

논문 2011-48SP-5-11

위성영상에서의 적응적 압축잡음 제거 알고리즘

(Content Analysis-based Adaptive Filtering in The Compressed Satellite Images)

최 태 현*, 지 정 민*, 박 준 훈*, 최 명 진**, 이 상 근***

(TaeHyeon Choi, JeongMin Ji, JoonHoon Park, MyungJin Choi, and Sangkeun Lee)

요 약

본 논문에서는 위성영상을 압축하는 과정에서 발생하는 압축잡음을 내용 분석을 통해 적응적으로 제거하는 디블록킹 알고리즘을 제안 한다. 특히, 제공된 KOMPSAT(korean multi-purpose satellite)-2는 열 단위로 동일한 양자화 계수를 적용하며 고주파 성분이 많은 부분을 압축하여 효율 및 시간을 향상 시켰으나 압축률이 높은 동일 열 내에 복잡도가 낮은 부분에서 압축잡음이 나타나는 문제점이 있다. 이러한 압축잡음을 제거하기 위해 일반적인 디블록킹 필터를 적용 시 복잡한 영역을 평활화시키는 문제점이 있다. 따라서 제안한 방법에서는 영상 분석 후 적응적 디블록킹 필터를 통해 에지를 보존하면서 격자잡음을 제거 한다. 이와 동시에 WLFPCA(weighted lowpass filter using principle component analysis)를 이용하여 큰 곡선형 경계 부분의 계단잡음을 제거 하였다. 제안한 방법은 성능을 평가하기 위한 모의실험 결과로부터 기존의 방법에 비하여 객관적 화질 지표인 PSNR(peak signal to noise ratio)과 주관적 화질 지표인 MSSIM(mean structural similarity)에서 비슷하거나 향상된 결과를 보였으며 특히, 기존의 압축잡음 제거 알고리즘은 반복적 프로세싱을 통해 계단잡음을 제거하나 제안한 방법은 싱글패스(single-path) 방식으로 시간을 크게 단축시켜 실시간에 가까운 처리가 가능하도록 하였으며, 계산량을 줄여 하드웨어의 적용이 용이하게 하였다.

Abstract

In this paper, we present a deblocking algorithm that removes grid and staircase noises, which are called "blocking artifacts", occurred in the compressed satellite images. Particularly, the given satellite images are compressed with equal quantization coefficients in row according to region complexity, and more complicated regions are compressed more. However, this approach has a problem that relatively less complicated regions within the same row of complicated regions have blocking artifacts. Removing these artifacts with a general deblocking algorithm can blur complex and undesired regions as well. Additionally, the general filter lacks in preserving the curved edges. Therefore, the proposed algorithm presents an adaptive filtering scheme for removing blocking artifacts while preserving the image details including curved edges using the given quantization step size and content analysis. Particularly, WLFPCA (weighted lowpass filter using principle component analysis) is employed to reduce the artifacts around edges. Experimental results showed that the proposed method outperforms SA-DCT in terms of subjective image quality.

Keywords : Deblocking filter, PCA, 위성영상, Zero Crossing

* 학생회원, *** 평생회원-교신저자, 중앙대학교 첨단 영상대학원 영상학과

(Graduate School of Advanced Imaging Science, Multimedia, and Film, Chung-Ang University)

** 정회원, 한국항공우주연구원

(Korea Aerospace Research Institute)

※ 이 논문은 2단계 BK21 사업 지원과제임.

접수일자: 2011년2월14일, 수정완료일: 2011년8월17일

I. 서 론

통신기술의 발달과 함께 제한된 전송대역폭 내에서 효율적 영상전송을 위하여 다양한 압축방법(JPEG/MPEG-x/H.26x)^[1-2]이 제시되어 왔다. 그 중에서 위성 영상 압축 기술은 한정된 메모리와 대역폭 자원을 상호

보완해 줌으로써 많은 위성체가 가지고 있는 데이터와 자원사이의 딜레마를 극복하는 기능을 하고 있다. 현재 위성영상 수요의 급격한 증가와 함께 많은 위성영상 압축 기술이 개발되고 있으며, DWT(discrete wavelet transform)^[3], DCT(discrete cosine transform)^[4]등을 기반으로 하는 압축 기술이 위성영상에 사용되고 있다. 이 중에서 DCT 기반의 압축 기술은 하드웨어 구현의 편리성 때문에 일반영상 뿐만 아니라 위성영상에서도 널리 쓰이고 있다. DCT 기반의 영상압축 모듈은 1990년과 1991년 사이에 프랑스 국립 우주 연구센터에서 개발되었다. 이 모듈의 과정을 요약하면 다음과 같다. 양자화 스텝 크기는 배율 (scale factor)과 가중치 인자 (weight factor)로 정의되며 양자화 된 블록은 지그재그 (zig-zag) 정렬을 통해 스캔된다. 각 0이 아닌 값들은 미리 정의된 가변적 length code들의 허프만 테이블을 이용하여 압축된다. 이처럼 위성에서의 DCT 기반의 압축 기술은 JPEG 표준과 매우 유사하다^[5]. 2002년에는 SPOT-5 위성에서 사용자가 원하는 영상화질에 따라 압축률 조정이 가능한 DCT 기반의 알고리즘^[6]을 탑재하였으며, 본 논문에서 사용된 KOMPSAT(korean multi-purpose satellite)-2 역시 유사한 방법을 사용하고 있다^[7]. 그러나 이런 범용성에도 불구하고 DCT 기반의 압축으로 인해 발생하는 압축잡음은 일반영상 및 위성영상 화질에 상당한 악영향을 준다^[5]. 그림 1은 일반영상에서 압축으로 발생하는 두 가지 압축잡음에 대해 나타내고 있다. 블록경계에서 불연속성이 규칙적인 타일모양으로 나타나는 격자잡음^[8](Grid noise)과 영상의 에지주변에서 나타나는 계단잡음(Staircase noise)^[9]이다.

현재 이와 같은 압축잡음 제거를 위하여 많은 연구가

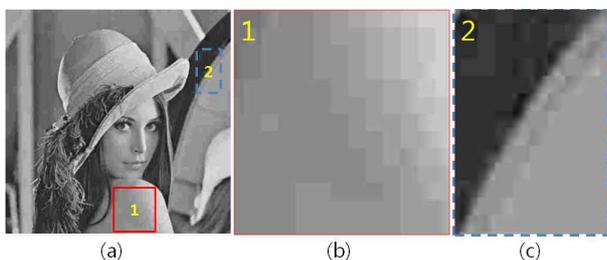


그림 1. DCT 기반의 압축으로 인해 발생하는 압축 잡음영상: (a) 재구성된 'Lena' 영상; (b) 격자형 잡음; (c) 계단형 잡음.

Fig. 1. Compression artifacts from DCT-based compression: (a) reconstructed image; (b) grid noise; and (c) staircase noise.

진행되고 있으며 크게 영상 개선과 복구 기반으로 분류된다^[10]. 영상 개선 기반은 공간 영역에서의 처리와 압축 영역에서의 처리로 구분되며 공간 영역에서 압축잡음을 제거하는 연구로는 POCS(projection onto convex sets)이론에 근거한 복원기법^[11]이 있다. 이 기법들은 만약 제한 조건이 convex 집합과 결합될 수 있다면 많은 수의 prior 제한 조건을 이용할 수 있다는 장점이 있으나 반복 방식을 기본으로 하기 때문에 실시간 처리에 어려움이 있다. 압축영역에서의 처리로는 전역(global) 에지맵, 국부 에지맵 및 윤곽선 에지맵을 이용하여 압축잡음을 제거하는 연구^[12~13]로 이 방법은 화질 면에서는 우수한 성능을 보이나 계단 잡음 제거에 있어서는 한계가 있다. Foi에 의해 제안된 SA-DCT(point shape-adaptive discrete cosine transform)를 이용한 알고리즘^[14]은 현재까지 제안된 디블록킹 알고리즘 중 가장 우수한 성능을 자랑하지만 계산량이 높아 프로세싱 시간이 오래 걸리며 하드웨어 구현에 어려움이 있다.

영상 복구기반은 영상이나 잡음 모델을 생성하여 압축 과정의 확실한 사전 정보를 이용하는 방법으로 2007년에 Sun이 제안한 FOE(field of experts)라는 방법을 이용한 압축잡음제거 방법^[15]은 확률적 관점에서 접근하기 때문에 계산량이 많고 반복기법 사용으로 인해 수행시간이 매우 오래 걸린다는 단점을 가지고 있다.

이와 같은 기존의 디블록킹 알고리즘들은 식(1)의 Q_{JPEG}과 같이 양자화 테이블 값을 정확히 알아야 압축잡음을 효율적으로 제거가 가능하지만, KOMPSAT-2에서 사용하는 Q_{Satellite}와 같이 영상 컨텐츠 즉, 영상의 복잡도(K: 영상의 고주파 성분이 얼마나 많은지에 대한 정보)에 따라 양자화 테이블 값이 가변적으로 변하는 영상에서 발생하는 압축잡음을 제거하는 응용에는 효율이 떨어지는 단점이 있다. 따라서 가변적 DCT 압축 기술에 적응적으로 적용할 수 있는 새로운 압축잡음 제거 방법에 대한 필요성이 제기된다.

$$Q_{JPEG} = \begin{bmatrix} 16 & 11 & 10 & 16 & 24 & 40 & 51 & 61 \\ 12 & 12 & 14 & 19 & 26 & 58 & 60 & 55 \\ 14 & 13 & 16 & 24 & 40 & 57 & 69 & 56 \\ 14 & 17 & 22 & 29 & 51 & 87 & 80 & 62 \\ 18 & 22 & 37 & 56 & 68 & 109 & 103 & 77 \\ 24 & 35 & 55 & 64 & 81 & 104 & 113 & 92 \\ 49 & 64 & 78 & 87 & 103 & 121 & 120 & 101 \\ 72 & 92 & 95 & 98 & 112 & 100 & 103 & 99 \end{bmatrix} \quad Q_{Satellite} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \times K \quad (1)$$

그림 2는 복잡도가 낮은 지역과 복잡도가 높은 지역을 촬영한 위성영상에 가변적 DCT 방법^[16]을 적용한

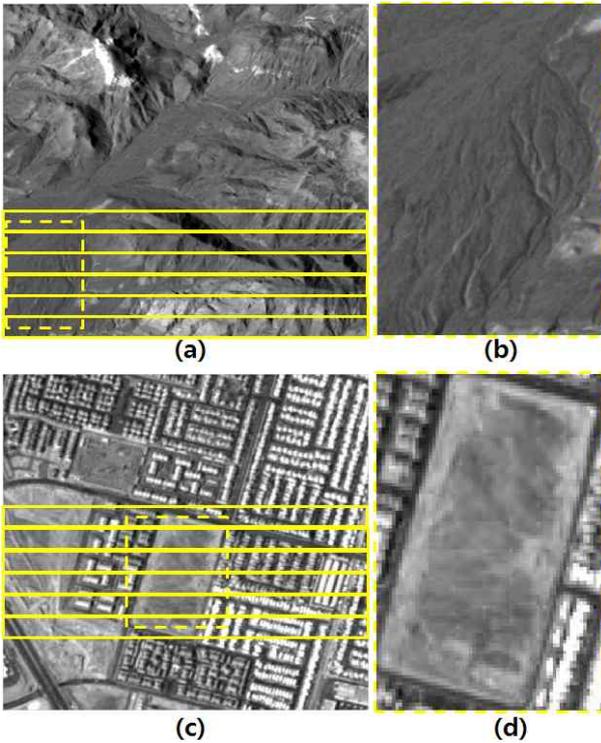


그림 2. 위성영상: (a) 복잡도가 낮은 지역; (b) (a)를 부분적으로 확대한 영상; (c) 복잡도가 높은 지역; (d) (c)를 부분적으로 확대한 영상.

Fig. 2. Satellite image: (a) region with low complexity; (b) partially enlarged (a); (c) region with high complexity; and (d) partially enlarged region in (c).

결과를 보여준다. 그림 2 (c)와 같이 KOMPSAT-2에서는 블록단위가 아닌 열 단위(실선)로 동일한 양자화 테이블 값을 가변적으로 적용하여 복잡도가 높은 부분의 압축률을 높게 하고, 그림 2 (a)와 같이 복잡도가 낮은 지역에는 압축률을 낮게 적용하였다. 이것은 사람의 시각이 저주파에 민감하다는 점을 이용하여 압축효율을 높일 수 있다는 장점이 있다. 그러나 위성영상에서의 효율은 증대된 반면 다음과 같은 문제점이 발생한다.

그림 2 (c)에서 선으로 표시된 부분과 같이 동일한 양자화 테이블 값이 적용될 경우 복잡도가 높은 부분(예:건물이 밀집된 지역)은 압축잡음이 거의 나타나지 않지만, 점선으로 표시된 그림 2 (d)부분과 같이 복잡도가 높은 지역사이의 저주파성분이 많은 부분에는 압축잡음이 많이 나타나게 되는 문제점이 발생한다. 따라서 동일선상의 고주파 성분은 보존하면서 압축잡음을 효과적으로 제거하기 위하여 복잡도에 따라 적응적으로 압축잡음을 제거해야 하는 필요성이 제기된다.

이를 위하여 본 논문에서는 영상분석을 통해 영상

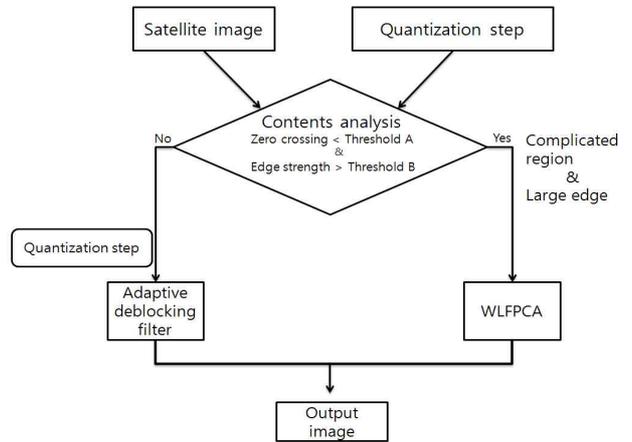


그림 3. 제안 알고리즘의 블록도

Fig. 3. Block diagram of the proposed algorithm

내의 복잡도와 경계선 강도에 따라 적응적으로 압축잡음을 제거하는 더블록킹 방법을 제안한다. 먼저, 영점교차검출(zero crossing) 값의 변화를 이용한 영상분석방법^[17]을 통해 복잡도가 높은 지역과 낮은 지역을 구분하였다. 그리고 격자 압축잡음이 많은 복잡한 지역 사이의 저주파 영역에 대해서는 사전정보인 양자화 스텝값(quantization step)을 이용한 차등적 더블록킹 필터^[18]를 이용하여 적응적으로 제거하였다. 특히, 격자 잡음이 많이 나타나는 복잡한 영역 주위의 큰 곡선형 경계선에 대해서는 주성분 분석을 이용한 새로운 저주파 통과필터(WLFPCA: Weighted Lowpass Filter using Principle Component Analysis)를 제안하여 경계선을 보존하면서 효과적으로 계단형 잡음을 제거하였다. 제안하는 방법은 기존의 방법들이 반복 계산으로 인한 시간비용이 크다는 단점을 보완하여 싱글 패스(single-path)방식으로 실시간에 가까운 처리가 가능하게 하였으며, 동시에 차등적 더블록킹 필터와 병렬적 처리가 가능하게 함으로써 효율을 높였다.

그림 3은 제안하는 알고리즘의 간단한 블록 다이어그램(block diagram)을 나타낸다. 제안한 알고리즘은 위성영상에 대한 사전정보인 양자화 스텝 크기와 영상 분석을 통한 영점교차검출 및 경계선의 강도에 따른 차등적 프로세싱을 통하여 화질저하를 최소화 하였다. 또한 본 논문에서는 위성영상 뿐만 아니라 일반영상을 대상으로 제안한 알고리즘의 성능평가를 위해 영상 개선기반 중 현재 가장 우수한 평가를 받고 있는 SA-DCT 알고리즘^[14], 영상 복구기반 중 FOE 알고리즘^[15]과 제안하는 알고리즘을 비교하여 PSNR(peak signal to noise ratio), MSSIM(mean structural similarity) 그리고 시간

측정을 통해 그 성능을 평가하였다. 제안하는 알고리즘의 장점은 (1) 복잡도가 높은 영상에서 경계선 보존이 우수하며 (2) 반복프로세싱이 아닌 싱글 패스 프로세싱 방식으로 시간을 단축 시켰다는 것이며, 기존의 알고리즘과 비교하여 비슷하거나 우수한 결과를 도출하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 기존의 디블록킹 방법들을 기술하고 위성영상에 적용 시 효율이 떨어지는 원인을 분석하며 제안하는 방법인 영상 분석을 이용한 soft threshold 기법, 적응적 디블록킹 필터, 그리고 WLFPCA에 대해 기술 하며 실험 결과를 보여준다. 마지막으로 결론에서 알고리즘의 요약 및 결론을 맺는다.

II. 기존의 디블록킹 필터

현재까지 제안된 많은 디블록킹 알고리즘들 중에 SA-DCT, FOE 알고리즘은 가장 우수하다는 평가를 받고 있다. 따라서 본 논문에서는 이 알고리즘들을 분석하고 위성영상 적용 시 문제점을 기술한다.

SA-DCT 알고리즘은 식(2)와 같이 LPA(local polynomial approximation)-ICI(intersection confidence of intervals)을 이용하여 8방향의 부채꼴 형태 윈도우를 합해 하나의 'support'라는 커널을 생성한다. 이 커널의 크기 또는 길이는 p 라는 포인트를 중심으로 이웃한 픽셀들에 따라 적응적으로 변하며 초기 포인트를 지정하는데 잡음으로 인한 에러를 줄이기 위하여 커널내의 평균을 계산한다.

$$U_p^+ = \cup_{p=1}^K \text{suppg}_{h^+(p, \theta_k), \theta_k} \quad (2)$$

식 (2)와 같은 커널을 이용하여(support 안에 있는 화소들은 동일한 처리를 하며)잡음을 제거 하거나 경계선일 경우 hard thresholding을 통하여 경계선을 보존 하는 방법을 이용한다.

위와 같은 방법으로 압축잡음을 제거하는 SA-DCT 알고리즘은 서론에서 언급한 바와 같이 사전 정보로 고정적인 양자화 테이블의 값을 정확히 알아야 효율적인 압축잡음 제거가 가능하다. 그러나 식 (3)과 같이 RCA(rate control algorithm)^[16]로 인해 양자화 테이블의 계수 값이 1로 동일하며 영상의 복잡도에 따라 가변적으로 변하는 위성영상에서는 그 효율성이 떨어진다.

$$Q_{\text{Satellite}} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \times K \quad (3)$$

정지영상에서 사용된 RCA 알고리즘은 총 인코딩 된 비트는 영상의 복잡도에 따라 비례한다고 가정하는데 여기서 복잡도는 DCT 된 계수 중에서 AC 계수와 밀접한 관련이 있다. 따라서 DCT를 통하여 얻은 복잡도를 A_i 라고 할 경우, 양자화 표준 테이블에 배율 (scale factor) K 를 곱한 가변적 양자화 테이블을 사용하게 된다. K 의 값은 영상의 복잡도 값 A_i 로부터 MPU (microprocessor unit)를 통해 계산되며 A_i 값은 처음 스캔을 하는 동안 인코더로부터 얻어진다^[16]. A_i 와 K 는 서로 비례관계에 있으며 MPU는 K 의 값을 인코더로 전송한다. 이와 같이 영상의 복잡도에 따라 가변적으로 양자화 테이블을 적용함으로써 위성체의 메모리의 효율적 활용이 가능 하다는 장점이 있다.

2007년 Sun은 FOE를 이용한 압축잡음제거 방법을 제안하였다. Sun은 일반적인 압축잡음제거 후처리 기법은 전형적인 역 문제(Inverse problem)이며 이는 확률적 관점에서 접근해야 한다고 가정 하였다. 따라서 이러한 역 문제를 MAP(maximum a posterior)추정을 이용하여 해결 하였으며 또한 잡음 모델 및 MRF(markove random field)기반의 FOE이론을 이용하여 압축잡음을 제거하였다. 그러나 이와 같이 확률적 관점에서 접근하는 방법은 계산량이 많고 반복기법으로 인하여 수행시간이 오래 걸린다는 단점을 가지고 있다.

따라서 가변적으로 변화하는 양자화 테이블에 적용이 가능하며 빠른 시간에 대용량의 위성 데이터를 처리할 수 있는 새로운 압축잡음 제거 알고리즘의 필요성이 제기 된다.

III. 제안하는 디블록킹 필터

1. 영상 분석

가. 경계선 검출

경계선 검출은 차등적 디블록킹 필터 또는 WLFPCA의 적용 여부를 판단하며 WLFPCA 적용 시 강도가 큰

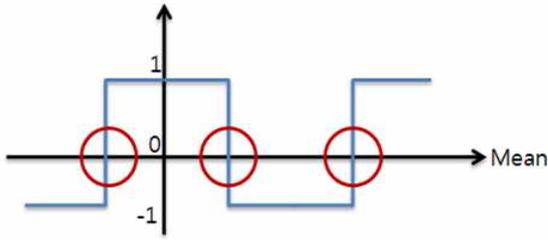


그림 4. 영점교차 검출(zero crossing) 그래프.
Fig. 4. Zero crossing graph.

곡선형 경계선을 검출하기 위해 사용된다. 본 논문에서는 1차 미분이기 때문에 계산량이 적으며 대각선 방향의 경계선을 검출 하는데 유용한 소벨 마스크를 이용하여 경계선을 검출하였다^[19].

또한, 경계선 검출과 더불어 영상 내에서 복잡한 부분과 복잡하지 않은 부분을 판단하기 위하여 영점교차 검출을 이용한다.

나. 영점교차검출(zero crossing)

영점교차검출은 열 단위로 동일한 양자화 스텝 크기를 적용하는 위성영상 압축 방식에서 발생하는 문제점의 해결을 위하여 이용한다. 열 단위로 동일한 양자화 스텝 크기가 적용되기 때문에 사전 정보인 양자화 스텝 크기만으로 알고리즘 적용 시 복잡도가 높은 부분 즉 영상의 경계선 부분도 평활화가 적용되는 문제점이 발생한다. 따라서 영점교차검출을 이용하여 동일 열 내에 복잡도를 판단한다.

일반적인 영점교차검출 방법은 두 번의 편미분을 통하여 신호가 변화하는 부분을 검출하지만 본 논문에서는 평균을 기준으로 신호가 변화하는 부분의 개수를 세는 방법으로 근사화 하여 계산량 및 수행시간을 줄였다^[17].

본 논문에서는 이용한 영점교차 방법은 영상 내 k 번째의 수평으로 이웃한 두 화소 $P_{x,y}$ 와 $P_{x+1,y}$ 를 그림 4와 같이 영상 내의 전체 평균을 기준으로 (-)에서 (+)

표 1. Sign change의 개수를 계산하는 의사코드
Table 1. Pseudo-code of counting the number of sign changes.

Require: computing average 1: Initialize $S_c = 0$ 2: if $P_{x,y} \times P_{x+1,y} < 0$ then $S_c = S_c + 1$ 3: end
--

로 변하는 개수를 계산하는데 그 과정은 표 1과 같다. 그림 4에서 원으로 표시된 부분은 표 1에서 S_c 를 나타내며 (-)에서 (+)로 변화하는 개수를 계산한 값이다.

표 1에서 평균은 영상의 전체 평균을 의미하며 24×24 블록내에 영상 전체 평균값을 기준으로 (+)에서 (-)값으로 변화하는 개수를 계산한다.

다. 양자화 스텝 크기 정보(Quantization step value)

그림 5는 KOMPSAT-2의 압축 알고리즘의 개요도를 나타내며 양자화 스텝 크기 정보는 앞서 언급한 바와 같이 사전 분석된 A_i 즉, 영상의 복잡도와 배율 K 그리고 가중치 인자 β 로 결정된다. 또한 그림 5에서 K는 버퍼(buffer)레벨을 결정하며 β 는 영상에 대한 적응적 예측 모델로 압축 비율을 결정한다.

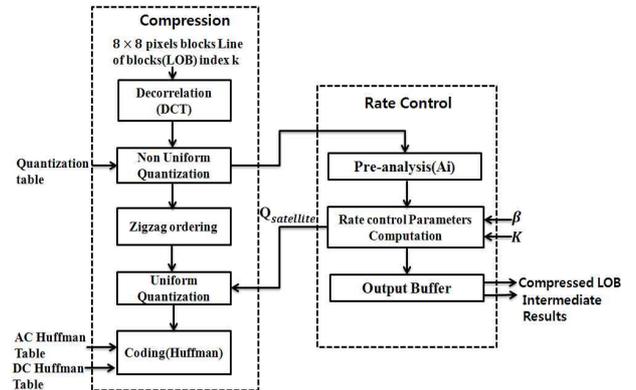


그림 5. KOMPSAT-2 압축 알고리즘의 개요도.
Fig. 5. Synoptic of the compression algorithm.

2. 적응적 디블록킹 필터

그림 6과 같이 인접한 두 블록에 수평, 수직으로 디블록킹 필터를 적용한다^[18]. 즉, $B_{x,y}$ 와 $B_{x+1,y}$ 의 $T_{x,y}$ 영역에 디블록킹 필터를 적용함으로써 두 영역간의 불연속성을 제거 한다. 점선은 각 블록의 중심을 나타내고 있으며, 본 논문에서는 이웃한 블록의 반씩을 고려하여 디블

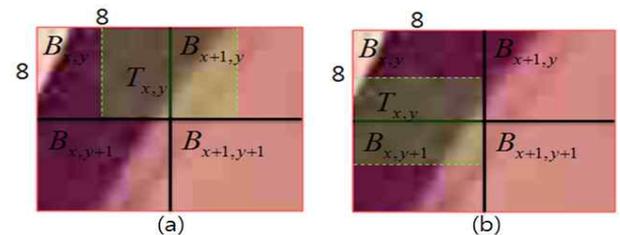


그림 6. (a) 수평방향, (b) 수직 방향 디블록킹 필터.
Fig. 6. (a) Horizontal and (b) vertical deblocking filter.

록킹 알고리즘을 적용하였다. 식(4)는 디블록킹 알고리즘을 나타내고 있다.

$$T = T_0 + \Delta \cdot h \quad (4)$$

여기서 T는 그림 6에서 점선으로 나타낸 고려 블록이며 이는 압축 전 영상의 블록 T_0 와 블록화 현상의 형태 h, 그리고 Δ 는 블록간의 차를 나타낸다. 경계 불연속과 벡터의 형태들은 독립적이기 때문에 필터링 된 블록을 \hat{T} 라고 하였을 때 식(5)과 같이 표현된다.

$$\hat{T} = T - \Delta \cdot h \quad (5)$$

디블록킹 필터는 단일 형태로 적용되며 $h = I_{8 \times 1} h_0$; 여기서 $I_{8 \times 1}$ 은 8×1 의 행 벡터를 의미 하며 h_0 는 열 벡터를 의미한다. 식(4)에 식(5)를 대입하면 필터링 된 결과와 블록화 현상이 있기 전 영상이 같은 결과가 나오는 것을 수식적으로 확인이 가능하다.

이 필터는 영상의 경계선을 보존하면서 블록화 현상을 효과적으로 제거한다. 이때, 디블록킹 필터의 강도는 앞서 계산된 각 블록 영점교차검출 개수 및 양자화 스텝 크기에 의해 결정되며 아래와 같은 soft threshold 기법을 적용하며 식 (6)와 같이 정의 된다.

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{for } x < t_1 \\ \frac{1}{t_2 - t_1}(x - t_1) & \text{for } t_1 \leq x \leq t_2 \\ 0 & \text{for } x > t_2 \end{cases} \quad (6)$$

식 (6)에서 $f(x)$ 는 입력 x 에 대한 가중치 함수를 의미하며 t_1, t_2 는 그림 7의 임계값을 의미 하며 그 값들은 실험적으로 결정되었다. 입력 x 를 앞서 구한 영점교차검출의 개수로 할 경우 $f(S_c)$ 가 1인 경우 복잡도가 낮은 부분, 0인 경우 복잡도가 높은 부분이라고 판단하여 차등적으로 알고리즘을 적용한다.

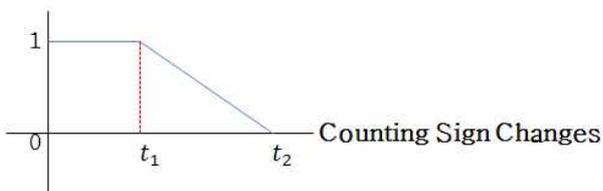


그림 7. 영점교차검출 개수에 따른 soft threshold 기법 그래프.

Fig. 7. Soft thresholding function decided by counting the number of zero crossing.

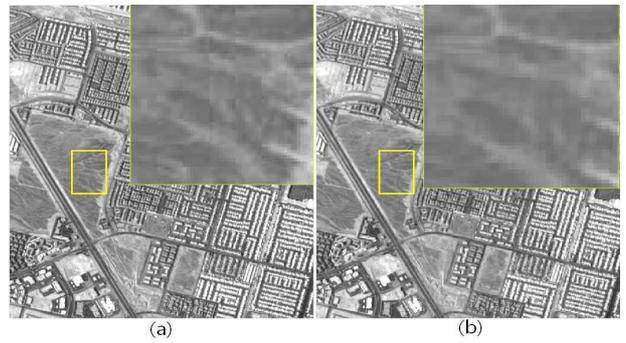


그림 8. (a) 압축된 위성영상과 (b) 디블록킹 필터 적용 후 위성영상.

Fig. 8. Result after applying: (a) Compressed satellite image and (b) deblocking filter to satellite image.

영점교차검출의 변화 개수 외에 다른 하나의 정보인 양자화 스텝 크기 정보를 가지고 알고리즘을 적용하는데 양자화 스텝 크기는 클수록 압축률이 높다는 것을 의미한다. 영점교차검출의 변화 개수를 기준으로 하는 soft threshold 기법은 복잡도에 따른 디블록킹 필터 및 WLFCA를 적용하기 위함 이었으며 양자화 스텝 크기에 따른 soft threshold 기법은 압축률에 따른 디블록킹 필터와 WLFPCA를 적용하기 위해 수행한다. 영점교차검출의 변화 개수를 기준으로 soft threshold 기법을 했던 방식과 반대로 적용한다. 따라서 스텝 크기와 복잡도는 비례관계에 있으며 이에 따라 차등적으로 필터링을 한다.

그림 8은 적응적 디블록킹 필터를 적용한 결과 영상을 보여 주고 있다. 우측상단은 부분적으로 확대한 결과이며 압축되는 과정에서 발생한 격자 잡음이 제거된 모습을 확인 할 수 있다.

3. Weighted Low-pass Filter using PCA (Principle Components Analysis)

일반적으로 계단형 잡음은 반복 프로세싱을 하여 제거하는데 비해 본 논문에서는 싱글 패스로 시간을 단축 하였으며 반복 프로세싱을 한 결과와 동일한 결과를 제시한다. 제안하는 계단형 잡음 제거 알고리즘은 앞서 구한 경계선 검출을 통해 얻은 경계선들 중 큰 값 즉, 큰 경계선에 아래와 같은 과정의 WLFPCA를 적용하여 계단형 잡음을 제거 한다.

1. 아래 수식을 이용하여 5×5 블록 내 영상의 평균을 구한다.

$$m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (7)$$

2. 전체 영상에서 평균 이미지를 뺀 이미지 \bar{x}_i 를 구한 후 하나의 행렬(\bar{X})로 만든다.

$$\bar{x}_i = x_i - m \quad (8)$$

$$\bar{X} = [\bar{x}_1 | \bar{x}_2 | \dots | \bar{x}_n] \quad (9)$$

3. 이렇게 얻어진 행렬을 이용해서 공분산(Covariance) 행렬(Ω)을 만드는데 그 식은 아래와 같다.

$$\Omega = \bar{X}^T \bar{X} \quad (10)$$

4. 이 공분산 행렬에서 데이터 값을 가장 잘 표현하는 orthogonal 벡터인 고유벡터(eigenvectors) X 와 고유값(eigenvalues) λ 를 구한다.

$$\Omega X = \lambda X \quad (11)$$

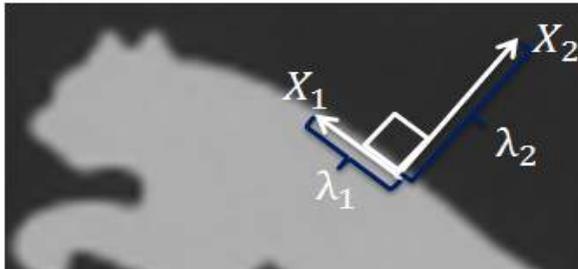


그림 9. 고유값과 고유벡터를 이용한 경계선 방향 및 크기 검출.

Fig. 9. Calculate edge direction and value by eigenvectors and eigenvalues.

5. 앞서 구한 고유벡터(X_1, X_2)와 고유값(λ_1, λ_2)을 그림 9와 같이 나타낼 수 있으며 이 값과 방향을 이용하여 장축과 단축을 구한 후 장축과 단축의 비율을 이용해 일정 값 이상 일 경우 경계선으로 판단한다.

$$T_{edge} = \begin{cases} Edge & \text{if, } \lambda_1 \gg \lambda_2 > 1 \\ Flat & \text{else, } \lambda_1 \ll \lambda_2 \ll 1 \end{cases} \quad (12)$$

6. PCA의 결과로 나온 고유벡터(X_1, X_2)와 고유치

(λ_1, λ_2)를 통해 경계선의 방향과 강도를 얻을 수 있으며 그 강도는 가중치(ω)를 통해서 나타내진다. 가중치를 구하는 알고리즘의 코드는 표 2와 같다. 표 2에서 φ 는 가중치를 구하기 위한 값이며 실험적으로 결정된 α, β 의 차를 통해 계산된다.

7. 최종 필터링 결과인 \hat{I} 을 계산하기 위해 표 2를 통해 정해진 가중치 값은 식(13)에 대입된다.

표 2. Weighted lowpass filter를 에지의 방향에 따라 적용하는 의사코드
Table 2. Pseudo-code of weighted lowpass filter by edge direction.

```

1: if  $\lambda_1 < \beta \times \lambda_2$  then  $\omega = 0$ 
2: else if  $\lambda_1 < \left\{ (\beta + \frac{\varphi + 2}{4}) \times \lambda_2 \right\}$  then  $\omega = 4$ 
3: else if  $\lambda_1 < \left\{ (\beta + \frac{\varphi + 1}{2}) \times \lambda_2 \right\}$  then  $\omega = 8$ 
4: else if  $\lambda_1 < \left\{ \beta + \frac{(\varphi \times 3 + 2)}{4} \times \lambda_2 \right\}$  then  $\omega = 12$ 
5: else if  $\lambda_1 < (\beta + \varphi) \times \lambda_2$  then  $\omega = 16$ 
6: else  $\omega = 20$ 
7: end
    
```

$$\hat{I} = \begin{cases} \frac{((32 - \omega) \times T + \omega \times E_d + 16)}{32} & \text{if, } \omega \neq 0 \\ \hat{T} & \text{else} \end{cases} \quad (13)$$

T는 입력영상, \hat{I} 은 디블리킹 필터를, E_d 는 경계선의 방향을 고려한 값으로 실험적으로 정해졌다.

VI. 위성영상 및 일반영상에 대한 성능평가

본 논문에서는 제안한 압축잡음 제거 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 위성영상 및 일반영상에 대하여 모의실험을 행하였다. 위성영상은 3792×32352 화소 크기의 위성영상을 모의실험을 위하여 512×512화소 크기로 자른 영상을 일반영상은 512×512화소 크기의 영상을 사용하였다. 위성영상 및 일반 영상에 대한 비교 실험은 현재 우수한 평가를 받고 있는 SA-DCT^[14], FOE^[15]알고리즘과의 비교를 통하여 위성영상뿐만 아니라 일반 영상에서 발생하는 압축잡음 제거에도 적용이

가능함을 보이기 위해 수행 되었다.

객관적 화질 비교의 척도로는 PSNR(peak signal to noise ratio), MSSIM^[20](mean structural similarity)을 측정하였다. PSNR은 이해하기 쉬우며 구현이 간단하다는 장점이 있어 화질 평가에 자주 이용되지만 시각적 인지의 화질과 충분히 일치하지 않는다는 문제점이 있다. 따라서 최근 화질 평가의 주요 관심은 HVS(human visual system)의 특성을 이용한 연구에 초점이 맞추어져 많은 연구가 진행 되었으며 SSIM은 인지 영상 화질에 좋은 근사치를 제공하고 있다.

알고리즘의 시간측정을 위하여 512×512화소 크기의 영상에 비교 알고리즘과 제안하는 알고리즘을 적용한 시간을 측정 하였다. 이러한 실험은 Intel(R) Core(TM) 2 Quad 2.83GHz CPU, 3.25GB RAM, MATLAB® 환경에서 수행 되었다.

1. 위성영상에 대한 실험

위성영상에 대한 실험결과 그림 10결과와 같이 저주파 성분이 많은 부분에서 나타나는 격자 잡음은 적응적 디블록킹 필터를 적용하여 제거 하였으며 그림 11의 결과와 같이 복잡도가 높은 부분 즉, 고주파 성분이 많은 부분은 영점교차 검출 방법을 이용하여 평활화를 최소화 시켜 경계선을 보존하였다. 이와 같이 디테일(detail)이 많은 부분은 보존함으로써 알고리즘 적용 후

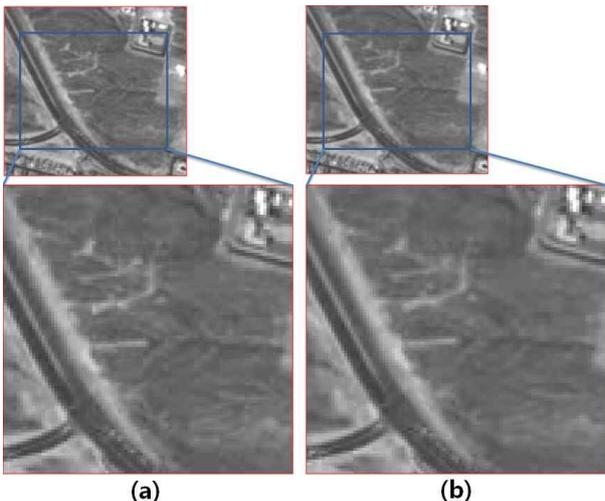


그림 10. 위성영상 실험 결과: (a) 압축된 위성영상, (b) 제안하는 알고리즘이 적용된 위성영상.

Fig. 10. Result of test in satellite image : (a) Compressed satellite image; and (b) applied proposed algorithm to compressed satellite image.

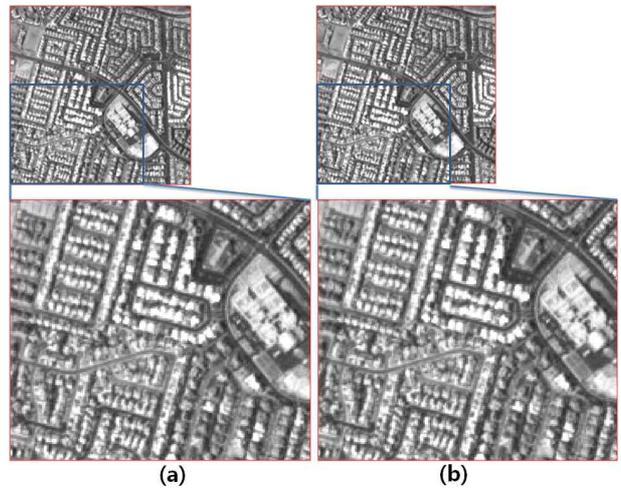


그림 11. 위성영상 실험 결과: (a) 압축된 위성영상; (b) 제안하는 알고리즘이 적용된 위성영상.

Fig. 11. Result of test in satellite image : (a) Compressed satellite image; and (b) applied proposed algorithm to compressed satellite image.

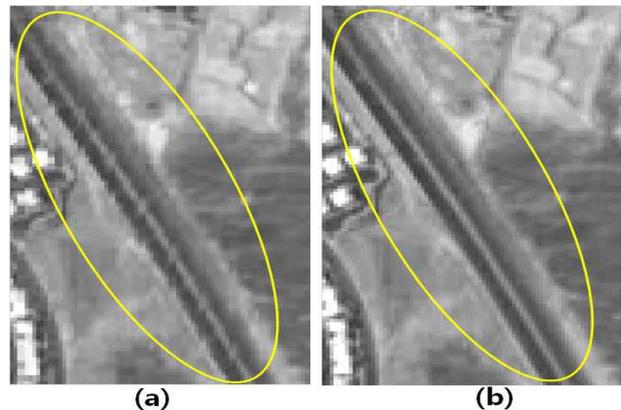


그림 12. 위성영상 실험 결과: (a) 디블록킹 필터만 적용한 압축된 위성영상; (b) 디블록킹 필터 및 WLFPCA를 적용한 압축된 위성영상.

Fig. 12. Result of test in satellite image: (a) Applied deblocking filter only to compressed satellite image; and (b) applied deblocking filter and WLFPCA to compressed satellite image.

에 발생하는 정보 손실을 최소화 시켰다. 또한 그림 12의 결과에서 보여 주듯이 큰 곡선형 경계선의 계단잡음을 제거함으로써 화질을 개선시켰다.

그림 13에서 보여주는 것과 같이 위성영상은 높은 해상도로 촬영을 되기 때문에 픽셀간의 변화가 크며 또한 가변적인 양자화 테이블로 인하여 기존의 방법들을 위성영상에 적용 시 의도하지 않은 부분 즉, 영상의 작은 디테일(detail)성분까지 평활화 시키는 문제가 발생하게 된다.

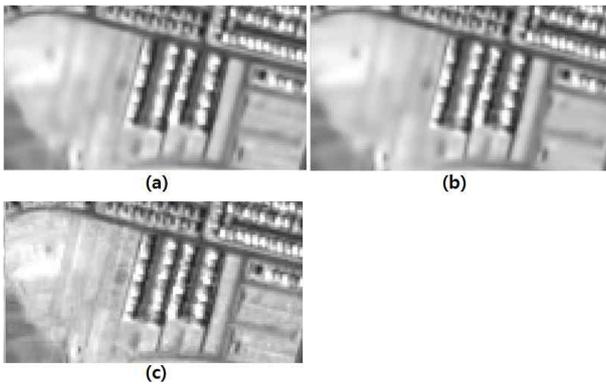


그림 13. 위성영상에 대한 비교실험: (a) SA-DCT 방법; (b) FOE 방법; (c) 제안하는 방법.

Fig. 13. Competitive results of satellite image: (a) SA-DCT method; (b) FOE method; and (c) proposed method.

2. 일반 영상에 대한 실험

실험은 그림 14와 같이 4개의 실험영상에 대해 SA-DCT^[14], FOE^[15]방법과 제안하는 방법과의 PSNR, MSSIM 및 프로세싱 시간을 비교 하였다.

(1) PSNR(peak sinal to noise ratio)

PSNR은 식 (14)와 같이 계산되었으며 512×512 화소 크기의 영상에 대한 측정 결과는 그림 15와 같다.

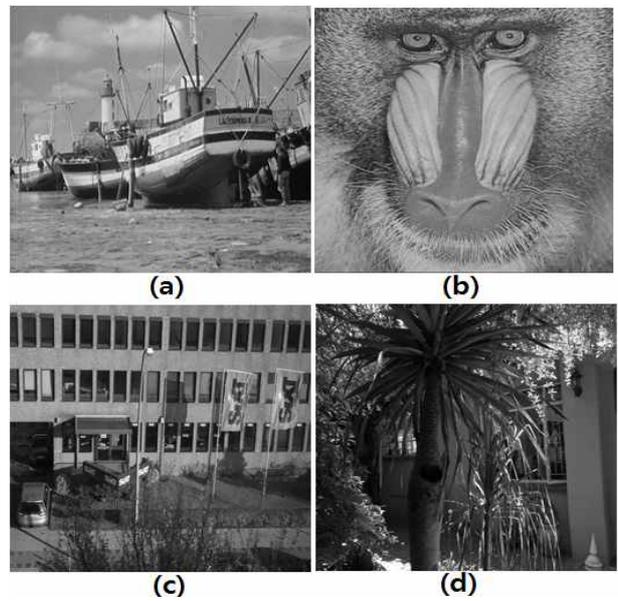


그림 14. 모의실험에 사용된 일반 영상: (a) Boats; (b) Baboon; (c) Big-building; (d) Big-tree.

Fig. 14. Test images: (a) Boats; (b) Baboon; (c) Big-building; and (d) Big-tree.

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{MAX^2}{MSE} \tag{14}$$

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [I(i,j) - K(i,j)]^2 \tag{15}$$

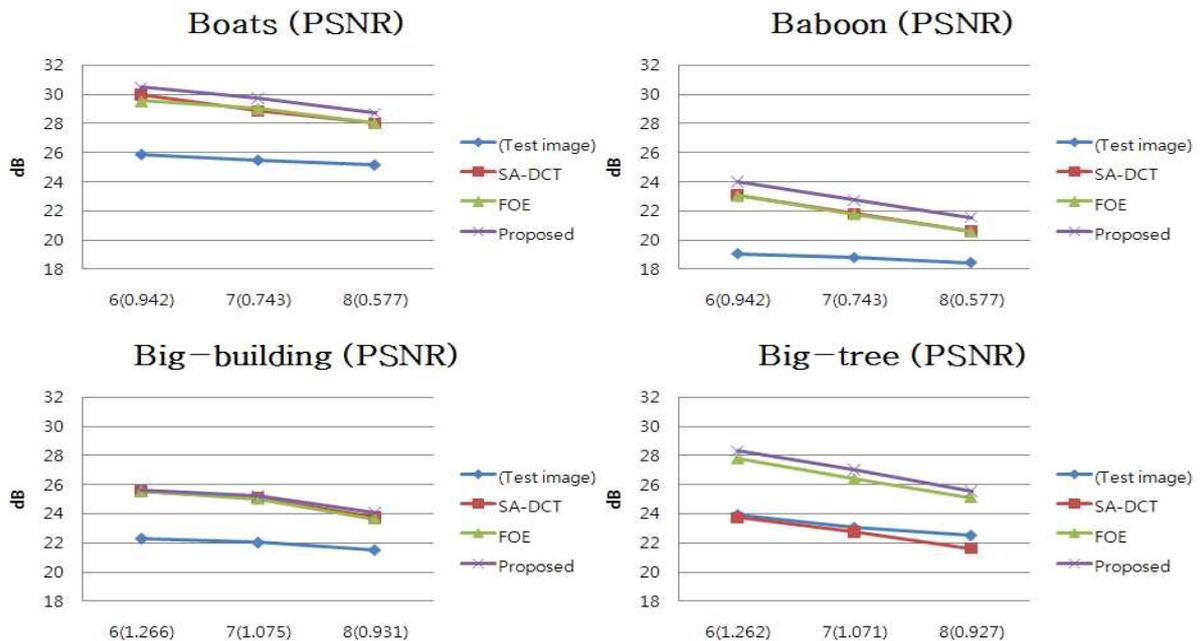


그림 15. 비교 알고리즘들과 제안 알고리즘과의 PSNR 결과.
Fig. 15. Competitive results of PSNR.

그림 15에서 가로축은 압축률(bpp)를 의미하며 압축률이 높을수록 압축을 많이 했음을 의미한다. 6부터 8까지의 압축률에 따라 실험을 진행하였으며 제안하는 알고리즘은 Baboon 영상에서는 평균 3.98dB, Big-tree 영상에서는 평균 3.81dB, Big-building 영상에서는 평균 3.02dB, Boats 영상에서는 평균 4.13dB 향상되었다. 또한 비교 알고리즘들 보다 0.09~0.9dB 우수함을 확인하였다.

(2) SSIM(structural similarity)

SSIM은 식 (16)와 같이 정의 된다.

$$SSIM(x,y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)} \quad (16)$$

MSSIM은 SSIM의 측정 값을 평균값(mean)으로 나타낸 값을 의미하며 식 (17)과 같이 정의된다.

$$MSSIM(x,y) = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M SSIM(x_j,y_j) \quad (17)$$

MSSIM은 에러에 대한 민감도를 측정하기 보다는 화질 왜곡의 정도를 측정하는 지표로 활용이 되며 MSSIM 측정값은 1.0에 가까울수록 우수한 성능을 나타낸다.

표 3은 비교알고리즘들과의 측정 수치를 나타낸다. 표 3에서 보여 주는 것과 같이 제안하는 알고리즘은 비교 알고리즘들과 소수점 둘째 자리의 차이를 보이거나 또는 더 우수한 수치를 나타내고 있다.

(3) Processing time

그림 16은 비교 방법과 제안하는 방법 간의 프로세싱 시간 차이를 나타내고 있다. 제안하는 방법이 512×512 화소 크기 영상에서 FOE 방법 보다는 평균 340.2초, SA-DCT 방법 보다는 7.85초 시간을 단축시켰다.

표 3. 비교 알고리즘들과 제안 알고리즘간의 MSSIM 결과.
Table 3. Competitive results of MSSIM.

Baboon				Big-tree			
Compression ratio(bpp)	SA-DCT	FOE	Proposed	Compression ratio(bpp)	SA-DCT	FOE	Proposed
6(0.942)	0.9081	0.9074	0.9164	6(1.262)	0.93	0.9286	0.9558
7(0.743)	0.9065	0.8794	0.8842	7(1.071)	0.9046	0.9282	0.9343
8(0.577)	0.8361	0.885	0.8431	8(0.927)	0.9309	0.9093	0.9116
Big-building				Boats			
Compression ratio(bpp)	SA-DCT	FOE	Proposed	Compression ratio(bpp)	SA-DCT	FOE	Proposed
6(1.266)	0.9187	0.9244	0.9356	6(0.942)	0.9308	0.9299	0.9606
7(1.075)	0.9065	0.9096	0.9171	7(0.743)	0.9389	0.9111	0.9498
8(0.931)	0.9065	0.8222	0.8873	8(0.577)	0.9088	0.9129	0.9316

Processing time

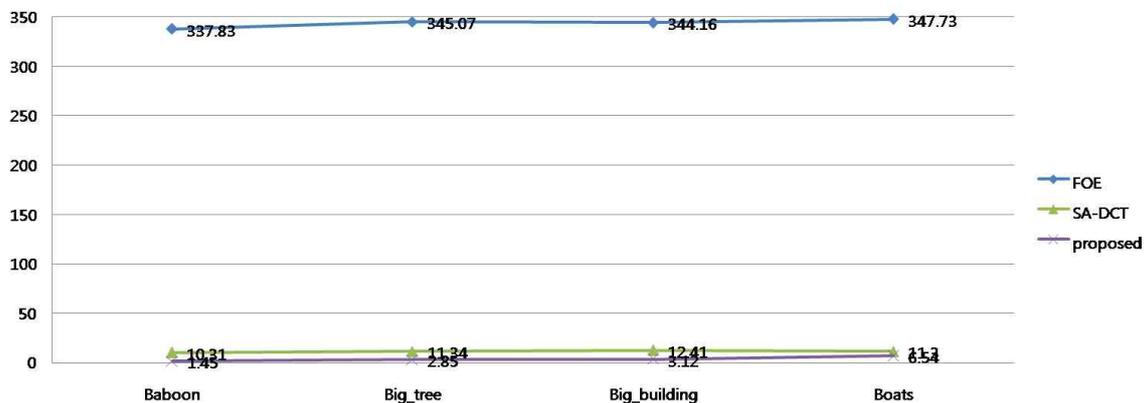


그림 16. 비교 알고리즘들과 제안 알고리즘간의 시간 측정 결과.
Fig. 16. Competitive results of processing time.

V. 결 론

본 논문에서는 복잡한 부분 즉, 고주파 성분이 많은 부분을 압축하며 라인 단위로 동일한 양자화 스텝 크기를 적용하고 양자화 테이블 계수 값이 가변적으로 변하는 위성영상 압축 방식에서 발생하는 화질열화 즉, 압축잡음을 내용분석(영점교차 검출, 경계선 검출) 및 양자화 스텝 크기 정보를 이용한 차등적 디블록킹 필터를 사용하여 경계선을 보존하면서 격자 잡음을 제거하였다

동시에 싱글 패스 방식인 WLFPCA를 통해 큰 곡선형 경계선의 계단 잡음도 효율적으로 제거하는 알고리즘을 제안하였다.

모의실험을 통해 본 알고리즘은 위성영상 뿐만 아니라 일반 영상에도 기존의 방법들에 비해 PSNR은 평균 약 0.58dB 향상된 결과를 나타내었으며 MSSIM 측정값은 평균 약 0.0147 향상된 결과를 보여 시각적으로 인지하는 화질 평가 부분에서도 더 우수함을 확인 하였으며, 프로세싱 시간을 크게 단축 시켰다.

참 고 문 헌

- [1] G.K. Wallace, "The JPEG still picture compression standard," *IEEE Transaction on Consumer Electronics*, vol.38, no. 1, pp. 108~124, 1992.
- [2] Motion Picture Experts Group, "MPEG test model 5 draft revision 2," 1993.
- [3] Information Technology-JPEG2000 Image Coding Systems, Final Committee Draft Version 1.0, ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 1 N1646R, 2000
- [4] P.-S. Yeh, "Implementation of CCSDS lossless data compression for space and data archival applications", *Proceedings of the Space Operations Conference*, 2002.
- [5] G. Yua, T. Vladimirovaa, and M.N. Sweeting, "Image compression systems on board satellites", *Acta Astronautica*, Vol. 64, Issues 9-10, pp. 988-1005, 2009.
- [6] G.A. Moury, C. Latry, "In-orbit commissioning of SPOT5 image compression function", *Proceedings of the SPIE on Earth Observing Systems VIII*, vol.5151, pp.540-551, 2003.
- [7] D.H. Lee, D.C. Seo, J.H. Song, M.J. Choi, H.S. Lim, "Summary of Calibration and Validation for KOMPSAT-2," *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. XXXVII, Part B1, pp.53, 2008.
- [8] Y. L. Lee, H. C. Kim, and H. W. Park, "Blocking effect reduction of JPEG images by signal adaptive filtering," *IEEE Transaction on Image Processing*, vol. 7, pp. 229-234, 1998.
- [9] M.-Y. Shen and C.-C. J. Kuo, "Review of postprocessing techniques for artifact removal," *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 9(1), pp. 2-14, 1998.
- [10] G. Zhai, W. Lin, J. Cai, X. Yang, W. Zhang, "Efficient quadtree based block-shift filtering for deblocking and deranging," *Journal of Visual Communication Image Representation*, no. 20, pp.595-607, 2009.
- [11] H. Paek, R.C. Kim, and S.U. Lee, "On the POCS-based postprocessing techniques to reduce the blocking artifacts in transform coded images," *IEEE Transaction on Circuits System. Video Technology*, vol. 8, pp. 358-367, 1998.
- [12] B. Ramamurthi and A. Gersho, "Nonlinear space-variant postprocessing of block coded images", *IEEE Transaction on Acoustic, Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-34, pp.1258-1268, 1986.
- [13] H.C. Kim and H. W. Park, "Signal adaptive postprocessing for deblocking effects reduction in JPEG image", *Proceedings of International Conference on Image Processing*, vol. 2, pp. 41-44, 1996.
- [14] A. Foi, V. Katkovnik, and K. Egiazarian, "Point shape-adaptive DCT for high-quality denoising and deblocking of grayscale and color images," *IEEE Transaction on image processing*, vol. 16, pp. 1395-1411, 2007.
- [15] D. Sun, and W. Cham, "Postprocessing of low bit-rate block DCT coded images based on a fields of experts prior," *IEEE Transaction on Circuits System Video Technology*, Vol.16, pp. 2743-2751, 2007.
- [16] M. Nakagawa, M. Sasaki, Y. Ishizawa, "DCT-based still image compression ICS with bit-rate control", *IEEE Transaction on Consumer Electronics*, Vol. 38, pp. 711-717, 1992.
- [17] S.K. Lee, "Edge statistics-based image scale ratio and noise strength estimation in DCT-coded images," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 55, pp. 2139-2144, 2009.
- [18] S.K. Lee, "Simple deblocking algorithm in the compressed domain for real-time application,"

Optical engineering, 47(6), 067001, 2008.

- [19] Rafael C. Gonzales, Richard E. Woods, Steven L. Eddins, "Digital image processing using MATLAB," *Prentice-Hall*, 2004.
- [20] Z. Wang, A.C. Bovik, Hamid R. Sheikh and Eero P. Simoncelli, "Image quality assessment: from error visibility to structural similarity," *IEEE Transaction on image processing*, vol. 13, pp. 600-612, 2004.

— 저 자 소 개 —



최 태 현(학생회원)
2008년 호서대학교 전자공학과
학사 졸업.
2009년~현재 중앙대학교
첨단영상대학원 영상학과
석사졸업.

<주관심분야 : 영상 신호처리, 영상복원, 영상압축>



박 준 훈(학생회원)
2010년 대구대학교 전자제어공학과
학사 졸업.
2011년 중앙대학교 첨단영상
대학원 영상학과 석사 과정.
<주관심분야 : 영상 신호처리, 스테레오 비전, 파노라마 영상>



지 정 민(학생회원)
2007년 중앙대학교 컴퓨터공학과
학사 졸업.
2009년 중앙대학교 컴퓨터공학과
석사 졸업.
2011년~현재 중앙대학교 첨단
영상대학원 영상학과
박사 과정.

<주관심분야: 3차원 재구성, 초고해상도>



최 명 진(정회원)
2000년 숭실대학교 수학과
학사 졸업.
2002년 한국과학기술원 수학과
석사 졸업.
2007년 한국과학기술원 수학과
박사 졸업.

2007년~현재 한국항공우주연구원 선임연구원
2009년~현재 과학기술연합대학원 겸임조교수
<주관심분야 : 응용수학, 원격탐사, 영상처리, 고성능컴퓨팅>



이 상 근(평생회원)-교신저자
1996년 중앙대학교 전자공학과
학사 졸업.
1999년 중앙대학교 전자공학과
석사 졸업.
2003년 조지아공과대학교 전기 및
컴퓨터 공학과 박사 졸업.

2008년~현재 중앙대학교 첨단영상대학원
영상공학과 부교수.

<주관심분야: 멀티미디어 신호 및 통신, 영상 압축, 영상 개선 및 복구, 영상 검색, 컬러 보정 >