

# 밀리미터파 대역 통신 시스템의 무선링크 blockage 영향 분석

백승권\*, 송재수\*, 한기준<sup>o</sup>

## Analysis of Radio Link Blockage Effect on Communication System Using mmWave Frequency Band

Seungkwon Baek\*, Jaesu Song\*, Kijun Han<sup>o</sup>

### 요약

본 논문에서는 5G 이동통신과 같이 밀리미터파 대역을 사용하는 통신 시스템에서의 무선링크 blockage 영향에 대해 분석하였다. 무선링크 blockage는 건물, 보행자, 자동차 등의 장애물에 의한 blockage와 사용자가 소유한 디바이스가 사용자의 몸체 움직임에 의한 blockage로 나누어 볼 수 있다. 링크 blockage 영향을 분석하기 위해서 본 논문에서는 NYU에서 제공한 mmWave 모듈 기반의 수정된 NS-3를 이용하여 장애물의 크기 및 위치에 따른 blockage 영향을 분석하고, 자가 몸체 blockage 완화를 위한 2홉 릴레이 기반의 네트워크 모델에서 송신 노드와 릴레이 노드간의 끼인각에 따른 링크 LoS 확률 분석을 수행하였다.

**키워드** : 링크 차단, 자가 몸체 차단 밀리미터파 대역 통신, 5세대 이동통신

**Key Words** : Link blockage, Self Body Blockage, Communication on mmWave, 5G mobile communication

### ABSTRACT

In this paper, we analyze radio link blockage effect of radio link in communication system with the millimeter wave band such as 5G mobile communication service. The radio link blockage could be classified into two types of obstacles such as an object that includes building, pedestrian or vehicle between communication entities or movement of human body who owns the mobile device. For analysis of blockage effect on mmWave link, we firstly identify SINR degradation according to size and location of obstacles. then we analyze blockage effect by movement of human body. The link quality measurement is done by NS-3 with modified mmWave module provided by NYU. Additionally, to alleviate of self body blockage, we propose two hop relay network model and evaluate link quality and LoS probability according to angle between transmitter and relay node.

※ 이 논문은 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2019-0-01460, 고속열차 환경에서의 초고속 미디어 서비스 지원을 위한 5G 진화 기반 초고주파 무선전송 기술 공동연구)(한국전자통신연구원)

• First Author : Electronics and Telecommunications Research Institute(School of Computer Science and Engineering, Kyungpook National University, Daegu 41566, Republic of Korea), skback@etri.re.kr, 정회원

o Corresponding Author : School of Computer Science and Engineering, Kyungpook National University, Daegu 41566, Republic of Korea, kjhan@knu.ac.kr, 정회원

\* Electronics and Telecommunications Research Institute, 정회원

논문번호 : 201905-066-B-RN, Received May 3, 2019; Revised May 23, 2019; Accepted June 13, 2019

## I. 서 론

5G는 eMBB (enhanced Mobile Broadband), URLLC (Ultra-Reliable and Low Latency Communications) 그리고 mMTC (massive Machine Type Communications)와 같은 다양한 서비스 시나리오를 지원하고 ‘언제 어디서나 환경의 제약 없이 사람과 사물을 포함한 모든 사용자에게 기가급(Gbps) 서비스 제공’을 목표로 한다<sup>[1,2]</sup>. 이러한 기하급수적으로 증가하는 모바일 데이터 트래픽을 수용하고 높은 전송율을 요구하는 다양한 응용 서비스를 지원하기 위해서 5G 이동통신 시스템은 넓은 대역폭 사용이 가능한 밀리미터파 대역 주파수를 고려하고 있다.

일반적으로 밀리미터파 대역에서의 채널 감쇄는 마이크로파 대역보다 크다. 그러나 밀리미터파 신호의 짧은 파장 (short wavelength)은 동일한 크기의 면적에 더 많은 안테나 요소들 (antenna elements)을 통합할 수 있게 하고 신호의 직진성을 강화함으로써 더 높은 안테나 이득을 얻을 수 있게 한다. 또, 이것은 밀리미터파 대역의 높은 채널 감쇄와 노이즈 파워를 보상하여, 밀리미터파 시스템이 마이크로파 시스템에 준하는 SNR(Signal to Noise Ratio) 레벨을 제공할 수 있게 한다.

그러나 밀리미터파 통신은 이러한 짧은 파장과 직진적인 빔(directional beams)의 사용으로 인해 침투 손실 (penetration loss)이 매우 높으며, 이에 따라, 건물, 사람, 가로수 등의 장애물에 의해 극단적인 감쇄가 발생한다. 이러한 신호 차단 (blockage)의 영향은 전송 파워를 증가시켜도 효율적으로 보상할 수 없기 때문에 무선링크 중단의 원인으로 작용한다. 밀리미터파 통신에서의 신호 차단문제를 해결하기 위해, 장애물에 따른 무선채널의 동적 특성을 이해하고 LoS (Line-Of-Sight) 링크 상태를 지속하기 위한 다양한 연구들이 수행되어 왔다. 특히, 최근에는 신호 차단 영향에 대한 분석적 프레임워크를 이용하여 실내 및 실외에서 밀리미터파 링크에 무작위적인 건물, 표지판, 가로수, 그리고 인체가 주는 영향에 대한 연구가 수행되었다<sup>[3,4]</sup>, 이와 같이 기존 연구에서는 주로 송신 노드와 수신 노드의 사이의 장애물이 발생하는 단일 홉 기반 밀리미터파 대역 무선링크의 blockage에 대한 연구를 진행하였다.

본 논문에서는 밀리미터파 대역 무선링크에서 장애물에 의한 blockage 영향을 분석하고 자가 몸체

blockage가 발생한 경우 릴레이 노드를 활용한 이중 홉 릴레이 링크 상의 무선링크 LoS 확률을 분석하였다. 이를 위해서 본 논문에서는 NS-3를 이용하여 장애물 및 SBB(Self Body Blockage)에 따른 Blockage 확률을 시뮬레이션하고, 기존 단일 홉 mmWave 링크의 LoS 확률을 relay기반의 이중 홉 기반 LoS 확률로 확장 분석하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 본 연구의 선행연구<sup>[8]</sup>로 진행된 밀리미터파 대역 링크에 대해 건물 및 보행자 등의 장애물에 의한 blockage 영향을 시뮬레이션을 통해 분석한다. III장에서는 II장에서 도출된 결과를 이용하여 분석하고 사용자가 소유한 디바이스(예. 이동통신 단말, UE)가 사용자의 몸체 이동에 의한 자가 몸체blockage에 따른 링크 품질 영향에 대해 분석한다. IV장에서는 본 논문에서 제시한 연구결과를 제시하고 향후 연구방향에 대해 기술한다.

## II. 장애물에 따른 Blockage 영향 분석<sup>[8]</sup>

밀리미터파 대역 통신링크에서 건물 혹은 보행자 등의 장애물에 의한 blockage 영향을 분석하기 위해서 장애물의 크기 및 위치 그리고 송/수신 노드의 이동성 등을 고려해야 한다.

무선링크 blockage의 임의성(randomness)과 동적 특성(dynamics)을 판단하기 위해 본 논문에서는 아래 그림 1과 같은 blockage 시나리오를 구성하고 링크 차단에 따른 outage 특성들을 분석하였다. 본 논문에서 고려한 blockage 시나리오는 small-scale 장애물과 large-scale 장애물로 구성된 두 가지 시나리오이다. small-scale 장애물 시나리오는 송신 노드와 수신 노드 사이에서 링크가 설정되어 있고 5m x 5m 크기를 갖는 1개의 장애물이 수신 노드와 서로 다른 거리에 위치하는 것을 고려한다. 이때 수신 노드는 5m/s의 이동 속도로 장애물과 거리를 유지한 채 정해진 경로를 따라 이동한다. large-scale 장애물 시나리오는 building과 같이 큰 장애물이 송신 노드와 수신 노드 사이에 고정 배치되며 수신 노드는 각각 1m/s와 5m/s, 10m/s의 이동 속도를 가지는 시나리오를 고려하였다. 그림 1은 small-scale 장애물 시나리오를 나타낸 것이다. 그림 1에서 기술한 blockage 영향 분석 시나리오에서 밀리미터파 대역 무선링크의 채널 품질을 측정하기 위해서 New York University(NYU)에서 제공하는 mmWave 모듈을 기반으로 3GPP 5G NR(New Radio)에서 제시하는 blockage model<sup>[10]</sup>을 적용한 NS-3를 이용하였다. 링크 품질 측정은 송신 노드에서

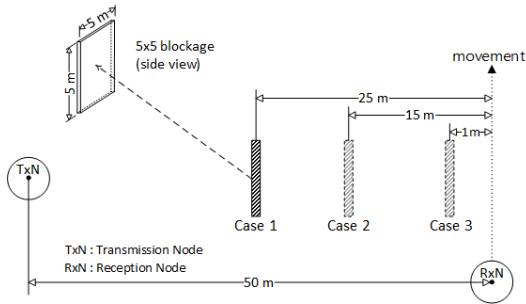


그림 1. 장애물에 따른 Blockage 영향분석 시나리오  
Fig. 1. Simulation scenario for blockage effect by obstacle

수신 노드로 트래픽을 전송하면서 수신 노드에서 신호대비잡음율(Signal to Interference plus Noise Ratio; SINR)측정을 통해 수행하였다<sup>5,6)</sup>.

본 시험에서 링크의 채널 품질 저하에 따라 패킷을 수신하지 못하는 경우를 outage로 간주하였으며, 이 경우 -28 dB ~ -30dBd 범위에 임의로 측정치를 표시하였다. 표 1은 SINR측정을 위한 시뮬레이션 파라미터를 나타낸 것이다. 표 1에서 제시한 시뮬레이션 파라미터는 NYU에서 제시한 mmWave모듈에서 사용하는 파라미터이다.

그림 2는 그림 1에서 제시한 small-scale 장애물 시나리오에서 수신 노드와 장애물간의 거리에 따른 outage 발생 분포를 측정하였다. 그림 2의 결과는 수신 노드와 장애물의 거리가 1m, 15m, 그리고 25m

표 1. 링크 품질 측정 시뮬레이션 파라미터  
Table 1. Simulation parameters for measurement of link quality

Parameter	Value
Center frequency	73 GHz
Channel bandwidth	1 GHz
Duplexing mode	TDD
Subcarrier spacing	480 KHz
Symbol duration	2.23 us
Guard period	2.23 us (1 symbol)
Transmission Time Interval (TTI)	67 us (30 symbol)
Number of beamforming antenna	64 per a node
Transport protocol	UDP
Max. size of the transmission buffer	10 kbyte
Blockage detection time	150 ms
Association time	146.8 ms
Handover waiting time	2.5 s

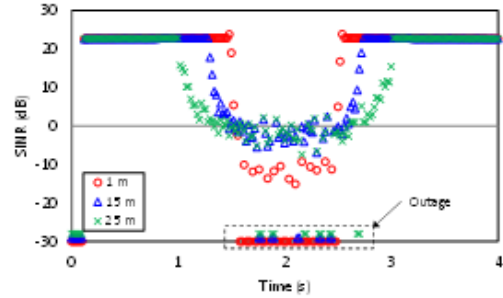


그림 2. 장애물에 따른 SINR 시뮬레이션 결과  
Fig. 2. Simulation result of SINR based on scenario

일 경우에 수신측에서 SINR을 측정하였으며 수신 노드와 장애물간의 거리가 가까울 수록 링크 품질의 감쇄율은 높아지지만 감쇄 구간은 짧아짐을 알 수 있다. 즉, 장애물과 수신 노드의 위치에 따라 밀리미터파 링크의 품질이 저하정도가 달라짐을 알 수 있으며 특히 수신 노드와 가장 가까이 위치한 경우 측정 SINR의 품질은 더욱 낮아짐을 알 수 있다.

위의 시험 결과에서 밀리미터파 링크는 장애물에 의한 갑작스런 blockage가 발생할 수 있으며, 송/수신 노드와 장애물의 거리 및 위치, 그리고 노드의 이동성에 따라 outage를 포함한 SINR 감쇄 구간이 정해지며, 감쇄폭 또한 다르게 나타남을 알 수 있다.

### III. 자가 몸체의 이동에 따른 Blockage 영향 분석

II장에서 제시한 바와 같이 밀리미터파 링크의 blockage는 장애물의 크기, 위치 등으로 인해 매우 다양한 형태로 발생할 수 있으므로 이를 예측하기는 매우 어렵다. 따라서 이런 형태의 밀리미터파 링크의 특성을 고려하여 링크의 연결 신뢰성을 향상시키기 위해서 다음과 같은 기존 방법을 고려해 볼 수 있다.

#### - Fast Session Transfer (FST)<sup>17)</sup>

IEEE 802.11ad 규격에서 제안하는 방식으로, 밀리미터파 대역을 사용하는 링크에서 blockage가 발생하는 경우, blockage effect가 상대적으로 적은 sub-6 GHz 대역으로 링크를 재구성하여 통신을 수행하는 방식이다.

#### - Handover

밀리미터파 링크에서 blockage가 발생하는 경우, 수신 노드는 서비스가 가능한 새로운 송신 노드를 찾

아 연결을 전환하는 방식이다. 그러나, 이 방식은 핸드오버에 따른 지연으로 서비스 지연이 발생할 확률이 높아진다.

- Relay

밀리미터파 링크에서 blockage가 발생하는 경우, 수신 노드 주변에서 blockage 영향을 받지 않는 릴레이 노드를 선택하여 경로를 변경하여 전송하는 방식이다.

본 장에서는 앞서 제시한 밀리미터파 링크의 연결 신뢰성을 보장하기 위한 방법 중에서 전송률을 보장하면서 낮은 전송 지연을 갖는 relay 방식을 기반으로 자가 몸체의 이동에 따른 blockage(Self Body Blockage: SBB) 영향을 분석한다.

그림 3은 본 장에서 고려하는 자가 몸체의 이동에 따른 릴레이 노드 선택을 위한 시스템 모델을 나타낸 것이다. 즉, 송신 노드, 수신 노드, 릴레이 노드를 배치하고 수신 노드를 소지하고 있는 사용자의 몸체가 회전하는 시나리오를 가정하며 이러한 시나리오 상에서 송신 노드와 수신 노드 간의 링크와 릴레이 노드와 수신 노드 간의 링크의 SINR 및 장애물에 따른 LoS 보장 확률을 분석한다. 본 논문에서 기술하는 송신 노드 및 릴레이 노드는 일반적으로 이동통신 기지국(예, eNB 혹은 gNB)을 의미하며 수신 노드는 이동통신 단말(예, UE)을 의미한다.

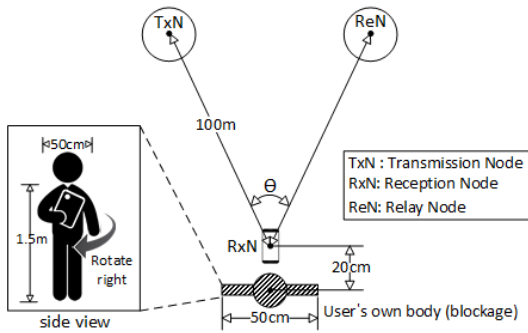


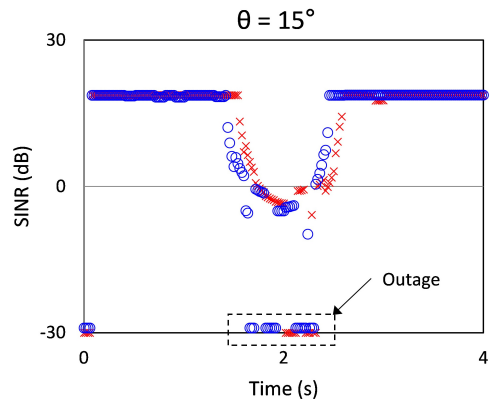
그림 3. 자가 몸체 Blockage 영향 분석 모델  
Fig. 3. Analysis model for Self Body Blockage

3.1 SBB기반의 relay 위치에 따른 링크품질 분석

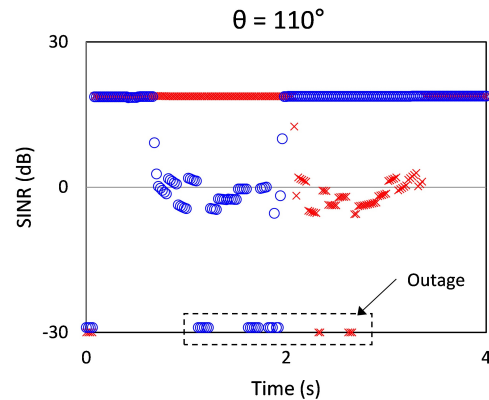
SBB에 의한 blockage를 완화하기 위해서 데이터를 포위당하기 위한 릴레이 노드를 선택하는 방법이 필요하며 이를 위해서 릴레이 노드의 위치에 따른 링크품질 분석이 필요하다.

릴레이 노드의 위치에 따른 링크품질은 송신 노드와 릴레이 노드 그리고 릴레이 노드와 수신 노드의 SINR를 측정하여 자가 몸체의 이동에 따른 blockage 상황에서 II장과 동일하게 ns-3를 이용하여 링크품질을 분석하였다. 이를 위한 시험방법은 송신 노드와 릴레이 노드간의 끼인각을 15°, 60°, 110°로 변화시켜 가면서 수신 노드(UE)에서 송신 노드와 수신 노드 그리고 릴레이 노드로부터의 수신 노드 링크상의 SINR 값을 측정하고 이를 비교분석하였다. 사용자 몸체의 이동은 전체 4초의 시간동안 일정한 속도로 360° 회전하는 것을 가정하였으며 이에 따른 SBB에 따른 영향을 측정하였다.

그림 4는 그림 3에서 제시한 시스템 모델에서 송신 노드와 릴레이 노드의 bore sight의 끼인각 변화와 릴레이 노드의 위치에 따른 밀리미터파 링크의 채널 품질을 측정된 결과이다. 4-(a)는 끼인각 ( $\theta$ )이 15°인



(a) 끼인각 ( $\theta$ )이 15°인 경우



(b) 끼인각 ( $\theta$ )이 110°인 경우

그림 4. 끼인각 ( $\theta$ )에 따른 SINR 측정 결과 (Red: ReN, Blue: TxN)  
Fig. 4. SINR measurement result according to angle( $\theta$ ) (Red: ReN, Blue: TxN)

경우에 SBB에 따른 무선 링크의 품질을 나타낸 것으로 송신 노드와 릴레이 노드에서의 링크의 품질이 거의 같은 시간에 저하됨을 보인다. 이에 비해 4-(b)와 같이 끼인각 ( $\Theta$ )이  $110^\circ$ 인 경우에는 송신 노드와 릴레이 노드에서의 링크의 품질 저하가 다른 시간에 발생한다. 즉, 송신 노드와 수신 노드의 bore sight의 끼인각 ( $\Theta$ )이 작으면 ( $\Theta = 15^\circ$ ), 수신 노드와 릴레이 노드간 링크도 그 장애물에 의한 링크 중단 시구간이 거의 유사하며 이러한 경우, 송신 노드는 릴레이 노드를 통해 수신 노드로 데이터 전송이 불가능한 경우를 발생한다. 반면, 그 끼인각 ( $\Theta$ )이 큰 경우 ( $\Theta = 110^\circ$ ) 그 장애물로 인한 수신 노드와 송신 노드간의 링크 중단의 시구간과 수신 노드와 릴레이 노드의 링크 중단 시구간은 거의 중첩하지 않는다. 따라서, 송신 노드와 수신 노드간의 링크에 발생한 SBB가 릴레이 노드와 수신 노드 링크에 blockage 영향을 주지 않으므로, 릴레이 경로에 의한 링크 신뢰성을 보장할 수 있다. 이와 같은 측정 결과를 보면, 수신 노드에서 blockage를 탐지했을 때, 송신 노드에서 대안 경로를 위한 릴레이 노드 선택 시 수신 노드에서 송신 노드로의 bore sight와 릴레이 노드로의 bore sight의 끼인각 ( $\Theta$ )이 가장 큰 노드를 선택하는 것이 blockage를 극복할 확률이 높음을 예상할 수 있다.

3.2 SBB기반의 relay 위치에 따른 LoS 확률 분석

본 장에서는 relay 위치에 따른 기본적인 링크품질 분석을 기반으로 송신 노드와 수신 노드간의 거리, 수신 노드 주변에 위치한 릴레이 노드들의 수(relay node density)에 따른 이중 홉 경로의 LoS 확률 분석을 수행한다. 이를 위해서 앞서 수행한 확률 분석 시나리오와 유사하게 SBB에 의해 송신 노드와 수신 노드간의 blockage로 인해 무선 링크가 blocking 되었을 경우, 송신 노드와 릴레이 노드 그리고 릴레이 노드와 수신 노드간의 무선 링크상의 bore sight간의 끼인각 ( $\Theta$ )을 기반으로 LoS 확률을 분석한다.

3.2.1 시스템 모델

송신 노드와 수신 노드간의 거리는 반경 R로 표현하며 R은 각각 100m, 150m, 200m의 고정값을 사용한다. 이때 우회 경로를 위한 후보 릴레이 노드는 수신 노드를 기준으로 반경 R의 원주상에 위치하는 것으로 가정한다.

각도  $\phi$ 는 송신 노드가 릴레이 노드를 선택(relay node selection)할 수 있는 제한 영역 (limited region)의 중심 각도이며, 제한 영역은 각도  $\phi$ 를 기준으로  $\pm$

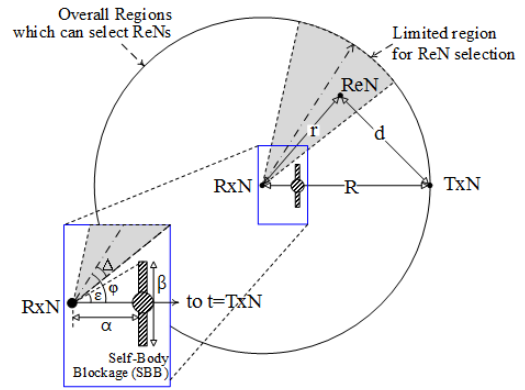


그림 5. LoS 확률분석을 위한 시스템 모델  
Fig. 5. System model for LoS probability analysis

$\Delta$ 의 범위 각도이다.

수신 노드로부터 릴레이 노드로의 거리 r과 릴레이 노드로부터 송신 노드까지의 거리 d는 릴레이 노드를 선택할 경우 결정된다. 수신 노드로부터 릴레이 노드의 최대 선택 가능 반경은 R로 정의되며,  $\alpha$ 는 수신 노드와 blockage를 발생하는 몸체까지의 거리이고,  $\beta$ 는 blockage를 발생하는 몸체의 넓이를 의미한다. 본 논문에서 분석을 위한  $\alpha$ 는 0.2m,  $\beta$ 는 0.5m로 고정한다.

3.2.2 다중 홉 경로의 LoS 확률 모델

단일 홉을 갖는 밀리미터파 대역 링크의 거리에 따른 LoS 및 Non LoS Outage의 확률 모델은 아래와 같이 표현된다<sup>9)</sup>.

$$\begin{aligned}
 p_O(d) &= \max(0, 1 - e^{-a_{out}d + b_{out}}), \\
 p_L(d) &= (1 - p_O(d))e^{-a_{los}d}, \\
 p_{NL}(d) &= 1 - p_O(d) - p_L(d).
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

선행 연구<sup>9)</sup>에서는 30m ~ 420m의 거리에 42개의 송/수신기를 구축하고 이를 이용하여 실측을 기반으로 확률 모델을 도출하였으며, 각 모델에 사용되는 변수의 값은 다음과 같다.

$$1/a_{out} = 30.0 \text{ m}, b_{out} = 5.2, 1/a_{los} = 67.1 \text{ m} \tag{2}$$

앞서 기술한 선행 기술의 LoS 확률모델을 기반으로 본 논문에서 고려하는 다중 홉 경로를 갖는 밀리미터파 대역 링크의 LoS 확률모델은 다음과 같다.

릴레이 노드의 선택 영역에 따른 LoS 확률은 송신 노드와 수신 노드 링크간 SBB 발생 시, 송신 노드에

서 릴레이 노드 선택을 위한 영역을 구분 짓는  $\phi$ 와  $\Delta$ 의 변화에 따른 릴레이 노드와 수신 노드간 링크의 LoS 확률을 의미한다. 릴레이 노드 선택 영역에 따른 LoS 확률은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}
 p_L^r(\varphi) &= 1 - \prod_{j=1}^{R_0} \mathbb{P}(\xi(b, j) \neq 0 \text{ or } \xi(j, k) \neq 0) \\
 &= 1 - \prod_{j=1}^{R_0} \mathbb{P}(\xi(b, j) \neq 0 \text{ or } \xi(j, k) \neq 0) \\
 &= 1 - \left( \int_{\varphi-\Delta}^{\varphi+\Delta} \int_0^R \frac{2r}{\Delta R^2} (1 - p_L(r) p_L^*(d, \theta)) dr d\theta \right)^{R_0} \\
 0 &\leq \varphi < 2\pi, 0 < \Delta \leq \pi
 \end{aligned} \tag{3}$$

수신 노드를 중심으로 반경 R내의 릴레이 노드 선택 지역에 위치한 릴레이 노드들의 갯수를  $R_0$ 로 표현하며 다음과 같이 정의된다. 본 분석에서 적용한 인접 릴레이 노드의 밀도 변수( $\rho$ )는 0.024로 가정한다.

$$R_0 = \left\lceil \rho R^2 \frac{\Delta}{\pi} \right\rceil \tag{4}$$

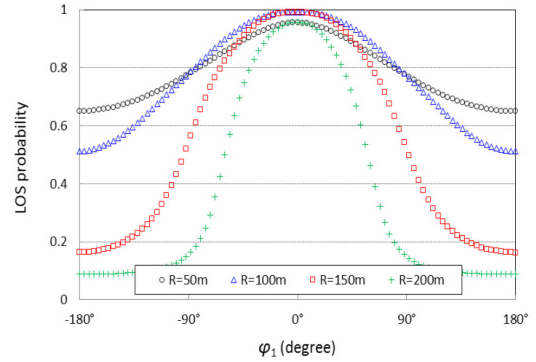
d는 릴레이 노드로부터 수신 노드까지의 밀리미터파 링크거리를 의미하는 것으로, 아래 식에 의해 도출된다.

$$d = \sqrt{r^2 + R^2 - 2rR \cos(\theta)}. \tag{5}$$

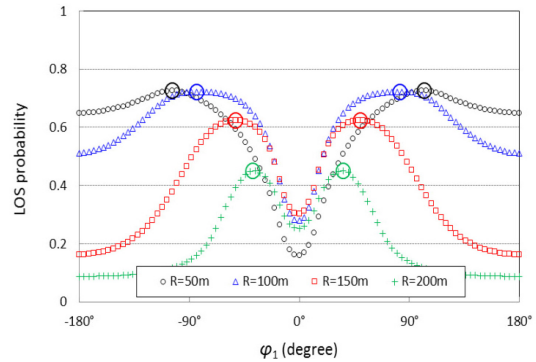
송신 노드에서 수신 노드 링크상의 SBB 발생 시, 릴레이 노드에서 수신 노드 링크상의 LoS 확률은 아래 식에 의해 도출된다.

$$\begin{aligned}
 p_L^*(d, \theta) &= p_L(d) (1 - p_{SB}^r(\theta)). \\
 p_{SB}^r(\theta) &= \max\left(0, 1 - \frac{\theta}{2\varepsilon}\right). \\
 \varepsilon &= \frac{\pi}{2} - \tan^{-1}\left(\frac{2\alpha}{\beta}\right).
 \end{aligned} \tag{6}$$

그림 6은 릴레이 노드 선택 제한 영역의 중심 각도 ( $\phi$ )별 릴레이 노드를 통한 대안 경로의 LoS 확률 결과를 나타낸 것이다. SBB 비포함 분석 결과(a)에서는  $\phi$ 이 0일 때 LoS 확률이 가장 높지만, (b)와 같이 SBB가 존재하는 시나리오에서는 릴레이 노드 선택 영역의 시작 각도가 증가함에 따라 LoS 확률이 증가하다가 감소하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과가 도출된



(a) SSB 비포함



(b) SSB 포함

그림 6. SSB 기반 LoS 확률 분석 결과  
Fig. 6. Analysis result of LoS probability by SBB

원인은 수신 노드를 기준으로 송신 노드의 bore sight와 릴레이 노드의 bore sight간의 끼인각이 크면 클수록 송신 노드와 수신 노드간의 링크상에 존재하는 SBB의 영향에서 벗어날 수 있으나, 반면에 송신 노드와 릴레이 노드간의 링크 또는 릴레이 노드와 수신 노드간의 링크의 거리가 멀어지기 때문에 LoS 확률이

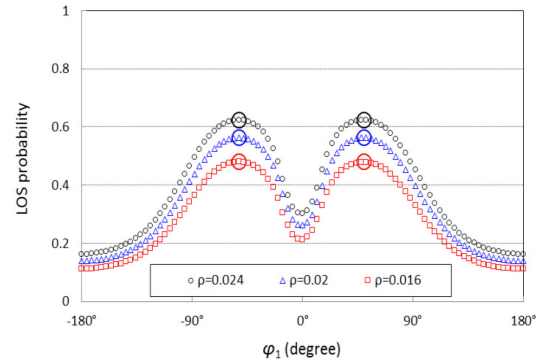


그림 7. 릴레이 노드 배치에 따른 LoS 확률분석 분석 결과  
Fig. 7. Analysis result of LoS probability according to relay node density

감소하게 되어 발생한다. 따라서 수신 노드를 기준으로 송신 노드의 bore sight와 릴레이 노드의 bore sight 간의 각도와 송신 노드와 수신 노드간의 링크 및 릴레이 노드와 수신 노드간의 링크 거리는 trade-off 관계에 있음을 알 수 있다.

그림 7은 릴레이 노드의 배치에 따른 LoS 확률 관계를 나타내는 결과이다. 릴레이 노드를 랜덤 분포를 이용하여 배치하는 경우 그림 7의 결과에서 보듯이 릴레이 노드의 배치 밀도( $\rho$ )가 LoS 확률을 결정하는데 영향을 주지 않음을 알 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 5G 이동통신 시스템과 같이 밀리미터파 대역을 사용하는 통신 시스템에서의 무선 링크 blockage 영향에 대해 분석하였다. 무선 링크 blockage는 건물 및 보행자 등의 장애물에 의한 blockage와 사용자가 소유한 디바이스가 사용자의 몸체 움직임에 의한 blockage로 나누어 볼 수 있다. 본 논문에서는 NYU에서 제공한 mmWave 모듈을 포함한 NS-3를 이용하여 3GPP에서 제시하는 blockage 모델을 적용하여 장애물의 크기 및 위치에 따른 blockage 영향을 분석하고 자가 몸체 blockage 극복을 위한 이중 홉 릴레이 기반의 네트워크 모델에서 링크 LoS 확률분석을 수행하였다.

향후, 본 논문에서 분석된 자가 몸체 blockage 방식의 파라미터를 최적화하고 확장한 후 이동통신 무선 접속망(Radio Access Network)에 적용하여 시스템 수준의 성능평가를 수행할 예정이다.

#### References

[1] Nokia Siemens Networks, *2020: Beyond 4G, Radio Evolution for the Gigabit Experience*, Aug. 2011.

[2] M.2083 : IMT Vision, “*Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond*,” ITU-R, 2015.

[3] T. Bai and R. W. Heath, “Analysis of self-body blocking effects in millimeter wave cellular networks,” *IEEE 48th Asilomar Conf. Sign., Syst. and Comput.*, Pacific Grove, CA, USA, Nov. 2014.

[4] B. Han, L. Wang, and Hans D. Schotten, “A 3D human body blockage model for outdoor

millimeter-wave cellular communication,” *Physical Commun.*, vol. 25, Part 2, pp. 502-510, Dec. 2017.

[5] <https://www.nsnam.org/>

[6] J.-S. Song and S. Baek, “Performance analysis of mobile xhaul network using network simulator(NS-3),” in *Ptoc KICS Winter Conf.*, pp. 1159-1160, 2018.

[7] N. Sai Shankar, et al., “WiGig and IEEE 802.11 ad for multi-gigabyte-per-Second WPAN and WLAN,” *ZET Communalization*, vol. 10, no. 4, pp. 13-22, 2012.

[8] W.-I. Kim, J.-S. Song, and S. Baek, “Relay-assisted handover to overcome blockage in millimeter-wave networks,” *2017 IEEE 28th Annu. Int. Symp. PIMRC*, Montreal, QC, Canada, 2017.

[9] M. R. Akdeniz, et al., “Millimeter wave channel modeling and cellular capacity evaluation,” *IEEE J. Sel. Areas in Commun.*, vol. 32, no. 6, pp. 1164-1179, 2014.

[10] TR 38.900, *Study on channel model for frequency spectrum above 6 GHz(15.0.0)*, 3GPP, 2018.

#### 백 승 권 (Seungkwon Baek)



2000년 2월 : 경북대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학석사)  
 2008년 2월 : 경북대학교 컴퓨터공학과 박사수료  
 2000년 1월~4월 : 삼성전자  
 2000년 4월~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원/PL

<관심분야> 이동통신시스템설계, 네트워크 최적화  
 [ORCID:0000-0002-8778-114X]

송재수 (Jaesu Song)



1999년 2월 : 고려대학교 전기  
공학과 졸업(공학사)  
2001년 2월 : KAIST 전자전산  
학과 졸업(공학석사)  
2002년 2월~현재 : 한국전자통  
신연구원 책임연구원

<관심분야> 이동통신, 5G

[ORCID:0000-0002-8854-6141]

한기준 (Kijun Han)



1979년 2월 : 서울대학교 전기  
공학과 졸업(공학사)  
1981년 2월 : KAIST 전기 및  
전자공학과(공학석사)  
1987년 : Unvi of Arizona,  
Dept. of ECE (Ph.D.)  
1988년~현재 : 경북대학교 컴퓨  
터공학과 교수

<관심분야> 무선 네트워크