

# 무선 채널의 비트 에러에 강한 웨이블릿 비디오 코딩 기법

(A Bit-Error Resilient Wavelet Video Coding Scheme in Wireless Channels)

이 주 경 <sup>\*</sup> 정 기 동 <sup>\*\*</sup>

(Joo-Kyong Lee) (Ki-Dong Chung)

**요 약** 웨이블릿 기반 비디오는 DCT 기반 비디오에 비해 전송오류에 더 민감하다. 즉, 어떤 프레임의 부대역에 오류가 발생하면 같은 프레임의 다른 부대역뿐 아니라 그 프레임을 참조하는 이후 프레임의 복원에도 영향을 주어 비디오의 화질이 감소하게 된다. 본 논문에서는 프레임 간 참조를 수행하는 웨이블릿 비디오의 오류 전파를 줄이기 위해 프레임 내 참조 기법을 제안한다. 제안된 기법에서는 LL 부대역을 제외한 나머지 부대역에서 같은 프레임의 하위 부대역을 참조하여 다른 프레임으로의 오류전파를 줄인다. 무선 채널에서의 비트 에러 패턴을 이용하여 모의실험을 수행한 결과 화면의 움직임이 빠른 비디오에서는 제안된 기법의 성능이 압축율에 관계없이 우수하였으며 화면의 움직임이 거의 없는 비디오에서는 비트율이 높은 경우에 성능이 높은 것으로 나타났다.

**키워드** : 웨이블릿 비디오, 오류 전파, 프레임 내 참조, 오류 탄력성

**Abstract** A wavelet-based video stream is more susceptible to the network transmission errors than DCT-based video. This is because bit-errors in a subband of a video frame affect not only the other subbands within the current frame but also the subsequent frames. In this paper, we propose a video source coding scheme called IPC(Intra Prediction Coding) scheme in order to reduce the error propagation to the subsequent frames. In the proposed scheme, a subband except LL subband in the current frame refers to the lower-level subband within the same frame. This reduces the error propagation to subsequent frames. We evaluated the performance of our proposed scheme in the simulated wireless network environment. As a result of tests, it was shown that the proposed algorithm shows better performance than MRME in a heavy motion image sequence while IPC outperforms MRME at a high bit-rate in small motion image sequence.

**Key words** : Wavelet video, Error propagation, Intra Prediction Coding, Error resilience

## 1. 서 론

개인 휴대용 단말기가 널리 보급되면서 멀티미디어 데이터 전송을 위한 네트워크 환경이 기존의 유선 환경에서 무선 환경으로 급속히 변하고 있다. 이에 따라 데이터의 압축율을 개선한 DCT 기반 비디오 표준인 H.263[1], MPEG-4[2]가 발표되었으며 낮은 비트율에 효율적인 웨이블릿(Wavelet Transform) 기반 이미지 [3-5] 및 비디오 코덱[6] 구현을 위한 많은 연구가 진행

되어 왔다.

일반적으로 DCT(Discrete Cosine Transform) 기반 비디오의 경우 압축효율을 높이기 위해 프레임 간 참조를 수행하는데, 특정 프레임에 발생한 네트워크 오류는 이후 프레임의 화질에도 지속적인 영향을 미치게 된다. DCT 기반 비디오의 전송 오류를 제어하기 위한 기존의 기법을 수행 주체에 따라 분류하면 부호기에서의 소스코딩 기법, 복호기에서의 오류은닉 기법, 부호기와 복호기가 상호 작용을 수행하는 피드백 채널 기법 등으로 나눌 수 있다. 소스코딩 기법은 압축과정을 거쳐 생성된 비트열(bit-streams)이 오류에 잘 견디도록 코딩하여 프레임 내의 오류전파 영역을 제한하는 기법이다. 대표적인 예로 RVLC[7], EREC[8], ISD[9] 기법을 들 수 있다. RVLC(Reversible Variable Length Codes) 기법은

<sup>\*</sup> 학생회원 : 부산대학교 전자계산학과  
jklee@melon.cs.pusan.ac.kr

<sup>\*\*</sup> 종신회원 : 부산대학교 전자계산학과 교수  
kdchung@pusan.ac.kr

논문접수 : 2003년 6월 7일

심사완료 : 2003년 8월 6일

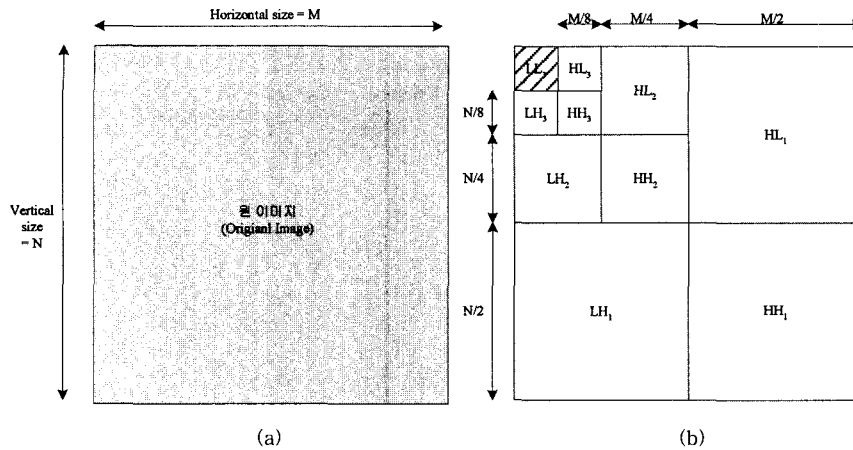


그림 1 웨이블릿 변환 전 이미지(a)와 3단계 변환된 후 이미지(b)

비트열을 순방향과 역방향으로 모두 복원 가능하도록 한 VLC 기법이다. 이 기법은 비트열에 오류가 발생하면 오류 발생 지점부터 동기화 정보 지점까지의 모든 비트열을 버리는 기존 기법과 달리 동기화 정보 지점에서 오류 발생지점까지 역방향으로 데이터 복원이 가능하다. MPEG-4 표준에서 이 기법을 채용하고 있다. EREC(Error Resilient Entropy Coding) 기법은 VLC 코딩된 블록들을 재배치하여 오류 전파를 제어하는 기법이다. 즉, 길이가 서로 다른 블록들을 주어진 크기의 슬롯에 맞추고 블록의 일부가 남으면 비어있는 슬롯에 삽입하여 재배치함으로써 오류전파를 막는 기법이다. ISD(Independent Segment Decoding)는 H.263+의 옵션으로서 블록이 참조하는 이전 프레임의 영역을 한 개의 GOB(Group of Block)로 제한한다. 이 방법은 참조 블록에 오류가 발생하더라도 오류는 한 개의 GOB만 영향을 받도록 한다. 이 세 가지 기법은 압축 효율은 낮아 지지만 오류 발생시 화질을 유지할 수 있는 장점이 있다. 수신자의 복호기가 수행하는 오류은닉 기법[10,11]은 블록에 오류가 발생하면 프레임 내의 이웃한 블록 또는 직전 프레임의 블록을 복사하는 기법이다. 오류은닉 기법은 소스코딩이나 피드백 채널 기법을 적용하기 위한 보조수단으로 사용된다. 피드백 채널 기법의 대표적인 예로 RPS(Reference Picture Selection)가 있다. 이 기법에서는 수신자의 복호기가 오류를 발견하면 NACK 메시지를 송신자에 전달한다. NACK 메시지를 받은 송신자의 부호기는 오류가 발생한 프레임 이전에 압축되었던 프레임 중 한 개를 선택하여 현재 프레임의 압축에 이용함으로써 오류전파를 막는다[12,13]. 그러나 이 기법도 NACK 메시지가 수신자에서 송신자로 전송되는

시간동안 발생하는 오류전파를 피할 수 없다[14].

웨이블릿 기반 비디오의 경우 DCT 기반 비디오에 비하여 전송오류가 미치는 영향이 더 크게 나타나는데 이는 웨이블릿 변환의 특성에 기인한다. 그림 1의 (a)는 2차원 웨이블릿 변환 전 이미지를 보여주고 있으며 (b)는 3단계 웨이블릿 변환된 이미지로 총 10개의 부대역이 생성된 것을 보여주고 있다. 이때, 웨이블릿 변환 단계가 높은 부대역일수록 픽셀의 중요도는 커지게 되며 원이미지를 복원할 때 하위 단계 부대역의 복원에 영향을 미치게 된다. 예를 들면, 3단계의  $LL_3$ ,  $LH_3$ ,  $HL_3$ ,  $HH_3$  부대역에 대하여 IDWT(Inverse Discrete Wavelet Transform)를 수행하면  $LL_2$ 가 생성되며  $LL_2$ 는 2단계 부대역의 IDWT에 사용된다.

이와 같은 웨이블릿 변환의 특성으로 프레임 간 참조를 수행하는 웨이블릿 비디오의 경우 네트워크 상에서 전송오류가 발생하면 현재 프레임뿐 아니라 이후 프레임에 오류가 전파되는 문제가 발생한다. 기존 웨이블릿 기반 이미지 또는 비디오에 대한 오류제어 기법으로는 SPIHT(Set Partitioning In Hierarchical Trees)에 적용한 소스코딩 기법[15,16]이 있으나 프레임 간 참조를 이용하는 비디오의 소스코딩 기법에 관한 연구는 거의 없다.

본 논문에서는 프레임 간 참조를 이용하는 비디오의 오류제어를 위해 프레임 내 참조 기법을 제안한다. 제안된 기법에서는 상위 단계의 부대역에서 같은 방향의 하위 단계 부대역을 참조하여 압축을 수행한다. 단, 압축의 효율성을 고려하여 최상위 단계의  $LL_M$ <sup>1)</sup> 부대역은 이전 프레임의  $LL_M$  부대역과의 움직임 예측을 수행하

1)  $LL_M$ 은 M단계 변환된 웨이블릿 이미지의  $LL$  부대역을 의미한다.

고 최하위 단계의 부대역(LH<sub>1</sub>, HL<sub>1</sub>, HH<sub>1</sub>)은 움직임 예측을 수행하지 않는다. 이때, 같은 방향의 부대역이란 동일한 웨이블릿 필터를 적용한 부대역을 의미한다. 예를 들면 LH<sub>2</sub> 부대역은 LH<sub>3</sub> 부대역과 같은 방향의 하위 부대역이다. 제안된 기법에서는 LL<sub>M</sub> 부대역을 제외하고 나머지 부대역은 프레임 간 참조를 수행하지 않으므로 LL<sub>M</sub> 부대역이 보호된다면 나머지 부대역에서 오류가 발생하더라도 이후 프레임으로 오류가 전파되지 않는다는 장점이 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안된 기법과의 비교대상이며 프레임 간 참조를 수행하는 MRME(Multi-Resolution Motion Estimation)에 대하여 살펴보고 3장에서는 프레임 내 참조 기법(Intra Prediction Coding)의 구체적인 알고리즘을 설명하도록 한다. 4장에서는 모의실험을 통해 제안된 기법의 성능을 평가하고 5장에서는 결론 및 향후 연구 과제를 밝히도록 한다.

2. MRME(Multi-Resolution Motion Estimation)(6)

MRME는 웨이블릿 기반 비디오의 움직임 예측 기법으로 블록매칭이나 부대역간 예측기법(subband-to-subband prediction)에 비하여 계산복잡도와 성능에서 우수하다[17]. MRME 기법에서는 움직임 예측을 위한 계산량을 줄이기 위해 최상위 부대역의 모션벡터를 계산한 후 나머지 부대역의 움직임 예측에 활용한다. MRME는 최상위 부대역의 선택 및 하위 부대역에서의 움직임 예측 수행여부에 따라 4가지 기법으로 나뉜다. 본 논문의 실험에서는 LL<sub>M</sub> 부대역의 모션벡터를 이용하여 나머지 부대역의 모션벡터 계산에 활용하고 움직임 예측도 수행하는 3번 기법을 적용하여 제안된 기법

과 성능을 비교한다.

MRME는 LL<sub>M</sub> 부대역의 모션벡터를 구하는 단계와 LL<sub>M</sub> 부대역의 모션벡터를 이용하여 나머지 부대역의 정확한 모션벡터를 계산하는 단계로 나눌 수 있다. 그림 2는 LL<sub>M</sub> 부대역의 모션벡터를 이용하여 하위 단계의 부대역인 LH<sub>M-1</sub> 부대역의 모션벡터를 구하는 과정을 보여주고 있다. 식 (1)은 *i*단계 *j*번 부대역의 (*x*, *y*)블록의 모션벡터를 구하는 식이다. 이 블록의 모션벡터는 LL<sub>M</sub> 부대역의 모션벡터(*V*<sub>M,0</sub>)를 *i*단계 부대역의 블록에 맞게 비율(2<sup>*M*-*i*</sup>)을 조정된 후, 정확한 모션벡터를 계산하기 위해 좁은 범위에서 움직임 예측( $\delta_{i,j}(x,y)$ )을 수행하여 얻어진다.

$$V_{i,j}(x,y) = 2^{M-i}V_{M,0}(x,y) + \delta_{i,j}(x,y)$$

for  $i = 0, 1, 2, \dots, M$  and  $j = 1, 2, 3$  (1)

3. 프레임 내 참조 기법(Intra Prediction Coding)

그림 3은 3단계 웨이블릿 변환된 프레임 F(*t*)에서 IPC를 수행하는 예를 보여주고 있다. 프레임에서 가장 중요한 부대역인 LL<sub>3</sub> 부대역은 프레임 전체의 형태 정보를 포함하고 이전 프레임의 LL<sub>3</sub> 부대역과 유사하므로 이전 프레임과의 움직임 예측을 수행한다. 그 외 부대역은 같은 방향의 하위 부대역을 참조하는데, 최하위 단계의 부대역인 LH<sub>1</sub>, HL<sub>1</sub>, HH<sub>1</sub> 부대역은 계산복잡도와 압축효율을 고려하여 움직임 예측과 보상을 수행하지 않는다. 웨이블릿 변환된 프레임의 최하위 부대역은 프레임의 상세 정보를 포함하므로 프레임 간 변화가 큰 비디오의 경우 이웃한 프레임의 최하위 부대역과의 유사성이 낮아진다. 이 경우 이웃한 프레임과의 움직임 예측은 오히려 비디오 압축율을 감소시킬 수 있으므로 IPC에서는 최하위 부대역의 움직임 예측과 보상을 수행하지 않는다.

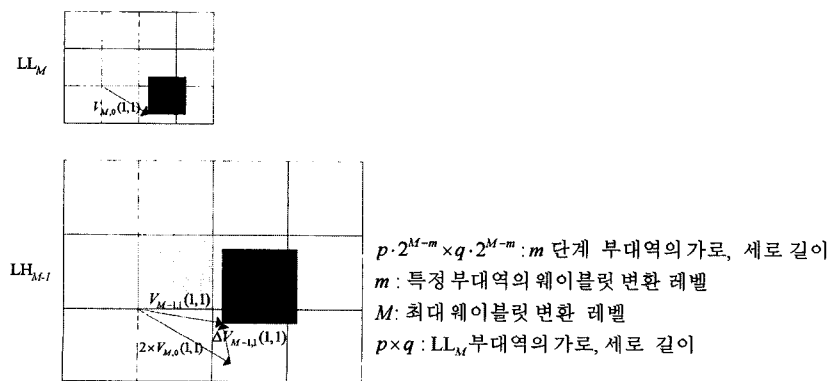


그림 2 LL<sub>M</sub> 부대역의 모션벡터를 이용한 하위 부대역의 움직임 예측

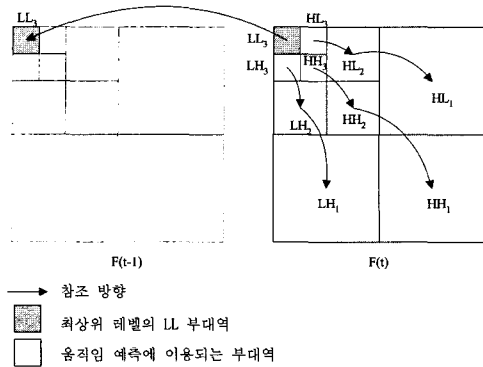


그림 3 3단계 웨이블릿 변환된 프레임의 프레임 내 참조

### 3.1 LL<sub>M</sub> 부대역의 움직임 예측

LL<sub>M</sub> 부대역은 프레임 전체의 중요 정보를 포함하며 다른 부대역에 비하여 계수값 큰 특징이 있다. 프레임 내 참조기법은 움직임 예측을 수행하는 모든 부대역을 동일한 수의 블록으로 분할하여 각 블록의 모션벡터를 구한다. 식 (2)는 LL<sub>M</sub> 부대역 내 블록의 모션벡터를 계산하기 위해 SAD(Sum of Absolute Difference)를 계산하는 식을 보여주고 있다. SAD는 현재 블록과 참조 프레임 내 후보 블록의 차이값을 구한 것이다. 이때, 후보 블록은 움직임 예측 범위( $p$ )에 따라 다양하며 그 중에서 SAD가 가장 작은 블록의 위치가 현재 블록의 모션벡터가 된다.

$$SAD(i, j) = \sum_{k=0}^{p-1} \sum_{l=0}^{p-1} |LL_M^t(x+k, y+l) - LL_M^{t-1}(x+k+i, y+l+j)| \quad (2)$$

$$MV(k, l) = \arg \min SAD(i, j), \quad -p \leq i, j \leq p$$

$LL_M^t$  : t 시점 프레임의 LL<sub>M</sub> 부대역

$px, py$  : LL<sub>M</sub> 부대역 블록의 가로, 세로 길이

$p$  : 움직임 예측 범위

$MV(k, l)$  : LL<sub>M</sub> 부대역의 ( $k, l$ ) 블록의 모션벡터

### 3.2 그 외 부대역의 움직임 예측

프레임 내 움직임 예측은 LL<sub>M</sub> 부대역을 제외한 최상위 부대역(LH<sub>M</sub>, HL<sub>M</sub>, HH<sub>M</sub>)의 모션벡터를 계산하고 최상위 부대역의 모션벡터를 이용하여 M-1~2 단계 부대역의 모션벡터를 구하는 과정이다. 식 (3)은 프레임 내 참조를 통하여 최상위 부대역의 모션벡터를 구하는 식이며 다음과 같은 특징이 있다. 첫째, 상위 부대역은 동일한 방향의 하위 부대역을 참조한다. 예를 들면, M 단계 s부대역의 참조 부대역은 M-1단계 s부대역이 된다. 또한 참조 부대역의 가로, 세로 길이는 각각 M단계 부대역의 2배가 된다. 둘째, 상위 부대역은 하위 부대역보다 계수의 평균값이 크므로 효율적인 움직임 예측을

위해 보간 상수 K가 필요하다.

$$SAD_{M,s}(i, j) = \sum_{l=0}^{p-1} \sum_{k=0}^{p-1} |S_{M,s}(x+k, y+l) - K \times S_{M-1,s}(2x+k+i, 2y+l+j)| \quad (3)$$

$$MV_{M,s}(x, y) = \arg \min SAD_{M,s}(i, j)$$

$$-p \leq i, j \leq p, 1 \leq s \leq 3$$

$px, py$  : LL 부대역의 가로, 세로 길이

$S_{M,s}(i, j)$  : M단계의 s번 부대역의 ( $i, j$ )픽셀의 계수값

M : 웨이블릿 변환 최대 레벨

K : 부대역간 보간 상수

p : 움직임 예측 범위

식 (3)을 통하여 최상위 단계(M) 부대역의 모션벡터를 계산했다면 하위 단계(M-1~2) 부대역의 모션벡터를 구하기 위해 식 (4)를 적용한다. 식 (4)에서 m단계의 모션벡터는 상위단계 부대역(m+1)의 모션벡터를 2배로 확대하여 1차적인 모션벡터를 구한 후, 좀 더 정확한 모션벡터를 구하기 위해 참조블록과의 움직임 예측( $\Delta(\delta x, \delta y)$ )을 시행한다. 이때, 움직임 예측은 식 (3)을 적용하여 수행되며 예측범위를 좁혀서 계산량을 줄인다.

$$MV_{m,s}(x, y) = 2 \cdot MV_{m+1,s}(x, y) + \Delta(\delta x, \delta y) \quad (4)$$

$$2 \leq m \leq M-1$$

### 3.3 움직임 보상

LL<sub>M</sub> 부대역의 움직임 보상은 기존 비디오 코덱에서의 움직임 보상과 같이 이전 프레임과의 차이값을 구한다. 그 외 부대역의 경우 동일한 프레임 내의 하위 부대역과의 차이를 계산하게 되므로 보간상수 K를 사용해야 한다. 식 (5)는 m단계 부대역의 움직임 보상을 수행하기 위해 m-1단계의 부대역에 모션벡터를 적용하고 보간 상수 K를 곱하여 두 부대역 간 차이를 구하는 과정을 나타내고 있다.

$$R_{m,s} = S_{m,s} - K \cdot S_{m-1,s}(MV_{m,s}) \quad (5)$$

$$2 \leq m \leq M, 1 \leq s \leq 3$$

지금까지 기술한 프레임 내 참조 기법을 정리하면 그림 4와 같다.

## 4. 성능 평가

제안된 기법의 성능평가를 위해 Geoff Davis[18]의 웨이블릿 이미지 코덱을 MAD(Mean Absolute Difference)에 따라 MRME 또는 IPC모드로 동작하는 비디오 코덱으로 수정하였다. 수정된 코덱은 비디오의 첫 프레임을 I 프레임으로 압축하고 이후 프레임은 MRME 또는 IPC로 압축한다. 안정적인 실험결과를 얻기 위해 비디오의 첫 4프레임에 대해서는 네트워크 오류를 적용

```

Intra_Inter_ME(Input : c_frame, prev_frame, max_level, block_numbers,
Output : mc_frame, MV )
/* c_frame : 현재 프레임, prev_frame : 참조 프레임, max_level : DWT변환 최대 레벨,
block_numbers : 부대역의 블록 수, mc_frame : 움직임 보상이 수행된 프레임,
MV : 모션벡터의 집합 */
{
M = max_level ; /* DWT 변환 최대레벨 */
BN = block_numbers ; /* 부대역의 블록 수 */

for(i = 0; i < BN; i++) /* LL 부대역의 ME/MC */
MV[M][0][i] = Do_LL_MEMC(i, c_frame, prev_frame) ; /* 식 (3.1) 적용 */
for(j = 1; j <= 3; j++) /* M 레벨의 부대역에 대하여 */
for(i = 0; i < BN; i++) /* 블록의 ME 수행 */
MV[M][j][i] = Intra_pred(M, j, i, c_frame) ; /* 식(3.2) 적용 */
for(k = M-1; k > 1; k--) /* M-1 이하의 부대역에 대하여 */
for(j = 1; j <= 3; j++)
for(i = 0; i < BN; i++)
MV[M][j][i] = Intra_pred(MV, k, j, i, c_frame) ; /* MV 계산 : 식(3.3) 적용 */
mc_frame = Do_MC(MV, c_frame, prev_frame) ; /* MV를 이용하여 MC 수행 식(3.4) */
}
    
```

그림 4 프레임 내 참조 기법 알고리즘

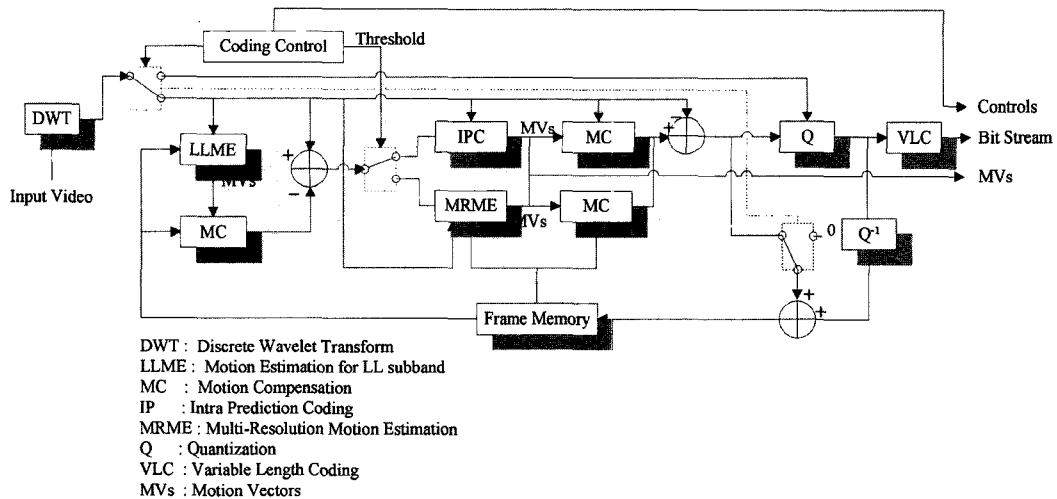


그림 5 실험에 이용된 비디오 코덱의 블록도

하지 않았다.

그림 5는 수정된 비디오 코덱의 블록도로서 LLM 부대역의 움직임 보상을 수행한 후 프레임의 참조 모드를 결정한다. 즉, 움직임 보상을 수행한 LLM 부대역의 MAD가 주어진 임계치보다 작으면 MRME를 수행하고 그렇지 않으면 IPC를 수행한다. 이때, MAD는 두 LLM 부대역의 계수 당 평균 차이값으로 MAD가 클수록 화면 간 변화가 크다는 것을 의미한다. 식 (6)은 LLM 부대역의 MAD를 구하는 식이다.

$$MAD(LL'_M) = \left(\frac{1}{MN}\right) \sum_{i=0}^{H-1} \sum_{j=0}^{V-1} |LL'_M(i, j) - LL_M^{-1}(i, j)| \quad (6)$$

$H, V$  :  $LL_M$  부대역의 가로, 세로 길이

$LL'_M(i, j)$  :  $LL_M$  부대역의  $(i, j)$ 번의 계수 값

실험에 사용된 비디오 소스와 웨이블릿 변환을 위한 인자는 표 1과 같다. 표에서 보간 상수  $K$ 는 식 (3)에서 설명한 바와 같이 상위 부대역과 하위 부대역의 계수값의 차이를 보완하기 위한 상수이다. 다양한 종류의 비디오에 대하여 MAD가 최소가 되도록 상수를 변화시켜

표 1 실험에 사용된 인자들

인자		설명	
동영상 포맷		QCIF(176×144)	
동영상	파일명	claire.qcif	foreman.qcif
	움직임정도	비교적 낮음	비교적 높음
재생률	원영상	30 fps	
	압축영상	10 fps	
웨이블릿 변환단계		3	
웨이블릿 필터		Antonini 7/9	
보간 상수 K		3	

실험한 결과 웨이블릿 변환 단계에 따라 약간의 차이는 있었으나 평균적으로 K=3일 때 MAD가 최소가 되었다.

본 논문에서는 제안된 기법의 성능평가 단위로 PSNR (Peak-signal-to-noise ratio)을 사용하였으며 다음과 같이 정의된다. 식 (7)에서  $x_i$ 는 압축 전 프레임의 픽셀 값이며,  $\hat{x}_i$ 는 복원된 값이다. 전체적으로 소스의 픽셀 값과 복원된 픽셀 값의 차이가 크면 PSNR은 감소한다. QCIF 파일은 한 개의 휘도 성분과 2개의 색상 성분으로 구성되는데 실험에서는 복원된 프레임의 휘도 성분에 대한 PSNR을 측정하였다.

$$PSNR[dB] = 10 \cdot \log_{10} \frac{255^2}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_i)^2} \quad (7)$$

실험의 편의를 위하여 압축된 비디오 데이터에 비트 에러가 발생하면 부대역내에서 에러가 발생한 블록과 같은 줄에 있는 모든 블록이 복원 불가능하다고 가정하였다. 복호기에서 복원이 불가능한 블록에 대해서는 참조 모드에 관계없이 이전 프레임의 같은 위치에 있는 블록을 복사하는 간단한 오류내성 기법을 적용하였다.

본 논문에서는 무선 채널에서 전송되는 비디오의 화질을 측정하기 위해 길버트 모델[19]의 에러 패턴과 WCDMA에서의 에러 패턴을 이용하여 성능을 측정하였다. 그림 6의 길버트 모델은 "Good" 상태 G와 "Bad" 상태 B만을 가진 2-상태 마코프 체인 모델로서 무선 네트워크에서 발생하는 비트 에러의 특징을 나타내기 위해 제안되었다.

그림 6의 각 상태는 일정한 BER(Bit Error Rate)를 가지며 상태 B의 BER( $e_B$ )이 상태 G의 BER( $e_G$ )보다 훨씬 크다. 길버트 모델에서  $p$ 는 상태 G에서 상태 B로

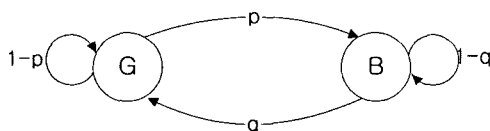


그림 6 길버트 에러 발생 모델

표 2 길버트 모델의 오류생성 인자

인자	값
$e_G$	0.0002
$e_B$	0.1
$p$	$10^{-4} \sim 10^{-1}$
$q$	0.0008
bit-rate	64kbps ~ 1.7Mbps

바뀔 확률이며,  $q$ 는 상태 B에서 상태 G로 바뀔 확률이다. 실험에 사용된 에러 패턴을 생성하기 위한 길버트 모델의 입력 인자는 표 2와 같다.

그림 7과 그림 8은 각각 Foreman과 Claire 비디오에 길버트 모델의 에러 패턴을 적용하여 복원된 비디오의 PSNR을 비교한 것으로  $10^{-4} \sim 10^{-1}$ 까지의 다양한 네트워크 에러율을 적용하여 실험하였다. 그림에서 T는 프레임의 참조 모드(MRME 또는 IPC)를 결정하는 임계치를 의미하며 T가 작을수록 프레임 IPC의 비율이 높아지고 T가 클수록 MRME 비율이 높아진다. Foreman 비디오에서 T=2이면 첫 프레임을 제외한 나머지 프레임은 IPC를 적용하여 압축되며 T=5이면 90%, T=7이면 55%, T=10이면 5%, T=15이면 첫 프레임을 제외한 모든 프레임에 MRME가 적용된다. 실험결과 Foreman의 경우 BER의 변화에 관계없이 IPC의 비율이 높을수록 PSNR이 높은 것으로 나타났다. 즉, 화면의 변화가 큰 비디오에서는 MRME보다 IPC를 적용한 비디오의 PSNR이 높다는 의미이다. 이때, 압축된 비디오의 평균 비트율은 참조 모드의 비율에 관계없이 평균 424Kbits/sec 정도로 나타났다.

프레임 간 변화가 거의 없는 Claire 비디오의 임계치는 Foreman의 임계치보다 낮는데, 프레임 간 MAD가 낮기 때문이다. Claire 비디오에서 T=0.5이면 첫 프레임을 제외한 모든 프레임이 IPC모드로 동작하며, T=1이면 75%, T=1.5이면 30%, T=2이면 10%, T= 10이면 모든 프레임에 MRME가 적용된다. Claire의 경우 Foreman에서의 결과와 달리 IPC의 비율이 높을수록 압축율이 낮아짐을 알 수 있었다. 그림 8에서는 전체 프레임에 MRME를 적용한 경우 573Kbits/sec이며 IPC만 적용한 경우 599Kbits/sec로 IPC가 4% 정도의 압축율이 낮은 것으로 나타났지만 그림 7과 유사하게 IPC의 적용 비율이 높을수록 복원된 비디오의 PSNR이 높음을 알 수 있다.

그림 9와 그림 10은 각각 그림 7과 그림 8과 같은 조건에서 복원된 비디오의 각 프레임에 대한 PSNR을 비교한 것이며 이때의 BER은  $10^{-4}$ 이다. 그림 9에서는 첫 10여 프레임에서 MRME의 PSNR이 높게 나타나는데

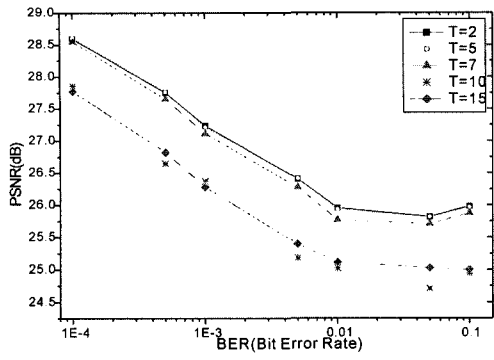


그림 7 Foreman 비디오의 에러율 변화에 따른 평균 PSNR 비교(424Kbps)

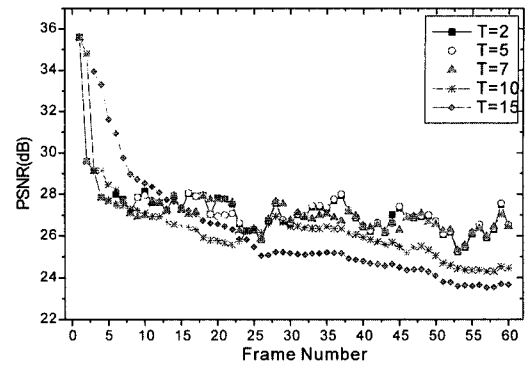


그림 9 Foreman 비디오의 프레임별 PSNR 비교

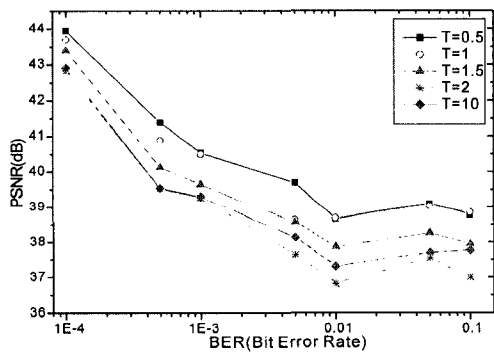


그림 8 Claire 비디오의 에러율 변화에 따른 평균 PSNR 비교

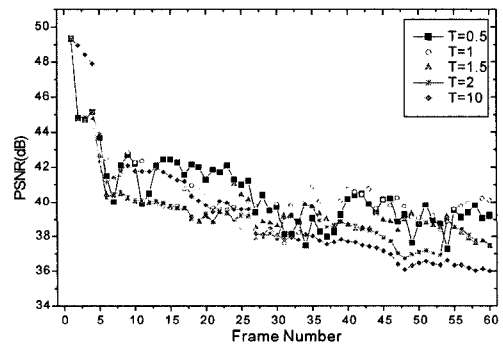


그림 10 Claire 비디오의 프레임 PSNR 비교

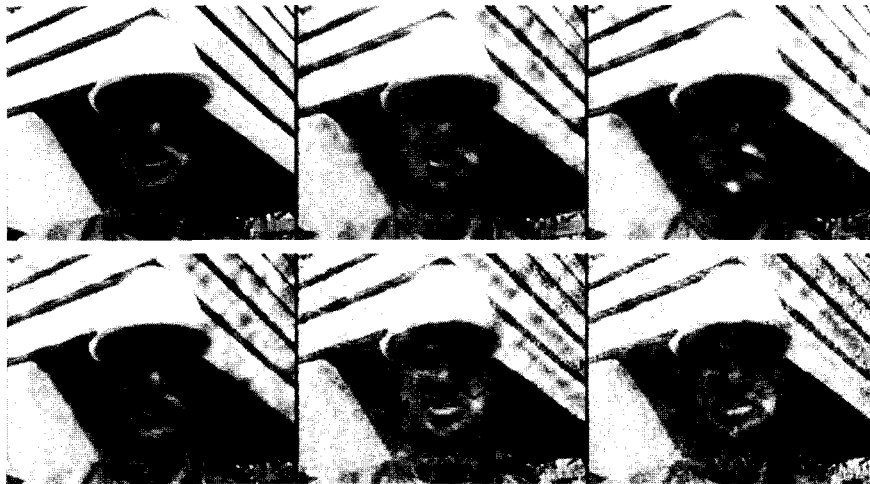


그림 11 BER =  $10^{-3}$ 일 때, Foreman의 51번째 프레임 이미지 비교

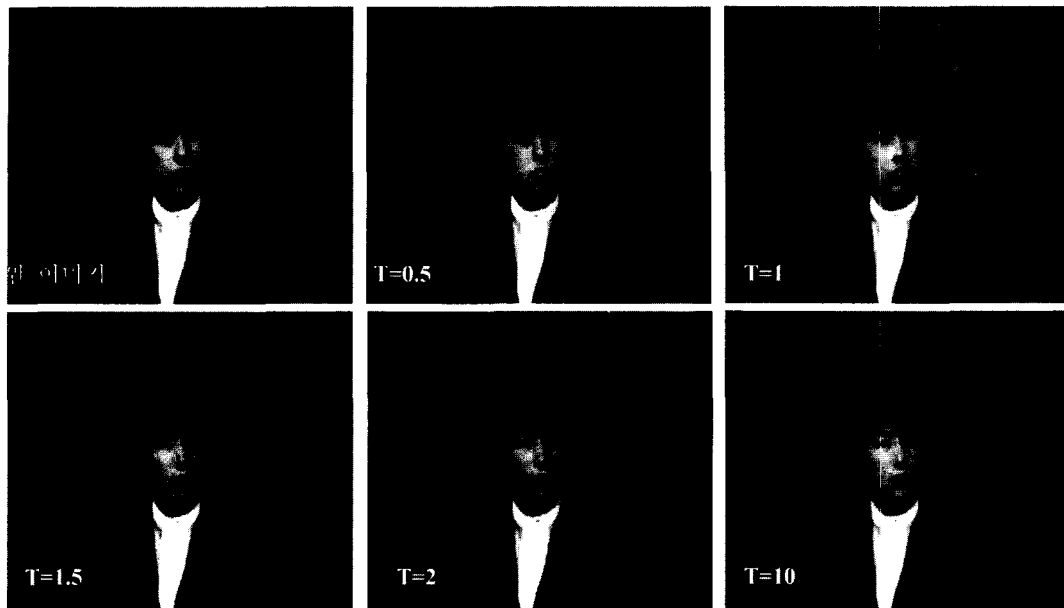


그림 12 BER=  $10^{-3}$ 일 때, Claire의 51번째 프레임 이미지 비교

이것은 프레임 간 변화가 작은 초기에 MRME의 성능이 높게 나타나는 것으로 보인다. 그러나 이후 프레임에서는 T=2~7인 비디오의 PSNR이 높게 나타나며 모든 프레임을 MRME로 압축한 비디오의 PSNR이 가장 낮은 것으로 나타났다. Claire 비디오는 Foreman에 비해 임계값에 따른 PSNR의 변화가 다양하며 IPC의 비율이 높을수록 PSNR이 대체로 높게 나타남을 알 수 있다.

그림 11은 그림 9의 비디오에서 51번째 프레임의 실제 이미지를 보여주고 있다. 좌측 상단의 이미지가 오류가 발생하지 않은 프레임의 이미지이며 차례로 T=2~15를 적용한 비디오의 이미지이다. 전체적으로 IPC의 비율이 높을수록 이미지의 느낌이 부드러우며 이미지가 선명하다. 그러나 MRME의 비율이 높을수록 이미지가 날카로우며 선명도가 떨어진다.

그림 12는 Foreman과 마찬가지로 그림 10의 51번째 프레임의 실제 이미지를 보여주고 있다. 그림 좌측 상단의 이미지가 오류가 발생하지 않은 프레임의 이미지이며 차례로 T=0.5~10을 적용한 비디오의 이미지이다. 오류은닉 기법을 적용하여 배경화면은 거의 손상없이 복원되었으나 얼굴과 머리카락선에서 IPC의 비율이 높을수록 선명함을 알 수 있다.

다음은 WCDMA 네트워크에서의 오류패턴을 이용하여 복원된 비디오의 성능을 실험한 것이다. 여러 패턴을 생성하기 위해 사용된 인자는 표 3과 같다.

표 3 WCDMA 네트워크에서의 오류생성 인자

인자	값
bit-rate	200kbps ~ 1.7 Mbps
Carrier frequency	1.9GHz
Doppler frequency	5.3, 70, 211Hz
BER	$10^{-3}$ , $10^{-4}$
Channel type	Vehicular A

그림 13은 도플러 주파수가 70Hz 즉, 40km/h의 속력으로 움직이는 물체에서의 BER을 각각  $10^{-3}$ 과  $10^{-4}$ 로 고정하여 Foreman 비디오의 평균 PSNR을 비교한 것이다. 실험결과 BER에 관계없이 IPC의 비율이 높을수록 PSNR이 높음을 알 수 있다. 또한 T=5와 T=7과 같이 IPC와 MRME가 모두 포함된 비디오의 경우 비트율이 낮을수록 순수 MRME에 비해 효율적임을 알 수 있었다. 그 외 도플러 주파수가 5.3, 211Hz인 경우에도 매우 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

그림 14는 Claire 파일의 성능을 비교한 것으로 임계치 변화에 따른 PSNR 변화가 매우 크다는 것을 알 수 있다. 그러나 전체적으로 MRME 기법의 성능은 압축율에 크게 영향을 받지 않고 일정한 반면 IPC의 경우 압축율에 큰 영향을 받는다. 이는 현재 사용한 코덱의 양자화 기법이 낮은 부대역의 데이터를 크게 절단하는데서 기인한다고 여겨진다. 이러한 양자화 기법은 움직임을



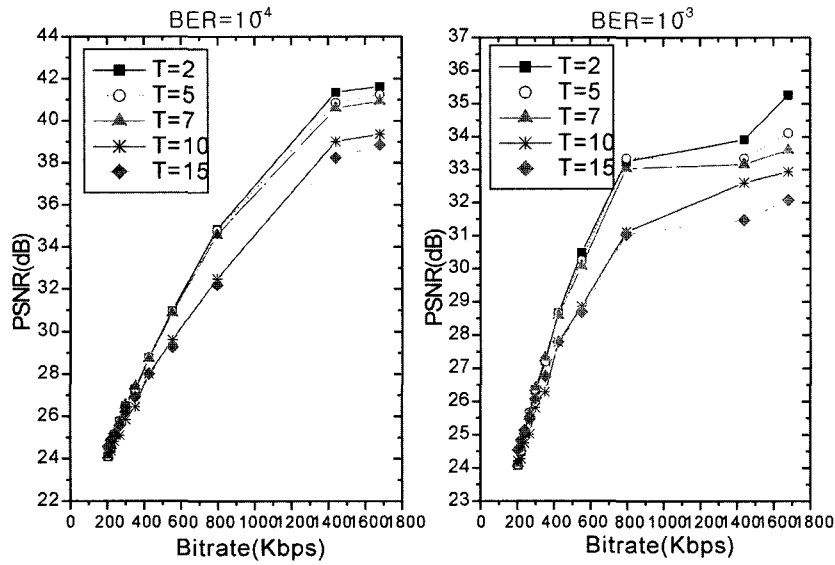


그림 13 BER이 10<sup>-4</sup>과 10<sup>-3</sup>에서의 비트율 변화에 따른 성능변화 비교(Foreman)

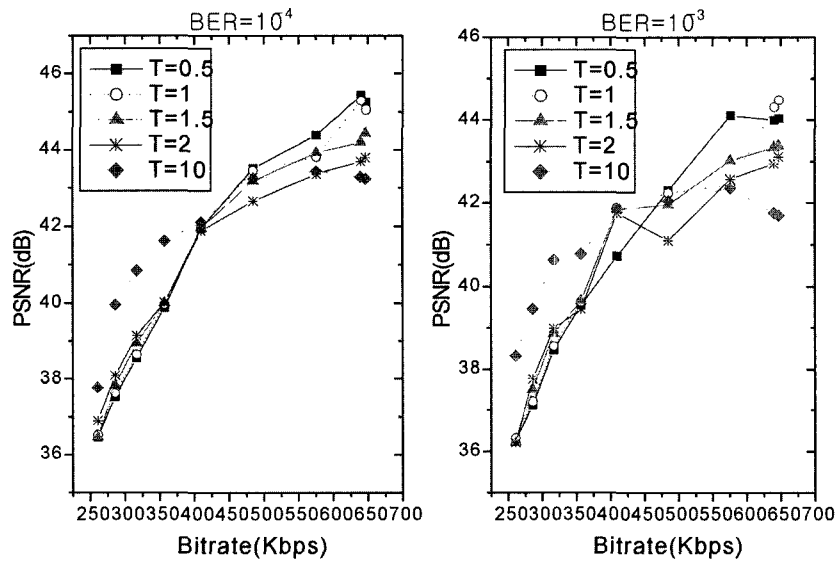


그림 14 BER이 10<sup>-4</sup>과 10<sup>-3</sup>에서의 비트율 변화에 따른 성능변화 비교(Claire)

이 거의 없는 비디오에서의 IPC의 효율성을 떨어뜨려 PSNR이 낮게 나타난다. 그러나 그림 12에서와 마찬가지로 주관적인 성능 평가에서는 IPC의 성능이 우수한 것으로 나타났다.

### 5. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 프레임 간 참조를 수행하는 웨이블릿 기반 비디오의 오류제어를 위해 프레임 내 참조 기법(IPC)을 제안하였다. 제안된 기법에서 LL<sub>M</sub> 부대역은 이웃한 프레임과의 유사성을 고려하여 이전 프레임과의 움직임 예측을 수행하고 그 외 부대역에서는 같은 프레임의 하위 부대역을 참조하도록 하였다. 무선 채널에서

의 여러 패턴을 이용하여 실험한 결과 움직임이 빠른 비디오의 경우 제안된 기법의 성능이 MRME보다 우수하였으며 움직임이 거의 없는 비디오의 경우 비트율이 높은 경우 성능이 우수함을 알 수 있었다. 향후 연구 과제로는 웨이블릿 계수의 변환과 양자화기법 개선을 통하여 압축된 비디오의 성능을 높이는 비디오 코덱을 제안하는 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] "Video coding for low bitrate communication," International Telecommunications Union, Geneva, Switzerland, ITU-T Recommendation H.263, 1998.
- [2] R. Koenen, "Overview of MPEG-4 standard," in ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N4668, <http://mpeg.telecomitalia.com/standards/mpeg-4/mpeg-4.htm>
- [3] J. M. Shapiro, "Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients," IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 41, No. 12, pp.3445-3462, Dec. 1993.
- [4] Amir Said, William A. Pearlman, "A New Fast and Efficient Image Codec Based on Set Partitioning in Hierarchical Trees," IEEE Trans. CSVT, Vol. 6, No. 3, pp.243-250, June, 1996.
- [5] C. Christopoulos, A. Skodras, Touradj Ebrahimi, "The JPEG2000 still image coding system: An Overview," IEEE Trans. Consumer Electronics, Vol. 46, No. 4, pp.1103-1127, Nov., 2000.
- [6] Y. Zhang and S. Zafar, "Motion-compensated wavelet transform coding for color video compression," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., Vol.2 pp.285-296, Sept. 1992.
- [7] Y. Takashima, M. Wada, and H. Murakami. "Reversible variable length codes," IEEE Trans. Communications., vol. 43, pp. 158-162, Feb./Mar./Apr. 1995.
- [8] D. W. Redmill and N. G. Kingsbury, "The EREC: An error resilient technique for coding variable-length blocks of data," IEEE Trans. Image Processing, vol. 5, pp.565-574, Apr. 1996.
- [9] S. Wenger, G.Knorr, J. Ott, F. Kossentini: "Error resilience support in H.263+," IEEE Trans. on circuit and System for Video Technology, vol. 8, no. 6 pp.867-877, Nov. 1998.
- [10] S. Aign, "Error concealment for MPEG-2 video," Signal Recovery Techniques for Image and Video Compression and Transmission," A. K. Katsagelos and N. P. Galatsanos, editors, ch. 8, pp.235-268, Kluwer Academic Publishers, 1998.
- [11] H. Sun and W. Kwok, "Concealment of damaged block transform coded images using projections onto convex sets," IEEE Trans. Image Proc., vol. 4, no. 4, pp.470-477, Apr. 1995.
- [12] T. Nakai, and Y. Tomita: "Core Experiments on Feedback channel Operation for H.263+," ITU-T SG15 contribution LBC 96-308, Nov. 1996.
- [13] Wada M. "Selective Recovery of Video Packet Loss Using Error Concealment," IEEE J. Select. Areas in Commun. 7(5):807-814, June 1989.
- [14] B. Girod and N. Farber, "Feedback-based error control for mobile video transmission," Proceedings of the IEEE, pp.1707-1723, October 1999.
- [15] AA Alatan, and M. Zhao, "Unequal error protection of SPIHT encoded image bitstreams," IEEE JASC, Vol. 18, No. 6, pp.814-818, June 2000.
- [16] S. Cho and W. A. Pearlman, "Error Resilient Video Coding with Improved 3-D SPIHT and Error Concealment," SPIE/IS&T Electronic Imaging 2003, Proceedings SPIE Vol. 5022, Jan. 2003.
- [17] J. Zan, M.O. Ahmad, M.N.S Swamy, "New techniques for multi-resolution motion estimation," IEEE Trans. on Circuits and Systems for video technology, Vol. 12, No. 9 Sept. 2002.
- [18] <http://www.geoffdavis.net/dartmouth/wavelet/wavelet.html>
- [19] J. Ebert, A. Willig. "A Gilbert-Elliot Bit Error Model and the Efficient Use in Packet Level Simulation," Technical Report, TKN-99-002, Technical University of Berlin, March 1999.



이 주 경

1996년 부산대학교 전자계산학과 졸업(학사). 1998년 부산대학교 전자계산학과 졸업(석사). 1998년~2001년 한국전력공사 근무. 2001년~현재 부산대학교 대학원 전자계산학과 박사과정. 관심분야는 멀티미디어 데이터 압축, 오류제어



정 기 동

1973년 서울대학교 졸업(학사). 1975년 서울대학교 대학원 졸업(석사). 1986년 서울대학교 대학원 계산통계학과 졸업(이학박사). 1990년~1991년 MIT, South Carolina 대학 교환 교수. 1995년~1997년 부산대학교 전자계산소 소장. 1978년~현재 부산대학교 전자계산학과 교수 1997년~현재 부산대학교 대학원 멀티미디어 협동과정 교수. 관심분야는 병렬처리, 멀티미디어