

# TeakLite DSP를 이용한 적응형 다중 비트율 광대역 (AMR-WB) 음성부호화기의 실시간 구현

## Real-time Implementation of AMR-WB Speech Codec Using TeakLite DSP

변 경 진\*, 정 희 범\*, 김 경 수\*, 한 민 수\*\*

(Kyung Jin Byun\*, Hee Bum Jung\*, Kyung Soo Kim\*, Minsoo Hahn\*\*)

\*한국전자통신연구원, \*\*한국정보통신대학교

(접수일자: 2004년 2월 00일; 채택일자: 2004년 3월 25일)

적응형 다중 비트율 광대역 (AMR-WB) 음성부호화기는 50~7000 Hz의 오디오 신호를 압축/복원하는 3GPP의 가장 최근의 음성 부호화 표준으로써 23.85 kbit/s에서 6.60 kbit/s까지 9가지의 다중 비트율을 가지고 있다. 본 논문에서는 16비트 고정 소수점형 TeakLite DSP를 이용하여 AMR-WB 음성부호화기를 실시간 구현한 결과에 대해 기술하였다. 구현된 AMR-WB 코덱은 가장 높은 비트율인 23.85 kbit/s 모드에서 52.2 MIPS의 복잡도를 가지고 있으며, 사용된 프로그램 메모리는 약 17.9 kwords 이고, 데이터 RAM 메모리는 11.8 kwords, 데이터 ROM 메모리는 약 10.1 kwords 이다. 구현된 AMR-WB 프로그램은 3GPP의 표준 시험 벡터 23개를 9개 모드에 대해 비트 단위로 일치시켜 검증을 완료하고, 실시간 보드 시험에서도 오디오 신호의 입출력이 왜곡되지 않고 실시간 지연없이 안정적으로 동작하는 것을 확인하였다.

**핵심용어:** 광대역 적응형 다중 비트율 (AMR-WB), 음성 부호화기, 디지털 신호처리, 실시간 구현

**투고분야:** 음성신호처리 분야 (2.2)

AMR-WB (Adaptive Multi Rate Wideband) speech codec, the most recent voice codec standardized by 3GPP, has the wider audio bandwidth of 50~7000 Hz and operates on nine speech coding bit rates between 6.60 and 23.85 kbit/s. This paper presents the real-time implementation of AMR-WB speech codec by using a 16 bit fixed-point TeakLite DSP. The implemented AMR-WB codec requires the complexity of 52.2 MIPS at 23.85 kbit/s mode and also needs the program memory of 17.9 kwords, data RAM of 11.8 kwords, and data ROM of 10.1kwords. It was verified through passing the all test vectors provided by 3GPP with maintaining bit exactness. Stable operations on the real-time testing board were also proved without any distortions and delays for the audio in/out.

**Key words:** Adaptive Multi Rate Wideband(AMR-WB), Speech codec, DSP, Real-time implementation

**ASK subject classification:** Speech signal processing (2.2)

### I. 서 론

이동통신 시스템에서는 주어진 채널의 대역폭 내에서 고음질의 음성통화를 위하여 다양한 음성부호화 알고리즘 들을 채택하여 사용하고 있다. 하지만 무선통신 환경에서는

기존의 고정 비트율을 갖는 음성부호화 알고리즘 들은 수시로 변화하는 채널의 상태에 따라서 음성통화 상태가 급격히 열화될 수 있는 단점이 있었다. 3GPP (Third Generation Partnership Project)에서는 이러한 문제점을 극복하고자 1999년 12월에 제3세대 이동통신 시스템의 음성 부호화 표준으로 적응형 다중 비트율 (AMR: Adaptive Multi-Rate) 음성부호화기를 채택하였다.

AMR 음성부호화기를 포함하여 이전까지 이동통신 시스템의 음성부호화 표준은 전부 200~3400 Hz 사이의

표 1. AMR-WB 음성 부호화기의 모드별 비트 할당  
Table 1. Bit allocation of the AMR-WB speech codec.

Parameter	Codec Mode (kbits/s)								
	6.60	8.85	12.65	14.25	15.85	18.25	19.85	23.05	23.85
VAD flag	1	1	1	1	1	1	1	1	1
LTP flag	0	0	4	4	4	4	4	4	4
ISP	36	46	46	46	46	46	46	46	46
Pitch lag	23	26	30	30	30	30	30	30	30
Algebraic CP	48	80	144	176	208	256	288	352	352
Gains	24	24	28	28	28	28	28	28	28
HB energy	0	0	0	0	0	0	0	0	16
Total bits	132	177	253	285	317	365	397	461	477

협대역 오디오 대역폭에서 동작하는 것이었으나, 3GPP에서는 보다 높은 수준의 음성통화를 위하여 2001년 3월에 적응형 다중 비트율 광대역 (AMR-WB: Adaptive Multi-Rate Wideband) 음성부호 화기를 3세대 이동통신 시스템의 음성 부호화 표준으로 승인하였다[1]. AMR-WB 음성 부호화기는 다중 비트율을 가지고 있다는 점에서는 AMR 협대역 음성 부호화기와 같은 개념의 기술이지만, 50~7000 Hz의 광대역 오디오 대역폭의 신호를 부호화하는 차이점을 가지고 있다. 이러한 대역폭의 확장은 저주파 대역 (50~200 Hz)에서는 신호의 자연성 및 현장감 등을 증가시켜 주고, 고주파 대역 (3400~7000 Hz)에서는 마찰음의 구별성을 높여 명료성을 증가시켜 준다.

AMR-WB 음성 부호화기는 또한 2002년 1월에 ITU-T (International Telecommunication Union Telecommunication Sector) G.722.2 표준안으로도 승인되었다[2]. ITU-T에서 AMR-WB가 광대역 음성 부호화기의 표준으로 채택됨에 따라 처음으로 무선통신 표준과 유선망에 대한 표준이 동일한 것으로 제정되게 되었다. 이것은 유선망과 무선망 사이의 연계 시 표준의 불일치에 의한 변환작업이 필요 없게 되어 넓은 영역의 응용 분야에서 통신시스템의 구현의 용이성을 제공할 수 있다는 장점을 가지게 되었다.

본 논문에서는 이러한 AMR-WB 음성 부호화기를 16비트 고정소수점형 DSP인 TeakLite DSP를 이용하여 실시간 구현한 것에 관하여 기술하였다. AMR-WB 음성 부호화기의 구현에는 3GPP의 표준으로 지정된 고정 소수점형 C 소스 코드를[3] 기준으로 하였으며, 3GPP에서 제공하는 테스트 벡터를[4] 이용하여 구현된 결과를 검증하였다. 본 논문의 제 II절에서는 AMR-WB 음성 부호화기 알고리즘에 대한 개요를 간략하게 소개하고, III절에서는 AMR-WB 음성 부호화기의 실시간 구현 및 구현 결과에 대하여 설명하고 IV절에서 결론을 맺었다.

## II. AMR-WB 음성 부호화기

AMR-WB 음성 부호화기는 9개의 비트율 (23.85, 23.05, 19.85, 18.25, 15.85, 14.25, 12.65, 8.85, 6.60 kbit/s)로 동작할 수 있는 다중 비트율을 갖는 부호화 알고리즘으로 구성되어 있다. 각 비트율에 따른 변수에 대한 비트 할당은 표 1과 같다.

AMR-WB 음성 부호화기는 9가지의 비트율로 동작되지만, 각각의 부호화 알고리즘은 그림 1과 같은 ACELP (Algebraic Code Excited Linear Prediction) 알고리즘을 기본으로 하고 있으며, 각 변수에 대한 양자화 방법들을 변화시켜서 비트율을 조정하고 있다. 12.65 kbit/s 이상의 모드에서는 고음질의 광대역 음성을 제공하고 있으며, 8.85 kbit/s 모드와 6.60 kbit/s 모드는 아주 열악한 채널이나 네트워크 부하는 환경에서만 임시적으로 사용하기 위한 모드이다.

### 2.1 선형 분석 및 양자화

AMR-WB 음성 부호화기에서는 12.8 kHz로 샘플링된 음성신호 256 샘플(20 msec)을 한 프레임으로 하여 각 변수를 추출한다. 그러므로 16 kHz로 샘플링된 입력 음성신호는 제일 먼저 12.8 kHz로 데시메이션 과정을 거친다. 데시메이션 과정에서는 먼저 입력신호를 4배로 업 샘플링하고 차단 주파수가 6.4 kHz인 저역통과 FIR 필터를 거친 후 1/5로 다운 샘플링하게 된다. 데시메이션 후 전처리 과정으로 차단 주파수가 50Hz인 고역통과 필터를 사용하여 불필요한 저역 성분을 제거한 후 고역 성분을 강조하는 과정을 수행한다. 전처리 과정을 거친 후 포먼트 성분을 추출하기 위하여 30 msec의 비대칭 윈도우와 Levinson-Durbin 알고리즘을 사용하여 16차의 LP (Linear Predictive) 계수를 구한다. LP 계수는 양자화 왜곡 및 전송 오류를 줄이고, 보간 특성이 좋은 ISP (Immittance Spectral Pair) 계수로 변환한 후 벡터 양자화를 수행한다. 벡터 양자화 과정에서는 1차의 MA (Moving

Average) 예측을 수행한 후 나머지 잔여 ISF 벡터를 SVQ (Split Vector Quantization)와 MSVQ (Multi-stage vector quantization) 방법을 사용하여 양자화를 수행한다.

### 2.2 피치 검색

AMR-WB 음성 부호화기의 피치 분석 과정은 개루프 (open-loop) 검색과 폐루프 (closed-loop) 검색 과정으로 나뉘어져 있다. 먼저 전체적인 계산량을 줄이기 위하여 개루프 검색과정을 통해 우선적으로 정수 지연 값을 결정 한 후, 이 값을 기준으로 주변값 들에 대해서만 폐루프 검색을 수행한다. 개루프 피치 검색은 가중화 된 음성신호 상에서 검색이 이루어지며 6.60 kbit/s 모드일 때만 프레임 당 한번을 수행하고, 나머지 모드의 경우는 프레임 당 두번을 수행한다. 개루프 검색이 끝나면 폐루프 검색을 위하여 임펄스 응답 및 목표신호를 계산한다. 폐루프 검색에서는 앞에서 구해진 개루프 지연값의 주변값에 대하여 목표신호와 합성된 음성신호와의 평균 자승 오차를 최소화하는 정수값의 지연값을 결정한다. 소수값의 피치 지연은 각 모드와 피치 지연의 범위에 따라 1/4, 1/2 샘플의 분해능을 사용한다.

### 2.3 코드북 검색

대수 코드북은 각 비트율에 따라 부 프레임 당 펄스의 개수를 24개 (23.85 kbit/s)부터 2개 (6.60 kbit/s)까

지 사용한다. 기본적으로 9개 모드 전부에 대하여 검색 알고리즘은 ACELP의 깊이 우선 가지 검색방법을 사용하는 것은 동일하지만 각 모드 별로 모델링 되는 펄스의 개수와 트랙의 구성들이 서로 다르기 때문에 펄스들이 검색되는 방법 들은 조금씩 다르게 구성되어 있다. 그리고 협대역 AMR 대수 코드북 검색에 비하여 검색해야 할 펄스의 개수가 대폭 증가하였기 때문에 그에 따른 계산량의 부담을 줄이기 위하여 검색 범위를 많이 한정하고 있다.

검색 과정에서 사용되는 목표신호  $x_2(n)$ 은 다음의 식과 같이 폐루프 피치 검색 과정에서 사용되었던 목표신호  $x(n)$ 에서 적응 코드북 성분을 제거하여 계산된다.

$$x_2(n) = x(n) - g_p y(n), \quad n = 0, \dots, 63$$

여기서  $y(n)$ 은 필터링된 적응 코드북 벡터이며  $g_p$ 는 적응 코드북 이득이다.

대수 코드북의 검색에서는 다음의 식과 같이 입력 음성신호와 합성된 음성신호와의 평균 자승 오차를 최소화하는 펄스들의 위치와 부호를 결정하게 된다.

$$Q_k = \frac{(R_k)^2}{E_k} = \frac{(d'c_k)^2}{c_k' \Phi c_k}$$

여기서  $d = H'x_2$ 은 목표신호  $x_2(n)$ 과 임펄스 응답  $h(n)$  사이의 상관도를 나타낸다. 그리고  $\Phi = H'H$  ( $H$ 는 Toeplitz convolution matrix)는  $h(n)$ 의 상관관계

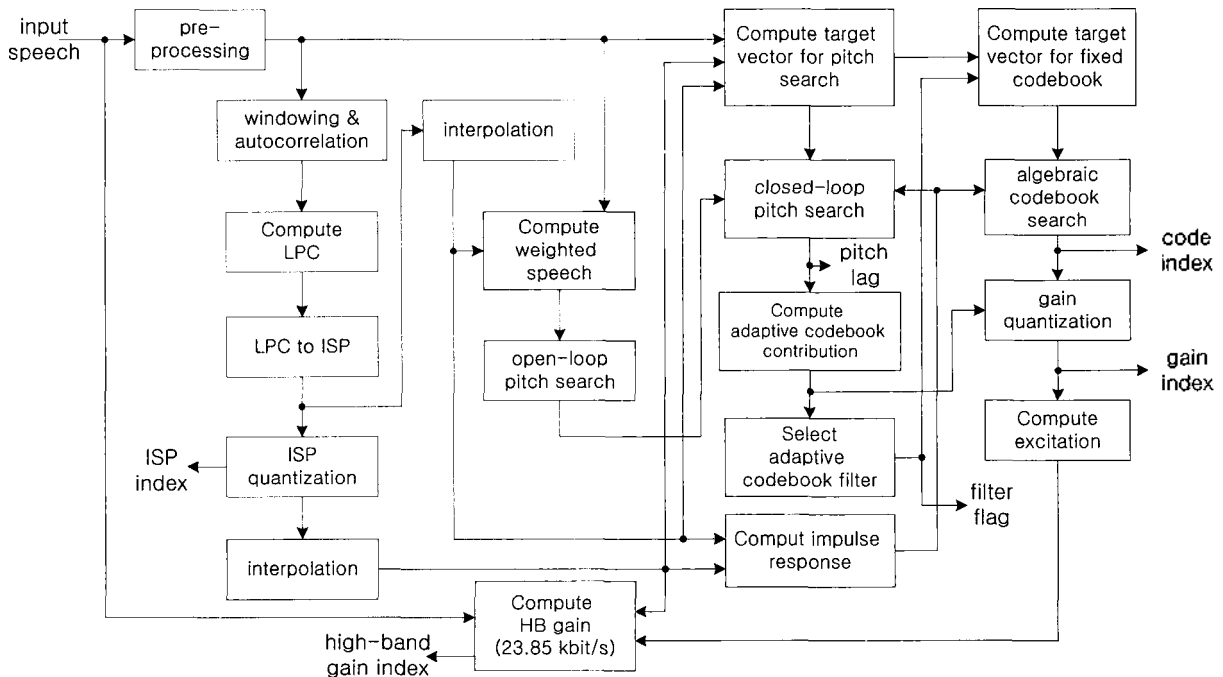


그림 1. AMR-WB 부호화기의 블럭도  
Fig. 1. Block diagram of AMR-WB encoder.

매트릭스이다. 그리고 벡터  $d$ 와  $\Phi$ 는 검색 과정의 계산량을 줄이기 위하여 코드북 검색 전에 미리 계산 되어진다.

피치 및 코드북의 이득 양자화에서는 모든 모드에 대하여 피치이득에 대해서는 이득값을 직접 양자화 하고, 코드북이득값은 예측 오차값에 대하여 양자화를 수행한다. 그리고 피치 이득과 코드북 이득의 양자화는 두개의 이득 값을 결합하여 함께 양자화 하는데 6.60, 8.85 kbit/s 모드의 경우는 6비트 코드북을 사용하고, 나머지 모드의 경우는 7비트의 코드북을 사용하여 양자화 하게 된다.

### III. 실시간 구현

#### 3.1 실시간 구현

AMR-WB 음성 부호화기를 구현하기 위하여 사용한 DSP는 16 비트 고정 소수점형 DSP로써 DSPG사에서 개발된 TeakLite DSP이다. 개발 환경도 DSPG사에서 공급하는 TeakLite DSP가 장착된 "TeakLite Development Kit"라는 보드를 사용하였다. TeakLite DSP는 64KW의 프로그램 메모리와 32KW (16KW x 2)의 데이터 메모리를 지원하며 최대 100 MHz의 동작속도를 가지고 있다. 그리고 TeakLite 개발 보드에는 AD1848이라는 사운드 코덱이 장착되어 있어 음성 입출력이 용이하도록 구성되어 있으며 호스트와의 접속을 위한 JTAG 인터페이스를 제공하고 있다.

AMR-WB 음성 부호화기의 실시간 구현은 3GPP 표준인인 TS 26.190과(1) 함께 제공되는 고정 소수점 C 프로그램의 표준인인 TS 26.173을(3) 바탕으로 어셈블리 언어로 작성하였다. AMR-WB를 실시간 구현함에 있어서 표준 알고리즘을 그대로 구현하기 위해서 알고리즘 상의 최적화는 고려되지 않았으며, 어셈블리 코딩 레벨에서 최적화 작업을 수행하였다. AMR-WB의 C코드 자체가 이미 최적화 단계를 거쳐서 표준화 된 것이기 때문에 어셈블리 코딩 레벨에서의 최적화 작업은 주로 메모리 관리 및 반복문 내에서의 메모리 접근시의 연산량을 줄이는데 집중하였다.

효율적인 메모리의 관리를 위해서 AMR-WB 음성 부호화기에서 사용되는 변수들을 변수의 성질에 따라 크게 정적변수와 동적변수 들로 나누고 정적변수 들을 우선적으로 DSP의 메모리로 할당하였다. TeakLite DSP의 메모리 구조는 X, Y 두개의 뱅크를 가지고 있으므로 정적변수 들을 할당할 때, 프로그램에서 루프 내의 MAC (Multiply and Accumulate) 명령어 동작 시 두 개의 데이터 값을 동시에 가져올 수 있도록 구성하여 반복문 내에서 메모리 접근시 연산량을 최소화하도록 하였다.

서브루틴 내에서 사용되는 변수들에 대해서는 전체 프로그램 트리에서 각 서브루틴의 레벨에 따라서 인코더와 디코더 각각 5개의 단으로 서브루틴 메모리를 구성하여 서브루틴 내에서 사용되는 변수들에 대해서는 페이지 레지스터를 통하여 직접주소 접근방식을 사용 함으로써 한 사이클에 메모리 접근을 할 수 있도록 하여 계산량을 감소하였다. 서브루틴 내에서 사용하는 변수가 정적변수인 경우에는 서브루틴에 들어가기 전에 해당 서브루틴의 레벨에 맞는 메모리에 복사를 하고 서브루틴을 수행한 후 결과를 다시 정적변수로 할당된 메모리에 저장하는 방법을 사용함으로써 서브루틴 내에서는 직접주소를 사용하여 메모리 접근시 사이클 손실을 최소화하였다.

#### 3.2 검증 및 구현 결과

어셈블리 언어로 구현된 AMR-WB의 인코더와 디코더의 기능 검증에서는 3GPP에서 제공하는 모든 시험 벡터 23개에(4) 대해서 9개의 모드별로 수행하여 C 프로그램의 수행 결과와 비트 단위로 일치함을 확인 하였다.

구현 및 검증 과정에서 주의를 요하는 부분 중의 하나는 C 코드와 DSP 간의 데이터 정확성을 맞추는 일이다. 즉 C 코드에서는 모든 데이터 값들을 32 비트 이내의 값으로 제한하도록 되어 있으나, DSP의 누산기는 오버플로우의 가능성을 줄이기 위하여 36비트까지 확장되어 있으므로 어셈블리 코딩시에 C 코드와의 호환성을 위하여 누산기의 데이터 값을 32 비트 이내로 제한하였다. 실제로 시험 벡터를 사용하여 오류를 검증 하는 과정에서도 이러한 부분에서의 오류가 가장 많이 검출되었다.

실시간 시험에서는 완성된 어셈블리 프로그램을 TeakLite 개발 보드에 실장하여 여러가지 오디오 소스를 청취하는 시험을 실시하였다. 하지만 TeakLite 개발 보드에 장착 되어 있는 TeakLite DSP 칩의 오류로 인하여 시뮬레이션에서 확인된 기능 검증에 많은 어려움이 있었다. 이러한 오류들은 어셈블리 프로그램 중에서 다음의 예와 같이 연속되는 특정한 명령어 사이에서 인터럽트가 발생 시 오류가 발생하는 경우가 대부분 이었다. 이러한 오류들은 연속되는 명령어 사이에 NOP (No Operation) 명령어를 삽입함으로써 해결할 수 있었다.

```
mov a0l, rN,
mov (rN), a1
```

이러한 오류들을 수정하는 과정에서 연산량이 증가하였으나, 이것은 오류가 없는 DSP에서 동작 시킬 경우 불필요한 것이므로 실제 연산량 계산에서는 제외하였다. 오류 수정 후 AMR-WB 음성 부호화기의 9개의 각 모드별로

표 2. AMR-WB 음성 부호화기의 모드별 계산량  
Table 2. Complexity of AMR-WB speech codec.

Mode	bit rate (kbit/s)	encode (MIPS)	decode (MIPS)	total (MIPS)
0	6.60	29.03	8.54	37.57
1	8.85	35.86	7.82	43.68
2	12.65	42.14	7.48	49.62
3	14.25	46.87	7.44	54.31
4	15.85	47.09	7.51	54.60
5	18.25	48.92	7.60	56.52
6	19.85	51.09	7.68	58.77
7	23.05	50.52	7.85	58.37
8	23.85	43.65	8.55	52.20

정상 동작하는 것을 확인하였다. 주관적인 음질평가 결과로는 12.2 23.85 kbit/s 사이의 모드에서는 음성신호의 경우 음질의 차이를 느끼기 어려웠으나, 6.60, 8.85 kbit/s 모드에서는 약간의 음질 저하가 있음을 알 수 있었다. 그리고 협대역 AMR 음성 부호화기와 음질 비교 청취 시험에서는 AMR-WB의 음질이 AMR 보다 좀더 명쾌한 느낌을 주었으나 큰 차이는 없었다. 하지만 입력 신호가 음악과 같은 오디오 신호에서는 AMR-WB의 음질이 협대역 AMR 보다 우수함을 확연히 감지할 수 있었다. 표 2에 구현된 AMR-WB 음성 부호화기의 모드별 계산량을 나타내었다.

AMR-WB 보코더를 실시간 구현한 결과 19.85 kbit/s 모드에서의 계산량이 가장 크고, 6.60 kbit/s 모드에서의 계산량이 가장 적게 소요 되었다. 23.85 kbit/s 모드는 고주파 대역의 추가적인 계산 및 코드북 검색에서도 보다 많은 펄스를 검색해야 하는 계산량 증가의 요인이 있으나 코드북 검색 시 검색범위를 많이 제한 함으로써 하위 비트율 모드 보다 오히려 적은 계산량을 나타내었다.

표 3은 AMR-WB의 가장 높은 비트율인 23.85 kbit/s 모드의 주요 기능별 세부 계산량을 표시한 것으로 각 블록이 전체 계산량에서 차지하는 비율을 함께 표시하였다. AMR-WB 음성 부호화기의 실시간 구현에 사용된 프로그램 메모리는 17,958 words이고, 데이터 RAM 메모리는 11,871words, 데이터 ROM 메모리는 10,114 words를 사용하였다.

3GPP에서는 알고리즘의 복잡도를 측정할 수 있는 도구로써 C 언어로 구현된 기본 연산자 들을 정의하고 있다. 이러한 기본 연산자 들은 범용 고정 소수점형 DSP의 어셈블리 명령어 들과 대응되도록 구성되어 있으므로, 알고리즘을 실제로 DSP에 구현하였을 때의 복잡도를 C 언어 수준에서 유사하게 측정할 수 있다. 참고문헌(5)에서는 AMR-WB와 AMR 음성 부호화기의 복잡도를 C 언어 수준에서 측정한

표 3. AMR-WB의 23.85 kbit/s 모드의 계산량  
Table 3. Complexity of 23.85 kbit/s mode of AMR-WB.

	Function block (23.85kbit/s)	MIPS	%(enc)
Encode	Pre-processing	1.939	4.44
	VAD	0.962	2.20
	Compute LPC	0.902	2.07
	ISP conversion	2.176	4.99
	ISP quantization	4.724	10.82
	open loop pitch	3.216	7.37
	closed loop pitch	7.756	17.77
	codebook search	21.616	49.52
	Memory update	0.356	0.82
Sub total	Encoder total	43.647	83.62
	Decoder total	8.549	16.38
Total	Enc. + Dec.	52.196	100

표 4. AMR-WB와 AMR의 계산량 비교  
Table 4. Complexity comparison of AMR-WB and AMR.

	Complexity (MIPS)	
	AMR-WB	AMR
Encoder	43.65	20.87
Decoder	8.55	3.05
Total	52.20	23.92

결과 AMR-WB는 38.9 WMOPS (Weighted Million Operations Per Second)이고, 협대역 AMR은 16.8 WMOPS로 발표하였다.

표 4는 본 논문에서 TeakLite DSP를 사용하여 구현하였을 때의 AMR-WB의 23.85 kbit/s 모드의 복잡도와 참고문헌(6)에서 구현한 결과인 협대역 AMR의 12.2 kbit/s 모드의 복잡도를 MIPS (Million Instruction Per Second)로 나타낸 것이다. 앞에서 언급한 C 언어 수준의 복잡도 측정이 실제로 특정 DSP로 구현하였을 때의 복잡도와 직접적인 비교를 할 수는 없지만 상대적인 비교 지표로 참조할 수 있다. 앞에서 언급된 기준에 발표된 결과에서는 AMR에 비해 AMR-WB의 복잡도가 2.3배 정도 증가 했음을 알 수 있다. 그리고 실제로 구현된 결과인 표 4에서는 AMR에 비해 AMR-WB의 복잡도가 2.2배 증가 하여 AMR-WB의 실시간 구현의 결과가 합리적인 복잡도의 수준에서 이루어 진 것을 확인할 수 있었다.

## IV. 결론

AMR-WB 음성 부호화기는 50~7000 Hz의 오디오 대역폭에서 동작하는 3GPP의 3세대 이동통신 시스템의 표준 음성 부호화 알고리즘으로써 채널의 조건에 따라 최적의 음질을 유지할 수 있도록 9가지 모드의 비트율을 가지고 있다. 본 논문에서는 이러한 AMR-WB 음성 부호화

가를 실시간 구현하기 위하여 16비트 고정 소수점형 DSP 인 TeakLite DSP를 이용하여 전과정을 어셈블리 언어로 프로그래밍하였으며, 계층적인 구조의 메모리 구성을 통하여 적은 계산량으로 효율적인 실시간 구현을 하였다. 구현된 AMR-WB 음성 부호화기는 3GPP에서 지정한 모든 시험 벡터를 통과시켜 검증하였으며, 23.85 kbit/s 모드에서 약 52 MIPS의 계산량으로 동작된다. 향후 보다 경쟁력있는 구현을 위하여 메모리 최적화 및 인코더 전체 계산량의 대부분을 차지하는 피치 검색과 코드북 검색 블록의 계산량 최적화 작업을 추진할 예정이다.

### 참고 문헌

1. 3GPP (3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project) TS 26.190, "AMR Wideband Speech Codec: Transcoding functions", 2001.
2. "Wideband Coding of Speech at Around 16 kbit/s Using Adaptive Multi Rate Wideband (AMR-WB)", Geneva, ITU-T Recommend. G.722.2, 2002.
3. 3GPP TS 26.173, "ANSI-C code for the Adaptive Multi Rate Wideband speech codec", 2001.
4. 3GPP TS 26.174, "AMR Wideband Speech Codec test sequences", 2001.
5. B. Besette, R. Salami, R. Lefebvre, M. Jelinek, J. Rotola-Pukkila, J. Vainio, H. Mikkola, K. Jarvinen, "The Adaptive Multirate Wideband Speech Codec (AMR-WB)", IEEE Trans. on speech and audio processing, 10 (8), 620-636, 2002.
6. 변경진, 최민석, 한민수, 김경수, "IMT 2000 이동기식 단말가용 ASIC을 위한 적응형 다중 비트율 (AMR) 보코더의 구현", 한국음향학회지, 20 (1), 56-61, 2001.

### 저자 약력

• 변경진 (Kyung Jin Byun)



1987년 2월: 국민 대학교 전자공학과 (공학사)  
 2000년 2월: 한국정보통신대학교 공학부 (공학석사)  
 2000년 3월~현재: 한국정보통신대학교 공학부 박사 과정  
 1987년 3월~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원  
 \*주관심분야: 음성 코딩 및 분석, DSP 설계 및 응용

• 정희범 (Hee Bum Jung)

1981년 2월: 서강 대학교 전자공학과 (공학사)  
 1983년 2월: 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학석사)  
 1992년 10월: Columbia University EE (Ph.D)  
 1983년 3월~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원  
 \*주관심분야: 이동/무선통신용 부품기술

• 김경수 (Kyung Soo Kim)

1977년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)  
 1977년 2월~1985년: 한국전자기술연구소  
 1986년~ 현재: 한국전자통신연구원 책임연구원

• 한민수 (Minsoo Hahn)

1979년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)  
 1981년 2월: 서울대학교 대학원 (공학석사)  
 1989년 12월: University of Florida (공학박사)  
 1982년 4월~1985년 8월: 한국표준과학연구원 연구원  
 1990년 2월~1997년 12월: 한국전자통신연구원 책임연구원  
 1998년 1월~현재: 한국정보통신대학교 공학부 부교수  
 \*주관심분야: 디지털 신호 처리, 음성 분석, 합성, 인식 및 코딩, 적응 신호 처리, 3-D 음향 등