
비선형 감마 커브를 위한 감마 라인 시스템의 비교

장원우* · 이성목* · 하주영** · 김주현** · 김상준*** · 강봉순****

Comparison among Gamma(γ) Line Systems for Non-Linear Gamma Curve

Wonwoo Jang* · Sungmok Lee* · Jooyoung Ha** · Joohyun Kim** · Sangchoon Kim*** · Bongsoon Kang****

이 논문은 2006학년도 동아대학교 학술연구비(공모과제)에 의하여 연구되었음

요 약

본 논문은 비선형 휘도 출력을 요구하는 영상장치 기기를 위한 감마 보정에 관한 것이다. 제안된 감마 수정 시스템은 일반적인 공식에 의해 만들어지는 비선형적 특성을 지닌 감마 커브와 제안된 알고리즘에 의해 생성되는 결과와 차이를 최소화하기 위한 시스템이다. 오차를 최소화하기 위해, 제안된 시스템은 Least Squares Polynomial 을 사용하였다. 이 알고리즘은 샘플간의 점들에 대해서 최적의 다항식을 계산하는 방법이다.

각각의 시스템들은 연속적인 여러 개의 방정식으로 구성되어 있으며, 정밀도를 높이기 위해서 각 구간마다 고유의 중첩 구간을 가지고 있다. 최종적으로 알고리즘을 검증하여, 시스템들은 Verilog-HDL를 사용하여 구현되었다.

본 논문에선 가장 초기적 알고리즘인, Seed Table 을 이용한 기존 시스템과 이를 개선하기 위해 만들어진 제안된 감마 시스템을 비교하려고 한다. 제안된 시스템과 기존 시스템은 클럭 대기(clock latency)가 1과 2의 값을 지닌다. 그러나 에러 범위(LSB)는 0~+36에서 -1~+1으로 향상되었다. 삼성 0.35 worst case 환경에서 합성된 gate count는 2,063에서 2,564으로 증가되었으나, maximum data arrival time은 29.05[ns]에서 17.52[ns]으로 더 빨라졌다.

ABSTRACT

This proposed gamma (γ) correction system is developed to reduce the difference between non-linear gamma curve produced by a typical formula and result produced by the proposed algorithm. In order to reduce the difference, the proposed system is using the Least Squares Polynomial which is calculating the best fitting polynomial through a set of points which is sampled.

Each system is consisting of continuous several kinds of equations and having their own overlap sections to get more precise. Based on the algorithm verified by MATLAB, the proposed systems are implemented by using Verilog-HDL.

This paper will compare the previous algorithm of gamma system such as Existing system with Seed Table with the latest that such as Proposed system. The former and the latter system have 1, 2 clock latency; each 1 result per clock. Because each of the error range (LSB) is -1~+1, 0~+36, we can know that Proposed system is improved. Under the condition of SAMSUNG STD90 0.35 worst case, each gate count is 2,063, 2,564 gates and each maximum data arrival time is 29.05[ns], 17.52[ns], respectively.

키워드

Gamma Correction, Non-linear Gamma Curve

* 동아대학교 전자공학과 석사과정

** 동아대학교 전자공학과 박사과정

*** 동아대학교 전자공학과 전임강사

**** 교신저자: 동아대학교 전자공학과 부교수

I. 서론

영상 장치에 의해 만들어지는 비선형 휘도는 감마 보정의 수식인, $f(x)=x^\gamma$,으로 나타낼 수 있으며, 이 수식의 x 값은 {0,1}의 범위를 가진다. γ 의 값은 영상장치의 특성에 의해 실험적으로 구해진다[1]. 감마 보정은 어느 이미지들의 전반적인 밝기를 조절한다. 적절히 수정되어 지지 않은 이미지는 창백하게 보이거나 혹은 너무 어둡게 보인다. 감마 보정의 변경은 이미지의 밝기뿐만 아니라, RGB의 비율까지 변경할 수 있다.

우리 주변의 많은 시스템들은 복잡하고 비선형적인 특성을 가졌다[2]. 예로, 지수함수의 형태인 A^B 는, B 의 값이 항상 양의 정수 값만을 가질 수 없기 때문에, 하드웨어적이 알고리즘으로 구현이 불가능 하다. 게다가, 지수함수와 대치되는 함수사이에는, 비선형적인 특성 때문에, 오차가 항상 만들어진다. 그러므로 수치해석의 한 방법인 최소 자승 다항식을 사용하여 “커브 피팅”이라고 하는 오차를 최소화 하는 대체 함수를 구하려고 한다[3].

기존 시스템은 자료 점들의 집합(Seed Table)을 이용하여 직선의 부분으로 연결하는 부분구간 선형 보간법(piecewise linear interpolation)을 사용하였다.

본 논문에선 알고리즘과 설계 그리고 구현된 시스템들의 성능과 Seed Table을 사용하는 기존시스템과 제안된 알고리즘을 사용하는 시스템과 비교하려고 한다.

II. 기본 알고리즘

2.1. 감마 보정

감마 보정은 하나의 이미지의 적색, 녹색, 청색(RGB) 감마값을 조정하는 기능이다. 원래 감마라는 용어는 모니터의 밝기와 인가한 전압 사이에 비선형적인 관계에서 모니터의 특성과 관계된 상수 계수이다. 컴퓨터에 공급되는 전압이 갑자기 높아지면 모니터에 표시된 이미지가 밝아지면서, 회색은 원본 컬러보다 더 밝거나 어두워 질 수 있다. RGB 모드에서 회색은 동일한 양의 삼원색이 혼합되어 만들어지기 때문에, 중성 회색은 빨강 색조나 파랑 색조를 띤 컬러로 보일 수도 있다.

감마 보정의 특징은 모니터의 밝기인 명암도와 인가한 전압사이의 관계가 지수함수의 비선형적인 형태를

가지고 있다는 사실이다. 이 때 나타나는 명암도-전압 응답곡선(intensity to voltage response curve)은 대략 지수함수의 특성을 지닌다. 그래서 입력 값과 출력 값이 선형적이지 못하기 때문에, 우리는 중간 매개체가 필요하게 된다. 다시 말하자면, 앞에서 언급한 내용은 일반 디스플레이 장치에 의해 만들어지는 비선형 휘도의 분포는 아래 수식과 같다.

$$f(x) = x^\gamma \tag{1}$$

식 (1)의 x 값은 {0,1}의 범위를 가진다. x 값은 신호의 크기 전력과 관련되어 있다. 만약 γ 가 상수라면, 이 식 (1)은 식 (2)로 역변환이 가능하다.

$$f^{-1}(x) = x^{1/\gamma} \tag{2}$$

그림 1은 감마의 효과에 대해 보여준다[4]. 식 (1)은 별표: * 과 같은 비선형 곡선이며, 식 (2)은 정사각형: □ 과 같은 곡선이다. x 의 값은 {0,1}의 범위를 가지며 γ 가 상수라는 환경에서, 가운데 원형: ○ 곡선과 같은 선형적인 값을 입력하면 결과는 별표: * 곡선(디스플레이 특성)과 같은 왜곡된 곡선 형태가 나타난다. 그래서 원형: ○ 곡선과 같은 결과를 얻기 위해선 정사각형: □ 곡선(미리 수정된 곡선)의 값을 입력하면 된다. 즉 원형: ○

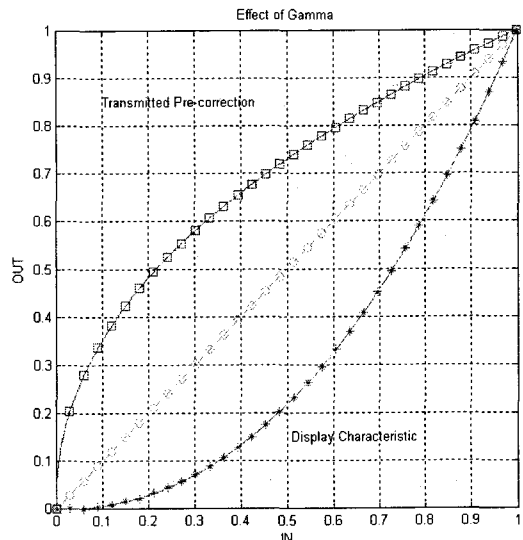


그림 1. 감마의 효과
Fig. 1. Effect of Gamma

곡선의 값들을 정사각형: □ 곡선의 값으로 변화 시키는 것이 감마 보정이다. 즉 비선형적 특성을 가지는 출력 문제를 해결하기 위해서, 선형적인 특성을 지닌 입력 데이터를 비선형적으로 만든다는 것이다[5].

2.2 최소 자승 다항식

실험 결과 값들이 x 좌표가 분리 되어 있는, $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_{n-1}, y_{n-1}), (x_n, y_n)$ 의 데이터 분포를 가질 때, 수치 해석적인 방법을 사용하여 이들 변수와 관계있는 $y=f(x)$ 의 수식으로 정의할 수 있다.

회귀 분석의 목적은 관찰되는 데이터들의 무리와 가장 적합한 성질을 지닌 함수의 파라미터 값을 결정하는 것이다. $(x_k, f(x_k))$ 같은 데이터들이 주어지면, $f(x)$ 와 관계있는 근사 다항함수인 $p(x)$ 를 만들 수 있다. $p(x)$ 함수는 m 차의 형태로서 최소 자승 다항식으로 만들어진다.

$$p(x_i) = a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2 + \dots + a_mx_i^m \quad (3)$$

k 승, a_k 는 $p(x)$ 의 계수이다. 최소 자승은 $p(x)$ 와 실제 함수, $f(x)$ 사이의 거리를 제공하여 모든 값을 더한 결과 값이 최소인 $p(x)$ 를 찾는 방법이다.

$$S = \sum_{i=1}^n (p(x_i) - y_i)^2 = \sum_{i=1}^n (a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2 + a_3x_i^3 + \dots + a_mx_i^m - f(x_i))^2 \quad (4)$$

식 (4)에서 S 는 n 차승의 합계를 나타낸다. 최소 자승의 원리에 따라서, 식 (5)에서 편도함수의 값이 0에 수렴하는 계수 a_1, a_2, \dots, a_k 를 찾을 필요성이 있다.

$$\frac{\partial S}{\partial a_j} = 0 \quad (j=0, 1, \dots, m) \quad (5)$$

식(5)의 편도함수는 아래와 같이 풀어 쓸 수 있다.

$$\frac{\partial S}{\partial a_0} = 2 \sum_{i=1}^n (a_0 + a_1x_i + \dots + a_mx_i^m - f(x_i)) = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial S}{\partial a_1} = 2 \sum_{i=1}^n (a_0 + a_1x_i + \dots + a_mx_i^m - f(x_i))x_i = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial S}{\partial a_m} = 2 \sum_{i=1}^n (a_0 + a_1x_i + \dots + a_mx_i^m - f(x_i))x_i^m = 0 \quad (8)$$

위의 식 (6)-(8)은 표준 형태로서 다시 쓸 수 있으며, 이는 $(m+1)$ 의 a_k 와 관련된 형태의 연립 방정식으로 나

타낼 수 있다.

$$a_0n + a_1 \sum_{i=1}^n x_i + \dots + a_m \sum_{i=1}^n x_i^m = \sum_{i=1}^n f(x_i) \quad (9)$$

$$a_0 \sum_{i=1}^n x_i + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 + \dots + a_m \sum_{i=1}^n x_i^{m+1} = \sum_{i=1}^n f(x_i)x_i \quad (10)$$

$$a_0 \sum_{i=1}^n x_i^m + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^{m+1} + \dots + a_m \sum_{i=1}^n x_i^{2m} = \sum_{i=1}^n f(x_i)x_i^m \quad (11)$$

이 정규 방정식, 식(9)-(11)은 유일한 해인, x_k 를 가지며 이것은 대칭 행렬의 형태로서 정사각행렬인, 힐버트 행렬로 변환 시킬 수 있다[6].

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_i & \dots & \sum_{i=1}^n x_i^m \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 & \dots & \sum_{i=1}^n x_i^{m+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_{i=1}^n x_i^m & \sum_{i=1}^n x_i^{m+1} & \dots & \sum_{i=1}^n x_i^{2m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \dots \\ a_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n f(x_i) \\ \sum_{i=1}^n f(x_i)x_i \\ \dots \\ \sum_{i=1}^n f(x_i)x_i^m \end{bmatrix} \quad (12)$$

식 (12)는 연립 방정식 풀이를 사용하여 각각의 계수를 얻을 수 있으며, 다항 근사식이 만들어 질수 있다. 이전에 주어진 데이터 $(x_k, f(x_k))$ 와 다항식의 계수 a_0, a_1, \dots, a_k 은 사용하여 아래와 같이 만들 수 있다.

$$\begin{bmatrix} f(x_0) \\ f(x_1) \\ \dots \\ f(x_i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_0 & \dots & x_0^m \\ 1 & x_1 & \dots & x_1^m \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_i & \dots & x_i^m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \dots \\ a_m \end{bmatrix} \quad (13)$$

행렬 표기법에서, 다항식의 방정식은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$y = Xa. \quad (14)$$

이것은 전치 행렬 X^T 를 곱하여 풀어 낼 수 있다.

$$X^T y = X^T Xa. \quad (15)$$

이 행렬 방정식은 수치적으로 풀어 질수 있으며, 그것의 형태가 일정하다면 한 번에 역 변환도 가능하다. 최종적인 형태로 식 (16)과 같은 형태가 만들어진다.

$$a = (X^T X)^{-1} X^T y. \quad (16)$$

식 (13)에서 $m=1$ 이라고 정의하면, 선형적 풀이 해결이 가능하다[7]. 표 1은 2차 방정식의 계수들을 보여 준다.

표 1. 제안된 시스템 블록의 2차 방정식의 a_k 계수들
Table 1. Coefficients a_k of the quadratic equations of Block Proposed System

No.	구간	계수 (a_0, a_1, a_2)		
1	1st	0	43.828	0
2	2nd	0.035028	13.329	-470.41
3	3rd	0.055249	7.9172	-113.66
4	4th	0.077548	5.2841	-36.365
5	5th	0.1075	3.5749	-2.053
6	6th	0.15045	2.3857	-3.8216
7	7th	0.20129	1.686	-1.4374
8	8th	0.27329	1.1689	-0.50997
9	9th	0.35411	0.85818	-0.21345
10	10th	0.39591	0.75648	-0.15245

III. 설계 및 성능

3.1 기존 시스템(Seed Table)

기존 시스템은 Seed Table 방식을 사용하였다. 14개의 구역으로 구성되어 있으며, 식 (17)에 1차 방정식 14개로 구성되어 있음을 보여 준다

$$p(x) = p(x_1)_{x_1=A}^{x_1=B} + p(x_2)_{x_2=B+1}^{x_2=C} + \dots + p(x_{13})_{x_{13}=M+1}^{x_{13}=N} + p(x_{14})_{x_{14}=N+1}^{x_{14}=O} \quad (17)$$

그림 2는 기존 시스템의 블록 다이어그램이다. 이것은 크게 2부분으로 구성되어 있는데, 제어부(왼쪽 상단)와 계산부(오른쪽 아래)이다. 입력 비트의 크기는 10비트이며, 출력 비트는 10비트이다. 입력 데이터의 크기에 따라서, 제어부는 프로그램 되어 있는 기울기 값을 선택하는데 사용되는 제어 신호를 만들어 낸다. 그리고

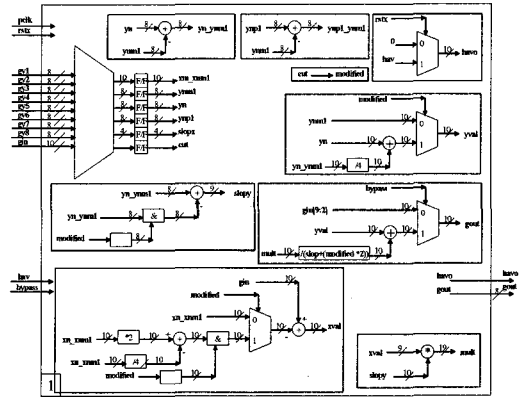


그림 2. 기존 시스템의 블록 다이어그램
Fig. 2. Block Diagram of Block Existing System

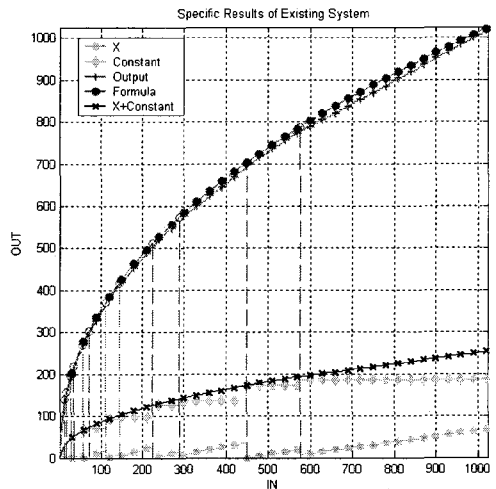


그림 3. 기존 시스템의 구체적인 결과들
Fig. 3. Specific Results of Block Existing System

9x10 비트 제공근기를 가진 계산부에서 1차 방정식 형태로서 결과 값을 계산한다.

그림 3은 입력의 값이 0에서 1023의 순차적인 정수 형태일 때, 만들어지는 감마 라인의 구체적인 결과들을 보여 준다. 수직 점선들은 14개 구역의 경계선값을 2.2로 가졌을 때 나온 이상적인 결과 값이다. 십자가 : x 곡선은 별표 : * 곡선인 1차식, 그리고 마름모 : ◇ 곡선인 상수 값을 더한 결과, 즉 $(a_0 + a_1x)$, 이다[8].

그림 4는 0에서 1023까지의 정수 형태의 순차적인 입력을 넣었을 때, Seed Table 방식을 사용한 기존된 시스템에 의해 만들어진 결과와 이상적인

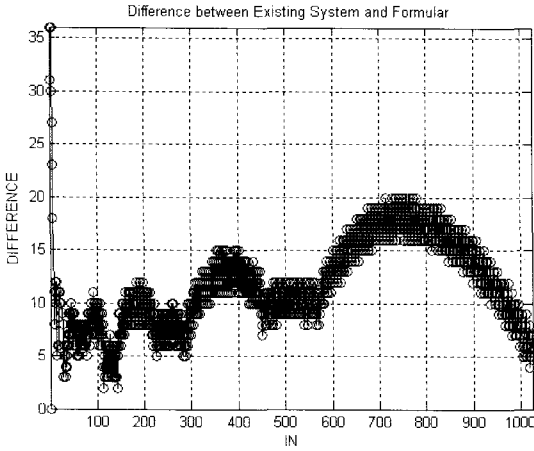


그림 4. 기존 시스템의 결과와 이상적인 공식의 결과 차이
 Fig. 4. Difference between the Results by Existing System and Results by the Formula

데이터와의 차를 보여 준다. 여러 범위는 LSB에서 0에서 36의 값을 가진다. 비선형적인 특성을 가진 이상적이 감마커브의 값과, 시스템에 의한 결과 값의 차이 때문에, 오차 값들의 분포 형태 또한 비선형성을 보여 준다. 결론적으로, 오차의 범위가 넓기 때문에, 이 시스템의 알고리즘은 반드시 이차 방정식 형태를 지닌 수식, 즉 비선형성을 지닌 수식으로 변경되어야 한다.

3.2 제안된 시스템

제안된 시스템은 가장 이상적인 오차 값을 가지도록 개선되었다. 10개의 구역으로 되어 있으며, 식 (18)에 2차 방정식 10개로 구성되어 있음을 보여 준다.

$$f(x) = P(x_1)_{x_1=A}^{x_1=B} + P(x_2)_{x_2=B+1}^{x_2=C} + P(x_3)_{x_3=C+1}^{x_3=D} + \dots + P(x_{10})_{x_{10}=J+1}^{x_{10}=K} \quad (18)$$

그림 5는 제안된 시스템의 블록 다이어그램을 보여 준다. 그것은 크게 4부분으로 되어 있는데, 제어부 (왼쪽 아래), X²(위쪽), X¹(가운데), 그리고 상수부 (중간 아래) 이다. 입력과 출력의 비트 크기는 각각 10비트 이다.

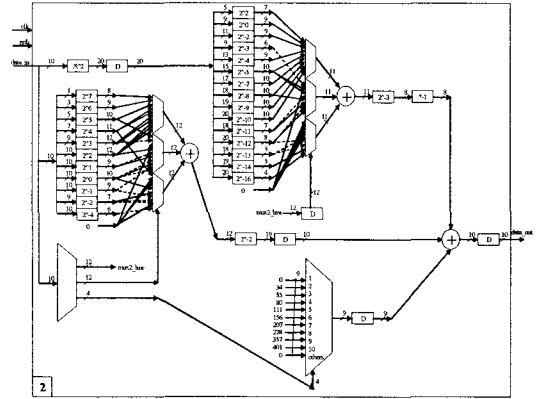


그림 5. 제안된 시스템의 블록 다이어그램
 Fig. 5. Block Diagram of Block Proposed System

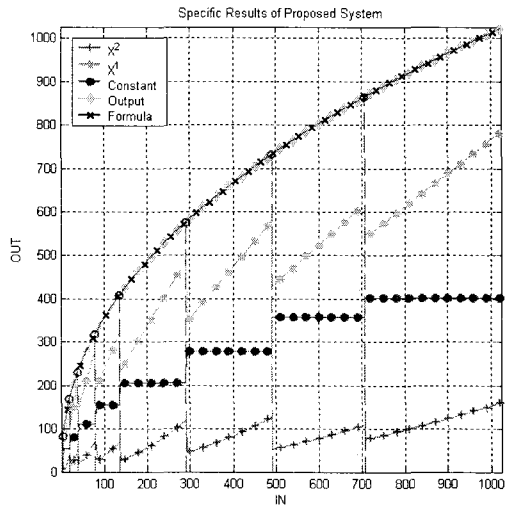


그림 6. 제안된 시스템의 구체적인 결과들
 Fig. 6. Specific Results of Proposed System

입력 데이터들의 크기에 따라서, 제어부는 2차 방정식의 계수를 선택하는 신호를 만들어 낸다. 그리고 다른 부분인 X² (b_2x^2), X¹ (b_1x) 그리고 Constant (b_0), 는 식 (19)에서 보여 지듯이, 2차 방정식을 구성하게 된다.

$$\begin{aligned} f(x) &= [a_0 + (a_1 \times x / 1024) + (a_2 \times x^2 / 1024^2)] \times 1024 \\ &= [b_0 \times 2^{-10} + (b_1 \times 2^{-10} \times x \times 2^{-10}) + (b_2 \times 2^{-10} \times x^2 \times 2^{-20})] \times 2^{10} \quad (19) \\ &= b_0 + (b_1 \times 2^{-8} \times x) \times 2^{-2} + (b_2 \times 2^{-17} \times x^2) \times 2^{-3} \end{aligned}$$

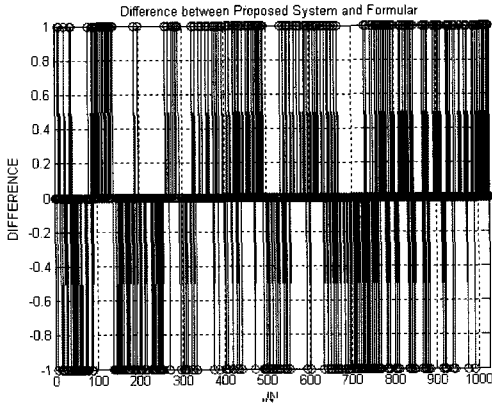


그림 7. 제안된 시스템의 결과와 이상적인 공식의 결과 차이

Fig. 7. Difference between the Results by Proposed System and Results by the Formula

그림 6은 입력의 값이 0에서 1023의 순차적인 정수 형태일 때, 만들어지는 감마 라인의 구체적인 결과들을 보여준다. 수직 점선들은 10개 구역의 경계선이다. 더하기 : + 곡선은 X^2 부분, 즉 수식에서 a_2x^2 , 에서 계산된 결과이다. 별표 : * 곡선은 X^1 부분, 즉 수식에서 a_1x , 에서 계산된 결과이다. 원형 : ○ 곡선은 상수 부분, 즉 수식에서 a_0 , 에서 계산된 결과이다. 마름모 : ◇ 곡선은 더하기 : + 곡선인 2차 식, 별표 : * 곡선인 1차식, 그리고 원형 : ○ 곡선인 상수 값을 더한 결과, 즉 $(a_0 + a_1x - a_2x^2)$, 이다. 맨 위의 십자가 : x 곡선은 $f(x)=x^r$ 식에 1023배를 곱하고, 감마의 값을 2.2로 가졌을 때 나온 이상적인 결과 값이다[9].

그림 7은 0에서 1023까지의 정수 형태의 순차적인 입력을 넣었을 때, 제안된 시스템에 의해 만들어진 결과와 이상적인 데이터와의 차를 보여 준다. 에러 범위는 LSB에서 -1에서 1의 값을 가진다.

IV. 결론

디지털 하드웨어 설계 언어를 이용해서 지수형태, $f(x)=x^r$ 를 구현하는 것은 불가능하다. 그래서 일반적으로 ROM table 방식이 사용된다. 그러나 공식에 의한 결과와 시스템과의 차이와 불연속성에 의한 문제점이 존재한다.

그래서 우리는 비선형 감마 커브를 10개의 구간으로 나누었고, 높은 정밀도를 얻기 위해서 중첩되는 구간으로 나누었다. 그리고 모든 2차 방정식은 최소 자승법을 이용하여 만들었다. 하드웨어 구현을 위해 다항식을 RTL(Register Transfer Level description)로 변환 하였다. Verilog-HDL 모델을 사용하여 제안된 시스템을 설계하였으며, Synopsys simulator를 이용하여 이를 검증하였다.

표 2의 두 번째, 세 번째 열을 보면 출력비트, 오차, 표준편차 (RMSE), Mean Squared Error (MSE), Peak Signal to Noise Rate (PSNR), maximum data arrival time and gate count를 보여 주고 있다.

표 2. 기존 시스템의 성능과 합성 결과와 제안된 시스템의 성능과 합성 결과의 비교

Table 2. Comparison for Performance and Synthesis Result of Proposed system and those of Existing system

	기존 시스템	제안된 시스템
출력 비트	10	10
오차(LSB)	0 ~ +36	-1 ~ +1
표준편차(LSB)	4.2579	0.5765
RMSE(LSB)	12.5034	0.5762
MSE(LSB)	156.3350	0.3320
Maxtiming[ns]	29.05	17.52
Gate Count	2,063	2,564

제안된 시스템의 gate counts는 기존 시스템에 비해 1.243배 크다. 그러나 maximum timing 과 표준편차는 제안된 시스템이 기존시스템보다 1.355배 빠르고, 7.3858 배나 작다는 것을 알 수 있다. 결론적으로 제안된 방법, 최소자승다항식을 이용한 것이 Seed Table을 이용한 것보다 더 우수하다는 것을 알 수 있다. 게다가 하드웨어의 복잡성이 낮아서, 어느 디스플레이 장치에서도, 비선형 휘도를 만들어 내는 감마 보정을 이용할 수 있다.

감사의 글

본 연구에서 사용된 설계용 소프트웨어는 IDEC 을 통해서 지원 받았습니다.

참고문헌

- [1] K. Jack, *Video Demystified*, LLH Technology Publishing, pp. 32-33, 2001.
- [2] H. Satoh, "A Statistical Analysis of Non-linear Equations Based on a Linear Combination of Generalized Moments," *IEICE Trans. Fundamentals*, Vol. E87-A, No. 12, pp. 3381-3388, 2004.
- [3] J.H. Mathews, *Numerical Methods for Mathematics, Science, and Engineering*, Prentice Hall, pp. 191-345, 1992.
- [4] H. Farid, "Blind Inverse Gamma Correction," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 10, No. 10, 2001.
- [5] W.W Jang, J.K Kim, J.H Ha and B. Kang, "Algorithm of Improved Gamma Line to Correct Image of Display Panel," *KIPSPS Spring Conference*, pp. 77-80, 2005.6.
- [6] L. Elden and L.W. Koch, *Numerical analysis*, Academic Press, pp. 249-286, 1990.
- [7] J. Douglars Fairs, Richard Barden, *Numeral Method 2nd*, Brooks Cole, pp. 323-365, 1982.
- [8] W.W Jang, H.S Kim, I.K. Kim, B. Kang, "Implementation of the advanced gamma (γ') line system similar to non-linear gamma curve with 4bit error(LSB) at the 10bit processing," *The 13th Korean Conf. on Semiconductors*, pp. 339-340, 2006.3.
- [9] W.W Jang, J.H Park, J.G. Song, W.T Choi and B. Kang, "Comparison among Gamma (γ') Line Systems implemented for gamma correction at the 10bit," *ITC-CSCC2006*, Vol. 2, pp. 165-168, 2006.7.

저자소개

장 원 우(Wonwoo Jang)



2005년 2월 동아대학교 전기전자컴퓨터공학부 전자공학과(공학사)
2005년 3월~현재 동아대학교 전자공학과 석사과정

※ 관심분야: VLSI algorithm/architecture design, image and video processing.

이 성 목(Sungmok Lee)



2005년 2월 동아대학교 전기전자컴퓨터공학부 전자공학과(공학사)
2005년 3월~현재 동아대학교 전자공학과 석사과정

※ 관심분야: VLSI algorithm/architecture design, image and video processing.

하 주 영(Jooyoung Ha)



2003년 2월 동아대학교 전기전자컴퓨터공학부 전자공학과(공학사)
2005년 3월 동아대학교 전자공학과(공학석사)

2005년 3월~현재 동아대학교 전자공학과 박사과정
※ 관심분야: VLSI algorithm/architecture design, image and video processing.



김주현(Joohyun Kim)

2002년 2월 동아대학교 전기전자컴퓨터공학부 전자공학과(공학사)
2004년 3월 동아대학교 전자공학과(공학석사)

2004년 3월~현재 동아대학교 전자공학과 박사과정
※ 관심분야: VLSI algorithm/architecture design, image and video processing.



김상준(Sangchoon Kim)

1993년 연세대학교 전자공학과(공학사)
1995년 미국 University of Florida 전기공학과(공학석사)

1999년 미국 University of Florida 전기 및 컴퓨터공학과(공학박사)

2000년~2005년 LG전자 책임연구원
2005년~현재 동아대학교 전자공학과 전임강사
※ 관심분야: VLSI algorithm 개발, 신호처리 및 통신



강봉순(Bongsoon Kang)

1985년 연세대학교 전자공학과(공학사)
1987년 미국 University of Pennsylvania 전기공학과(공학석사)

1990년 미국 Drexel University 전기 및 컴퓨터공학과(공학박사)

1989년~1999년 삼성전자 반도체 수석연구원
1999년~현재 동아대학교 전자공학과 부교수
2006년~현재 2단계 BK21 사업팀장
※ 관심분야: VLSI algorithm/architecture design, image/video processing 및 무선통신