

# 분산 동영상 부호화 시스템에서 피드백 채널 제거를 위한 Wyner-Ziv 비트 전송량 제어 방법

\*문학수    \*\*이창우

가톨릭대학교 정보통신전자공학과

\*haksoo84@catholic.ac.kr    \*\*changwoo@catholic.ac.kr

## Wyner-Ziv Bit Rate Control Method for Removing Feedback Channel of Distributed Video Coding System

\*Hak-Soo Moon    \*\*Chang-Woo Lee

Dept. of Information, Communications and Electronics Eng., The Catholic University of Korea

### 요약

분산 동영상 부호화 시스템에서는 복호기에서 움직임 보상 보간 기법을 이용하여 부가정보를 생성한다. 생성된 부가정보와 원 Wyner-Ziv 프레임간의 차이를 채널 부호로 오류 정정하게 되는데 이때 부호기에서는 복호기에서의 오류 정정을 위하여 패리티 비트인 Wyner-Ziv 비트를 복호기로 보내게 되고 복호기에서는 이 Wyner-Ziv 비트를 이용하여 Wyner-Ziv 프레임을 복원하는데 더 많은 Wyner-Ziv 비트가 필요할 경우 피드백 채널을 통해 Wyner-Ziv 비트를 요청하게 된다. 이때 부호기에서 조건부 엔트로피를 구할 수 있다면 이를 이용하여 Wyner-Ziv 비트 전송량을 제어함으로써 피드백 채널을 제거 할 수 있다. 이를 위해 부호기에서도 부가정보를 알아야하는데 복호기에서 사용하는 부가정보 생성 기법은 복잡도가 높기 때문에 사용할 수 없다. 본 논문에서는 부호기에서 간단한 부가정보를 생성하는 방법을 제안하고 분산 동영상 부호화 시스템에 적용하여 피드백 채널을 제거하였을 때의 성능을 분석하였다.

### 1. 서론

기존의 동영상 부호화 시스템과는 달리 분산 동영상 부호화(distributed video coding : DVC) 시스템에서는 부호기의 복잡도를 감소시키기 위해서 부호기에서 움직임 추정을 하지 않고 프레임간의 상관성을 복호기에서 이용한다[1]. 특히 복호기에서 Wyner-Ziv(WZ) 프레임을 복원하기 위해 부가정보(side information)를 생성하게 되는데 이렇게 생성된 부가정보는 원 WZ 프레임과 차이가 있다. 이를 채널 부호를 이용하여 정정을 하게 되는데 채널부호 복호기에서 오류정정이 제대로 이루어지지 않으면 피드백 채널을 이용하여 추가 패리티 비트 전송을 요청하게 된다.

본 논문에서는 부가정보와 원 WZ 프레임간의 차이를 정정하기 위해 전송하는 WZ 비트의 전송량을 부호기에서 제어하여 피드백 채널을 제거하는 방법을 제안한다. 이를 위해 복잡도가 상대적으로 낮은 부가정보를 부호기에서 생성하는 방법과 효율적인 WZ 비트 전송을 제어 방법을 제안한다. 2장에서는 분산 동영상 부호화 시스템에 대해서 설명하고 3장에서는 WZ 비트 전송량을 제어하는 방법을 설명하고 4장에서는 부호기에서 간단한 부가정보 생성 방법을 제안한다. 5장에서는 기존의 방법과 제안한 방법을 분산 동영상 부호화 시스템에 적용

하였을 때의 실험 결과를 제시하고 6장에서는 결론을 맺는다.

### 2. 분산 동영상 부호화 시스템의 개요

분산 동영상 부호화 시스템은 그림 1에 도시한 것과 같이 크게 키 프레임을 부호화하는 부분과 WZ 프레임을 부호화 하는 부분으로 나눌 수 있는데 키 프레임은 H.264와 같은 기존 부호화 시스템의 inframe 부호화 기법으로 부호화된다[1]. 또한 WZ 프레임은 부호기에서 4x4 블록 크기로 나누어 DCT 영역으로 변환하고 양자화를 하게 된다. 양자화를 거친 계수들은 각 계수별로 bitplane을 만들게 되는데 이때 양자화 테이블에 따라서 bitplane 수가 결정되며 이렇게 결정된 각 bitplane을 터보 부호기의 입력으로 하여 오류 정정 부호 위한

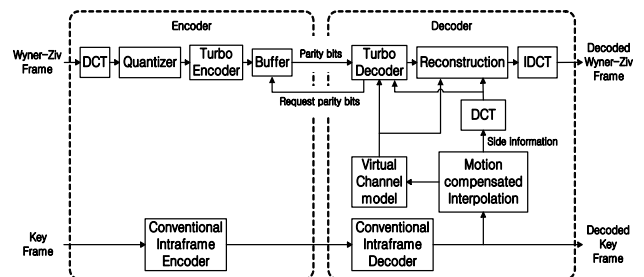


그림 1. 분산 동영상 부호화 시스템의 구조

※ 이 논문은 2010년도 정부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No.2010-0028178)

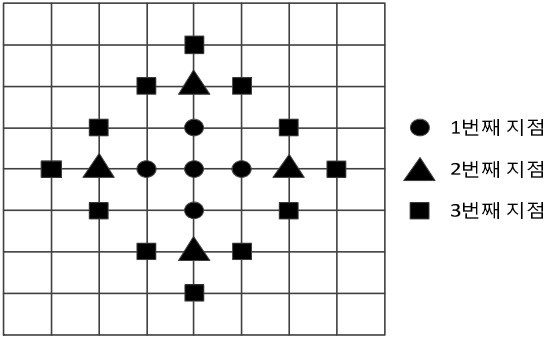


그림 2. Brites 등이 제안한 방법의 움직임 추정 방법 (8×8 블록 크기)

패리티 비트를 생성한다. 이 패리티 비트를 WZ 비트라 하고 이 WZ 비트들을 복호기로 전송한다. 복호기에서는 키 프레임과 이전에 복호화 된 WZ 영상 등을 이용하여 부가정보를 생성하게 되고 이렇게 생성된 부가정보와 부호기에서 전송한 WZ 비트들을 이용하여 WZ 프레임을 복원한다. 이때 복호기에서는 WZ 복원을 위해 더 많은 WZ 비트가 필요할 경우 피드백 채널을 이용해 WZ 비트를 요청하게 된다.

### 3. WZ 비트 전송률 제어 방법

부호기에서 WZ 비트의 전송량을 제어하기 위해서 이론적 최소 전송률인 조건부 엔트로피(conditional entropy)를 구해야 하는데 이는 식 (1)과 같이 구할 수 있다[2].

$$H(p_n) = p_n \times \log_2\left(\frac{1}{p_n}\right) + (1 - p_n) \times \log_2\left(\frac{1}{1 - p_n}\right) \quad (1)$$

$P_n$ 은  $n$ 번째 DCT 계수에 대한 조건부 확률을 나타내며 이는 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$p_n = \frac{p(B^j(X_n^{DCT}) = 1 | B^{j-1}(X_n^{DCT}), Y_n^{DCT})}{p(B^{j-1}(X_n^{DCT}) | Y_n^{DCT})} \quad (2)$$

$B^j$ 는  $j$ 번째 bitplane을 나타내며  $X$ 는 원 WZ 프레임을 나타낸다. 또한  $Y$ 는 생성된 부가정보이다. 즉,  $X_n^{DCT}$ 는 DCT 영역에서 WZ 프레임의  $n$ 번째 계수를 뜻하고  $Y_n^{DCT}$ 는 DCT 영역에서 부가정보의  $n$ 번째 계수를 뜻한다. 식 (1)과 식 (2)를 이용하여  $j$ 번째 bitplane의 최소 WZ 비트 전송량을 구할 수 있다.

표 1. 원 Wyner-Ziv 프레임과 부호기에서 생성한 부가정보 간의 평균 PSNR 결과

WZ 프레임 양자화 테이블 영상(QCIF)		0	1	2	3	a	5	6	7
Coastguard	기존의 방법	24.577	24.783	25.891	28.098	28.237	29.056	30.006	30.913
	제안하는 방법	24.207	24.399	25.431	27.780	27.960	29.131	30.723	32.63
Foreman	기존의 방법	25.445	25.736	26.545	27.845	27.998	28.525	29.054	29.741
	제안하는 방법	25.302	25.620	26.527	28.404	28.652	29.430	30.237	31.483
Hall monitor	기존의 방법	24.995	25.132	26.782	30.612	30.770	32.321	34.538	37.160
	제안하는 방법	24.206	24.467	26.042	29.277	29.407	31.171	32.880	35.237
Stefan	기존의 방법	20.568	20.634	21.055	21.991	22.090	22.460	22.735	23.089
	제안하는 방법	20.758	20.838	21.588	23.130	23.251	23.984	24.297	24.919

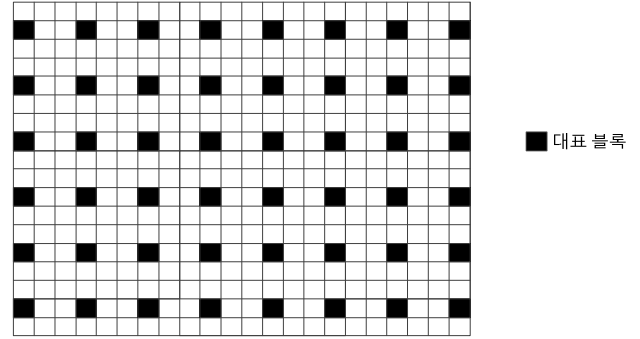


그림 3. 제안하는 방법의 대표 블록 위치 (QCIF 영상)

### 3.1 WZ 비트 전송률을 구하는 방법

#### 3.1.1 기존의 방법

실제 WZ 패리티 비트 전송률은 이론적인 최소 전송률과 차이가 있다. 이를 해결하기 위해 Sheng 등은 식 (3)과 같이 선형적 계산 방법을 제안하였다[3].

$$R_{real} = a \times R_{theory} + b \quad (3)$$

$R_{real}$ 은 WZ 비트의 실제 전송률을 나타내고  $R_{theory}$ 는 이론적 최소 전송률을 나타낸다. 또한  $a$ 와  $b$ 는 1.1과 0.01을 사용하였다.

또 다른 방법으로 Brites 등은 식 (4)와 같이 이론적 최소 전송률과 상관 오류 확률을 이용하여 실제 WZ비트 전송률을 구하였다[4-5].

$$R_{real} = \frac{1}{2} \times R_{theory} \times e^{R_{theory}} + 0.5 \times \sqrt{p} \quad (4)$$

$P$ 는 상관 오류 확률(relative error probability)로 이전 bitplane에서는 오류가 생기지 않은 위치에서 현재 bitplane에서는 오류가 일어난 확률을 말한다.

#### 3.1.2 제안하는 방법

본 논문에서는 기존의 방법들을 이용해 좀 더 효율적인 실제 WZ 비트 전송률을 구하기 위한 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 Sheng 등이 제안한 방법인 선형적 계산 방법과 Brites 등이 제안한 상관 오류 확률을 이용하여 식 (5)와 같이 실제 WZ 비트 전송률을 구할 수 있다.

$$R_{real} = a \times (R_{theory} + p) + b \quad (5)$$

표 2. 부호기에서 부가정보 생성을 위한 프레임 당 평균 SAD 합수 호출 수

WZ 프레임 양자화 테이블 영상(QCIF)		0	1	2	3	4	5	6	7
Coastguard	기존의 방법	979.96	967.33	914.86	861.66	858.81	848.01	840.43	831.25
	제안하는 방법	671.95	665.59	648.21	585.24	580.10	555.89	529.41	509.95
Foreman	기존의 방법	1234.83	1226.37	1203.08	1181.48	1180.07	1177.86	1172.3	1171.41
	제안하는 방법	666.06	658.56	645.80	620.27	617.64	607.08	598.48	582.18
Hall monitor	기존의 방법	1048.68	1045.16	994.81	903.13	899.82	873.15	845.24	834.87
	제안하는 방법	623.62	609.22	575.51	532.22	530.00	511.48	493.80	470.29
Stefan	기존의 방법	1059.35	1055.57	1047.55	1044.16	1047.18	1047.08	1047.14	1049.8
	제안하는 방법	641.33	643.78	628.96	597.33	609.55	594.10	601.10	594.18

이때  $a$ 와  $b$ 는 0.85와 0.018을 사용하였는데 실험을 통해 가장 적합한 값을 구하였다.

#### 4. 부호기에서 부가정보 생성 기법

부호기에서 위와 같은 방법을 사용하기 위해서는 부호기에서 부가정보를 알아야 한다. 하지만 복호기에서 사용하는 부가정보 생성 방법은 복잡도가 높기 때문에 단순한 부호기를 위해서는 그대로 사용할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 복잡도를 크게 증가시키지 않고 부가정보를 생성하는 방법을 제안한다.

##### 4.1 기존의 방법

부호기에서 간단한 부가정보를 생성하기 위한 방법으로 Brites 등은 SAD(sum of absolute differences) 값이 큰 일부의 블록만을 선택해 움직임 추정하는 방법을 사용하였는데 움직임 추정 방법 또한 복잡도를 크게 증가시키지 않기 위한 방법을 사용하였다. 먼저 움직임을 위한 블록을 선택하기 위해 이전 키 프레임과 이후 키 프레임의 같은 위치에 있는 블록끼리 제로 모션일 때의 SAD 값들을 구하게 된다. 그 중 SAD 값이 큰 블록들을 선택하여 움직임 추정을 하게 되는데 그림 2에 Brites 등이 제안한 방법을 도시하였다. 그림 2에서 먼저 1번째 지점에 대한 SAD 값들을 구하게 된다. 만약 (0, 0)위치의 SAD 값이 가장 작으면 (0, 0)을 움직임 벡터 값으로 정하고 그렇지 않으면 2번째 지점에 대한 SAD 값들을 구하게 된다. 구한 값들 중 1번째 지점의 SAD 값이 작을 경우 그 위치를 움직임 벡터 값으로 정하고 2번째 지점의 SAD 값이 가장 작을 경우 2번째 지점 중 가장 작은 SAD 값을 가지는 2번째 지점의 주위에 있는 3번째 지점에 대한 SAD 값들을 구해서 그 중 가장 작은 SAD 값을 가지는 지점의 위치를 움직임 벡터 값으로 정하게 된다. Brites 등이 제안한 방법에서는 일부 블록만을 선택하여 움직임 추정을 하고 나머지는 제로 모션을 사용하게 된다. 이러한 방법은 영상의 부분적으로 움직임이 있을 때에는 효과적이지만 Stefan 영상과 같이 전체적인 움직임이 클 때에는 좋은 결과를 얻을 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해 대표적인 블록을 선택해서 움직임 추정을 하는 방법을 제안한다.

##### 4.2 제안하는 방법

기존의 방법인 Brites 등이 제안한 방법과는 달리 움직임 추정을 하는 블록을 미리 선택하여 움직임 추정을 하고 그 주위의 블록들은 움직임 추정된 블록의 움직임 벡터를 그대로 사용하는 방법을 이용하였다. 그림 3은 QCIF 영상에서 블록을 8x8 크기로 나누었을 때 선택된 대표블록들의 위치를 나타낸다. 제안하는 방법에서 대표블록들은 다이

아몬드 서치 알고리즘을 이용하여 움직임을 추정하였다[6]. 이후 나머지 블록들은 가장 가까이 위치한 대표블록의 움직임 벡터를 그대로 사용하는 방법을 이용하였다.

#### 5. 모의실험

부호기에서 전송률을 제어하기 위하여 생성한 부가정보가 분산 동영상 부호화 시스템에 미치는 영향을 확인하기 위해 다음과 같은 분산 동영상 부호화 시스템을 사용하였다. WZ 비트를 생성하기 위한 채널 부호로는 터보 부호기를 사용하였으며 부가정보를 생성하기 위해 부호기, 복호기 모두 H.264 intraframe 부호화 방식으로 부호화되고 복호화 된 키 프레임을 사용하였는데 키 프레임을 위한 양자화 파라미터는 WZ 프레임의 PSNR 결과에 따라 결정되도록 하였다[7]. 또한 복호기에서 부가정보 생성 방법은 Brites 등이 제안한 방법을 사용하였으며 복호기에서의 상관 잡음 모델은 부가정보를 생성할 때 사용한 움직임 벡터를 사용하는 방법으로 모델링하였다. 실험 결과의 신뢰성을 높이기 위해서 QCIF 규격 Coastguard 300 프레임, Foreman 400 프레임, Hall monitor 300 프레임, Stefan 100 프레임을 각각 사용하였으며 Coastguard 영상과 Stefan 영상은 25Hz 이고 Foreman 영상과 Hall monitor 영상은 30Hz 이다.

표 1은 영상에 따라 부호기에서 부가정보를 기존의 방법과 제안하는 방법으로 생성하였을 때 원 WZ 프레임과 생성한 부가정보 간의 평균 PSNR 결과이다. Hall monitor를 제외한 다른 영상들에서 PSNR 결과가 비슷하거나 더 좋은 것을 볼 수 있다. Hall monitor 영상에서 기존의 방식이 좀 더 좋은 PSNR 결과를 보인 것은 Hall monitor 영상이 부분적인 움직임이 있기 때문에 SAD 값이 큰 블록에서 부분적으로 움직임을 찾는 기존의 방법이 대표 블록에서만 움직임 추정을 하는 제

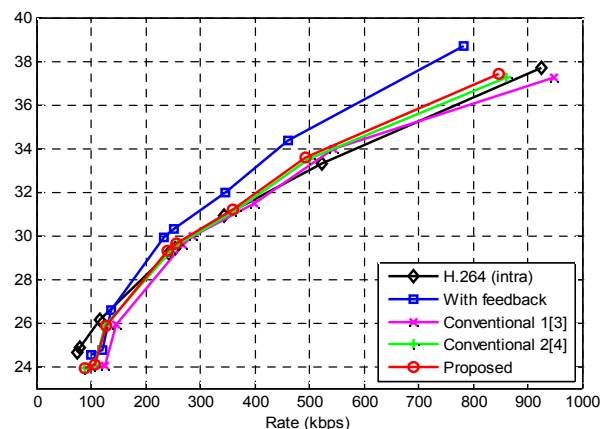


그림 4. 제안하는 방법의 평균 PSNR 결과 (Coastguard)

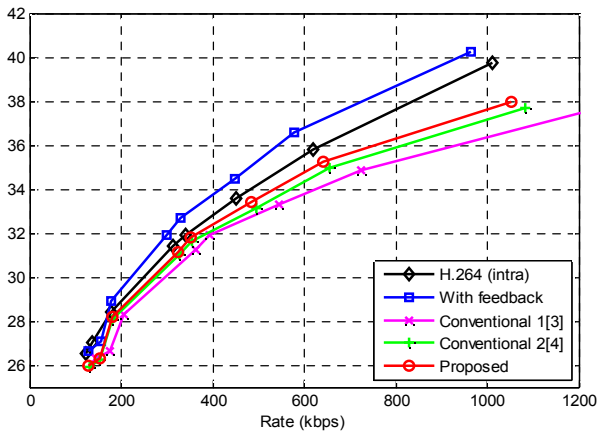


그림 5. 제안하는 방법의 평균 PSNR 결과 (Foreman)

안하는 방법보다 효과적인 것으로 보인다.

분산 동영상 부호화 시스템은 간단한 부호기를 가지기 때문에 부호기에서의 부가정보 생성 방법 또한 간단해야 한다. 이를 위해 부호기에서 부가정보를 생성할 때 기존의 방법과 제안하는 방법 간의 SAD 함수의 평균 호출 수를 표 2에 비교하였다. 표 2를 통해 제안하는 방법이 기존의 방법보다 SAD 함수를 적게 호출하는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과로 기존의 방법과 비교하여 제안하는 방법이 복잡도가 낮은 방법으로 비슷하거나 더 좋은 성능을 가지는 부가정보를 생성함을 알 수 있다.

본 논문에서 제안한 부호기에서의 간단한 부가정보 생성 방법과 실제 WZ 비트 전송률 계산 방법을 분산 동영상 부호화 시스템에 적용하였을 때의 성능을 다양한 영상에 대해서 구한 결과를 그림 4~7에 도시하였다. 이때 성능 평가를 위해 H.264 intraframe 부호화 방식으로 부호화 하였을 때와 피드백 채널이 있을 경우의 성능 결과를 포함하였다. 특히 기존의 방법 1은 실제 WZ 비트 전송률을 Sheng 등이 제안한 방법을 사용하였을 때의 성능이고 기존의 방법 2는 Brites 등이 제안한 방법을 사용하였을 때의 성능이다. 각 영상의 평균 PSNR 결과는 WZ 프레임과 H.264 intraframe 부호화 방식으로 부호화 된 키 프레임의 결과를 포함한 평균 PSNR 결과이다.

각 영상에서 알 수 있듯이 피드백 채널을 제거하기 위해 제안하는 방법이 기존의 방법들보다 성능이 좋은 것을 볼 수 있다. 특히 높은 전송률에서 Sheng 등이 제안한 방법과 비교하여 평균 PSNR 결과가 약 0.25~0.5dB 정도 성능이 향상된 것을 볼 수 있으며 Brites 등이 제안

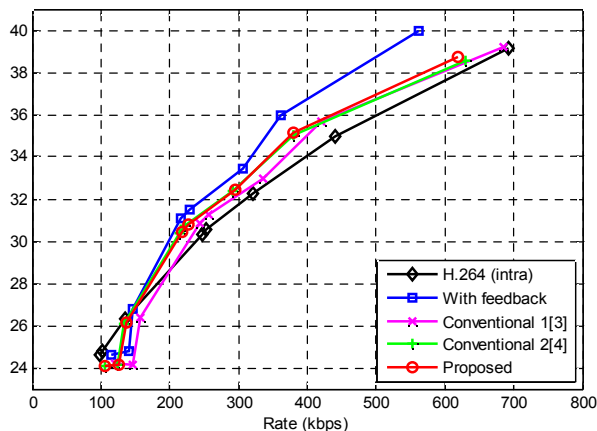


그림 6. 제안하는 방법의 평균 PSNR 결과 (Hall monitor)

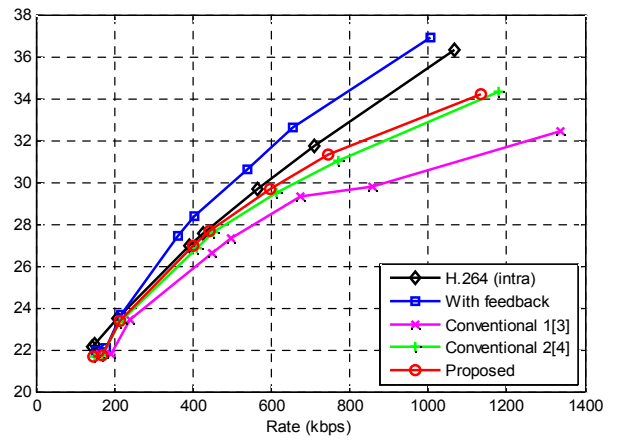


그림 7. 제안하는 방법의 평균 PSNR 결과 (Stefan)

한 방법과 비교하였을 때에는 약 0.5dB~2.8dB 성능 향상을 보인다.

## 6. 결론

본 논문에서는 WZ 비트의 전송률 제어를 통해 피드백 채널 제거하기 위한 방법을 제안하였다. 이를 위해 부호기에서 간단한 움직임 추정으로 부가정보를 생성하는 방법을 제안하였고 WZ 비트 전송률을 제어하기 위해 이론적인 최소 전송률과 상관 오류 확률을 이용하여 선형적으로 WZ 비트 전송률을 계산하는 방법을 제안하였다. 이러한 방법들을 분산 동영상 부호화 시스템에 적용하였을 때 기존의 방법들과 비교하여 약 0.25dB~2.8dB의 성능 향상을 확인하였다.

## 참고 문헌

- [1] B. Girod, A. Aaron, S. Rane, and D. Rebollo-Monedero, "Distributed Video Coding," *Proc. IEEE*, vol. 93, no. 1, pp. 71-83, Jan. 2005.
- [2] S. Cheng, and Z. Xiong, "Successive refinement for the Wyner-Ziv problem and layered code Design," *IEEE Trans. on signal Processing*, Vol. 53, No. 8, pp 3269-3281, Aug. 2005
- [3] T. Sheng, X. Zhu, G. Hua, H. Guo, J. Zhou, and C. W. Chen, "Feedback-free rate-allocation scheme for transform domain Wyner-Ziv video coding," *Multimedia Systems*, 2010. doi: 10.1007/s00530-009-0179-8.
- [4] C. Brites and F. Pereira, "Encoder rate control for transform domain Wyner-Ziv video coding," *IEEE ICIP*, San Antonio, TX, USA, Sep. 2007.
- [5] C. Brites and F. Pereira, "Probability updating for decoder and encoder rate control turbo based Wyner-Ziv video coding," *IEEE ICIP*, Hong Kong, Sep. 2010.
- [6] S. Zhu and K. K. Ma, "A new diamond search algorithm for fast block-matching motion estimation," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 9, pp. 287-290, Feb. 2000.
- [7] 문학수, 이창우, "분산 동영상 부호화 시스템을 위한 효과적인 상관 잡음 모델링 및 성능 평가" 한국통신학회 6월 논문지 게재 예정