

협대역 다중전송시스템에서의 등화 성능

유신우¹ · 지영근² · 조형원³ · 한철희³ · 서명환³ · 오혁준^{4*}

Performance of Equalization in Narrowband Multiple Transmission Communication Systems

Sinwoo Yoo¹ · Younggun Ji² · Hyung-Weon Cho³ · Chulhee Han³ · Myunghwan Seo³ · Hyukjun Oh^{4*}

¹Graduate Student, Department of Electronics and Comm. Engineering, Kwangwoon University, Seoul, 01897 Korea

²Staff Engineer, Hanwha Systems, Seongnam-si, Gyeonggi-do, 13524 Korea

³Principal Engineer, Hanwha Systems, Seongnam-si, Gyeonggi-do, 13524 Korea

^{4*}Professor, Department of Electronics and Comm. Engineering, Kwangwoon University, Seoul, 01897 Korea

요약

본 논문은 협대역 다중전송시스템의 구조 및 다중전송에 적합한 등화기의 성능 분석에 관한 것으로서, 등화 성능의 극대화를 위하여 다중전송에 있어 레인징 기법에 기반한 전송 시점 제어 방법을 제안하고, 제안된 다중 전송기법에 적합한 연판정 및 강판정 조합 궤환 적응 판정 등화기를 제안하였다. 본 논문에서 제안하는 연판정 및 강판정 조합 궤환 적응 등화기는 SNR의 범위에 따라 궤환 적응 등화기의 입력으로 사용되는 판정 방법을 가변하는 것이다. 제안된 기법의 우수성을 입증하기 위하여 페이딩 채널 환경에서 모의실험을 통하여 제안된 방법의 성능을 검증하였다. 성능 검증결과, 기존 방법과 비교하여 본 논문에서 제안하는 방법이 큰 복잡도 증가 없이 기존 방법의 성능을 뛰어넘는 우수한 성능을 보임을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, a multiple transmission communication system employing ranging based transmission timing adjustment capability is proposed. In addition, a decision feedback equalizer with the use of combinations of soft decision and hard decision adequate to the proposed multiple transmission communication system is also proposed. The proposed ranging based transmission timing adjustment capability makes the received signals from the multiple transmission points centered on the different symbol timing boundaries. The decision making method for the inputs to the proposed decision feedback equalizer is adaptively selected between soft decision and hard decision as per channel conditions like SNR. The performance of the proposed method had been analyzed through the simulation under the fading channel environments and compared with the previous methods. The simulation results showed performance improvement of the proposed method over the existing ones without noticeable increments in complexities.

키워드 : 협대역, 다중전송, 레인징, 연판정, 적응 등화기

Keywords : narrowband, multiple transmission, ranging, soft decision, adaptive equalizer

Received 31 March 2020, Revised 14 April 2020, Accepted 23 April 2020

* Corresponding Author Hyukjun Oh(E-mail:hj_oh@kw.ac.kr, Tel:+82-2-940-5132)

Professor, Department of Electronics and Comm. Engineering, Kwangwoon University, Seoul, 01897 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2020.24.5.623>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

현재 우리 군에서는 네트워크 중심전을 효과적으로 수행하기 위한 준비로 기존 음성 위주의 전술통신 체계를 IP 기반 데이터 통신을 중심으로 하는 새로운 전술통신 체계로 전환하기 위한 노력을 진행하고 있으며, 이미 일부 전술통신체계의 경우 성공적으로 전력화가 진행되고 있다 [1].

새로운 전술통신체계는 산악 지형이 많은 한국 지형의 특성상 지상에서 안정적인 통신에 유리한 가시선이 확보되는 무선전송 채널 환경의 확보가 어려운 한계를 극복하기 위하여 모바일 애드혹 네트워크 (MANET)를 구성하고 이를 기반으로 멀티 홉 (Multi-Hop) 중계가 가능한 방안을 추진하고 있다 [1]. 이뿐만 아니라, 회절성이 좋은 VHF 및 UHF 대역과 같은 비교적 민수 분야에서 주로 사용되고 있는 주파수 대역과 다른 상대적으로 낮은 주파수 대역의 사용이 중심이 되고 있다.

전술통신체계는 기본적으로 다양한 크기의 여러 부대에서 동시다발적으로 운용할 가능성이 있어, 동시에 운용 중인 각 부대의 전술통신 시스템 사이에 의도하지 않은 간섭이 발생할 수 있는 여지가 있다. 이러한 이유로 인하여, 상호 중복되지 않는 주파수의 할당이 필요하게 된다.

위에서 설명한 이유로 인하여, 전술통신체계에서는 여유 있는 채널 대역폭을 갖는 무선통신시스템의 운영이 쉽지 않은 상황으로 적지 않은 전술통신체계가 협대역으로 운용될 수밖에 없는 한계가 존재하게 된다 [2]. 따라서, MANET을 구성하여 멀티 홉 중계를 통한 통달 거리 확장을 위하여 요구되는 추가적인 제어 신호를 여러 통신 노드가 안정적으로 상호 주고받을 수 있는 충분한 대역폭을 확보하기가 어려울 뿐만 아니라, 통신에서 발생하는 지연시간도 증가 될 수밖에 없다 [3].

특히, 특정 노드의 전송 채널 특성이 나빠지게 되는 경우 잦은 재전송으로 인하여 해당 노드가 포함된 네트워크 전체 성능을 크게 떨어뜨리게 된다. 따라서, 협대역 무선통신시스템에서 이루어지는 제어 신호를 포함한 통신 데이터의 오류율이 최소가 되도록 하는 재전송 횟수를 줄이는 효율적인 라우팅 기법 등의 도입이 필요하다 [2].

하지만, 전술통신시스템의 가장 핵심 기능 중의 하나인 음성통신에 대하여는 재전송이 어렵고, 실시간성이

중요함에 따라 효율적인 라우팅 기법을 넘어서는 보다 근본적인 데이터 오류율을 최소화할 수 있는 기법이 요구된다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결할 수 있는 하나의 방법으로 다중전송 통신시스템을 제안한다. 다중전송 시스템이란 그림 1과 같이 동일한 정보 또는 신호를 여러 전송 노드에서 송신함으로써, 수신 노드에서 일종의 다중 경로 다이버시티 이득을 얻을 수 있도록 하는 무선 전송 기법이다.

하지만, 이러한 동일 주파수 대역에서의 동일 신호 전송은 수신 노드에서 자기 간섭 (self-interference)을 발생시키기 때문에 이를 효율적으로 제거하거나 완화할 수 있는 기법이 요구되게 된다 [4]-[6]. 다중전송 통신시스템에서 송신된 신호들은 일종의 독립적인 다중 경로로 볼 수 있으며 상대적으로 강한 포스트 커서 (post cursor)가 존재할 수 있으므로 본 논문에서는 다중 경로 간섭으로 발생하는 심볼간 간섭 (ISI)을 제거하기 위하여 판정 궤환 등화기 (decision feedback equalizer)의 사용을 제안한다.

판정 궤환 등화기 (DFE)는 일반적으로 강판정된 심볼의 결과에 오류가 있으면 해당 오류가 피드백 여파기를 통하여 전체 등화기에 전파되어 성능이 열화되는 잘 알려진 문제가 있다 [7]. 이런 오류 전파 문제를 완화하기 위하여 본 논문에서는 연판정 [8] 또는 강판정 결과를 적응적으로 선택하여 피드백 연파기의 입력으로 사용하는 방법을 제안한다.

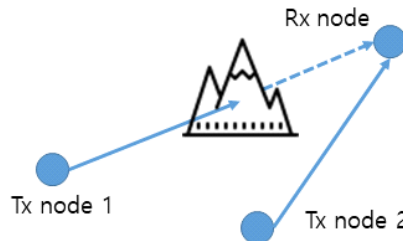


Fig. 1 Concept of multiple transmission communication systems to overcome unreliable channel conditions

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 본 논문에서 다루려고 하는 무선 통신시스템에 대하여 설명하며, III장에서는 본 논문에서 제안하는 다중전송 기법에 관하여 기술한다. IV장에서는 III장의 다중전송 기법에 적합한 DFE 구조에 대하여 설명하고 V장에서는 제안하

는 이동 속도 감응형 폐순환 무선전송기법의 효율성을 II장에서 설명한 시스템 모델을 기준으로 모의실험한 결과를 통하여 분석하며, 마지막으로 VI장에서는 결론을 제시한다.

II. 시스템 모델

일반적인 패킷 기반 무선 데이터 통신시스템의 경우 그림 2와 같은 패킷 구조를 갖는다 [3]. 패킷의 맨 앞부분에 동기를 위한 프리앰블 (preamble) 구간이 전송되고 뒤를 이어 전송된 데이터 복조를 위해 필요한 전송 데이터의 변조 방식 및 부호화율 (code rate)을 포함한 물리계층의 제어정보가 전송된다. 마지막으로 코히어런트 (coherent) 데이터 복조를 위하여 파일럿 신호와 데이터 신호가 서로 멀티플렉싱 되어 전송된다. 이때, 전송하는 데이터의 크기가 커질수록 파일럿 신호와 데이터 신호로 구성된 이러한 일종의 슬롯 (slot) 구조가 여러 번 반복되어 전송된다.

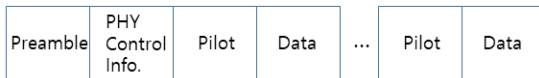


Fig. 2 General packet structure of wireless data transmission system

시간 영역에서 파일럿 신호들의 간격은 무선전송 채널이 시간에 따라 변하는 정도에 따라 해당 통신시스템이 운영되는 조건을 고려하여 결정된다.

송신 신호를 $s(t)$ 라고 할 때, 수신 신호 $y(t)$ 는 무선전송 채널을 통과 후 다음과 같은 형태로 수신된다.

$$y(t) = \sum_{n=0}^{N-1} (r_n(t) e^{j\theta_n(t)} s(t-t_n)) + w(t) \quad (1)$$

위에서, $r_n(t)$ 와 $\theta_n(t)$ 는 각각 n 번째 다중 경로의 진폭과 위상 응답을 나타내며, $w(t)$ 는 평균값 0과 σ^2 을 분산으로 갖는 백색 가우시안 잡음을 나타낸다. t_n 은 n 번째 다중 경로의 시간 지연을 나타내는 값으로써, $r_n(t)$ 와 $\theta_n(t)$ 와 마찬가지로 시간에 변화할 수 있는 값이다.

$$s(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} (p(t)d(t-mT)) \quad (2)$$

송신 신호 $s(t)$ 는 식 (2)와 같이 송신 데이터 심볼의 값이 $d(m)$ 이고 파형 성형 필터를 사용한 파형의 모양이 $p(t)$ 인 경우 식 (2)처럼 나타낼 수 있다.

파일럿 신호의 경우 $d(m)$ 값이 이미 수신부에 알려져 있고 송신부의 파형 성형 필터와 수신부의 정합필터 또는 저주파통과필터가 심볼간 간섭을 발생시키지 않도록 설계되었다면, 최적의 샘플링 타이밍에서 샘플링된 수신 신호에서 $d(m)$ 을 제거함으로써 $r_n(t)$ 와 $\theta_n(t)$ 를 추정할 수 있게 된다.

III. 다중전송기법

임의의 통신시스템에서 전송 채널 환경이 좋지 않을 경우, 수신 데이터의 오류가 발생하게 되어 안정적인 통신이 어려워진다. 이를 극복하는 한 가지 방법으로써 동일한 데이터를 전송 채널 환경이 양호한 다른 링크를 통하여 송신하는 방법이 있다. 즉, 기존 사용 중인 주 링크의 전송 채널 상태가 열화될 경우 동일한 수신기와와 전송 채널 상태가 상대적으로 양호한 다른 통신 노드의 송신기를 이용하여 동일한 데이터를 전송하는 일종의 보조 링크를 사용하는 것이다.

하지만 단순히 동일한 데이터를 보조 링크에서 전송할 경우, 비록 신호의 세기가 약해졌기는 하지만 기존 주 링크에서 송신되는 통신 신호와 동시에 수신되어 서로 일종의 간섭을 줄 수 있는 문제가 있다. 이를 가장 쉽게 극복하는 방법은 주 링크의 전송을 중단하고 보조 링크만을 사용하여 동일한 데이터를 송신하는 것이지만, 이 경우 소프트 컴바이닝 (soft combining)을 통한 최대 다이버시티 이득을 얻을 수 없어 수신 성능을 극대화할 수 없는 한계가 있다.

따라서 단순히 동일한 데이터를 보조 링크에서 동시에 송신하는 것을 넘어서 주 링크와 동일한 방식으로 변조된 동일한 통신 신호를 송신함으로써 다이버시티 이득을 극대화하는 방법이 더 선호된다.

다만 이럴 경우, 동일한 신호가 주 링크와 보조 링크에서 동시에 송신되는 관계로 수신기 입장에서는 일종의 다중 경로 페이딩 현상을 겪게 되어 안정적으로 고품

질의 통신 신호 수신에 어렵게 된다. 이를 해결하기 위하여 수신기에는 등화 장치가 필요하게 되지만, 두 송신기와 수신기 사이의 거리 차이가 크면 전송 채널의 딜레이 스프레드 (delay spread)가 커지게 되어 이를 극복하기 위하여 수신단의 등화기 복잡도가 상승하는 문제가 발생하게 된다.

협대역 통신시스템에서는 주 링크와 보조 링크의 송신 신호가 수신기에 시간상으로 큰 차이 없이 비슷한 타이밍에 수신되어 등화기가 주 링크와 보조 링크의 서로 다른, 일종의 다중 경로를 구별하여 등화하는 것이 쉽지 않아 등화기의 성능이 저하될 수 문제가 있다.

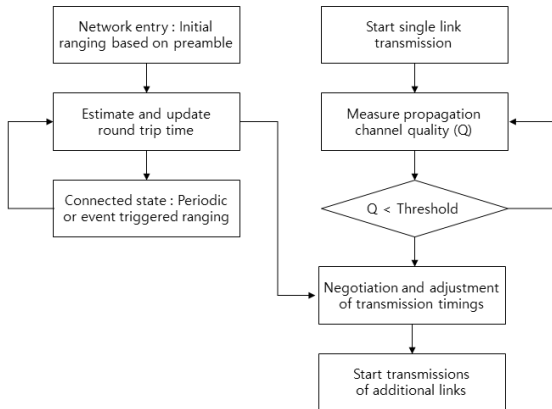


Fig. 3 The proposed multiple transmission procedures

본 논문에서는 상술한 주 링크 및 보조 링크를 이용한 다중전송기법에서의 문제를 해결하기 위하여 항상 상대적으로 전송 채널 상태가 양호한 링크의 송신 신호가 수신기에서 다른 링크의 송신 신호보다 최소 한 심볼 주기 이상의 시간 차이를 가지고 먼저 수신될 수 있도록 송신하는 것을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 다중전송기법을 그림 3에 요약하였다.

여러 노드가 네트워크로 연결된 통신시스템에서 각 노드는 인접한 노드들과 레인징 (ranging)과정을 통하여 왕복 지연시간 (round trip time)을 초기 네트워크에 연결될 때, 그리고 주기적으로 또는 미리 정해진 이벤트마다 측정하여 저장한다.

특정 노드 간의 전송 채널의 열화로 인하여 해당 링크의 데이터 오류가 증대될 경우, 해당 링크의 송신 노드와 연결된 다른 노드들 중 수신 노드와 전송 채널 상태가 양호한 노드를 선택한 후 새로 선택한 송신 노드로부터

새로운 송신 노드와 수신 노드 사이의 저장된 왕복 지연 시간을 요청하여 수신한다. 중앙 제어 노드가 존재할 때는 중앙 제어 노드를 통하여 해당 정보를 전달받는다.

기존 주 링크의 송신 노드는 전송 채널 상태가 양호한 보조 링크의 송신 노드와 수신 노드 사이의 왕복 지연 시간을 자신과 수신 노드와의 왕복 지연시간과 비교한 후, 한 심볼 주기 이상의 시간 차이가 나도록 송신 시간을 지연시켜 결정한 후, 결정된 송신 타이밍을 새로 선정된 보조 링크의 송신 노드에 송신할 데이터와 함께 전달한다. 주 링크는 송신 타이밍을 조절하여 해당 타이밍에 전송을 시작하며, 새로 선정된 보조 링크의 송신 노드는 전달받은 송신 타이밍을 기반으로 자신의 수신 노드와의 왕복 지연시간을 참조하여, 자신이 송신하는 신호가 한 심볼 주기 이상 앞서도록 송신 타이밍을 결정한 후 전달받은 데이터를 주 링크 송신 노드와 동일하게 변조하여 송신을 시작한다.

이러한 다중전송 방법을 통하여 등화 성능을 극대화할 수 있음을 IV장에서 설명하고, 제안된 다중전송 기법에 적합한 등화기를 제안한다.

IV. 등화기

두 송신 노드에서 송신된 신호는 수신부에 한 심볼 주기 이상의 시간적 차이를 가지고 수신된다. 물론 여기에는 주 링크 / 보조 링크 각각의 다중 경로가 모두 포함되어 수신에 이루어진다. 채널 상태가 상대적으로 양호한 링크의 신호가 시간상으로 먼저 수신되므로 이를 기준으로 송수신 기준 타이밍 동기를 맞추어 성능 극대화를 할 수 있으나 노드가 이동할 경우 페이딩 현상으로 인하여 항상 보조 링크의 송신 신호가 가장 강하게 수신된다는 보장을 할 수 없다. 특히, 두 링크의 송신 신호가 비슷한 세기로 수신될 경우 수신된 두 신호의 위상에 따라 수신된 신호가 거의 소멸하는 현상이 발생할 수도 있다. 이럴 경우, 일반적인 선형 등화기를 사용해서는 오류 없이 데이터를 복원하기 어렵게 된다. 이러한 이유로 본 논문에서는 수신부에서 DFE를 사용하는 것을 제안한다.

DFE는 그림 4와 같이 일반적으로 일종의 선형 등화기인 피드포워드 (feedforward) 여파기와 강판정을 내린 심볼을 입력으로 하는 피드백 (feedback) 여파기로 구성이 된다. 이때, 강판정을 내린 심볼 값에 오류가 있을 경우,

해당 오류 값이 피드백 여파기의 모든 탭으로 전파가 되어 전체 등화기의 탭 계수가 발산하면서 등화기의 성능이 떨어지거나 심할 경우 동작 불능 상태에 빠지게 된다.

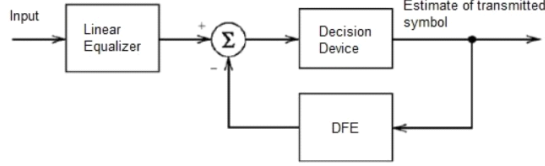


Fig. 4 General architecture of decision feedback equalizer

이런 오류 전파 문제를 완화하기 위하여 본 논문에서는 SNR과 같은 등화기와 관련된 품질 파라미터에 따라 연관성 또는 강판정 결과를 적응적으로 선택하여 피드백 여파기의 입력으로 사용하는 방법을 제안한다. 또한, 피드백 여파기의 출력을 바로 적용하는 대신 γ 라는 일종의 이득 값을 도입하여 판정된 값의 신뢰도에 따라 조절할 수 있도록 한다. 제안하는 DFE의 전체 구조는 그림 5와 같다.

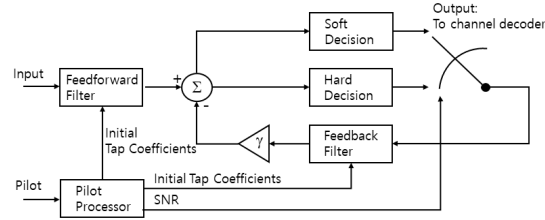


Fig. 5 Proposed architecture of decision feedback equalizer

매 슬롯마다 전송되는 파일럿 신호를 이용하여 초기 등화기의 탭 계수를 결정하거나 적응 등화기의 탭 계수를 훈련 모드로 수렴시킬 수 있다. 아래는 세 탭의 TD (tapped-delay line)로 모델링된 다중 경로 채널에 대하여 파일럿을 이용한 초기 등화기 탭 계수 결정 단계를 설명한 것이다.

$$\begin{bmatrix} y(3) \\ y(4) \\ y(5) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h(2) & h(1) & h(0) & 0 & 0 \\ 0 & h(2) & h(1) & h(0) & 0 \\ 0 & 0 & h(2) & h(1) & h(0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d(1) \\ d(2) \\ d(3) \\ d(4) \\ d(5) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w(1) \\ w(2) \\ w(3) \end{bmatrix} \quad (3)$$

식 (1), (2)으로부터 $h(n)$ 이 TD로 표현된 전송 채널 계수일 때, 식 (3)과 같이 수신 신호를 표시할 수 있다. 이 식을 DFE 수행을 위하여 피드포워드 부분과 피드백 부분으로 나누어 재정리하면 식 (4)와 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} y(3) \\ y(4) \\ y(5) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h(2) & h(1) \\ 0 & h(2) \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d(1) \\ d(2) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h(0) & 0 & 0 \\ h(1) & h(0) & 0 \\ h(2) & h(1) & h(0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d(3) \\ d(4) \\ d(5) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w(1) \\ w(2) \\ w(3) \end{bmatrix} \quad (4)$$

식 (3), (4)를 간단하게 표현하면,

$$\begin{aligned} \mathbf{y} &= \mathbf{H}\mathbf{d} + \mathbf{w} \\ &= \mathbf{H}_b\mathbf{d}_b + \mathbf{H}_f\mathbf{d}_f + \mathbf{w} \\ \mathbf{y} - \mathbf{H}_b\mathbf{d}_b &= \mathbf{H}_f\mathbf{d}_f + \mathbf{w} \\ \mathbf{y}' &= \mathbf{H}_f\mathbf{d}_f + \mathbf{w} \end{aligned} \quad (5)$$

와 같으며 최종식을 이용하여 초기 DFE 등화기의 탭 계수를 결정할 수 있다.

DFE의 오류 전파 문제를 완화하기 위하여 SNR이 낮아 강판정 심볼 값을 신뢰하기 어려울 때는 연관성 값을 γ 만큼 조정하여 사용하고, SNR이 높아 강판정 결괏값에 대한 신뢰성을 높은 경우에는 강판정된 심볼 값을 $\gamma = 1$ 로 하여 그대로 사용한다. 다중전송이 이루어져야 하는 상황이며, 기본적으로 전송 채널의 상태가 좋지 못한 상황이므로 낮은 MCS 레벨로 전송하는 것이 타당하다. QPSK 변조 방식을 가정하고 최적 연관성 값 $\Psi(y(n))$ 를 유도하면 식 (6)과 같다.

$$\begin{aligned} Re(\Psi(y(n))) &= \frac{1}{\sqrt{2}} Pr\left\{Re(d(n)) = \frac{1}{\sqrt{2}}|y(n)\right\} \\ &\quad - \frac{1}{\sqrt{2}} Pr\left\{Re(d(n)) = \frac{-1}{\sqrt{2}}|y(n)\right\} \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} \tanh\left(\frac{\sqrt{2} Re(y(n))}{\sigma^2}\right) \end{aligned} \quad (6)$$

연관성 값 $\Psi(y(n))$ 의 허수부도 동일한 방법으로 유도할 수 있다.

$\tanh()$ 함수의 특성상 함수의 입력값의 절댓값이 커짐에 따라서 1로 수렴하는 특성을 보이게 된다. 이러한 관찰을 근간으로 연관성 결과와 강판정 결과를 선택하는 SNR의 임곗값을 결정할 수 있다.

DFE는 오류 전파로 인하여 탭 계수가 수렴하지 않고 발산할 경우, 다시 정상적으로 탭 계수를 수렴시키기 위한 추가 조치가 필요하게 된다. 이 점을 고려하여 강판정에서 연관성으로 전환하는 임곗값과 연관성에서 강판정으로 전환하는 임곗값을 다르게 설정할 수 있도록 한다.

V. 모의실험 결과 및 분석

본 논문에서 제안하는 다중전송 통신시스템의 성능 평가를 위하여 페이딩 채널 환경에서 모의실험을 통하여 검증하였다. 페이딩 채널 모델은 총 7개의 다중 경로로 구성되어 있으며 [9], 파워 프로파일 (power profile) 과 딜레이 프로파일 (delay profile)은 각각 [0, -13.5, -13.5, -11.5, -11.0, -12.5, -11.5] dB와 [0, 1.6, 3.2, 4.8, 6.4, 8.0, 9.6] usec를 갖는다. 모든 경로는 Rayleigh 채널 모델을 따른다.

대역폭 100kHz를 갖는 협대역 무선 통신시스템으로써, 등화기의 성능을 최종적으로 확인하는 것이 목적이므로 채널부호는 고려하지 않고 심볼 오류율 (SER)을 기반으로 성능을 평가하였다. 파일럿에 할당하는 리소스는 일반적인 무선통신시스템과 유사하게 20% 수준에서 설정하여, 파일럿 심볼 길이 32와 데이터 심볼 길이 128을 가정하였다. 본 모의실험에서는 2개의 다중전송 링크를 가정하였으며, 두 링크의 다중 경로들로 인한 자기 간섭이 가장 심하게 나타나는 경우인, 두 링크의 평균 전파 세기가 동일한 상황을 가정하였다.

비교 성능 평가를 위하여 제안한 다중전송 통신시스템에 선형 등화기, 기존 DFE 및 본 논문에서 제안하는 DFE를 적용하여 상호 SER을 비교하였다. 페이딩 환경을 위한 이동 속도는 3km/h와 60km/h를 적용하였으며, 연관정과 강관정을 결정하는 임계값은 15dB로 설정하였다.

그림 6은 3가지 서로 다른 등화기에 대하여 두 가지 속도에 대한 모의실험 결과를 정리한 것이다. 실선은 3km/h 속도에 대한 SER 곡선이고, 점선은 60km/h의 경

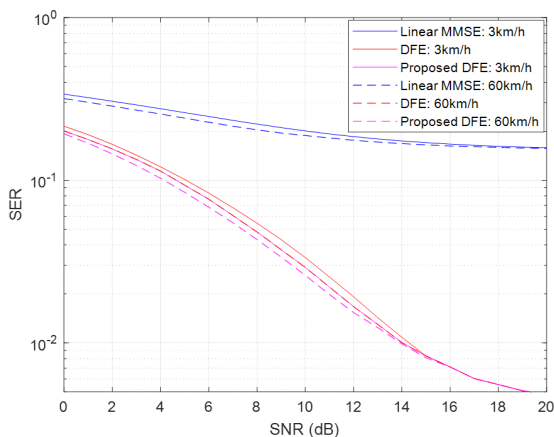


Fig. 6 SER vs SNR curves

우에 대한 성능 곡선이다. 그림 6에서 보듯이 본 논문에서 제안한 다중전송기법을 새롭게 제안된 DFE와 같이 사용할 경우, 중/저 SNR 영역에서 최소 0.5dB 이상의 성능 우위를 일반적인 DFE에 비하여 얻을 수 있었다.

그 밖에, 앞에서 서술하였듯이 선형 등화기의 경우 이런 운용환경에서는 정상적으로 동작하기 어려움을 확인할 수 있었다. 또한, 페이딩 현상으로 인하여 SNR이 높은 구간에서는 SNR이 높아지더라도 더는 SER이 개선되지 않는 에러 바닥 현상을 관찰할 수 있었다.

VI. 결론

본 논문에서는 레인징을 통하여 얻은 관련 노드들 사이의 왕복 지연시간을 고려하여 수신 노드에서 수신되는 각 송신 노드의 신호가 최소 심볼 주기의 정수배 차이가 나도록 각 송신 노드의 송신 타이밍을 조절하는 다중전송 기법과 이에 적합한 DFE 구조를 제안하였고, 제안된 기법의 성능을 페이딩 채널 환경에서 모의실험을 통하여 검증하였다. 기존 방식과 비교하여 큰 리소스 증가 없이 더 성능이 우수한 안정적인 통신이 가능함을 확인하였다.

References

- [1] S. Cho, "Analysis on the Status of Development and Effects on the Other System of Combat Wireless System," *Defense and Technology*, no. 446, pp. 92-99, April, 2016.
- [2] Y. Ha, J. Choi, D. Kim, and H. Oh, "A closed loop wireless transmission method adaptive to mobile speed and its performance analysis," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 23, no. 12, pp. 1666-1672, Dec., 2019.
- [3] T. Qiang, W. Bingwen, and D. Zhicheng, "MS-Leach: A Routing Protocol Combining Multi-hop Transmissions and Single-hop Transmissions," *2009 Pacific-Asia Conference on Circuits, Communications and Systems*, Chengdu: CN, pp. 107-110, 2009.
- [4] J. Son and K. Kim, "Tap-length Optimization of Decision Feedback Equalizer Using Genetic Algorithm," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 19, no. 8, pp. 1765-1772, Aug., 2015.

- [5] S. Sur, R. Bera, and B. Maji, "Feedback Equalizer for Vehicular Channel," *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, vol. 10, no. 1, pp. 50-68, March, 2017.
- [6] K. Ying, H. Qian, R. Baxley, and S. Yao, "Joint Optimization of Precoder and Equalizer in MIMO VLC Systems," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 33, no. 9, pp. 1949-1958, Sept. 2015.
- [7] M. Reuter, J. Allen, J. Zeidler, and R. North, "Mitigating error propagation effects in a decision feedback equalizer," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 49, no. 11, pp. 2028-2041, Nov. 2001.
- [8] J. Tao, "On Low-Complexity Soft-Input Soft-Output Decision-Feedback Equalizers," *IEEE Communications Letters*, vol. 20, no. 9, pp. 1737-1740, Sep., 2016.
- [9] J. Berger, "L-Band Channel Modeling," *Proc. IEEE/AIAA Integrated Communication, Navigation, & Surveillance Conference*, Altimore: MD, pp. 1-3 May 2006.



유신우(Sinwoo Yoo)

2008년 2월: 광운대학교 전자통신공학과 공학사
 2010년 2월: 광운대학교 전자통신공학과 공학석사
 2011년 8월 ~ 2015년 12월: LG MEA 지역 본부
 2016년 9월 ~ 2017년 3월: ㈜다원시스 ITR 사업부
 2018년 9월 ~ 현재: 광운대학교 전자통신공학과 박사과정

※ 관심분야: 통신신호처리, 데이터신호처리, 인공지능



지영근(Younggun Ji)

2006년 2월: 인하대학교 전자공학 공학사
 2008년 2월: 인하대학교 전자통신공학 공학석사
 2007년 12월 ~ 현재: 한화시스템 전문연구원

※ 관심분야: 통신신호처리, MU-MIMO, RRM, CR



조형원(Hyung-Weon Cho)

1992년 2월: 광운대학교 전자공 재료학과 학사
 1994년 2월: 광운대학교 전자공 재료학과 석사
 2012년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 박사

1997년 7월 ~ 현재: 한화시스템 수석연구원
 ※ 관심분야: Military Wireless Comm, 통신 시스템, 네트워크 설계 및 최적화



한철희(Chulhee Han)

1997년 2월: 중앙대학교 전자공학과 공학사
 1999년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 공학석사
 2007년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 공학박사

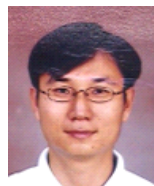
2006년 11월 ~ 현재: 한화시스템 수석연구원
 ※ 관심분야: 전술통신, 이동통신시스템, 신호처리, Cognitive Radio



서명환(Myunghwan Seo)

2002년 2월: 충남대학교 정보통신공학과 학사
 2004년 2월: 한국과학기술원 전자공학과 석사
 2009년 2월: 한국과학기술원 전자공학과 박사

2009년 1월 ~ 현재: 한화시스템 수석연구원
 ※ 관심분야: Mobile Ad-hoc Network, Wireless Mesh Network, Network Synchronization, Military Comm.



오혁준(Hyukjun Oh)

1993년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학사

1995년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사

1999년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학박사

1999년 9월 ~ 2000년 12월: 미국 Stanford University 박사후과정

2001년 1월 ~ 2004년 8월: 미국 퀄컴 QCT 3GPP 사업부

2004년 3월 ~ 현재: 광운대학교 전자통신공학과 교수
 ※ 관심분야: 통신신호처리, VLSI 신호처리, 인공지능/데이터신호처리