

3-차원 블록인터리버기법의 터보코드를 이용한 영상통신시스템설계

최대식 · 공형윤 · 최원호
전기전자 및 자동화공학부

<요약>

본 논문에서는 3-차원 블록인터리버기법의 터보코드를 사용하여 무선 통신 환경 하에서 효과적으로 전송할 수 있는 영상 통신 시스템을 제안한다. 웨이브릿 변환과 벡터양자화를 영상의 압축알고리즘에 사용하였으며, 무선통신시스템의 코딩방식 중 하나인 터보코드를 사용하여 압축영상데이터의 통신에 사용하였다. 터보코드의 성능은 데이터 윌, 부호기의 구속장의 길이, 복호 방식, 순환복호의 횟수, 인터리버의 종류 및 블록크기에 의존되어 진다. 같은 비트 크기에서의 2차원 블록인터리버보다 비트간의 거리를 크게 하는 3차원 인터리빙알고리즘을 적용한 시스템이 영상통신에서 높은 성능을 얻었다. 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 3차원 블록인터리버의 성능을 압축된 영상과 가우시안 잡음 채널 환경 하에서 비교 분석하였다.

Design of an Image Communication System Using Turbo Code with 3-D Block interleaver

Tae-Sik Choi · Hyung-Yun Kong · Won-Ho Choi
School of Electrical, Electronic and Automation

<Abstract>

In this paper, an image communication system that can effectively work in wireless communication environment is proposed. The wavelet transform and the vector

* 본연구는 반도체교육설계센터의 지원으로 수행되었음

quantization are used to the compress images. The turbo code that is one of the coding methods in wireless communication is used for the compressed image data communication. The efficiency of turbo code depends on the data rate, the constraint length, the decoding algorithm, the number of decoding iteration, the type of interleavers and the block size. The system with 3-D interleaving algorithm whose bit distance is longer than the 2-D block interleaver in the same size had the higher performance in image transmission. To verify the performance of the proposed method, computer simulation was performed in Gaussian noise model.

I. 서론

차세대 영상통신 시스템의 구현에 있어서 영상정보의 전송방식에 따라 전송채널의 이용 효율과 서비스의 질이 결정되기 때문에 영상정보의 전송방식이 차지하는 비중은 매우 높게 된다. 따라서 효과적으로 영상정보를 압축하는 방법과 무선채널 상에서 데이터를 효율적으로 전송하기 위한 채널 부호화 방법에 대한 많은 연구가 이루어졌다. 일반적으로 정지영상의 압축에는 손실압축(lossy compression)의 일종인 JPEG(Joint Picture Experts Group)이나 웨이블릿 변환이 적용되고 있다[1][2].

JPEG는 DFT(Discrete Fourier Transform)를 기반으로 하는 DCT(Discrete Cosine Transform)와 허프만 부호화를 사용하며, 최근 MPEG(Moving Picture Experts Group)-4와 JPEG-2000에서 채택된 웨이블릿 변환을 이용하는 방법이 있다. 웨이블릿을 영상에 이용하는 방법은 그림 1과 같다.

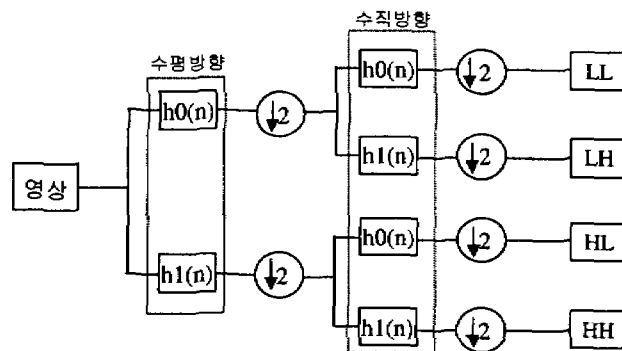


그림 1 웨이블릿변환을 이용한 영상신호 분리

본 논문에서는 영상에 수평과 수직방향에 저대역 필터와 고대역 필터를 적용하여 영상을 3단계로 분해하고, 벡터 양자화를 이용해서 압축하였다[3]. 벡터 양자화는 코드북과 인덱스를 이용하게 되는데, 웨이블릿 변환을 이용해서 분해된 영상에서 서로 상관성을 가지는 계수들을 하나의 벡터로 구성하고, 코드북의 각 벡터 값과의 거리를 계산하여, 가장 거리가 최소인 코드벡터를 찾고 그 코드벡터가 가지는 인덱스를 출력하여 압축을 수행한다.

이러한 벡터양자화는 높은 압축율을 기대할 수 있으나 코드북의 설계 및 그 구성이 압축의 성능에 큰 영향을 미치고 영상통신에 있어서 송신측과 수신측에 동일한 코드북을 가지고 있어야 한다는 문제가 발생하게 된다. 하지만 일정한 크기의 인덱스들만을 전송하게 되므로 무선 채널을 통한 전송에서 비트 에러가 발생하더라도 다른 영상의 블록에는 영향을 미치지 않는 장점이 있다. 이렇게 웨이블릿을 이용하여 영상을 압축하는 방법은 영상의 중요한 에너지를 몇몇 계수에 집중시켜 그 계수에 많은 비트를 할당하고, 나머지 계수에는 보다 적은 비트를 할당함으로써 효율적인 압축을 수행할 수 있다. 압축된 신호의 인덱스를 무선채널을 통해 전송하기 위해서는 차별적인 채널에러 보호기법이 필요하게 된다. 채널 부호화 방식으로는 Reed-Solomon 부호, Hamming 부호, RCPC (Rate Compatible Punctured Convolutional) 부호 등이 주로 사용되어 지며, 본 논문에서는 채널부호화로 1993년 C. Berrou 등에 의해 제안된 터보코드를 이용하였다[4][5]. 터보코드는 데이터를, 부호기의 구속장의 길이, 복호방식, 순환복호의 횟수 등 여러 가지 요인들에 의해 성능이 좌우된다. 본 논문에서는 2차원 블록 인터리버보다 최소 비트간의 거리를 크게 할 수 있는 3차원 블록 인터리버를 적용하였다[7].

II. 웨이블릿 변환 및 벡터 양자화

웨이블릿 변환의 기본 개념은 임의의 함수를 시간-주파수 공간에서 동시에 지역성을 갖는 웨이블릿 기저함수로 표현하는 것이며 식(1)에 기저함수를 식(2)에 웨이블릿 변환식을 나타내었다.

$$h_{a,b}(t) = |a|^{-1/2} h\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad a, b \in R \quad (1)$$

$$X_w(a,b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} h^*\left(\frac{t-b}{a}\right) x(t) dt \quad (2)$$

웨이블릿을 영상의 분해에 적용하기 위해서는 필터뱅크를 사용하게 되고, 저대역 필터와 고대역 필터를 적용하여 영상의 계수를 얻고 이 계수들을 2:1로 부표분화하게 된다. 웨이블릿 변환에 의해 분해된 영상의 각 대역간의 상관 관계는 그림 2와 같다.

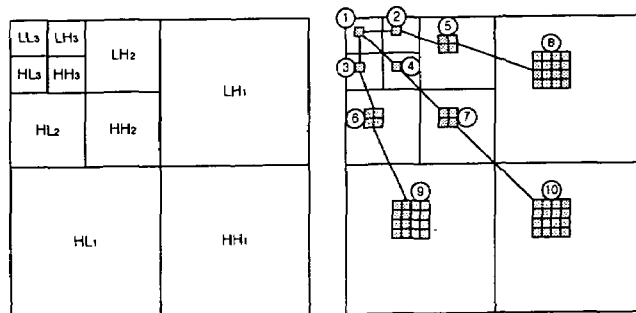


그림 2 웨이블릿 변환 계층분해 구조 및 상관 관계

따라서 그림 2에서와 같이 LL3의 1개 화소는 LH3의 1개의 화소 LH2의 4개의 화소 LH1의 16개의 화소와 상관관계를 가지며, 또 LL3의 1개의 화소는 HL3의 1개의 화소 HL2의 4개의 화소 HL1의 16개의 화소와 상관관계를 가지며, HH3의 1개의 화소는 HH3의 1개의 화소 HH2의 4개의 화소 HH1의 16개의 화소와 상관관계를 가지게 된다. 따라서 이러한 64개의 화소를 하나의 벡터로 구성하고, 그림 3에 나타낸 벡터양자화 과정을 거치게 된다.

벡터의 크기가 L 이고 하나의 벡터에 N 개의 비트가 할당되면, 코드북은 2^N 개의 코드벡터로 구성되며, 이 경우 하나의 샘플에는 N/L 개의 비트가 할당된다.

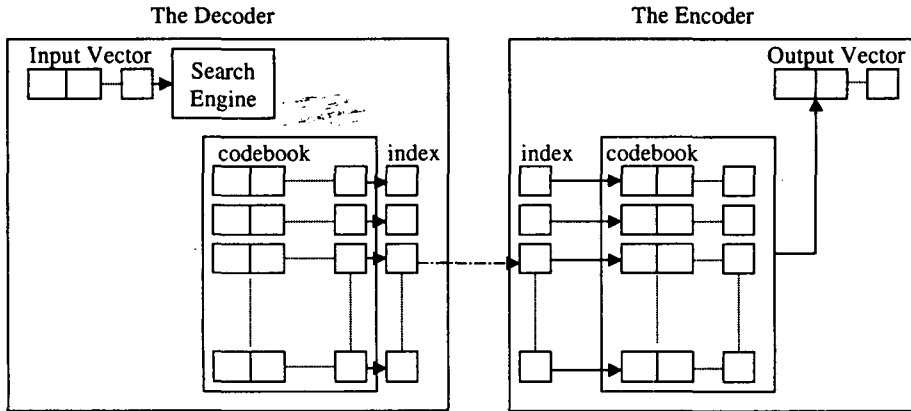


그림 3 벡터 양자화 과정

입력벡터는 식(3)을 이용하여 코드북을 구성하는 코드벡터들과의 거리를 계산한다.

$$d(\mathbf{x}, \hat{\mathbf{x}}) = \|\mathbf{x} - \hat{\mathbf{x}}\|^2 = \sum_{i=1}^k (x_i - \hat{x}_i)^2 \quad (3)$$

여기서는 \mathbf{x} 는 입력 벡터, $\hat{\mathbf{x}}$ 는 코드북의 코드벡터를 의미하며, $d(\mathbf{x}, \hat{\mathbf{x}})$ 는 두 벡터간의 거리, $\|\cdot\|$ 는 벡터놈(norm) 또는 거리(distance)를 나타낸다. 이러한 방법으로 거리가 최소인 코드벡터를 찾고, 그 코드벡터가 가지는 인덱스를 출력함으로써 압축을 수행한다.[6] 논문에서는 벡터의 크기 L 은 64, 벡터 인덱스 N 은 12로 구성하였으며, 따라서 압축률은 42.67이며, 1개의 화소에 할당되는 비트는 0.1875bpp(bit per pixel)가 된다.

벡터 양자화 코드북의 훈련에는, Baboon, Bank, Camera, Crowd, Face, Jet, Lena, Pepper와 같은 표준 실험 영상을 이용하여 각 영상을 웨이브릿변환을 이용하여 분해하고 각각의 영상을 벡터로 구성하여 LBG (Linde Buze Gray) 알고리즘을 이용하여 코드북을 훈련하였다.

III. 터보코드 및 3차원 블록 인터리버의 동작

터보코드는 일반적으로 두 개의 부호기와 1개의 인터리버로 구성되며, 터보코드의 부호기와 복호기는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

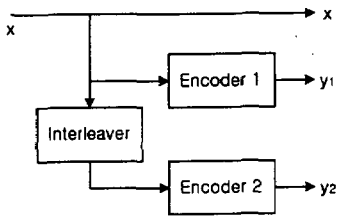


그림 4 터보코드의 부호기

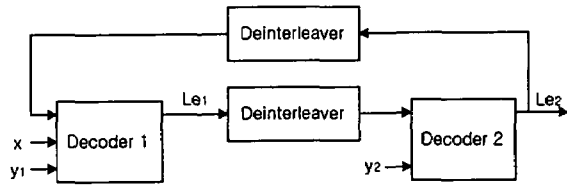


그림 5 터보코드의 복호기

부호기(Encoder 1,2)는 RSC(Recursive Systematic Convolutional) 부호기로 일반적인 콘볼루션 코드와 비슷한 형태를 가지나 귀환되는 부분이 있어 연속적인 동일한 부호의 입력에 대하여 전력을 평균적으로 분할할 수 있다는 장점을 가진다. 부호기(Encoder 1)은 입력 x 에 대하여 부호어 y_1 을 만들어 내며, 다른 하나의 부호기(Encoder 2)는 입력에 대해 인터리버를 통해 순서를 변환한 데이터를 입력으로 해서 부호어 y_2 를 만들어 낸다.[7]

터보코드의 성능을 결정하는 요인 중 하나는 복호기방식이다. 복호기방식에는 MAP(Maximum a Posteriori), log-MAP, SOVA(Soft in / soft out Viterbi Algorithm) 등이 있다. MAP은 비트 에러가 발생할 확률을 최소화하는 알고리즘으로 계산량이 많고 성능이 아주 우수한 반면, SOVA는 비트 에러율을 최소화하는 알고리즘으로 계산량은 적지만 MAP보다는 성능이 조금 나쁘다. 본 논문에서는 SOVA알고리즘의 복호방식을 적용하였다.

인터리버는 입력된 데이터의 순서를 바꾸어 출력함으로써 전송 채널에 발생할 수 있는 연접 에러를 줄일 수 있는 방식이며, 일반적인 (11×11) 블록 인터리버를 그림 6에 나타내었으며, 본 논문에서 적용한 (5×5×5) 3차원 블록 인터리버를 그림 7에 나타내었다.

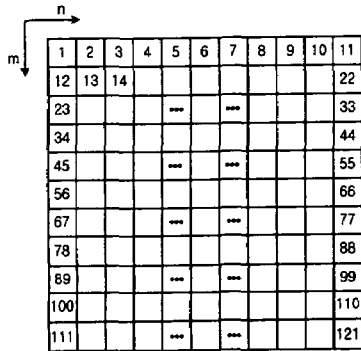


그림 6

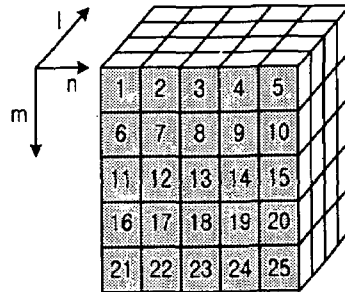


그림 6 (11×11) 2차원 블록인터리버의 구조 그림 7 (5×5×5) 3차원 블록인터리버의 구조

(11×11) 2차원 블록 인터리버는 n, m 의 순으로 입력이 되고, 출력은 m, n 순을 따르게 된다. 입력 시퀀스와 출력 시퀀스의 순서는 다음과 같다. 즉 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, ...와 같은 순서의 입력에 대해 1, 12, 23, 34, 45, 56, 67, 78, 89, 100, 111, 2, 13, 24, ...와 같은 순서로 출력되어 진다. (5×5×5) 3차원 블록 인터리버는 n, m, l 의 순서로 입력되며, l, m, n 의 순으로 출력되게 된다. 즉 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, ...와 같은 입력 순서에 대해 1, 26, 51, 76, 101, 6, 31, 56, 81, 106, 11, ...순으로 출력되

어진다. 그림 8과 같이 출력 시퀀스에서 가장 근접한 순서의 값간의 거리를 블록거리라고 하고 연속된 두 시퀀스에서의 각 비트간의 거리를 비트거리라 한다[7]. 2차원 블록 인터리버와 3차원 블록 인터리버의 특성은 2차원 블록 인터리버의 경우 각각 11의 블록 거리와 11의 비트거리를 갖는 반면, 제안된 3차원 블록 인터리버에서는 그림 8에서 보여주듯이 각 블록거리가 5이고 비트간의 거리는 5로서 표 1에 나타내었다.

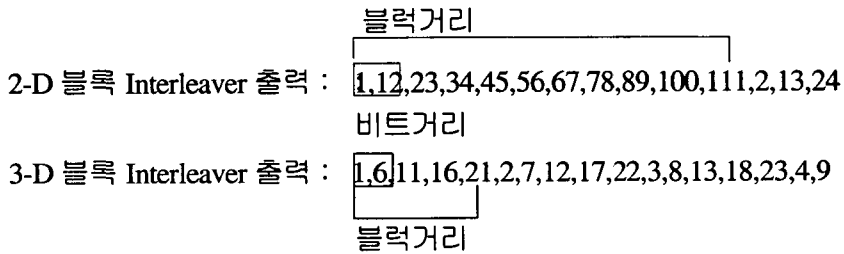


그림 8 2-D 및 3-D 블록 인터리버의 블록거리와 비트거리

표 1 인터리버에 따른 특성 비교

	블록거리	비트거리
(11×11) 2-D 블록 인터리버	11	11
(5×5×5) 3-D 블록 인터리버	5	5

연속적으로 발생하는 에러를 정정하는 특성은 블록거리보다는 비트거리에 많이 의존하게 된다. 따라서 연접 에러가 많이 발생하는 채널환경 하에서는 3차원 블록 인터리버를 적용한 경우는 비트거리가 2차원 블록인터리버보다 3차원 블록인터리버의 비트거리가 크게 나타나므로 성능이 더 우수하게 된다.

IV. 실험결과 및 고찰

그림 9는 벡터 양자화를 이용해서 압축한 영상을 나타낸 것이다. 벡터 양자화를 42.67의 높은 압축률로 압축했기 때문에 압축된 영상의 PSNR이 24.64dB의 값을 가졌다.



(a) 원영상 (b) 압축된 영상
그림 9 벡터 양자화를 이용해서 압축한 영상

그림 10에는 가우시안 잡음 환경하에서 제안된 3차원 블록 인터리버, 2차원 블록 인터리버와 터보코드를 사용하지 않은 경우의 영상통신에서의 BER 성능을 비교하여 나타내었다.

모의 실험결과에서 SNR이 7dB 정도부터 2차원 블록 인터리버를 사용한 경우보다 3차원 블록 인터리버를 사용한 경우의 성능이 좋아졌으며, 0.2dB 정도의 성능이 개선된 부호화 이득을 얻을 수 있었다.

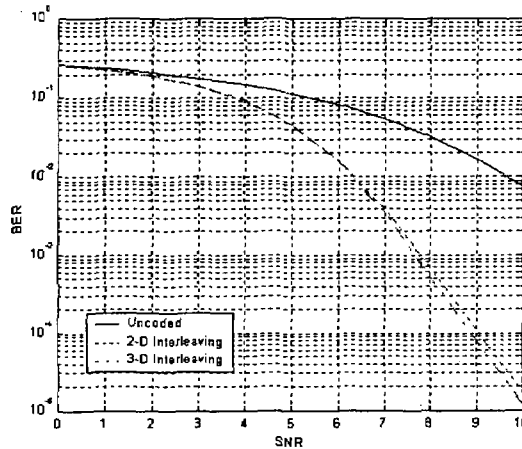
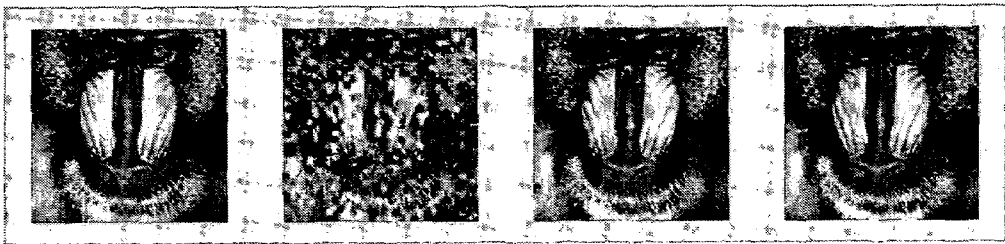


그림 10 2차원, 3차원 블록 인터리버의 성능 비교

그림 11은 SNR이 10dB인 경우에 Baboon영상에 대해 각각 3차원 블록 인터리버와 2차원 블록 인터리버 터보코드를 사용하지 않은 경우 대해 복원한 영상을 나타내었다.



(a) 압축된 영상 (b) 부호화 적용되지않은 경우 (c) 2-D 인터리버 사용 (d) 3-D 인터리버 사용

그림 11 SNR=10 일 때 3가지 전송방식 비교

V. 결 론

본 논문에서는 무선통신 채널 환경에서 소스부호화와 결합된 영상통신의 채널부호화 방법을 제시하였다. 소스부호화에서는 웨이블릿 변환 알고리즘과 벡터 양자화를 이용해서 압축을 수행하였으며, 영상전송에서 벡터 양자화의 장점은 일정한 크기의 인덱스를 무선 채널을 통해 전송함으로써 바이트에러가 발생하더라도 다음 블록에는 영향을 미치지 않는다는

장점이 있음을 알 수 있었다. 모의 실험결과에서 터보코드의 간단한 구조를 가지고 3차원 블록 인터리버를 적용함으로써 기존의 2차원 블록 인터리버보다 0.2dB정도의 성능 개선이 있는 3차원 블록 인터리버를 적용함으로써 높은 PSNR을 얻을 수 있었다.

참고문헌

1. G.K.Wallace "The JPEG Still Picture Compression Standard", IEEE Transaction on Consumer Electronics, Vol.38, No.1 pp.xviii- xxxiv, Feb 1992
2. Oliver Rioul, Martin Vetterli, "Wavelets and Signal Processing", IEEE Signal Processing Magazine, Vol 8 4, Oct, 1991
3. Khalid Sayood "Introduction to Data Compression", Morgan Kaufmann Publisher, 1996
4. C.Rerrou, A. Glavieux, and P.Thitmahima, "Near Shannon Limit Error-Correcting Coding : Turbo Codes", Proc., 1993, IEEE International Conference on Communication, pp.1064-1070, May, 1993.
5. Charles C. Wangs, "On the Performance of Turbo codes", Military Communications Conference, 1998. MILCOM 98. Proceedings., IEEE Volume: 3 , pp 987-992 , 1998
6. Nasser M.Nasrabdi and Robert A. King, "Image Coding Using Vector Quantization : A Review" IEEE Tracsactions on Communications, Vol 36, No. 8, August 1988
7. 공형운, 이창희 "터보코드를 위한 새로운 인터리버의 설계 : 3차원 블록 인터리버", 한국통신학회