

---

# 무선통신 적용을 위한 단일 DSP칩상의 음성/채널 부호화기 실시간 구현

김재원\* · 손동철\*\*

Real-time Implementation of Speech and Channel Coder on a DSP Chip for Radio Communication System

Jae-Won Kim\* · Dong-Chul Sohn\*\*

---

이 논문은 2005년도 경주대학교 j교내 연구비를 지원받았음

---

## 요 약

본 논문에서는 무선통신 시스템 적용을 위한 G.729 음성부호화기와 길쌈부호화기(R=1/2, K=9), 비터비 복호기를 하나의 고정 소수점 DSP칩을 이용하여 실시간 구현하였다. 프로그램 구현은 고정 소수점 C 프로그램을 연산결과의 기준으로 활용하였으며, 복잡도의 최적화를 위하여 어셈블 언어로 설계하였다. 최적화 과정을 통하여 구현한 결과는 연산량 측면에서 음성부호화기 24MIPS, 채널부호화기 9MIPS, 프로그램 크기 측면에서 음성 24Kwords, 채널 4Kwords가 소요되었으며, 연산의 검증은 테스트 벡터를 이용하여 Bit exact 방법에 의하여 검증하였다. 본 논문의 결과는 기존의 음성/채널 부호화기의 개별적인 칩을 이용한 구현 방법에 비하여 구현의 용이성 및 구현 비용 측면에서 성능 개선이 가능할 것으로 판단된다.

## ABSTRACT

This paper deals with procedures and results for real time implementation of G.729 speech coder and channel coder including convolution codec, viterbi decoder, and interleaver using a fixed point DSP chip for radio communication systems. We described the method for real-time implementation based on integer simulation results and explained the implemented results by quality performance and required complexity for real-time operation. The required complexity was 24MIPS and 9MIPS in computational load, and 12Kwords and 4Kwords in execution code length for speech and channel. The functional evaluation was performed into two steps. The one was bit exact comparison with a fixed point C code, the other was executed by actual speech samples and error test vectors. Unlike other results such as individual implementation, We implemented speech and channel coders on a DSP chip with 160MIPS computation capability and 64 Kwords memory on chip. This results outweigh the conventional methods in the point of system complexity and implementation cost for radio communication system.

## 키워드

Speech Coder, Channel coder, Real-time Implementation G.729, Convolution Code, Viterbi Decoder, Fixed Point DSP

---

\* 경주대학교 컴퓨터멀티미디어공학부 조교수  
\*\* 천안대학교 정보통신공학부 조교수

## I. 서 론

무선통신 시스템에서 양호한 음성품질의 제공, 무선 주파수 자원의 효율적인 이용을 달성하기 위해서는 높은 압축률에 근거한 저전송률 방식의 음성부호화 기술과 음성 패킷의 송수신 과정에서 발생하게 되는 채널오류를 재전송 과정을 거치지 않고 효율적으로 정정할 수 있는 전방향 오류정정 방법(Forward Error Correction) 채널부호화기의 도입이 필수적이다. 이와 같은 조건을 만족시키기 위해서는 음성 송신패킷의 효율적인 생성, 양호한 음성품질의 재생, 구현 과정의 용이성 및 적절한 구현 비용으로 실시간 동작이 가능한 음성부호화, 채널부호화 과정을 거친 음성신호의 입출력이 가능하여야 한다.

음성부호화기는 음성 품질에 직접적인 영향을 주는 소자의 하나로서 낮은 전송률과 무선환경에 대한 강한 특성을 가지면서 양호한 음성 품질을 나타내어야 한다<sup>[1]</sup>. ITU-T에서 휴대통신에 응용하기 위하여 표준안으로 채택된 G.729는 8kbps의 전송률과 채널 에러에 강한 특성을 가지며 32kbps ADPCM과 유사한 음성 품질을 나타내는 것으로 알려져 있다<sup>[2-4]</sup>. G.729 음성부호화 알고리즘은 CELP 구조를 기반으로 하고 있으며, 피치 및 코드북 이득을 양자화하기 위하여 결합 구조(Conjugate Structure) 형태를 갖는 2개의 벡터 코드북을 이용하고, 여기신호는 대수적 코드북을 사용하는 특징을 가진다. 본 논문에서는 G.729 권고안과 함께 제공되는 고정 소수점 C 프로그램을 바탕으로 TMS320C54X 고정 소수점 DSP를 이용하여 최적화 과정을 통한 실시간 동작이 가능한 코드를 구현하였다.

채널오류를 정정하기 위한 방안으로 채널부호화 기중 널리 활용되고 있는 길쌈부호화기<sup>[5-6]</sup>, 인터리빙 기술을 송신단에 그리고 비터비 복화기<sup>[7]</sup>와 디인터리빙 기술을 수신단에 도입하였으며, 이를 통한 패킷의 송수신 과정에서 발생하는 채널오류를 대처함으로써 음성 품질 향상 및 시스템 성능을 개선하는 효과를 도출하고자 한다. 길쌈 부호화기는 쉬프트 레지스터를 사용하여 송신하고자 하는 정보 비트를 채널부호어로 변환할 때 현재값 뿐만 아니라 과거 데이터에 의해서 채널 부호어를 결정하는 부호화 방법으로 1개의 정보 심볼 비트를 다수개의 확장 비트

로 전송함에 의하여 수신측에서 활용되는 비터비 복화화 알고리즘에 의하여 산발오류의 정정 능력은 우수 하지만 연집오류에서는 성능이 크게 저하되는 단점을 가진다<sup>[8]</sup>. 이에 대응하기 위하여 실제 다수의 연집오류가 발생하는 음영지역 등의 환경을 고려한 연집오류를 산발오류 형태로 변환 가능할수록 인터리빙 기술을 병행 이용함에 의하여 채널 오류 정정 능력을 강화할 수 있는 방안을 도입하였다.

본 논문은 전력소모와 칩면적을 고려하여 고정 소수점 DSP를 선택하였으며, 음성부호화기와 채널부호화기의 실시간 동작을 단일 고정 소수점 DSP칩상에서 구현함으로써 구현 비용을 절감하고자 하였다. 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 음성/채널부호화기의 실시간 구현 내용으로서 G.729 음성부호화기의 알고리즘을 간략히 살펴보고, 음성부호화기의 실시간 구현하는 방법을 언급하며, 길쌈부호화기, 비터비 복화기, 인터리빙/디인터리빙의 구조를 분석하고, 실시간 구현을 위한 디지털 신호처리 프로세서의 요구 사항을 정리하였다. 그리고 구현결과를 서비스 품질 성능과 구현 복잡도 측면에서 서술하였다. 3장에서는 구현된 음성, 채널부호화기 코드의 성능과 결과를 근거로 본 논문의 결론을 간략히 요약하였다.

## II. 본 론

### 1. 음성 부호화기 구현

G.729 음성부호화기는 ITU-T의 8kbps 표준 부호화 방식으로 IMT-2000 및 다양한 무선통신 시스템 적용을 목표로 설계 되었으며, 어느정도 채널 오류가 존재하는 환경하에서도 음성 품질이 크게 저하되지 않은 장점을 가지고 있다. CELP(Code Excited Linear Prediction) 부호화 방법에 근거한 10msec 프레임 단위로 부호화를 수행하게 되는데, 부호화 과정은 그림 1과 같다.

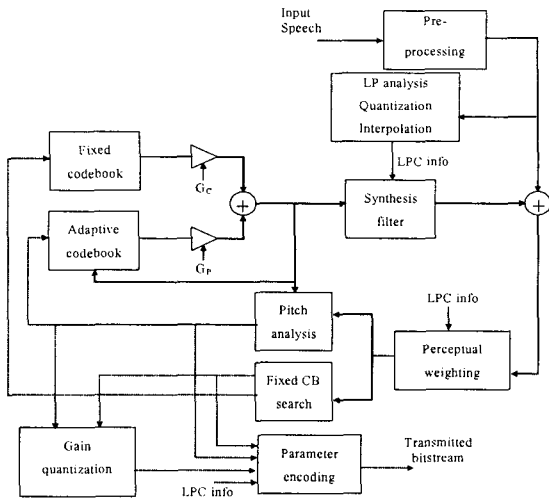


그림 1. G.729 음성부호화기 구성도  
Fig. 1 G.729 Speech Coder Diagram

부호화 과정에서 추출한 음성 파라미터에 할당되는 비트 구성은 표 1에 나타난 바와 같이 LPC 계수, 피치 지연, 고정 코드북 인덱스, 결합 코드북 이득 결합 비트 등으로 구성되어진다

표 1. G.729 비트 할당  
Table. 1 Bit allocation of G.729

파라미터	서브프1	서브프 2	Bits/ frame
LSFs	L0[1], L1[7], L2[5], L3[5]18		
적용코드북	P1[8]	P2[5]	13
피치 패리티	P0[1]		1
고정코드북	C1[13]	C2[13]	26
고정코드북 부호	S1[4]	S2[4]	8
코드북 이득 (stage 1)	GA1[3]	GA2[3]	6
코드북 이득 (stage 2)	GB1[4]	GB2[4]	8
Total			80

복호화 원리는 부호화의 역과정을 통하여 음성을 재생하게 되는데, 수신 비트열로부터 파라미터 인덱스가 추출되고 난 이후, 수신된 LSP 코드북 인덱스를 이용하여 양자화된 LSP 계수를 구하고, 보간 과정을 거쳐 각각의 서브 프레임에 대한 선형 예측 계

수를 구한다. 그리고 서브 프레임 단위로 복호화 과정을 수행하여 합성음을 생성한다. 감지 음성품질의 향상을 위하여 후처리 과정을 거치게 되며, 후처리 여파기의 계수는 매 서브 프레임마다 갱신된다. 후처리 과정은 장구간 post-filter, 단구간 post-filter, 기울기 보상 필터가 직렬로 연결된 적응 여파기와 샘플값의 크기를 키우게 되는 업스케일링 과정으로 구성되어진다

G.729 음성부호화기의 실시간 동작을 위하여 고정 소수점 DSP를 사용하였는데, 이는 전력소모, 칩 크기 등을 고려하여 단말기와 시스템에 동시에 장착함을 목표로 하였다. 이를 위하여 고정 소수점 방식에 의하여 동작 가능한 C 프로그램을 Reference로 하여 비트 단위의 연산 결과값을 확인하면서 어셈블 코드를 구성하였다. 사용한 고정 소수점 DSP인 TMS320C5416의 주요 특징은 120 MIPS (Million Instructions Per Second)의 연산량과 고급 기능의 파이프라인 동작, 16-bits 프로그램, 데이터 버스 구조, IEEE1149.1 boundary scan interface logic, 실시간 수행 코드의 다운로드를 위한 Flash Fusing 기능을 포함하고 있다.

본 논문에서 구현한 음성부호화기의 실시간 동작의 흐름은 그림 2에 나타난 바와 같이 메인 루틴, G.729 알고리즘부, 음성 샘플의 입출력을 처리하는 PCM 인터페이스부, 그리고 외부와의 패킷의 송수신과 동작 명령 제어를 처리하는 명령어 처리부 등 4개의 부분으로 구성되어 있다. 프로그램은 메인루틴에 의하여 동작을 제어하며 동작 모드를 결정하게 된다. 리셋 조건이 해제된 후 메모리 초기화와 내부 레지스터 설정 후 음성압축과 재생 과정이 수행되는데, 이때 8KHz 단위로 McBSP를 통하여 음성 샘플의 입출력을 Circular Buffer 방식에 의하여 동작되어진다. 구현 코드에서는 PCM 샘플의 입출력 기능의 용이한 동작을 위하여 DMA 기능 활용을 통한 프로그램의 효율성을 유도하였다. 압축 패킷의 송수신은 80샘플 구간에 해당하는 10msec 단위로 외부로의 송신을 위한 메모리 영역에 10바이트의 패킷을 출력하고, 수신 패킷은 외부 인터럽트에 동기시켜 동작하였다.

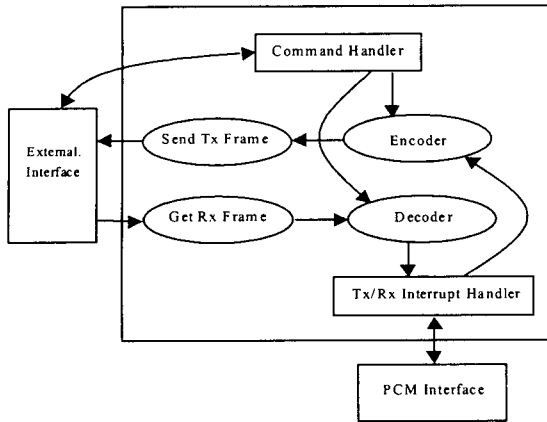


그림 2. G.729 실시간 동작 흐름  
Fig. 2 Flow Chart of Real-time operation in G.729

2. 채널 부호화기 구현

무선통신 시스템에서 음성 통화의 경우에는 음성부호화기에 의하여 압축된 음성 패킷을 수신측에 안전하게 전달함과 아울러 무선 주파수 자원을 효율적으로 활용할 수 있어야 시스템 이득을 달성할 수 있다. 그러므로 채널 전송효율과 채널오류 정정능력 등을 고려하여 본 논문에서는 그림 3과 같이 디지털 이동통신 순방향 링크에서 이용하고 있는 부호화율 1/2, 구속장 9인 길쌈부호화 방식을 활용하였다. 이의 동작은 길쌈 부호화기로 입력되는 정보 심볼들을 input, 출력되는 부호어를 output 0, output 1이라 할때, 정보 심볼이 부호화기로 입력되면 부호어를 생성시키기 위한 생성다항식의 계수가 0이 아닌 지연 입력 심볼들간의 Modulo-2 Adder (Exclusive-OR) 연산을 수행하여 연산 수행 결과인 output 0, output 1을 순차적인 스위치 기능에 의하여 출력되어 진다. 길쌈부호화기를 이용한 채널 부호어는 산발적으로 발생하는 오류에는 오류정정 능력이 우수하지만 음영지역, 전파 간섭 지역등과 같이 열악한 통신 환경하에서는 연접 오류에 의한 성능 저하가 발생하여 오류정정 능력이 떨어지게 된다. 이에 대한 대처 방법으로서 전송 데이터를 연속적으로 보내지 않고 특정 패턴으로 순서를 서로 바꾸어서 전송하는 인터리빙 기법을 활용하였는데, 그 원리와 기법은 다음과 같다. 먼저, 블록 인터리버의 입력은 버퍼의 세로방향 순으로 쓰여지며 출력은 가로 방향으로 읽게 한다. 전송할 채널부호어의 비트 순서가 1, 2, 3, ...20이라면 이 데이터를 순서대로 전송하지 않고 1,

6, 11, 16, ..., 5, 10, 15, 20 순서로 전송하며, 수신측에서는 송신측에서와 동일한 방법으로 처리함에 의하여 데이터를 복구할수 있게 된다.

수신측에서는 송신측에서 이루어진 과정의 역 순서로 진행되게 되는데, 먼저 수신 비트 스트림을 디인터리버하여 채널상에서 발생한 연접오류를 산발 오류화한 이후에, 비터비 복호기를 이용하여 실시간으로 채널 오류를 정정하게 된다. 채널 부호화기에 요구되는 대부분의 연산량은 비터비 복호기의 Quality Matrix를 구하기 위한 곱셈과 메모리 업데이트 과정에 요구되기 때문에 계산량을 고려한 효율적인 어셈블 코딩기법이 요구되는 부분이다.

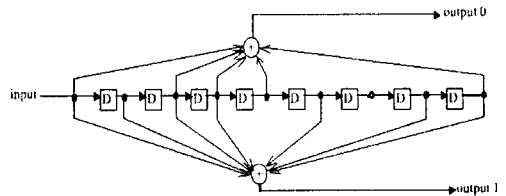


그림 3. 길쌈부호화기 구성도  
Fig. 3 Diagram of Convolution Coder

구현된 채널부호화기의 송신측에서 수행되는 길쌈부호화기/인터리빙 및 송신패킷 처리는 그림 4와 같으며, 수신측 동작과정은 송신측의 역과정으로 정의되어진다. 전송하고자 하는 압축 음성 패킷 한프레임은 무선구간의 효율성을 고려하여 G.729에서 생성한 20msec 프레임 구간을 기준으로 하였으며, 제어 비트 및 Tail 비트를 포함하여 40비트의 Overhead를 포함한 200bits를 R=1/2, K=9인 길쌈부호화기 방법에 의하여 encoding 한 후 400bits 채널부호어를 버퍼에 저장하고, 인터리빙 depth 50인 인터리버를 동작시켜 연접오류에 대처하게 된다. 실제 데이터 포맷은 200 bits 의 압축 패킷을 25 bytes 로 표현하여 메모리 의 low address 부터 LSB가 들어 있으며, 마지막 byte 는 8bits의 0값을 갖는 tail bit로 구성하였다. TMS320C5416 프로세서가 16 bit DSP이므로 하위 8비트의 데이터 공간을 사용하게끔 설계하였다. 인터리버 기능은 프로그램 방식 또는 테이블방식을 통하여 구현 가능한데, 구현의 용이성을 위하여 후자를 선택하였으며, 계산상의 절감을 위하여 테이블은 2단으로 구성하여 이용하였다.

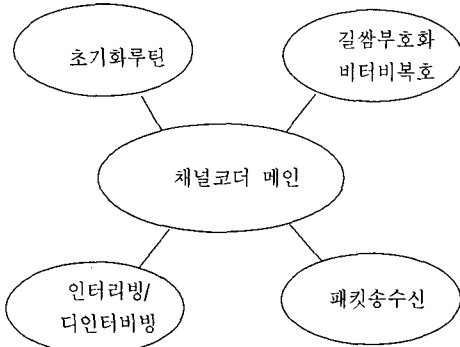


그림 4. 길쌘부호화기 동작 구성  
Fig. 4 operation of Channel Coder

메인루틴에서 TMS320C5416 DSP의 구동속도, 내부 레지스터 설정 및 인터럽트 기능을 초기화 한 이후 음성부호화기로부터 전송할 음성 패킷을 읽어와서 채널 부호어로 변환하기 위하여 25 bytes를 frame 으로 가져 오는데, 이때 메모리의 효율적 이용을 위하여 2 byte씩 묶어서 하나의 word로 구성하여 TMS320C5416 데이터 메모리에 저장한다. 저장된 데이터를 이용하여 Convolutional Encoder이 동작되어 한 frame의 비트 스트림을 입력으로 길쌘부호화기의 출력 부호어를 결정 하게 된다. 이때 메모리 에 저장 되는 채널부호어의 bit 순서는 인터리빙 수행의 용이성을 위하여 그림 5 와 같이 저장하게 된다. 인터리버는 결정된 채널 부호 어를 입력으로 하고 테이블 방법을 이용하여 인터리빙 을 수행한 후 출력 400 bits를 형성하여 1 bit 당 DSP의 내부 데이터 메모리의 1 word 가 할당 된다. 따라서 400 bit 을 byte 로 packing 하여 전송하고자 하는 부호어 패킷 50 bytes를 MSB를 먼저 송신할 수 있는 구조로 생성하게 된다.

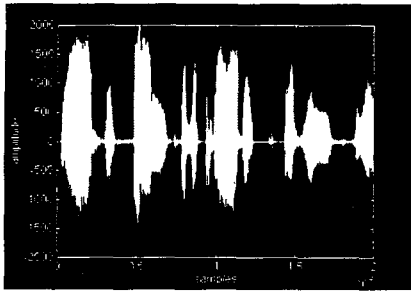
메모리 주소	Data Bits			
	(MSB	---	LSB)	
channel_out	00000000	G0(b199	---	b192)
channel_out+1	00000000	G1(b199	---	b192)
channel_out+2	G0 (b191	---	b176)	
channel_out+3	G1 (b191	---	b176)	
channel_out+24	G0 (b15	---	b0)	
channel_out+25	G1 (b15	---	b0)	

그림 5. 채널부호어 비트 구성  
Fig. 5 Bit allocation of channel code words

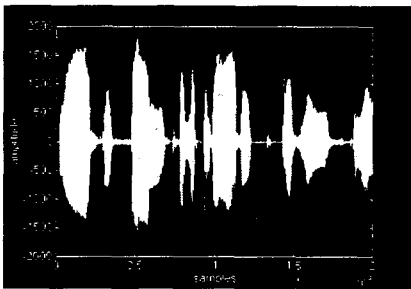
수신부는 송신부의 역 과정으로 bit unpacking, deinterleaving, Viterbi decoding, 그리고 deframing 과정 으로 구성되는데, 수신 된 50 bytes (400 bits) 의 패킷 을 디인터리버를 위한 버퍼 영역에 저장하고, De인터리 버를 인터리빙과 동일한 테이블 방법 을 이용하여 수행한 후 분리되어진 테이블에 각각 번갈아가며 저장한다. 그후 수행되는 비터비 복호기는 오류정정 능력 을 증대시키기 위하여 Soft Decision 방법을 활용하였 으며, 이를 통한 성능의 증대가 가능하였다. Viterbi Decoder는 요구 연산량이 크편으로서 채널부호화기의 대부분의 연산량이 사용되는데는 기능으로서 256 개의state 로 구성 된 trellis 를 이용하여 path metric 을 구하는 과정과 optimal path 를 따라 data 를 복원하는 trace-back 과정으로 구성된다. 여기에서 최종적으로 복호된 패킷은 8bits의 tail bit 을 포함하지 않은 상태에서 구성되며, deframer 과정을 거쳐 음성부호화기의 복 호단으로 전송되어 음성을 재생하게 된다.

### 3. 결과 및 고찰

무선통신 시스템의 단말과 시스템간의 양호한 음성 품질의 통화를 위하여 8kbps G.729 음성부호화기와 R=1/2, K=9 길쌘부호화기/비터비 디코더를 단일 고정 소수점 DSP상에서 실시간 동작을 위한 어셈블 코드를 설계하였다. 음성부호화기의 실시간 동작을 위한 프로그램, 데이터 메모리 영역을 TMS320X5416칩 내부의 메모리 영역을 사용하였으며, 동작의 검증은 2가지 단계로 확인하였다. 연산 결과의 정확성은 고정 소수점 C 프로그램의 결과치와 비교하여 알고리즘의 각 루틴에서의 연산결과가 동일함을 확인하여 정상 동작됨을 확인하였으며, 그후 연속적인 입력 음성과 출력 음성의 청취 시험에 의하여 압축/재생 과정에서 발생하는 음질 저하가 거의 나타나지 않음을 검증하였다. 그림 6은 실시간 동작을 수행하면서 (a)입력음성 샘플과 (b)G.729 압축/재생에 의한 음성 샘플의 파형을 나타낸 것인데, 파형적인 측면에서도 왜곡이 거의 나타나지 않음을 확인하였다.



(a) 입력 음성



(b) 압축/재생 음성

그림 6. 실시간 동작 입출력 음성

Fig. 6 Input and output speech waveform of speech coder

구현 코드의 복잡도 측면에서의 결과로서 음성부호화의 음성압축/음성재생에 요구되는 산술 연산량은 약 24MIPS가 소요되었으며, 소요 메모리의 크기는 수행 코드를 저장하기 위한 프로그램 영역은 12Kwords, 데이터 메모리영역은 7Kwords가 소모되어 연산량 측면에서는 TMS320C5416의 구동가능한 연산량의 1/6, 메모리 크기는 내부 메모리의 약 1/3이 소모됨을 확인하였다.

채널부호화기의 구현은  $R=1/2, K=9$ 인 길쌈부호화를 송신단에서 활용하고, 수신단에서는 Soft Decision 방법을 도입한 오류 정정 기법을 활용함으로써 적절한 연산량으로 오류 정정 능력을 향상시키는 방법을 활용하였다. 구현된 부호화기의 연산 결과는 테스트 벡터에 의하여 확인하였으며, 실시간 동작을 위한 요구 연산량은 9 MIPS, 소요 프로그램 크기가 약 4Kwords, 데이터 메모리 영역이 4Kwords로서 실시간 동작에는 전혀 문제점이 발생하지 않았다.

음성과 채널부호화기의 실시간 동작을 위하여 요구되는 연산량과 메모리 영역에 대한 내용을 정리하면 표 2와 같이 160MIPS의 약 1/4 수준에서 동작이 가능

하였으며, 사용 메모리 또한 칩 내부 영역의 메모리의 약 1/2 활용함에 의하여 동작 가능하였다.

표 2. 음성/채널부호화기 구현 복잡도  
Table 2. Complexity data of voice and channel coder

구분	음성 부호화기	채널 부호화기	계	사용가능 DSP성능
연산량	24MIPS	9MIPS	33MIPS	160MIPS
메모리	프로그램	12KW	16KW	64KW
	데이터	7KW	11KW	
	계	19KW	27KW	

이러한 결과를 단말기에 적용할 경우 하나의 고정 소수점 DSP칩에 의하여 음성/채널부호화 기능이 가능하여 단말기의 경량화가 가능하고 전력 소모를 줄일 수 있는 장점을 지닌다. 그리고 무선통신 시스템측에 활용된다면 하나의 DSP상에서 다수 채널의 기능을 수용할 수 있어 시스템 구현 비용을 절감할 수 있는 장점을 지니게 된다.

### III. 결 론

본 논문에서는 무선통신 시스템에서의 효율적인 음성통신을 위한 G.729 음성부호화기와 채널부호화기를 단일 고정 소수점 DSP칩상에서 실시간 구현하였다. 구현 코드의 연산 결과 측면에서 음성부호화 과정은 Fixed Point C-code와 연산결과를 Bit exact로 비교 분석한 후 실시간 음성 입출력을 통하여 성능을 검증하였으며, 채널 부호화 과정은 연산 결과치를 C-code와 비교한 후 테스트 벡터를 통한 검증과정에서 연산상의 오류가 없음을 확인하였다. 구현 복잡도 측면에서는 요구 연산량이 음성 24MIPS, 채널 9MIPS로 총 33MIPS가 소요되어 구현에 사용된 DSP칩의 최대 연산량 160MIPS의 약 1/5이 소요 되었으며, 수행코드의 크기 측면에서 프로그램 메모리는 음성 12Kword, 채널 4Kwords, 데이터 메모리는 음성 7Kwords, 데이터 4Kwords로서 사용된 총 메모리는 27Kwords로서 DSP 내부에 있는 사용 가능한 메모리 64Kwords의 약 40%로서 구현이 가능하였다. 본 구현 결과는 기존의 음성

과 채널부호화기에 각각의 DSP칩을 사용하는 방법에  
비하여 구현 비용 감소 및 구현의 용이성을 제공할 수  
있는 장점을 가져 차후의 무선통신 시스템에서 효율  
적인 음성서비스의 제공이 가능하리라 사료된다.

참고문헌

[1] I.M. Ross, "Wireless network directions," IEEE  
Comm. Magazine, pp. 40-42, Feb. 1991

[2] R. Salami, C. Laflamme, J.P. Adoul, A. Kataoka, S.  
Hayashi, C. Lamblin, D. Massaloux, S. Proust, P.  
Kroon, and Y. Shoham, "Description of the proposed  
ITU-T 8-kb/s speech coding standard," IEEE speech  
coding workshop, Annapolis, 1995

[3] [1] Redwan Salami, Claude Laflamme, and  
Jean-Pierre Adoul, "Design and description of  
CS-ACELP : a toll quality 8 kb/s speech coder,"  
IEEE transaction on speech and audio processing, vol.  
6, No. 2, pp. 116-129, mar. 1998.

[4] ITU-T : Draft Recommendation G.729, : Coding of  
speech at 8 kbit/s using Conjugate  
Structure-Algebraic Code Excited Linear Prediction  
(CS-ACELP), 1996.

[5] L. D. Baumert, R. J. McEliece, and H. C. A.  
vanTilborg, "Symbol synchronization in  
convolutionally coded systems," IEEE Trans. Inform.  
Theory, vol. IT-25, pp. 362-365, May 1979.

[6] A. R. Calderbank, C. Heegard, and T.A. Lee, "Binary  
convolutional codes with application to magnetic  
recording," IEEE Trans. Inform. Theory, vol IT-32,  
pp. 797-815, Nov. 1986

[7] K. J. Hole, "Cosets of convolutional codes with short  
maximum zero-runlength," IEEE Trans. Inform.  
Theory, vol IT-41, pp.1145-1150, July 1995.

[8] oachim Hagenauer and Peter Hoeher, "A Viterbi  
Algorithm with Soft-Decision Outputs and its  
Applications," Proceedings of IEEE Globecom  
Conference, Dallas TX, USA, pp. 1680-1686, 1989.

저자약력

김재원(Jae-Won Kim)



1986 경북대 전자공학과 공학사  
1988 경북대 전자공학과 공학석사  
2000 충북대 정보통신과 공학박사  
1991~2000 한국전자통신연구원  
선임연구원

2000~현재 경주대학교 컴퓨터멀티미디어 조교수  
※ 관심분야 : 이동통신, 디지털신호처리, VoIP,

손동철(Jae-Won Kim)



1982 경북대 전자공학과 공학사  
1985 경북대 전자공학과 공학석사  
2001 충북대 정보통신과 공학박사  
1983~1998 한국전자통신연구원  
선임연구원

2003~현재 천안대학교 정보통신학부 조교수  
※ 관심분야 : 이동통신, 인터넷, VoIP,