

적색도와 국소적 특성을 이용한 적목 영역의 검출

김태우^{1*}, 유현중², 조태경²

Detection of Red Eye Region Using Redness and Local Characteristics

Tae-Woo Kim^{1*}, Hyeon-Joong Yoo² and Tae-Gyung Cho²

요약 본 논문에서는 칼라 영상에서 적목(red eye)의 자동 검출 및 제거 방법을 제안한다. 제안한 방법은 적색도(redness)와 기하학적 특징에 기반하여 초기 적목 영역을 검출하고, 초기 적목 영역 주위의 국소적 특성을 반영하여 최종 적목 영역을 검출한다. 최종 적목 영역에 대해 소프트 제거에 기반한 방법을 사용하여 적목을 제거한다. 실험에서 제안한 방법은 Willamowski와 Csurka[1]의 방법에 비해 적목 영역의 검출과 제거 결과가 개선되었다.

Abstract This paper presents an automatic detection and removal method of red eye in a color image. The method detects initial red eye region based on redness and geometric feature, and extracts final red eye region considering local characteristics around the initial red eye region. Red eye for the final red eye region is removed by soft based removal method. In the experiments, the proposed method improved the red eye detection and removal results than that of Willamowski and Csurka[1].

Key words: local characteristics, red eye detection, red eye removal

1. 서론

적목은 일반 카메라 장치에서 흔히 발생하는 문제로 디지털 카메라의 사용이 급증하면서 더욱 주목받고 있다. 적목은 소프트웨어적인 방법으로 수동, 반자동, 자동으로 제거하는 방법들이 있다. 이들 방법들은 적목의 검출과 제거에서 적목을 찾지 못하거나 적목 제거가 적절하지 못한 경우가 많았다[1-3].

적목 처리에 대한 최근의 방법들[4-6]은 얼굴 검출에 기반한 것이다. [4]와 [6]은 얼굴을 먼저 찾고 찾아진 얼굴 내에서 적목을 찾는 방법이다. [5]는 먼저 가능한 적목 영역을 먼저 찾고 찾아진 영역이 얼굴 내에 위치하는지 확인하는 방법이다. 이들 방법들은 모두 얼굴 검출에 기반한 방법으로 얼굴 검출 자체만으로도 어려운 작업이며, 얼굴이 정면이 아니거나 회전 또는 부분적으로 가려진 얼굴에 대해서는 잘 동작하지 못하는 단점이 있다.

Willamowski와 Csurka[1]가 제안한 방법은 얼굴 검출을 하지 않는 방법이다. 이 방법은 확률에 기반한 것으로

적색도(redness)를 확률로 표현하여 적목을 검출하고 제거하는 것이다. 특히 적목 제거 방법에서 확률에 기반한 소프트(soft) 방법을 사용하였다. 적색도의 정의와 확률 기반 적목 검출은 적목 검출과 제거에 좋은 특성을 보였다. 그러나, 강한 적색도를 갖는 영역은 비교적 적목 영역 검출 성능이 좋으나, 약한 적색도를 갖는 영역은 적목 영역으로 검출할 수 없는 단점이 있었다. 특히 약한 적색도를 갖는 영역에 대해 적목 검출을 위한 문턱치를 낮추게 되면 간주되는 적목 영역이 넓어지지만 적목 영역이 아닌 영역도 적목 영역으로 검출되는 오류가 생긴다.

이러한 단점을 개선하기 위해, 본 논문에서는 적목 영역을 좀 더 정확히 검출하고 제거하는 방법을 제안한다. 먼저 적색도에 기초하여 초기 적목 영역을 검출한 후, 초기 적목 영역 경계 주위의 국소적 특성을 고려하여 최종 적목 영역을 검출하도록 하는 방법이다. 초기 적목 영역의 주위 영역에 대해 국소 영역을 정의하고 그 영역에 대해 백색도와 적색도의 변화도를 반영하여 최종 적목 영역을 결정하는 것이다. 이 방법은 약한 적색도를 갖는 적목 영역에 해당하는 영역에 대해 기존의 방법[1]보다 적목 영역 검출이 잘 되는 장점을 갖는다. 검출된 적목 영역에 대해 적목 제거는 소프트 제거 방법을 사용한다.

¹한양사이버대학교 정보통신공학과

²상명대학교 정보통신공학과

*교신저자: 김태우(twkim2@hycu.ac.kr)

2. 적목 검출

본 논문의 적목 검출 방법은 초기 적목 영역 검출과 최종 적목 영역 검출 과정으로 구성된다. 초기 적목 검출은 Willamowski와 Csurka[1]의 방법에 기초한 알고리즘을 사용한다. 먼저, 식 (4)를 만족하는 화소들은 초기 적목 영역의 후보로 간주된다.

$$Red = R_{in} - (G_{in} + B_{in})/2 \quad (1)$$

$$Lum = 0.25 * R_{in} + 0.6 * G_{in} + 0.15 * B_{in} \quad (2)$$

$$RL = 2 * Red - Lum \quad (3)$$

$$RE = \begin{cases} 1, & \text{if } RL > T_{RL} \\ 0, & \text{if } RL \leq T_{RL} \end{cases} \quad (4)$$

여기서, R_{in} , G_{in} , B_{in} 는 각각 화소의 적색, 녹색, 청색을 성분을 나타내고, T_{RL} 은 적목 영역의 기준이 되는 문턱치이다.

이들 초기 적목 영역 후보들에 대해 기하학적 특징을 이용하기 위해 원형 최소 필터(min filter)[7]를 적용하여 적목을 검출한다. 이때 너무 작거나 큰 영역을 제외한 영역이 초기 적목 영역으로 간주된다. 그림 1은 적색도와 최소 필터를 적용하여 검출된 초기 적목 영역을 보여준다.

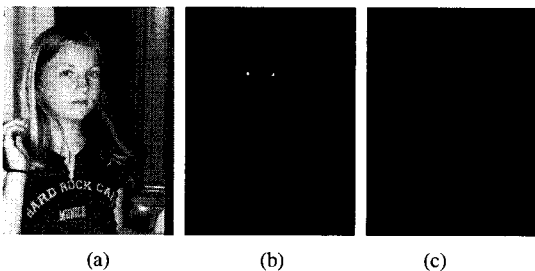


그림 1. 적색도와 최소 필터링의 이용 결과: (a) 원 영상, (b) 적색도에 의한 적목 영역, (c) 최소 필터링 결과.

이러한 초기 적목 검출 방법은 기존의 적목 검출 방법 [1]으로서 그림 2와 같이 적목 영역을 정확히 검출하지 못하는 문제점을 가진다. 결과를 보면 강한 적색도를 가지는 적목 영역은 검출이 잘 되지만 적목 부근의 약한 적색도를 갖는 적목 영역은 잘 검출되지 않음을 볼 수 있다. 문턱치를 낮추게 되면, 그림 2 (c)와 같이 적목 영역

이 커져서 약한 적색도를 갖는 영역이 적목 영역에 포함되지만 적목 영역이 아닌 동공 상하의 영역도 적목 영역으로 잘못 검출됨을 보여준다. 그림 3에 적색도의 문턱치와 검출되는 적목 영역 간의 관계를 보여준다. 초기 적목 영역을 문턱치 T_3 로 한 경우로 본다면, 적목 영역은 $X_3 \leq x < X_4$ 로 될 것이다. 여기서 X_4 의 위치는 그림 2 (b)의 동공과 동공 바깥의 상하 영역 사이의 경계로 볼 수 있으며, X_3 의 위치는 그림 2 (b)의 동공과 동공 바깥 좌우 영역 사이의 경계로 볼 수 있다. 동공 바깥 상하의 영역은 더 이상 적목 영역으로 보기 어려우나, 동공 바깥 좌우 영역은 적목 영역에 더 편입하는 것이 적절하다. 그림 3에서 최종 적목 영역을 $X_1 \leq x < X_4$ 로 하는 것이 타당하다.

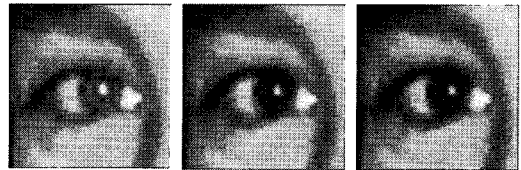


그림 2. 기존[1]의 적목 영역 검출의 문제점: (a) 원 영상, (b) 식 (4) $T_{RL} = 0$ 의 경우 적목 영역 검출 및 제거 결과(하드 제거), (c) 식 (4) $T_{RL} = -0.2$ 의 경우 적목 영역 검출 및 제거 결과(하드 제거).

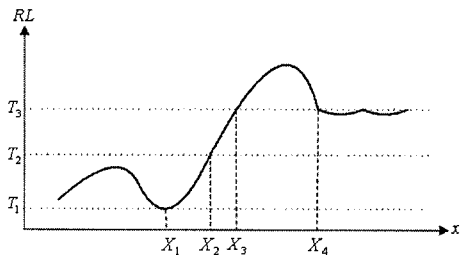


그림 3. 적색도의 문턱치와 적목 영역의 관계: 문턱치를 T_2 로 한 경우 적목 영역은 $X_2 \leq x$ 이 되고, 문턱치를 T_3 로 한 경우 적목 영역은 $X_3 \leq x < X_4$ 이 됨.

본 논문에서는 이런 문제점을 개선하기 위해 초기 적목 영역 주위의 영역에 대해 국소적 특성을 이용하는 방법을 제안한다. 그림 4와 같이 검출된 초기 적목 영역 주위 P_i 에 대해 국소 영역 ρ_1 , ρ_2 을 정의하고 국소 영역에 대해 RL 의 적색도의 변화도 $Grad$ 와 백색도 $White$ 를 식 (7), (9)와 같이 계산한다. 최종 적목 영역

은 식 (10)과 같이 계산된다. 계산에 의한 결과는 그림 5와 같다. 초기 적목 영역을 기준으로 국소 영역을 정의하는 이유는 그림 3에서와 같이 $X_3 \leq x < X_4$ 을 기준으로 하지 않으면 $X_1 \geq x$ 영역과 $X_4 \leq x$ 영역도 적목 영역으로 간주되어 적목 검출을 제대로 할 수 없기 때문이다. 초기 적목 영역은 영역성장법(region growing)[7]에서 씨앗(seed)과 같은 역할을 하게 된다. 그림 4와 같이 초기 적목 영역의 경계를 기준으로 두개의 국소 영역을 정의하여 $Grad$ 값을 반영함으로써 그림 3에서와 같이 적목 영역이 $X_3 \leq x < X_4$ 에서 $X_1 \leq x < X_4$ 로 확장되는 것이다.

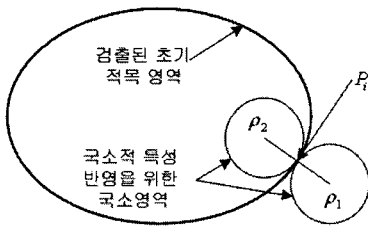


그림 4. 초기 적목 영역 주위에 적용되는 국소 영역.

$$\mu_\rho = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N RL_i \quad (5)$$

$$D_{\rho_1\rho_2} = |\mu_{\rho_1} - \mu_{\rho_2}| \quad (6)$$

$$Grad = \begin{cases} D_{\rho_1\rho_2}, & \text{if } D_{\rho_1\rho_2} \geq T_{Red} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

여기서, μ_ρ 는 각 국소영역에 대한 적색도의 평균치, $D_{\rho_1\rho_2}$ 는 초기 적목 영역에 포함된 국소영역과 포함되지 않는 국소영역에 대한 평균치의 차, T_{Red} 는 적색도의 변화도를 계산하기 위한 문턱치, $Grad$ 는 적색도의 변화도를 나타낸다. T_{Red} 는 그림 2 (b)의 동공 바깥의 상하 영역에서와 같이 작은 적색도 변화도를 갖는 영역은 적목 영역으로 편입되는 것을 방지하기 위한 것이다. 이 문턱치에 따라 적목 영역의 크기가 달라지게 된다. 문턱치를 작게 하면 적색도 변화도의 영향을 덜 받게 되는 것이다.

$$Gray_{max} = \max_{i \in \rho_1} Gray_i \quad (8)$$

$$Gray_i = (R_{in} + G_{in} + B_{in})/3$$

$$White = \begin{cases} Gray_{max}, & \text{if } Gray_{max} \geq T_{Gray} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

$$RE_{new} = \begin{cases} 1, & \text{if } RL > 0 \text{ or } (Grad > T_{Grad} \\ & \text{and } White > T_{White}) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

여기서, $Gray_i$ 는 화소의 밝기값, $Gray_{max}$ 는 각 국소 영역에 대해 밝기값의 최대값, T_{Gray} 는 백색도를 계산하기 위한 문턱치, T_{Grad} 와 T_{White} 는 최종 적목 영역 결정을 위한 문턱치, RE_{new} 는 최종 적목 영역을 나타낸다. $White$ 파라미터는 약한 적색도를 갖더라도 밝은 부분에서는 적목 현상이 인간의 눈에 잘 띄게 되도록 적목 영역으로 편입하게 되도록 하는 역할을 한다.

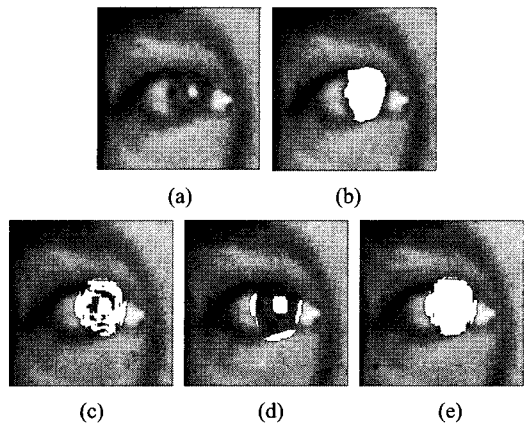


그림 5. 국소적 특성을 고려한 적목 영역 추출: (a) 원 영상, (b) 초기 적목 영역(흰색), (c) $Grad$ 영역(흰색), (d) $White$ 영역(흰색), (e) 최종 적목 영역(흰색).

3. 적목 제거

적목 제거는 최종 적목 영역에 대해 화소의 칼라값을 구성하는 R, G, B 값 중 R 값만 조정하는 것이다. 이것은 적목 현상이 생기는 원인이 되는 것이다. 적목 제거

방법에는 하드(hard) 제거법[3]과 소프트(soft) 제거법[1]으로 나눌 수 있다. 소프트 제거법은 식 (11)을 사용하는 방법이다.

$$R_{new} = (1 - P) * R_{old} + P * (G + B) / 2 \quad (11)$$

여기서, R_{new} , R_{old} 는 각각 적목 제거 후와 전의 R 값이며, P 는 확률을 나타내고, $P = 1$ 일 때 식 (11)은 하드 제거법이 된다. 그림 6은 추출된 적목 영역에 대해 하드 제거법과 소프트 제거법의 결과를 보여준다. 소프트 제거법에서 P 값은 적색도 값의 크기와 적목 영역의 경계로부터 거리에 따라 다르게 적용된다. 그림 6 (d)는 적목 영역의 중앙에서는 $P = 1$ 로 했으며, 가장 자리에서는 적색도와 경계로부터 거리에 따라 P 값을 1보다 작은 값으로 선정하였다. 그림에서 적목 영역 경계에서 소프트 제거법에 의한 적목 제거 결과가 더욱 부드럽게 나타난다.

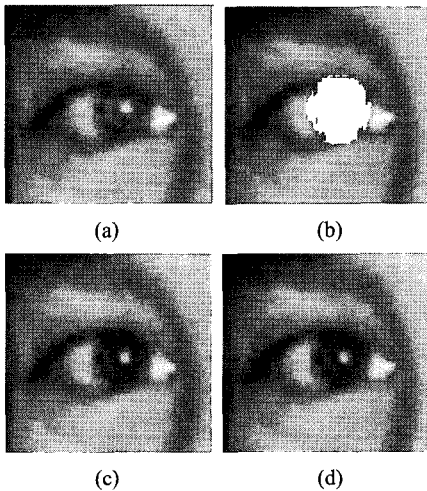


그림 6. 적목 제거 결과: (a) 원 영상, (b) 적목 영역(흰색), (c) 하드 제거법의 결과, (d) 소프트 제거법의 결과.

4. 실험결과 및 토의

본 논문의 적목의 자동 검출 및 제거 방법은 Microsoft Windows XP 상에서 MS Visual C++ 6.0을 사용하여 구현하였다.

적목이 촬영된 영상들에 대해 초기 적목 영역을 검출

하였다. 초기 적목 영역에 대해 국소적 특성을 이용한 방법으로 최종 적목 영역을 검출하였다. 검출된 최종 적목 영역에 대해 소프트 적목 제거를 하였다. 전형적인 적목 검출 및 제거 결과를 그림 7에 보여준다. 제안한 방법의 결과가 기존의 방법[1]에 비해 적목 검출 및 제거가 잘 된 것을 볼 수 있다. 기존의 방법[1]에 비해 적목 주위의 약한 적색도를 갖는 적목 영역이 잘 검출되었다. 특히, 약한 적색도를 갖지만 적목 영역인 부분도 검출할 수 있음을 보여준다. 제안한 방법과 기존 방법에 의해 검출된 적목 영역을 비교하여 에러맵을 그림 8과 같이 작성하였다. 에러맵은 제안한 방법의 결과와 기존의 방법[1]의 결과의 차이로서 그림에서 흰색으로 나타났다. 그림에서 초기 적목 영역의 주위에서 제안한 방법에 의한 적목 영역의 검출이 됨을 볼 수 있다. 이것은 초기 적목 영역에 대해 국소적 특성인 적색도의 기울기와 밝기 정보를 이용했기 때문이다.

적목 영역의 정확도를 평가하기 위해 그림 9와 같이 그리기 도구를 이용한 수작업 편집에 의한 적목 영역을 만들었다. 편집한 적목 영역을 정답으로 가정하고 기존의 방법[1]과 제안한 방법에 의한 결과를 비교하였다. 비교 척도는 식 (12)로 정의되는 kappa statistic[8-9]으로 알려진 유사도(similarity index)를 사용하였다.

$$I = 2 \frac{|A \cap B|}{|A| + |B|} \quad (12)$$

여기서 A 와 B 는 비교 대상의 영역이다. 그림 10에 기존의 방법[1]과 제안한 방법의 결과에 대해 수작업 편집에 의한 적목 영역과의 유사도를 비교한 그래프를 보여준다. 그림에서 제안한 방법이 기존의 방법[1]에 비해 적목 영역의 검출이 개선되었음을 보여준다.

개선된 결과의 이유는 제안한 방법이 국소적 특성을 고려하기 때문이다. 그림 7의 결과를 보면 기존의 방법[1]에서는 전역적 문턱치를 사용하므로 약하게 나타나는 적색 영역은 적목 영역에서 배제된 것을 볼 수 있다. 배제된 영역은 특히 흰색과 같은 밝은 영역과 적목 영역의 가장자리에서 잘 나타남을 볼 수 있다. 그러나 제안한 방법에 의한 결과에서는 밝은 영역에서는 *White* 파라미터를 사용하여 적목 영역으로 편입시키고, 가장자리 영역은 *Grad* 파라미터를 사용하여 적색도가 급격히 변하는 영역만 포함하도록 해서 기존의 방법[1]의 문제점을 개선하였다.

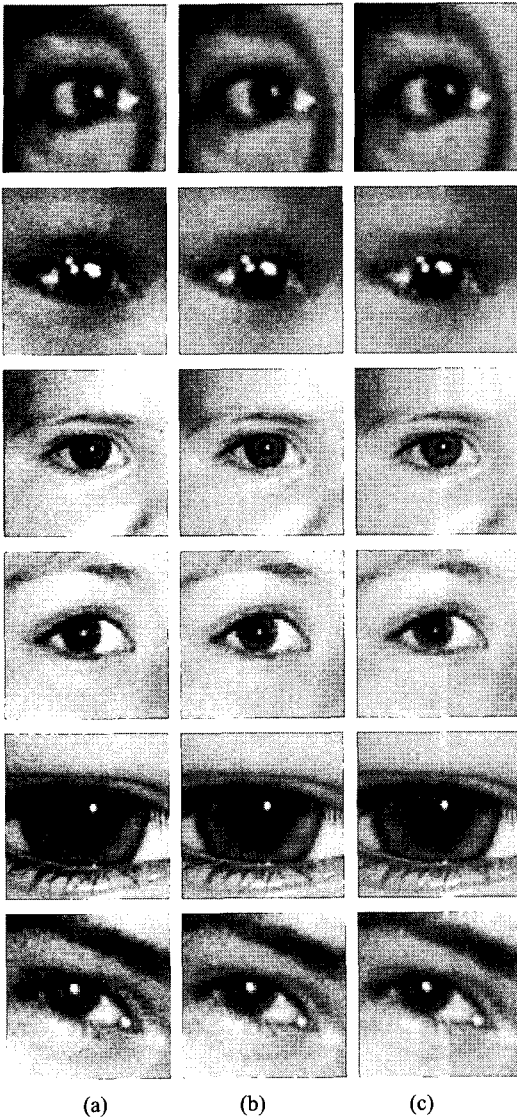
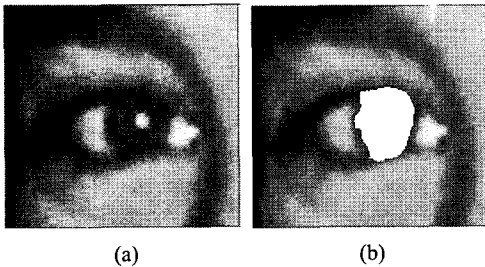


그림 7. 적목 영역 검출 및 제거 결과(소프트 제거): (a) 적목 영상, (b) 기존 방법의 결과, (c) 제안한 방법의 결과.



(a) (b)

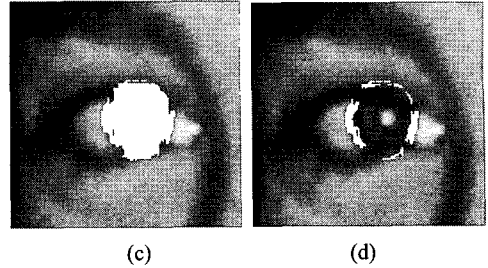


그림 8. 적목 영역 검출의 결과 비교: (a) 적목 영상, (b) 기존 방법의 적목 영역(흰색), (c) 제안한 방법의 적목 영역(흰색), (d) 에러 맵(흰색).

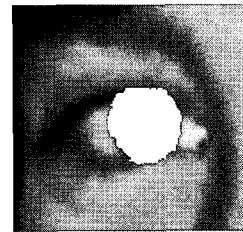


그림 9. 수작업으로 편집한 적목 영역(흰색).

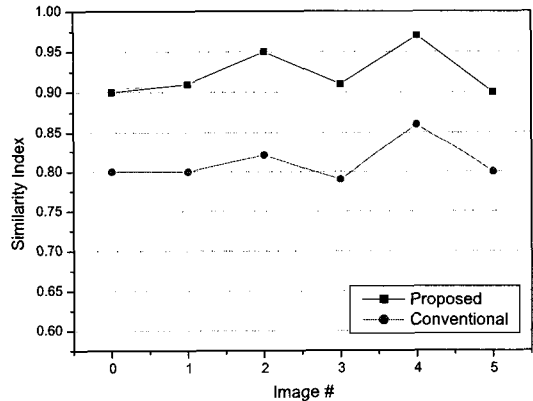


그림 10. 제안한 방법과 기존의 방법[1]에 대한 수작업 편집에 의한 적목 영역과의 유사도 비교.

5. 결론

기존의 적목 영역 검출 방법은 적색도에 전역적 문턱치를 적용하여 적목 영역을 검출하므로 적목 영역에 해당하는 적색도가 작은 영역에 대해 적목 영역으로 검출하기가 어려웠다. 본 논문에서는 칼라 영상에서 적색도와 기하학적 특징에 기반하여 초기 적목 영역을 검출하고, 초기 적목 영역 주위의 국소적 특성을 반영하여 최종 적목 영역을 검출하는 방법을 제안하였다. 초기 적목 영역의 주위 영역에 대해 국소 영역을 정의하고 그 영역에 대

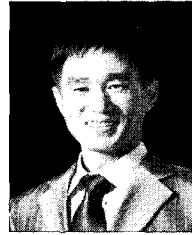
해 백색도와 적색도의 변화도를 반영하여 최종 적목 영역을 결정하였다. 이 방법은 약한 적색도를 갖는 적목 영역에 해당하는 영역에 대해 기존의 방법[1]보다 적목 영역 검출이 잘 되는 장점을 갖는다. 실험에서 몇 가지 적목 영상에 대해 적목 영역 검출 결과에 대해 수작업 편집에 의한 적목 영역과 유사도로 비교하였다. 국소적 특성을 고려하는 제안한 방법이 개선된 결과를 보여 주었다. 향후 적목 검출의 안정도를 높이기 위한 연구가 계속 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] Jutta Willamowski, Gabriela Csurka, "Probabilistic Automatic Red Eye Detection and Correction," *The 8th International Conference on Pattern Recognition(ICPR'06)*, 2006.
- [2] L. Zhang, Y. Sun, M. Li, and H. Zhang, "Automated Red-Eye Detection and Correction in Digital Photographs," *ICIP* 2004.
- [3] B. Smolka, K. Czubin, J.Y. Hardeberg, K.N. Plataniotis, M. Szczepanski, K. Wojciechowski, "Towards automatic redevye effect removal," *Pattern Recognition Letters* 24, pp. 1767-1785, 2003.
- [4] M. Gaubatz and R. Ulichney, "Automatic red-eye detection and correction," *ICIP* 2002.
- [5] S. Ioffe, "Red eye detection with machine learning," *ICIP* 2003.
- [6] R. Schettini, F. Gasparini and F. Chazli, "A modular procedure for automatic redevye correction in digital photos," *Electronic Imaging Science and Technology*, SPIE 2004.
- [7] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Steven L. Eddins, *Digital Image Processing Using MATLAB*, Pearson Prentice Hall, 2004.
- [8] Alex P. Zijdenbos, Benoit M. Dawant, Richard A. Margolin, and Andrew C. Palmer, "Morphometric Analysis of White Matter Lesions in MR Images: Method and Validation," *IEEE Trans. Medical Imaging*, vol. 13, pp. 716-724, 1994.
- [9] B. Johnston, M. S. Atkins, B. Mackiewich, and M. Anderson, "Segmentation of Multiple Sclerosis Lesions in Intensity Corrected Multispectral MRI," *IEEE Trans. Medical Imaging*, vol. 15, pp. 154-169, 1996.

김 태 우(Tae-Woo Kim)

[종신회원]



- 1990년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과 (공학사)
- 1992년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과 (공학석사)
- 1995년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과 (공학박사)
- 2003년 3월 ~ 현재 : 한양사이버대학교 전자통신공학과 교수

<관심분야>

영상처리, 생체인식, 생체신호처리.

유 현 중(Hyeon-Joong Yoo)

[정회원]



- 1982년 2월 : 서강대학교 전자공학과 (공학사)
- 1991년 7월 : 미주리대학교 전기및컴퓨터공학과 (공학석사)
- 1996년 5월 : 미주리대학교 전기및컴퓨터공학과 (공학박사)
- 1996년 10월 ~ 현재 : 상명대학교 정보통신공학과 교수

<관심분야>

인공신경망, 패턴인식, 영상신호처리

조 태 경(Tae-Kyung Cho)

[종신회원]



- 1984년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과 (공학사)
- 1986년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과 (공학석사)
- 2001년 8월 : 한양대학교 전자통신공학과 (공학박사)
- 2003년 9월 ~ 현재 : 상명대학교 정보통신공학과 교수

<관심분야>

유무선 네트워크, 인터넷워킹 장치, 유비쿼터스 네트워크, 생체인식