

# UAV Positioning and RIS Partitioning for Connectivity of Uplink RIS-Assisted UAV Networks

## 簡介翻譯:

在本文中，我們提出了一種新的無人機（UAV）定位和可重構智能表面（RIS）分區方法，以增強上行鏈路 RIS 輔助無人機網絡的連接性。為了實現這一目標，我們的方法優化了無人機的位置和 RIS 的分區，以最大化以 Fiedler 值量化的網絡連接性。同時，該方法維持了針對用戶設備（UEs）特定的信噪比（SNR）約束，這是通過 RIS 分區和無人機的可靠性實現的。網絡連接性優化問題是基於 Fiedler 值、RIS 元件配置和 SNR 約束所構建的。這是一個計算量大的組合優化問題，因此需要有效的迭代方法。具體來說，在給定無人機位置的情況下，我們推導出一個 RIS 分區的閉合形式解，每個分區都針對單個無人機優化其 SNR。在給定 RIS 分區的情況下，我們將無人機定位問題構建為一個低複雜度的半定規劃（SDP）優化問題，並可使用現成的 CVX 求解器進行求解。我們的模擬結果顯示，相較於文獻中的基準方案，無人機定位和 RIS 分區具有潛在的增益。

## 看法:

這篇文章主要針對無人機（UAV）定位和可重構智能表面（RIS）分區的聯合優化，目的是提升 upper link RIS 輔助 UAV 網絡的連接性。研究聚焦於 RIS 與 UAV 位置的結合，使得網絡覆蓋面積和穩定性得到加強。此方法的核心在於 RIS 分區和 UAV 定位優化的迭代過程，以最大化網絡的 Fiedler 值作為指標，並確保用戶設備（UEs）信號增強。採用了半正定規劃（SDP）來求解 UAV 定位問題，數學方法合理，模型具備一定的理論可行性。

不過雖然提供了模擬結果，但沒有實際數據支持。很多數值假設或模擬參數依賴於理論設定，無法直接反映現實應用場景下的效果。儘管數學模型清晰，但在實際應用中可能需要複雜的硬體配置，如高精度的 RIS 和 UAV 定位系統。而文章對這些技術需求的實現可行性沒有進行深入探討，尤其是在多個 UAV 和 RIS 協同工作時的計算成本。

## 方法整理:

### 1. 問題分解與目標設定

將優化目標分為兩個子問題：RIS 分區優化和 UAV 定位優化。RIS 分區用於增強每個無人機的信號，以確保每個 UAV 都可以接收到足夠的信號強度（SNR）。而 UAV 定位則通過最大化網絡圖的 Fiedler 值來提升網絡穩定性，

文章中提到，UE 與 UAV 之間的直接鏈路可能會被阻擋，而 RIS 能夠通過反射信號為被阻擋的 UAVs 提供穩定的通信，這樣可以使網絡的穩定性和連接性大幅提升。

## 2. RIS Partitioning Optimization

在已知 UAV 位置的情況下，推導出閉合形式的 RIS 分區解，使每個 UAV 都能達到最佳 SNR 條件。RIS 的反射元件配置決定了信號的增益，因此將其配置成能夠增強多個 UAV 的信號。文章在 RIS 分區時採用虛擬分區的方式，使得一個 RIS 能夠將 UE 的信號反射至多個 UAV。例如，在圖 1 中，RIS 被分配為兩個部分 ( $\alpha_1$  和  $\alpha_2$ )，其中每一部分分別增強 UAV1 和 UAV2 的信號，以達到多點傳輸的效果。

## 3. UAV Positioning Optimization

在 RIS 分區已確定的情況下，利用半定規劃 (SDP) 來優化 UAV 的空間位置。這樣的優化目標是最大化網絡的 Fiedler 值，進而提升整體網絡的穩定性和覆蓋範圍。文章使用網絡的 Fiedler 值來衡量網絡的連接性，當 Fiedler 值增加時，表示網絡穩定性增強。RIS 分區配置好後，UAV 定位優化可以進一步增加 RIS 與 UAV 之間的鏈接，提升網絡的穩定性和覆蓋範圍。

## 4. Joint Optimization Process

交替進行 RIS 分區和 UAV 定位優化，這樣兩個變量逐步收斂至最優解，達到最優配置。通過多次迭代更新，可以達到更好的網絡連接性和穩定性。在 RIS 和 UAV 的聯合優化過程中，不斷重複優化兩個子問題（即 RIS 分區和 UAV 定位），從而在多次迭代中增強網絡的連接性。特別是在稀疏網絡條件下，這種聯合優化能確保網絡的穩定性和覆蓋範圍。

## 5. Simulation Validation

通過模擬驗證該聯合優化方法的有效性，並對比文獻中的基準方案，確認其在網絡連接性和覆蓋範圍上的潛在增益。擬結果顯示，RIS 與 UAV 的聯合優化方法相較於單獨的 UAV 或 RIS 配置方案，可以顯著提高網絡的連接性和覆蓋範圍。此外，即使在稀疏網絡中，該方法也能保持較高的連接性能，證明了 RIS 與 UAV 聯合優化的實際可行性和應用潛力。

## 名詞解釋:

### 1. RIS:

根據歐盟 5G 公私聯盟協會(5G Infrastructure Public-Private Partnership, 5GPP)定義，可重構智慧表面(Reconfigurable Intelligent Surface, RIS)技術是由能夠任意塑造電磁波面的材料組成，幾乎是被動(Passive)設備，可以適應或改變發射器和接收器之間的無線電信號，對於擴大覆蓋區域、提升通訊品質、強化傳輸效能、節約能源的關鍵技術。

### 2. SDP:

半正定規劃 (Semi-definite programming) 是一種優化技術，用於解決矩陣形式的優化問題，特別適合解決含有不等式約束的凸優化問題。

### 3. Fiedler Value:

網路圖中拉普拉斯矩陣的第二小特徵值，反映了網絡的連通性和穩定性。在拉普拉斯矩陣(定義為  $L=D-A$ )的特徵值序列中，最小特徵值總是 0，第二小特徵值(即 Fiedler 值)則反映了網絡的代數連接性：

若 Fiedler 值為 0，則網絡圖不連通，存在無法連接的部分。

若 Fiedler 值大於 0，則網絡是連通的，Fiedler 值越大表示網絡連接性越強、穩定性越高。增大 Fiedler 值可提升無人機之間的連接強度，確保網絡在面對干擾時的穩定性。

### 4. SNR:

信噪比 (Signal-to-Noise Ratio) 是衡量信號強度與噪聲強度之間的比值，SNR 越高表示信號質量越好，在無人機通信中，SNR 是關鍵指標，較高的 SNR 可以保證通信鏈路的可靠性。

## 整理、比較兩篇 paper:

|              |   |  |
|--------------|---|--|
| <b>項目</b>    | UAV Positioning and RIS Partitioning for Connectivity of Uplink RIS-Assisted UAV Networks | Precise Target Geo-Location of Long-Range Oblique Reconnaissance System for UAVs |
| <b>研究目標</b>  | 增強 UAV 網絡連接性和覆蓋範圍   | 提升 UAV 的遠距離目標精確地理定位能力  |
| <b>核心方法</b>  | 聯合優化 RIS 分區和 UAV 定位以最大化 Fiedler 值   | 粗定位與重新成像、加權濾波迭代、CKF 融合數據   |
| <b>數據支撐</b>  | 模擬數據，無實際測試數據支持  | 模擬數據，並包含實地飛行測試數據   |
| <b>優勢</b>    | 網絡穩定性強，增強網絡抗干擾能力  | 提升定位精度，增強遠距離偵察能力   |
| <b>缺點</b>    | 缺乏實驗驗證，依賴理想條件   | 方法複雜，實時性有挑戰，依賴精密傳感器  |
| <b>可應用場景</b> | 需要穩定網絡連接的應用，如無人機通信網絡  | 長距離偵察和精確目標定位，如軍事或搜救任務  |