

# 비디오 분석기술과 초해상도 영상 복원

정윤수\* · 원철호\*\* · 문기영\*\*\* · 김정녀\*\*\*\*

## 1. 서 론

CCD (charg coupled divice)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. 최근 보안을 목적으로 한 감시 응용에 대한 요구가 증대됨에 따라, 얼굴인식도 증명사진 수준의 얼굴영상 대상이 아니라, 근거리 혹은 나아가서 원거리에서의 촬영한 얼굴영상을 대상으로 하는 보다 발전된 형태의 보안 시스템으로 진보하고 있다.

일반적으로 CCD 센서와 같은 장치로 획득한 영상들은 Fig. 1에서와 보는 것과 같이 영상획득 과정에서 생기는 에일리어싱과 잡음 등으로 인해 해상도가 나쁘다는 단점이 있기 때문에, 저해상도 영상을 초해상도로 복원하는 연구가 시작되었다 [1]. 초해상도 영상복원은 저해상도의 영상을 이

용하여 고해상도의 영상으로 재구성 하는 영상처리 기법 중의 하나이다. 본 분야는 과거 경제적인 제약으로 인하여 우주산업 및 국방산업에 그 영역이 제한적이었으나, 최근 고품질 및 고해상도의 영상을 필요로 하는 분야가 점차 늘어나고 있다.

특히, 시설물 보안이나 범죄 수사 등에 CCTV에 저장되어 있는 비디오 판독이 폭 넓게 이루어지게 됨에 따라, 다양한 영상 분석 기술들이 요구되고 있다. 그림 1의 경우처럼, 일반적인 영상에서는 카메라 뷰로부터 멀어질수록 객체의 형태가 작아지므로, 이러한 점이 영상 분석 엔진의 난이도를 높이는 한 요인이 되고 있다.

초해상도 (super-resolution) 방법은 동일 지역을 촬영한 여러 장의 저해상도 영상을 이용하여

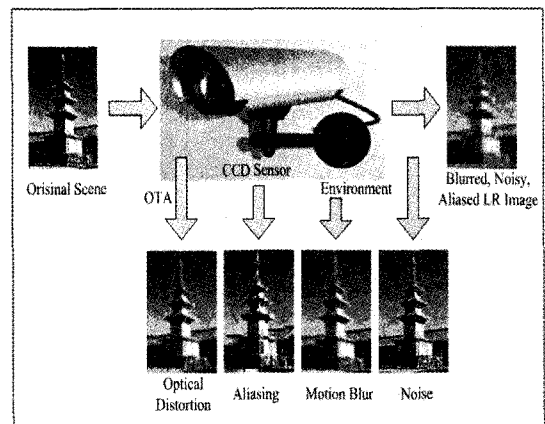


Fig. 1. Common image acquisition system.

※ 교신저자(Corresponding Author) : 정윤수, 주소 : 대전시 유성구 가정동 161번지(305-700), 전화: 042)860-6579, E-mail : yoonsu@etri.re.kr

\* 한국전자통신연구원 휴먼인식기술연구팀

\*\* 경일대학교 첨단의료기학과

(E-mail : chulho@kiu.ac.kr)

\*\*\* 한국전자통신연구원 휴먼인식기술연구팀

(E-mail : kymoon@etri.re.kr)

\*\*\*\* 한국전자통신연구원 휴먼인식기술연구팀

(E-mail : jnkim@etri.re.kr)

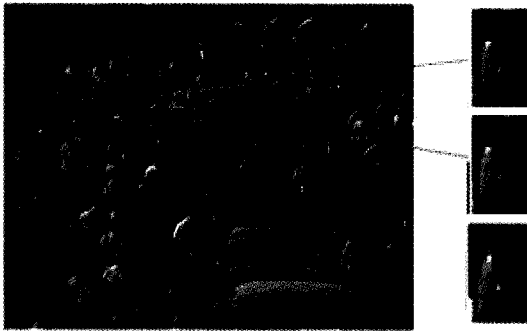


Fig. 2. Examples of low resolution faces.

초해상도의 영상으로 재구성하는 영상처리 방법으로서 두 가지 중요한 단계로 나누어진다. 첫 번째 단계는 영상 등록 (registration) 단계로, 여러 장의 저해상도 영상에 관한 이동 (shift)과 회전 (rotation)에 관해 정보를 수집하는 단계이고, 두 번째 단계는 수집된 영상 정보로부터 초해상도 영상을 복원하는 단계다.

본고의 II장에서는 초해상도 영상복원에서 등록에 대한 관련연구를 설명하고, III장에서는 초해상도 영상 복원에 관한 다양한 방법 및 그 응용예를 보이고 IV장에서 결론을 맺는다.

## 2. 초해상도 영상 등록

초해상도 영상 복원 기술은 일반적으로 등록과 복원의 절차를 통하여 수행된다. 그림 3은 그 개념

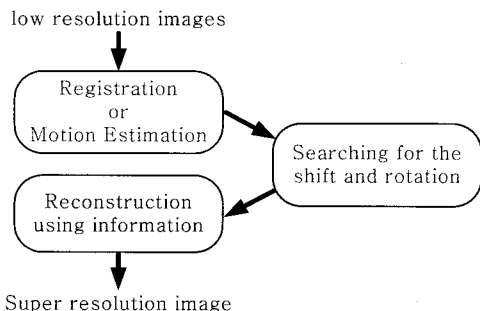


Fig. 3. Flow chart of super-resolution.

도를 나타낸다.

등록 단계에서 정확한 정보의 획득은 저해상도 영상을 고해상도 영상으로 복원하기 위하여 가장 중요한 역할을 한다. 이를 위하여 많은 연구가 진행되고 있다. 일반적으로 등록 단계에서는 연속적인 영상신호 중 고해상도로 복원할 영상을 기준으로 주위의 영상들과의 비교를 통하여 정보를 획득하게 된다. 그림 4는 등록정보 획득에 대한 설명이다.

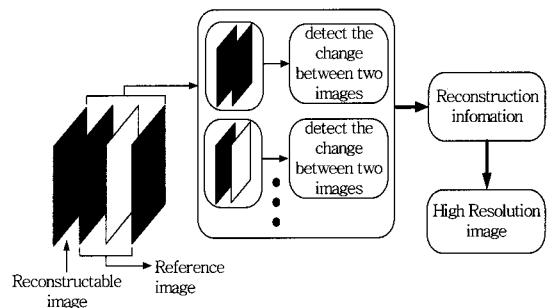


Fig. 4. Block diagram of registration.

각각의 영상과 비교를 통하여 이동 (shift)과 회전 (rotation)정보를 획득하여 복원 단계에서 이를 이용하여 고해상도의 영상으로 복원한다.

### 2.1 주파수 영역에서의 등록정보 획득

Marcel[2]과 Vandewalle[3] 등은 주파수 영역에서의 등록정보의 획득을 제안하였다. 이들은 입력 영상을 푸리에 변환한 후 중간 대역의 주파수 성분의 변화량을 이용하여 등록정보를 획득하였다. 그림 5는 주파수 영역에서의 방법에 대한 흐름도이다.

주파수 영역으로의 변환한 후에 등록정보를 획득하기 위하여 중간 대역의 주파수 성분 중 특정 주파수 성분의 변화량을 구한다. 변화량이 큰 경우 변화량을 찾기 쉽지만, 변화량이 작은 경우에는 정보 획득이 용이하지 않다. 그림 6은 영상의

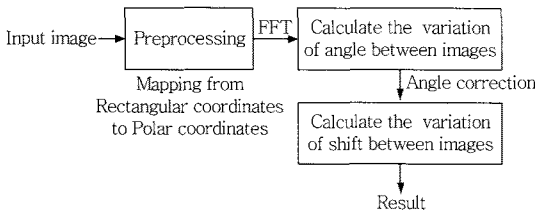


Fig. 5. Block diagram of registration in the frequency domain.

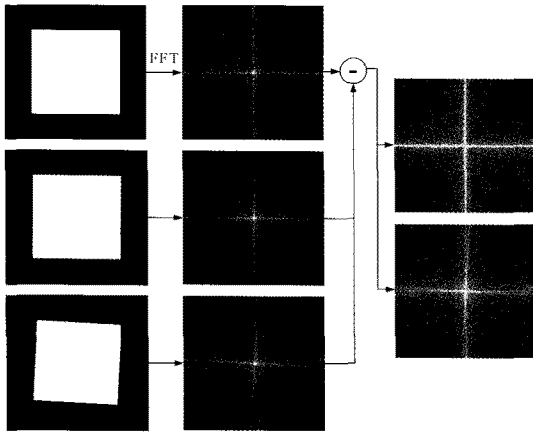


Fig. 6. Example of defect of registration in the frequency domain.

회전에 의해 변화량 획득이 어려운 경우의 예를 보여 준다. 각각의 그림은 화이트 박스를 주파수 영역으로 변환하여 쉽게 그 차이를 비교하였다. 각각의 회전 각도는 0, 0.3, 3도이며, 각각의 영상을 푸리에 변환한 후 차 영상을 구하고, 변화량을 비교하였다. 미세하게 변화된 0.3도의 경우 정보 획득이 용이하지 않음을 알 수 있다.

2.2 공간 영역에서 등록정보 획득

Keren[4,5] 등은 영상을 피라미드 구조로 재구성하여 공간 영역에서의 특정 방향 에지 성분의 기울기를 테일러 정리를 이용하여 근사화 하는 방법을 제안 하였다. 식 (1)은 테일러 정리에 의한 각 방향별 기울기의 근사치를 구하는 식이다.

$$g_k(x,y) \approx g_1(x,y) + (\alpha x_k - y\theta_k - x\theta_k^2/2) \frac{\partial g_1}{\partial x} + (\beta y_k - x\theta_k - y\theta_k^2/2) \frac{\partial g_1}{\partial y} \tag{1}$$

식 (1)을 이용하여 수직, 수평, 대각 방향의 기울기의 근사값을 계산하여 등록정보를 획득한다.

2.3 웨이블릿 변환에 의한 등록 정보 획득

웨이블릿 변환은 분해 필터를 이용하여 다운 표본화(down sampling)를 통한 주파수 영역으로의 변환 방법이다. 이렇게 분해된 각각의 부 대역 영역은 특정 방향의 주파수 성분을 가지며, 합성 필터를 이용하면 원 영상으로 복원이 가능하다.

그림 7과 같이 웨이블릿의 특징을 이용한 초해상도 영상 등록 방법에서는 고해상도로 복원할 저해상도 영상과 참조 영상들을 각각 웨이블릿 변환한 후 부 대역들의 성분들을 개별적으로 추출한다. 추출된 각 성분의 변화량을 테일러 정리를 이용하여 근사화(approximation)한 후 계산되어진 값을 비교하여 복원에 필요한 정보를 획득한다.

그림 8에서 보는 바와 같이 웨이블릿의 각 부 대역을 추출하여 저주파 통과 필터 처리하여 흐릿한 영상을 만들어 낸 후 수평, 수직, 대각에 대한 성분을 검출한다. 복원할 영상에서 검출된 성분과

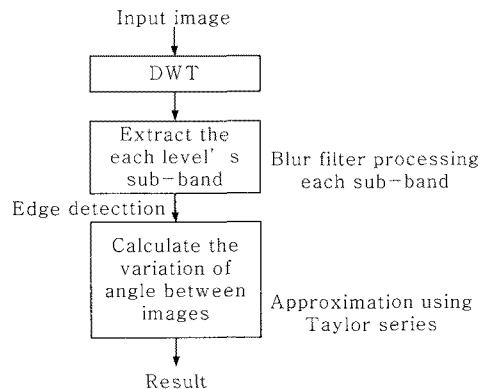


Fig. 7. Flow chart of wavelet based method.



Fig. 8. Example of wavelet based method.

참조 영상들에서 검출한 성분과의 차를 구하고, 각각의 차이 값을 테일러 근사화하여 등록 정보를 획득한다.

그림 9는 영상 등록과 관련된 실험의 한 예를 나타낸다.

표 1에서와 같이 웨이브릿 변환 기반 방법은 기존의 주파수 변환을 이용한 방법에서 잘 찾아내

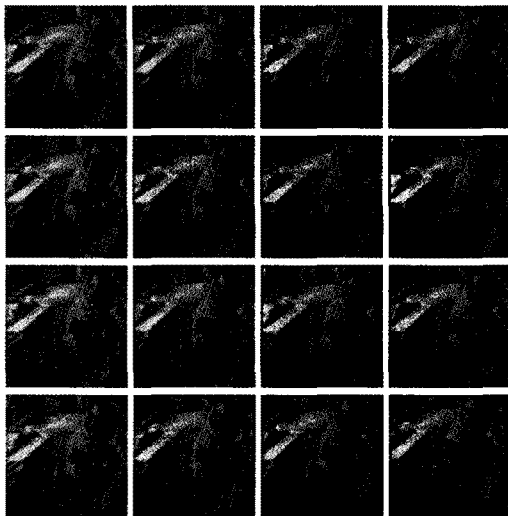


Fig. 9. Low resolution observation model.

Table 1. Simulation results

[,pixel,pixel]	$\theta$	$\partial x$	$\partial y$	$\theta$	$\partial x$	$\partial y$
Parameter	0.1	0.1	0.1	3.0	3.0	3.0
Vand. alg.	0	0.04	0.05	-0.1	0	0
Mar. alg.	0	0	0	0	2.5	-7
Keren alg.	0.48	0.09	0.09	1.32	2.52	2.82
Wavelet	0.04	0.08	0.09	1.15	2.16	2.31

지 못하는 미세 변화량을 잘 찾아낼 수 있었고, 기존의 공간 영역을 이용한 방법에서 추가적으로 필요한 압축과정을 웨이브릿 변환을 이용하여 생략할 수 있었다.

### 3. 초해상도 영상 복원

최근 들어 초해상도 영상 복원에 관한 다양한 방법들이 연구 및 발표 되고 있는데, 크게 공간영역에서 초해상도 영상 복원방법과 주파수영역에서 초해상도 영상복원방법 두 가지로 나눌 수 있다. 공간영역에서 초해상도 영상복원방법 중 IBP (iterative back projection)방법[6]은 각 영상의 에지 성분들을 합하고, RS(robust super-resolution) 방법[7]은 IBP 방법과 유사하나 각 영상의 에지성분의 합이 아니라 중간 값을 가지고 초해상도 영상을 복원하는 방법으로 영상복원에 있어 두 방법 모두 화질 저하의 단점을 가지고 있다. 그리고 주파수영역에서 대표적인 초해상도 영상복원방법인 standard PG (Papoulis-Gercheberg)방법[8]은 이상적인 저역통과 필터를 사용하기 때문에 링잉(ringging)현상이 나타나는 단점을 가지고 있다.

기존의 방법에서 나타나는 단점을 개선하기 위하여 주파수영역과 공간영역을 모두 사용하는 기법에 대해서도 설명한다. 이 방법은 주파수영역의 영상처리 과정에서 영상의 링잉 현상 줄이고, 공간영역의 영상 처리 과정에서는 영상의 에지 성분을 추가하여 영상을 선명하게 하는 효과를 보인다.

#### 3.1 초해상도 영상 복원 방법

기존의 초해상도 영상복원 방법 중 하나인, 표준 PG 방법은 그림 10과 같다.

여기서, 전처리 과정은 각 저해상도 영상의 이

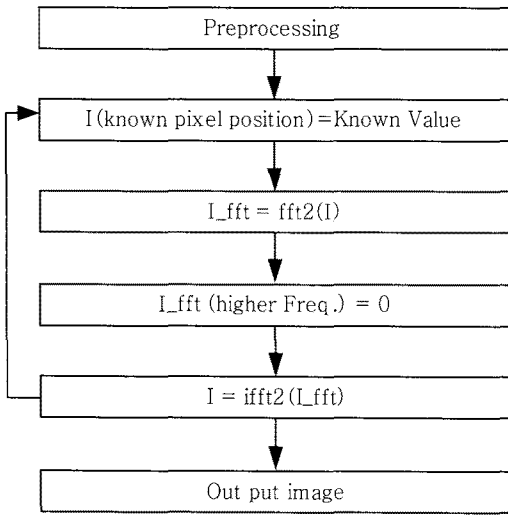


Fig. 10. Standard PG method.

동 및 회전 정보를 수집하고, 수집한 정보를 가지고 저해상도 영상을 초해상도 영상크기로 업 샘플링 (up-sampling)한다. 참조 영상 (I) 은 앞에서 수집한 정보들을 가지고 한 장의 저해상도 영상에서 알 수 없던 정보를 다른 영상에서 정보를 얻어 만든다. 이 참조 영상에는 기존의 저해상도 영상에서의 화소 값 (known value)과 업 샘플링 과정에서 생기는 0값 (unknown value)을 가진다.

다음으로, 참조영상은 식 (2)을 이용하여 주파수영역으로 변환하고, 식 (3)의 ILPF (ideal low pass filter)를 사용하여 저역통과 필터처리 한다. 이는 업 샘플링과정에서 생기는 0값을 채워주기 위한 과정이다. 그림 11은 ILPF를 도식화 한 것이다.

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi(ux/M+vy/N)} \quad (2)$$

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.

$$H(u, v) = \begin{cases} 1 & \text{if } D(u, v) \leq D_0 \\ 0 & \text{if } D(u, v) > D_0 \end{cases} \quad (3)$$

여기서,  $D_0$ 는 차단주파수를 나타내며,  $D(u, v)$

는 중심에서 점  $(u, v)$  사이의 거리를 나타낸다.

마지막으로, 식 (4)을 이용하여 공간영역으로 변환하고, ILPF처리에 의해 변경된 기존의 알고 있는 값은 참조 영상의 정보로부터 원래의 값으로 복원한다. 이러한 몇 번의 반복적인 과정을 통해 결과 영상을 획득하는 것이 표준 PG 방법이다. 하지만 ILPF를 사용하기 때문에 영상에 링잉현상이 생기게 되어, 좋지 않은 화질의 결과 영상을 획득한다.

$$f(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v) e^{j2\pi(ux/M+vy/N)} \quad (4)$$

여기서,  $F(u, v)$  푸리에 변환 결과이고,  $x=0, 1, 2, \dots, M-1, y=0, 1, 2, \dots, N-1$ 이며,  $f(x, y)$ 는 변환된 결과 즉, 공간영역에서의 영상이다.

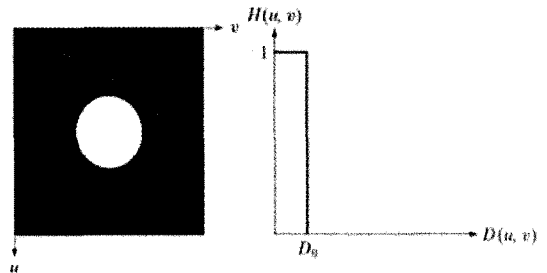


Fig. 11. Ideal lowpass-filter.

Modified PG 방법은 기존의 초해상도 영상복원 기법 중 표준(standard) PG 기법과 IBP 기법을 기반으로 성능을 향상시켰다.

표준 PG 방법으로 참조영상을 만들고, 주파수영역에서 버터워스 저역통과 필터를 거쳐 다시 공간영역에서 영상의 에지성분을 추가함으로써 보다 선명한 영상을 획득하는 방법이다.

이 방법은 기존에 있는 초해상도 영상복원 방법의 단점을 보완하기 위해 주파수 영역과 공간영역에서 영상 처리를 수행하며 그림 12와 같다.

먼저, 전처리 과정 후 만들어진 참조영상은 식

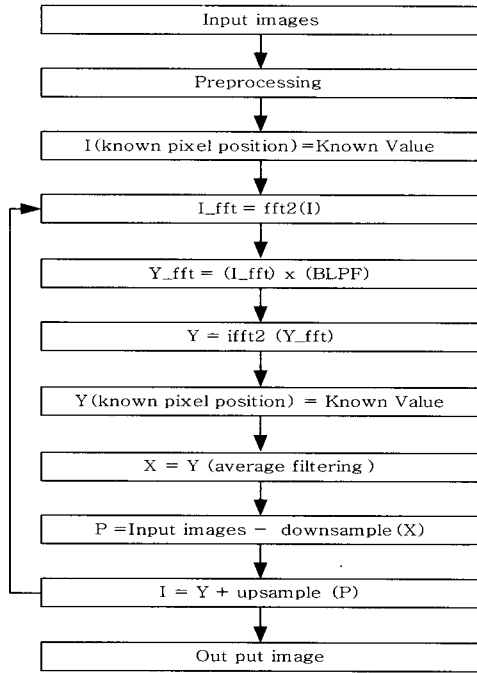


Fig. 12. Modified PG super-resolution method.

(2)을 이용해 주파수 영역으로 변환되고, 식 (5)의 BLPF (butterworth low pass filter)를 사용하여 필터처리 한다. 이는 기존방법에서 나타나는 링 인현상의 단점을 보완하기 위한 것이다. 그림 13은 BLPF를 도식화 한 것이다.

$$H(u,v) = \frac{1}{1 + [D(u,v)/D_0]^{2n}} \quad (5)$$

여기서, n은 차수(order), D0는 차단주파수를 나타내며, D(u,v)는 중심에서 점(u,v)사이의 거리

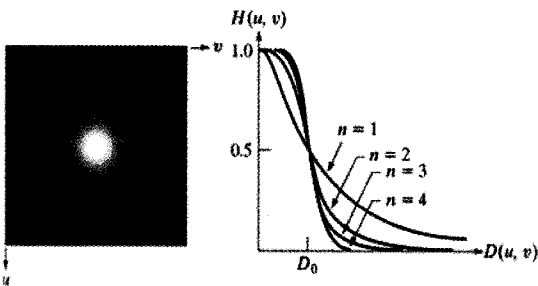


Fig. 13. Butterworth lowpass-filter.

를 나타낸다.

다음으로, 식 (3)을 이용해 공간영역으로 변환하고, BLPF처리에 의해 변경된 기존의 알고 있는 값은 참조 영상의 정보로부터 원래의 값으로 복원한다. 앞선 과정에서 얻어진 영상은 다시 공간 영역에서 3x3 평균필터처리 되고, 그 영상을 원본의 저해상도 영상 크기로 다운샘플링 (down-sampling) 한다. 다운샘플링 된 영상은 입력 영상으로 사용되는 각각의 저해상도 영상과 차이를 이용하여 영상의 에지 성분을 구하게 된다. 에지 성분은 다시 초해상도 로 업 샘플링 되고, 두 번째 단계에서 얻어진 영상과 에지 성분과의 합을 통하여 영상을 획득 하게 된다. 이는 에지 성분을 더해줌으로 기존 방법보다 선명한 영상을 획득할 수 있다. 이때 획득한 영상이 참조 영상이 된다. 이러한 몇 번의 반복적인 과정을 통해 결과 영상을 획득하게 된다.

### 3.3 영상 복원의 예

초해상도 복원 기술은 디지털 카메라와 같이, 화소수가 제한되어 있는 환경에서의 고해상도 영상 캡처에도 사용이 가능하며, 원거리에서 휴먼을 식별하기 위한 얼굴 인식 분야나 번호판 판독과 같은 범죄수사 분야등에서 사용되는 기술이다. 본 절에서는 얼굴인식을 위한 저해상도 얼굴 복원 및 번호판 영상의 판독을 위한 영상 복원 사례를 통하여 초해상도 복원 기술에 대해서 나타낸다.

#### 3.3.1 얼굴 영상 복원 예

얼굴 영상의 복원 예에서는 Lena와 Girl 영상을 가지고 그 과정을 설명한다. 이 때, 입력되는 저해상도 영상은 64x64 영상 4장이 사용되었으며, 그림 15(a)와 그림 16(a)은 IBP 복원 방법, 그림 15(b)와 그림 16(b)는 RS 초해상도 복원, 그림 15(c)와 그림 16(c)는 표준 PG 복원방법의 결과이다.



Fig. 14. 64×64 Low-resolution input image.



Fig. 15. 256×256 Super-resolution reconstruction image (a)IBP method (b)RS method (c)standard PG method (d)modified PG method.

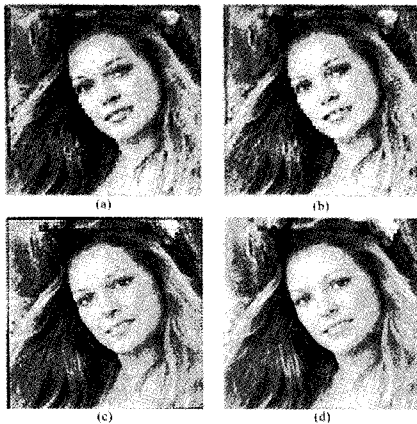


Fig. 16. 256×256 Super-resolution reconstruction image (a)IBP method (b)RS method. (c)standard PG method (d) modified PG method.

### 3.3.2 번호판 영상의 복원 예

그림 17은 2가지 형태의 자동차 번호판의 저해상도 영상이다. 입력된 다수의 저해상도 영상으로부터 그림 18과 19과 같이 초해상도 영상 복원을

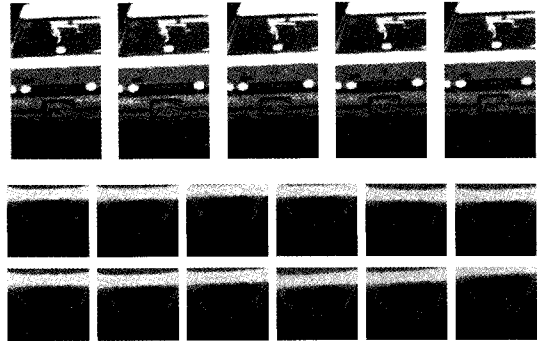


Fig. 17. Low-resolution input image.

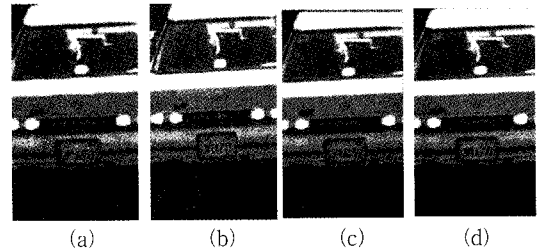


Fig. 18. Super-resolution reconstruction image (a)Interpolation (b)PG method (c)shift and add method (d)modified PG method.

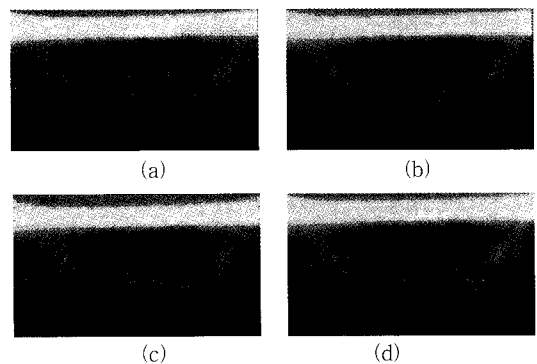


Fig. 19. Super-resolution reconstruction image (a)Interpolation (b)PG method (c)shift and add method (d)modified PG method.

수행한 결과 자동차 번호판 인식을 위한 가독성이 향상됨을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

초해상도 영상 복원 알고리즘을 이용하여 얼굴 인식 분야에서 중요한 전처리 방법 중 하나로 사용될 것으로 기대된다. 또한, 얼굴 인식 분야에서 이미 기술 안정화 단계에 들어선 다양한 알고리즘을 응용하면 원거리 비디오 감시 시스템에서 획득된 영상으로부터 얼굴 인식의 성능을 개선하는데 활용될 수 있다. 현재까지의 얼굴 인식 분야는 외부 환경적 요인에 의존적이고 잘 구성된 얼굴 데이터베이스에 속한 고해상도 얼굴 영상으로부터 만든 저해상도 영상을 사용하는 대단히 제약적인 상황 하에서만 적용되고 있으며 앞으로 효과적이고 본격적인 상용화가 가능한 알고리즘 개발을 위해서는 원거리 비디오 감시 시스템과 같은 실제 환경에서 획득한 저해상도 영상을 활용하여 검증하여야 한다.

#### 5. 요 약

본고에서는 비디오 감시 및 분석 시스템에서 화두가 되고 있는 저해상도 영상의 초해상도 복원 기술에 대해서 기술한다. CCTV 네트워크가 점차 확대 발전함에 따라, 지능형 영상 분석 엔진에 대한 수요와 함께 대규모 비디오 데이터의 분석을 위한 관련 도구에 대한 요구가 증대하고 있다. 특히, 초해상도 영상 복원 기술은 저해상도 영상의 분석을 가능하게 할 뿐만 아니라, 실시간 영상 획득 시스템에도 사용될 수 있는 기술로써 최근 많은 연구가 이루어지고 있는 분야이다. 본고에서는 초해상도 영상 복원 기술의 개념과 이의 활용 사례를 중심으로 관련 기술을 소개하고자 한다.

#### 참 고 문 헌

- [1] S. M. Park, M. K. Park, and M. G. Kang, "Super-Resolution Image Construction: A Technical Overview," IEEE signal processing magazine 2003.
- [2] B. Marcel, M. Briot, and R. Murrieta, "Calcul de translation et rotation par la transformation de Fourier," Traitement du Signal, Vol. 14, No. 2, pp. 135-149, 1997.
- [3] P. Vandewalle, S. E. Susstrunk, and M. Vetterli, "Doubleresolution from a set of aliased images," in Proceedings of SPIE/IS&T Electronic Imaging 2004: Sensors and Camera Systems for Scientific, Industrial, and Digital Photography Applications V, Vol. 5301 of Proceedings of SPIE, pp. 374-382, San Jose, Calif, USA, January 2004.
- [4] 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.
- [5] [http://lcavwww.epfl.ch/reproducible\\_research/VandwelleSV05/](http://lcavwww.epfl.ch/reproducible_research/VandwelleSV05/).
- [6] M. Irani and S. Peleg, "Improving resolution by image registration," CVGIP: Graphical Models and Image Processing, Vol. 53, No. 3, pp. 231-239, 1991.
- [7] 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.
- [8] Deepesh Jain, "Superresolution using Papoulis-Gerchberg Algorithm," EE392J - Digital Video Processing. Stanford University, Stanford, CA, jaindee@stanford.edu





정 윤 수

- 1993년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업
- 1995년 2월 경북대학교 전자공학과 석사
- 1999년 2월 경북대학교 전자공학과 박사
- 1999년 ~ 현재 한국전자통신연구원 책임연구원
- 관심분야: 컴퓨터비전, 영상신호처리



문 기 영

- 1986년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업
- 1989년 2월 경북대학교 전자공학과 석사
- 2006년 2월 충남대학교 컴퓨터공학과 박사
- 1994년 3월 ~ 현재 한국전자통신연구원 책임연구원
- 관심분야: 바이오인식, 비디오 서베일런스



원 철 호

- 1992년 2월: 경북대학교 전자공학과 졸업
- 1995년 2월: 경북대학교 전자공학과 석사
- 1998년 8월: 경북대학교 전자공학과 박사
- 1999년 11월 ~ 2002년 2월: Univ. of Iowa, Post. Doc. Research Fellow
- 2002년 3월 ~ 현재: 경일대학교 부교수
- 관심분야: 컴퓨터 비전, 영상신호처리



김 정 녀

- 1987년 전남대학교 전산통계학과 졸업
- 1996년 OSF/RI 공동연구 파견(미국)
- 2000년 충남대학교 컴퓨터공학과 석사
- 2004년 충남대학교 컴퓨터공학과 박사
- 2005년 Univ. of California, Irvine Post-Doc.
- 현재 한국전자통신연구원 휴먼인식기술연구팀장/책임연구원
- 관심분야: 시스템·네트워크보안, 보안 OS, 바이오인식등