

픽셀 값의 컨벡스 성질을 이용한 다노출 영상의 융합 기법

안재현 국중갑 이상헌 조남익

서울대학교 전기·컴퓨터 공학부

jhahn@ispl.snu.ac.kr

Fusion of multiple images based on convexity of pixel value

An, Jae Hyun Kuk, Jung Gap Lee, Sang Heon Cho, Nam Ik

School of Electronic Engineering and Computer Science, Seoul National University

요약

본 논문에서는 새로운 척도에 기반한 다노출 영상 융합 방법을 제안한다. 제안하는 방법에서는 각 노출정도에 따른 픽셀값의 그래프가 컨벡스 형태를 갖는다는 성질과 대조 값의 차이를 고려한 MRF (Markov Random Field) 기반의 에너지 함수를 설계하고 그 에너지 함수를 그래프컷 (Graph cut) 으로 풀어 각 노출치 영상에 대한 가중치 맵 (weight map)을 형성한다. 그리고 가중치 맵을 곱한 각 영상을 더함으로써 융합된 영상을 얻는다. 제안한 컨벡스 성질을 기반으로 한 척도는 특정 컬러 성분이 다른 컬러 성분보다 먼저 과노출 상태에 도달 한 경우의 영역을 가중치 계산에서 제외할 수 있기 때문에 기존의 가중치 기반의 방법보다 정확한 가중치 맵을 형성할 수 있게 한다. 실험 결과 제안하는 방법은 기존의 다노출 영상 융합에 비해 보다 넓은 영역에서 원 영상의 정보를 더 잘 표현하는 것을 확인하였다.

1. 서론

카메라에서 영상을 취득할 경우 동적 범위 (Dynamic Range)의 제한으로 인해 실세계의 색을 디스플레이 장치에서 그대로 표현할 수 없다. 즉 디스플레이에서 우리들이 보는 것은 카메라에서 실세계의 값을 임의의 비선형 함수를 이용하여 새로운 값으로 대응시킨 결과값으로서, 취득하는 영상의 동적 범위가 넓은 경우 지나치게 밝거나 (over-exposed) 어두운 (under-exposed) 영역이 존재하여 영상의 특정 영역이 잘 표현되지 못하는 현상이 발생한다. 이런 문제를 해결하기 위하여 그림 1과 같이 두 장 이상의 다노출 영상을 획득하고, 이를 이용하여 모든 영역에서 적절한 노출 값을 갖도록 하는 HDRI (High Dynamic Range Imaging) 알고리즘의 개발이 활발히 이루어지고 있다.

기존의 HDRI 알고리즘은 크게 2 가지로 분류할 수 있다. 첫 번째는 다노출 영상으로부터 각 픽셀의 고유 조도 (irradiance) 값을 구하여 라디언스 맵 (radiance map)을 형성하고 이를 톤 매핑 (tone reproduction or tone mapping)을 통하여 각 디스플레이에 적합한 최종 영상을 만들어 내는 방법이다 [1]. 이 방법에서 넓은 동적 범위를 가진 라디언스 맵을 형성하고 이를 디스플레이 장치에 맞는 동적 범위로 축소시키는 과정에서 톤 매핑 기법이 사용되는데 이 또한 크게 두 가지로 나눌 수 있다: (i) 임의의 함수를 이용하여 픽셀 값의 분포를 조정하는 커브 (curve) 방식의 톤 매핑 (tone reproduction curve: TRC) [2], (ii) 인접한 픽셀 값을 공간적으로 고려하여 조정하는 오퍼레이터 (operator) 방식의 톤 매핑 (tone reproduction operator: TRO) [3]. 이 기법들은 픽셀값을 임의의 비선형 함수를 이용하여 넓은 동적 범위를 가진 값으로 대응시키는 과정이 포함되어 있으므로 많은 계산량이 필요하다

두 번째는 다노출 영상으로부터 각 영상에 대한 가중치 맵을 구하

고 이를 이용하여 영상을 융합하는 방법이다. 각 영상에 대한 가중치 맵을 구하는 방법에는 특정 크기의 블록을 잡고 그 블록의 엔트로피를 이용하는 방식[4]과 각 픽셀에 대하여 대조 (contrast), 채도 (saturation) 그리고 노출량 (well-exposedness)의 3 가지 척도를 이용하는 방식[5]이 널리 사용되는데 픽셀 기반의 방식이 더 좋은 성능을 보이는 것으로 알려져 있다. 여기서 대조 성분은 에지나 텍스처 같은 중요한 요소를 많이 포함하는 영역에 높은 가중치를 주기 위해 사용되고, 채도 성분은 영상이 더 선명한 색상을 가지는 영역에 높은 가중치를 주기 위하여 사용된다. 그리고 노출량 성분은 픽셀 값이 0과 255의 중간인 128의 값에 가까울수록 가중치를 높게 준다. 하지만 이 방법에서 사용 척도인 채도는 단지 R, G, B 세 가지 값의 분산으로

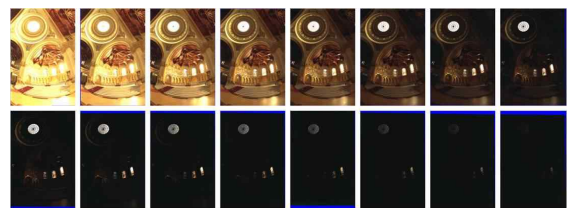


그림 1. 16 장의 다노출 영상

측정되므로 (분산이 클수록 선명한 색상을 가지는 것으로 판단) 적절하지 않다. 예를 들어 다노출 영상에서 과다 노출된 결과로서 노란색 ((R,G,B)=(255,255,0))영역이 존재할 경우, 작은 값이라도 가중치를 갖게 되므로 영상 융합 시 결과에 좋지 않은 영향을 미치게 된다.

본 논문은 이런 문제점을 해결하기 위하여 대조 값과 각 픽셀 값의 컨벡스 성질을 이용한 새로운 척도를 제안하고, 이를 이용하여 HDRI를 위한 가중치 맵 형성 문제를 MRF 기반의 에너지 함수 최소화 문제로 설계한다. 새롭게 제안된 컨벡스 성질을 이용한 척도는 특정

컬러 성분이 다른 컬러 성분보다 먼저 과노출 상태에 도달 한 경우에 대하여 보다 더 좋은 가중치 맵을 형성할 수 있게 한다. 그 결과, 제안하는 방법은 기존의 방법에 비해 더 넓은 영역에 대해 보다 적절한 노출 값을 가진 영상을 만들어 낸다.

2. 제안하는 알고리즘

2.1 가중치 맵의 형성

제안하는 HDRI 방법에서는 다노출 영상으로부터 각 영상에 대한 가중치 맵을 구하고 이를 곱한 각 영상들을 더함으로써 융합된 영상을 얻는다. 본 논문에서 새로이 제안하고자 하는 바는 HDRI 과정에서 가중치 맵을 구하는 새로운 방법으로서 대조 성분과 컨벡스 성질 기반의 채도를 사용하는 것이다. 대조 성분은 기존의 연구 [5] 에서 널리 사용되던 척도로서 라플라시안 필터의 값으로 정의된다. 일반적으로 이 값이 클 경우 예지나 텍스처 부분을 더 잘 표현하는 것이기 때문에 대조 성분이 큰 영상에 높은 가중치를 부여한다. 두 번째 척도는 컨벡스 성질 기반의 채도인데, 이는 연속된 다노출 영상이 주어졌을 때 노출이 맞는 영상일 경우 그 영상에 인접한 영상들의 픽셀 값의 변화는 컨벡스 함수의 형태를 가진다는 것을 이용한 것이다.

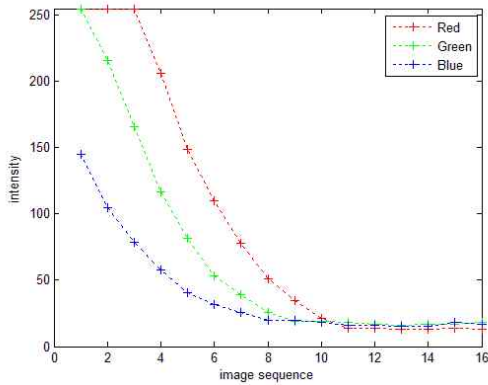


그림 2. 그림 1의 각 영상에 따른 컨벡스 성질 기반의 채도 성분

그림 2는 그림 1의 다노출 영상의 노출 값에 따른 픽셀 값의 변화 추이를 보여준다. 그래프의 가로축은 다노출 영상의 영상 번호를 나타내고 세로축은 그 영상에서의 픽셀 값을 나타낸다. 그림 2 에서 보이는 바와 같이 CCD 영상의 특성은 노출 대 픽셀값의 그래프가 아래로 볼록인 형태를 취한다는 것이다. 만약 한 색상이라도 포화된 상태가 되면 이러한 형태가 위반되므로 (ex : 그림 2에서 R 채널 영상 번호가 3이하인 경우) 제안하는 방법에서는 픽셀 값이 컨벡스 함수를 이루고 있지 않다면 이를 색 포화상태로 보고 적절한 노출 값을 가지는 영상이 아니라고 판단한다.

이상에서 언급한 성질들에 따라, 다노출 영상에서 픽셀 색상 값이 컨벡스 함수를 따르는 영상들 중 대조 값이 가장 큰 영상에서의 픽셀 값을 선택하는 가중치 맵을 형성한다. 인접하는 픽셀들에서 선택된 영상의 노출 정도는 유사하여야 하므로 MRF 이론을 이용하여 에너지 함수를 설계하였고, 그래프킷을 이용하여 에너지 함수를 풀었다 [6]. 구체적으로, 다노출 영상에 대해서 적절한 노출 값을 갖는 픽셀 위치이면 1 이고 아니면 0 인 이진 라벨을 갖는 가중치 맵을 만든다. 각 영상의 모든 픽셀의 집합을 V 라고 하고 각 픽셀 p 의 이진 라벨이 $f_p \in \{0,1\}$ 이라고 하면 이진 라벨 맵은 $f = \{f_p | p \in V\}$ 로 정

의된다. 이를 기반으로 MRF를 이용하여 에너지 함수를 설계하면 다음과 같다.

$$E(f) = \sum_{p \in V} D(f_p) + \lambda \sum_{(p,q) \in N} S(f_p, f_q)$$

이 때 N 은 4 개의 인접한 픽셀의 집합이고 λ 는 data 에너지 D 와 smoothness 에너지 S 사이의 가중치 값이다. 각 픽셀 p 에서의 대조 성분의 값을 $C(p)$ 라고 하면 에너지 D 는 다음과 같다.

$$D(f_p) = e^{-C(p)^2} \times \delta_{convex}(p)$$

$\delta_{convex}(p)$ 는 다음 식과 같이 픽셀 값이 컨벡스 성질을 가지면 1 로 주고 아니면 상수 K 로 준다 ($K \gg 1$).

$$\begin{cases} \delta_{convex}(p) = 1, & \text{if } v(p)_{i-1} > v(p)_i > v(p)_{i+1} \\ \delta_{convex}(p) = K, & \text{otherwise} \end{cases}$$

이 때, $v(p)_j$ 는 j 번째 영상번호에서의 픽셀 값으로 한 색상이라도 컨벡스 형태가 위반되면 상수 K 값을 갖는다. 그리고 에너지 S 는 다음과 같이 potts 모델을 이용하여 간단히 나타낼 수 있다.

$$S(f_p, f_q) = \omega_{pq} \times \delta(f_p, f_q)$$

여기서 $\delta(f_p, f_q)$ 는 델타 함수이고 ω_{pq} 는 예지 성분으로

$$\omega_{pq} = e^{-G_{pq}^2}$$

$$G_{pq} = C(p) - C(q)$$

로 주어 인접하는 픽셀들의 적절한 노출 값이 비슷하도록 설정해준다.

2.2 다노출 영상의 융합

2.1 장에서 생성한 가중치 맵을 선형적으로 융합 하면 각 픽셀에서의 노출 값이 다르기 때문에 융합한 영상이 자연스럽게 못하고 층이 생기게 된다. 이를 해결하기 위해 제안하는 방법에서는 기존의 방법과 같이 가중치 맵과 다노출 영상을 피라미드 분해 알고리즘을 이용하여 융합한다 [7]. 다 노출 영상은 2 개의 가우시안 피라미드 레벨 차이를 이용하여 라플라시안 피라미드 분해를 하고 가중치 맵은 가우시안 피라미드 분해를 수행한다. 그리고 각 레벨 별로 융합하면 결과 이미지를 얻게 된다.

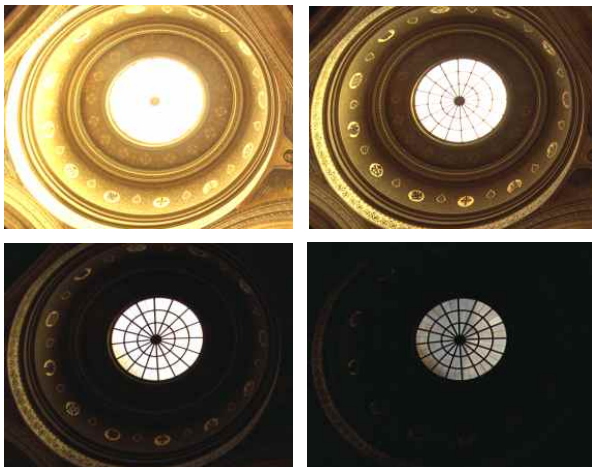
3. 실험 결과

그림 3은 제안된 다노출 영상 융합 방법을 노출 시간을 1/1024 초부터 2 배 간격으로 늘려가며 32 초까지 하여 획득한 16 장의 다노출 영상 (그림 1 : Stanford memorial church) 에 적용한 결과를 보여준다. 제안하는 방법이 (그림 3-(b)) 기존의 방법 [5] (그림 3-(a)) 에 비하여 더 많은 영역에서 적절한 노출 값을 가지는 영상으로 융합함을 알 수 있다. 기존의 방법에서는 채도 성분으로 인해 과노출 영역에서도 가중치를 가질 수 있기 때문에 원래 영상에서 존재하는 정보를 잘 나타내지 못하는 경우가 발생한다. 그림 4가 이러한 경우를 잘 보여주는 것으로서, 창문 같은 영역의 경우에 기존의 방법과는 달리 노출 시간이 짧은 영상에서 선택되기 때문에 제안한 알고리즘이 실제계의 정보를 더 잘 나타냄을 알 수 있다.



(a) (b)

그림 3. (a) 기존의 방법 [5]을 적용한 결과 (b) 제안한 알고리즘을 적용한 결과



(a)



(b)

그림 4. (a) 그림 1의 선택적인 영역 (b) 그림 4(a)에 기존의 방법 [5]을 적용한 결과 (왼쪽)와 제안한 알고리즘을 적용한 결과 (오른쪽).

4. 결론

본 논문에서는 다중노출을 통하여 얻은 영상을 융합하여 동적 범위를 확대하는 기법을 제안하였다. 제안하는 방법은 대조와 컨텍스트 성질 기반의 채도를 적도로 한 MRF 기반의 에너지 함수를 설계하여 각 픽셀에 대하여 최적의 노출 영상을 선택하고 이를 이용하여 가중치 맵을 형성하였다. 실험 결과 제안하는 방법은 영상을 기존의 방법에 비해 상대적으로 더 넓은 영역에 대해 적절한 노출 값을 가지도록 융합함을 알 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(20100001961)

5. 참고문헌

- [1] Paul E. Debevec and Jitendra Malik, "Recovering High Dynamic Range Radiance Maps from Photographs", In *SIGGRAPH '97: Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pages 369-378, New York, NY, USA, 1997. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co.
- [2] J. Tumblin and H. Rushmeier, "Tone reproduction for realistic images", *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 13, pp. 42-48, 1993
- [3] K. Chiu, M. Herf, P. Shirley, S. Swamy, C. Wang and K. Zimmerman, "Spatially nonuniform scaling functions for high contrast images", *Proc. graphics Interface '93*, pp. 245-253, 1993
- [4] A. Goshtasby, "Fusion of multi-exposure images", *Image and Vision Computing*, 23:611-618, 2005
- [5] Tom Mertens, Jan Kautz and Frank Van Reeth, "Exposure fusion", *Proceedings of Pacific Graphics 2007*, Hawaii, Nov. 2007, pp. 382-390
- [6] Jolly M.-P. Boykov, Y.Y., "Interactive graph cuts for optimal boundary & region segmentation of objects in n-d images", *In ICCV*, vol. 1, pp. 105-112, 2001
- [7] P. Burt and T. Adelson, "The Laplacian Pyramid as a Compact Image Code", *IEEE Transactions on Communication*, COM-31:532-540, 1983