

# 고해상도 영상의 효과적인 처리를 위한 블록 버퍼 기반의 저 복잡도 무손실 프레임 메모리 압축 방법

김종호  
순천대학교 멀티미디어공학과

## Lossless Frame Memory Compression with Low Complexity based on Block-Buffer Structure for Efficient High Resolution Video Processing

Jongho Kim

Department of Multimedia Engineering, Sunchon National University

**요약** 본 논문에서는 고해상도 영상의 효과적인 처리를 위한 블록 버퍼 기반의 저 복잡도 무손실 프레임 메모리 (frame memory) 압축 방법을 제안한다. 제안하는 압축 방법은 공간적 상관도를 제거하기 위하여 블록단위 MHT (modified Hadamard transform)를 사용하고, 엔트로피 부호화를 위하여 AGR (adaptive Golomb-Rice) 부호화 기법을 적용하여 저 복잡도 무손실 압축 및 효과적인 하드웨어 구현을 달성한다. MHT는 가산기와 1비트 오른쪽 시프트(1-bit right shift) 연산만으로 구성되어 있고, AGR은 별도의 메모리 공간 및 메모리 접근 동작(memory access operation)을 포함하지 않아 저 복잡도 구현이 용이하다. 기존의 저 복잡도 무손실 압축 방법과 비교하여 제안한 알고리즘은 압축률 측면에서 우수한 성능을 나타내고, 기존 코덱(codec)의 구조를 크게 수정하지 않으면서 화질의 열화없이 하드웨어 장치에 적용될 수 있음을 다양한 영상에 대한 실험 및 복잡도 분석을 통해 보인다. 또한 제안한 방법은 메모리 접근 동작을 필요로 하지 않아 하드웨어 구현을 위한 비용을 최소화할 수 있어, Full HD급 이상의 고해상도 영상을 효과적으로 처리하는데 유용하다.

**Abstract** This study addresses a low complexity and lossless frame memory compression algorithm based on block-buffer structure for efficient high resolution video processing. Our study utilizes the block-based MHT (modified Hadamard transform) for spatial decorrelation and AGR (adaptive Golomb-Rice) coding as an entropy encoding stage to achieve lossless image compression with low complexity and efficient hardware implementation. The MHT contains only adders and 1-bit shift operators. As a result of AGR not requiring additional memory space and memory access operations, AGR is effective for low complexity development. Comprehensive experiments and computational complexity analysis demonstrate that the proposed algorithm accomplishes superior compression performance relative to existing methods, and can be applied to hardware devices without image quality degradation as well as negligible modification of the existing codec structure. Moreover, the proposed method does not require the memory access operation, and thus it can reduce costs for hardware implementation and can be useful for processing high resolution video over Full HD.

**Keywords :** AGR, Block-based MHT, Frame memory compression, High resolution video, Lossless image compression

### 1. 서론

영상압축 기술은 영상 데이터의 효과적인 전송 및 저

장과 하드웨어 자원의 효율적인 이용을 위한 요구에 따라 발전해왔다. 압축되지 않은 비디오 데이터는 상당한 저장공간 및 전송 대역폭(bandwidth)을 필요로 하는데,

\*Corresponding Author : Jongho Kim (Sunchon National Univ.)

Tel: +82-61-750-3835 email: jhkim@sunchon.ac.kr

Received October 31, 2016

Revised November 9, 2016

Accepted November 10, 2016

Published November 30, 2016

영상압축은 이를 효과적으로 절약할 수 있는 방법이다 [1]. 영상압축 알고리즘은 압축과 복원과정에서 정보의 손실이 전혀 없는 무손실(lossless) 압축과 영상 데이터의 일부를 제외시키되 인간 시각시스템(HVS; human visual system)에 의해 영상품질의 손실이 검출되기 어렵게 하여 압축률을 높이는데 중점을 둔 손실(lossy) 압축의 두 가지 방식으로 구분된다[2]. 최근 LCD (liquid crystal display) 등의 디스플레이 장치와 대용량 비디오 데이터를 원활하게 처리할 수 있는 DSP (digital signal processing) 기술의 발전 및 메모리 비용의 지속적인 감소 등으로 인해 Full HD급(1920×1080) 이상의 고해상도 영상의 활용이 보편화되고 있다. 이러한 영상을 압축하기 위하여 H.264/AVC 및 HEVC (high efficiency video coding) 등의 국제표준이 발표되었는데, 이러한 기법에서는 압축성능을 향상시키기 위하여 더욱 많은 내부 프레임 메모리를 필요로 하고 있다[3-5]. 즉, 고해상도 영상에 대한 처리, 1/4 및 1/8 이상의 부화소 단위와 다중 참조 프레임 움직임 예측/보상 등의 과정에서 많은 프레임 메모리를 요구한다. 따라서 영상압축을 포함한 영상 시스템의 비용을 낮추고 고해상도 영상의 효과적인 활용을 위하여 프레임 메모리의 크기를 줄여야 할 필요성이 지속적으로 제기되고 있다[1].

고해상도 영상의 효과적인 처리 및 디스플레이를 위하여 크게 두 가지 접근법이 제안되고 있는데, 디스플레이 장치에 포함된 프레임 버퍼(frame buffer)를 줄이는 방법과 영상의 압축 및 복원을 위한 코덱(codec)에 포함된 프레임 메모리(frame memory)를 줄이는 방법이 그것이다. 두 경우 모두 전체적인 영상 시스템의 효율을 향상시키기 위한 목적이므로 무손실 압축방식을 고려하되, 저 복잡도의 연산이 중요한 요소로 포함되어야 한다. 디스플레이 장치를 위한 프레임 버퍼를 압축하기 위해서는 장치의 특성을 반영하여 주로 라인(line)단위의 압축방법이 제안된 반면, 코덱 내부의 프레임 메모리를 압축하기 위해서는 많은 비디오 압축 알고리즘이 블록(block) 단위 처리를 수행하는 점을 고려하여 블록단위의 압축방법이 제안되어 왔다[6-11].

저 복잡도를 갖는 무손실 압축에 관한 많은 연구가 수행되어 왔는데, 이들 중 몇 가지는 비디오 코덱을 위한 프레임 메모리 압축과 관련이 있다. Song과 Shimamoto는 H.264/AVC 비디오 복호기의 프레임 메모리를 줄이기 위한 무손실 압축방식을 제안하였는데, DAP

(differential of adjacent pixel)과 Huffman 부호기의 결합을 통해 하드웨어 구현을 쉽게 하였다[9]. Lee *et al.*도 H.264/AVC 복호기를 위한 방법을 제시하였는데, 이는 복호기 자체의 구조를 이용하여 프레임 메모리의 크기를 줄였다[12]. 무손실 영상압축을 위한 국제표준인 JPEG-LS를 고려할 수 있는데, 이는 JPEG 및 JPEG2000과 같은 국제표준에 비해 비교적 저 복잡도를 갖는다 [13]. 그러나 하드웨어 구현 관점에서 많은 곱셈기를 필요로 하고, 압축된 비트스트림이 임의 접근(random access)을 허용하지 않기 때문에 비디오 코덱의 프레임 메모리 감소를 위한 저 복잡도 방법으로 직접 적용하기 어렵다. Lee는 MPEG-2 비디오 복호기의 하드웨어 구조를 고려한 알고리즘을 제안하였는데, 메모리 소비를 줄이기 위하여 영상 품질을 떨어뜨리는 양자화 과정을 도입하였다[14].

본 논문에서는 고해상도 비디오 코덱을 위한 저 복잡도의 무손실 프레임 메모리 압축 및 복원 알고리즘에 초점을 맞춘다. 앞서 언급한 바와 같이, 고해상도 영상을 효율적으로 처리하기 위해서 프레임 메모리의 감소와 이의 하드웨어 구현을 위한 저 복잡도 조건을 고려하도록 한다. 더욱이 압축 코덱 내부의 프레임 메모리에서 영상 품질에 변화가 생기면 전체 영상 시스템의 성능에 영향을 미치기 때문에 손실압축 방법은 피하도록 한다. 제안하는 방법은 입력영상을 일정 크기의 블록으로 나누고, 각 블록에 대해 변형 하다마드 변환(MHT; modified Hadamard transform)과 적응적 Golomb-Rice (AGR; adaptive GR) 부호기를 적용한다. 다양한 실험을 통해 제안하는 알고리즘이 기존 방법[9, 14]과 비교하여 향상된 압축성능을 보이면서 계산 복잡도가 낮게 유지됨을 보이도록 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 프레임 메모리를 압축하기 위하여 제안하는 저 복잡도의 무손실 압축 알고리즘의 구조를 자세히 기술한다. 3장에서는 다양한 영상에 대하여 제안한 방법의 성능평가 결과를 보이고, 결론 및 향후 과제를 4장에서 제시한다.

## 2. 제안하는 압축 알고리즘

### 2.1 제안하는 알고리즘의 구조

고해상도 영상의 효과적인 처리를 위한 저 복잡도 무손실 프레임 메모리 압축 알고리즘의 전체적인 흐름은 Fig. 1과 같다.

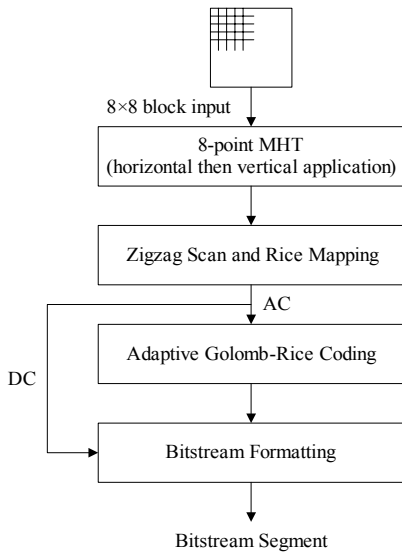


Fig. 1. Overall flow diagram of the proposed algorithm

제안하는 알고리즘은 기존 압축 코덱의 방식을 고려하여 8×8 크기의 블록(block)을 입력으로 하고, 해당 블록에 대한 압축된 비트스트림 세그먼트(bit-stream segment)를 최종 출력으로 한다. 각 블록에 대해 8-point MHT를 가로 및 세로방향으로 적용하여 하나의 DC와 63개의 AC 성분을 생성한다. 이후, 지그재그(zigzag) 스캔을 거쳐 DC 계수는 고정길이 부호(FLC; fixed-length code)로 부호화되고, Rice 매핑(mapping) 과정을 거쳐 재표현된 AC 계수들은 AGR 부호기를 통해 가변길이 부호(VLC; variable length code)로 부호화된다. 이후 압축된 비트스트림 세그먼트를 일정한 규칙에 의해 구성하는 포매팅(formatting) 과정이 진행된다.

## 2.2 변형 하다마드 변환(MHT)

제안하는 방법에서는 영상의 공간적 상관도를 제거하기 위하여 Yoo *et al.*의 MHT를 2차원 적용하도록 한다 [15]. MHT는 가산기와 1비트 오른쪽 시프트(1-bit right shift) 연산만으로 실행할 수 있어, 하드웨어 구현에 매우 유리하다. Fig. 2는 8-point MHT의 신호 흐름도를 나타내는데, 점선은 부호 반전을 의미하고, SR (shift right)은 1비트 오른쪽 시프트 연산을 의미한다.

MHT 수행 후 얻어진 계수에 대해 AGR 부호화를 적용하기 위해서는 2차원 신호를 1차원 형태로 정렬해야 할 필요가 있다. 이를 위하여 본 논문에서는 JPEG 및

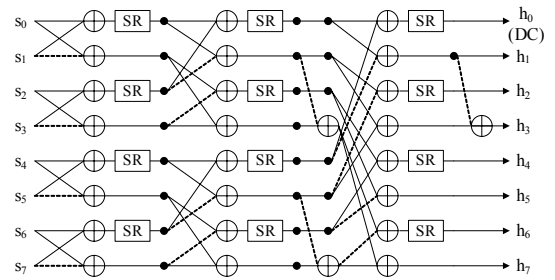


Fig. 2. Signal flow of 8-point MHT

MPEG 표준에서 사용되고 그 효과가 검증된 지그재그(zigzag) 스캔 방식을 사용한다. 또한 AGR 부호기는 음이 아닌 수를 입력으로 하는 반면, 변환계수는 음의 값을 가질 수 있기 때문에 변환계수를 음이 아닌 수로 변환해야 한다. 이는 보통 식 (1)의 Rice 매핑에 의해 수행된다.

$$p = \begin{cases} 2n, & n \geq 0 \\ -2n - 1, & n < 0 \end{cases} \quad (1)$$

이때,  $n$ 은 변환계수를 나타내고,  $p$ 는 AGR 부호기의 입력값을 의미한다. 또한,  $p$ 의 LSB (least significant bit)가  $n$ 의 부호를 나타내고,  $n$ 의 크기는  $p$ 를 1비트 오른쪽 시프트 연산하여 간단히 구할 수 있기 때문에  $p$ 에서  $n$ 으로의 역매핑은 매우 간단하다.

## 2.3 적응적 Golomb-Rice 부호화(AGR)

지그재그 스캔 및 Rice 매핑을 거쳐 1차원 정렬된 MHT 계수는 AGR 부호기에 의해 엔트로피 부호화(entropy coding) 과정이 수행된다. AGR 부호화는 GR 부호화에 기반한 적응적 부호화 기법으로, 동적 Golomb-Rice 부호화라고도 한다.

GR 부호화는 양면 기하 분포(two-sided geometric distribution)를 갖는 정수에 대해 최적 Huffman 부호화를 근사화한다고 알려져 있다[16]. 또한 Huffman 부호화에 비해 복잡도가 낮고, 부호화 테이블 저장을 위한 ROM (read-only memory)을 필요로 하지 않아 하드웨어 시스템에서 구현이 용이하다. GR 부호화는 비트 시프트 연산을 이용하여 2에 의한 곱셈과 나눗셈을 수행하거나, 비트 마스크(mask) 연산을 통해 나머지(remainder)를 매우 빠르게 구할 수 있다. 더욱이 GR 부호화는 손쉽게 적응적 방식으로 이용될 수 있는 반면, 적응적 Huffman 부호화는 많은 계산량을 필요로 한다. 이와 같은 다양한 장점으로 인해 GR 부호화는 JPEG-LS

및 H.264/AVC 등과 같은 무손실 및 손실 영상압축 방법에서 저 복잡도 및 고효율 엔트로피 부호화를 위해 널리 사용된다[17].

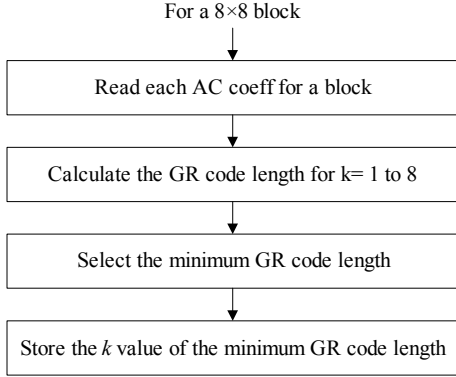


Fig. 3. Flow diagram of AGR coding for a block

각 입력블록에 대한 AGR 부호화의 흐름을 Fig. 3에 나타내었다. 최대의 압축성능을 얻기 위해 GR 부호화 방법을 적응적으로 적용하는데, 이로 인해 영상의 각 블록은 다른  $k$ 값을 가지게 된다. 이때 최적  $k$  파라미터는 모든 AC 계수에 대해 GR 부호화된 비트의 길이를 더하여 구할 수 있는데, 주어진  $p$ 에 대한 GR 부호의 길이는 식 (2)에 의해 계산한다.

$$l_{GR} = k + 1 + \frac{p}{2^k} \quad (2)$$

이후, GR 부호길이의 합을 최소로 하는  $k$ 를 최적값으로 결정한다. 식 (2)에서 작은  $p$ 에 대해서는  $k$ 가 작을수록 GR 부호길이가 짧아지고, 상대적으로 큰  $p$ 에 대해서는  $k$ 가 커질수록 GR 부호길이가 짧아짐을 알 수 있다. 이로부터  $k$ 는 입력되는  $p$ 의 크기에 따라 결정되는 적응적 특성을 지님을 알 수 있다.

#### 2.4 비트스트림 포매팅(formatting)

최종적으로 각 블록에 대한 부호화 결과 성분들을 일정한 규칙에 의해 배치하여 Fig. 4와 같은 비트스트림 세그먼트를 구성하는 포매팅(formatting) 과정이 수행된다. 먼저 입력영상의 각 블록에 대한 최적  $k$ 는 3비트의 FLC로 부호화되어 저장된다. 그 다음, MHT 과정에 의한 DC와 AC 성분들이 각각 8비트의 FLC와 AGR 부호로 저장된다. 이 과정은 나머지 블록에 대해 반복적으로 적용된다.

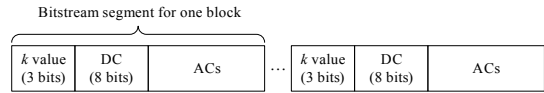


Fig. 4. Bitstream alignment format for each block

### 3. 실험 및 결과

제안하는 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 기존의 저 복잡도 무손실 압축방법과 비교결과를 제시하였는데, DAP를 Huffman 부호화한 Song *et al.*의 방법[9]과 MHT 계수를 GR 부호화한 Lee의 방법[14]과 비교하였다. 다만, Lee의 방법은 손실부호화 방식이기 때문에 본 논문에서는 양자화 과정을 생략하여 무손실 방식으로 동작하도록 수정하여 비교실험을 진행하였다. 성능평가는 압축성능에 대한 비교뿐만 아니라 계산 복잡도 및 메모리 요구량 분석 결과에 대한 비교를 수행하였다. Table 1은 제안한 방법을 포함한 각 알고리즘의 압축성능 비교 결과를 나타낸 것이다.

Table 1. Comparison of compression ratio

Images	Song	Lee	Proposed
Lena	30.3	31.1	37.7
Baboon	17.7	17.2	23.1
Barbara	26.8	28.9	29.2
Airplane	35.9	33.3	40.8
Peppers	32.6	27.2	36.4
Man	26.4	25.3	30.2
Elaine	28.8	29.1	36.1
Zelda	39.0	40.3	42.4
<b>Average</b>	<b>29.7</b>	<b>29.1</b>	<b>34.5</b>

제안하는 저 복잡도 무손실 영상압축 알고리즘의 충분한 실험결과를 얻기 위하여 Table 1의 첫 번째 열(column)에 나열된 바와 같은 8개의 512×512 크기의 테스트 영상을 사용하였다. 각 알고리즘의 압축성능을 측정하기 위하여 평균 압축률을 계산하였는데, 이는 식 (3)과 같이 정의한다.

$$R_C = \left(1 - \frac{\text{compressed file size}}{\text{original file size}}\right) \times 100(\%) \quad (3)$$

이때,  $R_C$ 은 압축률(compression ratio)을 의미하고, byte 단위로 측정된 원 영상과 압축된 영상에 대한 파일 크기를 사용한다.

Table 1의 결과에서 보는 바와 같이, 부호화 효율 관점에서 제안한 방법이 기존 방법에 비해 우수함을 알 수 있는데, Song *et al.*의 방법과 비교하여 평균 4.8%, Lee의 방법에 비해서는 평균 5.4%의 압축률 향상이 있는 것을 확인할 수 있다.

**Table 2.** Comparison of computational complexity and memory size requirement analysis

Method	Module	Computation Operations per Pixel	Memory Requirement
Song	DAP	1	8×8 block buffer
	Huffman	Memory Access Operation	ROM required
Lee	MHT	6	1 line buffer
	GR	N/A	N/A
Proposed	MHT	6	8×8 block buffer
	AGR	6	N/A

Table 2는 기존 방법과 제안한 방법의 계산 복잡도와 메모리 요구량 분석 결과를 나타낸 것이다. Table 2에서 알 수 있는 바와 같이, 제안한 알고리즘에 의한 계산량이 기존 알고리즘과 비교할 때 유사하거나 다소 증가함을 알 수 있다. 그러나 Song *et al.*의 방법은 제안한 방법에 비해 추가적인 메모리를 필요로 하는데, 이는 Huffman 부호화를 위한 ROM이 사용되기 때문이다. 보통 SoC (System on a Chip) 구현 및 임베디드(embedded) 시스템에서는 ROM의 사용을 가급적 피하는 것이 좋다. 연산을 위한 계산량을 Table 2와 같이 분석했지만, 실제 각 동작을 수행하는데 필요한 정확한 시간은 하드웨어의 구성 및 성능에 따라 달라질 수 있다. 또한 Song *et al.*의 방법에서 엔트로피 부호화 과정이 진행될 때 필요한 메모리 접근동작(memory access operation)은 설계 및 구현을 복잡하게 하는 요인이 된다.

메모리양을 많이 필요로 할수록 알고리즘의 비용 또한 증가하기 때문에 기존 및 제안한 알고리즘의 전체적인 계산비용은 필요로 하는 메모리양에 따라 달라진다. 따라서 Song *et al.*의 방법이 제안한 알고리즘과 비교해서 연산량은 작지만, 많은 메모리를 필요로 하기 때문에 전체적인 계산비용은 더욱 많이 든다. 제안한 알고리즘은 단지 덧셈(및 뺄셈)과 시프트 연산만을 필요로 하는데, 이는 하드웨어에서 간단하게 구현될 수 있다. Lee의 방법과 비교하면, 제안한 알고리즘이 픽셀당 6번의 추가 연산을 필요로 하지만 이는 전체적인 계산비용에 큰 영

향을 미치지 않는다. 또한 압축률이 있어 평균 5.4% 우수한 결과를 고려할 때, 하드웨어로 간단하게 구현될 수 있는 연산이 추가된 점은 충분히 수용 가능하다.

## 4. 결론

본 논문에서는 고해상도 영상의 프레임 메모리(frame memory) 압축을 위한 블록버퍼 기반의 저 복잡도 무손실 압축방법을 제안하였다. 제안하는 압축방법은 블록단위 MHT (modified Hadamard transform)와 AGR (adaptive Golomb-Rice) 부호화를 이용하여 저 복잡도 및 효과적인 하드웨어 구현이 달성될 수 있도록 하였다. 기존의 저 복잡도 무손실 압축방법과 비교하여 제안한 방법은 압축률 측면에서 우수한 성능을 보였고, 기존 코덱의 구조를 크게 수정하지 않고도 화질의 열화없이 하드웨어 장치에 적용될 수 있음을 다양한 실험과 복잡도 분석을 통해 보였다. 더욱이 제안한 알고리즘은 데이터 저장을 위하여 어떠한 메모리 접근 동작도 필요로 하지 않아 하드웨어 구현을 위한 비용을 최소화할 수 있다. 이러한 결과로부터 Full HD급(1920×1080) 이상의 고해상도 영상을 처리하는 다양한 분야에 제안한 알고리즘이 효과적으로 적용될 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 향후 컬러 프레임 메모리 압축방법 및 다른 저 복잡도 알고리즘을 이용하여 압축성능을 더욱 향상시킬 수 있는 방법에 대한 연구를 진행할 예정이다.

## References

- [1] H.-C. Kuo and Y.-L. Lin, "A hybrid algorithm for effective lossless compression of video display frames," *IEEE Trans. Multimedia*, vol. 14, no. 3, pp. 500-509, Jun. 2002.
- [2] J. Kim, "Orientation-based adaptive prediction for effective lossless image compression," *J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.*, vol. 19, no. 10, pp. 2409-2416, Oct. 2015.  
DOI: <https://doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.10.2409>
- [3] H. Schwarz, D. Marpe, and T. Wiegand, "Overview of the scalable video coding extension of the H.264/AVC standard," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 17, no. 9, pp. 1103-1120, Sep. 2007.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TCSVT.2007.905532>
- [4] M. Tikekar, C.-T. Huang, C. Juvekar, V. Sze, and A. P. Chandrakasan, "A 249-Mpixel/s HEVC video-decoder chip for 4K ultra-HD applications," *IEEE J. Solid-State*

- Circuits*, vol. 49, no. 1, pp. 61-72, Jan. 2014.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/JSSC.2013.2284362>
- [5] G. J. Sullivan, J. Ohm, W.-J. Han, and T. Wiegand, "Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) standard," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 22, no. 12, pp. 1649-1668, Dec. 2012.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TCSVT.2012.2221191>
- [6] J. Lei, X. Zou, Z. Wu, and W. Fan, "Research of an image map encoding algorithm on frame buffer," in *Proc. Int. Conf. ASIC*, Guilin, China, pp. 894-897, 2007.
- [7] T. L. B. Yng, B.-G. Lee, and H. Yoo, "A low complexity and lossless frame memory compression for display devices," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 54, no. 3, pp. 1453-1458, Aug. 2008.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TCE.2008.4637640>
- [8] S. Dikbas and F. Zhai, "Lossless image compression using adjustable fractional line-buffer," *Signal Processing: Image Commun.*, vol. 25, no. 5, pp. 345-351, Jun. 2010.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.image.2010.02.004>
- [9] T. Song and T. Shimamoto, "Reference frame data compression method for H.264/AVC," *IEICE Electron. Exp.*, vol. 4, no. 3, pp. 121-126, Feb. 2007.  
DOI: <https://doi.org/10.1587/elex.4.121>
- [10] S. H. Lee, M. K. Chung, S. M. Park, and C. M. Kyung, "Lossless frame memory recompression for video codec preserving random accessibility of coding unit," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 55, no. 4, pp. 2105-2113, Nov. 2009.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TCE.2009.5373775>
- [11] J. Kim and C. M. Kyung, "A lossless embedded compression using significant bit truncation for HD video coding," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 20, no. 7, pp. 848-860, Jun. 2010.
- [12] Y. Lee, C.-E. Rhee, and H.-J. Lee, "A new frame recompression algorithm integrated with H.264 video compression," in *Proc. IEEE Int. Symposium on Circuits and Systems*, pp. 1621-1624, May 2007.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/iscas.2007.378829>
- [13] M. J. Weinberger, G. Seroussi, and G. Sapiro, "The LOCO-I lossless image compression algorithm: Principles and standardization into JPEG-LS," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 9, no. 8, pp. 1309-1324, Aug. 2000.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/83.855427>
- [14] T. Y. Lee, "A new frame-recompression algorithm and its hardware design for MPEG-2 video decoders," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 13, no. 6, pp. 529-534, Jun. 2003.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TCSVT.2003.813425>
- [15] H. Yoo, J. M. Jo, and J. C. Jeong, "A hierarchical lossless image compression based on modified Hadamard transform," in *Proc. 10th Workshop on Image Processing and Understanding*, pp. 516-520, 1998.
- [16] N. Merhav, G. Seroussi, and M. J. Weinberger, "Optimal prefix codes for source with two-sided geometric distribution," *IEEE Trans. Information Theory*, vol. 46, no. 1, pp. 121-135, Jan. 2000.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/18.817520>
- [17] X. Lian, Z. Liu, W. Zhou, and Z. Duan, "Lossless frame memory compression using pixel-grain prediction and

dynamic order entropy coding," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 26, no. 1, pp. 223-235, Jan. 2016.

DOI: <https://doi.org/10.1109/TCSVT.2015.2469572>

## 김 종 호(Jongho Kim)

[종신회원]



- 2000년 2월 : 한양대학교 대학원 전자통신공학과 (공학석사)
- 2008년 8월 : 한양대학교 대학원 전자통신공학과 (공학박사)
- 2008년 9월 ~ 2009년 2월 : 삼성 전자 책임연구원
- 2009년 3월 ~ 현재 : 순천대학교 멀티미디어공학과 교수

<관심분야>

영상압축 및 통신, 컴퓨터비전, 영상처리, 디지털 신호처리