

기하학적 Ring 모델에 기반을 둔 협력형 MIMO 채널 시뮬레이터

준회원 양 미 선*, 정회원 김 동 우**

Cooperative MIMO Channel Simulation Based on the Geometrical Ring Model

Mi-Sun Yang* Associate Member, Dongwoo Kim** Regular Member

요 약

본 논문에서는 협력형 MIMO (multi-input multi-output) 채널 모델의 시뮬레이션 모델을 제안한다. 여기서 기하학적 one-ring 채널 모델과 기하학적 two-ring 채널 모델을 확장시켜서 협력형 one-ring 채널 모델을 소개한다. 먼저, 송신 노드와 수신 노드 그리고 중계 노드가 모두 정방향의 무한개의 스캐터로 둘러 쌓여 있다는 가정아래, 협력형 one-ring 채널에 대한 참조 모델의 복소 채널 이득과 상관관계 함수를 정의한다. 다음으로, 그 참조 모델의 상관관계 함수의 값을 만족하도록 하는 시뮬레이션 모델을 제안한다. 이를 위하여 본 논문에서는 MEDS (method of exact Doppler spread) 방법을 이용하며, 마지막으로, 제안된 시뮬레이션 모델과 참조 모델의 상관관계 함수의 결과를 비교함으로써 적합한 시뮬레이션 모델임을 보인다.

Key Words : 협력형 MIMO 채널 모델, 시뮬레이션 모델, 기하학적 ring 채널 모델, 상관관계 함수, MEDS(Method of Exact Doppler Spread)

ABSTRACT

In this paper, we study a simulation model for cooperative MIMO (multiple-input multiple-output) channels and present a cooperative one-ring channel model which is extended from the geometrical one-ring and two-ring scattering models. Assuming that the source, the destination and the relay are surrounded by an infinite number of scatters, we derive a reference model for the cooperative one-ring channel and propose a simulation model based on the reference model provided in the paper. Then we show how modeling parameters of the simulation model are determined to match the correlation functions for the respective models. With numerical investigation, we also show that the correlation functions for the reference and the simulation are well matched.

I. 서 론

Mobile-to-mobile 통신은 미래의 협력형 네트워크 또는 ad hoc 네트워크에서 중요한 역할을 할 것으로 예상된다. 특히 mobile-to-mobile 통신 시스템

은 많은 사용자의 분산된 안테나의 사용으로 공간적 이득과 협력 이득을 얻을 수 있다^[1].

본 논문에서, 우리는 MIMO (multiple-input multiple-output) 페이딩 채널 시뮬레이터를 얻기 위하여 협력 이득을 계산할 수 있는 협력형 one-ring

※ 본 연구는 2007년도 2단계 두뇌한국21 사업에 의해 지원되었습니다.

* 한양대학교 전자전기 제어계측공학과 이동통신망연구실 (redsun0615@wnl.hanyang.ac.kr),

** 한양대학교 전자컴퓨터공학부 부교수 (dkim@hanyang.ac.kr)

논문번호 : KICS2007-06-284, 접수일자 : 2007년 6월 27일, 최종논문접수일자 : 2008년 3월 10일

채널 모델을 소개한다. 이러한 one-ring 채널 모델은 기지국과 모바일간의 통신을 고려한 모델이다^[2]. 이 모델에서 하나의 모바일을 추가함으로써 협력형 one-ring 채널 모델^[3]을 얻을 수 있다. 기존에 알려져 있던 기하학적 one-ring 채널 모델과 two-ring 채널 모델^[4]을 사용하여 협력형 one-ring 채널의 참조 모델을 설명하고, 그 참조 모델과 제안하는 시물레이션 모델의 상관관계 함수에 대하여 설명한다. 이 시물레이션 모델은 두 가지의 중요한 파라미터 AoA (angle of arrival)와 AoD (angle of departure)로 이루어지고, 이 두 각은 MEDS (method of exact Doppler spread)^[5]를 통하여 계산된다. 결론적으로, 그 참조 모델과 제안된 시물레이션 모델의 상관관계 함수의 결과를 비교하여 그 시물레이션 모델이 적합함을 보인다.

II. 참조 모델

본 장에서는 협력형 MIMO 채널 시물레이션을 위한 참조 모델에 대하여 설명한다. 협력형 one-ring 채널 모델은 one-ring 채널 모델^[2]에서 하나의 모바일을 추가하여 얻을 수 있다. 여기서, 중계 노드와 수신 노드사이의 링크는 two-ring 채널 모델^[4]로부터 얻어진다.

그림 1은 제안된 참조 모델의 기하학적 모형과 본 논문에서 사용된 용어를 소개한다. 여기서, $A_{BS}^{(i)}$, $A_{MS1}^{(i)}$, $A_{MS2}^{(i)}$ 은 각각 송신 노드, 수신 노드, 중계 노드의 i 번째 안테나를 의미하고, $S_{MS1}^{(n)}$ 와 $S_{MS2}^{(m)}$ 은 각각 수신 노드의 n 번째 스캐터와 중계 노드의 m 번째 스캐터를 의미한다. N 개의 스캐터가 송신 노드

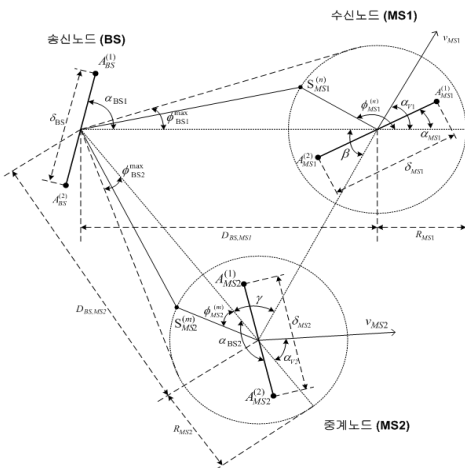


그림 1. 기하학적 협력형 one-ring 채널 모델

로부터 R_{MS1} 떨어진 ring 위에 존재한다고 가정할 때, 송신 노드의 첫 번째 안테나로부터 수신 노드의 첫 번째 안테나로의 채널 이득은 다음과 같이 정리 할 수 있다.

$$h_{11}(t) = \lim_{N \rightarrow \infty} \sum_{n=1}^N \frac{1}{\sqrt{N}} a_n b_n c_n e^{j(2\pi f_c t + \theta_n + \theta_D)} \quad (1)$$

여기서, θ_n 은 n 번째 스캐터에 대한 랜덤 위상을 의미하고, 각 파라미터는 다음과 같다.

$$a_n = e^{j \frac{\pi}{\lambda} \delta_{BS} [\cos \alpha_{BS} - \phi_{BS}^{max} \sin \alpha_{BS}^{(n)} \sin \alpha_{BS}]} \\ b_n = e^{j \frac{\pi}{\lambda} \delta_{MS1} \cos(\phi_{MS1}^{(n)} - \alpha_{v1})} \quad c_n = e^{-j \frac{2\pi}{\lambda} R_{MS1} \cos \phi_{MS1}^{(n)}} \\ f_n = f_{MS1max} \cos(\phi_{MS1}^{(n)} - \alpha_{v1}) \\ \theta_D = -\frac{2\pi}{\lambda} (D_{BS,MS1} + R_{MS1})$$

$h_{ij}(t)$ 에서 첨자 i 와 j 는 각각 송신 노드와 수신 노드의 안테나 인덱스를 나타낸다. 송신 노드와 수신노드에서 사용되는 2개의 안테나 사이의 거리는 δ_{BS} 와 δ_{MS1} 로 나타낸다. 수신 노드에 입사하는 n 번째 AoA 성분은 $\phi_{MS1}^{(n)}$ 로 나타내며, 이때 최대 AoA는 ϕ_{MS1}^{max} 로 나타낸다. 수신 노드는 v_{MS1} 의 속력으로 α_{v1} 의 방향으로 이동한다고 가정하며, 이때 최대 도플러 주파수는 f_{MS1max} , 송신 노드와 수신 노드 사이의 거리는 $D_{BS,MS1}$ 로 나타낸다. 다른 안테나를 통한 채널 이득도 이와 같은 방법을 사용하여 구할 수 있다,

M 개의 스캐터가 중계 노드로부터 R_{MS2} 떨어진 ring 위에 존재한다고 가정할 때, 송신 노드에서 중계 노드를 거친 수신 노드로의 링크의 복소 채널 이득 또한 유사한 방법을 통하여 다음식과 같이 표현할 수 있다.

$$h_{111}(t) = \lim_{N, M \rightarrow \infty} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \frac{1}{M\sqrt{N}} g_{mn} e^{j(2\pi f_c t + 4\pi f_c t + \theta_{mn} + \theta_D)} \quad (2)$$

여기서, θ_{mn} 은 중계 노드의 m 번째 스캐터와 수신 노드의 n 번째 스캐터에 대한 랜덤 위상을 의미하고, 각 파라미터는 다음과 같다.

$$g_{mn} = a'_m b'_m{}^2 c'_n d_n p_m q_m^2 \\ a'_m = e^{j \frac{\pi}{\lambda} \delta_{BS} [\cos \alpha_{BS} - \phi_{BS}^{max} \sin \alpha_{BS}^{(m)} \sin \alpha_{BS}]} \\ b'_m = e^{j \frac{\pi}{\lambda} \delta_{MS2} [\cos \alpha_{MS2} - \phi_{MS2}^{max} \sin \alpha_{MS2}^{(m)} \sin \alpha_{MS2}]} \\ c'_n = e^{j \frac{\pi}{\lambda} \delta_{MS1} \cos(\phi_{MS1}^{(n)} - \alpha_{v1})} \\ d_n = e^{-j \frac{2\pi}{\lambda} R_{MS2} \cos \phi_{MS2}^{(m)}} \\ p_m = e^{j \frac{2\pi}{\lambda} R_{MS2} \cos \phi_{MS1}^{(n)}} \\ q_m = e^{-j \frac{2\pi}{\lambda} R_{MS2} \cos \phi_{MS1}^{(n)}}$$

$$\begin{aligned}
 b'_m &= e^{j\frac{\pi}{\lambda}\delta_{MS}\cos(\phi_{MS}^{(m)} - \alpha_{v2})} \\
 c'_n &= e^{j\frac{\pi}{\lambda}\delta_{MS}\cos(\phi_{MS}^{(n)} - \alpha_{v1})} \\
 d_n &= e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}R_{MS}\cos(\phi_{MS}^{(n)} - \beta)} \\
 p_m &= e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}R_{MS}\cos\phi_{MS}^{(m)}} \\
 q_m &= e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}R_{MS}(\cos\phi_{MS}^{(m)} - \gamma)} \\
 f_n &= f_{MS1\max}\cos(\phi_{MS1}^{(n)} - \alpha_{v1}) \\
 f_m &= f_{MS2\max}\cos(\phi_{MS2}^{(m)} - \alpha_{v2}) \\
 \theta_R &= -\frac{2\pi}{\lambda}(D_{BS,MS2} + 2R_{MS2} \\
 &\quad + D_{MS1,MS2} + R_{MS1})
 \end{aligned}$$

$h_{ikj}(t)$ 에서 i, k 와 j 는 각각 송신 노드, 중계 노드 그리고 수신 노드의 안테나 인덱스를 나타낸다. 앞에서의 파라미터 표기 방법과 유사하게 중계 노드에 사용되는 2개의 안테나 사이의 거리는 δ_{MS2} 로 나타낸다. 중계 노드에 입사하는 m 번째 AoA 성분은 $\phi_{MS2}^{(m)}$ 로 나타내며, 이때 최대 AoA는 ϕ_{BS2}^{\max} 로 나타낸다. 중계 노드는 v_{MS2} 의 속력으로 α_{v2} 의 방향으로 이동한다고 가정하며, 이때 최대 도플러 주파수는 $f_{MS2\max}$, 송신 노드와 중계 노드 사이의 거리는 $D_{BS,MS2}$ 로 나타내고, 중계 노드와 수신 노드 사이의 거리는 $D_{MS1,MS2}$ 로 나타낸다.

상관관계 함수는 다음의 수식 (3)과 같이 정의된다.

$$\rho_{ij,ikj}(t, \tau) = E[h_{ij}(t)h_{ikj}^*(t + \tau)] \quad (3)$$

위에서 구한 수식 (1)과 (2)로부터 직접적인 경로와 중계 노드를 사용한 경로간의 상관관계 함수는 다음의 수식 (4)와 같이 정의할 수 있고, 이 식은 간단한 수식 전개를 통하여 수식 (5)와 같이 수신 노드의 상관관계 함수와 중계 노드의 상관관계 함수로 나눌 수 있다.

$$\rho_{111,111}(t, \tau) = E[h_{111}(t)h_{111}^*(t + \tau)] \quad (4)$$

$$= \rho_{MS1}(t, \tau) \times \rho_{MS2}(t, \tau) \quad (5)$$

수신 노드의 상관관계 함수와 중계 노드의 상관관계 함수는 다음의 수식 (6)과 (7)과 같다.

$$\begin{aligned}
 \rho_{MS1}(t, \tau) \\
 = \lim_{N \rightarrow \infty} \sum_{n=1}^N \frac{1}{N} a_n c_n d_n^* e^{j2\pi f_n \tau} \quad (6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{MS2}(t, \tau) \\
 = \lim_{M \rightarrow \infty} \sum_{m=1}^M \frac{1}{M} a_m^* (b_m'^2)^* p_m^* (q_m^2)^* \\
 \times e^{-j4\pi f_m(t + \tau)} \quad (7)
 \end{aligned}$$

III. 시뮬레이션 모델과 파라미터 계산법

II 장에 설명된 참조 모델로부터, 무한대의 스케터로 둘러 쌓여 있다는 가정($N, M \rightarrow \infty$)을 유한개의 스케터로 가정함으로써 시뮬레이션 모델을 구할 수 있다. 시뮬레이션 모델에서는 기존에 불규칙 변수였던 $\phi_{MS1}^{(n)}, \phi_{MS2}^{(m)}, \theta_{mn}$ 과 θ_n 를 상수로 고정시킨다.

시뮬레이션 모델의 채널 이득은 다음 수식 (8), (9)와 같이 정리 된다.

$$\tilde{h}_{111}(t) = \sum_{n=1}^N \frac{1}{\sqrt{N}} a_n b_n c_n e^{j(2\pi f_n t + \theta_n + \theta_R)} \quad (8)$$

$$\tilde{h}_{111}(t) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \frac{1}{M\sqrt{N}} \times g_{mn} e^{j(2\pi f_n t + 4\pi f_m t + \theta_{nm} + \theta_R)} \quad (9)$$

참조모델에 적합한 시뮬레이션 모델을 제안하기 위하여 본 논문에서는 참조 모델의 상관관계 함수의 특성을 잘 유지시키는 시뮬레이션 모델의 적합한 이산 각도 AoA와 AoD ($\{\phi_{MS1}^{(n)}\}_{n=1}^N, \{\phi_{MS2}^{(m)}\}_{m=1}^M$)를 구하는 기술이 필요하다. 이러한 파라미터를 구하는 방법으로는 기존에 많은 효율적인 방법들이 있다⁵⁾. 그 중에서 본 논문에서는 정방향의 스케터들이 있다는 가정에 적합한 확장된 MEDS (extended method of exact Doppler spread)를 사용하여 파라미터를 구한다. 이 방법은 참조 모델인 Jakes 파워 밀도 함수에 최적화 하도록 한다. 이 방법을 통하여 AoA와 AoD를 구하면 다음의 값을 얻을 수 있다.

$$\phi_{MS1}^{(n)} = \frac{2\pi}{N}(n - \frac{1}{2}) + \alpha_{BS1} \quad (10)$$

$$\phi_{MS2}^{(m)} = \frac{2\pi}{M}(m - \frac{1}{2}) + \alpha_{BS2} \quad (11)$$

다른 파라미터들은 다음과 같은 상수로 고정시킨다. 스케터의 개수를 나타내는 M 과 N 은 100과 101로 각각 고정시킨다. 만약 많은 수의 스케터를 가정하면 최적화 되는 구간이 더 넓어지지만, 시뮬레이

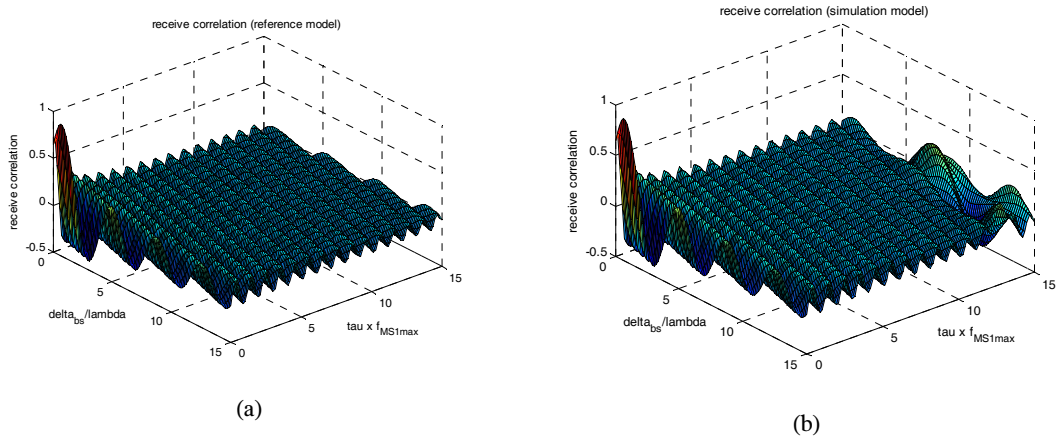


그림 2. MS1(수신 노드)의 상관관계 함수: (a) 참조 모델 (b) 시뮬레이션 모델

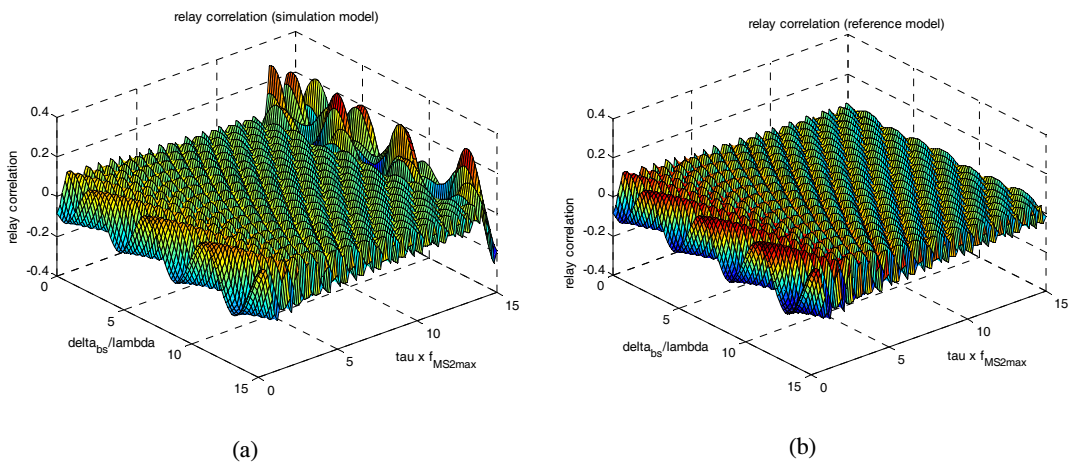


그림 3. MS2(중계 노드)의 상관관계 함수: (a) 참조 모델 (b) 시뮬레이션 모델

선 시간이 오래 걸리는 단점이 있다. Ring의 반지름들 R_{MS1}/λ 와 R_{MS2}/λ 는 5, Doppler 주파수 f_{MS1max} 와 f_{MS2max} 는 100Hz로 송신 노드의 이동각 α_{BS} 은 $\pi/2$ 로 수신 노드와 중계 노드의 이동각 α_{v1} 과 α_{v2} 는 $\pi/3$ 과 $\pi/6$ 으로 고정시킨다. 이러한 시나리오에서 수신 노드와 중계 노드의 상관관계 함수의 수치적 결과는 각각 그림 2와 그림 3에서 보여 준다. 그림 2와 그림 3으로부터, 참조 모델과 시뮬레이션 모델에 대한 상관관계 결과들이 제한된 구간동안 잘 맞는 것을 볼 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 송신 노드와 수신 노드 사이에 중계 노드를 삽입함으로써 협력형 통신 채널 모델의

참조 모델을 제시한다. 또한, 이러한 참조 모델을 기반으로 협력형 통신 시스템의 채널 시뮬레이터를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 이러한 시뮬레이터를 제안하기 위하여 MEDS방법을 사용하였고, 이 방법을 통하여 제한된 구간동안 시뮬레이션 모델의 상관관계 값을 참조 모델의 상관관계 값과 잘 맞도록 하는 시뮬레이션 방법을 제안하였다.

참고 문헌

- [1] J. N. C. Tse and G. W. Wornell, "Cooperative diversity in wireless networks: Efficient protocols and outage behavior," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 50, Issue 12, pp. 3062-3080, Dec. 2004.

- [2] M. Pätzold and B. O. Hogstad, "A space-time channel simulator for MIMO channel based on the geometrical one-ring scattering model," *Journal of Wireless Communications and Mobile Computing, Special Issue on MIMO Communications*, vol. 4, no. 7, pp. 727-737, Nov. 2004.
- [3] M. S. Yang, D. Kim, and R. Lee, "A mobile-to-mobile channel model for user cooperation with a single antenna," *Proc. 20th ICS-CSCC*, vol. 2, pp. 807-808, Jun. 2005.
- [4] B. H. Hogstad, M. Pätzold, and N. Youssef, "A MIMO mobile-to-mobile channel model: PartI-The reference model," *Proc. 16th IEEE int. Symp. On Personal, Indoor and Mobile Radion Communications, PIMRC 2005*, Berlin, Germany, Sep. 2005.
- [5] M. Pätzold, *Mobile Fading Channels*. Chichester: John Willey & Sons, 2002.

양 미 선 (Mi-Sun Yang)

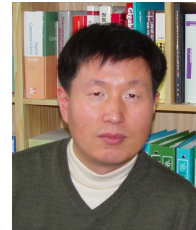
준회원



2005년 2월 한양대학교 전자컴퓨터공학부 학사졸업
 2007년 2월 한양대학교 전자전기 제어계측공학과 석사 졸업
 2007년 3월~현재 삼성전자 정보통신총괄 연구원
 <관심분야> Channel Modeling, Cooperative Beamforming.

김 동 우 (Dongwoo Kim)

정회원



1994년 8월 한국과학기술원 공학박사
 1994년 7월~2000년 2월 신세기 통신 R&D 센터 선임과장
 2000년 3월~2004년 2월 한양대학교 전자컴퓨터공학부 조교수
 2004년 3월~현재 한양대학교 전자컴퓨터공학부 부교수
 <관심분야> Multi-user MIMO, Cognitive radio transmission