

고속열차 통신 시스템의 효율적인 주파수 오프셋 보상 방법

최 승 남[°], 김 일 규^{*}

An Efficient Frequency Offset Compensation Scheme in High-Speed Railway Communication Systems

Seung Nam Choi[°], Ilgyu Kim^{*}

요 약

본 논문에서는 mmWave를 활용한 OFDM 방식의 고속열차 통신 시스템에서 발생하는 도플러 주파수를 효율적으로 추정하고 보상하는 방법을 제안하였다. 파일럿 신호를 이용한 correlation 방식의 주파수 오프셋 추정 알고리즘에서, 상향링크의 새로운 M-USCH 채널과 M-UCCH 신호를 결합하면 M-USCH의 기존 구조를 사용한 방법에 비해 성능이 개선됨을 확인하였다. 또한 M-UCCH 신호를 이용한 주파수 오프셋 보상의 1-stage 방법은 하드웨어 복잡도가 훨씬 적으며 M-USCH 채널을 효율적으로 설계할 수 있도록 도와줌으로써 전송 성능을 향상시킬 수가 있다.

Key Words : high-speed railway communications, frequency offset compensation, demodulation reference signal, wireless backhaul

ABSTRACT

In this paper, we proposed an efficient scheme that estimates and compensates the Doppler frequency occurring in the mmWave based high-speed railway OFDM communication systems. A combination scheme of an uplink M-UCCH signal and a new M-USCH channel showed better performances than the previous M-USCH structure in the pilot-correlation based frequency offset estimation algorithm. Also, the 1-stage scheme employing the M-UCCH signal can reduce the hardware complexity of the frequency offset compensation and improve the transmission performance by assisting the M-USCH channel to be well-designed.

I. 서 론

스마트폰이 널리 보급됨에 따라 기차, 지하철, 버스 와 같이 한 장소에 사용자가 밀집된 교통수단 내에서의 모바일 인터넷 사용빈도가 계속 증가하고 있다¹⁾. 특히 300km/h 이상으로 이동하는 고속열차 안에서는

셀룰러 망의 협소한 주파수 대역폭과 훨씬 더 많은 핸드오버 실패율로 인해 빈번한 끊김현상과 매우 열악한 통신품질을 체감하게 된다. 고속열차의 셀룰러 통신 성능을 개선하기 위한 방안으로는, 기차 외부에 소형 기지국을 부착하여 핸드오버 실패율을 줄이는 방법²⁾, 지상 장애물에 의한 신호의 차단을 극복하기 위

※ 본 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2014-0-00282 초연결 스마트 서비스를 위한 5G 이동통신 핵심 기술 개발)

•° First and Corresponding Author : Mobile Wireless Backhaul Research Section, Electronics and Telecommunications Research Institute, choisn@etri.re.kr, 정희원

* Mobile Wireless Backhaul Research Section, Electronics and Telecommunications Research Institute, igkim@etri.re.kr, 정희원
논문번호 : KICS2017-03-067, Received March 7, 2017; Revised May 30, 2017; Accepted May 30, 2017

하여 RoF(Radio over Fiber) 기술을 사용한 방법^[3], 셀 경계에서의 성능을 개선하고 주파수 효율을 향상시키기 위하여 DAS(Distributed Antenna System) 기술을 적용한 방법^[4] 등이 있다. 그러나 기존의 셀룰러 통신 시스템으로는 폭발적으로 증가하는 모바일 트래픽 용량을 충족시키는데 한계가 있기 때문에, 이 문제를 해결하고자 밀리미터파 통신을 DAS와 결합한 모바일 핫스팟 네트워크(Mobile Hotspot Network, MHN)가 제안되었다^[5].

모바일 핫스팟 네트워크는 20~30GHz 대역의 mmWave 주파수 자원을 활용하여 고속열차에 기가급 데이터 전송이 가능하게 하는 무선백홀 통신이다. 일반적으로 고속열차의 최대 속도는 300km/h 이상이기 때문에 안정된 성능을 확보하기 위해서는 단말 이동에 의해 발생하는 도플러 문제를 반드시 극복해야만 한다. 하향링크에서 기지국 송신신호의 주파수가 f_{bs} 라면, 도플러에 의해 단말이 수신하는 주파수는 도플러 주파수 f_o 만큼 이동된 f_{tc} 가 된다. 단말 수신단은 도플러 주파수 f_o 를 추정 한 후, AFC(Automatic Frequency Control)에 의해 단말의 오실레이터 클럭을 추정된 주파수 유흥만큼 보상하여 조정한다. 따라서 단말 송신신호의 주파수는 하향링크의 주파수 유흥이 보상된 f_{tc} 가 되고, 상향링크 신호를 기지국이 수신했을 때는 또다시 도플러에 의해 f_o 만큼 수신신호의 주파수가 이동된다. 이처럼 하향링크와 상향링크에서 발생하는 도플러 주파수에 의해, 결과적으로 기지국 송신신호 주파수와 기지국 수신신호 주파수의 차이는 $2f_o$ 가 된다. 단말의 이동속도가 빠를수록 도플러 주파수 f_o 값은 더 커지게 되므로, 기지국에서 수신신호에 대한 주파수 유흥 보상이 적절히 이루어지지 않는다면 상향링크의 전송성능은 급격하게 저하된다.

본 논문에서는 모바일 핫스팟 네트워크의 상향링크에서 발생하는 주파수 유흥을 효율적으로 추정하고 보상하는 방법을 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 고속열차 통신의 도플러 현상 및 주파수 유흥 추정에 대해 설명한다. III장에서는 M-UCCH 채널과 새로운 M-USCH 채널을 이용한 주파수 유흥 보상 방법을 제안하고, IV장에서는 전산모의실험을 통해 성능을 분석한다. 마지막으로 V장에서는 결론을 맺는다.

II. 주파수 유흥 추정

모바일 핫스팟 네트워크가 사용하는 그림 1과 같은

고속열차 환경의 채널 시나리오에서 발생하는 도플러 주파수 변화 $f_s(t)$ 는 식 (1)과 같다.

$$f_s(t) = f_D \cos \theta_i(t) = (v f_c / c) \cos \theta_i(t) \quad (1)$$

여기서 f_D 는 최대 도플러 주파수(Hz), $\theta_i(t)$ 는 분산안테나장치 mRU_i와 단말장치 mTE_i간의 각도, v 는 기차의 속도(km/h), f_c 는 반송파 주파수(Hz), 그리고 c 는 빛의 속도 3×10^8 m/s이다. 단말장치 mTE는 기차의 전방과 후방에 각각 설치되어 있으며, 기차의 위치에 따라 $\cos \theta_i(t)$ 의 변화는 식 (2), (3)과 같이 표현될 수 있다. 이때 d 는 두 mRU간의 거리(m), w 는 mRU와 철로간의 거리(m)를 나타낸다.

$$\cos \theta_1(t) = \begin{cases} \frac{d-vt}{\sqrt{w^2+(d-vt)^2}}, & 0 \leq t \leq d/v \\ \cos \theta_1(t \bmod (d/v)), & t > d/v \end{cases} \quad (2)$$

$$\cos \theta_2(t) = \begin{cases} \frac{vt}{\sqrt{w^2+(vt)^2}}, & 0 \leq t \leq d/v \\ \cos \theta_2(t \bmod (d/v)), & t > d/v \end{cases} \quad (3)$$

그림 2는 그림 1의 두 하향링크에서 발생하는 도플러 주파수 변화를 mTE에서 추정한 결과를 그린 것이다. 속도는 400km/h, 반송파 주파수는 27GHz일 때, 도플러 주파수의 최대값 f_D 는 ± 10 kHz이다. 이러한 도플러 주파수 변화는 mRU를 지날 때마다 동일하게 반복해서 나타난다. 이때 mRU가 수신하는 상향링크 신호의 도플러 주파수는 f_D 의 2배인 ± 20 kHz가 된다. 따라서 상향링크의 주파수 유흥을 보상해 주지 않으면 고속열차 통신의 전송성능은 급격하게 저하될 것이다.

일반적으로 파일럿 신호는 채널 추정을 위해 사용되며 추정된 채널과 결합되어 주파수 유흥이 추정된다^[6]. MHN 상향링크의 파일럿 신호인 M-DMRS(MHN-Demodulation Reference Signal)를 이용하여 주파수 유흥을 추정하는 방법은 다음과 같다^[7].

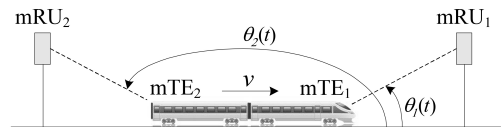


그림 1. 고속열차 환경의 채널 시나리오
Fig. 1. Channel scenario of high-speed railway communications

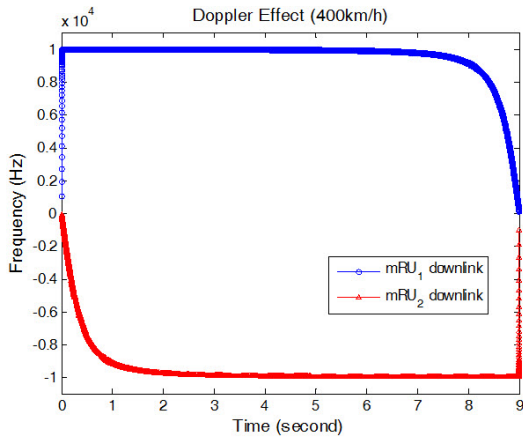


그림 2. 도플러 주파수 변화
Fig. 2. Doppler frequency variations

가장 먼저, 수신된 신호로부터 Least Squares 알고리즘을 사용하여 채널 $h_{i,k}$ 를 구하고 $h_{i,k}$ 를 IDFT하여 채널 임펄스 응답 $H_{i,n}$ 을 구한다. 이때 i 는 M-DMRS 심볼 인덱스($i=0,1,\dots,I-1$), k 는 부반송파 인덱스, n 은 IDFT 크기를 의미한다. 다음은 $H_{i,n}$ 으로부터 모든 M-DMRS 심볼에 대한 채널 임펄스 응답의 전력을 구한 후에 전력이 큰 S 개의 시간 샘플 인덱스 m_s 를 식 (4)를 이용하여 찾아낸다($s=0,1,\dots,S-1$).

$$m_s = \underset{n}{\text{max}} \rightarrow \underset{n}{\text{min}} \left\{ \sum_{i=0}^{I-1} \| H_{i,n} \|^2 \right\} \quad (4)$$

이제 m_s 를 이용하여 채널 임펄스 응답에 대한 상관관계 R_H 를 식 (5)와 같이 계산한다. 여기서 (*)는 복소 켤레 연산을 의미한다.

$$R_H = \sum_{i=0}^{I-2S-1} \sum_{s=0} H_{i+1,m_s} H_{i,m_s}^* \quad (5)$$

마지막으로 atan2 함수를 이용하여 복소수 R_H 의 위상 변화 $\Delta\phi$ 를 계산하고, 이로부터 식 (7)과 같이 주파수 오프셋 f_o 를 구한다.

$$\Delta\phi = \text{atan2}(\text{Im}[R_H], \text{Re}[R_H]) \quad (6)$$

$$f_o = \frac{\Delta\phi}{2\pi\Delta t} = \frac{\Delta\phi}{2\pi(1+T_{CP})N}\Delta f \quad (7)$$

여기서 Δt 는 인접한 두 M-DMRS 심볼간의 시간 간격, T_{CP} 는 T_{symbol} 대비 CP 시간 비율(T_{symbol} 은 CP를 제외한 OFDM 심볼 시간), Δf 는 부반송파 간격, N 은 두 M-DMRS 심볼 사이에 존재하는 OFDM 심볼 개수를 의미한다.

III. 고속열차 통신의 주파수 오프셋 보상 방법

도플러 주파수가 두 배 발생하는 OFDM 시스템의 상향링크에서 주파수 오프셋을 추정하는데 널리 사용되는 방법은 파일럿 심볼 혹은 CP(Cyclic Prefix)를 이용한 correlation 방법이다. LTE 상향링크에서 파일럿 신호와 CP 심볼을 동시에 이용하면 제한적이었던 주파수 오프셋 추정 범위가 증가하지만 추가된 FFT 연산으로 인해 복잡도가 증가하고⁸⁾, 파일럿 신호와 CP 심볼이 다중사용자 간섭에 민감한 문제를 해결하고자 주파수 영역에서 maximum likelihood 알고리즘 기반의 frequency-bins 방법 또한 복잡도가 증가하는 문제 때문에 실제 시스템에는 적용하기 어렵다⁹⁾. 본 논문의 OFDM 방식 고속열차 통신에서는 구현이 용이한 correlation 방식의 주파수 오프셋 추정 알고리즘을 사용하고, 채널에 따라 M-USCH(MHN-Uplink Shared Channel), M-SRS(MHN-Sounding Reference Signal), M-UCCH(MHN-Uplink Control Channel)의 파일럿 신호를 이용할 수 있다.

3.1 M-USCH 이용

모바일 핫스팟 네트워크의 상향링크 데이터 전송채널은 M-USCH이며, 파일럿 신호 역할을 하는 M-DMRS가 전용 OFDM 심볼들에 실려서 M-USCH와 동일한 대역폭으로 함께 전송된다. M-DMRS 전송에 사용되는 OFDM 심볼의 개수와 슬롯 내에서의 정확한 위치는 채널 추정 및 전송 성능 등을 고려하여 결정된다.

기지국에서 M-DMRS 신호를 이용하여 채널 추정을 통한 $2f_o$ 까지의 주파수 오프셋을 추정할 수 있으려면, 시간 영역에서 M-DMRS의 OFDM 심볼 간격이 좁아야 한다. 이것은 M-DMRS 심볼이 많이 사용되어야 함을 의미한다. 그렇게 되면 데이터 전송용 OFDM 심볼 개수가 줄어들게 되므로, M-DMRS가 차지하는 자원은 최소로 하면서 데이터 전송 심볼은 최대한 많은 구조로 M-USCH 채널을 설계하는 것이 바람직하다.

그림 3은 위 사항을 고려하여 설계된 M-USCH 채널의 M-DMRS 자원 배치 구조이다¹⁰⁾. 총 40개의 OFDM 심볼로 구성된 0.25ms 길이의 슬롯에서 심볼

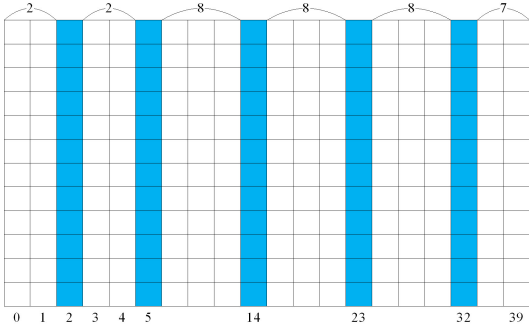


그림 3. M-USCH의 M-DMRS 구조
Fig. 3. M-DMRS structure in M-USCH

번호 2, 5, 14, 23, 32가 M-DMRS 전송에 사용되며, 기본 Zadoff-Chu 시퀀스의 cyclic shift에 의해 구별된다. 단일 안테나 전송에서의 채널 추정은 Least Squares 알고리즘 및 잡음 평탄화 기법이 사용되고, 다중 안테나 전송 시에는 DFT 기반의 채널 추정 알고리즘이 사용된다^{11,12)}. 그림 3에서 첫 번째와 두 번째의 M-DMRS 심볼 간격이 좁은 이유는 상향링크에서 발생할 수 있는 최대 (-20, 20)kHz 범위의 주파수 유희를 추정할 수 있도록 하기 위해서이다. 식 (7)에서 부반송파 간격이 180kHz이고 T_{CP} 가 1/8일 때, 심볼 2와 5로부터 (-26.67, 26.67)kHz의 주파수 유희를 추정할 수 있고, 나머지 심볼로는 (-8.89, 8.89)kHz의 유희를 추정할 수 있다. 심볼 2, 5로 추정된 유희 f_1 은 올바른 추정 값이고, 심볼 5, 14, 23, 32로 추정된 유희 f_2 는 이동속도에 따라 부정확한 값일 수가 있다. 따라서 최종 주파수 유희 값 f_o 는 f_1 이 (-8.89, 8.89)kHz 범위 안에 속하면 $f_o = (f_1 + f_2)/2$, 만약 f_1 이 8.89kHz보다 크면 $f_o = (f_1 + f_2)/2 + 8890$, f_1 이 -8.89kHz보다 작으면 $f_o = (f_1 + f_2)/2 - 8890$ 으로 결정된다.

3.2 M-SRS 이용

TDD 방식의 모바일 핫스팟 네트워크는 그림 4와 같이 서브프레임의 8개 슬롯 중에서 두번째 슬롯을 스페셜 슬롯으로 사용한다. 스페셜 슬롯 S는 DL(downlink), G(guard), UL(uplink)로 구성되며, 이때의 UL에는 M-SRS 신호가 전송된다. M-SRS는 기지국이 상향링크의 채널에 따른 스케줄링 및 링크 적응을 위한 채널 추정을 하는데 사용된다. M-DMRS처럼 M-SRS의 기본 시퀀스는 식 (8)과 같이 u^{th} root Zadoff-Chu 시퀀스로 구성된다. 정수 N 은 시퀀스 길이이다.

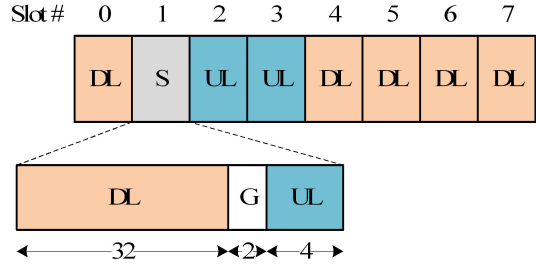


그림 4. 스페셜 슬롯 구조
Fig. 4. Special slot structure

$$x_u(n) = e^{-j\pi un(n+1)/N}, 0 \leq n < N \quad (8)$$

스페셜 슬롯의 UL은 4개의 OFDM 심볼로 구성되며, 한 단말에 2개의 연속된 M-SRS 전송이 가능하도록 설계되어 있다. 따라서 M-SRS 신호를 이용하여 채널 추정 뿐만 아니라 주파수 유희 추정 또한 가능해진다. 이때 II장에서 설명한 주파수 유희 추정 알고리즘이 사용되고 이렇게 추정된 주파수 유희를 가지고 모든 상향링크 신호의 주파수 유희를 보상할 수 있다. 또한 M-SRS와 M-USCH 채널을 동시에 이용하여 주파수 유희를 추정할 수도 있다. 넓은 범위의 주파수 유희는 M-SRS로 추정하고 M-USCH는 M-SRS로 추정 후의 적은 범위의 주파수 유희를 다시 추정하는 방식이다.

한편, M-SRS가 차지하는 주파수 자원을 제외하면 2개의 resource block이 남는 것에 착안하여 이 자원에 USS(Uplink Synchronization Signal) 신호를 전송하고 이 신호로 주파수 유희를 추정하는 방법이 제안되었다¹³⁾. 하지만 이 방법은 이미 존재하는 신호를 활용하는 것이 아니라 USS 신호를 추가로 정의하고 전송해야 하므로 시스템 관점에서 볼 때 비효율적이라 할 수 있다.

3.3 M-UCCH 이용

상향링크 제어채널인 M-UCCH는 2.16MHz 대역의 한 resource block을 차지하면서 M-USCH와 동시에 전송된다. 이런 특성 때문에 주파수 유희를 추정함에 있어서 M-USCH 대신 M-UCCH를 사용하는 것이 가능해진다. M-UCCH의 M-DMRS는 8개의 OFDM 심볼로 구성되며 가장 적게는 두 심볼 간격으로 배치됨으로써 (-40, 40)kHz의 주파수 유희를 추정할 수 있다. 그러나 M-UCCH에 할당된 적은 주파수 대역으로 인해 M-USCH보다 주파수 유희 추정의 정확도는 떨어질 수 있다.

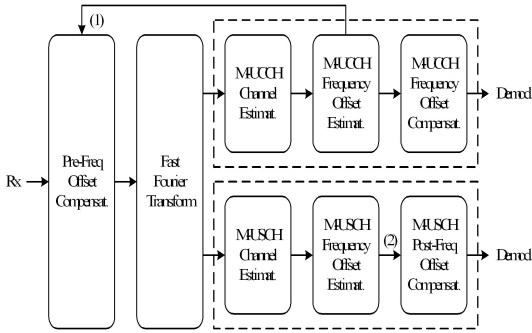


그림 5. 기지국 수신기
Fig. 5. Receiver of base station

그림 5는 상향링크의 주파수 오프셋을 추정하고 보상할 수 있는 기지국 수신기를 보여준다. 이 구조에서 가장 먼저, M-UCCH 채널을 이용하여 주파수 오프셋을 추정한 후에 FFT(Fast Fourier Transform) 앞단의 디지털 영역에서 M-UCCH로 추정된 오프셋 값으로 Pre-주파수 오프셋 보상을 한다. Pre-주파수 오프셋 보상된 M-USCH 채널은 다시 주파수 오프셋을 추정하여 Post-주파수 오프셋 보상을 해준다. 이것은 두 단계에 걸쳐서 M-USCH 채널의 주파수 오프셋을 추정하고 보상하는 2-stage 방법이다. 1-stage 방법은 M-UCCH 채널만을 사용하는 것이다. 만약 셀 내에서 기차 두 대가 교차하는 상황이라면 Pre-주파수 오프셋 보상은 생략된 채 M-UCCH로 추정된 주파수 오프셋으로 M-USCH의 Post-주파수 오프셋을 직접 보상해준다. 한 셀에 최대 두 단말이 존재하는 모바일 핫스팟 네트워크와는 달리, LTE는 기지국에 여러 단말이 존재하기 때문에 주파수 오프셋 추정의 복잡도를 줄이고자 FFT 뒷단에서 단말별로 circular convolution 방식으로 주파수 오프셋을 보상하는 방법이 제안되었다^[14]. 본 논문의 1-stage 방법은 M-UCCH 채널의 resource block 한 개의 데이터만을 처리하기 때문에 넓은 대역을 처리하는 M-USCH 채널 사용 방법에 비해 하드웨어 복잡도가 훨씬 작다는 장점을 갖는다.

그림 5의 수신기에서 M-USCH는 시속 400km/h의 도플러 주파수를 추정할 수 있는 그림 3과 같은 M-DMRS 구조를 가질 필요가 없다. 왜냐하면 넓은 범위의 주파수 오프셋은 M-UCCH에서 추정하여 FFT 전단에서 미리 보상이 되므로 M-USCH 신호는 훨씬 작은 주파수 오프셋 값을 가질 것이기 때문이다. 따라서 M-USCH는 그림 6처럼 새로운 M-DMRS 구조로 설계될 수 있다. 이 구조는 사용되는 심볼 개수는 변함 없지만 (-8.89, 8.89)kHz의 오프셋만을 추정할 수 있도록 M-DMRS 심볼을 시간 영역에서 균등한 간격으로

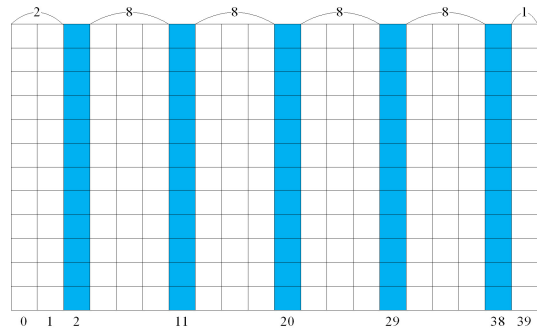


그림 6. M-USCH의 새로운 M-DMRS 구조
Fig. 6. New M-DMRS structure in M-USCH

배치한 것이다. 이 구조의 장점은 시간적으로 변하는 채널에 대하여 채널 추정 성능이 개선된다는 점이다. 이것을 IV장에서 전산모의실험을 통하여 확인할 수 있다.

IV. 전산모의실험

본 장에서는 전산모의실험을 통하여 III장에서 설명한 방법들을 사용하여 주파수 오프셋이 보상된 M-USCH 채널의 BLER(Block Error Rate) 성능을 분석하였다. 성능 분석을 위해 고속열차 환경을 가정한 라이시안 페이딩 채널 조건에서 표 1과 같은 파라미터가 사용되었다.

그림 7은 2-stage 방법에 의한 주파수 오프셋 보상 후의 BLER 성능을 분석한 것이다. 그림 3의 original M-USCH를 이용한 방법은 M-SRS를 이용한 어떤 방법보다 더 좋은 성능을 나타내었다. 이것은 M-USCH의 M-DMRS 구조가 M-SRS보다 주파수 오프셋의 실제 값에 더 근접하게 추정했기 때문이다. M-SRS는 인접된 두 심볼에 연속 배치됨으로써 추정할 수 있는 주파수 오프셋 범위는 넓어지지만 상대적으로 정확도는 떨어진다.

표 1. 전산모의실험 파라미터
Table 1. Simulation parameters

Parameter	Value
Carrier frequency	27GHz
Bandwidth	125MHz
Channel code (rate)	Turbo (0.5)
Antenna configuration	Tx:1, Rx:1
Wireless channel model	Rician fading, K=50
Velocity	400km/h
Frequency offset	20kHz
Multipath delay	20ns

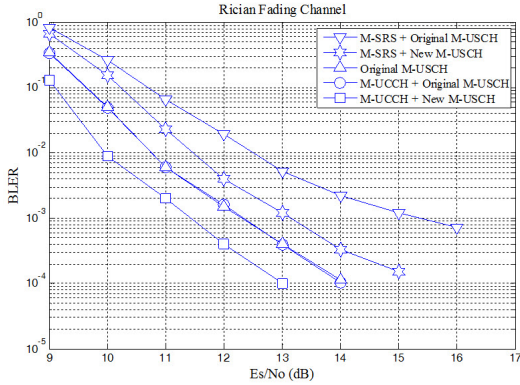


그림 7. 라이시안 페이딩 채널에서의 BLER 성능
Fig. 7. BLER performance under Rician fading channel

어진다. 그러나 M-UCCH를 이용한 방법은 original M-USCH와 M-SRS보다 성능이 좋았다. M-UCCH와 그림 6의 new M-USCH 구조를 이용한 2-stage 방법은 original M-USCH만을 이용한 방법에 비해 10^2 의 BLER 기준으로 볼 때 약 0.8dB 성능이 우수하였다. 그러나 M-UCCH와 original M-USCH 구조를 결합했을 경우에는 original M-USCH와 성능과 동일하였다. 이것은 original M-USCH 구조로는 성능이 개선되지 않고 new M-USCH 구조를 사용하면 더 좋은 채널 추정 성능을 보이기 때문인 것으로 해석된다. 마찬가지로 M-SRS의 경우에도 new M-USCH 구조는 original M-USCH와 결합한 방법보다 성능이 개선되는 결과를 나타낸다. 그런데 동일한 new M-USCH 구조 하에서도 M-SRS보다 M-UCCH의 성능이 1.5dB 좋은데, 그 이유는 한 슬롯동안 M-SRS는 오프셋을 1회 추정하지만 M-UCCH는 오프셋을 4회 추정한 평균값을 사용한다는 것과 M-UCCH의 주파수 오프셋 추정 능력이 더 뛰어나기 때문이다.

그림 8은 주파수 오프셋을 추정 및 보상할 때 1-stage 방법과 2-stage 방법과의 성능을 비교한 것이다. 그림 7에서 M-UCCH와 new M-USCH를 이용한 방법이 성능이 우수함을 확인하였는데, 이 방법은 그림 8에서 보듯이 2-stage 방법 뿐만 아니라 1-stage 방법도 original M-USCH보다 성능이 우수함을 보여주고 있다. 이것은 주파수 오프셋 추정에 있어서 M-UCCH를 이용하는 것이 매우 효과적임을 말해준다. 또한 1-stage의 M-UCCH 방법은 12개 부반송파로 구성된 resource block 한 개만을 가지고 채널 임펄스 응답을 구하는 IDFT 등의 주파수 오프셋 추정 과정이 진행되므로 최대 600-point IDFT 연산이 사용되는 M-USCH 방법과 비교하면 하드웨어 구현 부담이 굉장히 줄어

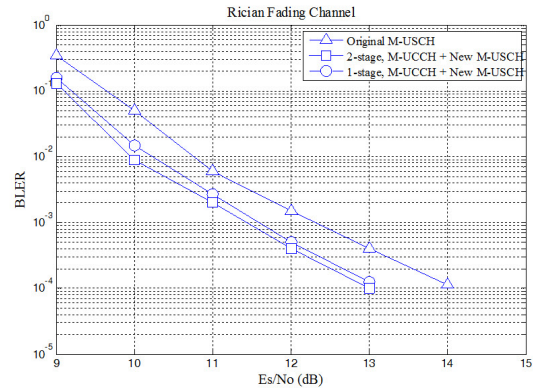


그림 8. 주파수 오프셋 보상의 1-stage와 2-stage 방법의 성능
Fig. 8. Performance between 1-stage and 2-stage scheme of frequency offset compensation

든다. 그러므로 본 논문은 주파수 오프셋 추정에 있어서 new M-USCH 구조와 M-UCCH를 결합하여 이용할 것과 하드웨어 복잡도를 줄이고자 한다면 1-stage M-UCCH 방법을 사용할 것을 제안한다.

V. 결론

본 논문에서는 모바일 핫스팟 네트워크의 상향링크에서 발생하는 주파수 오프셋을 효율적으로 추정하고 보상하는 방법으로 M-USCH 이용, M-SRS 이용, M-UCCH를 이용한 방법을 비교 분석하였다. 전산모의실험을 통해 확인한 결과, 주파수 오프셋 추정 능력과 채널 추정 성능이 우수한 new M-USCH 구조와 M-UCCH 채널을 결합한 2-stage 방법이 가장 좋은 성능을 나타내었다. 또한 new M-USCH 구조 하에서 단지 M-UCCH 채널을 이용한 1-stage 주파수 오프셋 보상 방법도 original M-USCH 방법보다 성능이 우수하였으며 이는 하드웨어 복잡도를 줄일 수 있다는 장점을 제공한다. 따라서 본 논문의 제안된 방법을 사용하게 되면 고속열차 통신에서 상향링크의 성능 열화의 원인이 되는 도플러 문제를 개선하여 밀리미터파 대역을 활용한 무선백홀의 기가급 데이터 전송을 안정적으로 보장할 수 있을 것이다.

References

- [1] KISA, *2012 Survey on the mobile Internet usage*, 2012.
- [2] O. B. Karimi, J. Liu, and C. Wang, "Seamless wireless connectivity for multimedia services

in high speed trains,” *IEEE J. Sel. Areas Comm.*, vol. 30, no. 4, pp. 729-739, May 2012.

[3] H. W. Chang, M. C. Tseng, S. Y. Chen, M. H. Cheng, and S. K. Wen, “Field trial results for integrated WiMAX and radio-over-fiber systems on high speed rail,” *IEEE 22nd International Symp. PIMRC*, pp. 2111-2115, Sept. 2011.

[4] A. A. M. Saleh, A. J. Rustako, and R. S. Roman, “Distributed antennas for indoor radio communications,” *IEEE Trans. Commun.*, vol. 35, no. 12, pp. 1245-1251, Dec. 1987.

[5] J. Kim and I. Kim, “Distributed antenna system-based millimeter-wave mobile broadband communication system for high speed trains,” *Int. Conf. ICT Convergence*, pp. 218-222, Jeju Island, Korea, Oct. 2013.

[6] S. Sesia, I. Toufik, and M. Baker, *LTE - The UMTS long term evolution: from theory to practice*, John Wiley & Sons Ltd., 2009.

[7] P. H. Moose, “A technique for orthogonal division multiplexing frequency offset correction,” *IEEE Tran. Commun.*, vol. 42, no. 10, pp. 2908-2914, Oct. 1994.

[8] H. Cheon, “Frequency offset estimation for high speed users in E-UTRA uplink,” in *Proc. 18th Annu. IEEE Int. Symp. Personal, Indoor Mob. Radio Commun.*, Athens, Greece, Sept. 2007.

[9] P. Bertrand, “Frequency offset estimation in 3G LTE,” *IEEE VTC Spring*, Taipei, Taiwan, May 2010.

[10] MHN-E PHY PCM Specification, *ETRI*, Dec. 2016.

[11] S. N. Choi, I. Kim, and D. J. Kim, “Uplink pilot signal design for mobile wireless backhaul,” *J. KICS*, vol. 40, no. 6, pp. 1005-1013, 2015.

[12] K. J. Kim, K. J. Choi, and K. S. Kim, “DFT-based channel estimation scheme for the uplink of LTE-A systems,” *J. KICS*, vol. 40, no. 2, pp. 307-309, 2015.

[13] S. Choi, I. Kim, and J. M. Ahn, “Uplink frequency offset compensation scheme for

high-speed moving terminals,” *J. KICS*, vol. 40, no. 9, pp. 1699-1709, 2015.

[14] J. Choi, C. Lee, H. W. Jung, and Y. H. Lee, “Carrier frequency offset compensations for uplink of OFDM-FDMA systems,” *IEEE Commun. Lett.*, vol. 4, no. 12, pp. 414-416, Dec. 2000.

최 승 남 (Seung Nam Choi)



1998년 : 전남대학교 전자공학과 학사
 2000년 : 전남대학교 전자공학과 석사
 2015년 : 전남대학교 전자공학과 박사
 2000년~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원

<관심분야> 통신모뎀, mmWave 통신, 5G 이동통신

김 일 규 (Ilgyu Kim)



1993년 : 서울시립대학교 전자공학과 학사
 1995년 : 서울시립대학교 전자공학과 석사
 2009년 : KAIST 정보통신공학과 박사
 1997년~1999년 : (주)신세기통신 주임연구원

1999년~현재 : 한국전자통신연구원 이동무선백홀연구실 실장

<관심분야> WCDMA, LTE/LTE-A, MIMO, mmWave 통신, 5G 이동통신