
지상파 DMB 고도화망에서 계층간 통계적 특성을 이용한 통합 부호기 제어

김진수* · 박종갑** · 서광덕*** · 김재곤****

Aggregated Encoder Control Exploiting Interlayer Statistical Characteristics for Advanced Terrestrial-DMB

Jin-soo Kim* · Jong-kab Park** · Kwang-deok Seo*** · Jae-Gon Kim****

요 약

스케일러블 부호화(SVC, Scalable Video Coding) 기법은 다양한 예측 부호기법을 통하여 정보의 중복성을 제거함으로써 부호화 효율을 개선시킬 수 있으나 매우 많은 계산량을 요구하는 문제점이 있다. 기존의 지상파-DMB (Terrestrial-DMB)의 화질을 개선한 고품질 지상파-DMB (Advanced Terrestrial-DMB) 서비스의 표준화와 상업화를 촉진하기 위해서는 이 문제를 반드시 극복할 필요성이 있다. 이를 위해 먼저, 본 논문에서는 기존의 고정 비트율 제어 기법을 개선한 통합 제어 기법을 제안한다. 모의실험을 통하여 제안한 비트율 제어방식은 기존의 제어 방식에 비해 최대 0.3dB까지 성능 개선을 이룰 수 있음을 보인다. 또한, 제안된 통합 제어 기법에 기초하여, 계층간의 부호화모드와 양자화 파라미터의 통계적 특성을 이용하여 부호화 효율을 우수하게 유지하면서 계산량을 줄일 수 있는 방안을 제안한다. 모의실험을 통하여 제안한 방식은 화질 변화가 거의 초래되지 않는 대신에 계산량은 기존의 방식에 비해 최대 12%까지 줄일 수 있음을 보인다.

ABSTRACT

The SVC (Scalable Video Coding) scheme can be effectively used for reducing the redundancy and for improving the coding efficiency but, it requires very high computational complexities. In order to accelerate the successful standardization and commercialization of the Advanced Terrestrial-DMB service, it is necessary to overcome this problem. For this aim, in this paper, we propose an efficient aggregated encoder control algorithm, which shows better performances than the conventional control scheme. Computer simulation result shows that the proposed scheme performs about up to 0.3dB better than those of the conventional scheme. Additionally, based on this control scheme, we propose a fast mode decision method by constraining the redundant coding modes based on the statistical properties of the quantization parameter in the spatial scalable encoder. Through computer simulations, it is shown that the proposed control schemes reduce the heavy computational burden up to 12% compared to the conventional scheme, while keeping the objective visual quality very high.

키워드

AT-DMB, SVC, Interlayer

* 한밭대학교 정보통신전문대학원 멀티미디어공학과

** 한국폴리텍IV대학 멀티미디어과 (교신저자)

*** 연세대학교 컴퓨터정보통신공학부

**** 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부

접수일자 2009. 02. 16

심사완료일자 2009. 03. 03

I. 서 론

지상파 DMB(T-DMB: Terrestrial - Digital Multimedia Broadcasting)는 2005년 말 수도권에서 상용 서비스를 시작하여 현재 고음질, 다채널의 오디오와 CIF (Common Interchange Format)급 비디오뿐만 아니라 데이터 서비스 까지 제공하는 새로운 모바일 멀티미디어 방송으로 자리 잡고 있다[1].

그런데, 고해상도 단말기 보급에 따른 높은 화면 해상도를 원하는 소비자 수요가 증대하고, 또한, 기존의 T-DMB망을 그대로 이용하면서 확장형 서비스를 제공할 수 있는 계층 변조 기술을 개발함에 따라 고품질 지상파 DMB (AT-DMB: Advanced T-DMB) 서비스를 제공하기 위한 방안에 대한 연구가 진행되고 있다[2, 3, 4, 5, 6]. 한편, 최근에 H.264/MPEG-4 AVC의 개정표준 (Amendment)으로 완료된 스케일러블 비디오 부호화 (SVC: Scalable Video Coding)는 가장 낮은 공간적 기본 계층을 T-DMB규격으로 사용 중인 H.264/AVC와 완벽한 호환성을 제공할 수 있으며, 공간 향상 계층에 SD(Standard Definition)급 화면 해상도의 AT-DMB 서비스를 효과적으로 제공할 수 있는 구조를 제공한다 [7, 8].

SVC 부호화 기법은 JSVM(Joint Scalable Video Model)이라는 참조 소프트웨어를 통해 매우 다양한 예측 기법을 이용하여 정보의 중복성을 제거함으로써, 기존의 MPEG-2와 MPEG-4에서 권고된 스케일러블 표준 부호화의 부호화 효율저하 문제를 극복하였다[9]. 그러나, 이를 위해 JSVM은 화면내 예측 및 화면간 예측 뿐 만 아니라, 계층간 예측 기법을 사용하여 부호화 효율을 극대화시킬 수 있으나, 지원 가능한 모든 부호화 모드에서 최적인 모드를 선택하기 위해서는 매우 많은 계산량을 필요로 하고 있다. 따라서, SVC 부호화 기법을 이용하여 기존의 T-DMB와 공간적 확장성을 갖도록 하면서 AT-DMB서비스를 제공하기 위해서는 부호화 효율을 우수하게 유지하면서 계산량을 절감할 수 있는 부호화 기법을 개발하는 것이 필수적이다.

또한, T-DMB의 기본 계층과 더불어 AT-DMB를 제공하기 위한 향상 계층의 채널 용량에 효과적인 비트율 제어 기법을 개발하는 것은 AT-DMB 서비스의 상용화를 위해서 필수적이다.

JSVM 9.12.2[9]에서는 JM(Joint Model)기반으로 설계된 비트율 제어 기법이 기저 계층에 구현되어 있으나, 향상 계층에서는 가변 비트율로 부호화하는 방법이 제시되어 있다. [9]에서 JM기반으로 기저 계층에 설계된 비트율 제어 기법을 [5]에서는 기저 계층과 향상 계층으로 적용하였으며, 계산량 등을 고려하지 않았다. 그리고, [6]에서는 MPEG-2 TMS 기반의 간단한 비트율 제어 기법을 제시하였으나, 2계층 공간 확장성 부호화 기법에 최적화되지 못하였다. 한편, 다수의 논문과 자료에서는 SVC 부호기 갖는 복잡한 계산량을 줄이기 위한 연구가 이루어졌다. [10]에서는 공간 계층간 잔차 신호의 부호화를 선택적으로 수행하고, 이를 바탕으로 향상 계층에서 모드를 고속으로 결정하는 방법을 제시하였다. [11]에서는 부호화 대상 주변 블록의 모드 정보를 이용하여 만들어진 조건부 확률을 이용하여 화면내 예측 부호화를 고속으로 하는 방법에 대해 연구하였다. [6]에서는 부호화 모드 결정시점에 기저 계층과 향상 계층간에 존재하는 통계적 기반으로 화질 저하를 최소화 하면서 성능을 최적화시키는 연구를 수행하였다. 이러한 기존의 연구와 관련하여, 본 논문에서는 [9]에 제시된 비트율 제어 기법에 대하여, 기저 계층과 향상 계층의 부호기 버퍼를 통합 운용하는 동적인 비트할당을 함으로써 화질 개선을 이룰 수 있음을 보인다. 그리고, [6]에서 부호화 모드의 사용 빈도에 따른 부호기의 계산량을 절감시키는 연구를 수행하였으나, 영상 시퀀스의 화면내 및 화면간 복잡도에 다소 의존되는 특성을 보이는 문제점이 있다. 본 논문에서는 기저 계층과 향상 계층간의 양자화 파라미터가 갖는 통계적 특성에 기초하여 부호화 모드를 선택을 제어함으로써 계산량을 절감하면서, 화질 저하는 미미하게 선택될 수 있음을 모의실험을 통하여 확인한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 우선, II절에서는 T-DMB와 AT-DMB의 호환적인 서비스를 위한 SVC의 예측 부호화 모드 종류와 비트율 제어 기법에 대해 설명하고, III절에서는 2계층 공간 확장성을 갖는 부호기에 대해 적용 가능한 통합 버퍼 제어 방식을 제안하고, 모의 실험 결과를 통하여 성능을 분석한다. IV절에서는 기존에 제안된 계층간 부호화 모드의 통계적 특성에 기초하여 매크로블록의 부호화 모드 제한과 더불어 기저 계층

과 항상 계층에서 양자화 파라미터의 통계적 특성에 기초하여 부호화 모드 결정시에 계산량을 줄일 수 있는 방안을 제안하고 모의실험을 통하여 성능을 확인하며, 끝으로, V장에서는 결론을 맺는다.

II. AT-DMB를 위한 공간 확장성 SVC 부호기와 기존의 비트율 제어

2.1 AT-DMB를 위한 SVC부호기의 구조와 특징

국내 T-DMB 서비스는 H.264/AVC의 베이스라인 프로파일의 레벨1.3을 기준으로 표준화되어 CIF급의 비디오 서비스가 제공되고 있으며, 이를 기저 계층(BL: Base Layer)으로 제공하고, 기저 계층에 대한 4CIF급의 화질 개선 정보는 추가적인 비트스트림인 향상 계층(EL: Enhancement Layer)을 제공함으로써 AT-DMB서비스가 제공된다[1, 2, 3]. 기저 계층은 우선 순위가 높은 비트스트림으로서, 각 방송사별로 차이가 있지만, 대략 384kbps에서 550kbps의 범위내에서 현재 서비스되고 있다. 지상파 DMB 고도화망에서의 가용 데이터율은 2Mbps이고, 이 중에서 향상 계층의 서비스는 대략 900kbps에서 1.1Mbps 정도일 것으로 보고되고 있다[2].

기저 계층은 I프레임과 P프레임으로 구성되며, P프레임 부호화를 위해서는 화면내 부호화모드뿐 아니라, 화면간 부호화를 수행한다. 그리고, 향상 계층의 I프레임은 화면내 부호화모드를 지원하며, 동일한 화소 위치의 기저 계층의 8 x 8 서브 매크로블록이 화면내 부호화모드로 부호화된 경우에 계층간 화면내 텍스처 예측을 수행하는 Intra_BL모드를 지원한다. 향상 계층의 P프레임은 기저 계층에서 수행된 연산에 대해 매우 중복적인 연산 즉, 향상 계층의 화면내 예측과 화면간 예측은 화면 해상도만 차이가 있을 뿐 비슷한 정보에 대해 중복적인 연산을 반복적으로 수행한다고 볼 수 있다.

또한, 향상 계층의 P프레임은 계층간 잔여신호 예측과 계층간 움직임 예측과 같은 기법을 도입하여 부호화 효율을 개선하는데 매우 많은 연산을 수행하게 된다[6, 10, 11].

표1은 기저 계층(BL)과 향상 계층(EL)에 사용할 수 있는 부호화 모드와 기능을 나타내고 있다. 표1에 나타난 부호화 모드들을 이용하여 SVC 부호기의 장점인 우수한 부호화 효율을 최대한 유지하면서, AT-DMB의 표준화와 상용화를 촉진하기 위해서는 계산량 또는 구조적 측면에서 간단화된 부호기를 얻는 것은 필수적이다. 이미 [6]에서는 기저 계층과 향상 계층에서 사용되는 부호화 모드의 사용 빈도에 따른 부호기의 계산량을 절감시키는 연구를 수행한 바 있으나, 영상 시퀀스의 화면내 및 화면간 복잡도에 크게 의존되는 특성을 보이는 단점이 있다.

2.2 JSVM의 기저 계층에 대한 비트율 제어 기법

SVC 부호화 기법은 JSVM이라는 참조 소프트웨어를 통해 각종 기능을 검증해오고 있으며, JM에 사용된 비트율 제어 기법을 JSVM 9.12.2에서는 기저 계층에 구현하여 사용하고 있다[9]. 기저 계층의 비트율 제어 기법은 기본 단위(Basic Unit)로 양자화 파라미터가 결정되며, 유체 흐름 트랙픽 모델과 MAD의 선형 모델을 이용하여 비트율을 제어한다. 압축 효율의 최적화를 위해 비트율-왜곡 최적화(RDO: Rate-Distortion Optimization)를 이용하였다. 움직임 예측과 모드 결정을 위한 RDO 수식은 다음과 같이 결정된다.

$$M_{cost} = SAD + \lambda \cdot (MV - PMV) \quad (1)$$

$$RD_{cost} = SSD + \lambda \cdot R \quad (2)$$

$$\lambda = 0.85 \times 2^{\frac{(QP-12)}{3}} \quad (3)$$

SAD(Sum of Absolute Difference)는 움직임 예측 이후 발생하는 원본 영상과 참조 영상과의 차이 신호의 절대값의 합이다. MV는 원본 영상과 참조 영상의 움직임 벡터이며, PMV는 주변 매크로블록으로부터 예측된 움직임 벡터로 두 벡터간의 차이 값을 이용하여 움직임 예측의 비용을 계산한다.

표 1. 기저 계층과 향상 계층에 사용 가능한 부호화 모드 결정 함수[6]
Table. 1 Coding mode functions in both base and enhancement layers[6]

프레임종류	계층	사용 부호화 모드	기능	축약 기호
I 프레임	BL	xEstimateMbIntra4x4	기저 계층의 화면내4x4 예측	xEstimateMbIntra4x4
		xEstimateMbIntra16x16	기저 계층의 화면내16x16 예측	xEstimateMbIntra16x16
	EL	xEstimateMbIntra4x4	화면내4x4 예측	xEstimateMbIntra4x4
		xEstimateMbIntra16x16	화면내16x16 예측	xEstimateMbIntra16x16
		xEstimateMbIntraBL	계층간 화면내 텍스처 예측	xEstimateMbIntraBL
P 프레임	BL	Inter Frame Estimate	화면간 예측	IF
		xEstimateMbSkip	화면간 MB의 Skip	IFxEstimateMbSkip
		xEstimateMb16x16	화면간 16x16 예측	IFxEstimateMb16x16
		xEstimateMb16x8	화면간 16x8 예측	IFxEstimateMb16x8
		xEstimateMb8x16	화면간 8x16 예측	IFxEstimateMb8x16
		xEstimateMb8x8	화면간 8x8 예측	IFxEstimateMb8x8
		xEstimateMb8x8Frext	화면간 8x8 Frext 예측	IFxEstimateMb8x8Frext
		8x8Sub Estimate	화면간 Sub 예측	
		xEstimateSubMb8x8	화면간 8x8 Sub 예측	IFxEstimateSubMb8x8
		xEstimateSubMb8x4	화면간 8x4 Sub 예측	IFxEstimateSubMb8x4
		xEstimateSubMb4x8	화면간 4x8 Sub 예측	IFxEstimateSubMb4x8
		xEstimateSubMb4x4	화면간 4x4 Sub 예측	IFxEstimateSubMb4x4
		Intra Estimate	화면내 예측	
		xEstimateMbIntra16x16	화면내 16x16 예측	xEstimateMbIntra16x16
	xEstimateMbIntra4x4	화면내 4x4 예측	xEstimateMbIntra4x4	
	EL	InterLayerResidualEstimate	계층간 잔여 예측	ILR
		xEstimateMbBLSkip	기저 계층에 대한 잔여 데이터 Skip	ILRxEstimateMbBLSkip
		xEstimateMb16x16	계층간 잔여 16x16 예측	ILRxEstimateMb16x16
		xEstimateMb16x8	계층간 잔여 16x8 예측	ILRxEstimateMb16x8
		xEstimateMb8x16	계층간 잔여 8x16 예측	ILRxEstimateMb8x16
		xEstimateMb8x8	계층간 잔여 8x8 예측	ILRxEstimateMb8x8
		xEstimateMb8x8Frext	계층간 잔여 8x8 Frext 예측	ILRxEstimateMb8x8Frext
		8x8Sub Estimate	계층간 잔여 Sub 예측	ILR8x8Sub Estimate
		xEstimateSubMb8x8	계층간 잔여 8x8 Sub 예측	ILRxEstimateSubMb8x8
		xEstimateSubMb8x4	계층간 잔여 8x4 Sub 예측	ILRxEstimateSubMb8x4
		xEstimateSubMb4x8	계층간 잔여 4x8 Sub 예측	ILRxEstimateSubMb4x8
		xEstimateSubMb4x4	계층간 잔여 4x4 Sub 예측	ILRxEstimateSubMb4x4
		Inter Layer Estimate	계층간 예측	IL
		xEstimateMbIntraBL	계층간 화면내 예측	ILxEstimateMbIntraBL
		xEstimateMbBLSkip	기저 계층의 데이터 Skip	ILxEstimateMbBLSkip
		Inter Frame Estimate	화면간 예측	IF
		xEstimateMbSkip	화면간 MB의 Skip	IFxEstimateMbSkip
		xEstimateMb16x16	화면간 16x16 예측	IFxEstimateMb16x16
		xEstimateMb16x8	화면간 16x8 예측	IFxEstimateMb16x8
		xEstimateMb8x16	화면간 8x16 예측	IFxEstimateMb8x16
		xEstimateMb8x8	화면간 8x8 예측	IFxEstimateMb8x8
		xEstimateMb8x8Frext	화면간 8x8 Frext 예측	IFxEstimateMb8x8Frext
		8x8Sub Estimate	화면간 Sub 예측	
		xEstimateSubMb8x8	화면간 8x8 Sub 예측	IFxEstimateSubMb8x8
		xEstimateSubMb8x4	화면간 8x4 Sub 예측	IFxEstimateSubMb8x4
		xEstimateSubMb4x8	화면간 4x8 Sub 예측	IFxEstimateSubMb4x8
		xEstimateSubMb4x4	화면간 4x4 Sub 예측	IFxEstimateSubMb4x4
		Intra Estimate	화면내 예측	
		xEstimateMbIntra4	화면내 16x16 예측	xEstimateMbIntra4
		xEstimateMbIntra16x16	화면내 4x4 예측	xEstimateMbIntra16x16

SSD(Sum of Square Difference)와 R은 원본 영상과 참조 영상의 차이 신호를 부호화 하였을 때 발생하는 양자화 에러와 비트량을 각각 나타내고, λ 값은 양자화 파라미터에 따른 변수이다. 식(1), (2)와 (3)을 이용한 매크로블록 단위의 비트율 제어 기법에 대한 흐름도는 그림1과 같이 요약된다. GOP 단위의 비트 할당 알고리즘은 I프레임 부호화 시점에 적용되며, GOP에 남은 P프레임 수와 이전 GOP에서 사용하고 남은 비트를 사용하여 현재 GOP에서 사용할 비트량을 계산한다. 프레임 단위의 비트 할당 기법은 GOP에 할당된 비트량중에 남아 있는 비트량을 계산하고, 이를 현재 버퍼 상태를 고려하여 비트 할당량을 결정한다. 프레임 단위로 할당된 비트량 (TargetBit)은 i번째 매크로블록 단위에 대해 다음과 같이 MAD(Mean Absolute Difference) 제곱의 비율을 이용하여 할당한다.

$$MBTargetBit_i = TargetBit \times \frac{CurrentMAD_i^2}{\sum_{j=1}^{i-1} RefPredMBMAD_j^2} \quad (4)$$

CurrentMAD은 현재 MB의 MAD값을 참조 프레임의 같은 위치에 있는 MB의 MAD를 이용하여 선형 모델을 이용하여 예측한 값이고, RefMBMAD 역시 참조 프레임의 MB중 현재 MB 위치 보다 이전에 위치한 MB들의 MAD를 이용하여 선형 모델 예측한 값이다. 선형 예측 모델은 다음과 같다.

$$MAD_{cb} = a_1 \times MAD_{pb} + a_2 \quad (5)$$

현재 부호화하고자 하는 블록의 MAD값인 MAD_{cb} 는 예측시 참조가 되는 이미 부호화가 된 블록의 MAD값인 MAD_{pb} 에 예측 계수 a_1 만큼의 가중치와 상수 a_2 로 얻어진다. 이렇게 얻어진 MAD를 이용하여 2차 윌-왜곡 모델을 이용하여 양자화 파라미터를 결정한다.

$$T = c_1 \times \frac{MAD}{Q_{step}} + c_2 \times \frac{MAD}{Q_{step}^2} \quad (6)$$

여기서 T는 목표하는 비트량이고, c_1 과 c_2 는 윌-왜곡 모델의 파라미터로서 최적인 양자화 파라미터 Q_{step} 을

결정하도록 한다. [5]에서는 c_1 과 c_2 를 예측하기 위해 윈도우크기를 고정하여 예측하고, 또한 예측 오차를 고려한 윈도우를 이용하여 최종적인 c_1 과 c_2 를 구한다.

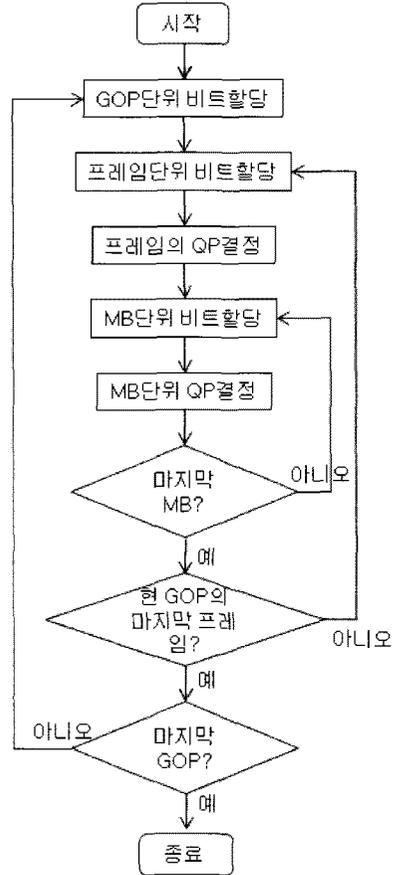


그림 1. MB단위 비트율 제어 기법 흐름도
Fig 1. Flowchart of bit rate control in MB unit

III. 2계층 공간 확장성을 위한 비트 할당 및 통합 고정 비트율 제어 기법

3.1 2계층 공간 확장성 부호기를 위한 통합 고정 비트율 제어 기법

JSVM에는 2계층 공간 확장성을 위한 비트율 제어 기법은 구현되어 있지 않다. [6]에서는 MPEG-2 TM5 기법을 이용한 비트율 제어 기법을 사용하였고, [5]에서는 JM에 사용된 H.264의 기저 계층에 사용한 비트율 제어

기법을 그대로 항상 계층에 적용한 기법을 제시하였다. 이러한 비트율 제어 기법은 기저 계층과 항상 계층을 각각 별도의 버퍼를 두는 방식이며, 그림2(a)와 같이 독립 버퍼제어 구조를 갖는다. 그러나, 2계층 공간 확장성 SVC 부호기는 기저 계층에 사용되는 CIF급과 항상 계층에 사용되는 4CIF급은 화면 해상도만 다를 뿐 거의 비슷한 정보를 중복적으로 공유하고 있으며, 표1에 나타낸 바와 같이, 항상 계층의 부호화 모드는 기저 계층의 부호화 모드에 의존적으로 부호화 모드가 결정된다. 따라서, 부호화를 통해 발생하는 정보에 대해 버퍼를 공유함으로써 통계적 다중화 이득(Statistical Multiplexing Gain)을 통해 부호화 효율을 개선할 수 있으므로, 본 논문에서는 그림2(b)와 같이 통합 버퍼제어 기법을 사용한다. 본 논문에서 사용한 제어 방식은 [14]에서 사용한 알고리즘에 비트 할당을 계층별로 독립적으로 제어하는 것이다. 그림2(b)에서는 기저 계층과 항상 계층의 부호기 버퍼는 가상적으로 서로 공유하도록 제어할 수 있으므로, 기저 계층과 항상 계층의 가상 버퍼 크기는 전체 버퍼 크기가 된다. 복호화기 버퍼의 넘침(overflow)과 고갈(underflow)이 발생하지 않도록 하고, 복호 시작 지연(Decoding Startup Delay)을 만족하도록 제어하면 된다 [12, 13]. 그림2(a)에 나타난 독립 제어 방식에 대한 복호 시작 지연 크기가 L 이라고 가정할 때, 부호화 프레임 비트량과 버퍼 크기에 대한 제한 조건은 다음과 같다.

$$0 \leq \sum_{j=i-L+1}^i b_j \leq B_{B,max}^{enc} + B_{B,max}^{dec} \quad (7)$$

$$0 \leq \sum_{j=i-L+1}^i e_j \leq B_{E,max}^{enc} + B_{E,max}^{dec} \quad (8)$$

여기서, b_j 와 e_j 는 기저 계층과 항상 계층에 대해 j 번째 프레임에 대한 발생 비트량이고, $B_{B,max}^{enc}$ 과 $B_{B,max}^{dec}$ 그리고 $B_{E,max}^{enc}$ 과 $B_{E,max}^{dec}$ 는 부호기 버퍼크기와 복호화기 버퍼크기를 각각 나타낸다. 그림2(b)에 나타난 통합 제어에 따른 제한 조건은 다음과 같이 완화된다.

$$0 \leq \sum_{j=i-L+1}^i (b_j + e_j) \leq B_{B,max}^{enc} + B_{E,max}^{enc} + B_{B,max}^{dec} + B_{E,max}^{dec} \quad (9)$$

따라서, 부호기측에서 버퍼는 기저 계층과 항상 계층이 공유함으로써 비트 할당과 발생에 융통성을 제공할 수 있다. 본 논문에서는 MPEG-2 TM5에서 사용된 기법과 유사하게, 기저 계층과 항상 계층의 프레임간 동적인 비트 할당을 하기 위해 복잡도를 다음과 같이 측정한다.

$$X_B = avgQ_B \cdot S_B \quad (10)$$

$$X_E = avgQ_E \cdot S_E \quad (11)$$

$$\delta = \frac{M_{EB}}{M_E} \quad (12)$$

$avgQB$ 와 $avgQE$ 그리고 SB 와 SE 는 바로 직전 동일한 부호화 프레임에 대하여 기저 계층과 항상 계층에 사용된 양자화 파라미터의 평균값과 발생 비트량을 각각 나타낸다. δ 는 항상 계층의 전체 매크로블록의 개수(M_E)에 대한 기저 계층으로부터 부호화 의존성을 갖는 매크로블록의 개수(M_{EB})의 비로 측정되는 것으로 항상 계층의 기저 계층에 대한 부호화 의존성을 나타내는 척도이다. 모의실험 결과에 의해 δ 는 영상 시퀀스의 종류 및 부호화 비트율에 의존적이다. 측정된 복잡도를 바탕으로 각 프레임에 대한 초기 비트 할당은 아래와 같이 결정한다.

$$T_B = \frac{(0.75 + \delta)X_B}{(0.75 + \delta)X_B + X_E} (R_B + R_E) \quad (13)$$

$$T_E = \frac{X_E}{(0.75 + \delta)X_B + X_E} (R_B + R_E) \quad (14)$$

이렇게 결정된 프레임당 할당 비트량은 그림1의 흐름도에 따라 식(1) - 식(4)에 의해 각 매크로블록의 동적 활성화도에 따라 할당되어 부호화된다.

3.2 모의실험 결과

본 논문에서 제안한 통합 고정 비트율 기법의 성능을 분석하기 위해 3종류의 CIF/4CIF 영상 시퀀스, 300 프레임을 사용하였다. 모의실험은 기저 계층과 항상 계층의 비트율은 384kbps와 900kbps로 제어하였으며, 복호 시작 지연의 크기를 각각 3으로 하여 수행하였으며, 그 결과를 표2에 나타내고 있다.

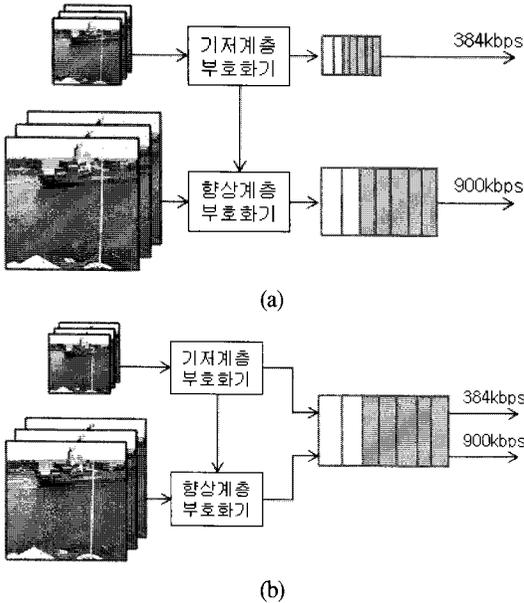


그림 2. 독립 버퍼제어와 통합 버퍼제어 (a) 독립 버퍼 제어 (b) 통합 버퍼 제어
 Fig. 2. Independent buffer control and joint buffer control (a) Independent buffer control (b) joint buffer control

표 2. 비트 할당 및 버퍼 제어 방식에 대한 모의실험 결과

Table. 2 Simulation result for bit allocation and buffer control

		기저 계층		기저계층 + 향상 계층	
영상 시퀀스	버퍼 제어 방법	비트율 [kbps]	PSNR [dB]	비트율 [kbps]	PSNR [dB]
Crew	독립1[6]	385.6	32.31	1290.72	33.87
	독립2[5]	384.3	32.60	1284.82	34.02
	통합	387.9	32.92	1283.55	34.21
Soccer	독립1[6]	385.2	32.63	1290.80	33.02
	독립2[5]	384.1	32.88	1284.32	33.17
	통합	388.0	33.04	1280.05	33.27
City	독립1[6]	385.5	33.31	1290.31	32.38
	독립2[5]	383.9	33.48	1284.52	32.73
	통합	386.1	33.56	1282.79	32.77

독립1 방식은 참고 문헌 [6]에서 사용한 비트율 제어 방식이며, MPEG-2 TM5에 기초하고 있고, 독립2 방식은 참고 문헌 [5]에서 사용한 비트율과 거의 유사하게 기저

계층과 향상 계층을 JM방식의 비트율 사용하여 제어한 것이다. 모의실험 결과에서 알 수 있듯이, Crew와 같은 영상에 대해 기저 계층에서 독립2 방식에 비해 최대 0.32dB정도 우수한 성능을 보임을 알 수 있으며, 향상 계층에서는 약 0.2dB정도의 성능 개선이 이루어짐을 알 수 있다. 그러나, 화면 복잡도가 높은 City의 경우에는 기저 계층에서 약 0.1dB정도의 성능 개선이 있음을 알 수 있다. 따라서, 본 논문에서 버퍼를 통합 제어하고, 비트 할당을 동적으로 제어함으로써 성능이 개선됨을 알 수 있다.

IV. 계층간 부호화 모드의 통계적 특성과 부호화 모드 결정 기법

4.1 계층간 통계적 특성 조사 및 실험 조건

표1에 나타낸 바와 같이, 2계층 공간 확장성 부호화를 위해서는 매우 많은 연산을 통하여 최적인 부호화 모드를 결정한다. 그러나, 앞서 언급하였듯이 2계층 공간 확장성 SVC 부호기는 기저 계층과 향상 계층은 화면 해상도만 달리 할뿐, 거의 비슷한 정보를 중복적으로 공유하고 있으므로 기저 계층 부호화시에 얻어진 정보를 이용하여 향상 계층의 부호화 모드 결정시에 사용하면 부호화에 필요한 계산량을 크게 줄일 수 있다. 이와 관련하여, [6]에서는 기저 계층의 매크로블록에 대해 해당되는 향상 계층의 매크로블록에 대한 사용 빈도수를 조사하여, 사용 빈도수가 낮은 부호화 모드에 대해서는 부호화 모드 계산에 사용하지 않게 함으로써 계산량을 절감하는 방안을 제시하였다. [6]에서 사용한 통계적 특성에 기반한 부호화 모드 제한 방식은 특정 영상 시퀀스에 대해 매우 효과적인 성능을 발휘하지만, 양자화 파라미터의 값에 크게 의존적인 특성을 보이는 단점이 있다. 본 논문에서는 [6]에서 사용한 기저 계층에 따른 향상 계층의 부호화 모드에 대한 계산 절감을 사용함과 동시에 기저 계층의 부호화 모드에 따른 양자화 파라미터 값의 통계적 특성을 추가적으로 고려한다.

3.1절에 나타낸 부호화 모드의 통계적 특성을 추출하기 위해, 기저 계층과 향상 계층의 CIF 및 4CIF급 영상 시퀀스로서 City(300프레임), Harbour(300프레임), Ice(240프레임)를 사용하였다.

표 3. 기저 계층의 부호화 모드 결정에 따른 대응되는 향상 계층의 부호화 모드에 대한 모델[6]
 Table. 3 Coding modes model of enhancement layers corresponding to the determined coding modes of base layer[6]

BL 부호화모드 \ 모델	통합-simple	통합-medium
BL : IFxEstimateMbSkip	IFxEstimateMbSkip ILRxEstimateMb16x16	ILRxEstimateMbBLSkip ILxEstimateMbBLSkip xEstimateMbIntra16x16 ILRxEstimateMb8x16 ILRxEstimateMb16x8
BL : IFxEstimateMb16x16	IFxEstimateMbSkip ILRxEstimateMbBLSkip	ILRxEstimateMb16x16 ILxEstimateMbBLSkip ILRxEstimateMb8x16 ILRxEstimateMb16x8 xEstimateMbIntra16x16 IFxEstimateMb16x16
BL : IFxEstimateMb16x8	ILRxEstimateMbBLSkip IFxEstimateMbSkip ILRxEstimateMb16x16 ILxEstimateMbBLSkip ILRxEstimateMb16x8 ILRxEstimateMb8x16	xEstimateMbIntra16x16 IFxEstimateMb16x16 IFxEstimateSubMb8x8 xEstimateMbIntra4x4 IFxEstimateMb16x8 ILRxEstimateSubMb8x8
BL : IFxEstimateMb8x16	ILRxEstimateMbBLSkip IFxEstimateMbSkip ILRxEstimateMb16x16 ILxEstimateMbBLSkip ILRxEstimateMb8x16 ILRxEstimateMb16x8	xEstimateMbIntra16x16 IFxEstimateMb16x16 xEstimateMbIntra4x4 IFxEstimateMb8x16 IFxEstimateSubMb8x8 ILRxEstimateSubMb8x8
BL : IFxEstimateSubMb8x8	ILRxEstimateMbBLSkip IFxEstimateMbSkip ILRxEstimateMb16x16 ILxEstimateMbBLSkip ILRxEstimateMb8x16 ILRxEstimateMb16x8	IFxEstimateSubMb8x8 ILRxEstimateSubMb8x8 IFxEstimateMb16x16 IFxEstimateMb8x16 xEstimateMbIntra4x4 IFxEstimateMb16x8 xEstimateMbIntra16x16
BL : IFxEstimateSubMb8x4	ILRxEstimateMbBLSkip ILRxEstimateSubMb8x8 IFxEstimateSubMb8x8 ILRxEstimateMb16x8 ILRxEstimateMb16x16 ILxEstimateMbBLSkip	IFxEstimateMb16x8 IFxEstimateSubMb8x4 xEstimateMbIntra4x4 IFxEstimateMbSkip ILRxEstimateSubMb8x4 ILRxEstimateMb8x16 IFxEstimateMb16x16
BL : IFxEstimateSubMb4x8	ILRxEstimateMbBLSkip ILRxEstimateSubMb8x8 ILRxEstimateMb8x16 IFxEstimateSubMb8x8 ILxEstimateMbBLSkip ILRxEstimateMb16x16 IFxEstimateMbSkip	IFxEstimateMb8x16 xEstimateMbIntra4x4 IFxEstimateSubMb4x8 ILRxEstimateMb16x8 IFxEstimateMb16x16 IFxEstimateSubMb8x4 ILRxEstimateSubMb8x4
BL : IFxEstimateSubMb4x4	ILRxEstimateMbBLSkip ILRxEstimateSubMb8x8 IFxEstimateSubMb8x8 ILxEstimateMbBLSkip	ILRxEstimateSubMb8x4 IFxEstimateSubMb4x8 ILRxEstimateSubMb4x8 IFxEstimateSubMb8x4 ILRxEstimateMb16x8 ILRxEstimateMb8x16 ILRxEstimateMb16x16
BL : xEstimateMbIntra4x4	ILxEstimateMbIntraBL	xEstimateMbIntra4x4 xEstimateMbIntra16x16 ILRxEstimateMb16x16 IFxEstimateMbSkip
BL : xEstimateMbIntra16x16	ILxEstimateMbIntraBL	xEstimateMbIntra16x16 xEstimateMbIntra4x4 IFxEstimateMbSkip

표 4. 버퍼 제어 방식에 따른 부호기 모델의 성능 비교
Table. 4 Performance comparison of coder models for buffer control

영상 시퀀스	모델	방식	T-DMB 평균 PSNR(dB)	AT-DMB 평균 PSNR(dB)	전체 수행시간 (sec)
CREW	Simple	독립[6]	31.79	33.36	252.18
		통합	32.05	33.47	253.11
	Medium	독립[6]	32.25	33.84	702.62
		통합	32.87	34.17	700.08
	Complex	통합	32.92	34.21	1553.22
	SOCCER	Simple	독립[6]	32.22	32.77
통합			32.38	32.96	231.29
Medium		독립[6]	32.59	32.98	625.28
		통합	32.76	33.19	623.61
Complex		통합	33.04	33.27	1382.77
City		Simple	독립[6]	33.06	32.13
	통합		33.38	32.29	80.95
	Medium	독립[6]	33.26	32.32	202.37
		통합	33.52	32.68	201.59
	Complex	통합	33.56	32.77	548.26

사용한 소프트웨어는 JSVM 9.1이고, 3.2절에서 요약한 고정 비트율 제어 기법을 적용하여, 기저 계층과 항상 사용한 소프트웨어는 JSVM 9.1이고, 3.2절에서 요약한 고정 계층은 384kps와 900kbps로 제어하였다. 그리고, 본 논문에서 사용한 모든 실험에 대해 참조 프레임 개수는 1개, 루프필터 사용, 고속탐색, 탐색영역 크기 32, 심볼 부호화는 CAVLC, 계층간 예측은 적응적 예측을 사용하였다. 이러한 부호화 파라미터의 규격은 기존의 T-DMB 규격을 만족하도록 설정하였다. 또한, 본 논문에서는 P슬라이스에 대한 부호화 모드의 통계적 특성 추출로 제한하고, 수행시간 측정을 위해 Intel(R) Core(TM)2 CPU 6400 @ 2.13Ghz 1.25GB RAM에서 수행되었다.

4.2 기저 계층의 부호화 모드에 대응되는 향상

계층의 부호화 모드

본 논문에서는 향상 계층의 부호화 모드는 기저 계층에서 결정된 부호화 모드와 매우 밀접한 관련성이 있으며, 본 논문에서도 모의실험을 통하여 [6]과 거의 동일한

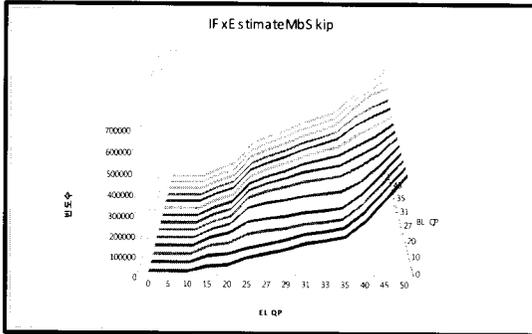
실험결과를 도출하였으며, [6]에서 제안한 EL-simple과 EL-medium 모델과 동일한 모델을 표3과 설정하였다. 본 논문에서 제안한 통합 버퍼 제어 방식과 [6]과의 모의실험 결과를 표4에 나타내었다. 표4에서 Complex로 표시한 것은 표1에 나타난 모든 부호화 모드를 사용한 경우이고, 이들 부호화 모드를 모두 고려하였을 경우에 대한 성능을 나타낸다. 본 논문에서 제안한 통합 방식의 비트량 할당 및 버퍼 제어 방식에 대한 모의실험 수행 시간은 거의 동일함을 보여준다. 그러나, [6]에서 사용한 비트율 제어 방식이 매우 간단하여, simple방식과 medium방식에서 제안한 통합 방식에 비해 성능 저하가 크게 일어남을 알 수 있다. 따라서, 본 논문에서 사용한 통합 제어 방식은 부호화 모드를 제한하는 부호기에서 효과적으로 사용될 수 있음을 알 수 있다.

4.3 양자화 파라미터의 통계적 특성에 기초한

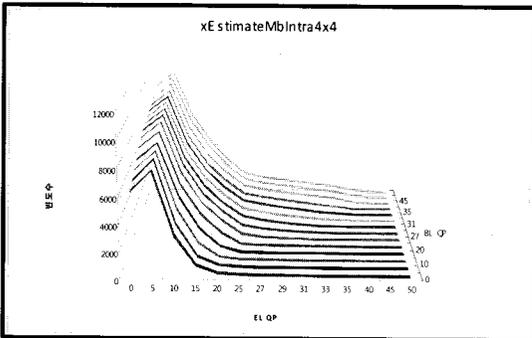
부호화 모드 결정

기저 계층에서 사용된 양자화 파라미터의 값과 향상 계층에서 사용하는 부호화 모드는 매우 밀접한 영향을

미친다. 본 논문에서는 이러한 특성을 조사하기 위해 세 종류의 영상 시퀀스에 대해 기저 계층 매크로블록의 양자화 파라미터에 대응되는 향상 계층의 매크로블록에서 선택되는 부호화 모드에 대한 통계적 특성을 추출하였다.



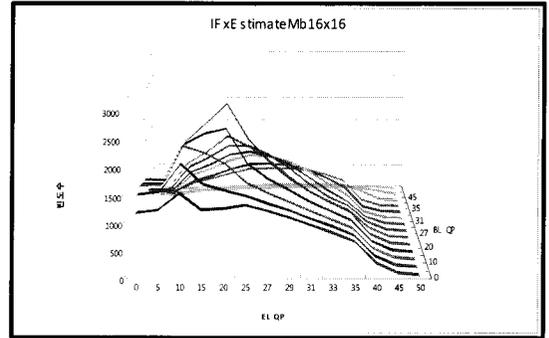
(a)



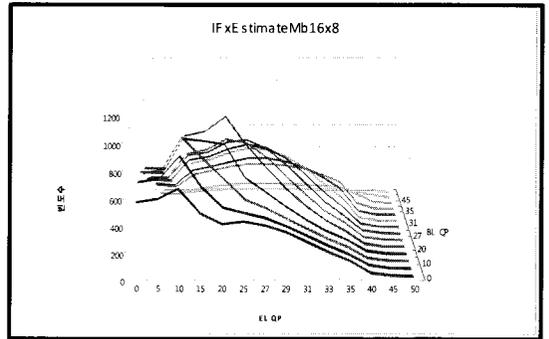
(b)

그림 3. 향상 계층의 QP변화에 의존적인 부호화 모드 (a) 화면간 잔여 예측 (b) 화면내 4X4 잔여예측
Fig 3. Coding modes dependent on QPs of the enhancement layer (a) IFxEstimateMbSkip (b) xEstimateMbIntra4x4

그림3에서 그림7까지는 기저 계층의 양자화 파라미터에 따른 향상 계층의 양자화 파라미터에 따른 최적적인 부호화 모드 선택에 대한 특성을 보여준다. 그림3은 기저 계층의 양자화 파라미터의 값에 무관하게 향상 계층의 부호화 모드가 결정되는 실험 결과를 보여주는 예로써, 향상 계층의 IFxEstimateMbSkip 함수는 향상 계층의 양자화 파라미터가 큰 값일 경우에 선택될 수 있으나, xEstimateMbIntra4x4는 양자화 파라미터가 작은 값 영역에서 쉽게 선택될 수 있는 함수들이다.



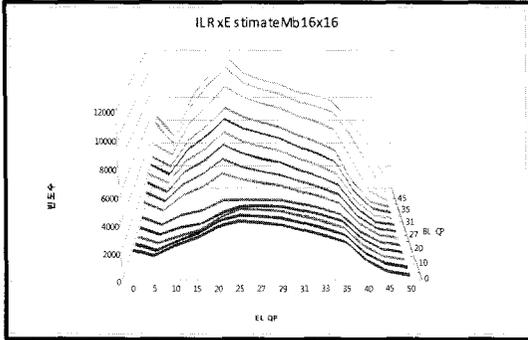
(a)



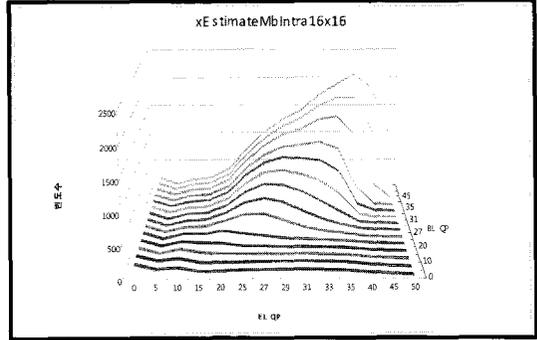
(b)

그림 4. 기저 계층과 향상 계층의 작은 QP값에 의존적인 부호화 모드 (a) 화면간 16X16 잔여예측 (b) 화면간 16X8 잔여예측
Fig 4. Coding modes dependent on small QPs of both base & enhancement layers (a) IFxEstimateMb16x16 (b) IFxEstimate16x8

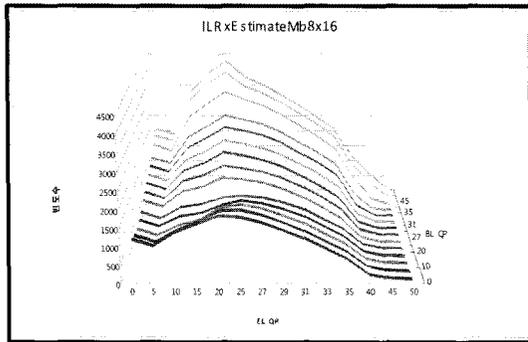
그림4는 기저 계층과 향상 계층에서 사용되는 양자화 파라미터가 동시에 작은 값일 경우에 선택되는 부호화 모드로서 IFxEstimateMb16x16과 IFxEstimate16x8를 나타내고 있다. 두 계층에서 동시에 높은 양자화 값을 갖는 경우에는 거의 최적적인 부호화 모드로 선택되지 않고 있다. 그림5의 경우에는 향상 계층의 중간 QP값 및 그 이상의 값에 민감한 경우를 나타내는 것으로서 ILRxEstimate16x16과 IFxEstimate16x8의 예를 보여주고 있다. 그림6은 그림4와 거의 반대되는 경우로서 모두 QP값이 큰 경우에 선택되는 함수를 보여주고 있다. 그림7은 기저 계층의 작은 QP값에 의존적인 부호화 모드를 나타내고 있다.



(a)



(b)



(b)

그림 6. 기저 계층과 향상 계층의 큰 QP값에 의존적인 부호화 모드 (a) 계층간 잔여 MB의 예측 (b) 계층간 잔여 16X16 예측
Fig 6. Coding modes dependent on large QPs of both base & enhancement layers (a) IFxEstimate16x8 (b) IFxEstimate16x8

그림 5. 향상 계층의 중간 QP값에 의존적인 부호화 모드 (a) 계층간 16X16 잔여예측 (b) 계층간 8X16 잔여예측
Fig 5. Coding modes dependent on intermediate QPs of enhancement layer (a) ILRxEstimate16x16 (b) IFxEstimate16x8

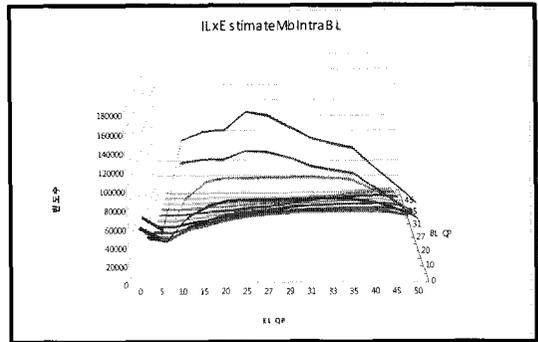
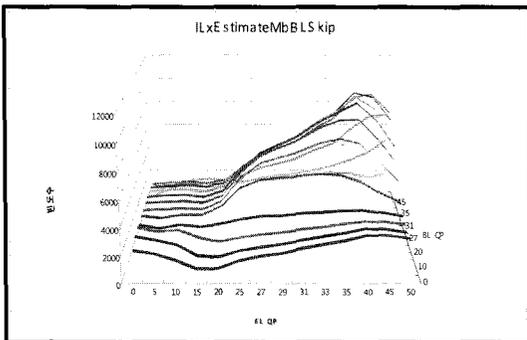


그림 7. 기저 계층의 작은 QP값에 의존적인 부호화 모드
Fig 7. Coding modes dependent on small QPs of the base layer



(a)

이상의 결과를 본 논문에서는 표5와 같이 크게 5가지로 분류하였다. 본 논문에서는 표4에 나타낸 2가지 모델에 표5를 추가하여 고속 부호화 모드 결정 기법으로 사용함을 제안한다.

표 5. 양자화 파라미터에 따른 향상 계층의 부호화 모드 선택에 대한 5가지 분류
 Table. 5 5 classes of coding modes in the enhancement layer for the determined quantization parameter of base layer

		합수
향상 계층의 QP값 변화에 민감한 경우 (기저 계층에 무관)	큰 QP값영역	IFxEstimateMbSkip
	작은 QP값영역	xEstimateMbIntra4x4, ILRxEstimateSubMb8x8, ILRxEstimateSubMb8x4, ILRxEstimateSubMb4x8, ILRxEstimateSubMb4x4
기저 계층과 향상 계층의 작은 QP값에 민감한 경우		IFxEstimateMb16x16, FxEstimateMb16x8, IFxEstimateMb8x16, IFxEstimateSubMb8x8, IFxEstimateSubMb8x4, IFxEstimateSubMb4x8, IFxEstimateSubMb4x4
향상 계층의 중간 QP값에 민감한 경우		ILRxEstimateMb16x16, ILRxEstimateMb16x8, ILRxEstimateMb8x16, ILRxEstimateMbBLSkip
기저 계층과 향상 계층의 큰 QP값에 민감한 경우		ILxEstimateMbBLSkip, xEstimateMbIntra16x16
기저 계층의 QP값이 작고, 향상 계층의 중간 QP값에 민감한 경우		ILxEstimateMbIntraBL

4.4 결합 모델에 대한 모의실험 결과

본 논문에서는 표3에 제시된 부호기 모델에 대해 추가적으로 표5에 나타난 양자화 파라미터의 특성을 고려하여 모의실험을 수행하였다. 각 부호화 모드의 통계적

특성에 기초하여 최대값 대비 5%이하에 대해서는 무시하는 모델을 취하도록 설계하였다. 표6은 본 논문에서 제안한 결합 모델에 대한 모의실험 결과를 보이고 있다. 이 결과에서 알 수 있듯이 제안 방식은 기존의 방식에 비

표 6. 결합 모델에 대한 모의실험 결과
 Table. 6 Simulation result for joint model

영상 시퀀스	모델	방식	AT-DMB 평균 PSNR(dB)	전체 수행시간 (sec)	통합(표3)대비 수행시간 감소율(%)
CREW	Simple	통합(표3)	33.47	253.11	-
		통합(표3+표5)	33.41	228.62	9.7%
	Medium	통합(표3)	34.17	700.08	-
		통합(표3+표5)	34.06	618.71	11.6%
	Complex	통합	34.21	1553.22	-
	SOCCER	Simple	통합(표3)	32.96	231.29
통합(표3+표5)			32.90	211.85	8.4%
Medium		통합(표3)	33.19	623.61	-
		통합(표3+표5)	33.12	559.37	10.3%
Complex		통합	33.27	1382.77	-
City		Simple	통합(표3)	32.29	80.95
	통합(표3+표5)		32.27	76.81	5.1%
	Medium	통합(표3)	32.68	201.59	-
		통합(표3+표5)	32.63	182.17	9.6%
	Complex	통합	32.77	548.26	-
	Harbour	Simple	통합(표3)	28.81	149.80
통합(표3+표5)			28.79	132.16	11.9%
Medium		통합(표3)	29.25	290.31	-
		통합(표3+표5)	29.23	265.08	8.7%
Complex		통합	29.31	395.28	-

해 화질 측면에서 매우 미세하게 저하되지만, 수행 시간 측면에서 약 5%에서 12% 정도의 속도 개선 효과가 있음을 확인할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 분석 제안한 바와 같이, 공간적 확장성을 갖는 SVC 부호기에서는 계층간 통계 특성과 양자화 파라미터의 값에 기초하여 매크로블록의 부호화 모드 연산을 간단하게 연산함으로써, 성능 저하는 크지 않게 유지하면서, 수행시간은 단축시킬 수 있음을 알 수 있다.

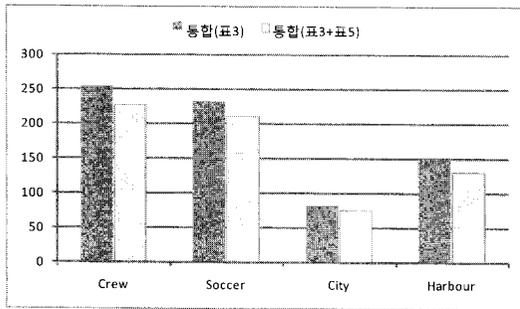


그림 8. 수행 시간 비교
Fig 8. Running time comparison

V. 결론

본 논문에서는 계층 변조 기술을 개발함에 따라 기존의 T-DMB 망을 그대로 이용하면서 확장형 서비스를 제공할 수 있는 고품질 지상파 DMB 서비스를 제공하기 위한 방안으로서, 효과적인 2계층 공간 확장성 부호기의 비트율 제어 및 연산 절감 기법에 대해 연구를 수행하였다. 즉, 부호기 버퍼를 통합 운용 제어함으로써 동적인 비트 할당을 통하여 부호화 효율을 최대 0.4dB까지 개선됨을 확인하였고, 또한, 기존에 제안된 부호화 모드의 연산 제한 방식과 더불어 기저 계층과 향상 계층에 사용되는 양자화 파라미터의 통계적인 특성에 기초하여 부호화 모드의 연산을 제한함으로써 계산량을 최대 12%까지 절감할 수 있음을 보였다.

본 논문에서 제안한 기법은 스케일러블 부호기의 장점을 최대한 활용하면서, AT-DMB 서비스의 표준화 및 상용화를 위한 호환적인 부호기의 연구에 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 앞으로, 본 논문에서 제안한 방식을 부호화 중에 작은 연산으로 최적인

부호화 모드를 적용적으로 구하는 방안에 대한 연구를 추가적으로 수행할 필요가 있다.

참고문헌

- [1] 초단파디지털라디오방송(지상파 DMB) 비디오 송수신 정합 표준-정보통신단체표준 한국정보통신기술협회, TTAS.KO-07.0026.pdf, 2004
- [2] 전동산의 5인, “지상파 DMB 고도화 망에서의 스케일러블 비디오 부호화 기술”, 대한전자공학회 전자공학회지, 제 44권 TC편 제1호, pp.1-9, Jan. 2007.
- [3] ETRI, “T-DMB White Paper,” Dec. 2006.
- [4] S.M. Cho, G.S. Lee, B.J. Bac, K.T. Yang, C.H. Ahn, S.I. Lee, and C.T. Ahn, “System and Services of Terrestrial Digital Broadcasting (T-DMB),” *IEEE Trans. Broadcasting*, vol. 53, no. 1, pp. 171-178, March 2007
- [5] 세종대학교, “지상파 DMB 고도화망에서의 스케일러블 비디오 전송 및 소비기술에 관한 연구”, 한국전자통신연구원 위탁연구과제 최종연구보고서, 2007년 1월, pp.34-75
- [6] 김진수의 5인, “T-DMB/AT-DMB 서비스를 위한 부호화 모드 제한을 갖는 공간 확장성 부호기의 성능 비교”, *방송공학회 논문지*, 제13권 4호, pp.501-512, July 2008.
- [7] ISO/IEC 14496-10:2005/FDAM 3, Information Technology - Coding of Audio-Visual Objects - Advanced Video Coding: Scalable Video Coding, July 2007.
- [8] H. Schwarz, D. Marpe, and T. Wiegand, “Overview of the scalable extension of the H.264/MPEG-4 AVC video coding standard,” *Joint Video Team*, doc. JVT-U145, Hangzhou, China, October 2006
- [9] Joint Video Team, “JSVM Software Manual (version JSVM 9.12.2),” *ITU-T document*, April 2008.
- [10] 이 범식의 4인, “스케일러블 비디오 부호화에서 선택적 계층간 차분 신호 부호화 및 공간적 향상 계층에서의 모드 결정”, *방송공학회 논문지*, 제12권, 제 6호, pp.596-610, Dec. 2007.
- [11] 나 태영의 5인, “영상 내용 특성과 주위 블록 모드

상관성을 이용한 H.264/AVC 화면간 프레임에서의 화면 내 예측 부호화 결정 방법과 화면 내 예측 고속화 방법”, *방송공학회 논문지*, 제12권, 제6호, pp.610 - 623, Dec. 2007.

- [12] A.R. Reibman and B.G. Haskell, "Constraints on Variable Bit Rate Video for ATM Networks," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology*, Vol.2, No.2, pp.361-371, Dec. 1992
- [13] B.G. Haskell and A.R. Reibaman, "Multiplexing of Variable Rate Encoded Streams," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology*, Vol.4, No.4, pp.417-424, Aug. 1994
- [14] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-TS EG for ATM Video Coding, "MPEG-2 Video Test Model 5," April 1993

저자소개



김진수(Jin-soo Kim)

1991년 : 경북대학교 전자공학과 공학사
1993년 : KAIST 전기 및 전자공학과 공학석사

1998년 : KAIST 전기 및 전자공학과 공학박사
1997년~2000년 : 삼성전자 선임연구원
2000년~현재 : 한밭대학교 정보통신컴퓨터공학부 교수
※주관심분야: 멀티미디어스트리밍, SVC, Distributed Video Coding, 디지털방송



박종갑(Jong-kab Park)

1994년 : 한림정보대학교 전산정보처리
1996년 : 한국방송통신대학 전자계산이학사

1997년 : 강원대학교 전자공학 공학석사
2008년 : 한밭대학교 멀티미디어공학과 박사과정
1983년~1998년 : 하이닉스(주) 구:현대전자(주) 근무
1999년~현재 : 한국폴리텍IV대학 멀티미디어과 부교수
※관심분야: 멀티미디어스트리밍, 멀티미디어 컨버전스, 디지털방송



서광덕(Kwang-deok Seo)

1996년 2월: KAIST 전기 및 전자공학과 학사
1998년 2월: KAIST 전기 및 전자공학과 석사

2002년 8월: KAIST 전기 및 전자공학과 박사
2002년 8월 ~ 2005년 2월 LG전자 선임연구원
2005년 3월 ~ 현재 연세대학교 컴퓨터정보통신공학부 부교수

※주관심분야: 영상부호화, 영상통신, 멀티미디어 신시스템



김재곤(Jae-Gon Kim)

1990년 2월: 경북대학교 전자공학과 학사
1992년 2월: KAIST 전기 및 전자공학과 석사

2005년 2월: KAIST 전기 및 전자공학과 박사
1992년 3월 ~ 2007년 2월 한국전자통신연구원 선임연구원/팀장
2001년 9월 ~ 2002년 11월: 뉴욕 콜롬비아대학교 연구원

2007년 9월 ~ 현재: 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부 조교수

※주관심분야: 비디오 신호처리/코딩, 디지털방송 미디어, 미디어 컨버전스, 멀티미디어 통신