

TMS320C30을 이용한 적응등화기의 실시간 구현

정회원 윤 유 석*, 최 승 원**, 전 완 중*

Real-Time Implementation of an Adaptive Equalizer Utilizing TMS320C30 DSP

Yu Suk Yun*, Seungwon Choi**, Wanjong Chun* *Regular Members*

*본 연구는 한국통신의 부분적 지원으로(과제번호 95-101) 수행되었음.

요 약

본 논문은 TMS320C30을 이용하여 적응 등화기를 실시간으로 구현하기 위한 설계 방법 및 구현한 적응 등화기의 성능 분석을 제시한다. 고려된 신호 환경은 광대역 이동 통신 채널로서 매 샘플 시간마다 상호 간섭의 크기와 위상이 도플러 천이량에 의해 계속 변화하는 시변환 환경이다. 학습 기간 중의 최적해를 계산하기 위한 공액 기울기법(Conjugate Gradient Method: CGM)과 데이터 기간 중의 시변환에 적응하기 위한 LMS (Least Mean Square) 알고리즘을 코딩하여 설정된 TMS320C30의 메모리 영역에 넣고 모델링된 시분할 다중 접속 방식의 이동 통신 채널에서 왜곡된 신호를 실시간으로 수신하여 처리한다. 여러 가지 불리한 신호 환경을 고려한 실험 데이터를 통하여 제안된 결정 귀환 등화기가 시분할 방식의 광대역 이동 통신 채널에서 도플러 천이 70Hz까지 존재하는 시변환 신호 환경을 신호대 잡음비 (SNR)가 10~20dB인 경우에 6msec 안에 심볼 오류확률 (Symbol Error Rate) $10^{-2} \sim 10^{-3}$ 의 값으로 적용할 수 있음을 확인하였다.

ABSTRACT

This paper presents a design procedure and performance analysis of an adaptive equalizer for the purpose of a real-time implementation with the TMS320C30. The signal environment considered in this paper is a wide-band mobile communication channel in which the magnitude and phase of the intersymbol interferences(ISI) varies at every sample period due to the Doppler shift. The conjugate gradient method(CGM) for obtaining the optimal weights during the training period and least mean square(LMS) algorithm for adapting the equalizer to the time-variance during the data period are coded and properly located in the memory of the DSP in order to real-time

* 한양대학교 전기 및 전자공학과
** 삼성전자 정보통신개발센터
論文番號 : 96393-1217
接受日字 : 1996年 12月 17日

process the received signal that have been corrupted in TDMA mobile communication channel.

Through the numerical results obtained in various adverse signal environments, it is concluded that the suggested DFE can adapt within about 6ms to a time-varying signal environment that encounters a Doppler shift of up to 70Hz in TDMA mobile communications resulting in the symbol error rate(SER) in the order of $10^{-2} \sim 10^{-3}$ when the ratio of SNR lies in 10~20dB.

I. 서 론

유선 통신에서 주어진 채널 대역폭보다 데이터의 전송 속도가 큰 경우, 또는 무선 통신에서 여러 전달 경로가 존재하게 되는 경우 인접 심볼간 상호 간섭(Inter-symbol Interference: ISI)[1][2]이라는 채널 왜곡 현상이 발생하게 된다. 이와 같은 통신 채널의 특성은 주파수 선택적 페이딩 채널(Frequency Selective Fading Channel)로 모델링될 수 있다. 또 이동 통신 상황에서는 송신측과 수신측의 상대적인 이동으로 인해 채널의 특성이 시간에 따라 변화하기 때문에 인접 심볼간 상호 간섭의 크기 및 위상이 매 샘플 시간에 따라 계속 변화한다. 이러한 시변환 상호 간섭 문제를 극복하기 위해서는 수신측에 주어진 채널을 등화할 수 있는 최적의 수신기를 가지고 있어야 하며 더욱이 이 수신기는 변화하는 채널 특성을 추적할 수 있는 적응 수신기이어야 한다. 이와 같은 인접 심볼간 간섭과 시간에 따라 변화하는 채널 특성을 추적해야 하는 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 적응 알고리즘을 이용하여 그 탭계수를 갱신하는 적응 등화기를 사용한다. 적응 등화기의 기본적인 개념은, 등화기의 전달 함수가 주어진 채널의 전달 함수의 역수가 되도록 탭계수를 조정함으로써 채널에서의 선형적인 왜곡을 등화하여 인접 심볼간 간섭이라는 채널 왜곡 효과를 없애는 것이며 또, 적응 알고리즘을 이용하여 주어진 시간에서의 채널 특성을 등화할 수 있도록 탭계수를 계속적으로 갱신해 나가는 것이다.

등화기에는 선형 등화기, 선형 귀환 등화기, 결정 귀환 등화기와 같이 여러 종류가 있다. 선형 등화기의 경우 채널 전달 함수의 영점이 z 평면상에서의 단위 원에 가까이 있으면 유한한 탭으로는 등화시킬 수 없는 문제점이 있다. 이와 같은 문제를 고려하여, 본 논문에서는 판정한 심볼을 귀환하여 다음 수신 심볼을 수신하는데 이용하는 구조를 가진 결정 귀환 등화기(Decision Feedback Equalizer: DFE)를 사용한다.

또한, 시간에 따라 변화하는 채널의 특성을 추적, 그에 따라 등화기 탭계수를 실시간으로 갱신하기 위하여 본 논문에서는 Conjugate Gradient Method (CGM)와 Least Mean Square (LMS) 알고리즘을 조합하여 사용한다. 본 논문에서는 위와 같은 결정 귀환 등화기를 구현하고 그의 성능을 평가하기 위해 Texas Instrument사의 TMS320C30칩이 탑재된 평가 보드 (Evaluation Module)를 이용한다. IBM PC의 ISA 슬롯에 설치하여 사용할 수 있는 평가 보드 내의 TMS320C30 DSP 칩으로 결정 귀환 등화기를 구현하고 시분할(Time Division Multiple Access: TDMA) 방식의 이동 통신 채널에서 왜곡된 신호를 PC에서 발생, PC와 평가보드간의 데이터 교환을 통해 그 성능과 실시간 수행 능력을 확인한다.

결정 귀환 등화기를 DSP 칩으로 구현하기에 앞서 II.장에서는 결정 귀환 등화기와 CGM, LMS 알고리즘에 대해 설명하고, 프레임의 구성과 이에 따른 적용 알고리즘을 적용하는 방법에 대해 알아본다. III.장에서는 등화기의 설계에 바탕이 되는 채널의 모델링에 대해 자세히 살펴본다. 본 논문의 대상이 되는 이동 통신의 채널은 주파수 선택적 페이딩 특성을 가진 채널로 모델링된다. IV.장에서는 DSP칩으로 결정 귀환 등화기를 구현하는 절차를 제시한다. 먼저 DSP칩의 주요한 특징을 알아보고 구현하는 과정을 등화기의 구조와 알고리즘으로 나누어 각각을 알아 본다. 마지막으로 V.장에서는 구현한 등화기의 성능을 분석하고 실시간 처리 능력을 제시함으로써 응용 가능성을 알아본다.

II. 결정 귀환 등화기와 적응 알고리즘

2.1 결정 귀환 등화기

등화기는 광대역 시변환 채널에서 발생하는 주파수 선택적 페이딩으로 인한 송신 신호의 인접 심볼간 상호 간섭 왜곡을 보상해 주는 시스템에 이용되고 있

다.[3] 채널 특성을 등화함으로써 인접 심볼간 상호 간섭 왜곡을 보상하는 방식에는 Zero Forcing(ZF), Minimum Mean Squared Error(MMSE), 그리고 Maximum Likelihood Sequential Estimation(MLSE) 방식등이 있다. ZF 등화기나 MMSE 등화기는 다수의 딜레이 탭과 그에 해당하는 탭 계수로 이루어진 구조를 가지며 MLSE 등화기는 Trellis와 같은 구조를 가진다. 딜레이 탭 구조를 가지는 등화기는 그 형태에 따라 선형과 비선형이 있고, 판정한 심볼을 귀환하느냐 안 하느냐에 따라 귀환과 비귀환으로 나눌 수 있다.

본 논문에서 다루고 있는 결정 귀환 등화기[4][5]는 비선형의 등화기로서 선형 등화기보다 동일 신호 환경 하에서 평균적으로 우수한 성능을 보장함이 입증되어 있다. 결정 귀환 등화기의 우월성에 관한 주원인은 선형 등화기에서 간섭 신호의 크기가 송신 신호의 수신 크기와 서로 비슷할 때에 유한개의 탭으로는 제대로 재생할 수 없는 단점을 없앤 것이다. 이 등화기를 시간에 따라 변하는 주파수 선택적 페이딩 채널에 적용하기 위해서는 등화기의 탭 계수가 입력되는 신호에 따라서 채널 특성에 적응하며 변화하여야 한다. 매 프레임에 초기 학습 기간을 설정하여 이 기간 중의 수신 심볼은 수신측에 알려져 있다고 생각한다. 학습 기간에는 빠른 수렴 속도를 가진 알고리즘을 이용하여 주어진 채널에 최적인 탭 계수를 구하게 되고 데이터 기간에는 상대적으로 복잡도가 작은 알고리즘을 이용하여 변하는 채널 특성을 추적하여 탭 계수를 매 수신 샘플마다 갱신하게 된다.

학습기간에 사용하는 알고리즘은 복잡도가 높은 반면 수렴성이 좋은 특성을 가지며 이와 같은 특성을 가진 것으로는 공액 기울기 방식 (Conjugate Gradient Method, CGM), Recursive Least Square (RLS)와 같은 알고리즘이 있다. 데이터기간에 사용하는 알고리즘은 수렴성이 매우 좋지는 못하지만 복잡도가 낮은 특성이 있으며 Least Mean Square (LMS), Normalized Least Mean Square (NLMS)와 같은 알고리즘이 있다. 본 논문에서는 학습 기간에는 CGM 알고리즘을 이용하여 수신 초기 결정 귀환 등화기의 탭 계수를 구하고 데이터 기간에는 LMS 알고리즘을 이용하여 탭 계수를 갱신한다. 결정 귀환 등화기는 그림 1에 도시된 바와 같이 귀환 전단부, 귀환 후단부와 판단부로 이루어져 있다. 귀환 전단부는 non-minimum phase 신호 환경 채널을 등화하며 귀환 후단부는 minimum phase 신호 환

경 채널을 등화한다. 판단부의 결과 신호는 귀환 후 단부로 귀환되어 다음 수신 심볼을 등화하는데 사용된다.

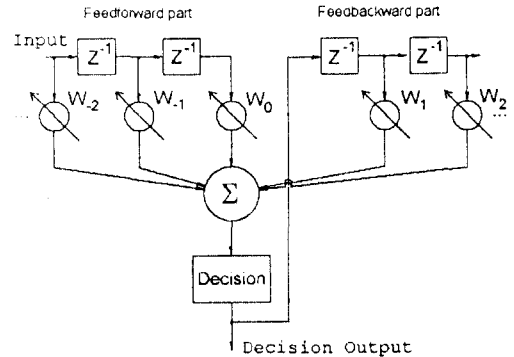


그림 1. 결정 귀환 등화기의 구조

2.2 적응 알고리즘-Conjugate Gradient Method

CGM 알고리즘은 미리 설정된 비용함수를 최소화하는 방향으로 \mathbf{w} 를 갱신하면서 $\mathbf{A}\mathbf{w} = \mathbf{y}$ 과 같은 행렬 방정식을 구하는 알고리즘이다. 본 논문에서 사용하는 CGM 알고리즘[6]의 비용함수는 $f(\mathbf{w}_n) = \|\mathbf{r}_n\|^2 = \mathbf{r}_n^H \cdot \mathbf{r}_n$ 과 같이 정의된다. 여기서, 잉여 벡터 $\mathbf{r}_n = \mathbf{r}_n - \mathbf{A}\mathbf{w}_n - \mathbf{y}$ 이다. 본 논문에서 사용하는 CGM 알고리즘은 신호 행렬 \mathbf{A} 가 Hermitian도 아니며 positive semi-definite도 아닌 일반적인 full complex valued rectangular 행렬일 때에도 적응 과정이 수렴하는 특징을 가지고 있어 적응 등화기에 쉽게 응용이 가능하다. 이 CGM 알고리즘을 간단히 설명하면 다음과 같다: 등화기의 탭 계수 벡터 \mathbf{w} 를 유한 반복횟수내에 구하기 위하여 탭 계수를 갱신시킬 때마다, 위에서 설정된 비용 함수를 최소화하는 적응 이득과 추적 방향 벡터를 찾는다. CGM 알고리즘에서 비용함수가 최소로 수렴하는 반복횟수는 행렬 \mathbf{A} 의 랭크와 같다. 또한 매 반복마다 비용함수가 감소함이 보장되어 있어 어떠한 초기값에 의해서도 안정적으로 수렴하게 되어 있다.

본 논문에서 이용하는 CGM 알고리즘의 수행 순서는 다음과 같다. 아래에서 \mathbf{p}_n 은 추적 방향 벡터이며 l_n 은 적응 이득, q_n 은 추적 방향 벡터를 갱신하기

위한 이득이다.

<1> 초기 탭계수를 설정한 후 다음의 초기 값을 계산한다.

$$\mathbf{r}_0 = \mathbf{A}\mathbf{w}_0 - \mathbf{y} \quad (1)$$

$$\mathbf{p}_0 = -\mathbf{A}^H \mathbf{r}_0 \quad (2)$$

<2> 아래의 식으로 초기값을 갱신시킨다.

$$t_n = \frac{\|\mathbf{A}^H \mathbf{r}_n\|^2}{\|\mathbf{A}\mathbf{p}_n\|^2} \quad (3)$$

$$\mathbf{w}_{n+1} = \mathbf{w}_n + t_n \mathbf{p}_n \quad (4)$$

$$\mathbf{r}_{n+1} = \mathbf{r}_n + t_n \mathbf{A}\mathbf{p}_n \quad (5)$$

<3> $\|\mathbf{r}_n\|^2 < e^2$ 이면 이때의 \mathbf{w}_n 를 취하고 아니면 아래의 식으로 갱신한 후 <2>로 돌아간다.

$$q_n = \frac{\|\mathbf{A}^H \mathbf{r}_{n+1}\|^2}{\|\mathbf{A}^H \mathbf{r}_n\|^2} \quad (6)$$

$$\mathbf{p}_{n+1} = -\mathbf{A}^H \mathbf{r}_{n+1} + q_n \mathbf{p}_n \quad (7)$$

여기서 e 는 시스템에서 요구되는 정확도에 의해 결정되는 충분히 작은 값을 나타낸다.

2.3 적응 알고리즘 -Least Mean Square

LMS 알고리즘[7][8]은 매 샘플 시간마다 순시치로 계산된 에러값의 제곱을 최소화하는 적응 알고리즘으로서 수렴율(convergence rate)은 낮으나 알고리즘 자체가 간단하므로 신호처리 분야에 널리 쓰이고 있다. 학습 기간 중에 CGM 알고리즘으로 구한 탭 계수값을 초기 값으로 사용할 때에는 채널 환경 변화에 따른 탭 계수 변화를 보정하기에는 적합하게 된다. 채널 환경 변화를 추적하는 LMS 알고리즘은 아래와 같다.

$$\mathbf{w}_{n+1} = \mathbf{w}_n + 2\mu \varepsilon_n \mathbf{x}_n \quad (8)$$

여기에서 \mathbf{w}_n 은 탭 계수 벡터이고 ε_n 은 n 번째 샘플 시간에서의 에러를 나타낸다. \mathbf{x}_n 은 등화기의 수신 벡터, 그리고 μ 는 적응이득을 나타내는 상수이다.

2.4 프레임 구성

본 논문에서는 그림 2에 도시된 포맷의 데이터 프레임을 사용한다. 즉, 매 프레임의 초반부에는 송수신 간에 미리 알고 있는 학습 심볼이 위치하며, 그 이후에 통신하고자 하는 데이터 심볼이 위치한다. 본 논문에서는 전송을 512K symbol/sec로 매 프레임마다 총 500개의 심볼을 전한다. 학습 심볼의 갯수는 신호의 전송율에 따라 결정되는 허용 처리 시간 및 수신 시스템의 요구성 등에 따라 결정된다. 학습 심볼 기간에 고속 수렴 알고리즘인 CGM을 이용하여 최적 탭 계수를 계산하며, 이 값은 데이터 기간의 초기치로 사용하여 LMS 알고리즘으로 데이터 기간 중의 시변환 요인에 적응하는 최적 계수값을 찾는다.

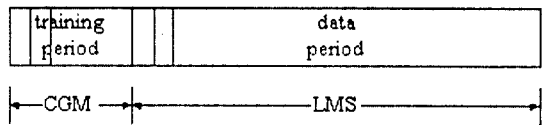


그림 2. 데이터 프레임 구조

III. 이동 통신 채널 모델링

일반적으로 모든 통신 채널은 시간에 따라 각 파라미터의 값이 변화하는 시변환 시스템의 특성을 가진다. 특히 이동 통신 채널의 경우 송수신체간의 상대적인 이동에 따라 그 변화 정도가 더욱 빨라지며 수신기에서의 효과도 그에 따라 심각히 대두된다. 이와 같은 시변환 특성에 의해 각 심볼의 샘플링 시간마다 그 채널 특성이 계속 변화하므로 주파수 선택적 페이딩 채널에서는 매 샘플링 시간마다 크기와 위상이 다른 인접 심볼간 상호 간섭이 등장하게 된다. [5] 이와 같은 시변환 신호 환경을 블록 다이어그램으로 나타내면 다음과 같다.

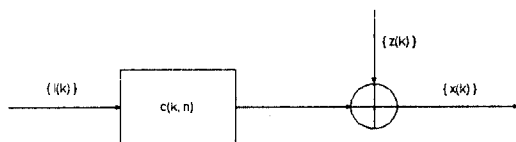


그림 3. 시변환 통신 채널의 블록 다이어그램.

그림 3을 바탕으로 수신 신호를 식 (9)와 같이 표현할 수 있다.

$$x(k) = \sum_{n=0}^{N-1} c(k, n)I(k-n) + z(k) \quad (9)$$

단 n 과 k 는 각각 전달 경로와 샘플링 시간을 나타내는 인덱스이다. 채널의 전달 함수 $c(k, n)$ 가 n 과 k 의 함수로서 각각의 전달 경로에서 그 값이 계속 변화한다. $I(.)$ 은 송신 심볼, $z(.)$ 은 백색 가우시안 잡음이다. N 은 동일 샘플구간내에서 통신 채널에 존재하는 전달 경로의 갯수로 인접 심볼간 상호 간섭 개수가 되며 전송 속도와 통신 채널의 대역폭과의 비율로 결정된다. 따라서, 인접 심볼간 상호 간섭은 채널 응답의 지연 시간이 심볼 샘플링 간격보다 클 경우, 즉 심볼 전송율이 채널 용량을 초과하는 고속 전송 환경에서 발생한다.

도플러 변이는 송수신체간의 상대적인 이동으로 인해 수신체에서 발생하는 주파수 천이 현상이며 주파수 천이량은 송수신체간의 상대 속도와 수신 시스템의 입사각에 따라 그 크기 정도가 결정된다. 도플러 변이는 채널의 시변환 특성을 지배적으로 설명한다. 이와 같은 사항을 고려하여 모델링된 시변환 통신 채널에서의 수신 신호는 다음과 같다.

$$x(k) = \sum_{n=0}^{N-1} \left[c'(n) \left\{ 1 + \frac{\xi}{M} \sum_{m=0}^{M-1} \cos(2\pi f_D k T_s + \theta_{mn}) \right\} \right] I(k-n) + z(k) \quad (10)$$

여기에서 $c'(n)$ 는 샘플링 시간에서 채널의 임펄스 응답의 크기, M 은 신호요소의 갯수, f_D 는 도플러 주파수, T_s 는 샘플링 주기, θ_{mn} 는 $[-\pi, \pi]$ 에서 균일분포를 갖는 초기 랜덤위상이며, ξ 는 진폭의 크기이다.

IV. 결정 귀환 등화기의 구현

4.1 디지털 신호 처리기 TMS320C30

본 논문에서 설명한 결정 귀환 등화기를 구현하기 위하여 Texas Instrument사의 부동 소수점 연산 처리기인 TMS320C30[9]을 탑재한 평가 보드를 사용한다. IBM PC의 8비트 확장 슬롯에서 사용할 수 있는 평가 보드는 PC와 실험 데이터를 자유롭게 교환할 수 있으며 MS-DOS상에서 운용하는 디버거를 통하여

DSP의 동작을 쉽게 확인할 수 있다는 장점이 있다. 특히 PC와 실험 데이터 교환을 자유롭게 할 수 있다는 것은 송수신 통신 시스템을 구현하는데 있어 모듈화를 가능하게 하는 것이다. 즉 PC가 전달할 부분과 평가 보드가 전달할 부분을 각각 분할하여 송수신 전체 시스템을 구성, 성능을 분석할 수 있다. DSP의 동작을 모니터링할 수 있는 디버거는 DSP 내부에 있는 레지스터, 메모리에 있는 데이터를 십진수형, 부동 소수점 실수형, 십육진수형 등 다양한 형태로 보여 줌으로써 설계자에게 편리함을 제공한다. 또한 프로파일링을 가능하게 하여 디자인한 시스템의 실시간 처리 성능을 쉽게 분석할 수 있도록 해 준다.

4.2 결정 귀환 등화기의 구조 구현

DSP칩을 이용하여 결정 귀환 등화기를 구현하는데 있어 고려해야할 사항이 2가지 있다. 첫째는 탭과 탭 계수와 같은 등화기의 하드웨어 구조를 결정하는 것이며, 둘째는 알고리즘과 같은 소프트웨어를 구현하는 것이다. 본 논문에서는 탭과 탭 계수를 TMS320C30 내부에 있는 램을 이용하여 메모리상에 하드웨어 구조를 구성한다. TMS320C30에서는 이와 같은 탭과 탭 계수와 같은 디지털 필터를 구현하는데 용이한 환형 어드레싱(circular addressing) 모드를 제공한다. 구현한 결정 귀환 등화기의 구조는 그림 4과 같다.

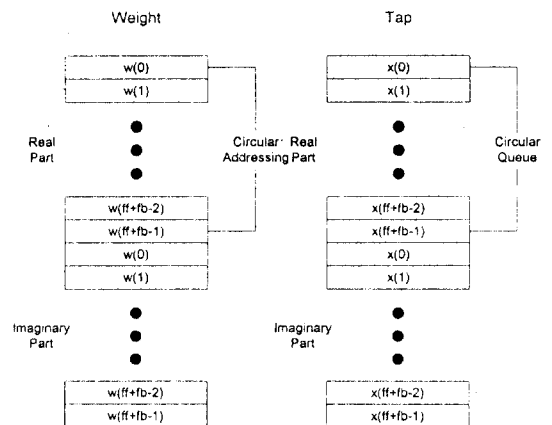


그림 4. 결정 귀환 등화기를 위한 메모리 구조

4.3 CGM 알고리즘의 구현

2.2에서 제시한 CGM 알고리즘 구현을 위해서는 행렬과 벡터를 저장할 메모리와 복소 공간에서의 행렬과 벡터의 곱, 벡터의 합, 벡터의 크기 계산을 위한 루틴을 준비해야 한다. 행렬과 벡터를 위한 메모리 공간을 효율적으로 확보하였으며 각각의 루틴은 실시간 처리 능력을 높이기 위해 TMS320C30이 제공하는 병렬처리 능력을 최대한 이용하였다. 본 논문에서 구현한 CGM 알고리즘의 순서도는 아래와 같다.

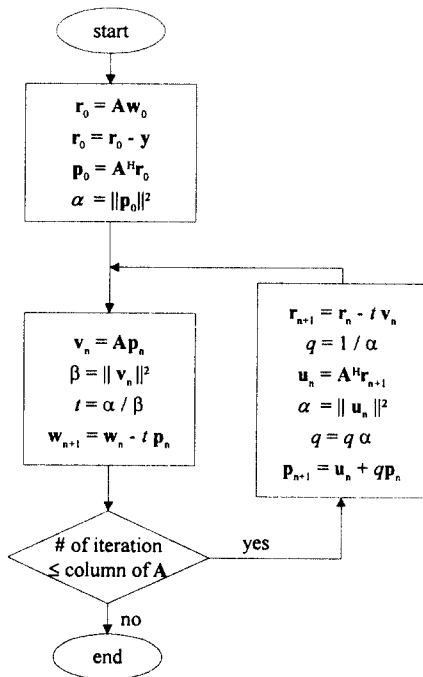


그림 5. CGM 알고리즘 구현을 위한 순서도

4.3 결정 귀환 등화기의 구현과 모의실험

결정 귀환 등화기를 이루는 여러 세부 부분들은 크게 두 부분으로 분류할 수 있다. 첫째는 결정 귀환 등화기의 핵심 부분으로, 적응 알고리즘을 구현한 부분이다. 둘째는 결정 귀환 등화기와 외부 시스템과의 데이터 교환을 위한 부분이다. 이 두 부분을 이루는 세부 부분들은 DSP칩이 제공하는 메모리의 한 부분을 각각 차지하고 있다. 아래는 메모리의 일정 영역을 차지하면서 결정 귀환 등화기를 이루는 세부 부분을 나타낸 것이다.

- ▶ 결정 귀환 등화기의 핵심 부분
 - 수신된 프레임을 저장하는 영역
 - 학습기간 동안의 심볼을 저장하고 있는 영역
 - 탭에 저장된 값을 저장하는 영역
 - 탭계수를 저장하는 영역
 - 알고리즘 동작을 위한 작업 영역
 - 알고리즘이 구현되어 있는 영역
- ▶ 데이터 교환을 위한 부분
 - 프레임을 수신하는 부분
 - 등화 결과를 출력하는 부분

TMS320C30 내부에는 1K-word의 RAM이 두개 있으며 평가 보드에 16K SRAM이 장착되어 있어 결정 귀환 등화기를 구현하는데 충분한 메모리를 제공하고 있다. 내부에 있는 메모리는 외부에 있는 것보다 그 저장 내용에 대한 접근 속도가 빠르기 때문에 그 접근이 잦은 탭과 탭계수가 내부 메모리에 자리하고 있고 외부 메모리에는 그 이외의 부분들이 들어가 있다.

구현한 결정 귀환 등화기의 동작을 확인하고 그 성능과 실시간 처리 능력을 분석하기 위해 TMS320C30 평가보드가 탑재된 PC를 사용한다. 이 PC는 먼저 채널 통과 왜곡 신호를 자체에서 발생하고 이를 DSP칩에 전송한다. 이 때 PC가 사용하는 부동 소수점 표기 방식과 TMS320C30의 표기 방식이 틀리기 때문에 표기 방식의 전환 과정이 필요하다. 그 다음 DSP칩에 전송 완료를 알리게 된다. 그리고 나서 DSP칩의 결과, 즉 등화기의 출력을 받아 부동 소수점 표기 방식을 전환한 후 그 결과를 사용자에게 보여주게 된다. 본 논문에서 구현한 결정 귀환 등화기는 PC로 부터 왜곡 신호를 받아, 이를 적응 알고리즘 CGM과 LMS를 이용하여 등화한 후 이 결과를 PC에 전달한다. 결정 귀환 등화기의 성능 분석을 위한 PC의 기능은 채널을 통과한 왜곡 신호를 발생하는 부분, 결정 귀환 등화기에 왜곡 신호를 전달하고 등화기의 결과를 전달받는 부분과 등화기의 결과를 분석하는 부분과 같이 크게 세 부분으로 이루어져 있다. 그림 6은 본 논문에서 구현한 결정 귀환 등화기의 성능 분석을 위한 전체 시스템의 작업 순서를 나타낸 것이다.

구현한 등화기의 실시간 처리 능력을 알아 보기 위해서 그림 6의 등화 작업에 소요되는 시간을 측정한다. PC와 TMS320C30간의 데이터 교환에 소요되는

시간은 고려하지 않고, 왜곡 신호의 수신 작업이 완료된 시점에서부터 DSP칩의 등화 작업이 완료되기까지의 소요클럭을 측정 한 후, 한 클럭당 소요시간을 곱하여 등화 작업에 걸리는 시간을 측정하였다. 본 논문에서는 TMS320C30-33MHz을 채택하였으며, 이 칩의 한 클럭당 소요시간은 60nsec이다.

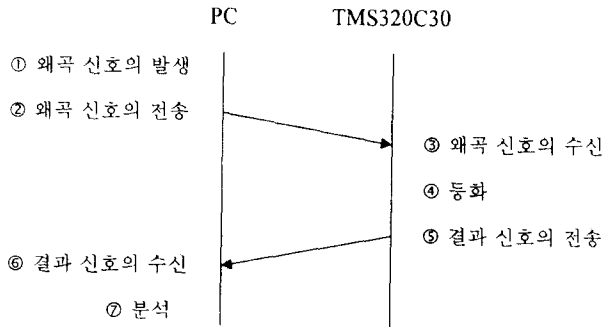


그림 6. 모의 실험 순서도

V. 모의실험 결과

본 논문에서 구현한 결정 귀환 등화기의 동작과 성능을 분석하기 위한 모의 실험 환경으로 식 (10)에서 제시된 채널 모델링을 근거로 QPSK 변복조 하에서 512 Ksps (symbol/sec)의 전송 속도를 가지는 통신 환경을 설정하였다. 채널 모델링 파라미터들을 결정하는데 있어 각각 전달 경로의 갯수 N 은 3, 샘플링 시간에서의 채널 임펄스 응답의 크기 $c'(n)$ 은 n 에 상관없이 1로, 신호 요소의 갯수 M 은 10으로 하였다. 전송하는 프레임은 총 500개의 심볼로 구성되어 있으며 프레임의 초기 부분은 30개의 학습 심볼이 위치하고 있고 그 뒤 470개의 심볼은 전송하고자 하는 데이터로 되어 있다. 구현한 결정 귀환 등화기는 귀환전단부와 귀환후단부에 각각 5개씩의 탭을 가지고 있다.

본 장에서는 도플러 주파수 f_d , 진폭의 크기 ξ , 그리고 SNR을 변화시키면서, 학습기간 동안에 적용되는 CGM 알고리즘에서의 비용함수의 변화를 살펴보고, 데이터기간 동안에 LMS 알고리즘을 적용하지 않았을 때와 LMS 알고리즘을 적용했을 때와의 판정 오차를 비교하고, 전체 통신 시스템의 심볼 오류확률을 알아 본다. 끝으로 DSP칩으로 구현한 결정 귀환 등화기의 실시간 처리 능력을 알아 봄으로써 실제 시

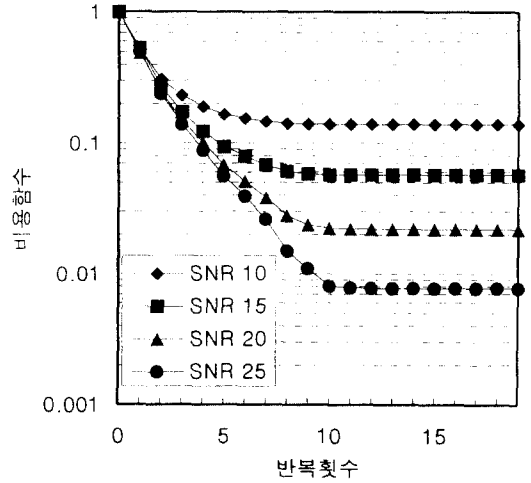


그림 7. 반복에 의한 CGM 비용함수의 변화비교

스템에 응용될 수 있음을 그 예와 함께 제시한다.

그림 7는 도플러 주파수가 60Hz, 진폭의 크기가 1 일 때 여러 SNR 상황에서 CGM 알고리즘 비용함수의 변화를 알고리즘 내 반복횟수에 따라 보여주고 있다. 100번의 모의실험을 통해 앙상블 평균을 취한 평균비용함수이다. 그림에서 알 수 있듯이 SNR에 상관없이 10회의 반복만에 비용함수가 최소로 수렴한다. 이와 같이 10회만에 수렴하는 이유는 본 논문에서 구현한 결정 귀환 등화기가 귀환전단부와 귀환후단부에 모두 10개의 탭을 가지고 있기 때문이다.

학습기간 동안에 CGM 알고리즘의 결과로 나온 탭 계수를 최적의 초기값으로 하여 데이터 기간동안에 매 샘플마다 LMS 알고리즘을 적용하면서 시변환 통신 환경에 따라 탭 계수를 갱신시켜 나간다. 그러나 LMS 알고리즘은 구현하기가 간단한 반면 그 수렴 속도가 느리기 때문에 알고리즘을 반복함에 따라 갱신되는 탭계수와 최적계수와는 차이가 발생하는데 이는 판정 오차의 크기로 그 차이의 정도를 알 수 있다. 그림 8은 도플러 주파수 60Hz, 진폭의 크기 1, SNR 25dB 인 환경에서 데이터 기간동안에 LMS 알고리즘을 사용하지 않았을 경우와 사용했을 경우의 판정오차의 크기를 매 샘플시간에 따라 각각 나타낸 것이다. 500번의 모의실험을 통하여 앙상블 평균 판정오차를 구하였다. 그림에서 알 수 있듯이 LMS 알고리즘을 적용하였을 때 효과적으로 판정오차를 줄일 수 있었다.

반복 횟수가 늘어남에 따라 최적계수와와의 차이로 인한 판정오차의 크기가 증가함을 확인할 수 있다.

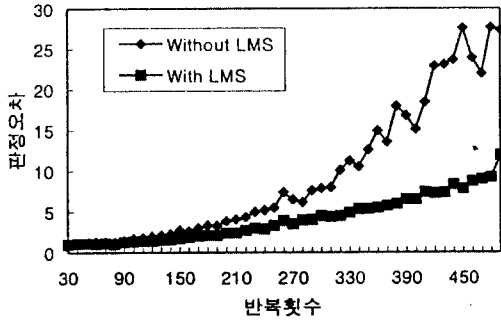


그림 8. LMS 알고리즘을 적용하지 않았을 때와 적용했을 때의 판정오차 비교

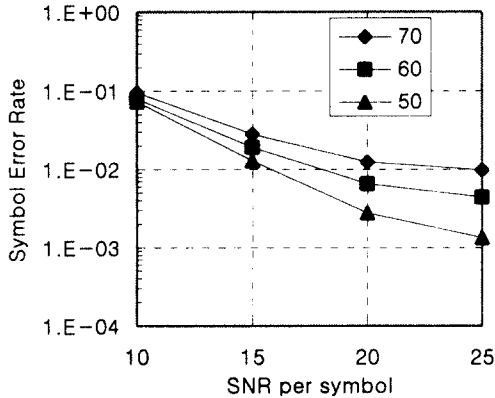
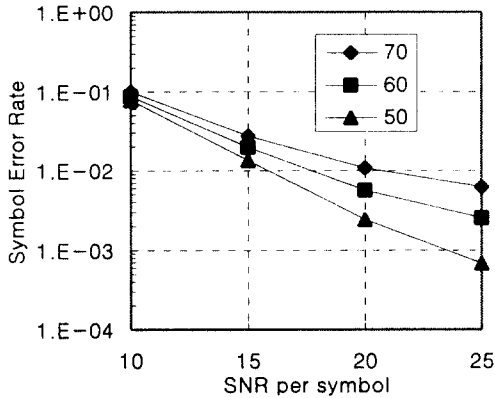


그림 9. 진폭의 크기가 1, 2일 때의 심볼오류확률

그림 9는 각각 진폭의 크기가 1과 2일 때 SNR과 도플러 주파수에 따른 결정 귀환 등화기의 성능을 심볼오류확률로 나타낸 것이다. 학습기간에는 CGM 알고리즘을, 데이터 기간에는 LMS 알고리즘을 적용하여 10000번의 모의실험을 통한 평균오류확률을 구한 것이다. 아래 그림들을 통해 SNR이 높을 경우 도플러 주파수가 등화기의 성능에 많은 영향을 미침을 알 수 있다.

표 1은 TDMA 방식의 이동 통신에서 다중 사용자를 위한 지국에 본 논문에서 구현한 등화기의 적용 가능성을 알아보기 위해 30개의 초기 학습 심볼과 10개의 탭을 가진 등화기에서 등화 과정에 따른 소요시간을 나타냄으로써 실시간 처리 능력을 보였다. 먼저 소요 클럭을 조사한 후 TMS320C30의 1 클럭 사이클 소요시간 60nsec를 곱하였다. 표에서 알 수 있듯이 1msec의 시간 슬롯을 가지는 한 사용자를 처리하는데 있어 약 6msec가 필요함을 알 수 있다. 따라서 24명의 사용자가 있을 경우 한 등화기는 4명까지 처리할 수 있으므로 총 6개의 등화기로 24명의 사용자 데이터를 처리할 수 있다.

표 1. 등화 과정에 따른 소요 시간

등화 단계	소요 시간
신호 행렬 생성	0.084 msec
CGM 알고리즘	2.034 msec
LMS 알고리즘	3.830 msec
전부	5.948 msec

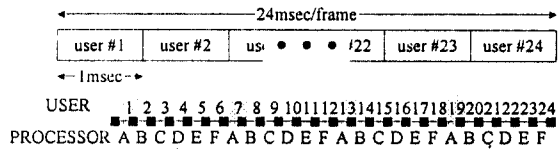


그림 10. 본 논문에서 구현한 등화기를 24 사용자를 위한 지국에 적용한 예

VI. 결 론

본 논문에서는 TDMA 이동통신에서 채널의 왜곡에 의한 인접 심볼간 간섭 문제를 해결하는 결정 귀환

한 등화기를 DSP TMS320C30으로 구현하는 절차와 구현한 적응 등화기의 성능을 분석, 제시하였다. 이를 위해 먼저 결정 귀환 등화기의 구조와 CGM과 LMS 적응 알고리즘에 대해 알아 보았고, 주파수 선택적 페이딩 특성을 가지는 이동 통신 채널 모델링을 살펴 보았다. 다음으로 본 논문에서 등화기를 구현하기 위해 채택한 TMS320C30의 일반적인 특성과 함께 적응 등화기 구조의 구현, 적응 알고리즘의 구현 절차 등을 설명하였다. 이와 같이 구현한 등화기를 여러 각도에서 성능을 분석하고 실시간 처리 능력을 제시함으로써 다중 사용자를 위한 기지국 시스템에서의 응용 가능성을 보였다.

참 조 문 헌

1. Shahid U. H. Qureshi, "Adaptive Equalization", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 73, pp 1349-1387, Sep. 1985.
2. J. G. Proakis, J. H. Miller, "An Adaptive Receiver for Digital Signaling Through Channels With Inter-symbol Interference", *IEEE Trans. On Information Theory*, Vol. IT-15, July, 1969.
3. 이찬복, 최승원, "광대역 이동 통신을 위한 적응 등화기의 설계", 대한전자공학논문지, 95-32A-1-2, pp 44-55, Jan., 1995.
4. J. G. Proakis, *Digital Communication*, McGraw-Hill, 1989.
5. 안명균, "적응등화기의 성능개선을 위한 프레임 구성 및 공간 다이버시티에 관한 연구", 석사학위논문, 1994
6. 이찬복, "연판정 기법을 이용한 등화기의 설계", 석사학위논문, 1994.
7. B. Widrow, S. D. Stearns, *Adaptive Signal Processing*, Prentice-Hall, 1985.
8. Dirk T. M. Slock, "On the Convergence Behavior of the LMS and the Normalized LMS Algorithms", *IEEE Trans. on signal processing*, Vol. 41, pp 2811-2855, Sep. 1993.
9. TMS320C3x *User's Guide*, Texas Instrument, 1994.

윤 유 석(Yu Suk Yun)

정희원

1995년: 한양대학교 전자통신공학과 학사

1997년: 한양대학교 전자통신공학과 석사

현재: 삼성전자 정보통신개발센터 주임연구원

최 승 원(Seungwon Choi)

정희원

1980년: 한양대학교 전자공학과 학사

1982년: 서울대학교 전자공학과 석사

1985년: Syracuse University, Computer Engineering, Master(미국)

1988년: Syracuse University, Electrical Engineering, Ph.D(미국)

1990년: Syracuse University, Assistant Professor(미국)

1992년: Communication Research Lab(일본), STA fellow

현재: 한양대학교 전기 및 전자공학과 교수