

CHANNEL ESTIMATION

Phạm Võ Hiệp, Mã Chí Nhân, Bùi Thị Huyền Như



Trường Đại học Bách Khoa
Đại học Quốc gia TP.HCM

Kỹ Thuật Hệ Thống Viễn Thông - Báo Cáo Bài Tập Lớn
GVHD: Đặng Ngọc Hạnh
20 - 11 - 2024

Channel Estimation (Ước lượng kênh truyền)

- ① Giới thiệu
- ② Một vài kỹ thuật ước lượng kênh truyền
- ③ Mô hình ước lượng tham số SISO
- ④ Ước lượng kênh truyền ngõ vào đơn - ngõ ra đơn
- ⑤ Mô phỏng kênh truyền SISO trong MATLAB
- ⑥ Mô hình kênh truyền đa ngõ vào - một ngõ ra (Multiple Input Single Output)
- ⑦ Mô hình kênh truyền đa ngõ vào - đa ngõ ra (MIMO)
- ⑧ Mô phỏng kênh truyền MIMO trong MATLAB

Channel Estimation (Ước lượng kênh truyền)

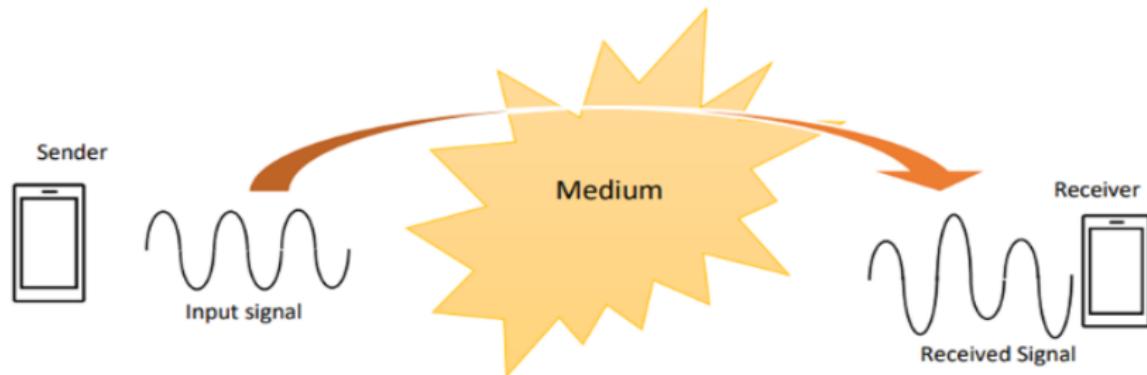
1 Giới thiệu

- 2 Một vài kỹ thuật ước lượng kênh truyền
- 3 Mô hình ước lượng tham số SISO
- 4 Ước lượng kênh truyền ngõ vào đơn - ngõ ra đơn
- 5 Mô phỏng kênh truyền SISO trong MATLAB
- 6 Mô hình kênh truyền đa ngõ vào - một ngõ ra (Multiple Input Single Output)
- 7 Mô hình kênh truyền đa ngõ vào - đa ngõ ra (MIMO)
- 8 Mô phỏng kênh truyền MIMO trong MATLAB

Giới thiệu

Khi một tín hiệu đi qua kênh, nó sẽ bị biến dạng do nhiễu hoặc do các tín hiệu khác cũng đi qua cùng một phương tiện. Để loại bỏ các ảnh hưởng của nhiễu và biến dạng từ kênh đối với tín hiệu nhận được, cần phải xác định các thuộc tính của kênh.

→ Kỹ thuật ước lượng kênh truyền.



Channel Estimation (Ước lượng kênh truyền)

1 Giới thiệu

2 Một vài kỹ thuật ước lượng kênh truyền

3 Mô hình ước lượng tham số SISO

4 Ước lượng kênh truyền ngõ vào đơn - ngõ ra đơn

5 Mô phỏng kênh truyền SISO trong MATLAB

6 Mô hình kênh truyền đa ngõ vào - một ngõ ra (Multiple Input Single Output)

7 Mô hình kênh truyền đa ngõ vào - đa ngõ ra (MIMO)

8 Mô phỏng kênh truyền MIMO trong MATLAB

Channel Estimation (Ước lượng kênh truyền)

② Một vài kỹ thuật ước lượng kênh truyền

- **Ước lượng hợp lý cực đại**
- Ước lượng cảm biến nén - Compressed Sensing
- Phương pháp bộ lọc Kalman - Kalman Filtering
- Phương pháp dò tia - Ray Tracing

Ước lượng hợp lý cực đại

Phương pháp Maximum Likelihood (ML) nhằm tìm ước lượng đáp ứng tần số của kênh truyền có khả năng cao nhất

Giả sử có một hệ thống MIMO với N_t anten phát và N_r anten thu. Tín hiệu thu được \mathbf{y} có thể mô hình hóa theo phương trình:

$$\mathbf{y} = \mathbf{Hx} + \mathbf{n}$$

Trong đó:

- \mathbf{y} là vector tín hiệu thu,
- \mathbf{H} là ma trận kênh (kích thước $N_r \times N_t$),
- \mathbf{x} là vector tín hiệu phát,
- \mathbf{n} là vector nhiễu, giả sử theo phân phối Gaussian.

Ước lượng hợp lý cực đại

Hàm hợp lý cực đại (Maximum Likelihood Function) là:

$$\hat{h}_{\text{ML}} = \arg \max_h L(h; \mathbf{y})$$

Trong đó:

- $L(h; \mathbf{y})$ là hàm khả năng (likelihood function) của tham số kênh h cho dữ liệu quan sát \mathbf{y} (*)
- \hat{h}_{ML} là ước lượng tham số kênh tối ưu.

(*)Hàm khả năng $L(h; \mathbf{y})$ được xác định bằng cách tính xác suất của dữ liệu quan sát \mathbf{y} trong một mô hình xác suất của kênh, dựa trên các tham số kênh h .

Ước lượng hợp lý cực đại

Ưu điểm	Nhược điểm
Độ tin cậy cao	Tốn công suất với kênh băng thông rộng
Ứng dụng rộng	Yêu cầu dữ liệu đủ lớn
Dễ dàng tính toán	Chỉ hiệu quả với kênh LoS Không tương thích với kênh truyền động

Một số ứng dụng:

- Trong các hệ thống MIMO, nơi có nhiều anten cả ở phía phát và phía thu.
- Trong các hệ thống tĩnh như giữ các trạm phát sóng.
- Trong các hệ thống kênh ghép theo tần số

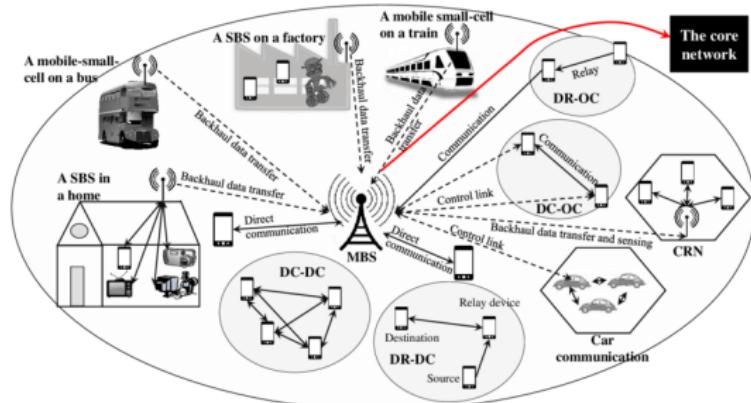
Channel Estimation (Ước lượng kênh truyền)

② Một vài kỹ thuật ước lượng kênh truyền

- Ước lượng hợp lý cực đại
- **Ước lượng cảm biến nén - Compressed Sensing**
- Phương pháp bộ lọc Kalman - Kalman Filtering
- Phương pháp dò tia - Ray Tracing

Ước lượng cảm biến nén

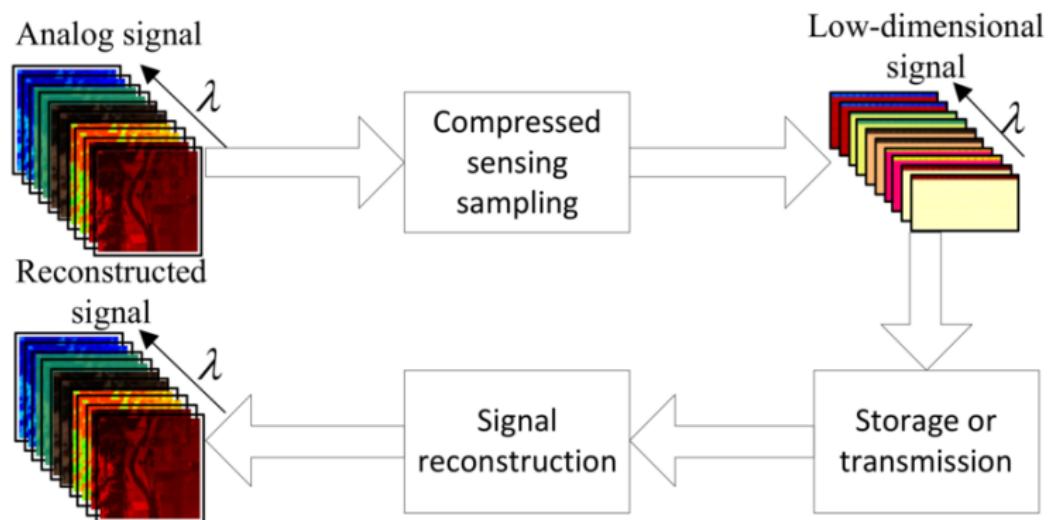
Trong các hệ thống MIMO khổng lồ, số lượng liên kết và kênh không dây rất lớn, dẫn đến sự gia tăng tín hiệu hoa tiêu, tăng chi phí thu thập dữ liệu và ước lượng.



Kênh không dây về cơ bản là thưa → kỹ thuật nén dữ liệu, ước lượng kênh thưa

Ước lượng cảm biến nén

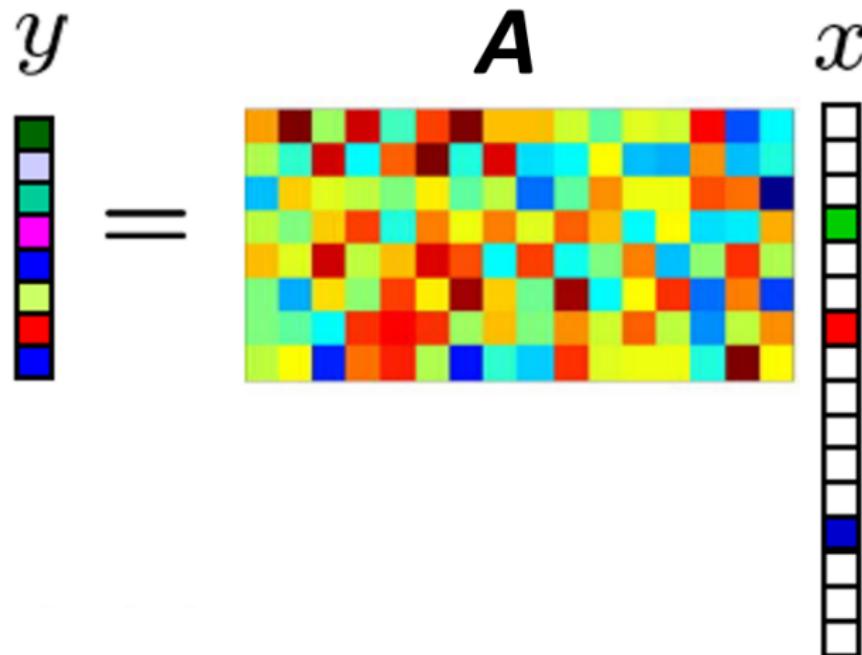
Ước lượng cảm biến nén chỉ thu thập một số lượng mẫu rất ít nhưng thông qua các phép biến đổi và thuật toán phục hồi tín hiệu, ta có thể tái tạo lại tín hiệu gần đúng với độ chính xác cao.



Ước lượng cảm biến nén

Tín hiệu cần khôi phục là x được làm thưa bằng cách lấy số mẫu ít.

$$\mathbf{y} = \mathbf{Ax} + \epsilon$$



Ước lượng cảm biến nén

Bài toán khôi phục có thể viết dưới dạng:

$$\hat{\mathbf{x}} = \arg \min_{\mathbf{x}} \|\mathbf{Ax} - \mathbf{y}\|_2^2 + \lambda \|\mathbf{x}\|_1$$

Trong đó:

- $\|\mathbf{Ax} - \mathbf{y}\|_2^2$ là sai số giữa phép đo thực tế và dự đoán.
- $\|\mathbf{x}\|_1$ là tổng giá trị tuyệt đối của các phần tử trong \mathbf{x} , là một cách để đo độ thừa của tín hiệu.
- λ là một tham số điều chỉnh độ mạnh của ràng buộc L1.

Ước lượng cảm biến nén

Ưu điểm

- Giảm tải tín hiệu hoa tiêu và năng lượng
- Giảm số lượng mẫu xử lý và lưu trữ
- Tính linh hoạt và khả năng mở rộng

Nhược điểm

- Độ phức tạp tính toán cao
- Vấn đề trong triển khai thực tế
- Mất thông tin trong quá trình nén

Một số ứng dụng:

- CS cho phép giảm số lượng mẫu cần thu thập và lưu trữ
- Trong hệ thống MIMO, CS được sử dụng để giảm thời gian xử lý và khối lượng xử lý cần dữ liệu.
- Trong OFDM ứng dụng để giải mã tín hiệu, vì đặc tính thưa trong miền thời gian của kỹ thuật OFDM, CS có thể giúp tối ưu giải mã trong phương pháp này
- Ứng dụng trong truyền thông dữ liệu như hình ảnh và video.

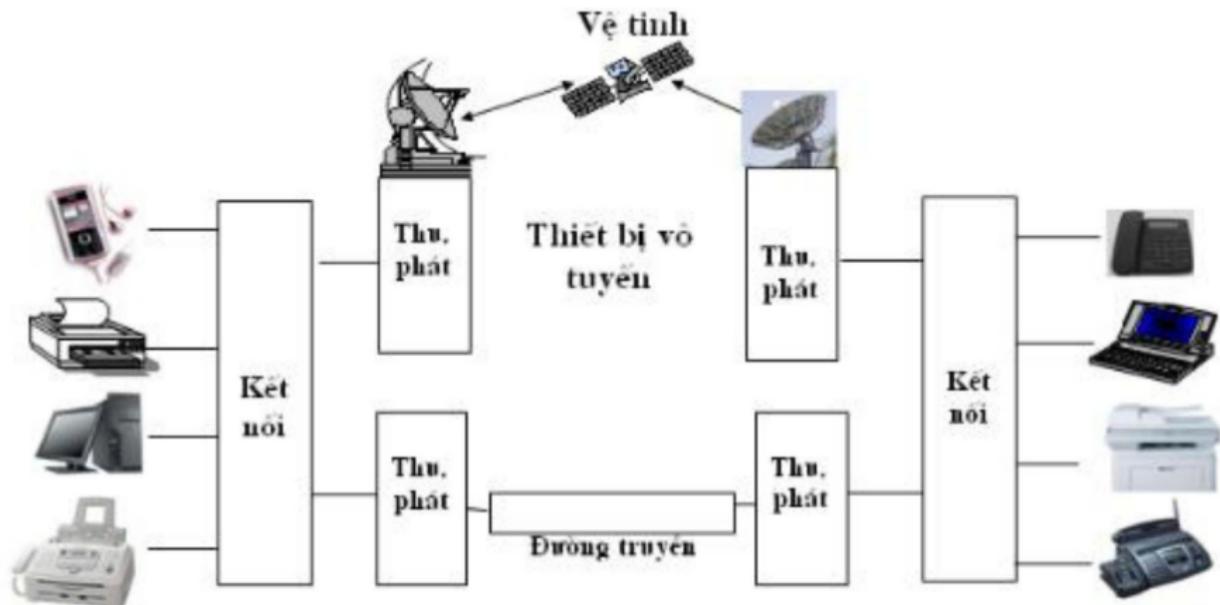
Channel Estimation (Ước lượng kênh truyền)

② Một vài kỹ thuật ước lượng kênh truyền

- Ước lượng hợp lý cực đại
- Ước lượng cảm biến nén - Compressed Sensing
- **Phương pháp bộ lọc Kalman - Kalman Filtering**
- Phương pháp dò tia - Ray Tracing

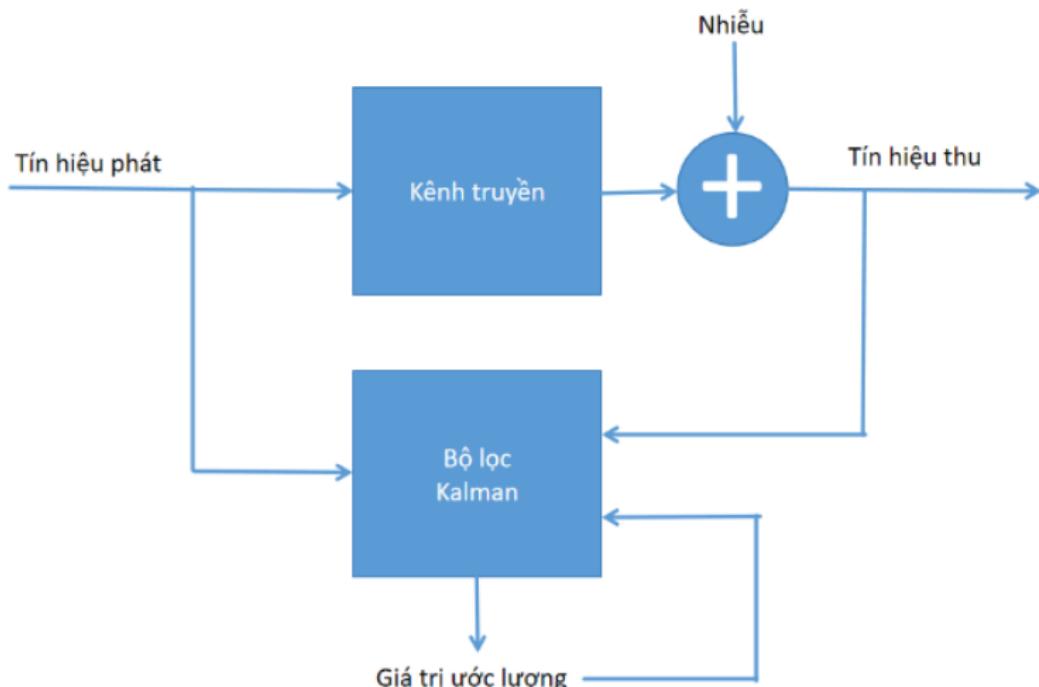
Phương pháp bộ lọc Kalman

Phương pháp bộ lọc Kalman giúp ước lượng kênh truyền theo thời gian, dựa trên thông tin về các trạng thái và quan sát trước đó, cùng với mô hình động học của hệ thống.



Phương pháp bộ lọc Kalman

Bộ lọc Kalman thực hiện ước lượng trạng thái hiện tại của một hệ thống động dựa trên một mô hình quá trình và mô hình quan sát.



Phương pháp bộ lọc Kalman

- Công thức mô tả sự biến đổi của trạng thái theo thời gian trong một hệ thống động có nhiễu:

$$\dot{x}(t) = \frac{dx}{dt} = Ax(t) + Bu(t) + w(t)$$

Với $\begin{cases} \dot{x}(t): \text{Sự thay đổi của trạng thái hệ thống theo thời gian.} \\ x(t): \text{vector trạng thái của hệ thống tại thời điểm } t \\ A: \text{Ma trận chuyển trạng thái, mô tả sự thay đổi của trạng thái qua thời gian} \\ u(t): \text{vector điều khiển đầu vào tại thời điểm } t \\ B: \text{Ma trận tác động của đầu vào lên trạng thái hiện tại} \\ w(t): \text{Nhiễu quá trình, được giả định là nhiễu trắng Gaussian} \end{cases}$

Phương pháp bộ lọc Kalman

- Công thức mô tả mô hình quan sát thu được trong không gian trạng thái:

$$y(t_i) = C.x(t_i) + D.u(t) + w(t_i)$$

Với

$y(t_i)$: Vector quan sát tại thời điểm t_i
 $x(t_i)$: Vector trạng thái của hệ thống tại thời điểm t_i
 C : Ma trận quan sát, mô tả cách các trạng thái ảnh hưởng đến các quan sát
 $u(t_i)$: vector điều khiển đầu vào tại thời điểm t_i
 D : Ma trận đầu vào, cho biết ảnh hưởng của đầu vào lên quan sát
 $w(t_i)$: Nhiễu quan sát tại thời điểm t_i

Phương pháp bộ lọc Kalman

- Ưu điểm và nhược điểm:

Ưu điểm	Nhược điểm
Giảm thiểu tác động do nhiễu	Hạn chế ở môi trường phi tuyến
Tính toán đơn giản	Nhạy cảm với điều kiện ban đầu
Theo dõi được hệ thống động	Tốn thời gian để ước lượng hội tụ

- Ứng dụng:

Phương pháp bộ lọc Kalman đặc biệt có ích trong ước lượng kênh truyền động.

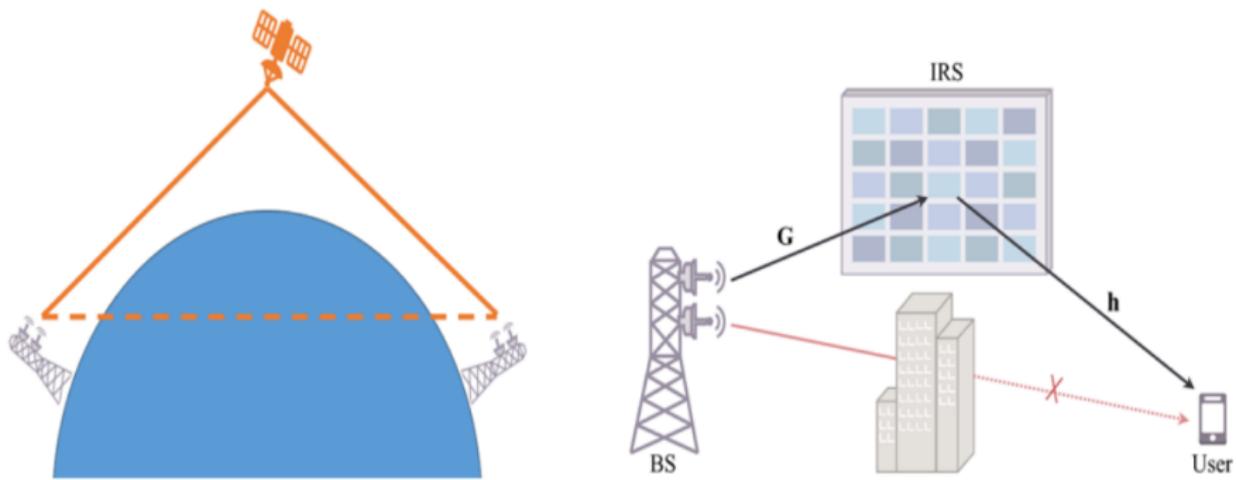
Channel Estimation (Ước lượng kênh truyền)

② Một vài kỹ thuật ước lượng kênh truyền

- Ước lượng hợp lý cực đại
- Ước lượng cảm biến nén - Compressed Sensing
- Phương pháp bộ lọc Kalman - Kalman Filtering
- Phương pháp dò tia - Ray Tracing

Phương pháp bề mặt phản xạ thông minh - IRS

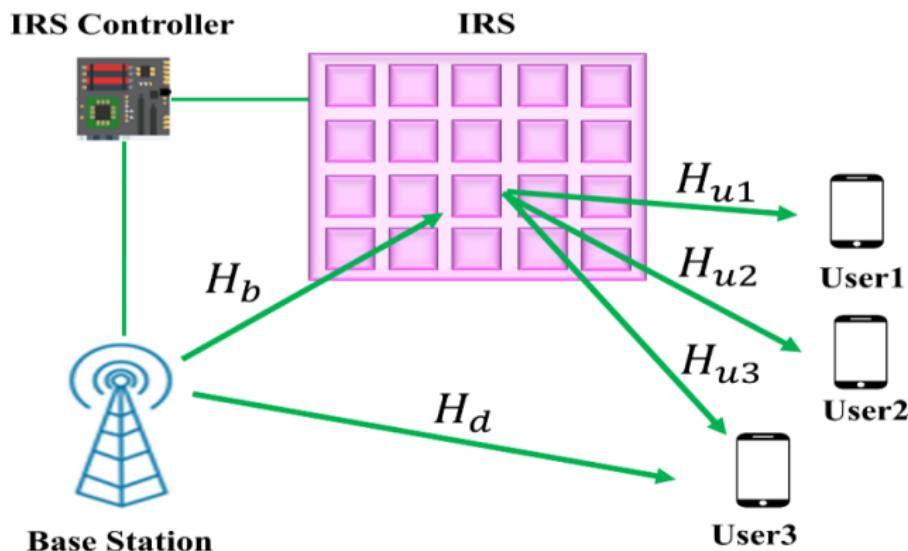
Kỹ thuật IRS được ứng dụng để truyền tín hiệu hiệu quả hơn trong các môi trường nhiều vật cản hoặc NLoS.



Phương pháp bề mặt phản xạ thông minh - IRS

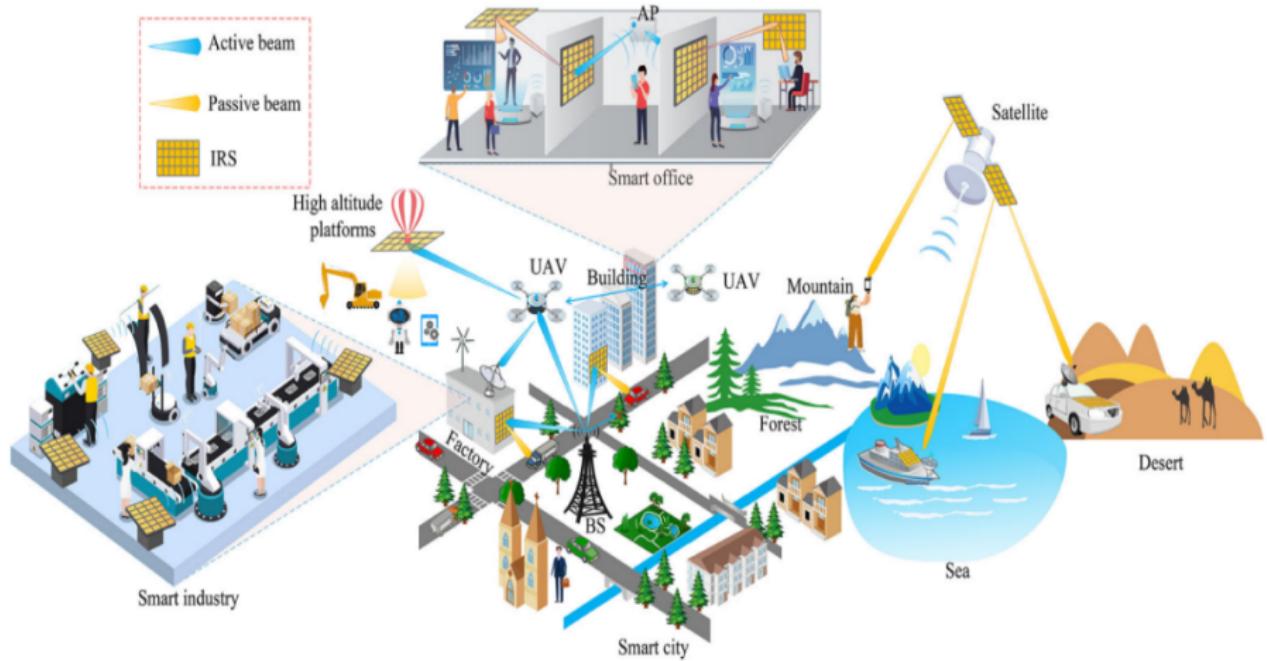
Cấu trúc của IRS:

- + Bề mặt phản xạ với các phần tử nhỏ
- + Bộ điều khiển trung tâm để điều chỉnh các phần tử thời gian thực dựa trên môi trường và mục tiêu cần truyền tín hiệu đến.



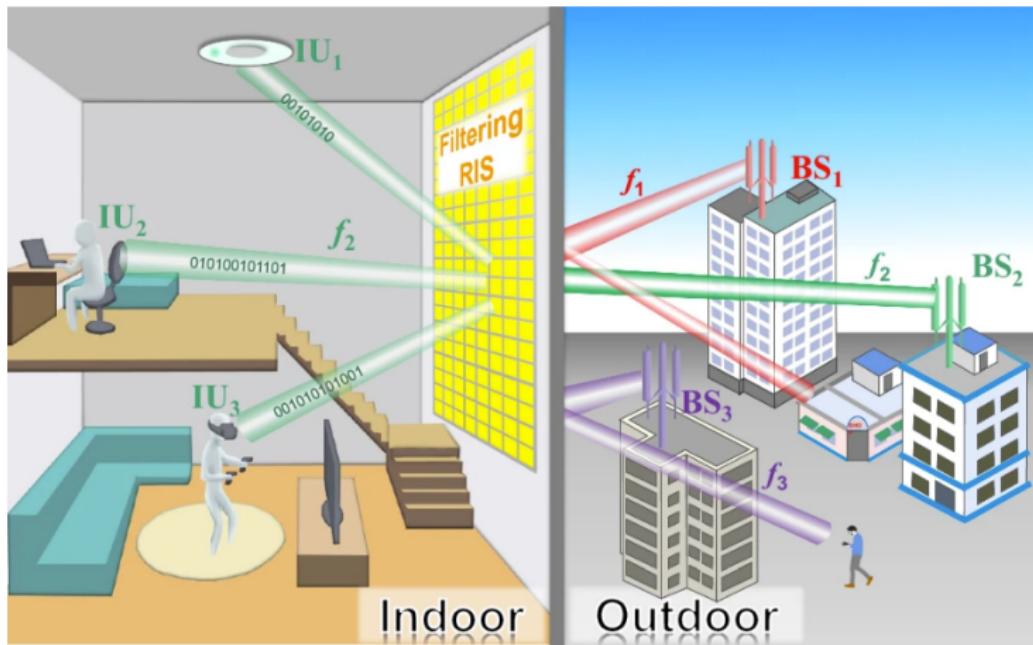
Phương pháp bề mặt phản xạ thông minh - IRS

Ứng dụng của IRS:



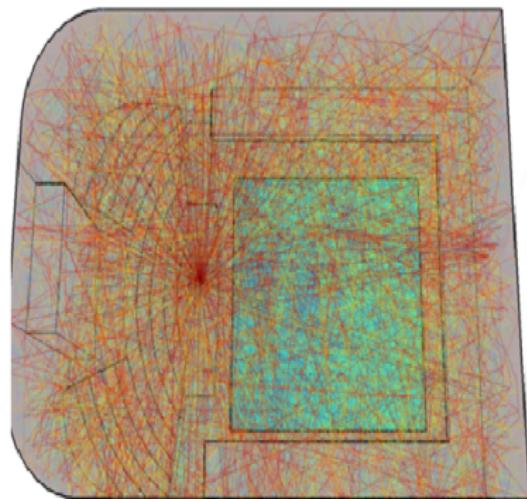
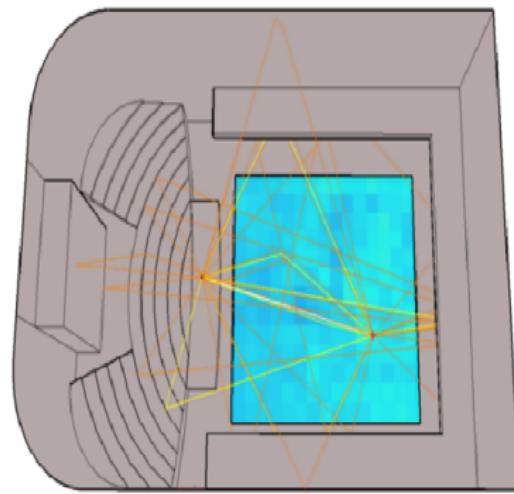
Phương pháp bề mặt phản xạ thông minh - IRS

Xây dựng hệ thống SIMO hoặc MIMO tại các khu vực có nhiều bề mặt phản xạ như trong thành phố hoặc văn phòng, tòa nhà,..



Phương pháp bề mặt phản xạ thông minh - IRS

Tối ưu hóa tín hiệu trong không gian kín đã biết như tại hội trường, lớp học, rạp phim,..



Phương pháp bề mặt phản xạ thông minh - IRS

Ưu điểm	Nhược điểm
Dễ dàng mở rộng vùng phủ sóng Hiệu quả năng lượng	Ước lượng kênh truyền phức tạp Phức tạp trong điều khiển và tối ưu Chi phí triển khai ban đầu

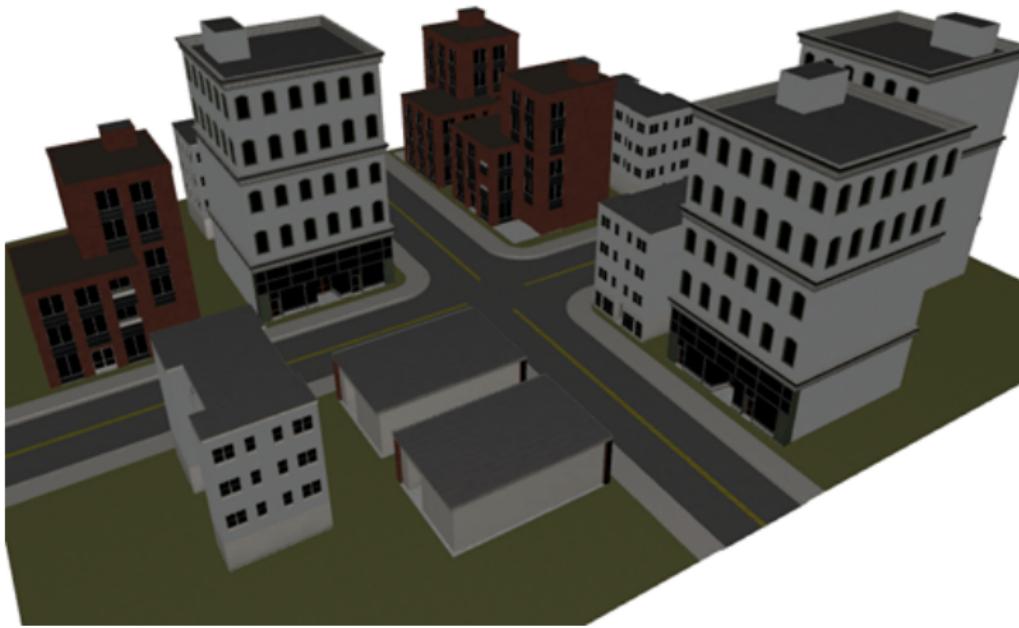
Phương pháp dò tia - Ray Tracing

Phương pháp dò tia trong ước lượng kênh viễn thông là một kỹ thuật mô phỏng đường đi của sóng vô tuyến trong môi trường, nhằm hiểu rõ cách tín hiệu lan truyền từ máy phát đến máy thu qua các vật cản và điều kiện môi trường.

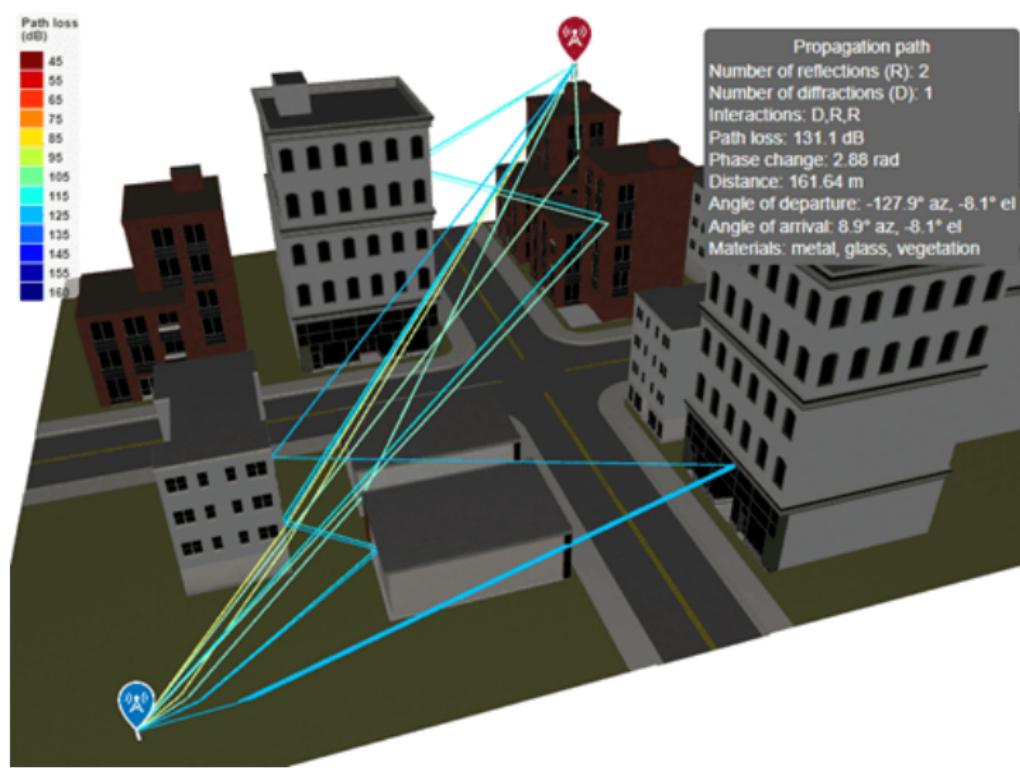
Gồm 4 bước:

- + Mô hình hóa môi trường truyền dẫn
- + Tính toán đường truyền của tín hiệu (Ray Paths)
- + Ước lượng tham số kênh
- + Tổng hợp phản hồi xung kênh .

Phương pháp dò tia - Ray Tracing



Phương pháp dò tia - Ray Tracing



Phương pháp dò tia - Ray Tracing

Ưu điểm

- Mô hình hóa chính xác kênh truyền
- Thích ứng với nhiều môi trường cần ước lượng
- Dễ dàng ước lượng các kênh truyền trong môi trường đã biết

Nhược điểm

- Chi phí và khối lượng tính toán lớn
- Yêu cầu nguồn dữ liệu đầu vào đáng tin cậy
- Khó ước lượng trong các môi trường có sự thay đổi
- Thời gian xử lý dài

Ứng dụng: Cung cấp mô hình chi tiết và chính xác về mọi kênh truyền trong phạm vi ước lượng. Đặt biệt trong môi trường có nhiều bề mặt phản xạ như trong nhà, văn phòng hoặc thành phố

Channel Estimation (Ước lượng kênh truyền)

- 1 Giới thiệu
- 2 Một vài kỹ thuật ước lượng kênh truyền
- 3 Mô hình ước lượng tham số SISO
- 4 Ước lượng kênh truyền ngõ vào đơn - ngõ ra đơn
- 5 Mô phỏng kênh truyền SISO trong MATLAB
- 6 Mô hình kênh truyền đa ngõ vào - một ngõ ra (Multiple Input Single Output)
- 7 Mô hình kênh truyền đa ngõ vào - đa ngõ ra (MIMO)
- 8 Mô phỏng kênh truyền MIMO trong MATLAB

Channel Estimation (Ước lượng kênh truyền)

③ Mô hình ước lượng tham số SISO

• Mô hình SISO

- Hàm xác suất và ước lượng hợp lý cực đại
- Các đặc tính của ước lượng hợp lý cực đại
- Tối ưu hóa độ tin cậy và số mẫu thử cần thiết
- Ước lượng tham số phức
- Các đặc tính của tham số phức

mô hình SISO

- Có 1 ngõ vào, 1 ngõ ra (Single Input - Single Output)
- Kênh có thể ảnh hưởng đến các tín hiệu có tần số khác nhau theo những cách khác nhau.
 - ước lượng kênh phải được thực hiện riêng cho từng tần số.
- Việc ước lượng kênh chỉ được thực hiện cho một số tần số nhất định.
 - nội suy cho các tần số còn lại.
- Mỗi kênh truyền đều được đặc trưng bởi $H(f)$

$$Y(\text{Observation}) = H(\text{Parameter}).X(\text{PilotSignal})$$

Mô hình SISO

Tuy nhiên, giá trị mà cảm biến nhận được bên phía thu còn gồm cả phần nhiễu. Do đó, phương trình thực tế quan sát được bên phía thu có dạng:

$$Y(\text{Observation}) = H(\text{Parameter}).X(\text{PilotSignal}) + V(\text{Noise})$$



Mô hình SISO

V là một biến ngẫu nhiên được đặc trưng bởi hàm mật độ xác suất có phân phối chuẩn với trung bình bằng không - $V \sim \mathcal{N}(0, \sigma^2)$.

→ Y cũng là một biến ngẫu nhiên.

$$E\{Y\} = E\{H + V\} = E\{H\} + E\{V\}$$

Với $E\{H\} = H$, $E\{V\} = 0$ nên $E\{Y\} = H$

$$\rightarrow E\{Y^2\} = E\{(H + V)^2\} \rightarrow E\{Y^2\} = \sigma^2$$

$$\rightarrow Y \sim \mathcal{N}(H, \sigma^2)$$

Phương trình của biến ngẫu nhiên Y có dạng hàm mật độ xác suất có dạng Gauss:

$$F_y = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(Y-H)^2}{2\sigma^2}}$$

→ Cần ước lượng tham số H để tìm được kênh truyền tại các tần số khác nhau.

Channel Estimation (Ước lượng kênh truyền)

③ Mô hình ước lượng tham số SISO

- Mô hình SISO
- **Hàm xác suất và ước lượng hợp lý cực đại**
- Các đặc tính của ước lượng hợp lý cực đại
- Tối ưu hóa độ tin cậy và số mẫu thử cần thiết
- Ước lượng tham số phức
- Các đặc tính của tham số phức

Hàm xác suất và ước lượng hợp lý cực đại - Likelihood Function and Maximum Likelihood Estimation

Các tín hiệu đo được Y tại các thời điểm:

$$Y(1) = H + V(1)$$

$$Y(2) = H + V(2)$$

...

$$Y(N) = H + V(N)$$

Hàm mật độ xác suất cho mỗi giá trị quan sát $Y(k)$:

$$F_{Y(k)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{\frac{-(Y(k)-H)^2}{2\sigma^2}}$$

Hàm xác suất và ước lượng hợp lý cực đại - Likelihood Function and Maximum Likelihood Estimation

Do các biến $V(k)$ là độc lập nên giá trị quan sát $Y(k)$ cũng độc lập. Vì vậy hàm mật độ xác suất chung của quan sát sẽ là tích các hàm mật độ xác suất riêng lẻ:

$$F_Y = F_{Y(1)} \times F_{Y(2)} \times \dots \times F_{Y(N)}$$

$$P(\bar{Y}; H) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(Y(1)-H)^2}{2\sigma^2}} \times \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(Y(2)-H)^2}{2\sigma^2}} \times \dots \times \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(Y(N)-H)^2}{2\sigma^2}}$$

$$P(\bar{Y}; H) = \left(\frac{1}{2\pi\sigma^2}\right)^{\frac{N}{2}} e^{\sum_{k=1}^N -\frac{1}{2\sigma^2}(Y_k - H)^2}$$

Sử dụng phương pháp MLE cho $P(\bar{Y}; H)$ với \bar{Y} là giá trị trung bình của các quan sát được viết dưới dạng vector $\bar{Y}^T = [Y(1), Y(2), \dots, Y(N)]$. Hàm này mô tả mật độ xác suất chung của các quan sát $Y(1), Y(2), \dots, Y(N)$ được tham số hóa bởi H được sử dụng để tìm giá trị của H mà làm cho hàm khả năng đạt cực đại - hay ước lượng khả năng xảy ra lớn nhất.

Hàm xác suất và ước lượng hợp lý cực đại - Likelihood Function and Maximum Likelihood Estimation

Lấy ln hai vế:

$$\ln P(\bar{Y}; H) = \ln \left(\frac{1}{2\pi\sigma^2} \right)^{\frac{N}{2}} e^{\sum_{k=1}^N -\frac{1}{2\sigma^2} (Y_k - H)^2}$$

$$\ln P(\bar{Y}; H) = \frac{-N}{2} \ln 2\pi\sigma^2 - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{k=1}^N (Y(k) - H)^2$$

Lấy đạo hàm theo biến H và cho bằng 0:

$$\frac{\partial}{\partial H} \sum_{k=1}^N (Y(k) - H)^2 = 0 \rightarrow \sum_{k=1}^N 2(Y(k) - H) = 0 \rightarrow \sum_{k=1}^N Y(k) = NH$$

Ta tìm được giá trị của H mà tại đó hàm hợp lý đạt cực đại gọi là \hat{H} :

$$\hat{H} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N Y(k)$$

Channel Estimation (Ước lượng kênh truyền)

③ Mô hình ước lượng tham số SISO

- Mô hình SISO
- Hàm xác suất và ước lượng hợp lý cực đại
- **Các đặc tính của ước lượng hợp lý cực đại**
- Tối ưu hóa độ tin cậy và số mẫu thử cần thiết
- Ước lượng tham số phức
- Các đặc tính của tham số phức

Các đặc tính của ước lượng hợp lý cực đại - Properties of Maximum Likelihood Estimate

Thực tế, giá trị \hat{H} không phải là giá trị H chính xác mà chỉ là một ước lượng và vẫn bị ảnh hưởng bởi nhiều.

$$\hat{H} = \frac{\sum_{k=1}^N Y(k)}{N} \text{ với } Y(k) = H + V(k)$$

$$\hat{H} = H + \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N V(k) \rightarrow \hat{H} \neq H$$

- \hat{H} phụ thuộc vào giá trị trung bình của $Y(k)$
 - $Y(k)$ là biến ngẫu nhiên phân phối chuẩn $Y \sim \mathcal{N}(H, \sigma^2)$
- \hat{H} là giá trị ngẫu nhiên tuân theo phân phối chuẩn

Trung bình của \hat{H} :

$$E\{\hat{H}\} = E\left\{H + \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N V(k)\right\} \rightarrow E\{\hat{H}\} = E\{H\} + E\left\{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N V(k)\right\} = 0 + H$$

$$\rightarrow E\{\hat{H}\} = H$$

Phương sai của \hat{H} :

Ta có: $\hat{H} = H + \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N V(k)$ nên $\hat{H} - H = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N V(k)$

$$\begin{aligned} E\{(\hat{H} - E\{\hat{H}\})^2\} &= E\{(\hat{H} - H)^2\} = E\left\{\left(\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N V(k)\right)^2\right\} \\ &= \frac{1}{N^2} E\left\{\left(\sum_{k=1}^N V(k)\right) \left(\sum_{l=1}^N V(l)\right)\right\} = \frac{1}{N^2} \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N E\{V(l)V(k)\} \end{aligned}$$

Ứng dụng lý thuyết xác suất về các biến ngẫu nhiên không tương quan (uncorrelated) ta có kết quả sau:

$$\begin{aligned} E\{(\hat{H} - E\{\hat{H}\})^2\} &= \frac{1}{N^2} \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N \sigma^2 \delta(k-l) \\ &= \frac{1}{N^2} \sum_{k=1}^N \sigma^2 \delta(k-l) = \frac{N\sigma^2}{N^2} = \frac{\sigma^2}{N} \end{aligned}$$

$$\rightarrow E\{(\hat{H} - E\{\hat{H}\})^2\} = \frac{\sigma^2}{N}$$

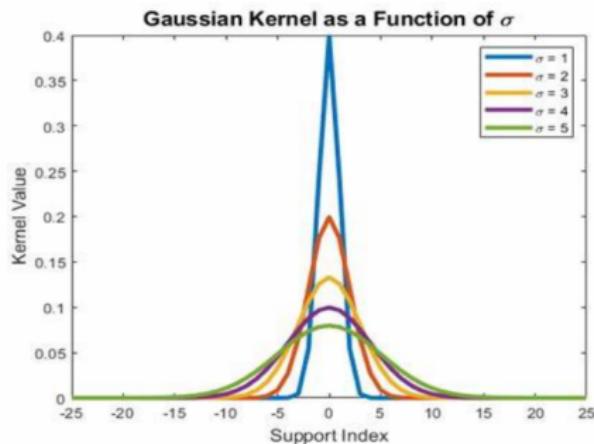
$\rightarrow \hat{H}$ là giá trị ngẫu nhiên tuân theo phân phối chuẩn:

$$\hat{H} \sim \mathcal{N}(H, \frac{\sigma^2}{N})$$

Trong đó:

- H là giá trị chính xác của kênh truyền.
- σ^2 là phương sai của nhiễu.
- N là số mẫu thử nghiệm.

Các đặc tính của ước lượng hợp lý cực đại - Properties of Maximum Likelihood Estimate



Hình: mô hình phân phối xác suất theo σ

Số mẫu thử nghiệm N sẽ ảnh hưởng đến kết quả của ước lượng theo mô hình nghịch biến, số mẫu càng ít ước lượng càng không đáng tin do phương sai tăng lên, ngược lại ước lượng sẽ càng tiến về giá trị trung bình khi N càng lớn và ước lượng \hat{H} sẽ đúng bằng giá trị H cần tìm khi $N = \infty$

Channel Estimation (Ước lượng kênh truyền)

③ Mô hình ước lượng tham số SISO

- Mô hình SISO
- Hàm xác suất và ước lượng hợp lý cực đại
- Các đặc tính của ước lượng hợp lý cực đại
- **Tối ưu hóa độ tin cậy và số mẫu thử cần thiết**
- Ước lượng tham số phức
- Các đặc tính của tham số phức

Tối ưu hóa độ tin cậy và số mẫu thử cần thiết - Reliability of the Estimation & Number of Samples Required

Ta có:

- $\hat{H} \sim \mathcal{N}(H, \frac{\sigma^2}{N})$.
- Độ tin cậy của ước lượng sẽ càng tăng khi các mẫu thử $N \rightarrow \infty$.

Trong thực tế việc thử với vô cùng mẫu là không khả thi và gây tốn kém, vì vậy ta cần tìm giá trị N phù hợp để đáp ứng được độ tin cậy để ước lượng phải đủ để có thể sử dụng và số mẫu phải tối thiểu để giảm được thời gian và chi phí thử nghiệm.

→ Tìm N để xác suất mà ước lượng \hat{H} nằm trong khoảng $\frac{\sigma}{2}$ của giá trị chính xác H là $\geq 99.99\%$. Tức là độ tin cậy của ước lượng là 99.99%

$$P(\|\hat{h} - h\| \leq \frac{\sigma}{2}) \geq 0.9999$$

Tối ưu hóa độ tin cậy và số mẫu thử cần thiết

$$P(\|\hat{h} - h\| \leq \frac{\sigma}{2}) \geq 0.9999$$

$$P(\|\hat{h} - h\| \geq \frac{\sigma}{2}) \leq 1 - 0.9999 = 0.00001$$

Gọi W là sai số ước lượng: $W = \hat{H} - H$

$$\rightarrow P(\|W\| \geq \frac{\sigma}{2}) \leq 0.00001$$

$$\rightarrow P(W \geq \frac{\sigma}{2}) + P(W \leq -\frac{\sigma}{2}) \leq 0.00001$$

$$W = \hat{H} - H$$

$$\text{mà } \hat{H} \sim \mathcal{N}(H, \frac{\sigma^2}{N}) \rightarrow W \sim \mathcal{N}(0, \frac{\sigma^2}{N})$$

$$\text{Vì vậy: } F_W(W) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \frac{\sigma^2}{N}}} e^{-\frac{-NW^2}{2\sigma^2}}$$

$$\rightarrow \int_{\frac{\sigma^2}{2}}^{+\infty} F_w(w) dw + \int_{-\infty}^{-\frac{\sigma^2}{2}} F_w(w) dw \leq 0.00001$$

$$\text{do } F_w(w) = F_w(-w) \rightarrow 2 \int_{\frac{\sigma^2}{2}}^{+\infty} F_w(w) dW \leq 0.00001$$

$$\leftrightarrow \int_{\frac{\sigma^2}{2}}^{+\infty} F_w(w) dW \leq 0.00005$$

$$\leftrightarrow \int_{\frac{\sigma^2}{2}}^{+\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi \frac{\sigma^2}{N}}} e^{-\frac{-NW^2}{2\sigma^2}} \leq 0.00005$$

$$\text{Đặt: } \frac{W^2}{\frac{\sigma^2}{N}} = t^2 = \frac{NW^2}{\sigma^2}$$

$$\rightarrow W = \frac{\sigma t}{\sqrt{N}} \text{ Suy ra } dW = \frac{\sigma dt}{\sqrt{N}}$$

$$\rightarrow \int_{\frac{\sigma^2}{2}}^{+\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi \frac{\sigma^2}{N}}} e^{-\frac{-NW^2}{2\sigma^2}} \leq 0.00005$$

$$\leftrightarrow \int_{\frac{\sqrt{N}}{2}}^{+\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi \frac{\sigma^2}{N}}} e^{-\frac{t^2}{2}} \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \leq 0.00005$$

$$\rightarrow \int_{\frac{\sqrt{N}}{2}}^{+\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \leq 0.00005$$

Tối ưu hóa độ tin cậy và số mẫu thử cần thiết

Hàm mật độ xác suất này có dạng $\mathcal{N}(0, 1)$, do đó tích phân này có thể xem như một tích phân để tìm xác suất của một biến ngẫu nhiên có phân phối chuẩn.

$$Q(x) = \int_{\frac{\sqrt{N}}{2}}^{+\infty} \frac{1}{x} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = Pr(T \geq x) \rightarrow Q\left(\frac{\sqrt{N}}{2}\right) \leq 0.00005$$

$$\rightarrow \frac{\sqrt{N}}{2} \geq Q^{-1}(0.0005) = 60.54$$

$$\rightarrow N = 61$$

→ Tìm N để giá trị ước lượng \hat{H} nằm trong khoảng $(+\frac{\sigma}{2}; -\frac{\sigma}{2})$. Xấp xỉ hàm $Q(x)$ khi $X \sim \mathcal{N}(0, 1)$. Sau đó sẽ đổi biến $x = \frac{\sqrt{N}}{2}$ để phù hợp với mô hình tìm N ta được:

$$Q(x) \approx \frac{1}{2} e^{-\frac{1}{2}x^2} \rightarrow Q\left(\frac{\sqrt{N}}{2}\right) \approx \frac{1}{2} e^{-\frac{1}{2}\frac{N}{4}} \leq 0.00005 \rightarrow N \geq -8 \ln(0.0001) = 73.68$$

$$\rightarrow N = 74$$

Channel Estimation (Ước lượng kênh truyền)

③ Mô hình ước lượng tham số SISO

- Mô hình SISO
- Hàm xác suất và ước lượng hợp lý cực đại
- Các đặc tính của ước lượng hợp lý cực đại
- Tối ưu hóa độ tin cậy và số mẫu thử cần thiết
- **Ước lượng tham số phức**
- Các đặc tính của tham số phức

Ước lượng tham số phức

Dựa vào mô hình ước lượng tham số thực, mở rộng ước lượng cho tham số phức.

Tham số phức có dạng: $h(\text{complex}) = h_R(\text{real part}) + jh_I(\text{imaginary part})$

Ta có mô hình tham số thực: $y(k) = h + v(k)$

$$y_R(k) + jy_I(k) = (h_R + jh_I) + (V_R(k) + jV_I(k))$$

(complex observation) (complex parameter) (complex noise)

Phần thực:

$$y_R(1) = h_R + v_R(1)$$

$$y_R(2) = h_R + v_R(2)$$

...

$$y_R(N) = h_R + v_R(N)$$

→ ước lượng phần thực:

$$\hat{h}_R = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N y_R(k)$$

→ Ước lượng tham số phức: $\hat{h} = \hat{h}_R + j\hat{h}_I$

Phần ảo:

$$y_I(1) = h_I + v_I(1)$$

$$y_I(2) = h_I + v_I(2)$$

...

$$y_I(N) = h_I + v_I(N)$$

→ ước lượng phần ảo:

$$\hat{h}_I = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N y_I(k)$$

Channel Estimation (Ước lượng kênh truyền)

③ Mô hình ước lượng tham số SISO

- Mô hình SISO
- Hàm xác suất và ước lượng hợp lý cực đại
- Các đặc tính của ước lượng hợp lý cực đại
- Tối ưu hóa độ tin cậy và số mẫu thử cần thiết
- Ước lượng tham số phức
- Các đặc tính của tham số phức

Các đặc tính của tham số phức

Ta có: $V(k) = V_R(k) + jV_I(k)$

Giả sử rằng: $V_R(k) \sim \mathcal{N}(0, \frac{\sigma^2}{2})$, $V_I(k) \sim \mathcal{N}(0, \frac{\sigma^2}{2})$.

Ngoài ra, $V_R(k)$ và $jV_I(k)$ là biến ngẫu nhiên và không tương quan với nhau.

$$\rightarrow E\{V_R(k)V_I(K)\} = E\{V_R(k)\}E\{V_I(K)\} = 0$$

$$E\{V(k)\} = E\{V_R(k)\} + jE\{V_I(K)\} = 0 + j0 = 0$$

$$E\{\|V(k)\|^2\} = E\{\|V_R(k)\|^2\} + E\{\|V_I(K)\|^2\} = \frac{\sigma^2}{2} + \frac{\sigma^2}{2} = \sigma^2$$

Điều này có nghĩa là: **Phần thực của nhiễu chiếm một nửa công suất, phần ảo của nhiễu chiếm một nửa công suất.**

Các đặc tính của tham số phức

Với phần thực: $\hat{h}_R = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N y_R(k)$ với $y_R(k) = h_R + v_R(k)$

Tương tự như phần 2.3:

$$\rightarrow \hat{h}_R = h_R + \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N v_R(k) \text{ và } \begin{cases} E\{\hat{h}_R\} = h_R \\ E\{\|\hat{h}_R - h_R\|^2\} = \frac{1}{N} \frac{\sigma^2}{2} = \frac{\sigma^2}{2N} \end{cases}$$

$\rightarrow \hat{h}_R$ là giá trị ngẫu nhiên tuân theo phân phối chuẩn:

$$\hat{h}_R \sim \mathcal{N}(h_R, \frac{\sigma^2}{N})$$

Với phần ảo: $\hat{h}_I = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N y_I(k)$ với $y_I(k) = h_I + v_I(k)$

Chứng minh tương tự như phần thực:

$$\hat{h}_I \sim \mathcal{N}(h_I, \frac{\sigma^2}{N})$$

Sai số của ước lượng: $W = W_R + jW_I$ với $\begin{cases} W_R = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N v_R(k) \\ W_I = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N v_I(k) \end{cases}$

Channel Estimation (Ước lượng kênh truyền)

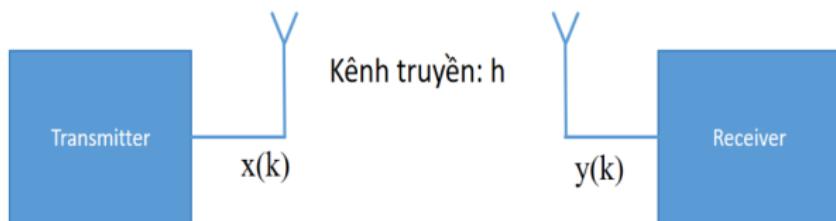
- 1 Giới thiệu
- 2 Một vài kỹ thuật ước lượng kênh truyền
- 3 Mô hình ước lượng tham số SISO
- 4 **Ước lượng kênh truyền ngõ vào đơn - ngõ ra đơn**
- 5 Mô phỏng kênh truyền SISO trong MATLAB
- 6 Mô hình kênh truyền đa ngõ vào - một ngõ ra (Multiple Input Single Output)
- 7 Mô hình kênh truyền đa ngõ vào - đa ngõ ra (MIMO)
- 8 Mô phỏng kênh truyền MIMO trong MATLAB

Channel Estimation (Ước lượng kênh truyền)

- ④ Ước lượng kênh truyền ngõ vào đơn - ngõ ra đơn
- Mô hình kênh truyền tuyến tính bất biến
 - Dựa lý thuyết xác suất vào mô hình kênh truyền

Mô hình kênh truyền tuyến tính bất biến

- Giả sử kênh truyền là tuyến tính bất biến (LTI). Giá trị kênh truyền trên thực tế là không thể biết chính xác nhưng có thể ước lượng được, vì vậy cần phải ước lượng kênh truyền giữa các đơn vị truyền nhận tín hiệu để đưa ra các giải pháp tối ưu khi thiết kế hệ thống viễn thông.
- Mô hình kênh truyền SISO gồm một bên phát và một bên nhận. Bên phát gửi tín hiệu qua kênh truyền và bên nhận thu được tín hiệu bao gồm tín hiệu phát, độ suy hao của kênh truyền và nhiễu.

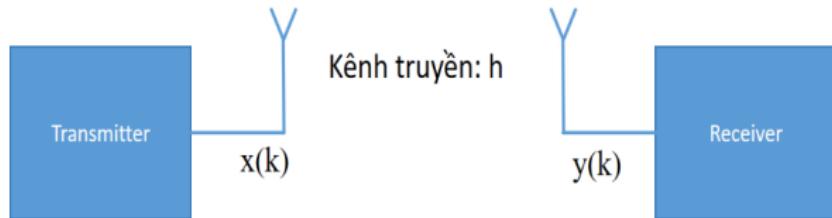


h là giá trị không biết nhưng có thể ước lượng

$$y(k) = h \cdot x(k) + v(k)$$

Quan sát kênh truyền tín hiệu phát nhiễu

Mô hình kênh truyền tuyến tính bất biến



Tín hiệu hoa tiêu: $x(1), x(2), x(3), \dots, x(N)$

Tín hiệu thu: $y(1), y(2), y(3), \dots, y(N)$

Mô hình truyền nhận tín hiệu:

$$y(1) = h.x(1) + v(1)$$

$$y(2) = h.x(2) + v(2)$$

$$y(3) = h.x(3) + v(3)$$

...

$$y(N) = h.x(N) + v(N)$$

$$\rightarrow \bar{Y} = h.\bar{X} + \bar{V}$$

Channel Estimation (Ước lượng kênh truyền)

- ④ Ước lượng kênh truyền ngõ vào đơn - ngõ ra đơn
- Mô hình kênh truyền tuyến tính bất biến
 - Đưa lý thuyết xác suất vào mô hình kênh truyền

Dựa lý thuyết xác suất vào mô hình kênh truyền

Dựa vào phần lý thuyết xác suất, chứng minh tương tự:

$$V(k) \sim \mathcal{N}(0, \sigma^2) \rightarrow Y(k) \sim \mathcal{N}(h.x(k), \sigma^2)$$

- Ước lượng kênh truyền h sang miền phức viết ở dạng vector: $\hat{h} = \frac{\overline{X}^H \overline{Y}}{\|\overline{X}^2\|}$
- Đặc tính của vectơ nhiễu: $R_v = \sigma^2 I$
- Giá trị ước lượng của h : $\hat{h} \sim \mathcal{N}(h, \frac{\sigma^2}{\|\overline{X}^2\|})$
- Lượng tín hiệu hoa tiêu tối thiểu: $N \geq 74$
- Ước lượng tham số phức và đặc tính của ước lượng tham số phức:

$$\hat{h} = \hat{h}_r + j\hat{h}_i$$

Và

$$\begin{cases} \hat{h}_r \sim \mathcal{N}(h_r, \frac{\sigma^2}{2\|\overline{X}^2\|}) \\ \hat{h}_i \sim \mathcal{N}(h_i, \frac{\sigma^2}{2\|\overline{X}^2\|}) \end{cases}$$

Channel Estimation (Ước lượng kênh truyền)

- 1 Giới thiệu
- 2 Một vài kỹ thuật ước lượng kênh truyền
- 3 Mô hình ước lượng tham số SISO
- 4 Ước lượng kênh truyền ngõ vào đơn - ngõ ra đơn
- 5 Mô phỏng kênh truyền SISO trong MATLAB
- 6 Mô hình kênh truyền đa ngõ vào - một ngõ ra (Multiple Input Single Output)
- 7 Mô hình kênh truyền đa ngõ vào - đa ngõ ra (MIMO)
- 8 Mô phỏng kênh truyền MIMO trong MATLAB

Channel Estimation (Ước lượng kênh truyền)

5 Mô phỏng kênh truyền SISO trong MATLAB

- Tạo tín hiệu hoa tiêu
- Đọc tín hiệu quan sát
- Ước lượng kênh truyền

Tạo tín hiệu hoa tiêu

- Tạo 74 tín hiệu hoa tiêu là số ngẫu nhiên gồm phần thực và phần ảo trong khoảng [100;110]:

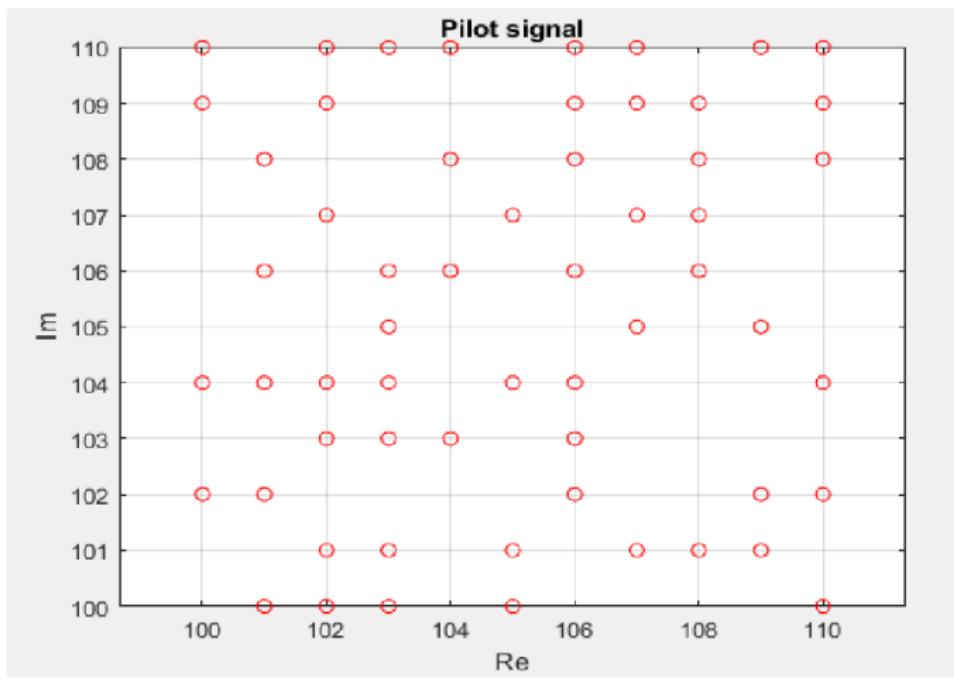
```
n = 74;
```

```
% Tao tin hieu hoa tieu ngau nhien
pilot_signal_re = randi([100, 110], n, 1); % Phan thuc la so nguyen trong [-100, 110]
pilot_signal_im = randi([100, 110], n, 1); % Phan ao la so nguyen trong [100, 110]

pilot_signal = pilot_signal_re + li * pilot_signal_im;
```

Tạo tín hiệu hoa tiêu

Phân bố của tín hiệu hoa tiêu trên mặt phẳng phức:



Channel Estimation (Ước lượng kênh truyền)

5 Mô phỏng kênh truyền SISO trong MATLAB

- Tạo tín hiệu hoa tiêu
- Đọc tín hiệu quan sát
- Ước lượng kênh truyền

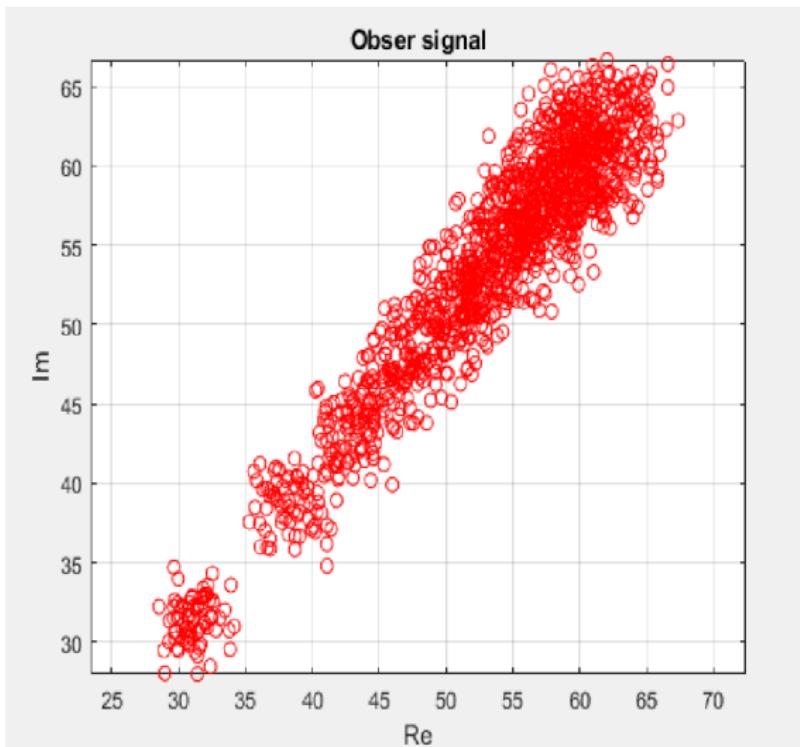
Đọc tín hiệu quan sát

- Tương tự đối với tín hiệu quan sát:
-

```
y_r = readtable('C:\CE project\y_r.xlsx'); %Doc phan thuc cua tin hieu quan sat  
y_i = readtable('C:\CE project\y_i.xlsx'); %Doc phan ao cua du lieu quan sat  
y_r = table2array(y_r);  
y_i = table2array(y_i);  
y = y_r + li*y_i;
```

Đọc tín hiệu quan sát

Phân bố của tín hiệu quan sát trên mặt phẳng phức:



Channel Estimation (Ước lượng kênh truyền)

5 Mô phỏng kênh truyền SISO trong MATLAB

- Tạo tín hiệu hoa tiêu
- Đọc tín hiệu quan sát
- **Ước lượng kênh truyền**

Ước lượng kênh truyền

- Do tín hiệu trong mô phỏng này là tín hiệu phức nên ta dùng công thức:

$$\hat{h} = \frac{\bar{X}^H \bar{Y}}{\|\bar{X}\|^2} \text{ với } \begin{cases} x = (\text{pilot_singal})^H \\ \text{tu_so} = \bar{X}^H \cdot \bar{Y} \\ \text{mau_so} = \|\bar{X}\|^2 \end{cases}$$

```

x = pilot_signal';

mau_so = sum(abs(x));

tu_so = zeros(1,11);

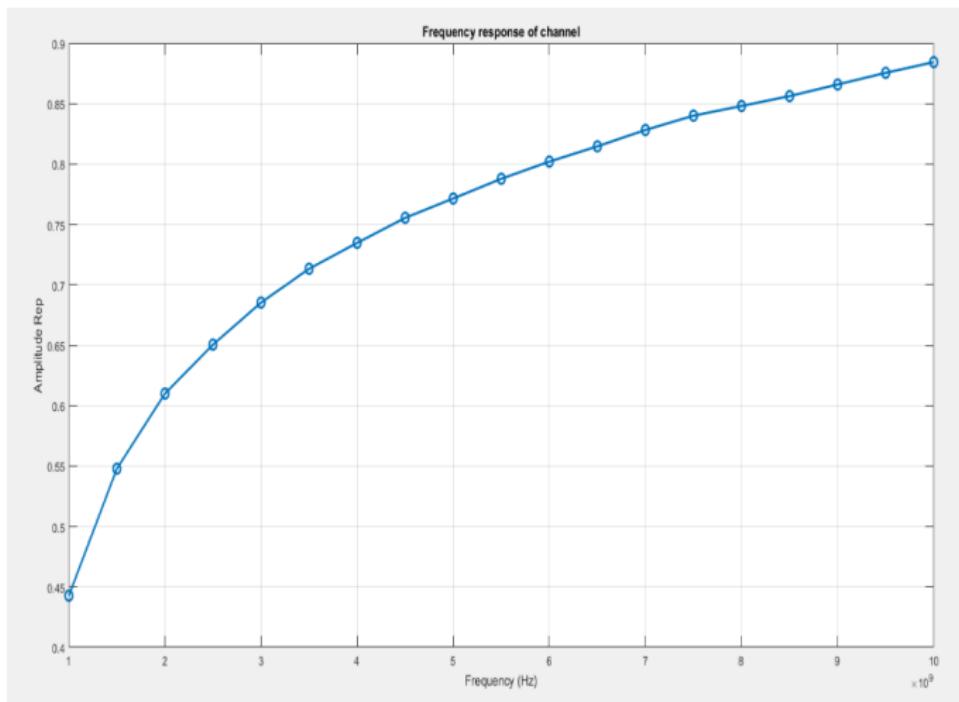
for j=1:1:19
    tu_so(j) = x * y(:, j); % Tính tích vô h?ng (h?ng) h[i]
end

h = tu_so/mau_so;

```

Ước lượng kênh truyền

Đáp ứng tần số của kênh truyền:



Ước lượng kênh truyền

Nhận xét: đáp ứng tần số của kênh truyền giả sử này là một đường cong "mượt" do các tín hiệu hoa tiêu được giả sử khá lớn nên kênh truyền ít bị ảnh hưởng bởi nhiễu. Để thấy được sự ảnh hưởng của nhiễu lên kênh truyền khi tín hiệu hoa tiêu có công suất nhỏ, ta cũng làm tương tự với các bước mô phỏng bên trên nhưng sẽ giảm độ lớn hay công suất của tín hiệu hoa tiêu.

- Tạo tín hiệu hoa tiêu công suất nhỏ:
-

```
n = 74;
```

```
% Tao tin hieu hoa tieu ngau nhien
pilot_signal_re_n = randn(n, 1); % Phan thuc la so ngau nhien phan phoi chuan trong doan [0:1]
pilot_signal_im_n = randn(n, 1); % Phan ao la so ngau nhien phan phoi chuan trong doan [0:1]

pilot_signal_n = pilot_signal_re_n + li * pilot_signal_im_n;
```

Ước lượng kênh truyền

- Đọc tín hiệu quan sát bị ảnh hưởng bởi nhiễu:

```

y_r_n = readtable('C:\CE project\y_r_n.xlsx'); %Doc phan thuc cua tin hieu quan sat
y_i_n = readtable('C:\CE project\y_i_n.xlsx'); %Doc phan ao cua du lieu quan sat
y_r_n = table2array(y_r_n);
y_i_n = table2array(y_i_n);
y_n = y_r_n + li*y_i_n;

x_n = pilot_signal_n';

mau_so_n = sum(abs(x_n));

tu_so_n = zeros(1,11);

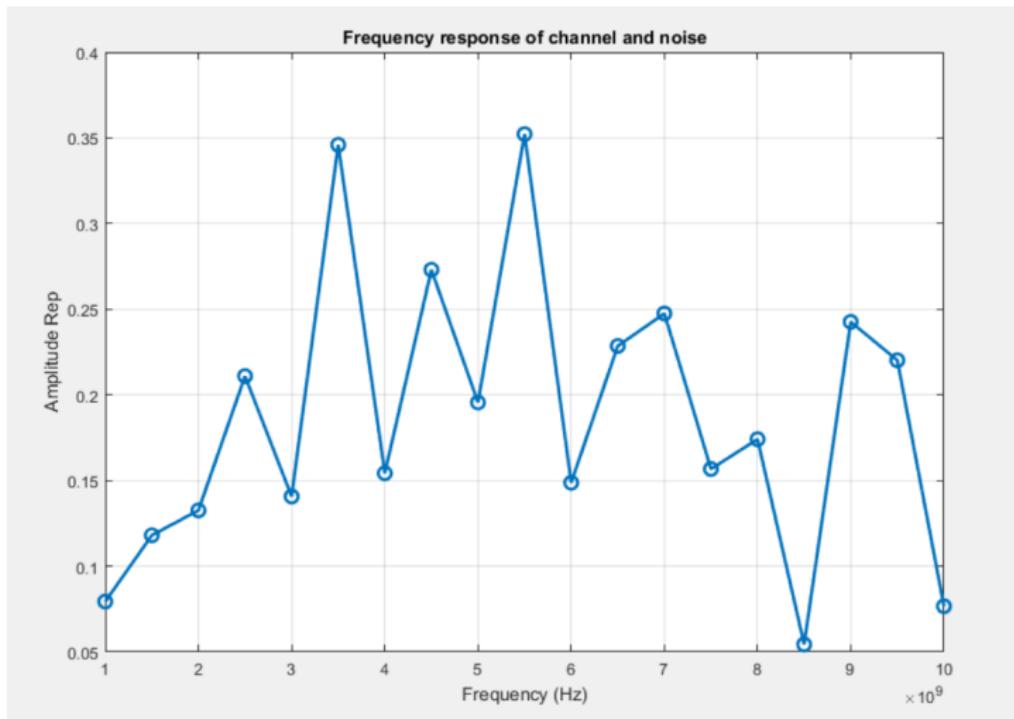
for j=1:1:19
    tu_so_n(j) = x_n * y_n(:, j); % Tich vo huong
end

h_n = tu_so_n/mau_so_n;

```

Ước lượng kênh truyền

Ước lượng kênh truyền bị ảnh hưởng nhiễu:

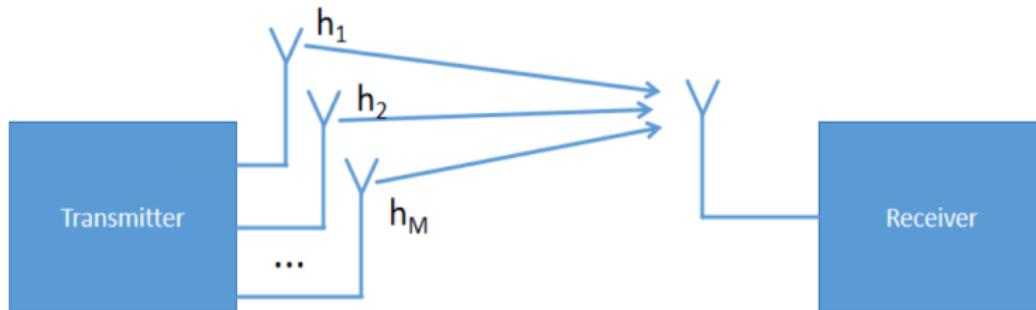


Channel Estimation (Ước lượng kênh truyền)

- 1 Giới thiệu
- 2 Một vài kỹ thuật ước lượng kênh truyền
- 3 Mô hình ước lượng tham số SISO
- 4 Ước lượng kênh truyền ngõ vào đơn - ngõ ra đơn
- 5 Mô phỏng kênh truyền SISO trong MATLAB
- 6 **Mô hình kênh truyền đa ngõ vào - một ngõ ra (Multiple Input Single Output)**
- 7 Mô hình kênh truyền đa ngõ vào - đa ngõ ra (MIMO)
- 8 Mô phỏng kênh truyền MIMO trong MATLAB

Mô hình kênh truyền đa ngõ vào - một ngõ ra

- Mô hình đa ngõ vào, một ngõ ra: bên nhận sẽ nhận nhiều tín hiệu từ nhiều nguồn khác nhau. Mỗi một nguồn phát tín hiệu khi đi đến bên nhận sẽ có một kênh truyền khác nhau từ h_1, h_2, \dots, h_m .
- Ví dụ trong thực tế: để thu sóng từ đài truyền hình, đài phát thanh, chúng ta chỉ cần một thiết bị thu sóng trong tivi, radio,... Để có thể chọn kênh từ nhiều kênh truyền, ta cần điều chỉnh bộ thu phù hợp. Mỗi đài truyền hình phát sóng với một khoảng băng thông khác nhau nên kênh truyền ảnh hưởng lên các sóng đó cũng là khác nhau. Vì vậy, chúng ta phải xây dựng mô hình ước lượng đồng thời các kênh truyền.



Với M bên truyền:

- tín hiệu hoa tiêu của bên truyền i tại thời điểm k : $x_i(k)$
- giá trị quan sát $y(k)$ tại thời điểm k :

$$y(k) = h_1 \cdot x_1(k) + h_2 \cdot x_2(k) + \dots + h_M \cdot x_M(k) + v(k)$$

$$y(k) = (x_1(k) \quad x_2(k) \quad \dots \quad x_M(k)) \begin{pmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_M \end{pmatrix} + v(k)$$

- mô hình theo ma trận truyền nhận:

$$\begin{pmatrix} y(1) \\ y(2) \\ y(3) \\ \vdots \\ y(N) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1(1) & x_1(2) & x_1(3) & \dots & x_1(N) \\ x_2(1) & x_2(2) & x_2(3) & \dots & x_2(N) \\ x_3(1) & x_3(2) & x_3(3) & \dots & x_3(N) \\ \vdots & & & & \\ x_M(1) & x_M(2) & x_M(3) & \dots & x_1(N) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ \vdots \\ h_M \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} v(1) \\ v(2) \\ v(3) \\ \vdots \\ v(N) \end{pmatrix}$$

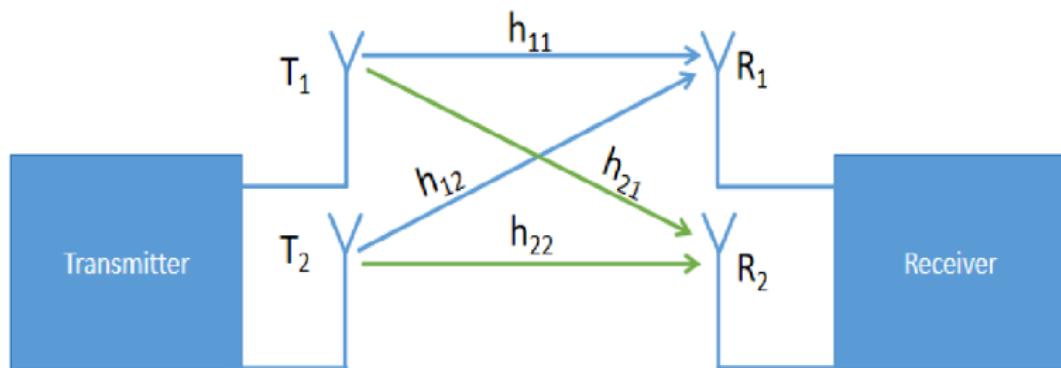
$$\bar{Y} = X\bar{h} + \bar{V}$$

Channel Estimation (Ước lượng kênh truyền)

- 1 Giới thiệu
- 2 Một vài kỹ thuật ước lượng kênh truyền
- 3 Mô hình ước lượng tham số SISO
- 4 Ước lượng kênh truyền ngõ vào đơn - ngõ ra đơn
- 5 Mô phỏng kênh truyền SISO trong MATLAB
- 6 Mô hình kênh truyền đa ngõ vào - một ngõ ra (Multiple Input Single Output)
- 7 Mô hình kênh truyền đa ngõ vào - đa ngõ ra (MIMO)
- 8 Mô phỏng kênh truyền MIMO trong MATLAB

Mô hình kênh truyền đa ngõ vào - đa ngõ ra

- Mô hình đa ngõ vào, đa ngõ ra là một hệ thống phức tạp gồm rất nhiều bên phát và rất nhiều bên thu. Các kênh truyền ảnh hưởng chéo lên nhau rất nhiều tạo ra can nhiễu lớn.
- Xét bài toán hai ngõ vào, hai ngõ ra, kênh truyền có dạng h_{ij} với bên nhận thứ i và bên phát thứ j .



Mô hình kênh truyền đa ngõ vào - đa ngõ ra

Gọi x_j là tín hiệu từ bên phát thứ j , y_i là tín hiệu quan sát được từ bên nhận thứ i , k là thời điểm phát hoặc thu được. Khi đó giá trị quan sát sẽ có dạng:

$$y_i(k) = h_{i1}.x_1(k) + h_{i2}.x_2(k) + h_{i3}.x_3(k) + \dots + v_i(k)$$

Đơn giản hóa với mô hình hai ngõ vào, hai ngõ ra. Ta có giá trị quan sát như sau:

$$y_1(k) = h_{11}.x_1(k) + h_{12}.x_2(k) + v_1(k)$$

$$y_2(k) = h_{21}.x_1(k) + h_{22}.x_2(k) + v_2(k)$$

Viết lại dưới dạng ma trận:

$$\begin{pmatrix} y_1(k) \\ y_2(k) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} v_1(k) \\ v_2(k) \end{pmatrix}$$

$$\bar{y}(k) = H.\bar{x}(k) + \bar{V}(k)$$

Mô hình kênh truyền đa ngõ vào - đa ngõ ra

Giả sử bên phát sẽ phát N vector hoa tiêu $\bar{x}(1), \bar{x}(2), \dots, \bar{x}(N)$, ta có:

$$\bar{y}(1) = H.\bar{x}(1) + \bar{V}(1)$$

$$\bar{y}(2) = H.\bar{x}(2) + \bar{V}(2)$$

...

$$\bar{y}(N) = H.\bar{x}(N) + \bar{V}(N)$$

$$\rightarrow Y = H.X + V$$

Bằng phương pháp bình phương cực tiểu và các mô hình toán học liên quan, ta tìm được ước lượng \hat{H} có dạng:

$$\hat{H} = Y.X^T.(X.X^T)^{-1}$$

Channel Estimation (Ước lượng kênh truyền)

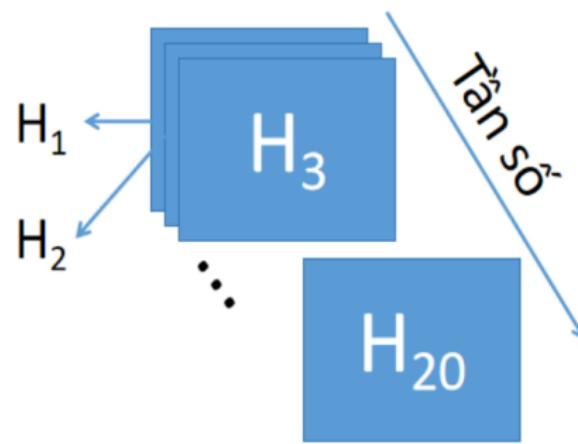
- 1 Giới thiệu
- 2 Một vài kỹ thuật ước lượng kênh truyền
- 3 Mô hình ước lượng tham số SISO
- 4 Ước lượng kênh truyền ngõ vào đơn - ngõ ra đơn
- 5 Mô phỏng kênh truyền SISO trong MATLAB
- 6 Mô hình kênh truyền đa ngõ vào - một ngõ ra (Multiple Input Single Output)
- 7 Mô hình kênh truyền đa ngõ vào - đa ngõ ra (MIMO)
- 8 Mô phỏng kênh truyền MIMO trong MATLAB

Channel Estimation (Ước lượng kênh truyền)

- 8 Mô phỏng kênh truyền MIMO trong MATLAB
- Tạo tín hiệu hoa tiêu và giả định tín hiệu quan sát
 - Ước lượng các kênh truyền

Tạo tín hiệu hoa tiêu và giả định tín hiệu quan sát

- Giả sử có hai nguồn phát và hai nguồn thu tín hiệu. Mỗi nguồn phát có 74 tín hiệu hoa tiêu có giá trị trong khoảng [95:100]. Tương tự, tạo ra dữ liệu quan sát.
- Tại mỗi thời điểm k , giả sử phát một tần số nhất định, bắt đầu từ 1Mhz kết thúc là 2Mhz với bước nhảy là 500Khz. Ta thu được giá trị ước lượng của H là một mảng 3 chiều.



Tạo tín hiệu hoa tiêu và giả định tín hiệu quan sát

- Tạo 74 tín hiệu hoa tiêu và 74 tín hiệu quan sát là số ngẫu nhiên gồm phần thực và phần ảo trong khoảng [95;100]:

```

1 -      n = 74;
2 -      h = zeros(2, 2, 20);
3 -      mimo_pilot = zeros(2,n);
4 -      mimo_obsr = zeros(2,n);
5 -      for k = 1:20
6 -          for i = 1:n
7 -              mimo_pilot(1, i) = randi([95, 100]);
8 -              mimo_pilot(2, i) = randi([95, 100]);
9 -          end
10 -
11
12 -          for i = 1:n
13 -              mimo_obsr(1, i) = 3 + 5*log(500*k);
14 -              mimo_obsr(2, i) = 5 + 5*log(500*k);
15 -          end
16
17 -          h(:, :, k) = mimo_obsr * mimo_pilot' * (mimo_pilot * mimo_pilot')^-1;
18 -      end

```

Channel Estimation (Ước lượng kênh truyền)

8 Mô phỏng kênh truyền MIMO trong MATLAB

- Tạo tín hiệu hoa tiêu và giả định tín hiệu quan sát
- Ước lượng các kênh truyền

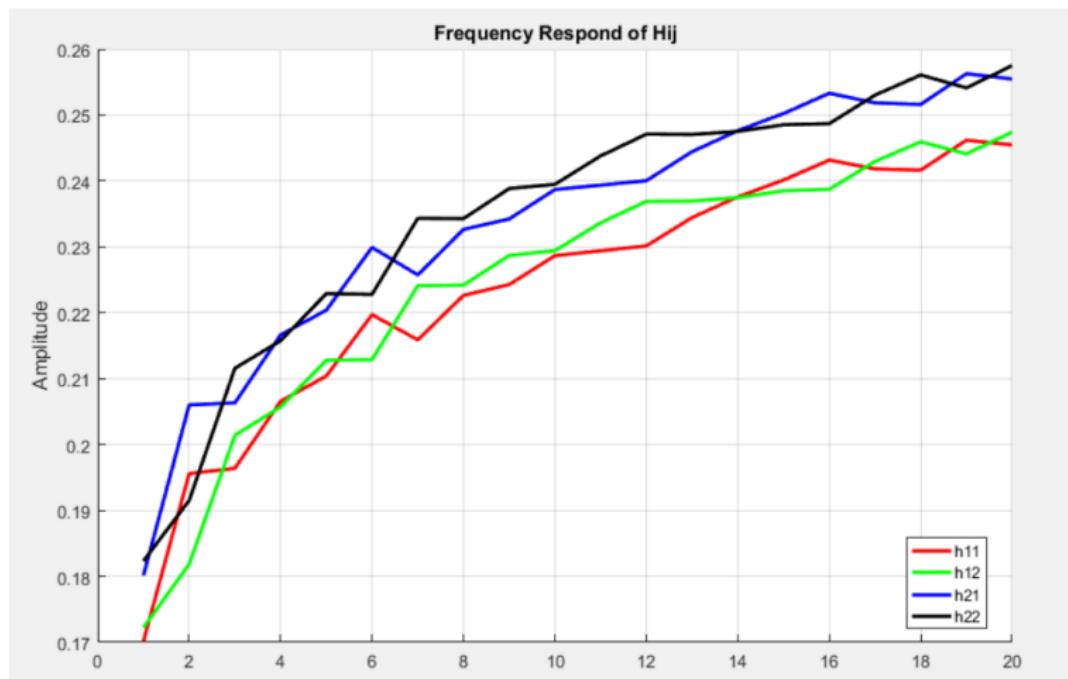
Ước lượng các kênh truyền

- Đồ thị của H sẽ được vẽ bằng cách nối các H_{ij} tương ứng với các k khác nhau. Kết quả thu được của ước lượng kênh truyền hai ngõ vào, hai ngõ ra là 4 kênh truyền $H_{11}, H_{12}, H_{21}, H_{22}$

```
20 -     figure;
21 -     hold on;
22 -     k_values = 1:20;
23 -     plot(k_values, squeeze(h(1, 1, :)), 'r-', 'LineWidth', 2);
24 -     plot(k_values, squeeze(h(1, 2, :)), 'g-', 'LineWidth', 2);
25 -     plot(k_values, squeeze(h(2, 1, :)), 'b-', 'LineWidth', 2);
26 -     plot(k_values, squeeze(h(2, 2, :)), 'k-', 'LineWidth', 2);
27 -     hold off;
28 -     xlabel('Hz');
29 -     ylabel('Amplitude');
30 -     title('Frequency Respond of Hij');
31 -     legend('h11', 'h12', 'h21', 'h22', 'Location', 'best');
32 -     grid on;
```

Ước lượng các kênh truyền

Đồ thị của ước lượng H :



Cảm ơn vì đã lắng nghe!

E-mail: nhu.buiiud@hcmut.edu.vn