

유사 색상 영역의 적응적인 주성분 분석을 이용한 표면분광반사율 추정

권 오 설, *이 철 희, 이 호 근, 하 영 호
경북대학교 전자전기컴퓨터학부, *경운대학교 컴퓨터공학부
전화 : 053-940-8635 / 핸드폰 : 016-539-8961

Spectral-Reflectance Estimation Using Adaptive Principle Component Analysis in Similar Color Region

Oh Seol Kwon, *Cheol Hee Lee, Ho Keun Lee, and Yeong Ho Ha
School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook University
*School of Computer Engineering, Kyungwoon University
E-mail : vha@ee.knu.ac.kr

Abstract

This paper proposes an algorithm that can reduce the estimation error of surface spectral-reflectance (SR) when using a conventional 3-band RGB camera. In the proposed method, the estimation error is reduced by using adaptive principle components (PCs) for each color region. To build an adaptive set of PCs, n SR populations are organized for n PC sets using the Lloyd quantizer design algorithm. The Macbeth ColorChecker is utilized for the initial representative SR values for 1485 Munsell color chips as the total color population, then the Munsell chips are divided into subsets with a set of corresponding adaptive PCs organized for each subset.

I. 서론

현재 보고된 바에 의하면 자연색 추정시에는 5매 이상의 색필터를 이용할 경우 인간 시각이 구별해 낼 수 있는 색차 범위 이내로 물체의 분광 반사율 추정이 가능하며 피부색과 같은 특수색의 경우에는 3매의 색필터를 이용하여 근소한 색차 범위 내에서 물체의 분광

반사율 추정이 가능하다고 보고 되고 있다[1,2]. 그러나 5대역 영상 획득 시스템의 경우 추가적인 색필터를 부착해야 하며 중복 촬영을 하여야 하므로 기존의 RGB카메라 시스템으로 구현이 어렵다. 따라서 기존의 RGB카메라를 이용하여 정밀한 분광 분포 추정을 위해 유사색 모집단을 구성하고 각 유사 색상 영역에 대해 별도로 주성분 벡터를 구함으로써 각 색에 대한 추정 오차를 줄이는 방법이 제안되었다[3]. 그러나 이 방법의 경우 전체 색을 영역별로 나누는 과정에서 Macbeth ColorChecker를 이용함으로써 유사색 모집단으로 나누어진 각 영역의 크기가 일정하지 않은 단점이 있다. 그러므로 본 연구에서는 색상 영역별 모집단들을 구하는 과정에서 Lloyd 양자화기 설계 알고리즘 [4]을 적용함으로써 모집단의 구성을 최적화하여 영역별로 고른 추정오차를 갖게 하였으며 결과 색상 영역별 모집단의 누적기여도를 개선할 수 있었다.

II. 제안된 유사 색상 영역별로 적응적인 주성분 집합을 이용한 분광 반사율 추정

2.1 유사 색상 영역별로 구성된 주성분 집합을 이용한 분광 반사율 추정

물체의 분광 반사율 곡선은 광원에 비해 변화가 급격하지 않으며 부드러운 곡선의 형태를 나타낸다. 따

라서 몇몇 연구자들에 의해 몇 개의 주성분의 조합으로 이루어지는 선형모델을 이용해 물체의 분광 반사율을 추정할 수 있다는 것이 보고 되었다. 이때 주성분 혹은 기저함수는 현색(color appearance) 시스템[5]의 각 색시료(color chips)에 대한 측정값으로 얻은 분광 데이터를 이용하여 구한다. 색시료에 대한 통계적인 방법으로는 주성분 분석방법이 많이 사용된다. 이때 사용되는 주성분 벡터의 수에 따른 실제 분광 반사율의 추정성 평가는 누적 기여율을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_m = 100 \times \frac{\sum_{i=1}^m a_i}{\sum_{i=1}^n a_i} \quad (1)$$

위 식에서 n 은 이산함수인 분광 반사율을 구성하는 표본의 크기이며 m 은 주성분의 수를 타낸다. 본 연구에서는 기존의 3대역 카메라를 사용하면서 계산된 주성분의 전개계수에 대한 누적 기여율을 높이기 위해, 각 입력색에 대하여 유사 분광반사율 모집단을 구성한 후 이 모집단을 이용하여 분광 반사율을 추정하였다. 제안된 추정 방법은 그림 1과 같다.

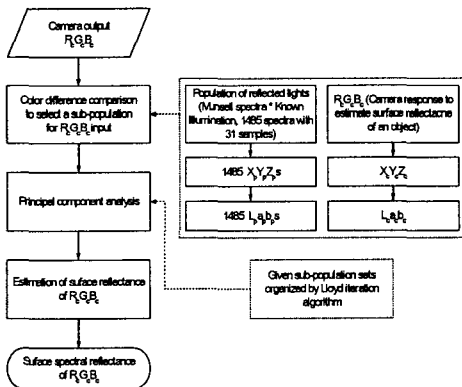


그림 1. 제안한 유사 분광반사율 모집단별로 구성된 주성분 집합을 이용한 분광 반사율 추정의 흐름도

제안된 방법에서는 그림 1과 같이 1485개의 Munsell 모집단으로부터 색상 영역별로 세분화된 모집단의 집합을 얻고 각 모집단에 대해 별도의 주성분 벡터를 구하였다. 따라서 RGB로 표현되는 임의의 색이 분광반사율 모집단 집합의 어떤 원소에 포함되는지 알기 위해 그림 1의 우측 상단 점선 상자와 같이 색차 비교를 통해 입력색이 포함되는 분광 반사율의 세부 모집단을 찾고 다시 그 영역에 포함되는 분광반사율 전체로 구성된 세부 모집단 분광반사율 데이터를 이용해 주성분 벡터를 구한 다음 분광반사율을 추정한다.

2.2 유사 색상영역별 적응적인 분광 반사율 모집단 구성을 위한 Lloyd 알고리즘

그림 1에서 제안된 방법은 색상별로 유사한 모집단에 대해 각각 주성분 벡터를 구하여 적용한다는 측면에서 본 저자의 기존 연구[3]와 동일한 흐름을 보인다. 그러나 기존 방법의 경우 Munsell로 표현되는 색의 전체 분광 반사율 모집단을 세부 모집단으로 나누는 과정에서 Macbeth ColorChecker를 중심색으로 이용하였다. 그러나 Macbeth ColorChecker의 각 색시료가 CIELAB공간에서 비교적 균등하게 분포함에도 불구하고 Munsell의 전체 분광반사율을 대표하는 중심색은 아니다. 그러므로 본 논문에서는 Munsell 모집단의 분광반사율을 형태에 따라 균등하게 분할하고 분할된 각 영역에 대해 주성분 벡터를 구함으로써 모집단 구성을 최적화 하였고 각 모집단에 대해 별도의 주성분 벡터를 구성함으로써 모집단에 따른 추정오차의 분산을 줄였다. 이때 Munsell모집단을 균등하게 분할하기 위하여 Lloyd 양자화가 실제 알고리즘을 적용하였다.

Lloyd 알고리즘은 반복 최적화 알고리즘의 대표적인 것으로서 K 평균 집합화(K-means clustering) 방법을 기반으로 한다. 본 연구에서는 Lloyd 알고리즘의 적용을 위하여 양자화 벡터와 입력 데이터 벡터간의 오차, E 를 다음과 같이 정의 하였다.

$$E = \sum_{\lambda=400}^{700} |c_i(\lambda) - p_k(\lambda)| \quad (2)$$

식(2)에서 $c_i(\lambda)$ 는 양자화 벡터 즉 시작 단계의 경우 Macbeth ColorChecker중 하나의 분광반사율이며 각 반복 단계에서는 새로운 대표 분광 반사율을 의미한다. 그리고 $p_k(\lambda)$ 는 Munsell 1485개의 색시료 중 하나의 분광반사율을 의미한다. 각 분할 단계에서는 1485개의 Munsell 분광반사율 각각을 식(2)에 정의된 벡터간 오차를 가장 작게 갖는 대표 분광반사율로 사상한다. 본 논문에서는 24개의 초기 양자화 벡터를 사용했으므로 각 반복 단계마다 24개의 모집단으로 분할되며 각 모집단에 속하는 전체 분광반사율의 평균을 그 모집단에 대한 새로운 대표 분광반사율로 정의한다. 24개의 새로운 대표 분광반사율에 대한 결정이 모두 끝나면 다음과 같이 정의되는 전체 분광반사율의 오차, TE 를 구한다.

$$TE = \sum_{n=1}^{1485} \sum_{\lambda=400}^{700} |c_r(\lambda) - p_n(\lambda)| \quad (3)$$

위 식에서 $c_r(\lambda)$ 은 임의의 $p_n(\lambda)$ 이 속하는 모집단의 대표 분광반사율을 의미한다. 이렇게 각 단계마다

TE를 구하여 이 값의 수렴도를 평가하는 방법으로 Lloyd알고리즘을 반복 적용하였다. 본 논문에서 유사 분광반사율 모집단을 구하기 위한 과정은 그림2와 같다.

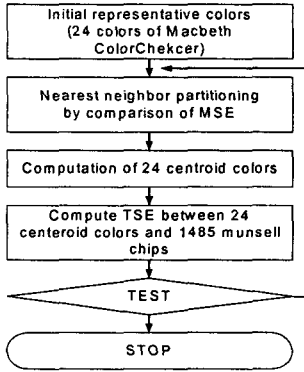


그림 2. 유사 분광반사율 모집단을 구성하기 위한 Lloyd 알고리즘의 적용

유사 분광반사율 모집단의 구성을 마친 후 주성분 분석을 통해 각 모집단에 대해 3개씩의 주성분 벡터를 구성하고 이렇게 구한 주성분 벡터 집합을 이용해 그림 1과 같은 과정으로 3대역 카메라 출력 신호에 대한 물체 표면의 분광 반사율을 추정한다.

III. 실험 및 고찰

제안한 분광 반사율 추정방법의 성능을 평가하기 위하여 분광 반사율 추정 및 누적 기여율 비교 실험을 하였다. 분광 반사율 추정을 위해서는 Munsell 색시료 중 임의로 120개를 선택하여 추정 실험을 하였다. 비교한 추정 방법으로는 기존의 3대역 주성분 분석법, 5대역 위너 추정법, Macbeth ColorChecker의 색상 영역별 모집단을 이용한 유사색 3대역 주성분 분석법[3]과 제안한 분광반사율을 기준으로 분할한 모집단을 이용한 3대역 주성분 분석법이 비교되었다.

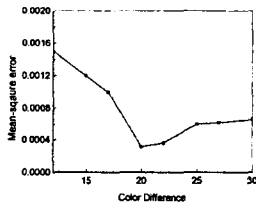


그림 3. 색차 문턱치에 따른 평균 분광 반사율 추정 오차

Macbeth ColorChecker의 색상 영역별 모집단을 이용한 3대역 주성분 분석법을 위해서는 Macbeth

ColorChecker의 24개 색 시료에 대한 CIELAB 측정값을 기준으로 색차를 이용해 색상 영역별 모집단을 구성하였다. 그림 3은 색차 문턱치를 달리하며 색상 영역별 모집단을 구성하고 이 모집단의 주성분을 이용해 Munsell모집단에서 임의로 선택된 색시료의 분광 반사율 추정했을 때 측정된 분광 반사율과 추정된 분광 반사율 사이의 평균 추정오차를 나타낸다. 그림 3에서 보는 바와 같이 색차를 달리하며 평균추정오차를 구한 결과, 색차 문턱치 20을 이용해 색상 영역별 모집단을 구성했을 때 가장 적은 추정오차를 나타냈다. 따라서 실험에서는 색차 문턱치 20을 기준으로 Munsell 모집단을 분할하고 각 모집단에 대해 3개씩의 주성분 벡터를 구하여 제안한 방법과 비교하였다.

마지막으로 제안한 추정 방법을 위해서는 전술한 바와 같이 Lloyd 양자화기 설계 알고리즘을 이용하여 1485 Munsell 칼라 칩을 영역별로 분할하였다.

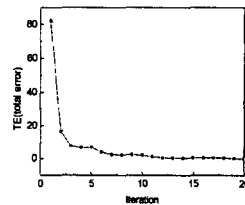
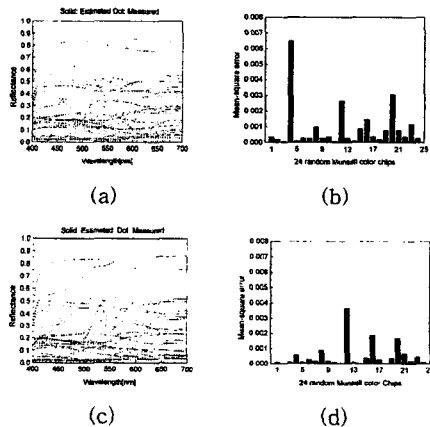


그림 4. Lloyd 알고리즘을 적용할 때 반복 횟수에 따른 전체 오차의 변화

그림 4은 Lloyd 반복 알고리즘을 적용할 때 대표 분광반사율 갱신과정에서 대표 분광반사율과 1485개 전체 분광반사율간의 오차 합의 변화 추이를 보여준다. 본 실험에서는 20번 반복 후 결정된 대표 분광 반사율을 중심으로 전체 Munsell분광 반사율을 분할하여 영역별 모집단을 구성하였다. 그림 5은 앞에서 언급한 4가지 분광반사율 추정법을 이용해 120개의 Munsell 색시료에 대하여 분광 반사율 추정 실험을 한 결과이다.



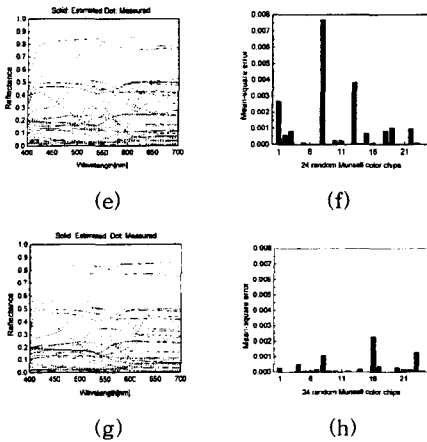


그림 5. 측색된 분광반사율과 추정된 분광반사율 및 두 분광반사율간의 MSE 비교 (a)3대역 주성분 분석 (b) 3대역 주성분 분석법에 의한 분광반사율 추정오차 (c)5대역 위너 추정법 (d)5대역 위너 추정법에 의한 분광반사율 추정오차 (e)색상 영역별 모집단을 이용한 3대역 주성분 분석법 (f) 색상 영역별 모집단을 이용한 3대역 주성분 분석법의 분광반사율 추정 오차 (g)제안한 3대역 주성분 분석법 (h)제안한 3대역 주성분 분석법의 분광반사율 추정 오차

그림 5에서는 결과 출력을 위해 120개중 24개를 일정한 간격으로 선택하여 표시하였다. 그림 5(h)에서 보는 바와 같이 제안한 3대역 추정방법이 가장 적은 추정오차를 보인다. 그림 5(f)의 경우 1485개의 전체 Munsell 색시로 전체에 대하여 하나의 주성분 집합을 만들고 이를 이용해 전체 색의 분광반사율을 추정하는 그림 5(b)에 비해서는 우수한 성능을 보이지만, 진술한 바와 같이 전체 색역에 대하여 균등하게 분포한다고 할 수 없는 Macbeth ColorChecker를 이용해 유사색 모집단을 만들고 또한 모집단을 만드는 과정에서 색차 문턱치를 이용하므로 각 모집단에 포함되는 색시료의 수가 각기 다르다. 따라서 이러한 모집단에 대해 주성분을 구하고 이를 분광반사율 추정에 이용할 경우 그림 5(f)에서 보는 바와 같이 색에 따라 추정오차의 분산이 비교적 크다는 것을 알 수 있다.

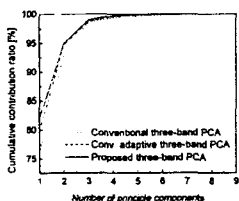


그림 6. 분광반사율 추정방법에 따른 누적기여율 비교

마지막으로 누적 기여율에 대한 비교 실험도 수행하였다. 기존의 3대역인 경우에는 한번의 계산으로 누적 기여율이 결정되나 기존의 유사색 3대역 주성분 분석법이나 제안된 추정방법의 경우 다수개의 모집단이 존재하므로 각 모집단에서 구한 주성분 전개 개수의 평균을 구하여 누적 기여율을 비교하였다. 그림 6의 결과에서 알 수 있듯이 제안된 방법은 누적기여율 측면에서도 기존의 3대역 및 유사색 3대역 방법에 비해 개선됨을 확인하였다.

IV. 결론

본 논문에서는 분광반사율 추정에 관한 연구로써 색상에 따른 적응적인 주성분 벡터를 이용하여 분광반사율 추정 오차를 줄이는 방법을 제안하였다. 결과, 제안한 방법은 분광 반사율 추정오차가 기존의 3가지 방법보다 적었으며 주성분 분석법 적용시 실제 분광반사율의 복원성을 결정하는 누적 기여율 값에서도 개선됨을 확인하였었다. 또한 제안된 방법의 경우 전체 Munsell 모집단을 분광반사율의 형태를 기준으로 균등하게 분할하여 주성분을 구함으로써 색에 따른 추정오차의 변화를 줄일 수 있었다. 따라서 제안된 연구를 분광반사율 추정에 적용할 경우 3대역 카메라의 입출력 특성에 대한 정확한 모델링과 주변광원의 분광분포를 알고 있다는 전제하에서 물체의 분광반사율 추정오차를 개선할 수 있다.

참고문헌

- [1] M. J. Vrhel and H. J. Trussell, "Color Correction using Principal Components," *Color Res. Appl.*, vol. 17, no. 5, pp. 328-338, Oct. 1992.
- [2] Y. Miyake and Y. Yokoyama, "Obtaining and reproduction of accurate color images based on human perception," *Proc. SPIE 3300*, pp. 190-197, 1998.
- [3] 이철희, 서봉우, 안석출, "유사색 모집단을 이용한 물체의 분광 반사율 추정," *한국멀티미디어학회 논문지*, 제4권 제1호, pp. 37-45, Feb. 2002.
- [4] S.P. Lloyd, "Least squares quantization in PCM," *IEEE Trans. on Inform. Theroy*, vol. IT-18, pp. 127-135, Mar. 1982.
- [5] M. D. Fairchild, *Color appearance model*, Massachusetts, Addison Wesley Longman, Inc., pp. 113-123, 1997