

시공간 3차원 결합 잡음제거 필터의 구현

홍성환^{*○}, 김희순^{*}, 최종섭^{*},
이광욱^{*}, 노형호^{*}, 홍성훈^{*}

*전남대학교 정보통신공학부

guy155@dreamwiz.com

Implementation of Spatio-Temporal 3-D Joint Noise Reducer

Sung-Hwan Hong^{*}, Hee-Sun Kim^{*}, Jong-Seb Choi^{*},
Kwang-Wook Lee^{*}, Hyeong-Ho Noh^{*}, Sung-Hoon Hong^{*}

^{*}School of Electronics & Computer Engineering, Chonnam National University

요약

본 논문에서는 시공간 3차원 잡음 제거기의 ASIC 설계 및 구현결과를 소개한다. 구현된 잡음 제거기는 휘도와 색차신호에 대한 잡음제거 필터들로 구성된다. 휘도에 적용한 필터는 A-MEAN 필터와 A-LMMSE 필터를 결합한 형태의 필터를 시공간적으로 연결한 필터로써, 특히 시간방향으로 IIR 필터 형태를 갖도록 설계하여 평탄한 영상영역에서 보다 강한 잡음 제거 효과를 갖도록 하였다. 한편, 색차신호에 대해서는 5탭 길이를 갖는 1차원 A-MEAN 필터를 적용하였다. C-언어를 이용한 시뮬레이션을 통해 설계된 잡음 제거기의 성능을 평가하였고, VHDL과 C-언어에 의한 시뮬레이션 결과를 비교하여 VHDL-코드의 검증을 수행했다. 구현과정은 시뮬레이션과 논리합성 등 전반부 설계를 Synopsys 툴을 이용하여 수행했고, 레이아웃 등 후반부 설계를 Cadence 툴과 Apollo 툴을 이용하여 수행했다.

I. 서론

카메라를 통해 획득되고 채널을 통해 전송된 비디오 신호에는 비디오 획득과정과 전송과정에서 필수적으로 잡음이 부가된다. 이러한 잡음은 시청자에게 열화된 영상을 제공하고, 보다 고품질의 영상을 제공하기 위한

영상 처리과정에 부적절한 영향을 미친다. 또한 잡음은 비디오 신호의 엔트로피(entropy)를 증가시키므로 잡음이 포함된 영상을 압축할 경우 압축효율이 감소된다. 따라서 비디오 압축 부호기의 전처리 또는 복호기의 후처리 등에서 이러한 문제를 해결하기 위한 잡음제거 처리를 수행한다.

잡음을 제거함과 동시에 영상신호의 선명도를 유지하는 필터에 대한 여러 연구들이 진행되어 왔는데, 구현의 복잡도와 성능 측면에서 적합한 잡음제거 방식으로는 A-MEAN^[1]과 A-LMMSE^[2] 방식들이 있다. 또한 Hong에 의해 두 방식들을 조합한 형태의 3차원 잡음제거 방식^[3]이 제시되었는데, 이 방식은 A-MEAN과 A-LMMSE 방식들과 비교하여 평탄한 영상영역에 대해서는 보다 강한 잡음제거를 수행하면서도 영상의 선명도를 잘 유지하는 잡음제거 방식이다.

본 논문에서는 휘도와 색차신호를 입력으로 하는 영상처리 응용의 전처리 또는 후처리에 적용 가능한 잡음제거기의 ASIC 설계 및 구현 결과를 소개한다. 구현된 잡음 제거기는 휘도와 색차신호에 대한 잡음제거 필터들로 구성된다. 휘도에 적용한 필터는 Hong이 제시한 시공간 3차원 결합 잡음제거 필터^[3]를 적용하였는데, 소요되는 라인 메모리가 1/2로 감축되면서도 유사한 잡음제거 성능을 갖도록 알고리즘을 변형하여 구현하였다

한편, 색차신호에는 5탭 길이를 갖는 1차원 A-MEAN 필터를 적용하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 구현된 잡음 제거기의 구조와 이론적 배경을 설명하고, III. 장에서는 잡음 제거기의 설계와 구현 결과를 소개한 후, IV. 장에서 결론을 맺는다.

II. 구현된 잡음 제거기의 이론과 구조

그림 1은 구현된 잡음제거 필터의 구성을 나타낸 것으로 빗금영역이 ASIC 설계 및 구현된 영역이고, 2개의 라인 메모리(LM)와 프레임 메모리(FM)는 별도의 외부 메모리이다. 휘도(Y)에 대한 필터는 3x3 A-MEAN 필터와 A-LMMSE 필터로 구성된 공간결합필터(SJ)와 1x8 A-MEAN 필터와 A-LMMSE 필터로 구성된 시간결합필터(TJ)가 연결된 형태의 필터이고, 색차신호(U/V)에 대한 필터는 1x5 A-MEAN 필터이다.

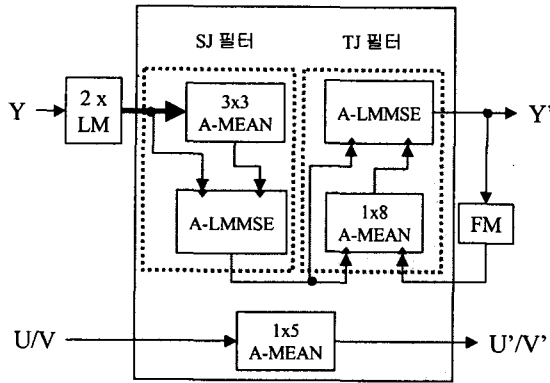


그림 1. 구현된 잡음 제거기의 구조

$$\mu_g = \frac{1}{N} \sum_{i,j=-1}^{+1} \omega_{i,j} \cdot g_{i,j} \quad (1)$$

$$\omega_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{for } |g_{0,0} - g_{i,j}| \leq T \\ 0 & \text{for } |g_{0,0} - g_{i,j}| > T \end{cases}$$

여기서 N 은 $g_{0,0}$ 와의 차이가 임계치 T 를 넘지않는 화소의 개수인데, 임계치는 영상에 포함된 잡음에 대한 표준편차 σ_n 의 3배인 값을 사용하였다(즉, $c = 3 \cdot \sigma_n$). 결국 A-MEAN는 평탄한 영상영역에 대해서는 9개의 화소의 평균을 출력하므로 강한 잡음제거 처리를 수행하고, 천이영역과 같이 변화가 큰 영상영역에 대해서는 필터 처리를 수행하지 않으므로 영상의 선명도를 유지시킨다.

3x3 A-MEAN 필터는 그림 2에서 필터 처리되는 화소가 $g_{0,0}$ 인 경우 필터 처리결과가 식 (1)과 같이 9개의 화소 중 $g_{0,0}$ 와 유사한 값을 갖는 화소들에 대한 평균값이 된다.

$g_{-1,-1}$	$g_{0,-1}$	$g_{+1,-1}$
$g_{-1,0}$	$g_{0,0}$	$g_{+1,0}$
$g_{-1,+1}$	$g_{0,+1}$	$g_{+1,+1}$

그림 2. 3x3 A-MEAN 필터처리 영역

한편 A-LMMSE 필터는 3x3 A-MEAN 필터의 출력인 μ_g 와 입력 화소 $g_{0,0}$ 에 대해 식 (2)의 연산을 수행한다.

$$\mu_s = \alpha \cdot g_{0,0} + \{1 - \alpha\} \cdot \mu_g \quad (2)$$

$$\alpha = \sigma_f^2 / (\sigma_f^2 + \sigma_n^2)$$

여기서 σ_f^2 와 σ_n^2 는 각각 원신호의 분산과 잡음의 분산이다. 식 (2)에서 평탄한 영상영역에서는 신호의 분산이 매우 작으므로 가중치 α 는 '0'에 근접하게 되고, 변화가 큰 영상영역에서는 신호의 분산이 잡음의 분산보다 매우 크므로 가중치 α 는 '1'에 근접하게 됨을 알 수 있다. 따라서 A-LMMSE 필터의 출력 μ_s 는 평탄 영역에서는 μ_g 와 유사한 값이 되고, 변화가 큰 영상영역에서는 $g_{0,0}$ 와 유사한 값이 됨을 알 수 있다.

시간결합필터(TJ)는 공간결합필터의 출력 μ_s 와 이미 잡음제거 처리된 이전 프레임의 화소값들을 입력으로 하여 1x8 A-MEAN 필터와 A-LMMSE 처리를 수행한다.

1x8 A-MEAN 필터는 그림 3에 나타난 바와 같이 μ_s 를 중심 화소로 하고 프레임 메모리에 저장된 이전 프레임의 화소들 중 $g_{0,0}$ 와 동일한 위치에 있는 화소를 포함한 7개의 화소에 대해 식 (1)의 연산을 수행한다. 프레임 메모리에 대한 읽기/쓰기 제어에서 주의해야 할 사항은 SJ 필터에 의해 잡음제거 처리되는 화소는 라인 메모리에 의해 1 라인 지연된 화소이므로 프레임 메모리에서 읽는 화소 역시 1 라인 지연된 화소가 되도록 제어해야 하는 것이다.

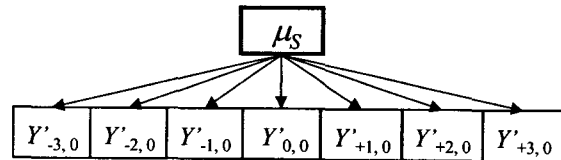


그림 3. 1x8 A-MEAN 필터처리 영역

한편 A-LMMSE 필터는 1x8 A-MEAN 필터의 출력인 μ_T 와 SJ 필터의 출력인 μ_s 를 대해 식 (3)의 연산을 수행하여 최종적으로 잡음이 제거된 휘도(Y')를 출력하고, 이 출력 Y' 는 프레임 메모리에 저장되어 다음 프레임

입력 영상의 잡음제거에 이용된다.

$$Y' = \beta \cdot \mu_S + (1 - \beta) \cdot \mu_T \quad (3)$$

$$\beta = \sigma_{ST}^2 / (\sigma_{ST}^2 + \sigma_n^2)$$

여기서 σ_{ST}^2 는 식 (4)로 구해지는 신호의 시공간 분산 (spatio-temporal variance)으로써 영상신호의 시공간적인 변화를 의미하는데, S는 그림 3에 나타난 Y'와 공간적으로 동일한 위치를 의미한다.

$$\sigma_{ST}^2 = \max\{\sigma_f^2, \{\sigma_d^2 - \sigma_n^2\}/2\} \quad (4)$$

$$\sigma_d^2 = \frac{1}{S} \left\{ \sum_{(i,j) \in S} (g(i,j,t) - Y'(i,j,t-1))^2 \right\}$$

결국 움직임이 있는 천이영역과 같이 시공간적인 변화가 큰 영역에서는 σ_d^2 가 크므로 σ_{ST}^2 가 큰 값을 갖게 되고 (3)에서 가중치 β 는 '1'에 가까운 값이 된다. 따라서 최종 출력 Y'는 SJ 필터의 출력 μ_S 와 유사한 값을 갖는다. 또한 μ_S 역시 공간적으로 변화가 큰 영역에 대해서는 약한 잡음제거를 수행하므로 최종 출력은 입력 신호에 가까운 값을 유지하게 되므로 영상의 선명도를 유지한다. 반대로 변화가 적은 평탄한 영상영역의 경우는 움직임이 있더라도 시공간적인 변화가 적으므로 σ_{ST}^2 가 작은 값을 갖게 되고 최종 출력 Y'는 시공간적으로 매우 강한 잡음제거가 수행된다. 특히 구현된 잡음제거 방식은 이미 잡음 제거된 이전 프레임의 화소값들이 다시 입력 화소의 잡음제거에 이용되는 IIR (infinite impulse response) 필터 구조를 갖으므로 시공간적으로 변화가 적은 영상영역에 대해 매우 강한 잡음제거를 수행한다.

한편 색차신호에는 5탭 길이를 갖는 1차원 A-MEAN 필터를 적용하였는데, 이는 색차신호의 대역폭이 휘도에 비해 적으므로 색차신호에 포함된 잡음의 분산이 작게 되고, 결국 색차신호는 휘도에 비해 잡음의 영향을 적게 받기 때문이다.

본 장에서 설명한 잡음 제거기는 잡음의 분산 또는 표준편차에 따라 잡음 제거 강도를 조절하므로 잡음 측정의 정확성에 매우 중요하다. 잡음을 측정하는 방법으로는 영상의 평탄영역에서 잡음의 분산을 구하는 방법과 영상신호가 포함되지 않은 동기신호 영역에서 잡음의 분산을 구하는 방법이 있다. 제시된 잡음 제거기의 초기 설계에서는 전자에 의한 방법을 설계하였으나, 구현되는 칩의 복잡도와 핀에 대한 제한 조건에 의해 최종 설계에서는 잡음 검출부를 제외시키고, 외부에서 잡음의 크기에 대한 값을 입력하도록 하여 잡음제거 강도를 조절할 수 있게 설계하였다.

III. 잡음 제거기의 구현

기존 Hong^[3]의 방식은 시간결합필터(TJ) 역시 3x3 영역에 대해 필터처리를 수행하므로 1개의 프레임 메모리와 4개의 라인 메모리를 필요로 한다. 그러나 구현된 잡음 제거기는 TJ 필터에 대해서는 1차원 A-MEAN 필터를 사용함으로써 2개의 라인 메모리를 절감했다. 또한 식 (1) ~ 식 (4)의 연산을 구현하기 위해서는 넓은 면적을 차지하는 나눗셈기가 다수 필요하지만 구현과정에서는 모든 나눗셈 연산을 곱셈기와 ROM을 이용하여 대체하였다.

이와 같은 알고리즘의 수정과 내부 연산의 정도는 C-언어에 의한 시뮬레이션에 의해 검증하였고, 이를 VHDL을 이용하여 설계하였다. 로직합성과 검증은 Synopsys사의 설계 컴파일러를 사용하였으며, 타이밍 시뮬레이션은 Cadence Verilog-XL를 이용하였다.

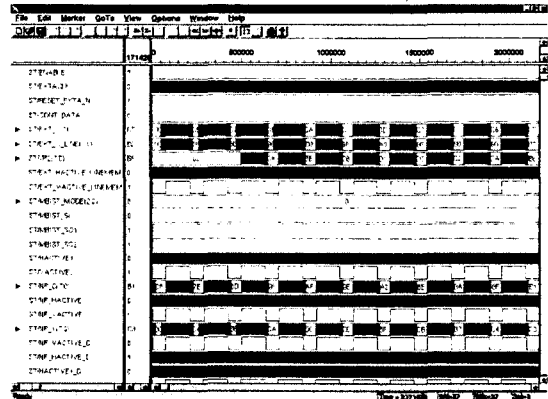


그림 4. 로직 시뮬레이션 결과

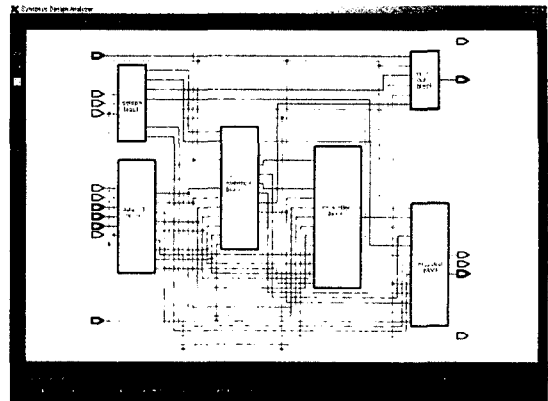


그림 5. Top 블록

시뮬레이션에 적용된 시스템 클록은 100MHz에서 동작 되도록 하였다. 그림 4는 Synopsys 툴을 이용한 로직 시뮬레이션 결과이고, 그림 5와 6은 각각 Top 블록과 이에 대한 합성결과를 보여준다. 합성 시 라이브러리는 현대 0.35 μ m Phantom Cell 공정을 사용하였다.

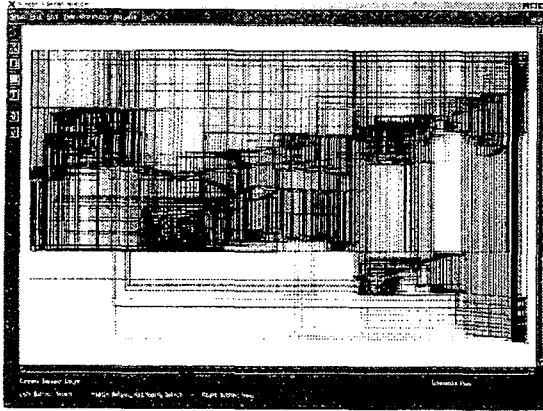


그림 6. 합성(Synthesis) 결과

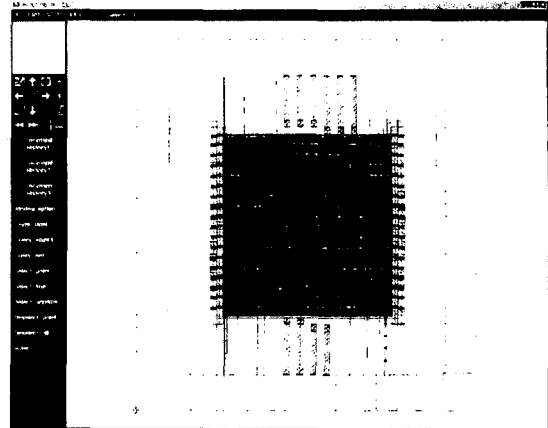


그림 8. 제안된 필터의 레이아웃 결과



(a) 입력영상



(b) 출력영상

그림 7. VHDL 시뮬레이션 입출력 영상

최종적인 로직 검증은 잡음이 첨가된 영상파일을 입력으로 VHDL 시뮬레이션 결과와 C-코드 결과를 비교하였는데, 그림 7은 입력영상과 VHDL 시뮬레이션 결과로 출력된 영상을 보여준다.

그림 8은 Synopsys 툴을 이용하여 출력한 Verilog 파일을 Apollo 툴을 사용하여 Auto P&R을 통해 레이아웃한 결과이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 영상신호에 포함된 잡음을 제거하는 3차원 필터의 ASIC 설계 및 구현결과를 소개하였다. 구현된 잡음 제거기는 휘도신호의 잡음제거 필터로 IIR 필터 형태의 3차원 시공간필터를 적용하였고, 색차신호에 대해서는 5탭 길이를 갖는 1차원 A-MEAN 필터를 적용하였다. VHDL과 C-언어에 의한 시뮬레이션을 통해 알고리즘과 로직 설계를 검증하였다. 시뮬레이션과 논리합성 등 전반부 설계를 Synopsys 툴을 이용하여 수행했고, 레이아웃 등 후반부 설계를 Cadence 툴과 Apollo 툴을 이용하여 수행했다. 본 논문에서 소개한 잡음 제거기는 현재 제 15차 MPW, 현대 0.35 μm 공정에 의해 칩 제작이 진행 중에 있고, 약 4만 5천 게이트 정도가 소요되었다

* 본 논문은 일부 “한국과학재단 지정 전남대학교 고품질전기전자부품 및 시스템 연구센터의 연구비 지원”에 의해 연구되었음.

[참고문헌]

- [1] C. A. Pomalaza-Raez and C. D. McGillem, “An Adaptive, Nonlinear Edge-Preserving Filter,” *IEEE Trans. on Acoustics and Signal Processing*, vol. ASSP-32, no. 3, pp. 571~576, June 1984.
- [2] D. T. Kuan, A. A. Sawchuk, T. C. Strand, and P. Chavel, “An Adaptive Noise Smoothing Filter for images with signal-dependent noise,” *IEEE Trans. Patt. Anal. Mach. Intel.*, vol. PAMI-7, No. 2, pp. 165~177, Mar. 1985.
- [3] 홍성훈, “제 13 회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵 발표 논문집,” 107~112, 2001. 1. 10.