

# 비디오 시퀀스로부터 고해상도 정지영상 복원을 위한 입력영상 선택 알고리즘

## An Improved Input Image Selection Algorithm for Super Resolution Still Image Reconstruction from Video Sequence

이 시 경\* · 조 효 문\* · 조 상 복\*

Si-Kyoung Lee\* · Hyo-Moon Cho\* · Sang-Bok Cho\*

### 요 약

본 논문에서는 SR(Super Resolution) 복원 과정에 있어 사용되는 입력 후보 영상 중 적합한 입력 영상을 자동 선택하는 알고리즘을 제안함으로써 복원된 고해상도 영상의 질을 개선하고자 한다. SR 복원과정에서 이상적인 결과 영상을 얻기 위해서는 입력되는 모든 영상이 유기적으로 잘 정합되어야 하지만, 실제로는 그렇지 못하다. 이런 이유로 입력 후보군 영상의 정합 적합성이 얼마나 높은가가 단순히 많은 입력 영상의 수보다 고품질의 고해상도 결과 영상을 얻는데 더욱 결정적이라 할 수 있다. 입력 영상의 적합성은 통계 특성 및 정합 특성을 이용하여 평가 가능하다. 그러므로 본 논문에서는 SR복원과정에 정합 적합성을 자동으로 평가하여 이에 따라 입력 영상을 결정하는 전처리 과정을 제안하고 구조화하였다. 또한 비디오 시퀀스의 모든 입력 영상은 SR복원과정의 기준 영상이나 저해상도 입력 영상과 같이 사용될 수 있으므로 본 논문에서는 연속적인 비디오 시퀀스를 위한 SR 복원알고리즘을 제안한다. 적합성의 유무는 임계값(Threshold Value)에 의해 결정되며, 이 임계값은 기준 영상과의 움직임 추정에서 그 보상 값의 오류 값 중 최대치(MMCE, Maximum Motion Compensation Error)로 결정된다. 만약 저해상도 입력 영상의 보상 오류 값의 범위가 0과 MMCE사이( $0 < MCE < MMCE$ ) 값이라면 그 범위 안의 입력 후보 영상은 SR 복원과정에 사용되며 범위 밖의 후보 영상은 제외 된다. 최적의 저해상도 기준(ORLR, Optimal Reference Low Resolution)영상은 선택된 저해상도 입력(SLRI, Selected LR Input)영상들과 각각의 저해상도 기준 입력(RLRI, Reference Low Resolution Input)영상들의 비교를 통해 결정된다. 본 논문에서는 이와 같은 과정에 의해 결정된 저해상도의 최적 기준영상과 선택영상을 'Hardie' 보간법을 사용하여 고해상도 영상을 만들어 내는 것으로 사용자의 조정이 없이도 SR복원영상의 질적 향상을 가져올 것이라 기대된다.

### Abstract

In this paper, we propose the input image selection-method to improve the reconstructed high-resolution (HR) image quality. To obtain ideal super-resolution (SR) reconstruction image, all input images are well-registered. However, the registration is not ideal in practice. Due to this reason, the selection of input images with low registration error (RE) is more important than the number of input images in order to obtain good quality of a HR image. The suitability of a candidate input image can be determined by using statistical and restricted registration properties. Therefore, we propose the proper candidate input Low Resolution(LR) image selection-method as a pre-processing for the SR reconstruction in automatic manner. In video sequences, all input images in specified region are allowed to use SR reconstruction as low-resolution input image and/or the reference image. The candidacy of an input LR image is decided by the threshold value and this threshold is calculated by using the maximum motion compensation error (MMCE) of the reference image. If the motion compensation error (MCE) of LR input image is in the range of  $0 < MCE < MMCE$  then this LR input image is selected for SR reconstruction, else then LR input image are neglected. The optimal reference LR (ORLR) image is decided by comparing the number of the selected LR input (SLRI) images with each reference LR input (RLRI) image. Finally, we generate a HR image by using optimal reference LR image and selected LR images and by using the Hardie's interpolation method. This proposed algorithm is expected to improve the quality of SR without any user intervention.

**Keywords** : High resolution, Motion compensation error, Super resolution, Low resolution

\* 울산대학교 전자공학과  
논문 번호 : 2007-4-19  
심사 완료 : 2008. 1. 21

접수 일자 : 2007. 9. 27

### 1. 서 론

다수의 저해상도 영상으로부터 고해상도 이미지를 산출

해내는 SR 알고리즘은 이미지의 질적 향상 연구 분야에서 가장 기대되는 알고리즘 중 하나이다. SR 알고리즘의 기본 개념은 제공된 다수의 저해상도 이미지로부터 기준 이미지를 결정하고 기준 이미지에 기초하여 다수의 저해상도 이미지를 융합함으로써 고해상도(HR) 영상으로 향상시켜 복원하는 것이다[1]. 이러한 SR 알고리즘은 주파수 영역으로의 접근방법과 공간 영역 접근방법을 이용하여 다양하게 제안되어 왔고 계속 해서 제안되고 있다. SR 알고리즘은 Tsai와 Huang에 의해 처음 제안되었으며, 그들은 공간상의 Aliasing 효과를 기초하여 다수의 다운 샘플 영상(LR Image)에서 질적으로 향상된 하나의 이미지를 얻어내는 방법으로 주파수 영역 접근법을 사용하였다.

보통 카메라와 영상 사이에는 경우에 따른 작고 큰 관계가 있으며, 만약 카메라 작동에 의해 영상이 어떤 영향을 받았다면 SR의 첫 번째 단계는 한 이미지에서 다음 이미지로의 동작선형(Motion Vector)을 추정하여 이미지를 정렬하고 그 값을 기록하는 것이다.

저해상도 영상 사이의 동작선형을 정확히 알고 기록하는 것은 SR복원 과정에서 매우 중요하다[2]. 이에 의해 기존의 많은 SR 복원 과정은 저해상도 입력 이미지들 사이의 상관도를 정확히 추정하기 위해 동작 선형과 카메라의 PSF (point spread function)를 정확히 설정 하려 했지만 현실에서의 외란에 의해 상관도가 거의 없어진 영상들 사이에서 동적 선형을 추정하고 정합하는 과정에서 오류가 발생(Registration error)하였으며 이상적인 결과를 얻지 못했다.

이러한 기존 알고리즘의 단점을 극복하기 위하여 정합에 기초한 SR 알고리즘이 최근 제안 되고 있으며, SR 복원 과정에서 정합오류를 고려하는 방식이다. [2], [4].

일반적으로 정합오차를 고려한 개선된 SR 알고리즘은 제한된 이미지를 사용함으로써 응용되어왔다. 그러나 비디오 시퀀스처럼 연속적으로 들어오는 입력 영상을 사용하여 사용자가 어느 특정 부분에서 정지 영상을 원할 경우 정지 영상을 만들기 위해 일정 구간의 모든 영상이 SR복원 과정의 입력 영상으로 사용됨으로 영상을 제한할 수 없어 고해상도의 정지영상을 제공하지 못하는 단점을 가지고 있었다.

이를 가능하게 하기 위해 본 논문에서는 자동으로 입력 영상을 평가 하여 선택, 제한하고 입력영상의 정합오류 문제를 해결하기 위한 선 단계로서의 개선된 선택 블록을 제안한다. 이 자동 입력영상 평가와 선택 블록은 모든 입력 영상들의 비교에 의해 결정된 기준영상들에 의해 동작되며, 마지막으로 통계적 확률을 이용하여 최적의 저해상도 기준 영상을 선택한다. 이런 모든 과정은 자동적으로 시행되고 어떤 이용자의 개입이나 계산상의 복잡함이 없이 빠른 고해상도 영상 복원을 달성한다.

본 논문에서 제안된 알고리즘은 하드웨어로 설계 되었으며, 섹션 2에서 저해상도 입력 영상과 저해상도 기준 입력 영상 선택의 중요성을 서술하고 섹션 3에서는 제안된 알고리즘과 설계를 소개하며 섹션 4에서는 실험결과를, 섹

션 5에서는 결론으로 구성되었다.

## II. 정합 오차가 SR 영상 복원에 미치는 영향

SR 복원은 기준영상의 정수 픽셀로부터 서브픽셀만큼 떨어진 저해상도 영상의 정보가 HR 영상격자 위에 올바르게 정합될 때 달성된다. 그러므로 이를 위한 움직임 추정과 움직임보정은 필수적이라 할 수 있다. 다음 그림1은 이를 설명한 것이다.

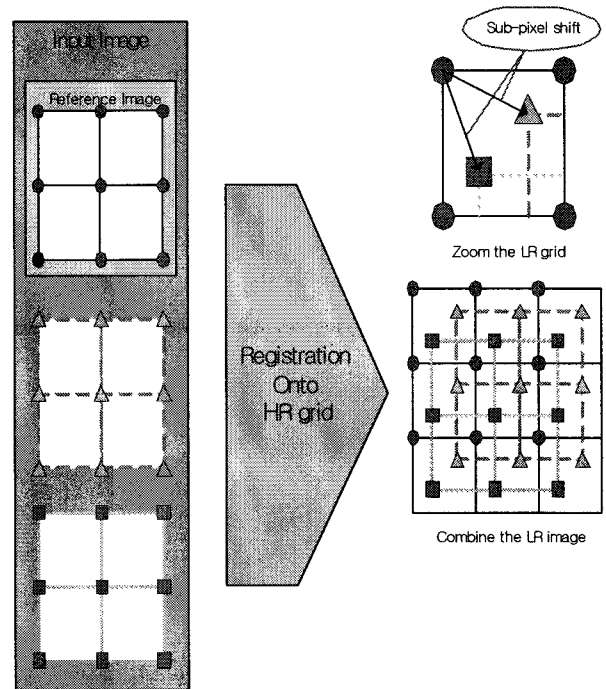


그림 1. Basic premise for SR.

Fig. 1. Basic premise for SR.

복원된 HR영상은 입력 영상의 서브픽셀 이동이 부정확하게 추정 되었을 때 왜곡되어 영상의 질을 떨어지게 하며, 이런 경우를 정합오차(RE) 노이즈라고 한다.

기존의 많은 SR 복원 접근알고리즘에서 RE 노이즈는 무시되거나 모든 저해상도 이미지를 정형화 하여 노이즈 또한 함께 고려 되어왔으며, RE를 고려한 최근의 알고리즘 또한 정합 모델과 탐색영역에 의해 제한되어 복원된 HR영상의 질이 감소하는 단점을 보인다.

그림2는 RE가 높은 입력 영상을 사용한 경우의 결과 영상으로 저 화질의 HR 복원 영상을 보여주며, 이를 통해 입력 영상들의 RE가 SR영상 복원과정에서 영상의 질에 얼마나 큰 영향을 주는지 알 수 있다.

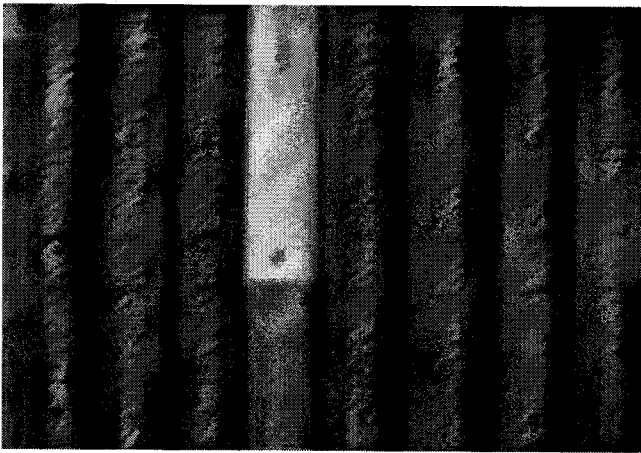


그림 2. 부적당한 ILR(Input Low Resolution)이미지 선택의 영향.

Fig. 2. Influence of unsuitable ILR(Input Low Resolution) image selection.

III. 제안된 알고리즘

본 논문에서는 비디오 시퀀스의 일정구간의 모든 영상을 입력 영상의 기준영상이 될 수 있는 후보 군으로 사용하였으며, 입력 되는 영상을 다섯 프레임으로 제한하였다. 프레임 제한의 이유는 많은 저해상도 이미지가 사용 될 경우 제안된 알고리즘의 성과 평가가 어렵고 SR복원 과정시간 또한 매우 길기 때문으로 중요한 이유를 가지는 것은 아니며, 그 수가 증가할 경우 영상의 질은 더욱 개선 될 것으로 판단된다.

본 논문에서는 저해상도 입력영상을 제한하였고 정합오차(RE)의 영향을 분석하였다.

적합한 저해상도 입력 영상을 선택하기 위해서 먼저 문턱 값이 설정 되어야 하고, 둘째로 저해상도 입력 영상과 기준 영상 사이의 SAD가 설정된 문턱 값인 최대 정합 오차(MMCE, Maximum Motion Compensation Error)보다 낮을 경우 입력 영상으로 선택되며, 그림3과 같은 알고리즘 흐름에 따라 선택된 저해상도 입력영상은 보다 낮은 RE 노이즈를 갖게 된다.

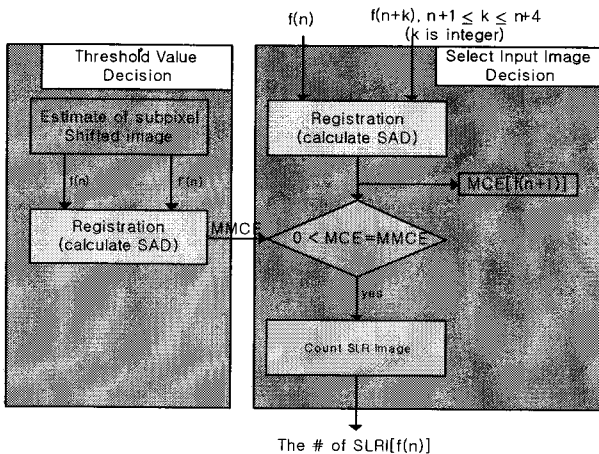


그림 3. The flowchart of SLRI selection method.  
Fig. 3. The flowchart of SLRI selection method.

SAD(절대 차의 합)연산은 정합오차 (MCE)에 이용되고, 문턱 값 (최대정합오차, MMCE)은 주어진 기준영상과 그 기준영상에서 추정된 부 화소 변위 영상과의 정합오차를 바탕으로 결정된다.

두 영상 간에 정확한 영상정합이 이루어진다고 하더라도 부 화소 변위의 영향으로 어느 정도의 정합오차는 발생한다. 만약 부 화소 변위가 미치는 정합 오차의 범위를 예측하여 문턱 값으로 활용한다면 입력 영상 중에서 결과에 있어 좋은 입력영상을 변별할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 기준영상에 대한 부 화소 변위를 가지는 추정 영상과 기준영상과의 정합오차의 최대 값을 구해서 임계 값 (MMCE)으로 사용한다.

하지만 일반적으로 실제비디오의 서브 픽셀 변환에 있어서의 정합 오차(RE)의 분포는 그림4에서 보는 것과 같이 (dx, dy)=(0.5, 0.5)서브 픽셀 이동 에서 최대 값을 갖게 됨으로 이때의 SAD값이 최대 정합 오차 값 즉 문턱 값이 된다고 할 수 있다.

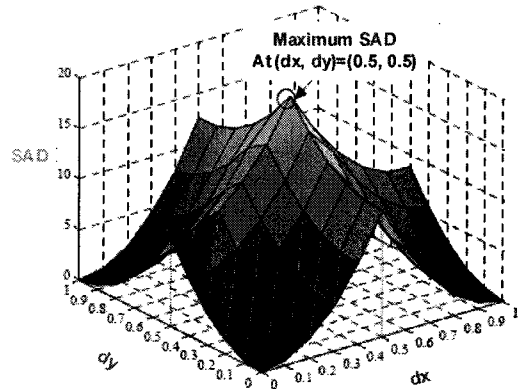


그림 4. 서브 픽셀 변환에 근거한 RE분포.

Fig. 4. Distribution of RE depending on sub-pixel shift.

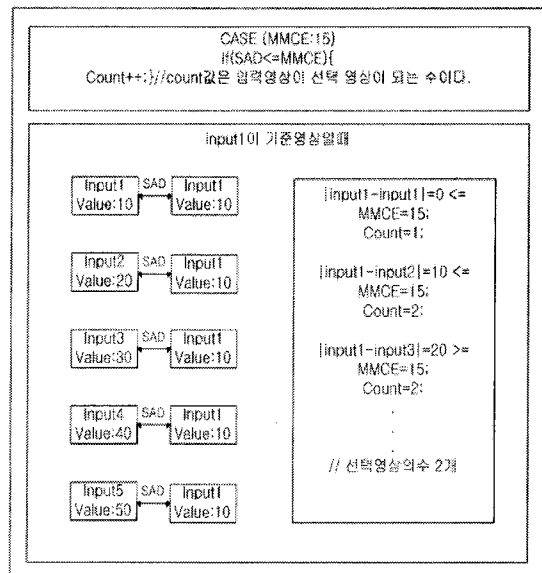


그림 5. 최적 기준 영상 선택 알고리즘.

Fig. 5. Optimal reference image selection Algorithm.

입력되는 5개의 영상 중 최적의 기준영상(ORLRI)을 결정하기 위하여 그림 5와 6 같이 각 입력 영상이 기준영상일 때 선택영상으로 결정되는 영상의 개수를 세어 가장 많은 수를 만드는 입력 영상이 최적의 기준영상(ORLRI, Optimal Reference LR Input)이 된다. 여기에서 입력 영상을 5장으로 제한한 것은 좀 더 정확한 데이터를 얻기 위하여 실험을 단순화 한 것으로 입력 영상의 수가 증가할 경우 결과 영상의 질 또한 향상 된다.

그림6은 최적의 기준 영상을 결정하기 위해 제안된 과정의 전체적인 flowchart이다.

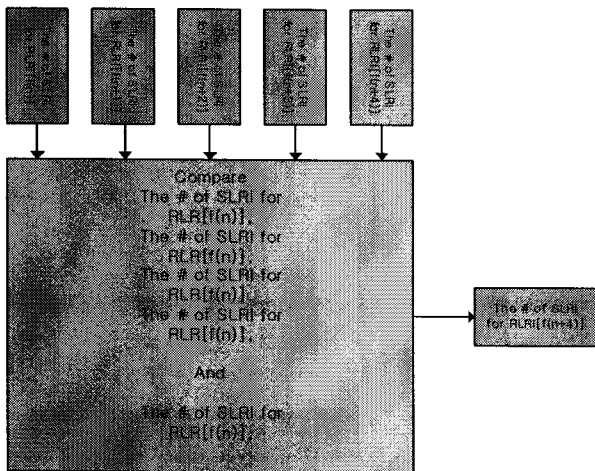


그림 6. ORLRI block flowchart.  
Fig. 6. ORLRI block flowchart.

본 논문의 알고리즘은 그림7과 같은 구조로 설계하였다.

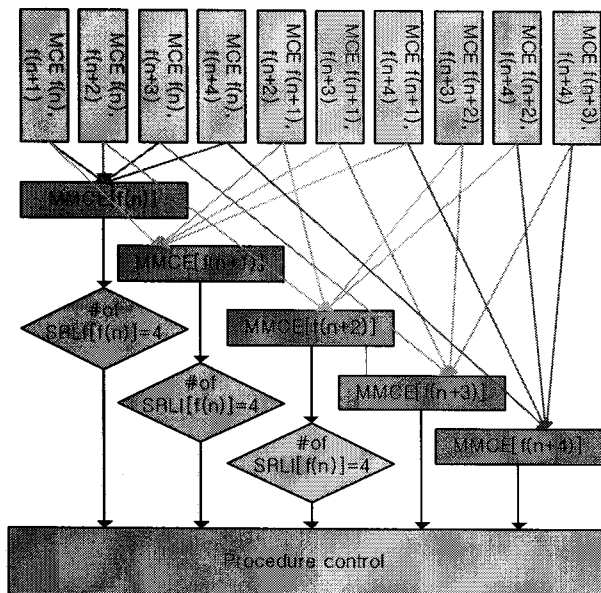


그림 7. 제안 알고리즘의 개선된 구조.  
Fig. 7. Advanced architecture of the proposed algorithm.

그림7에서 보여 지듯이 계산시간과 복잡성을 줄이기 위하여 중복된 SAD연산자는 제거 되었고, 하나의 기준 영상에 의해 선택된 낮은 해상도 입력 영상(SLRI)의 개수가 4개일 때 그 기준영상이 최적의 기준영상이 됨으로 영상 선택 과정을 멈추도록 하였다.

또한 이 과정에서 사용된 Partial distortion elimination (PDE) 알고리즘은 SAD연산을 줄이는데 이용된다.

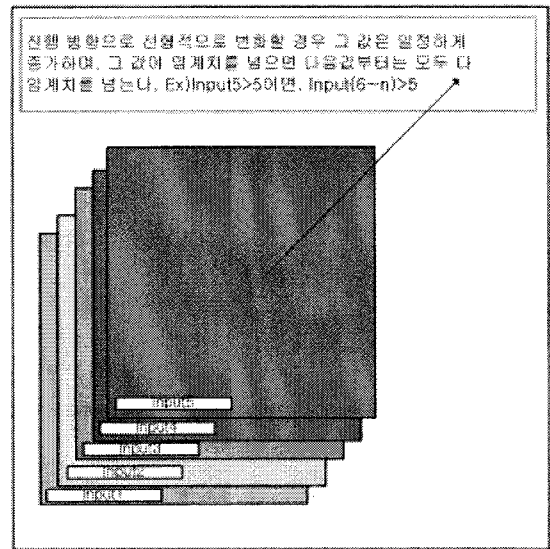


그림 8. ORLRI block flowchart.  
Fig. 8. ORLRI block flowchart.

PDE의 기본 개념은 그림 8 과 같이 비디오 시퀀스 같은 선형적인 입력에서 순서에 의해 SAD값을 계산할 때 어느 시점에 충분히 큰 SAD값이 나올 경우 그 다음 순서의 SAD값은 더욱 큰 값을 갖게 됨으로 계산을 중지하는 방법으로 필요하지 않은 연산을 줄이게 되어 매우 효과적이다.

#### IV. 실험 결과

우리는 실험을 위하여 PC 카메라의 비디오 시퀀스를 사용하였다. 그 카메라의 기능은 다음과 같다.

- CMOS image sensor with 1.3M pixel
- Maximum resolution 1280\*960 최대해상도
- 24bit true color video mode
- 640 \* 480@30fps
- USB 2.0 interface

본 논문에서는 탐색영역을 ±16픽셀로 제한하고 '하디' 보간법을 사용하였으며, 정확한 결과를 위해 20번 실험을 반복 시행 하였다.

실험을 위해 연속으로 샘플의 사진을 찍고 획득한 512\*512크기의 원 HR영상을 128\*128영상으로 다운 샘플링 하여 LR이미지로 이용하였다.(그림 9)

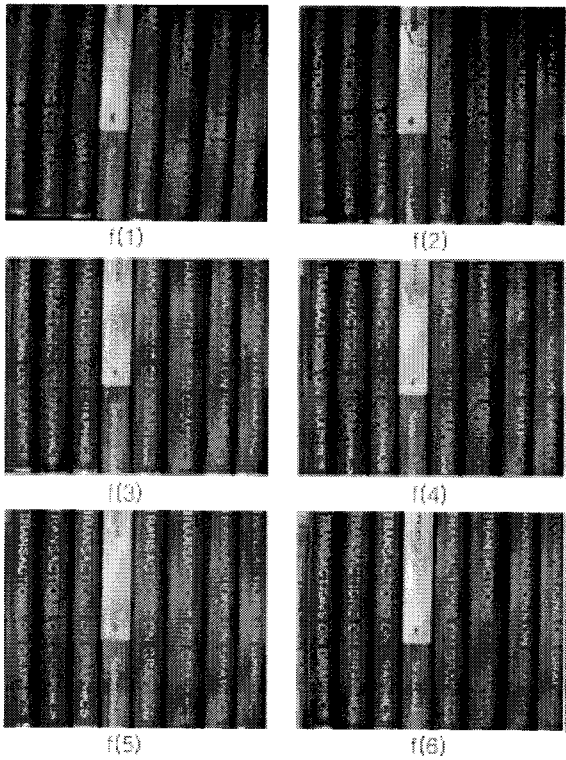


그림 9. 실험에 이용된 샘플이미지.

Fig. 9. The sample imaged which used to experiment.

f(3)는 제안한 알고리즘 과정에 의해 최적 기준영상으로 선택되었고 3개의 SLRI 이미지를 갖고 있으며 다른 경우에는 두개나 그 이하의 SLRI 이미지를 갖고 있다.

다음의 표와 그림들은 제안한 알고리즘의 결과 영상과 기존의 복원 이미지를 비교한 것이다. 그림10은 제안된 SR 복원 알고리즘을 사용한 결과 영상이다.

표 1. 각 알고리즘에 대한 PSNR .

Table 1. PSNR with each Algorithm.

|                              | 평균<br>PSNR<br>(dB) | R성분<br>PSNR<br>(dB) | G성분<br>PSNR<br>(dB) | B성분<br>PSNR<br>(dB) |
|------------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| (dx, dy)= 0.5, 0.5 <br>픽셀 이동 | 22.69              | 22.59               | 22.88               | 22.59               |
| 쌍일차식 보간법을<br>이용한 영상복원        | 25.03              | 24.68               | 25.38               | 25.04               |
| 랜덤 열화 이미지의<br>SR 영상복원        | 27.22              | 26.83               | 27.56               | 27.25               |
| 본 논문에서 제안한<br>SR 영상복원        | 30.03              | 30.25               | 29.97               | 29.88               |

그림10~12에서 보여 지듯이 본 논문에서 제안된 알고리즘의 결과 영상인 그림12가 가장 좋은 화질을 보인다.



그림 10. 본 논문에서 제안된 알고리즘의 결과영상.

Fig. 10. Experimental result image.

그림11은 기존의 SR 복원 알고리즘을 이용한 결과영상이고 그림12는 쌍일차식 보간법의 결과영상이다.



그림 11. 일반적인 SR알고리즘을 이용한 결과영상.

Fig. 11. Result image with conventional SR reconstruction method.

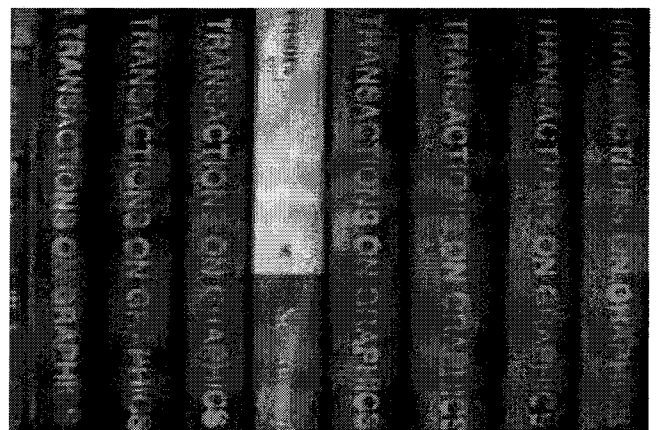


그림 12. 쌍일차식 보간법을 이용한 결과영상.

Fig. 12. Result image with bilinear interpolation method.

**V. 결론**

본 논문에서는 알맞은 입력영상과 활용될 기준영상을 자동으로 선택하는 개선된 SR알고리즘을 제안, 설계하고 이를 소개했다. 본 논문의 알고리즘과 전통적인 SR 알고리즘 및 쌍일차식 보간법을 이용한 알고리즘을 비교한 결과, 본 논문의 알고리즘이 가장 좋은 화질을 보임을 알 수 있었다. 설계 과정에서 최대 입력프레임 수를 다섯으로 제한한 것은 단지 알고리즘을 빠르고 쉽게 평가하기 위해서이며, 만약 최대 입력 수를 증가 시키면 지금보다 영상의 질이 좋아질 것이라 예측 된다.

또한 이 알고리즘은 동영상의 감시시스템으로 응용될 수 있다.

**참고 문헌**

[1] S.C. Park, M.K. Park and M.G. Kang, "Super-resolution image reconstruction: a technical overview," *IEEE Signal Processing magazine*, pp. 21-36, May 2003.

[2] E.S. Lee and M. G. Kang, "Regularized adaptive high-resolution image reconstruction considering inaccurate subpixel registration," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 12, pp. 826-837, July 2003.

[3] Y. Altunbasak, A.J. Patti, and R.M. Mersereau, "Super-resolution still and video reconstruction from MPEG-coded video," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, Vol. 12, pp. 217-226, April 2002.

[4] S. Baker and T. Kanade, "Limits on super-resolution and how to break them," *IEEE Trans. Pattern Analysis Machine Intelligence*, vol. 24, pp. 1167-1183, Sept. 2002.

[5] R.C. Hardie, K.J. Barnard, and E.E. Armstrong, "Joint MAP registration and high-resolution image estimation using a sequence of undersampled image," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 6, pp. 1621-1633, Dec. 1997.

[6] R.R. Schultz and R.L. Stevenson, "Extraction of high-resolution frames from video sequences," *IEEE Trans. vol. 5*, pp. 996-1011, June 1996. 21-36, May 2003.



**이 시 경(Si-Kyoung Lee)**

2006년 울산대학교 전기전자공학부  
학사 졸업.  
2006년 울산대학교 전기전자공학부 석사  
과정 입학.

※주 관심분야 : 영상 복원 및 처리, SoC 설계



**조 효 문(Hyo-Moon Cho)**

1990년 울산대학교 전자공학과졸업.  
공 학사.  
1992년 울산대학교 대학원 전자공학과  
공학석사 졸업.  
2006년 울산대학교 대학원.  
전기전자공학부 박사과정.

※주 관심분야 : CMOS VLSI 및 SoC 설계, 영상 압축  
및 처리



**조 상 복(Sang-Bok Cho)**

1979년 한양대학교 전자공학과 학사 졸업.  
1981년 한양대학교 전자공학과 석사 졸업.  
1985년 한양대학교 전자공학과 박사 졸업.

1994년~1995년 Univ. of Texas, Austin 교환교수  
2003년~2004년 Univ. of California, San Diego  
교환교수  
2000년~2001년 울산대학교 자동차 전자 연구 센터 장  
2006년~ 현재 울산대학교 e-Vehicle연구 인력양성  
사업단장 (2단계 BK21 정보 기술 사업단)

※주 관심분야 : SoC/VLSI 설계 및 테스트, 자동차 전장  
시스템 설계, 영상처리 회로 설계 및 제  
작, 머신비전 시스템 개발, 초고집적 메  
모리 설계