



HUST

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI
HANOI UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

ONE LOVE. ONE FUTURE.



TRƯỜNG ĐẠI HỌC
BÁCH KHOA HÀ NỘI
HANOI UNIVERSITY
OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

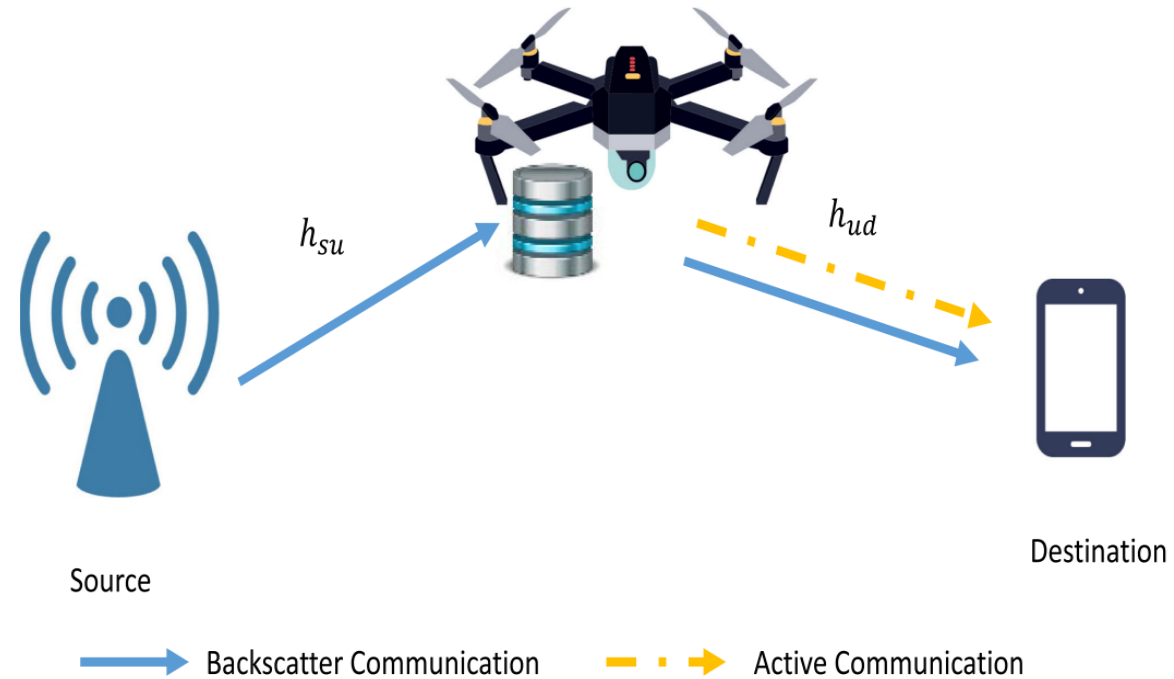
Throughput Maximization for Backscatter- and Cache-Assisted Wireless Powered UAV Technology

ĐINH THANH TUNG

20200570

ONE LOVE. ONE FUTURE.

I. Giới thiệu bài toán

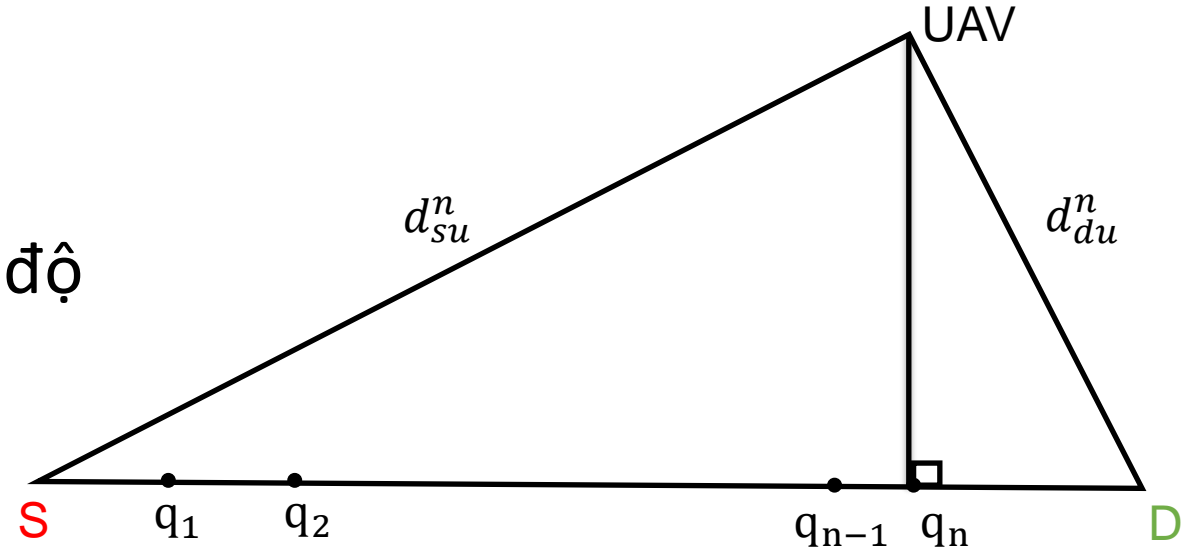


- Nguồn (Source) hoạt động như một bộ sạc không dây hoặc trạm gốc để cung cấp điện hoặc truyền thông tin
- Đích (Destination) là các thiết bị cần kết nối, nhận thông tin truyền đến mà không thể thực hiện kết nối trên mặt đất

II. Mô hình hóa bài toán

1. Mô hình UAV

- UAV bay trong không gian 3D với tọa độ là (x, y, z)
- Tổng thời gian bay của 2 UAV được chia thành N khe thời gian.
- Thời gian một khe thời gian là $\delta_t = \frac{T}{N}$
- Vị trí của nguồn đích là $\mathbf{w}_s, \mathbf{w}_d$
- Vị trí bắt đầu và kết thúc của 2 UAV là: $\mathbf{q}_{I1}, \mathbf{q}_{F1}, \mathbf{q}_{I2}, \mathbf{q}_{F2}$



II. Mô hình hóa bài toán

2. Caching model

- σ_1, σ_2 : Hệ số bộ nhớ đệm của 2 UAV
- UAV có thể lưu trữ $0 \leq \sigma_i \leq 1$ phần của mỗi file cần truyền trong bộ nhớ cache của nó
- Khi đó mỗi nguồn chỉ cần gửi $1 - \sigma_i$ phần còn lại của file đến UAV để truyền đến đích

II. Mô hình hóa bài toán

3. Energy Harvesting

- UAV thực hiện 2 giai đoạn trong một khe thời gian δ_t

- $\tau_n \cdot \delta_t$: Thời gian truyền dữ liệu
- $(1 - \tau_n)\delta_t$: Thời gian sạc cho UAV

Trong đó $0 \leq \tau_n \leq 1$

- Ràng buộc đảm bảo rằng tổng năng lượng tiêu thụ của UAV phải nhỏ hơn hoặc bằng tổng năng lượng thu được cho đến khe thời gian $n \in N$

$$\sum_{i=1}^n (E_{fly}^n(q) + \tau_n \delta_t (P_b + P_u)) \leq \sum_{i=1}^n E_h^n$$

II. Mô hình hóa bài toán

3. Energy Harvesting

$$\sum_{i=1}^n (E_{fly}^n(q) + \tau_n \delta_t (P_b + P_u)) \leq \sum_{i=1}^n E_h^n$$

Trong đó:

- E_{fly}^n là năng lượng cần thiết để UAV bay trong khe thời gian δ_t
- E_h^n là năng lượng UAV thu được trong khe thời gian δ_t
- P_s is the transmit power of source S used for information transmission
- P_u denote the transmit power of UAV during time slot n for data transmission.

II. Mô hình hóa bài toán

4. UAV-Enabled Backscatter (UB) – Shannon Capacity

- Dung lượng Shannon của một kênh truyền thông là tỷ lệ tối đa trên lý thuyết về lượng thông tin một kênh truyền thông có thể truyền tải, với một độ nhiễu nhất định.
- Công thức tổng quát tính tốc độ dữ liệu của UAV là:

$$R = B \log_2 \left(1 + \frac{\text{Năng lượng tín hiệu}}{\text{Năng lượng nhiễu}} \right)$$

II. Mô hình hóa bài toán

4. UAV-Enabled Backscatter (UB) – Shannon Capacity

- Khi đó ta có tốc độ dữ liệu đạt được tại 1 UB và đích trong khe thời gian n là

$$\bar{R}_u^n = B \log_2 \left(1 + \frac{e^{-E} w_0 P_s}{(\|q_n - w_s\|^2)^{\frac{\alpha}{2}} \sigma_u^2} \right)$$

$$\bar{R}_d^n = B \delta_t \log_2 \left(1 + \frac{\theta(\eta_u^n w_0 P_s + \bar{P}_u (d_{su}^n)^\alpha)}{Q} \right)$$

II. Mô hình hóa bài toán

5. Problem Formulation

- Dữ liệu từ UAV truyền đi phải lớn hơn dữ liệu đích nhận được
- Tốc độ dữ liệu nhận được tại đích phải lớn hơn S (S là tốc độ dữ liệu yêu cầu tối thiểu tại đích) nhằm đảm bảo yêu cầu kỹ thuật và nhu cầu của người dùng.
- Tổng năng lượng bay, backscatter (tán xạ ngược) và trao đổi thông tin không được vượt quá năng lượng UAV đã nhận được
- Năng lượng truyền của nguồn và UAV cho việc truyền tin phải nhỏ hơn một giá trị năng lượng tối đa: $P_u + P_s \leq P_{MAX}$
- **Hàm mục tiêu:** tối đa hóa tổng thông lượng truyền dữ liệu từ $u \rightarrow d$ (tối đa hóa dữ liệu đích nhận được)

$$\mathcal{P}_1 : \max_{q, \tau} B \sum_{n \in \mathcal{N}} \tau_n \delta_t \log_2 \left(1 + \frac{\Theta(\eta_u^n \omega_0 P_s + \bar{P}_u (d_{su}^n)^\alpha)}{\varrho} \right)$$

III. Giải thuật đề xuất

Để giải quyết vấn đề bài toán \mathcal{P}_1 trên thì ta phân tách \mathcal{P}_1 thành 3 bài toán con.

-Trong đó đầu tiên sẽ đi tối ưu hóa tỉ lệ DTS (τ_n) với một quỹ đạo nhất định và giá trị P_s, P_u ban đầu:

$$\mathcal{P}_1^{\tau} : \max_{\tau} \sum_{n \in \mathcal{N}} \tau_n \delta_t \bar{R}_d^n$$

-Thứ hai ta sẽ tối ưu quỹ đạo (trajectory) của UAV với tỷ lệ DTS vừa tối ưu ở trên.

$$\mathcal{P}_1^q : \max_q B \sum_{n \in \mathcal{N}} \tau_n \delta_t \log_2 \left(1 + \frac{\Theta (\eta_u^n \omega_0 P_s + \bar{P}_u (d_{su}^n)^\alpha)}{\varrho} \right)$$

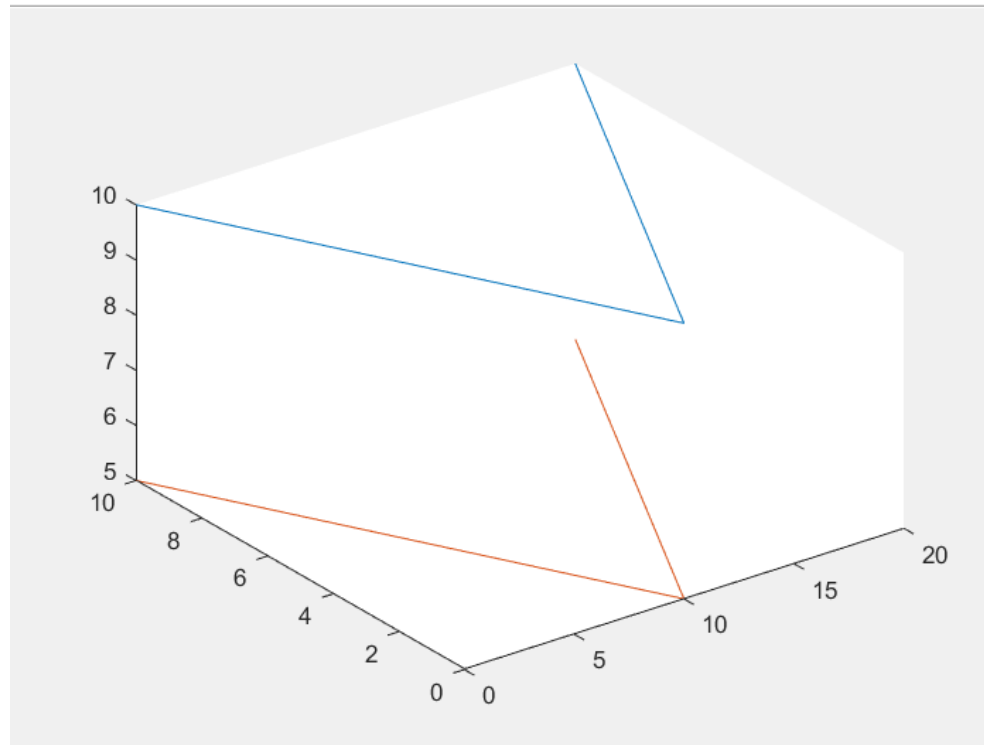
-Thứ ba ta sẽ tối ưu P_s, P_u với tỷ lệ DTS và quỹ đạo ở trên.

III. Giải thuật đề xuất

- Bằng thuật toán quy hoạch lồi – điều kiện KKT: ta luân phiên tối ưu 3 bài toán con đến khi thuật toán hội tụ đến một ngưỡng đã cho
- Do bài toán ban đầu là sử dụng 2 UAV để truyền tin nên chúng ta sẽ giải quyết bài toán \mathcal{P}_1 cho từng UAV riêng biệt, từ đó kết hợp lại để giải quyết bài toán ban đầu.
- Ta có thể so sánh với thuật toán DE (Differential Evolution) để so sánh xem thuật toán đề xuất có tốt hơn hay không?

IV. Cài đặt

Khởi tại quỹ đạo ban đầu với $\mathbf{q}_{I1} = (0; 10; 10)$; $\mathbf{q}_{F1} = (20; 10; 10)$
 $\mathbf{q}_{I2} = (0; 10; 5)$; $\mathbf{q}_{F1} = (20; 10; 5)$



IV. Cài đặt

Với mỗi UAV ta tối ưu hóa tỉ lệ DTS (τ_n) với quỹ đạo vừa khởi tạo ở trên với các ràng buộc sau:

- $\max_{\tau} B \sum_{n \in \mathcal{N}} \tau_n \delta_t \log_2 \bar{R}_d^n$
- $\sum_{n \in \mathcal{N}} \tau_n \delta_t \bar{R}_u^n + \sigma S \geq \sum_{n \in \mathcal{N}} \tau_n \delta_t \bar{R}_d^n$
- $\sum_{n \in \mathcal{N}} \tau_n \delta_t \bar{R}_d^n \geq S$
- $\sum_{i=1}^n \left(E_{fly}^n(q) + \tau_n \delta_t (P_b + P_u) \right) \leq \sum_{i=1}^n \frac{\mu(1-\tau_n) \delta_t W_0 P_{WPT}}{(\|q_n - w_s\|^2)^{\alpha/2}}$
- $0 \leq \tau_n \leq 1, n \in N$

IV. Cài đặt

Qua đó tính được:

$$\tau_n = \frac{\sigma S}{N \delta_t (\bar{R}_d^n - \bar{R}_u^n)} \text{ nếu } \bar{R}_d^n > \bar{R}_u^n$$

$$\tau_n = \frac{X_1 - E_{fly}^n(q)}{X_1 + \delta_t (P_b + P_u)} \text{ nếu ngược lại (với } X_1 = \frac{\mu \delta_t w_0 P_{WPT}}{(\|q_n - w_s\|^2)^{\alpha/2}})$$

Trong đó $E_{fly}^n(q)$, \bar{R}_d^n , \bar{R}_u^n , X_1 được cập nhật mỗi lần thực hiện vòng lặp tính τ_n .

IV. Cài đặt

Với tỷ lệ DTS(τ_n) vừa tối ưu ở trên ta sẽ tối ưu quỹ đạo (trajectory) của mỗi UAV với các ràng buộc sau:

- $\max_q B \sum_{n \in \mathcal{N}} \tau_n \delta_t \log_2 \left(1 + \frac{\theta(\eta_u^n \omega_0 P_s + \bar{P}_u (d_{su}^n)^\alpha)}{Q} \right)$
- $B \sum_{n \in \mathcal{N}} \tau_n \delta_t \log_2 \left(1 + \frac{e^{-E} w_0 P_s}{(\|q_n - w_s\|^2)^{\frac{\alpha}{2}} \sigma_u^2} \right) + \sigma S \geq B \sum_{n \in \mathcal{N}} \tau_n \delta_t \log_2 \left(1 + \frac{\theta(\eta_u^n w_0 P_s + \bar{P}_u (d_{su}^n)^\alpha)}{Q} \right)$
- $B \sum_{n \in \mathcal{N}} \tau_n \delta_t \log_2 \left(1 + \frac{\theta(\eta_u^n w_0 P_s + \bar{P}_u (d_{su}^n)^\alpha)}{Q} \right) \geq S$
- $\sum_{i=1}^n \left(E_{fly}^n(q) + \tau_n \delta_t (P_b + P_u) \right) \leq \sum_{i=1}^n \frac{\mu(1-\tau_n) \delta_t w_0 P_{WPT}}{(\|q_n - w_s\|^2)^{\alpha/2}}$
- $\|q_{n+1} - q_n\| \leq \delta_d = V_{max} \delta_t, n = 0, \dots, N-1$ (1); $q_0 = q_I, q_N = q_F$ (2)

IV. Cài đặt

Để việc giải bài toán tối ưu dễ dàng hơn ta ta sẽ đổi các hàm trên thành hàm lồi đối với biến tối ưu bằng cách:

$$\text{Đặt } (z_1^n)^{2/\alpha} \geq \|q_n - w_s\|^2 (3); (z_2^n)^{2/\alpha} \geq \|q_n - w_d\|^2 (4)$$

Với mỗi $z_1^{n,j}, z_2^{n,j}$ ở vòng lặp thứ j, áp dụng Taylor ta được:

$$\log_2 \left(1 + \frac{e^{-E} w_0 P_s}{z_1^n \sigma_u^2} \right) \geq \log_2 \left(1 + \frac{e^{-E} w_0 P_s}{z_1^{n,j} \sigma_u^2} \right) - \frac{e^{-E} w_0 P_s (z_1^n - z_1^{n,j})}{z_1^{n,j} (z_1^{n,j} \sigma_u^2 + e^{-E} w_0 P_s) \ln 2} = \Theta_1$$

$$\log_2 \left(1 + \frac{\Theta(\eta_u^n \omega_0 P_s + \bar{P}_u (d_{su}^n)^\alpha)}{z_1^n z_2^n} \right) \geq \log_2 \left(1 + \frac{\Theta(\eta_u^n \omega_0 P_s + \bar{P}_u (d_{su}^n)^\alpha)}{z_1^{n,j} z_2^{n,j}} \right) - \frac{\Theta \eta_u^n \omega_0 P_s (z_1^n - z_1^{n,j})}{z_1^{n,j} (\Theta \eta_u^n \omega_0 P_s + z_1^{n,j} + (\Theta \bar{P}_u + z_2^{n,j})) \ln 2} - \frac{\Theta(\eta_u^n \omega_0 P_s + \bar{P}_u z_1^{n,j}) (z_2^n - z_2^{n,j})}{z_2^{n,j} (\Theta \eta_u^n \omega_0 P_s + z_1^{n,j} + (\Theta \bar{P}_u + z_2^{n,j})) \ln 2} = \Theta_2$$

IV. Cài đặt

$$\text{Đặt } y_n^2 \geq \sqrt{\delta_t^4 + k_2^2 \Delta_n^4} - k_2 \Delta_n^2; \frac{1}{z_1^n} \geq \frac{1}{z_1^{n,j}} - \frac{1}{(z_1^{n,j})^2} (z_1^n - z_1^{n,j}) = \tilde{z}_1^n$$

$$\text{Áp dụng Taylor: } \frac{\delta_t^4}{y_n^2} \leq (y_n^j)^2 + 2 y_n^j (y_n - y_n^j) - 2 k_2 \|q_{n+1}^j - q_n^j\|^2 + 4 k_2$$

$$(q_{n+1}^j - q_n^j)^T (q_{n+1} - q_n) (5)$$

Các ràng buộc trở thành: (1); (2); (3); (4); (5);

$$B \sum_{n \in N} \tau_n \delta_t \theta_1 + \sigma S \geq B \sum_{n \in N} \tau_n \delta_t \theta_2;$$

$$B \sum_{n \in N} \tau_n \delta_t \theta_2 \geq S;$$

$$\sum_{i=1}^n \left(E_{fly}^n(q) + \tau_n \delta_t (P_b + P_u) \right) \leq \sum_{i=1}^n \mu (1 - \tau_n) \delta_t w_0 P_{WPT} \tilde{z}_1^n;$$

IV. Cài đặt

Sử dụng tỷ lệ $DTS(\tau_n)$ và quỹ đạo vừa tối ưu ở trên ta đi tối ưu lại quỹ đạo của mỗi UAV và tính hàm mục tiêu với biến tối ưu P_s, P_u qua các ràng buộc sau:

- $\max_{P_s, P_u} B \sum_{n \in \mathcal{N}} \tau_n \delta_t \log_2 \left(1 + \frac{\theta(\eta_u^n \omega_0 P_s + \bar{P}_u (d_{su}^n)^\alpha)}{Q} \right)$
- $B \sum_{n \in \mathcal{N}} \tau_n \delta_t \log_2 \left(1 + \frac{e^{-E} w_0 P_s}{(\|q_n - w_s\|^2)^{\frac{\alpha}{2}} \sigma_u^2} \right) + \sigma S \geq B \sum_{n \in \mathcal{N}} \tau_n \delta_t \log_2 \left(1 + \frac{\theta(\eta_u^n w_0 P_s + \bar{P}_u (d_{su}^n)^\alpha)}{Q} \right)$
- $B \sum_{n \in \mathcal{N}} \tau_n \delta_t \log_2 \left(1 + \frac{\theta(\eta_u^n w_0 P_s + \bar{P}_u (d_{su}^n)^\alpha)}{Q} \right) \geq S$
- $\sum_{i=1}^n \left(E_{fly}^n(q) + \tau_n \delta_t (P_b + P_u) \right) \leq \sum_{i=1}^n \frac{\mu(1-\tau_n) \delta_t w_0 P_{WPT}}{(\|q_n - w_s\|^2)^{\alpha/2}}$
- $0 \leq P_s + P_u \leq P_{MAX}$

IV. Cài đặt

Để việc giải bài toán tối ưu dễ dàng hơn ta ta sẽ đổi các hàm trên thành hàm lồi đối với biến tối ưu bằng cách:

$$\text{Đặt } (z_1^n)^{2/\alpha} = \|q_n - w_s\|^2 (3); (z_2^n)^{2/\alpha} = \|q_n - w_d\|^2 (4)$$

Với mỗi P_{sj}, P_{uj} ở vòng lặp thứ j, áp dụng Taylor ta được:

$$\log_2 \left(1 + \frac{\theta P_s}{z_1^n} \right) \geq \log_2 \left(1 + \frac{\theta P_{sj}}{z_1^n} \right) + \frac{\theta (P_s - P_{sj})}{(z_1^n + \theta P_{sj}) \ln 2} = \theta_1$$

$$\log_2 \left(1 + \frac{\theta (\eta_u^n \omega_0 P_s + \bar{P}_u z_1^n)}{z_1^n z_2^n} \right) \geq \log_2 \left(1 + \frac{\theta (\eta_u^n \omega_0 P_{sj} + \bar{P}_{uj} z_1^n)}{z_1^n z_2^n} \right) - \frac{\theta \eta_u^n \omega_0 (P_s - P_{sj}) + \theta z_1^n [\sigma] (P_u - P_{uj})}{(z_1^n z_2^n + \theta \eta_u^n \omega_0 P_{sj} + \theta z_1^n [\sigma] P_{uj}) \ln 2} = \theta_2$$

IV. Cài đặt

Các ràng buộc trở thành:

$$\max_{P_s, P_u} B \sum_{n \in \mathcal{N}} \tau_n \delta_t \theta_2 = g_x;$$

$$B \sum_{n \in \mathcal{N}} \tau_n \delta_t \theta_1 + \sigma S \geq g_x;$$

$$g_x \geq S;$$

$$\sum_{i=1}^n \left(E_{fly}^n(q) + \tau_n \delta_t (P_b + P_u) \right) \leq \sum_{i=1}^n \frac{\mu(1-\tau_n) \delta_t W_0 P_{WPT}}{z_1^n};$$

$$0 \leq P_s + P_u \leq P_{MAX};$$

IV. Cài đặt

Lặp lại quá trình trên cho đến khi số lần lặp bằng Max_Iteration và sai số sau mỗi lần $< \epsilon$

V. Kết quả

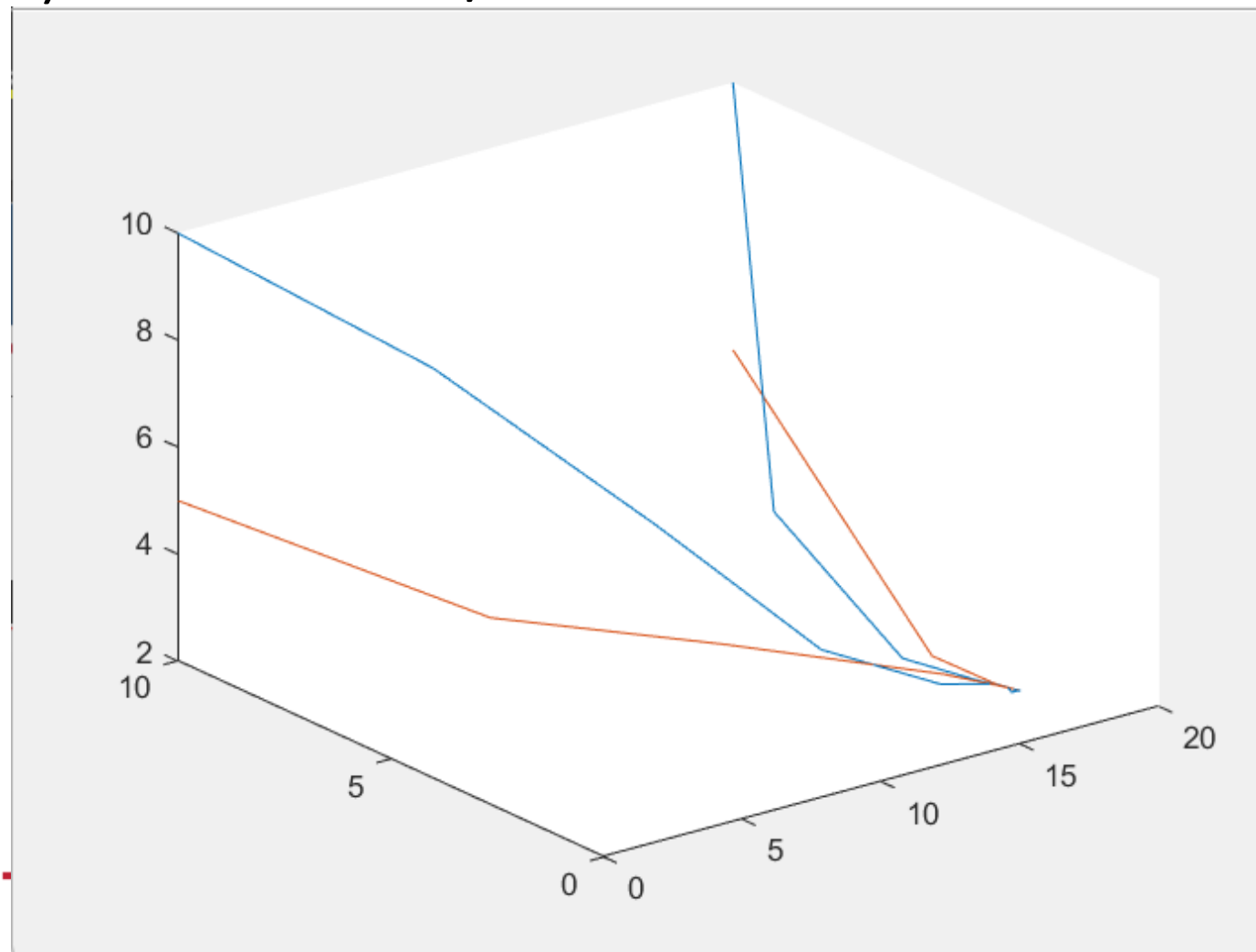
Tham số bài toán:

Max_iteration	5	Nhiều σ^2	-90 dB
Tốc độ tối đa, V_{max}	20m/s	Hệ số mát mát, α	2.3
Vị trí bắt đầu UAV1, q_{I1}	[0;10; 10]	Năng lượng tán xạ, P_b	10^{-6} W
Vị trí kết thúc UAV1, q_{F1}	[20;10 ;10]	Tiêu hao theo khoảng cách, w_0	-30dB
Vị trí bắt đầu UAV2, q_{I2}	[0;10; 5]	Giá trị P_s ban đầu	16 dBm
Vị trí kết thúc UAV2, q_{F2}	[20;10 ;5]	Giá trị P_u ban đầu	10 mW
Vị trí nguồn, w_S	[5, 0]	Tỉ lệ thu năng lượng, μ	0.84
Vị trí đích, w_D	[15, 0]	Năng lượng truyền tin nguồn, P_s	16dBm
Thời gian bay, T	20s	Năng lượng xác của nguồn, P_{WPT}	40dB
Số khe thời gian, N	40	Dữ liệu tại nguồn, S	50Mbits
Giá trị mỗi khe t/gian, δ_t	0.5s	Hệ số bộ nhớ đệm, σ	0.5

V. Kết quả

Hàm mục tiêu(Rate): 93.7843 Mbit/s

Quỹ đạo của 2 UAV:



A large graphic on the left side of the slide. It features a dark blue background with a circular pattern of red dots of varying sizes, creating a sense of depth and movement. The word "HUST" is centered within this graphic in a white, bold, sans-serif font.

HUST

THANK YOU !