

최적화 기법에 기반한 정지 영상의 채색화 기법

*허준희 **현대영 ***이상욱

서울대학교 전기컴퓨터공학부 뉴미디어통신연구소

*junhee@snu.ac.kr

Image Colorization based on Optimization

*Heu, Jun-Hee **Hyun, Dye-Young ***Lee, Sang-Uk

School of Electrical Engineering and Computer Sciences,
Seoul National University, INMC.

요약

채색화는 흑백 영상에 색 정보를 추가하거나 영상의 색을 변환하는 영상 개선 기법이다. 본 연구는 최소한의 사용자 개입을 통해 흑백 영상을 자연스러운 칼라 (color) 영상으로 전환하는 채색화 기법을 제안한다. 우리는 우선 자연스러운 채색 결과를 위한 채색화 함수를 정의한다. 제안하는 채색화 함수는 유사한 밝기 정보를 가지는 이웃 픽셀들은 비슷한 색 정보를 가질 확률이 높다는 간단한 가정 하에 MRF (Markov Random Field)에 기반하여 모델링한다. 채색화 함수에 의해 색이 전체적으로 자연스럽게 분포될 수 있도록, 확산 신뢰도를 정의한 후 신뢰도에 따라 채색 순서를 결정한다. 이후, 채색 순서에 따라 각 픽셀에 채색화 함수를 적용하여 자연스러운 채색 결과를 도출한다. 실험 결과에서 보듯이, 제안 기법은 적은 색상 정보의 입력을 통해 효과적으로 채색화 하며, 기존 기법에 비해 자연스러운 결과를 제시한다.

1. 서론

멀티미디어 기술의 발전에 따라 사용자는 개선된 화질의 영상을 요구한다. 일반적으로 영상은 밝기 정보와 색 정보로 구성된다. 특히 색 정보는 영상의 질뿐만 아니라 영상의 분위기를 결정하는 중요한 요소이다. 색은 19세기 말 인상파 화가들에 의해 체계적으로 연구가 시작되었고, 현재까지 지속적으로 연구가 활발히 진행되고 있다. 현재 디지털 영상의 색에 대한 관심 역시 증가하고 있다. 일례로, 흑백의 영상이 칼라 (color) 영상으로 발전하고, 이제는 하이 다이내믹 레인지 이미징 (high dynamic range imaging, HDR) [1]과 같이 색 영역을 증가시켜 영상을 취득하는 기술에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 그러나 과거에 획득한 영상이나 잘못 취득된 영상의 색 보정 및 개선에 대한 연구는 미약한 실정이다. 따라서 색 정보를 추가하거나 변환하는 영상 개선 기법에 대한 연구가 필요하다.

채색화 기법은 최소한의 사용자 개입을 통해 영상에 색을 추가하거나 변환하는데 목적을 두고 있다. 제안 기법은 사용자가 입력한 최소한의 소스를 이용하여 영상을 자연스럽게 채색한다. 이를 위해 우리는 색 정보의 신뢰도를 평가하는 함수와 채색화 함수를 정의한다. 신뢰도 함수를 통해 각 픽셀의 신뢰도를 부여하고 신뢰도에 따라 색 확장 순서를 결정한다. 결정된 순서에 따라 채색화 함수를 적용하여 채색화 과정을 반복하여 자연스러운 결과를 도출한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서 기존 채색화 기법에 대해 간단히 살펴본 후, 3장에서 신뢰도 평가 함수와 채색화 함수를 정의

하고, 이를 사용한 채색화 기법을 제안한다. 4장에서 모의 실험 결과를 통해 기존 기법과 비교하고 마지막으로 5장에서 결론과 향후 계획을 제시한다.

2. 기존 채색화 기법

채색화는 1970년 W. Mark에 의해 처음 사용되었으며, 이후 다양한 기법들이 개발되었다 [2]. 초기 형태의 반자동적 채색화 기법은 2002년에 Welsh *et al.*에 의해 소개되었다 [3]. Welsh *et al.*은 참조 영상 (reference image) 으로부터 색 정보를 전달받는 타겟 영상을 채색 하였다. 정확한 색 정보를 전달하기 위해, 밝기 정보의 평균과 표준 편차, 그리고 질감 (texture) 특징 등에 기반하여 두 영상의 픽셀 (pixel) 들을 매칭(matching) 한다.

이후 채색화 기법은 소스로 들어온 소량의 색 정보를 이용하여 전체 영상을 자연스럽게 채색하는데 초점을 두고 개발 되고 있다. Levin *et al.*은 비슷한 밝기를 가지는 이웃 픽셀은 유사한 색 정보를 가진다고 가정하였다. 이 가정에 기반한 에너지 (energy) 함수를 정의한 후, 최소자승법 (least square method)을 이용하여 영상의 에너지를 최소화하는 각 픽셀의 색 정보를 결정하였다 [4]. 그리고 L. Yatziv 와 G. Sapiro [5]는 입력된 초기 색 정보로부터 각 픽셀까지의 거리를 정의하였다. 이때, 거리는 누적된 밝기 정보의 차이로 정의되며, 가장 작은 최단 거리 (shortest path)의 조건을 만족한다. 이후, 정의된 거리에 반비례하는 가중치에 따라 픽셀의 색을 결정한다.

[4]와 [5]에서 사용자의 개입을 통해 초기의 색 정보를 입력받는 반면에, R. Irony *et al.*은 [6]의 기법을 사용하여 사용자의 개입을 최소화하였다. 이때, 영상 분할 기법과 DCT (discrete cosine transform) 계수를 질감 특징으로 사용하여 매칭 성능을 향상 시켰다. 그리고 각

“본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음.”

(IITA-2008-C1090-0801-0018)

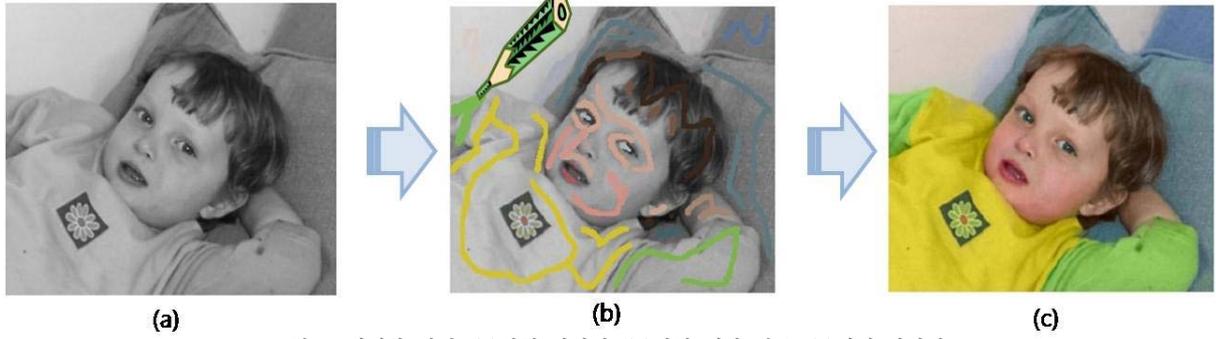


그림 1. 채색화 기법: (a)입력 이미지, (b)입력 색상 정보, (c)채색 이미지.

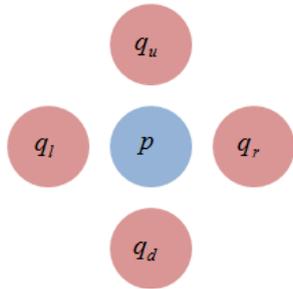


그림 2. 이웃 픽셀 정의

매칭의 정확도를 판단하는 함수를 정의하고, 정확도가 임의의 임계치보다 높은 픽셀의 색 정보를 소스로 채택하였다. 이후, [4]의 기법을 적용하여 채색화를 완료한다.

색 정보를 자연스럽게 확장하는 방법은 현재 [4]와 [5]가 많이 활용되고 있다. 그러나 [4]는 사용자가 입력한 소스의 거리가 멀 경우 색이 희석되는 단점이 나타나고 있다. 이에 반해 [5]는 희석이 되지는 않지만, 거리와 색의 정보 사이의 관계가 불명확 하며, 소스의 위치에 큰 영향을 받는다.

3. 제안 알고리즘

본 논문은 그림 1. (a)과 같이 s 개의 픽셀을 가지는 영상에 그림 1. (b)과 같이 사용자가 색 정보를 입력 하였을 때, 그림 1. (c)와 같은 자연스러운 채색 결과를 목표로 한다. 본 절에서 우리는 우선 자연스러운 채색을 위해 MRF에 기반한 채색화 함수를 정의한다. 이후 정의한 채색화 함수가 전체적 최적화 (global optimization)를 만족할 수 있도록 채색 순서를 결정하고, 결정된 순서에 따라 반복적으로 채색화 기법을 적용한다.

가. 채색화 함수

채색화 함수를 정의하기 위해 우리는 우선 다음과 같은 에너지 함수를 정의한다.

$$J = \sum_{p=0}^s [\alpha_p (f(p) - c_p)^2 + (1 - \alpha_p) \sum_{q \in N} w_{p,q} (f(p) - f(q))^2]. \quad (1)$$

이때 $f(p)$ 는 p 픽셀의 색 정보를 의미하는 미지수이며, α_p 는 초기에 사용자에게 의해 입력된 색 정보 여부를 판단하는 변수로 p 픽셀이 소스

라면 1 아니라면 0에 매우 가까운 값을 가진다. c_p 는 p 픽셀에 부여된 초기 색 정보를 의미한다. N 은 그림 2에서 보듯이 p 픽셀의 이웃 픽셀들의 집합으로 q_u, q_d, q_l, q_r 을 의미한다. 마지막으로 $w_{p,q}$ 는 다음과 같다.

$$w_{p,q} = \frac{e^{-|I_p - I_q|} \cdot \beta_q}{\sum_{t \in N} [e^{-|I_p - I_t|} \cdot \beta_t]}, \quad (t, q \in N). \quad (2)$$

I_p 를 p 픽셀의 밝기 정보라 하고, β_p 는 p 픽셀의 색에 대한 확산 신뢰도를 의미하며 3. 나. 절에서 자세히 설명한다.

(1)에서 정의한 에너지 함수의 값을 최소화하기 위해 J 를 $f(p)$ 로 미분하면,

$$\frac{J}{\partial f(p)} = f(p) - \alpha_p c_p - f(p) \sum_{q \in N} [(1 - \alpha_q) w_{q,p}] - (1 - \alpha_p) \sum_{q \in N} [w_{p,q} f(q)] + \sum_{q \in N} [(1 - \alpha_q) w_{q,p} f(q)] = 0, \quad (3)$$

이 된다. 따라서 p 픽셀의 색을 결정하는 채색화 함수는 다음과 같이 정의된다.

$$f(p) = \frac{\alpha_p c_p + \sum_{q \in N} f(q) [(1 - \alpha_p) w_{p,q} - (1 - \alpha_q) w_{q,p}]}{1 - \sum_{q \in N} [(1 - \alpha_q) w_{q,p}]} \quad (4)$$

픽셀 p 의 이웃 픽셀 q 의 색 $f(q)$ 역시 (4)에 의해 결정이 되기 때문에, 픽셀 p 의 색을 결정하기 위해서 모든 픽셀들 사이의 관계를 고려하여야 한다. 이는 현실적으로 불가능하기 때문에 일반적으로 그래프 컷 (graph cut)이 사용된다 [7]. 그러나 그래프 컷은 2개 라벨 (label)의 경우에는 전체적 최적화를 만족하지만, 라벨이 개수가 증가할수록 성능이 떨어지며, 흑백 영상에서 자연스러운 결과를 보이지 못하는 단점을 가지고 있다. 따라서 우리는 다음과 같이 채색 순서를 정의하여 전체적 최적화를 지향한다.

나. 채색 순서 정의

채색 순서는 확산 신뢰도 β_p 에 기반하여 결정되며, 다음과 같다.

$$\beta_p = \begin{cases} 1, & \text{if } \alpha_p = 1 \text{ or } \beta_p > 1, \\ \sum_{q \in N} \left[\frac{e^{-|I_p - I_q|}}{\sum_{t \in N} e^{-|I_p - I_t|}} \cdot \beta_q \right], & \text{if } \alpha_p = 0 \text{ and } \beta_p < 1. \end{cases} \quad (5)$$

	x=0	1	2	3	4	5
y=0	215	213	210	207	204	203
1	212	210	206	203	202	193
2	210	43	204	200	193	161
3	200	193	191	191	168	112
4	168	170	168	174	145	103
5	151	174	175	168	140	150
6	151	187	183	156	131	135
7	182	190	191	172	154	115
8	190	189	158	134	183	165

그림 3. 흑백 영상에 파란 색과 초록색의 소스를 입력한 예 (x, y: 각 픽셀의 위치 정보, 박스 안의 수치 : 밝기 정보.)

우리는 위 식과 같이 픽셀 p 가 가지는 확산 신뢰도를 확률로 모델링한다. 초기 β_p 는 α_p 에 의해 결정되며, 영향력이 큰 이웃 픽셀의 신뢰도가 높을수록 β_p 는 높은 값이 부여된다. 채색 순서는 β_p 가 가장 높은 픽셀을 우선 채색하고 신뢰도를 갱신하여 다음 채색 픽셀을 선택한다. 결정된 채색 순서에 따르면 $f(p)$ 에 큰 영향을 미치는 이웃 픽셀들의 색 정보 $f(q)$ 는 항상 먼저 채색된다.

그림 3은 흑백 영상에 파란 색과 초록 색 값을 색 소스로 부여한 예이다. $p(x, y)$ 는 x, y 번째 픽셀의 밝기 정보를 나타낸다. 따라서 초기 $\beta_{p(1,1)}, \beta_{p(1,2)}, \beta_{p(1,3)}, \beta_{p(2,3)}, \beta_{p(2,4)}, \beta_{p(3,2)}, \beta_{p(3,3)}, \beta_{p(1,6)}, \beta_{p(2,6)}, \beta_{p(3,6)}, \beta_{p(4,6)}$, 과 $\beta_{p(2,7)}$ 은 1의 값을 가지고 나머지 픽셀의 신뢰도는 0을 가진다. 이후 확산 신뢰도를 식 (5)에 의해 계산하여 높은 픽셀들을 정리하면 표 1과 같다.

따라서 $p(5,6)$ 이 우선 채색화 되며, $\beta_{p(5,6)}$ 은 1.0의 값으로 갱신된다. 이에 따라 $\beta_{p(5,5)}$ 과 $\beta_{p(5,7)}$ 의 값은 0에서 0.0067와 1.0의 값으로 갱신되며, $\beta_{p(5,7)}$ 의 값이 가장 높은 값을 가지게 되어 픽셀 $p(5,7)$ 이 다음 채색 후보 픽셀로 결정된다. 정의한 채색 순서에 따라 채색화 함수, 식(4)를 반복 적용하여 흑백 영상을 채색화 한다.

4. 실험 결과

채색 결과 비교 위해 우리는 "Baby," "Hand," 그리고, 1957년에 나온 "Funny Face"영화의 일부분의 흑백 정지 영상을 사용하였다. Levin이 제안한 기법, 그리고 그래프 컷을 이용한 채색화 기법을 사용하여 결과를 비교한다. 그림 4-7 (a)와 같이 색 소스를 입력하였고, [4]와 [5], 그리고 그래프 컷을 이용한 채색화 기법을 비교 알고리즘으로 사용하였다.

Yatziv 와 G. Sapiro는 밝기 차이가 누적된 형태를 거리 개념으로 정의하고 소스로부터의 최단 거리에 반비례하게 가중합 하여 각 픽셀의 색을 결정하였다. 그러나 거리 개념과 색의 연관성 사이의 관계가 모호하여, 그림 4-6 (b)에서 보듯이 모서리를 넘는 오류가 발생한다. Levin *et al.*은 유사한 밝기 정보를 가지는 이웃 픽셀은 비슷한 색 정보를 가진다는 가정 아래 전체 영상의 색 정보를 최소 자승법에 의해 채색하였다. 그림 4-6 (c)에서 보듯이 자연스럽게 불러되는 결과를 제시하나, 소스들 사이의 거리가 멀 경우 그림 6 (c)에서와 같이 색이 흐려

표 1. 초기 확산 신뢰도

픽셀	$p(5,6)$	$p(0,3)$	$p(3,7)$	$p(4,2)$
신뢰도(β_p)	1.0	0.9526	0.8858	0.8808

지거나, 그림 5 (c)의 손 위, 아래의 배경과 같이 극단적으로 잘못된 색 정보를 전달하는 경우가 발생한다. 그림 4-6 (d)에서 보듯이 제안 기법은 이웃 픽셀들의 신뢰도를 고려하여 채색 순서를 결정하고 이웃 픽셀과의 관계를 통해 채색하여 모서리 부분 등에서 기존 기법에 비해 불러되지 않고 자연스러운 결과를 제시한다.

그림 7 (b)는 식 (1)을 그래프 컷 [7]에 의한 최적화를 통해 영상을 채색한 결과이다. 식 (1)의 $f(p)$ 는 픽셀 p 의 라벨을 의미하며, 모든 픽셀의 신뢰도, β_p 는 1로 정의하였다. 이때, 라벨의 개수는 256개가 된다. 그림 7 (c)와 같이, 채색화 함수를 반복하여 적용하기 전에도 동일한 색의 영역을 확실하게 구분하고 있으며 그림 7 (d)와 같이, 반복을 통해 모서리 등에서 보다 자연스러운 결과를 얻는 것을 볼 수 있다.

5. 결론 및 향후 과제

본 논문은 정지 영상에 최소한의 사용자 개입으로 자연스러운 색 정보를 추가하는 채색화 기법을 제안한다. MRF 모델에 기반한 채색화 함수를 제안한다. 이때, 전체적 최적화를 만족하기 위해 확산 신뢰도를 정의하고 신뢰도에 기반하여 채색 순서를 결정한다. 실험 결과에서 볼 수 있듯이 제안 기법은 기존 기법에 비해 적은 색 소스로 자연스러운 채색화 결과를 도출한다.

현재 제시하는 확산 신뢰도와 신뢰도 갱신 방법이 직관적이기 때문에 이를 개선할 예정이다. 또한, 사용자의 개입을 혁신적으로 줄일 수 있는 동영상의 채색화에 대해 제안 기법을 확대할 예정이며, 잘못된 색에 대한 보정 역시 가능 할 것으로 기대한다. 채색화 기법은 흑백 필름(film) 시대의 흑백 영상이나, 만화를 비롯하여 광고 등의 영상에서 다양하게 활용 될 것으로 기대된다.

참고 문헌

[1] J.M .DiCarlo, B.A. Wandell, "Rendering high dynamic range images," in Proc. SPIE: Image Sensors, 1999, pp. 392-401.
 [2] G. Burns, "Colorization," Museum of Broadcast Communications :Encyclopedia of Television, <http://www.museum.tv/archives/etv/index.html>.
 [3] T. Welsh, M. Ashikhmin, and K. Mueller, "Transferring color to grayscale images," in Proc. ACM SIGGRAPH Conf., July 2002, vol. 20, no. 3, pp. 277-280.
 [4] A. Levin, D. Lischinski, and Y. Weiss, "Colorization using optimization," in Proc. ACM SIGGRAPH Conf., Aug. 2004, vol. 23, no. 3, pp. 689-694.
 [5] L. Yatziv and G. Sapiro, "Fast image and video colorization using chrominance blending," IEEE Trans. Image Processing, vol. 15, no. 5, pp. 1120-1129, May 2006.



그림 4. "baby" 영상에 대한 채색화 결과 비교 : (a) 원본 흑백 영상 + 입력 소스, (b) Yatziv 결과, (c) Levin 결과, (d) 제안 기법 결과

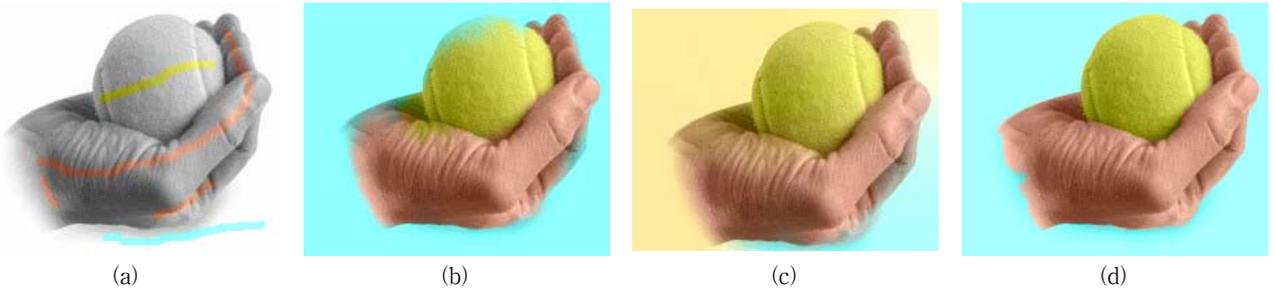


그림 5. "Hand" 영상에 대한 채색화 결과 비교 : (a) 원본 흑백 영상 + 입력 소스, (b) Yatziv 결과, (c) Levin 결과, (d) 제안 기법 결과



그림 6. "Funny Face" 영화의 일부 영상에 대한 채색화 결과 비교 : (a) 원본 흑백 영상 + 입력 소스, (b) Yatziv 결과, (c) Levin 결과, (d) 제안 기법 결과



그림 7. 그래프 컷을 이용한 채색화 결과와 제안 기법 비교 : (a) 원본 흑백 영상 + 입력 소스, (b) 그래프 컷에 의한 채색화 결과, (c) 제안 알고리즘의 반복 전 결과, (d) 제안 알고리즘의 반복 후 결과

[6] R. Ironi, D. Cohen-Or, and D. Lischinski, "Colorization by example," in *Proc. Eurographics Symposium on Rendering*, June 2005, pp. 201-210.

[7] Y. Boykov and G. Funka-Lea, "Graph cuts and efficient N-D image segmentation," *International Journal of Computer Vision*, vol. 70, no. 2, pp. 109-131, 2006.