

RIS 적용에 따른 기지국 - 에어택시 간 통신 품질 개선 효과 분석에 대한 연구

이서현, 최준성*

충북대학교

2003dltjgus@chungbuk.ac.kr, choijs@chungbuk.ac.kr

A Study on the Effect of RIS on Enhancing Communication Quality Between Base Station and Air Taxi

Lee Seo Hyeon, Choi Jun Sung*

Chungbuk National Univ.

요약

본 논문은 도심 환경에서 기지국과 에어택시 간 통신 품질을 향상시키기 위한 방안으로 재구성 지능 표면(Reconfigurable Intelligent Surface, RIS)을 적용한 시뮬레이션 기반 분석을 수행하였다. 특히 고층 건물로 인한 차폐 및 다중 경로 문제로 인해 발생하는 신호 감쇠를 고려하여 RIS를 활용한 반사 경로 보정을 통해 통신 품질을 향상시키고자 하였다. 본 연구에서는 3GPP Path-loss 모델을 기반으로 도심 환경을 모델링하고 RIS 적용 여부에 따른 신호대잡음비(SNR)를 비교·분석하였다. MATLAB 기반 시뮬레이션을 통해 UAV 위치 변화에 따라 RIS의 위상 보정 알고리즘을 적용한 뒤 직접 경로와 RIS 반사 경로에 대한 SNR을 산출하였다. 실험 결과, RIS를 적용한 경우 평균 SNR과 LOS 비율 모두 향상 효과를 보였고 이러한 결과를 바탕으로 RIS의 통신 품질 향상 효과를 도출할 수 있었다.

I. 서론

최근 도심 항공 교통(UAM)의 발전과 함께 에어택시 상용화가 가속화되고 있으며 이에 따라 기지국과 에어택시 간 안정적인 무선 통신 품질 확보가 중요한 과제로 부상하고 있다. 그러나 고도 변화, 건물 차폐, 다중 경로 전파 등 도심 환경 특성은 신호 감쇠와 품질 저하를 일으킨다. 이러한 문제를 해결하기 위한 대안으로 재구성 RIS이 주목받고 있다. RIS는 전파의 위상을 능동적으로 제어하여 신호 강도를 보강함으로써 별도의 인프라 확장 없이도 통신 품질을 개선할 수 있는 기술이다.

본 연구의 목표는 RIS 적용 여부에 따른 SNR를 비교·분석하여 기지국과 에어택시 간 통신에서 RIS가 제공하는 신호 품질 향상 효과를 검증하는 것이다. 이를 위해 3GPP Path-loss 모델을 기반으로 시뮬레이션을 수행하고 RIS 적용에 따른 SNR 개선 효과를 분석하였다.

아래 표는 본 시뮬레이션에서 사용된 환경 조건 및 실험 구성 요소를 정리한 것이다.

표1. 환경 조건 및 실험 구성 요소

항목	값
주파수	3.5 GHz
송신 전력	30 dBm
노이즈 파워	-90 dBm
RIS 위치	(51, 0, 80)
RIS 배열 크기	32 × 32
RIS 요소 간 간격	0.5 λ
기지국 위치	(150, 0, 33)
Air Taxi 이동 횟수	30
채널 모델	3GPP TR 38.901 UMA

II. RIS 모델 및 환경 설정

1. RIS 모델

본 연구에서는 도심 환경에서의 UAV 통신 성능 향상을 위해 RIS를 활용하였다. RIS는 다수의 메타표면 요소로 구성되어 있으며 각 요소는 신호의 반사 위상을 제어함으로써 원하는 방향으로 전파를 유도할 수 있다. RIS의 위상 정렬은 송수신 채널 간 위상차를 보정하는 방식으로 진행하였다. 이를 위해 다음과 같은 위상 보정 수식을 적용하였다.

$$\theta_m = -\arg(h_{r,m} \cdot g_m)$$

위상 보정값을 기반으로 RIS의 반사 위상 벡터는 다음과 같이 구성된다.

$$w = e^{-j \cdot \arg(h_{r,m} \cdot g_m)}$$

위 수식을 통해 각 RIS 요소의 위상값을 계산하고 반사 위상을 정렬하여 수신 품질을 개선하였다.

2. 3GPP Path-loss 모델

도심 환경에 적합한 경로손실 계산을 위해 3GPP에서 제안한 UMa(Urban Macro) 시나리오 기반의 Path-loss 모델을 적용하였다. 본 모델은 건물 밀집 지역에서의 고도차, NLOS, 거리 감쇠 등을 반영하여 기지국과 에어택시 간의 경로 손실을 시뮬레이션할 수 있다.

시뮬레이션에서는 UAV가 이동하는 각 위치에서 통신 경로의 LOS/NLOS 여부를 판단한 뒤, 해당 조건에 맞는 3GPP 경로손실 수식을 적용하여 채널 응답을 계산하였다. 본 연구에서 참고한 3GPP TR 38.901 [2] UMa 시나리오 기반의 Path-loss은 다음과 같다.

(1) LOS 조건

$$PL_{UMa-LOS} = \begin{cases} PL_1 & 10m \leq d_{2D} \leq d'_{BP} \\ PL_2 & d'_{BP} \leq d_{2D} \leq 5km \end{cases}$$

$$PL_1 = 28.0 + 22\log_{10}(d_{3D}) + 20\log_{10}(f_c)$$

$$PL_2 = 28.0 + 40\log_{10}(d_{3D}) + 20\log_{10}(f_c) - 9\log_{10}((d'_{BP})^2 + (h_{BS} - h_{UT})^2)$$

(2) NLOS 조건

$$PL_{UMa-NLOS} = \max(PL_{UMa-LOS}, PL'_{UMa-NLOS}) \quad \text{for } 10m \leq d_{2D} \leq 5km$$

$$PL'_{UMa-NLOS} = 13.54 + 39.08\log_{10}(d_{3D}) + 20\log_{10}(f_c) - 0.6(h_{UT} - 1.5)$$

3. 에어택시 이동경로 설정

시뮬레이션에서는 도심 환경을 대상으로 에어택시의 이동 경로를 원형, S자형, 삼각형의 세 가지 형태로 설정하고 각 경로별 통신 성능을 비교하였다. 에어택시는 각 경로를 따라 일정한 간격으로 이동하며 위치마다 통신 상태를 측정하여 성능 변화를 분석하였다.

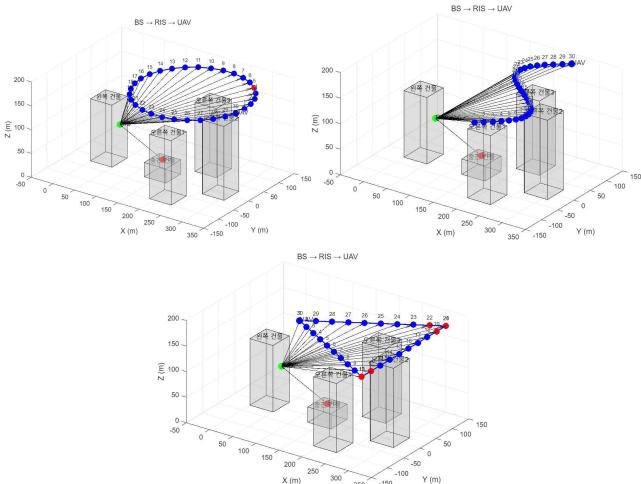


그림1. 3가지 에어택시 이동 경로(원형, S자, 삼각형)

III. 시뮬레이션 결과 분석

각 경로에 대해 RIS 적용 여부에 따른 LOS/NLOS 조건의 변화를 시각화하였다. 이 중 대표적으로 원형 경로의 비교 결과를 그림으로 제시하였다.

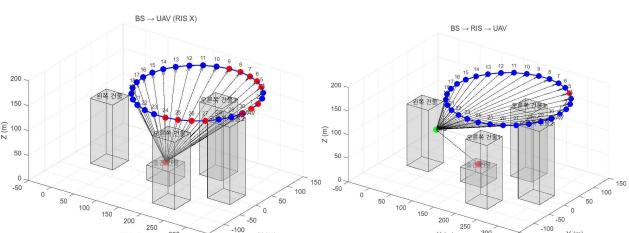


그림2. 원형 경로의 RIS 유무에 따른 LOS/NLOS 비교

RIS 미적용(좌) / RIS 적용(우)

위 그림은 에어택시가 원형 경로를 따라 이동할 때의 통신 경로 상태를 RIS 적용 여부에 따라 비교한 것이다. 각 UAV 위치에서의 점 색상은 통신 경로 상태를 의미하며 파란색은 LOS, 빨간색은 NLOS를 나타낸다. 좌측 그림은 RIS가 없는 경우로 고층 건물에 의해 시야가 차단되어 다수의 NLOS 구간이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 우측 그림은 RIS가 적용된 경우로 반사 경로를 통해 여러 NLOS 구간이 LOS로 전환된 양상을 보여준다. 이를 통해 RIS의 도입이 전체 경로의 통신 품질 개선에 효과적임을 시각적으로 확인할 수 있다.

최종적으로 세 가지 경로에 대해 RIS 적용 여부에 따른 평균 SNR과 LOS 비율을 산출하였다. RIS를 적용한 경우 전반적으로 SNR이 향상되었고 LOS 구간 비율 또한 높아지는 경향을 보였다. 표2는 각 경로별 수치를 정리한 것이다.

표2. 평균 SNR과 LOS 비율 비교

경로	RIS	평균 SNR	LOS 비율
1 (원형)	미적용	29.905 dB	60.00 %
	적용	45.552 dB	96.67 %
2 (S자)	미적용	31.341 dB	63.33 %
	적용	45.841 dB	100.00 %
3 (삼각형)	미적용	26.923 dB	46.67 %
	적용	40.785 dB	76.67 %

IV. 결론

본 연구에서는 도심 환경에서 에어택시 통신 성능 향상을 위한 방안으로 RIS를 적용하고 위상 보정과 3GPP UMa Path-loss 모델을 기반으로 시뮬레이션을 수행하였다. 에어택시의 세 가지 이동 경로를 설정하고 RIS 적용 여부에 따라 평균 SNR과 LOS 비율을 비교 분석한 결과, RIS 적용 시 전반적으로 SNR이 향상되고 LOS 구간 비율 또한 증가하는 경향을 확인하였다. 이는 RIS가 건물로 인해 발생하는 NLOS 구간에서 효과적인 보완 수단으로 활용할 수 있음을 의미하며 도심 내 에어택시 통신의 안정성과 품질을 개선하는 데 실질적인 기여가 가능함을 보여준다.

향후 연구에서는 에어택시의 이동 특성과 실시간 환경 변화, 전파 간섭 등 다양한 조건을 반영하여 알고리즘을 보완하고 실제 운용 상황에서도 적용 가능한 형태로 발전시킬 계획이다. 본 연구의 결과는 향후 도심 에어택시 통신 환경에서의 안정적인 경로 확보와 신호 품질 개선을 위한 기술적 기반으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] MathWorks, Introduction to Reconfigurable Intelligent Surfaces (RIS), 2024, (<https://kr.mathworks.com/help/phased/ug/introduction-to-reconfigurable-intelligent-surfaces.html>).
- [2] 3GPP, Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz (3GPP TR 38.901 version 15.0.0 Release 15), ETSI, pp. 26 - 27. (https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/138900_138999/138901/15.00.00_60/tr_138901v150000p.pdf)