



可重構智慧表面之路徑損失模擬

(Research on Reconfigurable Intelligent Surface Path Loss Modeling)

學生: 沈柏叡 指導教授: 李昌明

摘要

可重構智慧表面 (Reconfigurable Intelligent Surface, RIS) 是一種可以經由控制表面電磁特性來改變電磁波傳播方向，讓通訊訊號能由其它路線抵達接收端或是有效繞過障礙物，以克服現階段無線高頻訊號傳輸時容易衰減造成通訊盲區的問題。路徑損失(Path Loss)用來描述電磁波在空間中傳輸的功率損耗，可以用來評估訊號強度以及基地台該如何部署。

可重構智慧表面可望促進無線通訊靈活部署與提升頻譜以及能源利用效率，且其設備成本與裝設費用並不高，有利於在下世代或6G通訊的發展，將能提供更具智慧化的無線電傳輸環境，並有助於無人機與自駕車通訊、高精度定位、安全通訊等未來新興應用發展。

可重構智慧表面(RIS)介紹

可重構智慧表面是一種由多個可調控被動元件組成，可以廣泛配置在生活環境中，如：天花板、鏡子、牆壁和電器等物體上。當傳送端與接收端有障礙物時，Tx-Rx通道為Non-line-of-sight (NLoS)。此時，RIS可以建立新的通道連接傳送端與接收端，形成Tx-RIS以及RIS-Rx兩個Line-of-sight (LoS)通道。一個典型的可重構智慧表面(RIS)將會有一個控制器 (Controller) 控制可重構智慧表面(RIS)是否啟動以及調控數個反射單元。

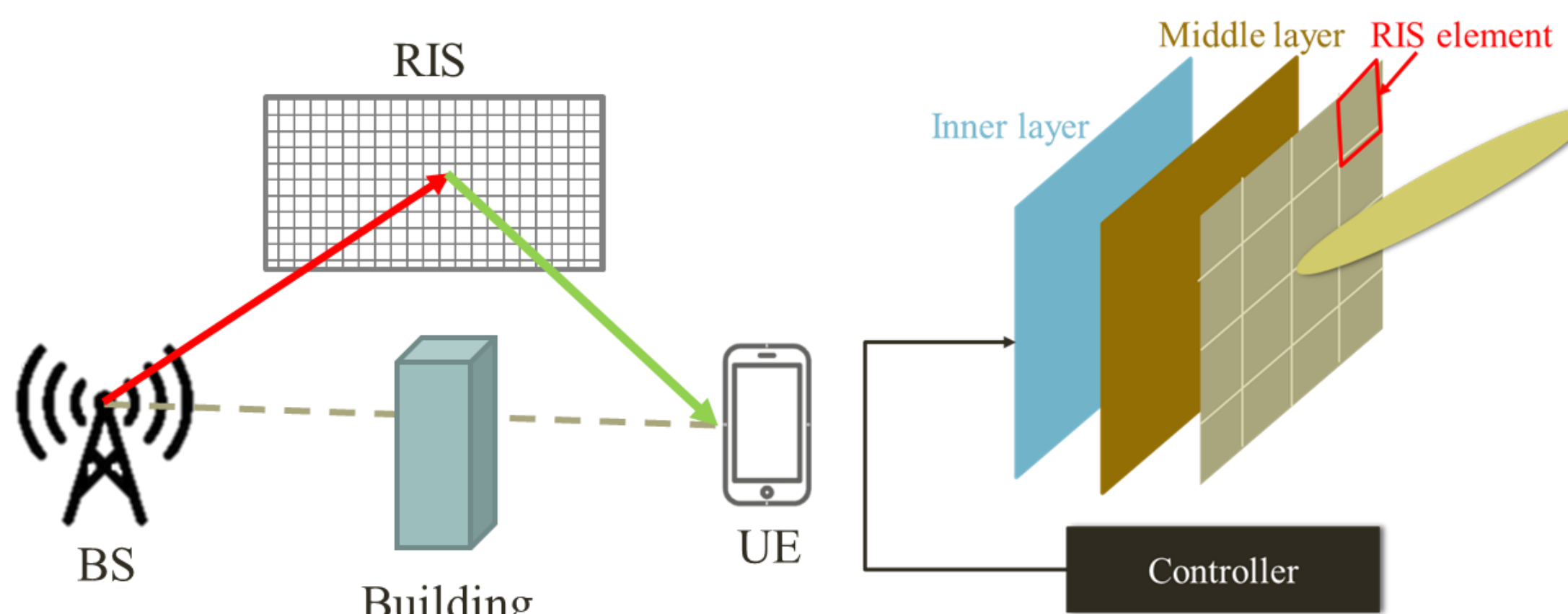


圖1.使用RIS解決通訊盲區

圖2. RIS內部結構示意圖

在ETSI GR RIS 001裡，提出了未來可重構智慧表面可能的實際應用場景。在未來使用更高頻頻段的B5G/6G系統，將遇到通訊訊號的穿透力下降，而使用可重構智慧表面將有機會提高無線通訊效率、增強安全性、擴展通訊覆蓋範圍等等。

路徑損失(Path Loss)模型

傳送端座標位於

$$(x_t, y_t, z_t) = (d_1 \sin \theta_t \cos \phi_t, d_1 \sin \theta_t \sin \phi_t, d_1 \cos \theta_t)$$

以及接收端座標位於

$$(x_r, y_r, z_r) = (d_2 \sin \theta_r \cos \phi_r, d_2 \sin \theta_r \sin \phi_r, d_2 \cos \theta_r)$$

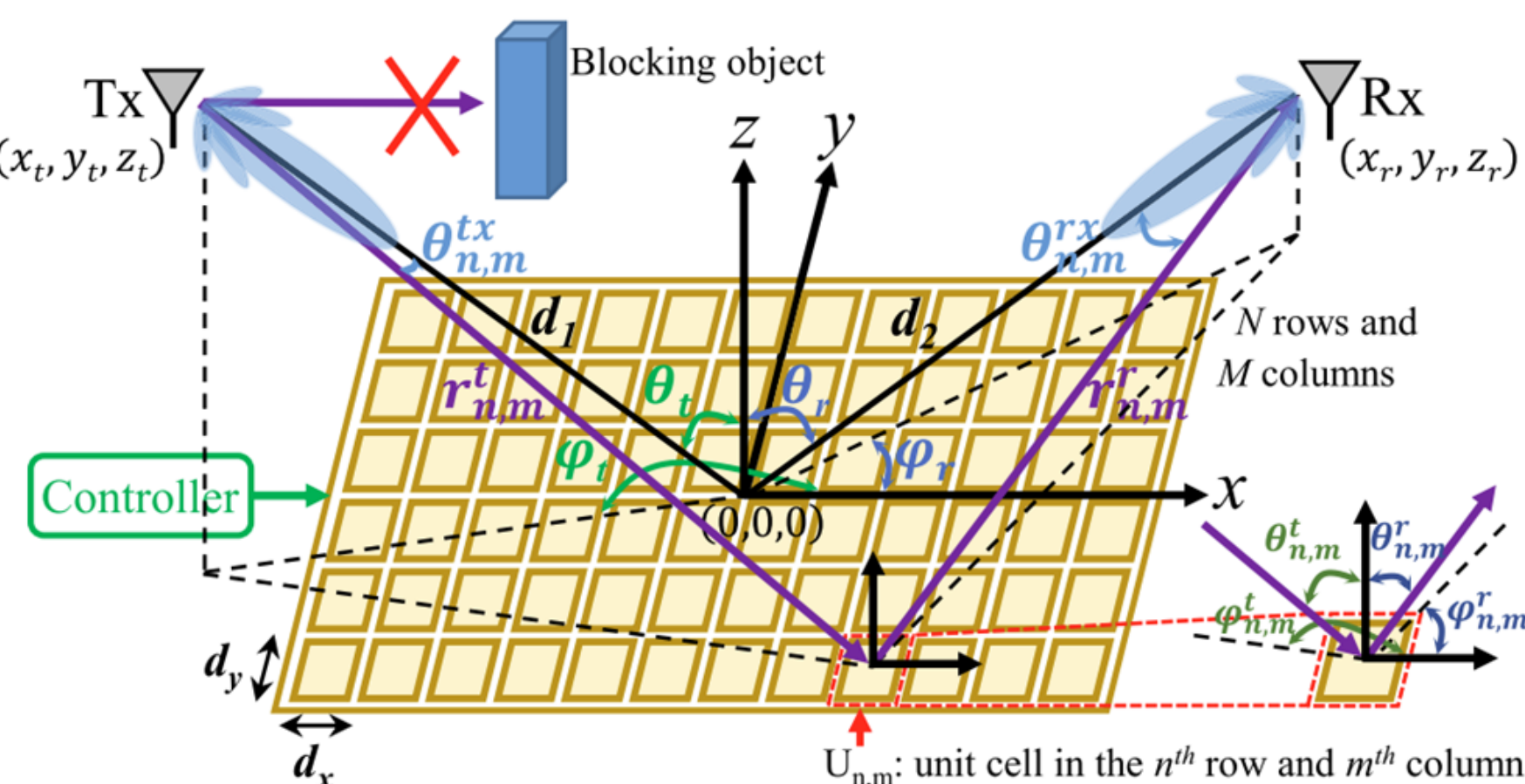


圖3.可重構智慧表面輔助之無線通訊模型[1]

$$P_r = P_t \frac{G_t G_r G_d x d_y \lambda^2}{64 \pi^3} \left| \sum_{m=1}^{\frac{M}{2}} \sum_{n=1}^{\frac{N}{2}} \frac{\sqrt{F_{n,m}^{combine}} \Gamma_{n,m}}{r_{n,m}^t r_{n,m}^r} e^{-j 2 \pi (r_{n,m}^t + r_{n,m}^r) / \lambda} \right|^2 \quad (1)$$

$$\text{其中 } F_{n,m}^{combine} = F^{tx}(\theta_{n,m}^t, \phi_{n,m}^t) F(\theta_{n,m}^t, \phi_{n,m}^t) F(\theta_{n,m}^r, \phi_{n,m}^r) F^{rx}(\theta_{n,m}^r, \phi_{n,m}^r)$$
$$m \in \left[1 - \frac{M}{2}, \frac{M}{2} \right], n \in \left[1 - \frac{N}{2}, \frac{N}{2} \right]$$

$$PL = \frac{64 \pi^3}{G_t G_r G_d x d_y \lambda^2} \times \frac{1}{\left| \sum_{m=1}^{\frac{M}{2}} \sum_{n=1}^{\frac{N}{2}} \frac{\sqrt{F_{n,m}^{combine}} \Gamma_{n,m}}{r_{n,m}^t r_{n,m}^r} e^{-j 2 \pi (r_{n,m}^t + r_{n,m}^r) / \lambda} \right|^2} \quad (2)$$

表一 通用公式參數表

N	列數	M	行數
$\Gamma_{n,m}$	第(n,m)元件之反射係數	λ	波長
$r_{n,m}^t$	傳送端到第(n,m)元件之距離	G_t	傳送端增益
$r_{n,m}^r$	接收端到第(n,m)元件之距離	G_r	接收端增益
$F^{tx}(\theta_{n,m}^t, \phi_{n,m}^t)$	傳送端到第(n,m)元件之正規化功率輻射方向圖	G	RIS 端增益
$F(\theta_{n,m}^t, \phi_{n,m}^t)$	第(n,m)元件到傳送端之正規化功率輻射方向圖	d_x	元件單元寬度
$F(\theta_{n,m}^r, \phi_{n,m}^r)$	第(n,m)元件到接收端之正規化功率輻射方向圖	d_y	元件單元長度
$F^{rx}(\theta_{n,m}^r, \phi_{n,m}^r)$	接收端到第(n,m)元件之正規化功率輻射方向圖	A	反射係數振幅
P_t	接收訊號功率	P_t	傳送訊號功率

far-field formula

$$PL = \frac{64 \pi^3 d_1^2 d_2^2}{G_t G_r G M^2 N^2 d_x d_y \lambda^2 F(\theta_t, \phi_t) F(\theta_r, \phi_r) A^2} \quad (3)$$

near-field beamforming

$$PL = \frac{64 \pi^3}{G_t G_r G d_x d_y \lambda^2 A^2} \left| \sum_{m=1}^{\frac{M}{2}} \sum_{n=1}^{\frac{N}{2}} \sqrt{F_{n,m}^{combine}} \right|^2 \quad (4)$$

near-field broadcasting

$$PL \approx \frac{16 \pi^2 (d_1 + d_2)^2}{G_t G_r \lambda^2 A^2} \quad (5)$$

Fraunhofer Distance : $d = \frac{2D^2}{\lambda}$ (D^2 為 RIS 的大小, λ 為無線訊號的波長)

路徑損失模擬與分析

接著將用 matlab 來進行路徑損失模擬，以 Large RIS1 搭配 X-band horn antenna 為例：

表二 模擬參數設定

名稱	參數
Large RIS1	$N = 100, M = 102, d_x = d_y = 0.01m, \Gamma_{n,m} = A = 0.9$, 操作頻率 $f = 10.5\text{GHz}$, $\lambda = \frac{c}{f} = 0.0286\text{m}$, $\frac{2D^2}{\lambda} = 71.4m$ $F(\theta, \phi) = \begin{cases} \cos^3 \theta, & \theta \in [0, \frac{\pi}{2}], \phi \in [0, 2\pi] \\ 0, & \theta \in (\frac{\pi}{2}, \pi], \phi \in [0, 2\pi] \end{cases}$
X-band horn antenna	$F^{tx}(\theta, \phi) = F^{rx}(\theta, \phi) = \begin{cases} \cos^6 \theta, & \theta \in [0, \frac{\pi}{2}] \\ 0, & \theta \in (\frac{\pi}{2}, \pi] \end{cases}$, 操作頻率 $f = 10.5\text{GHz}$, $G_t = G_r = 14.5\text{dB}$

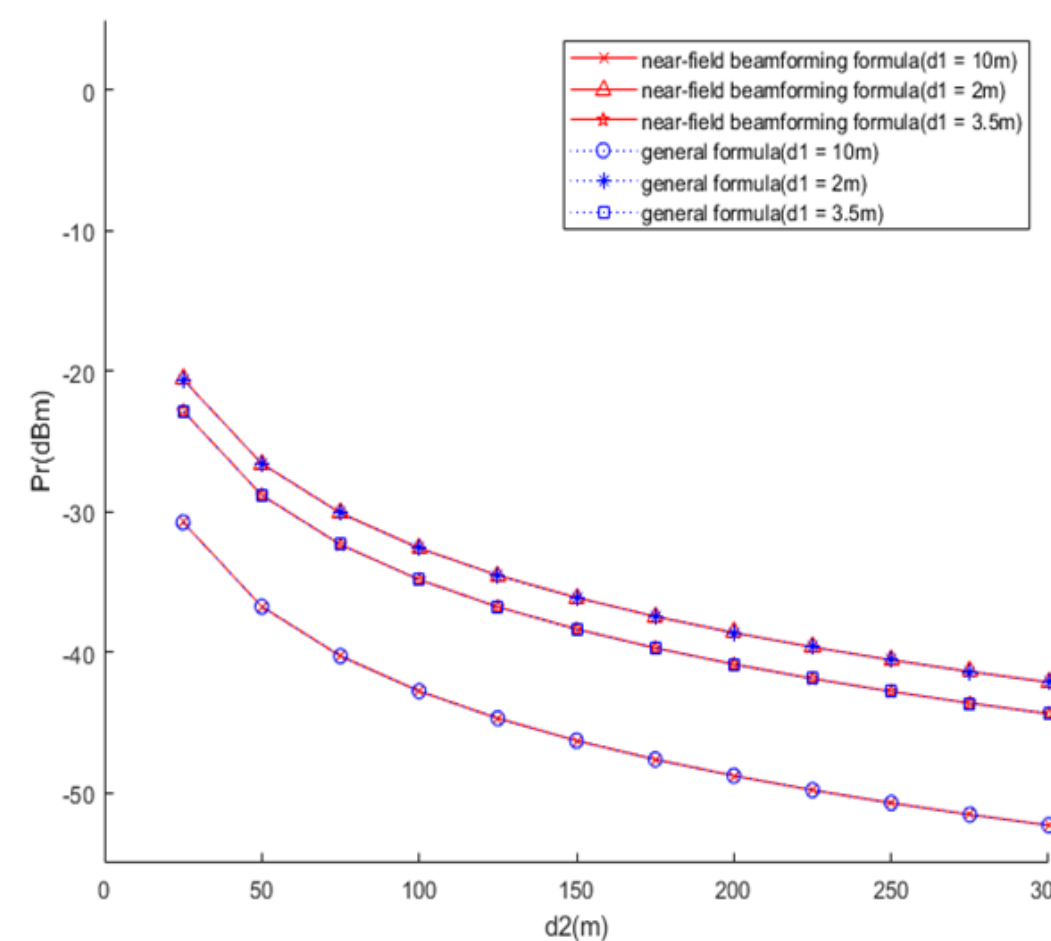


圖4.近場波束成型模擬結果

結論

本研究針對無線通訊中的可重構智能表面進行了路徑損失的模擬，但目前的路徑損失公式只能算是前期的分析結果，有一些細節可以進行修改[2]。分析RIS在不同環境條件下的表現有助於未來設計RIS功能或是靈活的部署RIS分布，甚至是進行更有效的通訊系統級模擬。未來的研究可以著重於RIS的優化設計、系統級的性能分析等等，以實現更高效、可靠的無線通信系統。

參考文獻：

- [1] Tang, W., Chen, M. Z., Chen, X., Dai, J. Y., Han, Y., Di Renzo, M., Zeng, Y., Jin, S., Cheng, Q., & Cui, T. J. (2020). Wireless communications with reconfigurable intelligent surface: Path loss modeling and experimental measurement. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 20(1), 421-439.
- [2] Tang, W., Chen, X., Chen, M. Z., Dai, J. Y., Han, Y., Di Renzo, M., Jin, S., Cheng, Q., & Cui, T. J. (2022). Path loss modeling and measurements for reconfigurable intelligent surfaces in the millimeter-wave frequency band. *IEEE Transactions on Communications*, 70(9), 6259-6276.