

컴포지트 비디오 디코더를 위한 웨이블릿 기반 3차원 콤 필터의 설계

김남섭[†], 조원경[‡]

요 약

컴포지트 비디오 신호는 Y와 C성분이 같은 주파수대에서 중첩되어 있기 때문에 영상처리를 위한 Y/C분리 시 필연적으로 화질의 열화가 발생한다. 이에 본 논문에서는 이러한 화질의 열화를 최소화하기 위하여 3차원 콤 필터 기법과 웨이블릿 변환을 혼용하여 최적의 영상을 만들 수 있는 새로운 콤 필터 기법을 제안하고 이를 VLSI로 설계하였다. 제안된 기법은 웨이블릿을 적용하였으며 비교 라인에 대한 임계값을 적용하여 최상의 화질을 얻을 수 있도록 하였다. 시뮬레이션 결과 제안된 방법은 기존의 방법에 비해 PSNR비교 시 개선된 화질을 나타내었으며, 실제 눈으로 판독한 결과 뚜렷한 화질개선을 나타내었다. 또한 제안된 방법의 실제 응용을 위하여 적합한 하드웨어 구조를 개발하였으며, VHDL을 이용하여 구현하였고 0.25 micrometer CMOS 공정 라이브러리를 이용하여 최종적인 VLSI 레이아웃을 생성하였다.

Design of Wavelet-Based 3D Comb Filter for Composite Video Decoder

Namsub Kim[†], Wonkyung Cho[‡]

ABSTRACT

Because Y and C signals in a composite video signal are piled one on another in the same frequency, it is impossible to separate them completely. Therefore, it is necessary to develop efficient separation technique in order to minimize degradation of video quality.

In this paper, we propose wavelet-based 3D comb filter algorithm and architecture for separating Y and C signals from a composite video signal. The proposed algorithm uses wavelet transform and thresholding of compared lines for acquiring the maximum video quality. Simulation results show that the proposed algorithm has better image quality and better PSNR than previous algorithms. For real application of the proposed algorithm, we developed a hardware architecture and the architecture was implemented by using VHDL. Finally, a VLSI layout of the proposed architecture was generated by using 0.25 micrometer CMOS process.

Key words: Comb Filter(콤 필터), Y/C Separation(Y/C분리), Composite Video Decoder(비디오 디코더)

1. 서 론

CVS(Composite Video Signal)는 아날로그 TV방

송에서 사용되는 비디오 신호로서 기존의 아날로그 방송자료의 디지털 변환 및 영상처리를 위해서는 YUV신호로 변환이 필수적이다. 그러나 Y(luminance):

* 교신저자(Corresponding Author) : 김남섭, 주소 : 경기도 용인시 기흥구 서천동(446-701), 전화 : 031)201-2195, FAX : 031)202-4941, E-mail : kns@vlsi.khu.ac.kr
접수일 : 2005년 10월 28일, 완료일 : 2006년 2월 17일

[†] 경희대학교 전자정보학부

[‡] 경희대학교 전자정보학부
(E-mail : chowk@vlsi.khu.ac.kr)

black and white)와 C(chrominance: U, V)신호가 CVS신호 생성 시 같은 주파수대에서 중첩이 되기 때문에 이를 다시 원상태로 복원하면 중첩된 부분의 신호만큼 화질의 열화가 발생한다.

이러한 화질 열화의 문제점을 개선하기 위하여 많은 연구가 수행되어 왔다[1-7]. 가장 기본적인 방법은 라인 콤 필터(line comb filter)를 사용한 방법으로 [1] 이 방법은 cross-luminance와 cross-chrominance 현상을 유발하기 때문에 현재 거의 사용이 되고 있지 않으며 이를 개선한 2차원 적응 콤 필터(2D adaptive comb filter)를 사용한 기법의[2] 경우 수평과 수직 라인간의 상관(correlation)이 적기 때문에 마찬가지로 화질의 열화를 막을 수는 없었다. 현재 가장 널리 사용되는 방법은 3차원 적응 콤 필터(3D adaptive comb filter)를 사용하는 방법으로[3] 영상의 움직임(motion) 정보를 이용하여 한 화면에서 처리되는 것을 근접한 영상 정보를 이용하여 보다 원 영상에 가까운 영상을 복원해 내는 기술이다. 그러나 이와 같은 3차원 적응 콤 필터 역시 영상의 움직임이 클 경우 2차원 적응 콤 필터와 같은 결과를 나타내기 때문에 영상 복원 자체의 근본적인 문제는 해결하지 못했다. 위와 같은 방법이외에 시간 영역(temporal domain)에서 수행되던 필터링을 다른 영역에서 처리하여 영상의 질을 높이는 연구가 병행되어 왔다. Hadamard 변환을 이용한 기법의 경우[4] 영상의 질은 개선이 되었으나 라인 콤 필터를 사용하였기 때문에 화질 열화의 기본적인 문제를 해결하지 못하였으며 FFT(Fast Fourier Transform)를 이용한 기법의 경우[5,6] 복잡한 연산으로 인한 하드웨어 구현의 어

려움이 있었다. 따라서 본 논문에서는 영상의 질을 개선하고 실시간 처리가 가능한 웨이블릿을 적용한 새로운 알고리즘을 제안하고 이에 대한 하드웨어 구조를 개발하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서 3차원 콤 필터의 기본내용 및 제안된 알고리즘을 기술하고 3장에서 하드웨어의 구조에 대하여 기술한다. 4장에서는 제안된 알고리즘의 평가를 위한 시뮬레이션 결과 및 하드웨어 구현 결과를 나타내고 5장에서 결론을 맺는다.

2. 웨이블릿 기반 3차원 콤 필터

2.1 3차원 움직임 적응 콤 필터

3차원 움직임 적응 콤 필터(3D Motion Adaptive Comb Filter)기술은 현재 Y/C분리를 위해 사용되는 가장 최신의 기술이며 이 방법은 그림 1과 같이 일반적인 2차원 적응 콤 필터에 움직임 정보를 추가하여 영상에서 움직임이 존재할 경우 2차원 콤 필터링을 사용하고 움직임이 없을 경우 프레임 사이에 라인 콤 필터를 사용하는 기법이다.

3차원 움직임 적응 콤 필터는 CVS신호에서 Y와 C신호를 분리하기 위하여 기본적으로 라인간의 콤 필터링을 수행하며 이때 라인간의 유사성에 따라 유사도(similarity)가 가장 높은 라인을 선택하여 필터링을 수행한다. 만약 영상의 움직임이 없다면 이전 프레임에서 추출된 라인이 그림 1과 같이 현재의 프레임의 라인과 같기 때문에 최상의 유사도를 가진 라인간의 필터링을 수행할 수 있다. 그러나 영상에

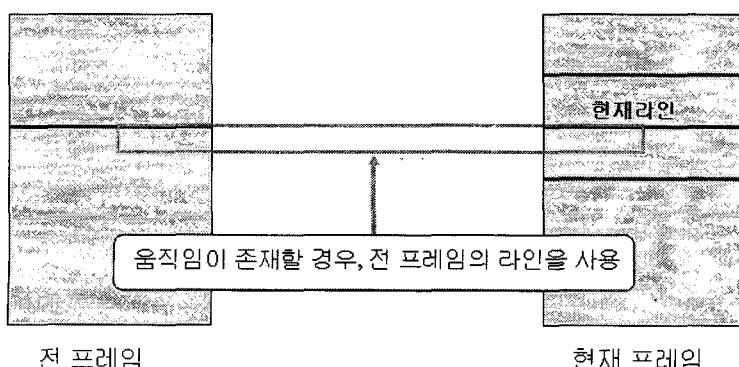


그림 1. 3차원 움직임 적응 콤 필터기법

움직임이 있을 경우 프레임 사이의 라인간의 유사도가 적기 때문에 수직축 라인간의 필터링을 수행하게 된다. 이때 라인간의 유사도가 가장 높은 라인을 선택하여 필터링을 수행하게 되며 라인간의 유사도가 높을수록 원영상과 가까운 화질을 생성해 낼 수 있다. 이와 같은 유사도의 판별은 영상의 화질과 밀접한 관계를 갖고 있기 때문에 이에 대한 많은 연구가 진행되어 왔으며[4-6] 본 논문에서는 최적화된 유사도 판별을 위하여 웨이블릿 변환을 채택하였다.

2.2 제안된 Y/C 분리 방법

웨이블릿변환은 푸리에(Fourier) 변환보다 시간 및 주파수도메인에서 보다 높은 해상력(resolvability)을 갖고 있으며 필터 백크(Filter Bank) 구조의 하드웨어로 구현할 경우 그 구조가 단순하다는 장점을 가지고 있다. 따라서 VLSI와 같은 반도체 칩으로 구현할 경우 비용절감(low cost)의 효과가 있으며 높은 해상력으로 인해 보다 나은 화질을 만들 수 있다. 본 논문에서는 이러한 웨이블릿 변환을 이용하여 3차원 적용 콤 필터를 제안하며 전체 알고리즘을 표시하면 그림 2와 같다.

제안된 알고리즘과 기존 알고리즘과의 가장 큰 차이점은 기존 3차원 적용 콤 필터의 경우 검출된 유사성이 따라 2차원 또는 라인 콤 필터를 선택적으로 적용하는데 반해 제안된 알고리즘은 초기 영상입력 및 움직임 판별과정을 제외한 모든 과정에서 전체 라인에 대한 계수 값을 이용하여 유사라인을 생

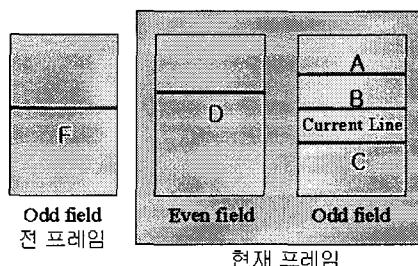
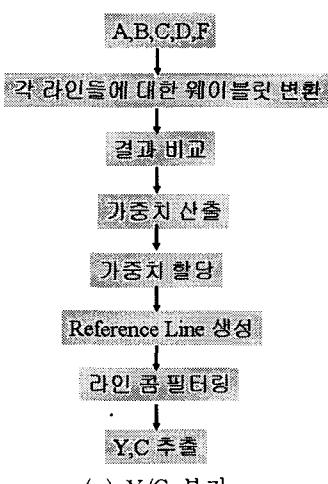
성한 후에 이를 라인 콤 필터를 사용하여 최종적으로 Y/C를 분리해 낸다. 유사라인의 생성과정은 다음과 같다.

그림 2(b)에서와 같이 현재 라인 B를 포함하여 콤 필터 적용 시에 사용되는 A, C, D, F 각각의 라인들은 그림 3과 같이 저역통과 필터링(low pass filtering)을 거쳐 라인 Y1, Y2를 생성해 낸다. 기존 라인과 생성된 라인을 빼면 고역통과 필터링(high pass filtering)을 한 결과와 같은 값을 갖는 C1, C2를 얻을 수 있고 현재 픽셀(Yc1, Yc2)을 기준으로 그림 3과 같이 윈도우를 써운 후 웨이블릿 변환을 거쳐 근사(approximation) 와 상세(details)값인 CL1, CL2, CH1, CH2를 얻을 수 있다. 변환결과로부터 나온 값을 사용하여 각 라인에 해당하는 유사값(Similarity value)을 식 (1)과 같이 산출한다.

$$\text{Similarity value} = |Y_{c1} - Y_{c2}| + (|CL1 - CL2| + |CH1 - CH2|) \quad (1)$$

그 후 검출된 유사값에 따라 A, C, D, F 각각의 라인이 가질 수 있는 최대값을 구한 다음 검출된 유사값을 임계값과 비교하여 유사성이 작을수록 최대값으로부터 선형적으로 감소하게 각 라인의 최종적인 가중치(weighting factor)를 식 (2)와 같이 산출해 낸다.

$$x_i = \begin{cases} 0.25 & , \text{if } X_i > Th_{\max} \\ 0 & , \text{if } X_i < Th_{\min} \\ \frac{X_i}{\sum_{j=0}^3 X_j} & , \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$



(b) 프레임 별 라인 할당

그림 2. 제안된 알고리즘

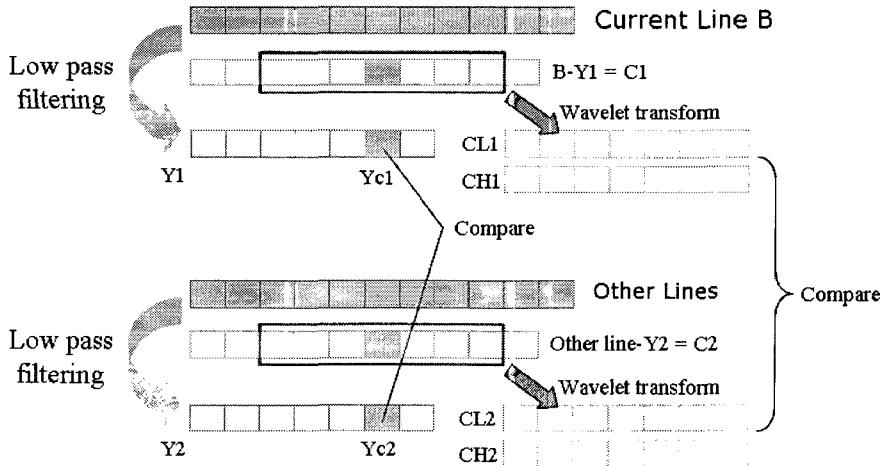


그림 3. 유사값의 계산

여기서 X_i 는 A, C, D, F 각 라인에 해당하며 Th_{\max} 와 Th_{\min} 은 최대 임계값과 최소 임계값을 나타낸다. 최대 임계값과 최소 임계값은 실험적인 방법에 의해 결정될 수 있으며 본 논문에서는 각각 200과 1700의 값을 사용하였다. 산출된 가중치 x_i 를 각각의 해당 라인에 곱한 후 각 라인을 더하면 식 (3)과 같은 유사라인(Similar Line)을 얻을 수 있다.

$$\text{Similar Line} = \sum_{i=0}^3 x_i X_i \quad (3)$$

이와 같은 유사라인과 현재의 라인 B와 라인 콤 필터를 적용하여 식 (4)와 같이 Y와 C를 얻을 수 있다.

$$Y = \frac{\sum_{i=0}^3 x_i X_i + sB}{2} \quad (4)$$

$$C = \frac{\sum_{i=0}^3 x_i X_i - sB}{2}$$

$$s = \sum_{i=0}^3 x_i$$

그러나 각각의 라인으로부터 산출된 결과값의 합 s 는 임계값의 영향으로 인하여 항상 1과 같지 않게 되는데 이때는 라인 간 콤 필터를 통해서 완벽하게 Y와 C를 분리 할 수 없는 경우이며, 이 경우 기준의 아날로그 필터를 통해서 나온 값을 더하여 이를 보상해 주게 된다. 따라서 최종적인 Y와 C의 분리는 다음과 같은 수식에 의해 결정된다.

$$Y = \frac{\sum_{i=0}^3 x_i X_i + sB}{2} + (1-s)LPF \quad (5)$$

$$C = \frac{\sum_{i=0}^3 x_i X_i - sB}{2} + (1-s)HPF$$

$$s = \sum_{i=0}^3 x_i$$

여기서 LPF와 HPF는 아날로그 저역통과 필터와 고역통과필터를 통하여 나온 값을 나타낸다.

영상에 움직임이 있을 경우, 현재 라인 B와 한 프레임 이전의 같은 위치의 라인 F간의 움직임을 라인 단위로 검출하여 움직임이 기준값 이상일 경우 F를 제외한 나머지 라인들을 이용하여 콤 필터링을 수행한다.

3. 제안된 하드웨어 구조

앞장에서 설명한 알고리즘을 Pentium 4 2.4GHz PC에서 C언어를 이용하여 시뮬레이션 한 결과 프레임 당 처리시간은 약 30초 정도 소요 되었다. 이와 같은 처리시간은 실시간 응용(real time application)에 부적합하기 때문에 실시간 처리를 위한 하드웨어 구현이 필수적이다. 따라서 본 논문에서는 제안된 알고리즘의 실시간 처리를 위한 하드웨어 구조를 제안하고 전체 하드웨어 구조를 그림 4에 나타내었다.

제안된 구조는 크게 Data Input, Frame Buffer, Wavelet Transform, Filter Block, Y/C Separator로

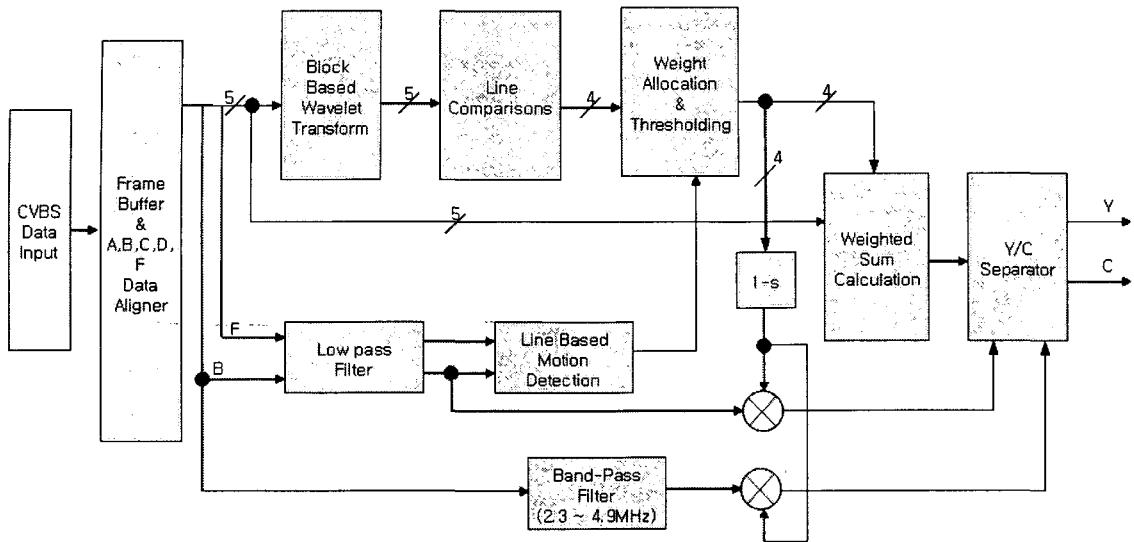


그림 4. 전체 하드웨어의 구조

구성되어지며 전체 블록의 제어는 추가적인 FSM(Finite State Machine)으로 제어한다. 본 구조는 입력된 CVBS(Composite Video Baseband Signal)가 Frame Buffer에 3프레임 단위로 저장할 수 있도록 구성되어 있으며 저장된 프레임에서 실제 필터링을 수행할 라인들이 동시에 출력되어 연산을 동시에 수행할 수 있도록 되어 있다. 각 라인들은 2장의 알고리즘에서 기술한 바와 같이 웨이블릿 변환을 통한 유사라인을 산출해내며, 산출된 유사라인과 프레임에 저장되어 있던 기준라인사이에 라인 콤 필터의 기능을 하는 Y/C Separator를 통하여 Y/C를 분리하도록 설계되었다.

3.1 웨이블릿 변환블록

본 논문에서 사용된 웨이블릿 변환은 그림 5와 같이 2단계 필터뱅크(two-level filter bank)들을 사용한다. 각각의 블록은 각 라인 및 프레임간의 비디오 라인의 유사도를 판별하기 위해 5개의 블록으로 구성되어 있으며 연산속도의 증가를 위해 병렬처리를 하도록 구성하였다. 이와 같은 구조는 프레임버퍼에 저장되어 있는 라인데이터를 동시에 처리할 수 있을 뿐만 아니라 복잡한 제어블록이 불필요하므로 하드웨어 속도 및 설계용이성 측면에서 유리한 점이 있다.

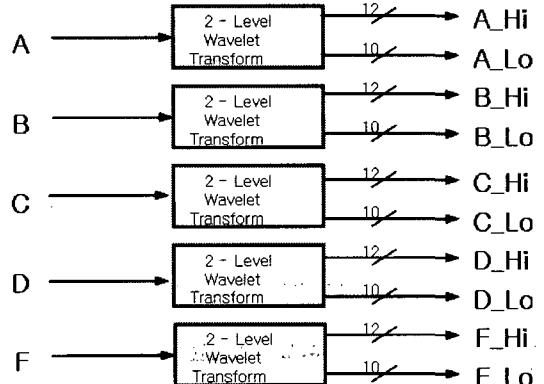


그림 5. 웨이블릿 변환 블록의 구조

3.2 라인 비교블록

2장의 알고리즘에서 설명한 바와 같이 기준 라인과의 유사도가 가장 높은 라인을 판별하기 위하여 웨이블릿 변환을 통해 계산된 값들은 비교과정을 거쳐 최적의 유사라인을 판별하게 된다. 본 논문에서는 그림 6과 같은 비교회로를 통하여 비교된 값을 산출해 내고 정규화(Normalization)시킨 후에 다시 가중치를 곱함으로써 최적의 유사라인을 추출하였다.

정규화의 경우 나눗셈 연산으로 인한 연산속도 저하를 방지하기 위하여 그림 7과 같은 LUT(Look-Up Table)을 이용하여 정규화한 후 정규화

과정 중에서 발생되는 round-off error를 Data Truncation 회로로 거치게 하여 연산오류를 최소화하였다. 그 후 계산되어 나온 각각의 값을 그림 8과 같은 가중치 계산회로 통하여 유사라인을 생성해낸다.

3.3 Y/C 분리블록

최종적인 Y/C분리과정은 기준라인(Reference Line)

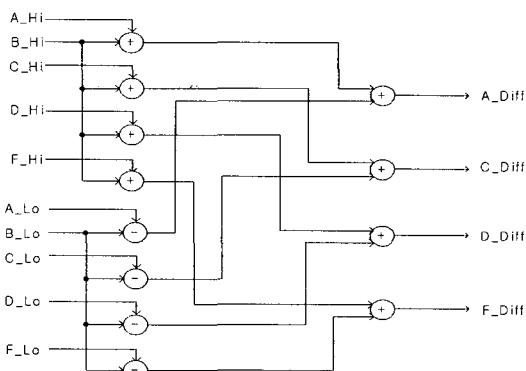


그림 6. 비교회로의 구현

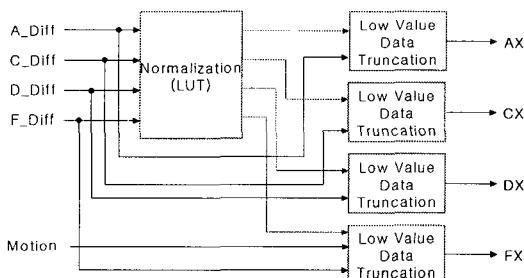


그림 7. 정규화 및 쓰레숄딩

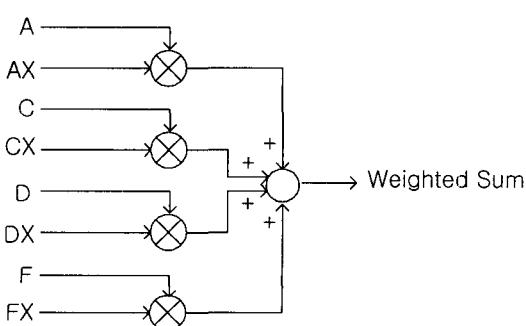


그림 8. 가중치 계산회로

과 유사라인(Weighted Sum)사이에 그림 9와 같이 기준라인과 계산되어진 유사라인 간에 라인 콤 필터를 이용하여 Y와 C를 분리한다. 이때 쓰레숄딩(thresholding)과정에서 삭제된 데이터의 보완을 위하여 본 논문에서는 추가적인 대역통과 필터(band-pass filter)를 사용하였으며 유사라인에 대한 판독이 제대로 되지 않을 경우 추가적인 정보를 제공하여 보다 정확한 Y/C분리를 가능하게 하였다.

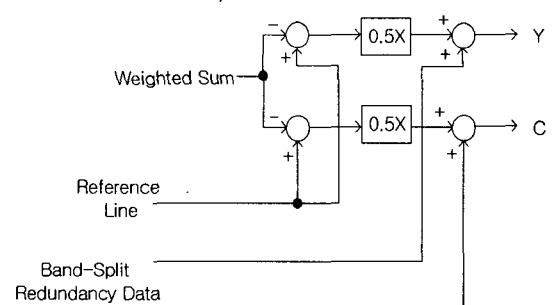


그림 9. Y/C 분리구조

4. 실험 및 결과

실험은 원본 영상을 CVBS 영상으로 변환 후 Y/C 분리를 통하여 RGB 영상으로 변환하여 그 결과를 판독하였다. 실험 결과에 대한 평가는 정지 영상의 경우에는 영상 자체를 눈으로 판독하는 방법을 사용하였으며 움직임이 존재하는 동영상의 평가에는 영상의 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)을 비교하는 방법을 적용하였다.

4.1 TV 테스트 패턴의 비교

본 실험에서는 TV 방송에서 사용되는 테스트 패턴을 이용하여 제안된 알고리즘과 기존의 방식과의 차이점을 비교하였다. 그림 10은 원본 영상을 나타내며 원본 영상을 CVBS로 변환 후에 기존방식의 1차원, 2차원 콤 필터와 제안된 콤 필터를 사용하여 영상을 복원하여 그 결과를 비교하는 방법을 사용하였다. 그림 11과 같이 기존방식의 1차원 콤 필터의 경우 수직 라인간의 영상왜곡이 심하게 나타났으며 그림 12과 같은 일반적인 2차원 콤 필터의 경우 수직라인간의 왜곡은 해결되었으나 수평라인 간에 여전히 zipper effect가 발생되고 있음을 알 수 있다. 반면에 제안된

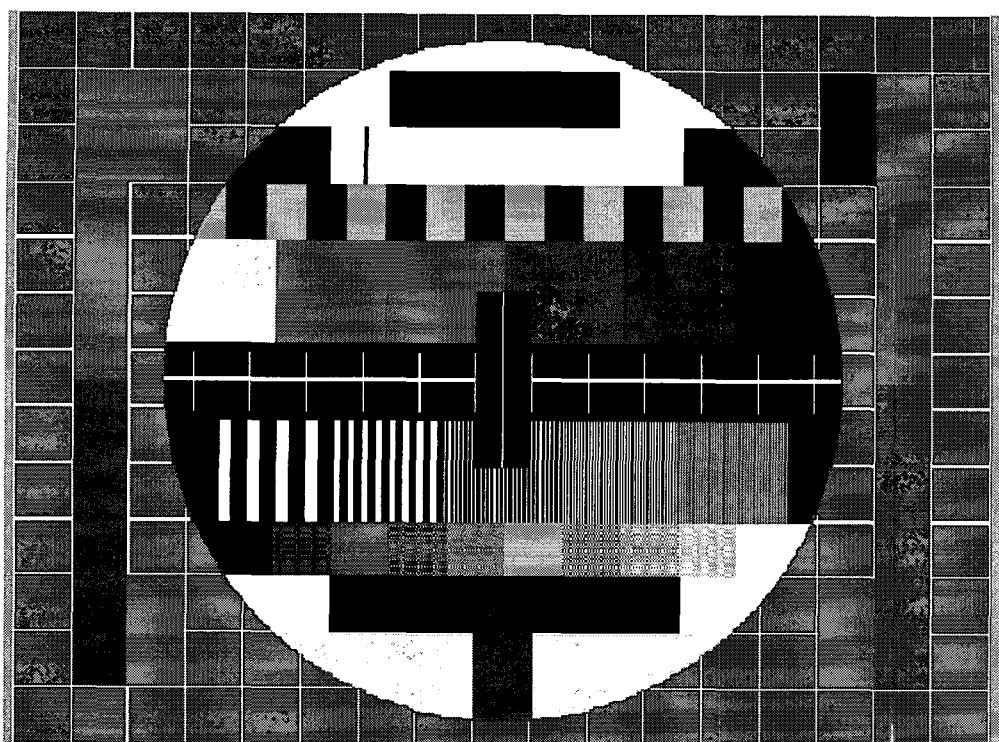


그림 10. 원본 영상

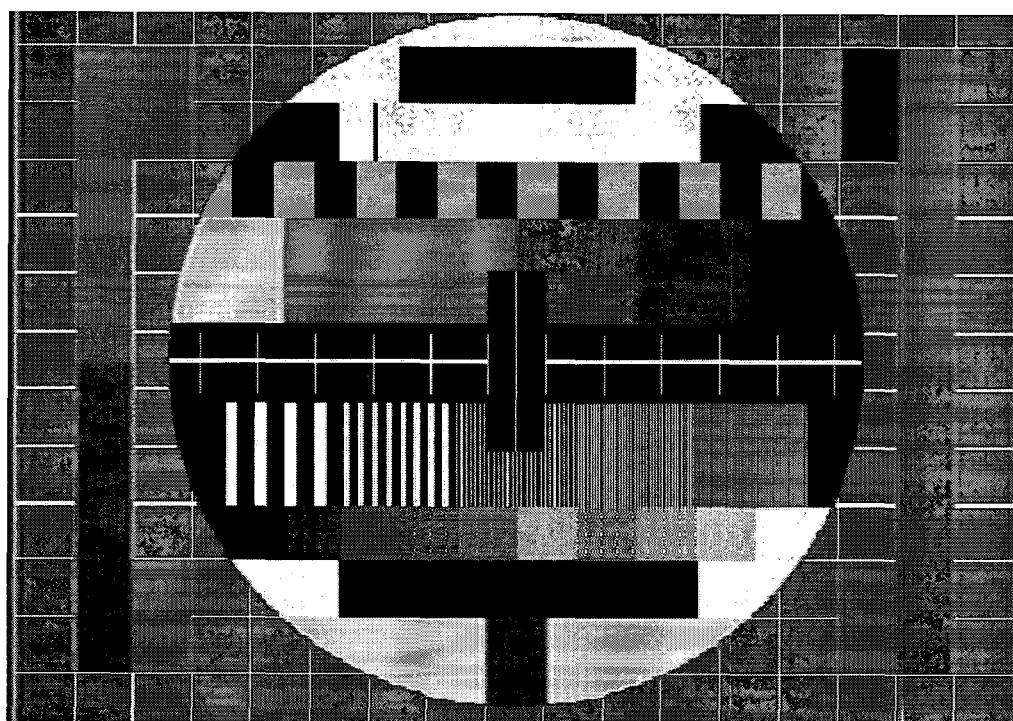


그림 11. 1차원 콤 필터를 거친 영상

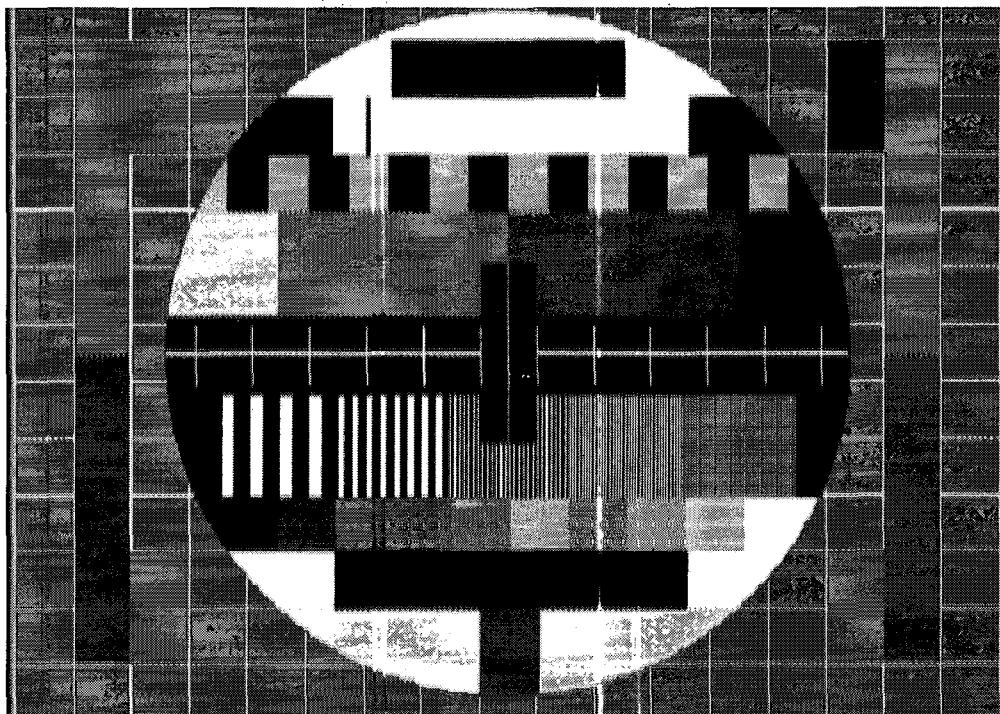


그림 12. 일반적인 2차원 콤 필터를 거친 영상

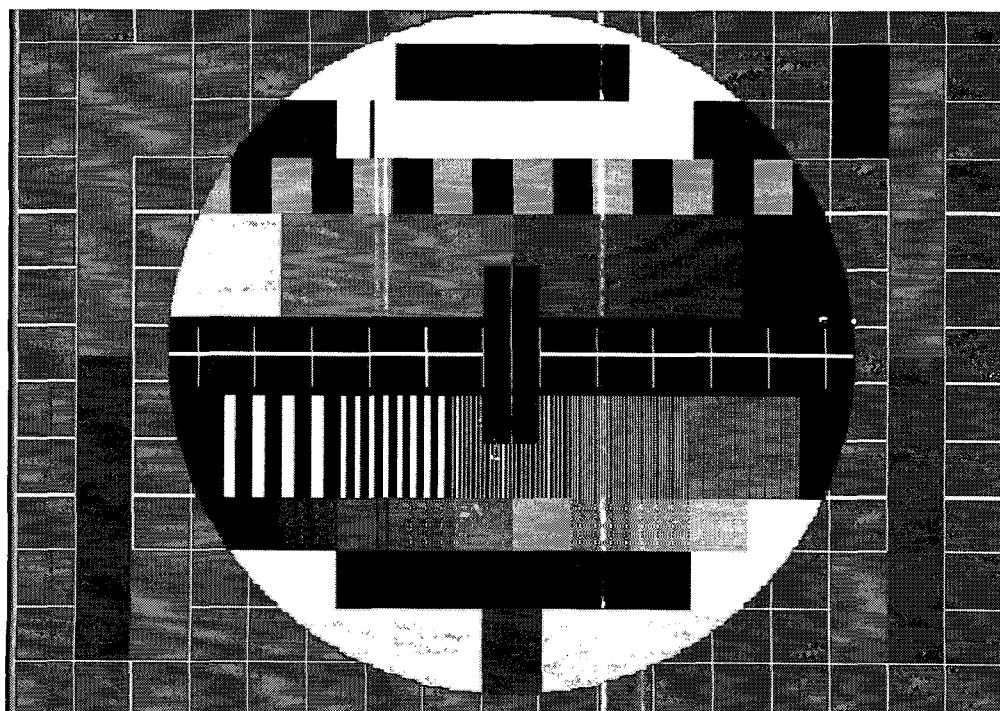


그림 13. 제안된 3차원 콤 필터를 거친 영상

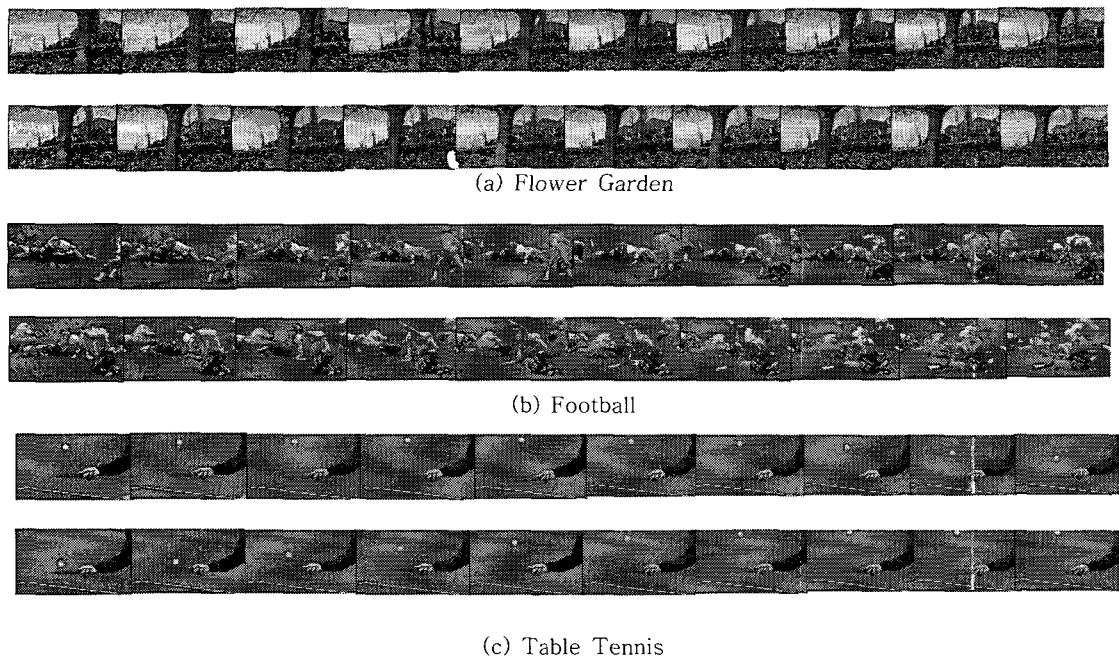


그림 14. 기존 방식을 사용한 결과

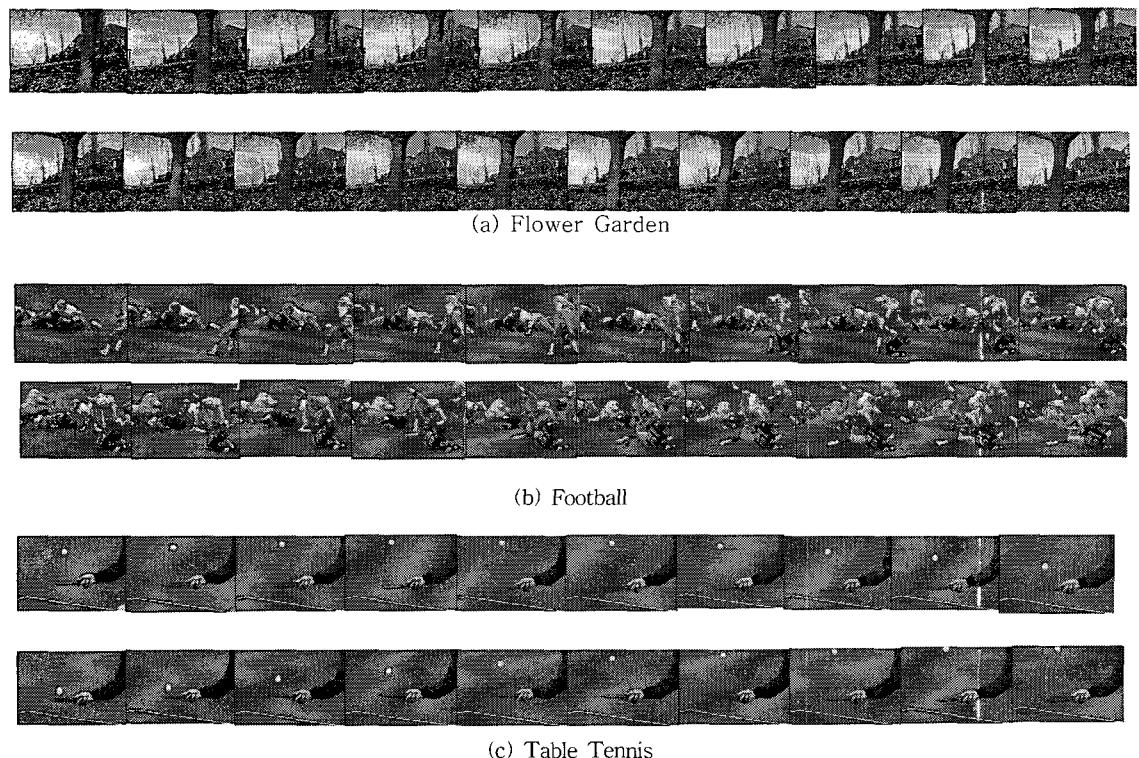


그림 15. 제안된 알고리즘을 사용한 결과

3차원 콤 필터의 경우 그림 13와 같이 수평과 수직 라인 간에 화질의 열화가 거의 없으며 원본 영상과 가장 근접한 화질을 나타냄을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 제안된 알고리즘의 경우 가장 근접한 유사라인을 산출해 내어 필터링이 수행되었기 때문이며 기존 방식에서 문제점으로 발생했던 cross-luminance, cross-chrominance, zipper effect와 같은 화질 열화를 해결할 수 있었다.

4.2 PSNR 비교

PSNR 비교 실험에서는 20 프레임분량의 SIF (352×240) 형식의 Flower Garden, Table Tennis, Football 동영상 비디오 데이터를 사용하였다. Flower Garden 영상의 경우 움직임이 적고 고주파 성분이 많이 포함되어 있고 Table Tennis는 상대적으로 고주파 성분이 적게 포함되어 있으며 Football 영상은 움직임이 큰 특징을 갖고 있다. 실험을 위해 원본 동영상 시퀀스를 바이큐빅 리샘플링 (bicubic resampling)을 통하여 720×525 의 해상도를 갖는 영상으로 변환 후 인코딩 과정을 거쳐 NTSC 형식의 CVBS 데이터를 생성하였다. 그 후 생성된 데이터를 제안된 알고리즘과 기존방식을 이용하여 Y 와 C를 분리한 후 컬러 디모듈레이션(color demodulation) 과정을 거쳐 RGB 형태의 동영상 시퀀스를 생성해 내었다. 그림 14와 그림 15는 제안된 알고리즘과 기존 알고리즘을 통해 복원한 동영상 시퀀스를 나타내며 그림 16은 각각의 프레임에 대한 PSNR 비교 결과를 나타낸다.

4.3 하드웨어 구현

제안된 구조는 최종적으로 VHDL(VHSIC Hardware Description Language)을 사용하여 VLSI로 구현하였다. 이때 UMC 0.25 마이크론 공정 라이브러리를 이용하여 설계하였으며 그림 17과 같이 Synopsys Design Compiler를 통하여 합성 후 Synopsys Apollo 및 Cadence Virtuso Layout Editor를 이용하여 최종적인 VLSI Layout을 그림 18과 같이 생성해 내었다. 설계된 구조를 Active-HDL로 시뮬레이션 해 본 결과, 초당 30프레임 이상을 처리할 수 있었다.

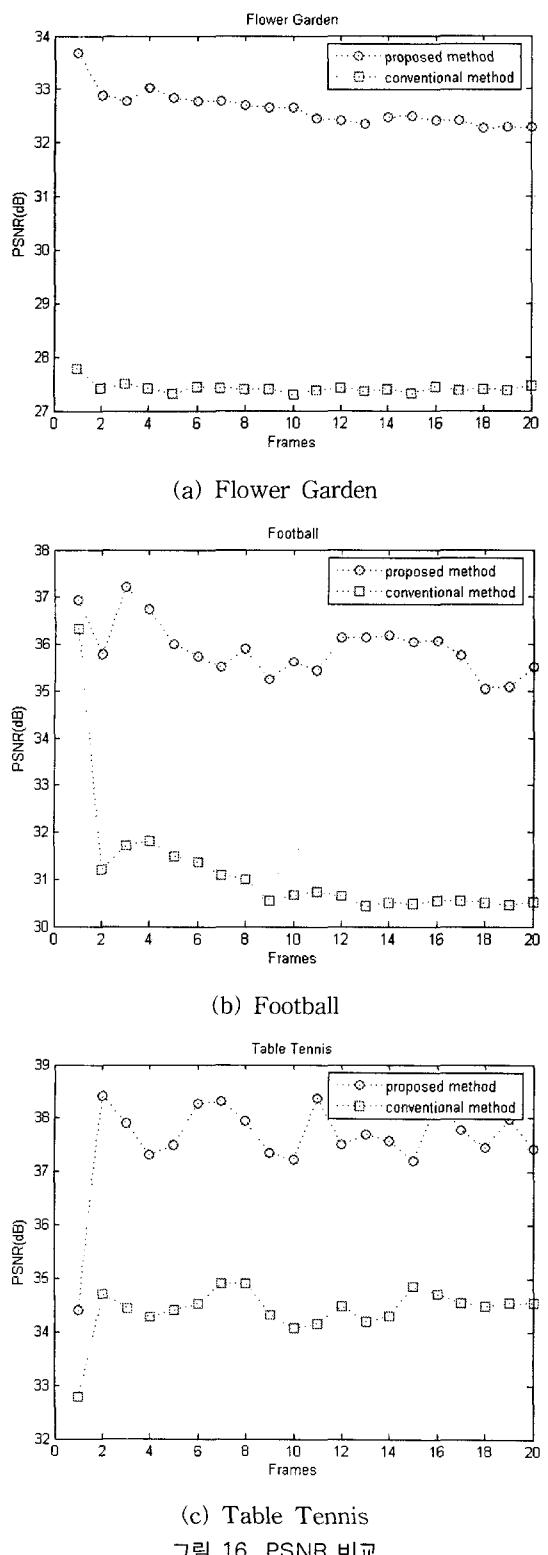


그림 16. PSNR 비교

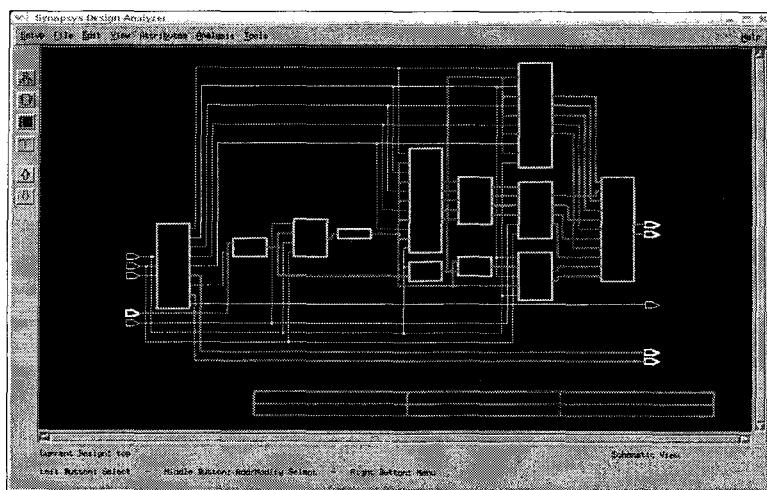


그림 17. 전체 블록의 합성결과

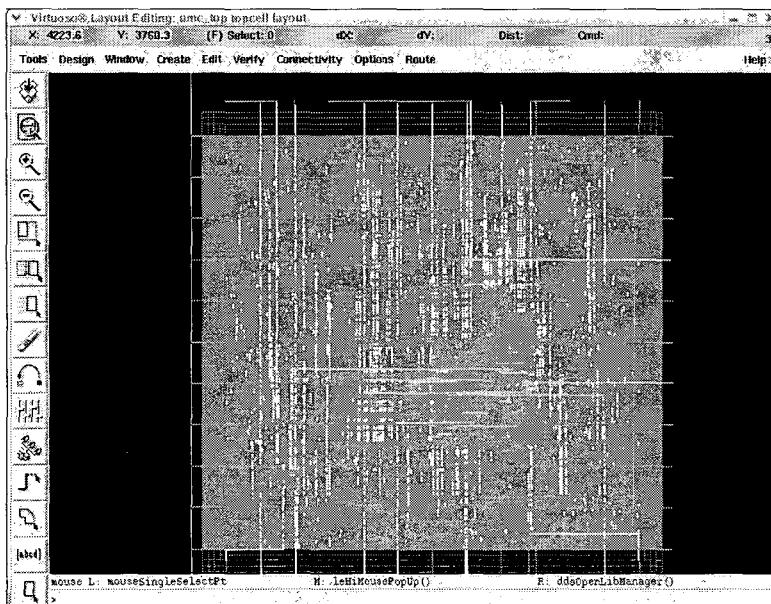


그림 18. 최종 구현된 칩의 레이아웃

5. 결 론

현재 HDTV가 급속도로 보급되고 있다. 따라서 기존의 아날로그 TV 영상들을 디지털로 변환 시 사용된 콤 필터에 따라 화질에 큰 차이를 보이게 되었다. 이에 본 논문에서는 최적화된 영상의 복원을 위한 새로운 콤 필터 알고리즘을 개발하고 이를 실시간으로 처리하기 위한 하드웨어 구조를 제안하였다.

제안된 알고리즘은 3차원 적응 콤 필터링 방식을 사용하여 향상된 유사도 검출을 위하여 웨이블릿 변환을 이용하였으며 주변라인 중 하나를 선택적으로 사용하는 기존 방식과 달리 변환을 통한 유사라인을 새로 생성하여 향상된 화질을 구현할 수 있다. 또한 본 논문에서는 제안된 알고리즘을 실시간으로 검증하기 위해 실제 합성 가능한 HDL 코드를 작성하였으며, 병렬처리기법을 이용하여 실시간으로 영상처

리가 가능하도록 구성하였다. 제안된 구조는 최종적으로 UMC 0.25 마이크론 공정을 이용하여 칩 레이아웃을 생성해 내었으며 130MHz의 클록으로 동작되도록 설계되었다.

참 고 문 헌

- [1] Keith Jack, *Video Demystified*, LLH Technology Publishing, 2001.
- [2] Heinrich Köhne, "2H adaptive Comb Filter Video Processor," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 37, No. 3, pp. 303-308, 1991.
- [3] Sang-Um Choi, Sun-Kyu Kwon, Hyun-Woo Kim, Yong-Sung Kwon, and Yeong-Ho Ha, "Motion adaptive 3D Y/C separation algorithm using motion estimation and motion compensation," *IEEE Transactions on Consumer electronics*, Vol. 47, No. 4, pp. 770-778, 2001.
- [4] Barba J., Scheinberg N., Colef M., and Feria E., "Hadamard transform seperation of NTSC component signals," *IEEE International Conference on ICASSP'85*, Vol. 10, pp. 1313-1316, 1985.
- [5] Virgil L. Lowe and John W. Curtis, *Composite video decoder for providing A high qualityvideo serial digital output*, U.S. Patent 6300985, USA, 2001.
- [6] Virgil L. Lowe and John W. Curtis, *Digital Comb Filter For decoding Composite Video Signals*, U.S. Patent 6278495, USA, 2001.
- [7] Roger N. Robinson and Roy S. Sutherland, *Video Signal Luminance And Chrominance Separation*, U.S. Patent 6333764, USA, 2001.
- [8] Yoshio Higuchi, *Video Signal Processor*, U.S. Patent 6347179, USA, 2002.
- [9] Tian-Min Liu, Loke Kun Tan, Steven T. Jaffe, and Robert A. Hawley, *NTSC Interference Rejection Filter*, U.S. Patent 6344871, USA, 2002.
- [10] E. Dubois, "The Sampling and Reconstruction of Time-Varying Imaginary with Application in Video Systems," *Proceedings of the IEEE*, Vol. 73, No. 4, pp. 502-522, 1985.
- [11] Ching-Chih Kuo and Yen-Ting Chen, "New Method For The Implementation Of An NTSC Digital Video Decoder," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 48, No. 2, pp. 265-274, 2002.
- [12] Robi Polikar, *The Wavelet Tutorial Second Edition*, <http://engineering.rowan.edu/~polikar>
- [13] Greg Rogers, *Guide to Comb Filters : Y/C Separation*, <http://www.cybertheater.com>
- [14] Michael Robin and Michel Poulin, *Digital Television Fundamentals*, McGraw-Hill, 1997.
- [15] John P. Rossi, *Comb Filter For Television Signals Having Adaptive Features*, U.S. Patent 4050084, USA, 1977.
- [16] Rao and Bopardikar, *Wavelets Transforms: Introduction to Theory and Applications*, Addison-Wesley, 1998.



김 남 섭

1990년 경희대학교 전자공학과 학사
1992년 경희대학교 전자공학과 석사
2000년~현재 경희대학교 전자공학과 박사 과정.
관심분야: 반도체 설계, 스테레오 비전, SoC Testing



조 원 경

1971년 경희대학교 전자공학과 학사
1973년 한양대학교 전자공학과 석사
1986년 한양대학교 전자공학과 박사
1980년~현재 경희대학교 전자공학과 정교수
관심분야: VLSI설계, 마이크로프로세서