

## 이동 속도 감응형 폐순환 무선전송기법 및 성능 분석

하영석<sup>1</sup> · 최중원<sup>2</sup> · 김동현<sup>2</sup> · 오혁준<sup>3\*</sup>

### A closed loop wireless transmission method adaptive to mobile speed and its performance analysis

Youngseok Ha<sup>1</sup> · Jeungwon Choi<sup>2</sup> · Donghyun Kim<sup>2</sup> · Hyukjun Oh<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Researcher, Defense Agency for Technology and Quality, Daejeon, 34027 Korea

<sup>2</sup>Researcher, Agency for Defense Development, Daejeon, 34186 Korea

<sup>3\*</sup>Professor, Department of Electronics and Comm. Engineering, Kwangwoon University, Seoul, 01897 Korea

#### 요 약

본 논문은 이동 속도 감응형 폐순환 무선전송기법 및 성능 분석에 관한 것으로서, 이동 속도에 따라 송신부에서 파일럿 신호를 전송하는 주기를 변경하고, 폐순환 동작을 위해 수신부에서 필요한 변경된 파일럿 신호 전송 주기에 대한 정보를 송신부에서 직접 전송하지 않더라도 수신부에서 전송된 파일럿 신호에 기반하여 간접적으로 이에 대한 정보를 추출할 수 있도록 하는 이동 속도 감응형 폐순환 무선전송기법을 제안하고, 제안된 기법의 우수성을 입증하기 위하여 페이딩 채널 환경에서 모의실험을 통하여 제안된 방법의 성능을 검증하였다. 성능 검증결과, 기존 방법과 비교하여 본 논문에서 제안하는 방법은 추가 전송되는 오버헤드 없이도 기존 방법의 성능을 뛰어넘는 우수한 성능을 보임을 확인하였다.

#### ABSTRACT

A closed loop wireless transmission method adaptive to mobile unit speed is proposed in this paper. A mobile communication node measures the mobile speed based on the transmitted pilot signals through Doppler frequency estimation, and it changes the transmission period of pilot signals as per estimated mobile speed adaptively. The pilot signals with the different transmission periods are transmitted using the different PN sequences with the previous ones without any explicit information about the new period. The corresponding receiver node can detect and extract the transmitted pilot signals through blind search of the transmitted PN sequences of the pilot signals, and it can demodulate and decode the transmitted information using the channel estimation results based on the detected pilot signals. 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.

**키워드** : 단말속도, 페루프, 적응전송, 무선통신, 오버헤드

**Keywords** : mobile speed, closed loop, adaptive transmission, wireless, overhead

Received 4 September 2019, Revised 6 September 2019, Accepted 24 September 2019

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

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

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2019.23.12.1666>

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. 서 론

현재 상용화되어 있는 이동 무선 통신시스템들은 코히어런트(coherent) 방식의 송수신 기법을 사용하여 전송 채널 특성이 좋지 않은 이동 무선 채널로 인한 신호의 왜곡을 보상할 수 있도록 하여 성능을 극대화할 수 있도록 설계하는 경우가 적지 않다 [1].

이러한 코히어런트 방식의 무선 통신시스템을 설계하기 위하여는 전송 채널 특성을 추정하여야 하면, 이를 위하여 파일럿(pilot) 신호를 데이터 송신 신호와 함께 멀티플렉싱(multiplexing)하여 송신하는 과정이 필요하다 [2].

이러한 파일럿 신호는 일종의 오버헤드(overhead)로써, 전체 무선통신시스템의 전력, 대역폭, 시간 등등 일부 리소스(resource)를 점유하여 전송되므로 전체 무선 통신시스템의 용량을 줄어든다 하므로 가능한 최소의 양을 할당하는 것이 중요하다.

하지만, 채널 특성을 고려하지 않고 무조건 최소의 리소스만을 파일럿에 할당하는 경우엔 SNR(signal to noise ratio)에 따른 BER(bit error rate) 성능을 크게 나쁘게 만들어 전체 시스템의 성능을 대폭 떨어뜨리게 된다. 결론적으로 전체 시스템의 QoS(quality of service)를 유지할 수 있는 최소의 리소스를 파일럿에 할당하는 것이 가장 최적의 방법이다.

대부분의 코히어런트 방식에 기반한 무선 통신시스템의 경우엔 파일럿 신호와 데이터 신호를 시간상으로 멀티플렉싱하여 전송한다 [1], [2]. 직접 대역 확산의 경우엔, 파일럿과 데이터 신호를 동시에 코드를 사용하여 멀티플렉싱하여 전송하기도 한다 [3]. OFDM(orthogonal frequency division multiplexing)과 같은 다중직교반송파 전송 방식의 경우에는 격자 모양을 갖도록 파일럿 부반송파(subcarrier)를 시간과 주파수 영역에 할당하여 전송하는 기법이 일반적으로 사용되고 있다 [4].

무선 전송 채널은 무선통신 네트워크를 구성하는 노드의 송신부 또는 수신부가 움직이거나 주변 환경에 변화가 있는 경우 시간에 따라 채널 특성이 변화하게 된다. 따라서, 수신부는 성공적인 데이터 복조를 위하여는 시간에 따라 변화가 발생한 무선 채널 특성을 지속적으로 추정하여 추적하여야 한다 [5], [6].

무선 전송 채널의 특성이 변하는 속도를 채널 추정 속도가 따라가지 못하거나, 충분한 정확도를 갖도록 변화

한 전송 채널 특성의 추정이 이루어지지 않을 경우, 해당 무선 통신시스템의 성능은 적지 않게 떨어질 수밖에 없다.

IEEE 802.11 계열의 무선랜 통신시스템의 경우, AP를 중심으로 실내외에서 노드들이 움직이지 않고 고정된 상태에서 사용한다는 운용 환경을 가정하고 설계된 시스템으로써, 초기 동기를 잡기 위한 일종의 파일럿 신호와 채널 추정을 위한 파일럿 신호를 패킷의 전반부에 전송한 이후 실제 데이터 신호가 전송되는 구간에는 4개의 파일럿 부반송파를 제외하고 어떠한 추가적인 파일럿 신호도 전송되지 않는다 [7]. 반면에 IEEE 802.11a의 물리계층을 기반으로 표준화된 차량에 적용을 목적으로 하는 무선 통신시스템인 WAVE 시스템의 경우, 추가적인 파일럿 신호인 미드앰블(midamble) 신호를 옵션으로 사용할 수 있도록 추가하였다 [8].

위와 같이, 무선통신 노드의 이동 속도가 증가 될수록 추가적인 리소스가 파일럿 신호에 할당되어야 수신부에서 성공적인 복조가 가능한 수준의 무선 전송 채널의 추정 및 추적이 가능하다. 반면에, 무선통신 노드의 이동 속도가 작아질수록 무선 전송 채널 특성의 변화가 심하지 않아 적은 파일럿 신호에 할당된 리소스만 가지고도 충분히 성공적으로 데이터 복조가 가능한 수준의 채널 추정이 가능하므로, 이런 경우엔 파일럿 신호에 할당된 리소스를 회수하여 데이터 신호에 해당 리소스를 할당하는 것이 전체적인 통신시스템의 쓰루풋(throughput)을 증가시킬 수 있어 유리하다.

결론적으로, 현재 이동하는 통신 노드의 속도에 따라 가변적으로 파일럿 신호에 대한 리소스를 할당하여 원하는 전체 통신시스템의 요구 성능을 만족하면서도 데이터 전송에 사용되지 않는 리소스를 최소로 하는 방법이 요구된다 [9].

본 논문에서는 최소의 리소스를 사용하는 이동 속도 감응형 폐순환 무선전송기법을 제안하고, 제안된 기법의 우수성을 입증하기 위하여 페이딩 채널 환경에서 모의실험을 통하여 전체 통신시스템의 요구 성능을 만족함을 보인다.

제안하는 방법은 이동하는 통신 노드의 속도에 따라 파일럿 신호가 전송되는 주기를 적응적으로 변경하도록 한다. 일반적으로 정상적인 통신을 위하여 변경된 파일럿 신호의 전송 주기를 해당 수신 노드가 알 수 있도록 주기에 대한 정보를 따로 보내주어야 하나, 본 논문

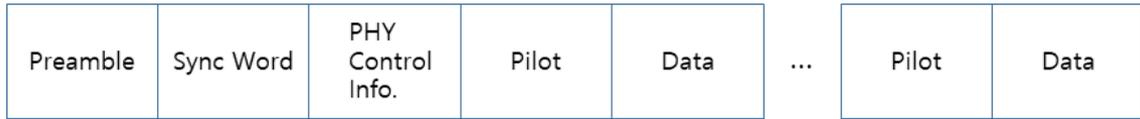


Fig. 1 General packet structure of wireless data transmission system

에서 제안하는 방법은 그러한 정보의 전송 없이 파일럿 전송 신호의 PN (pseudo random) 시퀀스 (sequence)를 주기에 따라 다르게 전송함으로써, 추가적인 오버헤드가 생기지 않도록 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 본 논문에서 다루려고 하는 무선 통신시스템에 대하여 설명하며, III장에서는 본 논문에서 제안하는 이동 속도 감응형 폐순환 무선전송기법에 관하여 기술한다. IV장에서는 제안하는 이동 속도 감응형 폐순환 무선전송기법의 효율성을 II장에서 설명한 시스템 모델을 기준으로 모의실험한 결과를 통하여 분석하며, 마지막으로 V장에서는 결론을 제시한다.

## II. 시스템 모델

일반적인 패킷 기반 무선 데이터 통신시스템의 경우 그림 1과 같은 패킷 구조를 갖는다. 패킷의 맨 앞부분에 동기를 위한 자유 도박 (preamble) 구간과 패킷의 시작이나 동기의 검증을 위한 싱크워드 (syncword)가 전송된다. 그다음에는 전송된 데이터 복조를 위해 필요한 전송 데이터의 변조 방식 및 부호화율 (code rate)을 포함한 물리계층의 제어정보가 전송된다. 마지막으로 코히어런트 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.

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

송신 신호를  $s(t)$ 라고 할 때, 수신 신호  $y(t)$ 는 무선 전송 채널을 통과 후 다음과 같은 형태로 수신된다. 협대역 무선 통신시스템의 경우 대역폭이 충분히 작은 이유로 다중 경로의 개수  $N$ 을 1로 가정할 수 있다.

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

위에서,  $r_n(t)$ 와  $\theta_n(t)$ 는 각각  $n$ 번째 다중 경로의 진폭과 위상 응답을 나타내며,  $w(t)$ 는 평균값 0과  $\sigma^2$ 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 값이나 본 논문에서는 등기부에서 정상적으로 이러한 시간 지연을 추정 및 추적할 수 있다는 가정하에 상수로 표시한다. IV장의 모의실험을 진행하면서 동일한 가정을 적용하여 분석한다.

무선 전송 채널 특성이 통신 노드의 이동으로 인하여 시간에 따라 변하지 않더라도 잔여 주파수 오프셋 등과 같은 신호를 왜곡시키는 성분들이 무선 전송 채널 이외에도 나타나게 되므로, 수신부는 파일럿 신호에 기반하여 이러한 신호 왜곡 요소를 극복할 수 있는 복조 파라미터를 추정하여야 한다.

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

송신 신호  $s(t)$ 는 식 (2)와 같이 송신 데이터 심볼의 값이  $d(m)$ 이고 파형 성형 필터로 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.

협대역 무선 통신시스템의 경우, 하나의 무선 전송 경로만이 추출할 수 있으므로 일반적으로 데이터 신호 양 쪽에서 수신된 파일럿 신호를 사용하여 선형 보간을 수행하여 데이터 복조에 필요한 무선 전송 채널 상태를 추정하는 경우가 많다.

### III. 이동 속도 감응형 폐순환 무선전송기법

폐순환 무선통신시스템은 수신부에서 측정된 채널 상태를 송신부에 전달하면, 송신부에서는 측정된 채널 상태에 적합한 신호의 형상으로 송신 신호를 변경하여 송신한다. 이러한 과정을 통하여 현재 채널 상태에 최적화된 신호에 기반하여 통신을 수행함으로써 성능을 향상시킬 수 있다.

하지만, 이러한 폐순환 무선통신시스템은 수신부에서 측정된 채널 상태를 송신부에 전달하는 과정, 그리고 송신부에서 현재 측정된 채널 상태에 따라 송신 신호를 변경한 후 성공적인 통신을 위하여 수신부에 이러한 변경사항을 전달하여야 하는 과정으로 인하여 추가적인 데이터가 발생하게 되고, 이는 오버헤드로 작용하게 되어 전체 시스템 쓰루풋을 저하시키게 된다. 그뿐만 아니라, 상호 추가적인 정보 데이터를 주고받는 상황에서 에러가 발생하면 정상적인 통신이 이루어지는 것이 불가능하므로 전체 통신시스템의 불안정을 일으키게 된다.

이동 속도에 따라 전송 채널의 특성이 시간에 따라 변하는 속도가 결정되므로, 이동 속도가 커질수록 정확한 채널 추정을 위하여는 채널 추정에 필요한 파일럿 신호 전송 주기를 빠르게 변경하고, 이동 속도가 느려지는 경우엔 파일럿 신호 전송 주기를 느리게 변경하는 것이 통신 성능 및 리소스 활용성에 있어서 우수한 특성을 나타내게 된다.

단일 캐리어 (single carrier) 전송 방식 통신시스템의 경우 그림 1과 같이 파일럿 신호와 일반 데이터 신호를 주기적으로 반복하여 전송하는 것이 일반적이다. 즉, 파일럿 신호 전송 후 일정 길이의 일반 데이터 신호를 전송하고 다시 파일럿 신호를 전송 후 일반 데이터 신호를 전송하는 것을 주기적으로 반복하는 형태이다. 따라서 이동 속도에 따라 송신부에서 파일럿 전송 주기를 변경한 경우, 이에 대한 정보가 수신부에 전달이 되어야만 수신부는 성공적으로 데이터를 수신할 수 있다.

이동 속도가 빠르게 변화할 수 있기 때문에 우수한 통신 품질을 유지하기 위해서는 이동 속도 변화에 따라 파일럿 주기도 빠르게 변경되어야 한다. 하지만 이러한 잦은 파일럿 신호 송신 주기의 변경은 송신부에서 수신부로 잦은 파일럿 신호 전송 주기 정보를 보내야 하므로 앞에서 지적한 오버헤드 증가 및 통신 신뢰성을 떨어뜨릴 수 있는 문제가 있다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 이동 속도에 따라 송신부에서 파일럿 신호를 전송하는 주기를 변경하고, 폐순환 동작을 위해 수신부에서 필요한 변경된 파일럿 신호 전송 주기에 대한 정보를 수신부에 직접 전송하지 않더라도, 파일럿 전송 주기에 따라 구별되는 PN 시퀀스로 구성된 파일럿 신호 패턴을 송신함으로써 수신부에서 전송된 파일럿 신호에 기반하여 간접적으로 이에 대한 정보를 추출할 수 있도록 하는 이동 속도 감응형 폐순환 무선 전송기법을 제안한다.

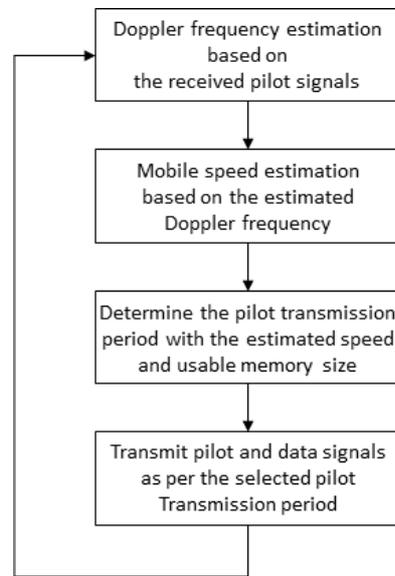


Fig. 2 Tx flowchart of the proposed closed loop wireless transmission method adaptive to mobile speed

그림 2에 도시된 바와 같이 송신부에 도플러 주파수 기반 이동 속도 측정기를 갖추고 이를 통하여 이동 속도를 측정된 후, 측정된 이동 속도에 따라 최적의 파일럿 신호 송신 주기를 정하고 파일럿 신호와 일반 데이터를 심볼 단위로 전송한다.

이때, 특정 길이를 갖는 파일럿 신호 패턴을 정의하고 이동 속도에 따라 파일럿 신호 전송이 필요한 심볼에서 해당 패턴을 송신하고 파일럿 신호 전송이 필요하지 않은 심볼에서는 일반 데이터 신호를 전송한다. 수신부는 수신된 심볼의 신호 패턴을 파일럿 신호 패턴과 비교하여 매칭될 경우 해당 심볼을 파일럿 신호로 판단하고, 판단 결과에 맞추어 데이터 복원을 수행한다.

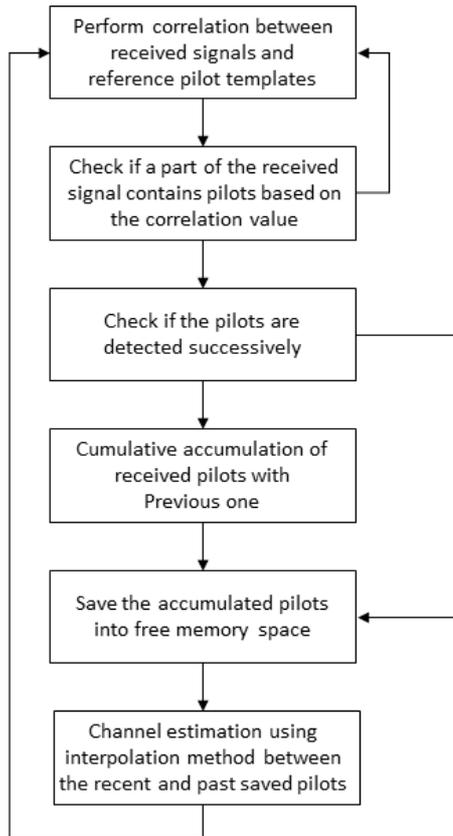


Fig. 3 Rx flowchart of the proposed closed loop wireless transmission method adaptive to mobile speed

송신부가 이동 속도를 직접 측정하므로 수신부로부터 측정된 이동 속도 정보를 폐순환으로 따로 받을 필요가 없고, 송신부에서 측정된 이동 속도에 따라 파일럿 신호를 최적 주기로 변경하여 전송하는 경우에도 송신부에서 따로 파일럿 신호 전송 주기 정보를 수신부에 전송할 필요 없이, 그림 3과 같이 수신부에서 자체적으로 수신된 심볼 수신 패턴에 따라 파일럿 여부를 판단하므로, 기존 방식의 오버헤드로 인한 리소스 낭비 및 잦은 제어정보를 주고받음으로써 발생할 수 있는 통신 신뢰성 문제에서 벗어날 수 있다.

본 논문에서 제안하는 이동 속도 감응형 폐순환 무선 전송기법의 경우, 실질적으로 통신 노드의 이동 속도를 몇 개의 구간으로만 나누어 추정하더라도 데이터 복조에 있어 충분한 성능 이득을 얻을 수 있다. 따라서, 이동 속도 측정 알고리즘에 민감하지 않은 장점이 있다. 본 논문에서는 그림 4와 같은 파일럿 신호의 자기 상관 함수

(auto-correlation function)에 기반한 이동 속도 추정 알고리즘을 사용하였다.

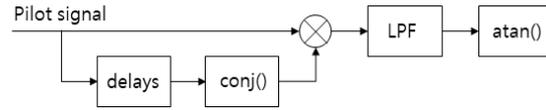


Fig. 4 Auto-correlation based Doppler shift estimator

수신부에서 파일럿 심볼 여부를 판단함에 있어, 해당 심볼에 포함된 특정 길이  $L$ 의 파일럿 데이터를 모두 사용할 수 있어 SNR를  $L$ 배 높일 수 있으므로 일반 데이터 심볼 대비 우수한 파일럿 심볼 여부 판단 성능을 보인다.

본 논문에서 제안하는 수신부에서 일반 데이터를 복원하는 방법은, 제안하는 무선 전송기법을 통하여 특정 심볼이 파일럿 심볼인지 아닌지를 판단하여 두 파일럿 심볼 사이에 일반 데이터 심볼이 존재할 경우 과거 파일럿 심볼과 현재 파일럿 심볼을 사용하여 내삽 방법을 통한 일반 데이터 심볼들에 대한 채널 추정값을 구하고, 이를 사용하여 일반 데이터 심볼을 등화 하는 방법이다. 파일럿 심볼이 연속으로 수신된 경우 해당 심볼들을 결합하여 파일럿 신호의 SNR를 향상시킨다.

#### IV. 모의실험 결과 및 분석

본 논문에서 제안하는 이동 속도 감응형 폐순환 무선 전송기법의 성능 평가를 위하여 페이딩 채널 환경에서 모의실험을 통하여 검증하였다. 페이딩 채널 모델은 총 7개의 다중 경로로 구성되어 있으며, 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. 첫 번째 경로는 Rician 채널 모델을 따른다.

대역폭 100kHz를 갖는 무선 통신시스템으로써, 변조 방식으로 QPSK를 사용하고 채널부호로는 코드율 1/2의 컨볼루션 코딩 (convolutional code)을 사용하는 것을 가정하였다. 파일럿에 할당하는 최소 리소스 단위는 16 심볼로 하였으며, 비교 성능 평가를 위하여 동일한 무선 통신시스템에 3km/h의 저속에 최적화된 파일럿 전송 주기를 갖는 경우와 120km/h의 고속에 최적화된 파일럿 전송 주기를 갖는 두 가지 경우를 가정하여 성능 비교를 진행하였다.

통신 노드의 상대 이동 속도는 정지 상태에서 시속 120km/h까지 증가한 후 다시 정지 상태로 감소하는 형태로 시간에 따라 가변 되도록 설정하였다. 본 논문에서 제안하는 이동 속도 감응형 폐순환 무선전송기법의 경우, 제안된 송수신 기법에 기반하여 자동으로 추정된 통신 노드 이동 속도에 따라 파일럿 전송 주기를 조절한다.

그림 5는 단일 링크에서 3km/h의 저속에 최적화된 파일럿 전송 주기를 갖는 경우와 120km/h의 고속에 최적화된 파일럿 전송 주기를 갖는 두 가지 경우의 BLER (block error rate) 성능을 본 논문에서 제안하는 기법의 성능과 비교 도시한 것이다. 저속에 최적화된 경우 파일럿 신호에 할당된 리소스는 12.5%, 고속에 최적화된 경우엔 50%, 그리고 본 논문에서 제안한 방법은 29%이다.

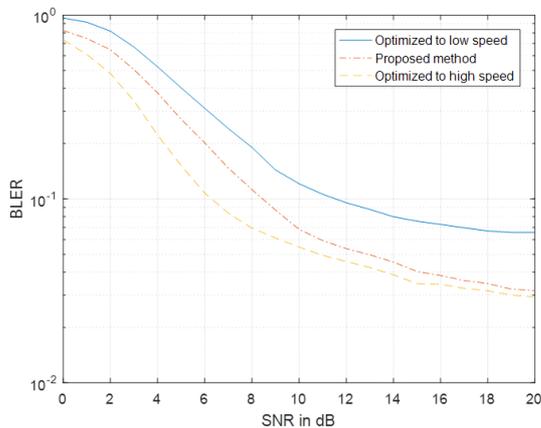


Fig. 5 BLER vs SNR curves

그림 5에서 보듯이 저속에 최적화된 파일럿 전송 주기의 경우 파일럿에 할당된 리소스는 가장 최소로 사용하나 고속 이동 속도에 대하여 적지 않은 성능 열화를 나타낸다. 반면 고속에 최적화된 파일럿 전송 주기를 갖는 경우 가장 많은 리소스를 파일럿 신호에 할당되는 단점이 있으나, 충분한 파일럿 신호로 인하여 저속과 고속 이동 속도 모두에서 우수한 성능을 보임을 볼 수 있다. 제안하는 방법은 고속에 최적화된 경우에 비하여 적은 리소스를 사용함에도 불구하고 높은 SNR 영역에서는 거의 유사한 성능을 보인다. 반면 상대적으로 낮은 SNR 영역에서는 성능이 다소 낮게 나타난다. 이러한 점을 보상하기 위하여는 단순히 추정된 이동 속도뿐만 아니라 SNR도 파일럿 전송 주기를 결정하는 인자로 활용하는 것을 고려하여야 한다.

## V. 결론

본 논문에서는 이동 속도에 따라 송신부에서 파일럿 신호를 전송하는 주기를 변경하고, 폐순환 동작을 위해 수신부에서 필요한 변경된 파일럿 신호 전송 주기에 대한 정보를 송신부에서 직접 전송하지 않더라도 수신부에서 전송된 파일럿 신호에 기반하여 간접적으로 이에 대한 정보를 추출할 수 있도록 하는 이동 속도 감응형 폐순환 무선전송기법을 제안하고, 제안된 기법의 성능을 페이딩 채널 환경에서 모의실험을 통하여 검증하였다. 기존 방식의 오버헤드로 인한 리소스 낭비 및 잦은 제어정보를 주고받음으로써 발생할 수 있는 통신 신뢰성 문제가 존재하지 않아 안정적인 통신이 가능함이 확인되었다.

## ACKNOWLEDGEMENT

This work has been supported by Agency for Defense Development (ADD).(UD180023ED)

## References

- [ 1 ] M. Rinne, K. Pajukoski, M. Kuusela, K. Pedersen, J. Ojala, E. Tuomaal, I. Kovacs, H. Wang, P. Michaelsen, C. Rosa, and J. Michael, "Evaluation of the recent advances of the evolved 3G (E-UTRA) for the VoIP and best effort traffic scenarios," *IEEE 8th Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications*, Helsinki: FI, pp. 1-6, 2007.
- [ 2 ] N. M. Kumaran, *Principles of Wireless Communications*, Scholars-Press Publication, 2017.
- [ 3 ] M. Lenardi and D. T. M. Slock, "Channel estimation for a discrete-time RAKE receiver in a WCDMA downlink: algorithms and repercussions on SINR," *IEEE 54th Vehicular Technology Conference*, Atlantic City: NJ, pp. 2360-2363, 2001.
- [ 4 ] S. Pratschner, E. Zöchmann and M. Rupp, "Low Complexity Estimation of Frequency Selective Channels for the LTE-A Uplink," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 4, no. 6, pp. 673-676, Dec. 2015.
- [ 5 ] S. Beygi and U. Mitra, "Structured estimation of time-varying narrowband wireless communication channels,"

- IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, New Orleans:LA, pp. 3529-3533, 2017.
- [ 6 ] M. K. Tsatsanis and Z. Xu, "Pilot symbol assisted modulation in frequency selective fading wireless channels," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 48, no. 8, pp. 2353-2365, Aug. 2000.
- [ 7 ] H. Yuan, Y. Ling, H. Sun and W. Chen, "Research on channel estimation for OFDM receiver based on IEEE 802.11a," *6th IEEE International Conference on Industrial Informatics*, Daejeon: KR, pp. 35-39, 2008.
- [ 8 ] T. Wang, A. Hussain, Y. Cao, and S. Gulomjon, "An Improved Channel Estimation Technique for IEEE 802.11p Standard in Vehicular Communications," *Sensors*, vol. 19, no. 1, pp. 1-22, 2019.
- [ 9 ] W. Lee, N. Kim, and B. Lee, "An Adaptive Transmission Power Control Algorithm for Wearable Healthcare Systems Based on Variations in the Body Conditions," *Journal of Information Processing Systems*, vol. 15, no. 3, pp. 593-603, June, 2019.



**하영석(Youngseok Ha)**

1999년 2월: 창원대학교 전기공학과 공학사  
 2002년 2월: 창원대학교 전기전자제어공학과 공학석사  
 2012년 2월: 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 공학박사 수료  
 2007년 11월 ~ 현재: 국방기술품질원 지휘정찰부 선임연구원  
 ※ 관심분야: 무인항공기, 비행제어 시스템, 통신



**최증원(Jeungwon Choi)**

1989년 2월 : 충남대학교 계산통계학과 학사  
 1993년 8월 : 충남대학교 계산통계학과(전산학) 석사  
 1997년 8월 : 충남대학교 전산학과 박사  
 1997년 7월 ~ 현재 : 국방과학연구소 수석연구원  
 2013년 9월 ~ 현재 : 과학기술연합대학원대학교 부교수  
 ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-3642-2323>  
 ※ 관심분야 : 전술통신, 위성통신, 인지무선통신, 바이오통신, 정보융합



**김동현(Donghyun Kim)**

2009년 2월 : 연세대학교 전기전자공학부 학사  
 2011년 2월 : 연세대학교 전기전자공학부 석사  
 2011년 6월 ~ 현재 : 국방과학연구소 제2기술연구본부  
 ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-2136-5944>  
 ※ 관심분야 : 전술통신, 영상전송시스템, 데이터링크



**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 : 무선통신, 통신신호처리, 군통신시스템, 데이터신호처리