

감마 변환을 이용한 패치 기반의 다중 노출 영상 융합

김지환, *최현호, *정제창

한양대학교 지능형로봇학과, *한양대학교 전자컴퓨터통신공학과
jihwan9012@naver.com, *hyunho0619@gmail.com, *jjeong@hanyang.ac.kr

Patch based Multi-Exposure Image Fusion using Gamma Transformation

Jihwan Kim, *Hyunho Choi, *Jechang Jeong

Department of Intelligent Robot Engineering, Hanyang University

*Department of Electronics and Computer Engineering, Hanyang University

요 약

본 논문에서는 평균 밝기 부분에 가중치 맵으로써 감마 변환에 기반한 선형 결합을 제안하고자 한다. 기존의 패치를 기반으로 한 가중치 맵은 평균 밝기 부분에서 영상 내 밝기 값이 한쪽으로 치우쳐 영상의 밝은 부분이 과포화 상태가 되어 세부 정보가 손실되는 단점이 있다. 이에 본 논문에서는 전역적 및 지역적 영상의 평균 밝기 값을 이용하여 감마 변환된 값을 선형 결합 시켜줌으로써 영역 내 세부 정보를 보존시키고 주관적 화질을 향상시켰다. 실험을 통해 결과를 분석하고 성능을 비교하여 기존 알고리즘에 비해 제안한 알고리즘이 우수함을 증명하였다.

1. 서론

동적 영역 (Dynamic Range)이란 영상이 나타낼 수 있는 가장 밝은 밝기 값과 가장 어두운 밝기 값 사이의 비율을 의미하는데, 자연 영상은 넓은 동적 영역 (High Dynamic Range: HDR)에 걸쳐있는 밝기 레벨을 포함하여 고정된 노출 설정을 가진 일반 카메라로는 시각 정보를 완전히 취득 할 수 없다 [1]. 이러한 문제를 해결하기 위하여 단일 영상 안에서 다중 노출 영상 융합 (Multi-Exposure Image Fusion: MEF)을 사용하여 서로 다른 노출 수준에서 동일한 영상의 여러 영상을 좁은 동적 영역 (Low Dynamic Range: LDR)영상으로 합성한다. MEF 는 일괄된 영상 중에 가장 최적의 부분을 추출하여 연속적으로 연결하고 최종적으로 합성된 영상을 만드는 방법이다. 또한 중간 HDR 구성 단계를 건너 뛰고 일반 디스플레이에 직접 LDR 영상으로 출력함으로써 HDR 영상과 LDR 영상 간의 차이를 줄이는 효율적인 대안을 제공한다. MEF 는 노출을 다르게 하여 영상을 입력하면 더 정확하고 지각적인 LDR 영상을 직접 합성 할 수 있다 [2,3].

MEF 는 대부분 화소 기반으로 이루어지고 식(1)과 같이 K 개의 노출된 영상 안에 i번째 화소의 가중치 W_k 와 밝기 값 X_k 을 이용해 융합된 영상 Y를 구한다.

$$Y(i) = \sum_{k=1}^K W_k(i)X_k(i) \quad (1)$$

MEF 를 기반으로 수 많은 연구가 수행되어 오고 있다. Mertens [4]는 각 입력 영상마다 대비, 채도 및 노출에 해당하는 가중치 맵을 정의하여 영상을 도출하며 다중 해상도 방식으로 융합을 수행하는 것을 제안하였다. Burt [5]는 라플라시안 피라미드 분해를 MEF 에 적용하였고, 여기서 사용한 가중치는

지역 계수 에너지와 피라미드 간의 상관관계로부터 계산하였다. 하지만 대부분의 화소 단위 MEF 알고리즘의 주요 단점은 가중치 맵을 생성하면 잡음이 발생하고 융합 과정에 직접 적용되는 경우 다양한 왜곡현상을 생성 할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 Ma [6]는 다중 노출 영상을 세 가지 독립적인 성분 에 해당하는 신호 세기, 신호 구조 및 평균 밝기로 분해하고 추출된 요소를 패치 세기와 노출 요소에 따라 가중치를 주어 구성 요소를 각각 결정하였다.

정소영 [7]은 영상의 밝기 값 분포가 지나치게 한 곳으로 밀집되는 것을 방지하기 위해 입력 영상의 평균 밝기 값을 이용하여 적절한 감마 변환 식을 도출하였다. 입력 영상의 누적분포함수 (Cumulative Distribution Function: CDF)와 도출된 감마 변환 식을 선형 결합하여 새로운 CDF 를 생성하고 히스토그램 평활화를 수행하였다.

본 논문에서는 노출 수준이 다른 3 장의 영상을 사용하여 전체적인 밝기의 균형을 맞춰주는 동시에 빛이 과포화된 영역의 문제를 해결하여 영상 내부의 물체를 인식하고 선명하게 하는 기법을 제안하고자 한다. Ma [6]가 제안한 패치 기반의 MEF 기법 중 2 차원 가우시안 프로파일을 적용하여 평균 밝기 부분에 가중치를 주는 방법 대신 감마 변환을 이용한 선형 결합을 제안하여 너무 밝거나 어두운 영상과 같이 밝기 값이 한쪽으로 치우쳐진 영상을 교정하고 밝기 값을 부드럽게 조절한 영상을 얻을 수 있게 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 절에서는 기존의 MEF 에 대한 알고리즘을 설명하고, 3 절에서는 제안하는 MEF 알고리즘에 대해 설명한다. 4 절에서는 실험 결과를 제시 및 분석을 한다. 마지막으로 5 절에서는 본 논문에서 제안한 알고리즘에 대한 결론을 맺는다.

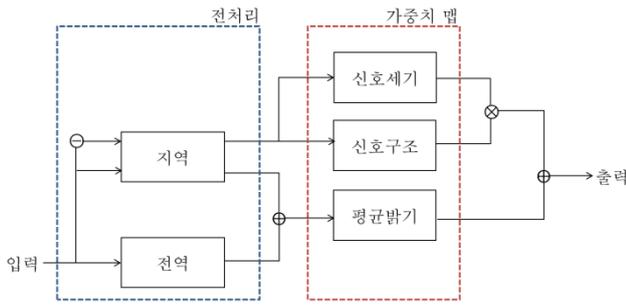


그림 1. 기존 알고리즘 순서도

2. 기존의 알고리즘

2 절에서는 패치 기반의 MEF 기법에 대한 방식을 자세하게 설명한다. 그림 1 은 Ma [6]가 제안한 기존 MEF 알고리즘의 전반적인 순서도를 나타낸다. 2.1 절은 전처리를 계산하는 과정으로써 전역적인 부분과 지역적인 부분으로 나누어 입력 영상을 처리한 다음 신호 세기, 신호 구조와 평균 밝기 3 가지 독립적인 성분으로 분해한다. 2.2 절은 분해한 성분에 가중치 맵을 적용한 다음 각각의 성분들을 융합하여 단일 MEF 영상을 생성한다.

2.1 전처리 계산

전처리 계산은 노출이 다른 3 개의 입력 영상을 전역적 및 지역적으로 나누어 영상의 전체적인 밝기의 균형을 유지시켜 준다. 전역적인 방법은 노출이 다른 3 장의 입력 영상 각각에 해당하는 밝기의 평균값을 곱하여 전체적인 밝기에 해당하는 전역적 평균값 μ_k 을 만든다. 지역적인 방법은 노출이 다른 3 장의 입력 영상에 패치를 컨볼루션(convolution)한 다음 R, G, B 성분 밝기 값의 평균을 이용하여 지역적 평균값 l_k 을 만든다. 여기서 패치란 영상 내의 화소 그룹을 나타낸다.

Ma [6]가 제안한 알고리즘은 $\{x_k\} = \{x_k | 1 \leq k \leq K\}$ 를 K 개의 다중 노출 영상이 포함된 입력 영상의 동일한 공간위치에서 지역적인 방법으로 추출한 색 영상 패치로 가정하였다.

$$\begin{aligned} x_k &= \|x_k - \mu_{x_k}\| \cdot \frac{x_k - \mu_{x_k}}{\|x_k - \mu_{x_k}\|} + \mu_{x_k} \\ &= \|\tilde{x}_k\| \cdot \frac{\tilde{x}_k}{\|\tilde{x}_k\|} + \mu_{x_k} \\ &= c_k \cdot s_k + l_k \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 식(2)의 $\|\cdot\|$ 는 벡터의 유클리드 거리를 의미하고, μ_{x_k} 는 패치의 평균값을 의미하며 원 영상 x_k 에서 패치의 평균값 μ_{x_k} 의 차로 생성된 영상 \tilde{x}_k 는 평균값이 제거된 패치를 의미한다. 이 성분들의 신호 세기 c_k 는 $\|\tilde{x}_k\|$ 와 같고, 신호 구조 s_k 는 $\tilde{x}_k/\|\tilde{x}_k\|$ 와 같으며 평균 밝기 l_k 는 μ_{x_k} 와 같음을 나타낸다.

2.2 가중치 맵 계산

가중치 맵 계산의 구성 단계는 신호 세기, 신호 구조 및 평균 밝기 3 단계로 구성되어 있다. 첫 번째 단계는 신호의 세기 c_k 의 성분을 처리한다. 지역적 패치 구조의 가시성은 신호의 세기와 직접적으로 관련이 있는 지역적 대비의 영향을 받는다. 대비가 커질수록 더 좋은 가시성을 나타내지만 과도한 향상은 지

역적 구조의 외형을 비현실적으로 나타나게 한다. 이처럼 입력 영상의 대비를 높여 가시성을 적절하게 만들고 영상을 사실적으로 만드는 것이 중요하다. 따라서 융합된 영상의 패치 신호 세기는 식 (3)을 이용하여 모든 영상 패치의 가장 높은 신호 세기에 의해 결정된다.

$$\hat{c} = \max_{\{1 \leq k \leq K\}} c_k = \max_{\{1 \leq k \leq K\}} \|\tilde{x}_k\| \quad (3)$$

두 번째 단계는 신호의 구조 s_k 를 처리한다. 지역적 패치의 구조는 벡터 공간에서 특정 방향을 가리키는 입력영상 3 장에 대한 단위 길이 벡터 s_k 를 의미한다. 융합된 영상의 패치 신호 구조는 모든 영상 패치의 구조를 가장 잘 나타내고 식 (4)의 형태로 이루어진다. 영상 패치의 신호 세기를 증가시키기 위하여 가중치 함수 $S(\cdot)$ 에 식 (5)의 전력 가중치 함수 (Power Weighting Function)를 이용하고 지수 값 파라미터 p 는 $p \geq 0$ 을 만족시켜야 한다.

$$\hat{s} = \frac{\bar{s}}{\|\bar{s}\|} \quad \text{and} \quad \bar{s} = \frac{\sum_{k=1}^K S(\tilde{x}_k) s_k}{\sum_{k=1}^K S(\tilde{x}_k)} \quad (4)$$

$$S(\tilde{x}_k) = \|\tilde{x}_k\|^p \quad (5)$$

세 번째 단계는 평균 밝기 l_k 를 처리한다. 지역적 패치의 평균 밝기 형태는 앞선 식 (4)의 형태와 비슷한 식 (6)의 형태를 나타낸다. $L(\cdot)$ 은 전역적 평균값 μ_k 와 지역적 평균값 l_k 로 이루어진 가중치 함수이다. 가중치 함수 $L(\cdot)$ 은 입력 영상 중 잘 노출된 부분에는 가중치를 높였고, 과도하거나 덜 노출된 부분에는 가중치를 줄였다. 2 차원 가우시안 프로파일을 적용한 식 (7)의 σ_g 와 σ_l 은 μ_k, l_k 차원에 따라 프로파일의 확산을 제어한다.

$$\hat{l} = \frac{\sum_{k=1}^K L(\mu_k, l_k) l_k}{\sum_{k=1}^K L(\mu_k, l_k)} \quad (6)$$

$$L(\mu_k, l_k) = \exp\left(-\frac{(\mu_k - 0.5)^2}{2\sigma_g^2} - \frac{(l_k - 0.5)^2}{2\sigma_l^2}\right) \quad (7)$$

이전 3 단계 처리 단계를 통해 각각의 $\hat{c}, \hat{s}, \hat{l}$ 이 생성되면, 식 (8)과 같이 합성하여 새로운 벡터를 생성한다. 다시 말하자면, 고정된 크기를 가진 이동하는 패치를 사용하여 영상에서 패치를 추출하고 겹치는 패치의 화소는 평균화시켜 최종 출력 영상을 생성한다.

$$\hat{x} = \hat{c} \cdot \hat{s} + \hat{l} \quad (8)$$

3. 제안하는 알고리즘

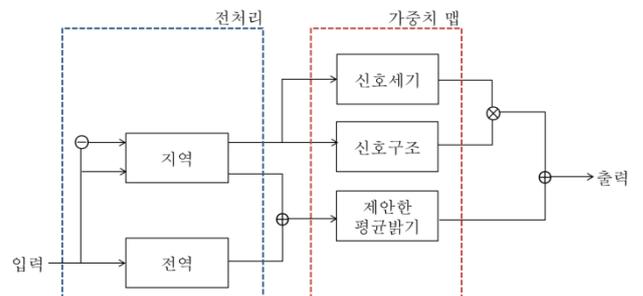


그림 2. 제안하는 알고리즘 순서도

기존의 알고리즘에서는 지역적인 명암 대비를 높이기 위해서 패치 단위로 컨볼루션을 수행하고 평균 밝기 부분에 가중치 맵으로써 2 차원 가우시안 프로파일을 이용하였다. 하지만 2 차원 가우시안 프로파일의 특성상 단일 돌출 (single peak)부분을 생성하기 때문에 분포 값이 한쪽으로 치우치게 되는 결과를 초래한다. 따라서 결과 영상은 영상 내의 과노출 영역에서 과포화 현상이 나타나 영역 내 물체 식별이 어렵다. 영상이 전체적으로 희뿌옇게 되어 시각적 품질이 저하되므로 화질의 손상을 발생시킨다.

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 그림 2 와 같이 가중치를 적용한 평균 밝기 부분에 영상의 평균 밝기를 이용한 감마 변환 값을 선형 결합하였다. 제안된 알고리즘은 너무 밝거나 어두운 영상과 같이 밝기 값이 한쪽으로 치우쳐진 영상을 교정하고 밝기 값을 부드럽게 조절한 영상을 얻을 수 있게 한다. 평균 밝기 값을 이용한 가중치 감마 변환은 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다. 기존 감마 변환의 경우 사용자가 원하는 영상을 얻기 위해 직접 감마 값 r 을 지정한다. 하지만 본 논문에서는 전처리 과정에서 수행한 전역적 및 지역적 영상의 평균 밝기 μ 값을 이용하여 식 (10)을 이용해 전역적 및 지역적 감마 값 r 을 결정한다. $r = 1$ 인 경우 지수 값이 1 이되어 선형적 특성을 나타내고, $r > 1$ 인 경우 감마가 압축되어 전체적으로 어두워지며 $r < 1$ 인 경우 감마가 보정되어 전체적으로 밝아진다.

$$G(x) = X^r \tag{9}$$

$$r = \frac{\mu}{0.5} \quad (0 \leq \mu \leq 1) \tag{10}$$

식 (9)와 같이 감마 변환을 이용하여 전역적 가중치 $G_G(x)$ 와 지역적 가중치 $G_L(x)$ 을 구한다. 이 후, 식 (11)과 같이 가중치 $m(0 \leq m \leq 1)$ 을 이용하여 전역적 가중치 $G_G(x)$ 와 지역적 가중치 $G_L(x)$ 을 선형 결합하여 새로운 가중치 맵 $G_{GL}(x)$ 을 생성한다.

$$G_{GL}(x) = \{m \times G_G(x)\} + \{(1 - m) \times G_L(x)\} \tag{11}$$

여기서 가중치 m 은 사용자 정의 상수를 의미한다. 최적의 m 을 구하기 위해 실험한 결과 m 을 작게 할수록 영상이 전체적으로 밝아졌고, m 을 크게 할수록 어두워졌다. 따라서, 본 논문에서는 가중치의 평균으로 $m = 0.5$ 을 사용하였다.

4. 실험 결과 및 분석

본 실험은 Windows Embedded 8 64 비트 운영체제 Intel Core i5-2500 CPU 3.30GHz 의 PC 환경에서 MATLAB R2016a 으로 실험을 진행하였다. Ma [6]의 기존의 알고리즘과 제안하는 알고리즘에서 패치의 크기는 11×11 를 사용하였으며, 파라미터 p 는 4 로 설정하였다. 제안하는 알고리즘의 성능을 평가하기 위해서 기존의 알고리즘과 주관적인 화질을 비교하였다.

다음은 3 개의 테스트 영상에 대해 주관적 화질을 비교한 결과이다. 그림 3 을 보면 실내에서 촬영한 영상으로 기존의 알고리즘(a)은 창문 밖 영역의 빛이 과포화 현상이 나타나서 물체의 식별이 어렵지만, 제안한 알고리즘(b)에서는 창 밖의 물체를 쉽게 식별 할 수 있다. 그림 4 를 보면 기존의 알고리즘(c)은 건물 내에 불빛이 있는 부분에 빛이 많이 번지고 그로 인해 영상 전체가 뿌옇게 되는 결과를 초래하였다. 그러나 제안하는

알고리즘(d)에서는 빛이 번지는 현상을 막고 건물의 창이나 벽의 세세한 부분을 살려 시각적인 품질을 향상시켰다. 그림 5 를 보면 기존의 알고리즘(e)은 전체적인 영상의 밝기가 어둡다. 특히 어두운 영역의 빛이 불포화 상태가 되어 물체의 식별이 어려운 결과를 초래하였다. 제안하는 알고리즘(f)에서는 전체적인 영상 밝기를 조절해주고 건물 안의 물체가 식별된 결과를 보였다.

5. 결론

본 논문에서는 감마 변환에 기반한 선형 결합을 수행하여 새로운 화질개선 알고리즘을 제안하였고, 제안된 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 기존의 알고리즘과 비교 실험을 수행하였다. 실험결과에 따르면 제안된 알고리즘은 명암대비 면에서 기존의 알고리즘 보다 자연스럽게 나타났다. 또한 밝기 값이 한쪽으로 치우쳐진 영상을 교정하고 부드럽게 하여 시각적 품질이 향상된 결과를 얻을 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2015R1A2A2A01006004)

참고문헌

- [1] E. Reinhard, W. Heidrich, P. Debevec, S. Pattanaik, G. Ward, and K. Myszkowski, *High Dynamic Range Imaging: Acquisition, Display, and Image-based Lighting*. Morgan Kaufmann, 2010.
- [2] P.J.Burt, *The pyramid as a structure for efficient computation*. Springer, 1984.
- [3] K. Ma, K. Zeng, and Z. Wang, "Perceptual quality assessment for multi-exposure image fusion," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 24, no. 11, pp. 3345-3356, 2015.
- [4] T. Mertens, J. Kautz, and F. Van Reeth, "Exposure fusion: A simple and practical alternative to high dynamic range photography," *Computer Graphics Forum*, vol. 28, no. 1, pp. 161-171, 2009.
- [5] P. J. Burt and R. J. Kolczynski, "Enhanced image capture through fusion," in *ICCV*, 1993.
- [6] K. Ma and Z. Wang, "Multi-exposure image fusion: A patch-wise approach," in *IEEE International Conference on Image Processing*, pp. 1717-1721, 2015.
- [7] 정소영, 정민교, "감마변환을 사용한 히스토그램 평활화" *정보과학회 컴퓨터의 실제 논문지*, 제 20 권, 제 12 호, pp. 646-651, 2014.



(a) 기존의 알고리즘

(b) 제안하는 알고리즘

그림 3. 주관적 화질 비교



(c) 기존의 알고리즘

(d) 제안하는 알고리즘

그림 4. 주관적 화질 비교



(e) 기존의 알고리즘

(f) 제안하는 알고리즘

그림 5. 주관적 화질 비교