변경한 파운틴 코드와 기존의 임의 소스 심벌 선택 확률을 적용한 파운틴 코드의 측정된 인코딩 시간은 각각 13.90 ms, 11.52 ms로 큰 차이가 나지 않으며, 디코딩 시간도 비슷한 결과를 보였다.



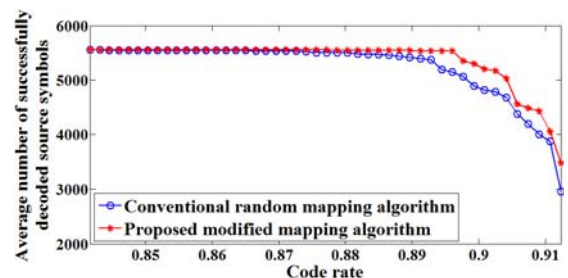
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 5. 전체 경로들 상의 패킷 손실률이 0.05 일 때, 코드율에 따른 복호화에 성공한 평균 소스 심벌들의 수: (a) City, (b) Crew, (c) Harbour, (d) Soccer.

Fig. 5. The average number of successfully decoded source symbols according to the code rate when PLR over the entire paths is fixed to 0.05: (a) City, (b) Crew, (c) Harbour, and (d) Soccer.

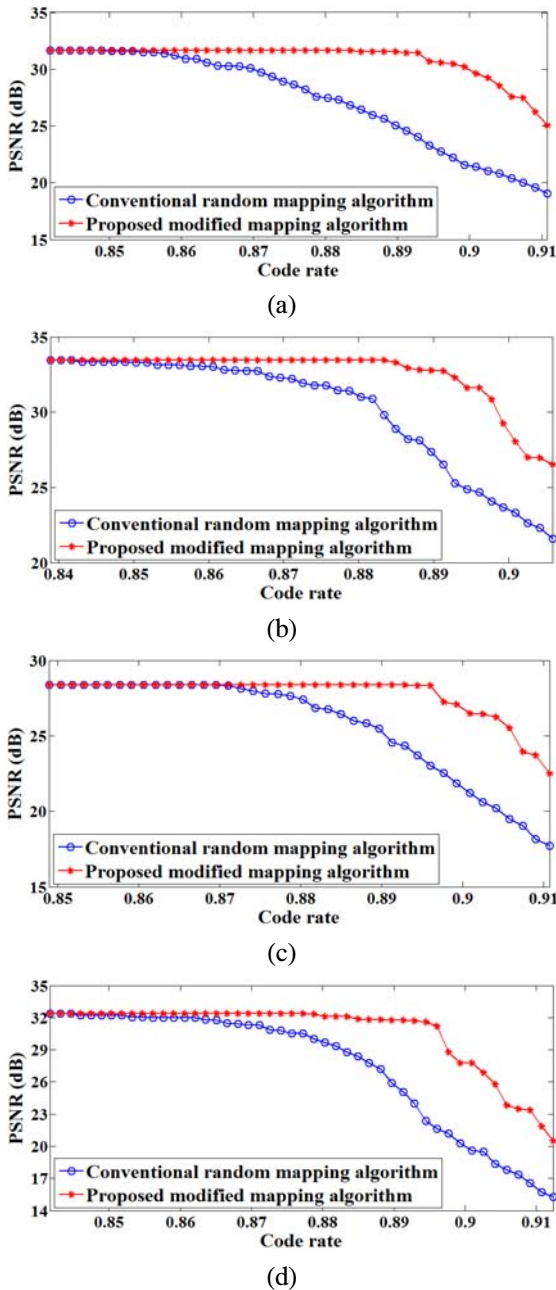


그림 6. 전체 경로들 상의 패킷 손실률이 0.05 일 때, 코드율에 따른 영상 스트림의 PSNR: (a) City, (b) Crew, (c) Harbour, (d) Soccer.  
 Fig. 6. PSNR of the video stream according to the code rate when PLR over the entire paths is fixed to 0.05: (a) City, (b) Crew, (c) Harbour, and (d) Soccer.

### 5.2. WLAN 망과 HSDPA 망을 통한 제안한 시스템의 성능

이번 절에서는 그림 7에서 보이듯이, 실제 WLAN 망과 HSDPA 망에서 제안한 시스템을 구축하고, 이를 평가하였다. 서버는 하나의 유선망 인터페이스와 연결되어 있고, 클라이언트는 WLAN 망과 HSDPA 망 인터페이스들과 연결되어 있다. 사용자는 서비스 요금, 데이터의 특징, QoS 요구사항, 사용자 선호도,

신호 강도 등을 고려하여 이용 가능한 무선망을 선택할 수 있으나, 본 논문에서는 고려하지 않는다. HSDPA 망의 이용 가능한 대역폭은 서비스 요금을 고려하여 300 Kbps로 제한하였고, WLAN의 이용 가능한 대역폭은 제한이 없다고 가정한다.

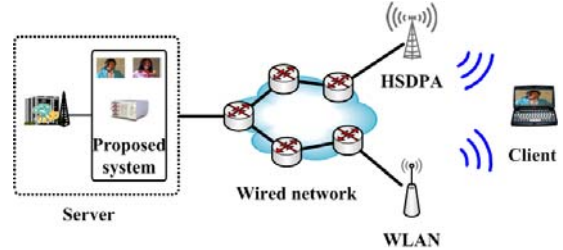


그림 7. 제안한 시스템의 테스트 환경.  
 Fig. 7. Test environment of the proposed system.

우선 다중 경로를 이용하는 이점을 살펴보기 위해 다음과 같은 3가지 경우에 대해 비교 실험을 수행하였다. (1) HSDPA 망만을 사용하는 경우, (2) WLAN 망만을 사용하는 경우, (3) HSDPA 망과 WLAN 망을 동시에 사용하는 경우. 300 프레임으로 구성된 영상 스트림을 반복하여 300초 동안 실험이 진행되었다. 그림 8 (a)와 (b)에서 보이듯이, 제안한 시스템은 다중 경로를 효과적으로 이용하기 위해 각 경로의 상태 정보를 기반으로 동적으로 제어 변수를 설정한다. 이를 통해 표 1에서 보이듯이, 단일 망만을 사용하여 영상을 전송하는 것에 비해 다수의 망을 동시에 사용하여 전송하는 경우, 고화질의 영상 스트리밍 서비스를 사용자에게 제공할 수 있다.

마지막으로 제안한 시스템과 RS (Reed-Solomon) 코드 기반의 시스템들의 성능을 비교한다. 실험에서 (255, 223, 32) 및 (255, 247, 32) RS 코드 기반의 시스템들이 구현되었다. 괄호안의 인자들은 인코딩 블록 내 인코딩 심벌들의 수, 소스 블록 내 소스 심벌들의 수, 심벌 사이즈를 각각 의미한다. 그림 9에서 보이듯이, RS 코드 기반의 시스템들과 비교하여 제안한 시스템은 각 경로의 상태 정보를 기반으로 동적으로 영상 인코더의 영상 스트림의 비트율과 파운틴 인코더의 코드율 및 WRR 분배기의 각 경로에 대한 가중치를 동적으로 조절함으로써, 소스 심벌 손실들로 인한 갑작스런 화질 열화가 발생하지 않는다. (255, 247, 32) RS 코드 기반의 시스템과 비교하여 (255, 223, 32) RS 코드 기반의 시스템은 상대적으로 낮은 코드율로 인해 갑작스런 화질 열화의 빈도를 줄일 수 있다. 반면, 그림 9 (c)에서 볼 수 있듯이 (255, 247, 32) RS 코드 기반의 시스템은 어떠한 패킷 손실도 발생하지 않을 때, 가장 높은 PSNR을 보여준다. 제안한 시

시스템과 (255, 223, 32) 및 (255, 247, 32) RS 코드 기반의 시스템들의 평균 PSNR은 각각 33.33 dB, 32.87 dB, 31.05 dB이다.

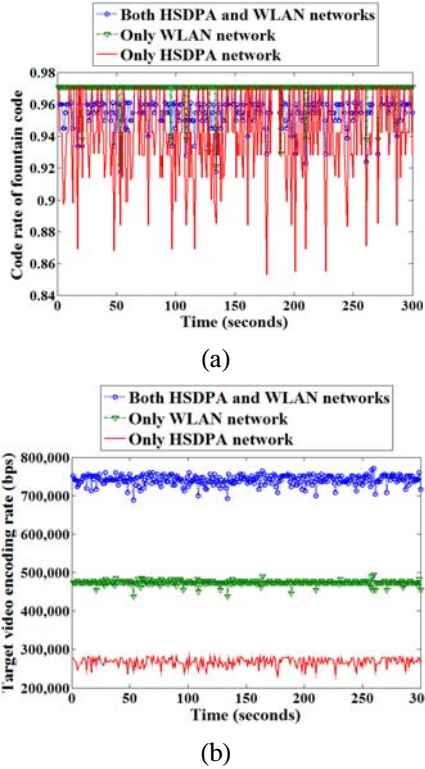


그림 8. WLAN 망과 HSDPA 망에서 제안한 시스템에서의 제어 변수 변화: (a) 파운틴 코드의 코드율 (b) 영상 스트림의 비트율.  
Fig. 8. Adaptation of control parameters of the proposed system over WLAN and HSDPA networks (a) Code rate of fountain code and (b) Target video encoding rate.

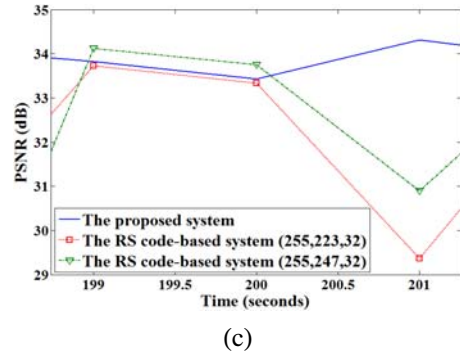
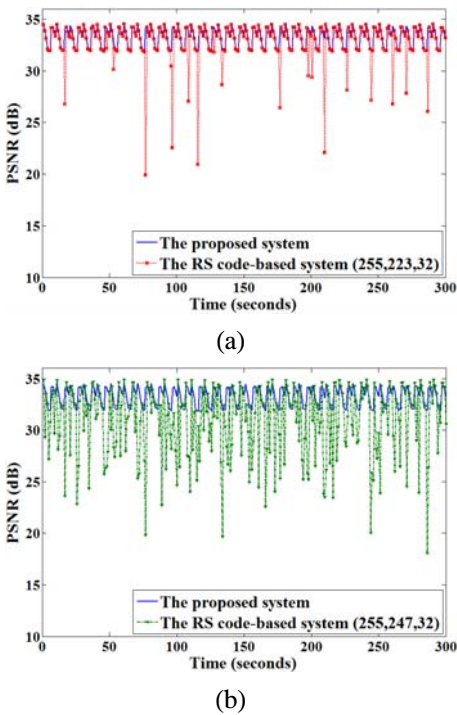


그림 9. City 실험 영상에 대한 PSNR 비교: (a) 제안한 시스템과 (255, 223, 32) RS 코드 기반의 시스템 (b) 제안한 시스템과 (255, 247, 32) RS 코드 기반의 시스템, (c) 200 초 주위의 PSNR 비교

Fig. 9. PSNR comparison for City test video: (a) The proposed system and the RS code-based system (255, 223, 32), (b) The proposed system and the RS code-based system (255, 247, 32), and (c) PSNR comparison around 200 seconds.

표 1. 제안한 시스템에 대한 평균 PSNR 비교  
Table 1. Average PSNR comparison of the proposed system.

실험 영상	선택된 무선망	평균 PSNR
City	HSDPA	27.13 dB
	WLAN	29.52 dB
	HSDPA & WLAN	31.41 dB
Crew	HSDPA	29.28 dB
	WLAN	31.71 dB
	HSDPA & WLAN	33.52 dB
Harbour	HSDPA	24.97 dB
	WLAN	26.82 dB
	HSDPA & WLAN	28.39 dB
Soccer	HSDPA	28.64 dB
	WLAN	30.72 dB
	HSDPA & WLAN	32.45 dB

## VI. 결 론

본 논문에서는 다양한 무선망이 혼재하게 될 것이라는 전망에 기초하여, 이중 무선망에서의 효과적인 영상 스트리밍 시스템에 대한 연구를 진행하였다. 제안한 영상 스트리밍 시스템은 파운틴 코드를 영상 스트리밍 서비스에 적합하도록 변형하고, 다수의 무선망들을 효과적으로 통합하여 관리한다. 실험 결과에서 제안한 소스 심벌 선택 확률을 변경한 파운틴 코드를 통해 소스 심벌들이 특정 패킷과 연관 관계를 맺는 것을 방지하여 패킷 손실로 인해 소스 심벌 복구에 미치는 영향을 최소화함으로써 기존의 임의 소스 심벌 선택 확률을 적용한 파운틴 코드에 비해 소스 심벌 복호화 성공 확률을 증가시켰음을 확인하였다. 그리고 제어 변수 설정 알고리즘을 통해 각 경로의 상태 정보를 기반으로 영상 인코더의 영상 스트림의 비트율과 파운틴 인코더의 코드율 및 WRR 분배기의 각 경로에 대한 가중치를 동적으로



설정함으로써 고품질의 안정적인 영상 스트리밍 서비스를 사용자에게 제공할 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] Q. Zhang, C. Guo, Z. Guo, and W. Zhu, "Efficient mobility management for vertical handoff between WWAN and WLAN," *IEEE Communications Magazine*, vol. 41, no. 11, pp. 102~108, Nov. 2003.

[2] W. Stallings, *Data and Computer Communications*, 7th edition, Prentice Hall, India, 2004.

[3] M. Luby, "LT codes," *The Annual IEEE Symposium on Foundations of Computer Science*, pp. 271~280, Nov. 2002.

[4] A. Shokrollahi, "Raptor codes," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 52, no. 6, pp. 2551~2567, June 2006.

[5] P. Maymounkov, "Online codes," *NYU TR2002-833*, Nov. 2002.

[6] D. Jurca and P. Frossard, "Media-specific rate allocation in heterogeneous wireless networks," *International Packet Video Workshop*, vol. 7, pp. 713~726, May 2006.

[7] Y. Pan, M. Lee, J. B. Kim, and T. Suda, "An end-to-end multipath smooth handoff scheme for streaming media," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 22, no. 4, pp. 653~663, May 2004.

[8] J. Apostolopoulos, W. T. Tan, S. Wee, and G. W. Wornell, "Modeling path diversity for multiple description video communication," *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, pp. 2161~2164, May 2002.

[9] J. P. Wagner, J. Chakareski, and P. Frossard, "Streaming of Scalable Video from Multiple Servers using Rateless Codes," *IEEE ICME (International Conference on Multimedia and Expo)*, July 2006.

[10] V. Ribeiro, R. Riedi, R. Baraniuk, J. Navratil, and L. Cottrell, "pathChirp: Efficient Available Bandwidth Estimation for Network Paths," *Passive and Active Measurement*

Workshop, April 2003.

[11] 3GPP TS 26.346 V6.6.0, "Technical Specification Group Services and System Aspects; Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Protocols and codecs," Oct. 2006.

[12] H.264/AVC Reference Software, JM 13.2, <http://iphome.hhi.de/suehring/tml/>, May 2008.

주 현 철 (HyunChul Joo)

정회원



2005년 2월 한양대학교 컴퓨터공학과 (학사)  
 2007년 2월 포항공과대학교 컴퓨터공학과 (석사)  
 2007년 3월~현재 포항공과대학교 컴퓨터공학과 (박사과정)

<관심분야> IPTV, 영상압축, 오버레이 멀티캐스트

이 동 주 (DongJu Lee)

정회원

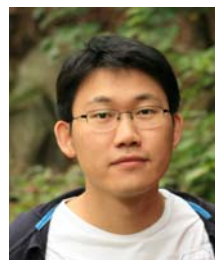


2009년 2월 부산대학교 정보컴퓨터공학과 (학사)  
 2011년 2월 포항공과대학교 컴퓨터공학과 (석사)  
 2011년 2월~현재 삼성전자 무선사업부

<관심분야> 채널 코딩, 영상 스트리밍

한 상 천 (SangChun Han)

정회원



2007년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 (학사)  
 2009년 2월 포항공과대학교 컴퓨터공학과 (석사)  
 2009년 8월~현재 Purdue University, ECE

<관심분야> 채널 코딩, 영상 스트리밍, 그래프 이론

송 황 준 (HwangJun Song)

정회원



1990년 2월 서울대학교 제어계  
측공학과 (학사)

1992년 2월 서울대학교 제어계  
측공학과 (석사)

1999년 5월 Univ. of Southern  
California, EE-Systems (박  
사)

2000년~2005년 2월 홍익대학교 전자전기공학부  
(조교수)

2005년 2월~현재 포항공과대학교 컴퓨터공학과  
(부교수)

<관심분야> 멀티미디어 네트워킹, 영상압축, 통방용  
합기술