

효율적인 음성신호의 전송을 위한 4배속 가변 변환율 ADPCM기법 및 DSP를 이용한 실시간 구현

(Variable Quad Rate ADPCM for Efficient Speech Transmission and
Real Time Implementation on DSP)

한경호*

(Kyong - Ho Han)

요 약

본 논문에서는 ADPCM을 이용하여 보다 효율적인 음성전송을 위한 4배속 가변임계값을 갖는 음성 부호화법을 제안하였으며 TMS320C6711-DSP를 사용하여 제안된 알고리즘의 실시간 음성 처리 구현을 다루었다. 본 논문에서는 ADPCM 알고리즘을 개선하여 입력 신호 및 주변 환경에 따라 변환율을 16[kbps], 24[kbps], 32[kbps], 40[kbps]로 가변하는 음성부호화 방법을 제시하고 이를 DSP를 이용하여 Encoding과 Decoding을 실시간으로 구현하여 좋은 음질의 음성 신호를 보다 적은 비트 수로 전송하고자 하였다. 이를 위하여 영교차율(Zero Crossing Rate)을 이용하여 소음의 우세한 정도를 구분하여, 임계값을 가변 시키도록 하였으며 소음이 우세한 환경에서는 4가지 변환율 가운데 낮은 변환율을 사용하도록 하여 전송 비트 수를 줄이도록 하였으며, 소음이 열세한 환경에서는 높은 변환율을 사용하도록 하여 좋은 음질을 갖도록 하였다. 음성 대화의 많은 구간이 거의 묵음인 구간이 많으므로, 음질은 40[kbps] 수준의 음질을 유지하면서 이 보다 낮은 데이터 비트수를 유지할 수 있음을 시뮬레이션과 실험으로 보였다. 구현에 사용된 TMS320C6711-DSK board는 128[K]의 플래쉬 메모리를 가지고 있고 1333MIPS의 처리속도를 가지므로 제안된 알고리즘을 실시간 구현하기에 충분한 조건을 가지고 있다.

Abstract

In this paper, we proposed quad variable rates ADPCM coding method for efficient speech transmission and real time processing is implemented on TMS320C6711-DSP. The modified ADPCM with four variable coding rates, 16[kbps], 24[kbps], 32[kbps] and 40[kbps] are used for speech window samples for good quality speech transmission at a small data bits and real time encoding and decoding is implemented using DSP. ZCR is used to identify the influence of the noise on the speech signal and to decide the rate change threshold. For noise superior signals, low coding rates are applied to minimize data bit and for noise inferior signals, high coding rates are applied to enhance the speech quality. In most speech telecommunications, silent period takes more than half of the signals, speech quality close to 40[kbps] can be obtained at comparably low data bits and this is shown by simulation and experiments. TMS320C6711-DSK board has 128K flash memory and performance of 1333MIPS and has meets the requirements for real time implementation of proposed coding algorithm.

Key Words : ADPCM, Quad Rate, ZCR, DSP Implementation

* 주저자 : 단국대학교 전자공학과 교수 접수일자 : 2003년 11월 10일
Tel : 709-2831, Fax : 793-1387 1차심사 : 2003년 11월 21일
E-mail : kyonghan@dku.edu 심사완료 : 2003년 12월 29일

조명·전기설비학회논문지 제18권 제1호, 2004년 1월

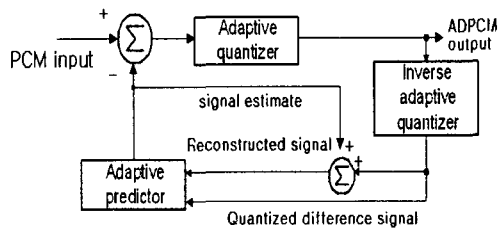
1. 서론

본 논문에서는 ADPCM (Adaptive Differential PCM)의 4가지 코딩율을 가변적으로 적용하여 기존의 ADPCM 코딩방법보다 적은 전송 비트율을 가지고 음질을 개선하는 방법을 제시하고 이를 DSP 보드에 의하여 실시간 처리를 구현하는 것을 다루었다. 음성 파형을 표본화하여 코딩하는 방식의 하나인 ADPCM 은, PCM을 기반으로 하는 음성 압축 기법으로 ITU의 권고안 G.726에서 표준으로 규정하고 있으며, 전송률에 따라 16[kbps], 24[kbps], 32[kbps], 40[kbps] 등으로 구분되어 지며 4가지중 하나의 단일 전송율로 음성을 코딩하는 것을 제시하고 있다. ADPCM에서 음성은 8비트 μ -law, A-law 또는 14비트 선형 PCM 형식으로 입력되어지며, 코딩의 결과는, 동일한 형식으로 출력이 가능하다. ADPCM 코딩 방식은 그 계산방식이 여타 방식에 비하여 복잡도가 낮으며, 우수한 음성 품질을 구현할 수 있어 멀티미디어 등의 음성 압축에 많이 사용되고 있다 [1][2]. 그리고 이 방식은 고정 변환율로 음성을 코딩하며 높은 변환율을 가지면 음질이 우수하며, 낮은 변환율을 가지면 음질이 저하된다. 또한 대부분의 음성 통신에서 양자간의 대화에서 전체 통화시간중에 대화가 없거나 거의 없는 구간, 즉 묵음 구간이 50% 이상되는 점이 있으며 고정 변환율을 사용하는 경우 정보가 거의 없는 이 부분까지도 데이터 비트를 할당하여 평균 데이터 전송비트 수를 증가시키고 있다. 이를 개선하고자 이동 통신 등에서는 고정 변환율이 아닌 가변 변환율방식을 사용하여 정보가 많은 구간에는 데이터를 많이 할당하고 적은 구간에는 데이터를 적게 할당하는 방식을 사용하고 있다. 이를 위하여 두가지 이상의 변환율을 사용하는데, 이전 연구에서는 음성의 변환율을 두가지로 나누어 연구를 하였다[7][8]. 이 경우 무음, 유음 구간만을 구별하며 각각 16[kbps](2비트), 40[kbps](5비트)로 변환하였다. 그 결과 유음 구간의 모든 음성 신호에 대하여도 무조건 5비트를 할당하므로 유음 구간에 대하여 신호에 따라 3,4,5비트를 변환하여 할당하면 음질저하를 작게하면서도 평균 비트 전송율을 줄일 수 있다. 이에 본 논문에서는 4가지 변환율을 사용함으

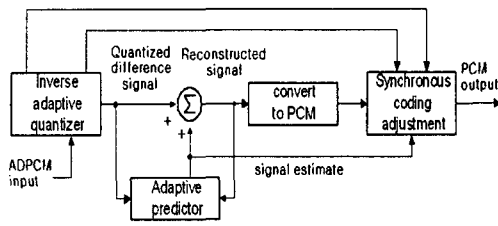
로써 음질을 크게 저하시키지 않아 사람이 음질의 차이를 느끼지 못할 정도에서 전송 비트율을 낮추는 방법을 제시하게 되었으며, 이를 DSP보드에 의하여 실시간으로 구현하여 확인하였다.

2. ADPCM 알고리즘

ADPCM알고리즘은 음성신호가 인접한 표본값 사이의 상관관계가 높다는 점에 기인하여 예측신호와 실제 신호사이에서의 차이만을 양자화 하므로 PCM이나 DPCM보다 정확하고 효과적으로 대역폭을 감소시킬 수 있다[3][4]. 따라서 실제 신호 표본들과 예측 신호 표본들의 차이는 실제 신호 표본들을 양자화 하는데 필요한 비트 수보다 훨씬 더 적은 비트 수로 정확히 양자화 하게 될 것이다. 그림 1(a)는 ADPCM의 부호기를 나타낸다. 먼저 μ -law, A-law 혹은 선형 PCM의 입력신호가 14비트 선형 PCM으로 변환된 후, 이 신호와 예측 신호를 뺀 차분 신호가 얻어지게 된다. 이러한 차분 신호를 디코더로 전송함에 있어 5, 4, 3, 2비트로의 변환에 대해 각각 31, 15, 7, 4 레벨의 적응 양자화기가 사용된다. 역 적응 양자화기는 양자화 되었던 차분 신호를 만들어 내는데, 이 신호는 입력신호의 복원된 형태를 만들어내기 위해 신호의 예측값과 더해지게 된다. 그 결과로 만들어지는 복원된 신호와, 양자화 되었던 차분신호는 적응 예측기에 의해서 입력신호를 예측하게 되고 궤환 루프를 종료한다. 이 적응 예측기는 2개의 극점과 6개의 영점을 가진 필터로, 각각의 필터 계수들은 입력되는 샘플들에 의해 항상 업데이트된다. 그림 1(b)는 ADPCM의 복호기를 나타낸다. 부호기의 궤환 부분과 동일한 구조를 포함하며, 14비트 선형 PCM을 μ -law, A-law, 혹은 선형 PCM으로 변환하는 부분 외에도 동기 부호화 보정기(synchronous coding adjustment)부분을 포함한다. 이 부분은 다음 ADPCM 부호화 단계에서 일어날 수 있는 양자화 왜곡을 제거하기 위해 PCM 출력을 조절함으로써 얻어지게 된다[5][6].



(a)



(b)

그림 1. ADPCM의 블록선도
Fig. 1. ADPCM Block Diagram

그림 2에서는 4배 가변 변환율 ADPCM의 블록 선도를 보이며 Encoder와 Decoder의 전단계에서 ZCR 값에 따라 변환율을 결정하는 과정을 거친다.

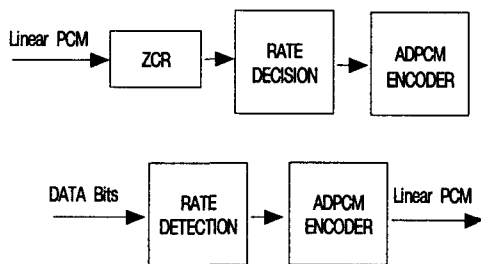


그림 2. 4배 가변 변환율 블록선도
Fig. 2. Block Diagram of Quad Rate ADPCM

본 연구에서는 ADPCM의 전처리 과정으로 PCM 입력 신호에 대하여 80샘플을 하나의 블록을 구성하여 블록마다 ZCR을 계산하고 그 결과에 따라 변환율을 결정하여 ADPCM 인코딩 과정을 거친다. 디코딩 과정에서는 전송되는 비트 수에 따라 해당 변환율로 음성이 복원되어 PCM 출력 신호를 발생한다.

조명 · 전기설비학회논문지 제18권 제1호, 2004년 1월

3. 가변 변환율 코딩

음성 신호를 고정 변환율로 코딩할 경우, 순수한 음성뿐 아니라 주변 소음이 혼합되며 대화사이에 일시적으로 음성신호가 존재하지 않는 묵음 구간이 존재하게 된다. 이런 묵음구간의 경우 거의 소음만 존재하는 구간에서는 소음이 음성 신호의 경우와 마찬가지로 코딩되어 높은 전송률로 전송하는 경우가 발생한다. 이러한 경우, 의미가 없는 소음을 코딩하기 위하여 프로세서가 점유되며, 전송데이터 프레임의 일부를 차지하게 되어 전송 효율이 떨어지게 된다. 대부분의 음성 대화에서 묵음에 해당하는 구간이 50% 이상 차지하게 되며, 이때에는 음성 신호보다 소음의 영향이 강하므로 이 구간에 대하여, 최소의 전송 비트를 할당한다면, 음성의 평균 전송 비트율을 낮출 수 있다. 음성을 변환할때, 낮은 압축률로 변환하게 되면 비교적 원음에 충실한 신호를 얻을 수 있으나 데이터의 양이 많아지게 된다. 이에 반해 높은 압축률로 변환한 신호는 데이터의 양은 적으나 음질의 저하가 생긴다. 따라서 소음이 우세한 구간에는 높은 압축률을 사용하고 음성이 우세한 구간에는 음성 신호의 크기에 따라 4가지의 압축률을 사용하면 변환 비트 수의 평균 전송 데이터 양을 줄일 수 있고 원래의 음성신호에 비해 음질저하가 적은 신호를 얻을 수 있다. 이를 위하여 소음이 우세한 구간은 16[kbps], 24[kbps]의 2 가지의 높은 압축률을 부여하고, 음성이 우세한 구간은 24[kbps], 32[kbps], 40[kbps]의 3 가지의 비교적 낮은 압축률을 적용하는 가변 임계값 quad rate ADPCM을 구현하였다. 또한, 입력되는 음성신호의 크기에 따라서 임계값의 크기를 적절하게 가변 시킬 수 있는 알고리즘이 필요한데 이 알고리즘으로 영교차율(Zero Crossing Rate)을 사용하였다. 그림 3, 4은 가변 4배 변환율 ADPCM의 처리 순서도를 나타낸 것이다.

음성신호는 주위 소음의 주파수보다 낮은 영역의 주파수대에 분포하고있으므로 음성신호에 소음이 섞이게 되면 주파수가 증가하고 주파수가 증가하면 상대적으로 영교차율이 증가하는 결과를 가지게 되고 음성이 존재하는 구간과 소음만 존재하는 구간을 구분해 낼 수 있다. 따라서 음성과 소음이 동시에 존

재할 때 음성이 존재하는 구간에서는 소음보다는 상대적으로 저주파의 큰 신호이기 때문에 영교차율이 낮고, 묵음이 존재하는 구간에서는 음성이 존재하는 구간보다 영교차율이 높아지게 된다. 이런 특성을 이용하면 영교차율로 소음만 존재하는 구간과 음성과 소음이 같이 존재하는 구간을 알 수 있으며, 이 값을 통하여 quad rate ADPCM의 임계값을 가변시켜 소음이 섞인 환경에서 좀더 좋은 음질의 음성을 전송할 수 있게 된다.

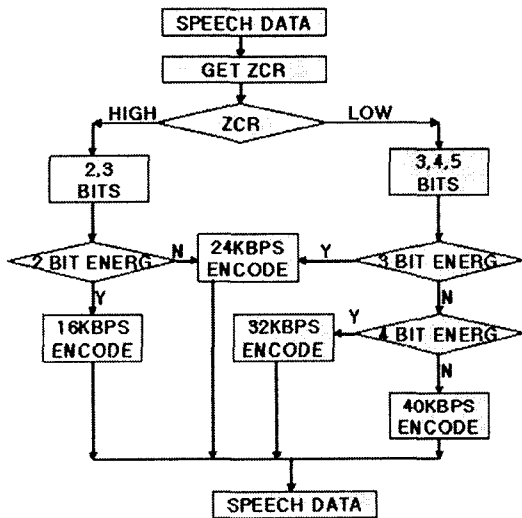


그림 3. 가변 4배 변환율 Encoder 처리 순서도
Fig. 3. Flowchart of Quad rate Encoder

이러한 영교차율은 샘플사이의 부호 변화만 감지하므로 계산량을 현저하게 줄여 처리속도를 향상시킨다. 계산된 영교차율이 기준값보다 크면 세 개의 높은 임계값을 사용하고 그렇지 않으면 한 개의 낮은 임계값을 설정한다.

그리고 설정된 임계값을 가지고 입력된 음성신호를 임계값과 비교하여 소음구간은 16[kbps], 24[kbps]로 변환하여 전송하고, 음성구간은 16[kbps], 24[kbps], 32[kbps], 40[kbps]로 변환하여 전송한다. 수신단에서는 전송된 데이터의 변환된 비트에 따라 2비트인 경우는 16[kbps], 3비트인 경우는 24[kbps], 4비트인 경우는 32[kbps], 5비트인 경우는 40[kbps]로 복원하게 된다.

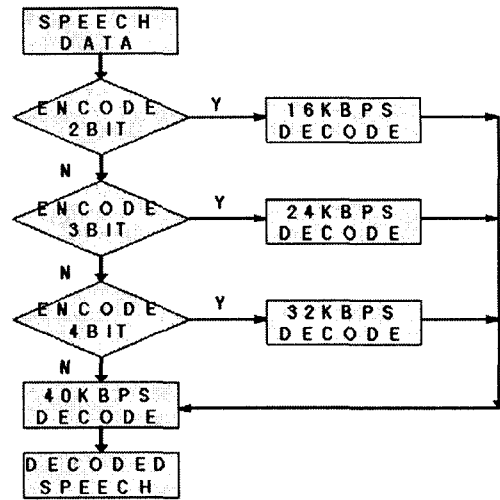


그림 4. 가변 4배 변환율 Decoder 처리 순서도
Fig. 4 Flowchart of Quad rate Decoder

4. 시뮬레이션

DSP board로 구현하기에 앞서 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안한 4배속 가변 변환율 ADPCM의 결과와 기존의 단일 변환율 16[kbps], 24[kbps], 32[kbps], 40[kbps]의 결과 파형을 비교·분석하였다. 입력신호로는 8[kHz]의 샘플링 주파수를 가지는 16비트 선형 PCM방식으로 하였으며 그림 5는 입력 음성 신호의 파형을 나타내며, 그림 6에서는 음성 파형에 대한 ZCR 값을 보인다. 이 파형은 마이크로폰으로 PC 사운드카드에 내장된 ADC를 통하여 16비트 선형 PCM데이터로 입력받은 음성 신호이다.

소음이 포함된 환경을 설정하기 위해서 윈도에 도로와 지하철역에서 녹음한 소음들을 Cool[Edit]라는 사운드 편집 프로그램에서 합성하여 표본을 제작하였다. 그림 6, 8, 10에서 각 소음의 파형과 각 소음에 대한 ZCR 값을 보이고 있다. 입력 신호 샘플을 80개(10ms)를 한 블록으로 하여 버퍼에 저장하여 영교차율을 구하였으며 한 블록마다 변환율을 계산하였다. 신호 샘플을 80개(10ms)로 한 이유는 음성 전송시 원거리 지연시간이 10[ms] 이내일 경우 사람이 감지하지 못하는 시간이기 때문이다.

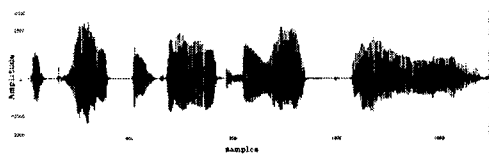


그림 5 입력에 사용된 음성신호
Fig. 5 Original Speech Signal

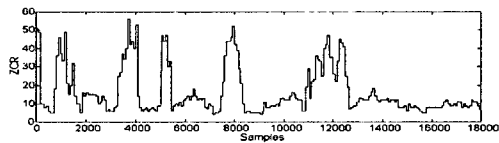


그림 6 음성신호의 ZCR
Fig. 6. ZCR of Original Speech

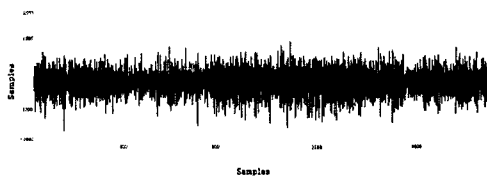


그림 7. 지하철 소음
Fig. 7. Subway Noise

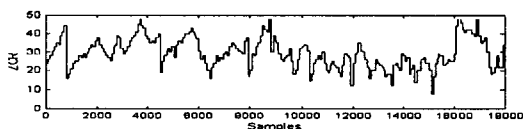


그림 8. 지하철 소음의 ZCR
Fig. 8. ZCR of Subway Noise

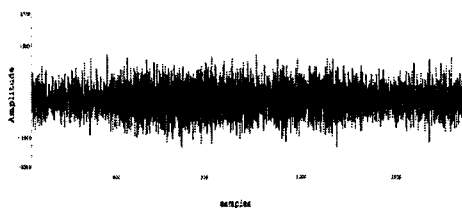


그림 9. 도로변 소음
Fig. 9. Roadside Noise

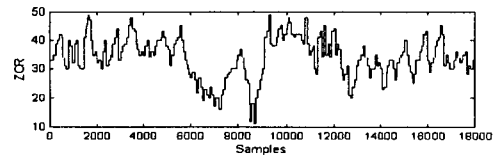


그림 10. 도로변 소음의 ZCR
Fig. 10. ZCR of Roadside Noise

표 1에서 소음의 영교차율 분포를 보면 80개의 샘플 당 26개 이상에 집중적으로 존재함을 알 수 있다. 그러나 그림 6에서 보면 음성이 우세한 구간에서 ZCR 값은 20 이하에 주로 분포되며 음성이 열세한 구간에서는 20 이상의 ZCR 값을 보이고 있다.

표 1. 소음의 샘플의 영교차율 분포
Table 1. ZCR of Noise Samples

샘플당 ZCR값	지하철 소음	도로 소음
0 ~ 10	1	0
11 ~ 15	4	2
16 ~ 20	11	5
21 ~ 25	18	19
26 ~ 30	29	27
31 ~ 35	36	30
36 ~ 40	53	51
41 ~ 80	73	91

이것을 이용하면 음성이 우세한 구간과 소음이 우세한 구간의 기준을 영교차율이 25개를 넘을 경우 소음구간으로 판단해서 상황에 맞는 임계값으로 가변, 설정한다. ZCR 값이 20 이하인 경우, 음성이 우세한 구간으로 데이터에 3,4,5 비트를 할당하는데, 이 구간에서도 ZCR 값이 계속 증가하는 경우, 음성이 점점 열세하여지는 경향을 보이므로 임계값을 증가시켜 데이터 비트를 감소시키면서 ZCR 값이 감소하는 경우 임계값을 감소하여 음질을 향상시킨다. 본 연구에서는 아직 최적 임계값의 변화율을 찾지 못하여 ZCR 값이 20 이하인 경우에 10%씩 증가 내지 감소하였으며, 이 부분은 좀더 연구가 필요한 부분이다. 음성신호의 표준 대역이 300~3,400[Hz]이지만 거의 대부분의 음성데이터가 1,000[Hz]이하의 영역에서 나타난다. PC에서 C를 이용하여 제안한

방법을 시뮬레이션하여 그 결과를 기존의 고정 변환율과 비교하여 신호 대 잡음비 (SNR, Signal to Noise Ratio), 그리고 변환 후 평균비트수를 비교하여 표 2에서 보인다.

표 2에서 보면 각각의 단일 변환율, quad rate 변환의 경우를 비교해보면 신호의 음질은 40[kbps]로 단일 변환했을 경우에 가장 우수하고 데이터의 양은 16[kbps]로 단일 변환했을 경우에 가장 작음을 알 수 있다. Quad rate로 변환했을 경우 평균 비트수는 4.18 으로 32[kbps]에 가까운 값을 가지며 원음에 대한 충실도를 나타내는 dB로 나타낸 SNR은 40[kbps]와 32[kbps]의 중간값을 가지며 동일한 음성에서 평균 비트수 대비 음질이 향상됨을 보였다.

시뮬레이션의 정성적 결과는 실험을 통하여 실시간 양방향음성처리, 즉 Encoder와 Decoder의 동시 처리 및 발생된 신호의 음질이 시뮬레이션결과와 같음을 확인하였다. 이 결과는 신호에 대한 잡음의 영향이 작을수록 더욱 작은 평균비트수에 비하여 우수한 음질을 얻을 수 있음을 보인다.

5. 실험

본 논문에서 제안 한 4배속 변환율을 갖는 ADPCM을 시뮬레이션 결과와 함께, DSP보드를 이용하여 음성의 양방향 즉, Encoding 및 Decoding의 실시간 동시 처리 기능 및 전송된 부호에서 복호된 음성의 음질을 확인하였다. 사용된 DSP보드는 Texas Instruments 사의 TMS320C6711-DSK를 사용하여 구현하였다. 구현에 사용된 TMS320C6711-DSK board는 유동 소수점 DSP 칩인 TMS320C6711, 128[K byte] ROM, 16[M byte] RAM, TLC320AD535 (16-bit Data Converter)등으로 구성되어 있다. 알고리즘의 코딩, 컴파일은 전용 컴파일러, 어셈블러와 링커인 Code Composer Studio를 사용하였으며 시뮬레이션에서 사용한 코드와 동일한 코드를 사용하였으며 최종 실행파일을 DSP 보드의 SRAM에 다운로드하고 실행하였다. 그림 11 에서 DSP 보드를 이용한 실시간 처리 키트를 보인다.

표 2. 변환률별 SNR 및 평균비트수
Table 2. SNR and Average Bits per Rates

		SNR[dB]	평균비트수
16kbps (고정)	원음	9.598	2
	원음+백색소음	8.809	2
	원음+지하철소음	7.691	2
	원음+도로변소음	7.395	2
24kbps (고정)	원음	14.866	3
	원음+백색소음	13.470	3
	원음+지하철소음	12.825	3
	원음+도로변소음	12.057	3
32kbps (고정)	원음	21.172	4
	원음+백색소음	19.899	4
	원음+지하철소음	19.013	4
	원음+도로변소음	18.291	4
40kbps (고정)	원음	33.069	5
	원음+백색소음	30.851	5
	원음+지하철소음	29.984	5
	원음+도로변소음	29.118	5
Quad rate	원음	28.328	3.796
	원음+백색소음	24.931	4.175
	원음+지하철소음	24.364	4.192
	원음+도로변소음	24.108	4.176

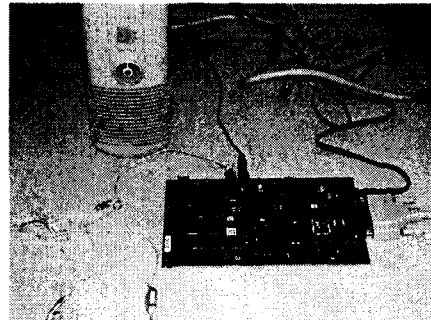


그림 11. DSP 실험 키트
Fig. 11 DSP Experiment Kit

음성 신호는 보드에 있는 마이크 잭을 이용하여 오디오 입력을 입력하고 Analog Interface Circuit의 16비트 A/D 변환기를 거쳐 DSP의 입출력 Pipeline 레지스터에 입력되었다. 입력된 음성은 제안된 방법의 인코딩 루틴에 의하여 코드로 부호화되고 이는 다시 DSP에 LoopBack 입력되어 디코딩 루틴에 의하여 16비트 음성으로 복호화 되었다. 복호화된 음성은 Analog Interface Circuit의 16비트 D/A 변환기를 거쳐 스피커로 출력되었다. 이는 DSP가 인코

딩과 디코딩을 동시에 실시간으로 수행하도록 하는 것으로 마이크에 음성이 입력 되는대로 음성이 끊김 없이 처리되어 스피커에 발생하는 것을 확인하였다.

DSP 보드를 이용한 실험에서 표준음성과 소음이 섞인 음성 신호를 quad rate ADPCM, 40[kbps], 16[kbps]로 처리해서 평균 비트수와 파형을 비교한 결과 quad rate ADPCM을 적용한 실험은 평균적으로 3.7~4.1비트 수준으로 원음과 비교할 때 손실이 거의 없으면서 3.9비트에 근사한 값을 나타내었으며 시뮬레이션과 같은 결과를 보였다. 그림 12는 원래의 음성만 quad rate ADPCM 실험한 결과 파형이고 그림 13은 소음이 섞인 원음의 파형을 보인다.

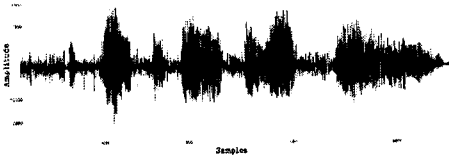


그림 12. 원 음성만 quad rate ADPCM 적용한 결과 파형
Fig. 12. Quad Rate ADPCM Result of Original Speech

그림 13의 음성을 quad rate ADPCM 실험을 수행한 결과, 그림 14과 같이 얻었으며 이는 그림 12과 같은 파형을 보였으며 실제 청취하였을 때, 음질이 원음과 거의 같게 들을 수 있었으며 제안한 방법을 실시간으로 구현함을 보였다.

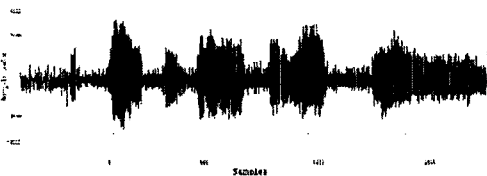


그림 13. 원 음성과 도로 잡음이 섞인 파형
Fig. 13. Speech signal with Roadside Noise

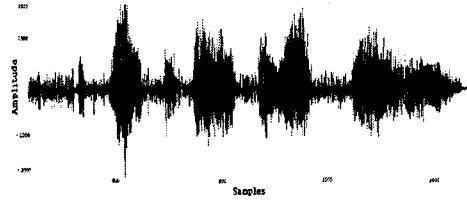


그림 14. 도로소음이 섞인 음성에 quad rate ADPCM 적용후 파형.
Fig. 14. Quad Rate ADPCM Result of Roadside noise mixed speech signal

6. 결론

본 논문에서는 소음이 있는 환경에서도 비교적 낮은 압축률로 고음질을 얻을 수 있는 4배속 가변 변환을 ADPCM 부호화기법을 제안하였다. 제안한 알고리즘이 각각의 단일 ADPCM보다 변환률 및 부호화된 음질의 양면에서 우수함을 시뮬레이션을 통해서 확인하였다. 실험에서는 일반 대화 보다 묵음 구간이 비교적 적은 방송 음성문장을 입력 음성신호로 주었으나 실제 일반 대화 시에는 묵음구간이 80% 이상이므로 실제적인 데이터 전송량은 40[kbps]보다 훨씬 더 절감될 것으로 예상되고 16[kbps]보다는 월등히 우수한 음질을 얻을 수 있을 것으로 보인다. 또한 이를 확인 할 수 있었다. 또한 제안된 영교차율을 이용하여 음성과 소음이 각각 우세한 구간을 파악하는데 있어 FFT를 사용하는 것보다 훨씬 간단한 작업으로도 비슷한 성능을 낼 수 있어서, 계산량을 줄일 수 있고, 이는 프로세서의 수행속도를 빠르게 하여 TMS320C6711 프로세서를 이용해서 실시간 처리가 가능함을 보였다.

이 연구는 2003학년도 단국대학교 대학연구비지원으로 연구되었음.

References

- [1] 진년강, 아날로그와 디지털통신, 청문각, 1990.
- [2] 조윤석, DSK50을 이용한 16kbps ADPCM구현, 단국대학교 전기공학과, 1997.
- [3] V.K.Ingle and J.G.Proakis, Digital Signal Processing Using Matlab V.4, PWS Publishing Company, Boston, 1997.
- [4] Thomas P.Barnwell III, Speech Coding A Computer Laboratory Textbook, John Willy & Sons Inc., 1996.
- [5] L. R. Rabiner and R. W. Schafer, Digital Processing of Speech Signals, Prentice-Hall, 1978.
- [6] Richard A. Jaddad and Thomas W. Parsons, Digital Processing Theory, Applications and Hardware, Computer Science Press, 1991.
- [7] 김재오, TMS320C541 DSP를 이용한 Dual Rate G.726 ADPCM 음성 codec구현, 단국대학교 전기공학과. 1999.
- [8] 양재석, 영교차율을 이용한 가변임계값 Dual Rate ADPCM 음성 CODEC 구현, 단국대학교 전기공학과. 2000.

◇ 저자소개 ◇

한경호 (韓敬浩)

1959년 6월 25일생. 1982년 서울대학교 공과대학 전자공학과 졸업. 1984년 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1992년 미국 Texas A&M University 졸업(박사). 1993년 ~ 현재 단국대학교 교수.