

MELP 보코더의 잡음성능 개선

정회원 전 용 역*, 전 병 민**

An Enhanced MELP Vocoder in Noise Environments

Yong-uk Chun*, Byung-min Jun** *Regular Members*

요 약

전술통신 환경에서 MELP 보코더의 잡음에 대한 성능을 개선시키기 위해 전단에는 음향잡음억제기를, 그리고 채널과 접면에는 FEC 코드를 설치한 개선된 MELP 보코더를 제안한다. 여기서 음향잡음억제기는 IS-127 EVRC의 잡음억제 알고리즘을 MELP 보코더에 정합시켜 구현한 것이고, 채널오류 정정기는 recursive convolution 방식의 rate 1/3 인코딩 및 BCJR-MAP 디코딩 알고리즘을 근간으로 구현된 turbo 코드를 사용한다.

성능실험 결과 제안 시스템은 음향잡음 환경에서 SNR이 낮아질수록 잡음 억제 효과가 증가된다. 또한 비정상 잡음 보다 정제성 잡음에서 더 나은 성능을 나타내며, 원래 MELP 보코더 보다 MOS가 0.24 정도 개선된다. 채널잡음 환경에서는 채널오류 정정기의 인터리버가 MELP 프레임 한 개 크기일 때 채널 비트 SNR 4.2 dB에서 BER 10⁻⁶이 달성된다. 디코딩 반복횟수는 3회 정도가 복잡도 대비 성능 측면에서 최적으로 판단된다. 또한 인터리버가 MELP 프레임 한 개 크기이고 디코딩 반복횟수가 3회 이상인 경우 채널 비트 SNR 2 dB에서 MOS 2.5이상의 합성음질이 실현된다.

ABSTRACT

For improving the performance of noise suppression in tactical communication environments, an enhanced MELP vocoder is suggested, in which an acoustic noise suppressor is integrated into the front end of the MELP algorithm, and an FEC code into the channel side of the MELP algorithm. The acoustic noise suppressor is the modified IS-127 EVRC noise suppressor which is adapted for the MELP vocoder. As for FEC, the turbo code, which consists of rate-1/3 encoding and BCJR-MAP decoding algorithm, is utilized.

In acoustic noise environments, the lower the SNR becomes, the more the effects of noise suppression is increased. Moreover, The suggested system has greater noise suppression effects in stationary noise than in non-stationary noise, and shows its superiority by 0.24 in MOS test to the original MELP vocoder. When the interleaver size is one MELP frame, BER 10⁻⁶ is accomplished at channel bit SNR 4.2 dB. The iteration of decoding at 3 times is suboptimal in its complexity vs. performance. Synthetic quality is realized as more than MOS 2.5 at channel bit SNR 2 dB in subjective voice quality test, when the interleaver size is one MELP frame and the iteration of decoding is more than 3 times.

I. 서 론

MELP(Mixed Excitation Linear Prediction) 보코더 시스템이 사용되는 전술 통신 환경을 고려해 보면, 주변에 탱크 및 헬리콥터 등과 같은 거친 소음을 내는 장비들 때문에 음향환경이 열악하고, 무선

통신 환경은 재밍, 간섭 등으로 인해서 통신채널이 매우 낮은 SNR 조건에 있다. 미국의 DDVPC(DoD Digital Voice Processing Consortium)가 2.4Kbps MELP 음성 코딩 알고리즘을 현대역 보안 음성 코딩 제품과 시스템용 군사표준 MIL-STD-3005로 채택^[1]한데는 2.4Kbps 데이터 속도에서 음성의 질과

* 대덕대학 정보통신계열(yuchun@mail.ddc.ac.kr),
논문번호 : 020385-0907, 접수일자 : 2002년 9월 7일

** 충북대학교 컴퓨터공학과

인지도 양면에서 당시의 경쟁 기술에 비해 우위^[2]에 있었음을 의미한다. 그럼에도 불구하고 여러 실험에서 MELP 음성코딩 알고리즘은 시스템이 운용될 악조건의 환경에서 만족할만한 성능을 제공하지 못하고 있다^[3-5].

MELP 알고리즘은 디코더 내에 음성 정보 속의 잡음을 억제하기 위한 기능이 있다. 그러나 이 잡음 억제 알고리즘은 시간 축 상에서 매 프레임 당 2번씩 예측된 배경잡음을 이득정보와 비교하여 잡음을 판별하고 이득을 조절하는 매우 간단한 방식이므로 잡음에 대한 성능에 한계가 있다. 한편 MELP 알고리즘은 인코더와 디코더 내에 무성음 프레임의 전송오류를 정정하기 위해서 해밍 코드를 이용한 FEC 기능도 포함하고 있다^[6]. 그러나 여기서도 정작 음질에 미치는 영향이 상대적으로 큰 유성음 프레임에는 적용되지 않으며, 무성음 프레임도 일부 중요 파라미터만을 보호하고 있다.

이상의 배경으로 본 논문에서는 MELP가 운용될 거친 배경음향 환경과 불량한 채널 조건에서도 성공적인 음성 통신이 이루어질 수 있는 개선된 시스템을 제안하고자 한다. 제안한 개선된 MELP 보코더는 원래의 MELP에 전처리 잡음억제기와 채널오류 정정기를 추가하여 구성된다. 여기에 적용된 전처리 잡음억제기는 IS-127 EVRC(Enhanced Variable Rate Codec)에서 채용한 스펙트럼 차감 방식의 잡음억제 알고리즘^[7]을 MELP 보코더에 정합시켜 구현한다. 그리고 채널의 오류를 정정하기 위한 FEC 기능을 위해서는 최근에 데이터 통신 분야의 적용에 관심이 고조되고 있는 turbo 코딩 알고리즘^[8]을 이용한다.

제안한 시스템의 음향잡음 억제 성능실험을 위해 배경음향잡음의 음원은 전술 상황의 소음을 고려하여 정체성과 비정체성 특성을 갖는 Babble 잡음과 차량 잡음을 사용한다. 실험 결과에 대한 분석은 합성음성의 스펙트로그램 파형의 고찰 및 주관적 음질평가 방법인 MOS(Mean Opinion Score)^[9]를 측정하여 실시한다. 한편 채널오류 정정 성능실험을 위해 채널 시뮬레이터를 설치하고 실험결과를 채널 비트 SNR 대비 BER 및 MOS 측정값 등을 통해서 분석한다.

II. 시스템 구성

본 논문에서는 음향잡음억제 기능을 IS-127 EVRC 보코더에서 채용하고 있는 스펙트럼 차감

방식의 잡음억제 알고리즘을 모델로 하여 구현한다. EVRC 보코더는 이미 휴대용 전화기에 상용화되어 그 우수한 성능이 입증된바 있다. 그림 1은 EVRC의 잡음 억제 알고리즘을 블록도로 표시한 것이다. EVRC의 잡음억제 알고리즘은 음성 프레임을 주파수 영역에서 여러 채널로 분할하고 각 채널에 대한 처리를 실험 데이터에 근거해 달리 적용함으로써 최적의 잡음억제를 시도하고 있다. 이것은 대표적인 사례인 AT&T의 음성 개선 알고리즘^[10]과 비교할 때, 보다 더 복잡하고 정교한 구조이다.

EVRC는 프레임의 단위시간이 20 msec이다. 따라서 MELP에 EVRC의 잡음억제 알고리즘을 적용하기 위해서는 EVRC 프레임의 처리 샘플 수에 관련된 파라미터들을 MELP의 기본 프레임 시간인 22.5 msec에 동기될 수 있도록 확대 변형하는 것이 필요하다.

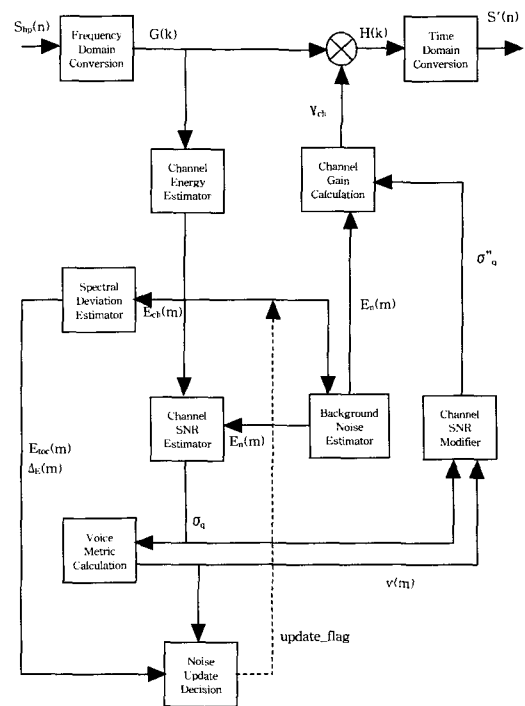
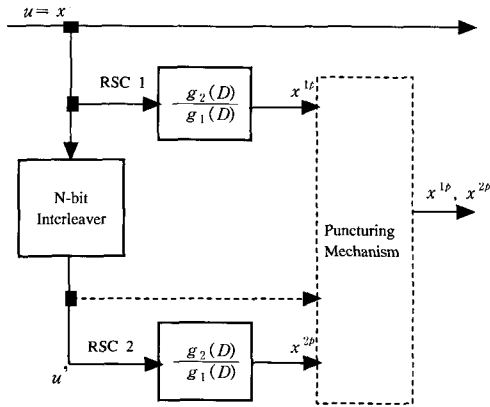


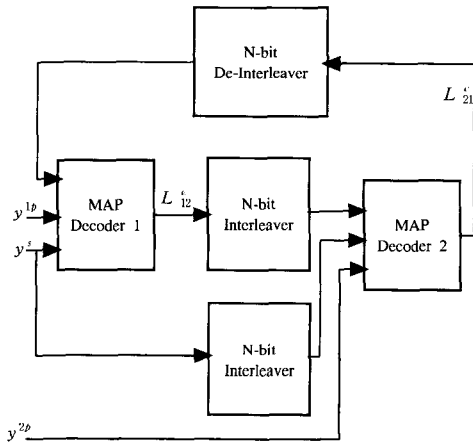
그림 1. EVRC의 잡음 억제 블록도

이렇게 변형된 음향잡음억제기는 그림 3에서와 같이 MELP 인코더 전단의 저주파 제거기 다음에 설치한다. 따라서 음성의 정보가 인코딩되기 전에 미리 잡음을 제거하는 전처리 잡음억제기 역할을 한다. 여기서 전처리 잡음억제기는 음성 프레임을 스펙트럴 영역에서 대역별 채널로 처리하며, 각 채널

널에 대해 배경잡음의 편평도 특성을 이용하여 잡음 여부를 판단하고 잡음 크기에 따른 조정 값을 선택함으로써 좀더 효율적인 잡음 제거를 수행한다. 또한 인코더에서 잡음을 미리 억제시킴으로써 보코더 내부에서의 원음에 대한 양자화 오차를 줄일 수 있는 이점도 있다.



(a) Turbo 인코더 블록도



(b) Turbo 디코더 블록도

그림 2. Turbo 코드 블록도

한편 본 논문에서는 채널의 오류 정정 기능으로 turbo 코딩 알고리즘을 사용하여 구현한다. 근년에 데이터 통신 분야에 turbo 코딩의 적용에 관한 많은 연구가 진행되어 왔다. Ungerboeck의 연구에서는 turbo 코드가 대역이 제한된 채널상의 용량에 근접한 동작을 할 수 있는 코드화된 변조임을 보여준다^[11]. 실제로 turbo 코드는 우주 및 위성통신 분야에서 채널의 용량에 근접한 성능을 제공한다.

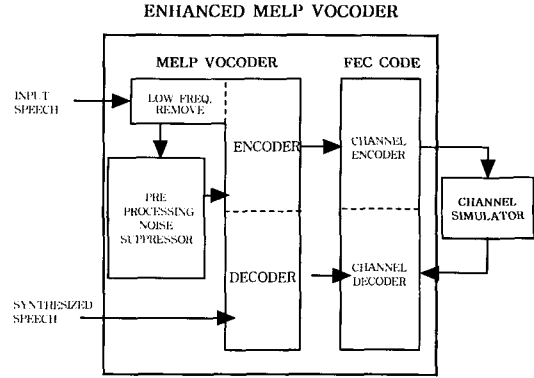


그림 3. 제안 시스템 구성도

여기서 구현된 채널오류 정정기는 채널 인코더를 recursive convolution 방식의 rate 1/3 코드로 하고, 채널 디코더로는 BCJR-MAP 디코딩 알고리즘^[12-14]을 적용한다. 그림 2는 turbo 코드 블록도를 표시한다. 본 코드의 상태 수는 16으로 하고, 디코딩의 반복 횟수는 가변할 수 있도록 한다. 또한 처리 기본 단위인 인터리버의 크기는 MELP 전송 프레임 1 개 크기인 54비트를 기준으로 하고, 이의 배수로 가변이 가능하게 한다. 여기서 가변 요소는 코드의 여러 조건에 따라 시스템 성능을 분석할 수 있게 해준다. 그림 3에서 보는 바와 같이 채널오류 정정기의 채널 인코더는 MELP의 인코더 출력단에 연결하고, 채널 디코더는 MELP의 디코더 입력단에 연결한다.

채널 시뮬레이터를 통해 MELP의 전송 데이터를 BPSK(Binary Phase Shift Keying) 방식으로 변조하며 잡음원으로 AWGN(Additive White Gaussian Noise)를 원하는 세기로 가변하여 발생할 수 있도록 한다. 채널 시뮬레이터는 그림 3에서 보는바와 같이 turbo 코드의 채널 인코더와 채널 디코더 사이에 설치하여 다양한 잡음 크기 조건에서 시스템의 성능분석을 가능케 한다.

이상과 같이 전처리 잡음억제기와 채널오류 정정기를 MELP 보코더에 추가로 설치하여 개선된 MELP 보코딩 시스템을 구성한다.

III. 음향잡음 억제 성능 분석

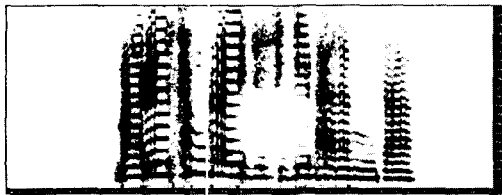
본 장에서는 제안한 전처리 잡음억제기가 통합 설치된 MELP 보코더의 성능을 측정하고 결과를 분석한다.

1. 배경음향잡음 없는 경우의 성능

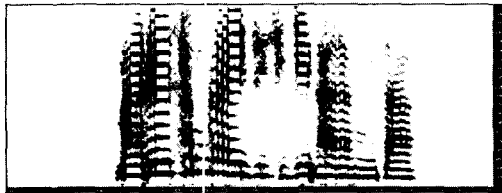
제안한 시스템에서는 인코더 전단에 설치한 잡음 억제제가 원음을 전처리하고 있으므로 다음의 실험은 이러한 처리가 보코딩 시스템 전체에 미치는 영향을 검증하기 위함이다. 여기서 전처리 잡음억제기가 인코더에서 원본 음성을 변형하는 전처리 과정을 수행하더라도 실제로 잡음이 없는 음성에 대해서는 원래 MELP 보코더의 합성음성과 차이가 거의 없어야 바람직하다.



(a) 배경잡음 없는 음성



(b) MELP 합성음성



(c) 제안 MELP 합성음성

그림 4. 배경잡음 없는 음성 스펙트럼

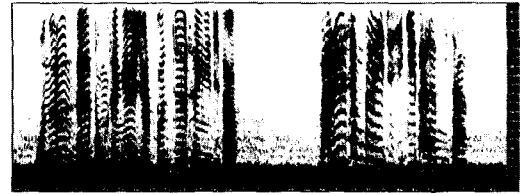
그림 4 (a)는 배경잡음이 들어 있지 않은 음성 원본이다. (b)는 원래 MELP 보코더의 합성음성 스펙트럼이며, (c)는 제안한 전처리 잡음억제기가 설치된 MELP 보코더의 합성음성 스펙트럼이다. 여기서 전처리 잡음제거기를 설치한 경우와 설치하지 않은 경우에 대한 스펙트로그램 상의 실험결과에서 피치 왜곡이나 하모닉 크기 변형이 지각적으로 크지 않다.

이 실험결과로 제안한 전처리 잡음억제기가 원래의 MELP 보코더 성능에 미치는 영향이 적어서, 과거의 주변 음향잡음 상태에 따라 전처리 잡음억제기를 끄고 켜야하는 번거로운 운영이 본 시스템에

서는 불필요해진다.

2. 배경음향잡음 정도에 따른 잡음억제 성능

본 실험으로는 배경음향잡음에 대해 제안한 전처리 잡음억제기가 설치된 MELP의 잡음억제 성능을 분석해 본다. 사용한 음원은 그림 5와 그림 6의 (a)



(a) 배경 잡음 10dB 음성

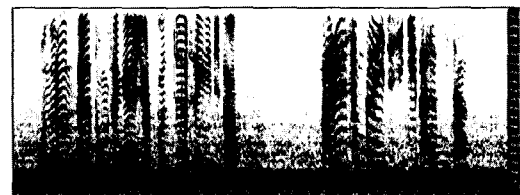


(b) MELP 합성음성



(c) 제안 MELP 합성음성

그림 5. 배경잡음 10dB 음성 스펙트럼



(a) 배경잡음 5dB 음성



(b) MELP 합성음성



(c) 제안 MELP 합성음성

그림 6. 배경잡음 5dB 음성 스펙트럼

에서와 같이 남녀음성에 SNR 10dB, 5dB의 자동차 소음을 배경잡음으로 혼합시킨 것이다. 실험결과에서 그림 5 (a)와 (b) 그리고 그림 6 (a)와 (b)의 스펙트로그램을 비교해보면, 원래의 MELP 보코더는 원음에 포함된 배경잡음을 억제해주는 정도가 미미한 수준임을 알 수 있다. 한편 이 실험결과와 제안한 전처리 잡음억제기를 설치한 경우의 결과인 그림 5와 그림 6의 (c)를 앞의 결과와 상대 비교해보면 전처리 잡음억제기의 설치 효과로 상당한 수준의 잡음억제가 이루어진 것을 확인할 수 있다. 특히 전처리 잡음제거의 효과로 원래 MELP에서의 배경잡음으로 인한 임펄스 성분이 억제되고 지주파 부분 및 피치간의 잡음이 감소된다.

3. 배경음향잡음 특성에 따른 잡음억제 성능

본 실험으로는 제안한 전처리 잡음억제기를 설치한 MELP가 배경음향잡음의 특성에 따라 어떠한 잡음억제 성능의 차이를 보이는가 비교 고찰한다. 그림 7 (a)는 남성의 음성에 차례로 babble 잡음과 자동차 잡음을 SNR 5dB가 되도록 혼합한 것이다.



(a) babble과 자동차 잡음 섞인 음성



(b) 제안 MELP의 합성음성 스펙트럼

그림 7. 배경잡음 특성별 실험결과 비교(5dB)

그림 7 (b)는 제안한 전처리 잡음억제기가 설치된 MELP의 합성음성 스펙트럼이다.

실험결과에서 그림 7 (b)의 babble 잡음의 경우 일부 잡음이 제거되지 않고 남아있는 것이 관찰되며 상대적으로 자동차 잡음의 경우에서 babble 잡음보다 상대적으로 더 나은 성능을 보이고 있다. 이것은 제안한 전처리 잡음억제기의 알고리즘이 배경잡음의 정체적 특성을 이용하여 잡음을 억제하기 때문에 비정체적 잡음보다는 정체적 잡음에 보다 더 효과적인 것으로 해석된다.

4. 전처리 잡음억제 결과의 주관적 음질평가

이상의 성능 분석은 제안한 전처리 잡음억제기를 설치한 MELP 보코더의 실험결과에서 합성음성 스펙트럼의 파형 고찰을 통한 것이다. 다음은 이들의 실험결과에 대해 주관적 음질평가 방법인 MOS 측정을 통해 성능을 분석한다. 표 1은 실험의 결과치를 정리한 것이다.

표 1의 MOS 측정결과로 전처리 잡음억제 효과를 분석해 보면, 우선 제안한 전처리 잡음억제기가 설치된 MELP에서 원래의 MELP 보다 전체적으로 MOS값이 개선된 것이 확인된다. 여기서 개선의 정도는 SNR이 낮아질수록 커진다. 즉 잡음의 정도가 심해질수록 잡음억제 효과가 커진다. 그러나 SNR 3dB의 극심한 잡음환경에서는 개선의 정도가 감소한다. 이것은 잡음 레벨이 아주 높아지면 잡음억제 알고리즘에서 원래의 음성신호와 잡음신호의 판별 기준이 모호해 지면서 원음에 손상을 발생시키는 것으로 해석된다. 잡음의 특성에 따른 잡음억제 효과를 분석해 보면 정체성 잡음인 자동차 잡음의 경우가 비정체적 잡음인 babble 잡음에서보다 상대적

표 1. 배경잡음 환경에서의 MOS 측정결과

잡음 종류 SNR	잡음 종류		평균	
	비정체성 잡음(Babble)	정체성 잡음 (Car)		
MELP	15 dB	2.98	3.05	3.02
	10 dB	2.71	2.82	2.77
	5 dB	2.25	2.34	2.30
	3 dB	1.82	1.90	1.86
전처리 잡음억 제기 설치한 MELP	15 dB	3.12	3.15	3.14
	10 dB	2.92	3.07	3.00
	5 dB	2.61	2.75	2.68
	3 dB	2.01	2.18	2.10
Quiet			-	3.20

으로 더 높은 MOS 수치를 보인다. 그리고 MOS 측정결과에서 전처리 잡음억제기의 설치로 합성음성의 음질이 원래 MELP 보다 평균 0.24 정도 개선된 것을 알 수 있다.

IV. 채널오류 정정 성능 분석

본 장에서는 제안한 채널오류 정정기가 설치된 MELP 보코더의 성능을 측정하고 결과를 분석한다.

1. 인터리버 크기에 따른 오류 정정 성능

본 실험은 제안한 채널오류 정정기의 인터리버 크기를 변화시켜가며 채널 오류 정정 성능을 측정한다. 인터리버 크기는 MELP의 전송 프레임(54 비트)을 기본 단위로 각각 1개, 2개, 5개, 10개, 20개, 300개 프레임으로 하고, 디코딩 반복횟수를 20회로 한다. 그림 8은 각 인터리버 크기별로 측정한 결과를 채널 비트 SNR(E_b/N_0) 대비 채널 오류 정정 후 BER의 그래프로 표시한 것이다.

제안한 채널오류 정정기에 사용된 turbo 코딩 알고리즘은 처리 단위 블록의 크기가 커질수록 성능이 나아지는 특성이 있다. 그림 8의 실험결과에서도 인터리버의 크기가 커질수록 오류 정정 성능이 나아지는 것을 알 수 있다. 채널에서 수신된 정보의 BER이 10^{-6} 정도 달성되기 위한 채널 비트 SNR은 인터리버 크기 1개 프레임의 경우 4.2dB, 2개 프레임에서 3.4dB, 5개 프레임에서 2.4dB, 10개 프레임

에서 1.2dB, 20개 프레임에서 1.0 dB로 점점 성능이 양호해진다. 인터리버의 크기가 300개 프레임 정도로 충분히 크면 turbo 코드의 잠재 성능이 충분히 발휘되어 채널 비트 SNR E_b/N_0 이 0.2 dB에서 BER이 10^{-6} 이하가 된다.

여기서 채널 오류 정정기를 설치하지 않은 경우 채널 비트 SNR이 4.2 dB에서 BER 10^{-2} 이 되어 합성음성의 음질에 심각한 훼손이 발생하기 시작한다^[15]. 이러한 채널 조건에서 인터리버 크기가 1개 프레임인 채널오류 정정기가 설치된 경우는 BER 10^{-6} 으로 개선된다.

제안한 채널오류 정정기가 설치된 MELP 보코더에서 인터리버의 크기가 커지면 프레임 개수에 비례한 통화지연이 발생한다. 특히 전이중 통신의 경우는 인터리버의 크기가 시스템 지연성능에 크게 영향을 준다^[16].

2. 디코딩 반복횟수에 따른 성능

본 실험은 제안한 채널오류 정정기를 통합한 MELP에서 디코딩 반복횟수 대비 오류정정 성능을 측정한다. 여기서 인터리버의 크기를 통신지연이 최소가 되는 MELP 전송 프레임 한 개 크기인 54 비트로 설정하고 디코더의 반복횟수를 가변하며 실험한다. 그림 9는 위 조건으로 시뮬레이션한 결과를 그래프로 표시한 것이다.

실험결과에서 turbo 코드의 복잡도를 결정하는 중요 변수인 디코딩 반복횟수에 비례해서 오류 정정 성능이 나아짐을 알 수 있다. 그러나 디코딩 반복횟

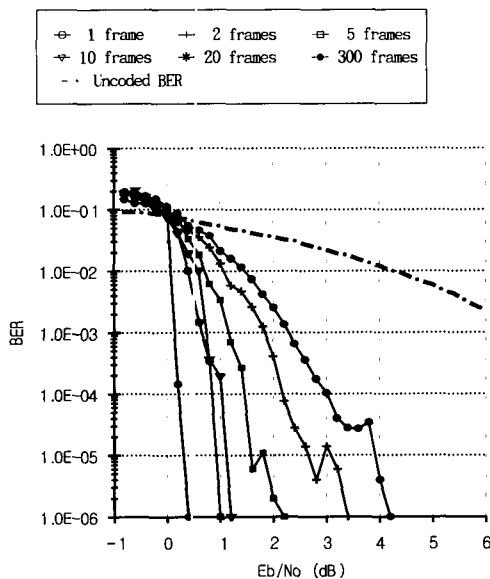


그림 8. 인터리버 크기에 따른 제안 코드의 성능

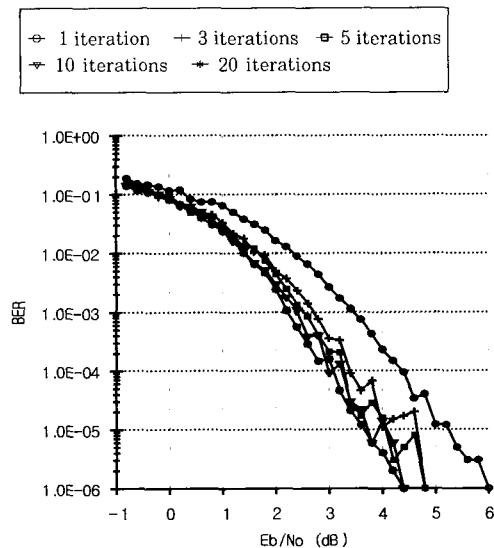


그림 9. 디코딩 반복횟수에 따른 제안 코드의 성능

수가 증가하면 오류정정 성능은 개선되지만 디코딩의 복잡도가 증가하여 그만큼의 실시간 처리 및 구현비용에 부담이 커지므로 최적의 디코딩 반복횟수를 찾는 것이 중요하다. 그림 9에서 디코딩 반복횟수 3~20번에서는 특이한 성능 차이가 나지 않음을 알 수 있다. 그러므로 복잡도 대 성능 측면에서 최적의 디코딩 반복횟수는 3번 정도라고 판단된다. 이때의 성능을 디코딩 반복횟수가 1회인 결과와 비교해보면 채널 비트 SNR의 조건이 약 1dB 정도 유리하며, 원활한 음성 통신이 가능한 BER 10^{-2} 이한 상태^[15]를 채널 비트 SNR 1.6dB 이상의 채널조건에서 이룰 수 있다.

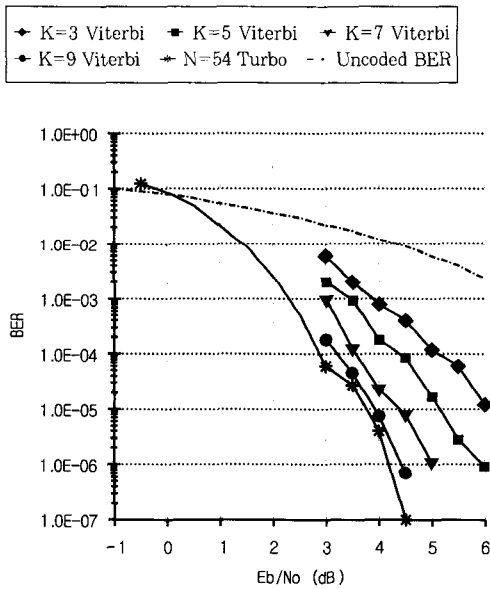


그림 10. Viterbi 코드와의 성능비교

3. Viterbi 코드와의 성능 비교

본 실험에서는 가장 일반적으로 사용되는 FEC 방식인 Viterbi 코드를 MELP에 설치하여 성능을 측정하고 제안한 채널오류 정정기를 설치한 경우의 실험결과와 비교한다. 그림 10은 Viterbi 코드의 경우와 비교 실험한 결과이다. 여기서 채널오류 정정기의 인터리버 크기는 MELP 전송 프레임 1개(54 비트)이고 최대 반복횟수는 20회이다. 한편 비교 대상 Viterbi 코드는 rate-1/2 convolutional 인코더와 depth $K \times 5$ trellis인 디코더로 구성된 것이다. 여기서 인코더의 constraint length K 가 각각 3, 5, 7, 9인 경우에 대해 실험하고 측정결과를 비교한다.

그림 10의 비교 실험 결과에서 나타난 바와 같이 4가지 Viterbi 코드 모두의 경우보다 제안한 채널오

류 정정기의 성능이 더 우수한 것을 알 수 있다. 여기서 제안한 채널오류 정정기와 $K=3$ 인 Viterbi 코드의 경우를 비교하면, 제안 코드의 경우가 동일한 BER 결과를 얻기 위한 채널 비트 SNR이 약 2dB 정도 유리하다.

4. 오류 정정 결과의 주관적 음질평가

표 2. 제안 코드가 설치된 MELP의 MOS 측정결과

제안 코드 조건	채널 비트 SNR(Eb/No)	MOS
인터리버 = 1 프레임 반복횟수 = 1 회	2.0 dB	1.72
	4.0 dB	3.01
인터리버 = 1 프레임 반복횟수 = 3 회	2.0 dB	2.45
	4.0 dB	3.08
인터리버 = 1 프레임 반복횟수 = 20 회	1.5 dB	1.93
	2.0 dB	2.52
인터리버 = 20 프레임 반복횟수 = 20 회	0.5 dB	2.63
	1.0 dB	3.19

본 실험으로는 채널오류 정정기를 설치한 개선된 MELP 보코더가 채널 오류 환경에서 어느 정도의 음질 성능을 갖는지 고찰한다. 표 2는 앞 절에서 실시한 실험결과와 합성음성에 대해 주관적 음질 평가인 MOS 측정결과를 정리한 것이다. 음질 평가결과에서 채널오류 정정기의 인터리버가 MELP 전송 프레임 1개인 경우에서도 채널 비트 SNR 4dB 이상에서의 음질은 채널오류가 없는 경우에 근접한다. 한편 인터리버가 MELP 전송 프레임 20개 크기인 경우는 채널 비트 SNR 0.5dB의 약조건일 때도 음질이 통화가 원만한 합성음질 수준이다. 채널오류 정정기를 설치하지 않을 경우 MOS가 1.5 미만으로 음성의 인지가 어려운 채널 비트 SNR 2dB에서^[15] 제안한 채널오류 정정기를 설치한 경우는 디코딩 반복횟수가 3회 이상만 되면 MOS가 약 2.5 이상으로 합성음질 수준이 된다.

V. 결론

본 논문에서는 거친 배경음향잡음과 불량한 채널 잡음 조건의 전송통신 환경에서 잡음억제 성능이 개선된 MELP 보코더 시스템을 제안하였다.

제안 시스템의 음향잡음 억제 성능 실험의 결과는 다음과 같다. 추가로 설치된 전처리 잡음억제기가 원래의 MELP 성능에 미치는 영향은 지각적으

로 무시할 정도였다. 따라서 본 시스템에서는 설치된 전처리 잡음억제기를 배경음향잡음 상태에 따라 수동으로 끄고 켜야하는 운용이 불필요하다.

배경음향잡음이 있는 경우에 대한 실험에서 원래 MELP 보코더의 합성음성에는 스펙트럼 상 배경잡음이 거의 그대로 잔류해 있는 반면에 전처리 잡음억제기를 설치한 경우 합성음성의 스펙트럼 상에 배경잡음 중 상당한 양이 제거되는 것을 확인하였다. 또한 배경잡음의 정도에 따른 실험 결과를 고찰해보면 SNR의 수치가 낮을수록 잡음억제 효과가 커지는 것으로 분석되었다. 한편 잡음의 특성에 따른 잡음제거 정도의 비교에서는 Babble 소음과 같은 비정체성 잡음보다 자동차 소음과 같은 정체성 잡음에서 더 나은 성능을 보였다. 배경음향잡음 억제 실험 결과의 합성음성에 대한 주관적 음질 평가에서 MOS 측정값이 원래의 MELP 보코더보다 전처리 잡음억제기를 설치한 경우 0.24 정도 개선된 성능을 나타냈다.

제안 시스템의 채널오류에 대한 성능 실험결과는 다음과 같다. 채널오류 정정기의 인터리버 크기를 MELP 전송 프레임 한 개 크기인 54비트로 한 경우 채널 비트 SNR 4.2dB에서 BER 10^{-6} 이 달성되었다. 채널오류 정정기를 설치하지 않은 경우, 이러한 채널 조건에서는 BER이 약 10^{-2} 정도로서 원래의 MELP 보코더에서는 음성인지가 어려워지기 시작하는 지점이다.

디코딩 반복횟수에 따른 오류정정 성능 실험결과를 분석하면 디코딩 반복횟수 3회 정도가 복잡도에 성능의 효율 면에서 최적으로 판단되며, 이 결과는 turbo 코드의 실시간 구현을 용이하게 해준다. 한편 제한길이 K가 3~9인 1/2-rate convolutional 인코더 및 trellis depth $K \times 5$ 디코더로 구성된 Viterbi 코드들과의 성능비교에서 본 채널오류 정정기가 인터리버 크기 54 비트이고 반복횟수 20일 경우에 Viterbi 코드들보다 우수한 성능을 보였다. 채널오류 정정 실험결과의 합성음성에 대한 주관적 음질 평가에서 MOS 측정값을 고찰해 보면, 디코딩 반복횟수 3회 이상의 조건에서 채널 비트 SNR 2dB 정도를 가정할 때 MOS 2.5 이상이 실현되었다. 이것은 채널 오류정정기를 설치하지 않은 경우 동일한 채널 조건에서 MOS 1.5 미만의 음성 인지가 어려운 음질 수준을 음성통화가 원만한 합성음질 수준으로 향상시킨 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Supplee Lynn M., Cohn Ronald P., Collura John S., McCree Alan V., "MELP: The New Federal Standard at 2400 bps," *IEEE ICASSP-97 Conference*, Munich Germany, pp.1591-1594.
- [2] Collura, J. S., "Speech enhancement and coding in harsh acoustic noise environments," *Proceedings of IEEE Workshop on Speech Coding Proceedings*, pp.162-164, 1999.
- [3] Martin, R. and R. V. Cox, "New speech enhancement techniques for low bit rate speech coding," *Proceedings of IEEE Workshop on Speech Coding*, pp.165-167, 1999.
- [4] Malah David, Cox Richard V. and Accardi Anthony J., "Tracking Speech Presence Uncertainty to Improve Speech Enhancement in Non-stationary Noise Environments," *IEEE ICASSP-99 Conference*, Phoenix AZ.
- [5] Accardi Anthony J. and Cox Richard V., "A Modular Approach to Speech Enhancement with an Application to Speech Coding," *IEEE ICASSP-99 Conference*, Phoenix AZ.
- [6] "Analog to Digital Conversion of Voice by 2,400 Bit/Second Mixed Excitation Linear Prediction (MELP)," *Federal Information Processing Standards Publication (FIPS PUB) Draft*, May 28, 1998.
- [7] EIA/TIA-PN3292(IS-127), official Ballot Version "Enhanced Variable Rate Codec, Speech Service Option 3 Wideband Spread Spectrum Digital Systems," 1996.
- [8] Barrou, C., A. Glavieux, P. Thitimajshima, "Near Shannon Limit Error Correcting Coding and Decoding: Turbo Codes," *IEEE ICC-93 Conference*, pp.1064-1070.
- [9] Kubichek, R., "Standards and technology issues in objective voice quality assessment," *Digital Signal Process.: Rev. J., DSP 1*, pp.38-44, Apr. 1991.
- [10] Martin, R. and R. V. Cox, "New speech enhancement techniques for low bit rate speech coding," *Proceedings of IEEE Workshop on Speech Coding*, pp.165-167, 1999.

- [11] Eyuboglu, M., G. D. Forney, P. Dong and G. Long, “Advanced modulation techniques for V. Fast,” *Eur. Trans. on Telecom.*, pp.243-256, May 1993.
- [12] Benedetto, S. and G. Montorsi, “Design of parallel concatenated codes,” *IEEE Trans. Comm.*, pp.591-600, May 1996.
- [13] Hagenauer, J., E. Offer and L. Papke, “Iterative decoding of binary block and convolutional codes,” *IEEE Trans. Inf. Theory*, pp.429-445, Mar. 1996.
- [14] Arnold, D. and G. Meyerhans, “The realization of the turbo-coding system,” Semester Project Report, *Swiss Fed. Inst. of Tech.*, Zurich, Switzerland, July, 1995.
- [15] 전용억, 지남현, 황동국, 전병민, “MELP 보코더의 채널오류 정정 성능 개선”, *한국통신학회 · 대한전자공학회 충북지부 2001년도 추계 합동 학술대회*, pp.65-70.
- [16] Rahikka, D. J., J. S. Collura, T. E. Fuja and T. Fazel, “US Federal Standard MELP vocoder tactical performance enhancement via MAP error correction,” *Proceedings of Military Communications Conference*, vol. 2, pp.1458-1462, 1999.

전 용 억(Yong-uk Chun) 정회원
 현재 : 대덕대학 정보통신계열 교수
 제24권 제2호 참조

전 병 민(Byung-min Jun) 정회원
 현재 : 충북대학교 컴퓨터공학과 교수
 제23권 제10호 참조