

# 지능형 재구성 표면의 채널 모델 연구 동향

박주호, 김지형, 이문식  
한국전자통신연구원

{j.park, savant21, moonsiklee}@etri.re

## Trends on the Channel Modeling for Reconfigurable Intelligent Surface

Juho Park, Jihyung Kim, Moon-sik Lee  
Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI)

### 요 약

본 논문은 지능형 재구성 표면을 포함한 시스템의 채널 모델 관련 연구 동향에 대해 살펴본다. 지능형 재구성 표면이 포함되면서 기존 채널 모델에서 주요하게 변경되는 부분 및 채널 모델 관련하여 향후 연구 방향에 대해 살펴본다.

### I. 서 론

지능형 재구성 표면 (Reconfigurable Intelligent Surface, RIS)은 저전력, 저비용으로 반사, 투과, 빔 포밍 등의 기능을 수행할 수 있어 실내외 커버리지 확장, 에너지 효율 향상, 센싱 등 다양한 분야에서의 활용 가능성이 높아 최근 관심이 높아지고 있다 [1]. RIS 관련 표준화 및 원천 연구를 위해서는 RIS 가 포함된 환경에서의 채널 모델이 설립되어야 하며, 해당 연구 결과가 알려지고 있다. 본 논문에서는 RIS 관련 지금까지의 채널 모델의 주요 연구 내용 및 향후 채널 모델 관련 연구 방향에 대해 살펴보겠다.

### II. 본 론

RIS 채널 모델을 생성하기 위해서는 기존 채널 모델 [2], [3]에 기반하여, RIS 의 특성을 반영한 수정을 추가하는 것이 합당하다. 채널 모델은 크게 path-loss 를 포함한 large-scale model 과 다중 경로 채널에 해당하는 small-scale model 두 가지로 나눌 수 있다.

[2]에서 path-loss 모델은 아래 식과 같이 쓸 수 있다.

$$L^{T-R}(f) = -20\log_{10}\left(\frac{4\pi}{\lambda}\right) - 10l\left(1 + \eta\left(\frac{f-f_0}{f_0}\right)\right) \log_{10}(d) - X_{\sigma}$$

RIS 가 포함되는 경우, 위 수식은 다음과 같이 변경될 수 있는데 [4]

$$L_{eq}^{T-R}(f) = L^{T-R} + L_{ref}^{RIS} + g(f_0, l_{eq}, \eta_{eq}, b, c)$$

여기서  $L_{ref}^{RIS}$  는 RIS reflection loss 를 나타내며,  $g(f_0, l_{eq}, \eta_{eq}, b, c)$  는 기지국-RIS  $b$ , RIS-단말 사이의 거리,  $c$  및 주파수에 따라 결정되는 값으로, RIS 가 존재하는 채널에서 RIS 의 특성에 의한 path-loss 영향을 세밀하게 조정하기 위한 값으로 다음과 같이 주어진다 [4]

$$g(f_0, l_{eq}, \eta_{eq}, b, c) = 10l_{eq}\left(1 + \eta_{eq}\left(\frac{f-f_0}{f_0}\right)\right) \log_{10}(b+c).$$

특히 RIS 는 THz 와 같은 고주파 영역 또는 건물 외벽 설치를 통한 실내 커버리지 개선 등에 응용될 수 있는데 RIS 의 크기, 사용 주파수에 따라 근거리 영역 (near-field, Fresnel region)에서 동작할 확률이 높다. 근거리 영역에서는 전자파의 전파 특성이 다르기 때문에 근거리 영역에서의 path-loss 에 대한 추가적인 모델이 필요하다. [5]에서는 평면 RIS 배열에 대한 근거리 영역에서의 path-loss 를 구한 바가 있으며, (1)과 같이 주어진다 [5]. 근거리 영역에서의 path-loss 는 기지국-RIS-단말 사이의 거리의 제곱에 비례함을 알 수 있고 이는 free space 에서의 path-loss 모델과 유사함을 알 수 있다.

$$PL_{nf} \approx \frac{1}{G_t G_r} \left[ \frac{4\pi(b+c)}{\lambda A} \right]^2. \quad (1)$$

Small-scale model 에 해당하는 다중 경로 모델의 경우 rich scattering 에 기반한 확률적 모델 (stochastic model) 및 [2]와 같이 경로상의 클러스터와 ray 를 모사한 기하적 모델 (geometric model)이 가능하다. 특히 확률적 모델은 scattering 이 풍부한 6GHz 이하에서 유용하며 기하적 모델의 경우 6GHz 이하를 포함하여 mmWave 이상 고주파 대역에도 적용 가능하다.

[6]에서 확률적 방식에 기반한 RIS small scale 채널 모델이 제시되어 있다. 각 채널 엘리먼트를 평균이 0 인 복소 정규 확률 분포를 따라 생성하되 어떤 채널 엘리먼트  $n, m$  사이의 상관(correlation)을 (2)와 같이 부여하는 방식을 제시하였다.

$$[R]_{n,m} = \text{sinc}\left(\frac{\|u_n - u_m\|}{\lambda}\right) \quad (2)$$

여기서  $u_k$  는  $k$  번째 RIS 엘리먼트의 위치를 나타내는 벡터이다.

[7]에는 RIS small scale 채널 모델을 위한 기하적 모델이 제시되어 있다. 기지국-RIS, RIS-단말 사이의 경로에 각각  $C$  개의 cluster 가 존재하며 각각  $S$  개의 ray 로 구성된 상황을 가정하면 (3)과 같이 각 홉에서의 채널을 모델할 수 있다.

$$\mathbf{h} = \sum_{c=1}^C \sum_{s=1}^S \sqrt{\frac{P_c}{S}} \sqrt{\frac{G_e(\theta_{c,s}, \phi_{c,s})}{P_L}} e^{j\Phi_{c,s}} \mathbf{a}(\theta_{c,s}, \phi_{c,s}) \quad (3)$$

여기서  $\mathbf{a}(\theta_{c,s}, \phi_{c,s})$ 는 고도각  $\theta_{c,s}$ 와 방위각  $\phi_{c,s}$ 에 대한 RIS 배열 응답 (array response)을 나타내며  $G_e(\theta_{c,s}, \phi_{c,s})$ 는 해당 각에 대한 RIS 엘리먼트의 방사 패턴을 나타낸다.

근거리 영역에서는 통신 링크가 LoS로 이루어질 확률이 높기 때문에  $C=1$ 인 경우로 채널을 모델할 수 있다 [7].

또한 RIS 엘리먼트의 방사 패턴  $G_e(\theta_{c,s}, \phi_{c,s})$ 의 경우에도 원거리 영역과 근거리 영역에서의 방사 패턴이 다르기 때문에 이를 고려해야 한다. 근거리 영역에서의 방사 패턴은 원거리 영역에 비해 main-lobe가 명확하지 않다 [8]. 따라서 RIS 엘리먼트 방사 패턴으로 흔히 사용되는 (4)와 같은 모델에서 원거리 영역에 사용하는  $n$  값보다 근거리 영역에서 사용하는  $n$  값은 작을 필요가 있다.

$$B(\theta, \phi) = \begin{cases} B_0 \cos^n(\theta), & 0 \leq \theta \leq \pi/2, 0 \leq \phi \leq 2\pi \\ 0, & elsewhere \end{cases} \quad (4)$$

### III. 결론

본 논문에서는 RIS가 포함된 시스템에서 채널 모델 관련 주요 연구 동향을 살펴보았다. RIS가 포함된 채널 모델에 대한 연구는 그 중요성에 비해 아직 미흡한 단계로 실측에 따른 모델 내 계수 결정, RIS 설계에 따른 대역폭 측정, RIS에 따른 간섭에 대한 모델링 등 다양한 연구가 필요하다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2022-0-00436, 지능형 재구성 표면 중계기 표준기술개발).

### 참 고 문 헌

- [1] E. Basar et. al. "Wireless Communications Through Reconfigurable Intelligent Surfaces," IEEE Access, pp. 116753-116773, Aug. 2019.
- [2] 3GPP, TR38.901, Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz.
- [3] L. Liu et. al. "The COST 2100 MIMO Channel Model," IEEE Wireless Commun., pp. 92-99, Dec. 2012.
- [4] ETSI GR RIS 003, Reconfigurable Intelligent Surfaces (RIS); Communication Models, Channel Models, and Evaluation Methodology, v1.0.0, Sep. 2022.
- [5] W. Tang, et. al. "Wireless communications with reconfigurable intelligent surface: Path loss modeling and experimental measurement," IEEE Trans. Wireless Commun., pp. 421-439, Jan. 2021.
- [6] E. Björnson, and L. Sanguinetti. "Rayleigh fading modeling and channel hardening for reconfigurable intelligent surfaces." IEEE Trans. Wireless Commun. Lett. pp. 830-834, Apr. 2020.

- [7] I. Yildirim, and E. Basar. "Channel Modeling in RIS-Empowered Wireless Communications." arXiv preprint arXiv:2201.06241, Jan. 2022.
- [8] C. Balanis, Antenna Theory: Analysis and Design, 4th ed. Feb. 2016, Wiley.