

## 움직임벡터차에 기반한 고속 움직임 추정 방법

## Fast Motion Estimation Method Based on Motion Vector Differences

강현수

충북대학교 정보통신공학부

Hyun-Soo Kang(hskang@cbnu.ac.kr)

## 요약

본 논문은 움직임벡터차의 확률을 이용하여 움직임 탐색 범위를 결정하는 새로운 고속 움직임 추정 방법을 제안한다. 제안된 방법은 일종의 적응적 탐색영역 방법이다. 움직임벡터차의 분포에 대한 조사하고 그 분포의 파라미터를 최대우도추정방법으로 추정한다. 이 추정된 분포를 이용하여 탐색 범위는 움직임벡터차의 지정된 확률에 의해 효과적으로 제한될 수 있음을 보인다. 실험적으로 제안된 방법의 성능이 화질 면에서 전역탐색법과 유사하며 복잡도 면에서는 중대한 감소를 입증하였다. 뿐만 아니라, 제안된 방법이 기존의 적응적 탐색영역 방법에 비해 훨씬 더 효과적으로 탐색영역을 결정함을 보여주었다.

■ 중심어 : | 움직임 추정 | H.264/AVC | 적응적 탐색영역 |

## Abstract

This paper presents a new fast motion estimation method where search ranges are determined by the probabilities of motion vector differences (MVDs), which is an adaptive/dynamic search range (ASR) method. The MVDs' distribution is investigated and its parameter is estimated by the maximum likelihood estimator. With the estimated distribution, we show that the search ranges can be efficiently restricted by a prefixed probability for MVDs. Experimental results showed that the performance of the proposed method is very similar to that of the full search algorithm in PSNR but it enables significant reduction in the computational complexity. In addition, they revealed that the proposed method determine the search ranges much more efficiently than the conventional ASR methods.

■ keyword : | Motion Estimation | H.264/AVC | Adaptive Search Range |

## I. 서론

움직임 추정 (motion estimation: ME)은 비디오 신호의 시간방향 중복성 제거에 매우 효과적임에 따라 H.264/AVC [1]와 같은 부호화 표준에 널리 채용되어왔다. 그러나 움직임 추정은 많은 계산량을 요구하며, 특히 전역탐색법 (full search method)은 최적의 움직임

벡터를 찾는 반면 가장 많은 계산량이 필요하다. 계산량을 감축하기 위하여, 3단계 탐색 [2], 4단계 탐색 [3], 다이아몬드 탐색[4][5], 육각형기반 탐색 [6-8], 적응적 탐색영역 (adaptive search range: ASR) 방법 [9-14] 등 많은 고속화 방법이 제안되었다. 참고문헌 [2-8]에서 제안된 방법들은 그들 고유의 탐색 패턴을 특징으로 하면서도 탐색점의 표본화를 통해 탐색점의 개수를 감소

\* 이 논문은 2010년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

접수번호 : #110111-009

접수일자 : 2011년 01월 11일

심사완료일 : 2011년 03월 14일

교신저자 : 강현수, e-mail : hskang@cbnu.ac.kr

시켜 계산량을 감축하는 공통적인 특성을 가지고 있다. 비록 이러한 고속화 알고리즘들이 상당한 계산량 감축을 성취할 수 있지만 이 알고리즘들의 직렬적인 처리 특성 때문에 하드웨어 친화적이지 못한 점이 있다.

한편, ASR 방법들은 시스토크 어레이 (stytolic array)와 같은 규칙적인 구조에 의해 구현될 수 있으므로 하드웨어 친화적인 특성을 가진다. 또한 이 방법은 모든 탐색영역의 화소를 읽어올 필요가 없으므로, 외부 프레임 메모리에서 움직임 추정 모듈의 내부 메모리로의 데이터를 읽어오는데 필요한 클럭수에 해당하는 메모리 대역폭 (memory bandwidth)을 감축할 수 있다. ASR 방법들은 일반적으로 주변 블록들의 움직임 벡터의 평균, 중간 값 등의 연산을 통해 현재 블록의 움직임 탐색영역을 결정한다 [9-12]. 한편 [13]에서는 주변 블록의 움직임 추정 오차에 기반한 ASR 방법이 제안되었다. [14]에서는 현재블록의 움직임 벡터를 추정하여 움직임 탐색영역을 제한하는 ASR 방법이 제안되었다.

본 논문에서는 H.264/AVC에 적용 가능한 ASR 방법에 기반한 고속 추정 방법을 제안한다. 우선, 최대우도 추정법 (maximum likelihood estimation)을 이용하여 움직임 벡터차의 확률밀도함수 (probability density function: PDF)가 모델링된다. 이 모델링된 PDF를 기반으로 움직임 벡터차가 탐색영역에 포함될 확률을 제한조건으로 설정함으로써 움직임 탐색영역을 결정하는 방법을 제안한다.

## II. 제안된 방법

### 1. 움직임 벡터차의 분포

탐색범위는 일반적으로 H.264/AVC와 같은 비디오 부호기의 입력 파라미터로 고정되어 있음에 따라 탐색범위가 입력 영상의 움직임보다 큰 경우 계산량이 낭비될 소지가 많다. 그러나 만약 움직임 벡터차 (motion vector difference: MVD)가  $\pm k$  내에 존재한다는 어떤 근거가 있다면 탐색범위가  $\pm k$ 로 제한될 수 있다. 이와 같은 맥락으로 MVD의 분포가 주어진다면 MVD가 제한된 탐색영역 내에 존재할 확률을 계산할 수 있다. 만

약 이 확률을 제한한다면 역으로 MVD의 탐색범위를 도출할 수 있다. 이것이 본 논문의 핵심 아이디어이다.

이제 MVD의 분포에 대해서 살펴보자. H.264의 움직임 벡터 예측치 (motion vector predictor: MVp)는 MV 예측에 매우 우수한 성능을 가지고 움직임 탐색의 중심점에 해당하므로 MVD의 각 성분은 라플라스 분포를 따른다고 볼 수 있다. [그림 1]은 Foreman CIF 영상을 부호화하였을 때 얻어지는 MVD의 분포이다. 기 언급한 바와 같이 MVD의 분포가 라플라스 분포에 의해 잘 모델링될 수 있음을 발견할 수 있다.

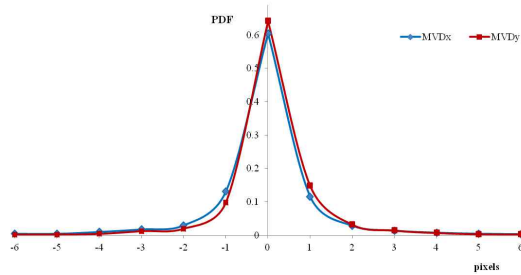


그림 1. Foreman CIF 부호화 결과 얻어진 MVD의 x성분 (MVDx)와 y성분 (MVDy)의 분포

MVD는 불연속 값을 가진 신호임을 고려하면서, 확률밀도함수 (probability density function: PDF)의 합이 1이 되는 조건을 만족하도록 라플라스 분포가 아래와 같이 수정하였다.

$$f_Z(z) = \tanh(\alpha/2) \cdot \exp(-\alpha|z|) \quad (1)$$

여기서  $Z$ 는 불연속 랜덤변수이고  $\alpha$ 는 양의 상수이다. 식(1)의 PDF는 정수화소에 대해 성립하지만 스케일링을 통해 쉽게 1/4 화소 단위로 쉽게 변환할 수 있다.

MVD의 x와 y성분에 대해 식(1)을 적용할 수 있고, 각 성분이 서로 독립적으로 MVp가 계산된 후 MVD가 얻어지므로 각 성분은 서로 독립이라고 가정할 수 있을 뿐만 아니라 MVD는 예측 오차에 해당하므로 서로 상관성이 없으므로, 각 성분의 PDF는 서로 독립으로 가정할 수 있다. 따라서, 결합확률밀도함수를 다음과 같이

표현할 수 있다.

$$f_{XY}(x,y) = \tanh(\alpha_x/2) \cdot \tanh(\alpha_y/2) \cdot \exp[-(\alpha_x|x| + \alpha_y|y|)] \quad (2)$$

식(2)의 분포를 확정짓기 위해서는 상수  $\alpha_x$ 와  $\alpha_y$ 를 구하여야 한다. 이를 위하여  $N$ 개의 독립이고 동일 분포의 MVD 샘플  $(s_1, s_2, \dots, s_N)$ 을 가정하면서,  $\alpha = (\alpha_x, \alpha_y)$ 의 추정 벡터  $\hat{\alpha}$ 이 최대우도추정법(maximum likelihood estimation)에 의해 얻어질 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{\alpha} &= \max_{\alpha} l(\alpha | s_1, s_2, \dots, s_N) \\ &= \max_{\alpha} \ln [l(\alpha | s_1, s_2, \dots, s_N)] \\ &= \max_{\alpha} \sum_{i=1}^N \ln [f_{X_i Y_i}(x_i, y_i)] \end{aligned} \quad (3)$$

여기서  $s_i = (x_i, y_i)$ 이고  $l(\cdot)$ 은 우도 함수이다.

식(3)을  $\alpha_x$ 와  $\alpha_y$ 에 대해 미분을 수행함으로써 추정 벡터를 구할 수 있다. 즉,

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \alpha_x} \sum_{i=1}^N \ln [f_{X_i Y_i}(x_i, y_i)] &= 0, \\ \frac{\partial}{\partial \alpha_y} \sum_{i=1}^N \ln [f_{X_i Y_i}(x_i, y_i)] &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

결과적으로, 다음과 결과식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{\alpha}_x &= \begin{cases} \sinh^{-1}(1/\mu_x), & \mu_x \neq 0 \\ 0, & \mu_x = 0 \end{cases} \\ \hat{\alpha}_y &= \begin{cases} \sinh^{-1}(1/\mu_y), & \mu_y \neq 0 \\ 0, & \mu_y = 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (5)$$

where

$$\mu_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x_i|, \quad \mu_y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i|$$

식(5)는 추정 벡터의 각 성분이 샘플 벡터들의 각 성분들의 절대값의 평균과 관계가 깊음을 알 수 있다.

## 2. 적중확률 $\gamma^2$ 에 따른 탐색범위 제한

이제 적중확률에 따른 탐색범위 제한에 대해 살펴보자. 여기서 적중확률이란 MVD가 각 방향에 대해 제한된 탐색범위  $[\pm k_x, \pm k_y]$  내에 있을 사건 A와 사건 B의 확률을 의미한다. 사건 A와 B는 아래와 식과 같이 정의된다.

$$A = \{|X| \leq k_x\}, \quad B = \{|Y| \leq k_y\} \quad (6)$$

역으로, 사건 A와 B가 각각  $\gamma$ 의 확률이라고 하였을 때, 탐색영역은 다음과 같이 주어진다.

$$k_z = -1 - \frac{1}{\alpha_z} \ln \left[ \frac{1-\gamma}{2} (1 + e^{-\alpha_z}) \right] \quad (7)$$

식(7)에서  $\alpha_z$ 는 식(5)로부터 추정치를 계산함으로써 얻어질 수 있다. 여기서 한 가지 살펴볼 점은 탐색범위가 정사각형 영역으로 나타나기 보다는 직사각형 영역으로 나타난다는 점이다.

## 3. 제안된 알고리즘

지금까지 MVD의 PDF와 적중 확률에 대해 기술하였다. 실제적인 문제로서, 추정 벡터  $\hat{\alpha}$ 를 얻기 위해서는  $N$ 개의 MVD 샘플이 필요로 한다. 샘플의 선정에 있어서, 주변 블록들의 움직임 정보를 이용한 수많은 선택 방법이 존재하지만, 추정 벡터가 가능하면 정확히 얻어질 수 있도록 선정에 주의하여야 한다. 메모리 요구량과 실험적인 결과를 바탕으로 총 8가지의 샘플 벡터로 구성된 집합  $S_8$ 를 선정하였다.

$$S_8 = S_1 \cup S_2, \quad (8)$$

where

$$\begin{aligned} S_1 &= \{MVD_A, MVD_B, MVD_C, MVD_{col}\}, \\ S_2 &= \{MV_A - MV_p, MV_B - MV_p, \\ &\quad MV_C - MV_p, MV_{col} - MV_p\} \end{aligned}$$

집합  $S_8$ 는 부분집합  $S_1$ 와  $S_2$ 의 합집합으로 구성되

어 있다. 부분집합  $S_1$ 은 현재블록을 기준으로 좌측블록 (A), 상단블록 (B), 우측상단블록 (C), 이전 프레임의 동일 위치 블록 (col)의 움직임 벡터차로 구성되어 있다. 우측상단블록이 유효하지 않은 경우 좌측상단블록 (D)를 사용한다. 블록의 정의는 H.264/AVC에서 사용되는 정의와 동일하며 [그림 2]는 블록의 정의를 도식적으로 보여준다.

한편, 부분집합  $S_2$ 는 주변 블록의 움직임 벡터와 MVp의 차이로 원소들이 구성된다. 여기서  $MV_A$ ,  $MV_B$ ,  $MV_C$ ,  $MV_{col}$ 은 A, B, C, col 블록의 움직임 벡터이고 MVp는 예측 벡터이다. 이 부분집합에서도 우측상단블록이 유효하지 않은 경우 좌측상단블록 (D)를 사용한다. 여기서 주의할 점은 MVp가  $MV_A$ ,  $MV_B$ ,  $MV_C$ 로부터 계산되므로  $S_2$ 의 첫 번째 세 개의 샘플 중 하나는 반드시 0이 되므로 0이 되는 샘플에서 사용한 움직임 벡터가 상위계층 블록모드 (upper layer block mode) 에서 얻어진 움직임 벡터로 대체된다. 상위계층 블록모드의 정의는 참고문헌 [15]를 따른다.

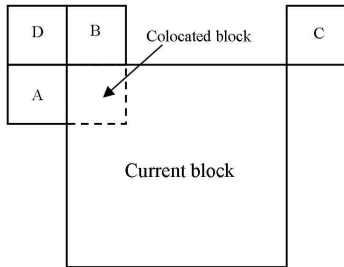


그림 2. 분포함수의 파라미터 추정을 위한 주변 블록의 정의

위와 같이 설정된 샘플들을 이용하여 제안된 알고리즘은 다음과 같이 수행된다.

- [1] 적중확률  $\gamma^2$ 을 설정한다.
- [2] 식(5)와 식(7)을 이용하여 각 방향의 탐색범위  $k_x$ 와  $k_y$ 를 얻는다. 다만 샘플이 6개 미만으로 유효한 경우에는 비디오 부호기의 탐색범위 입력값인  $SR_{org}$ 를  $k_x$ 와  $k_y$ 로 설정한다.
- [3] 최종 탐색범위는 최소 탐색 범위  $f$ 를 보장할 수 있도록 재조정된다. 즉,

$$k_x = \min[\max(k_x, f), SR_{org}],$$

$$k_y = \min[\max(k_y, f), SR_{org}]$$

본 논문에서는  $f=2$ 로 설정되었다.

### III. 실험 결과

제안된 방법의 성능 평가를 위하여 제안된 방법을 JM16.2 [16]에 탑재하여 실험을 수행하였다. 4개의 CIF 영상과 3개의 4CIF 영상에 대해 실험을 수행하였다. 가능한 많은 움직임이 포함될 수 있도록 CIF 이상의 해상도를 가진 영상을 선택하였다. 부호화 파라미터는 다음과 같다. 프레임수-100, 프레임율-30fps, 윌왜곡 최적화 off, 픽처구조-IPPP, 참조 프레임수-1 로 설정하였다.

참고문헌 [8]과 [11]에서 설정한 QP와 동일하게 QP = 8, 18, 28, 38로 설정하여 실험하여 BDPSNR [17]을 측정하였다. [표 1]은 전역탐색법 대비 제안된 방법의 성능을 보여주고 있다. 또한 기존의 ASR 방법과의 비교를 위하여 Xu의 방법 [11]을 구현하여 그 결과를 [표 1]에 포함시켰다 (표에서 DSR로 표기). 표에 나타난 복잡도 (CPX)는 전역탐색법의 탐색점 수와 비교하는 방법에서 사용한 탐색점 수의 비를 의미한다. 예를 들어 6.97의 CPX는 탐색점의 수가 전역탐색법을 1로 보았을 때 이것의 6.97%에 해당하는 탐색점에 대해서만 움직임 추정을 실시하였음을 의미한다.

[표 1]에서 제안된 방법은 적중확률이 증가함에 따라 화질면에서 전역탐색법과 근접함을 보여주고 있다. 반면 복잡도는 증가하게 된다. CIF 영상들에 대해서는 제안된 방법이 90% 이상의 계산량 감축 효과를 보여주고 있으며, 보다 넓은 탐색범위를 필요로 하는 4CIF 영상들에 대해서는 보다 많은 계산량 감축 효과를 얻을 수 있음을 관찰할 수 있다 ([표 1]의 SR=32의 행 참조). 넓은 탐색범위의 경우 제안된 방법은 입력 영상의 움직임 크기에 적응적으로 탐색범위를 조절함으로써 쓸데없는 계산량 낭비를 막아줄 수 있다.

기존의 Xu의 방법과 비교해 보면, 제안된 방법이 이 방법보다 우수한 성능을 보일 뿐만 아니라 입력영상의

표 1. 전역탐색법에 대한 제안된 방법과 Xu의 방법의 BDPSNR과 복잡도

Images	S R	DSR		$\gamma^2=0.7$		$\gamma^2=0.8$		$\gamma^2=0.9$		$\gamma^2=0.95$	
		BDPSNR (dB)	CPX (%)	BDPSNR (dB)	CPX (%)	BDPSNR (dB)	CPX (%)	BDPSNR (dB)	CPX (%)	BDPSNR (dB)	CPX (%)
Hall-monitor	16	-0.039	10.31	-0.046	7.12	-0.039	7.90	-0.030	8.62	-0.040	8.39
Coast-guard	16	-0.008	12.26	-0.014	6.99	-0.009	7.17	-0.010	7.33	-0.012	7.32
Foreman	16	-0.031	15.96	-0.053	7.51	-0.030	9.01	-0.025	10.13	-0.031	9.29
Stefan	16	-0.063	21.27	-0.076	7.58	-0.019	8.83	-0.015	9.61	-0.034	9.11
City	16	-0.016	21.85	-0.015	4.70	-0.007	5.00	-0.003	5.32	-0.013	5.07
	32	-0.014	10.55	-0.019	2.98	-0.014	3.09	-0.011	3.30	-0.014	3.13
Soccer	16	-0.043	56.47	-0.065	6.44	-0.030	9.41	-0.018	10.95	-0.050	9.82
	32	-0.020	30.48	-0.059	3.52	-0.016	5.31	-0.010	6.43	-0.037	5.71
Crew	16	-0.011	33.85	-0.028	11.50	-0.018	19.80	-0.011	23.81	-0.022	21.62
	32	0.002	23.37	-0.023	6.97	-0.014	13.31	-0.010	16.39	-0.019	14.47

움직임 특성에 잘 적응함으로써 급격한 계산량 증가를 막아줄 수 있다. 즉, Xu의 방법은 움직임이 적은 Hall-monitor 영상에 대해서는 비교적 낮은 계산량을 유지하지만 보다 큰 움직임의 가진 coastguard, foreman, stefan 영상에 대해서는 계산량이 급격히 증가함을 알 수 있다. 이에 비해 제안된 방법은 비교적 적은 량의 계산량 증가로 충분한 화질을 제공함을 알 수 있다.

#### IV. 결론

본 논문은 x와 y방향의 탐색범위를 MVD의 확률에 기반하여 효과적으로 제한함으로써 움직임 추정 계산량을 크게 감소시킬 수 있는 새로운 방법을 제안하였다. MVD의 PDF를 실험에 근거하여 라플라스분포로 가정하고, 이 PDF의 파라미터를 최대우도추정법에 의해 구하였다. 또한 이 PDF를 기반으로 탐색범위를 지정하였을 때 최적 움직임 벡터가 이 영역에 포함될 적중확률을 정의하였다. 이 정의를 이용하여 역으로 적중확률을 제한조건으로 주었을 때 얻어지는 탐색범위를 수학적으로 유도하였다. 그 결과 제안된 알고리즘은 총 7가지의 영상시퀀스에 대해 실험함으로써 그 성능을 평가하였다.

전체적으로 제안된 방법은 기존의 방법에 비해 움직임이 큰 영상에서 더욱 더 우수한 결과를 얻었으며, 기존 방법의 복잡도를 약 50% 정도 감축하는 것으로 분

석되었다. 움직임이 작은 영상에 대해서 제안된 방법은 기존의 방법에 비해 복잡도를 효과적으로 감축함을 알 수 있었다.

한편, 각 영상시퀀스에 대해 네 가지 종류의 적중확률에 대해 실험을 실시하여 제안된 방법의 복잡도와 화질 사이의 관계를 알아보았다. 적중확률을 높일 경우 복잡도가 증가하는 반면 화질을 개선되는 특성을 보였으나 적중확률의 증가에도 불구하고 화질이 포화되는 현상을 발견하였다. 따라서 영상의 특성에 따라서 적절한 적중확률을 설정하는 방법의 연구가 추가적으로 요구된다.

#### 참고 문헌

- [1] ITU-T VCEG and ISO/IEC MPEG, *Advanced video coding for generic audiovisual services*, ITU-T Recommendation H.264 and ISO/IEC 14496-10 (MPEG-4 AVC), 2003(5).
- [2] J. Jain and A. Jain, "Displacement measurement and its application in interframe image coding," *IEEE Trans. on Communications*, Vol.29, No.12, pp.1799-1808, 1981(12).
- [3] L.-M. Po and W.-C. Ma, "A novel four-step search algorithm for fast block motion estimation," *IEEE Trans. on Circuits and*

Systems for Video Technology, Vol.6, No.3, pp.313-317, 1996(6).

[4] S. Zhu and K.-K. Ma, "A new diamond search algorithm for fast block matching motion estimation," IEEE Trans. on Image Processing, Vol.9, No.2, pp.287-290, 2000(2).

[5] C. Cheung and L. Po, "A Novel Cross-Diamond Search Algorithm for Fast Block Motion Estimation," IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, Vol.12, No.12, pp.1168-1177, 2002(12).

[6] C. Zhu, X. Lin, and L. P. Chau, "Hexagon-based search pattern for fast block motion estimation," IEEE Trans. on Circuits and Syst. Video Technol., Vol.12, No.5, pp.349-355, 2002(5).

[7] Z. Chen, P. Zhou, and Y. He, *Fast integer and fractional pel motion estimation for JVT*, JVT-F017r, Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG, 2002(12).

[8] X. Yi, J. Zhang, N. Ling, and W. Shang, *Improved and simplified fast motion estimation for JM*, JVT-P021, Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG, 2005(7).

[9] M.-C. Hong and H. H. Oh, *Range decision for motion estimation of VCEG-N33*, JVT-B022, Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG, Feb. 2002.

[10] M.-C. Hong, Chul-Woo Kim, and Kyoung Seok In, *Further improvement of motion search range*, JVT-D117, Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG, 2002(7).

[11] X. Xu, Y. He, *Modification of dynamic search range for JVT*, JVT-Q088, Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG, 2005(10).

[12] T. Song, K. Ogata, K. Saito, and T. Shimamoto, "Adaptive search range motion estimation algorithm for H.264/AVC," Proc. of International

Symposium on Circuits and Systems, pp.3956-3959, 2007.

[13] S. W. Lee, S. M. Park, and H. S. Kang, "Fast motion estimation with adaptive search range adjustment," Optical Engineering, Vol. 46, No. 4, pp. 040504-1-040504-3, 2007(4).

[14] Z. Chen, Y. Song, T. Ikenaga, and S. Goto, "A macroblock level adaptive search range algorithm for variable block size motion estimation in H.264/AVC," Proc. of Int. Sym. on Intelligent Signal Processing and Comm. Sys., pp.598-601, 2007.

[15] K.-P. Lim, G. Sullivan, and T. Wiegand, *Text description of joint model reference encoding methods and decoding concealment methods*, JVT-N046, Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG, 2005(1).

[16] H.264/AVC Reference Software JM16.2, <http://iphome.hhi.de/suehring/tml/download/>

[17] K. Andersson, R. Sjöberg, and A. Norkin, *Reliability measure for BD measurements*, ITU-T SG16 Q.6 Document, VCEG-AL22, 2009(7).

저 자 소 개

강 현 수(Hyun-Soo Kang)

중신회원



- 1999년 2월 : KAIST 전기및전자공학과 졸업(공학박사)
  - 1999년 ~ 2001년 : 현대전자 과장
  - 2001년 ~ 2002년 : 한국전자통신연구원 선임연구원
  - 2002년 ~ 2004년 : 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 조교수
  - 2005년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전자정보대학 정보통신학과 부교수
- <관심분야> : 영상처리, 영상부호화