H.264의 고속 부호화 처리를 위한 변환 및 양자화 과정 생략 기법

정회원 송 원 선*, 종신회원 홍 민 철*

A Skipping Method of Transformation and Quantization Process for Fast H.264 Encoder

Wonseon Song* *Regular Member*, Min-Cheol Hong* *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 H.264의 부호화 고속 처리를 위한 skip 모드 블록의 사전 예측을 통한 변환 과정 및 양자화 과정 생략 기법에 대해 제안한다. 정수 여현 변환과 양자화의 유도 과정을 이용하여 생략 가능 블록을 예측하고, 이를 이용하여 압축 효율에 영향 없이 효과적으로 양자화 생략하는 방식에 대해 기술한다. 실험 결과를 통해 제안 방식을 이용한 예측된 블록이 효과적으로 예측되어 생략되었음을 확인할 수 있었다.

Key Words : Transformation, Quantization, Skip Mode, Complexity, H.264

ABSTRACT

In this paper, we present a skipping method of transformation and quantization process using skip blocks estimation in fast H.264 video encoder. In order to reduce the complexity, we estimate skip mode blocks using integer discrete cosine transform and quantization and a skipping condition is derived by the analysis of those processes. The experimental result show that the proposed algorithm has effective estimations.

Ⅰ. 서 론

다양한 동영상 압축 표준 규격들 중 H.264 동영상 표준 부호화 방식은 기존 동영상 압축 방식과 비교하여 개선된 압축 효율의 장점으로 인해 다양한 응용분야에서 활용되고 있다. 이와 같은 장점에도 불구하고 계산량의 문제로 인해 고속 알고리즘 구현에 어려움이 따른다. 그러므로 H.264 동영상 표준 부호화 방식의 부호화 복잡성으로 해결하기 위한 다양한 접근 방식이 이루어지고 있다. 일반적으로 많은 계산량이 요구되는 움직임 보상 및 예측에 관한 고속 부호화 방식들이 주를 이루고 있다. H.264 동영상 표준 부호화 방식은 화면 내 예측 부호화, 정수형 이산 여현 변환, 가변 블록 크기의 움직임 추정 및 보상 등을 특징으로 하고 있다[1]-[3]. 상기와 같은 기존 방식과 다른 세부 압축 방식은 연산량을 증가시키는 문제점을 동반하고 있다. 본 논문에서는 H.264 동영상 표준 부호화 방식의 특징 중 정수 이산 여현 변환 과정으로 인해 복잡성이 증가된 변환과정과 양자화 과정을 생략하는 조건에 대해 제안한다. 기존의 제안 방식으로는 모든 이산 여현 변환된 계수들에 대한 그 절대값의 상한치를 이론적으로 분석하여 동시에 '0'으로 양자화 되는 충분조건을 유도하는 방식이 제안되었으며, 휘도 블록과 색차 블록을 이용하여 참조 화면과 현재 화면에서 최

※ 본 연구는 서울시 산학연 협력사업(10544)으로 구축된 SUITE 클러스터 및 학술진흥재단 중점연구소 지원 사업 (KRF-2006-005-J03801)에 의해 수행되었음.
* 숭실대학교 정보통신전자공학부 (wonseon@ssu.ac.kr, mhong@ssu.ac.kr),
논문번호 : KICS2009-09-427, 접수일자 : 2009년 9월 22일, 최종논문접수일자 : 2009년 10월 6일

적으로 매칭된 매크로블록의 인접 매크로 블록을 찾아 보다 정확한 충분조건을 이론적으로 유도하였다[4]-[7]. 또한 임계치를 이용한 충분조건이 아닌 예측 오차 블록에 대한 실제 이산 여현 변환된 계수들을 이용한 방법도 제안되었다[8]-[10]. 이와 같은 기존의 변환 및 양자화 과정 생략 방식은 MPEG-2, MPEG-4 Part 2 등과 같이 기존의 동영상 표준 방식에 관한 것으로서 정수 이산 여현 변환 과정을 기반으로 하는 H.264 동영상 표준 부호화 방식의 변환 및 양자화 과정 생략 방식에 대한 연구는 활성화되어 있지 않다.

본 논문에서는 H.264 동영상 표준 부호화 방식의 정수 이산 여현 변환 및 양자화 과정을 이용하여 양자화 과정의 생략 조건을 유도하고, 연산량을 감소시키는 방식에 대해 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2절에서는 고속 동영상 압축을 위한 변환 과정과 양자화 과정 생략 기법의 배경에 대해 간략히 설명하고, 3절에서는 제안된 방식의 알고리즘에 대해 설명한다. 고속 동영상 표준 부호화 방식을 위한 변환 과정, 양자화 과정, 그리고 잔여신호를 이용하여 임계치를 유도하였다. 또한 4절에서는 제안된 방식의 실험결과에 대해 기술하고, 5절에서는 결론을 맺는다.

Ⅱ. 연구 배경

H.264 동영상 표준 부호화 방식에서 부호화 과정은 4×4 블록 기반의 정수 변환, 화면 내 예측 부호화, 블록 기반의 움직임 추정 및 보상을 기반으로 기존의 표준 부호화 방식과는 상이한 구조를 가지고 있으며, 이로 인해 고속 동영상 압축을 위한 양자화 과정 생략 기법과는 다르게 정의되어야 한다.

H.264 동영상 표준 부호화 방식에서는 부호화기와 복호화기의 역 이산 여현 변환과의 부정합(mismatch) 문제를 해결하고 효율적인 구현을 위하여 4×4 정수형 변환을 적용하였다. 또한, 양자화 과정은 나눗셈 및 실수 연산을 피하기 위해 다음과 같이 기존 방식과는 다르게 복잡한 방법으로 수행된다.

$$E_q(u,v)=\frac{E_I(u,v)A(Q_M,u,v)+f}{2^{15+Qp/6}},\ Q_M=Q_P\bmod 6 \quad (1)$$

위 식에서 $E_q(u,v)$와 $E_I(u,v)$는 각각 블록 내의 (u,v)번째 양자화 된 계수 및 정수형 이산 여현 변환 계수를 의미한다. 또한 Qp, f 그리고 $A(Q_M,u,v)$는 각각 양자화 인덱스, 원점 확대 영역 조절 변수, 그리고 양자화 변수에 의존하는 크기 조정 인자 (scaling factor)를 각각 나타낸다. 또한 $A(Q_M,u,v)$는 다음과 같은 테이블로 정의된다.

$$A(Q_M,u,v)=\begin{bmatrix}13107 & 5243 & 8066\\ 11916 & 4660 & 7490\\ 10082 & 4194 & 6554\\ 9362 & 3647 & 5825\\ 8192 & 3355 & 5243\\ 7282 & 2893 & 4559\end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$\begin{aligned}&r=0,\ \text{for}\ (u,v)=\{(0,0),(0,2),(2,0),(2,2)\}\\ &r=1,\ \text{for}\ (u,v)=\{(1,1),(1,3),(3,1),(3,3)\}\\ &r=2,\qquad\qquad otherwise\end{aligned}$$

Ⅲ. 변환 및 양자화 과정 생략 제안 방식

본 절에서는 부가적인 계산 없이 변환 과정 및 양자화 과정을 생략하여 계산량을 감소시키기 위한 제안 방식에 대해 설명한다. MPEG-4 등과 같이 일반적인 이산 여현 변환 과정 및 선형 양자화기를 사용하는 경우, 양자화 된 이산 여현 변환 계수 최대값이 다음 조건을 만족할 때, 양자화 과정은 생략될 수 있다.

$$\max_{i,j}|Z_{ij}|<2\times Qstep \quad (3)$$

위 식에서 Z_{ij}는 (i,j)번째 양자화된 DCT (Discrete Cosine Transform) 계수를 의미하며, $Qstep$은 양자화 스텝 크기를 나타내고, max는 최대값 연산자를 의미한다. H.264 동영상 부호화 방식은 양자화 과정을 아래와 같이 비선형적으로 정의한다.

$$Z_{ij}=\text{round}\left(W_{ij}\frac{PF}{Qstep}\right) \quad (4)$$

식 (4)에서 W_{ij}는 H.264 동영상 표준 부호화 방식의 정수 변환만을 거친 계수이며, PF는 post scaling 요소로서 4×4 블록 내의 화소 위치에 따라 다른 값을 갖는다. 또한 위의 식 (4)는 H.264 동영상 표준 부호화 방식의 참조 모델에서 MF (multiplication factor)라는 곱셈과 우측 이동 연산을 이용해 나눗셈 연산을 피하기 위한 식으로 다음과 같이 재표현되어 사용하였다.

$$Z_{ij}=\text{round}\left(W_{ij}\frac{MF}{2^{qbits}}\right) \quad (5)$$

식 (3), 식 (4), 식 (5)와 H.264 동영상 표준 부호화 방식의 변환 과정에서 잔여 신호의 최대값을 이용하여 H.264 동영상 표준 부호화 방식의 가변 블록 크기에 대한 변환 및 양자화 과정 생략 기법은 다음과 같이 유도하여 임계치를 나타낼 수 있다.

$$\max_{ij}|W_{ij}| < 2 \times \left| \frac{PF}{MF} \times 2^{qbits} \right| \times Qstep \qquad (6)$$

위의 식 (4)와 식 (6)에서 $Qstep$은 양자화 스텝 사이즈를 나타내고 $qbits$는 Qp와 6의 모듈러(modulus, %) 연산된 값을 의미한다.

각 블록의 공간 영역의 최대 절대값이 식 (6)을 만족하는 경우, 변환 및 양자화 과정을 생략하게 되며, 상기 조건을 만족하지 못하는 경우 변환 과정을 거치게 된다. 정수형 DCT 계수는 할당된 QP 값이 24보다 작은 경우 휘도 신호에 대해서는 16개의 4×4 블록의 DC 성분만을 취해 Hardamard 변환을 취하고, 색신호 성분에 대해서는 4개의 4×4 블록의 DC 성분만을 취해 Hardamard 변환을 취해 압축 효율을 보다 개선한다. 식 (3)은 변환 계수를 이용하여 양자화 과정을 생략할 수 있는 조건이므로 본 논문에서는 식 (6)에 의해 검출되지 못한 블록들의 DC 계수의 Hardamard 변환된 계수들이 식 (7)과 (3)을 만족하는 경우 양자화 생략 과정을 생략한다. 식 (7) 조건은 다음과 같다.

$$\max_{ij}|Z_{ij}| = \max_{i}\{BLK_{1_{DC}}, \cdots, BLK_{i_{DC}}\} \qquad (7)$$

위 식의 i는 Hardamard 변환에 사용되는 블록의 번호를 의미하며 휘도 성분인 경우 $i=16$, 색신호 성분에 대해서는 $i=4$이다.

그림 (1)은 제안된 방식의 전체 블록도를 나타낸다.

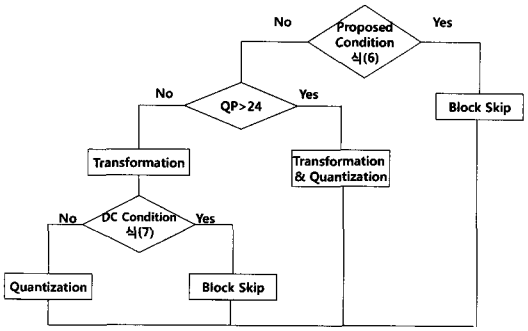

그림 1. 제안된 방식의 전체 블록도

식 (6)과 같이 제안된 방식에 의해 조건 판별 후, 조건에 만족하는 경우 해당 블록이 생략되어 다음과정을 수행하게 되고, 조건이 만족되지 않는 경우 QP값과 비교하여 그 조건에 만족하면 H.264 동영상 표준 부호화 방식과 같이 변환 및 양자화 과정을 수행하고, 그렇지 않으면 양자화를 수행한 후 식 (7)의 조건에 따라 해당 블록을 생략하거나 양자화 과정을 수행하게 된다.

Ⅳ. 실험 결과

본 논문에서 제안된 고속 동영상 표준 부호화 방식을 위한 변환 과정 및 양자화 과정 생략 기법으로 다양한 영상을 여러 QP에 대해 실험하였다. 제안된 방식은 H.264 동영상 표준 부호화 방식의 JM 13.0 환경하에서 실험하였으며, 그 중 QCIF 및 CIF 해상도의 "Foreman", "Hall monitor", "Mobile" 및 "Stefan" 영상에 대한 결과를 기술한다. 성능 비교를 위해 PSNR을 사용하였으며, $M \times N$ 크기의 8비트 영상에 대한 PSNR은 다음과 같이 정의된다.

$$PSNR = \frac{255^2 \times M \times N}{\| f - \tilde{f} \|^2} \qquad (8)$$

식 (8)에서 f와 $\tilde{f}$는 각각 원 영상 및 부호화 된 영상을 나타내고, $\| . \|$ 는 Euclidean norm을 의미한다. 표 1부터 표 8까지는 각기 다른 해상도의 각 영상에 대해 양자화 인덱스 QP에 따른 PSNR, 비트율, 그리고 제안된 변환 및 양자화 과정 생략 신뢰표를 나타내었다. 실험에 사용한 모든 영상에 대해 비트율에 대한 skip 모드 정보 예측 오류에 의한 PSNR 손실은 없었으며 연산량 이득은 QP값이 커질수록 많아짐을 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과는 QP 값이 커질수록 저비트율 압축 과정을 필요로 하고, 이를 위해 양자화과정 생략 블록수가 많아지게 되고 상대적으로 연산 이득이 커지게 되기 때문이다.

또한 아래의 표들에서 'Fault'는 H.264 동영상 표준 부호화 방식에서 skip 블록이 아니지만 제안 방식에서 생략된 블록의 수를 의미하며, 'Fault'에 해당되는 블록이 발생하면 압축 효율에 심각한 저하가 발생한다. 'Miss'는 H.264 동영상 표준 부호화 방식에서 생략 블록이지만 제안 방식에서 생략 블록으로 검출하지 못하는 경우를 나타내고, 'Miss' 블록이 많아질수록 압축 효율 저하는 발생하지 않게 되지만 연산량 절감 효과가 감소하게 된다. 또한 'Succ'는 생략 블록

표 1. QCIF "Foreman" 영상의 QP에 따른 성능 비교 및 변환/양자화 과정 생략에 관한 신뢰표

QP		PSNRY [dB]	PSNRU [dB]	PSNRV [dB]	Bitrate [Kbps]	Luminance			Chrominance		
						Fault [개]	Miss [개]	Succ [개]	Fault [개]	Miss [개]	Succ [개]
16	H.264	45.10	46.19	47.13	340.11	-	-	-	-	-	-
	제안방식	45.10	46.19	47.13	340.11	0	10387	193261	0	1466	18334
24	H.264	38.61	41.93	42.93	127.16	-	-	-	-	-	-
	제안방식	38.61	41.93	42.93	127.16	0	5042	217934	0	543	19257
32	H.264	33.06	39.08	39.48	46.09	-	-	-	-	-	-
	제안방식	33.06	39.08	39.48	46.09	0	259	259225	0	130	19670
40	H.264	28.04	36.90	36.89	18.30	-	-	-	-	-	-
	제안방식	28.04	36.90	36.89	18.30	0	56	290792	0	27	19773

표 2. QCIF "Hall monitor" 영상의 QP에 따른 성능 비교 및 변환/양자화 과정 생략에 관한 신뢰표

QP		PSNRY [dB]	PSNRU [dB]	PSNRV [dB]	Bitrate [Kbps]	Luminance			Chrominance		
						Fault [개]	Miss [개]	Succ [개]	Fault [개]	Miss [개]	Succ [개]
16	H.264	45.10	44.84	45.33	253.74	-	-	-	-	-	-
	제안방식	45.10	44.84	45.33	253.74	0	11498	259462	0	1227	18573
24	H.264	39.78	40.90	42.71	51.89	-	-	-	-	-	-
	제안방식	39.78	40.90	42.71	51.89	0	1085	292451	0	308	19492
32	H.264	34.23	38.14	40.30	19.00	-	-	-	-	-	-
	제안방식	34.23	38.14	40.30	19.00	0	33	297599	0	13	19787
40	H.264	28.58	36.29	39.04	7.25	-	-	-	-	-	-
	제안방식	28.58	36.29	39.04	7.25	0	8	305256	0	2	19798

표 3. QCIF "Mobile" 영상의 QP에 따른 성능 비교 및 변환/양자화 과정 생략에 관한 신뢰표

QP		PSNRY [dB]	PSNRU [dB]	PSNRV [dB]	Bitrate [Kbps]	Luminance			Chrominance		
						Fault [개]	Miss [개]	Succ [개]	Fault [개]	Miss [개]	Succ [개]
16	H.264	43.98	44.56	44.43	757.22	-	-	-	-	-	-
	제안방식	43.98	44.56	44.43	757.22	0	25370	201898	0	4767	15033
24	H.264	36.56	37.84	37.60	335.87	-	-	-	-	-	-
	제안방식	36.56	37.84	37.60	335.87	0	12450	222846	0	2410	17390
32	H.264	29.57	32.78	32.48	108.80	-	-	-	-	-	-
	제안방식	29.57	32.78	32.48	108.80	0	4532	233110	0	1626	18174
40	H.264	23.95	29.57	28.96	31.94	-	-	-	-	-	-
	제안방식	23.95	29.57	28.96	31.94	0	1908	284140	0	487	19313

표 4. QCIF "Stefan" 영상의 QP에 따른 성능 비교 및 변환/양자화 과정 생략에 관한 신뢰표

QP		PSNRY [dB]	PSNRU [dB]	PSNRV [dB]	Bitrate [Kbps]	Luminance			Chrominance		
						Fault [개]	Miss [개]	Succ [개]	Fault [개]	Miss [개]	Succ [개]
16	H.264	44.58	45.25	45.28	701.21	-	-	-	-	-	-
	제안방식	44.58	45.25	45.28	701.21	0	23338	201014	0	2377	17423
24	H.264	37.50	39.04	38.87	332.78	-	-	-	-	-	-
	제안방식	37.50	39.04	38.87	332.78	0	10680	232584	0	1092	18708
32	H.264	30.62	34.99	34.59	125.40	-	-	-	-	-	-
	제안방식	30.62	34.99	34.59	125.40	0	7536	241296	0	894	18906
40	H.264	24.76	32.64	32.11	42.40	-	-	-	-	-	-
	제안방식	24.76	32.64	32.11	42.40	0	2110	260434	0	123	19677

표 5. CIF "Foremanr" 영상의 QP에 따른 성능 비교 및 변환/양자화 과정 생략에 관한 신뢰표

QP		PSNRY [dB]	PSNRU [dB]	PSNRV [dB]	Bitrate [Kbps]	Luminance			Chrominance		
						Fault [개]	Miss [개]	Succ [개]	Fault [개]	Miss [개]	Succ [개]
16	H.264	45.19	44.80	44.73	1013.21	-	-	-	-	-	-
	제안방식	45.19	44.80	44.73	1013.21	0	45432	576720	0	2308	76892
24	H.264	39.32	38.14	38.18	552.83	-	-	-	-	-	-
	제안방식	39.32	38.14	38.18	552.83	0	20336	627320	0	1644	77556
32	H.264	34.26	33.11	33.31	285.53	-	-	-	-	-	-
	제안방식	34.26	33.11	33.31	285.53	0	1464	639592	0	1016	78184
40	H.264	29.51	30.44	30.00	149.94	-	-	-	-	-	-
	제안방식	29.51	30.44	30.00	149.94	0	136	642572	0	584	78616

표 6. CIF "Hall monitor" 영상의 QP에 따른 성능 비교 및 변환/양자화 과정 생략에 관한 신뢰표

QP		PSNRY [dB]	PSNRU [dB]	PSNRV [dB]	Bitrate [Kbps]	Luminance			Chrominance		
						Fault [개]	Miss [개]	Succ [개]	Fault [개]	Miss [개]	Succ [개]
16	H.264	44.85	44.60	44.62	982.84	-	-	-	-	-	-
	제안방식	44.85	44.60	44.62	982.84	0	51624	553240	0	1384	77816
24	H.264	39.23	37.90	37.90	548.37	-	-	-	-	-	-
	제안방식	39.23	37.90	37.90	548.37	0	13440	617056	0	1056	78144
32	H.264	34.32	33.46	33.69	296.72	-	-	-	-	-	-
	제안방식	34.32	33.46	33.69	296.72	0	656	635920	0	748	78452
40	H.264	29.26	30.68	30.71	152.82	-	-	-	-	-	-
	제안방식	29.26	30.68	30.71	152.82	0	88	648520	0	424	78776

표 7. CIF "Mobile" 영상의 QP에 따른 성능 비교 및 변환/양자화 과정 생략에 관한 신뢰표

QP		PSNRY [dB]	PSNRU [dB]	PSNRV [dB]	Bitrate [Kbps]	Luminance			Chrominance		
						Fault [개]	Miss [개]	Succ [개]	Fault [개]	Miss [개]	Succ [개]
16	H.264	43.93	43.73	43.61	1781.72	-	-	-	-	-	-
	제안방식	43.93	43.73	43.61	1781.72	0	48464	492080	0	1596	77604
24	H.264	36.58	36.29	36.02	1155.36	-	-	-	-	-	-
	제안방식	36.58	36.29	36.02	1155.36	0	11880	611992	0	1100	78100
32	H.264	30.05	30.46	30.28	649.64	-	-	-	-	-	-
	제안방식	30.05	30.46	30.28	649.64	0	440	626952	0	452	78748
40	H.264	24.59	26.35	25.94	311.45	-	-	-	-	-	-
	제안방식	24.59	26.35	25.94	311.45	0	184	635208	0	68	79132

표 8. CIF "Stefan" 영상의 QP에 따른 성능 비교 및 변환/양자화 과정 생략에 관한 신뢰표

QP		PSNRY [dB]	PSNRU [dB]	PSNRV [dB]	Bitrate [Kbps]	Luminance			Chrominance		
						Fault [개]	Miss [개]	Succ [개]	Fault [개]	Miss [개]	Succ [개]
16	H.264	44.94	44.20	45.23	1194.02	-	-	-	-	-	-
	제안방식	44.94	44.20	45.23	1194.02	0	44044	549536	0	1800	77400
24	H.264	38.47	37.08	38.61	733.36	-	-	-	-	-	-
	제안방식	38.47	37.08	38.61	733.36	0	37856	585316	0	1656	77544
32	H.264	32.61	31.30	34.02	392.06	-	-	-	-	-	-
	제안방식	32.61	31.30	34.02	392.06	0	17552	610288	0	956	78244
40	H.264	27.71	27.83	30.76	186.60	-	-	-	-	-	-
	제안방식	27.71	27.83	30.76	186.60	0	20284	625244	0	796	78404

을 제안하는 방식에 의해 변환 및 양자화 과정이 정확하게 생략된 블록 수를 나타낸다. 본 실험을 통해 제안 방식의 변환 및 양자화 과정 생략에 따른 'Fault'는 발생하지 않았으며, 'Miss' 블록 수는 QP가 커질수록 작아짐을 확인할 수 있었다.

본 논문에서 제안한 방식에 대한 결과로부터 H.264 동영상 표준 부호화 방식과 비교하여 제안 방식이 원영상과 동일 비트 및 PSNR을 유지하면서 보다 적은 'Miss' 블록의 수로 변환 및 양자화 과정이 생략되었음을 확인할 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 H.264 동영상 표준 부호화 방식의 연산량 감소를 위한 변환 및 양자화 과정 생략 기법에 대해 제안하였다. 정수 이산 여현 변환 과정 및 양자화 과정을 이용하여 해당 블록을 생략하기 위한 임계조건을 유도하였으며, 이를 통해 부호화 과정의 변환 및 양자화 과정이 보다 더 정확한 임계치로부터 생략 블록을 예측하여 연산량 절감의 효과를 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

〔1〕 Draft ITU-T Recommendation and Final Draft International Standard of Joint Video Specification (ITU-T Rec. H.264|ISO/IEC 14496-10 AVC) JVT-G050, May 2003.

〔2〕 T. Wiegand, G. Sullivan, G. Bjontegaard, and A. Luther, "Overview of H.264/AVC Video Coding Standard," IEEE Trans. Circuit and Systems for Video Tech., vol. 13, pp. 560-571,

July, 2003.
[3] I. Richardson, H.264 and MPEG-4 Video Compression, Wiley, 2003.
[4] Z. Xuan, Y. Zhenghua, and Y. Songyu, "Method for detecting all-zero DCT coefficients ahead of discrete cosine transform and quantization," Electronics Letters, vol. 45, no. 19, pp. 1839-1840, Sept. 1998.
[5] L. Sousa, "General method for eliminating redundant computations in video coding," IEEE Trans. Consumer Electronics Letters, vol. 36, no. 4, pp. 306-307, Feb. 2000.
[6] S. Jun and S. Yu, "Efficient method for early detection of all-zero DCT coefficients, " IEEE Trans. Consumer Electronics Letters, vol. 37, no. 3, pp. 160-161, Feb. 2001.
[7] 문용호, "고속 비디오 코딩을 위한 효율적인 DCT 계산방식," 한국통신학회 논문지, vol. 37, no. 9A, pp. 908-915, 2002.9.
[8] I.-M. Pao and M. -T. Sun, "Modeling DCT coefficients for fast video encoding," IEEE Trans. Circuit and Systems for Video Technology, vol. 9, no, 4, pp. 608-616, June 1999.
[9] N. A. August and D. S. Ha, "Low power design of DCT and IDCT for low bitrate video codecs," IEEE Trans. Multimedia, vol. 6, no. 3, pp. 414-422, June 1999.
[10] Y. Wang, Y. Zhou, and H. Yang, "Early detection method for all-zero integer transform coefficients," IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 50, no. 3, pp. 923-928, Aug. 2004.

송 원 선 (Wonseon Song) 정회원

2001년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학부 졸업
2003년 2월 숭실대학교 정보통신공학과 석사 졸업
2007년 8월 숭실대학교 정보통신공학과 박사 졸업
2008년 3월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 박사후과정
<관심분야> 영상복원, 영상개선, 동영상 압축

홍 민 철 (Min-Cheol Hong) 종신회원
한국통신학회 논문지 제 34권 8C호 참고