

변환 계수를 이용한 고속 인트라모드 결정법

Fast Intra Mode Decision using Transform Coefficients

황규영, 박종빈, 전병우
(Gyu Yong Hwang, Jongbin Park, and Byeungwoo Jeon)

Abstract : In the H.264/AVC standard, intra prediction increases the coding efficiency of intra macroblocks and by applying rate-distortion optimization to each macroblock, it is possible to choose Inter or Intra encoding adaptively. This sort of encoding scheme, however, increases encoding complexity dramatically and causes troubles in practical applications of the real-time mobile environment. In order to decrease the complexity, variety of methods is proposed but most of those take only its current block into consideration for selecting candidate modes which naturally causes degradation in PSNR (Peak Signal to Noise Ratio). The proposed fast intra mode decision finds the candidate modes by analyzing transformed coefficients of neighboring blocks stored in the buffer at the encoder stage of input sequences. We verify this proposed scheme in complexity, PSNR and bit-rate.

Keywords : Fast Mode Decision, Intra Prediction Scheme, Hadamard Transform, H.264/AVC

I. 서론

H.264/AVC 표준은 기존 비디오 부호화 표준과 같이 움직임 추정/보상과 변환, 양자화를 사용하는 하이브리드 부호화 구조를 따르고 있으며, 여기에 새로운 부호화 기술들을 적용하여 부호화 효율을 크게 향상시켰다[1]. 인터 부호화 시에는 다중 참조 프레임의 사용과 가변 블록 크기의 1/4 단위 정확도의 움직임 예측 기술을 사용하고, 인트라 부호화 시에는 주변 화소값을 이용한 다양한 방향의 인트라 예측 기술을 동시에 사용한다. 또한 각 매크로블록 내의 인터 및 인트라의 다양한 모드에 대해서 비트율-왜곡치 최적화 기법 (Rate-Distortion Optimization)을 이용하여 최적의 부호화 모드를 결정한다. 비트율-왜곡치 최적화 기법은 여러 가능성 중에서 부호화기의 효율을 극대화 하는 모드를 결정하는 방법이다 [2]. 그러나, 비트율-왜곡치 최적화 기법은 최적의 부호화 모드를 결정하기 위해 가능한 모든 모드들에 대하여 DCT (Discrete Cosine Transform) 변환과 가변장 길이 부호화, DCT 역변환 및 양자화 과정을 모두 수행하여 각 모드에 대한 코스트를 모두 계산하기 때문에 부호화 효율 향상의 주된 요인이면서, 동시에 높은 복잡도의 요인이기도 하다[3].

이러한 복잡도 문제를 해결하기 위하여 현재까지 인트라 모드에 대한 고속 모드 결정법에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다[4][5][6][7][8]. 기존의 고속 인트라 모드 결정법은 인터모드를 고려하여 모드의 결정을 고속으로 하는 방법과 인터모드와 별개로 인트라 모드 결정 과정 자체의 속도를 향상시키는 방법으로 분류할 수 있다. 그 중에서도 후자인 인트라 모드 결정을 고속화하는 데에는 모두 기본적으로 특정 알고리즘을 사용해 해당 블록의 방향성을 추정하고 이를 통해 후보 예측 모드의 수를 제한하는 방법이었다. 그러나 이러한 고속 인트라모드 결정법은 가능성 있는 후보 모드를 결정하기 위해 현재 블록의 특성만을 고속 모드결정 알고리즘에 적용하기 때문에 주변 화소값을 참조하는 H.264/AVC 표준의 인트라 부호화 기술에 적용할 경우, 성능의 효율이 감소하는 경향이 있다.

따라서 본 논문에서는 주변 블록의 방향성을 동시에 고려

하는 고속 인트라 모드 결정법을 제안한다. 제안하는 고속 인트라 모드 결정법은 하다마드 (Hadamard) 변환을 이용하여 DCT 변환에 비해 비교적 낮은 계산량을 유지할 수 있다. 또한, 하다마드 변환의 웨이블릿 (Wavelet) 특성을 이용하여 큰 블록의 변환 과정에서 생기는 계산량을 중첩하는 작은 블록의 변환 과정을 이용하여 감소시킬 수 있다. 2 장에서는 H.264/AVC의 인트라 예측 부호화 과정을 살펴보고, 3 장에서는 기존에 연구된 고속 인트라 모드 결정법에 대해서 알아본다. 4 장에서는 제안 알고리즘을 설명하고 5 장에서는 제안 알고리즘의 실험과 분석을 하겠다.

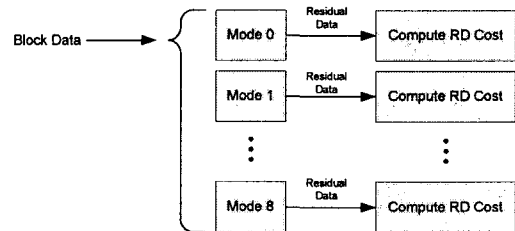


그림 1. 인트라 예측의 코스트계산 블록도

II. H.264/AVC 표준의 인트라 예측 부호화

H.264/AVC 표준은 인트라 부호화 시 주변 화소값들을 이용한 인트라 예측 부호화 기술을 사용한다. 기존 부호화 표준인 H.263 이나 MPEG-4 표준에서도 이와 유사한 DCT 영역에서의 예측 부호화 기술이 있었으나 이는 일부 DCT 계수들만을 예측 부호화하였기 때문에 잉여 데이터의 정보량을 효과적으로 줄이기 어려웠다. 그러나 H.264/AVC 표준의 인트라 예측 부호화 기술은 화소 영역에서 보다 다양한 방향으로의 예측이 가능하며, 휘도 신호뿐만 아니라 색차 신호에 대해서도 동일한 예측 방법을 사용할 수 있다. 휘도 신호에 대해서는 그림 2 에서 보는 바와 같이, 9 가지의 예측 방향을 사용하는 4x4 인트라 예측 모드 (14x4)와 4 가지의 예측 방향을 사용하는 16x16 인트라 예측모드 (116x16)가 있으며 해당 매크로 블록 내에서 비트율-왜곡치 최적화 기법에 의해 최적의 모드 및 방향이 결정된다. High profile에서는 8x8 인트라 예측 모드 (18x8)가 추가되었으며 그 예측 방법은 14x4와 같다. 색차 신호를 위한 8x8 인트라 예측 모드에서는 116x16 과 동일한 방법의 인트라 예측 모드가 적용된다.

논문접수 : 2006. 8., 채택확정 : 2006. 8.

황규영, 박종빈, 전병우 : 성균관대학교 정보통신공학부

(hgy78@korea.com, feynmanc@ecc.skku.ac.kr, bjeon@yurim.skku.ac.kr)

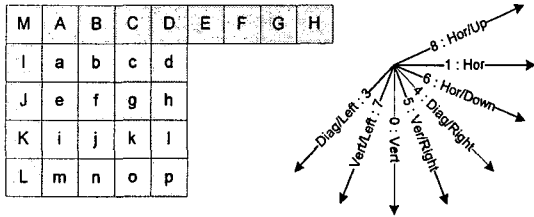


그림 2. 인트라 모드 결정 과정

앞서 언급된 바와 같이, 부호화기는 모든 인트라 예측 모드에 대해 현재 부호화 할 해당 블록을 기준으로 좌측 및 상위 인접 블록의 화소들을 이용하여 현재 블록의 화소값과의 차이를 구하고 이를 부호화한 뒤, 비트율-왜곡치의 값이 최소가 되는 모드를 최적의 모드로 결정한다. 보다 자세한 비트율-왜곡치 계산 과정은 다음과 같다.

$$J_{Mode} = SSD_{Mode}(s, r) + \lambda_{Mode} \cdot R_{Mode}(s, r) \quad (1)$$

식 1에서 J_{Mode} 는 해당 모드의 코스트이고 $SSD_{Mode}(s, r)$ 는 입력 영상 (s)의 화소와 출력 영상 (r)의 화소 간 차이를 제공하여 합한 값이다. λ_{Mode} 는 Lagrangian 계수로서 $0.85 \times 2^{QP/3}$ 의 값을 가진다. $R_{Mode}(s, r)$ 은 역시 입력 영상과 출력 영상의 차이를 부호화하는데 필요한 비트량이다.

현재의 H.264/AVC에서는 16x16 블록 모드 결정법은 각 모드에 대한 SAD (Sum of Absolute Difference)를 구하여 가장 작은 SAD의 모드를 최적의 16x16 모드로 결정하기 때문에 최적화 과정을 거치지 않는다. 그렇기 때문에 인트라 모드 결정 시 발생하는 대부분의 계산량은 16x4에서의 비트율-왜곡치 최적화 과정에서 발생하며, 16x4에 관한 고속 인트라 모드 결정법에 관한 연구가 빈번하였다.

III. 기존 고속 인트라 모드 결정법

기존의 고속 인트라 모드 결정법은 크게 두 가지로 나눌 수 있는데, 첫번째는 인터 모드와 인트라 모드를 고려하는 환경에서의 고속 인트라 모드 결정법이고 인트라 결정법 자체의 복잡도를 감소시키는 방법이 두번째이다. 전자에 속하는 것에는 [4]와 [5]가 있는데 [4]는 시간적 상관성을 이용하여 이전 프레임에서 동일 위치 또는 동일 위치와 가장 가까운 블록이 가졌던 인트라 모드를 찾고 그 주변 모드들과 DC 모드를 후보 모드로 정하는 알고리즘이다. [5]는 블록 경계 차이값(ABE, Average Boundary Error)과 평균 비트율(AR, Average Rate)을 정의하고 ABE가 AR보다 클 경우 인트라 예측 과정을 아예 생략하는 알고리즘으로서 인터와 인트라 모드 결정 과정의 복잡도를 상당량 경감시킬 수 있었다. 인트라 모드 자체의 복잡도를 감소시키는 알고리즘으로는 [6], [7], [8]이 있다. [6]은 소벨 연산자를 이용하여 블록 내의 엣지들을 추출하고, 이 엣지들의 방향성분에 따라 인트라 예측 방법의 9가지 영역으로 분류한다. 최종적으로 각 영역에 히스토그램 형식으로 축적된 엣지의 크기가 가장 큰 모드와 그 주변 모드 그리고 2번 모드(DC)가 비트율-왜곡치 최적화 대상이 된다. 그러나 [6]의 방법은 감소된 시간에 비하여 화질의 열화와 비트율의 증가가 심하였다. [7]은 화소

영역에서 각 블록 당 9 번의 간단한 화소값 연산을 통해 가능성 있는 모드들을 추려내는 방법으로 역시 어느 정도의 PSNR 감소와 비트율 증가가 있었다. [8]은 현재 블록을 주파수 영역으로 변환하고 변환된 계수들의 특성과 수평과 수직 에너지를 이용하여 최적화를 위한 후보 모드를 선택하는 알고리즘이다. [8]에서 소개된 변환 계수를 이용한 모드 결정 방법은 다음과 같다.

현재 블록이 X 이고 변환된 블록 Y 는 다음과 같이 정의된다. 블록의 크기는 $n \times n$ 이며, $T(\cdot)$ 는 블록변환을 의미한다.

$$Y = T(X) \quad (2)$$

이때 수평과 수직 에너지는

$$E_h = \frac{1}{Y_{00}^2} \sum_{j=1}^{n-1} Y_{j0}^2 \quad (3)$$

$$E_v = \frac{1}{Y_{00}^2} \sum_{i=1}^{n-1} Y_{0i}^2 \quad (4)$$

이 되고, 이를 이용한 모드 결정법은 표 1과 같다.

식 (3)과 (4)에서 Y_{ji} 는 $n \times n$ 블록 변환에 의한 (j, i) 번째 계수를 의미한다. ($0 \leq j, i \leq n-1$)

표 1. 변환계수의 특성을 이용한 모드 분류방법

	모드 결정 조건	후보 모드
0	$E_h = 0, E_v = 0$	2
1	$E_h = 0, E_v > 0$	0, 2
2	$E_v = 0, E_h > 0$	1, 2
3	$E_h = E_v \neq 0, \frac{Y_{01} \times Y_{10}}{Y_{00} \times Y_{00}} < 0$	3, 2
4	$E_h = E_v \neq 0, \frac{Y_{01} \times Y_{10}}{Y_{00} \times Y_{00}} > 0$	4, 2
5	$E_h = E_v \neq 0, \frac{Y_{01} \times Y_{10}}{Y_{00} \times Y_{00}} = 0$	2
6	$E_v > E_h, E_h > 0$	0, 3, 4, 5, 7, 2
7	$E_h > E_v, E_v > 0$	1, 3, 4, 6, 8, 2

표 1에서 6번과 7번의 경우가 발생하면 가능한 모드들에 해당하는 인트라 모드 예측자와의 SAD가 가장 작은 모드 두 개만을 골라 최적화 과정에 적용시킨다.

지금까지 살펴본 기존 고속 인트라 모드 결정법들은 그 알고리즘의 대상이 주변 관련성을 고려하지 않고 단지 현재 블록만을 참조하기 때문에, 잘못된 모드를 결정하는 데에서 발생하는 비트율 증가와 PSNR의 감소가 발생하여 전체적인 부호화 효율을 감소시키는 경향을 보인다.

IV. 제안 알고리즘

기 연구된 고속 인트라모드 결정법들은 인트라 예측 부호화 시 현재 블록에 대해 특정 알고리즘을 이용하여 블록의 특성을 추출하는 방법을 택하고 있다. 그러나 원래의 인트라 예측 부호화는 위쪽과 왼쪽 블록과의 경계 화소값을 이용하여 9 개의 예측자를 생성하고 이를 이용해 잉여 데이터를 계산해 내는데, 이 경계 화소값들은 해당 블록의 일부로서,

연속되는 변화 특성을 이어받아 소속 블록과 매우 유사한 방향 성분을 가지고 있다. 다시 말해, 참조 픽셀로 사용되는 해당 블록의 바깥쪽 경계 화소값들은 그 자체의 방향 성분을 가지고 있는데 이 방향 성분이 인트라 모드 결정 시, 최적 모드 결정에 사용되는 반면, 이들 기존의 고속 인트라 모드 결정 방법들은 후보 예측 모드를 결정하기 위해 단지 현재 블록의 특성만을 고속 모드 결정 알고리즘에 적용하기 때문에 인트라 모드 결정에 따른 성능보다 효율이 감소하는 경향을 보인다. 그렇기 때문에 주변 블록의 방향 특성을 고려하는 인트라 모드 결정 방법이 필요하다.

주변 블록을 포함하는 8x8 블록의 변환 과정은 현재 블록만을 변환하는 과정에 비하여 연산량이 많아지고 이를 모든 블록에 대해서 주변을 포함하는 변환을 하게 된다면 모드 결정 과정의 복잡도는 더욱 증가하게 된다. 그렇기 때문에 주변의 4x4 블록을 포함하는 8x8 블록의 계산량을 줄이기 위해서는 4x4 단위의 작은 블록 변환 후 이를 버퍼에 저장하여 이후에 사용될 8x8 블록 인트라 모드 결정 과정에서 하다마다 변환의 웨이블릿 특성을 이용하여 주변 4x4 블록의 변환 계수들을 혼합해 8x8 블록을 만드는 방법이 사용되었다. 주변 4x4 블록을 포함하여 크기가 8x8 인 블록을 네 등분하여 각각 변환하는 과정에는 다음과 같은 행렬 변환식이 적용된다.

$$Y = CXC^T \quad (5)$$

$$C = \begin{pmatrix} H_{11} & H_{12} \\ H_{21} & -H_{22} \end{pmatrix} \quad (6)$$

여기에서 X는 대상 8x8 블록이며 C는 동일한 크기의 하다마다 변환의 basis 를, H는 C의 1/4 배 크기를 가지는 하다마다 변환 basis 이다.

$$Y = \begin{pmatrix} H_{11} & H_{12} \\ H_{21} & -H_{22} \end{pmatrix} X \begin{pmatrix} H_{11} & H_{12} \\ H_{21} & -H_{22} \end{pmatrix}^T \quad (7)$$

$$Y = \begin{pmatrix} I & I \\ I & -I \end{pmatrix} \begin{pmatrix} H & 0 \\ 0 & H \end{pmatrix} X \begin{pmatrix} H & 0 \\ 0 & H \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I & I \\ I & -I \end{pmatrix} \quad (8)$$

$$Y = \begin{pmatrix} I & I \\ I & -I \end{pmatrix} X' \begin{pmatrix} I & I \\ I & -I \end{pmatrix} \quad (9)$$

식 (8)의 과정은 8x8 행렬 X 에 각각 4x4 하다마다 변환을 수행하는 과정이다.

여기에서 모드를 결정하기 위해 필요한 8x8 블록 내 상단의 변환 계수와 좌단의 변환 계수를 그림 3 과 같이 각각의 4x4 블록의 상단 변환계수와 좌단 변환계수를 통하여 구해진다.

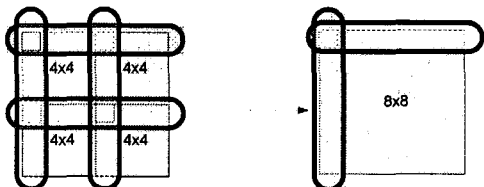


그림 3. 4x4 블록을 이용한 8x8 블록 변환계수 계산

V. 실험 및 결과분석

실험 영상으로는 움직임이 빠르고 많은 Stefan, Foreman 영상군과 상대적으로 움직임이 느리고 적은 Hall, Akiyo, Paris 영상군으로 나누었다. 변환 계수의 특성을 이용한 모드 결정 방법으로는 3장에서 언급된 [8]의 방법을 사용한다.

표 2는 이 실험에 사용된 실험 환경이다.

표 2. 실험환경

	Profile	Baseline
H.264/AVC JM 10.1 Encoder	Entropy coding	CAVLC
	Intra frame period	All Intra frames
	Rate-Distortion Optimization	On
	Rate control	Off (QP=20,24,28,32,36)
Test Sequence	QCIF	10Hz, 100 Frames
	CIF	30Hz, 100 Frames

고속 인트라 모드 결정법에 의한 시간 감소는 원 영상의 부호화 시간 대비 감소한 시간의 평균으로 계산하였다.

부호화할 대상 블록과 가까운 화소를 포함할수록 대상 블록의 방향성과 더 닮았다는 것을 알아보기 위해 두 가지의 실험 방법으로 나누어 실험을 하였다.

방법 1 은 대상 블록의 방향성을 8x8 블록의 주도적인 방향으로 하기 위해 대상 블록을 중심으로 주변의 대각선 방향으로의 네 영역을 각각 하위 4x4 블록으로 나누어 변환하는 방식이고, 방법 2 는 일반적인 부호화 순서에 따라 현재 블록의 상, 좌상, 좌 방향의 세 4x4 블록을 참조하여 8x8 블록을 구성하는 것이다.

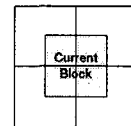


그림 4. Center Based Block Separation (방법 1)

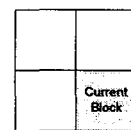


그림 5. Corner Based Block Separation (방법 2)

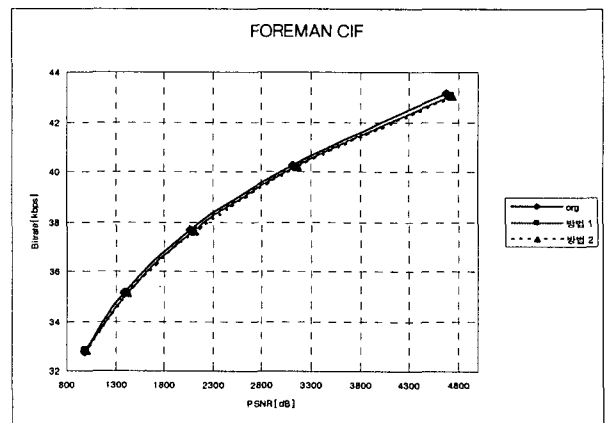


그림 6. "Foreman" CIF 30Hz 영상의 RD 곡선

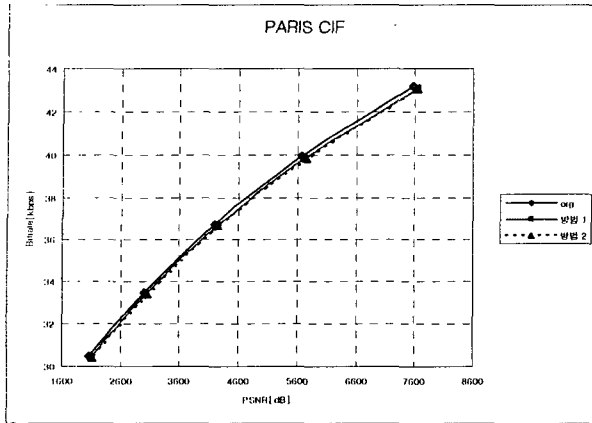


그림 7. "Paris" CIF 30Hz 영상의 RD 곡선

표 3. 방법 1의 성능

Sequence Size	Sequence	Time [%]	PSNR [dB]	Bit-rate [%]
QCIF	Stefan	-44.11	-0.168	0.63
	Foreman	-42.38	-0.052	1.34
	Hall	-43.12	-0.064	2.11
	Akiyo	-41.40	-0.016	2.55
CIF	Stefan	-44.58	-0.114	1.04
	Foreman	-43.13	-0.044	1.38
	Hall	-43.32	-0.03	2.99
	Paris	-44.85	-0.082	1.17

표 4. 방법 2의 성능

Sequence Size	Sequence	Time [%]	PSNR [dB]	Bit-rate [%]
QCIF	Stefan	-44.31	-0.166	0.75
	Foreman	-42.53	-0.052	2.08
	Hall	-43.47	-0.066	2.70
	Akiyo	-41.82	-0.032	2.96
CIF	Stefan	-44.72	-0.108	1.20
	Foreman	-43.44	-0.04	1.68
	Hall	-43.63	-0.022	3.45
	Paris	-45.11	-0.078	1.37

표 5. 4x4 블록 변환 알고리즘의 성능

Sequence Size	Sequence	Time [%]	PSNR [dB]	Bit-rate [%]
QCIF	Stefan	-46.81	-0.194	1.18
	Foreman	-45.63	-0.07	2.16
	Hall	-46.89	-0.088	3.43
	Akiyo	-45.12	-0.054	3.41
CIF	Stefan	-48.07	-0.162	1.86
	Foreman	-47.28	-0.064	2.18
	Hall	-47.55	-0.06	4.12
	Paris	-47.10	-0.09	1.43

표 3, 표 4, 표 5는 각각 H.264/AVC의 인트라 예측 부호화 대비 방법 1, 방법 2, 4x4 블록 변환 알고리즘의 성능 변화를 나타낸 것이다.

실험 결과에 의하면 대체적으로 방법 1을 사용한 경우가

방법 2보다 우수한 결과가 나왔다. 4x4 블록만의 특성을 이용한 고속 인트라 모드 선택 방법과 비교하여 방법 1은 PSNR은 높아졌고 Bit-rate가 낮아졌지만 시간상에서 약 2% 가량의 증가가 나타났다. 그 원인을 파악하고자 변환 함수의 자체 복잡도를 조사한 결과, 4x4 모드 결정과정의 비트율-왜곡치 최적화 연산을 하는 RD-Cost Compute 함수의 연산량과 대비하여 방법 1은 약 17%의 비중을 차지한 반면, 4x4 변환 과정은 단지 5.25%의 부하가 생겼기 때문에 8x8 변환 과정의 연산량을 줄이고자 노력하였음에도 불구하고 약간의 시간 차이가 생겼음을 알 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 H.264/AVC에서의 효과적인 고속 인트라 4x4 모드 결정 방법을 제안하였다. 인트라 예측 방법이 공간적으로 높은 관련성이 있는 주변 블록의 경계 화소값들을 사용하여 예측 부호화를 하는 반면에, 기존의 고속 인트라 모드 결정방법들은 주변 블록과 현재 블록의 관련성을 고려하지 않은 모드 결정방법들을 제안하여 속도 면에서는 우수하였지만 효율 면에서의 저하를 감수하여야만 했다. 향후 인트라 부호화 시 효과적으로 주변 관련성을 취득하는 방법과 주변을 참조하는 과정에서 발생하는 추가 연산량을 줄이는 문제, 또한 변환 계수를 알맞게 활용한 모드 결정 방법을 연구하여 보다 성능이 좋은 고속 인트라 모드 결정방법을 개발할 것이다.

참고문헌

- [1] ITU-T SG16 Q6, "Performance Evaluation of H.26L, TML 8 vs. H.263++ and MPEG-4," Doc. VCEG-N18, Sep. 2001.
- [2] Sullivan G. J, Wiegand T, "Rate-Distortion Optimization for Video Compression", Signal Proc. Magazine, Vol 15, Issue 6, pp74-90, Nov. 1998.
- [3] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, "A Computational Complexity Comparison of MPEG4 and JVT Codecs", Doc. M8696, July. 2002.
- [4] Min-cheol Hwang, Jun-ki Cho, Jin-sam Kim, Jin-hyung Kim, and Sung-jea Ko, "Fast Intra Prediction Mode Selection Scheme Using Temporal Correlation in H.264", IEEE TENCON 2005, 3D-07.3, Nov. 2005.
- [5] B. Jeon and J. Lee, "Fast Mode Decision for H.264", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T SG16 Q.6, JVT 10th meeting, Waikoloa, Hawaii, Dec. 2003.
- [6] F. Pan, X. Lin, S. Rahadja, K.P. Lim, Z. G. Li, D. Wu and S. Wu, "Fast Intra Mode Decision Algorithm for H.264/AVC Video Coding", ICIP2004 Volume 2, pp781-784, 24-27 Oct, 2004.
- [7] Jong-ho Kim and Jechang Jeong, "Fast Intra-mode Decision in H.264 Video Coding using Simple Directional Masks", VCIP2005 SPIE, Vol. 5960, pp.1071-1079, July. 2005.
- [8] Takeshi Tsukuba, Isao Nagayoshi, Tsuyoshi Hanamura and Hideyoshi Tominaga, "H.264 Fast Intra-Prediction Mode Decision based on Frequency Characteristic", EUSIPCO2005, Sep. 2005.