

논문 2007-44SP-6-12

# 데이터 분할구조에서의 H.264/AVC 움직임 벡터의 다중표현 부호화와 다중표현 정합을 이용한 복호화

(Multiple Description Coding of H.264/AVC Motion Vector under Data Partitioning Structure and Decoding Using Multiple Description Matching)

양정엽\*, 전병우\*\*

(Jungyoup Yang and Byeungwoo Jeon)

## 요약

부호화된 동영상 데이터를 전송할 때 발생하는 전송 채널상의 에러로 손실된 정보는 수신측의 복호화 된 영상의 화질을 크게 열화 시킨다. 특히 움직임 벡터나 매크로 블록 모드 정보와 같이 중요도가 높은 정보가 손실될 경우, 에러로 인한 이러한 화질 저하는 더욱 심각하다. 이러한 문제를 해결하기 위한 에러 강인 기술의 하나로, 압축동영상 정보의 중요도에 따라 정보를 분할하여 중요도가 높은 정보를 더욱 강하게 보호할 수 있는 데이터 분할 기술이 제안되었다. 그러나 실제 채널 망의 경우 전송 데이터의 서로 다른 중요도를 지원할 수 있도록 하기 위해 일반적으로는 중요한 정보의 경우 동일 패킷을 여러 번 보내는 방식으로 UEP 효과를 얻도록 한다. 본 논문은 이러한 전송환경 하에 동일한 패킷을 중복 전송하는 종래의 기법에 비해 전송 데이터 량을 감소시키면서도 전송 데이터 량 대비 화질을 증가시키기 위하여, H.264/AVC 표준의 데이터 분할 기술에 다중 표현 부호화 기술을 적용하여 데이터 분할 기술의 성능을 향상시키는 새로운 부호화와 복호화 방법을 제안한다. 제안된 방법은 데이터 분할된 H.264/AVC 표준의 움직임 벡터 정보를 효율적으로 다중 표현 부호화하고 독립적인 패킷으로 분할 전송함으로써 전송 에러에 의해 일부의 패킷을 손실하더라도 올바르게 전송된 패킷만으로 유사한 움직임 벡터 정보를 추정함으로써 에러 은닉 기술의 성능을 향상시키고 채널 에러의 영향을 최소화시킨다. 또한 제안된 다중표현 정합 알고리즘을 사용하여 움직임 벡터의 추정정확도를 향상시켜 복원영상의 화질을 개선한다.

## Abstract

When compressed video data is transmitted over error-prone network such as wireless channel, data is likely to be lost, so the quality of reconstructed picture is severely decreased. It is specially so in case that important information such as motion vector or macroblock mode is lost. H.264/AVC standard includes DP as error resilient technique for protecting important information from error in which data is labeled according to its relative importance. But DP technique requires a network that supports different reliabilities of transmitted data. In general, the benefits of UEP is sought by sending multiple times of same packets corresponding to important information. In this paper, we propose MDC technique based on data partitioning technique. The proposed method encodes motion vector of H.264/AVC standard into multiple parts using MDC and transmits each part as independent packet. Even if partial packet is lost, the proposed scheme can decode the compressed bitstream by using estimated motion vector with partial packets correctly transmitted, so that achieving improved performance of error concealment with minimal effect of channel error. Also in decoding process, the proposed multiple description matching increases the accuracy of estimated lost motion vector and quality of reconstructed video.

**Keywords :** Error resilient coding, Data partitioning, Multiple description coding, Matching algorithm, H.264/AVC

\* 학생회원, \*\* 정회원, 성균관대학교 정보통신공학부  
(Sungkyunkwan University, School of Information and Communication Engineering)

※ 이 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원에 의해 연구되었음(KRF-2004-041-D00518)

접수일자: 2007년9월18일, 수정완료일: 2007년11월2일

## I. 서론

H.264/AVC 비디오 부호화 표준은 높은 부호화 효율 및 네트워크 친화도 향상이라는 두 가지 목표 하에 개

발이 시작되어 다양한 새로운 부호화 기술들을 채택하여 기존 비디오 표준들에 비해 우수한 성능을 갖는 현재의 비디오 부호화 표준으로 제정되었다<sup>[1~2]</sup>. 그 결과, H.263 표준과 같은 기존 비디오 압축 표준에 비해 약 2 배 이상의 압축효율을 얻었을 뿐만 아니라 유선망, IP 망, 또는 채널 에러가 많이 존재하는 무선망 등 다양한 네트워크에 효과적으로 적용될 수 있는 장점도 지니게 되었다. 이러한 두 가지 특성은 특히 채널 대역폭이 제한되고 전송 에러가 심각한 무선망을 이용한 비디오 서비스에 매우 유용한 기능들이라 할 수 있다. 이러한 이유로 현재 다양한 모바일 응용들에서 H.264/AVC 표준이 적용되고 있으며 또한 앞으로도 그 응용분야가 계속 확대될 전망이다.

그러나 H.264/AVC 표준에 포함된 가변장 길이 부호화(Variable Length Coding), 움직임 예측 부호화(Motion Predictive Coding)와 같은 기술들은 높은 압축 효율을 보장하는 반면 에러가 발생하는 채널환경에 매우 취약하다. 즉, 에러가 발생할 경우, 가변장 길이 부호화는 부호화기와 복호화기간의 불일치를 발생시키며, 움직임 예측 부호화는 화면내 참조영상(Intra Coded Picture)이 나올 때까지 에러를 전파하여 복호화 된 영상의 화질 열화를 가중시키게 된다. 따라서 무선망과 같이 전송 에러에 많이 노출되어 있는 전송 환경 하에서 복호화 된 영상의 화질을 유지하기 위해서는 에러에 보다 강인한 영상 압축 기술이 매우 중요하다. 이런 이유로, 전송 에러에 의해 압축된 데이터가 손실된 경우 복호화 된 영상의 화질을 향상시키기 위해 에러를 정정하거나 부분적으로 에러를 검출하고 복원하여 전송 에러에 대한 피해를 최소화하는 에러 은닉 기술과 에러 강인 기술이 사용되고 있다<sup>[3]</sup>. 에러 은닉 기술은 정상적으로 복원된 시간적, 공간적으로 위치한 주변 블록의 정보를 이용하여 에러로 손실된 블록을 사용자가 인식하지 못할 정도로 은닉 복원하는 기법이며, 에러 강인 기술은 에러에 의한 영향이 확산될 원인을 미리 제거함으로써 에러에 의한 손실을 최소화하거나 에러가 발생할 경우 이로부터 가장 빨리 복원할 수 있도록 하는 기법이다.

현재, H.264/AVC 표준에는 에러 강인 기술의 하나로, 부호화된 비트스트림을 정보의 중요도에 따라 분할하여 중요도가 높은 정보에 대한 전송 신뢰도를 높일 수 있도록 하는 데이터 분할 기법(Data Partitioning)이 포함되어 있다. 데이터 분할 기법의 효과적인 사용을 위해서는 분할된 데이터 중에서 중요도가 높은 정보는

전송 신뢰도가 높은 채널로 보내 전송에러의 발생을 최소화하여야 한다. 하지만 현재 대부분은 중요도가 높은 정보만을 최소 분할하여 현재의 EEP(Equal Error Protection) 기술만이 적용된 네트워크나 QoS가 보장되지 않는 Best-effort 망에 중복 전송하는 기법을 사용한다. 그러나 이러한 경우, 에러에 대한 강인도는 증가하지만 전송해야 할 데이터 량 역시 증가하는 문제점이 발생한다.

이러한 문제를 해결하기 위한 에러 강인 기술로써, 중복 전송이 되는 데이터 량을 최소화하면서도 에러 강인도를 향상할 수 있는 다중 표현 부호화(Multiple Description Coding) 기술이 연구되고 있다<sup>[8~10]</sup>. 다중 표현 부호화 기술은 동일 비디오 정보를 서로 연관성(Correlation)이 존재하는 복수 개의 압축 데이터(본 논문에서는 description으로 통칭함)로 분할하여 전송하기 때문에 EEP 기술만이 적용된 네트워크에 적용이 용이할 뿐만 아니라 단순히 중복 전송하는 기법에 비해 데이터 량을 감소시킬 수 있다. MDC 복호화기는 동일 비디오 정보에 해당하는 수신한 복수 개의 압축 표현 데이터 중 일부가 소실되더라도 표현 데이터 간의 연관성(Correlation)을 이용하여 소실된 표현 데이터를 추정해냄으로써, 전송에러를 상당히 극복할 수 있다. 그러나 전송에러 때문에 생기는 다중 표현 복호화 예측 오류로 인한 복원 영상의 왜곡은 피할 수 없는 문제점이다.

본 논문에서는 H.264/AVC 표준의 움직임 벡터를 다중 표현 부호화하여 움직임 벡터 정보가 동일한 중요도를 가지게 분할하는 방법(MV-MDC)을 제안한다. 또한, 다중 표현 복호화 시, 정합 알고리즘을 사용하여 다중 표현 복호화 예측 오류에 따른 복원 영상의 왜곡을 최소화하는 방법을 제안한다. 본 논문에서 제안한 부/복호화 방법은 데이터 분할된 H.264/AVC 표준의 압축효율의 성능저하 없이 EEP 기술만이 적용된 네트워크에도 유연히 적용할 수 있으며 다중 표현 부호화기에 의해 데이터의 중복 시 발생하는 정보량의 증가를 최소화하는 동시에 다중 표현 복호화 시 발생할 수 있는 왜곡을 최소화하여 복원된 영상의 데이터 량 대비 화질을 향상시킨다.

## II. 에러 강인 기술

### 1. 데이터 분할 기술

H.264/AVC 표준에 포함된 데이터 분할 기술은 종래의 H.263, MPEG-4 Part 2 등의 표준에도 이미 존재하

던 기술로써, 간단하면서도 효과적인 에러 강인 기술의 하나로 알려져 있다<sup>[3-4]</sup>. 일반적으로 모든 비디오 정보들은 하나의 비트스트림으로 부호화되는 반면, 데이터 분할 기술이 사용된 비디오 정보들은 그 중요도에 따라 파티션이라 불리는 독립된 비트스트림으로 나뉘어 부호화된다. MPEG-4 Part 2가 사용하는 데이터 분할 기술은 매크로블록 내의 헤더, 움직임 벡터, DCT(Discrete Cosine Transform) 계수 정보들을 마커 비트(Marker Bit)로 구분하여 전송하는 방식이다. H.264/AVC 표준에 현재 포함되어 있는 데이터 분할 기술은 기존의 이러한 종래의 데이터 분할 기술을 H.264/AVC 표준의 구조에 맞게 적절히 응용한 형태라고 볼 수 있다.

앞서 언급한 바와 같이, H.264/AVC 표준은 부호화된 동영상 정보를 다양한 네트워크를 통해 효과적으로 전송하기 위해 영상 압축효율과 네트워크 적응성을 모두 고려하여 개발되었다. 즉, 영상 압축효율은 VCL(Video Coding Layer)에, 네트워크 적응성은 NAL(Network Abstraction Layer)에 각각 그 기술이 정의되어 있다. 동영상 정보는 VCL 부분에서 비트스트림으로 부호화된 후 서킷망이나 패킷망 등의 다양한 형태의 네트워크를 통한 전송이 가능하도록 NAL 유닛으로 구성된다. NAL 유닛은 NAL 헤더와 VCL 부분에서 부호화된 비디오 데이터로 구성되고, VCL 부분은 다시 슬라이스 헤더 정보와 슬라이스 데이터에 해당하는 각 매크로블록 정보로 나뉘어 진다. H.264/AVC 표준에서는 픽처 대신 슬라이스가 기본적인 부호화 단위이기 때문에 매크로블록 내에 포함된 모든 데이터들은 하나의 슬라이스 내에 속하게 된다. 한편, 매크로블록 내의 여러 부호화 정보들은 영상 압축의 특성상 상이한 중요도를 가지게 되므로, 데이터 분할 기술을 사용하는 H.264/AVC 부호화기는 하나의 슬라이스 내에 포함된 정보들을 다른 비트스트림과는 연관성을 가지지 않으면서 서로 다른 중요도를 가지는 세 종류로 - DP\_A, DP\_B, DP\_C 파티션 - 분할하여 부호화한 후, 각각의 파티션을 독립적으로 패킷을 구성하여 서로 다른 NAL 유닛으로 전송한다. 이때 해당 패킷 내 데이터의 중요도 정보를 NAL 헤더에 표시하여 전송 네트워크상에서의 중요도에 따른 차별처리가 쉽도록 한다.

DP\_A에는 슬라이스 내 헤더, 해당 슬라이스 내의 모든 매크로블록의 헤더, 양자화 정보, 움직임 벡터 정보 등이 포함된다. 이러한 정보들은 DP\_B 및 DP\_C 데이터들의 복원을 가능하게 하는 정보들이므로 DP\_A가 가장 높은 중요도를 가진다. DP\_B는 해당 슬라이스 내

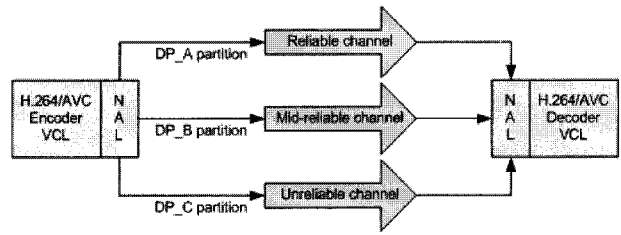


그림 1. UEP 망을 이용한 분할 데이터의 전송 예  
Fig. 1. An example of transmission with data partition over UEP network.

의 인트라 매크로블록들의 DCT 변환 계수로 이루어져 있고, DP\_C에는 슬라이스 내 인트라 매크로블록의 DCT 변환 계수만이 포함된다. 인트라 매크로블록들은 에러 전파를 효과적으로 차단할 수 있기 때문에 DP\_C에 비해 더 중요하며, DP\_C 데이터는 일반적으로 전체 분할 데이터 중 가장 많은 비중을 차지하지만 에러 강인 측면에서 상대적 중요도가 가장 낮다.

영상복원을 위해 복호화기는 기본적으로 모든 파티션의 정보를 필요로 하지만, DP\_B나 DP\_C 파티션 데이터를 소실하더라도 DP\_A의 헤더 및 움직임 벡터 정보를 이용한 에러 은닉 기술을 사용하여 비교적 좋은 화질의 영상을 복원할 수 있다. 반면에, 중요도가 가장 높은 DP\_A가 손실되면 DP\_B나 DP\_C 데이터의 정상 전송 여부에 관계없이 복호화 자체가 불가능해지므로 각 파티션 별로 서로 다른 전송신뢰도를 줄 수 있는 UEP 기술이 필요하다. 그림 1과 같이 가장 높은 신뢰도의 채널로 DP\_A를 전송하고, DP\_B 및 DP\_C는 이보다 낮은 신뢰도의 채널로 전송하게 된다.

그러나 대부분의 실제 네트워크에서는 비용, 호환성 등의 문제점으로 인해 best-effort 망과 같은 EEP 기술만이 적용된 네트워크가 아직 일반적이므로 데이터 분할 기술의 충분한 성능을 얻을 수 없게 된다<sup>[5]</sup>. 이를 해결하기 위해, 일반적으로 EEP 기술만이 적용된 네트워크에서 동일 정보를 요구 신뢰도에 따라 중복 전송하도록 하여 에러 강인성을 성취하는 방법을 사용하게 된다.

## 2. 다중 표현 부호화 기술

다중 표현 부호화는 에러를 가정한 네트워크에서의 효율적인 정보 전달을 위한 기술이다. 데이터 분할 기술이나 계층적 부호화 기술에 의해 분할된 데이터가 서로 독립적이고 다른 중요도를 가지는 것과는 달리, 다중 표현 부호화 기술에 의해 분할된 표현데이터(Description)는 서로 상관관계를 유지하면서 동일한 중

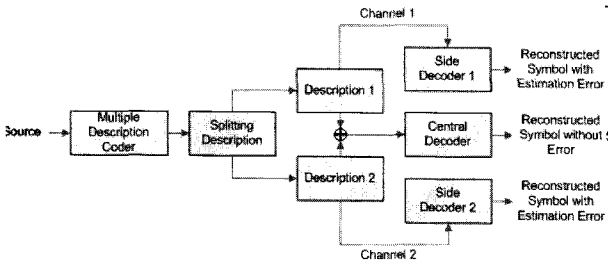


그림 2. 일반적인 다중 표현 부/복호화기의 구조  
Fig. 2. General structure of multiple description codec.

요도를 갖도록 할 수 있다<sup>[6, 8]</sup>. 그림 2와 같이 다중 표현 부호화기에 의해 부호화된 표현데이터들이 모두 완전하게 전송된다면 다중 표현 복호화기(Central Decoder로 모델링)는 완전한 복원을 한다. 그러나 전송과정에서 이들 중 어느 표현데이터가 손실되는 경우는, 손실되지 않는 표현데이터를 받은 다중 표현 복호화기(Side Decoder로 모델링)에 의해 복원이 이루어진다. 이때 손실된 표현데이터는 손실없이 전송된 표현데이터와의 상관관계를 이용해 예측되어 복원에 사용된다. 이 경우, 정상 수신된 타 표현데이터에 의해 복원된 정보는 근사 오류를 포함하게 된다. 따라서 다중 표현 복호화기의 성능은 이 근사 오류의 감소 정도에 영향을 받는다<sup>[6]</sup>.

다중 표현 부호화 방법은 N. S. Jayant가 음성신호를 양자화 된 신호를 홀수 번째 샘플과 짝수 번째 샘플로 나누어 전송하면서 본격적으로 연구되기 시작하였다<sup>[7]</sup>. 이후, V. A. Vaishampayan이 MDSQ(Multiple Description Scalar Quantizer)를 사용한 다중 표현 부호화 이론을 제안하였고<sup>[8]</sup>, Y. Wang과 V. K. Goyal이 CT(Correlating Transform)와 QFE(Quantized Frame Expansion)을 이용한 다중 표현 부호화 기술을 제안하였다<sup>[9~10]</sup>.

일반적으로 MDSQ를 이용한 다중 부호화 기술은 CT나 QFE를 이용한 동일 기술에 비해 추가 정보의 전

송이 필요 없고 간단하다는 이유로 많이 이용되고 있으므로 본 논문은 MDSQ를 이용한 다중 표현 부호화기를 가정하였다<sup>[6]</sup>. MDSQ를 이용한 다중 표현 부호화 기술은 그림 3과 같은 분할 양자화 테이블을 이용하여 부호화할 정보를 다수의 양자화 된 정보로 표현한다. 예를 들어, 다중 표현 부호화기가 그림 3(a)와 같이 3-depth 분할 양자화 테이블을 이용할 경우, 양자화 된 원심률 2를 desc.1에서 다중 표현 부호화 된 심볼 1과 desc.2에서 다중 부호화 된 심볼 0으로 분할하여 전송한다. 다중 표현 복호화기는 desc.1과 desc.2의 데이터를 모두 전송받은 경우에는 완전하게 복원된 심볼 2를, desc.1이나 desc.2 중 어느 하나만을 전송받은 경우에는 3-depth 분할 양자화 테이블의 해당 위치에 포함되어 있는 후보들의 평균값인 3.33(descs.1의 후보값인 2, 3, 5의 평균값)과 0.33(descs.2의 후보값인 -1, 0, 2의 평균값)의 정수값을 복원한다. 만약 desc.1에 의해 예측된 3.33이 양자화 된 심볼 3으로 복원되었을 경우에는 다중 표현 복호화 시 예측 에러 1이 발생하고, desc.2에 의해 예측된 0.33이 양자화 된 심볼 0으로 복원되었을 경우에는 다중 표현 복호화 시 예측 에러 2가 발생하게 된다.

### III. 제안한 다중 표현 부호화/복호화 방법

#### 1. 제안한 다중 표현 부호화 방법

본 논문에서는 전송 채널의 에러에 대한 강인도를 최대한 유지하면서 중복 전송해야 할 데이터 량을 최소화 하기 위해 DP\_A 데이터를 다중 표현 부호화하는 방법을 제안한다. 이때, II장에서 기술한 바와 같이, 전송 에러에 대한 신뢰도를 서로 다르게 확보하기 위해서 전송 데이터에 대한 차별적인 보호가 없는 단일 채널의 best-effort 망에서 해당 데이터를 선택적으로 반복 전송함으로써 UEP 효과를 유지하는 환경을 가정한다. 이러한 방법을 사용할 경우, 에러에 대한 강인도는 유지할 수 있지만 전송해야 할 정보량이 몇 배로 증가하는 문제점이 발생한다. 따라서 H.264/AVC 표준의 데이터 분할 기술이 적용된 경우, 중복 전송해야 할 정보량을 최소화하기 위해 그림 4와 같이 가장 높은 중요도를 지닌 DP\_A 정보만을 중복 전송하도록 한다. 그림 4는 1회만 중복 전송하는 예를 보였으나, 요구 신뢰도에 따라 중복 횟수를 높일 수 있다. DP\_A만의 중복전송은 전체 데이터의 중복 전송에 비해서는 효과적이지만 여전히 많은 정보량의 전송을 초래하므로, 모바일 환경과 같이 제한된 전송 대역폭과 실시간 응용을 요구하는 환

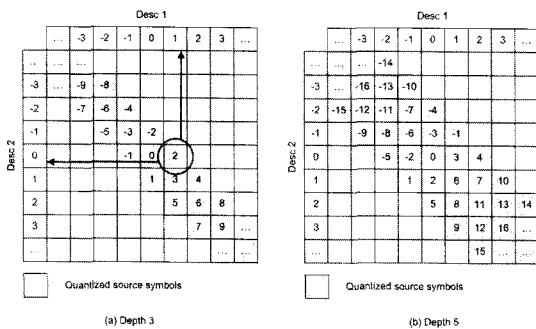


그림 3. MDSQ 방법을 이용한 분할 양자화 테이블  
Fig. 3. Index assignment tables using MDSQ.

경에서는 이를 어떻게 효율적으로 하는가가 중요한 문제가 된다.

DP\_A 데이터는 크게 각종 헤더 정보와 움직임 벡터 정보로 나누어지는데 이들 중 움직임 벡터는 표 1에서 보는 바와 같이 DP\_A의 많은 부분을 차지할 뿐 아니라 다중 표현 부호화시의 근사 오류에 DP\_A내의 다른 정보보다는 상대적으로 덜 민감하므로 다중 표현 부호화에 적합한 정보라 할 수 있다. 예를 들어, 매크로블

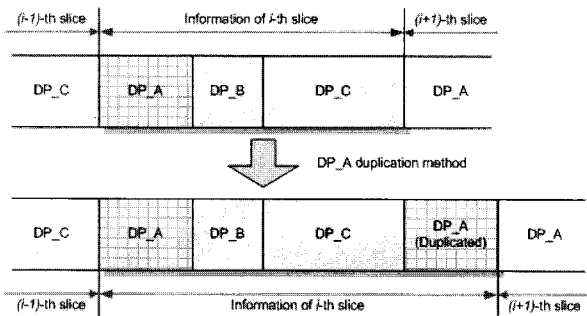


그림 4. EEP 기술이 적용된 네트워크에서의 DP\_A 정보의 중복 전송

Fig. 4. Duplicate transmission of DP\_A data over a network with EEP technique.

표 1. 분할 데이터 및 움직임 벡터의 구성비 [%]  
Table 1. Proportion of partitions and motion vectors. [%]

Size	Sequence	DP_A	DP_B	DP_C	MV in DP_A
QCIF	Foreman	50.71	12.95	32.24	53.03
	Akiyo	29.98	0.98	59.26	38.79
	Coastguard	45.77	1.41	49.08	51.59
	Hall Monitor	28.62	2.34	60.46	38.89
CIF	Foreman	66.87	12.44	17.53	53.26
	Container	44.67	1.60	44.15	40.53
	Paris	51.39	4.29	36.10	51.20
	Hall Monitor	44.91	2.31	44.63	43.96
Average		45.35	4.79	42.93	46.41

록 타입 정보는 전송채널 에러에 의해 다중 표현 부호화기가 정확한 정보를 복원하지 못하고 II-2에서 설명한 바와 같이 부호화 대상값의 평균치로 근사화된 정보를 사용하여 복원할 경우 화질 열화가 매우 크게 발생하므로 다중 표현 부호화에는 적합하지 않은 종류의 데이터이다. 이러한 이유 때문에 일반적인 다중 표현 부호화 기술들은 대부분 움직임 보상된 잔여 신호에 적용되었다<sup>[11~13]</sup>.

제안 방법은 압축효율 향상을 위해 그림 5와 같이 DP\_A 내에서 움직임 벡터 정보만을 추출하여 MDSQ를 이용한 다중 표현 부호화기로 다중 표현 부호화 하고 그 나머지 DP\_A 정보들은 그 양이 많지 않기 때문에 그대로 중복 전송한다. MDSQ를 이용한 다중 표현 부호화 기법을 사용할 경우, 원심볼은 다중 표현 부호화에 의해 가변장 길이가 더 짧은 부호어들로 대응된다. 따라서 단순히 원심볼을 중복 전송하는 경우와 비교해 정보량의 감소를 기대할 수 있다. 예를 들어, 그림 3의 5-depth 분할 양자화 테이블의 경우, 양자화 된 심볼 10은 Exp-Golomb 코드를 사용하는 가변장 길이 부호화시 7 bit로 부호화 된다. 그러나 다중 표현 부호화 기법을 사용하게 되면 원심볼 10은 다중 표현 부호화에 의해 desc.1에서 심볼 3 (5 bit)과 desc.2에서 심볼 1 (3 bit)로 다중 표현 부호화되어 심볼 10을 단순히 중복 전송하는 경우에 필요한 14 bit와 비교해 8 bit만을 전송하면 되므로 6 bit 만큼의 데이터량 감소 효과를 얻을 수 있다.

2. 제안한 다중 표현 부호화 방법

다중 표현 부호화된 DP\_A 데이터는 그림 6과 같이 DP\_A(d1)과 DP\_A(d2)으로 나뉘어져 전송된다. 그림 7

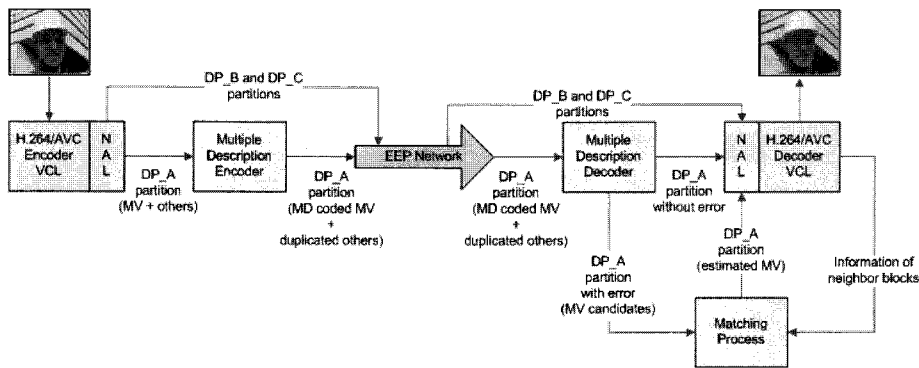


그림 5. EEP 기술이 적용된 네트워크 상에서 제안한 다중 표현 부/복호화기의 구조  
Fig. 5. Structure of the proposed MDC coding/decoding scheme over a network with EEP technique.

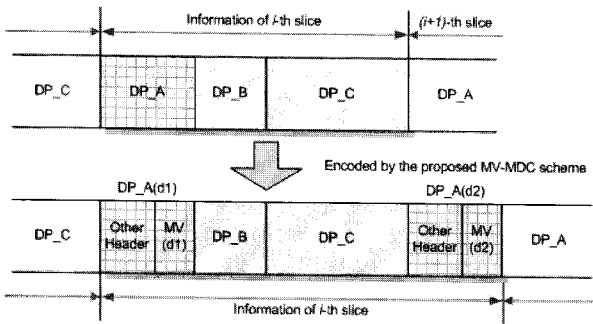


그림 6. EEP 기술이 적용된 네트워크에서의 DP\_A 다중 표현 부호화 전송

Fig. 6. DP\_A MDC transmission over a network with EEP technique.

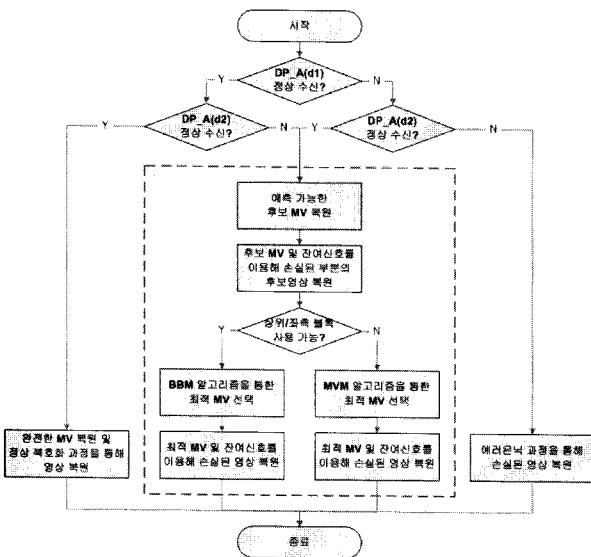
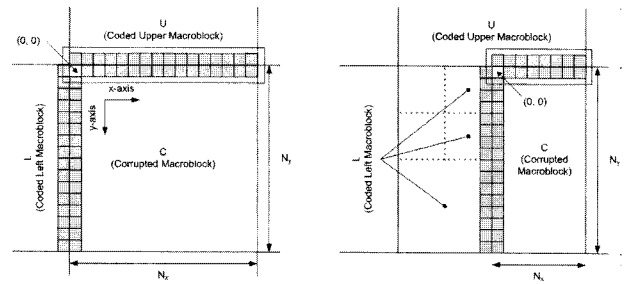
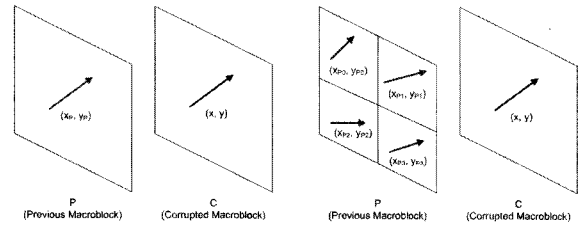


그림 7. 제안한 다중 표현 복호화 방법의 흐름도  
Fig. 7. Flow chart of the proposed decoding scheme.

은 제안한 다중 표현 복호화 과정의 흐름도를 보여준다. 만약 DP\_A(d1)와 DP\_A(d2) 표현 데이터 모두를 전송받으면 다중 표현 복호화기는 완전한 움직임 벡터를 복원하고 정상 복호화 과정을 통해 영상을 복원하게 된다. 또한, DP\_A(d1)과 DP\_A(d2) 모두를 손실하면 DP\_B나 DP\_C의 정상수신여부에 관계없이 에러 은닉 기법을 통해 손실된 영상을 복원하게 된다. 그러나 DP\_A(d1)과 DP\_A(d2) 중 어느 하나를 손실하게 되면 다중 표현 복호화기는 전송된 다른 하나의 정보를 사용해 복원 후보 값들의 평균을 통해 근사화 된 움직임 벡터를 복원한다. 그러나 이때, 근사화 된 움직임 벡터의 근사 오차 때문에 복호화영상의 화질 열화가 발생하며 화면내 참조 영상이 발생할 때까지 에러를 전파한다. 본 논문은 특히, 후보 값들 중에 정확한 움직임 벡터 정보가 있음에도 불구하고 이것을 선택하지 않고 종래 방법에 따라 평균으로 근사함으로써 결과적으로 오류를



(a) Block boundary matching (BBM) algorithm



(b) Motion vector matching (MVM) algorithm

그림 8. 다중 표현 정합도 계산

Fig. 8. Computation of multiple description Matching.

증가시키는 것이 매우 비효율적임에 착안하였다.

따라서 제안한 다중 표현 정합 복호화 방법은 그림 7에서 점선으로 표시된 사각형 부분과 같이 다음의 3단계 과정을 통해 다중 표현 복호화 시의 예측 오류가 없는 움직임 벡터를 예측하고 영상을 복원한다.

1. DP\_A(d1)과 DP\_A(d2) 중 하나의 정보만을 전송 받았을 경우, 예측이 가능한 모든 후보 움직임 벡터를 복원한다. 예를 들어, desc.1의 다중 표현 값인 1만 전송받았을 경우에 2, 3, 5를 후보 움직임 벡터로 복원한다.
2. 예측된 후보 움직임 벡터 및 해당 DP\_C의 잔여신호 정보를 이용해 손실된 부분에 대한 후보 영상을 복원한다.
3. 그림 8에서 보는 바와 같이, 이미 복원된 좌측/상위 블록 및 이전 영상의 동일 위치 블록과 후보 복원 영상의 정합도를 계산하여 후보 다중 표현들 중 정합성이 최대가 되는 움직임 벡터를 최적값으로 선택하고 이를 이용하여 복원된 해당 블록을 복원 영상으로 사용한다.

본 논문에서는 최소 정합오류로 정합도를 판단하기 위해, 공간 상관도를 이용한 식 (1)의 BBM(Block Boundary Matching)과 시간 상관도를 이용한 식 (2)의 MVM(Motion Vector Matching)을 각각 고려하였다.

$$e_{BBM} = \sum_{i=0}^{N_x-1} \{ \widehat{C}_{xy}(i,0) - U(i,-1) \}^2 + \sum_{j=0}^{N_y-1} \{ \widehat{C}_{xy}(0,j) - L(-1,j) \}^2 \quad (1)$$

$$e_{MVM} = \{ (x_C - x_P)^2 + (y_C - y_P)^2 \} \quad (2)$$

여기서  $(x, y)$ 는 예측된 후보 움직임 벡터를 나타내고  $(i, j)$ 는 이미 복원된 상위, 좌측의 동일 위치 블록내의 공간위치를 나타낸다.  $\widehat{C}_{xy}(i, j)$ 는 후보 움직임 벡터  $(x, y)$ 를 이용해 임시 복원한 해당 블록의  $(i, j)$ 번째 화소 값을,  $U(i, j)$ 와  $L(i, j)$ 는 이미 복원된 상위 및 좌측 블록의  $(i, j)$ 번째 화소 값을 나타낸다.  $N_x$ 와  $N_y$ 는 복원할 해당 블록의 가로 및 세로의 화소수이다. 동일한 방법으로 그림 8-(b)에서  $(x, y)$ 는 예측된 후보 움직임 벡터를 나타내고  $(x_P, y_P)$ 는 이전 영상의 동일 위치 블록의 움직임 벡터를 의미한다.

제안 다중 표현 복호화기는, 대상 후보 값들 중에서 식 (1)의 정합 오류값을 최소화 하는 움직임 벡터를 가장 유사한 움직임 벡터로 선택하여 해당 블록을 복원하게 된다. 예를 들어, 그림 8-(a)의 오른쪽과 같이 하위 블록을 복원할 경우에  $N_x = 8$ 이고  $N_y = 16$ 이 된다. 매크로블록 내에서 하위 블록을 복원하는 경우, 이미 복원된 상위 및 좌측 블록을 이용하기 위해서 zig-zag 방식의 순서를 따른다.

그러나 BBM 정합식은 영상의 경계와 같이 상위 및 좌측 블록이 사용 불가능한 경우에는 예측 에러가 정확

하지 않다. 이에 반해, MVM 정합식은 움직임 벡터들 간의 시공간적 상관도가 화소들 간의 시공간적 상관도보다 낮기 때문에 일반적으로 정합 에러를 판단하는 성능은 BBM 정합식에 비해 열등하지만 이전 영상의 움직임 벡터를 활용하므로 공간적 상관도를 활용하지 못하는 경우에 효과적이다. 따라서 본 논문에서는 상위 및 좌측 블록이 사용 불가능한 영상의 경계이거나 상위 및 좌측 블록이 손실되어 BBM 정합식의 성능을 기대하지 못하는 경우에 대해서 MVM 정합식을 사용하였다. 그림 8-(b)의 좌측 경우와 같이 손실된 현재 블록과 동일 위치의 이전 블록이 동일한 분할 모드를 사용한다면 식 (2)와 같이 BBM 정합식이 바로 적용된다. 그러나 우측 경우와 같이 손실된 현재 블록과 동일 위치의 이전 블록이 서로 다른 분할 모드를 사용한다면 동일 위치의 이전 블록이 가지는 움직임 벡터의 값들 중 실험을 통해 가장 좋은 성능을 보인 중간값(Median)을  $(x_P, y_P)$ 로 선택하고 식 (2)를 적용하게 된다.

## IV. 실험 방법 및 결과

### 1. 실험 방법

본 논문에서 제안된 움직임 벡터를 위한 다중 표현 부/복호화기의 성능을 평가하기 위해 H.264/AVC 표준의 JM(Joint Model) 8.4 참조 소프트웨어를 수정하여 사용하였다. 또한 제안한 다중 표현 부호화기를 구성하기 위해 3-depth와 5-depth의 MDSQ 테이블을 사용하였으며 전송 에러 환경을 모의실험하기 위해 ITU-T VCEG(Video Coding Expert Group)에서 제공한 3GPP/3GPP2 네트워크상의 RTP/IP 기반 패킷망 시뮬레이터를 이용하였다<sup>[14]</sup>. 본 시뮬레이터는 특히 이동통신 채널 상에서 대화형 비디오 또는 비디오 데이터 스트리밍과 같은 모바일 응용에 적합하도록 구성된 것이며 H.264/AVC 표준화를 진행하던 VCEG에서 여러 강인 기술 및 NAL 기술에 대한 성능을 평가하고 분석하기 위하여 채택한 공통 실험기반이다. NAL 유닛의 크기는 80 Byte로 제한하였는데 이것은 3GPP/3GPP2 네트워크인 UMTS 또는 CDMA-2000과 같은 네트워크의 MTU (Maximum Transfer Unit) 크기가 100 Byte 이하인 것을 고려한 것이다. 본 논문에서는 여러 환경을 구현하기 위해  $2 \times 10^{-4}$ 과  $5 \times 10^{-4}$ 의 에러율을 가지는 WCDMA 환경의 에러 패턴을 사용하였으며 실제 모바일 채널 환경에서 군집(burst) 형태로 전송 에러가 발생하는 것을 고려하여 Gilbert 모델<sup>[15]</sup>을 이용해  $1 \times 10^{-3}$ 의

표 2. 실험 조건

Table 2. Test conditions.

H.264/AVC JM8.4 Encoder	Profile	Extended
	No. of Ref. Frame	3
	Entropy Coding	CAVLC
	Intra Frame Period	Only First Frame
	Constraint Intra Prediction	On
	Slice Size	80 Bytes Fixed
	Rate Control	Off (Fixed QP)
	NAL Type	RTP
	MB Type	All Types Used
	Spatial Err. Concealment	On
Temporal Err. Concealment	On	
Test Sequence	QCIF	10Hz, 100Frames
	CIF	15Hz, 150Frames

에러율을 가지는 에러 패턴 파일을 제작하여 사용하였다. 통계적인 신뢰성을 위해 각 에러 패턴별로 100회씩 실험한 결과를 평균하여 PSNR을 측정하였다.

표 2는 이러한 공통 실험 조건에 기초하여 제안한 다중 표현 부호화기의 성능 평가를 위한 자세한 실험 환경을 보여주고 있다. 표 2에 나타난 것처럼 실험 영상들은 모바일 응용을 고려하여 QCIF 또는 CIF 영상들에 대해 QP(Quantization Parameter)를 24에서 36까지 변화하며 부호화하였다. 실험 영상으로는 QCIF(Foreman, Coastguard, Akiyo, Hall Monitor) 및 CIF(Foreman, Container, Hall Monitor, Paris) 실험 영상군을 빠른 움직임, 움직임 있는 배경, 다수의 화면내 참조 블록을 포함한 영상군(Foreman, Coastguard, Paris)과 느린 움직임, 움직임이 없는 배경, 소수 화면내 참조 블록을 포함

한 영상군(Akiyo, Hall Monitor, Container)으로 나누어 사용하였다. 에러 은닉 기술로는 weighted linear interpolation 방법과 boundary matching algorithm을 사용하였다.

표 3. 제안한 다중 표현 부호화/복호화기 실험  
Table 3. Test schemes of proposed MDC coder/decoder

Notation	Configuration of MDC coder/decoder
DUP	Conventional DP_A duplicated scheme
MDC3	MDC using 3-depth w/o MD matching
MDC5	MDC using 5-depth w/o MD matching
MDC3+Matching	MDC using 3-depth with MD matching
MDC5+Matching	MDC using 5-depth with MD matching

표 4. 실험 결과  
Table 4. Test results.

Test Condition	Test Sequence	PSNR(Y) [dB]			Bitrate [Kbps]	BRR [%]	Test Sequence	PSNR(Y) [dB]			Bitrate [Kbps]	BRR [%]
		WCDMA $2 \times 10^{-4}$	WCDMA $5 \times 10^{-4}$	Gilbert $1 \times 10^{-3}$				WCDMA $2 \times 10^{-4}$	WCDMA $5 \times 10^{-4}$	Gilbert $1 \times 10^{-3}$		
DUP	Akiyo QCIF	39.14	38.53	38.55	52.554	N/A	Paris CIF	28.94	28.15	26.79	273.651	N/A
MV-MDC3		39.04	37.97	37.36	49.796	5.23		28.83	27.93	26.57	250.878	8.32
MV-MDC3+MC		39.19	38.47	38.11				28.96	28.15	26.41		
MV-MDC5		38.76	37.09	35.38	49.600	5.60		28.81	27.83	26.63	247.510	9.55
MV-MDC5+MC		39.17	38.46	38.10				28.93	28.15	26.41		
DUP	Foreman QCIF	30.84	29.96	29.91	113.928	N/A	Foreman CIF	33.63	32.01	31.43	443.799	N/A
MV-MDC3		30.73	29.88	29.86	105.550	7.35		32.89	31.68	30.99	400.942	9.66
MV-MDC3+MC		30.82	30.10	29.92				33.66	31.99	31.31		
MV-MDC5		30.46	29.24	28.40	103.144	9.47		32.03	30.85	29.87	391.193	11.85
MV-MDC5+MC		30.84	30.09	29.84				33.67	31.92	31.39		
DUP	Hall Monitor QCIF	36.22	35.31	36.15	56.877	N/A	Hall Monitor CIF	34.61	33.06	32.83	164.024	N/A
MV-MDC3		36.17	35.20	35.48	54.236	4.64		34.37	32.52	32.41	155.517	5.19
MV-MDC3+MC		36.21	35.35	35.71				34.63	33.06	32.85		
MV-MDC5		36.02	34.67	34.72	53.722	5.55		34.30	32.30	31.73	154.043	6.09
MV-MDC5+MC		36.20	35.30	34.43				34.60	33.06	32.83		
DUP	Coastguard QCIF	30.82	29.55	29.44	174.792	N/A	Container CIF	35.66	35.12	34.87	261.975	N/A
MV-MDC3		30.47	28.86	28.59	162.451	7.06		34.99	34.12	34.18	252.665	3.55
MV-MDC3+MC		30.81	29.53	28.81				35.57	35.09	34.74		
MV-MDC5		29.55	27.29	25.78	161.021	7.88		34.57	32.88	33.67	252.027	3.80
MV-MDC5+MC		30.78	29.54	27.93				35.54	35.09	34.74		



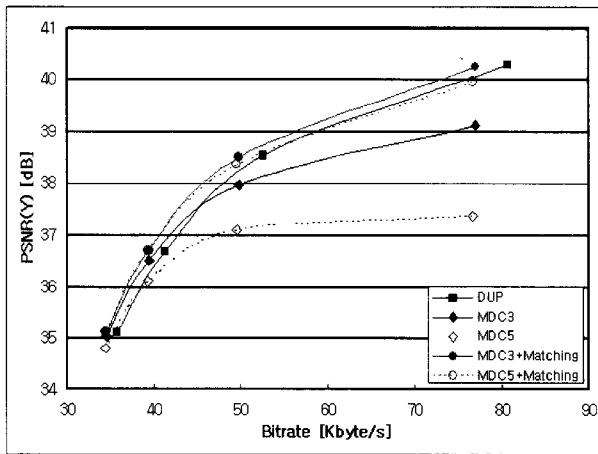
2. 실험 결과

본 논문에서는 제안한 다중 표현 부호화기의 성능을 평가하기 위해 표 3과 같이 제안방법의 네 가지 구성 경우를 PSNR과 비트율 측면에서 단순 중복 전송인 기존 방법과 비교하였다. DUP는 종래의 DP\_A 중복 전송 방법을, MDC3/5는 움직임 벡터 정보를 제안 방법처럼 MD 부호화 한 후, 복호화기에 그림 8과 같은 정합도 고려 없이 종래처럼 대상값들을 단순 평균함으로 오류 예측을 하는 경우이다. MDC 뒤의 숫자 3 또는 5는 MDSQ의 depth를 의미한다. MDC3/5+matching은 본 논문의 제안 복호화 방법으로써 그림 8의 정합 오류 계산식을 사용하여 오류 예측을 하는 것이다. 제안한 다중 표현 부호화기의 정보량 감소 효과를 확인하기 위해 식 (4)와 같이 BRR(Bit Reduction Ratio)을 정의하였다.

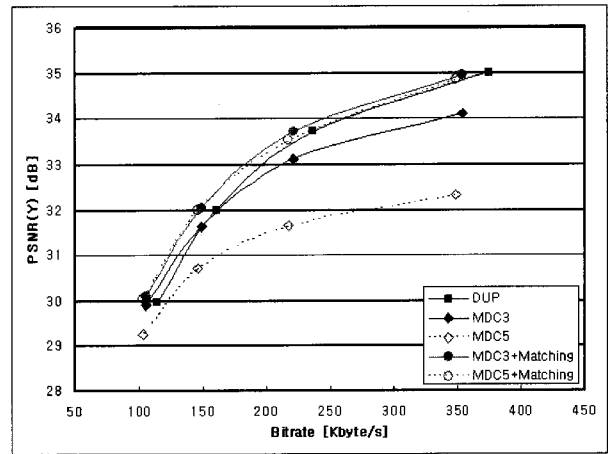
$$BRR = \frac{Total\ Bits[ref] - Total\ Bits[prop]}{Total\ Bits[ref]} \times 100 \quad (4)$$

식 (4)에서  $Total\ Bit[ref]$ 는 DP\_A 중복 전송 방법의 비트량을 나타내고  $Total\ Bits[prop]$ 는 제안된 방법의 비트량을 나타낸다. BRR은 그 변화량을 백분율로 표현한 것이다.

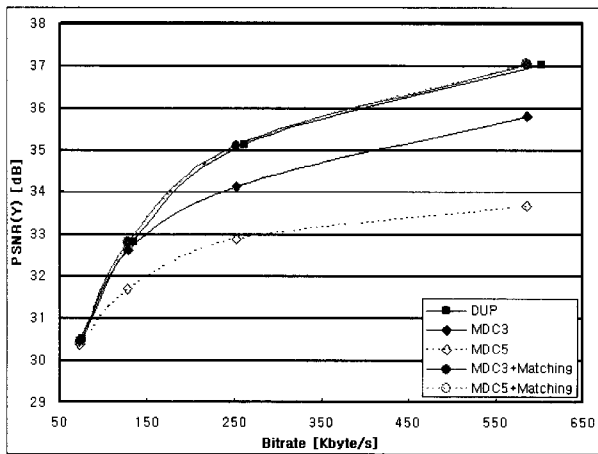
표 4에서 보는 바와 같이, 제안된 다중 표현 부호화 방식을 사용하여 전송하는 경우, 기존 중복 전송방법인 DUP와 비교해 전체 데이터 량이 감소하는 것을 볼 수 있다. BRR은 5-depth로 다중 부호화했을 경우 CIF 영상에서 최대 11.85%, QCIF 영상에서 최대 9.47%이다. 그러나 제안 MDC 방법의 경우, 다중 표현 복호화시의



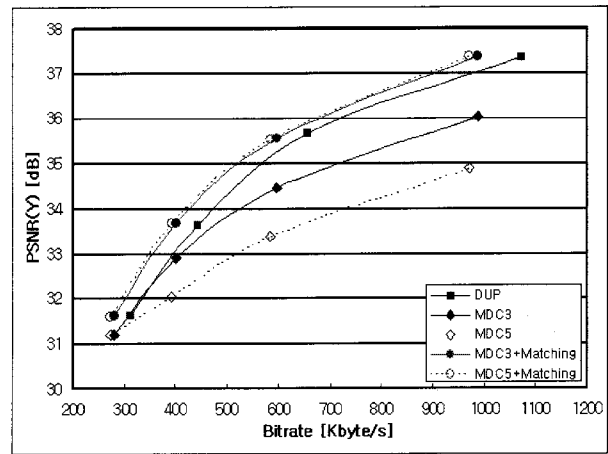
(a) Akiyo, QCIF, WCDMA (BER=5×10<sup>-4</sup>)



(b) Foreman, QCIF, WCDMA (BER=5×10<sup>-4</sup>)



(c) Container, CIF, WCDMA (BER=5×10<sup>-4</sup>)



(d) Foreman, CIF, WCDMA (BER=5×10<sup>-4</sup>)

그림 9. 제안 방법의 RD 성능

Fig. 9. RD performance of proposed method.

예측 오류에 의해 PSNR도 DUP에 비해 다소 감소하게 된다. 이에 반해 제안된 다중표현 복호화 방법을 사용하는 MDC+matching 방법의 경우에는 모든 에러 환경에서 DUP에 비해 화질 열화가 매우 미비한 것을 확인할 수 있다. 또한 DUP의 중복전송대비 MDC 사용에 의한 전체 비트스트림의 크기 감소 때문에 패킷 손실에 대한 노출도가 적어져 일부의 경우에는 DUP에 비해 오히려 높은 화질을 얻을 수 있다. 이것은 다중표현 부호화 기법 사용 시 발생하는 손실된 표현에 대한 예측 에러를, 제안한 다중표현 정합방법을 사용하여 최소화 시킬 수 있기 때문이다. V. A. Vaishampayan의 논문<sup>[8]</sup>에 따르면, MDSQ 양자화 테이블 및 평균값에 의한 에러 예측이 Uniform 분포를 가진 정보의 다중 표현에 최적화되어 있기 때문에 Laplacian 분포를 갖는 움직임 벡터와 같은 정보에는 비효율적이라 할 수 있다. 또한, 움직임 벡터는 이전 영상에서 에러가 포함되면 이것을 이후 영상으로 계속 전파시키기 때문에 움직임 벡터에서 발생하는 예측 에러는 매우 치명적이다. 따라서 이러한 예측 에러를 보상할 수 있는 기술의 추가 없이 다중 표현 부호화 방법을 그대로 적용하는 것은 비효율적이다. 예를 들어, Container 영상의 경우, 다른 영상들에 비해 정합을 사용하지 않는 MDC 방법의 성능이 매우 떨어지는 것을 볼 수 있는데 이것은 Container 영상이 극소수의 화면내 참조 블록을 포함하기 때문에 전파되는 예측 에러에 의해 성능이 감소하기 때문이다. 따라서 다중 표현 정합을 이용한 제안 MDC 복호화 방법은 이러한 문제를 해결하는 매우 효율적인 방법임을 볼 수 있다.

그림 9는 본 논문에서 제안된 다중 표현 부호화/복호화 시스템의 율왜곡(R-D : Rate-Distortion) 성능을 나타낸 것이다. 그림 9에서 나타난 각 점들은 낮은 비트율부터 순서대로 QP를 36부터 24까지 4단위로 적용한 것이며 그림 9 내의 그래프들은 각각의 에러 환경 중 하나에 대한 결과만을 나타내었다. 그림 9에서 보는 바와 같이 대부분의 비트율에서 DP\_A를 중복 전송하는 방법(DUP) 및 다중표현 정합을 사용하지 않는 MDC 방법과 비교해 제안한 다중표현 정합 MDC 복호화 방법(MDC+matching)은 다중 표현 부호화 테이블의 표현 depth에 관계없이 R-D 성능을 향상시키는 것을 확인할 수 있다. 뿐만 아니라 그림 9에서와 같이, depth가 3에서 5로 증가함에도 불구하고 화질의 열화가 매우 미비하게 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 따라서 다중 표현 부호화기의 depth를 증가시켜도 심각한 화질의 열화

없이 안정적으로 전체 압축 데이터 량을 감소시킬 수 있을 것으로 예상된다.

## V. 결 론

본 논문에서는 QoS가 보장되지 않는 IP 기반의 패킷 망을 통하여 비디오 비트스트림을 전송에 필요한 효과적인 에러 강인 기술들을 살펴보고, 이를 이용한 새로운 에러 강인 기술을 제안하였다. 제안한 다중 표현 부호화 방식을 사용하여 전송하는 경우, 단순히 DP\_A 데이터를 중복 전송하는 기존 방식과 비교해 거의 동일한 에러 강인도를 유지하면서도 전송해야 할 전체 압축 데이터량을 감소시킴으로써 R-D 성능을 효과적으로 향상시키는 것을 확인하였다. 뿐만 아니라 다중표현 정합 알고리즘을 포함하는 제안 다중표현 복호화 방법의 경우 다중 표현 부호화기의 depth를 증가시켜도 심각한 화질의 열화 없이 안정적으로 전체 전송 데이터 량을 감소시킬 수 있으므로, depth를 증가시켜 더욱 효율적인 에러강인성을 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

그러나 제안된 다중 부호화 기법은 움직임 벡터 정보가 차지하는 비율에 성능개선 정도가 영향 받는다. 따라서 움직임이 느린 영상의 경우에는 움직임 벡터 정보가 차지하는 비율이 감소하여 이에 따른 제안 방법의 전송하여야 할 압축 데이터 량의 감소성능 역시 현저히 낮아져 R-D 성능의 개선이 미비할 수 있다는 개선점을 가지고 있다. 따라서 향후에는 이러한 문제를 해결하기 위해 움직임 벡터 외의 다른 정보에 대해서도 다중 부호화 기법을 적용하는 방안과 함께 다양한 다중 표현 정합 알고리즘을 적용하는 방안에 대한 연구가 필요할 것으로 예상된다.

## 참 고 문 헌

- [1] JVT of ISO/IEC MPEG and ITU-T VCEG, *Draft ITU-T Recommendation and Final Draft International Standard of Joint Video Specification (ITU-T Rec. H.264, ISO/IEC 14496-10 AVC)*, 2003.
- [2] Iain E. G. Richardson, *H.264 and MPEG-4 Video Compression: Video Coding for Next-generation Multimedia*, John Wiley, 2003.
- [3] S. Wenger, *H.264/AVC over IP*, IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 13, No.7, pp.645-656, 2003.
- [4] Y. Wang, S. Wenger, J. Wen, and A. K.

- Katsaggelos, *Error resilient video coding techniques*, IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 17, No. 4, pp. 61-82, 2000.
- [5] 양정엽, 최응일, 최광표, 전병우, *에러 환경에서의 H.264 Data Partitioning 기술 성능 분석*, 제17회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵, pp. 16-21, 2005.
- [6] V. K. Goyal, *Multiple description coding: Compression meets the network*, IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 18, No. 5, pp. 74-93, 2001.
- [7] N. S. Jayant, *Subsampling of a DPCM speech channel to provide two 'self-contained' half-rate channels*, Bell Syst. Tech. J., Vol. 60, No. 4, pp. 501-509, 1981.
- [8] V. A. Vaishampayan, *Design of multiple description scalar quantizers*, IEEE Trans. Information Theory, Vol.39, pp.821-834, 1993.
- [9] Y. Wang et al., *Multiple description coding using pairwise correlating transforms*, IEEE Trans. Image Processing, Vol. 10, pp. 351 - 366, 2001.
- [10] V. K. Goyal and J. Kovacevic, *Generalized multiple description coding with correlating transforms*, IEEE Trans. Inform. Theory, Vol. 47, pp. 2199 - 2224, 2001.
- [11] 김일구, 조남익, *비트율-왜곡 최적화된 DCT 계수 분할을 이용한 다중표현 동영상 압축방법*, 대한전자공학회논문지, 39권, SP-6호, pp. 565-573, 2002.
- [12] A. Reibman et al., *Multiple description coding for video using motion compensated prediction*, IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, pp. 193 - 204, 2002.
- [13] Y. Wang and S. Lin, *Error resilient video coding using multiple description motion compensation*, IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 12, pp. 438 - 453, 2002.
- [14] G. Roth, R. Sjoberg, G. Liebl, T. Stockhammer, V. Varsa, and M. Karczewicz, *Common test condition for RTP/IP over 3GPP/3GPP2*, ITU-T SG16 Document, VCEG-N80, 2001.
- [15] E. N. Gilbert, *Capacity of a burst-noise channel*, Bell Syst. Tech. J., Vol. 39, pp. 1253-1265, 1960.

---

 저 자 소 개
 

---



양 정 엽(학생회원)  
 2004년 성균관대학교 정보통신공학부 졸업(학사).  
 2006년 성균관대학교 전자전기공학부 졸업(석사).  
 2006년~현재 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 박사과정.

<주관심분야 : 에러강인 영상압축, 스케일러블 영상압축, 멀티미디어 통신>



전 병 우(정회원)  
 1985년 서울대학교 전자공학과 졸업(학사).  
 1987년 서울대학교 전자공학과 졸업(석사).  
 1992년 Purdue Univ, School of Elec. 졸업(공학박사).

1993년~1997년 삼성전자 신호처리연구소 수석연구원

1997년~현재 성균관대학교 정보통신공학부 부교수

<주관심분야 : 멀티미디어 영상압축, 영상인식, 신호처리>