

확산방정식을 이용한 디블러링 알고리즘

이인정*, 장희동*

*호서대학교 컴퓨터공학과

E-mail:leeij@office.hoseo.ac.kr

A Deblurring Algorithm using Diffusion Equation

In Jung Lee, Hee Dong Chang

*Dept. of Computer engineering.,Hoseo University

요 약

블록거울을 사용하여 CCTV시스템을 만들면 카메라 수를 줄이는 효과가 있다. 이 경우 블록거울 영상은 흰 영상이므로 평면영상처럼 변환해야 한다. 이 경우에, 중앙에 비추인 영상은 평면 영상으로 변환 후에도 왜곡이 거의 없지만 거울의 테두리 부근에서 얻은 영상을 변환하면 왜곡이 심하게 나타나서 영상 내의 물체를 식별하기가 어려워진다. 렌즈의 초점이 거울의 중심부에 맞춰져 있기 때문에 변에 있는 영상은 픽셀들 사이에 겹침이 일어나기 때문이다. 본 논문에서는 픽셀들 사이의 광학적 겹침을 극복하기 위해 확산 방정식의 후진대입 해를 사용하였다. 결과를 분석하기 위해 PSNR값을 조사하였더니 제안된 방법은 N. Moayeri의 방법보다 4 dB 정도 개선되었다.

키워드 : 디블러링

1. 서론

보통 CCTV 카메라는 작은 직육면체 공간이라 할지라도 천정의 네 모서리에 네 개의 카메라를 필요로 한다. 카메라 개수를 줄이기 위해서는 시야 각이 넓혀진 카메라가 필요하다. 2005년도에 미국 광학회(Optical Society of America)에 발표된 논문에는 파노라믹 렌즈를 이용하여 시야 각을 넓혀 영상을 수집하는 기술이 소개 되었다[12]. 이 논문의 경우, 영상의 질은 우수하나 전 영역에서 영상을 수집하는 데는 문제가 있다. 본 논문에서는 시야 각을 전 영역으로 넓히기 위해 천장 중앙에 위치하는 블록거울에 비친 영상을 이용하여 카메라 개수를 한 개로 줄이고자 한다. 이때 생기는 문제 중에 하나는 사용자에게 평면영상을 보여주어야 하므로 거울에 비추인 곡면 영상을 평면 영상으로 변환해야 한다. 블록거울 중앙에 비추인 영상은 평면 영상으로 변환 후에도 왜곡이 거의 없지만 거울의 테두리 부근에서 얻은 영상을 변환하면 왜곡이 심하게 나타나서 영상 내의 물체를 식별

하기가 어려워진다. 이는 블록거울의 특성으로, 입사각이 겹쳐져서 상이 맺히는 원인과 원거리에서 오는 빛의 간섭과 그로 인한 블러링이 발생하는 것으로 보이며 CCD에서 보내온 신호의 기계적 문제도 있다고 봐야 옳으나 본 논문에서는 CCD의 기계적 문제는 없다고 보고 영상 겹침과 블러링 현상을 극복하는 문제만 다루기로 한다. 선형적 접근으로는 더 이상 진전이 없다고 보고 90년대 말에 T. F. Chan 등은 비선형 편 미분 방정식을 세워 변분법적 방법으로 수치적 해를 구하여 영상에 적용하는 방법들을 고안하였다[1,2,3]. 웨이블릿 연구가 활발하게 진행됨에 따라 J. Bect 등은 변분법적 요소와 웨이블릿, 그리고 디콘볼루션 방법이 결합된 변분법적 프레임워크를 제안했다[13]. N. Moayeri는 선형적 필터링 접근방법으로는 푸리에 변수가 겹치는 신호로부터의 노이즈를 분리해 낼 수가 없음을 알아내고 비선형 변분법적 공식을 사용하여 노이즈를 분류해 내는 방법을 제안하였는데 디블러링에 큰 효과가 있음을 보였다[4]. 본 논문의 블러링 특징과 이 모델이 잘 조화 되는 것을 고려하여 주어진 모델을 보면 다음과 같다. 노이즈가 point-spread function(PSF)

라고 할 때 이미지 degradation 모델은

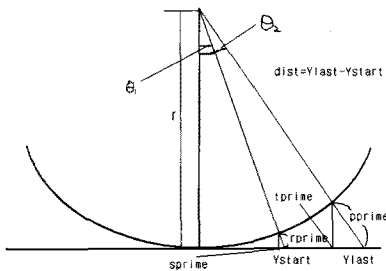
$$f(x; y) = (d * u)(x; y) + n(x; y) \quad (1)$$

가 된다. 여기서 $u(x; y)$ 는 주어진 원본 이미지이고 d 는 PSF이다. $*$ 는 two-dimensional convolution이고, f 는 관측된 degraded 이미지다. 그리고 n 은 the additive noise이다. f 가 획득된 영상이라면 디블러링 이미지 u 를 찾기 위해 편 미분 방정식을 풀어서 해를 구해야 한다. 이 방정식의 수치 해를 얻기 위해 변분법을 사용하게 되며 모두 수치 해법이다[5,6,7]. 그러나 이 모델은 회선(convolution)을 사용한 모델이므로 방정식의 수치 해를 구하여도 광선을 통해 빛이지는 빛의 간섭 현상에 대해서는 고려하지 않았다. 빛의 간섭 현상을 디블러링 효과에 적용하기 위해 (1)식의 모델에 확산 방정식을 적용하여 후진대입 해를 찾아 블러링 현상을 극복하는 알고리즘이 소개되었다.[14] 그러나 이 후진 대입 해를 얻기 위해서는 많은 런타임 시간이 요하게 되며 동영상상을 다루는 CCTV에서는 거의 소용이 없다. 본 논문에서는 픽셀들 사이의 간섭을 줄이기 위해 확산방정식의 후진 대입 해를 계산하여 해결하는 알고리즘을 제안한다.

2. 볼록거울 영상 변환

볼록거울을 이용한 CCTV 카메라의 영상변환방법은 일정한 내부 공간의 천장 중앙에 위치하는 볼록거울에 비친 영상을 중앙에 위치하는 카메라가 촬영한 곡면 영상을 영상처리장치의 저장 부로 전송하는 데 촬영된 곡면 영상 중 선택된 부분에 대해 평면 영상으로 변환하여 그 평면 영상을 출력한다.

곡면 영상과 평면 영상의 관계를 단면도로 도시하면 다음(그림 1)와 같다. 여기서 r 은 볼록거울의 곡률반경이고, θ_1 은 카메라의 연직 상방 폐닝각이고, $dist$ 가 변환된 평면 영상의 길이일 때, Y_{start} 는 영상 변환에 있어 평면 영상에서의 시작점이고, Y_{last} 는 영상 변환에 있어 평면 영상에서의 끝점이다.



(그림 1) 곡면 영상과 평면 영상의 관계 단면도

그러나, 여기서 볼록거울의 변에 위치한 영상을 평면으로

변환 시킨 영상은 중앙에 위치한 영상에 비해 심한 왜곡이 나타난다. 이를 해결하기 위해 확산 방정식의 후진대입 수치를 사용한다.

III. 디블러링 알고리즘

앞에서 언급했듯이 N. Moayeri는 선형적 필터링 접근방법으로는 푸리에 변수가 겹치는 신호로부터의 노이즈를 분리해 낼 수가 없음을 알아내고 비선형 변분법적 공식을 사용하여 노이즈를 분류해 내는 방법을 제안하였는데[4], 노이즈가 point-spread function (PSF)라고 할 때 이미지 degradation 모델은 1절에서 제시한 식(1) 즉,

$$f(x; y) = (d * u)(x; y) + n(x; y) \dots\dots\dots (1)$$

가 되고 여기서 $u(x; y)$ 는 주어진 원본 이미지이다. f 가 관측된 degraded 이미지이므로 블러링 요소 d 와 노이즈요소 n 이 가미된 상태이며 획득된 영상 f 로부터 원본 이미지 u 를 찾기 위해서는 다음 방정식(2)을 풀어서 해를 구해야 하며 [5-7]에서 소개한 방법을 보이면 다음과 같다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \nabla \cdot (\psi t (|\nabla u|^2) \nabla u) + \alpha d * (d * u - f) \dots\dots\dots (2)$$

식(2)에 Perona-Malik filter를 적용하여 이 방정식(2)은 다음 방정식(3)으로 변환된다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \nabla \cdot \left(\frac{1}{1 + |\nabla L_\sigma|^2 / c} \nabla u \right) + \alpha * (d * u - f) \dots (3)$$

식(3)으로부터 유한 차분 법을 사용하여 변분법적 수식인 식(4)을 얻을 수 있으며 k 는 반복 계차이다.

$$\frac{1}{m} \sum_{l=1}^m (I - m \tau A_l(u^k)) u^{k+1} = u^k + \alpha * (d * u^k - f) \dots\dots\dots (4)$$

이때 m, I, τ, A_l 는 반복 식 내에서는 상수화된 값들이다.

식(1)에서 획득된 영상 f 는 빛의 간섭에 의해서도 영향을 받는다. 이러한 간섭효과는 확산에 의한 영향으로 볼 수 있으므로 본 논문에서는 확산방정식의 후진대입 해를 찾아 왜곡 영상을 복원하는 알고리즘을 제안한다.

$$\frac{\partial u^2(t, x)}{\partial t^2} + \frac{\partial u^2(t, x)}{\partial x^2} = f(t, x) \dots\dots\dots (5)$$

라그란제 보간 식과 유한 차분 식을 구하면 다음 식과 같다.

$$u^N(x, t) = \sum_{i=0}^N a_i(t) l_i(x) \text{에 대해서}$$

$$\frac{d^2 a_i(t)}{dt^2} + (l_0''(x_i) a_0(t) + \dots + l_N''(x_i) a_N(t)) = f(t, x_i)$$

$$i = 0, 1, 2, \dots, N.$$

여기에 유한 차분 식을 적용하면

$$\frac{d^2 a_i(t)}{dt^2} = \frac{a_i(t_{j+1}) - 2a_i(t_j) + a_i(t_{j-1}))}{h^2}$$

$$a_i(t_{j+1}) = 2a_i(t_j) - a_i(t_{j-1})$$

$$+ h^2 (l_0''(x_i) a_0(t) + \dots + l_N''(x_i) a_N(t)) + f(t, x_i)$$

후진대입법은 빛을 거슬러 추적하는 방식으로 원래의 실물에서 보내진 빛을 수집된 영상으로부터 후진 대입하여 실물영상으로 찾아가는 방법이다.[14]

제안된 방법을 실제 영상에 적용한 결과를 (그림 2)에서 보았다.



(그림 2). 왼쪽이 블러링 영상이고 오른쪽이 제안된 방법을 적용한 영상

IV. 실험 결과 및 결론

확산방정식 후진대입 해 방법은 식(5)에서 얻어진 결과이다. 이 결과와 식(2)의 결과와의 보다 객관적인 차이를 보기 위해 두 방법의 결과 영상에 대한 SD값과 PSNR 값을 <표 1>에서 보았다. 여기서 SD는 표준편차이고 PSNR은 Peak Signal-to- Noise Ratio이며 PSNR 은 다음과 같이 계산 된다.

Difference= Gray value of Pixel from Image A - Gray value of Pixel from Image B (원본)

$$\text{SummedError} = \sum_N \text{Difference} *$$

$$\text{DifferenceMeanSquaredError} = \text{SummedError} / \text{Number of Pixels}(N)$$

$$\text{RMSE} = \text{sqrt}(\text{MeanSquaredError})$$

$$\text{PSNR} = 20 * \log_{10}(255 / \text{RMSE})$$

$$\text{SD} = \text{sqrt}\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (A_i - M_A)^2\right)$$

<표 1> Moayeri 방법과 제안된 방법에 대한 SD와 PSNR의 차

표.	SD&PSNR	SD		PSNR/dB	
		Moayeri 방법	제안된 방법	Moayeri 방법	제안된 방법
10도	3.112	3.645	89.452	95.579	
20도	3.525	3.923	91.425	95.372	
30도	3.876	3.237	85.218	90.126	
40도	3.814	4.215	84.287	92.237	
50도	4.117	3.662	86.287	94.875	
60도	3.834	4.386	95.116	98.916	

영상을 왜곡 시키는 블러링 요소 속엔 랜즈의 초점이 거울의 중심부에 맞춰져 있기 때문에 변에 있는 영상은 픽셀들 사이에 결점이 일어난 현상과 빛의 산란과 그로 인한 요인이 있다. 본 논문에서는 이러한 왜곡을 극복하기 위해 확산방정식의 후진대입 해를 사용하여 픽셀들 사이의 광학적 결점을 해결하여 보았다. 결과를 분석하기 위해 PSNR값을 조사하였더니 제안된 방법은 Moayeri방법 보다 5 dB 정도 개선되었다.

참 고 문 헌

- [1] T.F. Chan, G.H. Golub, P. Mulet, "A Nonlinear Primal-Dual Method for Total Variation-Based Image Restoration," In SIAM Journal on Scientific Computing, Vol. 20, No. 6, pp.1964, 1999.
- [2] T.F. Chan, C.K. Wong, "Total Variation Blind Deconvolution," In IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 7, No. 3, pp.370, 1998.
- [3] A. Marquina, S. Osher, "Explicit Algorithms for a New Time Dependent Model Based on Level Set Motion for Nonlinear Deblurring and Noise Removal," In UCLA CAM Report 99-5, Department of Mathematics, University of California, Los Angeles, pp.87, 1999.
- [4] N. Moayeri, K. Konstantinides, "An Algorithm for Blind Restoration of Blurred and Noisy Images," In Technical Report HPL-96-102, Hewlett-Packard, pp.37, 1996.
- [5] Perring, J.K., and Skyrme, T.R.H, "A model unified field equation," In Nuclear Physics, Vol.31, pp.550-555, 1962.
- [6] Daney Barash, "One-Step Deblurring and Denoising Color Images Using Partial Differential

- Equations," In HP Laboratories Israel, pp.57, 2000.
- [7] J. Weickert, B.M. ter Haar Romeny, M. Viergever, "Efficient and Reliable Schemes for Non-linear Diffusion Filtering." In IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 7, No. 3, pp.398. 2001.
- [8] Dupont. T. "L estimates for Galerkin methods for second-order hyperbolic equations." In SIAM J. Numerical Analysis. Vol.10, pp.392-410, 1973.
- [9] Claudio Canuto M. Yousuff Hussaini Alfio Quarteroni Thomas A. Zang, "Spectral Methods in Fluid Dynamics. In Springer-Verlag," 2ed. pp.378, 1988..
- [10] Yves Truginy. "Product approximation for nonlinear Klein-Gordon equations." In IMA journal of Numerical Analysis. Vol.9, pp.449-462, 1990.
- [11] In-Jung Lee. "Numerical Solution for Nonlinear Klein-Gordon Equation by Using Lagrange Polynomial Interpolation with a Trick," In KIPS Transactions. Part A, Vol 11-A No.7, pp.571-576. 2004.
- [12] Gyeong-il Kweon, Kwang Taek Kim, Geon-hee Kim, and Hyo-sik Kim, "Folded catadioptric panoramic lens with an equidistance projection scheme," In Optical Society of America, Vol. 3. pp.20-34, 2005.
- [13] J. Bect, L. Blanc-Feraud, G. Aubert and A. Chambolle, "A l^1 -Unified Variational Framework for Image Restoration," In Proc. ECCV'2004, Prague, Czech Republic, Part IV: LNCS #3024, pp. 1-13, Springer, 2004.
- [14] In-Jung Lee. Nonlinear Deblurring Algorithm on Convex-Mirror Image for Reducing Occlusion. In KIPS Transactions. Part A, Vol 13-A No.5, pp.429-434. 2006.