

무선환경에서 부대역 영상부호화와 TCM을 이용한 공동 소스/채널 부호화에 관한 연구

이재련, 손원
경희대학교 전파공학과
경기도 용인시 기흥읍 서천리 1번지

Studies on Joint Source-Channel Coding in Wireless Environment Using Subband Image Coding and TCM

Jae-Ryun Lee and Won Sohn
Department of Radio Engineering, Kyung Hee University
E-mail: gflee@orgio.net

요 약

최근 들어 디지털 이동통신 시스템은 음성 통신 뿐만 아니라 멀티미디어 통신에도 그 적용범위를 확장시키고 있다. 그러나 이러한 시스템에서 한정된 채널 대역폭의 사용은 멀티미디어 정보의 대용량성을 고려할 때, 그 적용범위를 심각하게 축소시키는 가장 큰 제한요소이다. 일반적인 통신 시스템의 소스 부호화기는 채널 잡음을 고려하지 않고 설계되며, 채널 부호화기는 소스 신호의 특성과 무관하게 채널 환경의 극복에만 중점을 두고 설계된다. 그러나 대역폭 제한적인 통신 환경에서 보다 효율적인 대역폭 사용을 위해서는 채널 환경에 따라 소스 부호율과 채널 부호율을 가변적으로 운용하여야 한다. 본 논문에서는 영상을 부대역 부호화하여 각 부대역 영상이 원래의 영상 재구성에 기여하는 중요도에 따라 한정된 채널 자원을 최적으로 할당하는 공동 소스/채널 부호화(Joint Source-Channel Coding)에 관하여 연구하였다. 부대역 영상의 소스 부호화로는 DPCM과 PCM을 사용하였고, 채널 부호화는 TCM 부호화기를 사용하였으며 상이오류보호(Unequal Error Protection)를 위해 3가지 채널 부호율에 따라 각각 TCQPSK, TC8PSK, TC16PSK 변조 방식을 사용하였다. 모의실험에 사용된 채널 환경은 랜덤잡음 환경과 이동수신의 경우에 발생하는 Rayleigh 페이딩 환경을 고려하였으며, 각 환경에서의 채널 SNR에 따라 동일오류보호(Equal Error Protection) 시스템과 상이오류보호(Unequal Error Protection) 시스템의 성능을 비교하였다.

1. 서 론

최근 들어 이동통신 분야에서도 대용량의 멀티미디어 서비스에 대한 요구가 높아지고 있으나, 디지털 무선 통신 시스템의 자원은 한정되어 있는 상태이다. 따라서 한정된 자원을 얼마나 효율적으로 사용하는가는 것은 매우 중요한 문제이다. 본 논문에서는 제한

된 대역폭에서 용량이 큰 멀티미디어 데이터를 전송할 때, 채널 환경에 따라 적절한 소스 부호율과 채널 부호율을 할당함으로써 시스템의 서비스 품질을 보장하고, 보다 효율적으로 대역폭을 사용할 수 있는 공동 소스/채널 부호화 시스템에 대하여 연구하였다.

공동 소스/채널 부호화의 한가지 방법은 한정된 비트 율을 채널환경에 따라 직렬로 연결된 소스 부호기와 채널 부호기에 각각 최적으로 할당하는 것이다[1] 그러나 영상신호의 경우 전송되는 각 비트가 수신단에서 원래의 영상을 재구성하는데 기여하는 중요도가 서로 다르므로, 각 비트마다 오류가 발생했을 때 수신 영상의 왜곡 발생 정도가 다르게 나타난다. 따라서 영상신호 전송에 있어서는 각 비트들을 소스 재구성에 기여하는 중요도를 판단하여 몇 개의 그룹으로 분류하고, 각 그룹에게 서로 다른 부호율을 갖는 채널 코드를 사용하여 채널 부호화하는 방법이 더욱 효율적이다

본 논문에서는 참고논문 [2]에 따라 전체적인 상이오류보호 시스템을 구성하였고, 랜덤잡음 환경 뿐만 아니라 Rayleigh 페이딩 환경을 적용하여 그 성능을 동일오류보호 시스템과 비교하였다. 영상신호를 중요도에 따라 그룹화하는 방법으로는 부대역 부호화를 사용하였다. 소스 부호율과 채널 부호율의 최적 할당을 위해 소스 부호화기의 압축 손실과 채널 부호화기에서 정정되지 않은 에러에 의한 영향을 모두 고려하여 율-왜곡 분석을 하였으며, 기 연구된 비트 할당 알고리즘 [3]을 이용하였다. 소스 부호화로는 DPCM과 PCM을 사용하였으며, 채널 부호화로는 TCM을 사용하였다.

본 논문의 2장에서는 공동 소스/채널 부호화의 개념에 대해 설명하였고, 3장에서는 모의실험에 사용된 시스템의 구성에 대하여 설명하였다. 4장에서는 모의실험 결과에 대해 언급하였으며, 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

2. 공동 소스/채널 부호화

통신 시스템의 구현에 있어서 일반적으로 사용되

는 것이 소스 부호화기와 채널 부호화기이다. 그러나 고정된 부호율을 갖는 이러한 한 쌍의 부호화기는 전송 환경의 변화와 전송하고자 하는 멀티미디어 콘텐츠에 따라 때때로 추가적인 한계에 다다를 수 있다. 이러한 이유로 대부분의 통신 시스템은 제한된 대역폭 내에서 최악의 전송환경을 극복 가능한 고정된 채널 부호율과 소스 부호율을 사용한다. 그러나 시간에 따라 변하는 채널 환경을 고려할 때 이러한 구조는 대역폭 사용 측면에서 그다지 효율적이지 못하다고 할 수 있다. 따라서 다양한 채널 환경과 부호화기 쌍의 폭넓은 적용성 뿐만 아니라, 여러 환경에서 최적의 전송 품질을 제공하기 위해서는 소스 부호화와 채널 부호화를 동시에 고려한 공동 소스/채널 부호화가 요구된다.

공동 소스/채널 부호화를 적용한 시스템의 경우 채널 환경이 악화 될 때는 기본적인 품질의 서비스를 제공하고, 채널 환경이 양호 할 때는 보다 우수한 품질의 서비스를 제공할 수 있다. 데이터 전송의 경우에는 채널 환경의 변화에 따라 전송 비트율을 가변적으로 적용시킬 수 있다.

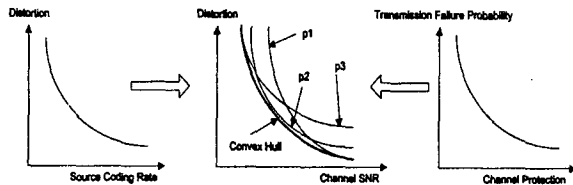


그림 1. Joint Source - Channel Coding

그림 1은 소스 부호화기와 채널 부호화기의 상호연계에 대한 동기를 부여하고 있다. 그림에서 첫번째 그래프는 소스 부호율의 증가(less compression)에 따라 중단간 왜곡이 감소함을 보여주고 있고, 세 번째 그래프에서는 채널 에러 정정능력이 증가함에 따라서 중단간의 전송 실패 확률이 감소함을 볼 수 있다. 그러나 에러 정정능력의 증가는 추가적인 정보를 요구하므로 채널 용량이 한정되어있는 조건에서는 소스 부호율의 회생을 감수해야만 한다. 따라서 이 두 가지 부호율은 기본적으로 대역폭 사용 측면에서 상호보완관계를 갖는다. 그림 1의 가운데 그래프는 서로 다른 소스 부호화와 채널 부호화를 갖는 시스템 p1, p2, p3가 채널 SNR의 변화에 따라 어떠한 성능을 나타내는지 보여주고 있다. 이 그래프는 채널 SNR의 영역에 따라 최적의 성능을 나타내는 시스템이 각각 존재함을 보여준다. 따라서 채널 환경에 따라 소스 부호화기와 채널 부호화기의 부호율을 적절히 조절하면 모든 채널 SNR에서 최적의 성능을 갖는 시스템을 구성할 수 있다.

3. 시스템 구성

공동 소스/채널 부호화에 사용된 시스템은 크게 소스 부호화와 채널 부호화, 비트 할당(Bit Allocation) 부분으로 나눌 수 있다. 입력 영상은 먼저 9개 탭을 가진 QMF (Quadrature Mirror Filter) 필터에 의해 16개의 동일한 대역폭을 갖는 부대역으로 분리되고, 부대역 주파수에 따라 DPCM 및 PCM 부호화 된 후, 채널 SNR 값의 크기에 따라 각각의 부대역에 서로 다른 부호율을 갖는 채널 부호화가 적용된다.

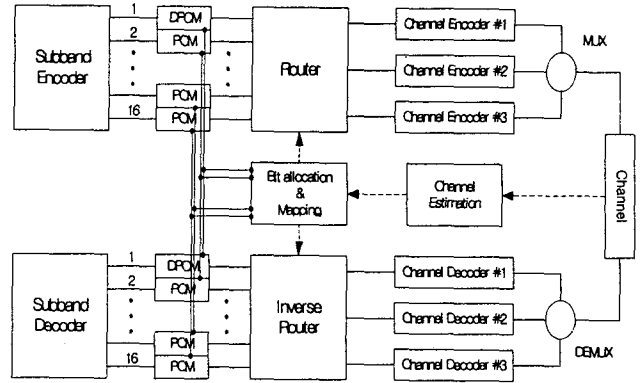


그림 2. 영상 전송 시스템의 블록도

3.1 소스 부호화

부대역 부호화 된 임의의 영상에 대해 최적의 소스 부호율과 채널 부호율을 얻기 위해 모든 영상에 적절히 적용될 수 있는 소스 부대역 영상 신호를 모델링 하였다. 부대역 부호화 된 영상은 일반적으로 LFS (Lowest Frequency Subband)를 제외한 모든 부대역 영상들이 단일 부대역 영상 모델을 사용할 수 있을 정도로 매우 유사한 통계값을 갖는다. 마찬가지로 평균값을 제거한 MSLFS(Mean Subtracted LFS)도 특정한 통계적 분포를 갖는 랜덤변수로 모델링 할 수 있다. 따라서 임의의 영상에 대한 부대역 신호는 통계적 특성에 따라 2가지 종류로 모델링 할 수 있으며, 이 논문에서는 참고문헌 [2],[4]에 따라 다음과 같은 확률분포를 갖는 일반적 가우시안 분포(Generalized Gaussian Distribution, GGD)를 이용하여 각각의 부대역 영상을 모델링 하였다.

$$p(x) = \frac{\alpha \eta(\alpha, \beta)}{2\Gamma(1/\alpha)} \exp\{-[\eta(\alpha, \beta)|x|]^\alpha\} \quad (1)$$

$$\text{여기서 } \eta(\alpha, \beta) = \beta^{-1} \left[\frac{\Gamma(3/\alpha)}{\Gamma(1/\alpha)} \right]^{1/2}$$

이 식에서 α 는 양의 값을 갖는 형태지수이고, $\beta^2 = \sigma^2$ 이며, 특히 $\alpha = 2$ 일 때 가우시안 분포를 갖는다. 참고문헌 [4]에서는 분산값이 정규화 되었다는 가정하에 여러 부대역 영상 중 MSLFS는 형상지수가 1.7인 GGD 분포를 갖고, 그 외의 부대역 영상들은 형상지수가 0.7인 GGD 분포를 갖는 것을 실험적으로 증명하였다.

부대역 부호화된 대부분의 영상에서 LFS (Lowest Frequency Subband)는 인접 픽셀간에 매우 높은 상관성을 가지므로 DPCM을 이용하여 부호화 하였고, 그 외의 부대역 영상은 PCM을 이용하여 부호화 하였다. DPCM과 PCM 부호기 모두에는 Lloyd-Max training 알고리즘을 이용한 Lloyd-max 양자화기를 사용하였고, 양자화된 레벨은 folded binary code를 사용하여 이진 부호화 하였다.

3.2 채널 부호화

소스 부호화된 각 부대역 신호들은 원래 영상의 재구성에 필요한 중요도에 따라 서로 다른 부호율의 채널 부호를 통해 부호화된다. 이 논문에서는 채널 부호로 TCM (Trellis Coded Modulation) 부호를 사용하였으며, 각 부대역이 서로 다른 채널 부호율을 갖을 수 있도록 3종류의 부호율을 고려하였다. 채널 부호화는 각 1, 2, 3비트의 입력에 대해 2, 3, 4 비트의 출력을 가지며, 각각 TCQPSK, TC8PSK, TC16PSK가 되도록 하였다. 각각의 TCM 부호화기 내부에는 부호율이 1/2 이고, 구축장 길이가 3이며, 생성다항식이 $G_{octal} = [5, 7]$ 인 길쌈 부호기를 공통으로 포함하고 있으며, n 비트의 입력에 대해 $n+1$ 비트의 출력을 갖는다. 수신단의 TCM 복호기에서는 3비트 연성 판정 비터비 복호기를 사용하였다. 또한 Rayleigh 페이딩 환경에서는 페이딩 진폭에 의한 연접오류를 감소시키기 위해 채널 전송 이전에 인터리빙 길이가 128인 길쌈 인터리버를 추가하였다.

3.3 채널 환경

채널 환경으로는 랜덤잡음 환경과 이동수신에 따른 단일경로 Rayleigh 페이딩 환경을 고려하였다. 랜덤잡음 환경에서의 수신신호는 전송된 채널 심볼의 평균 전력과 주어진 채널 SNR 값에 따른 AWGN 잡음을 송신신호에 추가하여 적용하였고, 페이딩 환경에서의 수신신호는 식 2와 같이 적용하였다.

$$y_n = \sqrt{G_n} x_n + w_n \quad (2)$$

이때 y_n 은 수신된 신호이고, x_n 은 전송된 심볼 값, $\sqrt{G_n}$ 은 Rayleigh 페이딩의 진폭 값이며, $\{w_n\}$ 은 stationary white Gaussian process이다. 따라서 송신단에서 전송된 신호는 채널을 통과하면서 시간에 따라 변하는 페이딩 진폭에 의해 순간 전력이 결정되고, PSK 변조방식을 사용할 경우 송신 전력을 P 라 하면 수신된 신호의 평균 전력은 $P\mathcal{E}(G_n)$ 이 된다. 이 논문에서는 2GHz의 주파수를 사용하고 100Ksymbol/s의 심볼율을 갖는 수신기가 30Km/H의 속도로 이동할 때 발생하는 약 55.57Hz의 도플러 주파수에 의한 단일경로 Rayleigh 페이딩 채널을 고려하였고, 전체 영상을 전송하는 시간 동안에 페이딩 채널을 통과한 수신신호가 갖는 평균 신호전력과 주어진 채널 SNR에 따라 AWGN 잡음을 부가하여 모의실험을 실시하였다.

3.4 울-왜곡 함수

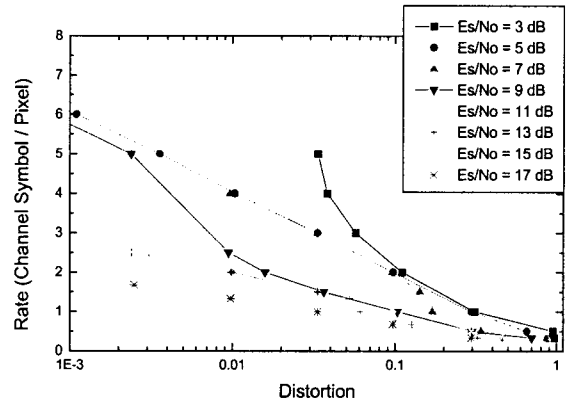
일반적인 울-왜곡 함수는 소스 부호화기의 양자화기가 한정된 레벨을 갖음으로써 발생하는 원래의 신호와 부호화된 신호의 차이를 소스 부호율과의 함수관계로 표현한 것이다. 그러나 본 논문에서는 소스 부호율뿐만 아니라 채널 부호화기의 부호율에 따라서도 비트율이 달라지므로 적절한 파라미터를 위해, 소스 부호율과 채널 부호율을 모두 포함한 픽셀당 채널 심볼 값

과 소스 부호화기와 채널 부호화기를 모두 포함한 전체 시스템 왜곡과의 울-왜곡 곡선을 고려하였다.

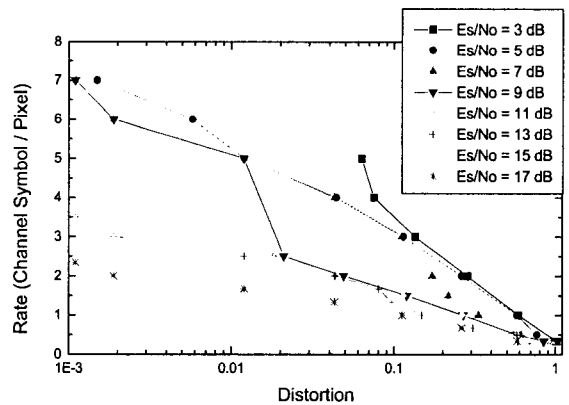
GGD 모델링 된 부대역 영상은 소스 부호화와 채널 부호화를 거쳐 채널을 통과하고, 수신단의 복호화된 영상은 원래의 영상과 비교되어 왜곡된 값을 구한다. 재구성된 영상의 품질을 측정하는 척도로는 정규화된 MSE (Mean Square Error)를 사용하였다.

$$Normalized\ MSE = \frac{\sum_{i,j} (x_{i,j} - \hat{x}_{i,j})^2}{\sum_{i,j} x_{i,j}^2} \quad (3)$$

여기서 $x_{i,j}$: source coder input
 $\hat{x}_{i,j}$: source decoder output



(a) MSLFS ($\alpha=1.7$)



(b) Other Subbands ($\alpha=0.75$)

그림 3. 랜덤잡음 환경에서 GGD 모델링된 부대역 이미지에 TCM 채널 부호화를 적용했을 때의 울-왜곡 곡선

3.5 비트 할당

각각의 부대역 영상에 대한 비트 할당은 픽셀당 제한된 전체 채널 심볼을 R 에 대해 재구성된 영상의 왜곡이 최소화되도록 수행되었고, 소스 부호화 비트 할당과 채널 부호의 매핑을 위해 전체 영상의 왜곡 D 를 다음과 같이 사용하였다.

$$D = \sigma_1^2 D_1(r_1) + \sum_{i=2}^M \sigma_i^2 D_2(r_i) \quad (4)$$

여기서 M 은 부대역 이미지의 전체 개수, σ_i^2 은 i 번째 부대역 영상의 분산값이며, $D_1(r_1)$, $D_2(r_i)$ 은 각각 MSLFS와 그 이외의 부대역 이미지에 대한 분산값이 정규화된 율-왜곡 함수이다. 또한 제한된 전체 채널 심볼율은 다음과 같이 주어진다.

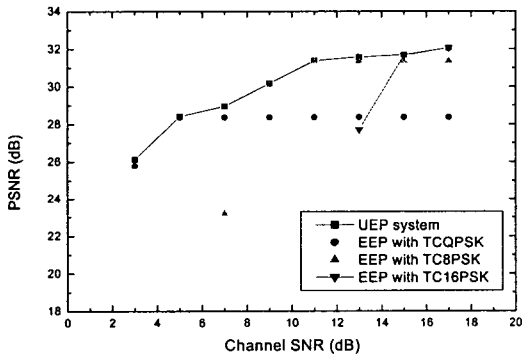
$$R = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M r_i \quad (5)$$

이때 r_i 는 i 번째 부대역 이미지에 할당된 픽셀 당 채널 심볼의 수이다.

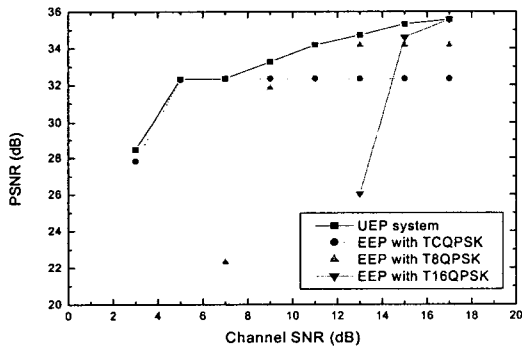
송신기에는 2개의 미리 계산된 율-왜곡 함수와 Gersho-Shoham 알고리즘[3]을 이용한 non-integer bit allocation algorithm이 각 부대역 이미지에 대한 최적의 r_i 를 찾기위해 사용되었다.

4. 모의실험 결과

2개의 율-왜곡 곡선을 바탕으로 비트 할당(Bit Allocation)이 적용된 공동 소스/채널 부호화 시스템을 통해 몇 개의 채널 SNR에서 512×512 크기의 흑백 영상을 전송한 결과를 그림 4에 나타내었다. 재구성된 영상에 대한 품질의 척도로는 PSNR (Peak Signal to Noise Ratio)을 사용하였다.

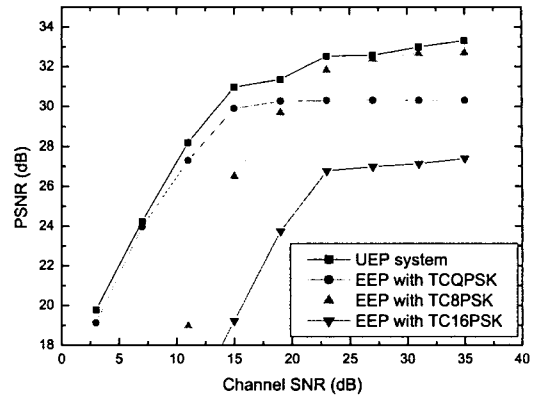


(a) R=0.5 symbol / pixel

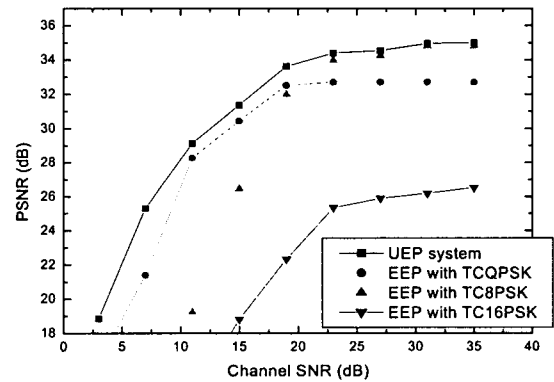


(b) R=1.0 symbol / pixel

그림 4. 랜덤잡음 환경에서의 EEP 시스템과 UEP 시스템의 성능비교



(a) R=0.5 symbol / pixel



(b) R=1.0 symbol / pixel

그림 5. Rayleigh 페이딩 환경에서의 EEP 시스템과 UEP 시스템의 성능비교

그림 4와 그림 5는 각각 랜덤잡음 환경과 Rayleigh 페이딩 환경에서의 EEP 시스템과 UEP 시스템의 성능을 나타낸 것이다. 그림 5의 경우 모든 점들은 동일한 조건에서 5회씩 실험하여 평균값을 구한 것이다. 성능 곡선에서 EEP시스템은 모든 부대역 영상에 대해 모두 동일한 한 개의 채널 부호율(Equal Error Protection)을 적용한 경우이다. 본 논문에서는 각각 TCQPSK, TC8PSK, TC16PSK에 해당한다. 또한 EEP 시스템의 비트 할당을 위한 율-왜곡 함수는 채널상에서 발생하는 오류를 고려하지 않고 완전히 소스 부호화에 의한 왜곡만을 고려하여 산출되었다. 따라서 채널 SNR 값과 관계없이 항상 동일한 율-왜곡 함수를 갖는다.

결과를 살펴보면 UEP시스템의 성능이 특정 채널 SNR에 대해서는 EEP시스템과 동일한 성능을 보이기도 하지만, 전체적인 채널 SNR에 대해서 비교해보면 어떤 EEP 시스템보다도 넓은 영역의 채널SNR에 대해 고른 성능을 보여주고 있음을 볼 수 있다. 이것은 TCM 부호화기의 오류 정정 능력이 채널 SNR에 따라 매우 달라서, 특정 SNR에 대해 하나의 부호율만이 우수한 성능을 보이기 때문이다. 반면에 본 논문에서 구현한 공동 소스/채널 부호화 시스템의 성능은 각 채널 SNR 영역에서 가장 우수한 성능을 발휘하는 부호율에 대한 성능들의 합으로 나타남을 볼 수 있다. 또한 두

개의 채널 부호율이 서로 비슷한 성능을 보이는 채널 SNR 구간에서는 소스 부호율과 채널 부호율을 보다 효율적으로 조합하여 왜곡을 최소화하므로 EEP 시스템보다 더 나은 성능을 보이고 있다. 이러한 현상은 특히 페이딩 채널환경에서 더욱 두드러져 보이는데, 이것은 각 EEP 시스템의 성능이 좀 더 넓은 구간에 걸쳐서 완만히 증가함으로 인해 UEP 시스템이 선택 가능한 채널 부호율의 폭이 좀 더 넓기 때문이다. 한편, 그림 5에서 TC16PSK의 경우, 랜덤잡음 환경에서보다 훨씬 높은 채널 SNR을 갖는 영역에서도 매우 낮은 성능을 보이는데, 이것은 페이딩에 의해 발생하는 오류가 채널 부호율의 오류 정정 능력을 훨씬 넘어서기 때문으로 판단된다.

그림 4와 그림 5에서 보인 모의실험 결과는 동일한 채널 대역폭을 사용하더라도 한정된 범위의 채널 SNR 동작영역과 전송 품질을 갖는 EEP 시스템보다 UEP 시스템이 훨씬 넓은 채널 SNR 동작영역과 더욱 우수한 전송 품질을 갖음을 보여준다. 따라서 채널 오류 극복에 적절한 채널 부호화 방식을 사용한다면 제한된 대역폭을 사용하더라도 채널 상황의 변화에 따라 좀 더 우수한 전송 품질을 제공 할 수 있을 것으로 예상된다.

5. 결 론

본 논문에서는 이동통신 환경과 같은 대역폭 제한적인 통신 채널에서 대용량의 멀티미디어 정보를 전송함에 있어 소스 부호화기와 채널 부호화기의 부호율을 채널 환경과 소스의 특성에 따라 가변적으로 적용시킴으로써 서비스 품질과 대역폭 사용 효율 면에서 최적의 성능을 갖도록 하는 공동 소스/채널 부호화 시스템에 대해서 연구하였다. 영상의 재구성 기여도에 따라 각 비트를 분류하기 위해 부대역 부호화를 사용하였고, 상이오류보호 시스템을 위해 3가지 부호율을 갖고 각각 TCQPSK, TC8PSK, TC16PSK 변조방식을 갖는 TCM 부호화를 적용하였다. 제한된 대역폭에서 부대역 부호화된 영상 신호에 대해 채널 SNR과 영상 재구성 기여도에 따라 소스 부호율과 채널 부호율을 적절히 할당하여 UEP 시스템을 모의실험 한 결과, 랜덤잡음 환경과 Rayleigh 페이딩 환경 모두에서 어떠한 EEP 시스템보다도 우수한 성능을 나타냈으며, 채널 SNR에 대한 시스템의 동작 범위도 매우 넓게 적용될 수 있는 것으로 나타났다.

참고 문헌

- [1] Maja Bystrom and J.W. Modestino, "Combined Source-Channel Coding Schemes for Video Transmission over Additive White Gaussian Noise Channel." *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 18, No. 6, June 2000.
- [2] Amin Alavi, Robert Link, and Samir Kallel, "Adaptive Unequal Error Protection for Subband

Image Coding," *IEEE Trans. on Broadcasting*, Vol. 46, No. 3, September 2000.

- [3] Yair Shoham, Allen Gersho, "Efficient Bit Allocation for an Arbitrary Set of Quantizer," *IEEE Transaction on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Vol. 36, No. 9, September 1988.
- [4] Nariman Farvardin, James W. Modestino, "Optimum Quantizer Performance for a Class of Non-Gaussian Memoryless Sources," *IEEE Transaction on Information Theory*, Vol. IT-30, No.3, May 1984.
- [5] S.B.Z.Azami,P.Duhamel,and O.Rioul, "Joint source-channel coding: Panorama of methods," *in Proceedings of CNES Workshop on Data Compression* Nov.1996.
- [6] L. Qian, D. L. Jones and K. Ramchandran, "A General Joint Source-Channel Matching Method for Error Resilient Wireless Video Transmission," *IEEE Trans on Image Processing*, 1998.