

신호 몽롱화 예측부호화의 잡음 천이 특성

正會員 황 재 정* 正會員 李 門 浩**

Noise Shaping effects of Signal-blurred DPCM

Jae Jeong HWANG*, Moon Ho LEE** *Regular Members*

要 約 평탄한 잡음 주파수 특성을 갖는 예측부호화에서 신호 압축을 목적으로하여 적절한 잡음 감소 회로를 사용하면 높은 주파수 성분으로 천이시킬 수 있다. 이 경우 직접 잡음을 제어하는 필터를 사용하는 방법이 있으나 본 논문에서는 신호를 몽롱화(blurring)하는 알고리즘의 특성을 정보량 압축과 잡음 처리면에서 연구하였다. 전처리 필터의 몽롱화 과정에 공동 가중이 도입되었으며 이 몽롱화 후처리 필터에 의해 신호가 복원된다. 이러한 주파수 영역에서 잡음 천이 범위는 필터 크기에 의존한다. 신호몽롱화에 의해 잡음이 증가하지만 하니 지역 통과 특성을 갖는 시각적 관도에 적합한 부호화에 효과적임을 보였다.

ABSTRACT In DPCM coder which has flat noise distributions, reconstruction noises might be shaped or transferred to high frequency portion using the relevant noise reduction loop under the constraints of image compression. Noise shaping filter directly in loop can be used, but we shows the complete characteristics of signal blurred DPCM coder in view of data compression and noise processing. Equi weighting in blurring procedure of prefilter is introduced and the blurred signal is restored by deblurring postfilter. Noise shaping region on two dimensional frequency domain depends upon the size of masking filter. In spite of its noise increments by the signal blurring, the algorithm is effective for the visually relevant coding which has low pass frequency properties.

I. 서 론

영상 신호와 같이 상관성이 큰 신호에 대해서 예측부호화는 매우 효과적으로 용장성 또는 비적합성 데이터를 줄이는 것으로 알려져 있다. 예를 들어, 화소당 8 비트의 어떤 원신호에 대해 엔트로피 부호화를 하면 7.5 비트의 정보량을 갖는 비교적 상관도가 낮은 신호일지라도 예측부호화는 간단한 예측기를 사용해서 어림없이 4.9 비트로 부적절한 데이터를 압축한다. 더 낮은 전송률을 얻기 위해서는 균일한 잡음 분포 특성을 갖는 예측부호화에서 필연적으로 전대역에 걸쳐 잡음을 수반하게 된다.

한편 인간의 시각 시스템은 높은 주파수에서 감도가 떨어지므로 만일 총합이 같은 잡음 전력량이라 하더라도 높은 공간 주파수 대역에 주로

분포한다면 보다 만족스런 화질을 얻게 될 것이다.⁽⁹⁾⁽²⁾ 따라서 잡음을 높은 주파수 즉 청색 잡음 화해야 되는데 양자화 잡음을 필터링하여 직접 잡음 주파수를 제어하는 방법과 예측부호화에 전, 후 필터를 부가하여 신호 자체를 몽롱화(blurring)하는 방법이 있다. 전자의 잡음 천이 효과는 우수하나 신호 압축이 길어 되어 있고 후자는 압축을 하는데 비해 잡음을 증가시키는 것으로 알려져 있다.

신호 몽롱화 필터는 1979년 Atal,⁽³⁾⁽⁴⁾ Makhoul⁽⁵⁾ 등에 의해 음성 처리에 도입된 후로 1987년부터 Arp에 의해 영상 신호용 몽롱화 필터가 소개되는데 주파수 특성을 고려하지 않은채 적용가능성만을 제시하고 있다.⁽⁶⁾ Girod는 영상 신호의 잡음 제거를 목적으로 양자화 잡음의 천이 필터에 중점을 두어 연구하였고⁽⁷⁾⁽⁸⁾ Musmann도 몽롱화 필터의 성능을 부인하였으나,⁽⁹⁾ 본 논문에서는 블록별 처리에서 고려되어야할 공간 주파수와 블록 크기의 관계를 화면상에서 구하여

* 蔚山來産專門大學 通信科
** Dept. of Telecom., Kusan Nat'l. Fish. College
** 全北大學校 情報通信工學科
Dept. of Inform. & Telecom., Chonbuk Nat'l. University.
論文番號 : 91-90 (接受1991. 6. 17)

적절한 필터 크기에서 수치상 잡음이 소량 증가하니 시각적으로 문잡한 영역에서 발생함을 보이고, 신호 블러화 예측부호화의 압축 및 잡음 특성을 구하여 낮은 전송률에서 증가하는 전체 잡음이 고주파 영역에 분포하여 양자화 레벨을 일정하게 둔 상태에서도 시각적으로 만족스런 결과를 얻어 영상 부호화에 유용함을 증명하였다.

II. 신호 블러화 예측부호화

개회로 예측부호화는 부호기에서 이미 출력값을 얻을 수 있고 그것에 의한 예측값을 구하여 예측 오차를 줄이기 때문에 개회로 부호화에 비해 신호 압축에 더 효과적으로 알려져 있는데 그림 1의 왼쪽 부분에는 압축 상수 K와 블러화 필터 a(z)가 첨가되어 있다.⁽⁶⁾ 블러화는 필터 a(z)에 의해 순차적(recursive)으로 정해진 공간 주파수에 대해 가중되는 것으로써 이루어지지만 신호 압축을 목표로 하여 상수 K가 도입되며 둘 사이의 관계는 다음 절에서 언급될 환경 가중에 의해 유기적으로 구성된다.

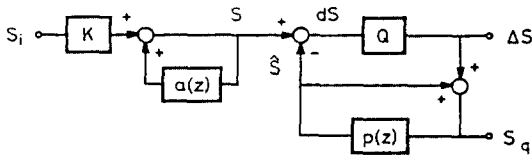


그림 1. 신호 블러화 DPCM의 부호기
Signal blurred DPCM encoder

입력 신호는 디지털 영상 신호이며 전처리 필터로써 블러화된 것이 예측의 대상이 된다. z 변환 영역에서 신호 전달 특성을 다음과 같이 구한다.

$$S(z) = \frac{K}{1-a(z)} S_i(z) \quad (1)$$

$$dS(z) = S(z) - \hat{S}(z) \quad (2)$$

$$\Delta S(z) = dS(z) + q(z) \quad (3)$$

$$S_q(z) = \Delta S(z) + \hat{S}(z) \quad (4)$$

$$S(z) = S_q(z)p(z) \quad (5)$$

윗 식들을 정리하여 전체 부호화기의 전달함수를 구하면

$$\Delta S(z) = (1-p(z)) \left(\frac{K}{1-a(z)} S_i(z) + q(z) \right) \quad (6)$$

이는 양자화 잡음 q(z)가 신호에 대해 독립적이라는 가정을 하였으며 순수한 예측부호화의 전달함수를 살펴 보면

$$\Delta S(z) = (1-p(z))(S_i(z) + q(z)) \quad (7)$$

로 되어 식 (6)에서 만일 K=1, a(z)=0이면 식 (7)의 기존의 DPCM이 되는데 신호 전력이 K/(1-a(z))에 의해 감소됨을 나타낸다. 한편 복호화기는 그림 2와 같이 후처리용 역필터를 가진다.

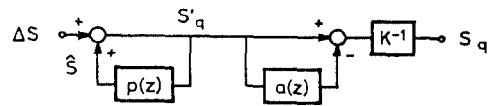


그림 2. 신호 블러화 DPCM의 복호기
Signal blurred DPCM decoder

예측기와 역블러화 필터는 부호기에서 사용된 것과 동일하며 다만 역블러화는 순방향 회로로 구성되며 상수는 K⁻¹로 되어 신호를 복원한다. 각 부의 신호 전달 특성은

$$S'_q(z) = \Delta S(z) + S(z) \quad (8)$$

$$S(z) = p(z) S'_q(z) \quad (9)$$

$$S_q(z) = K^{-1} (1-a(z)) S'_q(z) \quad (10)$$

따라서 전체 신호 흐름은 식 (11)과 같다.

$$S_q(z) = S_j(z) + K^{-1}(1-a(z))q(z) \quad (11)$$

식 (11)에서 보는바와 같이 원신호를 완전히 복원 가능한 반면 잡음은 $K^{-1}(1-a(z))$ 에 비례해서 증가함을 알 수 있다. 따라서 식 (6)에 의해 전송 신호를 감축하고 대신 복원 잡음을 증가시키는 예측부호화이다.

III. 뭉롱화를 위한 균등 가중

일반적인 예측기의 필터특성은 참조하는 이전 화소에 따라 다르지만 뭉롱화 필터 성수는 기준치에 대해 뭉롱화시킴을 목적으로 식유신호에 대해 불변인 조건을 첨가한다. 필터의 전달함수 $a(z)$ 는

$$a(z) = \sum_{k=1}^M A_k z^{-k} \quad (12)$$

단, M 은 필터 크기에 따른 이차원 참조 화소수이며, 뭉롱화 필터 과정의 전달함수는

$$h(z) = K(1-a(z))^{-1}, \quad 0 < K < 1 \quad (13)$$

이므로, 직류 불변인 조건을 감안하면

$$h(1) = K(1-a(1))^{-1} = 1 \quad (14)$$

식 (12)의 A_k 를 균등 가중치로 하면 식 (14)와의 관계에서

$$A = \frac{1-K}{M} \quad (15)$$

를 얻는다.

실제로 뭉롱화된 신호 S'_{ij} 는 다음과 같다.

$$S'_{ij} = K S_{ij} + A \left\{ \sum_{l=1}^{M-1} S'_{i,j+l} + \sum_{m=1}^{M-1} \sum_{l=1}^{M-1} S'_{i+l,j+m} \right\} \quad (16)$$

이는 뭉롱화된 화소값은 현재 화소에서 일부를 취하고 나머지는 주위 화소의 평균값에서 선택함을 의미한다. 뭉롱화 필터는 크기에 따라 통과 대역이 점차 감소되어 무한대의 필터 크기에 대해서는 그림 3과 같이 직류 신호를 제외한 모든 신호에 대해 감쇠하는 특성을 가진다.

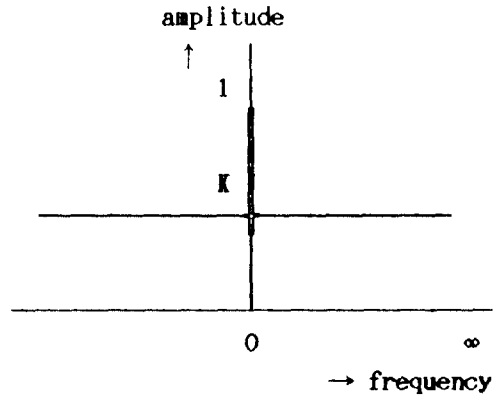


그림 3. 뭉롱화 필터의 주파수 특성(블록 크기 $M \rightarrow \infty$)
Frequency characteristics of blurring filter (block size $M \rightarrow \infty$)

따라서 직렬한 필터 크기로써 적절한 저역 통과 특성을 얻도록 해야 되는데 인간의 시각 시스템은 5-8 cyc/deg에서 감도가 최대로 알려져 있으며^{[2][10][11]} 이보다 높은 공간 주파수에서 잡음을 발생시키도록 필터 크기를 설정할 필요가 있다.

이차원 필터의 블록 크기와 공간 주파수의 관계를 CCIR 601의 권고에 따라 6배의 관측 거리를 가정하고 측정해보면 등방위성과 화면상에서 공간 주파수의 선형적 증가를 조건으로 하여 0-41.5 cyc/deg의 공간 주파수가 존재한다. 이 범위내에서 영상을 이차원 블록으로 분할하여 처리하는 것은 왜순된 블록을 하나의 화소로 간주하여 구성되는 전체 영상은 낮은 주파수

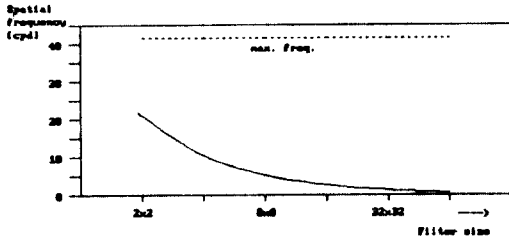


그림 4. 블록 크기에 따른 화면 내 공간 주파수 분포
Spatial frequency distributions as a function of block size

성분을 포함하며 블록내에서 처리 가능한 것은 높은 주파수 범위이다. 이는 블록 크기가 줄어들수록 주파수 대역이 높아짐을 의미하며 따라서 블록 크기의 결정은 시각적으로 민감한 영역 즉, 5-8 cyc / deg, 이상에서 이루어져야 하며 그림 4에 보인 바와 같이 6×6 블록 크기에서 7.8 cpd 이상의 주파수가 고려되므로 공간 주파수의 감도 특성에 의하면 6×6 이하의 크기가 적당함을 알 수 있다.

IV. 필터의 잡음 특성

신호 압축의 댓가로 부수적으로 얻어진 잡음의 증가분은 식 (11)에서 압축 상수에 반비례적으로 증가하는데 필터 $a(z)$ 에 의해 어느 정도나 시각적으로 둔감한 영역으로 천이시키는가 하는 것이 관심의 대상이 된다. 식 (12)의 균등 가중치를 고려하여 식 (11)에 포함된 잡음을 전력으로 표시하면

$$N_a = K^2 \left(1 + \sum_{n=1}^{M-1} A_n^2(K) \right) = K^2 \left(1 + \frac{(1-K)^2}{M} \right) \quad (17)$$

이 된다. 균등 가중을 조건으로 하면 식 (17)에서 필터 크기 M 이 무한대이면 $N_a = K^2$ 으로 최소로 수렴하여 결국 일반적인 예측부호화의 잡음 전력과 같게 되지만 필터 구현상의 문제점과 그림 3의 주파수 특성과 같이 넓은 주파수

대역을 가지므로 시각적 특성에 적합치 못하다. 압축 상수 K 에 대한 잡음 전력의 증가분은 필터 크기를 6×6로 하였을때 그림 5와 같이 상수 K 가 감소할수록 압축율은 커지나 상대적으로 잡음이 증가한다.

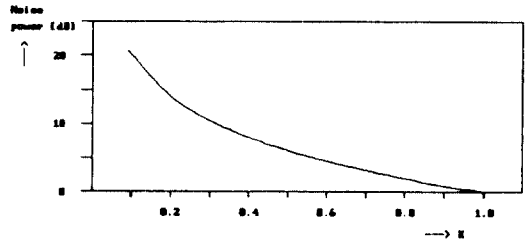


그림 5. 압축 상수에 대한 잡음 전력(필터 크기 6×6)
Noise power as a function of compression constant (block size 6×6)

높은 주파수에서 감도가 저하된 객관적으로 인정될 수 있으나 만일 잡음 전력의 세기가 매우 커지면 역시 잡음으로 느껴지게 되므로 잡음의 증가분과 필터 크기는 연계적으로 고려되어야 한다. 상수 K 를 일정히 둔 상태에서 블록의 크기를 변화시켰을 때 얼마나 잡음이 증가하는가 하는 것을 그림 6에 보이는데 매우 적은 블록 크기에서 급격히 증가하는 잡음은 6×6에서 약 0.1[dB]의 증가를 보여 더이상 블록을 크게해도 잡음은 크게 감소하지 않는다. 따라서 앞에서 제시한 필터크기의 제약 조건 즉 시각적 감도와 잡음의 세기 모두에 6×6 블록 크기는 적당히 만족한다.

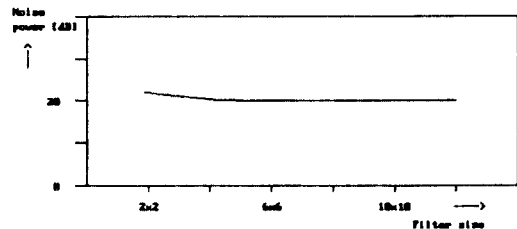


그림 6. 필터 크기에 따른 잡음 전력 증가
Noise power increments for the filter sizes

V. 실험 및 결과

예측부호화에서 예측기의 선정이 중요한데 여기서서는 일반적으로 사용가능한 평면(planar) 예측기를 봉봉화 예측 부호화에서 비교용으로 사용하여 식 (18)과 같이 정의 하였다.

$$S'_{ij} = \sigma_h S_{i-1,j} + \sigma_v S_{i,j-1} - \sigma_h \sigma_v S_{i-1,j-1} \quad (18)$$

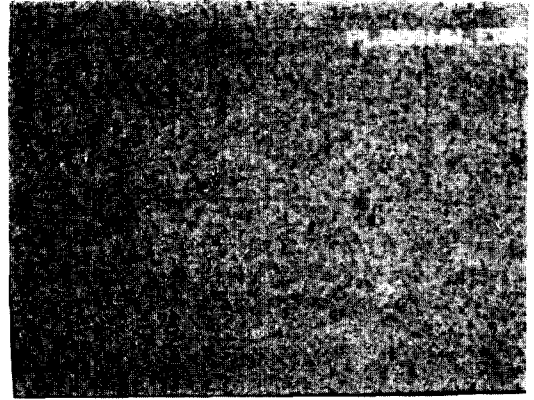
단 $\sigma_h=0.4$, $\sigma_v=0.95$ 로 가정하였다. 실험용 원영상은 512×512 화소를 갖는 'PLAYBOY'와 'STENGER'이며 그림 12에 보인 바와 같이 전자는 명암도가 주파수 전역에 걸쳐 고루 분포되며 후자는 저주파에 집중된 예를 실험하였다.

예측부호화 출력의 잡음 분포는 비편의 대상이 되기도 하는 거의 균일한 잡음으로 간주할 수 있었다. 그림 7 a)에 기존의 DPCM 으로부터 출력된 잡음 분포를 보이는데 명확한 비교를 위해 복원 잡음의 균일 양자화를 행하였다. 시각 특성의 대수적 면을 고려하여 신호레벨의 낮은 영역에서 세기를 키워주고 높은 영역에서 낮춰주면 그림 7 b)와 같이 명암도가 낮은 부분에서 검게 나타난 것은 오차량이 상대적으로 적음을 의미한다.

그림 4에서 필터 크기에 따라 처리하는 주파수 영역이 달라지는데 실제 영상에 의해 얻은 결과를 보이면 그림 8 a)의 전대역에 걸쳐 평탄한 주파수 특성 즉 백색 잡음이 봉봉화 크기 6×6에서 b)와 같이 낮은 주파수 영역의 잡음이 높은쪽으로 천이된 것을 알 수 있다.

그림 5에서 압축 상수에 따른 잡음 전력의 증가를 보였는데 실제 영상을 이용한 것이 그림 9에 도시 된다. 복원 에러와 정보량의 관계를 'PLAYBOY' 영상에 대해 보이는데 상수 K '가 18에서 정보량 1.3 bpp, 신호대 잡음비 33.9 dB로서 신호 감쇠를 크게할 수록 MSE에 의한 복원 에러는 식 (17)에 표시한 바와 같이 증가하였다.

그림 10은 봉봉화 필터의 크기에 따라 정보량



a)

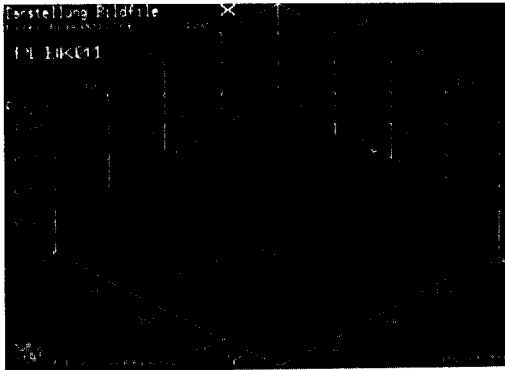


b)

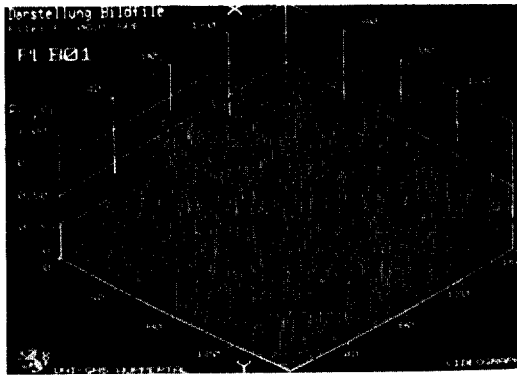
그림 7. 복원 잡음 분포 특성('PLAYBOY.DAT')

- a) 균일 양자화 출력
- b) 대수적 가중 양자화 출력
- Reconstruction noise distribution
- a) Uniform quantized output
- b) Logarithm weighted output

과 잡음이 감쇠함을 나타내는데 식 (17)과 같이 필터 크기가 무한히 증가하면 잡음은 최소로 된다. 봉봉화 필터의 직류 성분 특성을 고려하여 만일 원영상을 제로 평균 상태로 가정하면 무한대 필터 크기와 순수 DPCM은 모두 백색 잡음을 발생하게 되는데 저전송률 부호기에서 백색 잡음은 쉽게 가시화되어 화질을 손상시킨다. 오히려 적은 필터 크기를 고려하였을 때 구현상 장점이 있고 그림 4에 표시한 바와 같이 적은 필터 크기에서 보다 높은 주파수를 블록내에서



a)



b)

그림 8. 잡음 전력의 주파수 스펙트럼(PLAYBOY.DAT)
 a) DPCM 출력
 b) 블러링 DPCM 출력
 Frequency spectrum of noise power
 a) DPCM output
 b) Blurred DPCM output

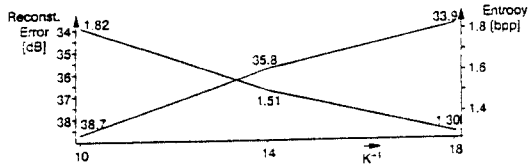


그림 9. 압축 상수에 따른 엔트로피와 잡음 전력(PLAYBOY)
 Entropy and noise power subject to the compression factor

처리하기 때문에 시각적으로 만족하게 되는데 그림 10의 실험 결과가 이를 증명한다.

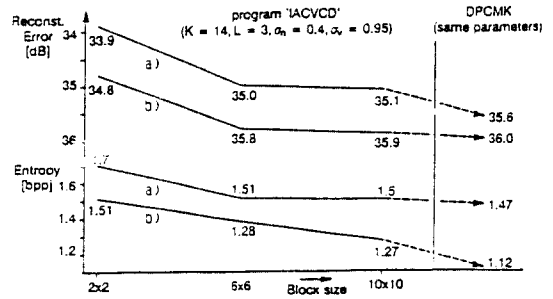


그림 10. 필터 크기에 따른 엔트로피와 잡음 결과
 a) PLAYBOY.DAT
 b) STENGER.DAT
 Entropy and noise results subject to the filter size
 a) PLAYBOY.DAT
 b) STENGER.DAT



a)



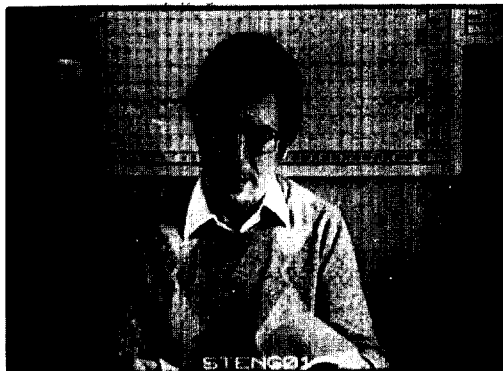
b)

그림 11. 블러링의 잡음 분산 효과(STENGER.DAT)
 a) 블러링 크기 2x2
 b) 블러링 크기 10x10
 Noise diffusion effect of blurring
 a) block size 2x2
 b) block size 10x10

이때 몽롱화 DPCM의 장점은 복호기에서의 잡음을 분산 효과로써 지역화 하는데 있다. 분산 효과는 신호 레벨 변화가 완만한 영상에서 두드러지는데 그림 11의 a)는 블록 크기 2×2 이며, b)는 10×10 이다. 블록 크기가 클수록 집단적으로 낮은 잡음 영역이 보인다.



a)



b)

그림 12. 두개의 결과 영상(전송률 1.2 bpp)
Two reconstruction images(bit rate 1.2 bpp)
a) PLAYBOY.DAT(1.5 bpp)
b) STENGER.DAT(1.27 bpp)

그림 12에 두개의 결과 영상을 보이는데 높은 신호주파수를 갖는 영상 (a)와 낮은 주파수가 많은 영상 (b)으로써 충실한 재현이 나타나기 때문에 원영상의 재현을 불필요 할 것으로 보인다.

VI. 결 론

이상에서 보인 바와 같이 몽롱화된 신호를 예측부호화하여 전송하는 것은 변환부호화에 비해 실현상 매우 간단하고 블록 효과, 모기 효과 등 변환부호화의 전형적인 가지적 오차가 없기 때문에 압축부호화에 매우 효과적이다. 그림 12에 보인 결과 영상은 전송률에서 1bpp 이상으로 비교적 높은 것이다. 변환부호화에서는 상기 효과로 인해 오차가 관측되기 쉬운데 반해 우수성이 입증되며 본 논문에서 사용한 예측기로써 순수히 DPCM하였을 때 얻어지는 PLAYBOY 영상의 전송률 4.9 bpp로부터 몽롱화 과정의 도입으로 인해 1 bpp 정도로 상기한 오차를 수반하여 압축됨을 보였다. 이 결과는 단순한 예측부호화로써 얻을 수 없는 것이며¹²⁾ 고도의 적응 기법을 사용하지 않고 몽롱화 과정만으로써 영상 압축 부호화에 효과적인 것이다. 따라서 더 이상의 압축은 몽롱화 필터와 예측기의 적응성을 고려할 보다 복잡한 기법으로 가능한 것이다.

예측 부호화의 잡음 특성을 개선시켜 높은 주파수 영역으로 잡음을 전이시키는 목적으로선, 후처리 필터를 사용하는 이론이 양자화 잡음을 직접 조절하는 필터 설치 방법에 비해 잡음 제거가 어렵다는 기존 관념에 대해 새로운 가능성을 제시하였다. 이는 정보량의 압축을 조건으로 하면 단순한 양자화 잡음 제어법에서는 가능하지 않기 때문에 몽롱화 필터법이 유용한 가치를 가진다. 전송률을 낮게 하면서 증가하는 잡음이 특정 잡음 영역에 분포하여 시각적으로 만족스런 결과를 얻는다. 관통 가장 필터의 크기가 커질수록 정보량과 잡음 특성은 극한치에 도달하지만 구현상 어려움이 있고 주파수 특성이 개선되지 않아 고려할 가치가 줄어들며 오히려 6×6 이하의 필터 크기에서 잡음은 약간 증가하지만 공간 주파수 특성이 개선됨으로써 큰 의미를 가진다.

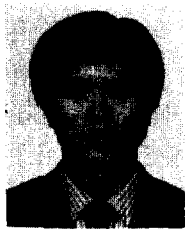
또한 몽롱화 필터법은 이미 잡음이 포함된

영상 신호나 저해상도 신호에서 영역 및 움직임을 검출할 때 잡음을 제거하고 신호를 복원하는데에 연구될 가치가 있다.

참고 문헌

1. D. Anastassiou, "Error diffusion coding for A/D conversion", *IEEE Trans. Circuit and Sys.*, vol. CAS-36, no.9, pp. 1175-1186, Sept. 1989.
2. J. L. Mannos and D. J. Sakrison, "The effects of a fidelity criterion on the encoding of images", *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT 20, pp. 525-536, July 1974.
3. B. S. Atal and M. R. Schroeder, "Predictive coding of speech signals and subject error criteria", *IEEE Trans. Acoust., Speech, Sig. Proc.*, vol. ASSP-27, no. 3, pp. 247-254, June 1979.
4. B. S. Atal, "Predictive coding of speech at low bit rates", *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-30, no. 4, pp. 600-614, Apr. 1982.
5. J. Makhoul and M. Berouti, "Adaptive noise spectral shaping and entropy coding in predictive coding of speech", *IEEE Trans. Acoust. Speech, Sig. Proc.*, vol.

- ASSP-27, no. 1, pp. 63-73, Feb. 1979.
6. F. Arp, "BIGCHAIR-DPCM, A new method for visually irrelevant coding of pictorial information", *Proc. ISCAS' 88*, Finland, pp. 231-234, June 1988.
7. B. Girod et al., "A subjective evaluation of noise shaping quantization for adaptive intra/interframe DPCM coding of colour television signals", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 36, no. 3, pp. 332-346, Mar. 1988.
8. B. Girod, "Reconstruction noise shaping in the context of predictive TV signal coding", *P. Dewilde and C. A. May(ed): Links for the future*, IEEE/Elsvier Science publishers B. V.(North Holland), pp. 711-717, 1984.
9. H. G. Musmann, personal discussions, Feb. 1991.
10. J. J. Hwang and M. H. Lee, "A simple human visual weighted Hadamard transform image coding", *J. KITE*, vol. 26, no. 4, pp. 98-105, Apr. 1989.
11. K. N. Ngan, et al, "Cosine transform coding incorporating human visual system model", *SPIE Fiber LASE 86*, Cambridge, MA, vol. 707, pp. 165-177, Sept. 1986.
12. A. K. Jain, "Image data compression: A review", *Proc. IEEE*, vol. 69, no. 3, Mar. 1981.



황재정 (Jae Jeong HWANG) 正會員
 1960年: 8月 10日生
 1983年: 全北大學校 電工學科 卒業
 1986年: 全北大學校 大學院 工學碩士
 1987年~現在: 群山 水産專門大學 通信科 助教授
 1990年 8月~1991年 3月: 韓獨技術協力事業 獨逸政府 招請教授
 주된심분야: 영상신호부호화 및 위성통신



李門浩 (Moon Ho LEE) 正會員
 일본동경대 전자과(공학박사)
 미국 미네소타 주립대 전기과 포스트닥터
 독일 카노바대학 전자과 초빙교수
 전기통신 기술사(1982) 및 유·무선설비 기사 1급
 1970~1980: 남양 MBC 송신소장
 1980~ 현재: 전북대 정보통신학과 교수