



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0027092
(43) 공개일자 2019년03월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04N 19/124 (2014.01) H04N 19/182 (2014.01)
H04N 19/44 (2014.01)
(52) CPC특허분류
H04N 19/124 (2015.01)
H04N 19/182 (2015.01)
(21) 출원번호 10-2017-0113672
(22) 출원일자 2017년09월06일
심사청구일자 2017년09월06일

(71) 출원인
인천대학교 산학협력단
인천광역시 연수구 아카데미로 119 (송도동)
(72) 발명자
전광길
인천광역시 연수구 경원대로119번길 21, 114동
904호(동춘동, 풍림2차아파트)
(74) 대리인
특허법인충정

전체 청구항 수 : 총 14 항

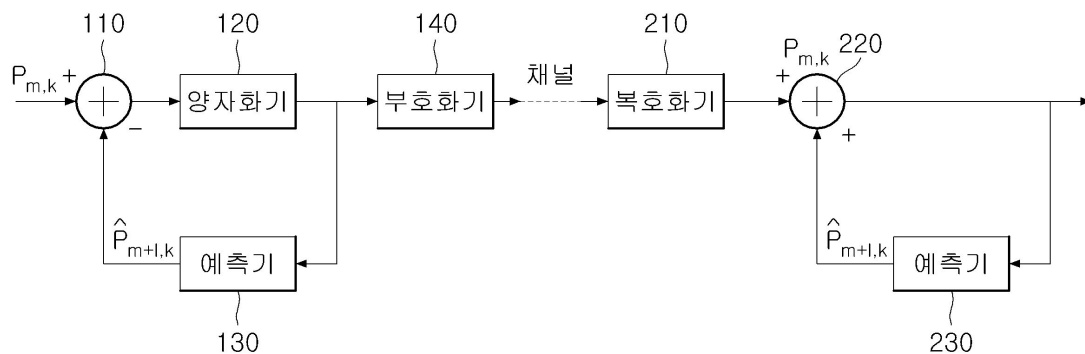
(54) 발명의 명칭 오로라 무손실 압축 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 오로라 무손실 압축 장치 및 방법에 관한 것이다.

또한, 본 발명에 따르면, M개의 밴드와 K개의 스펙트럼 선으로 이루어진 오로라 스펙트럼 이미지를 입력받아, k 번째 스펙트럼 선의 m 밴드의 측정 픽셀값에서 k번째 스펙트럼 선의 m+1 밴드의 예측 픽셀값을 감산한 예측 오차 신호를 출력하는 비교기; 상기 비교기에서 출력되는 예측 오차 신호를 양자화하여 출력하는 양자화기; 상기 양자화기에 의해 양자화된 예측 오차 신호를 입력받아 k번째 스펙트럼 선의 m+1 밴드의 예측 픽셀값을 생성하여 출력하는 제1 예측기; 및 양자화된 예측 오차 신호에 비트를 할당하여 부호화하여 채널을 통해 전달하는 부호화기를 포함하는 오로라 무손실 압축 장치 및 방법을 제공한다.

대표도



(52) CPC특허분류

H04N 19/44 (2015.01)

명세서

청구범위

청구항 1

M개의 밴드와 K개의 스펙트럼 선으로 이루어진 오로라 스펙트럼 이미지를 입력받아, k번째 스펙트럼 선의 m 밴드의 측정 픽셀값에서 k번째 스펙트럼 선의 m+1 밴드의 예측 픽셀값을 감산한 예측 오차 신호를 출력하는 비교기;

상기 비교기에서 출력되는 예측 오차 신호를 양자화하여 출력하는 양자화기;

상기 양자화기에 의해 양자화된 예측 오차 신호를 입력받아 k번째 스펙트럼 선의 m+1 밴드의 예측 픽셀값을 생성하여 출력하는 제1 예측기; 및

양자화된 예측 오차 신호에 비트를 할당하여 부호화하여 채널을 통해 전달하는 부호화기를 포함하며, 여기에서 M, m, K, k는 자연수인 오로라 무손실 압축 장치.

청구항 2

청구항 1항에 있어서,

상기 부호화기에서 부호화되어 전달된 양자화된 예측 오차 신호를 복호화하여 출력하는 복호화기;

상기 복호화기에서 출력되는 양자화된 예측 오차 신호에 k번째 스펙트럼 선의 m+1 밴드의 예측 픽셀값을 가산하여 측정 픽셀값을 복원하여 출력하는 가산기; 및

상기 가산기에 출력을 입력받아 k번째 스펙트럼 선의 m+1 밴드의 예측 픽셀값을 생성하여 상기 가산기로 출력하는 제2 예측기를 더 포함하는 오로라 무손실 압축 장치.

청구항 3

청구항 2항에 있어서,

상기 제2 예측기는 아래 수학식 6을 사용하여 k번째 스펙트럼 선의 m+1 밴드의 예측 픽셀값 $\hat{p}_{m+1,k}$ 을 생성하는 것을 특징으로 하는 오로라 무손실 압축 장치.

(수학식 6)

$$\hat{p}_{m+1,k} = \sum_{i=0}^{N-1} \alpha_{i+1} p_{m+1,k-N+i}$$

여기에서, N은 예측 차수를 나타내고, α_{i+1} 은 i+1 차수의 계수이며, $p_{m+1,k-N+i}$ 는 k-N+i 번째 스펙트럼 선의 m+1 밴드의 측정 픽셀값이다.

청구항 4

청구항 1항에 있어서,

상기 제1 예측기는 아래 수학식 6을 사용하여 k번째 스펙트럼 선의 m+1 밴드의 예측 픽셀값 $\hat{p}_{m+1,k}$ 을 생성하는 것을 특징으로 하는 오로라 무손실 압축 장치.

(수학식 6)

$$\hat{p}_{m+1,k} = \sum_{i=0}^{N-1} \alpha_{i+1} p_{m+1,k-N+i}$$

여기에서, N은 예측 차수를 나타내고, α_{i+1} 은 $i+1$ 차수의 계수이며, $p_{m+1,k-N+i}$ 는 $k-N+i$ 번째 스펙트럼 선의 $m+1$ 번드의 측정 픽셀값이다.

청구항 5

청구항 3항 또는 청구항 4항에 있어서,

상기 예측 차수 N은 4인 오로라 무손실 압축 장치.

청구항 6

청구항 3항 또는 청구항 4항에 있어서,

상기 α_{i+1} 는 계수 벡터 $\hat{\alpha}$ 으로부터 예측 차수가 N 일 때 다음 수학식 4와 5의 행렬 형태로 산출할 있는 오로라 무손실 압축 장치.

(수학식 4)

$$\hat{\alpha} = (X_m^T X_m)^{-1} X_m^T y$$

(수학식 5)

$$\begin{aligned} \hat{\alpha} &= [\hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2, \dots, \hat{\alpha}_N]^T \\ y &= [p_{1,k}, p_{2,k}, \dots, p_{m,k}]^T \\ X_m &= \begin{bmatrix} p_{1,k-N} & p_{1,k-N+1} & \dots & p_{1,k-1} \\ p_{2,k-N} & p_{2,k-N+1} & \dots & p_{2,k-1} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ p_{m,k-N} & p_{m,k-N+1} & \dots & p_{m,k-1} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

여기에서, y는 k번째 스펙트럼 선의 측정값 벡터이고, $\hat{\alpha}$ 는 계수 벡터이며, $\hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2, \hat{\alpha}_3, \dots, \hat{\alpha}_N$ 은 1차, 2차, 3차, ..., N차 결정 계수이고, X_m 은 보조 행렬을 나타낸다.

청구항 7

청구항 3항 또는 청구항 4항에 있어서,

상기 α_{i+1} 는 픽셀 $p_{m-1,k}$ 의 계수가 $\alpha_{m-1} = [\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k]^T$ 이고, $P_m = (X_m^T X_m)^{-1}$, $y_{m-1} = [p_{1,k}, p_{2,k}, \dots, p_{m-1,k}]^T$ 및 $\Phi_m = [p_{m,k-N}, p_{m,k-N+1}, \dots, p_{m,k-1}]^T$ 로 정의하고, X_m 은 보조 행렬이며, 만약 $1 + \Phi_m^T P_{m-1} \Phi_m \neq 0$ 라면 다음 수학식 7로부터 산출되는 오로라 무손실 압축 장치.

(수학식 7)

$$\begin{aligned} P_m &= \left(I - \frac{P_{m-1} \Phi_m \Phi_m^T}{1 + \Phi_m^T P_{m-1} \Phi_m} \right) P_{m-1} \\ \alpha_m &= \alpha_{m-1} + P_m \Phi_m (p_{m,k} - \Phi_m^T \alpha_{m-1}) \end{aligned}$$

청구항 8

(A) 비교기가 M개의 밴드와 K개의 스펙트럼 선으로 이루어진 오로라 스펙트럼 이미지를 입력받는 단계;

- (B) 제1 예측기가 양자화된 예측 오차 신호를 입력받아 k번째 스펙트럼 선의 m+1 밴드의 예측 픽셀값을 생성하여 출력하는 단계;
- (C) 상기 비교기가 k번째 스펙트럼 선의 m 밴드의 측정 픽셀값에서 k번째 스펙트럼 선의 m+1 밴드의 예측 픽셀값을 감산한 예측 오차 신호를 양자화기로 출력하는 단계;
- (D) 양자화기가 상기 비교기에서 출력되는 예측 오차 신호를 양자화하여 출력하는 단계; 및
- (E) 부호화기가 양자화된 예측 오차 신호에 비트를 할당하여 부호화하여 채널을 통해 전달하는 단계를 포함하며, 여기에서 M, m, K, k는 자연수인 오로라 무손실 압축 방법.

청구항 9

청구항 8항에 있어서,

- (F) 복호화기가 상기 부호화기에서 부호화되어 전달된 양자화된 예측 오차 신호를 복호화하여 출력하는 단계;
- (G) 제2 예측기가 가산기에 출력을 입력받아 k번째 스펙트럼 선의 m+1 밴드의 예측 픽셀값을 생성하여 상기 가산기로 출력하는 단계; 및
- (H) 상기 가산기는 상기 복호화기에서 출력되는 양자화된 예측 오차 신호에 k번째 스펙트럼 선의 m+1 밴드의 예측 픽셀값을 가산하여 측정 픽셀값을 복원하여 출력하는 단계를 더 포함하는 오로라 무손실 압축 방법.

청구항 10

청구항 9항에 있어서,

상기 (G) 단계에서 상기 제2 예측기는 아래 수학적 식 6을 사용하여 k번째 스펙트럼 선의 m+1 밴드의 예측 픽셀값 $\hat{p}_{m+1,k}$ 을 생성하는 것을 특징으로 하는 오로라 무손실 압축 방법.

(수학적 식 6)

$$\hat{p}_{m+1,k} = \sum_{i=0}^{N-1} \alpha_{i+1} p_{m+1,k-N+i}$$

여기에서, N은 예측 차수를 나타내고, α_{i+1} 은 i+1 차수의 계수이며, $p_{m+1,k-N+i}$ 는 k-N+i 번째 스펙트럼 선의 m+1밴드의 측정 픽셀값이다.

청구항 11

청구항 8항에 있어서,

상기 (B) 단계의 상기 제1 예측기는 아래 수학적 식 6을 사용하여 k번째 스펙트럼 선의 m+1 밴드의 예측 픽셀값 $\hat{p}_{m+1,k}$ 을 생성하는 것을 특징으로 하는 오로라 무손실 압축 방법.

(수학적 식 6)

$$\hat{p}_{m+1,k} = \sum_{i=0}^{N-1} \alpha_{i+1} p_{m+1,k-N+i}$$

여기에서, N은 예측 차수를 나타내고, α_{i+1} 은 i+1 차수의 계수이며, $p_{m+1,k-N+i}$ 는 k-N+i 번째 스펙트럼 선의 m+1밴드의 측정 픽셀값이다.

청구항 12

청구항 10항 또는 청구항 11항에 있어서,

상기 예측 차수 N은 4인 오로라 무손실 압축 방법.

청구항 13

청구항 10항 또는 청구항 11항에 있어서,

상기 α_{i+1} 는 계수 벡터 $\hat{\alpha}$ 으로부터 예측 차수가 N 일 때 다음 수학적 식 4와 5의 행렬 형태로 산출할 있는 오로라 무손실 압축 방법.

(수학적 식 4)

$$\hat{\alpha} = (X_m^T X_m)^{-1} X_m^T y$$

(수학적 식 5)

$$\begin{aligned} \hat{\alpha} &= [\hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2, \dots, \hat{\alpha}_N]^T \\ y &= [p_{1,k}, p_{2,k}, \dots, p_{m,k}]^T \\ X_m &= \begin{bmatrix} p_{1,k-N} & p_{1,k-N+1} & \dots & p_{1,k-1} \\ p_{2,k-N} & p_{2,k-N+1} & \dots & p_{2,k-1} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ p_{m,k-N} & p_{m,k-N+1} & \dots & p_{m,k-1} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

여기에서, y는 k번째 스펙트럼 선의 측정값 벡터이고, $\hat{\alpha}$ 는 계수 벡터이며, $\hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2, \hat{\alpha}_3, \dots, \hat{\alpha}_N$ 은 1차, 2차, 3차, ..., N차 결정 계수이고, X_m 은 보조 행렬을 나타낸다.

청구항 14

청구항 10항 또는 청구항 11항에 있어서,

상기 α_{i+1} 는 픽셀 $p_{m-1,k}$ 의 계수가 $\alpha_{m-1} = [\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k]^T$ 이고, $P_m = (X_m^T X_m)^{-1}$, $y_{m-1} = [p_{1,k}, p_{2,k}, \dots, p_{m-1,k}]^T$ 및 $\phi_m = [p_{m,k-N}, p_{m,k-N+1}, \dots, p_{m,k-1}]^T$ 로 정의하고, X_m 은 보조 행렬이며, 만약 $1 + \phi_m^T P_{m-1} \phi_m \neq 0$ 라면 다음 수학적 식 7로부터 산출되는 오로라 무손실 압축 방법.

(수학적 식 7)

$$\begin{aligned} P_m &= \left(I - \frac{P_{m-1} \phi_m \phi_m^T}{1 + \phi_m^T P_{m-1} \phi_m} \right) P_{m-1} \\ \alpha_m &= \alpha_{m-1} + P_m \phi_m (p_{m,k} - \phi_m^T \alpha_{m-1}) \end{aligned}$$

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 오로라 무손실 압축 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 전자 플라즈마가 태양풍에 의해 날아가고 지구 대기로 들어갈 때, 많은 수의 중성 입자가 여기되어 오로라 현상으로 알려진 중요한 사건을 일으킨다.

[0003] 시각적 형태 및 스펙트럼 정보를 기록하기 위해 특수 유형의 분광기가 전자 스펙트럼 이미지와 같은 순간 오로라 스펙트럼을 획득한다.

[0004] 이러한 오로라 스펙트럼 이미지는 이 현상이 발생하는 조건과 환경 및 고 에너지 입자와 지구 대기 간의 실제 상호 작용에 대한 조사에 유용하다.

[0005] 오로라 전리층의 전자 에너지와 플럭스, 중 농도와 전자 온도, 그리고 증착된 입자의 분포가 도출될 수 있다.

- [0006] 분광적인 방출 특징은 지구 - 태양 활동과 관계가 있기 때문에 이것은 지구의 태양에 대한 반응을 시사한다. 따라서 조사할 정보가 풍부하다.
- [0007] 태양풍의 정확한 도착 시간은 알려지지 않았고 오로라는 지구의 자기 활동으로 인해 빠르게 변화하고 움직이기 때문에 분광계는 오로라가 나타날 때까지 상대적으로 높은 주파수에서 연속적인 이미지를 생성해야한다.
- [0008] 오프라인 스토리지 비용과 전송로드가 상당하다. 예를 들어, 남극 중산 역 1의 오로라 분광기는 20 초마다 오로라 스펙트럼 이미지를 생성한다.
- [0009] 각 이미지는 1024×1024 크기의 16 비트 FITS (Flexible Image Transport System) 형식 [1]에 저장된다.
- [0010] 남극 장대의 모든 중국 방송국의 데이터가 위성을 통해 전송되더라도 이러한 방송국은 모두 제한된 대역폭을 가진 동일한 통신 채널을 공유한다.
- [0011] 이 문제를 해결하려면 실시간 전송 전에 오로라 스펙트럼 이미지를 압축하는 데 무손실 압축을 사용해야한다.
- [0012] 초기 이미지 압축은 손실된 압축 알고리즘을 사용하여 시각적 관측 데이터의 손실을 줄여 파일 크기를 줄였다.
- [0013] 그러나 고해상도 및 높은 정확도가 필요한 특수 이미지의 경우 이 손실이 눈에 띈다.
- [0014] 이 문제에 대응하여 무손실 알고리즘이 개발되었다. 오로라 스펙트럼 이미지에는 연구를 위한 풍부한 정보가 포함되어 있기 때문에 무손실 압축이 완벽하게 가역적인 이미지 재구성을 위해 선호된다.
- [0015] 그러나 데이터 양이 증가하기 때문에 압축 스키마가 로컬 저장 문제를 부분적으로만 완화하더라도 압축된 데이터의 실시간 전송이 필요하다.
- [0016] 한편, 모든 무손실 압축 알고리즘은 Shannon의 정보 엔트로피 이론과 소스 코딩 정리 [2]를 기반으로 개발되었으며, 이는 코딩된 심볼의 예상 길이를 최소화할 때 이론적 하한을 식별한다.
- [0017] 최소화는 일반적으로 두 단계, 즉 무신경화 및 엔트로피 코딩으로 수행된다. 압축 프로세스에서 원본 이미지는 지정된 형식으로 재구성되며 엔트로피 코딩은 가역 재구성의 핵심 요소이다.
- [0018] 상관 관계 분석 기술은 압축 성능을 향상시키기 위해 중복을 최대한 제거한다. 예측, 변환 및 사전 기반 방법이 가장 대표적인 예이다.
- [0019] 예측 기반 방법에서 예측할 각 샘플 값은 인접한 여러 샘플 값의 가중 선형 조합이며, 가중 계수는 특정 최적화 전략을 사용하여 고정되거나 계산된다.
- [0020] 이 방법의 사용은 샘플을 상관 관계 해제에 효과적이기 때문에 널리 퍼져있다. 실제로 선형 예측은 일반적으로 펄스 코딩 변조의 원리를 기반으로 오디오 품질을 향상시키기 위해 개발된 차동 펄스 코드 변조(Differential Pulse Code Modulation:DPCM)로 간주된다. 나중에 이미지 처리에 적용되었다.
- [0021] 유도된 알고리즘은 예측된 값과 원래의 값 사이의 제곱 오차의 합을 최소화하며, 나머지는 엔트로피 부호화되어야한다.
- [0022] JPEG-LS는 스틸 이미지의 일반적인 무손실 압축 표준이다. JPEG-LS의 핵심 기법인 LOCO-I (Low Likeleless Lossless Compression Algorithm) [3]은 계산 복잡도가 상대적으로 낮은 중간 에지 검출 예측자를 사용한다.
- [0023] Context-based, adaptive, lossless 이미지 코딩 (CALIC) [4]은 이미지 데이터 모델링을 포함하며 모든 유형의 이미지 속성을 활용하기 위해 연속 톤 및 바이너리 모드를 제공한다.
- [0024] 다양한 컨텍스트를 사용하여 비선형 예측자를 초기화하고 원본 통계에 따라 적응적으로 업데이트한다. 부분 일치(Partial Matching, PPM) [5]는 또한 문맥 모델을 사용하고, 다른 예측 순서의 여러 Markov 모델이 유지된다.
- [0025] 수정된 알고리즘 [6]은 확장된 문자셋 / 스위치 기호를 사용하고, 문자셋은 PPM 패밀리의 모든 문자에 적용할 수 있다.
- [0026] 손실 압축에서 변환 코딩은 우수한 성능을 입증했지만 대부분의 변환은 무손실 압축 시스템에 직접 적용되지 않는다.
- [0027] 예를 들어, 역 이산 코사인 변환(DCT) 및 역 이산 푸리에 변환(DFT)은 각각 변환 계수로서 실수 및 복소수를 사용하기 때문에 변환에서 특정 정확도 손실을 초래한다.

- [0028] 이 경우 가역 변환이 바람직하다. 널리 퍼진 무손실 이미지 포맷 JPEG2000[7]은 5/3 웨이블릿 [8]을 사용하여 고주파 정보를 제거한다. 유사하게, 계층적 트리(SPIHT)[9]에서 집합 파티셔닝의 무손실 구현은 임베디드 제로 트리 웨이블릿 인코딩 [10]에서 동일한 웨이블릿을 사용한다.
- [0029] 또한 웨이블릿 변환은 무손실 SPIHT 변형에서 가역 S + P 변환 [11]으로 대체된다. 특히, 무 변환에 별로 효과적이지 않지만 엔트로피 인코딩에서 압축 효율을 높이는 데 도움이 되는 일부 변환이 있다.
- [0030] 예를 들어 BWT(Burrows-Wheeler transform) [12]는 동일한 기호가 연속적으로 나타나는 숫자를 최대화할 수 있으므로 RLE (Run-Length Encoding)와 같은 다른 방법으로 반복되는 기호가 여러 번 있는 문자열의 압축이 용이하다. 파일 압축을 위한 잘 알려진 소프트웨어 Bzip2는 단순히 BWT와 RLE를 결합한다.
- [0031] 사전 기반 코딩 알고리즘 제품군은 압축될 텍스트의 일치하는 문자열을 검색하는 일련의 문자열을 저장하는 사전이라고 하는 데이터 구조를 유지한다.
- [0032] LZ77 [14]과 LZ78 [15]는 두 개의 원본 사전 코더이다. 이들의 사전은 인코딩될 다른 문자열과 일치하는 문자열로 구성되며 대개 인코딩된 데이터로 동적으로 업데이트된다.
- [0033] LEF77과 허프만 (Huffman)인코딩을 결합한 DEFLATE 알고리즘[16]이 후속 적으로 개발되었으며 PNG(Portable Network Graphic) 형식 또는 MNG(Multiple-image Network Graphics) 이미지 형식에 사용된다.
- [0034] LZWelch (LZW) [18]는 유사한 압축 성능을 유지하면서 계산 효율면에서 LZ78을 개선하고 LZ77 기반의 GIF (Graphics Interchange Format) 또는 TIFF (Tagged Image File Format) 이미지 형식에 적용된다.
- [0035] 일반적으로 마지막 프로세싱 단계에서 사용되는 엔트로피 인코더는 레지 듀얼과 사이드 정보를 모두 압축한다.
- [0036] 랜덤 프로세스의 특성에 따라 심볼간에 통계적 중복이 있다. 인코딩될 심볼 코드는 각 심볼의 출현 빈도에 따라 얻어진다. 가장 짧은 코드가 가장 일반적인 기호에 할당되고 거의 나타나지 않는 기호에 가장 긴 코드가 할당되면 모든 코드의 전체 길이가 감소한다.
- [0037] 전술한 허프만 부호화 [17]는 이 가변 길이 부호화 방식을 사용하여 최소 평균 코드 길이를 달성한다. 예를 들어, 다른 엔코더인 RLE[13]는 연속적으로 반복되는 심볼을 저장하는 대신 특정 심볼과 그 발생 수를 저장한다.
- [0038] 산술 인코딩 [19]은 0에서 1까지의 범위를 유지하고 각 문자를 이 범위 내의 분수로 인코딩하며 제한적으로 바이너리로 구현된다. 범위 코딩[20]은 산술 인코딩과 동일한 코딩 개념을 사용한다.
- [0039] 그러나 범위 인코더의 출력은 임의의 기준을 가진 숫자이며 각 기호는 동적 범위 내에서 정수로 인코딩된다.
- [0040] 이와 관련하여 직접 관련 개발은 모두 오로라 이미지의 시간 순서로 간주 될 수 있는 3 차원 오로라 이미지를 기반으로 한다. 각 이미지는 2 차원 공간 정보도 가지고 있다.
- [0041] 프레임 간 상관을 활용하기 위해 적응 문맥 기반 예측 알고리즘[21]이 처음 제안되었다. 관심 영역을 동적으로 감지하여 예측 모드를 선택한다. 그 후, 가중 블록 기반 및 픽셀 기반 모션 보상 방법이 2 단계 무손실 압축 알고리즘 [22]에서 컨텍스트 기반 예측을 위한 참조로 채택되었다.
- [0042] 다른 관점에서, 시간 차원이 고려될 때, 3 차원 오로라 스펙트럼 이미지는 하이퍼 스펙트럼 이미지와 유사하다. 하이퍼 스펙트럼(Hyperspectral) 이미지는 전자기 스펙트럼에 따라 스펙트럼 정보를 다른 밴드로 나눈다.
- [0043] 그것은 농업, 물리학, 천문학등 다양한 응용 분야에 큰 가치가 있다. 최근에는 하이퍼 스펙트럼 이미지에 대한 무손실 압축 연구가 널리 주목을 받고 있다. Clustered DPCM(C-DPCM)[23]은 k-means 알고리즘에 의해 클러스터된 그룹들 각각에 독립 선형 예측기와 엔트로피 인코더를 사용한다.
- [0044] 예측 정확성을 향상시키기 위해 구별되는 그룹에서 스펙트럼의 유사성을 활용한다. 알고리즘[24]은 이 기초에 따라 클러스터링과 예측 절차 사이의 대역 선택을 이용한다.
- [0045] C-DPCM은 C-DPCM의 잔차를 정렬하여 이러한 이상 치를 인식하고 제거하며 나머지 스펙트럼에 대해서는 각 그룹에서 선형 예측을 사용한다. 이 두 알고리즘은 비교할 수 있고 최적의 압축 성능을 제공한다.
- [0046] 룩업 테이블(look-up table (LUT)) 알고리즘[26]은 이전 대역에서 검색하여 예측될 픽셀의 인접 픽셀과 동일한 값을 갖는 픽셀을 찾는다. 그것은 룩업 테이블을 사용함으로써보다 빠른 검색 속도를 달성하고 복잡성이 적다.
- [0047] 그러므로 고려중인 선내 조건에도 적용할 수 있다. JPEG2000 프레임 워크 [27]에서 구현된 LUT는 이전 계수 기

반 확률 모델을 사용하여 3D 이미지에 적합하다.

- [0048] 반면에, 레이트 제어 알고리즘 [28]은 최소 평균 제곱 예측과 균일 스칼라 양자화 이후 비트율과 잔차의 왜곡을 계산하는 모델을 설계한다. 3D-CALIC [29]는 다중 밴드 이미지를 위해 설계된 인트라 및 인터 밴드 예측을 위한 스위치 모드를 가지고 있다.
- [0049] 하이퍼 스펙트럴 이미지를 위한 또 다른 CALIC 확장은 컨텍스트 모델의 매개 변수를 최적화하고 양자화에서 임계값을 사용하는 M-CALIC [30]이라고 한다.
- [0050] 하이퍼 스펙트럼 이미지를 위한 대부분의 웨이블릿 기반 무손실 압축 알고리즘은 하이브리드 방식이다.
- [0051] 잔차는 원본 데이터의 가역적 재구성에 필수적이기 때문에 잔차를 압축하기 위해 엔트로피 인코더를 사용하여 손실이 없는 웨이블릿 기반 알고리즘이 무손실 알고리즘으로 변환된다.
- [0052] 예를 들어, SPIHT와 컨텍스트 모델링 기반의 산술 부호화를 사용하는 임베디드 제로 트리 웨이블릿 기반 무손실 부호화 프레임 워크 [31]가 제시되었다.
- [0053] 3 차원 2 진 임베디드 제로 트리 웨이블릿 (binary-wave wavelet, 3D-BEZW) [32]은 중첩되지 않는 비대칭 트리 구조에 기반한 가역적 정수 Karhunen-Loeve 변환 (IKLT)과 정수 이산 웨이블릿 변환 (IDWT)을 사용한다.
- [0054] 터커 분해는 [33]에서 DWT에 의해 변환된 서브 - 이미지에 적용되며, 그 후에 필요한 모든 정보는 산술 부호화에 의해 부호화된다.
- [0055] 또한, 하이퍼 스펙트럼 영상 처리의 실시간 요구 사항과 관련하여 다양한 온보드 무손실 압축 알고리즘이 제안되었다.
- [0056] 두 가지 예는 SlepianWolf 이론 [35]에 기초한 스칼라 분산 소스 코딩 (s-DSC)과 벡터 분산 소스 코딩 (v-DSC) [34]으로 구성된 분산 프레임 워크를 포함한다.
- [0057] 이러한 방법은 엔트로피 인코딩을 구현하기 위해 여러 수준의 코 셋 코드를 사용한다.
- [0058] 나중에, A1과 A3 [36]은 온보드 환경을 위해보다 나은 코딩 효율성과 오류 복원력을 달성하도록 설계되었다.
- [0059] A1에서 각 밴드는 현재 밴드와 이전 밴드 사이의 상관 관계에 따라 비율로 인코딩된다.
- [0060] A3은 오류 전파를 제어하는 A1의 수정된 버전이다. 또 다른 DSC 기반 방법 [37]은 하이퍼 스펙트럼 이미지를 특정 슬라이스로 수집하고 이러한 슬라이스를 개별적으로 인코딩하여 복잡한 온보드 예측 프로세스를 피한다.
- [0061] 저밀도 패리티 체크 (LPDC) 디코더는 마르코프 랜덤 필드 모델을 통해 연속적으로 전송된 슬라이스를 공동으로 디코딩하기 위해 공간 및 스펙트럼 상관을 이용한다.
- [0062] 한편, 오로라 스펙트럼 이미지는 3D 오로라 및 자연 이미지의 프레임과 하나의 스펙트럼 및 하나의 공간 정보 차이가 있다.
- [0063] 불충분한 대역폭으로 제한되는 이 이미지는 대용량 파일이 전송 오류가 발생하기 쉽기 때문에 일반적으로 3 차원 이미지 큐브가 아닌 독립 프레임으로 전송된다.
- [0064] 따라서, 위의 무손실 압축 알고리즘은 3D 오로라 이미지, 내추럴 이미지 또는 하이퍼 스펙트럴 이미지에는 적용할 수 없다.

선행기술문헌

비특허문헌

- [0065] (비특허문헌 0001) [1] D.C. Wells , E.W. Greisen , FITS: a flexible image transport system, Astron. Astrophys. Suppl. 44 (1981).
- (비특허문헌 0002) [2] C.E. Shannon , A mathematical theory of communication, Bell Syst. Tech. J. 27 (3) (1948) 623-656 . 379423.
- (비특허문헌 0003) [3] M.J. Weinberger , G. Seroussi , G. Sapiro , The LOCO-I lossless image compression algorithm: principles and standardization into JPEG-LS 9 (8) (20 0 0) 1309-1324.

- (비특허문헌 0004) [4] X. Wu , N. Memon , Context-based, adaptive, lossless image coding 45 (4) (1997) 437-444.
- (비특허문헌 0005) [5] J.G. Cleary , I. Witten , Data compression using adaptive coding and partial string matching 32 (4) (1984) 396-402.
- (비특허문헌 0006) [6] P. Skibiski , PPM with the extended alphabet, Inf. Sci. (Ny) 176 (7) (2006) 861-874.
- (비특허문헌 0007) [7] D.S. Taubman, M.W. Marcellin, JPEG20 0 0: standard for interactive imaging, 2002.
- (비특허문헌 0008) [8] A. Cohen , I. Daubechies , J..Feauveau , Biorthogonal bases of compactly supported wavelets, Commun. Pure Appl. Math. 45 (5) (1992) 485-560 .
- (비특허문헌 0009) [9] A. Said , W.A. Pearlman , A new, fast, and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees 6 (3) (2001) 243250.
- (비특허문헌 0010) [10] X. Qi , J.M. Tyler , A progressive transmission capable diagnostically lossless compression scheme for 3D medical image sets, Inf. Sci. (Ny) 175 (3) (2005) 217-243.
- (비특허문헌 0011) [11] A. Said , W.A. Pearlman , An image multiresolution representation for lossless and lossy compression 5 (9) (1996) 1303-1310.
- (비특허문헌 0012) [12] M. Burrows , A block-sorting lossless data compression algorithm, Digital Src Research Report, 124, 1994.
- (비특허문헌 0013) [13] A. Robinson , C. Cherry , Results of a prototype television bandwidth compression scheme, in: Proceedings of the IEEE, 55, 1967, pp. 356-364.
- (비특허문헌 0014) [14] J. Ziv , A. Lempel , A universal algorithm for sequential data compression 23 (3) (1977) 337-343.
- (비특허문헌 0015) [15] J. Ziv , A. Lempel , Compression of individual sequences via variable-rate coding 24 (5) (1978) 530-536.
- (비특허문헌 0016) [16] P. Deutsch , DEFLATE Compressed data format specification version 1.3, RFC 11 (3) (1996) 82-89.
- (비특허문헌 0017) [17] D. Huffman , A method for the construction of minimum-redundancy codes, in: Proceedings of the IRE, 40, 1952, pp. 1098-1101.
- (비특허문헌 0018) [18] T.A. Welch , A technique for high-performance data compression, Computer 17 (6) (1984) 8-9.
- (비특허문헌 0019) [19] I.H. Witten , R.M. Neal , J.G. Cleary , Arithmetic coding for data compression, Commun. ACM 30 (6) (1987) 520-540.
- (비특허문헌 0020) [20] G.N.N. Martin , Range encoding: an algorithm for removing redundancy from a digitised message, in: Video and Data Recording Conference, 1979.
- (비특허문헌 0021) [21] J. Wu , T. Teng , L. Jiao , Lossless compression of 3D aurora images using adaptive-context-based prediction modeling in China Arctic Yellow River Station, in: Proceedings of SPIE, 8157, 2011. 81570J-1570J
- (비특허문헌 0022) [22] J. Wu , C. Liang , J. Han , Z. Hu , D. Huang , H. Hu , Y. Fang , L. Jiao ,A two-stage lossless compression algorithm for aurora image using weighted motion compensation and context-based model, Opt. Commun. 290 (2013) 19-27.
- (비특허문헌 0023) [23] J. Mielikainen , P. Toivanen , Clustered DPCM for the lossless compression of hyperspectral images 41 (12) (2003) 2943-2946.

- (비특허문헌 0024) [24] K. Wang, H. Liao, Y. Li, S. Zhang, X. Wu, Lossless compression of hyperspectral images using c-dpcm-apl with reference bands selection, 2014.
- (비특허문헌 0025) [25] J. Wu , W. Kong , J. Mielikainen , B. Huang , Lossless compression of hyperspectral imagery via clustered differential pulse code modulation with removal of local spectral outliers 22 (12) (2015) 2194-2198.
- (비특허문헌 0026) [26] J. Mielikainen , Lossless compression of hyperspectral images using lookup tables 13 (3) (2006) 157-160.
- (비특허문헌 0027) [27] F. Aullins , J.B.-R.M.W. Marcellin , J. Serra-Sagrist , Lossy-to-lossless 3D image coding through prior coefficient lookup tables, Inf. Sci. (Ny) 239 (4) (2013) 266-282.
- (비특허문헌 0028) [28] D. Valsesia , E. Magli , A novel rate control algorithm for onboard predictive coding of multispectral and hyperspectral images, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 52 (10) (2014) 6341-6355.
- (비특허문헌 0029) [29] X. Wu , N. Memon , Context-based lossless interband compression-extending CALIC, IEEE Trans. Image Process 9 (6) (2000) 994-10 01.
- (비특허문헌 0030) [30] E. Magli , G. Olmo , E. Quacchio , Optimized onboard lossless and near-lossless compression of hyperspectral data using CALIC, IEEE Geosci. Remote Sens. Lett. 1 (1) (2004) 21-25.
- (비특허문헌 0031) [31] V.N. Ramaswamy , K.R. Namuduri , N. Ranganathan , Context-based lossless image coding using EZW framework 11 (4) (2001) 554-559.
- (비특허문헌 0032) [32] K. j. Cheng , J. Dill , Lossless to lossy dual-tree BEZW compression for hyperspectral images, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 52 (9) (2014) 5765-5770.
- (비특허문헌 0033) [33] A. Karami , M. Yazdi , G. Mercier , Compression of hyperspectral images using discrete wavelet transform and tucker decomposition, IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens. 5 (2) (2012) 444-450.
- (비특허문헌 0034) [34] E. Magli , M. Barni , A. Abrardo , M. Grangetto , Distributed source coding techniques for lossless compression of hyperspectral images, J. Advances Sig. Process. 2007 (1) (2007) 1-3.
- (비특허문헌 0035) [35] D. Slepian , J. Wolf , Noiseless coding of correlated information sources 19 (4) (1973) 471-480.
- (비특허문헌 0036) [36] A. Abrardo , M. Barni , E. Magli , F. Nencini , Error-resilient and low-complexity onboard lossless compression of hyperspectral images by means of distributed source coding 48 (4) (2010) 1892-1904.
- (비특허문헌 0037) [37] J. Zhang , H. Li , C.W. Chen , Distributed lossless coding techniques for hyperspectral images, IEEE J. Sel. Top. Signal Process. 9 (2015).1-1
- (비특허문헌 0038) [38] D.W. Marquardt , An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters, J. Soc. Ind. Appl. Math. 11 (2) (1963) 431-441.
- (비특허문헌 0039) [39] R.L. PLACKETT , Some theorems in least squares, Biometrika 37 (1) (1950) 149-157.
- (비특허문헌 0040) [40] D. Shkarin , PPM: one step to practicality, in: Data Compression Conference (DCC), 2002, pp. 202-211.
- (비특허문헌 0041) [41] 7-Zip, 2015, ([Online]. Available: <http://www.7-zip.org>).
- (비특허문헌 0042) [42] D. Taubman, 2014, ([Online]. Available: <http://kakadusoftware.com/downloads>).

(비특허문헌 0043) [43] P.S. Diniz, Adaptive Filtering: Algorithms and Practical Implementation, Springer, United States, US, pp. 289-228.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0066] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 오로라 스펙트럼 이미지의 실시간 전송에서 한계를 해결한 오로라 무손실 압축 장치 및 방법을 제공하는 데 있다.

[0067]

과제의 해결 수단

[0068] 본 발명의 오로라 무손실 압축 장치는 M개의 밴드와 K개의 스펙트럼 선으로 이루어진 오로라 스펙트럼 이미지를 입력받아, k번째 스펙트럼 선의 m 밴드의 측정 픽셀값에서 k번째 스펙트럼 선의 m+1 밴드의 예측 픽셀값을 감산한 예측 오차 신호를 출력하는 비교기; 상기 비교기에서 출력되는 예측 오차 신호를 양자화하여 출력하는 양자화기; 상기 양자화기에 의해 양자화된 예측 오차 신호를 입력받아 k번째 스펙트럼 선의 m+1 밴드의 예측 픽셀값을 생성하여 출력하는 제1 예측기; 및 양자화된 예측 오차 신호에 비트를 할당하여 부호화하여 채널을 통해 전달하는 부호화기를 포함한다.

[0069] 또한, 본 발명의 오로라 무손실 압축 방법은 (A) 비교기가 M개의 밴드와 K개의 스펙트럼 선으로 이루어진 오로라 스펙트럼 이미지를 입력받는 단계; (B) 제1 예측기가 양자화된 예측 오차 신호를 입력받아 k번째 스펙트럼 선의 m+1 밴드의 예측 픽셀값을 생성하여 출력하는 단계; (C) 상기 비교기가 k번째 스펙트럼 선의 m 밴드의 측정 픽셀값에서 k번째 스펙트럼 선의 m+1 밴드의 예측 픽셀값을 감산한 예측 오차 신호를 양자화기로 출력하는 단계; (D) 양자화기가 상기 비교기에서 출력되는 예측 오차 신호를 양자화하여 출력하는 단계; 및 (E) 부호화기가 양자화된 예측 오차 신호에 비트를 할당하여 부호화하여 채널을 통해 전달하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0070] 본 발명은 공간 및 스펙트럼 영역에서 2 차원 상관 관계를 이용하고 예측 계수에 관한 부가 정보를 효과적으로 제거함으로써 오로라 스펙트럼 이미지에 대한 무손실 압축을 처리함으로써 압축 이득과 계산 복잡성에 대해 더 나은 성능을 달성한다.

[0071] 본 발명은 실험 결과에 따르면 오로라 광학 정보를 보다 잘 활용하고 기존의 여러 무손실 압축 방법과 비교하여 순위 압축 성능을 달성할 수 있다.

[0072] 이것은 엄격한 실용적인 실시간 요구 사항을 충족시키고 샘플링 주파수를 높이기 위해 병렬화를 사용한다.

도면의 간단한 설명

[0073] 도 1은 1024 개의 스펙트럼 라인과 1024 개의 대역을 갖는 오로라 스펙트럼 이미지를 도시한다.

도 2는 도 1에서의 공간 및 스펙트럼 상관 계수를 보여준다.

도 3은 인코딩된 계수 및 나머지의 픽셀 당 비트 수(bpp)가 예측 차수에 따라 변한다는 것을 나타낸다.

도 4는 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 오로라 무손실 압축 장치의 구성도이다.

도 5는 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 오로라 무손실 압축 방법의 흐름도이다.

도 6의 (a)는 8의 예측 차수를 갖는 원본 및 잔여 이미지의 상관 비교를 나타내고, 도 6의 (b)는 상이한 예측 순서를 갖는 처리 시간을 보여준다.

도 7은 본 발명에 이용되는 순환 최소 제곱법을 이용한 예측값 산출의 흐름도이다.

도 8은 XMM에서 지원하는 압축 데이터 형식을 나타내는 도면이다.

도 9는 패킹된 덧셈 및 곱하기 연산의 예이다.

도 10은 확률 축의 log-10 스케일로 원본 이미지와 오차 이미지의 확률 히스토그램을 나타내는 도면이다.

도 11은 2012 년 7월 1일 이미지 장면에서 최소 자승법과 제안된 알고리즘을 사용하여 클래식 및 온라인 DPCM을 비교한 Bpp이다.

도 12는 홀수 예측 차수가 1만큼 증가한 경우의 두 가지 고유한 변형을 보여준다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0074] 본 발명은 다양한 변환을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 이하에서는 특정 실시예들을 첨부된 도면을 기초로 상세히 설명하고자 한다.
- [0075] 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.
- [0076] 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되는 것은 아니며, 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.
- [0077] 본 발명에서는 오로라 스펙트럼 이미지의 무손실 압축을 위한 DPCM 기반의 기법을 개발하였다.
- [0078] 본 발명의 목표는 로컬 스토리지 및 전송 용량과 관련된 실질적인 문제를 해결하는 것이다. 압축 성능을 향상시키기 위해 제안된 알고리즘은 온라인 선형 예측에서 2 차원 상관 관계를 이용하여 오프라인 예측 계수를 제거한다. 실제로 실시간 전송 시스템을 구현하기 위해 알고리즘을 병렬 처리한다.
- [0079] 먼저 1장에서는 오로라 스펙트럼 이미지의 스펙트럼 및 공간 상관 계수를 정의하고 분석하며 그 결과는 무상관에서 2 차원 중복성을 나타낸다.
- [0080] 다음으로 온라인 재귀적 최소 제곱(ORLS)으로 명명된 온라인 DPCM 모델을 설명하고 ORLS를 사용하여 공간 및 스펙트럼 도메인을 2 차원적으로 상관 해제하는 무손실 압축 알고리즘을 제안한다.
- [0081] ORLS는 이미 알려진 데이터를 사용하여 픽셀을 예측한다. 전통적인 DPCM 기반 방법의 오프라인 예측 계수는 전송할 필요가 없기 때문에 온라인 체계로 알려져 있다.
- [0082] 그러나 온라인 예측은 계산에 더 많은 시간이 필요하며 픽셀은 이미지의 위치에 따라 특정 순서로 예측된다.
- [0083] 이러한 이유로, ORLS는 온라인 체계의 계산 효율을 향상시키기 위해 재귀적 최소 제곱(RLS) [38]을 이용한다.
- [0084] RLS는 또한 스펙트럼 및 공간 영역을 동시에 역 상관 시키는데 효과적이다. 그런 다음 실시간 전송 요구 사항을 충족시키기 위해 ORLS를 병렬 처리한다.
- [0085] 2장에서는 실험 결과와 결과를 제시한다. 실제 실험 전에 통계적 방법으로 예측 순서의 범위를 대략적으로 결정한다. 그런 다음 IDE 소프트웨어 환경에서 Win32 플랫폼의 C ++ 프레임 워크에 제시된 알고리즘을 구현하고 압축 이득 및 처리 시간과 관련하여 여러 가지 제시된 무손실 압축 알고리즘과 비교한다. 계산 효율을 비교하기 위해 다른 결과를 사용하여 병렬 실험을 수행했다.
- [0086] 마지막 장에서는 요약하고 3 차원 이미지에 대한 ORLS에 대한 추가 조사를 고려하고 향후 작업에서 온라인 모델을 보다 빠르게 구현하는 방법에 대해 설명한다.
- [0087] 1.고속 ORLS 방법
- [0088] 1.1. 오로라 스펙트럼 이미지의 상관 분석
- [0089] 통계 분석에서 상관 계수는 가능한 최대 압축 효율을 반영할 수 있을 뿐만 아니라 두 변수 간의 관계를 반영한다. 변수 A와 B의 상관 계수 $R(A, B)$ 를 다음과 같이 정의한다.

[0090] (수학식 1)

$$R(A, B) = \frac{\sum_{i=1}^M (A_i - \bar{A})(B_i - \bar{B})}{\sqrt{\sum_{i=1}^M (A_i - \bar{A})^2 \sum_{i=1}^M (B_i - \bar{B})^2}}$$

[0092] 여기서 $\bar{A}$ 와 $\bar{B}$ 는 각각 A와 B의 평균값을 나타내고 각 변수는 M 개의 원소를 갖는다.

[0093] 도 1은 1024 개의 스펙트럼 라인과 1024 개의 대역을 갖는 오로라 스펙트럼 이미지를 도시한다.

[0094] 여기서 오로라 스펙트럼 이미지가 K 개의 스펙트럼 선으로 이루어져 있다고 가정한다.

[0095] 각각의 스펙트럼 선은 M 개의 밴드를 가지고 있다. 즉, 오로라 스펙트럼 이미지의 크기는 $M \times K$ 이다. 다음과 같이 스펙트럼 상관 계수 R_{spectral} 을 정의할 수 있다.

[0096] (수학식 2)

$$R_{\text{spectral}}(n) = \frac{\sum_{i=1}^{M-n} |R(\text{row}_i, \text{row}_{i+n})|}{M-n}$$

[0097] 여기서, row_i 및 row_{i+n} 은 각각 이미지의 i 번째 및 (i + n) 번째 밴드를 나타내며, 파라미터 n은 이들 두 특정 밴드 사이의 밴드 간격을 나타내는 시프트 파라미터로서 보여 질 수 있다. 분명히, $R_{\text{spectral}}(n)$ 은 n 밴드의 간격과 두 밴드 쌍의 평균 절대 상관 계수이며, 이는 현재 픽셀을 예측하는 평균 적합도가 동일한 스펙트럼 라인의 이전 n 밴드의 픽셀임을 의미한다. 유사하게, 공간 상관 계수 R_{spatial} 을 다음과 같이 정의한다.

[0099] (수학식 3)

$$R_{\text{spatial}}(n) = \frac{\sum_{i=1}^{K-n} |R(\text{column}_i, \text{column}_{i+n})|}{K-n}$$

[0100] 여기서 열 i는 i 번째 스펙트럼 선을 나타냅니다.

[0102] 도 2는 도 1에서의 공간 및 스펙트럼 상관 계수를 보여주는데, 이는 내추럴 레나 (Lena) 이미지의 공간적 행 및 열 상관 계수가 있는 에어 비전 가시/적외선 이미지 분석 분광기(AVIRIS) 장면의 하이퍼 스펙트럼 (hyperspectral) 이미지 "aviris_sc0.raw"이다.

[0103] 비교를 쉽게 하기 위해 "aviris_sc0.raw"를 모든 스펙트럼 선으로 구성된 2 차원 이미지로 간주한다. 위 그림은 하이퍼 스펙트럼 이미지가 스펙트럼 내(intra-spectral) 상관 계수보다 훨씬 높은 스펙트럼 간(inter-spectral) 상관 계수를 갖고 내추럴 이미지의 상관 계수가 픽셀 간 거리가 멀어 질수록 감소하기 때문에 위의 상관 계수 정의가 유효하다. 게다가, 오로라 스펙트럼 이미지는 상대적으로 더 많은 대역 내 중복성을 가지며, 그 상관 계수는 특정 범위 내에서 안정적으로 유지되는 것으로 관찰될 수 있다.

[0104] 1.2. ORLS로 제안된 알고리즘

[0105] DPCM의 핵심은 여러 독립 변수를 사용하여 하나의 종속 변수를 표현하는데 있으며, 독립 변수의 수를 예측 차수라고 한다.

[0106] 오로라 스펙트럼 이미지는 더 높은 대역 내 상관을 가지므로, 대역 내 예측을 채택했다. 최소 제곱 법[39]은 최소화된 제곱 오차의 합을 가진 DPCM의 실제적인 구현을 제공한다.

[0107] 오로라 스펙트럼 이미지에서 표기 $p_{m,k}$ 는 k 번째 스펙트럼 선의 m 번째 밴드에서 픽셀 값을 나타낸다. 여기서, $\hat{\alpha}$ 는 오차의 제곱의 합을 최소화하는 계수로 가정한다. 그 해는 예측 차수가 N 일 때 행렬 형태로 나타낼 수 있다.

[0108] (수학식 4)

$$\hat{\alpha} = (X_m^T X_m)^{-1} X_m^T y$$

[0109]

[0110] (수학식 5)

$$\hat{\alpha} = [\hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2, \dots, \hat{\alpha}_N]^T$$

$$\mathbf{y} = [p_{1,k}, p_{2,k}, \dots, p_{m,k}]^T$$

$$\mathbf{X}_m = \begin{bmatrix} p_{1,k-N} & p_{1,k-N+1} & \dots & p_{1,k-1} \\ p_{2,k-N} & p_{2,k-N+1} & \dots & p_{2,k-1} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ p_{m,k-N} & p_{m,k-N+1} & \dots & p_{m,k-1} \end{bmatrix}$$

[0112] 여기에서, $\mathbf{y}$ 는 k 번째 스펙트럼 선의 측정값 벡터이고, $\hat{\alpha}$ 는 계수 벡터이며, $\hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2, \hat{\alpha}_3, \dots, \hat{\alpha}_N$ 은 1차, 2차, 3차, ..., N 차 결정 계수이다. 그리고, $\mathbf{X}_m$ 은 보조 행렬을 나타낸다.

[0113] 계수 및 나머지는 모두 디코딩에 필수적이다. 예측 차수가 증가하면 더 높은 예측 정확도와 더 많은 계수가 저장되어 압축 성능이 향상된다.

[0114] 도 3은 인코딩된 계수 및 나머지의 픽셀 당 비트 수(bpp)가 예측 차수에 따라 변한다는 것을 나타낸다.

[0115] 무손실 압축 성능에 대한 가장 일반적인 평가 기준은 유효 비트 심도 대 비트 전송률의 비율인 압축 비율이다.

[0116] 그러나, 상이한 오로라 스펙트럼 이미지의 픽셀 값 범위가 동일하지 않기 때문에 유효 비트 심도는 불확실하다. 따라서 그 대신 bpp에서 비트 전송률을 사용하며, 이에 따라 bpp가 적으면 압축률이 향상된다.

[0117] 도 3에서 예측 차수가 4일때에 픽셀 당 비트 수(bpp)가 4.690 비트로 최적화되어 있음을 알 수 있다.

[0118] 디코딩 단계에서 현재 픽셀 값은 항상 알려지지 않는다. 따라서, 수학식 4가 필요하다. 그러나, 계수가 공지된 픽셀 값에 의해 계산된다면, 디코딩은 계수를 사용하지 않고 디코딩 할 수 있다.

[0119] 이러한 이유로 이론적으로 계수에 대한 부가 정보를 제거하여 압축 이득을 향상시키는 온라인 DPCM 모델을 개발했다.

[0120] 이 온라인 방법은 알려지지 않은 픽셀 값을 사용하지 않고 $p_{m,k}$ 의 예측 값보다는 $p_{m+1,k}$ 의 예측 값을 얻는다. 그것은 각 밴드의 인덱스에 따라 오름차순으로 스펙트럼 선의 픽셀을 디코딩한다. 즉 $p_{m,k}$ 는 인코딩 프로세스와 비슷한 $p_{m+1,k}$ 이전에 항상 디코딩된다.

[0121] (수학식 6)

$$\hat{p}_{m+1,k} = \sum_{i=0}^{N-1} \alpha_{i+1} p_{m+1,k-N+i}$$

[0123] 여기에서, N 은 예측 차수를 나타내고, α_{i+1} 은 $i+1$ 차수의 계수이며 $\hat{\alpha}_{i+1}$ 과 같다. $\hat{p}_{m+1,k}$ 은 k 번째 스펙트럼 선의 $m+1$ 밴드의 예측 픽셀값이며, $p_{m+1,k-N+i}$ 는 $k-N+i$ 번째 스펙트럼 선의 $m+1$ 밴드의 측정 픽셀값이다.

[0124] 도 4는 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 오로라 무손실 압축 장치의 구성도이다.

[0125] 도 4를 참조하면, 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 오로라 무손실 압축 장치는 비교기(110), 양자화기(120), 제1 예측기(130), 부호화기(140), 복호화기(210), 가산기(220) 및 제2 예측기(230)을 포함한다.

[0126] 상기 비교기(110)는 k 번째 스펙트럼 선의 m 밴드의 측정 픽셀값에서 k 번째 스펙트럼 선의 $m+1$ 밴드의 예측 픽셀값을 감산한 예측 오차 신호를 출력한다.

[0127] 그리고, 양자화기(120)는 상기 비교기(110)에서 출력되는 예측 오차 신호를 양자화하여 출력한다.

[0128] 상기 제1 예측기(130)는 상기 양자화기(120)에 의해 양자화된 예측 오차 신호를 입력받아 k 번째 스펙트럼 선의 $m+1$ 밴드의 예측 픽셀값을 생성하여 출력한다.

- [0129] 이때, 제1 예측기(130)는 수학적 식 6을 이용하여 예측 픽셀값을 생성하며 $p_{m,k}$ 의 예측 값보다는 $p_{m+1,k}$ 의 예측 값을 얻는다.
- [0130] 한편, 부호화기(140)는 양자화된 예측 오차 신호에 비트를 할당하여 부호화하여 채널을 통해 복호화기(210)로 전달한다.
- [0131] 상기 복호화기(210)는 부호화기(140)에서 부호화되어 전달된 양자화된 예측 오차 신호를 복호화하여 출력한다.
- [0132] 그러면, 가산기(220)는 양자화된 예측 오차 신호에 제2 예측기(230)에서 출력되는 k 번째 스펙트럼 선의 $m+1$ 밴드의 예측 픽셀값을 가산하여 측정 픽셀값 $p_{m,k}$ 을 복원하여 출력한다.
- [0133] 상기 제2 예측기(230)는 가산기(220)에서 출력되는 복원된 측정 픽셀값 $p_{m,k}$ 을 입력받아 k 번째 스펙트럼 선의 $m+1$ 밴드의 예측 픽셀값을 생성하여 출력한다.
- [0134] 이때, 제2 예측기(230)는 수학적 식 6을 이용하여 예측 픽셀값을 생성하며 $p_{m,k}$ 의 예측 값보다는 $p_{m+1,k}$ 의 예측 값을 얻는다.
- [0135] 한편, 제1 예측기(230)와 제2 예측기(240)는 수학적 식 6을 사용하기 위해서는 $i+1$ 차수의 계수 a_{i+1} 를 알고 있어야 하며 이를 위하여 수학적 식 4와 5를 통하여 계수 a_{i+1} 를 얻는다.
- [0136] 도 5는 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 오로라 무손실 압축 방법의 흐름도이다.
- [0137] 도 5를 참조하면, 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 오로라 무손실 압축 방법은 비교기와 제1 예측기가 k 번째 스펙트럼 선의 m 밴드의 측정 픽셀값을 입력받는다(S110).
- [0138] 그리고, 제1 예측기가 수학적 식 4와 5를 이용하여 $i+1$ 차수의 계수 a_{i+1} 를 얻는다(S120).
- [0139] 다음으로, 제1 예측기가 양자화기에 의해 양자화된 예측 오차 신호를 입력받아 k 번째 스펙트럼 선의 $m+1$ 밴드의 예측 픽셀값을 생성하여 출력한다(S130).
- [0140] 상기 비교기는 k 번째 스펙트럼 선의 m 밴드의 측정 픽셀값에서 k 번째 스펙트럼 선의 $m+1$ 밴드의 예측 픽셀값을 감산한 예측 오차 신호를 출력한다(S140).
- [0141] 그리고, 양자화기는 상기 비교기에서 출력되는 예측 오차 신호를 양자화하여 출력한다(S150).
- [0142] 한편, 부호화기는 양자화된 예측 오차 신호에 비트를 할당하여 부호화하여 채널을 통해 복호화기에 전달한다(S160).
- [0143] 상기 복호화기는 부호화기에서 부호화되어 전달된 양자화된 예측 오차 신호를 복호화하여 출력한다(S170).
- [0144] 그리고, 제2 예측기가 수학적 식 4와 5를 이용하여 $i+1$ 차수의 계수 a_{i+1} 를 얻는다(S180).
- [0145] 다음으로, 제2 예측기가 양자화기에 의해 양자화된 예측 오차 신호를 입력받아 k 번째 스펙트럼 선의 $m+1$ 밴드의 예측 픽셀값을 생성하여 출력한다(S190).
- [0146] 그러면, 가산기는 양자화된 예측 오차 신호에 제2 예측기에서 출력되는 k 번째 스펙트럼 선의 $m+1$ 밴드의 예측 픽셀값을 가산하여 측정 픽셀값 $p_{m,k}$ 을 복원하여 출력한다(S200).
- [0147] 한편, 위에서 복호화기는 부호화기와 또한 동일한 방법을 사용하지만 부수 정보를 사용하지 않고 픽셀 $p_{m+1,k}$ 의 계수를 계산할 수 있다. 그러나 이와 같은 온라인 DPCM 모델에는 두 가지 단점이 있다.
- [0148] 첫째, 도 6의 (a)에서와 같이 동시에 공간 및 스펙트럼 상관 계수를 충분히 활용할 수 없다.
- [0149] 둘째, $m + 1$ 번째 대역 또는 $k + 1$ 번째 라인의 픽셀을 예측할 때 $p_{m,k}$ 를 예측하는 데 사용된 값 데이터를 다시 액세스하고 동일한 데이터에 반복적으로 액세스하는 데는 많은 시간이 소요된다.
- [0150] 모든 DPCM 방법의 시간 복잡도는 예측 차수에 따라 증가한다. 또한, 예측 차수가 고정되어 있다고 하더라도, 최소 제공법은 보조 행렬 X_m 이 커질수록 예측 시간이 길어져야 한다.
- [0151] 도 6의 (b)는 3.40 GHz Intel Xeon E3-1240 CPU에서의 온라인 DPCM 처리 시간을 보여준다. 예측 시간이 기하

급수적으로 증가함에 따라 처리 시간이 증가한다.

[0152] 이 비용은 최적의 예측 차수가 8일 때 거의 47 초이며 최대 처리 시간을 초과한다. 이는 20 초 시간 간격보다 짧아야한다.

[0153] 계산 시간을 단축하기 위해 온라인 DPCM 모델에서 순환 최소 제곱법(RLS :recursive least squares)를 사용하여 예측 속도를 높인다.

[0154] RLS는 고차 수렴과 낮은 계산 복잡성을 갖는 최소 제곱법의 다양한 방법이다.

[0155] 신호 처리에서 오차는 RLS 필터의 피드백으로 계수를 수정하고 최신 데이터만 사용하여 최적 계수를 적응적으로 결정하는 데 도움이 된다.

[0156] 계수는 재귀 계산에 의해 계산되기 때문에 RLS는 계수의 요소 간 스펙트럼 간 상관관을 활용할 수 있다.

[0157] 동시에 압축할 최신 데이터와 현재 데이터 사이에는 상관 계수가 있다. 따라서 RLS는 예측을 위해 2 차원 상관 계수를 활용할 수도 있다.

[0158] 먼저, 픽셀 $p_{m-1,k}$ 의 계수는 $\alpha_{m-1} = [\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k]^T$ 이다. 그런 다음에 $P_m = (X_m^T X_m)^{-1}$, $y_{m-1} = [p_{1,k}, p_{2,k}, \dots, p_{m-1,k}]^T$ 및 $\phi_m = [p_{m,k-N}, p_{m,k-N+1}, \dots, p_{m,k-1}]^T$ 로 정의한다. 만약 $1 + \phi_m^T P_{m-1} \phi_m \neq 0$ 이면 다음과 같이 된다.

[0159] (수학식 7)

$$P_m = \left(I - \frac{P_{m-1} \phi_m \phi_m^T}{1 + \phi_m^T P_{m-1} \phi_m} \right) P_{m-1}$$

$$\alpha_m = \alpha_{m-1} + P_m \phi_m (p_{m,k} - \phi_m^T \alpha_{m-1})$$

[0160]

[0161] 도 7은 본 발명에 이용되는 순환 최소 제곱법을 이용한 예측값 산출의 흐름도이다.

[0162] 도 7를 참조하면, 본 발명에 이용되는 순환 최소 제곱법을 이용한 예측값 산출은 먼저, P_0 로 단위 행렬 I 를 지정하고, α_0 의 모든 원소를 0으로 초기화한다.

[0163] 즉, 스펙트럼 k 에 3을 지정하고, 행렬 P 는 단위 행렬을 지정하고, 계수 α 는 모든 원소를 0으로 초기화한다(S200)

[0164] 이후에, 계수는 밴드에 2를 지정하고 수학식 7을 사용하여 행렬 P_m 을 갱신하며, 순환 최소 제곱법을 사용하여 계수 α 를 갱신한다(S210).

[0165] 그런 다음 수학식 6을 사용하여 $p_{m,k}$ 의 예측 값보다는 $p_{m+1,k}$ 의 예측 값을 얻는다(S220).

[0166] 한편, ORLS는 첫 번째 밴드의 픽셀에는 유효하지 않다. 게다가, 제로 예측은 예측하지 않으며, 제 1 차 예측은 실제로 대역 내 인접 예측이다.

[0167] 계수는 예측 순서가 2보다 클 때에만 상기 공식으로부터 계산될 수 있다. 따라서, 제안된 알고리즘에서, 첫 번째 대역(첫 번째 픽셀 $p_{1,1}$ 제외)의 각 픽셀은 이전 스펙트럼 라인에서 공간 이웃으로 예측되며, 첫 번째 및 두 번째 스펙트럼 라인의 픽셀은 대역 간 및 대역 내 대역 인접 예측들 각각을 포함한다.

[0168] 1.3. ORLS의 병렬화

[0169] 압축이 없는 경우 샘플링 시간 간격은 각 이미지의 전송 시간으로 제한되며 각 분광기의 해당 호스트는 이미지를 관리하고 전송해야한다.

[0170] 무손실 압축은 필수적이며 압축 알고리즘 처리 시간은 분광계 노출 시간보다 짧아야한다.

[0171] 또한 모든 오로라 분광기에 하나의 호스트만 사용한다고 가정하면 처리 시간이 호스트의 시간 간격보다 길지 않아야 분광기에서 캡처한 이미지를 얻을 수 있다.

[0172] 예를 들어, 한 분광기가 특정 시간에 캡처 된 이미지를 전송하고 다른 두 분광기가 각각 1 초 및 2 초 후에 이미지를 전송하면 최소 시간 간격은 1 초입니다. 오로라에 관한 더 많은 정보를 얻으려면 가능한 한 처리 시간을

단축하기 위해 샘플링 빈도를 향상시켜야한다.

- [0173] 따라서 제안된 알고리즘을 병렬로 구현한다.
- [0174] 제안된 알고리즘은 샘플링 주파수를 증가시켜서 캡처된 이미지가 연구 목적으로 충분히 풍부하고 3 개의 분광기에 대해 3 개의 호스트 대신 하나의 호스트를 사용함으로써 장비 비용이 감소된다.
- [0175] 온라인 DPCM은 압축 이득을 향상시켜 계산 복잡성을 증가시켰다. 픽셀 $p_{m,k}$ 의 계수는 $p_{m-1,k}$ 의 계수로부터 재귀적으로 계산되지만, 다른 스펙트럼 선의 인코딩 픽셀은 독립적이다.
- [0176] 이것이 병렬화를 위해 ORLS를 더 개발할 수 있는 핵심 요소이다. 중앙 처리 장치 (CPU)는 컴퓨터의 핵심 프로세서이며 그래픽 처리 장치 (GPU) 병렬 처리에서도 적어도 하나의 CPU가 호스트가 되어야한다.
- [0177] 컴퓨터의 계산 코어가 일반적으로 GPU보다 CPU이기 때문에 멀티 코어 CPU에서 ORLS를 병렬 처리하기로 결정했다.
- [0178] OpenMP 인터페이스는 C / C ++ 및 Fortran 언어를 지원하며 병렬 프로그래밍에 사용하기 쉽다.
- [0179] 구문은 대개 `#pragma omp parallel for [clause]` 구문으로 작성된다. `#pragma omp` 구문은 OpenMP 컴파일러가 처리할 후속 구문을 구분하며 이 절은 병렬 루프의 등록 정보를 제어하기 위한 추가 옵션이다.
- [0180] 컴파일러가 OpenMP 명령어를 인식하고 처리할 수 없는 경우에도 병렬 알고리즘의 성능은 직렬 알고리즘의 성능보다 우수하다 코드를 C ++로 구현했다.
- [0181] 핵심 단계는 서로 다른 밴드의 픽셀을 예측하기 위한 간단한 중첩된 for-loop에서 시작된다. OpenMP 지시문은 외부 루프 외부에서 수행될 수 있다.
- [0182] 그런 다음 외부 루프의 반복을 실행하기 위해 여러 스레드가 자동으로 생성된다.
- [0183] 내부 루프에서 픽셀은 도 8과 같이 오름차순으로 밴드 인덱스에 따라 인코딩된다.
- [0184] 따라서 내부 루프의 각 반복에는 이전 반복에 대한 종속성이 있으므로 내부 루프를 병렬로 배치할 수 없다.
- [0185] 계산 성능을 향상시키는 또 다른 방법은 Intel x86 아키텍처에서 설계된 SSE2 (Streaming SIMD Extensions 2)를 이용하는 것이다. 70 개의 명령어가 포함 된 첫 번째 SSE 버전을 기반으로 144 개의 새로운 명령어가 추가되었다.
- [0186] SSE2는 MMX 레지스터의 벡터화 된 정수 연산 외에도 XMM0에서 XMM7까지의 8 개의 XMM 레지스터를 사용할 수 있다.
- [0187] 각 XMM 레지스터는 정수, 단 정밀도 및 배정 밀도 부동 소수점 수에 대해 단일 및 사 팩형 산술 연산 (더하기, 빼기, 곱하기 및 나눗셈 연산)을 지원한다. 패킹된 연산은 벡터에서 처리할 여러 스칼라 수를 패킹하고 벡터를 처리하여 패킹된 수를 처리한다.
- [0188] 도 8은 XMM이 압축된 데이터 형식을 지원함을 보여준다. 도 9는 2 개의 부동 벡터들 $A = [a_1, a_2, a_3, a_4]$ 및 $B = [b_1, b_2, b_3, b_4]$ 의 XMM 레지스터에서 패킹된 덧셈 연산 $A+B$ 와 곱셈 연산 AB^T 를 나타낸다.
- [0189] 여기에 `movups`, `addps` 및 `mulps`가 메모리에서 데이터를 로드 한 다음 두 개의 레지스터의 데이터를 압축된 단정밀도 부동 소수점 형식으로 각각 더하고 곱한다.
- [0190] 위의 내용을 바탕으로 외부 루프를 병렬로 배치하고 OpenMp와 SSE2를 통해 ORLS의 내부 루프에서 각각 벡터를 만든다.
- [0191] ORLS는 `schedule (type)` 절을 취하고 그 스케줄 유형이 안내된다. `schedule` 절을 사용하면 외부 루프 스레드에 반복을 할당할 수 있다. 각 스레드는 일반적으로 병렬 청크라고하는 여러 반복을 유지한다.
- [0192] 가이드 스케줄링에서는 병렬 청크가 동적으로 스레드에 할당된다. 연속된 청크의 크기는 특정 크기에서 최소 크기로 지수 함수적으로 감소한다.
- [0193] 또한 SSE2 명령어는 행렬 곱셈 및 변환에서 여러 산술 연산에 사용되며 8 개의 16 비트 단락, 4 개의 32 비트 정수 및 4 개의 부동 또는 2 개의 이중 숫자를 동시에 조작할 수 있다. 일부 지시 사항은 다음과 같다.

- [0194] SSE2 명령어의 끝 ss, sd, ps 및 pd는 각각 단 정밀도 및 배정 밀도 부동 소수점의 스칼라 연산 (ss 및 sd) 및 압축된 연산(ps 및 pd)에 대한 명령어를 나타낸다.
- [0195] 2. 실험
- [0196] 2.1. 실험 준비
- [0197] 모든 실험은 3.40 GHz Intel Xeon E3-1240 CPU가 장착된 IDE 환경의 Win32 플랫폼에서 수행되었다. 무손실 압축 방법이 유효할 때, 잔여 이미지의 확률 분포 함수는 무 기억 Gaussian 모델의 확률 분포 함수에 접근한다.
- [0198] 따라서, 도 10에서 보듯이 예측 순서가 8인 원본 및 오차 영상의 계산된 확률 히스토그램을 제시한다.
- [0199] 제안된 방법이 장식 관계를 잘 수행한다는 것을 알 수 있다. bpp의 비트 전송률은 16 비트에서 4.772 비트이다.
- [0200] 또한 공간 상관 관계 곡선은 스펙트럼 상관 관계와 비교하여 좁은 피크를 가지며, 이것은 스펙트럼 내 예측이 스펙트럼 간 예측에 비해 더 효과적임을 시사한다.
- [0201] 최적의 순서를 실험적으로 결정하기 전에 최적의 예측 차수가 떨어지는 범위를 대략적으로 추정했다.
- [0202] 통계적으로 R-square를 정의하여 여러 종속 변수로 독립 변수를 표현하는 장점을 표현했다.
- [0203] 다중 선형 회귀 모델을 사용하여 수학적 식 8을 압축 효율의 척도로 사용한다. 여기서, $column_k$ 는 이미지의 k 번째 스펙트럼 선의 평균값이고, $\check{p}_{m,k}$ 는 픽셀 $p_{m,k}$ 의 예측값이다.
- [0204] (수학적 식 8)
- $$R^2 = 1 - \frac{\sum_{m=1}^M (p_{m,k} - \check{p}_{m,k})^2}{\sum_{m=1}^M (\check{p}_{m,k} - column_k)^2}$$
- [0205]
- [0206] 실험 결과는 9 번째 스펙트럼 선의 R- 제곱 값이 최대값이며, 이는 예측 차수가 8인 것에서 가장 좋은 결과를 나타낸다.
- [0207] 따라서 하나의 CPU에서 7 개의 이미지 장면에 대해 4에서 12까지의 예측 차수로 ORLS를 적용했다. 이 장면은 2012 년 7 월 1일, 2일, 3일, 4일, 8일, 9일 및 10일에 남극 중산 역에서 촬영되었다. 각 장면은 7 월 2일 데이터 세트를 제외하고 무작위로 선택한 100 개의 오로라 스펙트럼 이미지로 구성되어 있으며, 99 이미지를 가진다.
- [0208] 그런 다음 계산 효율성을 비교하기 위해 동일한 예측 범위를 가진 2, 4 및 8 개의 동일한 CPU를 사용하는 병렬 ORLS를 실행했다.
- [0209] 실험에서, 모든 DPCM 기반 알고리즘은 동일한 프로세스를 따라 $M \times K$ 크기의 2D 오차 이미지가 최소 자승법을 사용하는 고전적인 DPCM에서 계수가 부동 소수점 정밀도 형식으로 저장된다는 점을 제외하고는 특정 엔트로피 인코딩된 1 차원 시퀀스 $p_{1,1}, p_{1,2}, p_{1,N}, p_{2,1}, \dots, p_{M,K}$ 로 변환되며, 해독 정확도를 향상시킨다.
- [0210] 모든 DPCM 기반 알고리즘의 오차 인코딩에 대해 동일한 범위 코딩을 사용했다. 공간을 절약하기 위해 표에서 방법 1과 2는 각각 최소 자승법을 사용하는 고전적 및 온라인 DPCM을 나타낸다.
- [0211] 2.2. 압축 성능 비교
- [0212] 도 11은 7 월 1일 이미지 장면에서 최소 자승법과 제안된 알고리즘을 이용한 고전 및 온라인 DPCM의 압축 비교를 보여준다.
- [0213] 예측 차수 5는 최소 자승법을 사용하여 고전적인 DPCM에서 최적의 압축 이득을 산출했다. 두 온라인 알고리즘의 가장 좋은 예측 순서는 모두 8이다.
- [0214] 이것은 도 3에 표시된 표현과 R- 제곱을 정렬하여 추측한 가상의 최적 예측 순서와 각각 일치한다.
- [0215] 다른 한편으로, 온라인 방법의 곡선은 압축 변화가 예측 차수에 따라 약간 변화한다는 것을 나타내는 동일한 변화 경향을 나타낸다.
- [0216] 이는 예측 계수를 제거하는 온라인 개념과 일치한다. 온라인 DPCM 모델에서 최소 제곱법 대신 RLS를 사용하여

압축 이득의 평균 5 % 향상을 얻었다. 이는 RLS가 공간 및 스펙트럼 영역에서 상관 계수 제거에 효과적이라는 것을 증명한다.

[0217] 다음으로 예측 차수를 4에서 12로 변경했다. 표 1은 7 개의 데이터 세트에 대한 여러 가지 무손실 압축 알고리즘의 bpp에서의 실험 결과를 보여준다. 여기에서 [4]에서 CALIC을 구현했다.

[0218] (표 1)

Algorithm	Image set							Average
	July 1	July 2	July 3	July 4	July 8	July 9	July 10	
JPEG2000	9.853	9.547	9.326	9.475	9.292	10.073	9.312	9.554
DEFLATE	6.451	6.061	5.806	6.045	5.432	6.957	5.461	6.030
range encoding	6.035	5.456	5.055	5.438	4.508	6.701	4.535	5.390
2D-LUT	5.697	5.297	5.050	5.387	4.991	6.265	4.933	5.374
LZMA2	5.361	5.162	5.011	5.148	4.748	5.599	4.775	5.115
LZMA	5.356	5.155	5.002	5.139	4.742	5.593	4.770	5.108
JPEG-LS	4.975	4.945	4.901	4.918	4.972	5.056	4.886	4.950
BZip2	5.017	4.924	4.860	4.913	4.720	5.125	4.738	4.900
Method 1 (order 5)	4.843	4.845	4.774	4.801	4.829	5.037	4.765	4.842
Method 2 (order 8)	4.826	4.779	4.745	4.762	4.812	4.903	4.732	4.800
CALIC	4.741	4.680	4.658	4.677	4.613	4.833	4.645	4.692
PPMII	4.848	4.704	4.613	4.693	4.465	5.010	4.483	4.688
proposed (order 8)	4.586	4.548	4.505	4.524	4.579	4.678	4.496	4.559

[0219]

[0220] 순수 범위 코딩의 비교는 최소 제곱법보다 ORLS의 개선을 보여주기 위해 추가되었다. 2D-LUT는 [26]의 알고리즘의 2 차원적 구현이며, 픽셀 $p_{m,k}$ 를 예측할 때, 픽셀 $p_{m,k}$ 와 동일한 값을 갖는 픽셀에 대해 (k-1) 번째 대역에서 검색한다.

[0221] 정보 상속 (PPMII) [40]을 가진 PPM의 변형은 PPM에 비해 향상된 압축 이득과 허용 가능한 속도를 가지기 때문에 대신 실험에서 사용했다. 7-Zip 소프트웨어 [41]를 통해 PPMII, DEFLATE, LZMA, LZMA2 및 Bzip2 압축 알고리즘을 구현했으며 각각 최적의 매개 변수 설정을 사용했다. 또한 Kakadu [42] 소프트웨어를 사용하여 JPEG2000을 구현했다.

[0222] 모든 결과는 온라인 예측에 대한 중요한 발견을 보여 주며, 즉 전통적인 DPCM 모델의 압축 성능이 향상된다. 또한 RLS가 픽셀 간의 2 차원 상관 관계를 이용하기 때문에 제안된 알고리즘은 다른 고전적 알고리즘에 비해 압축 효율이 가장 높으며 최소 제곱 법에 비해 6.1 % 향상된 결과를 얻을 수 있다.

[0223] 또한, 7 월 8 일과 7 월 10 일의 이미지 장면에서 캡처 된 명확한 오로라가 없다.

[0224] 이 경우 특정 밴드의 픽셀을 제외한 캡처 된 이미지의 모든 픽셀이 오로라가 없는 배경색으로 채워진다.

[0225] 따라서, 결과는 PPMII가 잉여 배경을 활용할 때 제안된 방법보다 우수하다는 것을 보여준다.

[0226] 2.3. 공정 시간의 비교

[0227] 첫째, 3.40 GHz Intel Xeon E3-1240 CPU에서 모든 DPCM 기반 알고리즘을 구현했다. 그런 다음 각각 2, 4 및 8 개의 동일한 CPU에서 병렬 처리를 수행했다.

[0228] 도 12는 홀수 예측 차수가 1만큼 증가한 경우의 두 가지 고유한 변형을 보여준다.

[0229] 첫 번째 경우 평균 처리 시간이 줄어들었다. 이 경우 추가 및 곱셈 연산에서 SSE2 명령어를 통해 더 많은 항목을 팩할 수 있기 때문이다.

[0230] 다른 하나는 병렬 ORLS의 속도 향상이 하나 이상의 CPU를 사용할 때 예측 차수에 따라 증가한다는 것이다.

[0231] 실제로 사용 된 CPU 수에 대한 속도 향상 속도가 CPU 사용률이다. 따라서 이 변형은 계산에 더 많은 압축 SSE2 명령어를 사용하면 CPU 사용률이 높아짐을 나타낸다.

[0232] 표 2는 모든 DPCM 기반 방법의 비교를 보여준다. 결과는 온라인 DPCM 모델에서 최소 제곱 법을 RLS로 대체하면 사실상 거의 30 배의 속도로 계산 속도가 향상된다는 것을 나타낸다.

[0233] (丑 2)

Algorithm	Method 1 (order 5)	Method 2 (order 8)	proposed (order 8)
1 CPU	0.23	46.62	1.44
2 CPUs	0.22	24.24	0.72
4 CPUs	0.23	13.02	0.48
8 CPUs	0.22	10.09	0.42

[0234]

[0235] 실시간 전송 요구 사항과 관련하여 각 이미지는 샘플링 시간 내에 처리되어야 한다. 간격은 20 초이다. 결과는 ORLS가 다중 코어 없이도 잘 작동하며 ORLS가 8 개의 CPU를 사용하는 경우 획득을 위한 최소 시간 간격이 0.42 초임을 보여준다.

[0236] 또한, 최소 제곱법은 모든 대역의 정보를 동시에 예측에 사용한다. ORL와 마찬가지로 내부 루프도 없다.

[0237] 따라서 더 많은 CPU를 사용하는 것은 그리 효과적이지 않다. 온라인 최소 제공 법의 온라인 CPU 사용률은 2, 4 및 8 개의 CPU에서 각각 96.2 %, 89.5 % 및 57.8 %이다.

[0238] 제안된 알고리즘은 각각 100 %, 75.0 % 및 42.9 %이다. 온라인 방법에 더 많은 CPU를 사용하면 처리 시간이 단축되지만 CPU 사용은 감소한다.

[0239] 따라서 자원 활용을 고려할 때 병렬 제안 알고리즘은 4 개의 CPU를 사용하는 것보다 바람직하다.

[0240] 3. 결론

[0241] 본 발명에서는 실시간 데이터 전송의 한계를 해결하는 빠른 ORLS 방법을 제시했다. 제안된 알고리즘은 공간 및 스펙트럼 영역에서 2 차원 상관 관계를 이용하고 예측 계수에 관한 부가 정보를 효과적으로 제거함으로써 오로라 스펙트럼 이미지에 대한 무손실 압축을 처리함으로써 압축 이득과 계산 복잡성에 대해 더 나은 성능을 달성한다.

[0242] 실험 결과에 따르면 제안된 ORLS 알고리즘은 오로라 광학 정보를 보다 잘 활용하고 기존의 여러 무손실 압축 방법과 비교하여 순위 압축 성능을 달성할 수 있다. 이것은 엄격한 실용적인 실시간 요구 사항을 충족시키고 샘플링 주파수를 높이기 위해 병렬화를 사용한다.

[0243] 이상에서 본 발명의 실시예에 대하여 상세하게 설명하였지만 본 발명의 권리범위는 이에 한정되는 것은 아니고 다음의 청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리범위에 속하는 것이다.

부호의 설명

[0244] 110 : 비교기 120 : 양자화기

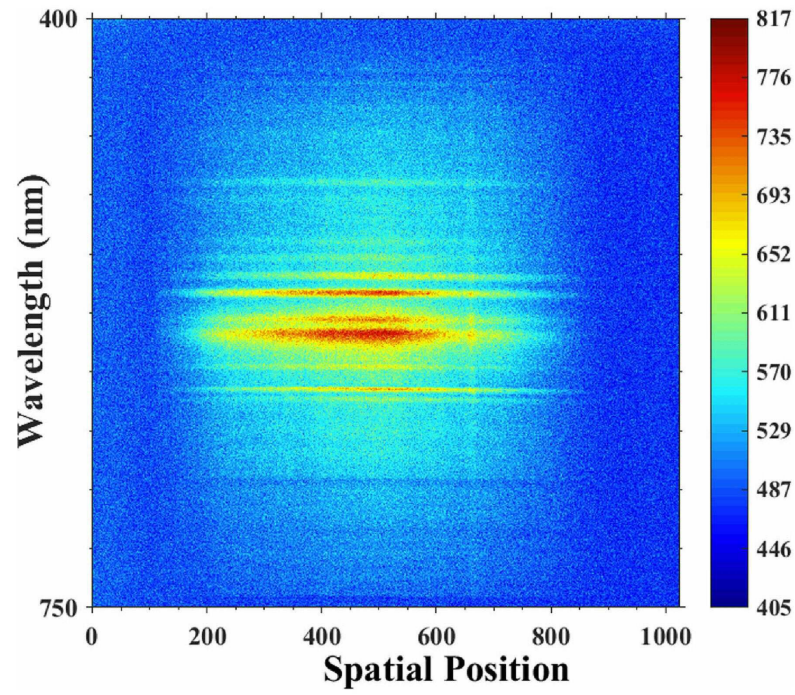
130 : 예측기 140 : 부호화기

210 : 복호화기 220 : 가산기

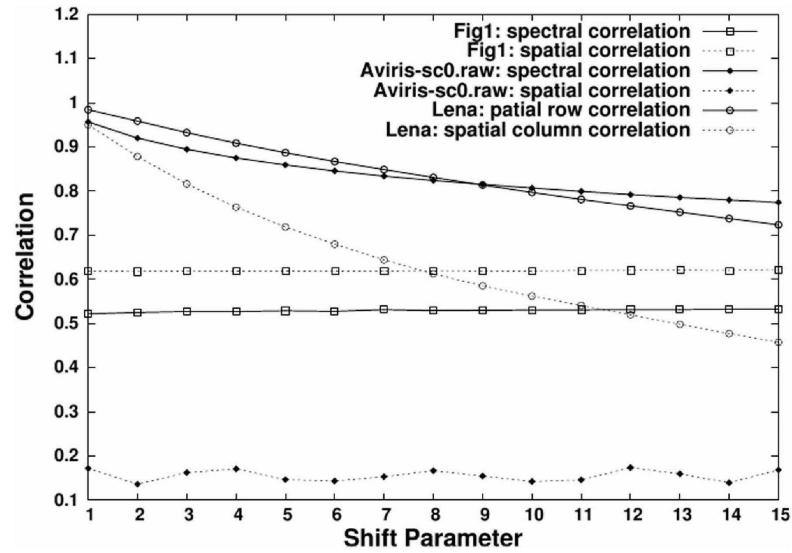
230 : 예측기

도면

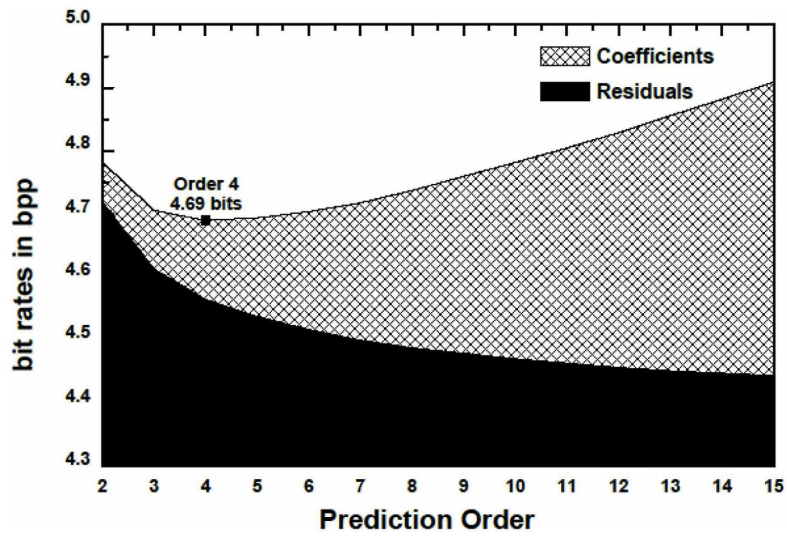
도면1



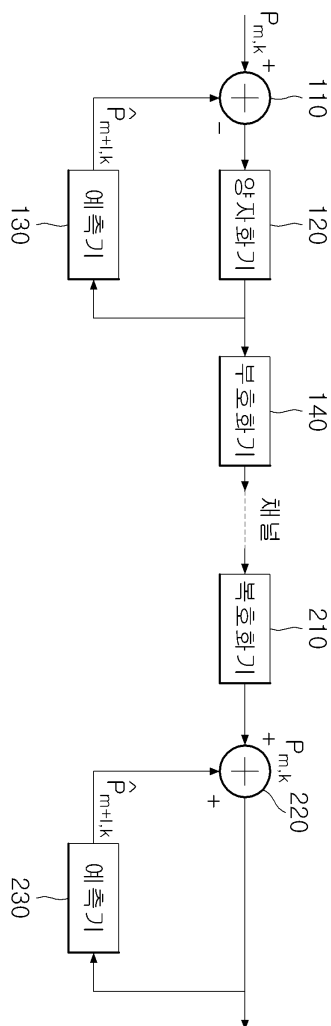
도면2



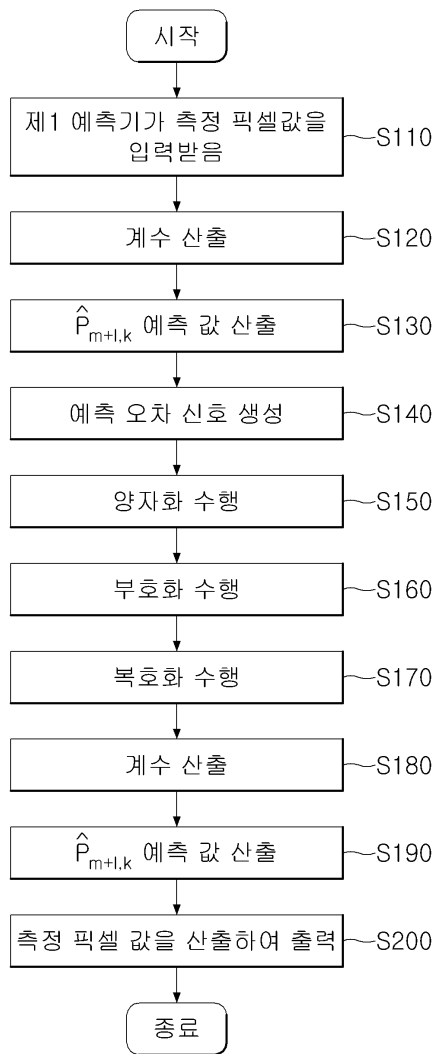
도면3



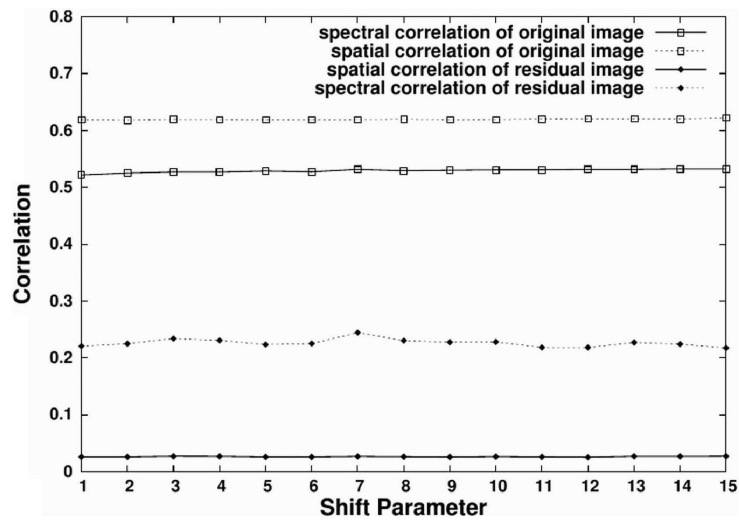
도면4



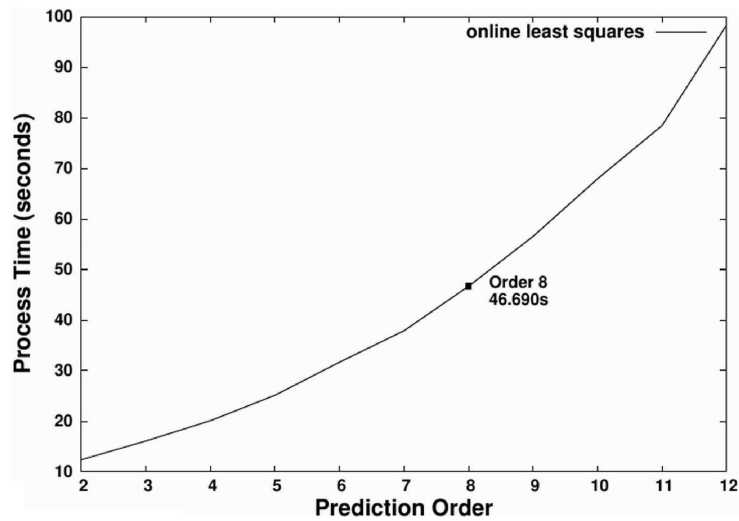
도면5



도면6

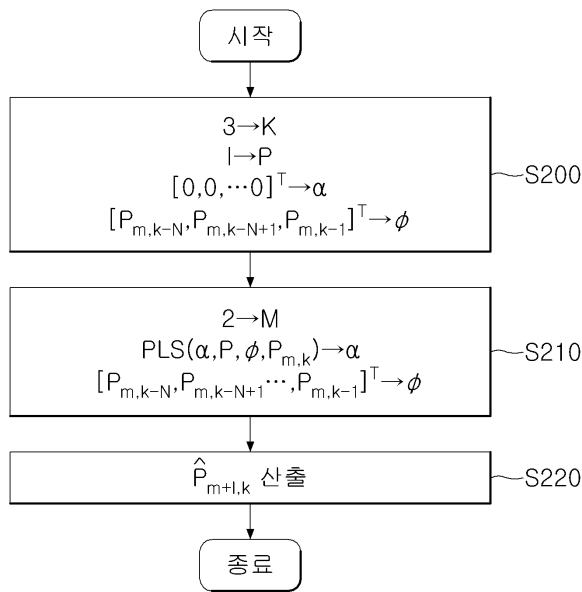


(a) Compression Performance

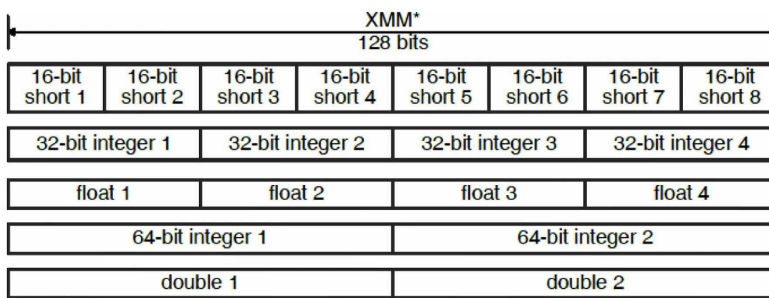


(b) Processing Time

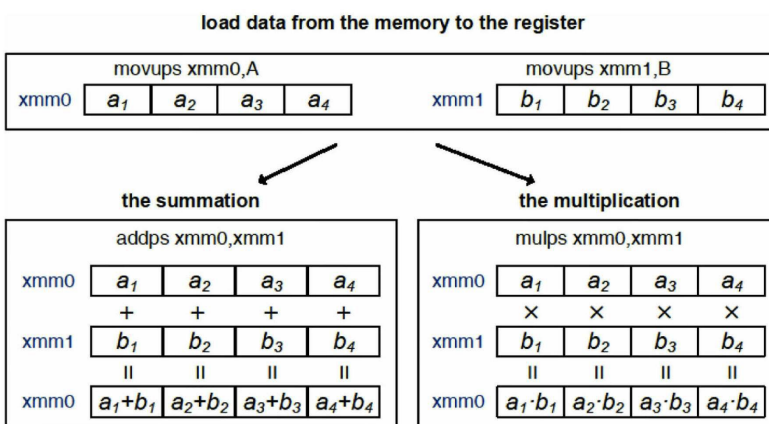
도면7



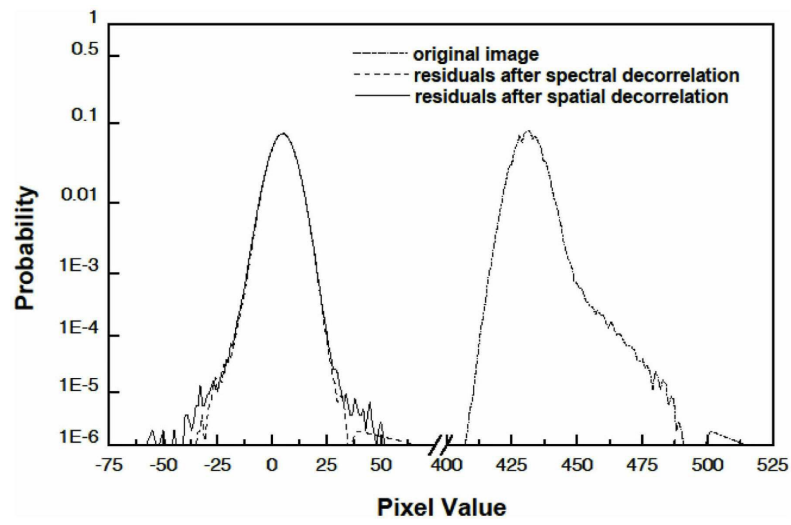
도면8



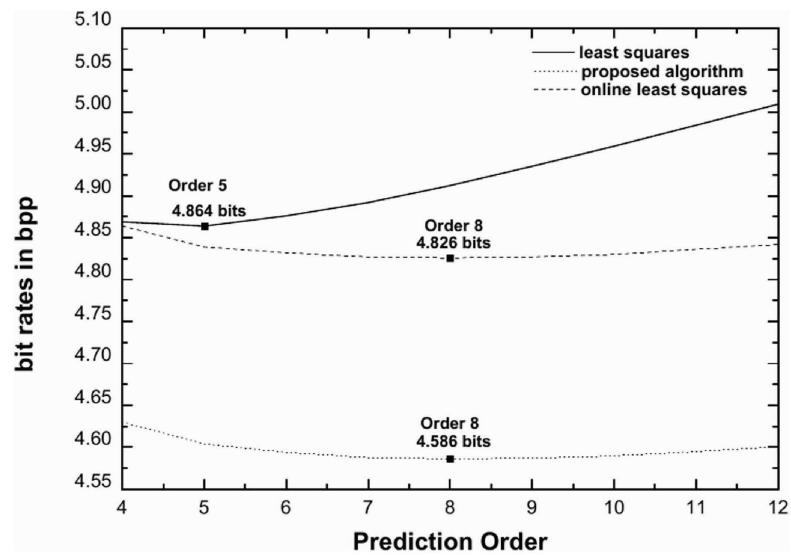
도면9



도면10



도면11



도면12

