

고성능 DSP를 이용한 톤 송수신기의 실시간 구현

Real-time Implementation of a Tone Sender/Receiver on a High Performance DSP

최 응 수*, 함 정 표*, 조 성 범*, 강 태 익*, 윤 정 현**
(Yong-Soo Choi*, Jeong-Pyo Ham*, Sung-Bum Cho*, Tae-Ik Kang*, Jeong-Hyeon**)

*LG전자 기업통신연구소, **한국산업기술대학교 게임공학과
(접수일자: 2003년 3월 13일; 채택일자: 2003년 4월 25일)

본 논문에서는 고성능 DSP (Digital Signal Processor)를 사용하여 R2MFC/DTMF (R2 MultiFrequency Combinations/Dual Tone Multiple Frequency) 톤 송수신기를 실시간 구현하여 대용량 VoIP (Voice over Internet Protocol) 게이트웨이 시스템에 적용한다. 수신기는 Goertzel 필터를, 송출기는 고조파 공명 필터를 이용한다. DMA (Direct Memory Access)와 McBSP (Multi Channel Buffered Serial Port)를 사용한 효과적인 PCM 입출력, HPI (Host Port Interface)를 통한 MPU (Main Processing Unit)와의 메시지 통신 등 Texas Instruments TMS320C62x DSP를 이용한 다채널 실시간 구현 기법에 관하여 상세히 기술한다. 실험 결과, 구현된 R2MFC/DTMF 송수신기는 ITU-T (International Telecommunication Union-Telecommunication) 조건을 만족하며, 최적화된 코드는 250 MHz C62x에서 780 채널을 수용할 수 있는 계산량을 보였다.
핵심용어: DSP, C62x, R2MFC, DTMF, 실시간 구현
투고분야: 음향 신호처리 분야 (1,2)

In this paper, we present real-time implementation of a R2MFC/DTMF (R2 Multi Frequency Combinations/Dual Tone Multiple Frequency) tone receiver/sender using a high performance DSP (Digital Signal Processor) and apply it to a carrier class VoIP (Voice over Internet Protocol) gateway system. The Receiver utilizes the Goertzel filter and the sender adopts the harmonic resonant filter. We describe, in detail, the techniques of multi-channel real-time implementation on a Texas Instruments TMS320C62x DSP such as effective PCM (Pulse Code Modulation) in/out by means of DMA (Direct Memory Access) and McBSP (Multi Channel Buffered Serial Port) and message communication via HPI (Host Port Interface), etc. From experimental results, we confirmed that the optimized code provided 780 channel capacity at 250 MHz C6202, and the our R2MFC/DTMF receiver/sender met ITU-T (International Telecommunication Union-Telecommunication) specifications.

Keywords: DSP, C62x, R2MFC, DTMF, Real-time implementation

ASK subject classification: Acoustic signal processing (1,2)

I. 서론

전화 교환에서 국간 신호 방식은 개별선 신호방식 (Channel Associated Signaling: CAS)과 공통선 신호방식 (Common Channel Signaling: CCS)이 있다[1]. CAS 방식에는 음성 대역내 (in-band) 시그널링을 하는 R2MFC (Multi Frequency Combinations)[2-6]와 DTMF (Dual

Tone Multiple Frequency)[7,8]가 있다. 최근에 인터넷의 대중화로 인해 VoIP (Voice over Internet Protocol) [9,10]와 같이 인터넷 음성 통신이 확산되고 있다. 저렴한 통화료로 인한 효용성은 잘 알려져 있으나 아직도 많은 사람들이 사용상의 편리함 등을 이유로 PSTN망을 이용하는 일반전화를 선호하고 있다. PSTN에서 저렴한 VoIP 통신을 이용하기 위해서는 PSTN과 IP망을 연결해 주는 VoIP 게이트웨이가 필요하다[9,10]. 여기에는 기존 교환기와의 시그널링을 위한 NIC (Network Interface Card)가 필수적이다. NIC에는 수신을 확인하고 송신하는 강제

책임저자: 최응수 (cando@lge.com)
431-080 경기도 안양시 동안구 호계동 533
LG전자 기업통신연구소 IP응용Gr
(전화: 031-450-4893; 팩스: 031-450-4943)

(compelled) 신호 방식의 R2MFC와 일반적으로 신호를 송수신하는 DTMF가 필수적이다.

본 논문에서는 고성능 DSP (Digital Signal Processor) 를 사용하여 R2MFC/DTMF 톤 송수신기를 구현하여 대용량 (32 E1/T1) VoIP게이트웨이 시스템[11]에 적용한다. VLIW DSP는 Texas Instruments의 TMS320C6202 (이하 C6202)[12]이며, 250MHz의 클럭과 256 KB의 프로그램 메모리와 128 KB의 데이터 메모리를 내장하고 있으며 동시에 8개의 명령을 수행할 수 있어서 대용량 시스템에 적합하다. R2MFC/DTMF 검출기는 Goertzel 필터[13,14]를, 송출기는 고조파 공명필터[14]를 이용하여 16 비트 고정 소수점 연산을 갖는 C 코드로 구현한다. 이를 바탕으로 C62x 코드 최적화[15,16]를 수행한다. 실험 결과, 최적화된 코드는 ITU-T (International Telecommunication Union-Telecommunication)의 조건을 만족하며, 250 MHz에서 780 채널을 수용할 수 있는 계산량을 보였다. PCM 입출력은 DMA (Direct Memory Access) 와 McBSP (Multi Channel Buffered Serial Port)를 사용하여 구현하며 MPU (Main Processing Unit)와 메시지 통신은 HPI (Host Port Interface)를 통해 수행한다[17,18]. 반향 제거기의 연산량과 PCM 입출력 메모리와 MPU와의 메시지 통신을 위한 메모리, 그리고 회의통화 (conferencing) 기능의 연산량을 고려하여 DSP당 채널 수를 64로 정한다. 실제 구현된 VoIP 게이트웨이 시스템의 NIC에는 두 개의 DSP를 장착하여 동시에 128 채널 시그널링이 가능하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 R2MFC/DTMF스펙 및 검출 및 송출 알고리즘에 대해 설명하고, III장에서는 H/W 및 S/W를 포함한 VLIW DSP를 이용한 실시간 구현에 관하여 기술하고, IV장에서는 실험 결과를 통한 성능을 고찰한다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. R2MFC/DTMF 스펙 및 알고리즘

2.1. 스펙

DTMF[7,8]는 그림 1과 같이 디지털에 할당된 두 개의 주파수로 구성된 톤을 일정 시간동안 일반적으로 송출한다. 행에는 저주파수 군으로, 열에는 고주파수 군으로 구성된다.

R2MFC[2-6]는 일반적으로 신호를 송출하는 DTMF와

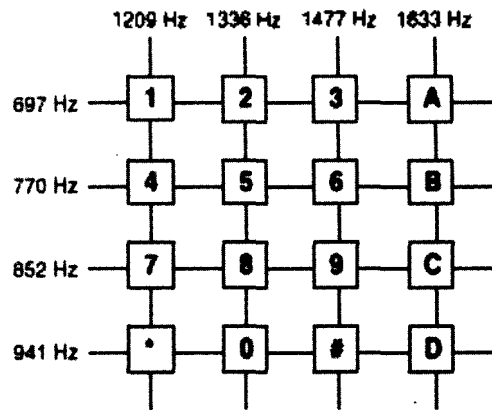


그림 1. DTMF 키패드의 주파수 구성
Fig. 1. DTMF keypad and frequency combination.

는 달리 신호 송출 후 반드시 응답신호를 받는다. 즉, 출 레지스터는 전방향 신호를 송출한 후 역방향 신호를 검출하면 신호 송출을 중단하고 다음 신호를 송출한다. 입력 레지스터는 전방향 신호 검출하면 역방향 신호를 송출하기 시작하여 전방향 신호 중지를 검출하면 역방향 신호 송출을 중지한다. 따라서 DSP는 항상 톤 송출과 톤 검출을 양방향으로 동시에 수행한다. 그림 2는 위에서 설명한 R2MFC의 강제 신호 방식 사이클을 보여준다.

표 1은 R2MFC의 전방향 및 역방향 디지털의 주파수 구성을 보여준다[3].

표 1. R2MFC 디지털 주파수 구성
Table 1. R2MFC digits and frequencies.

Digit	Forward Tone		Reverse Tone	
	F1 (Hz)	F2 (Hz)	F1 (Hz)	F2 (Hz)
1	1380	1500	1140	1020
2	1380	1620	1140	900
3	1500	1620	1020	900
4	1380	1740	1140	780
5	1500	1740	1020	780
6	1620	1740	900	780
7	1380	1860	1140	660
8	1500	1860	1020	660
9	1620	1860	900	660
10	1740	1860	780	660
11	1380	1980	1140	540
12	1500	1980	1020	540
13	1620	1980	900	540
14	1740	1980	780	540
15	1860	1980	660	540

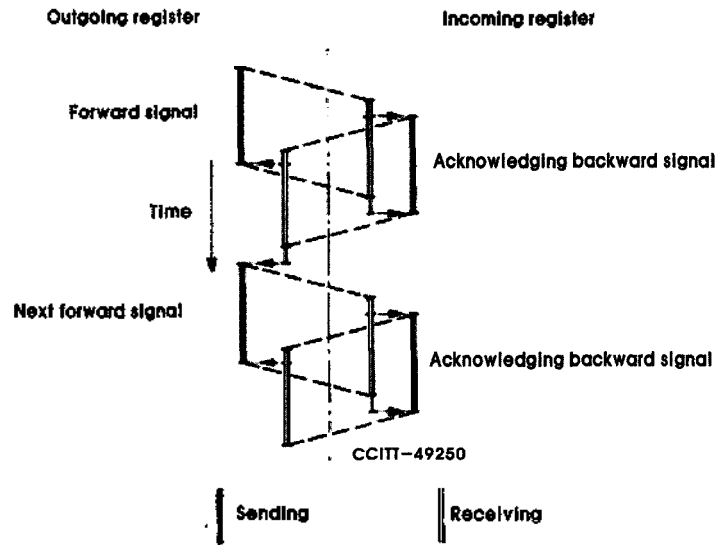


그림 2. R2MFC 신호 사이클
Fig. 2. R2MFC signaling cycle.

2.2. 톤 검출 알고리즘

Goertzel 알고리즘[13,14]은 DFT (Discrete Fourier Transform) 계산을 위한 선형 필터링 방법으로서 R2MFC 나 DTMF처럼 어느 정도 간격이 있는 특정한 주파수 성분만을 계산할 필요가 있을 때 FFT (Fast FT)보다 더 효과적이다. 또한 DFT는 균등한 주파수 커널을 갖지만 Goertzel 방법은 비균일 주파수 커널을 가질 수 있다는 장점이 있다. 본 논문에서는 R2MFCMFC/DTMF 검출기에 식 (1)과 같은 전달함수를 갖는 Goertzel 필터를 사용한다.

$$H_c(z) = \frac{1 - W_N^k z^{-1}}{1 - 2 \cos\left(\frac{2\pi}{N} k\right) z^{-1} + z^{-2}}, \quad W_N = e^{-j2\pi/N}, \quad (1)$$

여기서, N은 신호의 길이이다. 그림 3은 식 (1)을 전달함

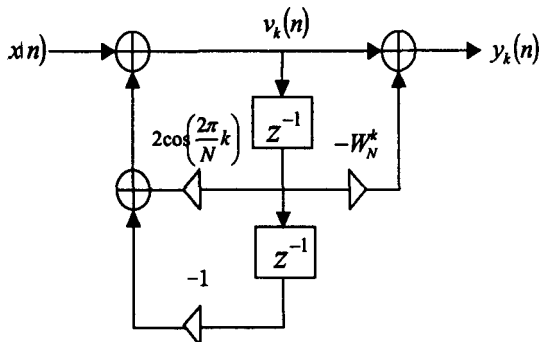


그림 3. Goertzel 필터
Fig. 3. Goertzel filter.

수로 갖는 필터이다. 그림 3에서 $y_k(n)$ 은 식 (2)와 같이 반복식 형태로 표현된다.

$$y_k(n) = v_k(n) - W_N^k v_k(n-1), \quad (2)$$

$$v_k(n) = 2 \cos\left(\frac{2\pi}{N} k\right) v_k(n-1) - v_k(n-2) + x(n), \quad (3)$$

여기서, $v_k(-1) = v_k(-2) = 0$ 이다. 최종적으로 R2MFC/DTMF 응용에서 필요한 신호의 주파수 에너지 성분은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} |X(k)|^2 &= y_k(N) y_k^*(N) \\ &= v_k^2(N) + v_k^2(N-1) - 2 \cos\left(\frac{2\pi}{N} k\right) v_k^2(N) v_k^2(N-1) \end{aligned} \quad (4)$$

참고로 연산량을 비교해 보면, DFT와 FFT는 각각 N^2 개의 복소수 곱셈과 $(1/2)N \log_2 N$ 개의 복소수 곱셈을 필요로 하는 반면에 Goertzel 필터는 M 개의 주파수 커널에 대하여 $M(N+1)$ 의 실수 곱셈만을 필요로 한다.

그림 4는 본 논문에서 구현된 Goertzel 알고리즘을 이용한 R2MFC/DTMF 검출 과정을 보여준다.

2.3. 톤 송출 알고리즘

R2MFC/DTMF 톤은 두 개의 정현파를 더해서 만든다. 여기에는 표 참조 (table look-up), 테일러 급수 (Taylor series), 고조파 공명 필터 (harmonic resonant filter) 와 같은 세 가지 방법이 있다[14]. 표 참조 방법은 정교한 주파수 생성을 위해서 많은 메모리를 필요로 한

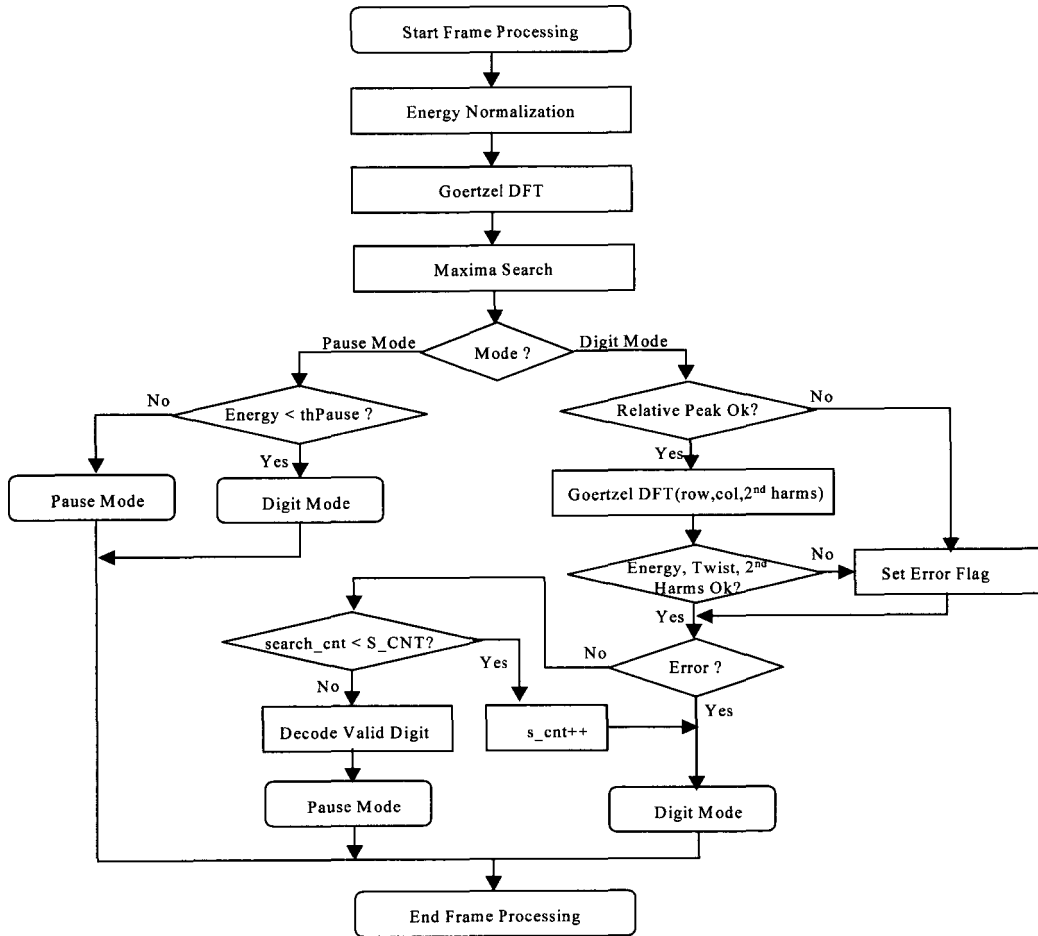


그림 4. R2MFC/DTMF 검출 흐름도
Fig. 4. R2MFC/DTMF detection flowchart.

다. 또한 발생시킬 주파수 수가 많거나 임의의 주파수에 대해서는 효과적이지 않다. 테일러 급수 방법은 표 참조 방법 보다는 메모리는 적게 사용하지만 연산량이 많다. 고조파 공명 필터 방법은 하나의 주파수를 만들기 위해서 2차 IIR (Infinite Impulse Response) 필터를 사용한다. 이 방법은 필터 계수만을 메모리에 저장하면 되고 연산량도 적어서 톤 발생기에 많이 사용되고 있다. 본 논문에서는 톤 발생기에 식 (5)와 같은 고조파 공명 필터 방법을 사용한다.

$$y(n) = 2 \cos(\omega T) y(n-1) - y(n-2), n = 2, 3, \dots \quad (5)$$

여기서 $y(0) = 0, y(1) = a_0, a_0 = \sin(\omega T)$ 이며, T 는 표본화 주기이다. 그림 5는 고조파 공명 필터이다.

III. 실시간 구현

3.1. C62x DSP 특징

Texas Instruments의 TMS320C62x[12]는 VelocityTI,

즉, 진보된 VLIW(Very Long Instruction Word) 구조를 갖는 고성능 DSP로서 다음과 같은 특징을 갖고 있어서 대용량 채널 시스템 구현에 효과적이다.

- 32개의 32 비트 범용 레지스터.
- 8개의 독립적인 연산 모듈을 가지고 있어서 한 사이클 당 최대 8개의 32 비트 명령을 동시에 수행 가능.

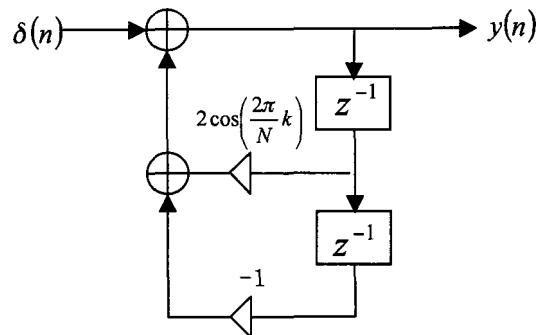


그림 5. 고조파 공명 필터
Fig. 5. Harmonic resonant filter.

- 8/16/32 비트 데이터를 지원하고 있어서 효율적인 메모리 관리가 가능.
- 40 비트 산술 연산 옵션이 가능하여 상당한 정밀도를 요구하는 응용에 적합.
- 다채널 DMA (Direct Memory Access), 다채널 BSP (Buffered Serial Port).
- 대용량 내부 RAM (Random Access Memory)
- 고효율의 C 컴파일러, assembly optimizer 제공으로 인한 개발 기간 단축

본 논문에서는 C62x를 다음과 같은 환경으로 사용한다.

- Device: Texas Instruments TMS320C6202
- Clock rate: 240 MHz (External Clock 60MHz, PLLx4)
- Memory: 256 KB internal program RAM, 128 KB internal data RAM
- Peripherals
 - DMA0: split mode for Rx/Tx buffering
 - EMIF: Not used
 - 32-bit expansion bus: Asynchronous HPI
 - McBSP0: Interface to 4 MHz TSI's local stream
- Interrupts: DMA0 interrupt used for tone detec-

tion/generation

- Endian mode: Little endian
- Boot configuration: HPI boot (MAPI)
- Channel capacity: 64 channels per DSP for echo canceller enabled case, 128 channels per DSP for echo canceller disabled case

3.2. DSP H/W

DSP는 내부 메모리만을 사용하고 Echo Canceller의 연산량과 PCM 입출력 메모리와 MPU와의 메시지 통신을 위한 메모리, 그리고 회의통화 기능을 고려하여 DSP 당 채널 수를 64로 설정한다.

그림 6과 같이 NIC에는 두 개의 C6202 DSP가 탑재되어 각 64 채널씩 총 128채널 R2MFC/DTMF시그널링을 처리한다. MPU는 Flash 메모리에 저장된 DSP 프로그램을 HPI (eXpansion BUS: XBUS)[17]를 통하여 다운로드하고 DSP를 초기화한다. MPU는 DSP 상태를 정기적으로 점검한 후 비정상 상태이면 DSP를 초기화한다. DSP 신호의 입출력은 4 MHz PCM 스트림이며 DSP는 내부 메모리만을 사용하여 동작하며 MPU와 HPI를 통해 메시지를 교환한다. 자세한 주변 장치의 동작과 제어에 관한 설명은 다음 절에서 자세히 설명한다.

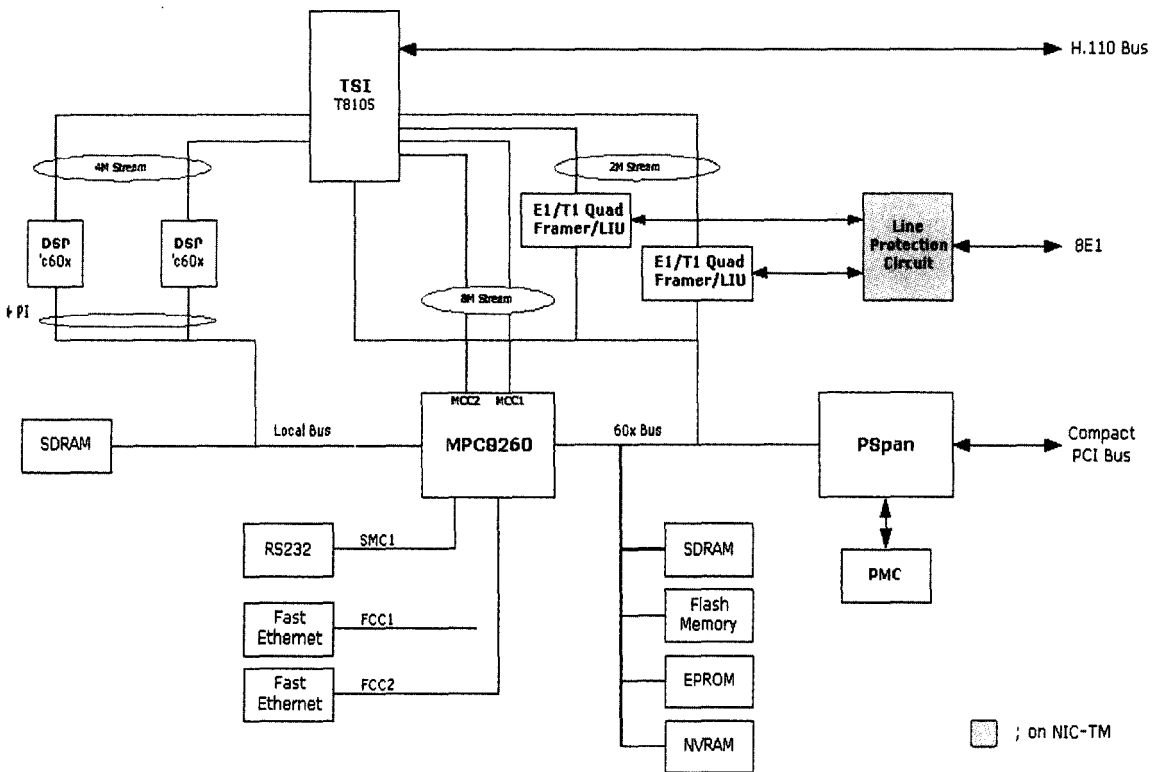


그림 6. NIC 보드의 H/W 블록도
Fig. 6. Hardware block diagram of the NIC board.

3.3. DSP 주변 장치 제어

그림 7은 신호의 입출력과 메시지통신을 위한 DSP 주변 장치 구성과 제어 구조를 보여준다.

DSP는 HPI를 통하여 MPU와 메시지 통신을 한다. 메시지는 공통 메시지와 채널 메시지로 구분되며 10 ms 단위 폴링 (polling) 방식으로 구현된다. 신호의 입출력은 McBSP와 DMA를 연동하여 구현한다[18]. 입출력은 8 KHz A/U-law PCM (Pulse Code Modulation)이며 이를 각각 입출력 버퍼에 저장한다. McBSP에서 A/U-law companding 기능을 지원하지만 입출력 버퍼에 필요한 메모리를 절약하기 위하여 이 기능을 사용하지 않고 DSP 코드 내에서 companding한다. 이것은 적은 계산량 증가에 비해 메모리 사용량의 감소 효과가 크기 때문이다. 입출력 과정을 보면, DMA가 McBSP DRR로부터 데이터를 읽어와 입력 버퍼에 저장하고, 동시에 DMA가 출력 버퍼

로부터 데이터를 McBSP DXR에 보낸다. 한 프레임이 되면 DMA 인터럽트를 발생시켜 DSP가 톤 검출 및 생성 루틴을 수행한다. 이러한 내부 인터럽트 방식은 외부 인터럽트 발생을 위한 추가 로직이 필요하지 않으며 외부 인터럽트 발생시 문제가 되는 글리치 (glitch) 잡음에 의한 오동작이 없다는 장점이 있다. 안정적인 입출력을 위해 이중 (double) 버퍼 구조를 사용하며, 이중 버퍼 구조는 DSP와 MPU가 서로 다른 블록을 접근하게 한다. 예를 들어 DMA가 첫번째 블록을 쓰는 또는 읽는 동안 DSP는 다른 블록을 읽게 또는 쓰게 하여 메모리 읽기/쓰기 충돌을 피할 수 있다. DMA는 SPLIT모드로 설정하여 하나의 DMA자원을 사용하여 McBSP 입출력을 동시에 효과적으로 처리하게 한다. 그림 8은 DMA 입출력 버퍼링과 인터럽트 동작 구조를 보여준다.

그림 9는 McBSP와 DMA를 통한 채널별 데이터 정렬

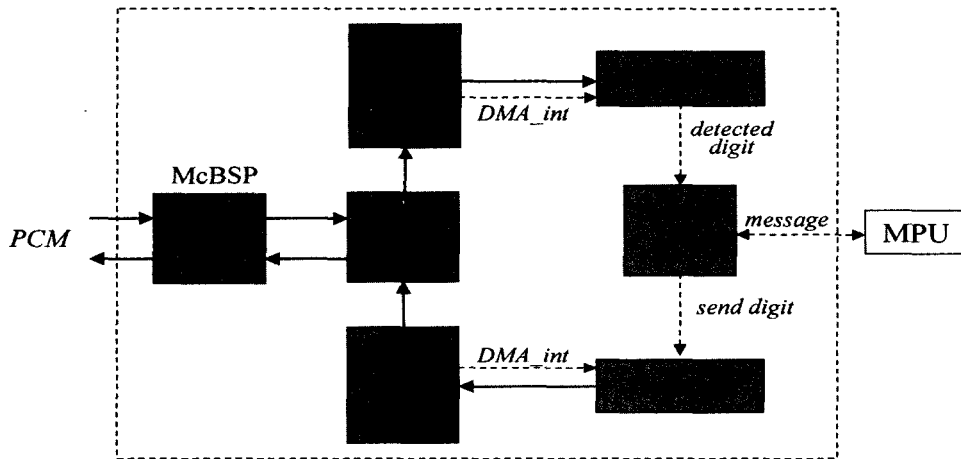


그림 7. DSP 주변 장치 동작 구성
Fig. 7. DSP peripheral configuration.

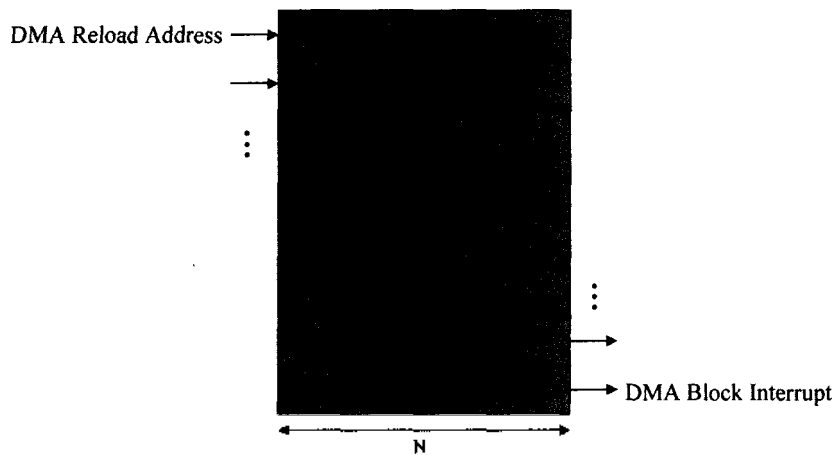


그림 8. 입출력 버퍼링과 인터럽트 (M: 채널 수, N: 프레임 길이)
Fig. 8. Input/output buffering and interrupt (M: number of channels, N: frame length).

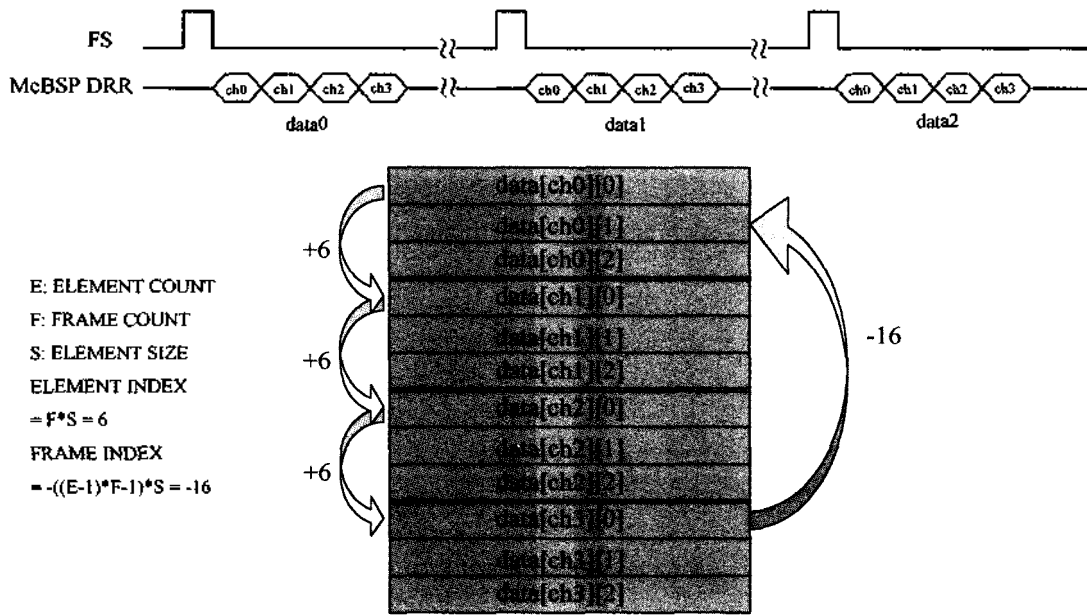


그림 9. DMA와 McBSP를 이용한 데이터 정렬 예
 Fig. 9. Data sorting example using DMA and McBSP.

```

    McBSP0_RCR = 0x00053F00
    McBSP0_XCR = 0x00053F00
    McBSP0_SPCR = 0x00012001
    DMA0_PCR = 0x626346F0
    
```

그림 10. McBSP와 DMA 레지스터 값 (64 채널 기준)
 Fig. 10. McBSP and DMA register values (64 channels).

- User defined tone configuration for country adaptation,

채널별 선택 기능은 다음과 같다.

- A/U-law selection for companding
- R2MFC/DTMF/CPT mode selection
- Echo canceller enable/disable
- Tone local test
- Message local test

과정의 예로서 FS(Frame Synch)당 4 채널씩 3 샘플을 정렬하는 과정을 도식적으로 보여준다.

그림 10은 VoIP 게이트웨이의 NIC 적용한 McBSP와 DMA의 주요 레지스터 설정 값을 보여준다.

3.4. DSP S/W

구현된 DSP S/W의 주요 기능은 다음과 같다.

- R2MFC forward/backward tone detection/ generation
- DTMF tone detection/generation
- Call progress tone detection/generation
- Line echo cancellation: optional

전 채널에 공통되는 선택 기능은 다음과 같다.

- Minimum tone duration control for detection
- Tx tone gain control per frequency

공통 선택 기능 중에서 Minimum tone duration control for detection은 톤 검출기에서 유효한 최소 지속 시간을 조절한다. 예를 들어 이 값이 30 ms일 경우, 30 ms 이상 톤이 지속되면 DSP는 MPU에 새로운 디지털을 보고한다. Call progress 톤 검출은 cadence를 측정하여 검출하는 방식을 사용한다.

DSP S/W는 Goertzel 알고리즘과 같이 연산량이 많은 핵심 모듈은 직접 어셈블리어로 작성하거나, intrinsic, word wide, loop unrolling, loop merging, loop separation 등 다양한 C 코드 최적화 기법[15,16]을 적용하여 구현하고, 나머지 비교 판단, 제어 및 인터페이스를 담당하는 모듈은 표준 C코드로 구현한다. 톤 검출기에는 신호 에너지 레벨 테스트, Twist 테스트 등과 같은 톤 유효성 검사가 있다 (그림 4 참조). 이 과정에서 나누기 연산을 피하기 위해 문턱치와 비교 판단하는 부분은 곱셈으로 구현한다. 예를 들어 $if(x/y) > \alpha$ 를 $if(x) * y > \alpha$ 로 표현하

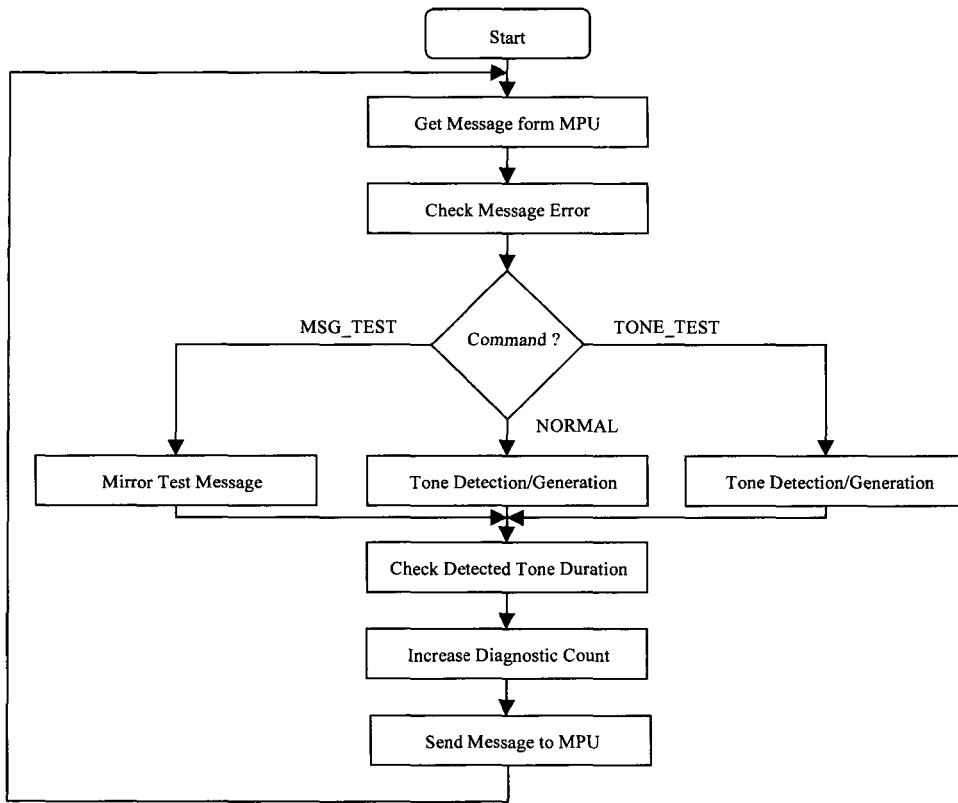


그림 11. DSP S/W 흐름도
Fig. 11. DSP software flowchart.

여 연산량을 줄인다.

그림 11은 실시간 DSP S/W 흐름도이다. DSP는 MPU로부터 메시지를 읽고 테스트 메시지가 아니면 정상적인 톤 검출 및 송출을 한 후 메시지를 MPU에 보낸다. 검출된 톤은 유효 시간 지속 여부를 보고 MPU에 보고할 지 판단한다. 톤 검출과 생성을 수행한 후 MPU에 메시지를 보낸다. 만약 같은 톤이 지속될 경우에 보고 여부는 MPU가 미리 DSP에게 지정한다. 디버깅을 위한 DSP 상태 로그 기능과 메시지 테스트와 톤 테스트는 DSP 자체 시험 기능이다. DSP는 일종의 watchdog 기능으로서 진단 (diagnostic) 카운트를 증가시켜 MPU에 정기적으로 DSP의 이상 유무를 알려준다. 만약 DSP의 상태가 비정상 상태라고 판단되면 MPU는 HPI를 통하여 DSP 프로그램을 다운로드하고 DSP를 다시 부팅한 후 초기화 한다.

IV. 성능 평가

O62x 시뮬레이터를 사용하여 연산량을 측정하였다. 최적화 옵션 -o3로 설정하고 clock() 함수 측정 방법[8]을 사용한다. 표 2는 메시지 통신과 PCM 입출력 부분을 제외한 순수한 R2MFC 송수신기의 연산량을 보여준다. 표 2에서 ITU-T의 basic_op.c를 사용한 경우 47 채널이며, basic_op.c를 intrinsic 함수로 대체한 경우 373채널, 핵심 모듈을 최적화한 경우 781 채널의 연산량을 보여준다. 실제 구현에서는 일반적으로 메시지 통신 및 입출력 등에 필요한 오버헤드 (overhead) 연산량을 DSP 연산량 자원의 10 % 내로 고려하여 채널 용량을 계산한다. 표 3은 NIC 보드에 실제 구현된 64 채널 R2MFC 송수신기의 메모리 사용량이다. DTMF 송수신기는 R2MFC와 핵심 모듈

표 2. R2MFC 송수신기 연산량
Table 2. R2MFC receiver/sender complexity.

	Clocks	channels at 100 Mbps @ 100ms
Basic operation	67380	47
Intrinsic	8510	373
Intrinsic + ASM + C code optimization	4018	781

표 3. 메모리 사용량 (64 채널)
Table 3. Memory usage (64 channels).

	Size (Byte)
PMEM	0x00005F9B (24470)
DMEM	0x000088B0 (34992)
IOMEM	0x00006600 (26112)
MSGMEM	0x00000200 (512)

표 4. R2MFC 수신 성능

Table 4. R2MFC receiver performance.

R2 (ITU-T Q.455) Receiver	
Frequency deviation: -10 Hz ~ +10 Hz	Passed
Operation level: -5 ~ -35 dBm	Passed
Non-operation level: Min -5 dBm	Passed
Adjacent twist: 5 dB	Passed
Non adjacent twist: 7 dB	Passed
Non operation duration: Max 7 ms	Passed

을 공유하므로 연산량과 메모리 사용량에 있어서 R2MFC와 유사하다.

R2MFC/DTMF 송신기 성능은 스펙트럼 분석기 (Dynamic Spectrum Analyzer)를 이용한 시험 결과 ITU-T Q.450[4]와 Q.23 [7]을 만족하였으며, R2MFC/DTMF 수신기 성능은 전화 신호 발생기 (Telephone Signal Generator)를 사용하여 시험한 결과, 각각 표 4와 표 5에서와 같이 ITU-T Q.455[5]와 Q.24[8] 기준을 만족하였다. 또한 LCS (Local Call Simulator) 장비를 이용한 장시간 호 완료율 시험을 한 결과 50,000 호당 0 실패를 보여 100% 호 완료율을 보여 주었다.

V. 결론

본 논문에서는 R2MFC/DTMF 송수신기를 VLIW DSP를 사용하여 구현하였으며, 이를 대용량 채널 VoIP 게이트웨이 시스템에 적용하였다. R2MFC/DTMF 수신기는 Lorentz 필터를 사용하고, 송신기는 고조파 공명 필터를 사용하여 실시간 구현하였다. 최적화된 코드는 250 MHz TMS320C620에서 780 채널의 연산량을 보였으며, 구현된 코드는 TMS320C620 조건을 만족하였다. DSP S/W는 내부 메모리만을 사용하고 PCM 입출력은 DMA와 McBSP를 사용하여 구현하였으며 CPU와의 메시지 통신은 HPI (XBUS)를 통해 수행하였다. 실제 구현된 VoIP 게이트웨이 시스템의 NIC에는 두 개의 DSP를 장착하여 동시에 128 채널 시그널링을 수행한다. 개발된 톤 송수신기는 교환기와 같이 R2MFC/DTMF 시그널링을 필요로 하는 어떠한 시스템에도 적용 가능하다.

참고 문헌

1. 김덕환, 김승환, 디지털 전자교환 시스템, 문운당, 1995.

표 5. DTMF 수신 성능

Table 5. DTMF receiver performance.

DTMF (ITU-T Q.24 AT&T)	
Frequency deviation: -1.5 ~ +1.5 %	Passed
Non-operation deviation: Min 3.5 %	Passed
Operation level: 0 ~ -25 dBm	Passed
Non-operation level: Max -55 dBm	Passed
Forward twist: Max 4 dB	Passed
Reverse twist: Max 8 dB	Passed
Operation duration: Min 40 ms	Passed
Non-operation duration: Max 23 ms	Passed
Pause duration: Min 40 ms	Passed
False Rate: 1 false/3000 calls for digit 0~9 1 false/2000 calls for digit 0~9,*,# 1 false/1500 calls for digit 0~9,*,#,A~D	Passed

2. ITU-T Recommendation Q.440, Specifications of Signalling System R2 Interregister Signalling: General, 1993.

3. ITU-T Recommendation Q.441, Specifications of Signalling System R2 Interregister: Signalling Code, 1993.

4. ITU-T Recommendation Q.454, Specifications of Signalling System R2 Interregister Signalling Multifrequency Signalling Equipment: Sending Part of the Multifrequency Signalling Equipment, 1993.

5. ITU-T Recommendation Q.455, Specifications of Signalling System R2 Interregister Signalling Multifrequency Signalling Equipment: Receiving Part of the Multifrequency Signalling Equipment, 1993.

6. ITU-T Recommendation Q.440, Specifications of Signalling System R2MFC Interregister Signalling: General, 1993.

7. ITU-T Recommendation Q.23, Technical Features of Push-Button Telephone Sets, 1993.

8. ITU-T Recommendation Q.24, Multifrequency Push-Button Signal Reception, 1993.

9. J. Davidson and J. Peters, *Voice over IP Fundamentals*, Cisco Press, 2000.

10. B. Douskai, *IP Telephony*, Hewlett-Packard Professional Books, 2000.

11. LG전자, AX-3100 미디어게이트웨이 시스템 매뉴얼, 2002.

12. Texas Instruments, TMS320C62x/C67x CPU and Instruction Set Reference Guide, 1998.

13. J. G. Proakis and D. G. Manolakis, *Introduction to Digital Signal Processing*, Macmillan Publishing Company, 1989.

14. Texas Instruments, Application Report SPRA073, DSP Solutions for Telephony and Data/Facsimile Modems, 1997.

15. Y.-S. Choi, C.-K. Ahn, T.-I. Kang, "Implementation of a Multi-channel G.723.1 Annex A Using a DSP," *Proc. of ICCE*, 320-321, 2002.

16. 최용수, 김태익, "고성능 DSP를 이용한 G.723.1 Annex A 구현," *한국음향학회지*, 21 (7), 648-655, 2002.

17. Texas Instruments, TMS320C6000 Peripherals Reference Guide, 1999.

18. Texas Instruments Application Report SPRA559, A Multi-channel Serial Port Driver Using DMA on the TMS320C6000 DSP, 1999.

저자 약력

• 최 용 수 (Yong-Soo Choi)



1993년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1995년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1999년: 연세대학교 전기컴퓨터공학과 (공학박사)
1999년~현재: LG전자 기업통신연구소 책임연구원
* 주관심분야: 음성신호처리, 음성부호화, 음성명가, VoIP, 실시간 DSP 응용

• 함 정 표 (Jeong-pyo Ham)



1997년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1999년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1999년~현재: LG전자 기업통신연구소 주임연구원
* 주관심분야: 디지털 신호처리, 음성 인식, VoIP, 실시간 DSP 응용

• 조 성 범 (Sung-Bum Cho)



1987년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1990년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1990년~현재: LG전자 기업통신연구소 책임연구원
* 주관심분야: 음성 신호처리, VoIP, 음성 사서함, 지능망

• 강 태 익 (Tae-Ik Kang)



1979년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1981년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1990년: Polytechnic University 전기공학과 (공학박사)
1981년~1984년: 육군사관학교 조교수
1990년~현재: LG전자 기업통신연구소 책임연구원
* 주관심분야: 디지털신호처리, 영상/음성 신호처리, VoIP, ATM

• 윤 정 현 (Jeong-Hyeon Yun)



1987년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1989년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1999년: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
1999년~2000년: LG전자 네트워크연구소 책임연구원
2001년~현재: 한국산업기술대학교 게임공학과 조교수
* 주관심분야: 디지털신호처리, 게임프로그래밍, 게임 음향처리