

동기식 마이크로파 전송시스템을 위한 기준탭 위치 가변방식 등화기 설계에 관한 연구

A Study on the Design of Variable Reference Tap Position Equalizer for Synchronous Microwave Transmission Systems

이대영* · 장태화** · 방효창*** · 김원후*

Dae Young Lee* · Tae Hwa Chang** · Hyo Chang Pang*** · Won Hoo Kim*

요 약

디지털 마이크로파 전송시스템은 다중경로 페이딩에 대한 대응책으로서 등화기를 필수적으로 장착하고 있다. 본 논문에서는 페이딩의 형태에 따라 기준탭의 위치를 가변시키는 기준탭 위치 가변방식 등화기를 제안하였다. 제안된 등화기는 기존의 등화기에 비해 우수한 성능을 나타내는데 MP 상황에서는 약 4~5 dB 정도의 성능개선을 얻을 수 있었으며 NMP 상황에서는 2~3 dB 정도의 성능 개선을 얻을 수 있음을 시뮬레이션 결과를 통하여 증명하였다.

Abstract

Digital microwave transmission systems are equipped with equalizer against fading during multipath fading. In this paper, we proposed variable reference tap position equalizer that varies the reference tap according to fading type to archive better performance. We got the performance improvement about 4~5 dB in MP condition and 2~3 dB in NMP condition from simulation results.

I. 서 론

디지털 마이크로파 전송 시스템은 다중경로 페이딩에 의해 그 성능이 심각하게 저하될 수 있다. 디지털 마이크로파 전송 시스템이 운용되고 있는 채널환경은 Rummler가 제안한 다중경로 페이딩으로 모델링되는데 이 모델은 크게 최소위상(Minimum Phase : MP)페이딩과 비최소위상(Non-Minimum Phase : NMP)페이딩으로 구분된다^[1].

MP 형태의 페이딩은 신호파가 먼저 수신되고 반사파가 지연되어 수신되는 모델이며, NMP 형태의 페이딩은 반사파가 먼저 수신되고 신호파가 나중에 수신되는 모델이다. 이에 대한 대책으로 복조단에서 시간영역 등화기(Adaptive Time Domain Equalizer : ATDE)를 사용하며, ATDE는 구조적인 측면에서 구분하여 볼 때 선형등화기와 비선형 등화기로 나누어 볼 수 있다.

일반적으로 널리 사용되는 등화기는 선형등화기로서 구현이 용이하고 그 성능이 우수하다는 장점

* 한국항공대학교 항공전자공학과(Dept. of Avionics Eng., Hankuk Aviation University)

** 대영전자공업(주) 연구소(Daeyoung Electronics Ind. Co., R & D Center)

*** 두원공업전문대학 전자통신과(Dept. of Radio & Communication, Doowon Technical College)

· 논문 번호 : 970408-022

· 수정완료일자 : 1997년 7월 8일

이 있으며, 선형등화기는 기준탭을 중심으로 좌우 비대칭인 형태를 가지며 이로 인하여 MP와 NMP 형태의 페이딩에 대해서 동일한 성능을 나타낸다. 여기서 기준탭은 데이터의 판정을 행하는 최적의 탭을 의미하며 기준탭의 위치를 고정시키는 방식이 일반적이다^[2]. 반면 비선형 등화기는 의사결정회환 등화기(Decision Feedback Equalizer :DFE)가 가장 대표적인 형태이며 궤환탭을 갖는 구조에 의해서 MP 형태의 페이딩에 대해서는 선형등화기에 비해 성능이 우수하다. 하지만 DFE는 궤환구조로 인하여 구현이 용이하지 않다는 단점을 가지고 있다^[3].

본 연구에서는 페이딩의 형태에 따라서 심볼간 간섭(Inter-Symbol Interference : ISI)이 좌우 비대칭이라는 점에 착안하여 페이딩의 위상 형태에 따라 좌우 비대칭 구조를 갖는 선형 등화기를 제안하였다. 즉, 페이딩의 형태에 따라 MP인 경우 ISI가 post-cursor에 집중되며 기준탭을 pre-cursor 쪽으로 이동시켜 등화가 가능한 영역을 증가시키도록 하였으며, NMP의 경우에는 ISI가 pre-cursor에 집중되므로 기준탭을 post-cursor 쪽으로 이동시켜 등화가 가능한 영역을 증가시키도록 하였다.

II. 다중경로 페이딩

디지털 마이크로파 전송 시스템은 간섭성 페이딩 상황하에서 시스템의 성능을 평가한다. 이러한 간섭성 페이딩은 다중경로 페이딩이라고도 하는데 반사, 굴절 등에 의해 경로의 길이가 서로 다른 2개 이상의 진행파가 수신되어 각각의 수신파 위상차에 의해서 합성전계강도 및 진폭 그리고 지연주파수 특성이 변화한다. 이와 같이 페이딩이 발생하면 복조시 복조파형이 왜곡되고 심볼간의 간섭이 증대되어 오율이 증가하고 시스템의 성능을 저하시키는 요인이 된다. 이러한 채널의 페이딩을 보상하기 위하여 등화기를 사용하고 있다.

고정국간의 통신에 이용되는 디지털 마이크로파 전송 시스템은 주파수 선택성 페이딩인 간섭성 페

이딩 환경하에서 운용되는데 이러한 페이딩의 대표적인 모델은 통계적인 개념에서 유도된 Rummier의 3-ray 모델이다^[2].

전송파가 여러 개의 채널을 통해 전송되어 수신되는 개념을 수식적으로 표현하면 식 (1)과 같다.

$$y(t) = \sum_n^{\infty} \alpha_n(t) \cdot s(t - \tau_n(t)) \quad (1)$$

여기서, $s(t)$ 와 $y(t)$ 는 채널의 입력, 출력 신호이고 α_n 은 감쇄계수, τ_n 은 진행파의 지연성분이다. 입력신호가 식 (2)와 같다고 하자.

$$s(t) = \text{Re}[\hat{s}(t)e^{j2\pi f_c t}] \quad (2)$$

위의 신호가 채널을 통과하면 전파의 지연이 발생하여 식 (3)과 같은 출력신호가 된다.

$$y(t) = \text{Re}[\left(\sum_n^{\infty} \alpha_n(t) e^{-j2\pi f_c t} \hat{s}(t - \tau_n(t)) e^{j2\pi f_c t}\right)] \quad (3)$$

윗 식의 complex envelop은 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} \hat{y}(t) &= \sum_n^{\infty} \alpha_n(t) e^{-j2\pi f_c t} \hat{s}(t - \tau_n(t)) \\ &= \sum_n^{\infty} \hat{\alpha}_n(t) \hat{s}(t - \tau_n(t)) \end{aligned} \quad (4)$$

위의 출력신호로부터 다중경로 페이딩 모델의 전달함수, 즉 임펄스 응답을 구할 수 있다.

$$\hat{h}(t) = \sum_n^{\infty} \hat{\alpha}_n(t) \delta(t - \tau_n(t)) \quad (5)$$

위에서 설명한 다중경로 페이딩의 경우 논리적으로 이상적일지 모르나 각각의 경로가 시간에 따른 함수이고 실제로 모든 경로를 구분하여 수식적으로 표현한다는 것은 극히 복잡하므로 실제 채널모델로는 사용하지 않는다. 따라서 실제 모델은 모든 경로

의 특성을 확률적으로 나타낸 모델을 사용하는데 현재까지 가장 널리 사용되는 것이 Rummler가 제안한 모델이다.

Rummler 모델은 실험적으로 얻어진 고정된 지연과 랜덤한 진폭값으로 표현된 소수의 경로만을 고려한다. 즉, 주위환경의 변화에 따라 다양한 경로를 갖는 디지털 마이크로파 전송 시스템에서 실제로 영향을 미치는 채널의 수는 한정되어 있으므로 2, 3개의 경로만으로 신호가 전송된다고 생각한다.

$$H(f) = a(1 - be^{-j2\pi(f-f_0)\tau}) \quad (6)$$

여기서, a 는 전체 scale parameter로 1보다 작은 값을 갖게 되고, b 는 shape parameter로 전달특성 곡선의 shape와 notch depth를 결정한다. 즉, a 값이 작을수록 감쇄가 많아져 전체적인 flat fading depth가 $-20 \log a$ 만큼 깊어지고, b 값이 커질수록 notch depth가 깊어진다. τ 는 대략 $(6B)^{-1}$ 정도에서 결정되므로 B (Bandwidth)가 30 MHz인 경우에 $(6B)^{-1} = 5.5 \text{ nsec}$ 가 되는데 Rummler의 실험 결과 $\tau = 6.31 \text{ nsec}$ 로 고정된다. f_0 는 notch frequency로 $f = f_0$ 가 될 때 notch depth는 $-20 \log(1-b)$ 로 가장 깊다. 이러한 notch depth는 다음과 같이 정의된다.

$$B_c = \begin{cases} -20 \log(1 - |b|), & |b| \leq 1 \\ -20 \log(1 - 1/|b|), & |b| > 1 \end{cases} \quad (7)$$

이상의 parameter 값들은 거의 독립적인 확률 변수들이다.

$b < 1$, $\tau > 0$ 또는 $\tau < 0$, $b > 1$ 이면 최소 위상 페이딩이고, $b > 1$ 이면 비최소 위상 페이딩이 된다. 또한 식 (7)을 살펴보면 NMP에서 MP로, 혹은 MP에서 NMP로 천이될 때 수식적으로는 $b=1$ 인 값, notch depth와 group delay는 무한대인 점을 지나게 된다.

III. MP/ NMP의 판정

다중경로 페이딩 환경하에서 디지털 무선 성능의 특징은 페이딩의 형태가 최소위상 페이딩이나 비최소위상 페이딩이냐에 따라 그 특성이 달라진다는 것이며 페이딩의 위상을 판정할 수 있다면 그에 대응하는 형태로 시스템을 재구성하여 시스템의 성능을 증가시킬 수 있다.

그림 1은 최소 위상 페이딩 환경에서 임펄스 응답을 나타낸 것이다. 그림의 중앙은 주경로에 의한 성분이고 근접하여 반사 경로에 의한 성분이 있는 경우 두 성분의 합을 나타낸 것이다.

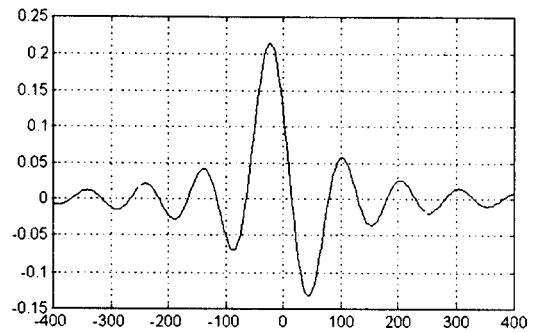


그림 1. MP상황에서의 임펄스 응답
Fig. 1. Impulse response at MP condition.

그림 1에서 보는 바와 같이 $\tau > 0$ 인 MP 상황하에서는 $t=0$ 인 시점을 기준으로 $t > 0$ 인 부분에 해당하는 post-cursor 상에 대부분의 간섭성분이 집중되어 있다. $\tau < 0$ 인 NMP 상황하에서는 이와 반대이며 $t < 0$ 에 해당하는 pre-cursor 상에 대부분의 간섭성분이 집중되어 있다. 이러한 간섭 성분을 제거하기 위해서 일반적으로 널리 사용하는 것이 선형 등화기이다. 선형 등화기의 탭 계수는 간섭 성분이 증가할수록 이에 비례하는 형태로 나타난다.

따라서, MP 형태의 페이딩을 제거하기 위해서 등화기의 탭계수 값은 pre-cursor의 탭계수 값보다 post-cursor의 탭계수 값이 커야 함을 알 수 있다. 마찬가지로 NMP 형태의 페이딩을 제거하기 위해서 등화기의 탭계수 값은 post-cursor의 탭계수 값보다 pre-cursor의 탭계수 값이 커야 함을 알 수 있

다. 이러한 상황을 근거로 하여 등화기의 탭계수 값을 관찰함으로써 페이딩의 위상을 판정할 수 있다 [4].

즉, pre-cursor의 탭계수에 대한 전체 합계값과 post-cursor의 탭계수에 대한 전체 합계값을 비교하여 만일 pre-cursor의 탭계수에 대한 전체 합계값이 크다면 NMP 형태의 페이딩 상황이며 post-cursor의 탭계수에 대한 전체 합계값이 크다면 MP 형태의 페이딩 상황임을 판정할 수 있다. 이러한 관계를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$U^+ = \frac{\sum_{n=1}^N |c_n|^2}{\sum_{n=-N}^N |c_n|^2} \quad (8)$$

$$U^- = \frac{\sum_{n=-N}^{-1} |c_n|^2}{\sum_{n=-N}^N |c_n|^2} \quad (9)$$

C_n : 탭계수

식 (8)과 (9)에서 분모항은 등화기 전체의 탭계수 값에 대한 절대값이며 분자항은 각각 post cursor와 pre-cursor의 탭계수에 대한 절대값의 합이다.

$$U = U^+ - U^- \quad (10)$$

여기서, U 가 (+)이면 MP 형태의 페이딩 상황이며, (-)이면 NMP 형태의 페이딩 상황임을 판정할 수 있다. MP/NMP 판정회로를 장착한 선형 등화기를 그림 2에 나타내었다.

IV. 제안된 선형 등화기의 설계 및 시뮬레이션

4-1 제안된 선형 등화기의 설계

일반적인 형태의 선형 등화기를 그림 3에 나타내

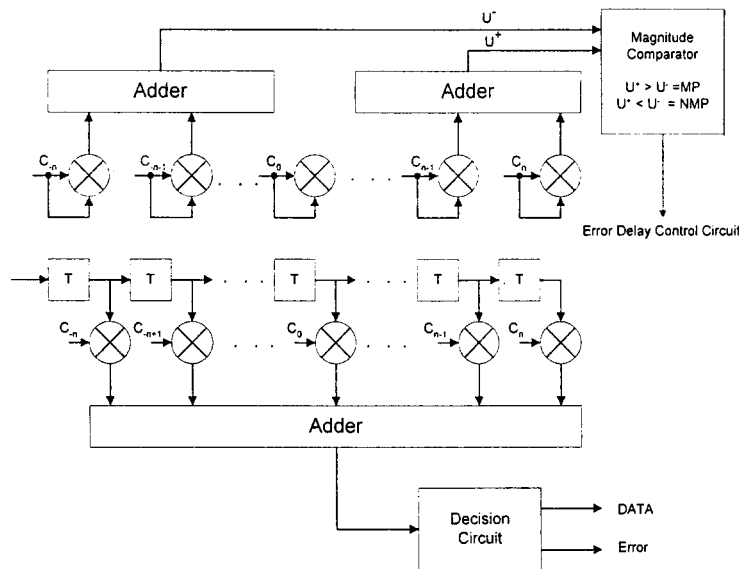


그림 2. MP/NMP 판정회로와 선형 등화기
Fig. 2. MP/NMP decision circuit and linear equalizer.

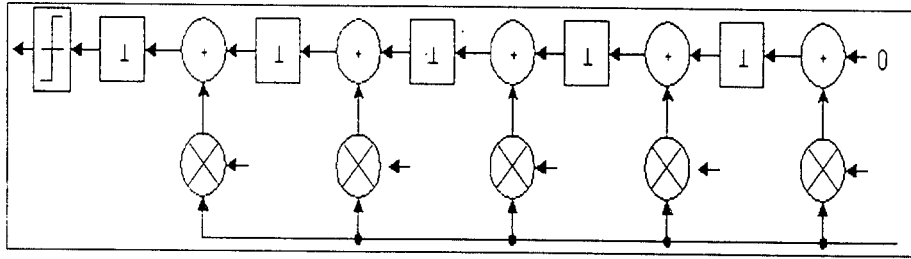


그림 3. 선형 트랜스버설 등화기
Fig. 3. Linear transversal equalizer.

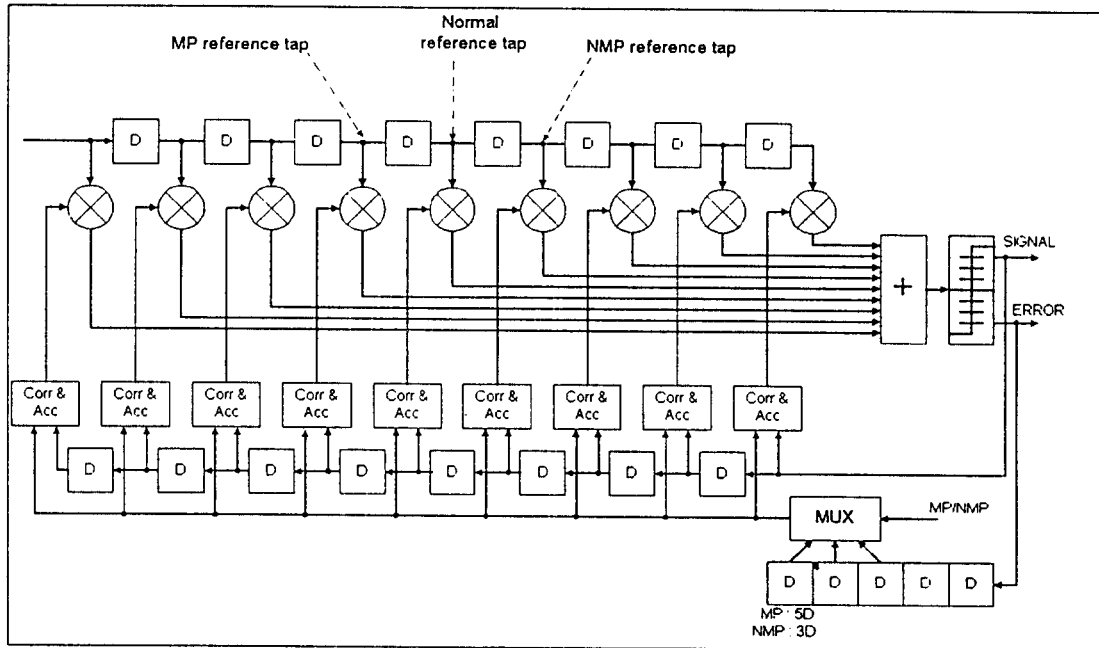


그림 4. 기준탭 위치 가변 등화기의 블록도
Fig. 4. Block diagram of variable reference tap position.

었다. 그림 3에 나타난 선형 등화기는 5탭으로 구성 되어 있으며 transposed form으로 이루어져 있다. Transposed form은 direct form에 비해 하드웨어 구현에 있어서 지연에 의한 문제를 해결할 수 있으

므로 ASIC 설계시 널리 이용되고 있는 구조이다. 선형 등화기는 중심탭을 기준으로 좌우 대칭적인 구조이므로 MP형태의 페이딩이나 NMP 형태의 페이딩에 대해서 동일한 성능을 보인다. 일반적으

로 선형등화기의 성능은 탭수에 비례하며 어느 정도 이상에서는 그 증가도가 완만하므로 적절한 선에서 탭수를 결정하는 것이 중요하다. 구현이라는 측면과 성능 개선이라는 측면을 고려해 볼 때 약 11 이나 13탭 정도면 디지털 마이크로파 전송 시스템에서 요구하는 20 dB 정도의 페이딩을 보상할 수 있다.^{[5],[6]}

기존의 선형등화기가 기준탭을 등화기의 중앙에 고정시키는데 반해 본 연구에서는 MP와 NMP 환경을 인식하여 그 상황에 적합하도록 기준탭의 위치를 가변하는 방식을 채택하였다. 본 연구에서 제안한 등화기 블럭도를 그림 4에 나타내었다. 앞서 그림 2에 나타내었던 MP /NMP 판정회로는 생략하였으며 등화기는 9탭을 가진다. 그림 4에서 보는 바와 같이 MP 상황에서는 등화기의 post-cursor에 대부분의 ISI가 집중하므로 기준탭의 위치를 중앙에서 pre-cursor쪽으로 옮김으로서 post-cursor ISI에 대한 등화기의 SPAN을 증가시키도록 하였다. 마찬가지로 NMP 상황에서는 pre-cursor에 대부분의 ISI가 집중하므로 기준탭의 위치를 중앙에서 post-cursor쪽으로 옮김으로서 pre-cursor ISI에 대한 등화기의 SPAN을 증가시키도록 하였다.

기준탭의 위치를 가변한다는 의미를 수식적으로 설명하면 다음과 같다. 디지털 마이크로파 전송 시스템에 사용되는 등화기는 ZF(Zero-forcing) 알고리즘과 LMS(Least Mean Square)알고리즘이 널리 사용된다. 9탭의 선형등화기에 대해서 이 두가지 알고리즘에 대한 탭계수의 표현식은 다음과 같다.^[7]

$$C_n(k+1) = C_n(k) - \Delta E(k)A(k-n) : ZF \quad (11)$$

$$C_n(k+1) = C_n(k) - \Delta E(k)X(k-n-4) : LMS \quad (12)$$

Δ : adaptation step size

여기서, n 은 탭번호를 나타내며 9탭의 경우는 -4에서 4까지의 범위를 갖는다. $A(k)$ 는 k 시점에

서 decision한 등화기의 출력 데이터이며, $E(k)$ 는 k 시점에서의 오차신호를 의미한다. 그리고 $X(k)$ 는 k 시점에서 등화기에 입력된 수신신호를 의미한다.

식 (11)을 기준탭($n=0$)에 대해서 다시 표현하면 다음과 같다.

$$C_0(k+1) = C_0(k) - \Delta E(k)A(k-0) \quad (13)$$

즉, 일반적인 선형 등화기에 ZF 알고리즘이 적용된 경우 등화기의 decision 출력값과 오차신호는 동일한 지연값을 갖는다. 본 연구에서 제안된 기준 탭 위치 가변방식 등화기를 구현하기 위해서는 decision 출력 데이터의 지연을 변화시키거나 오차신호의 지연을 변화시키면 된다는 결과를 얻을 수 있다.

$$C_n(k+1) = C_n(k) - \Delta E(k+1)A(k-n) : MP \quad (14)$$

$$C_n(k+1) = C_n(k) - \Delta E(k-1)A(k-n) : NMP \quad (15)$$

4-2 시뮬레이션

디지털 마이크로파 시스템의 성능 평가는 일반적으로 signature를 이용한다. Signature는 디지털 마이크로파 시스템이 운용되고 있는 전체 주파수 대역에서 특정 주파수에 페이딩이 발생한 경우 BER = 10^{-3} 이 되는 notch depth를 구하여 연결한 그래프이다. 여기서 페이딩이 발생하는 특정 주파수 대역을 notch frequency라고 부른다. Signature를 나타내는 곡선을 M-curve 또는 Wcurve라고 부르는데 이 curve가 차지하는 면적이 작을수록 등화기의 성능은 우수하다고 판정할 수 있다. Signature의 측정에는 여러 가지 방식이 있을 수 있지만 가장 일반적인 것은 notch frequency를 일단 설정한 후 notch depth를 증가시켜 BER = 10^{-3} 이 되는 지점을 구하는 방식이 있을 수 있으며 그 다음으로 널리

사용하는 방식이 일정한 notch depth를 설정하고 등화기가 수렴할 수 있는지의 여부를 판정하는 방식이 있을 수 있다^[8].

본 연구에서 제안한 기준탭 위치 가변 방식의 등화기는 원래의 목적이 MP/NMP 상황의 페이딩에 대해서 그 상황을 판단하고 판단된 상황에 따라 기준탭의 위치를 가변하고 탭계수를 재설정하여 성능개선을 도모하는 것이 목적이다. 이러한 목적을 수행하기 위해 시뮬레이션은 두 단계로 진행하였다. 일단 페이딩의 상황을 MP 상황으로 설정한 후 특정한 notch frequency에 대해서 notch depth를 증가시키면서 BER=10⁻³을 넘어서는 지점을 찾아 signature를 얻는 방식을 진행하였다. 다음으로는 notch depth=20 dB로 처음부터 유지시킨 후 (notch frequency는 스펙트럼의 중심 주파수로 설정) 등화기의 탭계수가 수렴하는 상황을 관찰하였다. 본 연구에서 행한 시뮬레이션 환경은 표 1과 같다.

그림 5는 MP 상황하에서 일반적인 11탭의 선형 등화기와 11탭의 기준탭 위치 가변방식 등화기를 비교한 것이다. 기준탭 위치 가변방식 등화기는 페이딩의 변화에 따라 탭계수를 갱신하며 적응해 가는 초기 시점부터 MP 상황인지 NMP 상황인지를

표 1. 시뮬레이션 환경

Table 1. Simulation environment.

변복조 시스템	64 QAM 방식
데이터 속도	155.520 Mbps (STM-1)
Roll-off factor	0.3
Slope equalizer	On
IF 주파수	70 MHz
Notch depth limitation	40 dB
Notch frequency step	2 MHz(-14 MHz~14 MHz) (signature당 17회 시뮬레이션)
Clock recovery	On
Carrier recovery	On
AGC	On

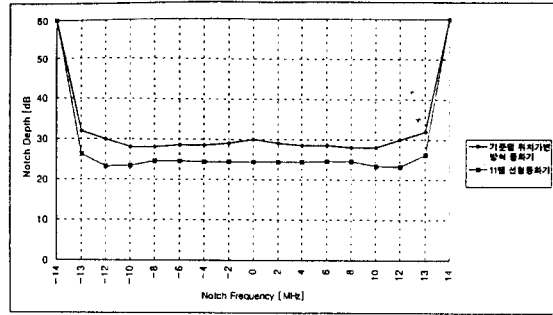


그림 5. MP 상황하에서 11탭 선형등화기와 기준탭 위치가변 방식 등화기의 성능비교

Fig. 5. Performance comparison 11 taps linear equalizer and variable reference tap position equalizer at MP condition.

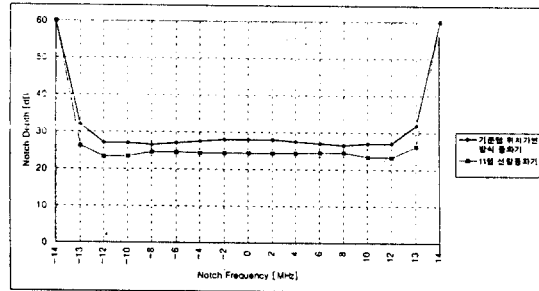


그림 6. NMP 상황하에서 11탭 선형등화기와 기준탭 위치가변 방식 등화기의 성능비교

Fig. 6. Performance comparison 11 taps linear equalizer and variable reference tap position equalizer at NMP condition.

판정해낸다. 이러한 MP/NMP의 판정은 앞서 언급한 MP/NMP 판정회로에 의해 이루어진다.

시뮬레이션 결과 MP 상황의 페이딩에 대해서는 기존의 11탭 선형 등화기에 비해 약 4~5 dB 정도의 성능개선 효과를 얻을 수 있었다.

그림 6은 NMP 상황하에서 일반적인 11탭의 선형 등화기와 11탭의 기준탭 위치 가변방식 등화기를

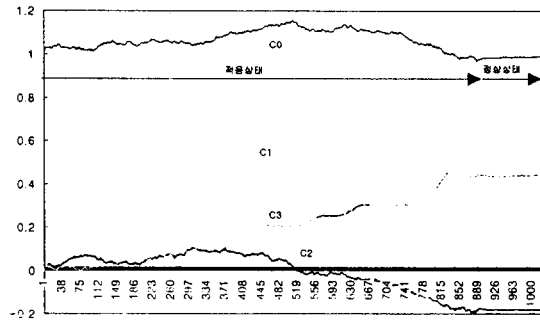


그림 7. 기준탭 위치가변방식 등화기의 탭계수 변화 (NMP=20 dB, notch frequency=center frequency)

Fig. 7. Tap coefficients variation of variable reference tap position equalizer(NMP=20 dB, notch frequency=center frequency).

비교한 것이다. 그림 5의 결과와 마찬가지로 11탭 선형 등화기에 비해 2~3 dB 정도의 성능개선을 보이고 있다.

그림 7은 notch depth=20 dB(NMP)으로 고정시킨 상황에서 기준탭의 변화에 따른 탭계수값의 변화를 나타낸 것이다. NMP 상황이므로 초기에 기준탭으로 설정하였던 C_0 는 수렴과정에서 C_1 으로 가변된다. 그림 7에서 보는 바와 같이 C_0 는 거의 변화가 없는 반면 C_1 은 거의 0.8에 근사하는 값으로 수렴하며 기준탭의 기능을 수행함을 알 수 있다.

본 논문에서는 MP↔NMP의 transition이 발생하는 경우는 시뮬레이션 대상에서 제외하였다. 그 이유는 MP↔NMP의 transition이 실제의 채널 환경에서는 그다지 빈번하게 발생하지 않으며 이러한 MP↔NMP의 transition이 발생하는 상황하에서는 다른 등화기 역시 수렴에 문제가 있기 때문이다.

하지만 만일의 경우 MP↔NMP의 transition이 빈번하게 발생하는 상황을 고려한다면 본 논문에서 제안한 기준탭 위치 가변방식 등화기는 탭위치가 순서적으로 변동하여 일반적인 선형등화기보다 그 수렴성능이 저하될 수도 있을 것이다. 이러한 문제

를 해결하기 위해서는 어느 시점에서 MP/NMP를 판정할 것인지에 대한 확실적인 데이터를 얻어 내어 빈번한 기준탭 변화를 방지하는 알고리즘을 찾아야 할 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 연구에서는 페이딩의 형태에 따라 등화기의 구조를 변화시켜 등화성능을 개선시킬 수 있는 기준탭 위치 가변방식의 등화기를 제안하였다. 시뮬레이션 결과, MP 상황하에서는 기존의 11탭 선형 등화기에 비해 약 4~5 dB, NMP 상황하에서는 약 2~3 dB 정도의 성능개선을 보였다. 본 연구에서는 MP↔NMP의 transition이 빈번하게 발생하는 상황을 고려하지 않았으며 이러한 상황이 발생한다면 빈번한 기준탭 위치의 변동으로 인한 수렴성의 문제점이 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 최적 MP/NMP 판정회로를 구현하여야 할 것이며, 제안한 방식의 등화기에 “far-off” 레환구조를 적용한다면 MP 상황의 페이딩에 대해서 보다 나은 성능을 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

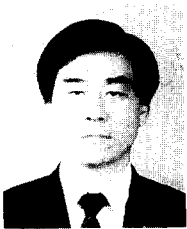
- [1] W. D. Rummler, R. P. Coutts and M. Liniger, "Multipath Fading Channel Models for Microwave Digital Radio," *IEEE Communication Magazine*, vol. 24, no. 11, pp. 21-30, Nov. 1986.
- [2] G. Sebald and D. Lankl, "Advanced Time and Frequency Domain Adaptive Equalization in Multilevel QAM Digital Radio Systems," *IEEE JSAS*, vol. SAC-5, no. 3, April 1987.
- [3] H. P. Corrales and O. J. Romero, "A Technique for Minimum/Non-minimum Phase Identification during Multipath

Fading”, *ICC*, pp. 704. 2. 1-704. 2. 6, 1990.
 [4] A. Nist and G. Sebald, “Combined Fully Digital Transversal and Decision Feedback Equalization for High Capacity Digital Radio Systems”, *3rd ECRR*, pp. 372-377, 1991.
 [5] 김재열, 장태화, 이용훈, “동기식 디지털 계층용 LOS 마이크로웨이브 전송시스템을 위한 적응등화기의 VLSI 설계”, *Telecommunications Review*, 제6권 1호, pp. 57-65, 1996. 6
 [6] Lecelert and Vandamme “Decision Feed-

back Equalization of Dispersive Radio Channel”, *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-33, no. 7, July 1985.

[7] H. C. Reeve and R. B. Ward, “An 11-tap 0.9um CMOS Digital Transversal Equalizer for Digital Radio”, *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-33, no. 7, July 1985.
 [8] 황희산, “마이크로파 디지털 무선 시스템에서 등화성능 개선에 관한 연구”, 한국항공대학 석사학위 논문, 1994.

이 대 영



1974년 2월 : 한국항공대학교 항공통신공학과 졸업(공학사)
 1988년 8월 : 경북대학교 산업대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1995년 2월 : 한국항공대학원 항공전자공학과 박사수료

1996년 3월 : 삼성전자(주) 통신연구소 수석연구원
 현재 : 우광정보통신(주) 사장
 [주 관심분야] 광 및 무선전송시스템

장 태 화



1991년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 졸업(공학사)
 1993년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과 졸업(공학석사)
 1995년 9월~현재 : 한국항공대학

원 항공전자공학과 박사과정

1993년 1월~현재 : 대영전자(주) R&D 연구소 주임연구원
 [주 관심분야] 광대역 멀티미디어 기술

방 효 창



1988년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 졸업(공학사)
 1992년 2월 : 한국항공대학원 항공전자공학과(공학석사)
 1997년 2월 : 한국항공대학원 항공전자공학과(공학박사)

1996년 3월~현재 : 두원공업전문대학 전파통신과 조교수
 [주 관심분야] 무선전송시스템, 무선모뎀

김 원 후



1959년 4월 : 한국항공대학교 항공전자과 졸업(공학사)
 1975년 2월 : 한양대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1987년 8월 : 경희대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1964년 10월~현재 : 한국항공대학교 항공전자공학과 교수
 [주 관심분야] 스펙트럼 확산 통신, 무선 전송시스템