

# TMS320C542를 이용한 INMARSAT-M Baseband Modem 개발

손교훈\* · 배정철\*\* · 임종근\*\* · 김재형\*

\*창원대학교

\*\* (주)삼양무선

## INMARSAT-M Baseband Modem development using TMS320C542

Kyo-hun Son\* · Jung-Chul Bae\*\* · Jong-Kun Lim\*\* · Jae-hyung Kim\*

\*Changwon National University

\*\* Samyang Radio co.

E-mail : miracle0@chollian.net

### 요 약

본 논문에서는 DSP(Digital Signal Processor)를 이용해 INMARSAT-M 위성통신용 단말기 중의 변·복조부를 설계하였다. R-RC(Root Raised cosine) 필터에 의해 대역제한된 OQPSK 파형의 발생과 디지털 정합필터(Matched filter)를 이용한 OQPSK 복조, 부호율 1/2이고 구속장이 7인 길쌈부호기 및 클럭 복구(Clock recovery)의 구현 알고리즘을 C언어와 어셈블리어로 작성하고, 모뎀을 실제 제작하여 변조기능, 복조기능으로 나누어서 동작 특성을 살펴보았다.

### I. 서 론

INMARSAT(The International Maritime Satellite organization) 위성 네트워크는 4개의 정지궤도 위성과 많은 지구국으로 구성된 범 세계적 통신 시스템이다. INMARSAT은 고품질의 전화, 팩스, 텔렉스 및 데이터 통신을 인공위성을 이용하여 전세계의 선박 또는 지상의 사용자들에게 제공한다.

INMARSAT의 통신 시스템은 A, B, C 그리고 M 시스템이 있으며, 모두 소형 경량화된 단말기로 동작하도록 설계되어 있다. 그 중 B와 M 시스템은 최근의 DSP기술을 적용하여 전력 및 대역폭 효율을 높인 디지털 시스템이다. INMARSAT-M은 INMARSAT-B에 기초하고 있으나, B보다는 저가이고 육상 고정국 사용자(Fixed land user)와 이동국(Mobile station) 사이의 중질의 전화 서비스이다. 이동국은 육상 이동국(Land mobile)과 해상 이동국(Maritime mobile)으로 나눌 수 있고, 일반적인 전화 서비스 이외에도 긴급전화 서비스도 지원하고 있다.

본 논문에서는 TI(Texas Instrument)에서 개발한 TMS320시리즈 중에서 'C542를 이용하여 INMARSAT-M 위성통신 단말기의 Baseband 모뎀을 설계하였다. 모뎀은 FEC(Forward Error Correction), OQPSK 변조기 및 복조기, 비터비

(Viterbi) 복호기로 구성된다. R-RC (Root Raised cosine)에 의해 대역 제한된 OQPSK 파형의 발생과 디지털 정합필터(Matched filter)를 이용한 OQPSK 복조 그리고 부호율 1/2이고 구속장이 7인 길쌈부호기 및 클럭 복구(Clock recovery)의 구현 알고리즘을 C언어와 어셈블리어로 작성하였다. 본 논문에서는 통신용 모뎀 구현에 적합한 TMS320C542를 이용하였으며, 최소한의 하드웨어를 사용하기 위하여 대부분의 기능 즉 변·복조기, 클럭 복구 및 비터비 복호기능을 소프트웨어로 구현하여 내장하였다. 2장에서는 이들 구성의 이론적 배경을 간단히 설명하고 3장에서는 하드웨어와 프로그램, 그리고 4장에서는 설계된 모뎀을 실제 제작하여 변조기능과 복조기능에 대하여 그 동작특성 및 성능을 살펴보기로 한다.

### II. INMARSAT-M 단말기 변복조 시스템 개요

그림 1과 그림 2는 INMARSAT-M 단말기의 변복조 시스템에 대한 개략적인 블록도를 나타낸 것이다. 변조부를 살펴보면 소스 코딩된 음성이나 데이터 및 팩시밀리 데이터를 받아들여지며 이때 데이터율은 6.4kbit/s이다. 사용자의 인증을 위하여 스크램블러를 거친 신호는 FEC를 위하여 부호율 3/4 및 구속장 7을 가지는 길쌈 부호기에 의하여 부호화되며, 클럭 복구 및 프레임 동기들

위한 부호어를 첨가한다. 결과적으로 전송 데이터의 속도는 8kbps가 된다[1].

INMARSAT-M 규격을 정리하면 다음과 같다.

① 동작 모드 - LES(Land Earth Station)와 MES(Mobile Earth Station)간에 SCPC(Single Channel Per Carrier) 채널

- Voice mode : 6.4kbit/s(8kbit/s)
- Data mode : 2.4kbit/s(8kbit/s)
- In-band signalling mode

② 변조 - OQPSK

③ 기저대역 필터링

- R-RC pulse shaping frequency response
- Roll-off factor : 0.6

④ 복조 - 기저대역 변조와 복조

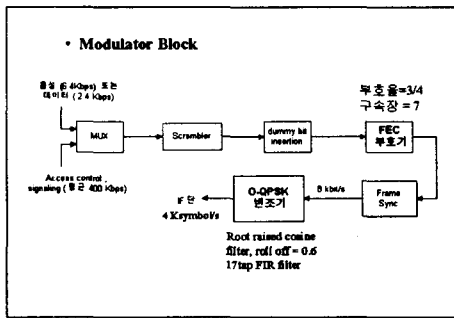


그림 1. INMARSAT-M 단말기 변조부의 블록도

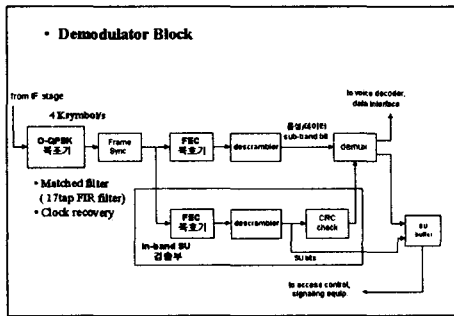


그림 2. INMARSAT-M 단말기 복조부의 블록도

### 1. INMARSAT-M 단말기 변조부

#### 1.1 길쌈 부호(Convolutional coding)

길쌈 부호는 비트-레벨(bit-level) 코딩기술로써 데이터를 전부 받지않고 임의의 길이의 데이터를 받은 후 디코딩이 가능하고, 블록 동기가 필요없다는 점에서 장거리 통신과 데이터 통신에서 사

용된다.

INMARSAT-M 통신 시스템에서는 부호율이 1/2 이고, 구속장이 7인 64-상태의 길쌈 부호와 부호율이 3/4이고, 구속장이 7인 64-상태 길쌈 부호를 사용한다. 여기서 3/4 부호는 1/2 부호를 모 부호로 하여 얻는 punctured 부호이다.

#### 1.2 OQPSK 변조기

OQPSK(Offset Quadrature Phase Shift Keying) 변조기법은 비선형, 대역제한 통신 채널에서 일반적인 QPSK를 대신하여 흔히 사용되는데 그 이유는 낮은 레벨의 사이드로브(sidelobe)를 가지는 특성 때문이다. 또한 정합필터 동기복조, 선형 무한대역 및 가산성 백색잡음 채널을 가정한다면 BPSK와 동일한 성능을 얻을 수 있다. 또한 캐리어의 복조에서도 OQPSK가 유리하다.

#### 1.3 송신단 필터 - Root Raised Cosine filter

수신기에서 인접 심볼간의 간섭(ISI : Inter symbol Interference)이 발생하지 않기 위한 펄스의 형태로써 Nyquist에 의해 제안된  $\text{sinc}(t/T)$  펄스는 실제적으로 실현 불가능한데, 그 이유는 이상적인 대역제한 특성과 무한대의 시간지연 그리고 클럭 복구에서의 약간의 오차에 의해서도 ISI가 크게 발생한다는 점 때문이다. 즉 심볼 타이밍이 매우 정확해야 한다는 제약이 따른다. 따라서 Nyquist의 이론적 최소 대역폭보다 큰 대역폭을 부여하여 이러한 문제점들을 해결하는 대표적인 것이 raised cosine filter이다.

INMARSAT-M 시스템 규격에서는 대역제한 필터로서 R-RC(Root-raised cosine) 필터를 사용하고 있다. R-RC 필터의 전달함수와 송신기 필터 응답은 각각 다음과 같이 주어진다[1].

$$H(f) = \begin{cases} 1 & \text{for } 0 < f < f_n(1-a) \\ \sqrt{\frac{1}{2}} [1 - \sin \frac{\pi}{2a} (\frac{f}{f_n} - 1)] & \text{for } f_n(1-a) < f < f_n \\ 0 & \text{for } f > f_n(1+a) \end{cases} \quad (1)$$

$$G(f) = H(f) \frac{(\frac{\pi f}{2f_n})}{\sin(\frac{\pi f}{2f_n})} \quad (2)$$

그림 3은  $a=0$ ,  $a=0$ . 일 경우 R-RC 필터의 주파수 특성을 나타낸 것이다.

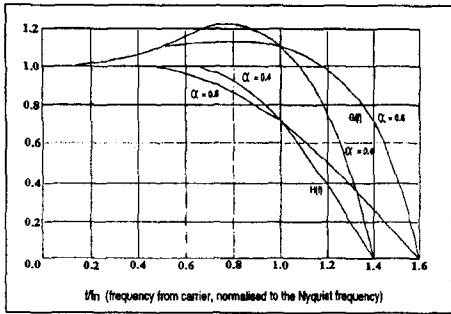


그림 3. Root raised cosine filter의 주파수 특성

## 2. INMARSAT-M 단말기 복조부

### 2.1 수신단 필터 - Matched filter

송신기에서 기저대역 I와 Q 신호가 R-RC 필터를 통해 여과(filtering)되기 때문에 수신기의 정합필터는 같은 주파수에 응답을 하도록 설계되고, 따라서 송·수신기 응답은 raised cosine이 된다.

### 2.2 비터비 복호(Viterbi decoding)

길쌈부호와 비터비 복호 알고리즘은 에러 조정 코딩을 위해 장거리 통신 시스템에 널리 사용되는 방법이다. 비터비 알고리즘은 ACS(Add-Compare-Select) 연산을 수 없이 반복하기 때문에 계산적으로 강력한 루틴을 요구한다. 이에 '54x는 전용하드웨어와 명령어로서 비터비 알고리즘을 지원하기 때문에 빠른 ACS 동작을 수행할 수 있다. 다음은 비터비 알고리즘을 나타낸 것이다.

for each frame

```
{
  Initialize metrics for each symbol :
  {
    Metric update or Add-Compare-Select(ACS)
    For each delay state :
    {
      로컬 거리(Local distance) 계산
      가능한 각 경로에 대한 누적 메트릭 계산
      각 상태에서의 생존 경로(survival path) 선택:
      최소 거리를 가지는 경로
      선택된 경로에 대한 정보를 저장(1/2 부호의
      경우 1 비트로 표현이 가능)
    }
  }
  Traceback
  for each bit in a frame (or for minimum #bits)
  {
    현 상태 값의 전이 정보의 위치 계산
  }
}
```

```
  전이 비트를 판독
  상태를 수정(전이 비트가 현 상태의 LSB로 쉬프트되면서 새로운 상태를 생성 및 복구 데이터 저장)
}
```

```
reverse output bit ordering
}
```

## III. TMS320C542를 이용한 모뎀 구현

### 1. TMS320C542의 개요

'C542는 텍사스 인스트루먼트사(TI)의 'C54x 시리즈의 16비트 고정 소수점 DSP이다. 'C542는 10K워드×16비트 Dual-access on-chip RAM과 2K워드×16비트 Single-access on-chip ROM을 내장하고 있어, 외부에 메모리를 확장하지 않더라도 상당한 어플리케이션을 동작시킬 수 있다. 머신 사이클은 25nS(40 MIPS)으로 동작한다.

### 2. 모뎀의 하드웨어

두 채널의 AIC(Analog Interface Circuit)를 두 개의 TMS320C542 DSP 직렬 포트와 연결하여 동시에 샘플링이 되도록 하였다. 그림 4에 MODEM 개발환경 구성도를 나타내었다.

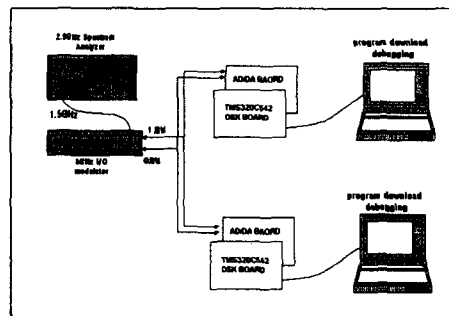


그림 4. INMARSAT-M Baseband modem 개발환경 구성도

### 3. 모뎀 프로그램 작성

#### 3.1 변조기 구현(Modulator Implementation)

모뎀의 데이터율은 8kbps이고, 모든 심볼이 2비트로 구성되어있기 때문에 QPSK의 심볼율은 4kbps이다. 우선 폴-오프 팩터가 0.6인 17-tap 펄스 성형 FIR 필터를 설계하였고, 계수는 프로그램 메모리에 저장된다. 같은 계수를 I 채널과 Q 채널에 사용하고, 필터 입력이 되는 I와 Q의 값은 심볼 구간이 끝날 때까지 변하지 않는다. 이것은 첫 번째 인터럽트에서 look-up 테이블을 읽고, 이

값은 다음 세 개의 인터럽트에서는 변하지 않는다는 것은 의미한다. 따라서 여과에 보관 기술이 적용된다. 여기서 보관 팩터는 4가 된다. 따라서 곱셈에 사용되는 계수의 수는 5개로 줄어든다. 이러한 보관 기술은 일반적인 필터를 실행하는데 필요한 시간의 3/4를 줄여준다.

### 3.2 복조기 구현(Demodulation Implementation)

복조기는 I와 Q 정합 필터와 클럭 복귀 루프가 있다. 변조기와는 달리 클럭 복귀 루프가 있다는 것을 제외하면 4개의 인터럽트에서 복조가 실행되는 것은 변조부와 같다.

입력 I와 Q 정합 필터는 R-RC 주파수 응답을 한다. 변조기와 유사하게 17-tap FIR 필터이다. 이러한 필터는 샘플링된 I와 Q값은 항상 다르기 때문에 보관 필터로써 구현할 수 없다. 따라서 심볼당 4개의 샘플로 복조기를 구현한다. I와 Q 필터는 변조기와 마찬가지로 순환 버퍼를 사용하여 구현하였다.

### 3.3 클럭 복귀(Clock recovery)

입력된 I 채널과 Q 채널을 정합 필터를 통과시키고, 입력된 I 채널과 Q 채널중에 반주기 앞선 I 채널 입력을 반주기 딜레이를 시켜서 I 채널과 Q 채널의 동기를 맞추어서 같은 샘플주기에서 샘플링이 가능하도록 하였다. 그리고 이 신호를 타이밍 오차 검출기에 입력하여 제로 교차점을 구한다. 제로 교차점은

$$e(k) = \text{Re}[(r_x)^*(t - \frac{T}{2})(r_x(t)) - r_x(t - \dots)] \quad (3)$$

으로 구하고, 여기서  $r_x$ 는 정합 필터의 출력이고  $(\cdot)^*$ 는 공액, 그리고  $T$ 는 심볼 주기이다.

### 3.4 비터비 복호(Viterbi decoding)

비터비 복호기 프로그램은 초기화, 메트릭 수정(Metric update), Traceback의 3 단계로 나눌 수 있다.

#### ■ 초기화

비터비 복호를 하기전에, 모듈을 구성하고 요구되는 버퍼와 포인터를 셋 한다.

#### ■ 메트릭 수정(Metric update)

비터비 디코딩시 각 심볼 구간 동안에 모든 상태가 수정되기 때문에 대부분의 시간을 메트릭 수정하는데 소모된다. 'C54x에는 CSSU(Compare

Select and Store Unit)가 내장되어있기 때문에 이러한 시간을 줄일 수 있다. 메트릭 수정은 로컬 거리 계산, 전체 거리 축적, 최소 거리를 선택하고 저장, 그리고 선택한 패스에 대한 indication을 저장하는 4 단계로 실행된다.

① 로컬 거리 계산 : 로컬 거리는 곱의 합으로 나타내고, 부호율이 1/2인 시스템에서는 절반의 부호가 반대이기 때문에 2<sup>n</sup>개의 로컬 거리가 계산된다.

② 전체 거리 축적 : ALU와 ACC, 그리고 명령을 나눌 수 있기 때문에 만약 로컬 거리가 T 레지스터에 저장된다면, 'C54x는 단일 사이클동안에 두 개의 경로에 대한 메트릭을 축적할 수 있다. DADST(Dual Add/Subtract instruction)은 T 레지스터를 메모리의 내용에 더하여, ACC의 하위 워드에 저장하고, 다음 메모리 위치의 값을 T 레지스터에서 뺀 다음, ACC의 상위 워드에 그 결과를 저장한다. DADST는 하위 ACC에 뺄셈 결과를 저장하고, 상위 ACC에 덧셈 결과를 저장한다.

③ 최소 거리를 선택하고 저장한다.

④ 선택한 경로에 대한 indication을 저장한다.

#### ■ Traceback function

Traceback은 심볼 구간당 하나의 비트가 출력되기 때문에 메트릭 수정보다 처리 양이 적다. 먼저 현 상태 값의 전이 정보의 위치를 계산하고, 전이 비트를 판독해서, 상태를 수정한다.

## IV. 실험 및 결론

모델의 각 과정에서 소요되는 명령 사이클은 표 1과 같다. 전 과정에서 총 346 개의 명령이 필요한데, TMS320C542는 2500 개의 1 사이클 명령 또는 1250 개의 2 사이클 명령을 제공함으로 충분히 만족한다.

Contents of basic processing routine	346 instructions
Tx. Filter(17-tap FIR)	5*2+10 instructions
Convolutional encoder & OQPSK나	about 10 instructions
Rx. Filter(17-tap FIR)	20*2+10 instructions
Clock recovery	20 instructions
Viterbi Decoder	8*32+10 instructions

표 1. 과정별 소요 명령수

### 1. 변조기 성능 시험

변조기의 특성을 시험하기 위하여 먼저 호스트 PC로부터 길쌘부호화한 메시지를 입력하고, 이 데이터를 변조하여 I 채널과 Q 채널에 출력한 파형을 검사하였고, 이를 디지털 신호 발생기로 입력하여 1.5GHz의 캐리어 주파수에 실었다. 또한 이 신호를 스펙트럼 분석기를 통하여 출력하였다.

그림 5에서 나타난 파형은 심볼율이 4Kbps/s이다. 따라서  $T=250\mu\text{s}$ 이고,  $T/2$ 만큼 딜레이된 Q 채널의 신호를 보면 약  $125\mu\text{s}$ 임을 알 수 있다. 즉 두 신호 사이의 시간 지연은  $125\mu\text{s}$ 로써 약 8KHz이다. 그림 6은 스펙트럼 분석기로 측정된 파형을 나타내는데, INMARSAT-M 스펙트럼 송신 마스크에 만족함을 알 수 있다.

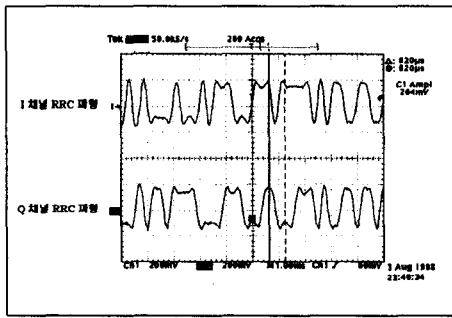


그림 5. 변조된 I 채널과 Q 채널의 출력 파형

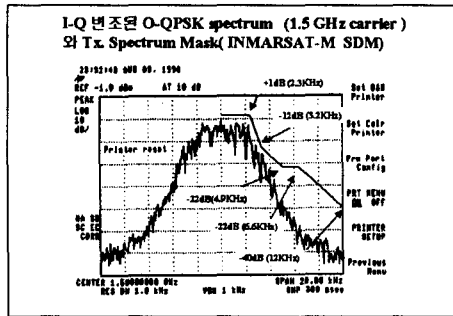


그림 6. 측정된 OQPSK의 스펙트럼 파형 (중심주파수 1.5GHz, 2KHz/div)

### 2. 복조기 성능 실험

수신기의 실험을 위해 두 개의 DSKplus(starter kit)를 사용하여 하나는 O-QPSK 신호를 출력하고, 다른 하나는 O-QPSK 파형을 수신하여 데이터를 복조하였다. 그림 7은 Matlab을 이용하여 클럭 복구회로를 시뮬레이션 한 결과를

나타낸 것이다. 여기서 x 표시는 복조기의 판단 순간을 나타내는 것이다. 그림 8에 구현된 복조기의 성능 실험 결과를 나타내었다. 마찬가지로 x 표시는 복조기의 판단 순간을 표현한 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 8개의 심볼 이내에 클럭 동기화가 이루어지는 것을 알 수 있다.

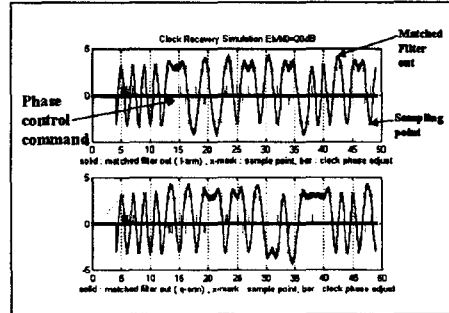


그림 7. 클럭 및 데이터 복구 시뮬레이션 결과 (by MATLAB)

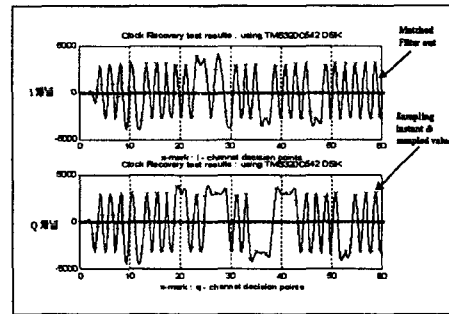


그림 8. 클럭 및 데이터 복구 실험 결과 (TMS320C542 DSK Board)

### 3. 결론

본 논문에서는 INMARSAT-M 위성통신용 단말기 중의 변·복조부 부분을 구현하기 위하여 DSP starter kit을 이용하였으며, 여기에는 채널이 하나이기 때문에 따로 AIC 보드를 만들어서 DSKplus에 확장하였다. 새로 추가한 AIC 보드의 특성을 실험해 본 결과, 요구조건에 만족함을 알 수 있었다. 따라서 I 채널과 Q 채널을 독립적으로 사용할 수 있다.

설계된 모델을 실제 제작하여 변조기능, 복조기능으로 나누어서 동작 특성을 살펴보았다. 변조부의 동작 특성을 측정해 본 결과, 변조신호 파형이 매우 안정하게 발생됨을 스펙트럼 분석기를 통해 확인할 수 있었다. 그리고 INMARSAT-M은 Burst mode로 데이터를 전송하므로 복조부의

클럭 복귀 회로에서 빠른 초기동기를 요구하며 그림 8의 실험결과에 의하면 10 심볼 이내에 초기동기가 이뤄짐을 알 수 있었다.

본 논문에서는 변·복조부의 기능을 소프트웨어로 구현하였기 때문에 사양의 변경 및 기능 추가가 용이하고, INMARSAT-M의 비터비 디코딩 기능을 추가하여 완전한 변·복조기를 개발할 수 있으리라 사료된다.

## V. 참고문헌

- [1] Terry Hart, "INMARSAT-M system definition manual," International Maritime Satellite Organization, 1995
- [2] Paul Ho, "Offset QPSK Modulation for the INMARSAT-B Satellite System," April 8, 1997
- [3] John G. Proakis, "Digital communications-Third Edition," McGraw-Hill, 1995
- [4] Bernard Sklar, "Digital Communications fundamentals and applications," Prentice-Hall International, Inc, 1998
- [5] Steven A. Tretter, "Communication System Design using DSP Algorithms," Plenum Press, 1995
- [6] Henry Hendrix, "Viterbi Decoding Techniques in the TMS320C54x Family," Texas Instruments, 1996
- [7] "TMS320C54x User's Guide," Digital Signal Processing Products, Texas Instruments, 1995
- [8] "TMS320C54x DSKplus," User's Guide, Digital Signal Processing Solutions, 1996
- [9] "TLC320AC01C Single-Supply Analog Interface Circuit Data Manual," Mixed-Signal Products, Texas Instruments, 1996
- [10] "TMS320C54x Serial Ports," Digital Signal Processing Products, Texas Instruments, 1995
- [11] Paul Ho, "Convolutional Coding/Decoding for INMARSAT-B Satellite System Performance of the Combined Codec and OQPSK MODEM in the Presence of Adjacent Channel Interference and Timing Error," June 25, 1997
- [12] Weizheng Wang, "Communication Toolbox," The MATHWORKS, 1996
- [13] "TMS320C54x Assembly Language Tools User's Guide," Microprocessor Development Systems, Texas Instruments, 1995
- [14] "TMS320C54x Optimizing C Compiler," Microprocessor Development Systems, Texas Instruments, 1995
- [15] "TMS320C5xx C Source Debugger User's Guide," Microprocessor Development Systems, Texas Instruments, 1995
- [16] "Designing with the TLC320AC01 Analog Interface for DSPs," Texas Instruments, 1995
- [17] "TMS320C54x Code Generation Tools Release 1.10," Microprocessor Development Systems, Texas Instruments, 1995
- [18] "TMS320C54x Evaluation Module Technical Reference," Microprocessor Development Systems, Texas Instruments, May 1995
- [19] P.Geremia, "PC/TMS320C54x Evaluation Module Communication Interface," Texas Instruments, March 1997
- [20] Balaji Srinivasan, "IS-54 Digital Cellular Modem Implementation on the TMS320C5x," Digital Signal Processing Applications, Texas Instruments
- [21] "Low voltage Modem Platform based on TMS320LC56," Texas Instruments 1997
- [22] "Digital Signal Processing Applications with the TMS320 Family," Digital Signal Processor Products
- [23] "TMS320C54x Serial Ports," Digital Signal Processing Products, 1995
- [24] 박귀태, 이상락, "C 언어로 쉽게 쓰는 TMS320C31," 대영사, 1998
- [25] 차영배, "DSP(TMS320C50)," 다다미디어, 1997