

악천후로 저하된 영상 화질의 실시간 개선

김재민[†], 연승호^{**}

요 약

악천후로 인하여 화질이 저하된 영상은 사물의 경계에 해당하는 에지 부분이 흐려진다. 본 논문에서는 에지를 최대한으로 선명하게 하여 영상의 시인성을 향상 시키는 화질 개선 방법을 제안한다. 우선 영상의 밝기 필드에서 극점들을 찾아 에지 후보 영역으로 선택하고, 선택된 에지의 측면에 있는 화소들의 밝기로 히스토그램을 형성한다. 형성된 히스토그램의 극소점을 기반으로 히스토그램을 다수의 모드로 분해한다. 모드가 구해지면, 영상 필드에서 에지에 의하여 연결된 모드들을 구하고, 연결된 모드들의 연결 고리를 구한다. 최종적으로 가장 긴 연결 고리를 형성하는 모드간의 간격을 최대한으로 벌린다. 이 때 최소 밝기 모드와 최대 밝기 모드는 화소 밝기 범위 이내에 있어야 한다. 이와 같이 모드의 간격을 벌림으로써 에지를 선명하게 하고 영상의 시인성을 향상한다. 본 논문에서 제안한 방법은 적은 연산량으로 기존의 방법만큼 좋은 성능으로 화질을 개선함을 보여준다.

Real Time Enhancement of Images Degraded by Bad Weather

Jaemin Kim[†], Sungho Yeon^{**}

ABSTRACT

In images degraded by bad weather, edges representing object boundaries become weak and faint. In this paper we present an image enhancement method, which increases image visibility by making edges as clear as possible. First, we choose edge candidate regions by finding local maxima and minima in an image intensity field, and then build a histogram using image intensities of pixels located at the two sides of candidate edges. Second, we decompose this histogram into multiple modes, which are determined by local minima in the histogram. Once modes are computed, we find modes connected by edges in the image intensity field and build link chains of connected modes. Finally we choose the longest link chain of modes and make the distances between every connected modes as large as possible. The darkest mode and the brightest mode should be within the image intensity range. This stretch makes edges clear and increases image visibility. Experiments show that the proposed method real-time enhances images degraded by bad weather as good as well known time-consuming methods.

Key words: Image Enhancement(화질 개선), Real Time Processing(실시간 처리), Fog(안개), Bad Weather(악천후)

※ 교신저자(Corresponding Author) : 김재민, 주소 : 서울시 송파구 양재대로 1218 올림픽선수기자촌 아파트 252동 401호(138-788), 전화 : 02) 402-1634, FAX : 02) 320-1120, E-mail : jmkim@hongik.ac.kr
접수일 : 2014년 1월 7일, 수정일 : 2014년 2월 6일
완료일 : 2014년 2월 14일

[†] 홍익대학교 전자전기공학부

^{**} 홍익대학교 전기정보제어공학과
(E-mail: yearnsh@hanmail.net.)

※ 이 논문은 2011년 홍익대학교 학술연구진흥비 및 2013년도 산학연 기술개발 사업에 의하여 지원되었음.

1. 서 론

1.1 악천후로 저하된 화질을 개선하는 기존 방법

영상처리 기반 변화 검출, 객체 추적, 객체 인식 등을 이용한 영상 감시가 사회 안정망 확보 차원에서 널리 사용되고 있다. 안개, 스모그, 황사 등의 악천후로 인하여 영상의 화질이 저하되는 경우, 영상 감시의 기본이 되는 변화 검출의 성능이 낮아진다[1]. 외부 환경과 관계없는 전천후 영상 감시를 위해서는, 악천후로 저하된 영상의 화질을 개선하는 것이 필요하다. 안개나 스모그 발생 시 공기 중에 작은 입자들이 분포하게 되는데, 이들 입자에 의하여 객체에서 카메라 센서로 들어가는 빛이 산란되고, 이로 인하여 영상의 화질이 저하된다. Narasimhan 등은 작은 입자에 의한 빛의 산란을 수학적으로 모델링하고, 모델을 기반으로 영상의 각 화소에서 배경의 심도를 추정하고 화질을 개선하는 방법을 발표하였다[2]. 하나의 카메라로 획득한 영상으로부터 영상의 각 화소에서 배경의 심도를 추정하는 것은 정보가 충분하지 않아 추정된 심도의 신뢰도가 낮다. 따라서 화질 개선에는 한계가 있다. Tan은 신뢰도 높은 심도의 추정을 위하여 관심 화소를 중심으로 블록 영역을 선택하고, 선택된 영역에서 배경의 심도가 동일하다는 가정 하에, 산란 모델의 조건을 만족하면서 영상의 분산을 최대화하는 심도 값을 추정하는 방법을 발표하였다[3]. 이 방법은 블록을 옮겨가면서 심도를 추정하기 때문에, 심도 값이 큰 차이를 가지는 배경 사물의 경계에서는 추정된 심도 값에 큰 오차가 발생한다. 심도 값의 오차로 인하여, 개선된 영상은 배경의 경계에서 후광(halo) 현상과 유사한 영상 왜곡을 가진다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 각 화소의 심도 간의 상관관계를 마르코프 연결로 모델링하고 추정된 심도 값의 오차를 줄였다. 이 방법은 결과가 좋으나 800×600 크기의 영상을 처리하는데 분 단위의 연산량을 필요로 하는 단점이 있다. He 등은 관심 화소를 중심으로 블록 영역에서 3가지 칼라 중에서 가장 어두운 색을 선택하고 이를 dark channel priori로 정의하였다. 이를 바탕으로 심도 값을 추정하는 방법을 발표하였다[4]. 심도 값이 큰 차이를 가지는 배경 사물의 경계에서 발생하는 문제점을 해결하기 위하여 영상 매칭(image matting) 방법을 적용하였다. 이 방법 또한 분 단위의 연산량을 필요로 하는 단점이 있다.

Tarel 등은 블록 영역에서 메디안 필터(median filter)를 이용하여 화소 밝기 및 분산의 중간 값을 효과적으로 구하고, 이를 바탕으로 심도 값을 효과적으로 추정하는 방법을 발표하였다[5]. 이 방법은 위의 방법들과 유사한 좋은 결과를 보여주고 있으며, 비교적 적은 연산량을 필요로 하는 장점이 있다. 하지만 800×600 크기의 영상을 처리하는데 초 단위의 연산량을 필요로 한다. Tarel 등은 또한 배경의 심도를 근사하게 추정할 수 있는 사전 정보(배경과 카메라 간의 거리, 영상의 수직 위치의 변화에 따른 거리의 변화 정도)를 이용하여 각 화소에서 심도를 안정적으로 추정할 수 있게 하였다[6].

일반적으로 안개와 스모그 등의 악천후로 저하된 영상은 화소 밝기의 히스토그램이 좁은 영역에 집중되는 특성을 가지고 있다. 이러한 특성을 이용하여 히스토그램 팽창(stretch) 혹은 평활화(equalization) 방법들이 적용되고 있다[7,8]. 근거리와 원거리 사물이 한 영상에 혼재한 경우 히스토그램이 넓게 퍼져있어 히스토그램 팽창은 효과적이지 못하다. 이러한 경우에는 히스토그램 평활화가 효과적이다. 히스토그램의 분포가 특정 모드에 집중되어 있는 경우에는, 히스토그램을 평활화 하는 것은 영상의 화질을 왜곡하는 단점이 있다. 이러한 점을 보완하기 위하여 Wadud 등은 동적 히스토그램 평활화 방법을 발표하였다[9]. 이 방법은 히스토그램의 각 모드를 일정 간격으로 나누고, 각 모드를 최대한으로 팽창 시킨 후, 배치된 각 모드를 독립적으로 평활화 하였다. Xu 등은 영상을 다수의 M×N 블록으로 분할하고 분할된 각 영역에 동적 히스토그램 평활화 방법을 적용하였다. 각 블록의 경계에서 발생하는 계단 현상의 왜곡을 이선형 보간(bilinear interpolation) 법으로 완화하였다[10]. 하지만 이선형 보간법의 한계로 인하여 인접한 두 블록의 히스토그램 차이가 크면 블록의 경계에서 왜곡 현상이 보이는 단점이 있다.

1.2 제안하는 방법

악천후로 저하된 영상은 사물의 경계를 나타내는 에지들이 선명하지 않다. 영상의 시인성을 증대하기 위해서는 에지들을 선명하게 하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 영상의 밝기 필드에서 극대점 및 극소점을 찾아 에지 후보 영역으로 선택한다. 선택된 에지의 방향에 수직되는 방향으로 에지에 접한 두 화소들

의 밝기 차이가 포괄적으로 최대가 되도록 한다. 이는 에지를 분명하게 해준다. 제안한 방법의 전체 흐름도는 그림 1에 표시되어 있으며, 그 방법은 다음과 같다. 에지의 양 측면에 접한 모든 화소들을 선택하고, 선택된 화소의 밝기들의 분포를 나타내는 히스토그램을 생성한다. 생성된 히스토그램에서 극소점을 경계로 히스토그램을 다수의 모드로 분해한다. 모드가 구해지면 영상의 각 에지의 양 측면에 접한 화소가 어느 모드에 소속되는가를 저장한다. 이를 바탕으로 각각의 모드에 속한 화소들이 어느 모드에 속한 화소들과 에지를 경계로 인접한 것인지를 판단한다. 이러한 인접성을 기반으로 모드 간의 연결성을 결정하고 연결된 모드의 고리를 생성한다. 이러한 연결 고리에서 가장 긴 연결 고리를 선택하고 이들 연결 고리의 모드 간격을 최대한으로 벌린다. 즉 밝기 분포가 가장 어두운 모드와 가장 밝은 모드가 화소의 밝기 범위 내에 들어오도록 최대한 간격을 벌린다. 이러한 방법은 영상에서 선택된 모든 에지들을 포괄적으로 뚜렷하게 한다.

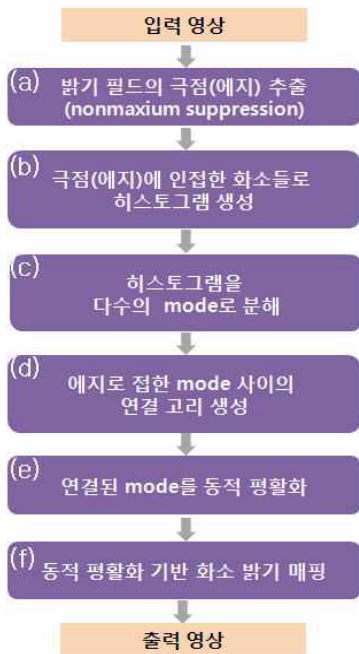


그림 1. 제안한 방법의 전체 흐름도

1.3 제안한 화질 개선 방법의 차별성

본 논문에서는 영상의 모든 화소들의 밝기 분포를 나타내는 히스토그램을 조정하여 영상의 화질을 개선하는 방법이 아니라, 후보 에지의 양 측면에 접한

화소들의 밝기 분포를 나타내는 히스토그램을 조정하여 영상의 화질을 개선한다. 이 방법은 영상의 에지들을 포괄적으로 선명하게 하는데 최적화되어 있다. 또한 에지의 양 측면에 접한 화소들이 히스토그램의 어느 모드에 소속되는지를 이용하여, 영상에서 인접한 모드들의 연결 고리를 찾는다. 연결 고리에 속한 모드들의 간격을 최대한으로 벌려, 영상의 에지들을 포괄적으로 뚜렷하게 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 본문 2.1에서는 에지후보 영역 선택, 2.2에서는 후보 에지의 양 측면에 접한 화소들로 히스토그램 생성, 2.3에서는 히스토그램 모드 간의 연결 관계 생성, 2.4에서는 연결된 모드의 동적 평활화에 대하여 기술한다. 3절에서는 제안된 방법과 Tarel[5], Xu[10] 두 방법과 정량적, 정성적 비교 실험을 수행하며, 이들 방법의 처리시간에 대하여 기술한다. 본 논문의 결론은 4절에서 기술한다.

2. 본 론

2.1 비극점 억제 방법을 이용한 에지 후보 영역 선택

악천후로 저하된 영상에서 에지의 강도는 매우 약하다. 각 화소에서 밝기의 구배도(gradient)를 바탕으로 에지를 선택하면, 안개로 인하여 강도가 저하된 많은 에지들을 놓치게 된다. 뿐만 아니라 경사도가 큰 부분에서는 넓은 폭으로 화소들이 에지 영역으로 선택된다. 이는 에지의 양 측면에 접한 화소들의 간격을 벌려, 에지의 강도를 증대시키려는 목적에 부합되지 않다. 때문에 본 논문에서는 캐니 에지(canny edge) 검출에서 사용되는 비극점 억제(non-maximum suppression) 방법을 이용하여 영상의 밝기 필드에서 극대점과 극소점을 선택하고, 이를 후보 에지로 선택한다. 비극점 억제 방법은 다음과 같다. (a) 가우시안 필터를 이용하여 영상을 평탄화(smoothing)한다. (b) 각 화소에 수평 수직 방향의 기울기 및 영상의 구배도의 크기를 구한다. (c) 수평 수직 방향의 기울기를 이용하여 후보 에지의 방향을 8가지로 분류하고, 에지의 방향에 따라 적절한 3×3 필터를 적용하여, 극점에 해당하는 화소를 선택한다. 그림 2(b)는 비극점 억제 방법으로 선택한 에지 후보 영역을 보여주고 있다.

2.2 후보 에지의 양 측면에 접한 화소들의 밝기 분포

본 논문에서는 에지의 양 측면에 접한 화소들의 밝기 차이를 최대한으로 벌려 에지를 뚜렷하게 만들 고자 한다. 특정 에지의 양 측면에 접한 화소들의 밝기 간격을 벌리는 것은 다른 에지의 양 측면에 접한 화소들의 밝기 간격을 벌리는 것과 서로 상충할 수 있다. 모든 에지의 양 측면에 접한 화소들의 밝기의 분포를 나타내는 히스토그램을 생성한다. 그림 2(c)는 영상의 모든 화소들의 밝기 분포를 나타내는 히스 토그램, 그림 2(d)는 에지의 양 측면에 접한 화소들의 밝기 분포를 나타내는 히스토그램을 보여주고 있다. 그림 2(c)에서 히스토그램의 빈도가 가장 높은 부 분은 영상에서 하늘에 해당하는 영역을 나타냄에 비하 여, 그림 2(d)에서는 히스토그램의 빈도가 가장 높은 부분은 빌딩과 숲에 해당하는 영역을 나타내고 있다. 단순한 히스토그램 평활화를 적용하게 된다면 그림 2(c)의 경우는 하늘 영역의 콘트라스트(contrast)를 크게 하며, 그림 2(d)는 빌딩과 숲의 영역의 콘트라스트(contrast)를 크게 하는 효과가 있다.

2.3 영상 공간에서 연결된 히스토그램 모드의 연결 고리

특정 에지의 양 측면에 접한 화소가 각각 모드 A 와 모드 B에 속한다면, 모드 A와 모드 B는 이 에지를 통하여 연결되며, 두 모드를 연결하는 에지의 수가

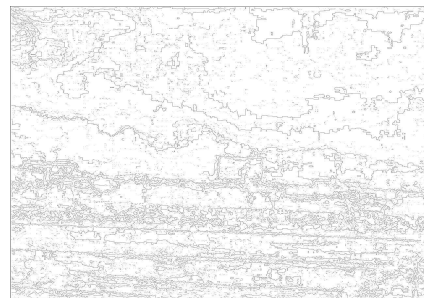
하나 증가하게 된다. 두 화소가 모두 동일한 모드에 소속되면, 모드 내에 존재하는 에지의 수가 하나 증 가하게 된다. 두 모드를 연결하는 에지의 수가 일정 한 값 이상이면 두 모드는 영상 공간에서 의미 있는 연결을 가진 것으로 판단한다. 의미 있는 연결을 가 지는 모드들을 밝기가 어두운 모드에서 밝기가 밝은 모드까지 하나의 고리로 묶는다. 이들 연결 고리 중 에서 가장 긴 연결 고리를 가지는 모드들의 연결을 선택한다. 그림 3는 그림 2(a)에서 보여준 안개로 저 하된 영상에서 히스토그램 모드 간의 연결 고리를 보여주고 있다. 그림 3에서 메인(main) 연결 고리의 양 끝에 모드 8과 모드 31이 배치된다. 모드 8은 가장 어두운 화소값이 75이고, 모드 31은 가장 밝은 화소 값이 165이다. 반면에 메인 연결 고리에서 제외된 모드0의 가장 어두운 화소 값은 43이고 모드 32의 화소 값은 205이다. 메인 연결 고리의 화소값의 범위 는 (75,165)로 (43,205)보다 좁다. 메인 연결 고리로 묶은 모드 사이의 간격만을 벌린다면, 모드의 간격을 좀 더 넓게 벌릴 수 있다.

2.4 메인(main) 연결 고리의 모드로 재구성된 히스토 그램의 동적 평활화

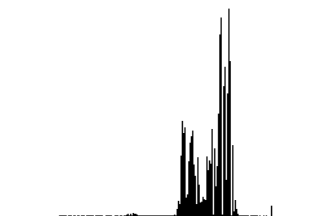
가장 긴 연결고리를 가지는 모드들로 히스토그램 을 재구성하고, 이 히스토그램에 동적 평활화를 적용



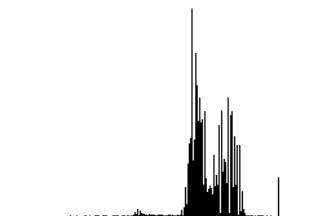
(a) 안개로 저하된 영상



(b) 비극점 억제 방법으로 구한 후보 에지



(c) 영상의 모든 화소들의 밝기 분포



(d) 후보 에지의 양 측면에 접한 화소들의 밝기 분포

그림 2. 비극점 억제(non-maximum suppression) 방법으로 추출한 에지 후보 영역과 에지에 접한 화소들의 밝기 분포.

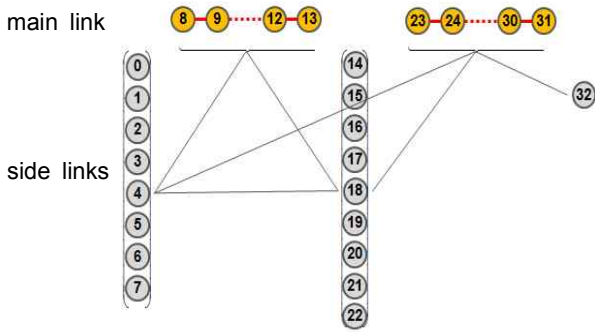


그림 3. 영상 공간에서 연결된 히스토그램 모드의 연결 고리

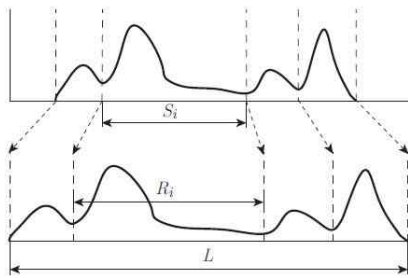


그림 4. 각 모드의 간격 조절(참고 문헌 [10]에서 인용)

한다. 이는 다음과 같다. 우선 연결 고리 내의 모드의 간격을 최대한 팽창(stretch)시킨다. 모드간의 간격은 다음 수식에 의하여 결정된다[10].

$$R_i = \frac{G_i}{\sum_{k=1}^t G_k} (L-1) \tag{1}$$

$$G_i = S_i \cdot (\log(F_i))^k \tag{2}$$

S_i 는 i 번째 모드의 간격, F_i 는 i 번째 모드에 속한 화소의 개수, R_i 는 팽창된 모드의 간격을 나타낸다. 팽창된 각각의 모드 안에 다수의 예지가 포함되는 경우, 해당 모드를 평활화(equalize)한다.

제안된 방법은 에지에 인접한 화소들을 선택함으로써 F_i 의 값을 변화시키고, 이를 바탕으로 팽창된 모드의 간격 R_i 의 값을 변화시켜 화질의 시인성을 향상시킨다. 그림 5(a)는 모든 화소들의 밝기 분포를 나타내는 히스토그램에 동적 평활화를 적용한 결과를, 그림 5(b)는 후보 예지의 양 측면에 접한 화소들로 이루어진 히스토그램에 동적 평활화를 적용한 결과를 보여주고 있다. 제안한 방법은 향상된 시인성을 보여주고 있다. 특히 빌딩과 숲 영역에서 훨씬 뚜렷한 밝기의 대비를 보여주고 있다.

3. 실험 결과

3.1 실험에 사용한 영상 데이터

실험에 사용되는 영상들은 다음과 같다.

- 영상 I : 서해안에서 해무로 인하여 화질이 저하된 영상, 근거리의 나무와 중거리의 건물과 숲, 원거리의 산이 혼재한 영상, 2km 거리에서 촬영
- 영상 II : 안개로 인하여 화질이 저하된 영상, 1.2km의 거리에서 촬영
- 영상 III: 스모그로 인하여 화질이 저하된 런던, 중거리부터 원거리의 배경이 혼재한 영상.

3.2 비교 실험

제안한 방법을 Xu[10], Tarel[6] 두 방법과 비교하는 실험을 수행하였다. Tarel의 방법은 공기 중에 있는 작은 입자에 의한 빛의 산란 모델의 변수 값을 추정하고, 이를 바탕으로 안개를 제거하여 영상을 복원시키는 방법이다. Xu의 방법은 영상을 다수의 영역으로 분할하고, 분할된 각 영역에서 지역 히스토그



(a) 히스토그램 평활화에 의한 화질 개선



(b) 제안된 방법에 의한 화질 개선

그림 5. 단순한 히스토그램 평활화에 의한 화질 개선과 제안된 방법에 의한 화질 개선

램(local histogram)을 바탕으로 각 영역의 콘트라스트를 향상 시킨다. 영역의 경계에서 영상 왜곡을 줄이기 위하여 선형 보간 방법을 사용한다. 제안된 방법은 영상에서 에지를 선택하고, 선택된 모든 에지들 기반으로 콘트라스트를 향상 시킨다. 세 방법을 비교하였을 때, 원 영상과의 오차는 Tarel 방법이 가장 작으며, 지역적인 콘트라스트 향상은 Xu 방법이 가장 크며, 전체적인 영상의 시인성 향상은 제안한 방법이 가장 크다. 제안된 방법과 Xu의 방법은 실시간 연산이 가능하지만, Tarel의 방법은 연산량이 많아 실시간 연산이 어렵다.

3.2.1 정량적 평가

콘트라스트가 큰 영상은 시인성이 높기 때문에 세 방법들의 콘트라스트 향상 정도를 비교하였다. 콘트라스트는 Frazor[11] 등이 정의한 방법을 사용하였으며, 콘트라스트 향상 값($C_{\text{향상값}}$)은 다음과 같이 정의한다.

$$C_{\text{향상값}} = \frac{C_{\text{처리된 영상}}}{C_{\text{원 영상}}}: \text{콘트라스트 향상값}, \quad (3)$$

$$C = \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^M w_i} \sum_{i=1}^M w_i \frac{(I_i - I)^2}{I^2}}: \text{콘트라스트}, \quad (4)$$

$$I = \frac{1}{\sum w_i} \sum w_i I_i: \text{지역 평균 밝기}. \quad (5)$$

콘트라스트 향상 값은 표 1에서 보여주고 있다. 제안된 방법은 콘트라스트의 향상 값이 Xu 방법보다 작지만, 영상의 왜곡이 작아 전체적인 시인성은 Xu 방법보다 좋다. 영상의 왜곡을 나타내는 오차의 제곱 평균 제곱근(root mean square, RMS)은 표 2에서 보여주고 있다. RMS는 다음과 같이 정의된다.

$$S = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (I_{\text{처리된 영상}} - I_{\text{원 영상}})^2}. \quad (6)$$

Tarel 방법은 산란모델을 바탕으로 악천후로 인하

여 왜곡되기 전의 영상을 회복하기 때문에 RMS 오차 값이 작다. 영상 II, III에서는 RMS 오차가 작지만, 영상 I에서는 RMS 오차가 크다. 이는 추정된 변수 값의 정확도에 기인한다. Xu의 방법과 제안된 방법은 영상의 시인성을 향상시키기 위하여 인위적으로 콘트라스트를 키우기 때문에 RMS 오차 값이 크다. Xu의 방법은 지역 히스토그램의 분포에 따라 일부 영역에서 영상의 왜곡이 큰 현상이 있다. 제안된 방법은 영상의 왜곡이 전체 영역에 퍼져 있다. 때문에 제안된 방법과 Xu의 방법의 RMS 오차의 정도는 유사하지만, 처리된 영상의 시인성의 차이는 크다.

3.2.2 정성적 평가

그림 6, 7, 8은 악천후로 저하된 원 영상과 세 방법으로 처리된 결과를 보여 주고 있다. Xu 방법은 분할된 영역의 히스토그램이 넓게 분포되어 있는 경우(그림 6(b)의 중앙 부분)에는 영상의 세부 변화를 효과적으로 향상시키지만, 좁은 영역에 집중되어 있는 경우(그림 6(b)의 상단 부분)에는 처리된 영상에서 왜곡이 크다. 제안된 방법은 Xu의 방법과 비교하여 부분적으로 세부 변화의 향상 정도는 작지만, 전체적인 영상의 시인성은 우수하다. Tarel의 방법은 영상의 왜곡이 작아 영상이 전체적으로 자연스럽다.

3.2.3 연산량 비교

제안한 방법은 가우시안 필터를 이용한 영상의 평탄화(smoothing), 수평 수직 방향의 화소 기울기, 3×3 필터를 적용한 화소 밝기 필드의 극점 선택, 256개의 빈(bin)을 가지는 히스토그램의 분석을 통한 256개 밝기 매핑 함수 생성, 화소 밝기의 매핑 등으로 구성된다. 이들 모든 과정의 연산량은 각 화소에서 약 20개 데이터의 곱셈 연산과 약 20개 데이터의 덧셈 연산을 필요로 하기 때문에 실시간 연산이 가능하다.

표 2는 세 방법의 처리 속도에 대하여 비교하였다. 실험은 2.8GHz 인텔 I7-2640M CPU 기반의 노트북

표 1. 콘트라스트 향상 값 및 RMS 오차

	콘트라스트 향상			RMS 오차		
	영상 I	영상 II	영상 III	영상 I	영상 II	영상 II
Xu 방법	3.6배	4.7배	5.2배	37.5	37.8	33.5
Tarel 방법	1.9배	2.0배	2.4배	52.7	11.5	8.3
제안한 방법	3.2배	3.9배	4.1배	36.8	37.4	30.9



(a) 안개로 저하된 영상



(b) Xu 방법에 의한 화질 개선



(c) Tarel 방법에 의한 화질 개선



(d) 제안한 방법에 의한 화질 개선

그림 6 악천후로 저하된 영상 화질 개선 결과



(a) 안개로 저하된 영상



(b) Xu 방법에 의한 화질 개선



(c) Tarel 방법에 의한 화질 개선



(d) 제안한 방법에 의한 화질 개선

그림 7. 악천후로 저하된 영상 화질 개선 결과.

에서 수행하였다. Xu의 방법과 제안한 방법은 C++ 기반으로 구현하였다. Tarel 방법은 저자가 제공한 Matlab 소스 코드를 사용하였다. Tarel 방법은 MxM 윈도우를 이동하면서 중간 밝기 값을 선택하는 과정

이 가장 많은 연산량을 필요로 하는데, 이 과정이 최적화되어 있지 않다. Huang[12] 등이 제안한 미디언 필터 구현 방법을 사용하면 80x80의 블록의 중간 밝기 값을 구하는 연산량을 약 40배 정도 단축시킬 수



(a) 안개로 저하된 영상



(b) Xu 방법에 의한 화질 개선



(c) Tarel 방법에 의한 화질 개선



(d) 제안한 방법에 의한 화질 개선

그림 8. 악천후로 저하된 영상 화질 개선 결과

표 2. 처리 속도 비교 실험 결과

	720×480 영상 처리 시간(초)
Xu 방법	16 ms
Tarel 방법	147 s
제안한 방법	15 ms

있지만, 여전히 초 단위의 연산 시간이 필요하다.

4. 결 론

본 논문에서는 안개, 황사 등 악천후로 저하된 영상의 화질을 실시간으로 개선하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 악천후로 저하된 영상의 에지 강도를 포괄적으로 최대한 증대시켜 영상의 시인성을 향상 시키는 방법이다. 악천후로 인해 저하된 영상의 화질 개선에서 그 성능의 우수성이 알려진 방법들과 비교하여, 제안된 방법은 영상의 시인성 향상에서 비슷한 성능을 보여주고 있으며, 일부 영상에서는 더 뛰어난 시인성 향상을 보여주고 있다. 특히 악천후로 인하여 저하된 영상의 화질 개선에 우수한 성능을 보여주는 대부분의 방법이 많은 연산량을 필요로 하지만, 제안한 알고리즘은 실시간으로 구현할 수 있는 장점이 있다.

참 고 문 헌

- [1] 연승호, 김재민, “영상의 밝기와 텍스처를 이용한 조명 변화에 강인한 변화 검출,” 멀티미디어 학회논문지, 제16권, 제2호, pp. 167-179, 2013.
- [2] S.G. Narasimhan and S.K. Nayar, “Contrast Restoration of Weather Degraded Images,” *IEEE Trans. on PAMI*, Vol. 25, No. 6, pp. 713-714, 2003.
- [3] R. Tan, “Visibility in Bad Weather from a Single Image,” *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 1-8, 2008.
- [4] K. He, J. Sun, and X. Tang, “Single Image Haze Removal using Dark Channel Prior,” *IEEE Trans. on PAMI*, Vol. 33, No. 12, pp. 2341-2353, 2010.
- [5] J.P. Tarel and N. Hautière, “Fast Visibility Restoration from a Single Color or Gray Level Image,” *Proc. IEEE International Conference on Computer Vision*, pp. 2201-2208, 2009.
- [6] J.P. Tarel, N. Hautière, A. Cord, D. Gruyer, and H. Halmaoui, “Improved Visibility of Road

Scene Images under Heterogeneous Fog," *Proc. IEEE Intelligent Vehicle Symposium*, 2010.

[7] [http://en.wikipedia.org/wiki/Normalization_\(image_processing\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Normalization_(image_processing)).

[8] http://en.wikipedia.org/wiki/Histogram_equalization.

[9] M. Abdullah-Al-Wadud, Md. Hasanul Kabir, and M. Ali Akber Dewan, "A Dynamic Histogram Equalization for Image Contrast Enhancement," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 53, No. 2, pp. 593-600, 2007.

[10] Z. Xu and X. Liu, "Bilinear Interpolation Dynamic Histogram Equalization for Fog-degraded Image Enhancement," *Journal of Information & Computational Science*, Vol. 7, No. 8, pp. 1727-1732, 2010.

[11] R.A. Frazor and W.S. Geisler, "Local Luminance and Contrast in Natural Images," *Vision Research*, Vol. 46, No. 10, pp. 1585-1598, 2006.

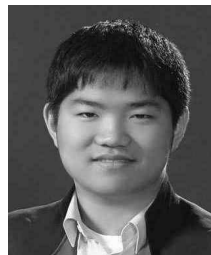
[12] T.S. Huang, G.J. Yang, and G.Y. Tand, "A Fast Two-Dimensional Median Filtering Algorithm," *IEEE Trans. on ASSP*, Vol. 27, No. 1, pp 13-18, 1979.



김재민

1984년 서울대학교 전기공학과 학사
 1986년 서울대학교 전기공학과 석사
 1994년 Rensselaer Polytechnic Institute 전기공학과 박사

2001년~현재 홍익대학교 전자전기공학부 교수
 관심분야: 영상처리, 패턴인식, 컴퓨터비전, 영상감시



연승호

2007년 3월~2011년 2월 홍익대학교 전자 전기공학부 학사
 2011년 3월~2013년 2월 홍익대학교 전기정보제어공학과 석사

2013년 3월~현재 홍익대학교 전기정보제어공학과 박사과정
 관심분야: 영상처리, 객체검출, 객체추적, 객체인식