

전송율-왜곡치 기준에 의한
계층적 가변 블록 크기 움직임 영상 부호화 기법
(제 II 부 : 움직임 영상 부호화와의 결합)

正會員 金宗源*, 李商郁**

Rate-Distortion Optimized Hierarchical Variable Block Size
Motion Sequence Coding Technique
(Part II : Combination with Motion Sequence Coding)

Jong Won Kim*, Sang Uk Lee** Regular Members

要 約

움직임 보상 부호화 시스템의 성능은 움직임 벡터들이 실제적인 움직임을 반영하고 보상 신호를 최소화하는 성능에 의존한다. 또한 보상 신호의 양자화를 위한 변환 부호화, 벡터 양자화 등의 부호화 성능도 중요하다. 따라서 전체적인 부호화의 효율성을 제고하기 위해서는 움직임 추정과 보상 신호 부호화 간의 조화가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 움직임 추정의 비중을 높은 보상 부호화 시스템에 있어서의 전송율 배분 기법을 전송율-왜곡치(rate-distortion: R-D) 최적화 측면에서 분석한다. 이를 위하여 계층적 가변 블록 크기 움직임 추정 기법[1]을 R-D 기준하에서 최적화하는 모델링(modeling)된 계층적 가변 블록 크기 움직임 추정 기법을 제I부에서 제안한 바 있다. 따라서 본 논문에서는 움직임 보상 부호화의 성능이 추정에 사용하는 움직임 벡터에 의존함을 이용하여, 움직임 추정과 보상 부호화 과정을 총괄한 R-D 최적화 문제를 형성한다. 그리하여 이를 효과적으로 구현하는 다양한 움직임 벡터 선택 기법들을 제안하고, 그 성능을 평가한다. 그 결과 고정된 블록 크기를 사용하는 움직임 추정 기법에 비해서 PSNR로 1.0 dB 까지 향상된 움직임 보상 부호화가 가능함을 확인한다.

ABSTRACT

The motion compensated coding(MCC) technique, which exploits the temporal redundancies with the motion estimation, is one of the most popular techniques currently used. For the efficient coding of the displaced frame difference(DFD) signal, transform coding or vector quantization is usually employed. Thus, in order to improve the overall efficiency of the MCC, the motion compensation and the DFD coding should be combined harmonically. Already, in the previous part I of this two-part paper, the R-D

*공주대학교 공과대학 전자공학과

**서울대학교 공과대학 제어계측공학과 신호처리 실험실

論文番號 : 95219-0617

接受日字 : 1995年 6月 17日

optimized hierarchical variable block size(VBS) motion estimation technique[1] has been performed through an efficient search of two-stage model structures. Hence, in this paper, a rate-distortion(R-D) optimization between the hierarchical VBS motion estimation and DFD coding is proposed. First, rate allocation between the motion vector encoding and the DFD coding is formalized into a dependent R-D optimization problem. Next, an optimized motion type selection for the control of the VBS motion information, based on Lagrange multiplier, is proposed as a solution. Finally, computer simulation employing the proposed technique shows that an overall improvement up to 1.0 dB, compared to the fixed block size motion estimation, is obtained.

1. 서 론

움직임 보상 부호화 시스템의 성능은 움직임 추정 기법에 의해서 추정된 움직임 벡터들이 실제적인 움직임을 반영하고 보상 신호의 에너지를 최소화하는 성능에 의존한다. 또한 보상 신호의 양자화를 효과적으로 수행하기 위한 변환 부호화, 벡터 양자화 등의 부호화 성능도 중요하다. 라서 전체적인 부호화 시스템의 효율성을 제고하기 위해서는 움직임 추정과 보상 신호 부호화 간의 조화가 이루어져야 한다. 하지만 기존의 움직임 보상 부호화 방식에서는 움직임 추정 및 보상에 사용되는 전송율의 비중은 10%내외에 그치므로, 움직임 추정 및 보상을 일종의 전처리 과정으로 간주할 수 있었다. 그런데 본 논문에서 다루는 가변 블록 크기 움직임 추정 기법에서는 움직임 추정의 비중이 상당히 증가한다. 따라서 전체적인 부호화 성능 제고를 위해서는 추정과 부호화에 할당하는 전송율을 조절하는 것이 중요하다. 그리하여 [2]에서는 엔트로피 즉 전송율 비교 방식에 의해서 유사한 문제를 다루고자 하는 시도가 있었다. 그러나 엔트로피 기준만을 사용한 방식은 본 논문에서 추구하는 전송율-왜곡치(rate-distortion: R-D) 기준에서 최적화가 되지 않는 문제점이 있다고 판단된다.

따라서 R-D 기준에 의한 계층적 가변 블록 크기 움직임 영상 부호화 기법에 대한 연구의 제Ⅱ부에 해당되는 본 논문에서는 R-D 이론[3]에 근거한 최적화 기법을 이용하여 움직임 추정과 부호화간의 전송율 배분 문제를 접근한다. 즉 제한된 전송 정보량 하에서 최소의 손상을 갖도록 부호화의 각종 조건들을 최적화시키는 R-D 최적화 기법을 계층적 가변 블록 크기 구조[1]에 적용한다. 이를 위하여 제 I 부에서는 계층적 가변 블록 크기 움직임 벡터 형성을 R-D 최적화 측면에서 효율적으로 구현하는 기법으로 모델화된 계층적 가변 블록 크

기 구조를 이용한 최적화 기법을 제안하였다. 본 논문에서는 이를 이용하면서 움직임 추정과 보상 신호 부호화간의 전송율 할당 문제를 R-D 최적화 기준에 의해 다음과 같이 접근한다. 먼저, 움직임 보상 신호 부호화가 움직임 추정 및 보상에 사용된 전송율에 의존되는(dependent) 성질을 고려한 최적화 관계식을 이론적으로 유도한다. 이어서 움직임 보상 변환 부호화를 대상으로 이를 간략화함에 의해서 각각의 블록들에 대한 움직임 벡터의 사용을 최적으로 선택하는 기법을 제안하고 그 성능을 평가한다. 그리하여 제안한 기법의 사용에 의해서 계층적 가변 블록 크기 움직임 추정을 이용한 영상 부호화의 성능이 고정된 블록 크기 움직임 추정 기법에 비해 1.0 dB 까지 향상됨을 확인한다.

2. 계층적 가변 블록 크기 움직임 보상 부호화 기법

2.1 계층적 가변 블록 크기 움직임 보상 부호화 시스템

본 논문에서 제안하는 움직임 보상 부호화 시스템의 블록선도를 그림 1에 제시하였다. 구성을 살펴 보면, 움직임 추정에 의해 움직임이 보상된 DFD(displaced frame difference) 신호를 이산 여현 변환(DCT: discrete cosine transform)에 이은 균일 양자화기로 부호화하는 일반적인 움직임 보상 변환 부호화(motion compensated transform coding: MCTC) 시스템에서 변형된 형태임을 알 수 있다.

구체적으로 일반적인 방식과는 달리 고정된 블록 크기를 사용한 움직임 벡터와 함께 추정의 세밀도를 변화시킨 다수의 계층적 가변 블록 크기 움직임 벡터들을 동시에 사용한다. 이와같이 매크로 블록마다 다양한 움직임 벡터들에 의해 움직임 보상된 DFD 신호들을 각각 양자

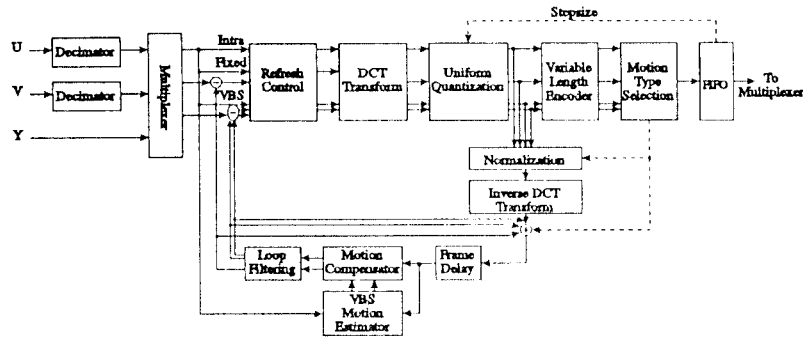


그림 1. 최적화를 위한 계층적 가변 블록 크기 움직임 보상 부호화 시스템의 블록선도.
 Fig. 1. Block diagram of the motion compensated transform coder modified for the VBS motion estimation.

화한 다음에 최적의 R-D 특성을 보이는 움직임 벡터를 선택하는 과정이 추가된다. 본 논문에서는, 계층적 가변 블록 크기 움직임 추정과 움직임 영상 부호화를 연결하기 위하여, 이러한 움직임 형태 선택(motion type selection)을 효율적으로 수행하는 방식을 모색하는 것이다. 나머지 부분들은 움직임 보상 부호화 시스템의 대표적인 방식인 H.261 부호화 시스템(4)의 구현을 위해 CCITT의 RM7(5)에 제안된 방법을 위주로 사용하였다. 즉, 움직임 보상 부호화에 사용하는 균일 양자기에 대한 가변 길이 부호 집합, 루프 필터링, 그리고 비퍼 제어 기법은 CCITT의 RM7과 동일하게 사용하였으며, 리프레시의 조절을 위해서는 주기적으로 프레임내 부호화되는 매크로 블록을 삽입하는 방식을 사용하였다. 그런데 프레임내/프레임간(intra/inter-frame) 부호화 선택에 있어서, 최상위 단계 블록 크기 단위로(매크로 블록 단위로) 평균을 제거한 현 프레임 신호와 움직임 보상 신호 간에 에너지를 비교하는 일반적인 방식 대신에 최적의 움직임 형태를 선택하는 과정에 이를 포함하여 해결하였음은 주목할 만하다.

2.2 전송률-왜곡치 최적화의 형태 및 분류

그림 1에 제시한 움직임 보상 부호화 시스템에 대해 R-D 최적화 기준을 적용하는 문제를 분류해 보면, 그림 2에 나타난 바와 같이, 크게 세가지 형태로 가변 블록 크기 움직임 추정 기법과 움직임 보상 부호화 기법을 결합함에 따른 의존성 있는 R-D 최적화 문제를 구성할

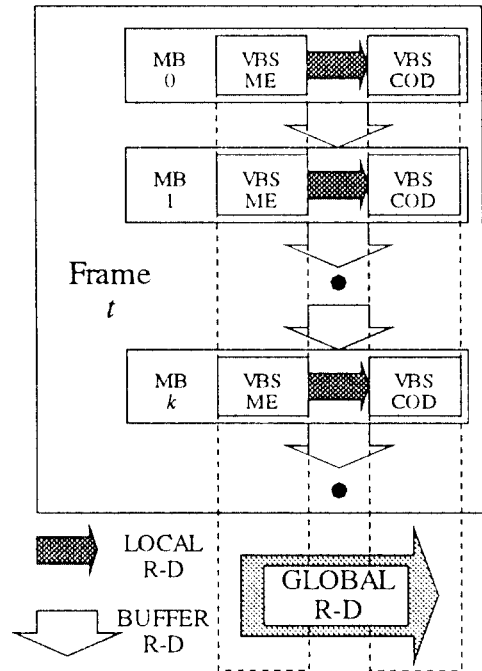


그림 2. 계층적 가변 블록 크기 움직임 영상 부호화에 연관된 R-D 최적화의 상호 관계.
 Fig. 2. Three kinds of R-D optimization problem associated with VBS motion vector decomposition.

수 있다. 즉 전반적인(global) R-D 최적화는 각각의 매크로(macro) 블록들에 대한 독립적인 최적화 문제인 국부적인(local) 최적화에 버퍼(buffer) 제한을 고려하는 최적화를 추가로 고려함에 의해 이루어진다. 또한 각 프레임들에 대한 R-D 최적화는 인접한 프레임들에 대한 전송을 할당의 문제와 결부되면서 최종적인 움직임 보상 부호화의 성능을 결정한다. 그런데 가변 전송율의 전송 데이터를 완충하기 위해 사용되는 버퍼 제한조건이 부호화 성능에 미치는 영향은 다음과 같이 고려할 수 있다. 버퍼 제한 문제에 있어서는 Viterbi 알고리즘에 의한 동적 프로그래밍(dynamic programming) 기법이 최적해를 제공하나, 경험적인(heuristic) 기법으로 최적해에 근사하는 해를 계산량을 줄이면서 얻을 수 있는 사례가 있다(6). 즉 일정수 이상의 매크로 블록들에서 발생하는 모든 R-D 관계에 의해 트렐리스(trellis)를 구성하고 Viterbi 알고리즘에 의해 최적의 할당을 탐색하여 각 매크로 블록마다의 부호화를 적용적으로 구현하는 것이다. 하지만 이 기법은 복잡성의 문제 때문에 현재로서는 구현이 매우 어렵다. 따라서 본 논문에서는, 버퍼의 크기가 충분히 크다면 국부적인 R-D 최적화에

다른 성능 저하는 거의 무시할 수 있다는 주장에 주목하면서(7), 그림 2에 제시한 세가지 R-D 최적화 중에서 매크로 블록마다 독립적으로 최적화를 수행하는 국부적인 R-D 최적화를 실제로 구현한다.

한편 각각의 매크로 블록에 대해서 계층적 가변 블록 크기 움직임 추정을 사용하는 움직임 보상 부호화의 성능은 다음과 같은 네가지 과정으로 세분할 수 있다: 1) 각 블록 크기 단계별 움직임 벡터들의 획득 과정, 2) 가변 블록 크기 움직임 벡터 결정 과정, 3) 가변 블록 크기 움직임 벡터의 사용 선택 과정, 4) 움직임 보상된 DFD 신호의 부호화 과정. 참고적으로 표 1에 상기한 네가지 과정에 따른 조절 요소들을 정리해 보았으며, 이들 요소의 변화에 따라서 각각의 매크로 블록에 대한 부호화 성능이 달라진다. 따라서 각 과정들이 서로 연결되어 최적화되는 경우에 가장 효과적인 특성을 보임을 예상할 수 있다. 즉, 전체적인 부호화의 성능이 각 과정의 R-D 특성에 상호 연결되므로 각 과정의 R-D 특성을 최적화함과 동시에 전체적으로 조화를 이루도록 해야 한다. 그러면 각 과정에 대해서 구체적으로 살펴 보자.

첫번째로 가변 블록 크기 움직임 추정의 R-D 특성은

표 1. 계층적 가변 블록 크기 움직임 추정과 보상 부호화의 결합에 따른 R-D 최적화 조절 요소들 (매크로 블록 단위를 기준으로 설정한 네가지 과정에 따른 분류).
Table 1. R-D optimization parameters for the hierarchical VBS ME and MCC.

VBS	Motion Vector Search	Search Range	fixed
		Search Accuracy	telescopic
		Search Measure	int/half
			adaptive
			MAD only
ME	VBS Motion Vector Decision		Gain/Cost smoothing
			DFD thresholding
			DFD ration comparison
			R-D optimization $\lambda_{ME(VBS)}$
VBS	Motion Type Selection		fixed
			R-D slope comparion
			R-D optimization λ_{SEL}
COD	DFD Quantization and Coding		fixed
			VBS transformation
			Quantizer set selection
			R-D optimization λ_{COD}

각 블럭 크기 단계별로 움직임 벡터를 탐색하는 과정에 따라 달라진다. 즉 탐색 과정에서 계층적 가변 블럭 크기 움직임 벡터가 보다 많은 전송율을 사용하더라도 DFD 분산을 줄이거나 그 반대의 특성을 지니도록 할 수 있다. 그런데 본 논문의 제 I 부에서 다루었던 계층적 가변 블럭 크기 움직임 벡터의 획득 과정에 있어서는 각 블럭 크기 단계별 움직임 벡터들을 최상위 단계의 움직임 벡터의 주위에 대한 제한적인 탐색(restricted search)을 하는 'telescopic search(8)'를 활용하여 구한다. 따라서 각 블럭 크기 단계별로 탐색 영역의 크기를 점진적으로 축소하는 기법을 고려할 수 있으며, 탐색 영역을 축소하는 대신에 탐색의 정밀도를 증가시키는 부화소(sub-pixel) 단위 추정 기법도 매우 효과적으로 판단된다(9). 그러므로 하위 단계 블럭들에 대한 탐색 영역 제한을 전체적인 부화소 전송율에 연관시키는 것도 가능하며, 부화소 단위의 움직임 추정을 적층적으로 사용하도록 하는 기법의 활용 가능성도 대단히 크다고 판단된다. 한편, 이득/비용 움직임 추정 기법(10)의 이득/비용 조절 변수를 통하여, 움직임 추정의 R-D 특성 조절을 보다 확장하는 것이 가능하다. 즉 제안한 가변 블럭 움직임 추정 기법을 세분하여 움직임 벡터를 탐색하는 과정에서 이득/비용 특성을 조절하는 변수와 가변 블럭 움직임 구조 결정에 있어서의 조절 변수를 각각 최적화하는 것이 가능하다. 결론적으로 움직임 벡터의 탐색에 따라 다음 과정에서 결정되는 가변 블럭 크기 움직임 벡터의 특성을 일차적으로 조절할 수 있는 것이다.

두번째 과정은 각 블럭 크기 단계별 움직임 벡터들을 사용하여 최적화된 계층적 가변 블럭 크기 움직임 벡터를 결정하는 과정이다. 즉 각 블럭 크기 단계별 움직임 벡터로부터 최적의 계층적 가변 블럭 크기 움직임 트리 구조를 탐색하는 알고리즘의 적용 과정에 해당하며, 본 논문의 제 I 부에서 다룬 내용이 바로 이 부분의 최적화이다. 구체적으로는 계층적 가변 블럭 크기 구조가 지니는 기하급수적인 경우의 수 때문에 기존의 R-D 최적화 기법(11,12)을 적용할 수 없으므로, 모델링된 계층적 가변 블럭 크기 움직임 구조를 이용한 최적화를 제안하였다. 그리하여 R-D 특성 조절 요소인 Lagrange multiplier $\lambda_{ME(VBS)}$ 에 의해 최적의 R-D 트리구조 탐색을 효과적으로 수행하였으며, 그 결과 만족할 만한 성능을 얻을 수 있었다.

세번째 과정이 본 논문에서 중점적으로 다루는 부분으

로, 일단 가변 블럭 크기 움직임 벡터를 결정한 다음, 움직임 보상 부호화 단계에서 전체적인 성능의 최적화에 주목하면서 움직임 벡터를 선택하는 과정이다. 즉 모델링된 계층적 가변 블럭 크기 움직임 추정 기법을 보상 신호 부호화에 응용할 때, 부호화 전송율은 고정되어 있으므로 움직임 보상에 사용한 전송율과 그에 의한 왜곡치는 계속되는 보상 신호 부호화에 영향을 주게 된다. 따라서 보상 신호 부호화가 움직임 추정에 의존하는 R-D 최적화 문제(13,14)를 구성할 수 있다. 여러 단계를 거치는 R-D 최적화 문제를 연결하여 의존성 있는(dependent) R-D 최적화 문제로 구성하는 기법에는 공간-시간 3차원 피라미드 부호화에서 층(layer)간의 의존성을 이용하는 경우(13)와 MPEG-1 부호화에서 I, B, P 프레임들간의 의존성을 이용하는 경우(14) 등이 제안되고 있다. 따라서 본 논문에서는 움직임 추정과 보상 부호화 기법의 결합에 있어 이러한 접근 기법을 사용하여, 움직임 추정과 보상 부호화의 R-D 최적화에 따른 성능 변화를 분석한다. 즉 보상 부호화 부분을 감안한 형태에서 R-D 최적화된 가변 블럭 크기 움직임 벡터를 선택하기 위한 방법을 이론적으로 유도하고, 그에 따라 실제적인 움직임 벡터 선택 기법들을 제시하고 그 성능을 평가하는 것이 본 논문의 주된 내용이다. 구체적으로 본 논문에서는 λ_{SEL} 이라는 조절 변수를 도입하여 R-D 기준에 부합하는 선택을 제한한다. 정리하면 움직임 벡터의 가변 블럭 크기 사용 정도를 조절하는 $\lambda_{ME(VBS)}$ 와 이를 선택하는 λ_{SEL} 에 대한 R-D 최적화 기법이 제안될 것이다.

마지막으로 고려할 수 있는 과정은 DFD 신호의 부호화에 관련된 기법들의 적용이다. 변환 부호화에서 사용하는 양자기의 조절 문제는 움직임 보상 부호화를 위해 사용하는 버퍼에 의해 완충되면서 최적화된다. 그러므로 변환에 이은 균일 양자기에 의한 양자화 및 가변 길이 부호화를 근간으로 하는 기존의 방식(5)을 확장하면, 보상 신호의 부호화에 사용될 수 있는 다양한 방식들인, 가변 블럭 크기 변환 기법(15,16), 다수의 양자기 집합에 의한 양자화 기법(7) 등에 대한 R-D 최적화를 조절하는 λ_{COD} 를 이용하는 것도 가능하다. 따라서 이에 대한 적절한 고려가 성능 향상에 도움을 줄 수 있음은 당연하다. 하지만 본 논문에서는 실제적인 구현 가능성에 견주어서 이에 대한 고려는 일단 배제하고, 움직임 추정에 관련된 부분, 특히 세번째 과정에 대한 최적화에만 주목

하였다.

3. 전송율-왜곡치 최적화의 이론적인 유도

일반적으로 R-D 최적화 문제는 주어진 전체 전송율에 대해 왜곡치를 최소화하거나, 반대의 경우로 왜곡치 제한을 만족시키면서 전송율을 최소화하는 문제로 귀결된다. 본 논문에서는, 한 프레임에 대한 부호화 전송율 R_C 가 주어진 경우를 가정하여, 이러한 R-D 최적화 문제를 이론적으로 해석해 보았다. 의존적인 최적화의 기법을 응용하면[13], 움직임 보상 부호화 기법은 전체적인 움직임 추정 상태 ME 와 움직임 보상 신호 부호화 상태 COD 에 의해 성능이 좌우되는 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \min_{ME, COD} D_{ME+COD}(ME, COD) \\ \text{subject to } R_{ME}(ME) + R_{ME+COD}(ME, COD) \leq R_C, \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 $D_{ME+COD}(ME, COD)$ 는 움직임 보상과 부호화가 수행된 후의 왜곡치를 의미한다. 또한 $R_{ME}(ME)$, $R_{ME+COD}(COD)$ 는 움직임 보상과 움직임 보상 부호화에서 사용되는 전송율을 각각 의미한다. 그런데 식 (1)의 제한된 최적화 문제는 직접적으로 풀기 어렵다. 따라서 Lagrange multiplier λ 를 도입하여 다음과 같은 비제한적인(unconstrained) 최적화 문제로 변환하여 해결하는 방법이 널리 이용된다[17]. 그러므로 R-D 최적화를 위해 Lagrange multiplier λ 를 도입하면,

$$\begin{aligned} J_{ME}(ME) &= \lambda \cdot R_{ME}(ME), \\ J_{ME+COD}(ME, COD) &= D_{ME+COD}(ME, COD) + \lambda \cdot R_{ME+COD}(ME, COD) \end{aligned} \quad (2)$$

와 같이 나타낼수 있고, 식 (1)은 부호화 전송율 R_C 를 만족시키는 λ 에 대한 비제한적인 최적화 문제인 식 (3)가 된다.

$$\min_{ME, COD} [J_{ME}(ME) + J_{ME+COD}(ME, COD)] \quad (3)$$

여기서 주목할 점은 비제한적 최적화 기법에서 전송율과 왜곡치간의 상대적인 중요성을 조절하는 Lagrange multiplier λ 의 역할이다. λ 에 의해 결정되는 움직임 추정 및 보상 부호화 결과를 각각 $ME(\lambda)$ $COD(\lambda)$ 라고 하면, 왜곡치의 함수 $D(ME(\lambda), COD(\lambda))$ 는 λ 에 따른 증가(increasing) 특성을 보인다. 그리고 전송율의 함수 $R(ME(\lambda), COD(\lambda))$ 는 그 반대의 특성을 보인다. 따

라서 $\lambda = 0$ 이면, 왜곡치만의 최소화가 되어 세밀한 움직임 추정과 양자화를 요구하며, 그 결과 높은 전송율이 발생된다. 그리고 λ 를 증가시키게 되면, 반대의 결과가 나타나는 것이다.

하지만, 위와 같은 전반적인 최적화는 실제로는 불가능하므로, 각각의 마크로 블럭 단위로 이를 분리하는 것이 필요하다. 따라서 영상에 존재하는 K 개 마크로 블럭들에 대해서 식 (3)를 정리하면,

$$\begin{aligned} \min_{ME, COD} [J_{ME}(ME) + J_{ME+COD}(ME, COD)] \\ = \min_{ME} [J_{ME}(ME) + \min_{COD} J_{ME+COD}(ME, COD)] \\ = \min_{ME} [J_{ME}(ME) + \sum_{k=1}^K \min_{COD_k} J_{ME+COD,k}(ME, COD_k)] \end{aligned} \quad (4)$$

와 같이 분리할 수 있다. 그런데, 버퍼의 크기가 충분히 커서 영상 전반에 걸친 움직임 벡터의 사용 상태를 나타내는 ME 에 의해서 부호화의 양자화 스텝 크기 등이 변화하지 않는다면, 식 (4)에서 인접한 마크로 블럭들의 움직임 벡터에 의해 현재 마크로 블럭의 움직임 부호화가 영향받지 않는다. 물론, 이와 같은 가정은 실제로 완벽하게 만족될 수는 없지만, 현실적으로 버퍼의 크기만 충분히 크다면 가능하다[7]. 즉, 그림 2에 제시한 버퍼에 대한 R-D 최적화를 무시하면, 각각의 마크로 블럭에 대해서 독립적으로 가변 블럭 크기 움직임 보상 기법을 조절하는 기법을 고려하는 국부적인(local) R-D 최적화가 이루어지는 것이다. 따라서 식 (4)은 다음과 같이 정리되어, 각각의 마크로 블럭에 대한 국부적인 R-D 최적화 문제 형태인 식 (5)로 변화된다.

$$\begin{aligned} \min_{ME_k} [J_{ME,k}(ME_k) + \sum_{k=1}^K \min_{COD_k} J_{ME+COD,k}(ME_k, COD_k)] \\ = \sum_{k=1}^K \min_{ME_k} [J_{ME,k}(ME_k) + \min_{COD_k} J_{ME+COD,k}(ME_k, COD_k)] \end{aligned} \quad (5)$$

그런데 현 단계에서는 가변 블럭 크기 움직임 벡터의 사용에 따른 최적화만을 다루기 때문에 마크로 블럭마다의 부호화 기법의 변화는 없다. 따라서 $(COD_k, k=1, \dots, K)$ 는 항상 일정하며, 최종적인 최적화의 형태는 식 (6)과 같다.

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^K \min_{ME_k} [J_{ME,k}(ME_k) + J_{ME+COD,k}(ME_k)] \\ = \sum_{k=1}^K \min_{ME_k} [D_{ME+COD,k}(ME_k) + \lambda \cdot (R_{ME_k}(ME_k) + R_{ME+COD,k}(ME_k))] \end{aligned} \quad (6)$$

식 (6)이 의미하는 바는, 각각의 마크로 블럭을 분리시킨 상태에서, 움직임 추정 전송율 $R_{ME_k}(ME_k)$ 와 보상신호의 부호화 전송율인 $R_{ME+COD,k}(ME_k)$ 의 합과 추정 및 부호화가 모두 이루어진 왜곡치 $R_{ME+COD,k}(ME_k)$ 와의 $D+\lambda R$ 최적화 관계이다. 따라서 이론적으로 최적인 움직임 보상과 부호화의 연결은, 인접 블럭간의 영향을 무시하면, 각 마크로 블럭에 대한 움직임 추정을 각 프레임의 부호화 전송율에 따라 선택하는 $\lambda_{SEL}^{(local)}$ 에 의해 R-D 최적화하는 방식이다. 이때 각 마크로 블럭에 대한 움직임 추정은 $\lambda_{ME}^{(VBS)}$ 를 변화시켜 형성할 수 있는 모든 움직임 벡터들을 대상으로 할 수 있어야 최적의 보장된다. 하지만 실제적인 측면에서는 모든 가변 블럭 크기 움직임 벡터들을 각각의 마크로 블럭에 대해 고려할 수 없다. 그러므로 제한된 범위내에서 적절한 $\{\lambda_{ME(VBS)}^{(i)}, i=1, \dots, N_{\lambda_{ME(VBS)}}\}$ 들을 선정하고 이들의 집합만을 대상으로 하여 근사적인 최적화를 수행하는 방식을 본 논문에서 사용한다.

또한, 연속 영상의 부호화에 있어서는 버퍼 상태에 따라서 각 프레임의 부호화 전송율 R_C 가 계속적으로 변화하므로, 인접한 프레임들에 대한 고려를 통해 $\lambda_{SEL}^{(local)}$ 을 변동시켜야 최적이다. 하지만, 부호화 전송율에 부합되는 $\lambda_{SEL}^{(local)}$ 을 각 프레임마다 적응적으로 변동시키기 위해서는, 움직임 보상 부호화 전 과정을 반복적으로 수행해야 하므로 사실상 구현이 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 실제 구현이 가능한 상태로 간략화하는 방식들을 제안하고, 간략화 방식에 따른 성능 변화를 비교 분석한다.

4. 전송율-왜곡치 최적화된 움직임 보상 부호화 기법

본 절에서는 상기한 R-D 최적화 기법들에 의해 가변 블럭 크기 움직임 추정 기법과 보상 신호 부호화를 연결하는 구체적인 방식과 실험 결과를 설명한다. 먼저 가변 블럭 크기 움직임 추정 기법에 의한 움직임의 세밀도에 따른 움직임 벡터 선택의 변화를 관찰한다. 이어서, 앞 절에서 관찰한 결과를 바탕으로, R-D 최적화 기준에 따른 움직임 보상 부호화의 실현 가능한 방식들을 제안하고 이들의 성능을 비교한다. 이 때 성능 비교를 위해서는 MPEG-1 규격의 352×224 크기 'Flower Garden' 영상, 'Football' 영상, 그리고 고해상도의

1280×704 크기의 'Models', 'Fruits' 상 30 프레임 을 각각의 방식으로 움직임 보상 부호화한 다음, 그 결과를 PSNR 척도를 사용하여 비교한다.

4.1 움직임 추정 세밀도와 부호화의 상관 관계

가변 블럭 크기 움직임 추정의 세밀도에 따른 보상 부호화단에서의 움직임 벡터 선택의 변화를 관찰하기 위해서 다음과 같은 분석을 먼저 수행하였다. 구체적으로는 움직임 벡터 전송율을 조정하는 $\lambda_{ME(VBS)}$ 를 $\lambda_{ME(VBS)}^{(fixed)}$ 로 고정하여 움직임 보상 부호화한 결과를, 고정 블럭 크기 추정의 R-D 경사값으로 설정한 $\lambda_{SEL}^{(MB_k)}$ 로 비교하여 선택하는 경우에 조절요소에 따른 PSNR 변화를 조사하였다. $\lambda_{SEL}^{(MB_k)}$ 에서 워트 첨자 (MB_k)는 마크로 블럭마다 λ_{SEL} 값이 변화함을 의미하며, 실제로는 고정된 블럭 크기 움직임 추정 및 부호화에 의해 형성되는 R-D 경사 (slope)에 따라 각 마크로 블럭마다 달라진다. 따라서 이를 가중치 W_{SEL} 에 의해 조정하여 해당 블럭에 대한 움직임 벡터의 선택을 수행하는 기준으로 사용하였다. 정리하면, 가변 블럭 크기 움직임 추정을 위한 $\lambda_{SEL}^{(fixed)}$ 과 선택을 위한 $\lambda_{SEL}^{(MB_k)}$ 에 적용하는 가중치 W_{SEL} 의 두가지 요소에 따른 성능 변화를 관찰하는 것이다. 하지만 $\lambda_{ME(VBS)}$ 가 고정되어 다양한 세밀도의 움직임 벡터가 비교되지 않기 때문에, 부호화 성능의 최적화는 이루어지지 않는다.

그러면 움직임 영상 부호화에 상기한 방식들을 적용한 결과를 살펴 보자. 먼저 $\lambda_{ME(VBS)}^{(fixed)}$ 는 2, 10, 20, 50, 100의 순서로 변화시켜 움직임 보상에 사용되는 전송율을 줄여감에 따른 성능 변화를 분석하였다. 또한 $\lambda_{SEL}^{(MB_k)}$ 을 조절하는 W_{SEL} 는 0.95, 0.98, 1.00, 1.02, 1.05, 1.10을 각각 사용하였다. W_{SEL} 는 1을 기준으로 하여 1보다 커질수록 고정된 블럭 크기 움직임 추정 기법이 선택되며, 반대로 W_{SEL} 가 1보다 작아지면 가변 블럭 크기 움직임 벡터에 상대적으로 유리하다. 그 결과를 그림 3(a)와 그림 3(b)에 제시하였으며, 전송율에 따라서 다른 특성을 보인다. 즉 부호화 전송율이 높은 0.3 bpp의 경우에는 가변 블럭 크기 움직임 추정을 보다 많이 사용하는 경우인 $\lambda_{ME(VBS)}^{(fixed)}=2$ 인 경우에 최고의 성능을 얻었다. 즉 전송율에 비교적 여유가 있는 경우에는 움직임 추정의 세밀도를 높이는 것이 효과적이다. 그러나 부호화 전송율이 낮아진 0.1 bpp 경우에는 $\lambda_{ME(VBS)}^{(fixed)}=10$ 에서 최고의 부호화 성능을 얻을 수 있다. 즉 $D+\lambda R$

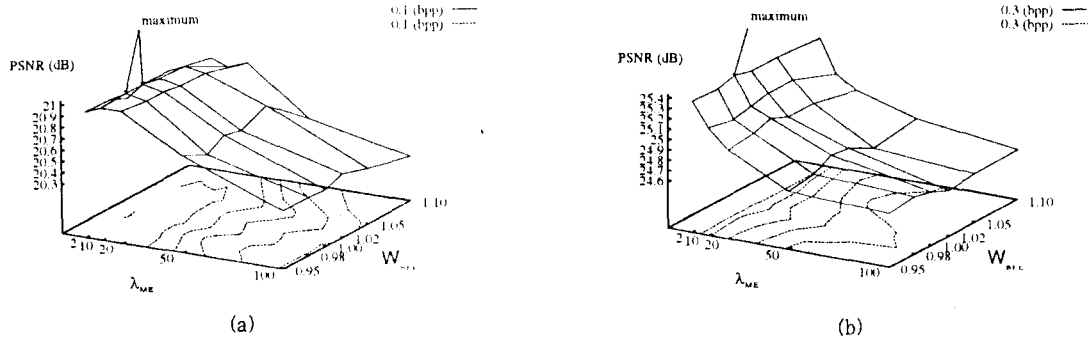


그림 3. 움직임 추정 세밀도에 따른 계층적 가변 블럭 크기 움직임 영상 부호화의 성능 변화. ($\lambda_{ME}^{(local)_{SEL}}$, W_{SEL} 의 변화에 따른 성능 변화)(a) Flower Garden 영상(0.1 bpp). (b) Flower Garden 영상 90.3 bpp).

Fig. 3. PSNR performance change according to ($\lambda_{ME}^{(local)_{SEL}}$, W_{SEL}).

기준에서 λ 가 커질수록 전송율을 낮추는 것이 유리해지므로 움직임 추정에 있어서도 가변 블럭 크기 움직임 추정의 선택이 줄어들다. 또한 $\lambda_{SEL}^{(MB_k)}$ 을 조절하는 변수인 W_{SEL} 에 의한 조절 특성은 미약하며, 1.0 정도로 설정하면 적당한 것으로 관찰되었다.

4.2 제안하는 움직임 벡터 선택 기법들

이러한 분석에서 따라 본 논문에서는 간략화를 위해 전송영상의 모든 연속 영상들에 대해 고정 블럭 크기 움직임 추정을 기준으로 마크로 블럭마다 변화되는 $\lambda_{SEL}^{(MB_k)}$ 을 선정하는 방식 #1과 모든 마크로 블럭에 고정된 $\lambda_{SEL}^{(local)}$ 을 사용하는 방식 #2를 제안한다. 구체적으로는 일정한 범위내에서 다수의 $\lambda_{ME(VBS)}$ 를 설정하여 각각 움직임을 추정하고 부호화한 다음에, 이들 중에서 가장 효율적인 움직임 벡터를 두가지 방식중의 하나를 사용하여 선택하는 것이다.

•방법 #1. (R-D slope comparison) 각각의 마크로 블럭에 대해 별도의 $\lambda_{SEL}^{(MB_k)}$ 을 사용하는 방식으로 ($\lambda_{ME(VBS)_i}$, $i=1, \dots, N_{\lambda_{ME(VBS)}}$) 각각에 의해 움직임 보상된 신호를 부호화하고 그 결과 생기는 R-D 경사 (slope)들을 고정 블럭 크기에 대해 계산된 R-D 경사로 설정한 $\lambda_{SEL}^{(MB_k)}$ 로 비교한다. 그리하여 가장 최적의 $\lambda_{ME(VBS)}$ 를 선택하여 해당 마크로 블럭에 대해 사용하는 것이다. 결과적으로 이 방식은 인접한 프레임과의 관계

를 고려하여 부호화 전송율을 할당하고 그에 최적이 되도록 각 프레임에 대한 $\lambda_{SEL}^{(local)}$ 을 설정하는 것이 힘들기 때문에, 고정된 블럭 크기와 가변 블럭 크기 경우를 비교하는 선택 기법을 일반화한 경험적인 방식이다. 그림 4에 각각의 마크로 블럭에 대해서 위와 같은 R-D 최적화의 개념이 어떻게 적용되는가를 나타냈으며, 이로 부터 각 과정들이 서로 연결되어 최적화됨을 관찰할 수 있다. 즉, 전체적인 부호화의 성능이 각 마크로 블럭의 R-D 특성에 상호 연결되므로 각 마크로 블럭의 R-D 특성을 향상시켜 전체적인 성능을 제고하고 있다.

•방법 #2. (R-D optimized selection) 움직임 추정 방식은 동일하지만, 선택에 사용하는 λ_{SEL} 은 모든 마크로 블럭에 고정시킨 $\lambda_{SEL}^{(local)}$ 을 사용하는 방식이다. 식 (6)에 따른 최적화에 가장 부합되는 형태이지만, 실제적인 구현때문에 각 마크로 블럭에 대해 고려하는 가변 블럭 크기 움직임 추정의 수인 $N_{\lambda_{ME(VBS)}}$ 는 제한된다. 또한 각각의 프레임들에 대해 최적으로 $\lambda_{SEL}^{(local)}$ 을 변동시키기 불가능하므로 이를 모든 프레임에 대해 고정시켰다. 그렇지만 R-D 최적화에 가장 근접했기 때문에 $\lambda_{SEL}^{(local)}$ 값에 따라서 다른 방식들 보다 향상된 성능을 발휘할 것으로 기대된다. 그림 5에 각각의 마크로 블럭에 대해서 위와 같은 R-D 최적화의 개념이 어떻게 적용되는가를 동일한 방식으로 나타냈으며, 이로 부터 각 과정들이 서로 연결되어 최적화되는 과정에서 방식 #2가 방식

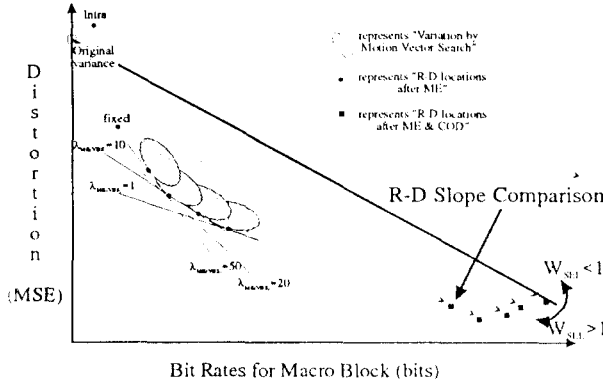


그림 4. 제안한 방식 #1에 의한 움직임 보상과 부호화의 결합에 따른 각 과정 별 R-D 변화 및 움직임 벡터 선택(마크로 블럭 단위로 도시).

Fig. 4. Motion type selection #1 via the R-D change of a macro block.

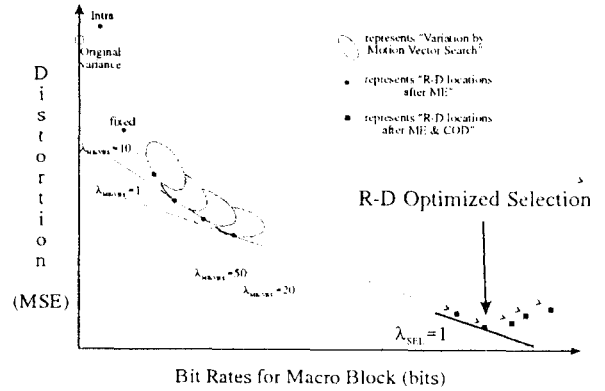


그림 5. 제안한 방식 #2에 의한 움직임 보상과 부호화의 결합에 따른 각 과정 별 R-D 변화 및 최적화된 움직임 벡터 선택 기법(마크로 블럭 단위로 도시).

Fig. 5. Motion type selection #2 via the R-D change of a macro block.

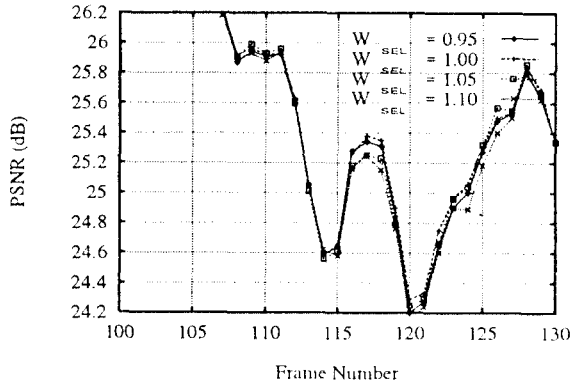


그림 6. 제안한 움직임 벡터 선택 방식 #1에 따른 최적화된 계층적 가변 블럭 크기 움직임 보상 부호화의 성능 변화 ($\lambda_{ME(VBS)}$, W_{SEL} 사용, Flower Garden 영상 0.3 bpp 경우.)

Fig. 6. PSNR performance change according to $\lambda_{ME(VBS)}$, W_{SEL} .

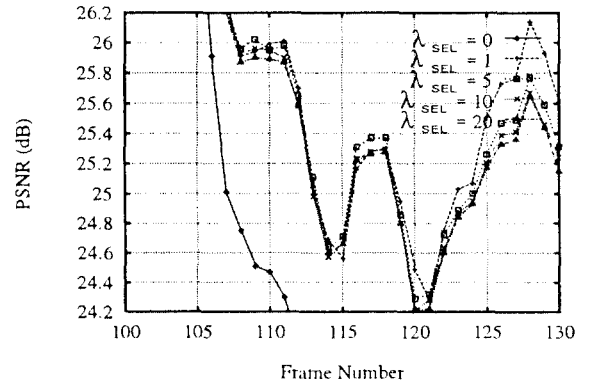


그림 7. 제안한 움직임 벡터 선택 방식 #2에 따른 최적화된 계층적 가변 블럭 크기 움직임 보상 부호화의 성능 변화 ($\lambda_{ME(VBS)}$, $\lambda_{SEL(LOCAL)}$ 사용, Flower Garden 영상 0.3 bpp 경우.)

Fig. 7. PSNR performance change according to $\lambda_{ME(VBS)}$, $\lambda_{SEL(LOCAL)}$.

#1 보다 나은 성능을 보이는 이유를 짐작할 수 있다. 하지만 방식 #2에서는 $\lambda_{SEL(LOCAL)}$ 의 선택 방법이 새로운 변수로 작용하며, 이에 대해서는 별도의 고려가 필요하다.

4.3 모의 실험 결과에 의한 성능 비교

먼저 제안한 방식 #1에 대한 실험 결과를 살펴 보자. 실험에서는 가변 블럭 크기 움직임 추정의 정도를 변화시킬 수 있는 조절 변수 $\lambda_{ME(VBS)}$ 들은 1, 10, 20, 50의

4가지 경우를 사용하며, 아울러 고정된 블럭 크기와 프레임내(intra-frame)의 경우를 포함한 총 6가지 경우를 고려하였다. 그리하여 고정 블럭 크기 움직임 추정 방식과의 비교에 의한 $\lambda_{SEL(MB)}$ 를 사용한 방식에 대한 성능 평가를 그림 6에 제시하였다. 이 경우에는 W_{SEL} 로 0.95, 1.00, 1.05, 1.10을 사용하였으며, 각각의 경우에 따른 성능 변화는 미약하다. 그런데, 재미있는 현상은 $W_{SEL} = 0.95$ 인 경우에는 가변 블럭 크기 움직임

벡터만이 중점적으로 선택되고, $W_{SEL} = 1.10$ 으로 변화 되면 고정 블럭 크기 움직임 벡터의 선택이 대다수를 차지한다는 사실이다. 하지만, 그림 6에서 제시한 바와 같이, 이에 따른 성능 변화는 거의 나타나지 않는다. 따라서 고정된 블럭 크기와의 비교에 의해 상대적으로 효율적인 가변 블럭 크기 움직임을 선택하는 방식의 효과를 버퍼의 영향에 의해 양자화의 스텝 크기가 변화하는 현상이 완충시킨다고 판단된다.

또한 λ_{SEL} 를 고정시키는 방식 #2에 대한 성능 평가 결과를 그림 7에 제시하였다. 가변 블럭 크기 움직임 추정 정도를 변화시킬 수 있는 조절 변수 $\lambda_{MB(VBS)}$ 들을 위해서는 위의 경우와 동일하게 1, 10, 20, 50의 4가지 가변 블럭 크기 경우, 고정된 블럭 크기, 그리고 프레임 내 경우의 모두 6가지 경우를 고려하였다. 전체적으로 $\lambda_{SEL}^{(local)}$ 의 변화에 따른 성능 차이가 나타나는 것을 먼저 확인할 수 있다. 이와 같은 현상은 $\lambda_{SEL}^{(local)}$ 의 변화시킴에 따른 가변 블럭 크기 움직임 추정의 사용 상태가 영상 프레임 단위 별로 변화됨에 따르는 것으로 해석된다. 또한 움직임 벡터 설정 기법에 따른 성능 변화를 비교하기 위해서 그림 6과 그림 7을 비교하면, 전술한 방식에 비해 성능이 다소 향상된다. 이는 영상 전체에 동일하게 고정시키더라도 적당한 $\lambda_{SEL}^{(local)}$ 이 사용되면, R-D 기준에

따른 최적화 효과가 나타나기 때문으로 판단된다.

결론적으로 의존적인 R-D 최적화에 있어서, 다양한 세밀도로 움직임을 추정한 다음 이를 선택하는 경우에는 선택 기법에 따른 성능 변화가 크지 않음을 확인할 수 있다. 또한 움직임 추정의 정확도(또는 가변 블럭 크기 움직임의 구성)를 연속 영상 전체에 고정된 $\lambda_{SEL}^{(local)}$ 에 의해서 선택하는 기법에서 가장 우수한 부호화 성능을 기대할 수 있음을 확인하였다. 하지만, 이상과 같은 결론은 버퍼의 영향에 대한 최적화를 무시한 상태에서 얻은 결론임에 주의할 필요는 있다.

그리하여 최종적으로 제안한 방식 #2에 의해 R-D 최적화된 가변 블럭 크기 움직임 보상 부호화의 결과를 고정된 블럭 크기와 종전에 제안한[1] 계층적인 가변 블럭 크기 움직임 추정에 의한 부호화 결과 등과 비교하여 그 성능을 평가해 보았다. 참고적으로 성능을 비교하는 모든 움직임 추정 및 부호화 기법에서 사용한 매크로 블럭 단위의 세부적인 R-D 조절 요소들을 표 2에 제시하였다. 표 2에 제시한 방식으로 움직임 보상 부호화를 각각 수행하고, 그 결과를 30 프레임에 걸친 PSNR으로 그림 8(a)부터 그림 8(d)까지 제시하였다. 이를 살펴보면, 최적화된 기법이 고정된 블럭 크기 움직임 추정 기법에 비해서 약 1.0 dB정도 부호화 성능이 향상된다.

표 2. 움직임 추정 및 부호화 기법에 따른 세부적인 R-D 최적화 조절 요소 사용 비교.
Table 2. Comparison of R-D control parameters for ME and MCC.

	VBS tree structure	Motion Vector Search			VBS MV Decision	Motion Type Selection	DFD Coding Scheme
		Search Range	Search Accuracy	Search Measure			
Fixed Block Size		fixed	int/half	MAD			fixed
Quadtree VBS(18)	binary tree or binary tree	fixed	int/half	MAD	DFD thresholding		fixed
Hierarchical Comparison VBS(1)	hierarchical quadtree, binary tree	telescopic	int/half	Gain/Cost	DFD ratio comparison	R-D slope comparison	fixed
Hierarchical R-D optimal VBS #1	modeled hierarchical quadtree	telescopic	int/half	Gain/Cost	R-D optimal $\lambda_{MB(VBS)}$	R-D slope comparison	fixed
Hierarchical R-D optimal VBS #2	modeled hierarchical quadtree	telescopic	int/half	Gain/Cost	R-D optimal $\lambda_{MB(VBS)}$	R-D optimal selection	fixed

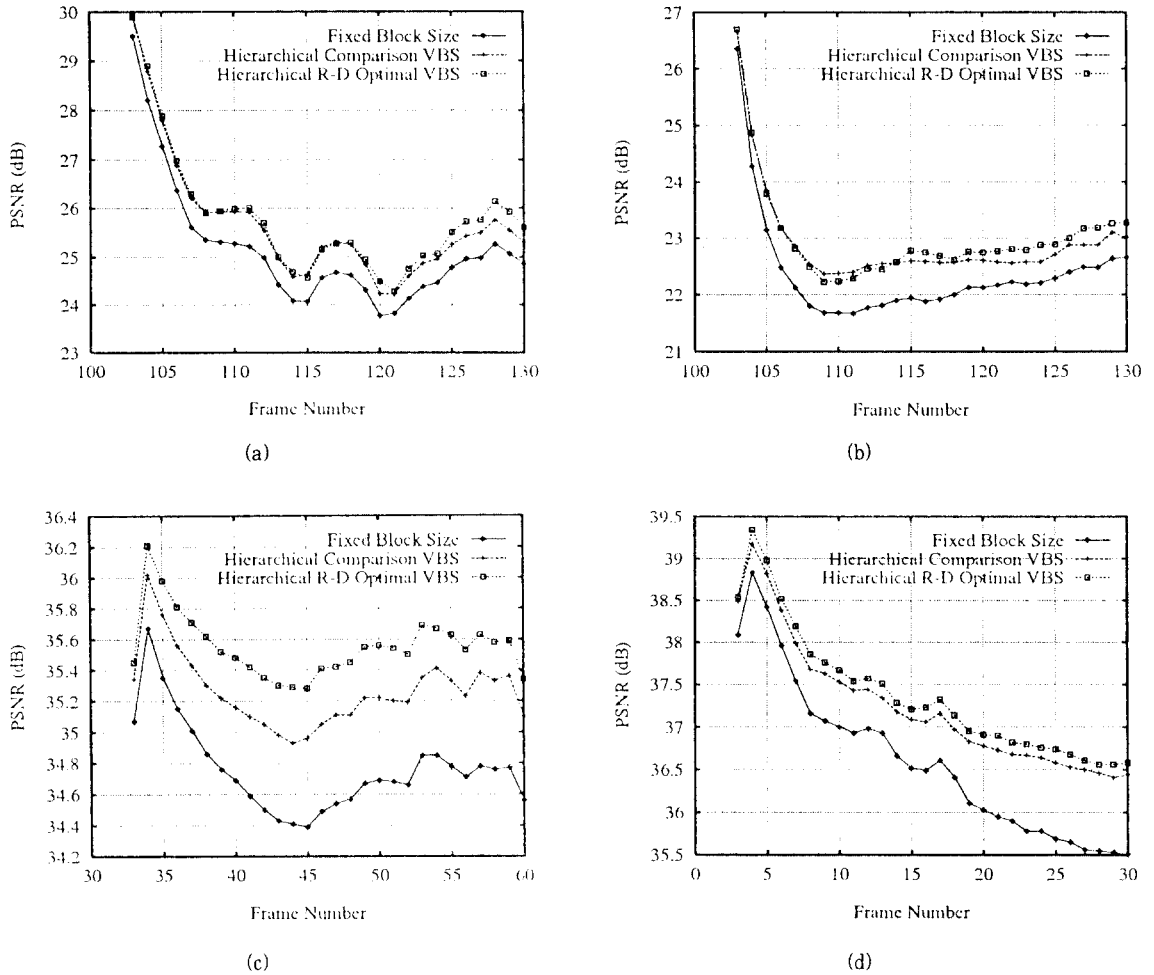


그림 8. 다양한 움직임 추정 기법들에 의한 움직임 영상 부호화 성능 비교 (고정된 블럭 크기, 계층적 가변 블럭 크기, R-D 최적화된 계층적 가변 블럭 크기). (a) Flower Garden 영상 (0.3 *bpp*). (b) Mobile & Calendar 영상 (0.3 *bpp*). (c) Models 영상 (0.267 *bpp*). (d) Fruits 영상 (0.267 *bpp*).
 Fig. 8. PSNR performance comparison between the fixed block size and hierarchical VBS motion estimation techniques.

하지만 기존의 계층적 가변 블럭 크기 움직임 추정 기법과의 성능 차이는 0.2~0.4 dB 정도의 향상에 머물러서, 영상 전체의 부호화 전송율에서 5~15 % 내외를 차지하는 움직임 추정 정보를 블럭 크기 기준만에 의해 최적화함에 따른 성능 향상은 이 정도가 한계라고 판단된다. 추가적인 향상을 위해서는 부화소 단위 움직임 추정을 R-D 기준에 의해 적응적으로 사용하거나 버퍼의 영향과 연속 영상에 대한 전송을 할당 문제까지 고려하

면서 R-D 최적화하는 것이 필요하리라고 예상된다.

5. 결 론

본 논문에서는 제한된 전송 정보량 하에서 최소의 손상을 갖도록 부호화의 각종 조건들을 최적화시키는 R-D 최적화 기법을 제I부에서 제안한 계층적 가변 블럭 구조에 적용하는 문제를 고찰하였다. 그리하여 보상 신

호의 부호화와의 결합에 있어서도, 보상 신호 부호화가 보상 과정에 가지는 의존성에 의한 최적화 문제로 구성하는 기법을 제안하였다. 구체적으로는 최적화 문제에 대한 이론적인 유도 과정에 근거하여 R-D 최적화된 움직임 벡터 선택 기법을 제안하고, 이를 움직임 영상 부호화에 적용한 결과 고정된 블록 크기를 사용하는 움직임 추정 기법에 비해서 PSNR로 1.0 dB 까지 향상된 움직임 보상 부호화가 가능함을 확인하였다.

결론적으로 본 논문은 가변 블록 크기 움직임 추정과 보상 부호화 기법을 연결함에 있어서 R-D 최적화 기법을 통한 체계적인 접근 기법을 제안하고 실험적인 성능한계를 확인했다는 점에서 의의를 지닌다. 하지만 제안한 기법은 일반적인 고정 블록 크기 움직임 추정 기법에 비해서 계산량이 상당히 증가한다. 또한 여러 단계에 걸친 최적화를 위해서 복잡한 알고리즘이 필요하므로 실제 구현에는 상당한 문제점이 있다. 따라서 실제적인 적용을 위해서는 간략화를 위한 추가적인 연구가 뒤따라야 한다. 예를 들면, 추정과 부호화를 연결하여 움직임 벡터를 선택함에 있어서 경우에 따라서는 일부 움직임 벡터에 대해서는 움직임 보상 부호화를 수행하지 않아도 최적의 해로부터 배제할 수 있으므로, 이를 활용할 수 있다. 또한 각 단계별 움직임 벡터 탐색이나 보상 신호 부호화를 적용적으로 최적화하는 기법과 같은 제안한 기법에서 미처 다루지 못한 기법들을 추가로 적용하게 되면 보다 향상된 동영상 부호화를 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. J. W. Kim and S. U. Lee, "Hierarchical variable block size motion estimation for motion sequence coding," *Optical Engineering*, vol. 33, pp.2553-2561, Aug. 1994.
2. F. Moscheni, F. Dufaux, and H. Nicolas, "Entropy criterion for optimal bit allocation between motion and prediction error information," in *VCIP' 93* [19], pp.235-242.
3. T. Berger, *Rate Distortion Theory*. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall, 1971.
4. ITU-T(CCITT), "Draft revision of recommendation H. 261: Video codec for audiovisual services at p 64 Kbits/s." *Working Party XV/1. Specialists Group on Coding for Visual Telephony* Doc. 572, July. 1990.
5. ITU-T(CCITT), "Description of reference model 7(RM7)." *SG XV. Specialists Group on Coding for Visual Telephony* Doc. 446, Jan. 1989.
6. A. Ortega, K. Ramchandran, and M. Vetterli, "Optimal trellis-based buffered compression and fast approximation," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. IP-3, pp.26-40, Jan. 1994.
7. K. Ramchandran and M. Vetterli, "Best wavelet packet bases in a rate-distortion sense," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 2, pp.160-175, Apr. 1993.
8. S. L. Iu, "Comparison of motion compensation using different degrees of sub-pixel accuracy for interfield/interframe hybrid coding of HDTV image sequences," in *ICASSP' 92* [20], pp.Ⅲ-465~Ⅲ-468.
9. S. Gupta and A. Gersho, "Fractional pixel motion estimation," in *VCIP' 93* [19], pp.408-419.
10. C. Stiller and D. Lappe, "Gain/cost controlled displacement-estimation for image sequence coding," in *Proc. Internat. Conf. on Acoust., Speech, and Signal Proc.*, (Toronto, Canada), pp.2729-2732, May. 1991.
11. G. J. Sullivan and R. L. Baker, "Rate-distortion optimized motion compensation for video compression using fixed or variable size blocks," in *GLOBECOM' 91*, (Phoenix, Arizona), pp.85-90, Dec. 1991.
12. G. J. Sullivan and R. L. Baker, "Rate-distortion optimization for tree-structured source coding with multi-way node decisions," in *ICASSP' 92* [20], pp.Ⅲ-393~Ⅲ-396.
13. K. Ramchandran, A. Ortega, and M. Vetterli, "Efficient quantization for a multiresolution HDTV source coder," in *Internat. Workshop on HDTV' 92*, (Kawasaki, Japan), pp.87.1~87.8, Nov. 1992.

14. K. Ramchandran, A. Ortega, and M. Vetterli, "Bit allocation for dependent quantization with application to MPEG video coders." in *Proc. Internat. Conf. on Acoust., Speech, and Signal Proc.*, (Minneapolis, Minnesota, USA), pp.V-381-V-384, Apr. 1993.
15. C. T. Chen, "Adaptive transform coding via quadtree-based variable blocksize DCT." in *Proc. Internat. Conf. on Acoust., Speech, and Signal Proc.*, (Glasgow, Scotland), pp.1854-1857, May 1989.
16. R. J. Chen and B. C. Chieu, "Adaptive DCT color image sequence coding." in *Signal Processing VI: Theories and Applications*(J. Vandewalle et al., eds.), (Brussels, Belgium), pp.1349-1352, Elsevier, Amsterdam, Aug. 1992.
17. Y. Shoham and A. Gersho, "Efficient bit allocation for an arbitrary set of quantizers." *IEEE Trans. Acoust., Speech, and Signal Proc.*, vol. ASSP-36, pp.1445-1453, Sept. 1988.
18. M. H. Chan, Y. B. Yu, and A. G. Constantinides, "Variable size block matching motion compensation with application to video coding." *Proc. IEE, Pt. I*, vol. 137, pp.205-212, Aug. 1990.
19. SPIE - The International Society for Optical Engineering, *Proc. SPIE Visual Commun. and Image Proc.* '93, vol. 2094, (Cambridge, MA, USA), Nov. 1993.
20. IEEE, *Proc. Internat. Conf. on Acoust., Speech, and Signal Proc.*, (San Francisco, CA, USA), Mar. 1992.



金宗源(Kim Jong Won) 정회원

1964年 9月 4日生.

1987年 2月 : 서울대학교 공과대학
제어계측공학과(공학사).

1989年 2月 : 서울대학교 대학원 제
어계측공학과(공학석사).

1994年 2月 : 서울대학교 대학원 제어계측공학과(공학박사).

1994年 3月~현재 : 공주대학교 전자공학과 전임강사.

*주관심 분야 : 영상 신호 처리 및 영상 부호화.

李商郁(Lee Sang Uk)

정회원

현재 : 서울대학교 제어계측공학과 교수.

한국통신학회 논문지 제19권 제10호 참조.