Papoulis-Gerchberg 방법의 개선에 의한 초해상도 영상 화질 향상

장효식 · 김덕규 · 정윤수* · 이태균 · 원철호**†

Super-resolution image enhancement by Papoulis-Gerchberg method improvement

Hyo Sik Jang, Duk Gyoo Kim, Yoon Soo Jung*, Tae Gyoung Lee, and Chul Ho Won**†

Abstract

This paper proposes super-resolution reconstruction algorithm for image enhancement. Super-resolution reconstruction algorithms reconstruct a high-resolution image from multi-frame low-resolution images of a scene. Conventional super-resolution reconstruction algorithms are iterative back-projection(IBM), robust super-resolution(RS)method and standard Papoulis-Gerchberg(PG)method. However, traditional methods have some problems such as rotation and ringing. So, this paper proposes modified algorithm to improve the problem. Experimental results show that this proposed algorithm solve the problem. As a result, the proposed method showed an increase in the PSNR for traditional super-resolution reconstruction algorithms.

Key Words : super-resolution reconstruction, iterative back-projection, robust super-resolution, Papoulis-Gerchberg

1. 서 론

CCD(charge-coupled device)와 CMOS(complementary metal-oxide semiconductor) 센서는 1970년대부터 디지털 영상획득을 위하여 널리 사용되었고, 그 중 CCD 센서를 이용하여 영상을 획득한 대표적인 시스템으로 CCTV(closed circuit television)가 있다. 일반적으로 CCD 센서로부터 획득된 영상은 Fig. 1에서와 같이 영상 획득 과정에서 생기는 에일리어싱과 잡음 등으로 인해 해상도가 저하되는 단점이 있다. 따라서, 이를 극복하기 위하여 저해상도 영상을 초해상도(super-resolution) 영상으로 복원하는 연구가 시작되었다^[1].

초해상도 영상 복원은 동일 물체를 촬영한 다수의 저해상도 영상을 이용하여 초해상도 영상으로 재구성

하는 영상 처리 방법으로서 두 가지 주요한 단계로 나누어진다. 첫 번째는 영상 등록(registration)단계로서 다수의 저해상도 영상의 이동(shift)과 회전(rotation)에 관한 정보를 수집하는 단계^[2]이고, 두 번째는 수집된 영상 정보로부터 초해상도 영상을 복원하는 단계다.

최근 들어 초해상도 영상 복원에 관한 다양한 방법들이 연구되고 있는데 공간 영역에서 초해상도 영상 복원 방법과 주파수 영역에서 초해상도 영상 복원 방법 두 가지로 구분할 수 있다. 공간 영역에서의 초해상

Fig. 1. Common image acquisition system.

경북대학교 전자전기컴퓨터학부(School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University)

*한국전자통신연구원(Electronics and Telecommunications Research Institute)

**경일대학교 제어전기공학부(School of Control & Electrical Engineering, Kyungil University)

†Corresponding author : chulho@kju.ac.kr

(Received : January 12, 2010, Revised : February 18, 2010

Accepted : March 8, 2010)

도 영상 복원 방법 중 IBP(iterative back projection) 방법^[3]은 각 영상의 에지 성분들을 합하여 초해상도 영상을 복원하는 방법이고, RS(robust super-resolution) 방법^[4]은 IBP 방법과 유사하나 각 영상의 에지 성분의 합이 아니라 중간 값을 이용하여 초해상도 영상을 복원하는 방법이다. 하지만, 영상 복원에 있어 두 방법 모두 영상 복원시 화질이 저하되는 단점이 있다. 그리고 주파수 영역에서 대표적인 초해상도 영상 복원 방법인 표준(standard) PG(papoulis-gerchberg) 방법^[5]은 영상 복원시 이상적인(ideal) 저역통과 필터를 사용하기 때문에 링잉(ringing)현상이 나타나는 단점을 가지고 있다.

따라서, 본 논문에서는 기존 방법에서 나타나는 문제점을 개선하기 위하여 기존 방법과 다른 방법을 제안한다. 제안한 방법은 주파수 영역에서 필터링 과정에서 영상의 링잉 현상을 감소시키고 공간 영역의 영상 처리 과정에서는 영상의 에지 성분을 강조하여 영상을 선명하게 복원할 수 있었다.

본 논문의 2장에서는 기존의 초해상도 영상 복원 방법 중 표준 PG 방법과 제안한 방법을 설명하고 3장에서는 기존의 방법과 제안한 방법의 실험을 통한 성능 평가 및 고찰, 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

2. 본 론

2.1. 표준 PG 방법

기존의 초해상도 영상 복원 방법 중 하나인 표준 PG 방법은 Fig. 2와 같다.

Fig. 2. Standard PG method.

Fig. 3. Ideal low pass filter.

전처리 과정에서는 각 저해상도 영상의 이동 및 회전 정보를 수집하고 수집한 정보를 이용하여 저해상도 영상을 초해상도 영상크기로 업 샘플링(up-sampling)한다. 참조 영상(I)은 전처리 과정에서 수집한 정보를 이용하여 한 장의 저해상도 영상에서 알 수 없는 정보를 다른 영상으로부터 획득하여 생성한다. 이 참조 영상에는 기존의 저해상도 영상에서의 화소 값(known value)과 업 샘플링과정에서 생기는 0값(unknown value)을 가진다.

다음으로, 참조 영상은 식(1)을 이용하여 주파수 영역으로 변환되고, 식(2)의 ILPF(ideal low pass filter)를 사용하여 저역통과 필터링 처리를 한다. 이는 업 샘플링과정에서 생기는 0값을 채워주기 위한 과정이다. Fig. 3은 ILPF를 도식화한 그림이다.

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi(ux/M + vy/N)} \quad (1)$$

여기서, $f(x, y)$ 는 $M \times N$ 크기의 영상이고, $u=0, 1, 2, \dots, M-1$, $v=0, 1, 2, \dots, N-1$ 이며, $F(u, v)$ 는 변환된 결과이다.

$$H(u, v) = \begin{cases} 1 & \text{if } D(u, v) \leq D_0 \\ 0 & \text{if } D(u, v) > D_0 \end{cases} \quad (2)$$

여기서, D_0 는 차단주파수를 나타내며, $D(u, v)$ 는 중심에서 점(u, v)사이의 거리를 나타낸다.

마지막으로, 식(3)을 이용하여 공간 영역으로 변환하고, ILPF 처리에 의해 변경된 기존의 알고 있는 값은 참조 영상의 정보로부터 원래의 값으로 복원한다. 이러한 반복 처리를 통하여 결과 영상을 획득하는 것이 표준 PG 방법이다. 하지만 ILPF를 사용하기 때문에 영상에 링잉현상이 발생하게 되어 화질이 저하된 결과 영상을 획득한다.

$$f(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v) e^{j2\pi(ux/M + vy/N)} \quad (3)$$

여기서, $F(u, v)$ 푸리에 변환 결과이고, $x=0, 1, 2, \dots$,

Fig. 4. Proposed super-resolution method.

$M-1, y=0, 1, 2, \dots, N-1$ 이며, $f(x,y)$ 는 변환된 결과 즉, 공간 영역에서의 영상이다.

2.2. 제안한 초해상도 영상 복원 방법

본 논문에서는 기존에 있는 초해상도 영상 복원 방법의 단점을 보완하기 위하여 주파수 영역과 공간 영역에서 영상 처리를 수행하며 흐름도는 Fig. 4와 같다.

먼저, 전처리 과정에서 생성된 참조 영상은 식(1)을 이용해 주파수 영역으로 변환되고, 식(4)의 BLPF(butterworth low pass filter)를 사용하여 필터링 처리를 한다. 이는 기존방법에서 나타나는 링잉현상을 감소시키기 위한 처리로서 Fig. 5에서 BLPF를 보였다.

$$H(u, v) = \frac{1}{1 + [D(u, v)/D_0]^{2n}} \quad (4)$$

Fig. 5. Butterworth low pass filter.

여기서, n 은 차수(order), D_0 는 차단주파수를 나타내며, $D(u, v)$ 는 중심에서 점 (u, v) 사이의 거리를 나타낸다.

다음으로, 식(3)을 이용해 공간 영역으로 변환하고, BLPF 처리에 의해 변경된 기존의 알고 있는 값은 참조 영상의 정보로부터 원래의 값으로 복원한다. 전처리 과정에서 얻어진 영상은 다시 공간 영역에서 3×3 평균틸터링 처리를 거치게 되고, 이 영상을 원본의 저해상도 영상 크기로 다운 샘플링(down-sampling)한다. 다운 샘플링된 영상은 입력 영상으로 사용되는 각각의 저해상도 영상과 차이를 이용하여 영상의 에지 성분을 구하게 된다. 에지 성분은 다시 초해상도 영상으로 업 샘플링되고, 두 번째 단계에서 얻어진 영상과 에지 성분과의 합을 통하여 영상을 획득하게 된다. 이는 에지 성분을 추가함으로써 기존 방법보다 선명한 영상을 획득할 수 있으며 이때 획득한 영상이 참조 영상이 된다. 이러한 반복처리를 통하여 최종적인 초해상도 영상을 획득하게 된다.

3. 실험 및 고찰

실험에 사용된 영상은 5장으로 Lena, Face, Girl, Bank 및 Camera man이다. 입력되는 저해상도 영상은 Fig. 6의 원본 영상을 이용하여 Fig. 7의 64×64 크기의 저해상도 영상 4장을 만들어 사용하였다^[6]. Figs. 8~11(a)는 IBP 방법에 의한 초해상도 복원 영상이고, Figs. 8~11(b)는 RS 초해상도 영상 복원 방법의 결과이다. Figs. 8~11(c)는 표준 PG 방법에 의한 결과이다. Figs. 8~11(a), (b) 및 (c)의 기존 초해상도 영상 복원 방법의 결과에서는 영상 화질의 저하 및 링잉현상이 발생된다.

하지만, Figs. 8~11(d)는 제안한 초해상도 영상 복원 방법에 의한 결과로서 기존 방법보다 링잉현상이 현저하게 감소하였다. Table 1 및 2는 기존의 방법과 제안한 방법을 이용하여 Lena, Face, Girl, Bank 및 Camera man에 대하여 MSE와 PSNR을 비교한 결과이다. MSE와 PSNR은 식(5)와 식(6)과 같이 계산하였다.

Fig. 6. Original images.

Fig. 7. 64×64 low-resolution input images.

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} (I(i,j) - K(i,j))^2 \quad (5)$$

여기서, m , n 은 영상의 크기, i , j 는 각 화소의 위치, I 와 K 는 원본 및 출력영상을 의미한다.

$$PSNR = 10 \times \log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right) \quad (6)$$

Fig. 8. 256×256 Super-resolution reconstruction images, (a) IBP method, (b) RS method, (c) standard PG method, (d) proposed method.

Fig. 9. 256×256 Super-resolution reconstruction images, (a) IBP method, (b) RS method, (c) standard PG method, (d) proposed method.

$$= 20 \times \log_{10} \left(\frac{MAX_I}{\sqrt{MSE}} \right)$$

여기서, MAX_I 는 실험에 사용된 8비트 영상일 경우

Fig. 10. 256×256 Super-resolution reconstruction images, (a) IBP method, (b) RS method, (c) standard PG method, (d) proposed method.

Fig. 11. 256×256 Super-resolution reconstruction images, (a) IBP method, (b) RS method, (c) standard PG method, (d) proposed method.

255가 된다.

Table 1에서 MSE값이 제일 낮아 원본 영상과 가장 유사한 것을 알 수 있으며, Table 2에서는 PSNR이 제

Table 1. Comparison result by using MSE

	MSE			
	IBP	Robust	Standard PG	Proposed
Lena	108.49	90.87	59.15	34.00
Face	104.84	88.33	68.12	42.06
Girl	72.18	59.29	44.04	24.88
Bank	91.02	69.42	130.21	58.25
Camera.	103.05	81.72	96.94	55.30

Table 2. Comparison result by using PSNR

	PSNR [dB]			
	IBP	Robust	Standard PG	Proposed
Lena	27.78	28.85	30.41	32.82
Face	27.93	28.77	29.80	31.89
Girl	29.55	30.40	31.69	34.22
Bank	28.54	29.72	26.98	30.48
Camera.	28.00	29.01	28.27	30.70

일 높기 때문에 제안한 방법에 의한 초해상도 복원 영상이 원본 영상과 가장 유사함을 알 수 있다. MSE와 PSNR 평가를 통하여 제안한 방법이 기존의 방법보다 복원능력이 우수함을 확인하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 기존의 초해상도 영상 복원 방법의 단점을 보완하기 위한 방법을 제안한다. 영상의 링잉현상을 줄이기 위해 주파수 영역에서 BLPF를 사용하여 필터처리를 하였고, 공간 영역에서 에지 성분을 추출하여 참조 영상과의 조합을 통해 영상을 더욱 선명하게 복원할 수 있었다. 제안한 방법은 기존의 초해상도 방법보다 MSE와 PSNR 평가를 통하여 더 우수함을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] S. M. Park, M. K. Park, and M. G. Kang, "Super-resolution image construction : A technical overview", *IEEE signal processing magazine* 2003.
- [2] D. Keren, S. Peleg, and R. Brada, "Image sequence enhancement using sub-pixel displacement", in *Proceedings IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR '88)*, pp.742-746, Ann

Arbor, Mich, USA, June 1988.

- [3] M. Irani and S. Peleg, "Improving resolution by image registration", *CVGIP: Graphical Models and Image Processing*, vol. 53, no. 3, pp. 231-239, 1991.
- [4] A. Zomet, A. Rav-Acha, and S. Peleg, "Robust super-resolution", in *Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR '01)*, vol. 1, pp. 645-650, Kauai, Hawaii, USA, December 2001.
- [5] Deepesh Jain, "Superresolution using Papoulis-Gerchberg Algorithm", *EE392J - Digital Video Processing*. Stanford University, Stanford, CA, jaindee@stanford.edu
- [6] http://lcavwww.epfl.ch/reproducible_research/VandwelleSV05/.

장 효 식

- 2009년 2월 계명대학교 전자공학과 (공학사)
- 2009년 3월~현재 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부 대학원 재학 중
- 주관심분야: 영상신호처리, 초해상도

김 덕 규

- 1973년 2월 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 1977년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 1990년 2월 동경대학교 전기공학과 (공학박사)
- 1995년 3월~현재 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부 교수
- 주관심분야: Audio 및 Video 공학, DTV 신호처리

정 윤 수

- 1993년 2월 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 1995년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 1998년 8월 경북대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
- 1999년~현재 한국전자통신연구원
- 2005년~현재 SC37 Korea 생체인식전문위 전문위원, TTA PG505 바이오인식프로젝트그룹 부의장
- 주관심분야: 영상처리, 바이오인식, HCI, HRI

이 태 균

- 2005년 2월 경일대학교 제어계측공학과 (공학사)
- 2007년 8월 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 2008년 3월~현재 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부 대학원 재학 중
- 주관심분야: 영상신호처리, 초해상도, JPEG2000, 웨이블릿 변환

원 철 호

- 1992년 2월 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 1995년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 1998년 8월 경북대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
- 2002년 2월~현재 경일대학교 전기제어 공학부 부교수
- 주관심분야: 영상신호처리, 의학영상처리