

일반논문-10-15-5-02

적응적 율-왜곡 최적 다중 루프 필터 기법

홍순기^{a)}, 최윤식^{a)}, 김용구^{b)†}

Adaptive Rate-Distortion Optimized Multiple Loop Filtering Algorithm

Soongi Hong^{a)}, Yoonsik Choe^{a)}, and Yong-Goo Kim^{b)†}

요 약

고해상도 비디오에 대한 압축 성능 향상을 위해 ITU-T VCEG에서는 H.264/AVC 표준을 근간으로 다양한 압축 성능 개선 기법들을 추가해 왔는데, 그중 ALF 기법은 양자화에 의해 발생한 오류를 제거할 수 있는 필터링 방법을 제공함으로써, 고해상도 영상에서 평균 9%의 매우 높은 성능 개선 능력을 보이는 핵심 기술이다. 하지만 기존의 ALF는 한 프레임 내에서 하나의 Wiener 필터만을 사용하므로, 다수의 서로 다른 통계적 특성을 가진 영역이 존재하는 경우에는 능률적인 오류 복원 성능을 제공하기 어려운 한계를 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 한 복호 프레임에 존재하는 다양한 영역 별 통계적 특성을 반영하여 보다 유연한 율-왜곡 관점에서의 ALF 선택이 가능할 수 있도록, 적응적 율-왜곡 최적 다중 루프 필터 기법을 제안한다. 제안 알고리즘을 통해 다양한 영상에 대하여 기존 알고리즘의 성능을 안정적으로 개선할 수 있었으며, 영상에 뚜렷한 특성 차이를 지닌 복수의 오브젝트가 존재할 경우에는 더욱 높은 비트율 감소 이득을 얻을 수 있었다.

Abstract

At 37th VCEG meeting in Jan. 2009, Toshiba proposed Quadtree-based Adaptive Loop Filter (QALF). The basic concept of QALF is to apply Wiener filter to decoded image after the conventional deblocking filter and to represent the filter on/off flag data for each basic filtering unit in a more efficient way of quadtree structure. QALF could enhance the compression performance of around more than 9%, but the structure of one filter for a decoded frame leaves room for further improvement in the sense that optimal filter for one region of a frame could quite different from the optimal filter for other parts of a picture. This paper proposes multiple adaptive loop filters for better utilization of local characteristics of decoded frame to optimize the region-based Wiener filters. Additional filters, proposed in this paper, cover separate spatial area of each decoded frame according to the performance of previously designed filter(s) to provide the flexibility of rate-distortion based selection of the number of filters.

Keyword: adaptive loop filter, multiple filter control, quadtree partition, optimal restoration filter

1. 서론

과거 십 여 년에 걸쳐 비약적으로 발전한 디지털 신호처리, 저장매체, 통신 등의 기술로 말미암아 다양한 고화질 멀티미디어 응용들이 등장하였으며, TV, 컴퓨터 및 다양한 포터블 장치에서의 고해상도 비디오 사용이 일반화되었다. 90년대 초반 CIF (Common Interchange Format : 352x288)

a) 연세대학교 전기전자공학부

School of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University

b) 한독미디어대학원대학교 뉴미디어학부

Newmedia Dept., KGIT (Korean German Institute of Technology)

† 교신저자 : 김용구(ygkim@kgit.ac.kr)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2010-C1090-1001-000)

· 접수일(2010년4월14일), 수정일(2010년9월1일), 게재확정일(2010년9월6일)

및 SIF (Simple Interchange Format : 352x240)급 해상도로 시작된 디지털 멀티미디어 응용은 어느덧 HD (High Definition : 1920x1080)급 고해상도 지원을 넘어 초고해상도 (UHD - Ultra High Definition : 7680x4320)급에 대한 서비스 요구가 등장할 만큼 발전하였다. 이와 같은 고해상도 멀티미디어의 사용은 이용자가 느끼는 실감성을 증대시키고 보다 높은 몰입감을 제공함으로써 다양한 관련 서비스 및 산업의 활성화를 촉진하고 있는데, 이러한 고해상도 멀티미디어 응용에 있어 가장 필수적인 처리 기술 중 하나로 비디오 압축 부호화를 들 수 있다.

비디오 압축 부호화 기술은 90년대 초 ITU-T의 H.261 및 ISO/IEC의 MPEG-1이 표준화 된 이래로 꾸준히 높은 성능 개선을 이루어 왔다. 특히, 2003년 표준화된 비디오 압축 기술인 H.264/AVC^[1]는 하이브리드 비디오 압축에 대한 기존 연구 결과를 집대성함으로써 다양한 디지털 멀티미디어 응용 분야에서 매우 높은 비디오 압축 성능을 제공하고 있다. 하지만, HD급 또는 그 이상의 초고해상도 (Ultra High Definition Video : UHD) 비디오 응용에 대해서는 H.264/AVC의 압축 성능에 큰 개선의 여지가 남아있는 것으로 알려져 있고, 초당 24G 비트에 달하는 UHD 급 비디오를 현재 일반화 된 저장 및 방송/통신 매체에 활용하기 위해서는 H.264/AVC 기술의 성능 개선 연구가 매우 중요한 필수적 요소라 할 수 있다.

이러한 고해상도 비디오에 대한 압축 성능 향상을 위해 ITU-T VCEG (Video Coding Expert Group)에서는 H.264/AVC 표준을 근간으로 다양한 압축 성능 개선 기법들을 추가해 왔는데, 화면 내 예측 방향에 따른 변환 부호화 (Mode Dependent Directional Transform : MDDT)^{[2][3]}, 경쟁기반 움직임 벡터 부호화 (Motion Vector Competition)^[4], 적응적 루프필터링 (Adaptive Loop Filter : ALF)^[5] 등이 그 대표적 예이다. MDDT 기법은 화면 내 예측 오차의 부호화 시 예측 모드에 따라 적응적인 변환 기저를 사용하여 변환의 에너지 집중 효율을 높일 수 있는 기술로써 720p 고해상도 실험영상에 대해 평균 2%의 압축 효율 향상을 제공한 다. MVC 기술의 경우에는 움직임벡터 부호화에 사용되는 예측 벡터를 2개 이상의 후보로 구성하여 이 중 압축 부호화에 가장 효율적인 예측 후보를 선택함으로써 고해상도

영상에서 대략 평균 3%의 성능 개선을 이루었다. 반면, ALF 기법은, 비교적 최근 제안된 기술로써, 양자화에 의해 발생한 오류를 제거할 수 있는 필터링 방법을 제공함으로써, 단일 기술로는 720p 이상의 고해상도 영상에서 평균 9%의 매우 높은 성능 개선 능력을 보여주는 핵심 기술로 알려져 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 적응적 루프필터링 기술의 성능 향상에 집중하도록 한다.

적응적 루프 필터링 기법은 복호가 완료된 부호기의 복원 영상을 입력으로 원본 영상의 출력을 목적으로 한 Wiener 필터를 설계/적용함으로써 양자화에 의해 발생된 부호화 오류의 전파를 억제하고, 이를 통한 압축 효율 증대를 꾀하는 방법이다. 이러한 양자화 오류 제거를 위한 Wiener 필터 생성 및 적용을 위해 "블록기반 적응적 루프 필터 기법 (Block-based Adaptive Loop Filter : BALF)"^[6]이 제안되었는데, 이 방식에서는 매 복호 프레임마다 1개의 Wiener 필터를 생성하고, 필터링을 수행할 기본 처리 단위 (Adaptive Loop Filtering Block : ALFB) 마다 적응적으로 필터 적용 여부를 선택할 수 있도록 함으로써, 720p 이상의 고해상도 비디오 압축에 있어 H.264/AVC 보다 평균 8.25% 이상의 높은 부호화 효율 향상을 얻을 수 있었다. 하지만, 필터링을 수행할 기본 처리 단위 마다 필터 적용/비적용 여부를 결정하기 위해 많은 양의 부가정보가 발생한다는 문제를 가지고 있다. 이와 같은 많은 양의 필터 적용/비적용 부가정보를 효율적으로 표현함으로써 부호기에 윌-웨곡 관점에서의 최적 균형점을 제공하기 위해, 쿼드트리 기반 적응적 루프 필터 기법 (Quadtree-based Adaptive Loop Filter : QALF)^{[7][8]}이 제안되었다. QALF는 여러 개의 필터링 수행 기본 블록을 쿼드트리 데이터 구조로 병합하는 경우, 감소하는 필터의 오류 복원 성능과 절약되는 필터 적용/비적용 부가정보량을 비교하여, 쿼드트리 구조로 합칠(merge) 것인지, 나눌(split) 것인지를 윌-웨곡 측면에서 비교하여 선택하는 방법으로 BALF의 부호화 효율을 추가로 0.5% 개선하였다. 이 방식은 복호 프레임마다 생성되는 하나의 필터에 대한 필터 적용/비적용 선택의 문제에 대해 오류 복원 성능과 부가정보 발생량을 종합적으로 고려하여 윌-웨곡 측면에서 최적의 해답을 제공할 수 있었지만, 한 프레임 내에 다수의 서로 다른 통계적 특성을 가진 영역이

존재하는 경우에는 하나의 Wiener 필터만으로 능률적인 오류 복원 성능을 제공하기 어렵다는 한계가 존재한다.

본 논문에서는, 이와 같은 한계점을 극복하고, 한 복호 프레임에 존재하는 다양한 영역 별 통계적 특성을 반영하여 보다 유연한 울-왜곡 관점에서의 ALF 선택이 가능할 수 있도록, 다중 루프 필터 기법을 제안한다. 제안 알고리즘은 매 복호 프레임마다 Wiener 필터 적용을 위한 통계적 특성이 다른 영역을 미리 정의된 측도를 통해 복수의 집합으로 분류하고, 각 집합을 위한 Wiener 필터를 적응적으로 생성함으로써, 기존 방식에 비해 영상의 부호화 에러 복원 성능을 높일 수 있도록 하였다. 또한 적용할 Wiener 필터의 수가 늘어날수록 부호화 오류 복원 증가량은 둔화되고 필터의 적용/비적용을 인덱싱 할 부가정보 증가량은 급증하는 현상을 고려하여, 매 복호 프레임마다 적응적으로 울-왜곡 관점에서 최적의 Wiener 필터 수를 결정할 수 있도록 함으로써, 보다 높은 울-왜곡 유연성을 부호기에 제공할 수 있도록 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 기존의 적응적 루프 필터링 알고리즘을 소개하고, 이를 바탕으로 제

안 알고리즘이 해결하고자 하는 문제를 명확히 설명할 것이다. 이 후 3장에서는 울-왜곡 관점에서 최적의 복수 Wiener 필터를 생성하고 적용할 수 있는 다중 루프 필터 방법을 소개한다. 같은 장에서 제안 알고리즘의 다중 필터 생성을 위한 영역 분류 방법과 최적의 필터 수 결정을 위한 제안 방식을 자세히 설명한다. 제 4장에서는 제안 알고리즘의 성능을 보여주기 위해, 다양한 고해상도 테스트 영상에 대한 컴퓨터 모의실험을 통해, H.264/AVC와 최신의 적응적 루프 필터링 기법인 QALF의 성능을 제안 방식의 성능과 비교, 분석하고, 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 기존 알고리즘과 제안 알고리즘 비교

제안 알고리즘을 깊게 살펴보기 전에, 앞서 소개된 기존 알고리즘과 본 논문에서 제안하는 알고리즘의 핵심 개념을 도식화하여 살펴보려 한다. 영상에서 확연하게 다른 통계적 특성에 의하여 그림 1 (a)과 같이 Wiener 필터에 의해

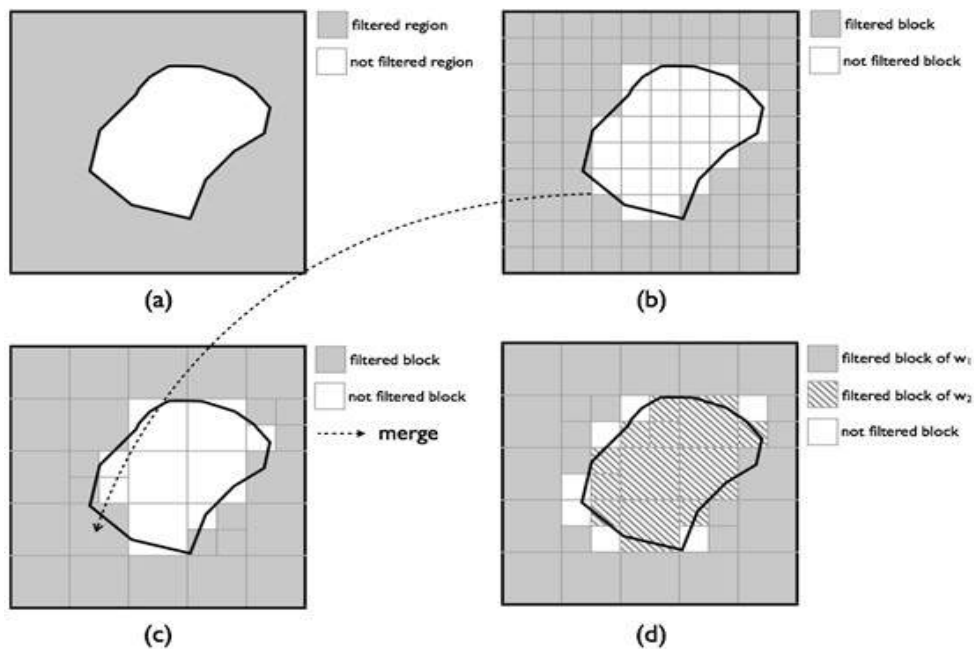


그림 1. 기존 알고리즘과 제안 알고리즘 비교 (a) 이상적인 필터 적용/비적용 영역, (b) BALF, (c) QALF, (d) 제안하는 적응적 다중 필터 사용 알고리즘
 Fig. 1. Comparisons of the previous and the proposed algorithms (a) Ideal filter On/Off region, (b) BALF, (c) QALF, (d) Proposed adaptive multiple loop filtering algorithm

부호화 오류가 복원되는 필터 적용 영역과 필터에 의해 필터링 오류가 발생하는 필터 비적용 영역이 존재한다고 가정하자. 이러한 경우 영상에 존재하는 필터 비적용 영역을 제외한 필터 적용 영역만을 결집하여 필터를 재생성한 후 해당 영역에 필터링을 수행하는 방법으로 보다 높은 압축 효율을 얻을 수 있다. 따라서 BALF는 그림 2 (b)와 같이 영상을 $N \times N$ 크기의 블록 (ALFB)으로 나눈 후 각각의 ALFB에 대하여 수식 1을 통해 결정된 필터 적용/비적용 부가정보를 전송하여 효과적으로 필터 비적용 영역을 제외하는 방법을 제안하였다.

$$f_n = \begin{cases} 1, & SSD_{net} > 0 \\ 0, & SSD_{net} \leq 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$SSD_{net} = \sum_{x,y \in B_n} \{D_{x,y} - I_{x,y}\}^2 - \sum_{x,y \in B_n} \{D'_{x,y} - I_{x,y}\}^2$$

수식 1에서 $D'_{x,y}$ 는 필터링 된 영상, $D_{x,y}$ 는 필터링 되지 않은 영상, $I_{x,y}$ 는 원본 영상, 그리고 f_n 는 n 번째 ALFB(B_n)의 필터 적용/비적용 부가정보를 나타낸다. 또한 SSD_{net} 은 ALFB에 대한 적용 필터의 오류 복원 능력을 나타내며, SSD_{net} 이 양수일 경우는 필터링에 의해 부호화 오류 복원 효과를 얻음을 뜻하고 음수일 경우에는 필터링에 의해 필터링 오류가 발생함을 뜻한다. 따라서 수식 1은 필터링에 의해 부호화 오류가 감소하는 블록은 필터링 적용을 결정하고 반대의 경우에는 필터링 비적용을 결정하는 역할을 한다. BALF는 위의 방법을 통해 오류 복원 성능 측면에서 큰 이득을 얻을 수 있었지만 많은 양의 필터 적용/비적용 부가정보가 발생하는 문제점이 존재한다.

따라서 QALF는 여러 개의 ALF 블록을 모아 하나의 부모 (Parent) 블록을 구성한 후 필터 적용/비적용 부가정보를 쿼드트리 데이터 구조로 효율적으로 표현하는 방법을 제안하였다. 효율적인 쿼드트리 데이터 구조를 구성하기 위하여 QALF는 bottom-up 방식의 윌-왜곡 최적화 방법을 적용하였다. 만약 l 번째 계층 블록 B_l 의 하위 계층 블록인 4개 $B_{l+1,m}, m=0, \dots, 3$ 의 최적 쿼드트리 구조를 알고 있다고 가정하면, 4개의 하위 계층 블록 $B_{l+1,m}$ 을 하나의 상위 블록 B_l 로 합칠 것인지 아닌지를 아래의 수식 2를 통해 윌-왜

곡 최적화 관점에서 선택할 수 있다.

$$B_l = \begin{cases} merge, & \Delta D_l < \lambda \Delta R_l \\ split, & \Delta D_l \geq \lambda \Delta R_l \end{cases} \quad (2)$$

수식 2에서 ΔD_l 는 4 개의 하위 블록을 하나의 상위 블록으로 합쳤을 때 증가하는 오류량을 나타내며 ΔR_l 는 하나의 상위 블록으로 합치면서 절약되는 필터 적용/비적용 부가정보량을 나타낸다. 마지막으로 상수 λ 는 윌-왜곡 관점에서 최적점을 찾기 위한 라그랑지 승수 (Lagrange multiplier)이다. 이러한 라그랑지 승수는 부호화 과정에서의 비트율 제약에 의해 적응적으로 바뀌게 되는데, QALF에서는 부호화 구조(I, P, B frame structure)와 양자화 변수 (Quantization Parameter : QP)에 의해 적응적으로 변화된다. 따라서 그림 1 (c)에서 볼 수 있는 것과 같이 4 개의 하위 블록 중 3 개의 블록이 필터 적용 블록이고 하나의 블록만이 필터 비적용 블록인 경우에 하나의 상위 블록으로 합쳤을 때 증가하는 오류량보다 필터 적용/비적용 부가정보의 감소량이 크게 되므로 하나의 큰 상위 블록으로 합치게 된다. 이러한 쿼드트리 구조를 이용하여 QALF는 그림 1 (a)에 표시되어 있는 필터 적용/비적용 영역에 대해서 효율적인 윌-왜곡 최적점을 찾을 수 있었다. 앞서 살펴본 일련의 적응적 루프 필터 기법들은 하나의 필터를 사용하였을 경우에 필터 비적용 영역을 효율적으로 제거하기 위한 연구에 집중되어 왔다. 하지만 필터 비적용 영역은 필터 적용 영역과의 확연한 통계적 특성 차이에 의해 필터링을 수행할 경우 필터링 오류 발생하는 것으로 생각할 수 있으므로, 필터링 비적용 영역을 제거하는 하는 것이 아니라 필터링 비적용 영역의 통계적 특성에 부합하는 새로운 추가 필터를 설계함으로써 필터링 비적용 영역의 부호화 오류를 제거할 수 있다. 즉, 필터 적용 영역과 통계적 특성이 달라 필터링 오류가 발생하는 영역을 필터 비적용 영역으로 제거하는 것이 아니라 통계적 특성에 적합한 새로운 필터를 추가 생성하고 적용함으로써 영상 전체에 대하여 더 높은 부호화 오류 제거 효과를 기대할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 그림 1 (d)와 같이 영상에서 통계적 특성이 다른 ALFB를 복수의 집합으로 분류하고, 각 집

표 1. 제안 알고리즘의 의사코드

Table 1. Pseudo code of the proposed algorithm

```

1. 초기값 : N=0 설정
2. for N = 0 to ∞ do
3. | if N == 0
4. | | 영상의 전체 ALFB를 결집하여 기본 필터 w0를 생성
5. | | 기본 필터 w0를 ALFB에 적용하여 식 1에 따라 필터 적용/비적용 여부를 판단
6. | | 기본 필터 w0를 이용한 경우의 울-왜곡값(J0)계산 및 저장
7. | else
8. | | (N-1) 개의 추가 필터를 사용한 경우의 필터 적용 영역 비율(FR) 산출
9. | | if FR > T
10. | | | 필터 적용 영역의 ALFB에서 SSDnet값이 평균 SSDnet보다 큰 ALFB들 제외
11. | | | 10에서 제외하고 남은 영상의 ALFB들을 결집하여 N 번째 추가 필터 생성
12. | | else
13. | | | 필터 적용 영역의 ALFB들 모두 제외
14. | | | 13에서 제외하고 남은 영상의 ALFB들을 결집하여 N 번째 추가 필터 생성
15. | | end
16. | | N 개의 필터를 사용하여 Modified QALF 수행
17. | | N 개의 필터를 이용한 경우의 울-왜곡값(JN) 계산 및 저장
18. | | if JN > JN-1
19. | | | 26으로 이동
20. | | else
21. | | | N = N + 1
22. | | | 3로 이동
23. | | end
24. | end
25. end
26. (N-1) 개의 필터를 이용하여 필터링을 수행하였을 때의 부호화 상태 저장
    
```

합에 존재하는 ALFB를 위한 새로운 필터를 추가함으로써 영상의 특성에 따라 복수 개의 최적 Wiener 필터를 생성하는 방법을 제안하고자 한다.

III. 적응적 울-왜곡 최적 다중 루프 필터 기법

1. 제안 알고리즘 개요

본 절에서는 복수 개의 최적 복원 필터를 생성하여 적응적 루프 필터링 기법의 효율을 향상시키기 위한 제안 알고리즘의 구조를 그림 2에 따라 설명하려 한다. 그림 2에서 변수 N 은 추가 필터의 개수를 나타내며, J_N 은 N 개의 추가 필터를 사용한 경우의 울-왜곡값을 나타낸다. 그림 2에 나타난 제안 알고리즘의 순서를 요약하면 표 1과 같다.

제안 알고리즘은 크게 복수 개의 필터 생성을 위한 “추가 필터 생성부”(그림 2 (a), (b)), 복수 필터 적용을 위한 “수정된 쿼드-트리 기반 적응적 루프 필터링 수행부 (Modified QALF)”와 영상에 적응적인 최적 필터 개수를 결정하기 위한 울-왜곡 기반 “최적 필터 수 결정부”(그림 2 (c))로 나눌 수 있다.

“추가 필터 생성부”는 프레임에 존재하는 ALFB를 필터링에 의한 오류 복원 정도에 따라 분류하고, 오류 복원 정도가 낮은 집합에 속한 ALFB를 결집하여 추가 필터를 생성하는 역할을 한다. 이때 필터링에 의한 ALFB의 오류 복원 정도를 측정하기 위해 필터링에 의해 감소한 왜곡량을 나타내는 수식 1의 SSD_{net} 을 사용하였다. 본 논문에서 “추가 필터 생성부”는 제안하는 적응적 다중 루프 필터링 방법을 위한 가장 핵심적인 부분으로써, 본 절에 이어서 상세히 살펴보려 한다.

한편 “추가 필터 생성부”에서 제공된 복수의 필터를 사용할 수 있도록 기존의 QALF를 수정한 “Modified QALF”는 복수의 필터 중 SSD_{net} 측면에서 가장 좋은 오류 복원 성능을 보여주는 필터를 선택하고, 선택된 최적 복원 필터 사용에 관한 필터 적용 부가정보와 최적 복원 필터 계수 부가정보를 효율적으로 부호화하는 역할을 한다.

“최적 필터 수 결정부”는 필터 수에 따른 오류 복원량과 부가정보량을 고려하여 수식 3을 통해 필터 수 N 에 대한 율-왜곡값 J_N 을 결정한 후, J_N 이 최소가 되는 필터 수를 결정하여 영상에 적응적인 최적 필터 수를 결정하는 역할

을 한다.

$$J_N = D_N + \lambda R_N \tag{3}$$

수식 3에서 D_N 은 N 개의 필터를 사용하였을 경우의 복원 영상과 원본 영상의 SSD(Sum of Squared Distortion)를 나타내며, R_N 은 N 개의 필터를 사용하였을 경우에 발생하는 필터 적용 정보와 필터 계수 정보를 나타낸다. 마지막으로 상수 λ 는 율-왜곡 관점에서 최적점을 찾기 위한 라그랑지 승수(Lagrange multiplier)이며, 수식 2와 동일한 값을 사용한다.

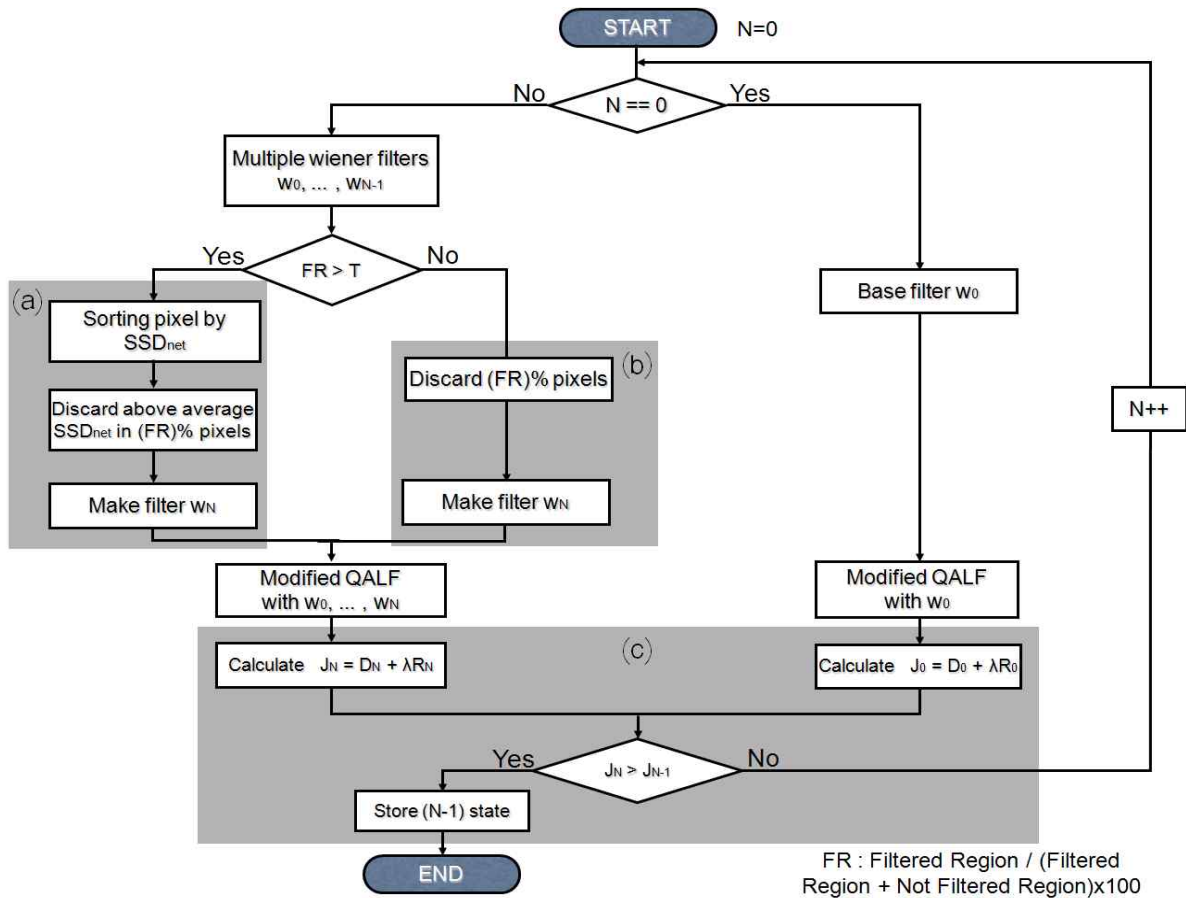


그림 2. 제안 알고리즘의 순서도 (a) 필터링된 영역의 비율이 임계점(T)을 초과할 경우의 추가 필터 생성 방법, (b) 필터링된 영역의 비율이 임계점 이하일 경우의 추가 필터 생성 방법, (c) 영상에 적응적으로 율-왜곡 관점에서 최적 필터 수를 결정하는 방법

Fig. 2. Flow chart of the proposed algorithm (a) Method for generating sub-filter when the portion of filtered region exceeds the threshold T (b) Method for generating sub-filter when the portion of filtered region is less than the threshold T, (c) Method for determining the number of filters based on rate-distortion criteria

2. 추가 필터 생성부

그림 2의 FR은 영상에서 필터에 의해 필터링이 수행되는 영역의 비율을 백분율로 나타낸 값으로 0에 100까지의 실수값을 갖는다. FR은 영상에 대한 전 단계 필터의 영향력을 나타내고 있으므로, 본 논문에서는 FR을 기준으로 추가 필터를 생성하는 방법을 두 가지 경우로 나누어 생각하였다. FR이 작은 경우는 전 단계 필터들이 영상의 국부적인 영역에서만 효과를 거두고 있는 것이므로, 전 단계 필터들이 효과를 거두지 못하는 영역의 통계적 특성에 부합하는 새로운 필터가 설계되어야 할 것이다. 반면, FR이 큰 경우에는 전 단계 필터들이 영상의 전반적인 특성에 부합한다는 것

을 의미하므로, 추가 필터는 전 단계 필터와 전혀 다른 특성을 가지게 설계되는 것이 아니라 전 단계 필터에서 오류 복원량이 미약한 부분을 보정하는 필터 정교화 관점에서 설계되어야 할 것이다. 따라서 추가 필터 생성부는 N 번째 추가 필터를 설계하기 위한 단계에서 전 단계의 $(N-1)$ 개 필터가 프레임에 적용된 비율 (Filtered Ratio : FR)을 미리 설정된 임계값 T 와 비교하여 그림 2의 (a)와 (b) 두 부분으로 나누어 추가 필터를 생성한다. 이때, 임계값 T 는 다양한 특성의 영상에 대한 실험을 통해 70으로 결정되었다.

2.1 FR이 임계값 T 보다 작은 경우

앞서 살펴본 바와 같이 SSD_{net} 은 ALFB에 대한 적용

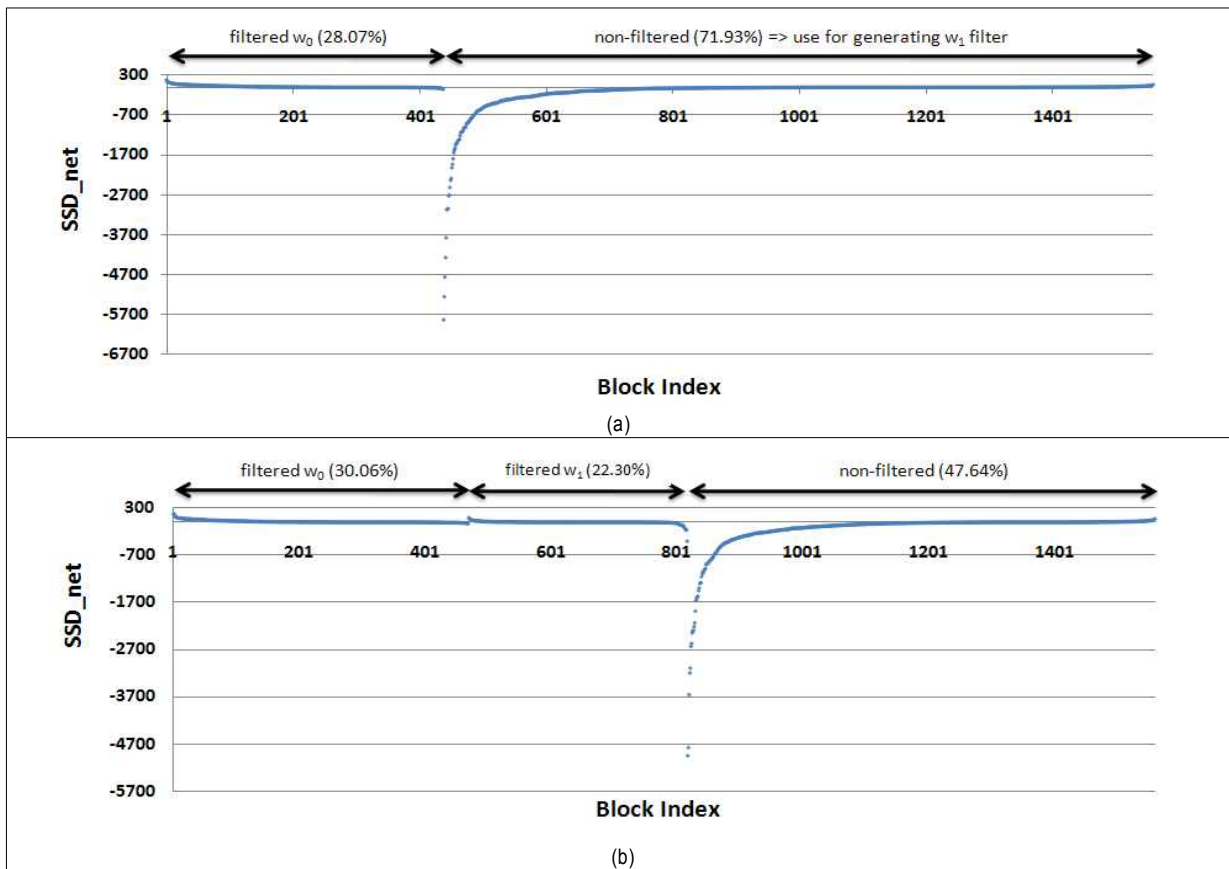


그림 3. FR이 임계값이 T 보다 작은 경우의 추가 필터 생성 방법 예제, 실험 영상 BasketballPass_416x240의 2 번째 프레임 (a) W_0 필터를 사용하여 ALFB를 필터링하였을 경우의 SSDnet 그래프, (b) W_1 필터를 추가하여 ALFB를 필터링하였을 경우의 SSDnet 그래프

Fig. 3. Example of generating sub-filter when FR is less than the threshold T (2nd frame of BasketballPass_416x240 sequence) (a) The graph of SSDnet in case of filtering with W_0 , (b) The graph of SSDnet in case of filtering with W_1

필터의 오류 복원 능력을 나타낸다. 따라서 그림 3 (a)와 같이 필터링이 수행되도록 선택된 ALFB의 경우 SSD_{net} 의 값이 양수이고, 필터링 적용이 안 되는 ALFB의 경우는 그 값이 음수이다. (이때 필터 적용 영역에 포함된 ALFB 중 SSD_{net} 이 음수인 경우가 존재하는 것은 그림 1 (c)와 같이 쿼드트리 표현에 의해 작은 ALFB들이 한 레벨 위의 큰 블록으로 합쳐지기 때문이다.)

FR이 임계값 T 보다 작은 경우에는 그림 3 (a)에서 확인할 수 있듯이 기존 필터를 적용하였을 경우 많은 ALFB에서 필터링 오류가 발생함을 뜻한다. 따라서 새로운 추가 필

터는 기존 필터에 의해 필터링 오류가 발생하는 ALFB에 대해 부호화 오류 복원 효과를 얻을 수 있도록 설계되어야 한다. 위의 조건을 고려하여 본 논문에서는 FR이 임계값 T보다 작은 경우, 그림 3 (a)와 같이 필터링 오류가 발생하여 필터링이 수행되지 않도록 결정된 ALFB들만을 결집하여 추가 필터를 설계하였다. 본 논문에서 제안하는 방법으로 추가 필터를 설계하였을 경우, 그림 3 (b)와 같이 기존 필터를 사용하여 필터링이 수행되던 ALFB의 비율은 유지되면서 필터링 오류가 발생해 필터링이 수행되지 않도록 결정되던 ALFB중 상당 부분이 추가 필터에 의해 오류 복

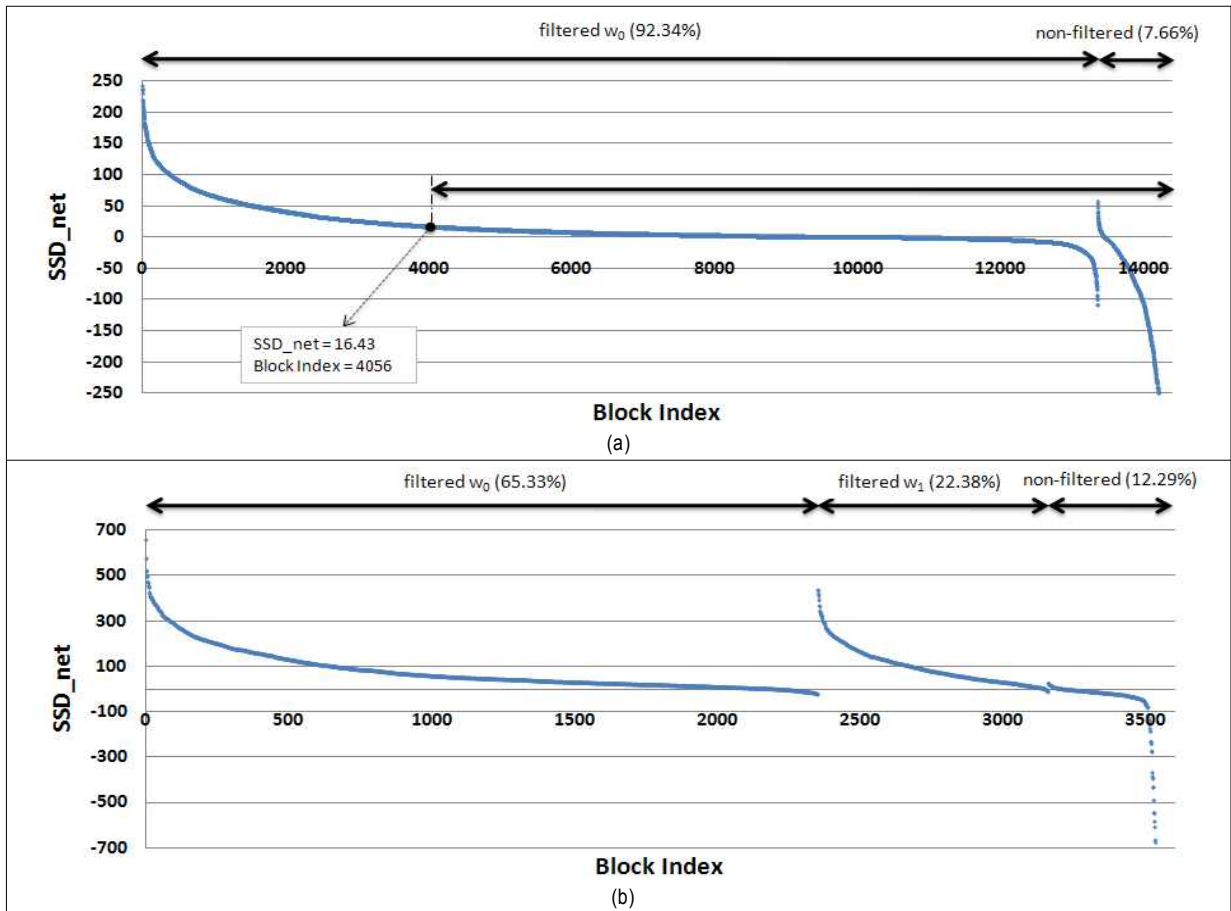


그림 4. FR 임계값이 T 보다 큰 경우의 추가 필터 생성 방법 예제 실험 영상 Raven_720p의 2 번째 프레임 (a) W_0 필터를 사용하여 ALFB를 필터링하였을 경우의 SSDnet 그래프 (b) W_1 필터를 추가하여 ALFB를 필터링하였을 경우의 SSDnet 그래프
 Fig. 4. Example of generating sub-filter when FR exceeds the threshold T (2nd frame of Raven_720p sequence) (a) The graph of SSDnet in case of filtering with W_0 , (b) The graph of SSDnet in case of filtering with W_1

원 효과가 발생하여 추가 필터를 이용하여 필터링이 수행되는 것을 확인할 수 있었다.

2.2 FR이 임계값 T 보다 큰 경우

FR이 임계값 T 보다 큰 경우는 그림 4 (a)에서 확인할 수 있듯이 기존 필터를 적용하였을 때 많은 ALFB에서 부호화 오류 복원 효과를 얻을 수 있는 경우이다. 하지만 필터링이 적용되도록 결정된 많은 ALFB를 결집하여 필터가 생성되었기 때문에 필터의 전역 최적화에 의해 낮은 부호화 오류 복원 효과를 보이는 ALFB가 다수 존재하는 문제가 있다. 따라서 본 논문에서는 필터의 전역 최적화 문제를 해결하기 위하여 기존 필터가 적용되도록 결정된 ALFB 중에서 필터에 의한 부호화 오류 복원 능력이 떨어지는 ALFB와 기존 필터에 의해 필터링 오류가 발생하는 ALFB를 결집하여 추가 필터를 생성하였다. 이때 추가 필터 생성을 위해 결집하는 ALFB의 부호화 오류 복원 능력 기준은 필터가 적용되도록 선택된 ALFB의 평균 SSD_{net} 을 사용하였다. 그림 4 (a)에선 필터가 적용된 ALFB의 평균 SSD_{net} 은 16.43이므로 필터 적용 ALFB 중 SSD_{net} 이 16.43보다 아래인 ALFB와 필터가 비적용된 ALFB를 결집하여 추가 필터를 생성하였다. 본 논문에서 제안하는 방법으로 추가 필터를 설계하였을 경우, 그림 4 (b)에서 새롭게 재생성된 기본 필터 W_0 와 추가 필터 W_1 을 영상에 적용하였을 때 기존 필터의 전역 최적화에 의한 오류 복원 능력 이 증대되어 SSD_{net} 이 크게 증가함을 확인할 수 있다.

3. 수정된 쿼드-트리 기반 적응적 루프 필터링 수행부 (Modified QALF)

3.1 최적 복원 필터 선택 알고리즘

기존 QALF는 수식 1을 이용하여 SSD_{net} 관점에서 ALFB에 대한 복원 필터 적용 유무를 판단한다. 즉, 필터의 오류 복원 능력을 나타내는 SSD_{net} 가 양수인 경우(필터링에 의해 오류 복원 이득을 얻는 경우)에 필터링을 취하도록 선택된다. 하지만 위의 수식 1은 하나의 필터에 대한 필터 적용/비적용만을 판단할 수 있으므로, 본 논문에서는 복

수의 복원 필터 중 최적 오류 복원 능력을 보여주는 필터를 선택할 수 있도록 수식 4를 제안하였다.

수식 4에서 $D_{x,y}^w$ 는 w 번째 복원 필터를 이용하여 필터링 된 영상, $D_{x,y}$ 는 필터링 되지 않은 영상, $I_{x,y}$ 는 원본 영상, 그리고 i_n 는 n 번째 ALFB(B_n)의 필터 선택 부가 정보를 나타낸다. 따라서 수식 4는 모든 복수 필터에 의해 부호화 오류가 증가하는 경우에는 필터링 비적용을 선택($i_n = 0$)하고, 필터링에 의해 부호화 오류가 감소하는 경우에는 가장 큰 오류 감소량을 보이는 필터를 선택 ($i_n = \arg \max_w SSD_{net}^w$)하는 것을 뜻한다.

$$i_n = \begin{cases} \arg \max_w SSD_{net}^w, & \text{if } \max(SSD_{net}^w) > 0 \\ 0, & \text{if } \max(SSD_{net}^w) \leq 0 \end{cases} \quad (4)$$

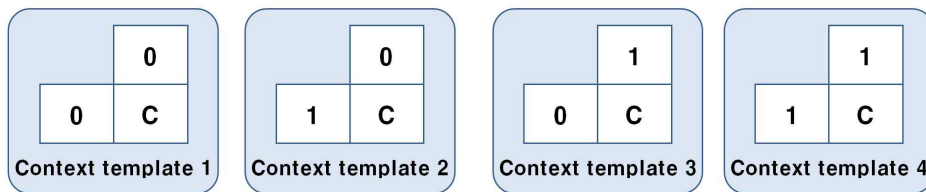
$$SSD_{net}^w = \sum_{x,y \in B_n} \{D_{x,y}^w - I_{x,y}\}^2 - \sum_{x,y \in B_n} \{D_{x,y} - I_{x,y}\}^2, \quad w = 1, \dots, N$$

3.2 최적 복원 필터 적용 부가정보 부호화 알고리즘

그림 1과 같이 기존 BALF에서는 수식 1을 이용하여 필터링을 적용하였을 때 얻을 수 있는 오류 복원 정도에 따라 필터링 적용/비적용을 선택하였고, 필터링 적용/비적용 여부를 모든 ALFB에 1 비트 ALF 플래그로 표현하였다. 따라서 이러한 많은 양의 필터 적용 부가정보를 효율적으로 부호화하기 위해 BALF는 상부 ALFB와 좌측 ALFB의 ALF 플래그 정보를 문맥정보(Context)로 사용하는 이진산술부호기를 사용하였다. 하지만 해상도가 높은 영상에서 필터 적용/비적용 부가정보가 문맥적용 이진산술부호기 (CABAC : Context Adaptive Binary Arithmetic Coder)를 이용해 부호화하더라도 여전히 과도하게 많이 발생하는 문제점이 존재한다. 따라서 QALF는 BALF를 수행한 후 결정된 여러 개의 ALFB를 모아 하나의 큰 부모(Parent) 블록을 구성한 후 쿼드트리 데이터 구조로 표현하는 방법을 제안하였다. 따라서 그림 1 (c)와 같이 QALF의 경우 필터 적용/비적용 부가정보량이 BALF에 비하여 상당부분 감소하였기 때문에 쿼드트리 데이터 구조 단위로 필터 적용/비적용을 나타내

	idx	Symbols	
		1 st bin	2 nd bin
Non	0	0	
W_1	1	1	0
W_2	2	1	1
No. of Context template		4	4

(a)



(b)

그림 5. BALF에서 2개의 복원 필터 사용을 위한 CABAC 재설계 예시 (a) 복원 필터 인덱스 이진화 방법 (b) 필터 인덱스 문맥정보 모델링을 위한 템플릿
 Fig. 5. Example of re-designed CABAC for two wiener filters in BALF (a) Binarization for filter indices (b) Context models for filter indices

는 1 비트 플래그를 고정길이 부호화한다.

본 논문에서는 하나의 ALFB에 대하여 복수 개의 필터 중 오류 복원 능력이 가장 높은 필터를 사용하도록 결정하므로, 기존의 BALF와 같이 필터링 적용/비적용을 나타내는 1 비트의 ALF 플래그만으로 필터 적용 부가정보를 표현하는 것이 불가능하다. 따라서 다중 필터를 사용하는 경우의 필터 적용 부가정보를 효율적으로 부호화하기 위해, 본 논문에서는 필터 적용 부가정보를 부호화하기 위한 BALF의 CABAC 문맥정보를 재설계하였다. 그림 5은 BALF에서 2 개의 복원 필터를 사용할 경우의 필터 적용 부가정보를 부호화하기 위한 CABAC의 문맥정보 재설계 예시를 보여준다. 그림 5 (a)와 같이 필터 인덱스의 이진화 심볼에서 첫 번째 bin은 필터 적용/비적용 유무를 구별하여 문맥정보 모델링을 수행하였고, 두 번째 bin은 필터를 적용이 결정되었을 경우 기본 필터와 추가 필터의 적용 유무를 구별하여 문맥정보 모델링을 수행하였다. 첫 번째와 두 번째 bin의 문맥정보 템플릿(context template)은 그림 5 (b)와 같이 현재 ALFB의 상측, 좌측 ALFB를 이용한 4 가지 문맥정보 템플릿을 사용하였다.

한편 BALF를 수행한 후 결정된 여러 개의 ALFB를 모아 쿼드트리 데이터 구조로 표현하는 방법인 QALF의 경우 앞

서 언급한 것과 같이 필터 적용 부가정보량이 BALF에 비해 크게 감소하였으므로 필터 적용/비적용을 나타내는 1 비트의 고정길이 부호화 방법을 이용한다. 하지만 본 논문에서는 복수의 필터에 대한 필터 적용 여부를 표현해야 하므로 1 비트의 고정길이 부호로 필터 적용 부가정보를 부호화하는 것이 불가능하다. 따라서 복수 필터의 적용 여부를 표현하면서도 발생하는 부가정보량을 최소화하기 위해서, 표 2와 같이 선행 실험을 통해 얻은 N 개 필터들의 적용 비율에 기반하여 절삭형 단항 이진부호(Truncated Unary Code)를 생성하여 필터 적용 부가정보를 부호화하였다.

3.3 다중 필터 계수 부호화 알고리즘

기존 QALF에서는 현재 프레임과 선행 프레임의 통계적 특성이 유사한 점을 이용하여 선행 프레임의 필터 계수를 예측값으로하여 현재 프레임의 필터 계수와 차이값만을 부호화하는 “시간적 필터 계수 예측 방법”을 사용하고 있다. 따라서 본 논문에서는 한 프레임 내에서 기본 필터와 추가 필터들 사이에는 통계적 특성이 상이하고, 선행 프레임에서 같은 역할(기본 필터 또는 추가 필터들)의 필터는 통계적 특성이 유사하다는 점을 반영하여 그림 6과 같이 다중 필터 계수 부호기를 설계하였다. 즉, 기본 필터와 추가

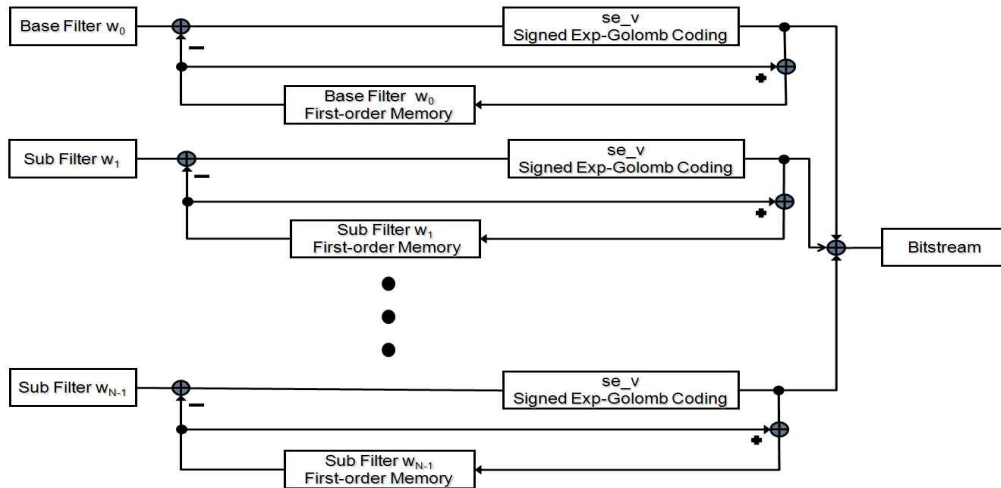


그림 6 시간적 필터 계수 예측을 이용한 다중 필터 계수 부호기
 Fig. 6. The multiple filter coefficients encoding scheme using temporal prediction

필터 계수들을 독립적으로 부호화하여 예측 오류에 의해 발생하는 부호화 효율 감소 문제를 해결하였고, 같은 역할의 필터를 부호화할 때는 기존의 QALF와 같이 “시간적 필터 계수 예측 방법”을 사용하여 필터 계수 부호화 효율을 증대시킬 수 있었다.

IV. 실험 결과

본 논문에서 제안하는 알고리즘의 성능 검증을 위해 VCEG (Video Coding Experts Group)에서 제공하는 KTA (Key Technology Area) 소프트웨어(KTA software ver.2.5)^[9]를 기반으로 표준 실험 조건 (Common Test Condition)[10]을 준수하여 선행 연구인 쿼드트리 기반 적응적 루프 필터링 기법 (QALF)과 비교 실험을 수행하였다. KTA 소프트웨어는 정기적인 VCEG 미팅을 통해서 제안되는 새로운 영상 부호화 기술 중 그 효과가 인정되는 부호화 요소 기술을 기존의 H.264에 구현한 프로그램이다. 또한 표준 실험 조건은 제안 기술의 공정한 성능 평가를 위하여 VCEG에서 제정한 KTA 소프트웨어의 환경 변수 규약이다.

표 2는 3 개의 다중 필터를 영상에 적용하였을 때 영상의 최소 부호화 오류 발생 상태에서 각각의 필터가 적용된 비

표 2. 복원 필터 3 개를 사용하였을 때 복원 필터 사용영역 분포, IPPP 부호화 구조, RDO 사용, 4 가지 QP(22, 27, 32, 37)에 대한 평균값
 Table 2. The distribution of filtered region in case of three wiener filters, IPPP coding structure, RDO On, the average value about four QPs(22, 27, 32, 37)

Size	Sequence	Filter Region Ratio (%)			
		W_0	W_1	W_2	Total
720p	bigships	52.55	20.63	6.12	79.29
	city	54.27	24.33	10.92	89.52
	raven	59.76	23.64	8.98	89.08
	shuttlestart	51.03	14.93	1.19	67.15
Total		54.40	20.88	6.08	81.26

율을 나타낸 결과이다. 위의 실험에서는 다중 필터의 수에 따른 부호화 오류 복원 능력만을 확인하기 위해 필터 부가 정보를 고려하지 않았다. 표 2를 통해 영상에 복잡한 텍스처가 포함되어 있는 city_720p 영상을 제외한 대부분의 영상에서 세 번째 필터를 이용해 필터링이 수행된 영역이 10%를 넘지 못하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 제안 알고리즘은 일반적으로 영상에 적응적으로 다수의 다중 필터를 선택하여 루프 필터링을 수행할 수 있지만, 본 실험에서는 2 번째 추가 필터를 생성하여 사용할 때 얻을 수 있는 영상에서의 부호화 오류 복원 이득이 미약한 점과 필터 추가

표 3. 제안 알고리즘 성능과 부호화 시간 실험 결과, IPPP 부호화 구조, RDO 사용

Table 3. R-D performance and encoding time of the proposed algorithm, IPPP coding structure, RDO On

Sequence	Size	QALF		Proposed		Difference	
		BD-Rate (%)	EncTime (ms)	BD-Rate (%)	EncTime (ms)	BD-Rate (%)	EncTime (ratio)
BasketballPass	WQVGA (416x240)	3.38	2,427,177	4.10	3,322,944	0.72	1.369
BQSquare		5.58	1,771,869	5.90	2,546,737	0.32	1.437
flower4	WVGA (832x480)	6.86	8,897,004	7.52	11,042,327	0.66	1.241
Keiba3		5.98	12,607,746	6.59	15,157,142	0.61	1.202
BasketballDrill		11.08	6,482,140	12.67	87,08,888	1.59	1.344
BQMall		5.78	7,055,446	6.42	9,201,828	0.64	1.304
Janine1_8	XGA (1024x768)	7.52	6,192,744	8.86	8,785,024	1.34	1.418
BigShips	720p (1280x720)	6.13	7,181,675	6.81	9,983,082	0.68	1.390
Crew		6.53	13,289,433	7.24	15,164,359	0.71	1.141
Jets		9.11	7,728,931	9.58	10,714,285	0.47	1.386
Night		6.36	8,071,858	7.06	9,763,492	0.70	1.209
Raven		16.00	7,659,498	17.10	9,942,077	1.10	1.297
CrowdRun	1080p (1920x1080)	3.79	15,928,818	3.95	18,357,273	0.16	1.152
sunflower		30.08	17,364,397	31.40	20,349,087	1.32	1.171
Average of QWVGA, WVGA and XGA		6.60	-	7.44	-	0.84	1.331
Average of 720p and 1080p		11.14	-	11.88	-	0.73	1.249
Total average		8.87	-	9.66	-	0.79	1.290

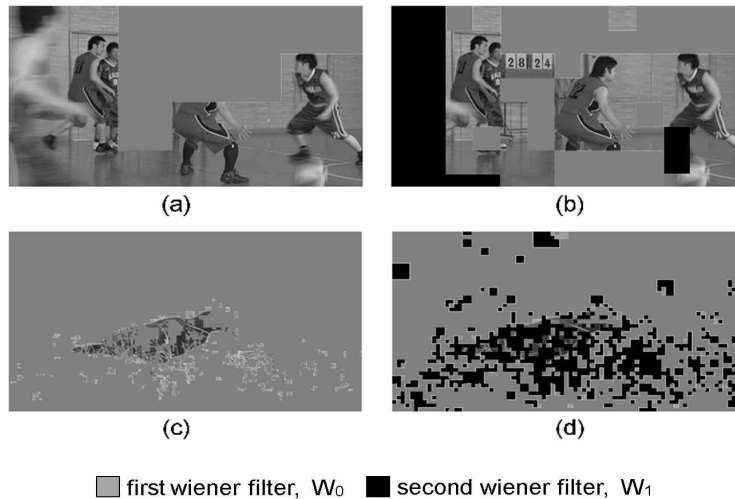


그림 7. 제안 알고리즘의 적용 예 (a) QALF에서 실험 영상 BasketballPass_416x240의 필터 분포 (b) 제안 알고리즘에서 실험 영상 BasketballPass_416x240의 필터 분포 (c) QALF에서 실험 영상 Raven_720p의 필터 분포 (d) 제안 알고리즘에서 실험 영상 Raven_720p의 필터 분포
 Fig. 7. Example of applying the proposed algorithm (a) the filtered region on the BasketballPass_416x240 sequence in QALF (b) the filtered region on the BasketballPass_416x240 sequence in the proposed algorithm (c) the filtered region on the Raven_720p sequence in QALF (d) the filtered region on the Raven_720p sequence in the proposed algorithm

전송에 대한 부가정보량을 고려하여 최대 2 개의 다중 필터를 사용하도록 제한하였다.

제안 알고리즘의 일반적인 성능을 확인하기 위해서 다양한 특성의 영상에 대해서 표준 실험 조건을 준수하여 실험

한 결과를 표 3에 나타내었다. 실험 영상은 CIF, WVAG와 XGA의 저해상도 영상군과 720p, 1080p의 고해상도 영상군으로 이루어져 있으며, 제안 알고리즘의 객관적 성능 검증은 위하여 동일 PSNR에서의 비트율 감소를 백분율로 나타내는 BD-Rate^[11]를 사용하였다. 제안 알고리즘은 표 3에서 알 수 있듯이 KTA 소프트웨어 앵커에 대해서는 평균 9.66%의 비트율 감소 이득을 얻을 수 있었으며, 선행연구인 QALF에 대해서는 저해상도 영상군에서 0.84%, 고해상도 영상군에서 0.73%의 비트율 감소 효과를 얻을 수 있었다. 또한 그림 7에 나타난 BasketballPass와 Raven 영상 같이 영상에 뚜렷한 특성 차이를 지닌 복수의 오브젝트가 존재할 경우에는 제안 알고리즘을 통해 높은 비트율 감소 이득을 얻을 수 있었다. 이것은 제안 알고리즘의 다중 필터 생성과 적용 기법에 의해 영상에 존재하는 복수의 오브젝트에 존재하는 부호화 오류를 효율적으로 복원할 수 있기 때문이다.

그림 8은 실험 영상 BasketballPass_416x240에서 선행 연구와 제안 알고리즘의 울-왜곡값을 비교하여 나타낸 것이다. 그림 8을 통해 다중 복원 필터 사용에 의해 필터 적용/비적용 부가정보와 필터 계수 부가정보의 양이 증가하지만 영상에 적응적인 복원 필터 설계가 가능함으로써 부호화 오류(Distortion)가 크게 감소하여 제안 알고리즘이 울-왜곡 최적화 측면에서 더 뛰어난 성능을 보여줄 수 있다.

영상을 부호하는 과정에서 제안 알고리즘의 복잡도는 그림 2와 같이 필터를 N 개 추가함에 따라 선행 연구인

QALF와 비교하여 (N+1)배 증가하게 된다. 하지만 영상을 복호하는 과정에서는 부호기에서 결정된 쿼드-트리 분할 정보와 필터 적용 및 필터 계수 부가정보를 전송 받아, 적응적 복원 필터링을 수행하므로, 복호 과정에서 제안 알고리즘의 복잡도는 선행 연구인 QALF와 매우 유사하다. 제안 알고리즘의 복잡도 증가에 의한 부호기 측면에서의 영향을 확인하기 위하여 표 3에 다양한 종류의 실험 영상에 대한 QALF와 제안 알고리즘의 부호화 시간을 나타내었다. 표 3에 의해 제안 알고리즘을 사용할 경우 평균적으로 QALF에 비하여 부호화 시간이 1.290 배 증가하는 것을 확인할 수 있다. 크기가 상대적으로 큰 720p 이상의 HD 영상인 경우에는 1.249 배로 영상의 크기가 작은 경우의 1.331 배보다 부호화 시간의 증가량이 감소하는 것을 알 수 있다. 이것은 영상의 크기가 증가할수록 총 부호화 시간 중, 움직임 예측/보상, 변환, 양자화 및 엔트로피 부호화와 같은 기존 부호화 알고리즘을 수행하는데 걸리는 시간의 비중이 적응적 루프 필터링 기법을 수행하는 시간보다 높아지기 때문이다. 특히 1080p의 Full HD 영상의 경우, 제안 알고리즘의 부호화 시간은 기존 QALF의 부호화 시간보다 1.162 배로 다른 크기 영상들의 평균 부호화 시간 증가량보다 매우 적은 것을 알 수 있다. 하지만 증가하는 부호화 시간의 비율이 아닌 절대적인 부호화 시간 증가량을 고려하면, 본 제안 알고리즘의 복잡도 증가문제를 해결하기 위한 연구가 차후 진행되어야 할 것으로 생각된다.

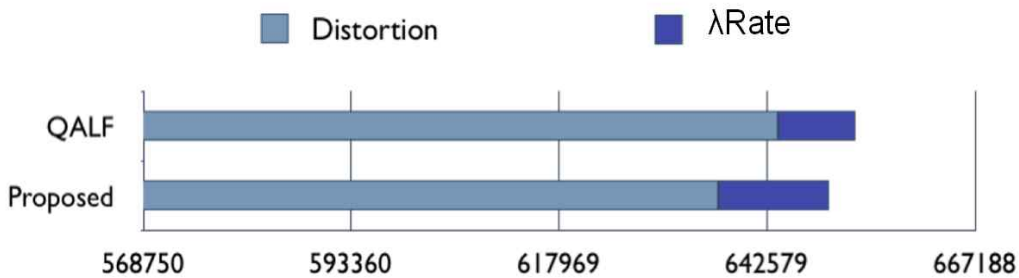


그림 8. BasketballPass_416x240에 대한 울-왜곡값 비교, 라그랑지 승수 $\lambda = 6.85$, IPPP 부호화 구조, RDO 사용, QP 22
 Fig. 8. Rate-Distortion comparison of QALF and the proposed algorithm, lagrange multiplier $\lambda = 6.85$, IPPP coding structure, RDO On, QP 22

IV. 결 론

본 논문에서는 복원 영상의 국부적 특성에 따라 복수 개의 최적 적응 루프 필터를 생성하여 복원 영상의 해당 영역에 필터링을 수행함으로써, 기존 알고리즘에 비해 양자화에러 복원 성능을 높일 수 있는 적응적 다중 루프 필터링 기법을 제안하였다. 제안한 다중 복원 필터의 생성과 사용에 의해 복원 영상의 국부적 특성에 적응적인 복원 필터 설계가 가능하게 됨으로써 부호화 오류(Distortion)가 크게 감소하여 필터 계수 부가정보의 증가에도 불구하고, 제안 알고리즘은 윌-왜곡 최적화 측면에서 더 뛰어난 성능을 보일 수 있었다. 제안 알고리즘은 KTA 소프트웨어 앵커에 대해 평균 9.66%의 비트율 감소 이득을 얻을 수 있었으며, 선행 연구인 쿼드트리 기반 적응적 루프 필터링 기법(QALF)과 비교해도 저해상도 영상군에서 0.84%, 고해상도 영상군에서 평균 0.73%의 비트율 감소 효과를 얻을 수 있었다. 또한 영상에 뚜렷한 특성 차이를 지닌 복수의 오브젝트가 존재할 경우에는 제안 알고리즘을 통해 보다 높은 비트율 감소 이득을 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] ITU-T Recommendation and International Standard of Joint Video Specification (ITU-T Rec H.264/ISO/IEC 14496-10 AVC), March 2005.
- [2] Shenzhen, "Improved Intra Coding," ITU-T SG16/Q.6 VCEG document, China, VCEG-AG11, Oct. 2007.
- [3] Y. Ye, H. Wang and M. Karczewicz, "Simulation results for Mode Dependent Directional Transform(MDDT) and comments on intra coding," ITU-T SG16/Q.6 VCEG document, San Diego, VCEG-AJ24, Oct. 2008.
- [4] J. Jung and G. Laroche, "Competition-Based Scheme for Motion Vector Selection and Coding," ITU-T SG16/Q.6 document, Klagenfurt, July 2006.
- [5] T. Chujoh, A. Tanizawa, and T. Yamakage, "Adaptive loop filter for improving coding efficiency," ITU-T SG16 Contribution, Geneva, C402, Apr. 2008.
- [6] T. Chujoh, G. Yasuda, N. Wada, T. Watanabe, and T. Yamakage, "Block-based adaptive loop filter," ITU-T SG16/Q.6 VCEG document, Berlin, VCEG-AI18, Jul. 2008.
- [7] T. Chujoh, A. Yasuda, and N. Wada, "Quadtree-based adaptive loop filter," ITU-T SG16 Contribution, Geneva, C181, Jan. 2009.
- [8] T. Chujoh, N. Wada, T. Watanabe, G. Yasuda, and T. Yamakage, "Specification and experimental results of quadtree-based adaptive loop filter," ITU-T SG16/Q.6 VCEG document, Yokohama, VCEG-AK22, Apr. 2009.
- [9] <http://iphome.hhi.de/suehring/tml/download/cta/jm11.0kta2.5.zip>.
- [10] T.K Tan, G. J. Sullivan and T. Wedi, "Recommended Simulation Common Conditions for Coding Efficiency Experiments Revision 1," ITU-T SG16 Q.6 Document, VCEG-AJ10r1, San Diego, Oct. 2008.
- [11] G. Bjøntegaard, "Calculation of average PSNR differences between RD-Curves," ITU-T SG16 Q.6 Document, VCEG-M33, Austin, Apr. 2001.

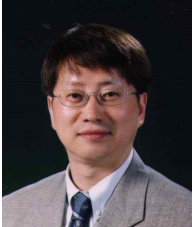
저 자 소 개



홍 순 기

- 2006년 9월 : 연세대학교 전기전자공학과 학사
- 2006년 9월 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학과 석박사 통합과정 재학 중
- 주관심분야 : 비디오/영상 신호 처리, 모바일 비디오 통신

저 자 소 개



최 윤 식

- 1979년 2월 : 연세대학교 전기공학과 학사
- 1984년 5월 : Case Western Reserve 대학 시스템 공학과 석사
- 1987년 5월 : Pennsylvania 주립 대학 전기공학과 석사
- 1990년 12월 : Purdue 대학 전기공학부 박사
- 1993년 3월 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학 교수
- 주관심분야 : 비디오/영상 신호 처리 및 해석



김 용 구

- 1993년 : 연세대학교 전기공학과 졸업
- 1995년 : 연세대학교 전기및컴퓨터공학과 공학석사
- 2001년 : 연세대학교 전기전자공학과 공학박사
- 2001년 ~ 2002년 : 연세대학교 전파통신연구소 박사후연구원
- 2002년 ~ 2006년 : (주)온타임텍 멀티미디어연구소 연구소장/이사
- 2006년 ~ 2009년 : 연세대학교 전기전자공학부 연구교수
- 2009년 ~ 현재 : 한독미디어대학원대학교 뉴미디어학부 교수
- 주관심분야 : 모바일 비디오/영상 통신, 3D/UHD 멀티미디어 신호처리 및 응용