

저연산을 위한 수정된 3차 회선 스케일러 구현

전영현[†], 윤종호^{**}, 박진성^{***}, 최명렬^{****}

요 약

본 논문에서는 디지털 영상을 확대하거나 축소하기 위한 수정된 3차 회선(Cubic Convolution) 스케일러를 제안하였다. 제안된 기법은 기존의 3차 회선 기법보다 적은 연산량을 가진다. 연산량을 감소시키기 위해 인접 화소의 차이값을 이용한 보간 기법을 선택하였고, 기존 3차 회선 기법의 3차 함수를 선형 함수로 변경하였다. 제안된 기법의 가중치를 계산하기 위해 덧셈기와 배럴 쉬프트(Barrel Shift)를 사용하였다. 제안된 기법은 기존의 기법과 연산량 그리고 화질에 대하여 비교하였다. 제안된 기법은 HDL로 설계 및 검증을 하였고, Xilinx Virtex FPGA을 사용하여 합성하였다.

Implementation of a Modified Cubic Convolution Scaler for Low Computational Complexity

Young-Hyun Jun[†], Jong-Ho Yun^{**}, Jin-Sung Park^{***}, Myung-Ryul Choi^{****}

ABSTRACT

In this paper, we propose a modified cubic convolution scaler for the enlargement or reduction of digital images. The proposed method has less computational complexity than the cubic convolution method. In order to reduce the computational complexity, we use the linear function of the cubic convolution and the difference value of adjacent pixels for selecting interpolation methods. We employ adders and barrel shifts to calculate weights of the proposed method. The proposed method is compared with the conventional one for the computational complexity and the image quality. It has been designed and verified by HDL(Hardware Description Language), and synthesized using Xilinx Virtex FPGA.

Key words: Scaler(스케일러), Interpolation(보간 기법), Cubic Convolution(3차 회선)

1. 서 론

멀티미디어 산업의 발달과 전자 시스템의 급속한 보급으로 인하여 디스플레이 장치에서 다양한 크기의 디지털 영상 활용이 증가되고 있다. 다양한 해상도(QCIF~WUXGA)의 디지털 영상을 디스플레이 장치(LCD 모니터, HDTV 등)에 표현하기 위하여 입

력 영상의 해상도를 출력 되는 디스플레이 해상도에 맞게 조절해야 하며, 이를 위해 보간 기법을 사용한다. 보간 기법의 원리는 입력되는 영상을 연속적인 데이터로 보고 출력 해상도에 맞게 다시 샘플링(Sampling) 하는 것이다.

보간 기법에는 출력 해상도에 맞게 새롭게 생성시킬 화소의 값을 인접한 화소 값으로 사용하는 최소

※ 교신저자(Corresponding Author) : 최명렬, 주소 : 경기도 안산시 상록구 사1동 한양대학교 창업보육센터 405호 (426-791), 전화 : 031)400-4036, FAX : 031)400-3889, E-mail : choimy@asic.hanyang.ac.kr

접수일 : 2006년 9월 4일, 완료일 : 2007년 1월 15일

[†] LG전자 DM사업본부 개발실 연구원

(E-mail : impword@gmail.com)

^{**} 한양대학교 일반대학원 전자전기 제어계측공학과 (E-mail : sfw1176@asic.hanyang.ac.kr)

^{***} 준회원, 유한대학 정보통신과 강의전담교수 (E-mail : pjs72@asic.hanyang.ac.kr)

^{****} 정회원, 한양대학교 전자컴퓨터공학부

※이 연구에 참여한 연구자(의 일부)는 「2단계 BK21 사업」의 지원비를 받았다

근접(Nearest Neighbor) 기법이 있으며 가장 간단하게 구현할 수 있지만, 인접한 화소값의 단순 복사로 인해 톱니모양 현상이 발생한다[1]. 양선형(Bilinear) 기법은 선형방정식을 사용하는 방법으로 일반적으로 많이 사용하는 기법이며 최소 근접 기법보다 좋은 성능을 가지고 있다[2]. 3차 회선(Cubic Convolution) 기법은 3차 방정식을 사용하는 방법으로 다른 기법에 비해 성능은 좋으나 많은 연산량이 필요하다[3]. 보간 기법은 확대한 이미지의 화질열화를 가지고 오며, 이러한 화질열화 현상은 경계치 부분에서 영상이 흐려지게 나타난다[4-7].

본 논문에서는 기존의 3차 회선 기법을 변형하여 연산량을 감소시키는 기법을 제안한다. 제안된 기법은 기존의 3차 회선 기법의 3차 함수를 선형 함수로 변경하고, 인접한 화소값을 이용하여 보간 기법을 선택 하였다. 제안된 기법에서는 선형 함수의 곱셈기를 배럴 쉬프트(Barrel Shift)로 사용하여 하드웨어 복잡도를 줄였다[8].

본 논문의 2장에서는 기존의 보간 기법을 소개하고, 3장에서는 제안된 기법을 설명하였다. 4장에서는 시뮬레이션을 통한 기존 기법과의 성능을 비교하고 5장에서 결론에 대하여 논하였다.

2. 기존의 보간 기법

일반적인 보간 기법으로는 최소 근접(Nearest Neighbor) 기법, 양선형(Bilinear) 기법, 3차 회선(Cubic Convolution) 기법이 있다[1-3].

2.1 최소 근접(Nearest Neighbor) 기법

최소 근접 기법은 보간 기법 중에서 가장 간단한 방법이다. 새로운 화소를 생성시키기 위해 인접한 화소를 복사하여 사용하므로 추가적인 연산이 필요하다. 그러나 인접 화소를 복사하여 사용함으로써 톱니모양 현상이 나타나며, 대각선 라인에서 두드러지게 나타나는 특성이 있다.

2.2 양선형(Bilinear) 기법

양선형 기법은 보간 기법 중에서 일반적으로 많이 사용되는 기법이다. 새로운 화소(N)를 생성시키기 위해 인접한 4개의 화소(NW, NE, SW, SE)에 가중

치를 곱한 평균값을 사용한다. 가중치는 새로운 화소와 인접 화소의 거리(X_x, Y_y)로 구한다. 3개의 선형 보간이 필요하며, 식(1),(2),(3)과 그림 1은 양선형 기법을 나타낸다. 식(1)과 식(2)에서 수평 방향으로 보간을 하고 식(3)에서 수직 방향으로 보간을 수행하여 새로운 화소를 생성한다.

$$A = NW + X_x (NE - NW) \tag{1}$$

$$B = SW + X_x (SE - SW) \tag{2}$$

$$C = B + Y_y (A - B) \tag{3}$$

X_x 는 수평방향에서 새로운 화소와 인접 화소의 거리, Y_y 는 수직방향에서 새로운 화소와 인접 화소의 거리를 의미한다.

2.3 3차 회선(Cubic Convolution) 기법

3차 회선 기법은 인접 화소와의 연관성이 고려된 방법으로 앞에서 설명한 기법들 보다 선명한 화질을 표현하지만 연산량이 많다. 인접한 16개의 화소를 사용하여 새롭게 생성하는 화소를 생성하며, 3차 함수를 사용하여 가중치를 구한다. 식(4)는 1차원 3차 회선 기법의 수식을 나타낸다.

$$g'(x) = \sum_{i=1}^4 g_i f(s-s_i), \quad x = s-s_i, \quad 0 \leq x \leq 1, \quad s_i \leq s \leq s_{i+1} \tag{4}$$

$g'()$ 는 새롭게 생성될 화소, g_i 는 원영상 화소, f 는 보간 함수, s 는 새로운 화소의 위치, s_i 는 인접화소의 위치, x 는 새로운 화소와 인접화소의 거리이다. 원영상의 화소 사이의 거리는 1이며 새로운 화소와 인접 화소의 최대 거리는 1미만의 값을 가진다.

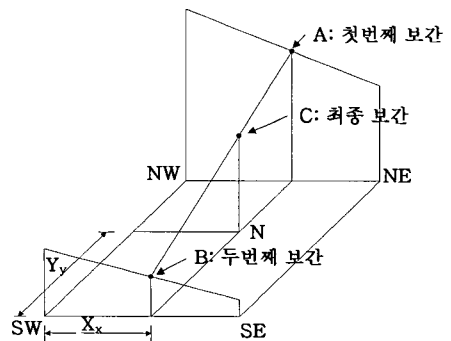


그림 1. 양선형 보간 기법

1차원 3차 회선 함수는 식(5)으로 정의하며 그림 2에 도시하였다. 그림 2에 x축은 화소의 거리를 나타내며, y축은 가중치 값을 나타낸다.

$$f(x) = \begin{cases} (a+2)|x|^3 - (a+3)|x|^2 + 1 & 0 \leq |x| < 1 \\ a|x|^3 - 5a|x|^2 + 8a|x| - 4a & 1 \leq |x| < 2 \\ 0 & 2 \leq |x| \end{cases} \quad (5)$$

1차원 3차 회선은 수평 보간과 수직 보간을 수행하여 2차원 보간을 한다. 그림 3은 1차원 3차 회선을 이용하여 2차원 보간의 수행 방법을 나타낸다. 입력되는 영상의 수평라인 4개에 대해 1차원 3차 회선으로 수평 보간을 수행하고, 새롭게 생성된 수평 보간 값을 이용하여 수직 보간을 수행한다.

3. 제안된 보간 기법

기존의 3차 회선 기법은 성능은 좋지만 연산량이

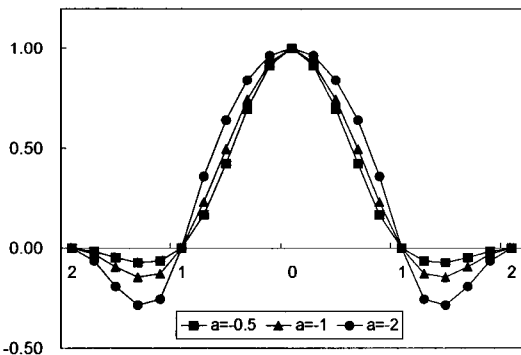


그림 2. 3차 회선 함수

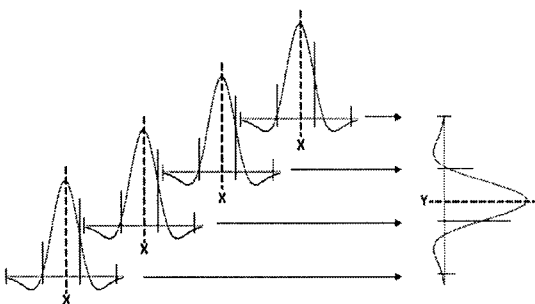


그림 3. 2차원 3차 회선 기법

많은 단점을 가지고 있다. 우리는 새롭게 생성될 화소의 인접 화소값을 이용하여 보간 기법을 선택하고, 기존의 3차 회선 기법의 3차 함수를 선형 함수로 변경하는 것을 연구하였다[4]. 기존의 3차 회선 기법은 4번의 수평 보간과 1번의 수직 보간이 필요하며 보간 함수는 3차 함수를 사용한다[1]. 한번의 수평 보간에 4개의 화소를 참조 함으로 보간 함수를 4번 연산해야 한다. 이러한 3차 함수를 선형 함수로 변환하여 사용되는 곱셈기 수를 하나로 감소시켰다.

3.1 제안된 선형 함수

본 논문에서는 기존의 3차 함수를 선형 함수로 변경하기 위해 구간을 0.25, 1과 1.25로 나누어서 선형 함수를 생성하였다. 식(6)은 3차 회선 기법의 a=-1 일 때 제안된 선형 함수를 나타내며, 그림 4는 기존의 3차 회선 함수와 제안된 선형 함수를 나타낸다. 그림 4에 x축은 화소의 거리를 나타내며, y축은 가중치 값을 나타낸다.

$$f(x) = \begin{cases} -0.375|x| + 1 & 0 \leq |x| < 0.25 \\ -1.25|x| + 1.25 & 0.25 \leq |x| < 1 \\ -0.625|x| + 0.625 & 1 \leq |x| < 1.25 \\ 0.25|x| - 0.5 & 1.25 \leq |x| < 2 \end{cases} \quad (6)$$

표 1은 새롭게 생성될 화소 당 연산량을 비교하였다. 1차원 보간 기법에 필요한 가중치 연산, 참조 화소 연산, 메모리 연산을 비교하였으며 제안된 기법이 기존의 3차 회선 기법에 비해 50% 정도 연산량을 감소시킬 수 있다.

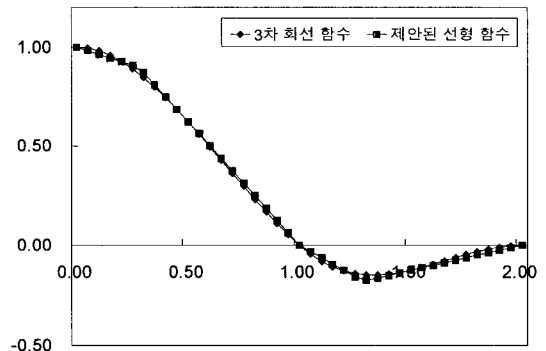


그림 4. 기존의 3차 회선 함수와 제안된 선형 함수

표 1. 화소 당 연산량 비교

보간 기법	가중치 연산	참조 화소 연산	메모리 연산
양선형 기법	곱셈: 0 덧셈: 2	곱셈: 4 덧셈: 3	읽기: 4 쓰기: 1
3차 회선 기법	곱셈: 10 덧셈: 15	곱셈: 16 덧셈: 15	읽기: 16 쓰기: 1
제안된 기법	곱셈: 5 덧셈: 5	곱셈: 8 덧셈: 7	읽기: 8 쓰기: 1

그림 5는 제안된 선형 함수의 하드웨어 구조를 나타내며, 제안된 선형함수의 곱셈기를 덧셈기와 배럴 쉬프트로 설계하였다. S_x 는 원영상의 화소 사이의 거리이며 제안된 선형 함수에 의해 4개의 가중치 값 ($f(x-1)$, $f(x)$, $f(x+1)$, $f(x+2)$)을 산출한다.

3.2 보간 기법 선택 방법

영상의 특성을 분석하면 인접 화소의 차이가 크지 않다. 식(7)는 인접 화소의 차이값을 구하기 위한 수식을 나타낸다.

$$Diff(x_k) = abs |g(x_k) - g(x_{k+1})| + abs |g(x_k) - g(x_{k-1})| / 2 + abs |g(x_{k+1}) - g(x_{k+2})| / 2 \quad (7)$$

식(8)은 연산량을 줄이기 위한 보간 기법의 선택 방법을 나타낸다. 새롭게 생성되는 화소 위치에서 주변의 화소의 차이가 크지 않을 때에는 양선형 기법을 사용하고, 인접 화소의 차이가 클 때는 제안된 기법을 사용하였다. 보간 기법을 선택하기 위해 인접 화소의 차이값을 경계치로 사용하였다. 그림 6은 경계치에 따라 그림10의 영상들에 보간 기법을 확대 후 축소, 축소 후 확대 했을 때 RMSE(Root Mean

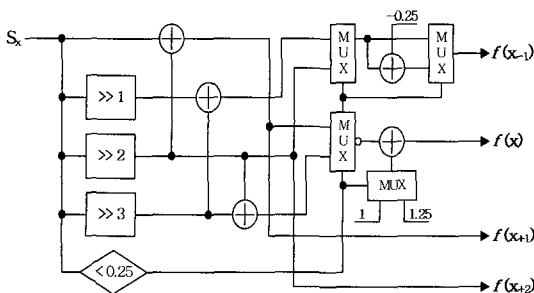


그림 5. 제안된 선형 함수의 하드웨어 구조

Square Error)의 평균을 나타낸다. 여기서 확대 후 축소와 축소 후 확대 곡선의 교차점인 30을 경계치로 결정하였다.

$$f(x_k) = \begin{cases} \text{양선형 함수}(x_k) & , \text{인접 화소의 차이값}(x_k) < \text{경계치} \\ \text{제안된 선형 함수}(x_k) & , \text{인접 화소의 차이값}(x_k) \geq \text{경계치} \end{cases} \quad (8)$$

그림 7은 Zoneplate 영상을 사용하여 제안된 기법과 기존 보간 기법의 주파수 특성을 비교하였다. 제안된 기법은 기존의 3차 회선 기법에 비교하여 비슷한 고주파수 특성을 나타내었다.

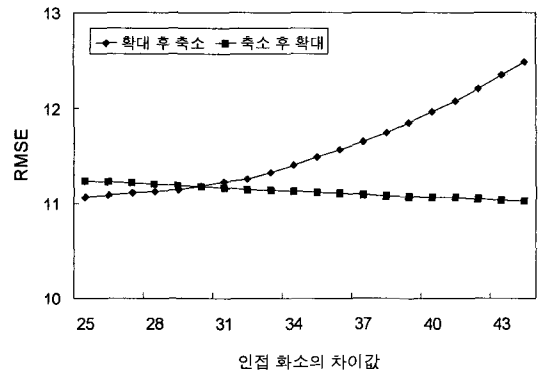


그림 6. 확대 후 축소, 축소 후 확대 RMSE

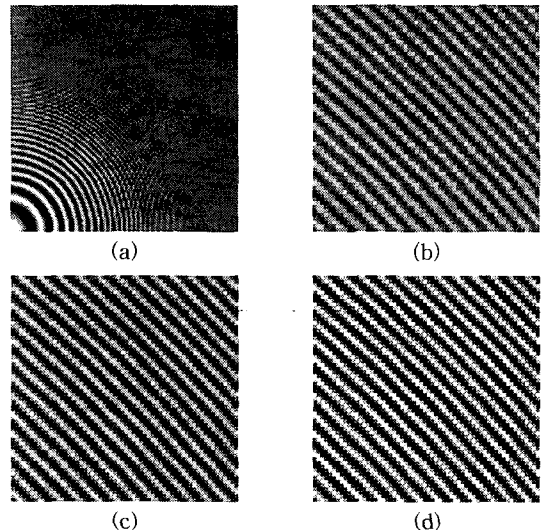


그림 7. Zoneplate 영상의 1.6배 확대 영상: (a) 원영상, (b) 양선형 기법으로 처리된 영상, (c) 3차 회선 기법으로 처리된 영상, (d) 제안된 기법으로 처리된 영상

그림 8은 제안된 기법의 처리 절차를 나타낸다. 먼저 디스플레이 장치에 맞게 입력 영상의 확대 또는 축소에 필요한 영상의 동기 신호를 생성한다. 그 다음 입력 영상과 출력 영상의 비율로 새롭게 생성될 화소값을 저장하기 위해 라인 메모리를 사용하고, 라인 메모리는 수직 보간에 필요한 라인 수를 메모리 크기로 정한다. 그 다음 새롭게 생성할 화소와 인접한 화소의 차이를 계산하여 제안된 기법 또는 양선형 기법을 선택한다. 그리고 마지막으로 가중치와 참조 화소의 곱으로 새로운 화소를 생성시킨다.

그림 9는 제안된 기법의 수직 스케일러의 블록도이다. 입력 영상은 동기 신호와 함께 수평 화소 데이터가 입력된다. 수직 스케일러를 수행 하려면 최소 4개의 수평 라인 데이터가 필요하며 이를 저장하기 위해 라인 메모리를 사용하였다.

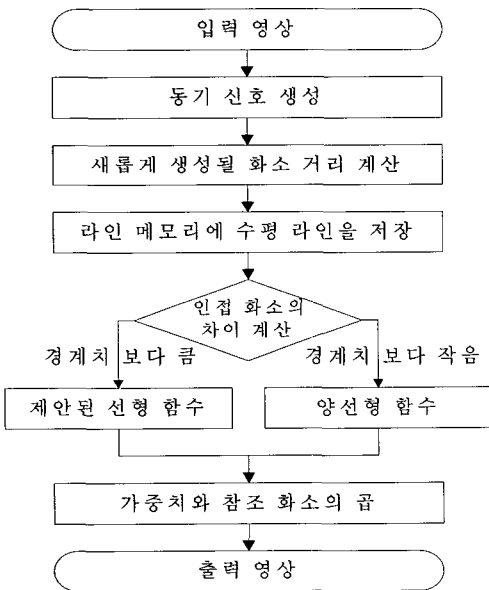


그림 8. 제안된 기법의 처리 절차

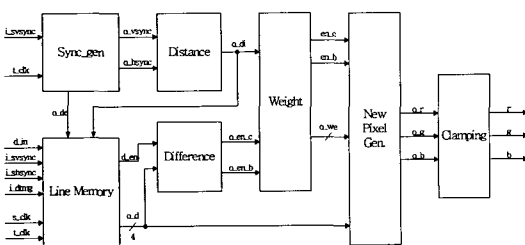


그림 9. 제안된 기법의 수직 스케일러의 블록도

4. 실험 결과

4.1 RMSE 성능 평가

본 논문에서는 제안된 기법의 정량적인 성능 평가를 위해 RMSE를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였으며 시각적 검증을 위해서 1.6배 확대한 영상을 비교하였다. RMSE로 정량적인 평가를 위해서는 실수배로 확대 또는 축소된 영상과 비교할 수 있는 원영상이 필요하지만 존재하지 않는다. 그래서 본 논문에서는 RMSE를 산출하기 위해 영상의 확대 후 축소, 축소 후 확대를 하여 원영상과 비교 평가하였다. 확대 비율은 1.6이며 축소비율은 1/1.6이다. 식(9)은 RMSE를 나타낸다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{\text{Image}} (g(x, y) - g'(x, y))^2}{N}} \quad (9)$$

$g()$ 는 원영상, $g'()$ 는 보간 기법이 적용된 영상, N 은 영상의 총 화소수를 의미한다. 그림 10은 테스트에 사용된 영상을 나타낸다.

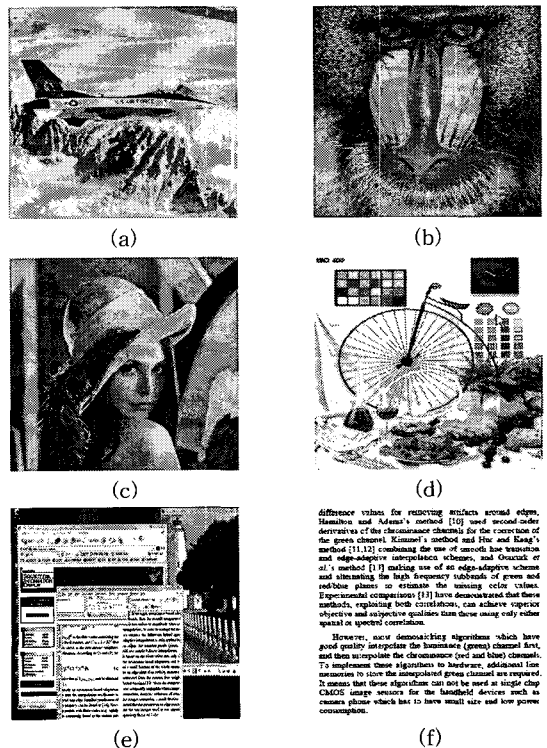


그림 10. 테스트 영상: (a) F16, (b) Baboon, (c) Lena, (d) Bike, (e) Background, (f) Text

표 2와 표 3은 영상의 확대 후 축소와 축소 후 확대의 RMSE를 나타낸다. RMSE 값이 작을수록 원영상과 차이가 작다는 것을 의미한다. 각각의 방법에 대한 RMSE를 비교하면 양선형 기법에 비해서는 전체적으로 우수하며 3차 회선 기법에 비해서는 영상의 경계치가 많은 영상(그림 10. (d), (e), (f))에서 보다 우수한 결과를 보여주고 있음을 확인할 수 있다.

시각적 검증을 위해 대표적인 인물영상인 Lena, 사선이 포함되어 있는 Bike와 텍스트 영상인 Text를 사용하였다. 그림 11, 그림 12, 그림 13은 Lena, Bike, Text 영상의 1.6배 확대 한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 제안된 기법은 에지 부분에서 기존 기법에 비교하여 보다 선명한 영상 결과를 확인하였다.

4.2 합성 결과

본 논문에서 제안된 기법을 Verilog HDL을 사용하여 설계하였다. Xilinx Virtex FPGA Device를 사용하여 Synplify로 합성하였으며 Modelsim을 이용하여 시뮬레이션 검증하였다. 그림 14는 제안된 기법의 전체 블록도를 도시하였다.

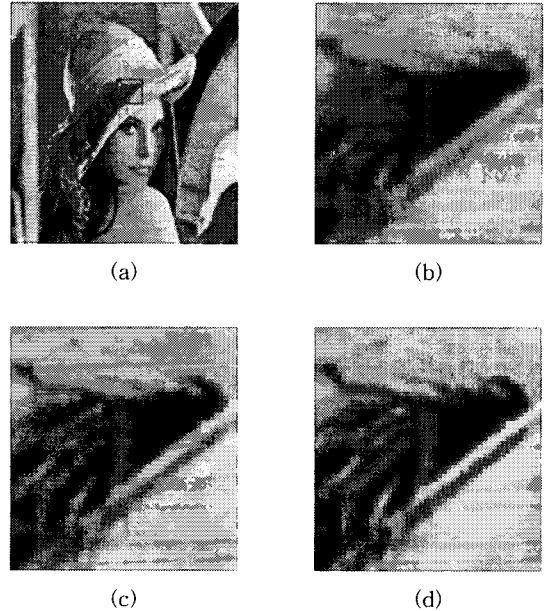


그림 11. Lena 영상의 1.6배 확대 한 시뮬레이션 결과: (a) 원영상, (b) 양선형 기법으로 처리된 영상, (c) 3차 회선 기법으로 처리된 영상, (d) 제안된 기법으로 처리된 영상

표 2. 확대 후 축소 RMSE 비교

보간 기법 / 테스트 영상	양선형 기법	3차 회선 기법	제안된 기법
F16	2.16	1.16	2.05
Baboon	6.73	3.57	4.85
Lena	2.10	1.14	1.95
Bike	7.18	3.60	3.57
Background	9.71	5.81	5.61
Text	21.91	14.86	9.35

표 3. 축소 후 확대 RMSE 비교

보간 기법 / 테스트 영상	양선형 기법	3차 회선 기법	제안된 기법
F16	5.05	4.03	4.12
Baboon	14.87	13.92	14.41
Lena	4.68	3.98	4.06
Bike	16.02	14.30	12.81
Background	22.54	20.70	20.14
Text	49.33	48.46	47.87

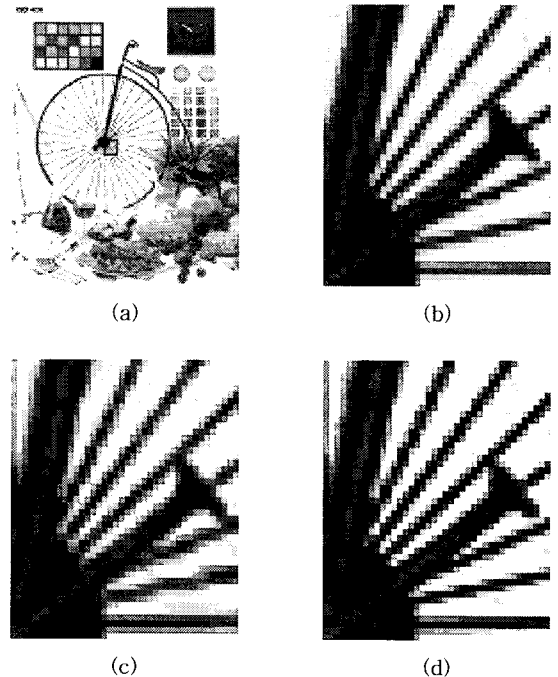


그림 12. Bike 영상의 1.6배 확대 한 시뮬레이션 결과: (a) 원영상, (b) 양선형 기법으로 처리된 영상, (c) 3차 회선 기법으로 처리된 영상, (d) 제안된 기법으로 처리된 영상

deformation rates. The remaining articles around edges, Hough and Adam's method [19] and several other detectors of the various distortions in the coverage of the given channel. Hough's method and the one by Wang's method [11] emphasize the use of several low-pass and high-pass adaptive, anisotropic channels. Also, Grubb et al.'s method [12] using low and high-pass adaptive channels and detecting the high frequency, whereas [1] gives an edge detector. The proposed edge detector, implemented in hardware, is based on the proposed method. Experimental results demonstrate the scheme proposed. The authors suggest that their method may be used in other applications.

However, since detecting algorithm which have good quality, therefore the hardware (FPGA) cannot find, and this algorithm for the hardware (FPGA) cannot find. To implement this algorithm in hardware, additional low-pass and high-pass adaptive channels are required. In addition, this algorithm can not be used in single chip FPGA image sensors for the hardware devices such as camera phone which has to be used for the given application.

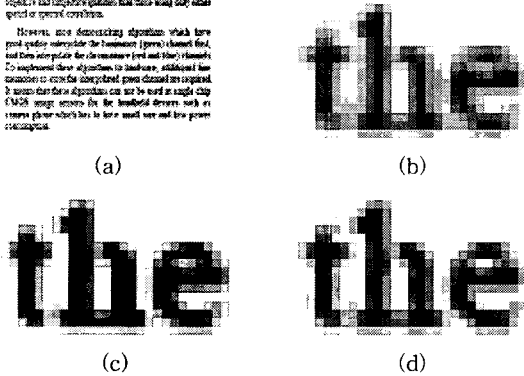


그림 13. Text 영상의 1.6배 확대 한 시뮬레이션 결과: (a) 원영상, (b) 양선형 기법으로 처리된 영상, (c) 3차 회선 기법으로 처리된 영상, (d) 제안된 기법으로 처리된 영상

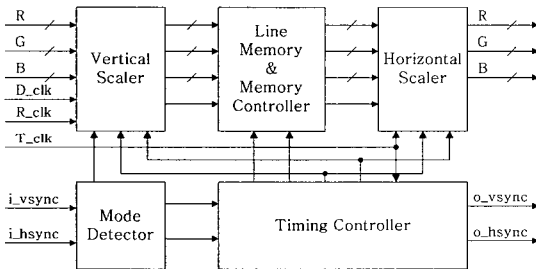


그림 14. 제안된 기법의 전체 블록도

그림 15는 제안된 기법의 Synplify로 합성 결과를 나타낸다. 표 4는 각 블록별로 소요된 게이트 수를 나타낸다.

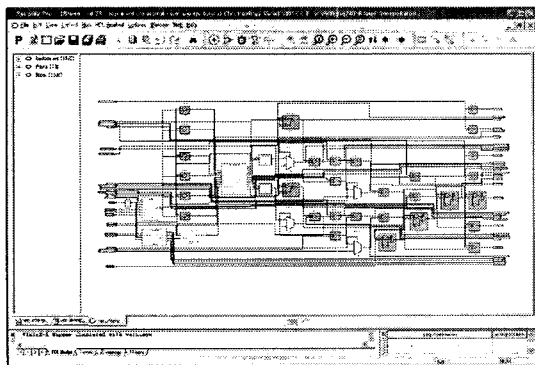


그림 15. Synplify로 합성 결과

표 4. 제안된 기법의 블록별 게이트 수

블록	게이트 수
Vertical Scaler	15,226
Horizontal Scaler	14,991
Mode Detector	550
Time Controller	624
Line Memory & Memory Controller	660,899

5. 결론

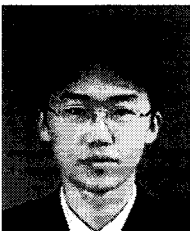
본 논문에서는 다양한 해상도의 영상을 디스플레이 해상도에 맞게 변환하는 보간 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 기존 연산량이 많은 3차 회선 기법의 3차 함수를 선형 함수로 변환하고, 인접한 화소값 차이를 이용하여 보간 기법을 선택하였다. 기존 기법과 정량적인 화질 평가를 위해 RMSE를 도입하였다. 기존의 3차 회선 기법에 비해 RMSE 성능평가에서는 유사한 특성을 보이며, 연산량은 50% 정도 감소시켰다. 경계치가 많은 영상에서 성능은 다소 향상되었으며 시각적 검증에서는 기존 기법과 비교하여 보다 선명한 영상 결과를 확인하였다. 제안된 기법은 입력 영상의 해상도와 디스플레이의 해상도가 다른 FPD(Flat Panel Display), PMP(Portable Multimedia Player), PMC(Portable Media Center) 디스플레이 장치에 적용이 가능하다.

참고 문헌

- [1] R. Crane, *A Simplified Approach to Image Processing*, Prentice-Hall, 1997.
- [2] R. C. Gonzalez, and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Prentice-Hall, 1992.
- [3] R. G. Keys, "Cubic Convolution Interpolation for Digital Image Processing," *IEEE Trans. ASSP*, Vol. ASSP-29, pp. 1153-1160, 1981.
- [4] Y. H. Jun, J. H. Yun, and M. R. Choi, "Modified Cubic Convolution Interpolation for Low Computational Complexity," *IMID/IDMC 2006*, pp. 1293-1296, 2006.
- [5] Y. Bai and H. Zhuang, "On the Comparison

of Bilinear, Cubic Spline, and Fuzzy Interpolation Techniques for Robotic Position Measurements," *IEEE Trans. Inst. Meas.*, Vol. 54, No. 6, pp. 2281-2288, 2005.

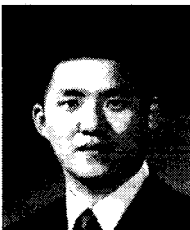
- [6] S. S. Rifman, "Digital Rectification of ERTS Multispectral Imagery," *Pmc. Symposium Signifiant Results Obtained from ERTS-1 (NASA SP-327)*, I, Sec. B, pp. 1131-1142, 1973.
- [7] R. Bernstein, "Digital Image Processing of Earth Observation Sensor Data," *IBAA J. Res. Dewel.*, MI, 20, pp. 40-57, 1976.
- [8] C. H. Kim, S. M. Seong, J. A. Lee, and L. S. Kim, "Winscale: An Image-Scaling Algorithm Using an Area Pixel Model," *IEEE Trans. Circuit and System*, Vol. 13, No. 6, pp. 549-553, 2003.



전 영 현

2003년 경남대학교 전자전기공학과 졸업 (학사)
 2007년 한양대학교 일반대학원 전자전기제어계측공학과 졸업 (공학석사)
 2007년~현재 LG전자 DM사업본부 개발실 연구원

관심분야 : SoC/ASIC설계, 영상처리, RFID



윤 종 호

2001년 한양대학교 제어계측공학과 졸업 (학사)
 2003년 한양대학교 일반대학원 전자전기제어계측공학과 졸업 (공학석사)
 2003년~현재 한양대학교 일반대학원 전자전기제어계측

공학과 박사과정

관심분야 : SoC/ASIC설계, 영상처리, 3D Display system, RFID



박 진 성

1995년 한양대학교 제어계측공학과 졸업 (학사)
 1997년 한양대학교 일반대학원 제어계측공학 졸업 (공학석사)
 2006년 한양대학교 일반대학원 제어계측공학 졸업 (공

학박사)

2000년~2002년 ㈜마니네트웍 개발2팀 팀장
 2003년~2005년 노틸러스효성(주) 개발팀 과장
 2005년~2007년 (주)CEN 연구소장
 2007년~현재 유한 대학 정보통신과 강의전담교수
 관심분야 : SoC/ASIC설계, Smart Card/RFID용용, Security 시스템



최 명 렬

1983년 한양대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1985년 미시간 주립대학교 컴퓨터공학 졸업(공학석사)
 1991년 미시간 주립대학교 컴퓨터공학 졸업(공학박사)
 1991년 3월~10월 생산기술연

구원 전자정보실용화센터 조교수

1991년 11월~1992년 8월 생산기술연구원 산하 전자부품종합기술연구원 선임연구원
 1992년~현재 한양대학교 전자컴퓨터공학부 교수
 관심분야 : SoC/ASIC설계, 디스플레이, Smart Card/RFID용용