일반논문-11-16-4-10

불규칙한 샘플 영상에 대한 POCS 기반 보간법

이 중 화^{a)}, 이 철 희^{a)*}

POCS Based Interpolation Method for Irregularly Sampled Image

Jonghwa Lee^{a)} and Chulhee Lee^{a)*}

요 약

본 논문에서는 불규칙한 샘플 영상에 대해 비지역적 블록 기반의 웨이블릿 영상 잡음 제거 기법을 포함하는 POCS (projection on convex sets) 보간법을 제안한다. 이 방법은 보간을 수행하기 위한 블록 집합을 정의하고, 해당 블록 집합으로 반복 투영하여 최종 보간 영상을 생성한다. 우선 Delaunay 삼각화를 이용하여 불규칙한 샘플 영상을 균일 격자 영상으로 투영한다. 두 번째 단계에서 비지역적 블록 기반의 웨이블릿 영상 잡음 제거 기법을 적용하고, 세 번째 단계에서 원본 관찰된 화소값을 주입한다. 두 번째 단계와 세 번째 단계를 반복적으로 투영하고, 마지막 단계로 경계선 검출을 통해 비경계 영역에 비지역적 잡음 제거 기법을 수행하여 최종 보간 영상을 생성한다. 본 논문에서는 여러 실험 영상을 사용하여 기존 제안된 기법 대비 제안한 기법의 효율성을 입증하였다.

Abstract

In this paper, we propose a POCS based irregularly sampled image interpolation method exploiting non-local block-based wavelet shrinkage denoising algorithm. The method provides convex sets to improve the performance. The Delaunay triangulation interpolation is first applied to interpolate the missing pixels of the irregularly sampled image into the regular grids. Then, the non-local block-based wavelet shrinkage denoising algorithm is applied, and the originally observed pixels are enforced. After iteration is performed, the denoising algorithm for non-edge areas is applied to acquire the final result. The experimental results show that the proposed method outperforms the conventional methods.

Keyword : interpolation, irregular sampling, POCS, denoising, Delaunay

1. 서 론

불규칙한 샘플 영상에 대한 보간법은 2D/3D 영상 변환, 의료 영상(자기 공명 영상 또는 컴퓨터 단층 촬영 영상), 원격 탐사 영상 등의 다양한 분야에서 활용된다. 특히 최근

각광받고 있는 기법 중의 하나인 2D/3D 영상 변환을 수행하기 위해서 빈 화소(hole)를 채우는 보간법이 필요한데, 이 보간법은 불규칙한 샘플 영상을 균일 격자 영상으로 재현하는 기법으로 해석할 수 있다^[1-2]. 또한 의료 영상 분야에서 자기 공명 영상과 컴퓨터 단층 촬영 영상을 불규칙한 샘플 영상으로 촬영한 후 두 영상을 결합할 때에도 이러한 보간법이 활용된다^[3-4]. 불규칙하게 취득된 영상을 균일 격자로 보간하는 기법은 오랜 기간 연구자들에 의해 연구되어 왔으며^[5-6], 이러한 보간법은 크게 비선형 기법과 반복 잡음 제거 기법으로 분류될 수 있다.

a) 연세대학교 전기전자공학부

Yonsei University

* 교신저자 : 이철희(chulhee@yonsei.ac.kr)

※ 본 연구는 2007년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. R01-2006-000-11223-0)

· 접수일(2011년6월8일), 수정일(2011년6월28일), 게재확정일(2011년7월4일)

비선형 기법 중 하나인 Delaunay 삼각화 기반의 보간법은 2차원 또는 3차원 균일 격자에 존재하는 빈 화소의 값을 가장 가까운 주변 화소들로 이루어진 삼각형을 통해 예측한다^[7]. 주변의 여러 화소값을 이용하여 커널 회귀 기법으로 빈 화소의 값을 예측하는 자료 적응적 필터링 기법은 Delaunay 삼각화 기반의 보간법에 비해 높은 성능을 나타낸다^[8]. 최근 불규칙한 샘플 영상의 보간에 맞게 반복 잡음 제거 기법을 POCS (projection on convex sets)에 활용한 기법들이 제시되었다^[9-12]. 이 중 Guleryuz가 제시한 프레임 위크는 sparsity 조건들과 반복 추정을 사용하여 보간 성능을 크게 향상시킬 수 있다. Li 는 이러한 Guleryuz의 프레임 위크를 이용하여, 불규칙한 샘플 영상에 대한 패치기반 영상 보간법을 제안하였다^[12].

그러나 Li 가 사용한 블록 변환 기반의 영상 잡음 제거 기법은 평탄 영역에서 물결현상 등의 열화가 발생하는 문제가 있다. 따라서 이러한 열화를 억제하여 보간 성능을 높이기 위해 본 논문에서는 비지역적 블록 기반의 웨이블릿 영상 잡음 제거 기법을 활용한 POCS 보간법을 제안한다. 본 방법은 보간을 위한 블록 집합을 정의하고, 해당 블록 집합으로 반복 투영하여 최종 보간 영상을 생성한다. 우선 Delaunay 삼각화를 이용하여 불규칙한 샘플 영상을 균일 격자 영상으로 보간하고, 두 개의 블록집합에 대해 반복 수행한 후 마지막으로 비경계 영역에 비지역적 잡음 제거 기법을 수행하여 최종 보간 영상을 도출한다.

2절에서는 제안한 기법과 관련된 연구에 대해 기술하고, 3절에서는 본 논문에서 제안하는 기법의 세부 내용을 설명한다. 4절에서는 여러 실험 영상을 사용하여 결과를 제시하며, 5절에서는 제안한 방법에 따른 실험 결과를 토대로 결론을 제시한다.

II. 관련 연구

1. Delaunay 삼각화 기반 보간법

Delaunay에 의해 제안된 Delaunay 삼각화는 그림 1과 같이 불규칙한 샘플 영상에 대한 격자가 주어졌을 때, 각 지점

에서 가장 가까이 주어진 지점으로 선을 그어 평면을 분할하여 기하학적 구조를 형성한다^[13]. 이러한 삼각 패치는 내부에 교차점이 존재하지 않으며, 세 꼭지점을 지나는 볼록 선체가 된다. 이러한 삼각형을 Delaunay 삼각형이라고 부르며, 이는 기하학적으로 보로노이 다이어그램과 쌍대성을 이룬다.

그림 1. 주변 화소점들을 이용한 삼각화
Fig 1. Triangulation from each pixel to its nearest pixels

2차원 신호에 대해, 각 삼각형의 최소각을 최대화하는 고속 알고리즘이 존재하며, Delaunay 삼각화는 이러한 고속 알고리즘을 이용하여 영상 보간에 사용될 수 있다^[7]. 특히 Qhull 알고리즘은 최소점으로 존재하는 2차원 신호로부터 Delaunay 삼각화를 계산한다^[14]. Matlab에는 Qhull 알고리즘을 이용하여 Delaunay 삼각형의 균일 격자를 형성하도록 하며, 이러한 균일 격자를 이용하여 선형 보간 함수를 제공한다. 그림 2는 25%의 비율로 임의로 선택한 불규칙한 샘플 영상을 입력으로 하여 Delaunay 삼각화를 이용하여 cubic 함수로 보간된 영상을 나타내고 있다.

그림 2에서 알 수 있듯이 25%의 비율의 불규칙한 샘플 정보만으로 영상의 형태를 보간할 수 있으나, 지붕 부근에서 경계선 영역이 심각하게 훼손되는 등의 경계 예측에 실패한 것을 확인할 수 있다. 이것은 불규칙한 샘플링으로 인해 고주파 성분의 정보들이 섞임으로 Delaunay 삼각화 보간을 통해 고주파 성분을 제대로 분리하지 못하고 있음을 나타낸다.

(a) 25%의 비율로 관찰된 영상

(b) Delaunay 삼각화로 보간된 영상

그림 2. 불규칙한 샘플 영상에 대한 Delaunay 삼각화 보간법

Fig 2. The Delaunay triangulation interpolation for the irregularly sampled image

2. 패치기반 영상 보간법

최근 제안된 패치기반 영상 보간법은 두 개의 블록집합을 정의하였고, 해당 블록집합에 교차 투영을 반복 수행하여 복원된 영상의 품질을 향상시켰다^[12]. 두 개의 블록집합 중 하나는 영상 잡음 제거 기법 중에서 가장 우수한 성능을 나타내는 BM3D 기법을 적용한 것이며^[15], 다른 하나는 원본으로 관찰된 화소값을 주입하는 것이다. 패치기반 영상 보간법에서 사용된 블록 기반의 BM3D 기법은 처리 중인 블록과 유사한 비지역적 패치의 집단을 수집하여, 3차원 형태로 적층시킨 후 3차원 변환을 수행하고, 변환 계수를 문턱치로 계수 축소하는 영상 잡음 제거 기법이다. 블록기반의 변환 기법을 수행하는 영상 잡음 제거 기법은 원본으로 관찰된 화소값을 변경시키므로, 원본으로 관찰된 화소값을

주입하는 과정을 필요로 한다. 따라서 패치기반 영상 보간법은 그림 3과 같이 이러한 두 가지 블록집합에 반복적으로 교차 투영하여 최종 영상을 생성한다. 패치기반 영상 보간법은 이전 수행 결과와 현재 생성된 결과의 평균자승오차가 0.001 이하일 때 종료한다.

패치기반 영상 보간법은 Guleryuz가 제안한 반복 잡음 제거 기법의 프레임워크를 구현한 방법이다^[10-11]. Guleryuz의 프레임워크에 따르면 그림 3의 BM3D 블록 부분에서 변환 기반의 잡음 제거 기법을 사용할 수 있는데, 여기에는 웨이블릿 기반의 변환 계수 축소 기법과 DCT 기반의 변환 계수 축소 기법이 활용될 수 있다. 이 중 웨이블릿 기반의 변환 계수 축소 기법은 잡음이 섞인 영상에서 Gaussian 잡음을 효과적으로 제거하는 것으로 알려져 있다^[16-17]. 패치기반 영상 보간법에서는 DCT 기반의 변환 계수 축소 기법

그림 3. 패치기반 영상 보간법의 기법 순서도

Fig 3. The algorithm flowchart of the Patch-based Interpolation

을 활용하는 BM3D 기법을 적용하였으며, 비지역적 블록을 활용하여 불규칙한 샘플링으로 인해 섞인 고주파 성분의 정보를 효과적으로 복원하였다.

III. 제안한 기법

제안한 기법의 전체 순서도는 그림 4와 같다. 불규칙한 샘플링을 수행하는 샘플링 패턴을 S 라고 하면, 원본으로 관찰된 화소들 x_0 는 원본 영상 x 와 샘플링 패턴 S 가 곱해진 형태가 된다 ($x_0 = x \times S$). 제안한 기법에서는 총 4개의 블록집합을 정의하였는데, 첫 번째 블록집합은 Delaunay 삼각화를 이용한 보간법으로 잃어버린 화소 x_1 을 주변에 존재하는 x_0 화소값을 이용하여 복원하도록 하는 집합이다. 즉, 첫 번째 투영은 다음과 같이 샘플링 패턴이 1일 때

는 관찰된 화소값들, 0일 때는 Delaunay 삼각화 보간값 ($DT(x_0)$)을 갖도록 하는데, 초기 복원된 $\tilde{x}_0$ 는 그림 5와 같이 번짐현상과 경계선 변형 현상을 발생하게 된다.

$$P_1(x_0) = \begin{cases} x_0, & S=1 \\ DT(x_0), & S=0 \end{cases} \quad (1)$$

$$DT(x_0) = \left\{ x_{ij} \middle| x_{ij} = \sum_i^3 \alpha_i x_{kl}, S_{ij} = 0, S_{kl} = 1 \right\}. \quad (2)$$

이러한 문제를 해결하기 위해 비지역적 블록 기반의 웨이블릿 잡음 제거 기법을 적용하여 열화된 경계선을 복원하고, 잡음을 제거한다. 제안한 알고리즘의 잡음 제거 기법은 BM3D 잡음 제거 기법을 개선한 것으로 그림 6과 같이 현재 처리 중인 블록과 유사한 형태를 가지는 주변 블록을 탐색하여 3차원 형태로 쌓아 올리고, 이를 3D 웨이블릿의

그림 4. 제안한 기법의 구조

Fig 4. The overall procedure of the proposed algorithm

그림 5. 초기 보간 후 발생한 번짐 현상 및 변형 현상

Fig 5. The blurred edges and the stained areas after initial interpolation

그림 6. 비지역적 블록 기반 웨이블릿 잡음 제거

Fig 6. The non-local block-based wavelet shrinkage denoising

로 변환하여 변환 계수 축소 기법을 적용한 후 해당 블록들을 병합하는 형태로 구성된다. 여기에서 웨이블릿 변환을 위한 블록 크기는 실험 영상의 콘텐츠에 따라 달라질 수 있으며, 본 논문에서는 실험 영상에서 높은 성능을 나타낸 값인 8로 하였으며, 3차원 형태로 쌓아 올릴 수 있는 블록의 개수는 16으로 하였다. 제안한 기법은 유사한 형태를 가지는 주변 블록 탐색을 위해서 구조의 유사성을 비교하는 SSIM (Structural similarity measure)을 이용하였으며^[18], 이 값이 0.7 이상일 때 유사한 것으로 판정하였다. 변환 계수 축소 기법을 적용한 후 블록들의 병합은 Gaussian 가중치 커널을 이용하여 현재 블록과 비교 블록의 거리 비례 함수의 값을 계산하고, 해당 값을 가중치로 하여 병합하였다 ($\tilde{x}^{(1)} = P_2 \cdot \tilde{x}_0$). 이러한 투영을 위한 블록집합은 C_2 와 같다. 여기에서 B_{ij} 는 x_{ij} 를 중심으로 하는 블록이며,

$\mathfrak{J}$ 는 웨이블릿 변환을 의미한다.

$$C_2 = \left\{ x_{ij} | x_{ij} = \sum_k^K w_i \tilde{B}_{ij}^k \right\}. \quad (3)$$

$$\tilde{B}_{ij}^k = \{ x_{ij} | \mathfrak{J} B_{ij}^k > T, B_{ij}^k \text{ is similar to } B_{ij} \}. \quad (4)$$

블록 기반의 웨이블릿 잡음 제거 기법에 의해 변경된 원본 관찰된 화소값을 복원하기 위해 샘플링 패턴과 원본 관찰값을 이용하여 세 번째 투영을 수행한다 ($\tilde{x}^{(1)} = P_3 \cdot \tilde{x}^{(1)}$). 여기에서 Δ_s 는 원본 관찰된 화소값들의 위치 집합이다.

$$C_3 = \{ x_{ij} | x_{ij} = x_{0,ij}, (ij) \in \Delta_s \} \quad (5)$$

그림 4와 같이 P_2 (비지역적 블록 기반 웨이블릿 계수축

그림 7. 반복 수행에 따른 성능 비교

Fig 7. The parts of the results as the iteration is performed

소 영상 잡음 제거 기법)와 P_3 (원본 화소 주입)를 반복 수행하면 ($\tilde{x}^{(k+1)} = P_3 \cdot P_2 \cdot \tilde{x}^{(k)}$), 그림 7과 같이 경계선의 변형이 사라지고, 비경계선에 존재하던 잡음이 억제되어 우수한 품질의 결과 영상을 생성하게 된다.

그러나 영상 잡음 제거 기법의 반복 수행은 패치기반 영상 보간법과 같이 경계선의 잘못된 위치 지정으로 인해 평탄 영역(비경계 영역)에서 물결현상을 발생시키는데, 이는 주변의 유사한 블록 내에 존재하는 고주파 성분의 정보가 병합과정에서 포함되기 때문이다. 따라서 경계선 영역을 검출하여 비경계선 영역에 나타나는 물결현상을 제거하기 위한 비지역적 기반 영상 잡음 제거 기법을 적용한다. 경계선 영역 검출 기법으로 그림 8과 같이 LoG (Laplacian of gaussian) 연산을 사용하였으며, 비지역적 기반 영상 잡음 제거 기법으로 널리 알려져 있는 NLM (Non-local means) 기법을 이용하여 그림 9와 같이 비경계선 영역의 물결현상을 제거하였다. 단, NLM이 주변의 모든 화소값을 이용하

는 반면, 제안한 기법에서는 SSIM을 이용하여 0.8 이상의 유사한 블록의 화소값을 이용하였다^[18].

IV. 실험 결과

본 논문에서는 제안한 기법의 성능 비교를 위해 3가지 기존 기법인 Delaunay 삼각화 보간법^[13], 조향한 커널 회귀법 (SKR)^[8], 패치기반 영상 보간법^[12]을 이용하였다. 실험 영상으로 KODAK 24개 영상을 사용하였으며, 임의의 25% 화소값을 선택하여 불규칙한 샘플 영상을 생성하는 시뮬레이션을 진행하였다.

그림 10과 그림 11은 기존 기법들이 좋은 성능을 가지지 못하는 영역에서 제안한 기법이 우수한 주관적 성능을 가짐을 나타내고 있다. 그림 10에서 요트의 돛을 따라 대각선 형태의 경계선이 존재하는 영역에서 기존 기법들은 경계선의 방향에 따라 잘 보간하지 못하지만, 제안한 기법은 실제

그림 8. LoG 경계선 추출을 통한 경계 영상
Fig 8. The edge image using LoG edge detector

그림 9. 네 번째 투영의 결과 영상
Fig 9. The result after the fourth projection is applied

그림 10. KODAK 11 실험 영상을 이용한 주관적 성능 비교
Fig 10. The visual comparison using KODAK 11 image

그림 11. KODAK 19 실험 영상을 이용한 주관적 성능 비교
Fig 11. The visual comparison using KODAK 19 image

존재하는 대각선 형태의 경계선에 따라 양호하게 보간한 것을 알 수 있다. 그림 11은 경계선이 밀집한 울타리 영역을 보간한 결과로, Delaunay 보간법과 SKR 보간법은 경계선의 방향에 따라 보간하지 못하여 주관적으로 심각한 열화를 나타내고 있으나, 패치기반 영상 보간법과 제안한 기법은 반복적인 잡음 제거 기법의 수행을 통해 경계선이 우수하게 복원된 것을 볼 수 있다. 그림 11(e)의 제안한 기법의 결과는 울타리의 세밀한 부분까지 복원해내어 그림 11(d)의 패치기반 영상 보간법의 결과와 비교하여 우수한 주관적 성능을 나타냈으며, 그림 11(a)의 원본 영상과 비교하여 거의 차이가 없을 정도로 깨끗한 보간을 수행하였다.

표 1은 24개 실험 영상에 대한 PSNR 비교로, 제안한 기법이 Delaunay 보간법 대비 평균 1.7 dB, SKR 기법 대비 평균 1.2 dB, 패치기반 영상 보간법 대비 평균 0.3 dB의 성능향상을 보였다. 특히 실험영상 중 그림 10의 KODAK 11 영상은 제안한 기법이 Delaunay 보간법 대비 1.24 dB, SKR 기법 대비 0.62 dB의 성능향상을, 패치기반 영상 보간

법 대비 -0.01 dB의 성능열화를 보였지만, 그림 10과 같이 주관적으로는 제안한 기법이 패치기반 영상 보간법보다 우수한 성능을 나타낸 것을 알 수 있다. 또한 그림 11의 KODAK 19 영상은 제안한 기법이 Delaunay 보간법 대비 4.43 dB, SKR 기법 대비 4.62 dB, 패치기반 영상 보간법 대비 1.36 dB의 성능향상을 보였다.

표 2는 실험 영상에 대한 SSIM 수치 비교로, 제안한 기법이 Delaunay 보간법 대비 평균 0.009, SKR 기법 대비 평균 0.011, 패치기반 영상 보간법 대비 평균 0.003 정도 높은 수치를 나타내고 있다.

표 3은 알고리즘 수행 시간 비교를 나타낸다. Delaunay 보간법과 SKR 기법은 반복 없이 보간을 수행하는데 반해, 패치기반 영상 보간법과 제안한 기법은 반복기법을 통해 보간을 수행하여 수행 시간에서 큰 차이를 나타내고 있다. 그러나 제안한 알고리즘은 같은 종류의 알고리즘인 패치기반 영상 보간법에 비해 평균적으로 다소 빠른 수행 시간을 나타내고 있다. 그림 12는 반복 기법이 사용된 패치기반 영상 보간법과의 수렴성 결과를 나타낸다. 패치기반 영상

표 1. 24개 실험 영상에 대한 PSNR 성능 비교

Table 1. PSNR comparison for 24 test images

실험 영상	Delaunay [13]	SKR [8]	패치기반 영상 보간법 [12]	제안한 기법
KODAK 01	23.40	23.92	25.14	25.46
KODAK 02	30.45	31.11	31.60	31.96
KODAK 03	31.39	32.16	32.79	33.53
KODAK 04	30.62	30.90	31.56	32.00
KODAK 05	23.39	23.94	24.67	24.80
KODAK 06	24.97	25.55	26.63	26.70
KODAK 07	30.23	30.64	31.74	31.75
KODAK 08	21.13	21.86	24.02	24.36
KODAK 09	29.67	30.59	31.83	32.13
KODAK 10	29.29	30.01	30.79	31.38
KODAK 11	26.55	27.17	27.80	27.79
KODAK 12	30.12	30.92	32.19	32.55
KODAK 13	21.33	21.65	21.44	21.28
KODAK 14	26.26	26.46	27.00	27.02
KODAK 15	29.02	30.46	31.21	31.62
KODAK 16	28.82	29.30	30.30	30.68
KODAK 17	29.16	29.80	29.45	29.30
KODAK 18	25.02	25.38	25.41	25.27
KODAK 19	26.38	26.19	29.45	30.81
KODAK 20	29.68	29.30	31.17	31.44
KODAK 21	25.79	26.07	26.58	26.58
KODAK 22	27.72	28.14	28.67	29.14
KODAK 23	31.89	32.16	32.99	33.48
KODAK 24	23.90	24.18	24.55	24.34
평균	27.3	27.8	28.7	29.0

표 2. 24개 실험 영상에 대한 SSIM 성능 비교

Table 2. SSIM comparison for 24 test images

실험 영상	Delaunay [13]	SKR [8]	패치기반 영상 보간법 [12]	제안한 기법
KODAK 01	0.914	0.907	0.944	0.946
KODAK 02	0.99	0.99	0.992	0.993
KODAK 03	0.989	0.989	0.992	0.993
KODAK 04	0.988	0.986	0.99	0.991
KODAK 05	0.937	0.934	0.954	0.954
KODAK 06	0.971	0.97	0.98	0.98
KODAK 07	0.982	0.981	0.987	0.987
KODAK 08	0.931	0.932	0.966	0.969
KODAK 09	0.974	0.975	0.983	0.985
KODAK 10	0.974	0.974	0.982	0.984
KODAK 11	0.961	0.959	0.971	0.97
KODAK 12	0.986	0.987	0.992	0.992
KODAK 13	0.919	0.909	0.922	0.917
KODAK 14	0.971	0.967	0.975	0.975
KODAK 15	0.994	0.995	0.996	0.997
KODAK 16	0.977	0.975	0.984	0.985
KODAK 17	0.983	0.983	0.986	0.986
KODAK 18	0.939	0.933	0.945	0.942
KODAK 19	0.958	0.955	0.98	0.985
KODAK 20	0.994	0.994	0.996	0.996
KODAK 21	0.956	0.952	0.964	0.963
KODAK 22	0.974	0.972	0.979	0.98
KODAK 23	0.993	0.993	0.995	0.995
KODAK 24	0.955	0.95	0.961	0.959
평균	0.9671	0.9651	0.9757	0.9760

표 3. 24개 실험 영상에 대한 수행 시간 비교 (단위: 초)

Table 3. Processing time comparison for 24 test images (in sec.)

실험 영상	Delaunay [13]	SKR [8]	패치기반 영상 보간법 [12]	제안한 기법
KODAK 01	14	75	7791	5061
KODAK 02	14	75	3175	4995
KODAK 03	14	75	2399	4533
KODAK 04	14	73	3449	4695
KODAK 05	14	73	8552	4643
KODAK 06	14	73	5574	4978
KODAK 07	14	70	2778	4460
KODAK 08	13	70	11439	4566
KODAK 09	13	70	3126	4754
KODAK 10	14	70	3176	4741
KODAK 11	13	70	4934	4824
KODAK 12	13	70	3735	4828
KODAK 13	14	69	9128	4881
KODAK 14	13	69	5755	4850
KODAK 15	13	69	4357	4381
KODAK 16	9	52	1946	3071
KODAK 17	8	51	2002	2878
KODAK 18	8	52	4340	3026
KODAK 19	8	52	4148	3019
KODAK 20	8	52	2373	2789
KODAK 21	8	51	3199	3084
KODAK 22	8	48	2938	3201
KODAK 23	8	48	1249	2793
KODAK 24	8	51	4118	2988
평균	12	64	4403	4085

(a) KODAK01

(b) KODAK19

그림 12. KODAK01, KODAK 19 실험 영상을 이용한 반복 수행의 수렴성

Fig 12. The convergence of the iterative algorithms using KODAK01, KODAK 19 images

보간법은 반복 기법의 종료 조건을 이전 수행 결과와의 평균자승 오차 0.001로 정한 반면, 제안한 알고리즘은 500회의 반복 수행을 종료 조건으로 정하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 불규칙한 샘플 영상을 균일 격자 영상으로 재현하는 기법으로 비지역적 블록 기반의 웨이블릿 영상 잡음 제거 기법을 포함하는 POCS 보간법을 제안하였다. 제안한 기법은 보간을 수행하기 위한 블록집합을 정의하였고, 해당 블록집합에 교차 투영하는 기법으로 최종 보간 결과를 생성하였다. 첫 번째 투영은 Delaunay 삼각화 기반의 보간법을 이용하여 불규칙한 샘플 영상으로부터 균일 격자 영상을 재현하는 것이며, 잃어버린 화소값을 가장 가까운 주변 화소값들로 예측하였다. 이어 해당 결과 영상을 블록 기반 잡음 제거 기법이 포함된 2개의 블록집합에 반복적으로 투영함으로 최종 보간된 영상에 존재하는 경계선 잡음 및 변형을 제거하였다. 마지막 으로 비경계선 영역에 대해 비지역적 잡음 제거 기법을 수행함으로 평탄 영역에 존재하는 물결현상을 제거하여, 최종적으로 불규칙한 샘플 영상으로부터 주관적 성능 및 객관적 성능이 우수한 결과 영상을 생성할 수 있었다.

하지만 블록기반 잡음 제거 기법의 반복 수행으로 인해 제안한 기법의 수행 시간이 증가하는 것이 단점이다. 따라서 본 논문에서 제시한 것과 같이 반복 투영으로 최종 결과에 도달하는 기법이 아닌, 한 번에 최종 결과에 도달할 수 있게 하는 블록집합을 정의하여 투영시키는 것이 활용 면에서 유용하며, 이와 같은 고속의 기법에 관한 연구가 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] 김성열, 이상범, 김유경, 호요성, "깊이맵의 정보 분해와 경계 평탄 필터링을 이용한 다시점 영상 생성 방법," 방송공학회논문지, 제11권 제4호, pp.

471-482, 2006년 12월.
 [2] 김수동, 유지상, "Depth layer partition을 이용한 3D 동영상의 3D 변환 기법," 방송공학회논문지, 제16권 제1호, pp. 44-53, 2011년 1월.
 [3] B. P. Sutton, D. C. Noll, and J. A. Fessler, "Fast, iterative image reconstruction for MRI in the presence of field inhomogeneities," IEEE Trans. Medical Imaging, vol. 22, no. 2, pp. 178-188, Feb. 2003.
 [4] 김만배, 장성은, 이우근, 최창열, "2D 의료영상의 3차원 입체영상 생성," 방송공학회논문지, 제15권 제6호, pp. 723-730, 2010년 11월.
 [5] S.-J. Yeh and H. Stark, "Iterative and one-step reconstruction from nonuniform samples by convex projections," J. Opt. Soc. Am. A, vol. 7, pp. 491-499, 1990.
 [6] K. Gröchenig, "Reconstruction algorithms in irregular sampling," Math. Comp., vol. 59, pp. 181-194, 1992.
 [7] S. Lertrattanapanich and N. K. Bose, "High resolution image formation from low resolution frames using Delaunay triangulation," IEEE Trans. Image Process., vol. 11, pp. 1427-1441, 2002.
 [8] H. Takeda, S. Farsiu, and P. Milanfar, "Robust kernel regression for restoration and reconstruction of images from sparse noisy data," IEEE Int'l Conf. Image Processing, pp. 1257-1260, 2006.
 [9] R. Abma and N. Kabir, "3D interpolation of irregular data with a POCS algorithm," Geophysics, vol. 71, pp. E91-E97, 2006.
 [10] O. G. Guleryuz, "Nonlinear approximation based image recovery using adaptive sparse reconstructions and iterated denoising-part I: theory," IEEE Trans. Image Process., vol. 15, pp. 539-554, 2006.
 [11] O. G. Guleryuz, "Nonlinear approximation based image recovery using adaptive sparse reconstructions and iterated denoising-part II: adaptive algorithms," IEEE Trans. Image Process., vol. 15, pp. 555-571, 2006.
 [12] X. Li, "Patch-based image interpolation: algorithms and applications," presented at the Int'l Workshop on Local and Non-Local Approximation in Image Processing, 2008.
 [13] B. Delaunay, "Sur la sphère vide, Izvestia Akademii Nauk SSSR, Otdelenie Matematicheskikh i Estestvennykh Nauk," vol. 7, pp. 793-800, 1934.
 [14] C. B. Barber, D. P. Dobkin, and H. Huhdanpaa, "The Quickhull algorithm for convex hulls," ACM Trans. Mathematical Software, vol. 22, pp. 469-483, 1996.
 [15] K. Dabov, A. Foi, V. Katkovnik, K. and K. Egiazarian, "Image Denoising by Sparse 3-D Transform-Domain Collaborative Filtering," IEEE Trans. Image Process., vol. 16, pp. 2080-2095, 2007.
 [16] D. L. Donoho and I. M. Johnstone, "Adapting to Unknown Smoothness Via Wavelet Shrinkage," Journal of the American Statistical Association, vol. 90, 1995.
 [17] A. Chambolle, et al., "Nonlinear wavelet image processing: variational problems, compression, and noise removal through wavelet shrinkage," IEEE Trans. Image Process., vol. 7, pp. 319-335, 1998.
 [18] Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, and E. P. Simoncelli, "Image quality assessment: from error visibility to structural similarity," IEEE Trans. Image Process., vol. 13, no. 4, pp. 600-612, Apr. 2004.

저 자 소 개

이 종 화

- 2005년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 졸업 (학사)
- 2005년 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학과 통합과정
- 주관심분야 : 영상 신호처리, 비디오 화질평가, 패턴인식

이 철 희

- 1984년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업 (학사)
- 1986년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업 (석사)
- 1986년 ~ 1987년 : Technical University of Denmark (DTH), Denmark
- 1986년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업 (석사)
- 1992년 12월 : Purdue University Electrical Engineering, Ph.D
- 1993년 ~ 1996년 : National Institutes of Health (NIH), Maryland USA
- 1996년 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학과 교수
- 주관심분야 : 영상 신호처리, 비디오 화질평가, 패턴인식 및 Machine Vision