

실시간 H.264/AVC 인코딩용 워터마크 구현

종신회원 홍 유 표*, 정회원 원 지 선**

Watermark Implementation for Real-Time H.264/AVC Encoding

Youpyo Hong *Lifelong Member*, Chee Sun Won *Regular Member*

요 약

디지털 영상은 영상압축이나 기타 다양한 디지털 처리에 용이한 장점이 있는 반면 위/변조가 상대적으로 용이하기 때문에 그에 대한 대응을 위한 다양한 디지털 워터마킹 기법이 개발되었다. 워터마킹 기법은 공간 또는 주파수 영역에서의 다양한 적용이 가능한데, 본 연구에서는 디지털 콘텐츠 대부분이 압축되어 전송, 저장되는 추세와, 최근 대부분의 멀티미디어 동영상 코덱 표준으로 채택이 되고 있는 H.264/AVC 인코더를 기반으로 한 워터마크 삽입을 실시간으로 수행하기 위한 기법을 제시한다.

Key Words : H.264/AVC, Watermark

ABSTRACT

Although digital image has many advantages including digital image compression and various image processing techniques, the it has the weakness of easy manipulation which led to the development of many digital watermarking techniques. There are various types of digital watermarking algorithms for spatial and spectral domains. This paper presents a watermarking implementation for H.264/AVC codec which is adapted for many multimedia standards.

I. 서 론

워터마킹 기술은 영상의 저작권 및 진위 여부 판독을 위하여 고안된 기법으로서 육안 식별 가능 여부, 워터마크 삽입 방식 등에 따라 다양하게 분류된다. 최근 대부분의 디지털 영상은 전송의 용이성이나 저장 공간의 절감을 위해 원형 보다는 압축된 형태로 보관이 되기 때문에, 압축 방식과 긴밀한 연관성을 가지게 된다. 영상 압축 표준은 JPEG으로부터 MPEG-1/2/4 그리고 H.264/AVC[11]에 이르기까지 꾸준히 발전해 왔으며, 그에 따라 워터마크 기술도 [1-10]에 이르기까지 다양한 압축 표준별로 진보하여 왔다. 그러나 기존 워터마크 연구들은 대부분 JPEG이나 MPEG에서 채용하고 있는 DCT나 VLC 기반이어서 H.264/AVC로의 직접적 응용이 곤란하여 H.264/AVC를 위한 워터마크는 비교적 최근 활

발히 연구가 진행 중이며, 아직까지는 하드웨어 구현 이슈까지는 고려되지 않은 알고리즘 고안 단계의 연구가 주류를 이루고 있다.

압축 코덱에서 사용되는 워터마크 기법의 알고리즘 차원에서의 주된 목표는 1) 워터마크 삽입에 따른 화질 손실의 최소화 2) 비트스트림 크기 증가의 최소화 3) 영상 위/변조시 검출 능력의 최대화 이며 하드웨어 구현 측면에서의 목표는 4) 구현 복잡도의 최소화, 즉 회로 크기의 최소화 5) 처리 속도의 최대화로 요약할 수 있다. 본 논문에서는 이와 같은 여러 가지 요구 조건의 충족을 목표로 한 실시간 워터마킹 회로의 구현과 실험 결과를 제시하고 있다.

II. H.264의 구성

H.264인코더는 기본적으로 인터/인트라 예측, 트랜스

* 동국대학교 IT학부 전자공학전공 부교수 ** 동국대학교 IT학부 전자공학전공 교수
 논문번호 : KICS2009-06-235, 접수일자 : 2009년 6월 3일, 최종논문접수일자 : 2009년 6월 26일

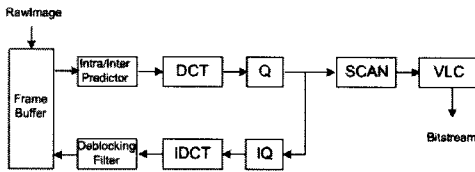


그림 1. H.264 인코더 구성도

폼, 디블러킹 필터, 스캔, VLC로 구성되어 있다. 인터 예측은 시간적으로 유사도가 높은 이전 픽처로부터 압축 대상 블록과의 유사도가 높은 블록을 찾아내어 그들간의 차분치를 원영상 대신 압축하는 기능을 담당하며, 인트라 예측은 단일 픽처 내에서 공간적으로 유사도가 높은 인접블럭과 압축대상 블록과의 차분치를 원영상 대신 압축하는 기능을 담당한다. 이러한 차분치 데이터는 모두 트랜스폼 블록으로 입력되어 DCT와 양자화 연산의 과정을 거치며 육안 식별도가 떨어지는 고주파 성분 데이터를 제거한 뒤, 많은 고주파 성분 데이터가 0이라는 점의 활용을 위해 지그재그 순으로 데이터를 재 정렬한 뒤 VLC단에서 출현 빈도가 높은 데이터에 대한 압축 효율을 증대시키는 방식으로 인코딩을 하게 된다.

역양자화와 IDCT블럭은 후속 픽처의 인터예측을 위해 최근 압축된 영상을 디코딩하여 저장하기 위하여 사용되며, H.264의 경우 블럭간 이질감 최소화를 위해 IDCT 결과 생성된 압축 후 복원 영상에 대한 필터링을 위해 디블러킹 필터가 사용된다.

III. H.264/AVC형 워터마크 알고리즘

H.264/AVC에서의 실시간 워터마크 삽입을 위하여 이전 발표 논문에서 제안된 알고리즘[12]의 기본 아이디어는 양자화 결과로서 얻은 주파수 영역 계수를 분석하여, 화질 측면에서 제일 중요도가 떨어지는 계수에 대하여 선별적으로 워터마크를 적용하는 것이다. 구체적으로는 양자화 블럭 출력 계수 중 지그재그 스캔 상으로 제일 마지막 **Trailing One** 데이터에서 마지막 1 또는 -1 데이터를 지정된 패턴에 따라 1 또는 -1로 변환시키는 것이다. 여기서 지정된 패턴은 사용자의 임의 지정이 가능하며, 일레로는 매크로블럭 좌표에 따라 1과 -1 선택 여부를 결정할 수 있다.

이러한 워터마킹의 주목할 만한 장점은 워터마크 삽입에 따른 비트율 변화가 없다는 점이며, 단점으로는 디코딩 시 워터마크 삽입 부분과 인접 블럭에 대한 화질 열화가 가능하다는 점인데 이러한 화질

열화는 육안 식별도가 매우 떨어지는 데이터에 대한 변질이기 때문에 원천적으로 그 정도가 심하지 않으며, 인접 블럭에 대한 과급 효과는 모드선택(인터, 인트라 예측 선별)과의 연계를 통해 경미한 수준으로의 차단이 가능하다. 하드웨어 구현 측면에서는 양자화 데이터에 대한 즉각적 워터마크 삽입이 가능하기 때문에 기존 인코딩 설계 변경 없이 단순한 워터마크 기능블럭 삽입으로 처리가 가능하며, 그 연산량 자체가 많지 않기 때문에 처리 속도나 구현 회로 크기가 크지 않을 수 있다는 장점이 있다.

Kim^[12]의 알고리즘은 비교적 크지 않은 화질 열화 수준으로 워터마크를 삽입하는 방식이면서 하드웨어 구현이 용이하다는 장점이 있는 반면 경우에 따라 화면 내 화질 열화 영향이 과급될 수 있는 가능성이 있으며 football과 같은 세밀하고 불규칙한 움직임이 많아서 인트라 예측 모드로 인코딩 되는 블럭의 비율이 높은 경우 화면 전체가 검버리는 일종의 플리커 현상이 관찰되었다. 즉, 특정 매크로블럭의 하변 또는 우변에 위치하는 픽셀에 워터마크가 삽입될 경우, 그 픽셀 데이터를 참조 픽셀로 삼아 인트라 예측이 된 주변 매크로블럭은 디코딩 시 부정확한 참조 영상 데이터에 의하여 화질이 열화 된다. 또한, 한 매크로블럭 내에서도 좌측 상단부에 속하는 블럭에 워터마크가 삽입될 경우 아래 쪽 또는 우측 블럭들이 4*4 인트라 예측 모드로 인코딩이 되었을 경우 디코딩시의 영상이 왜곡될 수 있다.

실험 결과 이러한 현상은 쉽게 육안으로 식별되지는 않지만, football과 같이 움직임 패턴이 매우 불규칙하여 인트라 예측의 빈도가 비교적 높을 경우 화면 전반의 검버림 현상으로 이어짐을 관찰할 수 있었다. 그림 2는 football영상의 24, 25, 26번째 프레임에 대하여 워터마크가 적용됨으로서 우측하단 부분의 영상이 전체적으로 훼손되었음을 관찰할 수 있다.

첫 번째 매크로블럭 간 오류 전파 방지를 위해서 인코더에서 모드 결정 시 만약 워터마크가 삽입



그림 2. Football 24, 25, 26번 프레임에 대한 워터마크^[12] 적용 결과

된 매크로 블록을 참조하는 인트라 예측 모드는 선정이 되지 않도록 하였다. 그리고 4*4 인트라 예측 모드의 경우 워터마크는 최우측 최하단 블록에 삽입이 되는 경우만을 허용 하였다.

IV. 하드웨어 구현

워터마크의 삽입은 양자화 연산 블록 직후에 수행하도록 설계되었으며 그림 3은 워터마크 연산부가 추가된 H.264 인코더 구성도를 보여주고 있다.

하드웨어 구현상 중요 이슈는 DCT, Q, IQ, IDCT, 그리고 SCAN과 VLC연산 블록이 모두 단일 파이프라인 단에서 처리되므로 워터마크 연산 처리 사이클이 매우 짧아야 한다는 점이며, 워터마크 처리가 과도하게 많은 클럭 사이클을 필요로 하게 되면 불필요한 파이프라인 단이 추가됨으로서 처리 속도의 증가는 물론 파이프라인 스테이지 간의 데이터 저장을 위한 SRAM버퍼가 추가되어야 하는 단점이 생기게 된다.

이러한 측면을 고려한 워터마크 기능 블록의 회로도가 그림 4 에 제시되어 있다.

T1 detect블럭의 역할은 양자화 블럭의 출력 중 마지막 Trailing Ones에 해당하는 주파수 성분 계수를 찾는 것과 IQ출력 데이터 네 개를 네 개의 병렬 레지스터에 보관하는 것이다. 이 과정을 통해 마지막 Trailing Ones가 검출되면 Insert WM블럭은 해당 계수의 마지막 1 또는 -1 데이터를 정해진 규칙에 따라 1 또는 -1로 교체하며, IQ에서 입력받은 데이터 순서와 동일한 순서로 Scan부에 전달한다.

처리 사이클은 T1 detect 블럭이 네 개의 데이터

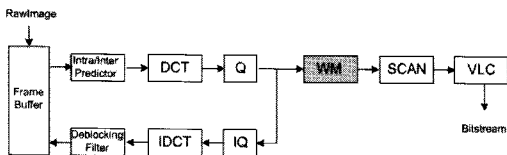


그림 3. 워터마크 배치 구성도

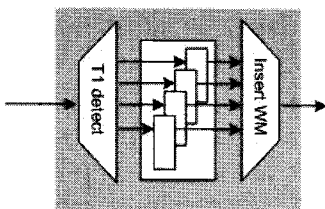


그림 4. 워터마크 회로 구성도

를 네 개 레지스터에 저장하기 위한 4 클럭, Insert WM 블록이 마지막 Trailing Ones의 마지막 1 또는 -1을 해당 데이터로 덮어 쓰는데 1 클럭, 그리고 IQ로부터 전달받은 순서대로 다시 직렬 출력 하는데 4 사이클이 소요되어 총 9 클럭의 연산 소요 시간을 필요로 한다.

V. 실험 결과

전술된 플리커링 현상을 제거하기 위하여 인트라 예측 모드에 대해 워터마크 전파를 방지하기 위한 단계를 추가한 실험 결과가 표 1에 제시되어 있다. 실험 결과에 의하면 워터마크가 화질 열화를 야기할 수 있는 경우 인위적으로 인트라 예측 모드를 억제함으로써 인트라 모드의 선택 비율이 줄었고 그 정도는 QP 10의 고화질에서 두드러졌다. 그리고 이러한 인위적 모드 변경은 화질 측면에서도 부정적으로 작용했음을 추정할 수 있다. 그러나, 그러한 워터마크에 의한 화질 열화 전파를 차단함으로써 기존 워터마크 삽입 방식 대비 1~2dB 정도의 화질 향상을 이루었다.

그림 5는 제안된 워터마크가 적용된 football 영상을 보여주고 있다. 육안으로는 워터마크에 의한 영상 훼손이 관찰되지 않음을 확인할 수 있다.

제안된 워터마크 회로는 베리로그를 이용하여 설계되었으며 TSMC 0.13공정 라이브러리를 이용하여 시뮬시스 툴로 합성하였다. 워터마크 회로 성능은

표 1. 워터마크 적용에 따른 화질 변화 및 인트라 모드 선택 비율

QP	비교 기준	No WM	[12]	Proposed
10	PSNR[dB]	50.06	47.77	49.51
	인트라모드 비율	90.93%	90.93%	0.75%
20	PSNR[dB]	42.60	41.01	41.97
	인트라모드 비율	90.03%	90.03%	36.41%
30	PSNR[dB]	35.89	34.90	35.66
	인트라모드 비율	79.63%	79.63%	72.83%



그림 5. Football 24, 25, 26번 프레임에 대해 제안된 워터마크 적용 결과

표 2. 트랜스폼과 워터마킹 연산 시간 및 회로크기 비교

연산 블록	연산 사이클	게이트 카운트
DCT	133	6,500
Q and IQ	250	11,000
IDCT	133	6,450
Watermark	9	3,500

연산 소요 사이클과 게이트 카운트인데, 기존 연구 결과 중 본 연구결과와 비교할 만한 H.264용 워터마크의 회로 구현 결과는 보고된 바가 없었기 때문에 기존 H.264인코더의 처리속도나 크기에 큰 영향을 주지 않는 것을 목표로 하였다.

우선 <표 1>은 워터마크 회로의 입력을 제공하는 트랜스폼 블록 (DCT, Q, IQ, IDCT)과의 연산 사이클 수와 회로 크기의 비교 결과이다. 워터마크와 함께 구현된 트랜스폼 회로는 54MHz의 구동 클럭으로 초당 30frame/sec의 처리 속도를 갖는 회로로서 [13] 등에 보고된 연구결과와 유사한 수준의 성능을 보유하고 있다. 실험 결과에 의하면 워터마크 회로는 트랜스폼 블록의 2%미만 처리 속도를 보였으며, 인코더의 기존 처리 속도에 거의 영향을 주지 않음을 관찰할 수 있다.

트랜스폼 블록과 워터마크 블록의 크기 비교 결과를 보면, 워터마크 회로는 트랜스폼 회로대비 약 15%정도의 크기를 차지하고 있으며, 인코더 전체 크기는 약 125,000 정도였으므로 인코더 전체에서의 크기 비중은 약 2.8% 정도를 점유하였다.

VI. 결 론

본 논문에서는 H.264/AVC 실시간 인코딩을 위한 워터마크 구현 기법을 제시하였다. 화질 손실 측면을 고려하여 양자화 출력 중 가장 중요도가 낮은 Trailing Ones에 대하여 워터마크를 삽입하는 알고리즘을 기반으로 하였으며, 워터마크 삽입에 총 9클럭만을 소요함으로써 기존 인코더 처리 속도에 거의 영향을 주지 않도록 설계 되었다.

참 고 문 헌

[1] M. Alattar, "Digital Watermarking of Low Bit-rate Advance Sample Profile MPEG-4 Compressed Video," *IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol.13 NO.8, pp.787-

800, Aug. 2003.

[2] D. Simitopoulos, S. A. Tsaftaris, N. V. Boulgouris and M. G. Strintzis, "Fast MPEG Watermarking for Copyright Protection," *IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems*, Vol.3, pp.1027-1030, Sept., 2002.

[3] F. Hartung and B. Girod, "Digital Watermarking of MPEG-2 Coded Video in the Bit Stream Domain," *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, pp.21-24, April, 1997.

[4] C. T. Hsu and J. L. Wu, "DCT-Based Watermarking for Video," *IEEE Transaction on Consumer Electronics*, Vol.44, pp.206-216, Feb., 1998.

[5] M. Barni, F. Bartolini and N. Checcacci, "Watermarking of MPEG-4 Video Objects," *IEEE Transaction on Multimedia*, Vol.7, pp.23-32, Feb.

[6] J. J. Chae and B. S. Manjunath, "Data Hiding in Video," *Proceedings, International Conference on Image Processing*, Vol.1, pp.311-315, 1999.

[7] P. Yin, B. Liu and H. H. Yu, "Error Concealment using Data Hiding," *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, Vol.3, pp.1453-1456, May, 2001.

[8] H. H. Yu and Y. Peng, "Multimedia Data Recovery using Information Hiding," *IEEE Global Telecommunications Conference*, Vol.3, pp.1344-1348, 2000.

[9] F. Bartolini, A. Manetti, A. Piva and M. Barni, "A Data Hiding Approach for Correcting Errors in H.263 Video Transmitted over a Noisy Channel," *IEEE Fourth Workshop on Multimedia Signal Processing*, pp.65-70, 2001.

[10] M. C. Q. Farias, C. Marco and K. M. Sanjit, "Objective Video Quality Metric based on Data Hiding," *IEEE Transaction on Consumer Electronics*, Vol.51, pp.938-992, 2005.

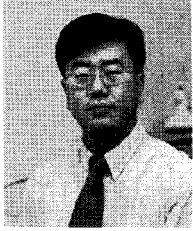
[11] E. G. Ricardson, *H.264/AVC and MPEG-4 Video Compression*, Wiley, 2003.

[12] S. M. Kim, S. B. Kim, Y. P. Hong and C. S. Won, "Data Hiding on H.264/AVC Compressed Video," *International Conference on Image Analysis and Recognition*, LNCS 4633, Aug., 2007.

[13] Y. Huang, B. Hsieh, T. Chen and L. Chen, "Analysis, Fast Algorithm, and VLSI Architecture Design for H.264/AVC Intra Frame Coder," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol.15, pp.378-401, March, 2005.

홍 유 표 (Youpyo Hong)

종신회원



1991년 2월 연세대학교 전기공학과 학사

1993년 5월 University of Southern California 전기공학과 석사

1998년 8월 University of Southern California 컴퓨터공학과

박사

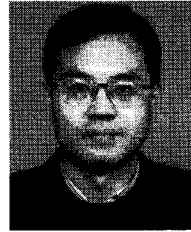
1998년 7월~1999년 2월 Synopsys, Hillsboro, Senior Engineer

1999년 3월~현재 동국대학교 IT학부 전자공학전공 부교수

<관심분야> 멀티미디어 칩 설계, SOC 설계

원 치 선 (Chee Sun Won)

정회원



1982년 2월 고려대학교 전자공학과 학사

1986년 2월 University of Massachusetts/Amherst 전기 및 컴퓨터 공학과 석사

1990년 2월 University of Massachusetts/Amherst 전기 및 컴

퓨터 공학과 박사

1989년 11월~1992년 8월 금성사 선임연구원

1992년 9월~현재 동국대학교 IT학부 전자공학전공 교수

<관심분야> 영상분할, 영상검색, 디지털워터마킹, 영상압축