논문 2012-07-35

고속 스케일러블 동영상 부호화 알고리즘

(A Fast Scalable Video Encoding Algorithm)

문 용 호*

(Yong Ho Moon)

Abstract : In this paper, we propose a fast encoding algorithm for scalable video encoding without compromising coding performance. Through analysis on multiple motion estimation processes performed at the enhancement layer, we show redundant motion estimations and suggest the condition under which the redundant ones can efficiently be determined without additional memory. Based on the condition, the redundant motion estimation processes are excluded in the proposed algorithm. Simulation results show that the proposed algorithm is faster than the conventional fast encoding method without performance degradation and additional memory.

Keywords : Scalable video coding, Fast encoder, Motion estimation, Memory

1. 서 론

오늘날 다양한 네트워크와 단말기들을 통하여 멀티미디어 콘텐츠가 전송, 공급되고 있다. ISO/IEC MPEG와 ITU-T VCEG로 공동 구성된 JVT(Joint Video Team)에서는 이러한 멀티미디어 서비스를 보다 효율적으로 제공하기 위하여 2007년 7월에 H.264/AVC의 확장 표준으로 스케일러블 동영상 부호화(SVC: Scalable Video Coding) 표준을 제정하였다 [1]. SVC표준은 주어진 비디오 콘텐츠를 시간적, 공간적, 화질의 측면에서 계층적으로 부호화를 수행함으로써 주어진 네트워크와 단말기에 따라 콘텐츠가 유연하게 전송, 복원되게 하는 기술이다 [2]. 따라서 SVC표준은 통,방 융합의 컨버전스 환경에 적합한 고효율의 동영상 부호화 코덱으로 화상전화, 화상회의, 모바일 비디오 스트리밍/방송, 무선 홈네트워크 기반의 비디오 서비스, 디지털 비디오 감시 등과 같은 광범위한 응용 분야에 활용될 것이다.

SVC표준은 단일계층의 H.264/AVC와 비교하여

10%이내의 부호화 성능 효율을 유지하면서 동시에 다차원의 복합 스케일러빌리티를 제공하기 때문에 기존 MPEG-2, MPEG-4에서의 문제들을 해결하고 있다 [3]. 그러나 SVC표준은 단일 동영상 영상을 다수의 계층으로 나누어 부호화해야 하는 만큼 단일계층으로 부호화하는 기존의 부호화 방식들에 비하여 방대한 계산량과 자원을 필요로 한다. 특히, 계층간 중복성을 제거하기 위하여 새롭게 도입된 계층간 예측(Inter-layer Prediction)기법은 부호화 효율을 향상시키는 주요 기술인 동시에 부호화 계산량의 방대한 증가를 가져오는 주요 요인이다. 따라서 SVC표준이 광범위한 응용 분야에 성공적으로 적용, 활용되기 위해서는 고속 부호화 방식의 개발이 매우 중요하다.

SVC표준이 제정된 이후 부호화 속도를 증가시키기 위하여 많은 노력이 이루어져 왔다. 지금까지 수행된 대부분의 연구들은 고속 부호화 모드 결정 기법 개발에 집중되었다. 고속 부호화 모드 결정 기법 [4-7]은 통계적 분석에 기초하여 부호화 과정을 특정 일부 모드들로 제한하는 방식으로 기존 SVC 부호화에 비하여 40%~60% 정도의 부호화 속도 개선을 가져온다. 그러나 이 기법은 부호화 성능의 저하를 초래하는 문제점을 지니고 있다. 이를 해결하기 위하여 최근에 부호화 성능의 저하없이 부호화 속도를 증가시키는 효율적인 고속 부호화 기법 [8]이 제안되었다. 이 기법은 계층간 예측 기법의 도입으로 인하여 야기된 움직임 예측과정들에 있어서

* 교신저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2012. 08. 01., 수정일 : 2012. 08. 24., 채택확정 : 2012. 09. 24.

문용호 : 경상대학교 정보과학과/공학연구원

※ 본 연구는 2012년도 경상대학교연구년제연구교수 연구지원비에 의하여 수행되었음.

그림. 1 SVC 부호화기의 블록도

Fig.. 1 Block diagram of SVC encoder

중복되는 움직임 예측들을 생략하는 방식으로 부호화 속도를 약 20% 정도 개선한다. 그러나 이 기법은 움직임 예측 과정에서 얻어지는 움직임 예측 정보를 록업테이블에 저장해야 하기 때문에 방대한 메모리를 요구한다. 따라서 이 기법은 실제 구현에 있어서 효율성이 떨어지는 문제를 지닌다. 본 논문에서는 추가적인 메모리의 도입없이 부호화 속도를 개선시키는 새로운 고속 부호화 알고리즘을 제안한다. 기존 SVC 부호화 과정에서 수행되는 복수의 움직임 예측 과정들에 대한 분석을 통하여 불필요한 움직임 예측 과정이 존재함으로 보인다. 그리고 이를 정확하게 예측할 수 있는 효과적인 조건을 제시한다. 모의실험은 제안 알고리즘이 부호화 성능의 저하없이 기존 SVC 부호화 방식에 비하여 부호화 속도를 약 23% 개선함을 보인다.

II. 스케일러블 동영상 부호화 방식

1. 개요

SVC 부호화 표준은 주어진 동영상을 시간, 공간, 화질의 측면에서 계위적으로 부호화하기 위하여 H.264/AVC 표준의 부호화 방식을 다층 구조에 확장, 적용한 것이다. 그리고 계층간 예측 기법을 새롭게 도입하여 계층간 존재하는 중복 정보를 효과적으로 제거함으로써 향상된 부호화 성능을 지

닌다. 그림 1은 SVC 부호화기를 나타낸 블록도이다.

그림 1에서 기본 계층은 기존 H.264/AVC 표준에 의하여 부호화되는 반면에 기본 계층의 상위에 존재하는 향상 계층(Enhancement Layer)은 기존 H.264/AVC 표준에 기초한 계층내 예측 기법(Intra-Layer Prediction)과 더불어 기본 계층에서 얻어지는 잔차신호($\hat{S}$), 움직임 벡터(mv_{Col}^B), 그리고 인트라모드 정보들에 기반한 계층간 예측 기법(Inter-Layer Prediction)에 의하여 부호화된다.

그림 1에 나타낸 바와 같이 향상 계층에서의 인터모드 예측(inter-mode prediction)은 H.264/AVC 표준에서 수행되는 기존 예측 과정뿐만 아니라 기본 계층에서 전송된 잔차 신호와 움직임 벡터를 이용한 새로운 예측 과정을 포함하고 있다. 이러한 이유로 SVC 표준에서는 특정 인터 모드별로 4가지 유형의 움직임 예측과정이 적용된다. 이것은 SVC 표준에 있어서 부호화 계산량의 상당 부분이 움직임 예측과정에 의하여 소요됨을 의미한다 [9]. 따라서 움직임 예측 과정에서 요구되는 계산량을 효과적으로 감소시키는 것은 부호화 속도 개선에 있어서 매우 중요하다.

2. 기존의 효율적인 고속 부호화 방식 [8]

일반적으로 움직임 예측 과정은 움직임 벡터 예

표 1. 향상 계층에서의 움직임 예측 과정

Table 1. Motion estimations performed at the enhancement layer

분류	원 영상	움직임 예측 벡터 (MVP)
S1	S	$m^E = med(mv_U, mv_L, mv_{UR})$
S2	S	mv_{CoL}^B
S3	$S - R_{BL}$	$\overline{m}^E = med(\overline{mv_U}, \overline{mv_L}, \overline{mv_{UR}})$
S4	$S - R_{BL}$	mv_{CoL}^B

측기(MVP: Motion Vector Predictor)를 이용하여 탐색 영역을 선정한 후 원 영상 블록에 대한 윗-왜곡 비용이 가장 작은 정합 블록을 찾기 위한 일련의 절차들로 구성되어 있다. 따라서 움직임 예측 과정을 원 영상 블록과 MVP를 이용하여 표현하는 것은 매우 효과적인 방식이다. 표 1은 향상 계층에서 수행되는 4가지 움직임 예측 과정들을 정리한 것이다. 표 1에서 m^E 와 $\overline{m}^E$ 는 기 부호화된 주변블록의 움직임 벡터들에서 얻어지는 중간값으로 설정되는 MVP를 나타낸다.

통계적 분석에 의하여 m^E 와 mv_{CoL}^B 가 서로 인접한 위치에 존재하는 확률이 매우 높다는 사실이 알려져 있다 [9]. 이 사실은 S1과 S2에서 탐색 영역들의 대부분이 중첩됨을 의미한다. 그림 2는 m^E 와 mv_{CoL}^B 에 의하여 탐색영역이 중첩되는 사례를 나타낸 것이다. 그림 2에서 회색으로 표시된 부분이 중첩된 탐색 영역을 나타낸다.

한편 S1과 S2에서의 윗-왜곡 비용은 각각 다음과 같이 정의된다.

$$m^E = med(mv_U, mv_L, mv_{UR})$$

$$J_1^{(m,n)} = SAD(S, P^{(m,n)}) + \lambda \cdot R(mv^{(m,n)} - m^E, ref) \quad (1)$$

$$J_2^{(m,n)} = SAD(S, P^{(m,n)}) + \lambda \cdot R(mv^{(m,n)} - mv_{CoL}^B, ref) \quad (2)$$

여기서 SAD 와 R 는 원 영상 블록과 탐색영역내에 존재하는 후보블록간의 왜곡과 움직임 정보 전송에 요구되는 비트량을 의미한다. 중첩된 탐색 영역내에 존재하는 후보블록에 대하여 식(1)과 식(2)의 왜곡치 및 참조 프레임의 인덱스 비트는 항상 동일하다. 따라서, 중첩영역에 존재하는 후보블록의 경우 S1의 움직임 예측 과정에서 얻어지는 왜곡치 및 참조 영상 인덱스를 S2의 윗-왜곡 비용 계산에서 이용할 수 있다면 식(2)는 실질적으로 움직임 벡터

그림. 2 탐색 영역들간의 중첩 사례

Fig. 2 An example of the overlapped search ranges.

표 2. $m^E = \overline{m}^E$ 인 경우에 대한 통계 특성

Table 2. Statistics for $m^E = \overline{m}^E$

인터모드 유형	Qp (기본계층, 향상계층)			
	(20,14)	(26,20)	(32,26)	(38,32)
16x16	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
16x8	94.4%	92.2%	90.8%	90.5%
8x16	94.5%	93.9%	92.5%	92.2%
8x8	77.2%	78.1%	77.1%	76.6%
8x4	75.9%	73.5%	71.6%	74.1%
4x8	76.4%	74.4%	72.8%	75.4%
4x4	63.5%	64.5%	63.6%	67.9%

차 부분에 대한 비트율 계산으로 단순화된다. 이러한 사실에 기초하여 기존의 부호화 방식에서는 식(1)의 왜곡치 및 참조 프레임의 인덱스 비트 정보를 룩업테이블(Look-up Table)에 저장하여 부호화 성능의 저하없이 S2의 부호화 계산량을 감소시켰다. 이 같은 접근은 S3와 S4에 대하여도 유효하다.

그러나 기존의 부호화 방식은 룩업테이블을 구현하기 위하여 부가적인 메모리를 필요로 하여 실제 구현에는 적합하지 않은 문제를 지니고 있다. 본 논문에서는 이러한 문제를 극복하면서 부호화 속도를 향상시키는 방식을 제시한다.

III. 제안하는 고속 부호화 알고리즘

1. 움직임 예측 과정에 대한 분석

표 3. 움직임 예측 과정 분석.

Table 3. Analysis on motion estimation processes

조 건	기존 움직임 예측 과정		움직임 예측 과정 적용 여부
	원 영상	MVP	
$m^E = \bar{m}^E = mv_{CoL}^B$	S	m^E	적용
	S	mv_{CoL}^B	불필요
	S - R _{BL}	$\bar{m}^E$	적용
	S - R _{BL}	mv_{CoL}^B	불필요
$m^E \neq \bar{m}^E = mv_{CoL}^B$	S	m^E	적용
	S	mv_{CoL}^B	적용
	S - R _{BL}	$\bar{m}^E$	적용
	S - R _{BL}	mv_{CoL}^B	불필요
$\bar{m}^E \neq m^E = mv_{CoL}^B$	S	m^E	적용
	S	mv_{CoL}^B	불필요
	S - R _{BL}	$\bar{m}^E$	적용
	S - R _{BL}	mv_{CoL}^B	적용
$m^E = \bar{m}^E \neq mv_{CoL}^B$ 혹은 $m^E \neq \bar{m}^E \neq mv_{CoL}^B$	S	m^E	적용
	S	mv_{CoL}^B	적용
	S - R _{BL}	$\bar{m}^E$	적용
	S - R _{BL}	mv_{CoL}^B	적용

최근의 연구에서 m^E 와 $\bar{m}^E$ 도 서로 인접해 있다는 사실이 통계적으로 확인되었다 [9]. 이 사실에 기초하여 본 논문에서는 Foreman, Mobile 시퀀스에 대하여 각각의 인터 모드 유형별로 m^E 와 $\bar{m}^E$ 가 서로 동일한 경우에 대한 발생 빈도를 조사하였다. 표 2는 이를 정리하여 나타낸 것이다. 표 2로부터 대부분의 인터 모드 유형들에서 m^E 와 $\bar{m}^E$ 가 동일한 경우가 60%이상임을 알 수 있다. 특히, 16x16모드의 경우 m^E 와 $\bar{m}^E$ 가 항상 일치한다. m^E 와 $\bar{m}^E$ 가 동일하다는 사실은 S1과 S3에서의 탐색영역들이 완전히 중첩된다는 것을 의미한다. S1과 S2에서의 탐색영역들이 중첩될 확률이 높다는 사실과 더불어 이러한 현상은 탐색영역의 중첩 여부를 기준으로 움직임 예측 과정을 분석하는 것이 효과적일 수 있음을 암시한다. 이에 본 논문에서는 탐색영역이 완전히 중첩될 경우에 대하여

그림. 3 제안 알고리즘의 순서도

Fig. 3 Flow chart of the proposed algorithm

기존 움직임 예측 과정들의 수행 여부를 살펴본다.

일반적으로 탐색영역은 MVP를 중심으로 하는 특정 지역을 의미한다. 따라서 탐색 영역의 완전 중첩 여부는 MVP의 일치 여부를 조사함으로써 확인할 수 있다. 표 1에서 알 수 있듯이 SVC 표준에서의 움직임 예측 과정들은 3개 MVP들에 의하여 탐색 영역들이 설정된다. 그러므로 MVP들의 일치 여부에 대하여 생각할 수 있는 총 경우의 수는 5가지이다. 표 3은 이들 5가지 경우에 있어서 움직임 예측 과정들의 수행 여부를 분석한 것이다. 표 3에서 모든 MVP들이 동일한 첫 번째 조건의 경우 S2와 S4가 불필요한 움직임 예측 과정들임을 나타낸다. 왜냐하면 모든 MVP들이 동일하다는 조건으로 인하여 S2와 S4는 S1과 S3와 각각 완벽히 일치하기 때문이다. 동일한 분석 방식에 의하여 두 번째 조건과 세 번째 조건의 경우에서도 S4와 S2가 각각 불필요함을 쉽게 알 수 있다. 또한 한 가지 중요한 사실은 표 3에 제시된 조건들이 MVP들간의 일치 여부를 나타내는 것이므로 부가적인 계산량이나 메모리를 필요로 하지 않는다는 사실이다.

2. 제안 알고리즘

표 3의 분석 결과에 기초하여 본 논문에서는 부호화 성능의 저하를 야기하지 않는 고속 부호화 알고리즘을 제안한다. 제안 알고리즘은 그림 3과 같은 과정들을 통하여 수행된다.

표 4. 모의실험 환경

Table 4. Simulation configuration

실험 환경	
CPU	Intel Core 2 Quad 2.66GHz
RAM	6G
OS	Windows XP Professional
SVC codec	JSVM 9.18 encoder
Performance analysis	VTune (Amplifier XE 2011)
부호화 파라미터	
QP	(20,14),(26,20),(32,26),(38,32)
Resolution	QCIF/CIF
# of layer	2
Frame rate	30fps (256 frame)
GOP	16
# of reference frame	1
MV search range	16x16
ME Type	Full search (1/4 Pel)
RDO	Enable
Entropy Coding	CAVLC

IV. 모의 실험

본 논문에서는 제안 알고리즘의 우수성을 확인하기 위하여 SVC 표준 참조 소프트웨어에 제안 알고리즘과 기존부호화 방식 [8]간의 부호화 속도를 비교, 평가하였다. 표 4는 실험 환경 및 조건을 보여준다.

표 5는 Foreman, Harbor, City, Crew, Mobile 시퀀스에 대한 부호화 속도 이득을 비교한 것이다. 표 5로부터 제안 알고리즘이 SVC 표준 부호화 방식에 비하여 부호화 속도를 평균 23% 개선 시킴을 알 수 있다. 이것은 제안 알고리즘이 SVC 표준의 부호화 성능을 유지하면서 부호화를 보다 더 고속으로 수행한다는 것을 의미한다.

한편 표 5는 제안 알고리즘이 부가 메모리를 사용하지 않으면서 기존 방식에 비하여 부호화 속도를 평균 3%정도 향상시킴을 보여준다. 탐색영역이 16x16인 경우, 왜곡치 및 참조 프레임의 인덱스 정보를 저장하기 위한 룩업테이블로 인하여 기존 방식에서는 $89,298\text{Byte} = (16 \times 2 + 1)^2 \times 41\text{Block} \times 2\text{Byte}$ 의 부가 메모리가 사용된다. 탐색영역이 넓어질수록 부가 메모리는 기하급수적으로 증가하며 구현시 비용의 증가를 야기한다. 이것은 기존 방식에 의한 평균 20.1%의 부호화 속도 개선 효과를 실제 환경에서 기대하는 것은 쉽지 않다는 것을

표 5. 제안 알고리즘과 기존 방식간의 성능 비교

Table 5. Performance comparisons between the conventional method and the proposed algorithm

Seq.	JSVM 9.18			시간 이득(%)	
	PSNR	Bit	시간	기존[9]	제안
Foreman	46.62	4221.09	5018.3	18.7	19.6
	42.55	1735.83	4363.6	19.1	15.1
	39.34	787.86	4109.5	16.5	15.1
	36.24	390.02	4032.4	15.8	15.4
Harbur	46.04	7580.88	6755.4	24.3	28.2
	40.98	4054.26	5347.5	23.9	30.0
	36.37	1858.32	4557.8	21.5	26.1
	32.53	804.21	4281.1	22.1	23.8
City	46.33	4030.18	4874.0	21.8	26.6
	41.95	1541.45	4138.9	20.6	23.4
	38.81	724.55	4018.1	20.1	20.7
	35.66	391.15	4009.8	19.0	17.8
Crew	46.86	5674.59	5912.9	17.2	19.6
	42.65	2678.29	5025.4	19.0	17.9
	39.01	1264.08	4450.0	14.7	21.7
	35.51	591.57	4186.5	15.0	19.1
Mobile	46.08	8464.51	6990.8	24.4	32.7
	41.05	4515.24	5290.3	23.9	30.6
	36.39	2169.10	4435.6	22.7	29.3
	32.42	987.83	4172.3	22.7	25.7
평 균				20.1	22.9
부가 메모리 (KByte)				87.3	0

의미한다. 반면에 제안 알고리즘은 부가 메모리를 필요로 하지 않기 때문에 평균 22.9%의 부호화 속도 개선이 실제 환경에서 손쉽게 이루어질 수 있다. 이러한 사실은 기존 방식에 비하여 제안 알고리즘의 부호화 속도 향상이 실질적으로 3%이상이라는것을 의미한다. 따라서 제안 알고리즘은 실제 환경에서 기존 방식보다 부호화 속도 개선 및 구현의 용이성에 있어서 우수한 특성을 지니고 있다.

V. 결 론

SVC표준은 다양한 전송 환경에 대하여 비디오 콘텐츠를 유연하게 전송하는 데 우수한 성능을 지니고 있지만 방대한 부호화 계산량으로 인하여 구현이 용이하지 않다는 문제를 지니고 있다. 그 동안 이를 극복하기 위하여 제시된 고속 부호화 방법들은 부호화 속도의 개선을 가져왔지만 부호화 성

능을 저하시키고 과도한 메모리의 사용을 필요로 하는 단점을 지니고 있다.

본 논문에서는 부호화 성능의 저하와 부가적인 메모리의 도입을 야기하지 않는 새로운 고속 스케일러블 부호화 알고리즘을 제안한다. 항상 계층에서 수행되는 복수의 움직임 예측 과정들에 대한 분석을 통하여 불필요한 움직임 예측 과정이 존재함을 보이는 한편 이를 효율적으로 판단할 수 있는 조건들을 제시하였다. 본 논문에서는 이러한 분석 결과 토대로 부가 메모리의 도입없이 불필요한 움직임 예측 과정을 제거하여 부호화 속도를 개선하는 새로운 부호화 알고리즘을 제안하였다. 다양한 시퀀스들에 대한 모의실험을 통하여 제안 알고리즘이 기존 방식에 비하여 고속으로 부호화를 수행함을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] T. Wiegand, G.J. Sullivan, J. Reichel, H. Schwarz, M. Wien, "Joint Draft 9 of SVC amendment," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T SG16 Q.6, Document JVT-V201, 2007.
- [2] H. Schwarz, D. Marpe, T. Wiegand, "Overview of the Scalable Video Coding Extension of the H.264/AVC Standard," IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 17, No. 9, pp.1103-1120, 2007.
- [3] T. Wiegand, L. Noblet, F. Rovati, "Scalable Video Coding for IPTV Services," IEEE Trans. on Broadcasting, Vol. 55, No. 2, pp.527-538, 2009.
- [4] H. Li, Z.G. Li, C. Wen, "Fast Mode Decision Algorithm for Inter-Frame Coding in Fully Scalable Video Coding," IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 16, No. 7, pp.889-895, 2006.
- [5] J. Ren N. Kehtarnavaz, "Fast Adaptive Early Termination for Mode Selection in H.264 Scalable Video Coding," Proceedings on IEEE International Conference on Image Processing, pp.2464-2467, 2008.
- [6] S.T. Kim, K.R. Konda, C.S. Cho, "Fast Mode Decision Algorithm for Spatial and SNR Scalable Video Coding," Proceedings on IEEE International Symposium on Circuit and Systems, pp.872-875, 2009.
- [7] C.H. Yeh, K.J. Fan, M.J. Chen, G.L. Li, "Fast Mode Decision Algorithm for Scalable Video Coding using Bayesian Theorem Detection and Markov Process," IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 20, No. 4, pp.563-574, 2010.
- [8] C.S. Park, S.W. Jung, K.S. Choi, S.J. Ko, "Fast Encoding Algorithm Avoiding Repetition of Motion Estimation in Scalable Video Coding," Electronics Letters, Vol. 46, No.4, pp.280-282, 2010.
- [9] Z.Y. Chen, J.W. Syu, P.C. Chang, "Fast inter-layer motion estimation algorithm on spatial scalability in H.264/AVC scalable extension," Proceedings on IEEE International Conference on Multimedia and Expo., pp.442-446, 2010.

저 자 소 개

문 용 호

1992년 부산대 전자공학과 학사.

1994년 부산대 일반대학원 전자공학과 석사.

1998년 부산대 일반대학원 전자공학과 박사.

1998년~2001년 삼성전자 DM연구소 책임연구원.

현재, 경상대 정보과학과 부교수.

관심분야: 동영상압축, 영상처리, 임베디드 시스템, SoC

Email: yhmoon5@gnu.ac.kr