

논문 2006-43SP-2-2

저해상도 동영상에서의 자동화된 입력영상 선별을 이용한 고해상도 영상 복원 방법

(A High-Resolution Image Reconstruction Method Utilizing Automatic Input Image Selection from Low-Resolution Video)

김 성 득*

(Sung Deuk Kim)

요 약

이 논문은 저해상도 동영상에서 자동화된 방식으로 한 장의 좋은 화질의 고해상도 영상을 얻는 방안을 제시한다. 여러 장의 저해상도 영상을 이용하여 고해상도 영상을 얻는 방법이 한 장의 저해상도 영상만을 이용하는 전통적인 보간 방법에 비해 좋은 결과를 보이기 위해서는 입력 영상들이 공통된 고해상도 격자에 잘 정합되어야 하므로, 정합오차를 충분히 고려하여 입력 영상들을 주의 깊게 선택한다. 본 논문에서는 움직임 보상된 저해상도 영상들로부터 얻어진 통계적 특성을 활용하여 입력 영상 후보들의 입력 영상으로서의 적합성을 평가한다. 고해상도 영상획득모델로부터 움직임 보상오차의 최대값을 추정한다. 입력 영상 후보의 움직임 보상오차가 추정된 움직임 보상오차의 최대값보다 크면 입력 영상후보는 선정에서 제외된다. 선정된 적절한 유효 입력 영상 후보의 수와 움직임 보상오차의 통계치를 고려하여 최종 입력 영상들을 선별한다. 입력 영상 선별부에서 최종적으로 선별된 입력 영상들은 뒤 따르는 고해상도 영상복원부로 입력된다. 제안된 방식은 사용자의 간섭없이 저해상도 동영상에서 효과적으로 입력 영상들을 선별하여 좋은 화질의 고해상도 영상을 얻는 용용에 사용될 것으로 기대된다.

Abstract

This paper presents a method to extract a good high-resolution image from a low-resolution video in an automatic manner. Since a high-resolution image reconstruction method utilizing several low-resolution input images works better than a conventional interpolation method utilizing single low-resolution input image only if the input images are well registered onto a common high-resolution grid, low-resolution input images should be carefully chosen so that the registration errors can be carefully considered. In this paper, the statistics obtained from the motion-compensated low-resolution images are utilized to evaluate the feasibility of the input image candidates. Maximum motion-compensation error is estimated from the high-resolution image observation model. If the motion-compensation error of the input image candidate is greater than the estimated maximum motion-compensation error, the input image candidate is discarded. The number of good input image candidates and the statistics of the motion-compensation errors are used to choose final input images. The final input images chosen from the input image selection block are given to the following high-resolution image reconstruction block. It is expected that the proposed method is utilized to extract a good high-resolution image efficiently from a low-resolution video without any user intervention.

Keywords : High-resolution, super-resolution, reconstruction, interpolation

I. 서 론

* 정희원, 안동대학교 정보전자공학과
(Dept. of IT & Electronics Education, Andong
National University)
※ 이 논문은 2003학년도 안동대학교 학술연구조성비
에 의하여 연구되었음
접수일자: 2005년9월20일, 수정완료일: 2006년2월6일

한 장의 저해상도 영상에서 한 장의 고해상도 영상을 얻는 영상 보간 기술 (interpolation method)은 오랜 시간을 걸쳐 연구되어 왔다. 최근에는 여러 장의 저해상

도 영상들로부터 한 장의 고해상도 영상을 얻는 슈퍼레졸루션 (super-resolution : SR) 이라고 불리는 기술이 영상의 해상도를 높이는 새로운 기술로 많은 관심을 받고 있다. 슈퍼레졸루션의 기본적인 틀은 주어진 저해상도 영상들에서 기준 영상을 정의하고 기준 영상에 바탕을 둔 고해상도 격자에 각각의 저해상도 영상들을 정합하여 고해상도 격자에 대응되는 원하는 고해상도 영상을 구하는데 있다. 상호 연관성이 있는 여러 입력 영상들을 이용하거나 저해상도 동영상을 이용하여 향상된 해상도의 영상을 얻을 수 있는 슈퍼레졸루션 기법은 그동안 주파수 영역 혹은 공간영역에서 다양한 방법들이 이론적으로 검증되고 적용되어왔다^[1-5].

그림 1에 보듯이 전통적인 영상 보간 기법과 슈퍼레졸루션의 가장 큰 차이점은 영상의 해상도 증대를 위해 사용되는 입력영상의 수에 있다. 이상적인 슈퍼레졸루션을 위해서는 사용되는 여러 입력 영상 간에 이상적인 정합이 이루어지고, 카메라의 point spread function (PSF)를 정확하게 예측할 수 있어야 하지만, 영상 정합 과정이나 PSF의 추정이 반드시 이상적이지는 않다. 이러한 슈퍼레졸루션의 한계사항을 극복하기 위해 인식기반의 슈퍼레졸루션 기법이 시도되기도 하고, 영상 정합 시 발생할 수 있는 정합오차를 슈퍼레졸루션 과정안에서 고려하는 다양한 방법들이 시도되고 있다^[6,7].

일반적으로 정합오류를 고려하는 개선된 슈퍼레졸루션에 관한 연구는 제한된 입력영상을 가정하고 적용되어 왔다. 하지만, 저해상도 동영상에서 원하는 한 장의 고해상도 영상을 얻는 응용에서는 특정한 동영상구간에서 임의의 영상들을 슈퍼레졸루션의 입력영상으로 사용할 수 있다.

본 논문에서는 전처리단계로서 자동화된 입력영상 선택부를 설계하여 정합오류로 인해 발생할 수 있는 슈퍼레졸루션의 문제점을 개선하고자 한다. 주어진 슈퍼레졸루션의 제한된 정합능력을 고려하여 자동화된 방식으로 가장 유리한 입력 영상을 선택함으로써 사용자의 간섭 없이 주어진 저해상도 동영상에서 원하는 고해상도 영상을 얻어내는 방안을 제안한다. 먼저 슈퍼레졸루션의 정합 모델이 제한된 탐색범위를 가지는 수평 이동모델로 가정할 때 부적절한 입력 영상의 선택이 발생시키는 문제점에 대해 지적한 후, 제한된 정합능력을 고려한 적절한 입력영상의 자동선별 방식을 제안한다.

저해상도 동영상내의 모든 영상이 슈퍼레졸루션을 위한 기준 영상 후보가 될 수 있다고 가정한 후, 기준 영상 후보에 대한 인접 영상의 입력 영상으로서의 적합성을 결정하기 위해 움직임 보상된 저해상도 영상들간의 통계적 특성을 활용한다. 고해상도 영상획득모델로부터 유도된 예측된 움직임 보상오차의 최대값보다 움직임 보상오차가 큰 인접영상은 입력 영상 선정에서 제외된다. 선정된 인접 영상의 수와 정합 오류의 통계적 특성을 고려하여 기준 영상을 결정하고, 기준 영상과 함께 사용될 최적의 입력 영상들이 결정된다. 입력영상 선별과정은 고해상도 영상을 얻기 위한 전처리 과정으로서, 선별된 저해상도 입력영상으로부터 고해상도 영상을 얻는 기능 모듈이 종속적으로 뒤 따른다.

모의 실험을 통해 많은 입력 영상의 수보다는 제대로 정합될 수 있는 영상의 수가 슈퍼레졸루션에서 더 중요한 의미를 가지는 것을 확인하고, 사용자의 섬세한 입력 영상 선별과정이 없이도 제안된 입력영상 선별방식에 의해 선별된 입력영상을 사용하는 슈퍼레졸루션이 안정적인 결과를 나타낸다. 제안된 방식은 실생활에서 많이 사용되는 저렴한 동영상 촬영장치에서 촬영된 동영상에 슈퍼레졸루션을 적용하기 위한 중요한 전처리 과정으로서의 역할을 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 입력영상 선택이 가지는 의미를 자세히 살펴보고, III에서 자동화된 입력 영상 선택 방안을 제안한다. IV장에서는 모의 실험을 통해 제안된 방식의 효능을 보이며, V장에서

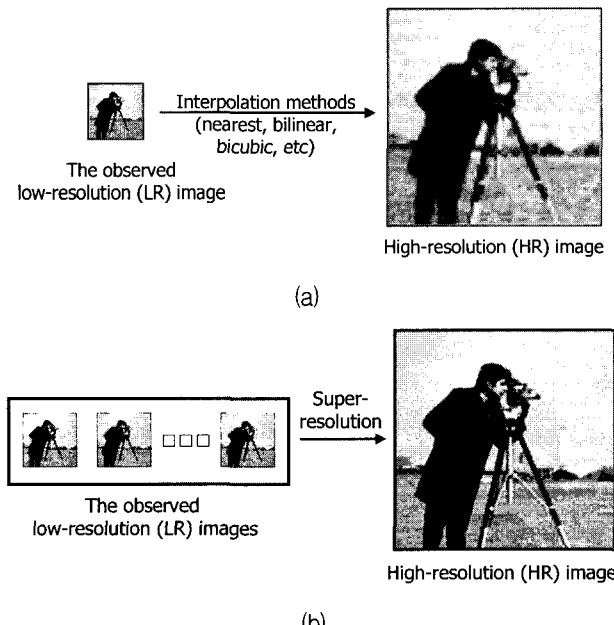


그림 1. 보간기법과 슈퍼레졸루션의 비교 (a) 보간기법
(b) 슈퍼레졸루션

Fig. 1. Comparison of (a) the interpolation method and (b) the super-resolution.

결론을 맺는다.

II. 입력영상 선택의 의미

슈퍼레졸루션은 그림 2와 같이 저해상도의 영상들이 고해상도 격자로 정합되었을 때 다양한 부하소 변위만큼 떨어진 상태로 위치한다는 가정에서 출발한다. 이 가정을 이용하는 슈퍼레졸루션의 내부에는 이러한 변위를 찾기 위한 영상 정합과정 또는 움직임 보상과정이 필수적으로 존재하게 된다.

슈퍼레졸루션은 이상적인 정합이 이루어질 때 가장 이상적인 결과를 나타내지만, 이상적인 정합은 대부분의 경우 정합모델 혹은 제한된 탐색 범위 등과 같은 다양한 요인으로 인해 제한을 받게 되는 것이 사실이다. 이러한 정합오류는 슈퍼레졸루션의 기본 가정을 해치는 것이므로 결국 슈퍼레졸루션의 결과 영상에 나쁜 영향

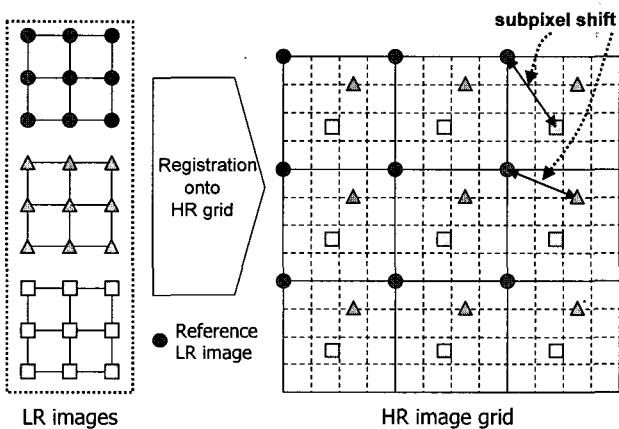


그림 2. 슈퍼레졸루션의 기본 가정

Fig. 2. Basic assumptions of the super-resolution.

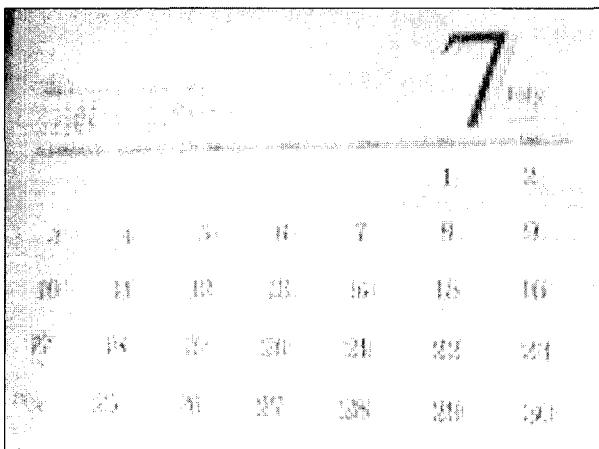


그림 3. 부적절한 입력 영상 선택의 영향

Fig. 3. Influence of unsuitable input image selection.

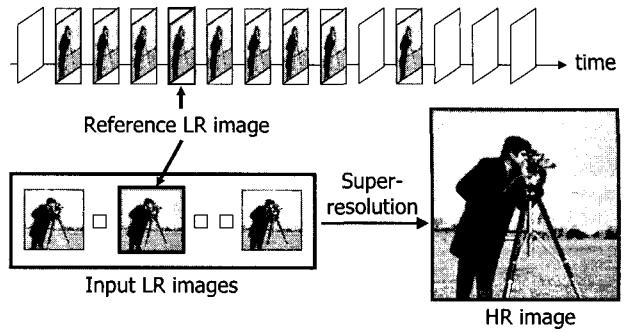


그림 4. 저해상도 동영상에서의 슈퍼레졸루션 입력선택
Fig. 4. Input image selection of the super-resolution for low-resolution video.

을 미치게 된다. 그림 3은 제대로 정합되지 못한 입력 영상이 사용되었을 때 나타나는 슈퍼레졸루션의 문제점을 보여준다. 즉, 슈퍼레졸루션이 원하는 결과를 나타내기 위해서는 많은 입력 영상의 수보다는 제대로 정합될 수 있는 영상의 수가 더 중요한 의미를 가진다.

따라서 본 논문에서는 슈퍼레졸루션에 존재하는 정합기능의 한계를 인정하고, 그러한 한계가 있는 상황에서 그림 4와 같이 입력 영상을 선별하여 최대한 슈퍼레졸루션의 출력영상의 화질을 극대화하기 위한 자동화된 입력영상 선별방안을 제안한다.

III. 제안하는 자동화된 입력 영상 선택 방안

1. 개괄

그림 5에서 보는 것처럼 주어진 저해상도 동영상에서 모든 영상은 슈퍼레졸루션을 위한 기준 영상 후보 (reference image candidate: RIC)가 될 수 있다. 그리고 RIC 양측으로 M개의 영상은 해당 RIC에 대한 입력 영상 후보 (input image candidate: IIC)가 된다.

제안하는 알고리즘의 기본 개념은 IIC중에서 실제 입력으로 사용되기에 적합한 유효 입력 영상 후보 (good

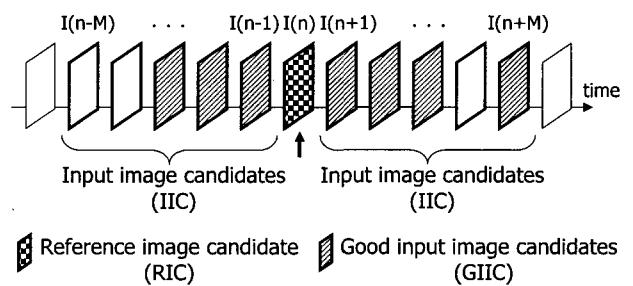


그림 5. 기준 영상 후보와 적절한 입력 영상 후보들

Fig. 5. Reference image candidates (RIC) and good input image candidates (GIIC).

input image candidate: GIIC)를 선별하는데 있다. GIIC의 선별은 RIC와 IIC와의 정합오차의 통계적 특성을 바탕으로 이루어진다. 슈퍼레졸루션을 위한 기준영상 선정은 선별된 GIIC의 수와 정합 오차의 분포특성을 고려하여 결정된다. 여기서 선정된 기준 영상과 함께 대응되는 GIIC가 슈퍼레졸루션의 입력영상들로 사용된다.

2. GIIC의 선별

그림 6은 정수단위의 정합을 사용하여 IIC중에서 GIIC를 선별하는 과정을 보여준다. 먼저, 주어진 RIC와 IIC를 각각 정합하여 정합오차를 구한다. 구해진 정합오차와 RIC로부터 유도된 임계치를 비교하여 GIIC여부를 결정한다. 주어진 RIC에 대해서 정합오차가 임계치보다 작은 영상은 슈퍼레졸루션의 입력으로 사용될 수 있는 GIIC로 등록한다.

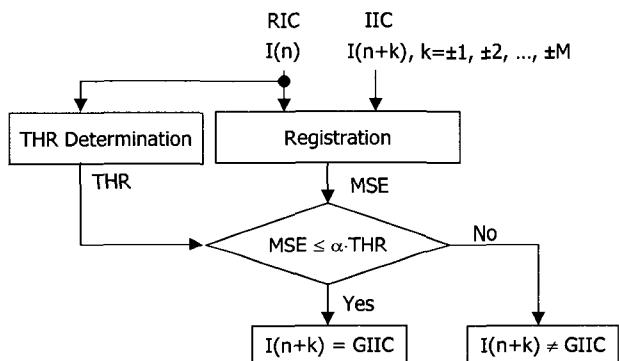


그림 6. GIIC 선별 방법

Fig. 6. GIIC selection method.

3. GIIC의 선별을 위한 임계치 결정방안

그림 7은 GIIC선별을 위한 임계치를 결정하는 블록이다. 이 임계치는 주어진 RIC와 IIC에서 추정된 부화소 변위 영상과의 정합오차를 바탕으로 결정된다. 두 영상간에 정확한 영상정합이 이루어진다고 하더라도 부화소 변위의 영향으로 어느 정도의 정합 오차는 발생한다. 만약 부화소 변위가 미치는 정합 오차의 범위를 예측하여 임계치로 활용한다면 IIC중에서 의미있는 입력영상을 변별할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 기준영상에 대한 부화소변위를 가지는 추정 영상과 기준영상과의 정합오차의 최대값을 구해서 임계치로 사용한다. 임계치보다 작은 정합오차를 가지는 IIC영상은 부화소변위로 인한 정합오차의 범주안에 있다고 보고 GIIC로 분류한다. 부화소 변위를 가지는 영상을 추정하기 위해 본 논문에서는 그림 8과 같은 양선형 보간 모델을 이용

하였다.

그림 9는 부화소 변위에 따른 정합 오차를 그래프로 나타낸 것이다. 부화소 변위에 따른 정합오차의 최대값을 구하기 위해 모든 부화소 변위들에 대한 정합오차를 비교할 수도 있으나, 일반적인 영상에서는 그림 9에서

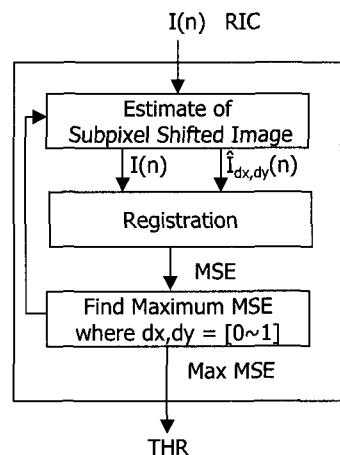


그림 7. THR determination 내부구조

Fig. 7. The THR determination block.

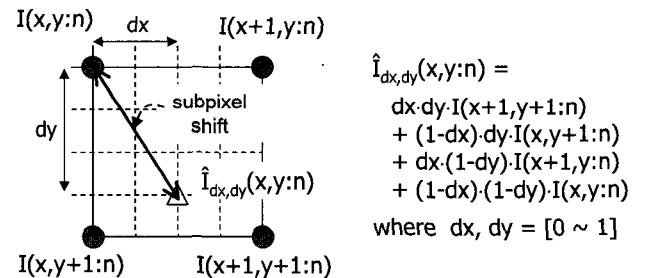


그림 8. 부화소 변위 영상의 추정

Fig. 8. Estimation of subpixel shifted image.

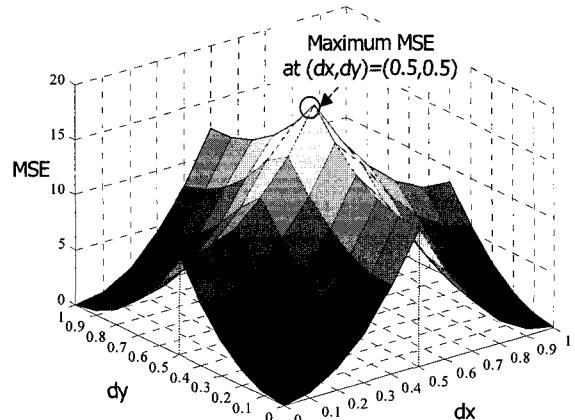


그림 9. 부화소 변위에 따른 정합오류 (MSE)의 분포

Fig. 9. Distribution of registration error (MSE) depending on subpixel shift.

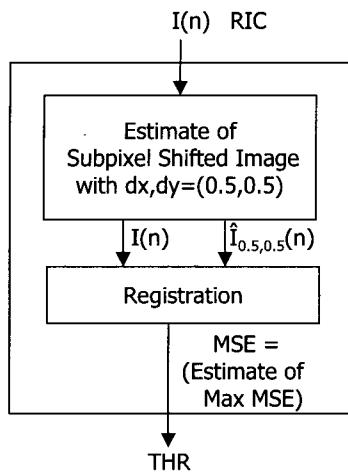


그림 10. 개선된 THR determination 내부구조
Fig. 10. The improved THR determination block.

와 같이 부화소 변위가 각 축의 절반 위치가 되는 곳에서 최대값을 가지므로 그림 10과 같이 간략하게 정합오차의 최대값을 예측할 수 있다.

4. 최종 입력 영상의 선택

슈퍼레졸루션을 위한 기준영상을 저해상도 동영상의 각 영상을 RIC로 가정했을 때 가장 많은 GIIC를 가진 RIC를 슈퍼레졸루션을 위한 입력 영상의 기준영상으로 정한다. 동일한 수의 GIIC를 가지는 경우에는 GIIC와 RIC와의 정합오차의 분산이 가장 큰 경우에 우선권을 준다. 이는 그림 2와 같이 부화소 변위는 가능한 다양하게 분포하는 것이 유리하다는 점에 착안한 것이다.

RIC중 가장 많은 GIIC를 가지는 영상을 입력 영상의 기준 영상으로 정하게 되면 기준 영상과 함께 대응되는 GIIC가 슈퍼레졸루션의 입력으로 사용된다.

IV. 모의실험

실생활에서 많이 사용되는 동영상 촬영장치로 동영상을 획득하여 실험에 사용하였다. Calendar.avi는 Logitech사의 PC 캠코더로 획득된 동영상으로 160×120 의 영상크기를 가진다. Wedding.avi는 Canon사의 디지털 카메라에서 제공하는 동영상 촬영기능으로 획득된 동영상으로 640×480 의 영상크기를 가진다. 본 실험에서는 160×120 의 calendar.avi에서 640×480 의 고해상도 영상을 획득하였고, 640×480 의 wedding.avi에서 2560×1920 의 고해상도 영상을 획득하였다. IIC의 범위를 결정하는 M은 ± 8 을 사용하였고, α 는 1.0을 사용하였다.

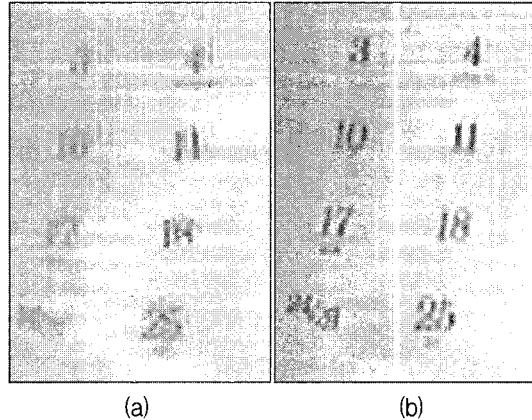


그림 11. Calendar.avi에서 얻어낸 결과 영상 (a) 부적절한 입력영상선별 (b) 적절한 입력영상선별

Fig. 11. Result image obtained from calendar.avi with (a) inappropriate input image selection and (b) good input image selection.

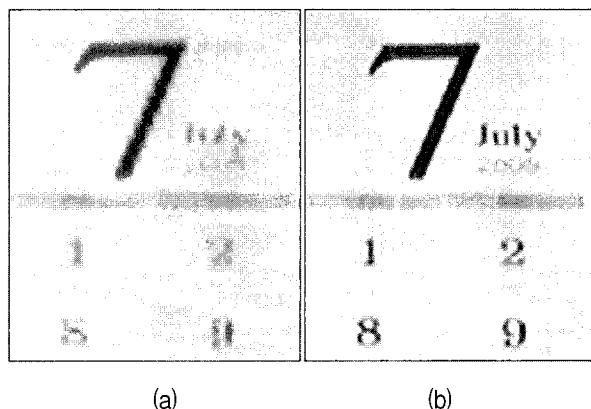


그림 12. Calendar.avi에서 얻어낸 결과 영상 (a) 선형보간 (b) 제안된 자동화된 입력영상선별을 이용한 슈퍼레졸루션

Fig. 12. Result image obtained from calendar.avi (a) with bilinear interpolation method and (b) the super-resolution using the proposed automatic input image selection.

실험에서는 Hardie의 슈퍼레졸루션 알고리즘을 바탕으로 탐색영역이 ± 16 로 제한된 수평이동 정합모델이 사용되었고, 20번의 iteration후에 결과를 얻었다^[4].

그림 11은 부적절한 입력 영상의 선별이 나타내는 결과를 보여준다. 정합오류를 고려하여 입력영상을 선별하지 않고, 정합오류가 미치는 영향에 대한 고려없이 슈퍼레졸루션을 수행했을 경우 슈퍼레졸루션의 결과 영상에 직접적인 영향을 주는 것을 알 수 있다.

그림 12에서는 선형보간에 의한 결과와 제안된 입력영상 선택을 이용한 슈퍼레졸루션에 의한 결과를 비교하였다. 슈퍼레졸루션의 가정에 충실한 입력영상들을



(a) (b)

그림 13. Wedding.avi의 45번째 영상을 기준영상으로 얻어낸 확대 영상 (a) 입력영상들에 대한 선별과정이 없는 슈퍼레졸루션 (b) 제안된 자동화된 입력영상선별을 이용한 슈퍼레졸루션

Fig. 13. Result image obtained from wedding.avi after assigning the 45th image as the reference image (a) without input image selection and (b) with the proposed automatic input image selection.

동화된 방식으로 선별함으로써 사용자의 주관에 의한 섬세한 입력영상의 선별 없이도 제안된 방식의 결과가 선형보간에 의한 결과보다 안정적으로 좋은 결과를 보임을 알 수 있다.

그림 13은 GIIC선별의 영향을 관측하기 위하여 특정 영상을 기준영상으로 정의해 주었다고 가정했을 때 GIIC만을 입력으로 사용했을 경우와 IIC를 모두 입력으로 사용했을 경우의 결과를 비교한다. Wedding.avi의 45번째 영상을 기준영상으로 할 경우 IIC는 총 16영상 이지만, GIIC는 총 5영상뿐이다. 그림 13에서 보듯이 많은 입력영상을 사용되는 것이 슈퍼레졸루션의 화질을 증가시키는 것이 아니라 슈퍼레졸루션이 가정하고 있는 정합모델에 부합하는 선별된 영상들이 입력영상으로 사용될 때 출력되는 영상의 화질이 더 우수한 것을 알 수 있다. 따라서, 제안된 자동화된 입력영상선별을 가지는 슈퍼레졸루션 기법은 슈퍼레졸루션의 실제 응용에 있어서 중요한 도구로서의 의미를 가질 것으로 기대된다.

V. 결 론

저해상도 동영상에서 자동화된 방식으로 입력영상을 선택하여 슈퍼레졸루션을 수행하고 한 장의 고해상도 영상을 얻는 방식을 제안하였다. 사용자의 섬세한 입력영상 선별과정이 없이도 제안된 입력영상 선별방식에

의해 고해상도 획득기법에서는 슈퍼레졸루션이 가정하고 있는 정합모델에 충실한 입력영상만을 선별함으로써 출력되는 고해상도 영상이 더욱 섬세한 것을 알 수 있다. 제안된 방식은 실생활에서 많이 사용되는 저렴한 동영상 촬영장치에서 촬영된 동영상에 슈퍼레졸루션을 구현하고 실제 응용하기 위해 필요한 중요한 전처리 과정으로서의 역할을 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [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] S. Borman and R. L. Stevenson, "Super-resolution from image sequences - a review," *Proc. Midwest Symposium Circuits Syst.*, pp. 374-378, Aug. 1998.
- [3] R. R. Schultz and R. L. Stevenson, "Extraction of high-resolution frames from video sequences," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 5, pp. 996-1011, June 1996.
- [4] R. C. Hardie, K. J. Barnard, and E. E. Armstrong, "Joint MAP registration and high-resolution image estimation using a sequence of undersampled images," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 6, pp. 1621-1633, Dec. 1997.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.

저자소개

김 성 득(정회원)

1994년 경북대학교 전자공학과

학사 졸업

1996년 한국과학기술원 전기 및

전자공학과 석사 졸업

2000년 한국과학기술원 전기 및

전자공학과 박사 졸업

2000년~2003년 LG전자 차세대 단말 연구소

2003년~현재 안동대학교 정보전자공학교육과

조교수

<주관심분야 : 영상신호처리, 영상시스템>

