

論文 2002-39SP-6-9

# 무선환경에서 MPEG-4 영상의 오류은닉 방법

## (Error Concealment Method for MPEG-4 Video in Wireless Environment)

朴善榮\*, 宋準鎬\*\*\*, 文柱禧\*\*

(Sun-young Park, Joon-ho Song, and Joo-hee Moon)

### 요약

전송 오류율이 높은 이동통신 환경에서 동영상 서비스를 제공하려면 전송오류에 대한 검출 및 은닉이 필요하다. 본 논문에서는 MPEG-4 동영상 비트열을 구성하는 비디오 패킷 데이터가 손실되었을 때, 수신단에서 간단히 손상된 영상을 복구해낼 수 있는 적응적 오류은닉 방법을 제안한다. 제안된 방법은, 손실된 비디오 패킷에 포함되었을 매크로블록의 개수가 영상의 움직임 특성을 반영한다는 사실을 이용하여, 블록 반복 및 움직임 보상을 적응적으로 사용하므로 영상 오류를 은닉하게 된다. 실험 결과, 제안 방법은 영상에 존재하는 움직임 특성에 따라 효과적으로 사용됨을 알 수 있었다. 일반적으로 손쉽게 사용될 수 있는 블록 반복 은닉 방법 혹은 움직임 보상 은닉 방법과 비교하여 최대 1dB 이상의 화질 개선이 있었으며, 주관적 화질 측면에서도 우수한 결과를 얻었다.

### Abstract

Due to the high transmission error rate of wireless channel, mobile video decoder needs efficient error detection and concealment methods for reducing the influence of corrupted video bitstream. In this paper, an adaptive error concealment algorithm is proposed which can be simply applied to MPEG-4 video decoder. When a video packet of MPEG-4 bitstream is lost, macroblocks in the lost video packet are reconstructed by copying the co-located or motion compensated macroblock in previous frame. The usage of motion vector for concealment is decided by the number of macroblocks in the lost packet because the number implies that the lost macroblocks are likely to be in stationary background or in moving object. Experimental results show that the proposed algorithm adapts very well the concealment methods with or without motion compensation to the movement activity of lost macroblocks. The proposed algorithm can improve the reconstructed video quality up to 1dB or more, compared to block repetition concealment or motion compensation concealment.

**Keywords** : video, MPEG-4, error concealment, video packet, mobile

\* 學生會員, \*\* 正會員, 世宗大學校 情報通信工學科  
(Dept. of Information and Communications Engineering, Sejong University)

\*\*\* 正會員, 바로비전(주)

(Varo Vision Co., Ltd.)

※ 이 논문은 1999년도 한국학술진흥재단의 연구비에 의하여 지원되었음 (KRF-99-003-E00256)

接受日字:2002年7月15日, 수정완료일:2002年10月21日

### I. 서론

이동통신 환경이 IMT-2000 등으로 진화해 감에 따라 서비스의 내용도 무선 멀티미디어로 변화되어 가고 있다. 높아지는 전송률에 따라 이를 이용할 수 있는 서비스가 점차 확대되어 가고 있으며, 많은 경우 동영상 서비스의 제공을 목표로 하고 있다. 그러나 이동통신

환경의 고속화가 이루어진다 해도 동영상 서비스는 높은 데이터량으로 인하여 동영상의 압축이 필수적으로 요구되며, 이를 위해 현재 고려되고 있는 대표적인 영상압축 기술로는 MPEG-4 버전(version) 1<sup>[1]</sup>에 있는 "simple profile"을 들 수 있다.

이동통신 환경은 유선망 통신에 비해 전송 오류율이 상당히 높을 수 밖에 없다. 영상은 음성보다 정보의 전달 효과는 높지만, 상대적으로 오류로 인한 사용자의 불만도가 높아지는 미디어 특성을 지닌다. 따라서 이동통신망에서 영상 서비스를 제공하는 제품의 경쟁력은 수신된 영상에 포함된 오류를 얼마나 잘 복구해 낼 수 있는가와 관계가 밀접하다고 할 수 있다. MPEG-4의 simple profile은 구성이 비교적 간단하지만, 낮은 비트율에서 효율적인 오류내성(error resilient)을 제공하는 기법들이 포함되어 있어 전송오류가 심각하게 발생하게 될 이동통신 환경에 적합한 부호화 방식이다. 실제로 국내외 이동통신 사업자들과 단말기 제조업체들은 이미 MPEG-4를 사용한 이동통신 VOD(Video On Demand) 서비스를 개발하고 있다. 그러나 아무리 좋은 오류복원 기법들이 사용된다 하더라도 재현된 영상에서 완전히 전송 오류로 인한 영향이 없도록 할 수는 없으며, 이러한 경우에 사용할 수 있는 화질 개선 방법은 오류로 인한 재현 영상의 열화를 수신측에서 은닉(concealment)하는 것이다.<sup>[2]</sup>

본 논문에서는 MPEG-4 오류내성 기법의 특성을 이용하여 간단히 전송 오류의 영향을 은닉할 수 있는 방법을 제안한다. 무선통신 단말기는 작은 전력소모가 필수적이므로 전력소모가 가능한 적게 유지되면서 성능이 높은 오류 은닉 방법이 중요하다. MPEG-4 오류내성 부호화 기능들 중에서, 과거의 표준들과 크게 다른 점은 일정한 길이를 갖는 비디오 패킷(video packet)이 사용되고 있다는 것이다. 비디오 패킷 단위로 오류에 대한 재동기(resynchronization)가 이루어질 수 있으며, 하나의 비디오 패킷에 포함된 매크로블록(macroblock)의 개수는 영상의 복잡도 혹은 움직임 정도 등에 따라 변화하게 된다. 예를 들어, 비디오 패킷에 움직임이 전혀 없는 배경에 포함된 매크로블록 데이터들이 포함되는 경우에는 하나의 비디오 패킷 안에 많은 개수의 매크로블록들이 들어가게 되며, 반대로 움직임이 크고 움직임 보상이 잘 될 수 없는 영역에서는 아주 적은 개수의 매크로블록들이 하나의 비디오 패킷 안에 들어가게 된다. 본 논문에서는 이러한 특성을 이용하여, 오류

를 포함하고 있는 비디오 패킷이 수신되어 패킷 안의 모든 데이터가 버려져야만 할 경우, 비디오 패킷이 포함하고 있었을 영상의 특성을 간단히 해석하고 해석된 결과에 따라 간단하면서도 효과적으로 적용될 수 있는 오류은닉 기법을 제안한다. 다음 제II장에서는 MPEG-4 simple profile에서 사용되고 있는 비디오 패킷 기반의 오류처리 기법을 살펴보고, 제III장에서 비디오 패킷에 포함되었을 매크로블록의 개수를 추정하여 적용되는 간단한 오류은닉 기법을 제안한다. 제IV장에서는 제안된 기법의 성능을 분석하고, 마지막으로 제V장에서 결론을 맺는다.

## II. MPEG-4 비디오 패킷 기반 오류처리 방법

기존의 동영상 전송 방법에서 통신 품질의 보장은 주로 네트워크 레이어의 오류 정정 및 자동 재전송 요구(ARQ: Automatic Request for Repetition) 등에 의하여 실현된다. 그러나 자동 재전송 요구와 같은 오류 정정 기능은 비디오 스트리밍과 같은 실시간 전송 응용 분야에서는 전송 지연으로 인한 문제를 야기하게 된다. 또한 네트워크 레이어 상에서의 오류 정정기능은 이동통신망에서 발생하는 오류를 완전히 보정하기는 불가능한 실정이다. 그러므로 발생할 수 밖에 없는 오류에 대한 오류내성 부호화와 함께 오류검출 및 오류은닉은 무선 통신망에서 영상 복호기가 지원해야 하는 아주 중요한 기능이라고 할 수 있다.

MPEG-4 simple profile에서 동영상 부호화의 오류내성(error resilience)이란, 비트 오류를 포함하는 부호화 비트열(bitstream)을 복호할 때 재생 영상의 화질 열화를 최소한으로 억제하는 기능을 가리킨다. 동영상 부호화를 위한 MPEG-4의 오류내성 기법들은 주로 이동통신망의 심각한 오류 환경하에서의 동영상 전송을 고려하여 제안되었다.<sup>[3]</sup> 동영상 부호기에 의해 생성되는 비트열은 가변장 부호(VLC: Variable Length Code)로 구성되기 때문에, 오류가 발생하는 경우 오류가 발생한 비트 주변은 물론 오류가 발생하지 않은 이후의 비트 열까지도 올바르게 복호할 수 없게 만든다. 이러한 오류 전파(error propagation)를 저지하고 복호 불가능한 비트 수를 줄이기 위해, MPEG-4 동영상 부호화에서는 비디오 패킷, 재동기 마커(resynchronization marker), 데이터 분할(data partitioning), 그리고 RVLC (Rever-

sible VLC) 등의 방법을 지원한다.

MPEG-4 동영상 부호화에서 정의되는 비디오 패킷이란, ITU-T의 H.261<sup>[4]</sup>과 H.263<sup>[5]</sup>에서 사용되는 GOB(Group of Block)와 유사하게, 패킷별로 재동기 마커가 들어가 영상의 특정부분에서 발생된 전송 오류의 영향이 인접한 영역으로 전파되는 것을 막기 위해 사용된다. 그러나, 비디오 패킷은, 항상 동일한 개수의 매크로블록들을 포함하고 있는 GOB와 달리, 패킷의 길이가 거의 일정하도록 정의되므로써 하나의 비디오 패킷 안에는 매번 다른 개수의 매크로블록들이 부호화되어 들어가게 된다. 비트열 상의 비디오 패킷들과 이에 대응되는 VOP(Video Object Plane)상의 공간적 영역들의 대응관계가 <그림 1>에 나타나 있다. VOP란 MPEG-4에서 정의된 동영상 표현을 위한 단위로서 기존의 프레임(frame)에 해당된다고 볼 수 있으며, 본 논문에서는 혼용하여 사용된다. 영상을 일정한 개수의 매크로블록들로 분할한 GOB 단위의 재동기 방법은 구현이 간단할 수는 있으나 매 GOB에서 발생하는 비트열 길이가 다르게 되는 단점이 있다. 즉, 화질에 큰 영향을 미치는 물체의 움직임이 많은 영역에 해당되는 GOB일수록 많은 양의 부호화 비트들이 발생되어 해당 GOB 비트열에 전송 오류가 포함될 가능성이 높아지게 되는 단점이 발생한다. 이러한 문제점은 <그림 1>과 같이 일정한 길이를 갖는 비디오 패킷을 사용하여 영상을 분할함으로써 해결할 수 있다. 배경 영역과 같이 화질에 영향이 적은 부분에서는 많은 수의 매크로블록들이 하나의 비디오 패킷을 구성하게 되고, 화질에 영향이 많은 움직임 영역의 경우 상대적으로 적은 수의 매크로블록들이 하나의 비디오 패킷으로 구성되게 되므로써, 전송 오류가 중요한 비디오 패킷에서 발생될 확률이 낮아지며 오류가 발생하더라도 영향이 작은 영역

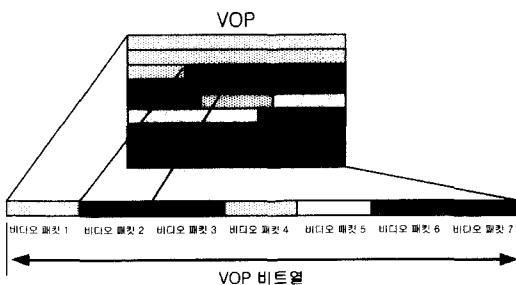


그림 1. VOP와 비디오 패킷  
Fig. 1. VOP and video packets.

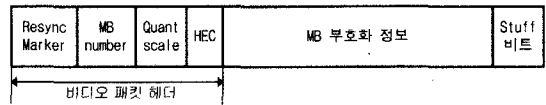


그림 2. 비디오 패킷의 구조  
Fig. 2. Structure of video packet.

에 국한되게 된다. 따라서 비디오 패킷을 사용하는 MPEG-4 부호화 방법은 기존의 표준안들<sup>[4-6]</sup> 보다 전송 오류에 대해 강인한 비트열을 제작할 수 있도록 한다.

MPEG-4 비디오 패킷은 <그림 2>와 같이 구성된다. 재동기 마커(resynchronization marker)는 비트열 중에 출현하는 어떠한 가변장 부호들의 조합과도 일치하지 않는 특정한 비트 패턴으로 구성되어, 올바르게 복호가 다시 시작될 수 있도록 비디오 패킷의 시작 위치를 표시해 준다. 즉, 비트열의 앞 부분에서 발생한 전송 오류가 복호화에 계속 영향을 미치도록 전파되는 것을 방지하여, 정상적인 복호화의 재시작 지점을 지정하기 위해 사용된다. 비디오 패킷 헤더에는 복호를 재시작 하기 위해 필요한 정보들이 포함된다. 매크로블록 번호를 사용하여 비디오 패킷안에 들어있는 최초 매크로블록의 영상 프레임내 위치를 복호기에 알려주며, 양자화 스케일을 사용하여 비디오 패킷내 최초 매크로블록의 양자화 정보를 기록한다. 필요한 경우 HEC(Header Extension Code)를 사용하여 확장된 비디오 패킷 헤더를 사용할 수 있는데, VOP 헤더 정보가 손상된 경우에 대응하기 위한 정보들이 추가된다. MB 부호화 정보 부분에는 매크로블록들의 부호화 정보인 움직임 벡터와 DCT 변환 계수들이 포함되게 된다.

### III. 제안된 적응적인 오류은닉 방법

전송 오류가 탐지된 경우, 복호기는 시공간적으로 근접한 영상 정보들 사이의 상관성을 이용해서 오류가 발생한 영역의 영상 정보를 추정하여 오류를 은닉한다.<sup>[2]</sup> 오류를 은닉하기 위해서는 블록 반복(repetition)<sup>[7]</sup>과 같이 간단한 방법에서부터 움직임을 재추정하거나 영상신호의 연속성을 보장하는 복잡한 은닉 방법<sup>[8-13]</sup>에 이르기 까지 다양한 방법들이 사용될 수 있으나, 이 동통신용 단말기와 같이 소형 저전력을 요구하는 환경에서는 복잡도가 높은 은닉 방법은 사용되기 어렵다. 따라서, 본 논문에서는 기존의 간단한 오류은닉 방법<sup>[7,14]</sup>들을 효과적으로 적용시킬 수 있는 적응적 오류은

나 방법 선택 알고리즘이 제안된다. 선택의 기준은 손실된 비디오 패킷안에 포함되어 있었을 매크로블록의 개수로서, 손실된 비디오 패킷의 앞과 뒤에 있는 비디오 패킷 헤더의 매크로블록 번호들로부터 쉽게 추정된다. 추정된 개수 정보는 손실된 매크로블록들의 시간적 활성화도, 즉, 블록들이 움직임 없는 배경에 해당되는지 혹은 움직임이 있는 물체에 해당되는지를 나타내게 되어 블록 반복 은닉 방법과 움직임 보상 은닉 방법을 적응적으로 오류은닉에 사용할 수 있게 한다.

다음에 비디오 패킷에 포함된 매크로블록 개수의 통계계를 살펴봄으로써 비디오 패킷에 포함된 매크로블록 개수를 이용하여 적응적 오류은닉을 수행하는 제안 방법의 타당성을 살펴보고, 이를 이용한 적응적 오류은닉 방법 선택 알고리즘을 제안한다.

1. 비디오 패킷에 포함된 매크로블록의 개수 분포 및 특성

MPEG-4의 부호화 방식은 이전에 복원(reconstruction)된 VOP에서 예측하는 방식을 사용하기 때문에, VOP 간의 변화 정도에 따라서 하나의 VOP에서 만들어지는 비디오 패킷의 수가 많아 질 수도 있고, 적어 질 수도 있다. 일반적으로, VOP에서 발생하는 비트 수는 매크로블록별로 변화하기 때문에, 일정한 길이의 비디오 패킷에 포함되는 매크로 블록의 개수도 달라지게 된다. 패킷에 포함되는 매크로 블록의 개수가 달라지는 것을, Akiyo 영상을 예로 들어, 통계로 내어 보면 <그림 3>과 같다. Akiyo는 MPEG-4의 공식 시험 동영상으로서 공간적 변화가 낮고 물체의 움직임이 적은 경우에 해당된다.

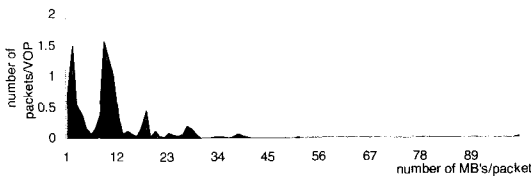


그림 3. 비디오 패킷에 포함된 매크로블록의 개수  
Fig. 3. Number of macroblocks in a video packet.

100장의 VOP에 대해서 얻은 <그림 3>을 살펴보면, 매크로블록의 개수에 따라 비디오 패킷은 크게 두 종류로 나눌 수 있음을 알 수 있다. 즉, 패킷당 매크로블록 개수 8 혹은 9를 기준으로, 적은 개수의 매크로블록들이 포함된 비디오 패킷과 많은 개수의 매크로블록들

을 포함하고 있는 비디오 패킷으로 나눌 수 있다. 적은 개수가 포함된 비디오 패킷에는 영상 신호의 시공간적 변화가 큰 영역이, 많은 개수가 포함된 비디오 패킷에는 영상 신호의 시공간적 변화가 상대적으로 작은 영역이 포함되어 있다고 볼 수 있다.

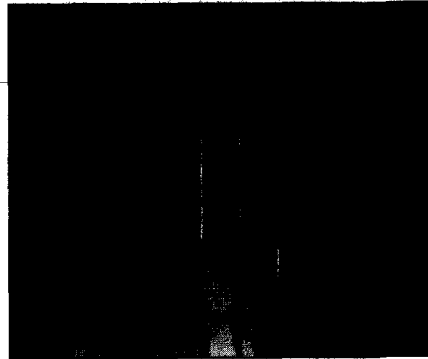


그림 4. 실제 이미지에 적용된 비디오 패킷 분포 예  
Fig. 4. An example of video packet distribution.

<그림 4>에 Akiyo 영상에서 얻은 비디오 패킷 분포가 나타나 있다. 검정색 격자무늬는 매크로블록들이고, 흰색으로 표시된 부분은 재등기 마커가 삽입되는 곳으로서 비디오 패킷의 시작을 나타낸다. 움직임과 공간적 변화가 큰 눈과 입 주변에서는 적은 개수의 매크로블록들을 가진 비디오 패킷이, 배경 부분에서는 많은 개수의 매크로블록들을 가진 비디오 패킷이 형성됨을 알 수 있다. 따라서, 비디오 패킷에 포함된 매크로블록의 개수를 이용하여, 손실된 비디오 패킷의 영상 정보를 복구하기 위해, 블록 반복과 움직임 보상을 적응적으로 이용하는 방법은 가능성이 있다고 판단할 수 있다.

2. 제안된 오류은닉 방법 선택 알고리즘

본 논문에서는 손실된 비디오 패킷에 포함된 매크로블록의 개수 N에 따라 블록 반복과 움직임 보상을 적응적으로 사용하는 오류은닉 알고리즘을 다음과 같이 제안한다:

```

if N > T1
    블록 반복 은닉
else
    if N > T2
        움직임 보상 은닉
    else
        연속성 보정 은닉
  
```

문턱값  $T_1$ 은 비디오 패킷에 포함된 매크로블록들이 배경 부분에 속해 있을지 혹은 움직임 영역에 속해 있을지를 결정하기 위해 사용된다. 문턱값  $T_2$ 는,  $T_1$ 보다 작은 값이며, 움직임 보상 은닉 방법을 사용하기로 결정된 비디오 패킷에 특히 적은 개수의 매크로블록들만이 존재할 경우를 결정하기 위한 값으로서, 움직임 보상만으로는 제대로 은닉이 되지 않는 영역에 속한 경우가 된다. 즉, Akiyo 영상을 예로 들어 보면, 연속된 VOP 간에 눈을 감고 뜨는 경우에 눈 주변에 속한 매크로블록은 대개 움직임 보상만으로는 주관적 화질이 향상된 오류은닉이 불가능하며 오히려 이웃한 매크로블록들과의 에지(edge) 연속성을 유지시켜주는 것이 필요하다. 문턱값  $T_1$ 과  $T_2$ 는 <그림 3>과 같은 매크로블록 개수 분포로부터 설정되는데, 첫번째 로브(lob)와 두번째 로브 사이의 값으로  $T_1$ 을 결정하고 첫번째 로브의 피크(peak)에서  $T_2$ 를 결정하게 된다. 제안된 알고리즘에 의해 선택된 은닉 방법은 비디오 패킷 안의 모든 매크로블록들에 대해 적용되며, MPEG-4의 비디오 패킷 기반 영상 전송 기술에서 비디오 패킷 내부의 영상신호 관련 정보가 모두 손실되는 일반적인 경우에 사용될 수 있다. 비디오 패킷 내부의 일부 데이터는 사용될 수도 있으나, 가변장 부호에 의해 부호화되는 영상 데이터의 경우에 재생 영상의 화질이 급격히 나빠질 수 있는 상당한 위험성을 초래하여 오히려 사용하지 않는 것이 좋다고 할 수 있다.

본 논문에서는 손실된 비디오 패킷의 움직임 특성을 매크로블록 개수 정보를 이용하여 손쉽게 예측하는 기법을 제안하고 있으며, 움직임 특성에 따라 적용되는 은닉 방법들은 기존의 간단한 기법들을 그대로 적용하면 된다. 본 논문에서는 이동통신 단말기의 복잡도를 고려하여 계산량이 비교적 적은 다음과 같은 은닉 방법들이 제안 방법에 사용된다.

(1) 블록 반복 은닉<sup>[7]</sup>

손실된 비디오 패킷 안에 상당히 많은 개수의 매크로블록들이 포함되어 있는 경우로서, 움직임이 없는 배경 영역에 해당된다. 손실된 매크로블록들을 이전 VOP의 동일한 위치에 있는 매크로블록을 이용하여 반복 재생하므로써 영상 오류가 은닉된다.

(2) 움직임 보상 은닉<sup>[14]</sup>

손실된 비디오 패킷 안에 적은 개수의 매크로블록들이 존재하는 경우로서, 움직임이 있는 물체 영역에 해

당된다. 손실된 매크로블록들은 주변 매크로블록들의 움직임 벡터들을 이용하여 움직임 보상 재생되므로써 영상 오류가 은닉된다. 이때, 사용되는 움직임 벡터는 <그림 5>와 같이 분포된 주변 블록들의 움직임 벡터들로부터 식 (1)에 의해 중간값(median value)으로 결정된다.

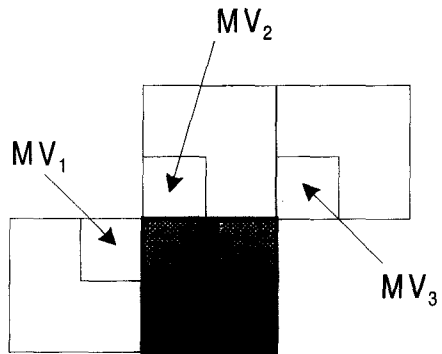


그림 5. 움직임 보상 은닉을 위한 매크로블록 움직임 벡터

Fig. 5. Macroblock motion vector for motion compensated error concealment.

$$MV_x = \text{Median}(MV_{1x}, MV_{2x}, MV_{3x})$$

$$MV_y = \text{Median}(MV_{1y}, MV_{2y}, MV_{3y}) \quad (1)$$

$MV=(MV_x, MV_y)$ 는 손실된 매크로블록의 은닉에 사용되는 움직임 벡터이며,  $MV_1, MV_2, MV_3$ 는 주변 8x8 블록의 움직임 벡터들이다.

(3) 연속성 보정 은닉

손실된 비디오 패킷 안에 아주 적은 개수의 매크로블록들이 포함된 경우로서, 매크로블록에서 발생된 데이터가 아주 큰 경우에 해당된다. 이러한 매크로블록은 움직임 벡터에 의해서도 제대로 재현이 되기 어려운 경우가 많으므로, 움직임 보상만으로 영상 오류를 은닉하게 되면 주변 영상 신호들과 부드럽게 연결될 수 없다. 따라서 은닉되는 매크로블록이 주변 매크로블록들과 연속성(continuity)을 줄 수 있도록 연속성 보정이 추가되어 은닉된다.

불연속성을 해결하기 위해, 본 논문에서는 은닉에 사용될 매크로블록과 주변 매크로블록들의 경계 부분 차이를 최소화하는 방법<sup>[10,15]</sup>을 수정하여 사용한다. <그림 6>에 사용된 방법이 나타나 있다. 복호화되는 순서를

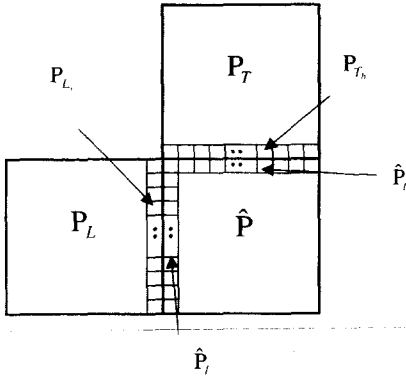


그림 6. 연속성 보정 방법  
Fig. 6. Continuity compensation method.

고려하여 이미 복호화되어 있을 위쪽 매크로블록과 왼쪽 매크로블록만을 사용하여 연속성이 조사된다.  $\hat{P}$ 는 움직임 벡터로 움직임 보상될 매크로블록이고,  $\hat{P}_i$ 와  $\hat{P}_l$ 은 보상될 매크로블록의 첫번째 행과 첫번째 열의 화소값 벡터들을 각각 나타낸다. 화소값 벡터  $P_{T_s}$ 는 손실된 매크로블록의 위쪽 매크로블록  $P_T$ 의 마지막 행을 나타내고, 화소값 벡터  $P_{L_s}$ 는 손실된 매크로블록의 왼쪽 매크로블록  $P_L$ 의 마지막 열을 나타낸다. 계산량을 크지 않게 유지하면서 연속성이 보정되도록, 식 (2)와 같이, 움직임 보상될 매크로블록과 주변 매크로블록들의 경계에서만 연속성이 조사된다. 식 (1)에 의해 결정된 중간값 움직임 벡터를  $i$  화소 만큼 좌우로,  $j$  화소 만큼 위아래로 이동시켜가면서 움직임 보상을 수행하여 움직임 보상될 매크로블록  $\hat{P}(i, j)$ 을 얻은 후 주변 매크로블록과의 연속성이 조사되며, 최종적으로 식 (2)의  $\epsilon^2$ 이 최소가 되는 위치  $(i, j)$ 를 찾게 된다. 이렇게 하여 추정된 연속성 보정 위치  $(i, j)$ 는 식 (1)에 의해 얻은 중간값 움직임 벡터에 더해져 최종 은닉에 사용될 움직임 벡터가 결정된다.

$$\begin{aligned} \epsilon^2 &= \epsilon_T^2 + \epsilon_L^2 \\ \epsilon_T^2 &= \left\| \hat{P}_i(i, j) - P_{T_s} \right\|^2 \\ \epsilon_L^2 &= \left\| \hat{P}_l(i, j) - P_{L_s} \right\|^2 \end{aligned} \quad (2)$$

본 논문에서는 연속성이 조사되는 범위를 수평과 수직 모두 최대 2 화소로 사용하였으며, 반화소(half-pixel)까지 조사된다.

IV. 모의 실험 및 결과

제안된 적응적 선택 방법의 오류은닉 성능을 평가하기 위하여 MPEG의 공식 시험 동영상인 Akiyo, News, Foreman, 그리고 Table Tennis를 사용하였다. Akiyo와 News는 상대적으로 움직이지 않는 배경이 넓고 물체의 움직임이 크지 않은 영상들이며, Foreman과 Table Tennis는 배경의 움직임이 많고 물체도 빠르게 움직이는 특성을 보이는 영상들이다. 300장의 VOP로 구성된 원영상으로부터 3:1로 부표본화(sub-sampling)된 10Hz의 프레임율을 가진 100장의 VOP를 사용하여 실험되며, 각 VOP는 QCIF의 크기를 가진다. <그림 7>에 실험 영상의 첫번째 VOP가 나타나 있다. 부호화된 비트열을 생성하고 전송오류가 포함된 비트열을 복호하기 위해서 MPEG-4 비주얼 버전 1(Visual Version 1)<sup>[1]</sup>에 있는 simple profile 소프트웨어인 MoMuSys<sup>[16]</sup>를 수정하여 사용하였다. 영상내(intraframe) 부호화되는 I-VOP은 3초에 한 장씩 삽입되었으며, 나머지 VOP들은 모두 영상간(interframe) 부호화되는 P-VOP들이다. 비트열은 양자화 파라미터 QP를 고정하여 가변비트율(VBR: Variable Bit Rate)로 생성되며, I-VOP과 P-VOP에서는 서로 다른 QP가 사용된다. 전체 비트율은 이동통신 환경을 가정하여 50~100 kbps 정도가 되도록 QP가 선택되었다. 사용된 비디오 패킷의 길이는 <표 1>과 같으며, 움직임이 없는 배경이 넓은 Akiyo와 News 영상은 발생하는 비트율이 낮으므로 조금 작은 길이가 사용되었다. 부호화된 비트열에 전송오류를 포함시키기 위해 비트 오류율(BER: Bit Error Rate)을 제어할 수 있는 랜덤오류 발생 소프트웨어를 사용하였으

표 1. 실험에 사용된 비디오 패킷 길이  
Table 1. Video packet length for experimentation.

실험 영상	패킷 길이(bits)
Akiyo	300
News	300
Foreman	400
Table Tennis	400

표 2. 휘도 신호의 평균 PSNR에 의한 은닉 성능 비교

Table 2. Concealment performance comparison by average PSNR of luminance.

(단위 : dB)

실험 영상	오류율(10E-2)				오류율(10E-3)				오류율(10E-4)			
	A	B	C	PCR	A	B	C	PCR	A	B	C	PCR
Akiyo	24.50	24.07	24.67	4.7×10E-1	30.68	29.98	30.57	1.5×10E-1	40.04	39.42	40.53	1.3×10E-2
News	18.78	17.51	18.87	4.5×10E-1	22.79	22.29	22.63	1.5×10E-1	30.41	29.47	30.54	2.2×10E-2
Foreman	13.75	14.05	14.23	3.9×10E-1	17.07	17.50	17.63	1.4×10E-1	26.91	27.09	27.79	2.2×10E-2
Table Tennis	15.22	15.30	15.49	4.2×10E-1	16.79	16.91	17.04	1.5×10E-1	24.48	24.80	24.94	3.1×10E-2
Table Tennis	15.22	15.30	15.49	4.2×10E-1	16.79	16.91	17.04	1.5×10E-1	24.48	24.80	24.94	3.1×10E-2

A : 블록 반복 은닉 방법

B : 움직임 보상 은닉 방법

C : 제안 방법

PCR : 비디오 패킷 오류 검출 및 은닉율(Packet Concealment Rate)

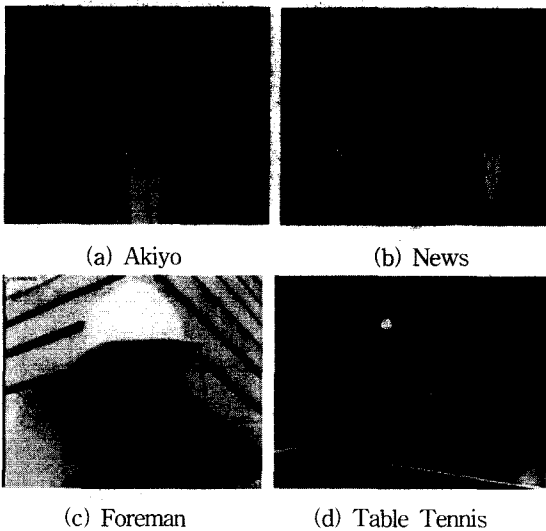


그림 7. 실험 영상

Fig. 7. Test sequences.

며, 실험된 비트 오류율은 10E-2, 10E-3, 그리고 10E-4 의 세가지가 적용되었다. 본 논문은 무선환경에서의 오류은닉을 고려하므로 랜덤오류에 의한 경우를 기준으로 실험된다. 한편, 본 논문에서는 비디오 패킷에서 오류가 검출될 경우 패킷안의 데이터를 모두 버리는 간단한 복호기를 가정하므로, 데이터 분할과 RVLC는 사용되지 않았으며, 집중오류(burst error)나 패킷오류(packet error) 특성은 랜덤오류와 특별히 구분되어 실험될 필요는 없다. 다만, 사용된 세가지의 비트 오류율에서 비디오 패킷의 오류율을 살펴보므로써 다양한 오

류 특성을 예상해 볼 수는 있다.

제안된 방법의 성능 비교를 위해 블록 반복 은닉 방법과 중간값 움직임 보상 은닉 방법이 사용된다. 본 논문은 은닉에 사용되는 알고리즘의 계산량을 최소화하면서 성능이 유지되는 방법을 제시하고자 하므로 복잡한 움직임 보상 방법들은 고려되지 않았다. 성능의 척도로서 휘도(luminance) 신호의 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio)과 은닉된 영상의 주관적 화질(subjective quality)이 사용된다. PSNR은 오류가 은닉되어 재현된 영상과 오류가 포함되지 않은 재현 영상 간에 계산된다. <표 2>에 전송 오류율에 따라 P-VOP에서만 계산된 휘도 신호의 평균 PSNR 결과가 나와있다. 문턱값  $T_1$ 과  $T_2$ 은 비디오 패킷에 포함된 매크로블록의 개수 분포로부터 선택되었으며, Akiyo와 News에서는 9와 2가, Foreman과 Table Tennis에서는 11과 3이 각각 사용되었다. I-VOP은 움직임 벡터가 전송되지 않으므로 공정한 비교를 위하여 제외되었다. 결과로부터, 블록 반복 은닉 방법은 움직임 없는 배경이 넓고 물체의 움직임이 크지 않은 Akiyo와 News에서 움직임 보상 은닉 방법 보다 좋은 성능을 나타내며, 배경과 물체의 움직임이 큰 Foreman과 Table Tennis에서는 반대의 성능이 나타남을 알 수 있다. 제안된 방법은 영상의 종류와 관계없이 대부분 좋은 성능을 보임을 알 수 있다. 제안 방법이 좋은 성능을 보이는 이유는, 제안된 매크로블록 개수 기반의 은닉 방법 선택 알고리즘이, 손실된 비디오 패킷에 해당되는 영역의 움직임 특성을

잘 분류하기 때문이다. 따라서 각 특성에 맞는 오류은닉이 제대로 수행되므로 향상된 은닉 성능을 보임을 알 수 있다. 즉, 움직임이 작은 영상에서는 블록 반복 은닉되는 매크로블록들이 많이 선택되어 블록 반복 은닉의 성능이 충분히 반영되며, 반대로 움직임 영역이 넓은 영상에서는 움직임 보상 은닉되는 매크로블록들이 많이 선택되어 움직임 보상 은닉의 성능에 주로 영향을 받게 됨을 알 수 있다. 한편, 은닉 방법들의 성능은 전송 오류율이 낮아짐에 따라 당연히 모두 향상됨을 볼 수 있으며, 방법들간의 성능 차이는 오류율에 관계없이 대체로 유지됨을 알 수 있다. 참고로 각 비트 오류율에서의 비디오 패킷 은닉율이 표에 나타나 있다. 비디오 패킷에서 오류가 검출되어 은닉되는 경우의 비율로서, 패킷의 모든 블록들이 은닉된다. 이러한 경우 오류율이 높을수록 집중오류의 특성을 어느정도 반영한다고 할 수 있으며, 오류율이 낮을수록 랜덤 패킷오류의 특성을 나타낸다고 볼 수 있다. <그림 8>에는 오류율 10E-3에서 실험된 VOP별 PSNR이 나타나 있다. I-VOP에서는 PSNR이 계산되지 않으므로 앞뒤 VOP의 PSNR 평균값으로 대체되었다. 결과로부터, 제안 방

법은 VOP별로 좋은 성능을 보이는 은닉 방법으로 상당히 잘 적응되고 있음을 알 수 있다. 즉, 움직임이 많은 VOP에서는 움직임 보상 은닉을 사용하는 매크로블록들이 많이 선택되며, 움직임이 적은 VOP에서는 블록 반복 은닉을 사용하는 매크로블록들이 많이 선택되어 은닉의 성능을 높게 된다.

<그림 9>와 <그림 10>에는 은닉 방법의 주관적 화질을 비교하기 위해 각 방법으로 재현된 영상들이 나타나 있다. <그림 9>에는 움직임이 적은 Akiyo 영상에서 각 방법을 적용했을 때의 결과이다. 2개의 비디오 패킷이 손실되었으며, 위에 있는 손실된 패킷에는 1개의 매크로블록이 포함되어 있으며 아래의 손실된 패킷에는 11개의 매크로블록이 포함되어 있는 경우이다. 제안된 방법에서 위의 손실 패킷은 연속성 보정까지 적용되어 은닉되었으며, 아래의 패킷은 블록 반복에 의해 은닉된다. 움직임이 거의 없는 부분에 해당되는 아래의 패킷은 모든 방법에서 거의 동일한 주관적 화질을 보이며, 움직임이 상당히 큰 위의 패킷에서는 움직임 보상 은닉이 블록 반복 은닉 보다 좋음을 알 수 있고, 연속성 보정까지 적용되면 눈썹 부분에서 볼 수 있는 것

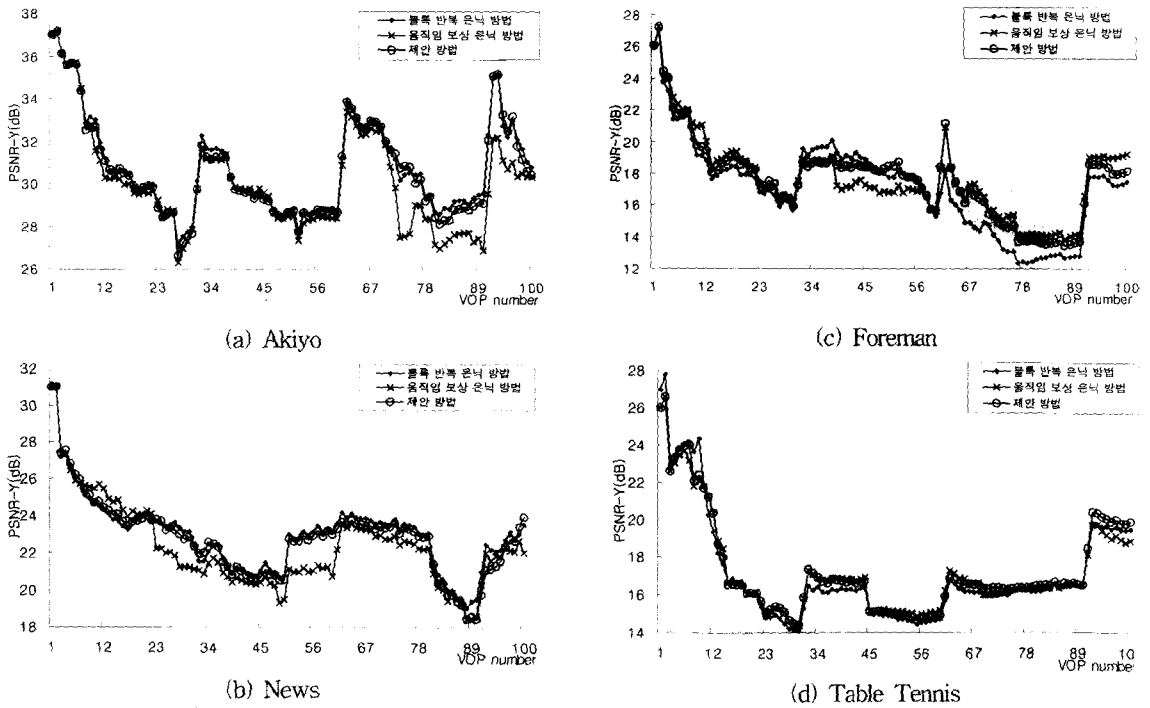
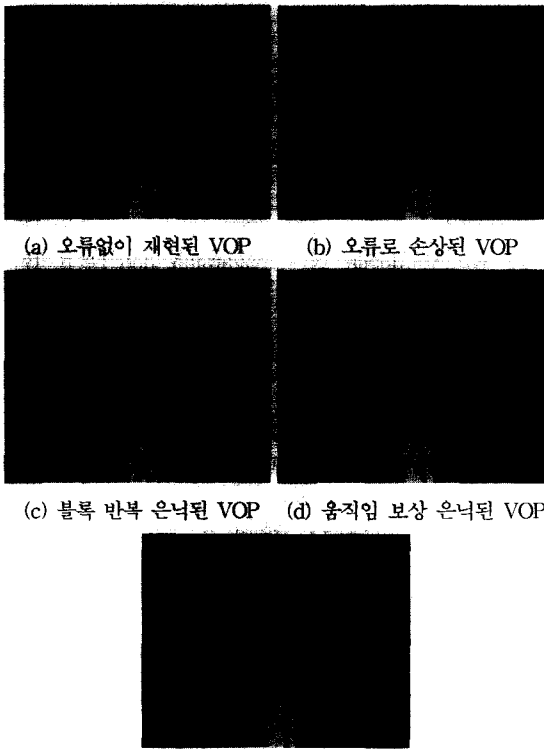


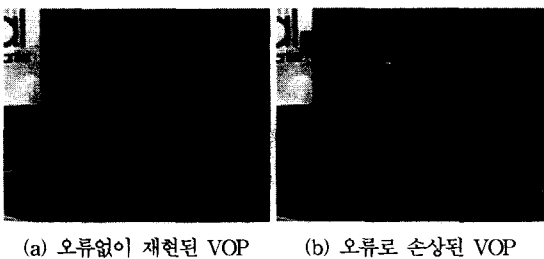
그림 8. 오류율 10E-3에서의 PSNR 비교  
Fig. 8. PSNR comparison at BER of 10E-3.



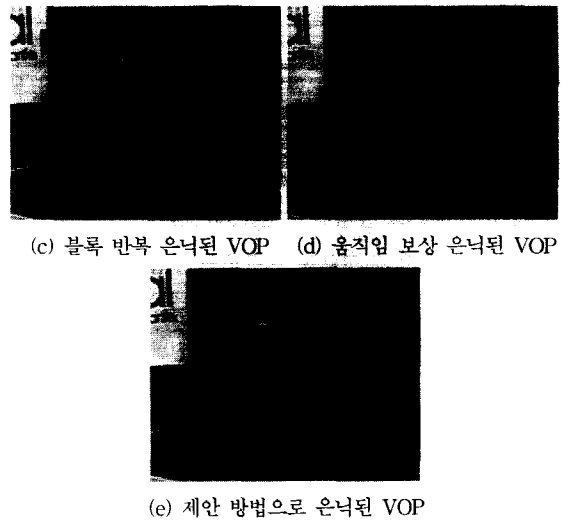


(a) 오류없이 재현된 VOP (b) 오류로 손상된 VOP  
(c) 블록 반복 은닉된 VOP (d) 움직임 보상 은닉된 VOP  
(e) 제안 방법으로 은닉된 VOP  
그림 9. 은닉 방법의 주관적 화질 비교 - Akiyo  
Fig. 9. Subjective quality comparison for concealment methods - Akiyo.

과 같이 더욱 자연스러운 은닉 영상을 보임을 알 수 있다. <그림 10>에는 움직임이 전반적으로 많은 Table Tennis 영상에서 실험된 결과이다. 역시 2개의 비디오 패킷이 손실된 경우로서, 제안 방법은 위의 패킷에서 움직임 보상 은닉을 아래의 패킷에서 연속성 보정까지를 적용하게 된다. 두 영역 모두 움직임이 있는 경우로서 움직임 보상 은닉이 블록 반복 은닉 보다 나쁘지 않음을 볼 수 있으며, 아래의 패킷에서와 같이 주변의 움직임이 상이하고 큰 경우 연속성 보정이 효과적임을 알 수 있다.



(a) 오류없이 재현된 VOP (b) 오류로 손상된 VOP



(c) 블록 반복 은닉된 VOP (d) 움직임 보상 은닉된 VOP  
(e) 제안 방법으로 은닉된 VOP  
그림 10. 은닉 방법의 주관적 화질 비교 - Table Tennis  
Fig. 10. Subjective quality comparison for concealment methods - Table Tennis.

### V. 결 론

본 논문에서는 무선 이동통신 환경에서 MPEG-4 표준을 사용하여 동영상을 전송할 때 발생하게 될 비디오 패킷 손실의 영향을 최소화하기 위한 영상 오류 은닉 방법을 제안하였다. 제안 방법은 이동통신 단말기와 같이 저전력을 요구하는 환경에서 간단히 적용될 수 있는 방법으로서, MPEG-4 비디오 패킷에 포함된 매크로블록의 개수만을 이용하여 블록 반복 은닉 혹은 움직임 보상 은닉을 적용적으로 손실된 비디오 패킷에 적용하게 된다. 움직임이 거의 없는 배경이 큰 영상이나 움직임이 넓은 영역에 걸쳐 존재하는 영상에서 모두 좋은 성능을 보임을 실험 결과 알 수 있었다. 이러한 결과는 비디오 패킷 내에 포함된 매크로 블록의 개수가 해당 영역의 시공간적 신호 변화 특성을 반영하고 있다고 볼 수 있으므로 당연히 얻을 수 있는 성능이라 판단할 수 있다. 즉, 매크로블록이 많이 포함된 비디오 패킷 영역은 배경과 같은 곳일 확률이 높으며, 반대로 매크로블록이 적게 포함된 비디오 패킷은 움직임이 상대적으로 큰 물체 영역일 가능성이 높기 때문이다. 블록 복사 은닉만을 혹은 움직임 보상 은닉만을 적용하게 되는 고정된 은닉 방법에 비해 최대 1dB 이상의 PSNR 이득을 보았으며, 주관적 화질 측면에서도 나쁘지 않음을 알 수 있었다. 한편, 비디오 패킷에 포함

된 매크로블록의 개수는 비디오 패킷 헤더에 있는 매크로블록 번호를 이용하여 아주 간단히 계산될 수 있으며, 연속성 보정을 위한 보정 벡터를 추정하는데 필요한 계산량은 연속성 보정이 적용되는 매크로블록의 수가 아주 적으므로 무시할만한 정도이다.

제안된 적응적 오류은닉 방법은 매크로블록 개수와 관련된 두 개의 문턱값을 이용하여 은닉 방법을 선택하게 되는데, 본 논문에서는 하나의 실험 영상 시퀀스(sequence)에서, 비디오 패킷에 포함된 매크로블록의 개수 분포를 구하여 선택된 문턱값을 해당 영상의 모든 VOP에 적용하였다. 문턱값이 성능 향상에 많은 영향을 미치게 되므로, 앞으로 VOP 별 움직임 특성을 이용하고 양자화 계수와 같은 부호화 파라미터들을 반영한 국부 영역 적응적이며 분석적인 문턱값 선택 방법에 대한 추가 연구가 가능하다.

### 참 고 문 헌

- [1] "Information technology-Generic coding of audio-visual objects Part 2: Visual," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, ISO/IEC 14496-2.
- [2] Y. Wang and Q.-F. Zhu, "Error control and concealment for video communication: A review," Proceedings of the IEEE, Vol. 86, No. 5, pp. 974~997, May 1998.
- [3] "MPEG-4 video verification model version 14.0," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N2932, Oct. 1999.
- [4] "Video codec for audiovisual services at  $p \times 64$  kbits," International Telecommunication Union, ITU-T Recommendation H.261.
- [5] "Video coding for low bitrate communication," International Telecommunication Union, ITU-T Recommendation H.263.
- [6] "Information technology-Generic coding of moving pictures and associated audio information-Part 2: Video," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, ISO/IEC 13818-2.
- [7] S. Aign and K. Fazel, "Temporal & spatial error concealment technique for hierarchical MPEG-2 video codec," in Proc. 1995 Int. Conf. Communications, Vol. 3, pp. 1778~1783, 1995.
- [8] M. J. Chen, L.-G. Chen, and R.-M. Weng, "Error concealment of lost motion vectors with overlapped motion compensation," IEEE Trans. on CSVT, Vol. 7, No. 3, pp. 560~564, June 1997.
- [9] M. Al-Mualla, N. Canagarajah, and D. R. Bull, "Temporal error concealment using motion field interpolation," IEEE Electron. Lett., Vol. 35, No. 3, pp. 215~217, Feb. 1999.
- [10] M. C. Hong, H. Schwab, L. P. Kondi, and A. K. Katsaggelos, "Error concealment algorithms for compressed video," Signal process.: Image Commun. Vol. 14, No. 6~8, pp. 473~492, May 1999.
- [11] L. Atzori, F. G. B. De Natale, and C. Perra, "A spatio-temporal concealment technique using boundary matching algorithm and mesh-based warping," IEEE Trans. Multimedia, Vol. 3, No. 3, Sept. 2001.
- [12] S. Tsekeridou and I. Pitas, "MPEG-2 error concealment based on block-matching principles," IEEE Trans. CSVT, Vol. 10, No. 4, June 2000.
- [13] S. Valente, C. Dufour, F. Groliere, and D. Snook, "An efficient error concealment implementation for MPEG-4 video streams," IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol. 47, No. 3, pp. 568~578, Aug. 2001.
- [14] W.-M. Lam, A. R. Reibman, and B. Liu, "Recovery of lost or erroneously received motion vectors," ICASSP, Vol. 5, pp. 417~420, 1993.
- [15] S. Shirani, F. Kossentini, and R. Ward, "Reconstruction of motion vector missing macroblocks in H.263 encoded video transmission over lossy networks," ICIP, Vol. 3, pp. 487~491, Oct. 1998.
- [16] "Information technology-Generic coding of audio-visual objects Part 5: Reference testing," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, ISO/IEC 14496-5.

## 저 자 소 개



朴 善 榮(學生會員)

1997년~2001년 세종대학교 정보통신공학과(학사). 2001년~현재 세종대학교 정보통신공학과 석사 재학. <주관심분야 : 비디오 부호화, 영상 압축>



宋 準 鎬(正會員)

1990년~1996년 서강대학교 전자공학과(학사). 1996년~1998년 서강대학원 전자공학과(석사). 1998년~2000년 현대전자 주임연구원. 2000년~현재 바로비전 선임연구원. <주관심분야 : 비디오 부호화, 영상 통신>



文 柱 禧(正會員)

1981년~1985년 서강대학교 전자공학과(학사). 1985년~1987년 한국과학기술원 전기및전자공학과(석사). 1987년~1992년 한국과학기술원 전기및전자공학과(박사). 1992년~1994년 한국과학기술원 전자정보연구소(Post-Doc.). 1994년~1999년 현대전자 정보통신연구소 수석연구원. 1999년~현재 세종대학교 정보통신공학과 조교수. <주관심분야 : 영상 압축, motion analysis, MPEG, 무선멀티미디어, 디지털TV 등>