

Môn học

NHẬP MÔN ĐIỀU KHIỂN THÔNG MINH

Giảng viên: PGS. TS. Huỳnh Thái Hoàng

Bộ môn Điều Khiển Tự Động

Khoa Điện – Điện Tử

Đại học Bách Khoa TP.HCM

Email: hthoang@hcmut.edu.vn

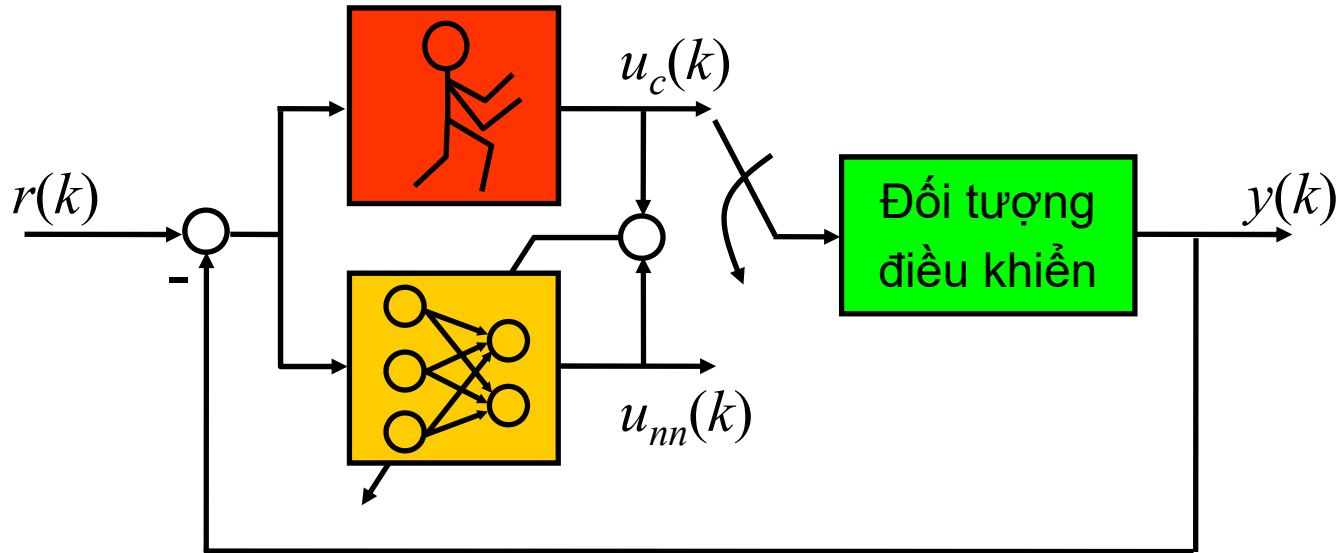
Chương 5

ỨNG DỤNG MẠNG THẦN KINH

- ❑ Học luật điều khiển
- ❑ Nhận dạng hệ thống phi tuyến
- ❑ Nhận dạng mẫu:
 - Nhận dạng tiếng nói, âm thanh,...
 - Nhận dạng hình ảnh: bảng số xe, mặt người, hướng nhìn, dấu vân tay,...

HỌC LUẬT ĐIỀU KHIỂN

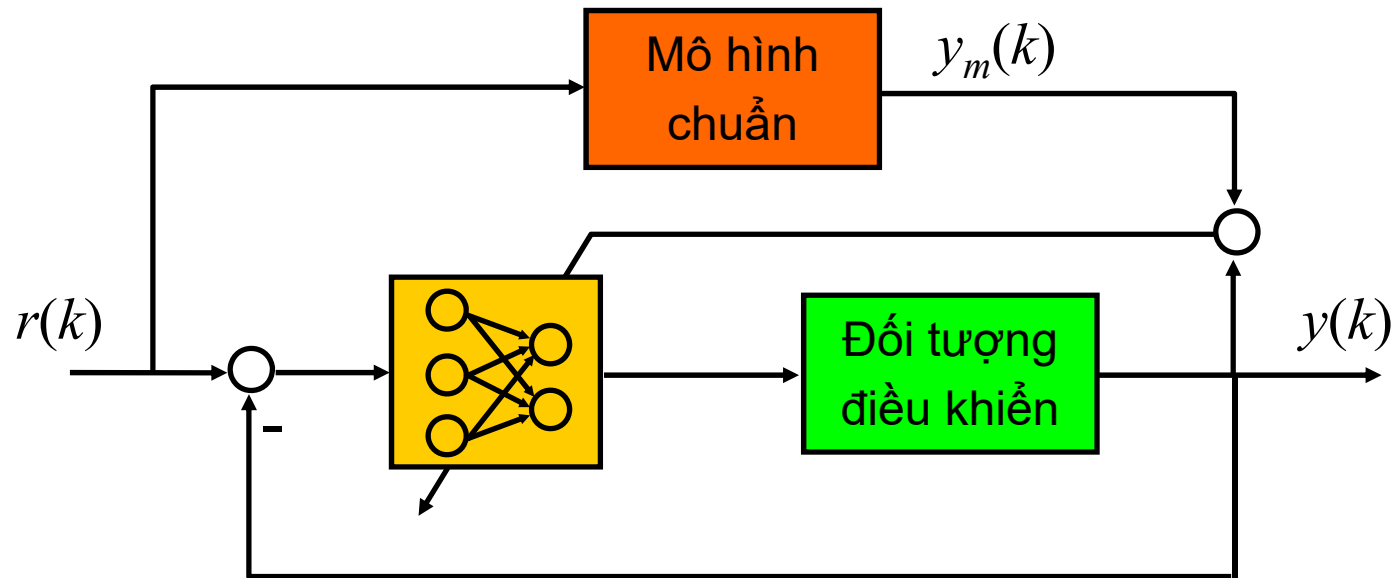
Điều khiển dùng mạng thần kinh



- ❑ Mạng thần kinh có thể được sử dụng để học kinh nghiệm chuyên gia trong việc điều khiển các đối tượng phức tạp hoặc sao chép một bộ điều khiển vật lý có sẵn.
- ❑ Tiêu chuẩn huấn luyện mạng:

$$J(\mathbf{w}) = \sum_{k=1}^N [u_c(k) - u_{nn}(k)]^2 \rightarrow \min$$

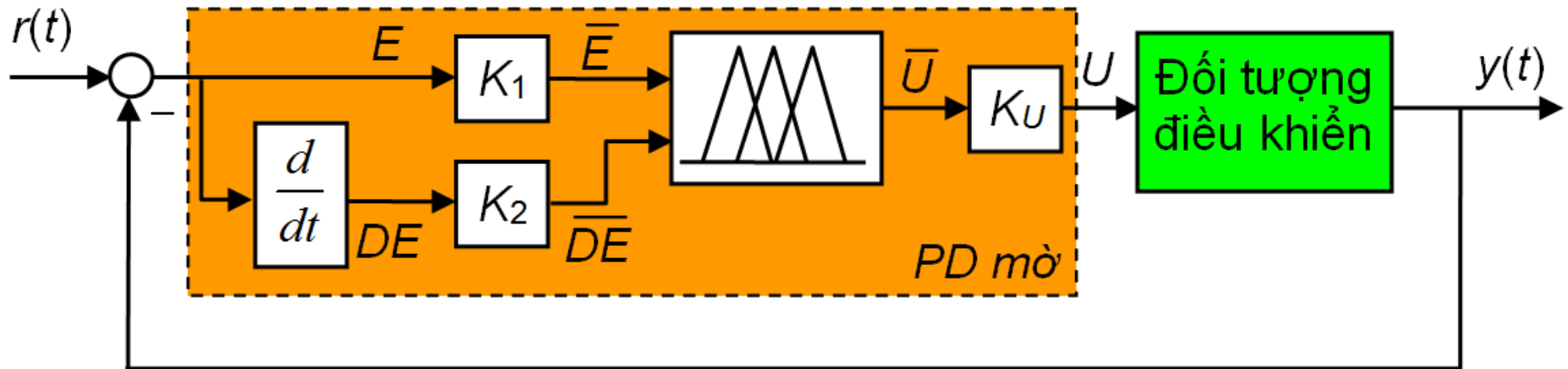
Điều khiển dùng mạng thần kinh



- ❑ Có thể huấn luyện mạng thần kinh sao cho đáp ứng của hệ thống bám theo đáp ứng của mô hình chuẩn.
- ❑ Tiêu chuẩn huấn luyện mạng:

$$J(\mathbf{w}) = \sum_{k=1}^N [y_m(k) - y(k)]^2 \rightarrow \min$$

Huấn luyện mạng NN học bộ điều khiển PD mờ



★ Quan hệ vào ra của bộ điều khiển PD mờ:

$$u(t) = \tilde{f}(e(t), \dot{e}(t))$$

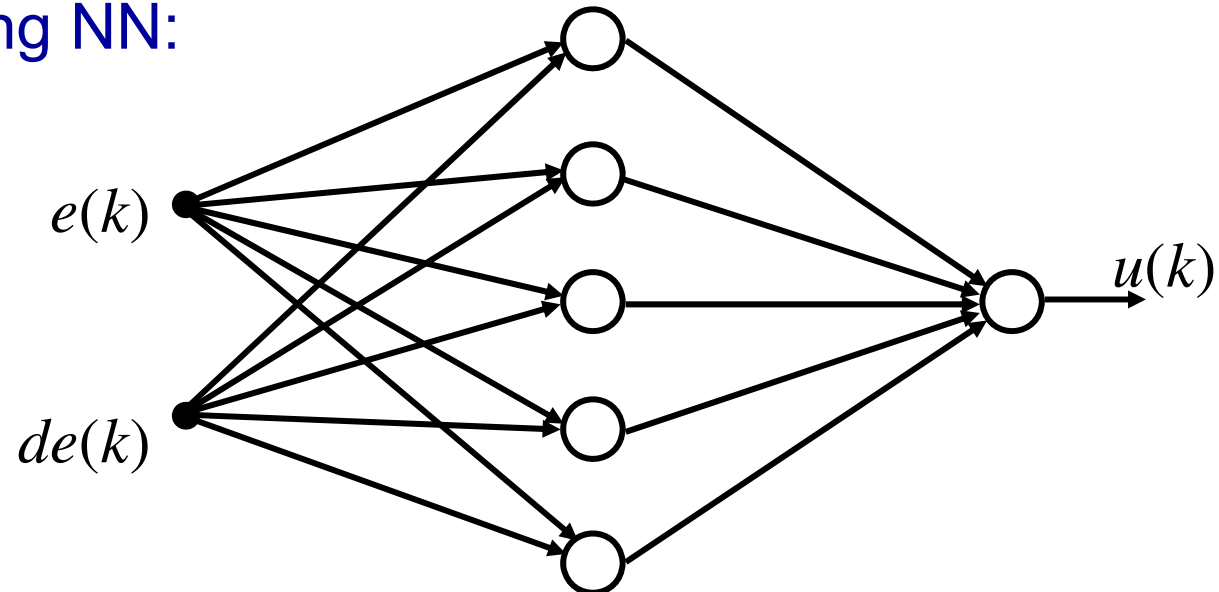
★ Mạng NN học bộ điều khiển PD mờ:

- Cách 1: $u(k) = f_{NN}(e(k), \dot{e}(k))$
- Cách 2: $u(k) = g_{NN}(e(k), e(k-1))$

Huấn luyện mạng NN học bộ điều khiển PD mờ

❖ **Cách 1:** $u(k) = f_{NN}(e(k), \dot{e}(k))$

➤ Cấu trúc mạng NN:



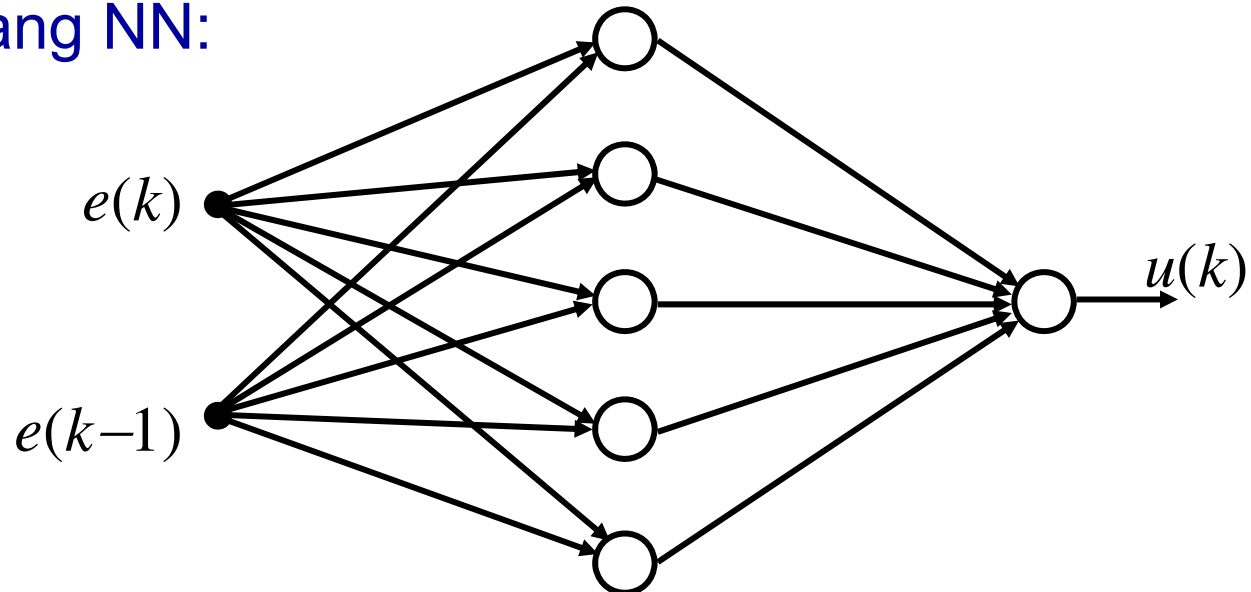
➤ Dữ liệu huấn luyện mạng:

$$X = \begin{bmatrix} e(1) & e(2) & \dots & e(K) \\ \dot{e}(1) & \dot{e}(2) & \dots & \dot{e}(K) \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} u(1) & u(2) & \dots & u(K) \end{bmatrix}$$

❖ **Cách 2:** $u(k) = g_{NN}(e(k), e(k-1))$

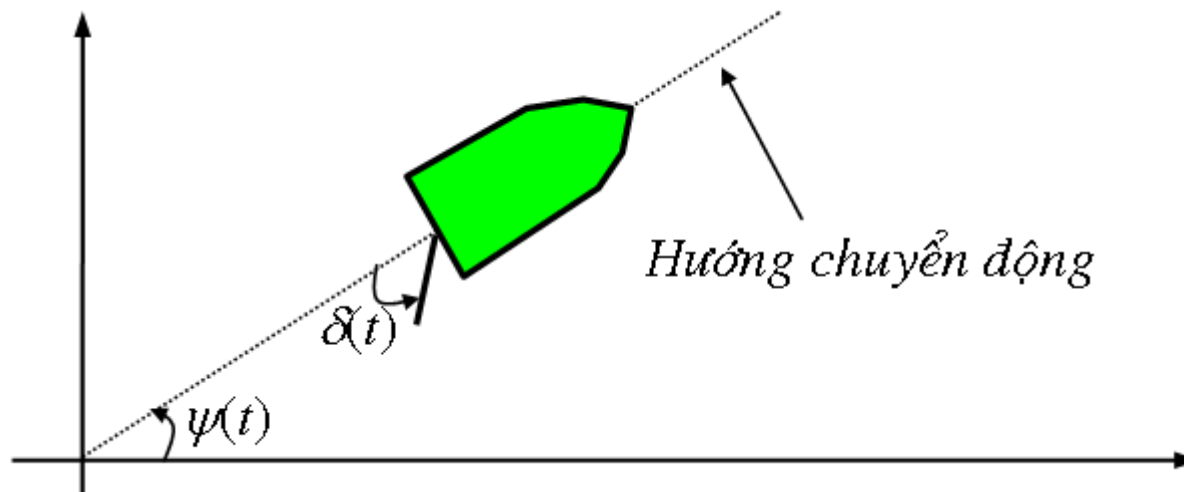
➤ Cấu trúc mạng NN:



➤ Dữ liệu huấn luyện mạng:

$$X = \begin{bmatrix} e(2) & e(3) & \dots & e(K) \\ e(1) & e(2) & \dots & e(K-1) \end{bmatrix}$$

$$D = [u(2) \quad u(3) \quad \dots \quad u(K)]$$



□ PTVP mô tả đối tượng:

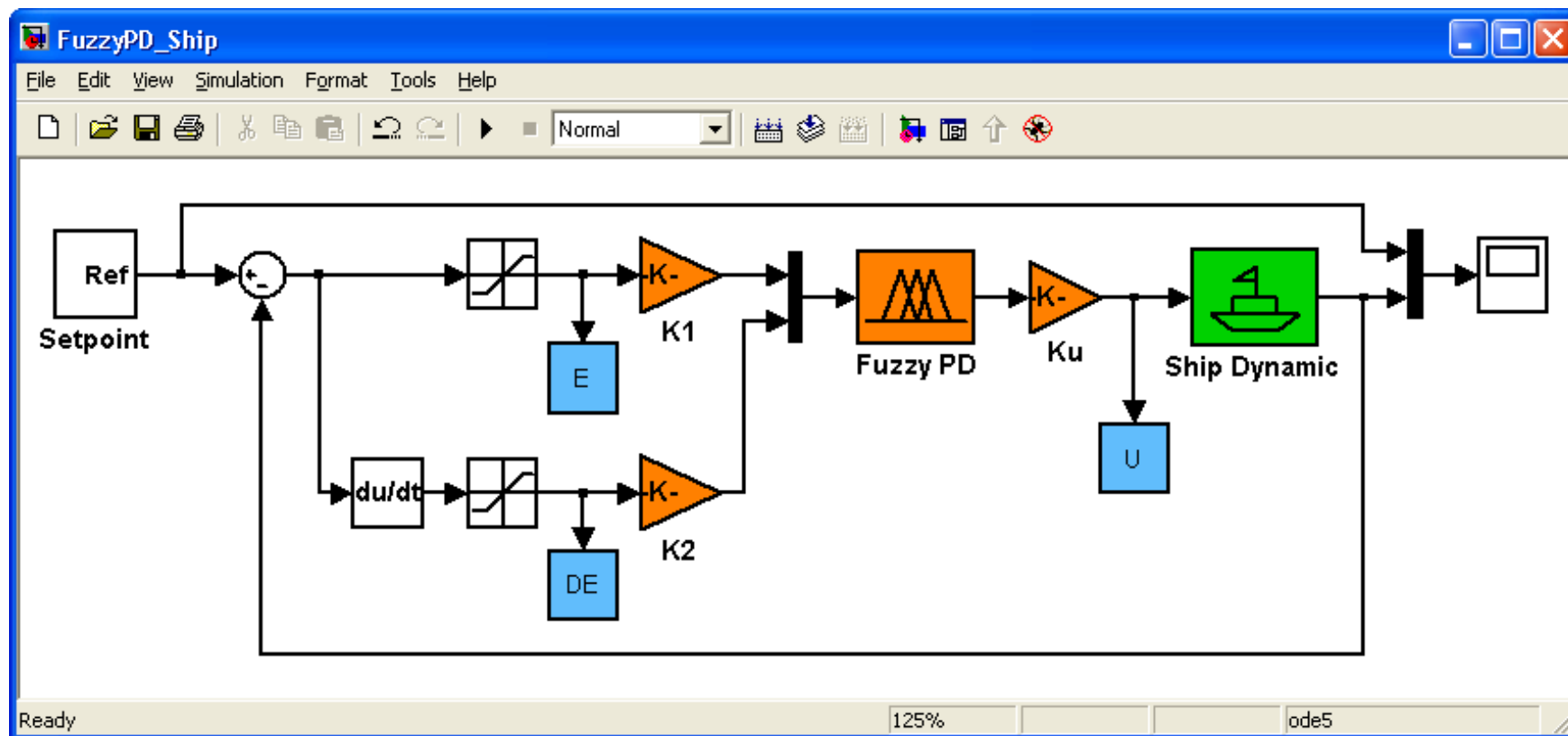
$$\ddot{\psi}(t) + \left(\frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_2} \right) \dot{\psi}(t) + \left(\frac{1}{\tau_1 \tau_2} \right) (\psi^3(t) + \psi(t)) = \left(\frac{k}{\tau_1 \tau_2} \right) (\tau_3 \dot{\delta}(t) + \delta(t))$$

Trong đó:

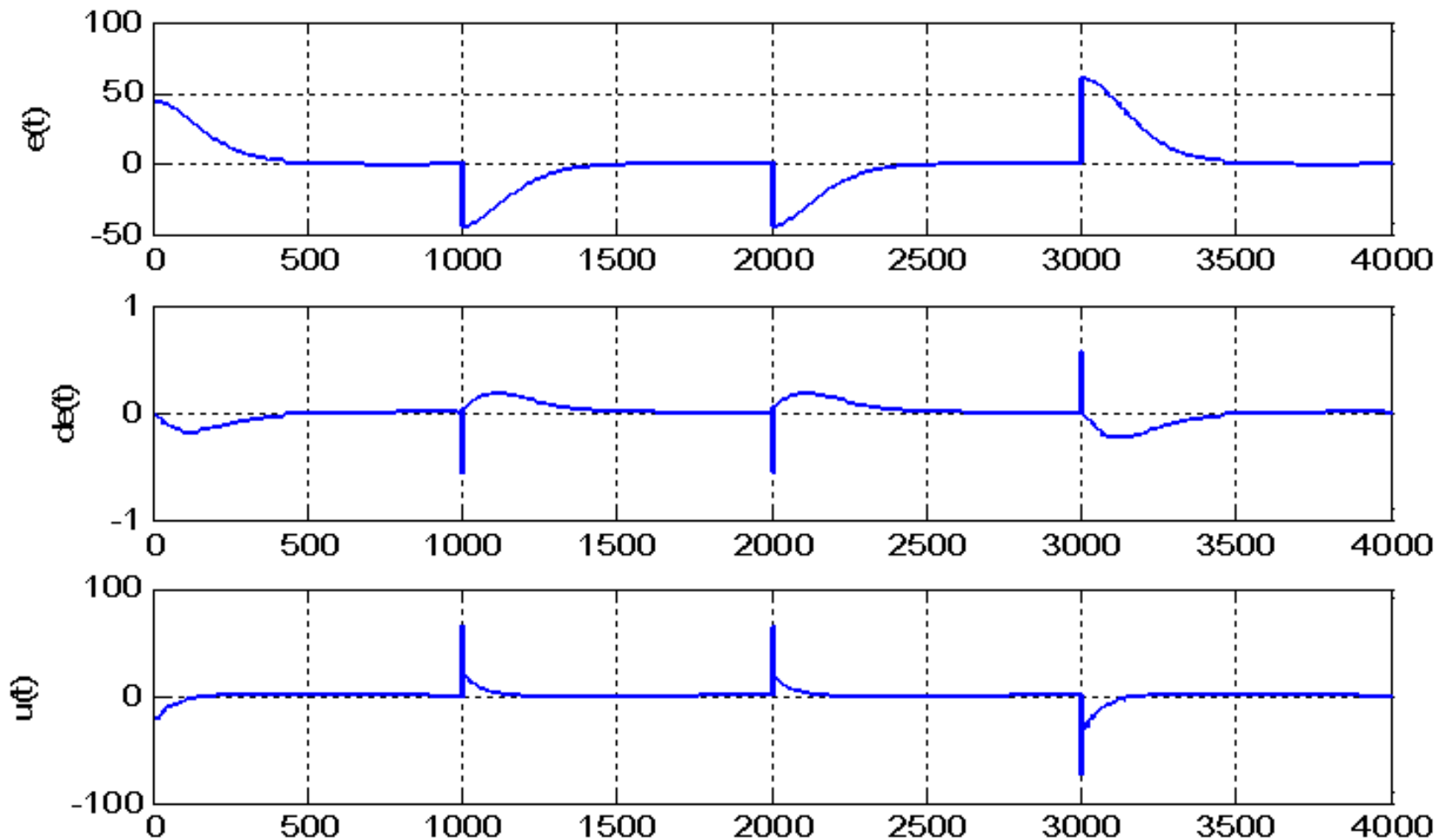
Tín hiệu vào $\delta(t)$ (radian) là góc của bánh lái.

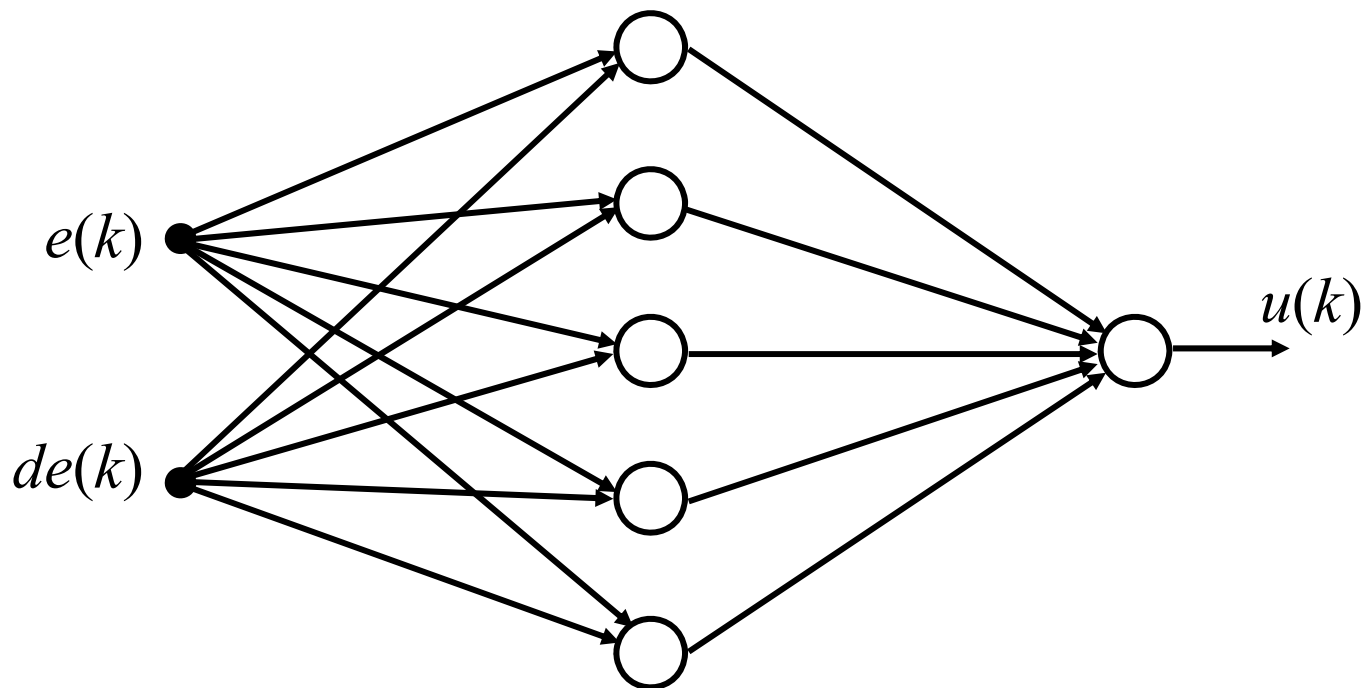
Tín hiệu ra $\psi(t)$ (radian) là góc (hướng) chuyển động của tàu

- ★ Sơ đồ thu thập dữ liệu để huấn luyện mạng thần kinh



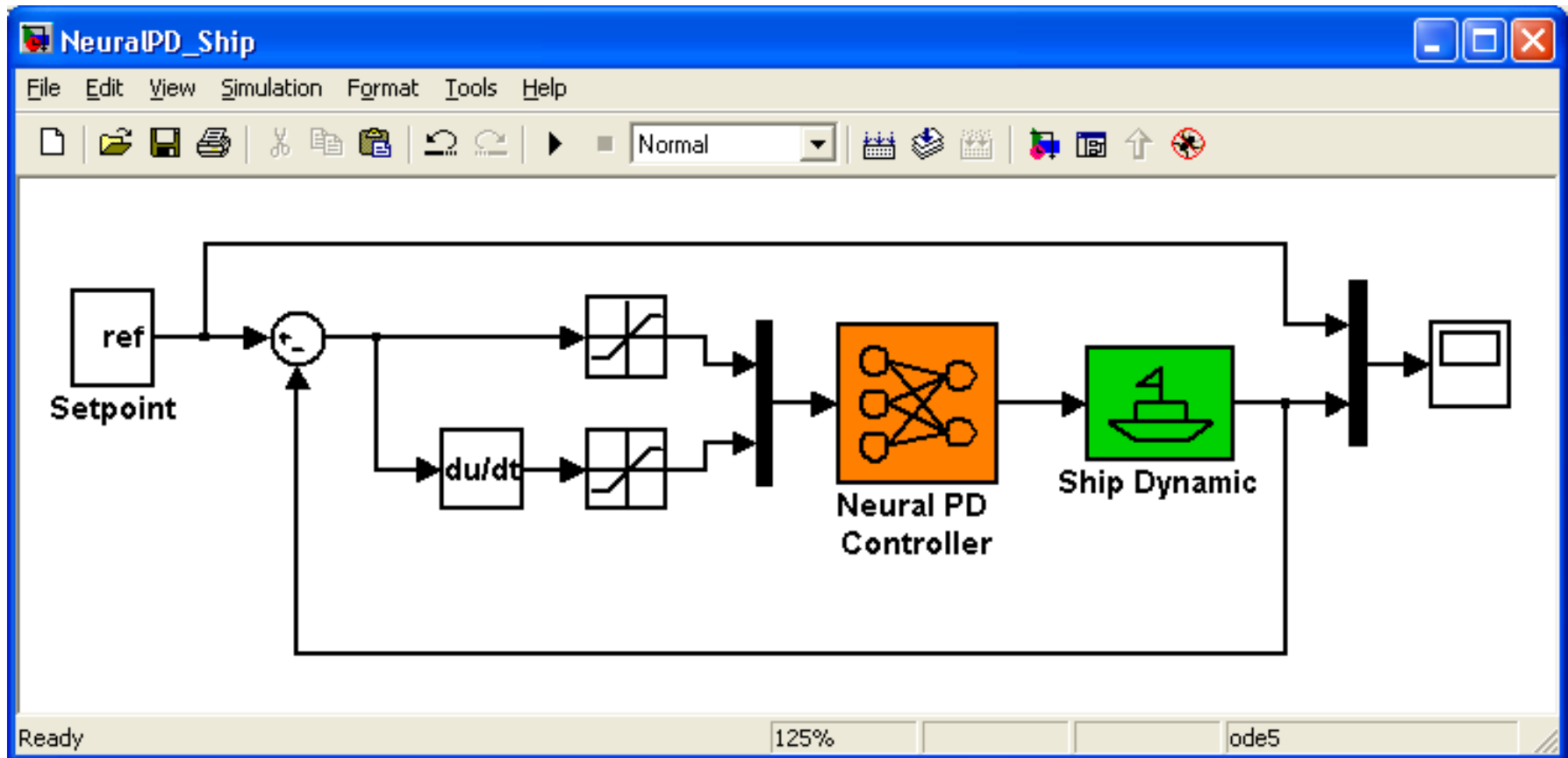
★ Dữ liệu để huấn luyện mạng thần kinh



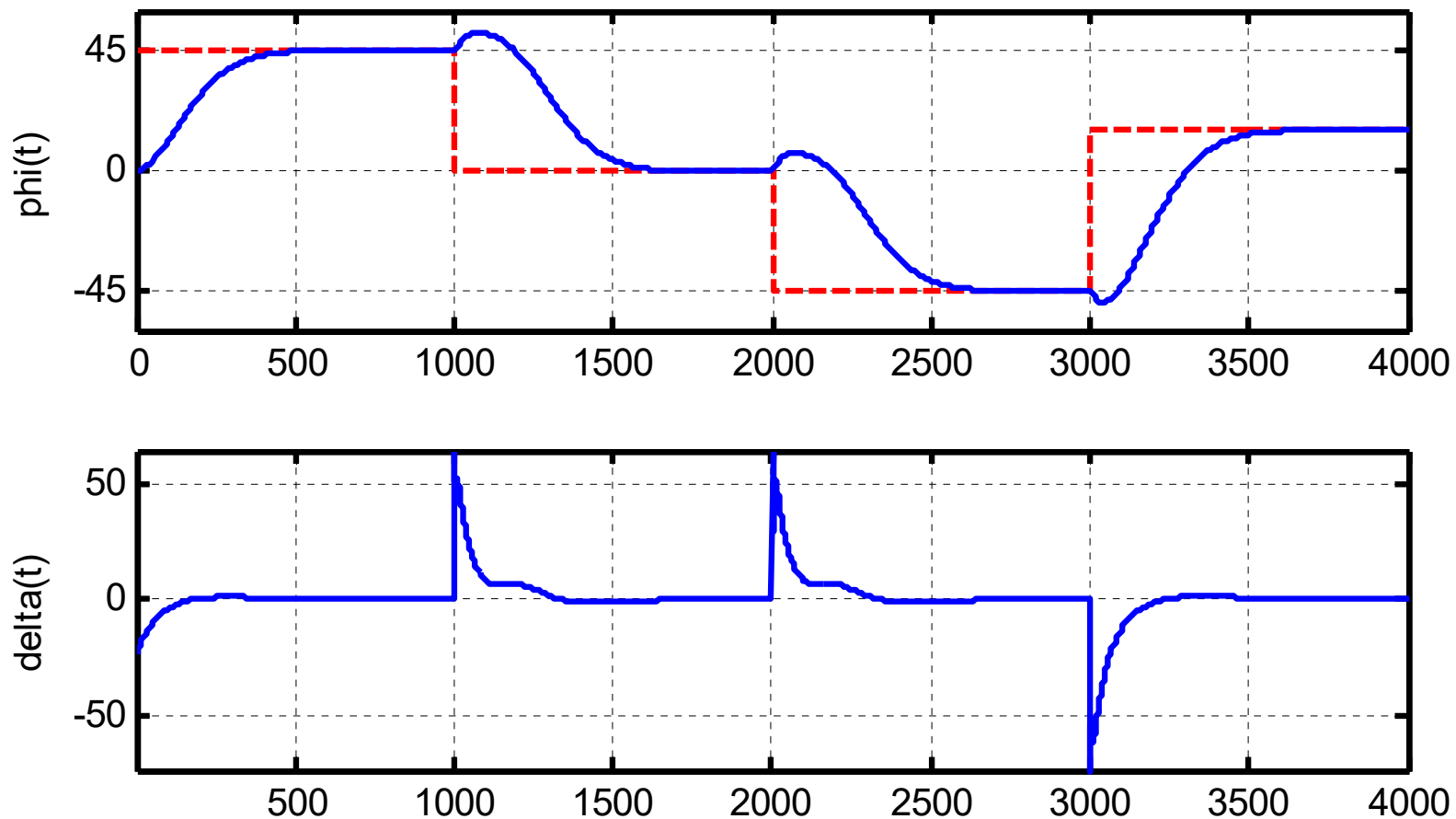


- Cấu trúc mạng thần kinh học bộ điều khiển PD
 - ❖ Mạng có 2 ngõ vào, 1 ngõ ra.
 - ❖ Lớp ẩn gồm 5 tế bào thần kinh có hàm kích hoạt dạng sigmoid (tùy bài toán cụ thể, lớp ẩn có thể cần nhiều hơn 5 tế bào thần kinh)
 - ❖ Lớp ra gồm 1 tế bào thần kinh có hàm kích hoạt tuyến tính

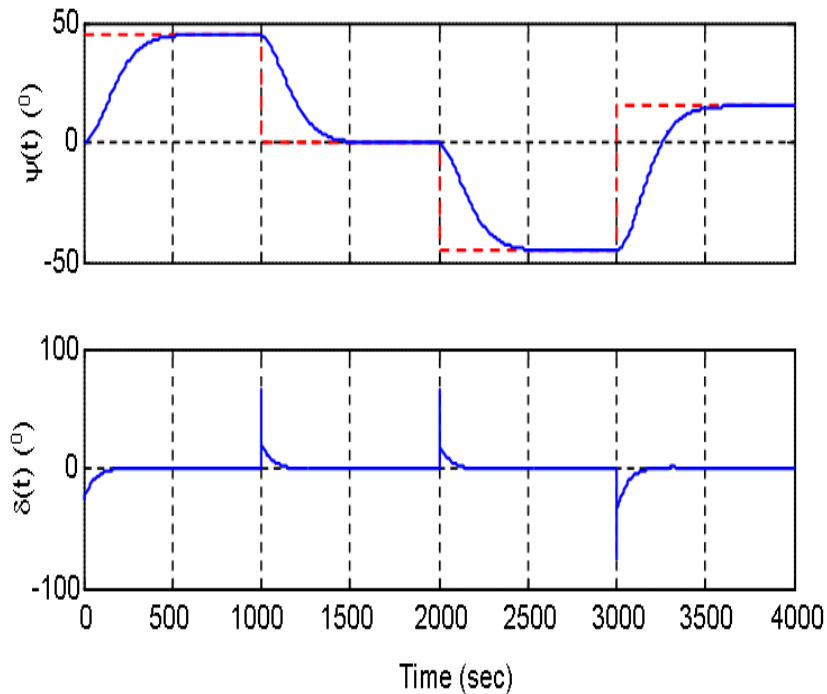
- Bộ điều khiển mạng thần kinh sau khi huấn luyện



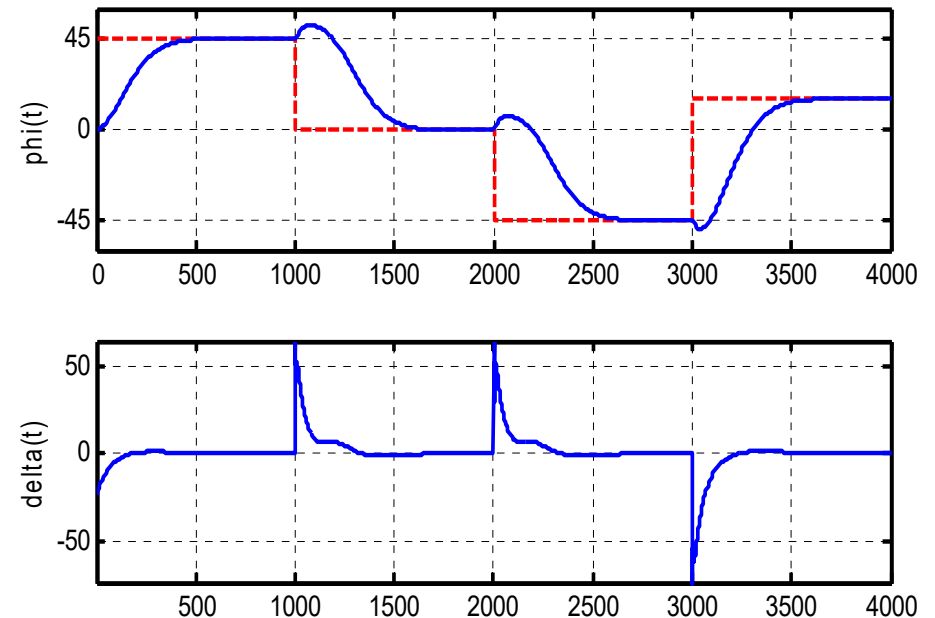
- ❑ Kết quả điều khiển lái tàu dùng mạng thần kinh đã huấn luyện



❑ So sánh với kết quả



Điều khiển mờ

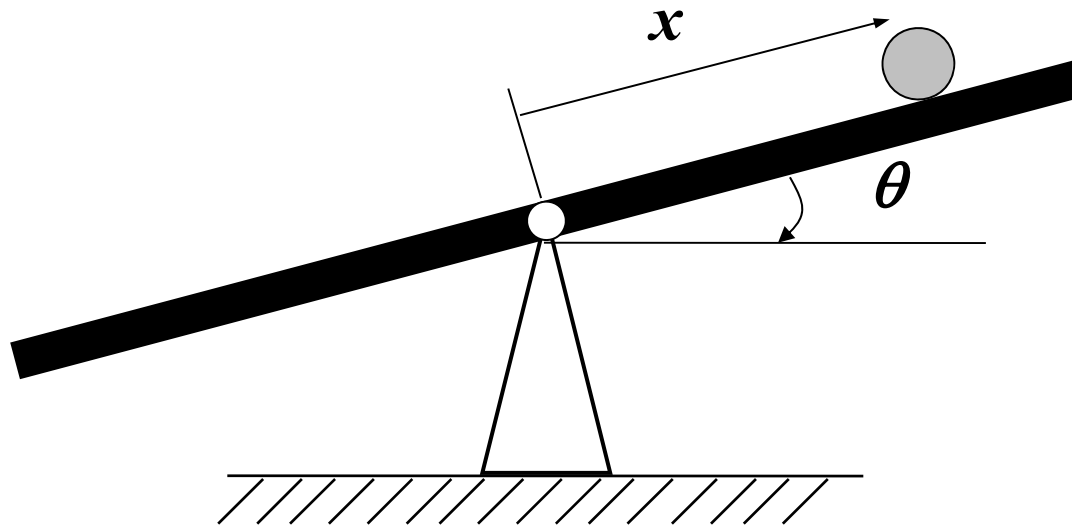


ĐK dùng mạng thần kinh



Bài tập

- ❑ Huấn luyện mạng NN học bộ điều khiển PD mờ điều khiển hướng chuyển động của tàu thủy theo cách 2



$$m = 0.1 \text{ kg}$$

$$J = 0.00005 \text{ kgm}^2$$

$$R = 0.02 \text{ m}$$

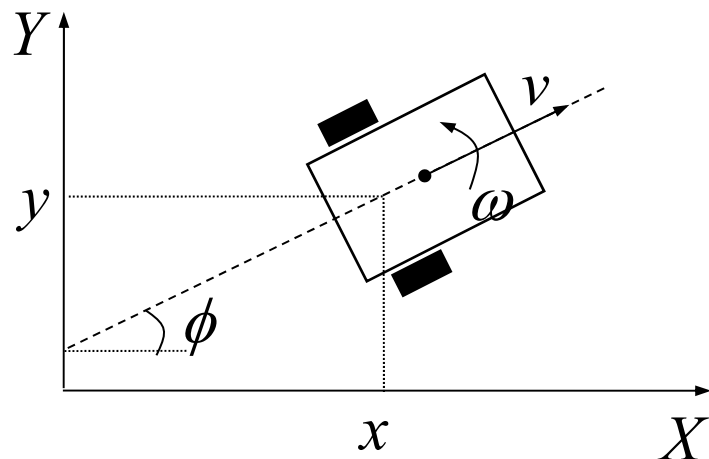
$$b = 0.1$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

★ Hệ bóng và thanh: $\left[\frac{J}{R^2} + m \right] \ddot{x} + b\dot{x} = mg \sin \theta$

(tín hiệu điều khiển là θ , tín hiệu ra là x)

★ Huấn luyện mạng NN học bộ điều khiển PD mờ điều khiển vị trí bóng bám theo tín hiệu x_d cho trước. Giả sử $-1 \leq x \leq 1$ (m) và $-\pi/6 \leq \theta \leq \pi/6$ (rad)

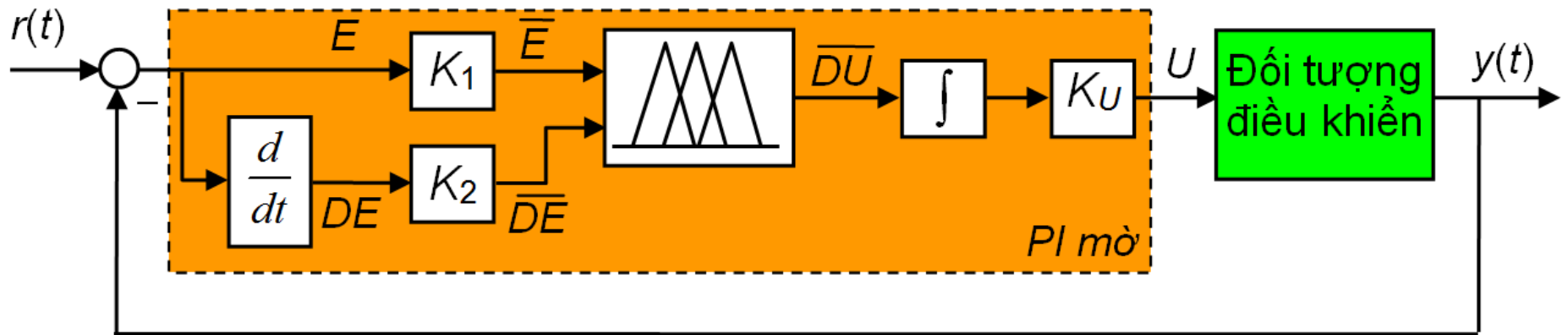


$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 \\ \sin \phi & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix}$$

v là vận tốc dài, ω là vận tốc xoay, (x, y, ϕ) là vị trí trọng tâm và hướng của robot. Giả sử robot di chuyển với vận tốc dài $v = 0.5\text{m/s}$.

1. Hãy thiết kế bộ điều khiển PD mờ điều khiển vận tốc xoay ω của robot sao cho robot chuyển động song song trục x và cách trục x một khoảng y_d cho trước ($0 \leq y_d \leq 0.6 \text{ m}$).
2. Hãy thiết kế mạng NN và huấn luyện mạng học bộ điều khiển PD mờ đã thiết kế ở trên bằng 2 cách.
3. Mô phỏng các hệ thống điều khiển đã thiết kế dung Matlab

Huấn luyện mạng NN học bộ điều khiển PI mờ



★ Quan hệ vào ra của bộ điều khiển PI mờ:

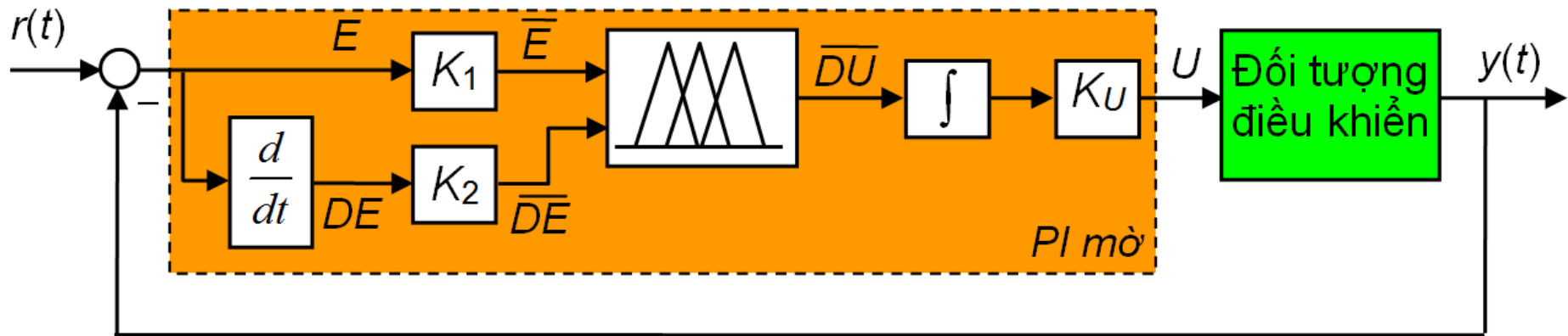
$$\dot{u}(t) = \tilde{f}(e(t), \dot{e}(t))$$

$$\Rightarrow u(k) = \int_0^{kT} \tilde{f}(e(\tau), \dot{e}(\tau)) d\tau$$

$$= \int_0^{(k-1)T} \tilde{f}(e(\tau), \dot{e}(\tau)) d\tau + \int_{(k-1)T}^{kT} \tilde{f}(e(\tau), \dot{e}(\tau)) d\tau$$

$$= u(k-1) + \int_{(k-1)T}^{kT} \tilde{f}(e(\tau), \dot{e}(\tau)) d\tau$$

Huấn luyện mạng NN học bộ điều khiển PI mờ



★ Bộ điều khiển PI mờ:

$$u(k) = u(k-1) + \int_{(k-1)T}^{kT} \tilde{f}(e(\tau), \dot{e}(\tau)) d\tau$$

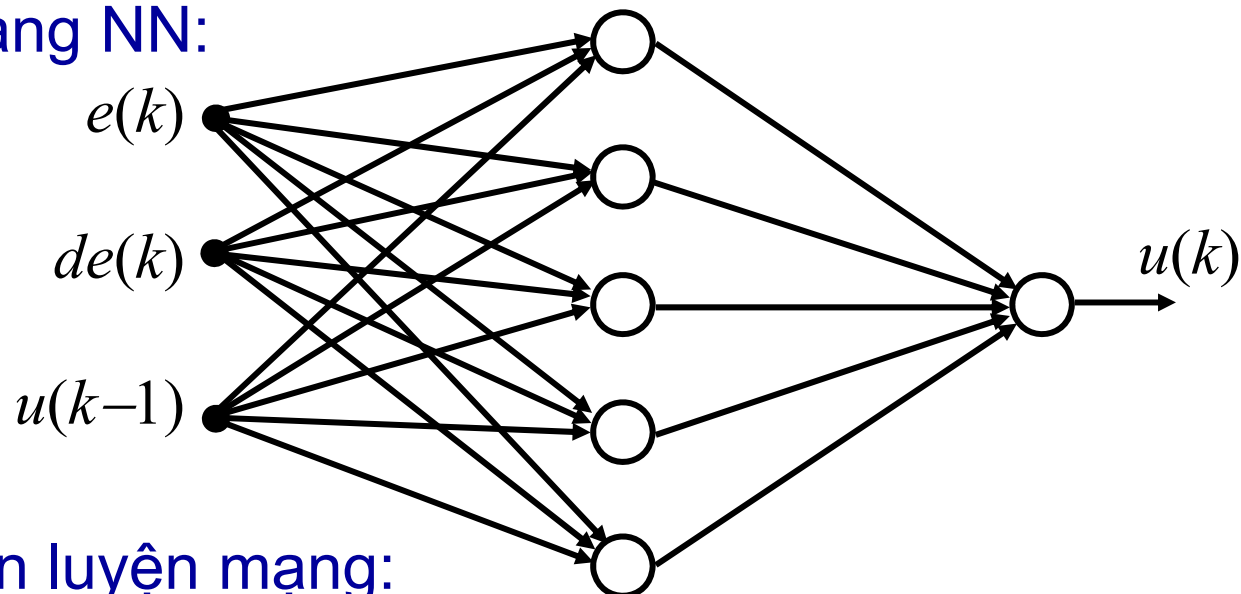
★ Mạng NN học bộ điều khiển PI mờ:

- Cách 1: $u(k) = f_{NN}(u(k-1), e(k), \dot{e}(k))$
- Cách 2: $u(k) = g_{NN}(u(k-1), e(k), e(k-1))$

Huấn luyện mạng NN học bộ điều khiển PI mờ

❖ **Cách 1:** $u(k) = f_{NN}(u(k-1), e(k), \dot{e}(k))$

➤ Cấu trúc mạng NN:



➤ Dữ liệu huấn luyện mạng:

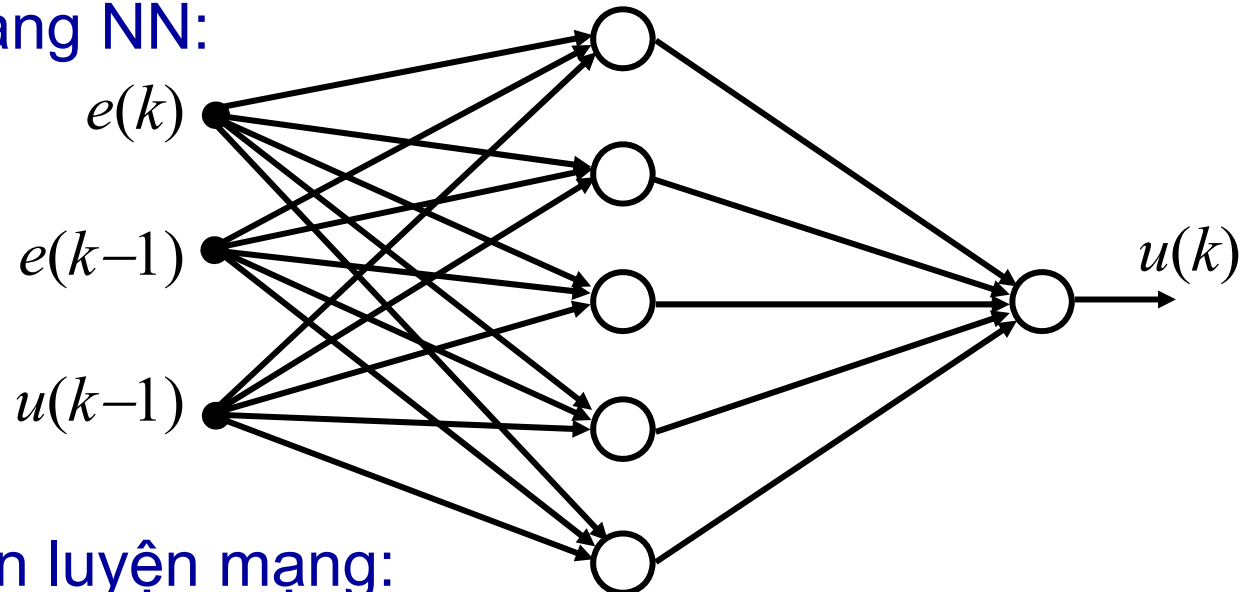
$$X = \begin{bmatrix} e(2) & e(3) & \dots & e(K) \\ \dot{e}(2) & \dot{e}(3) & \dots & \dot{e}(K) \\ u(1) & u(2) & \dots & u(K-1) \end{bmatrix}$$

$$D = [u(2) \quad u(3) \quad \dots \quad u(K)]$$

Huấn luyện mạng NN học bộ điều khiển PI mờ

❖ **Cách 2:** $u(k) = g_{NN}(u(k-1), e(k), e(k-1))$

➤ Cấu trúc mạng NN:

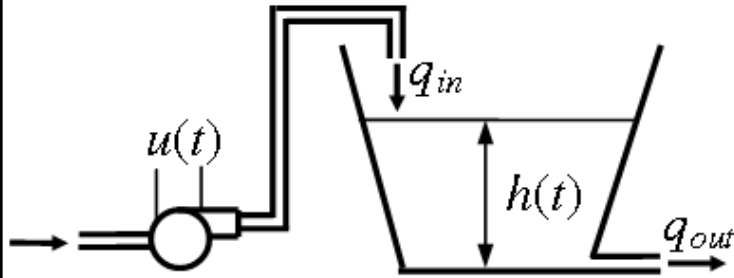


➤ Dữ liệu huấn luyện mạng:

$$X = \begin{bmatrix} e(2) & e(3) & \dots & e(K) \\ e(1) & e(2) & \dots & e(K-1) \\ u(1) & u(2) & \dots & u(K-1) \end{bmatrix}$$

$$D = [u(2) \quad u(3) \quad \dots \quad u(K)]$$

Thí dụ huấn luyện mạng học bộ điều khiển PI mờ



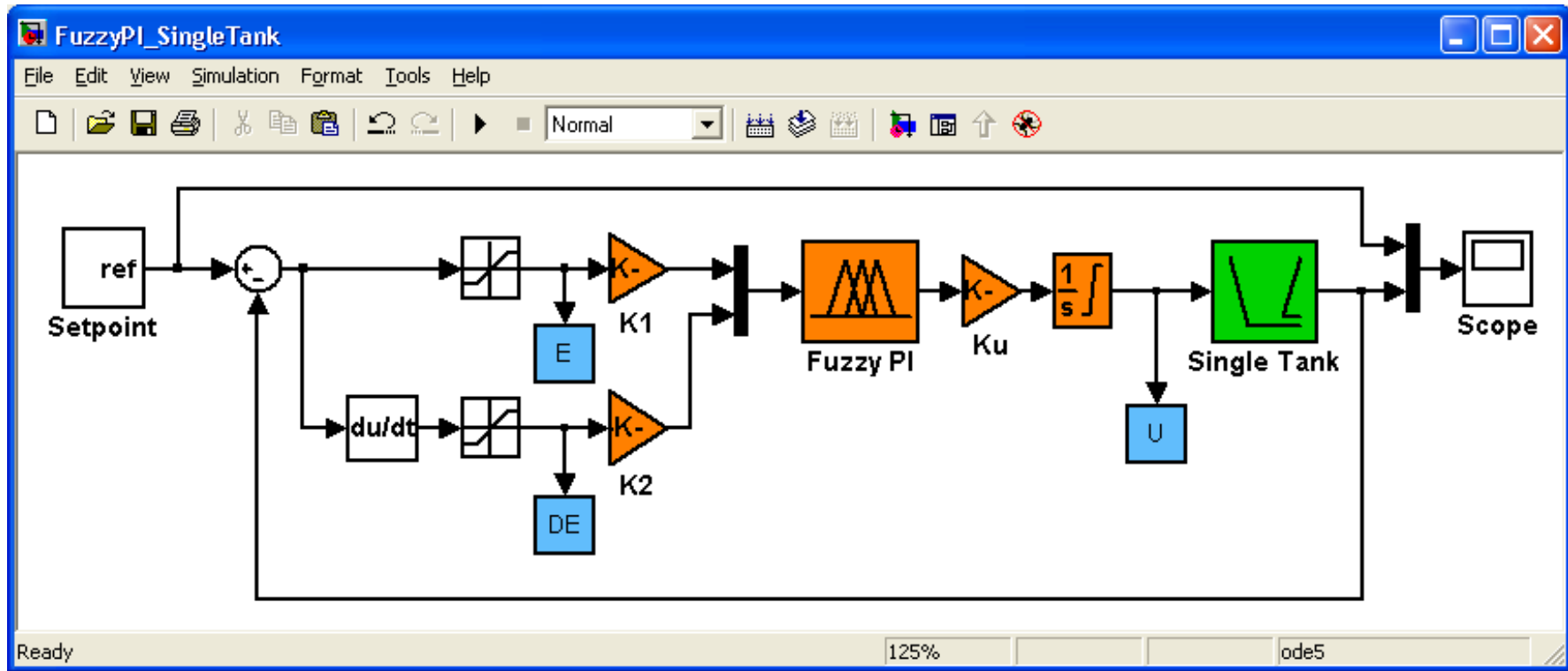
- $u(t)$: điện áp điều khiển máy bơm ($0 \leq u(t) \leq 12V$)
- $h(t)$: độ cao mực chất lỏng trong bồn (cm)
- $A(h)$: tiết diện ngang bồn chứa (cm^2)
- h_{\max} : độ cao cực đại của bồn chứa ($h_{\max} = 50\text{cm}$)
- A_{\max} : tiết diện ngang cực đại ($A_{\max} = 200 \text{ cm}^2$)
- A_{\min} : tiết diện ngang cực tiểu ($A_{\min} = 100 \text{ cm}^2$)
- k : hệ số tỉ lệ với công suất máy bơm ($k = 300 \text{ cm}^3/\text{sec}$)
- a : tiết diện van xả ($a = 1 \text{ cm}^2$)
- g : gia tốc trọng trường ($981\text{cm}/\text{sec}^2$)
- C_D : hệ số xả ($C_D=0.6$)

□ Phương trình vi phân mô tả đặc tính động học hệ bồn chứa:

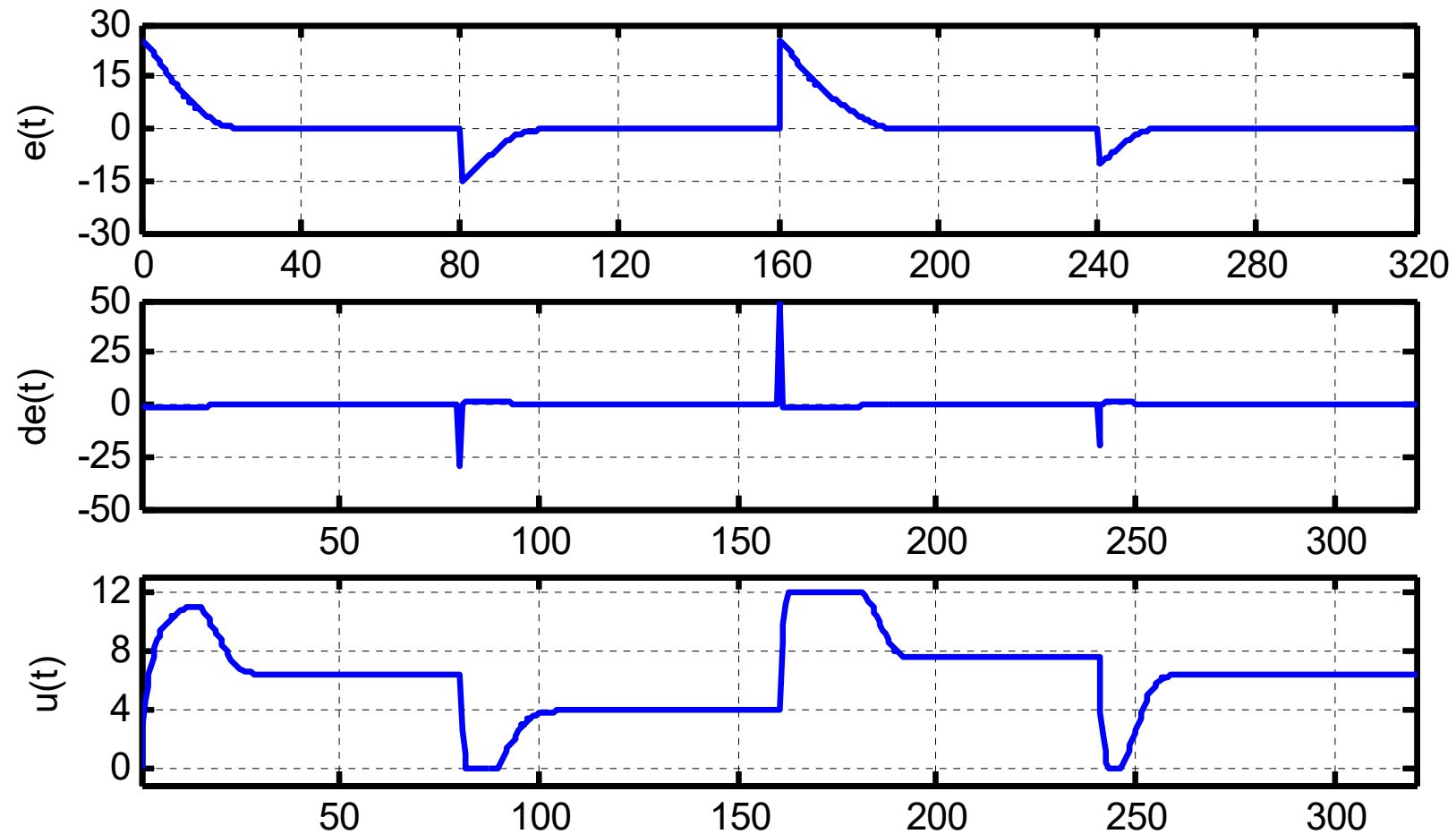
$$\dot{h}(t) = \frac{1}{A(h)} \left(ku(t) - C_D a \sqrt{2gh(t)} \right)$$

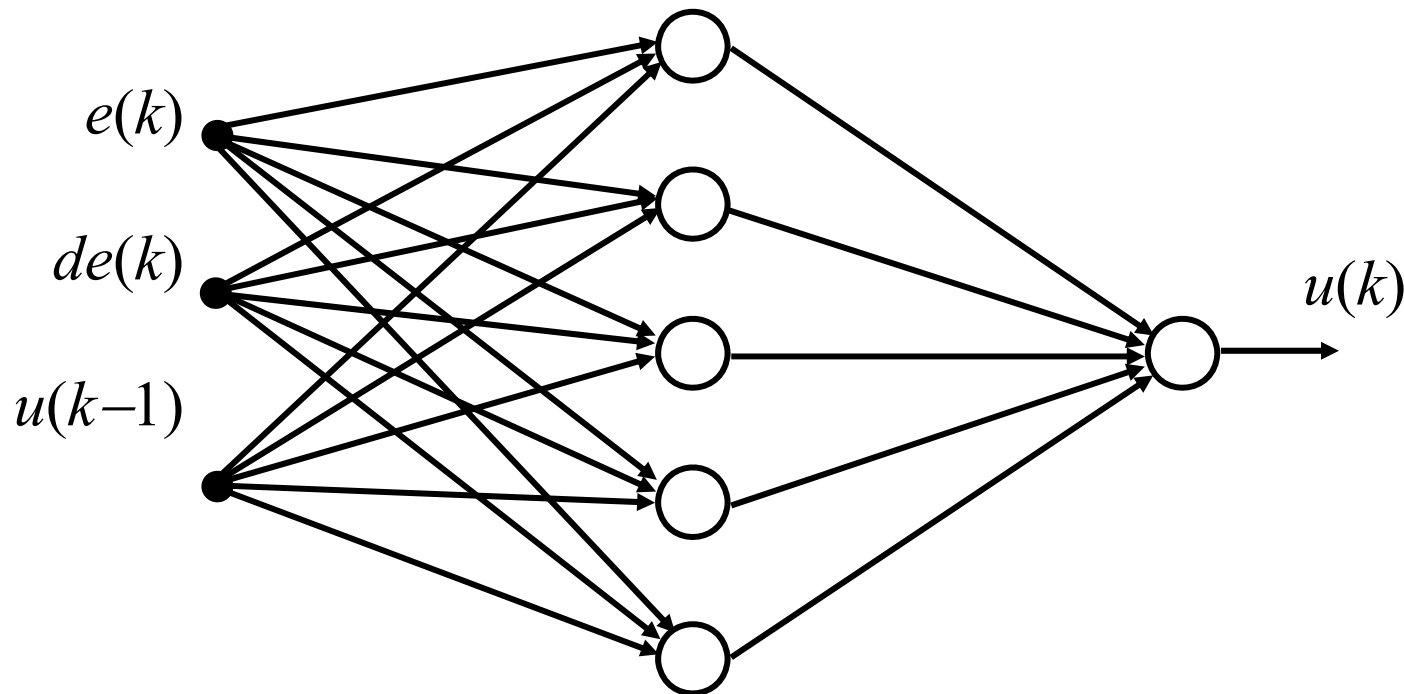
$$A(h) = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{h_{\max}} h + A_{\min}$$

- ❑ Sơ đồ thu thập dữ liệu để huấn luyện mạng thần kinh



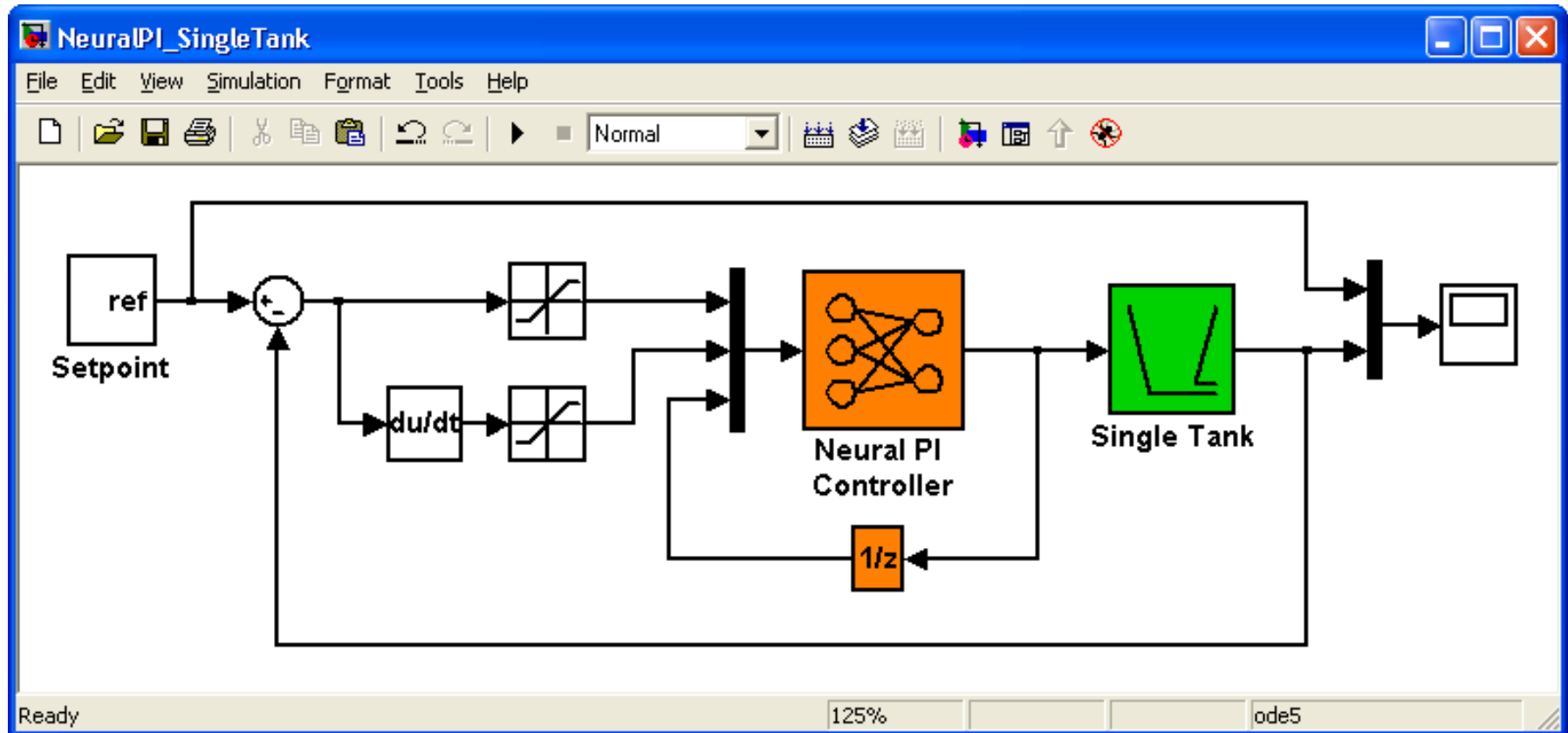
★ Dữ liệu để huấn luyện mạng thần kinh



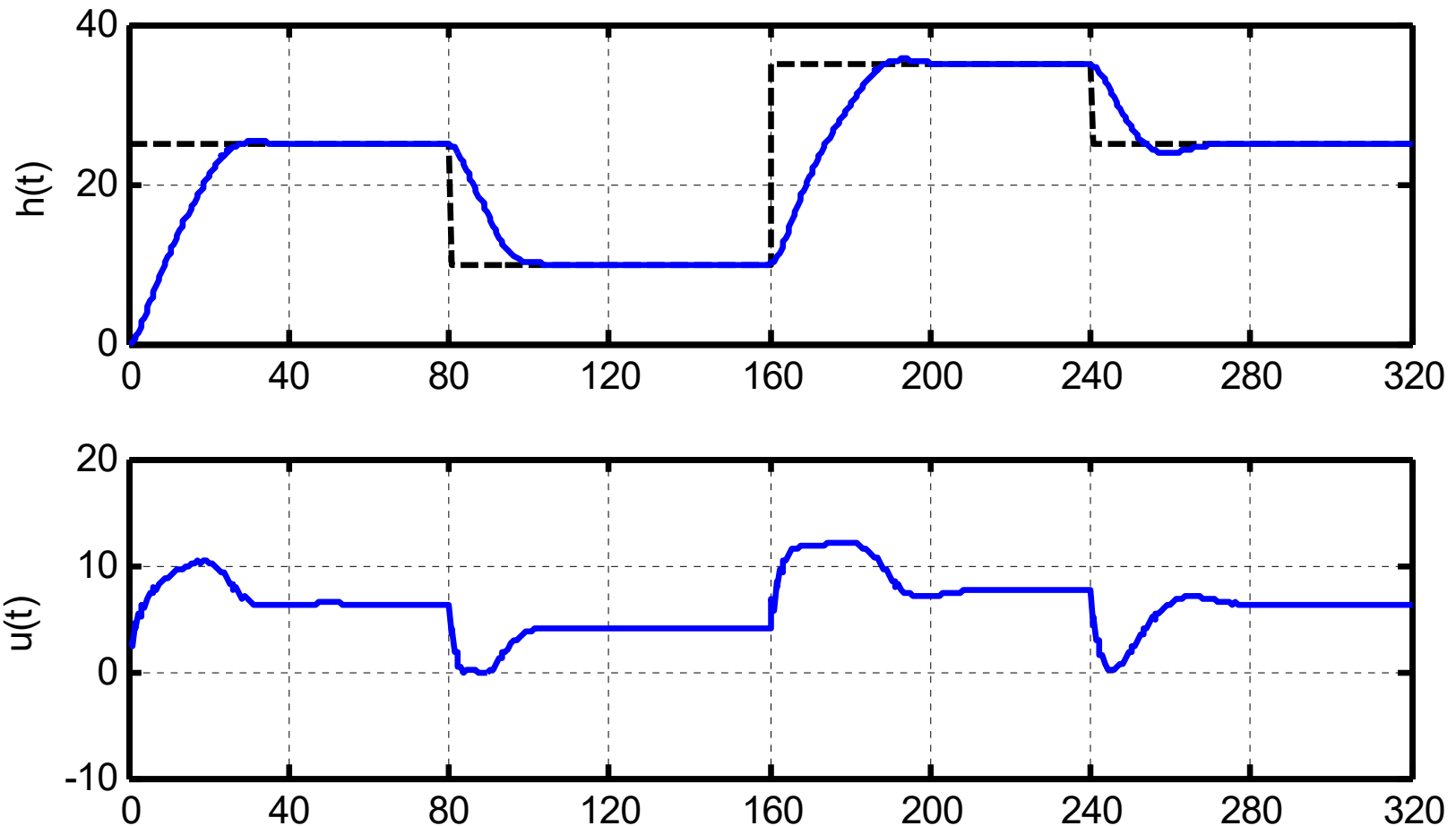


- ★ Cấu trúc mạng thần kinh sao chép bộ điều khiển PI mờ
 - Mạng có 3 ngõ vào $e(k)$, $de(k)$, $u(k-1)$, 1 ngõ ra $u(k)$.
 - Lớp ẩn gồm 5 tế bào thần kinh có hàm kích hoạt dạng sigmoid (cần mô phỏng, chọn số tế bào thần kinh phù hợp)
 - Lớp ra gồm 1 tế bào thần kinh có hàm kích hoạt tuyến tính

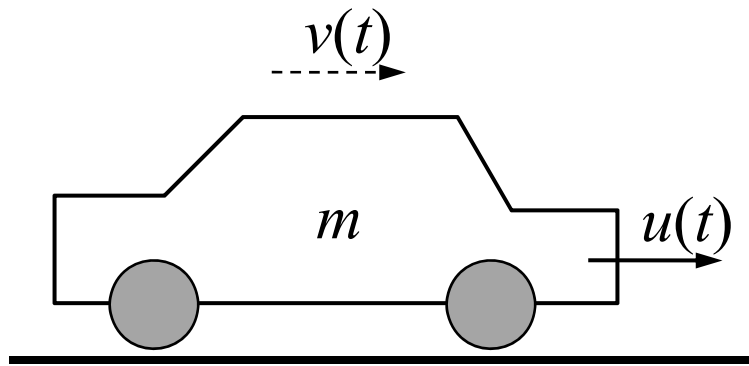
- Bộ điều khiển mạng thần kinh sau khi huấn luyện



- ❑ Kết quả điều khiển mực chất lỏng dùng mạng thần kinh đã huấn luyện



Bài tập: Huấn luyện mạng NN học bộ điều khiển PI mờ



$$\begin{cases} \dot{v}(t) = \frac{1}{m}(-A_{\rho}v^2(t) - d + f(t)) \\ \dot{f}(t) = \frac{1}{\tau}(-f(t) + u(t)) \end{cases}$$

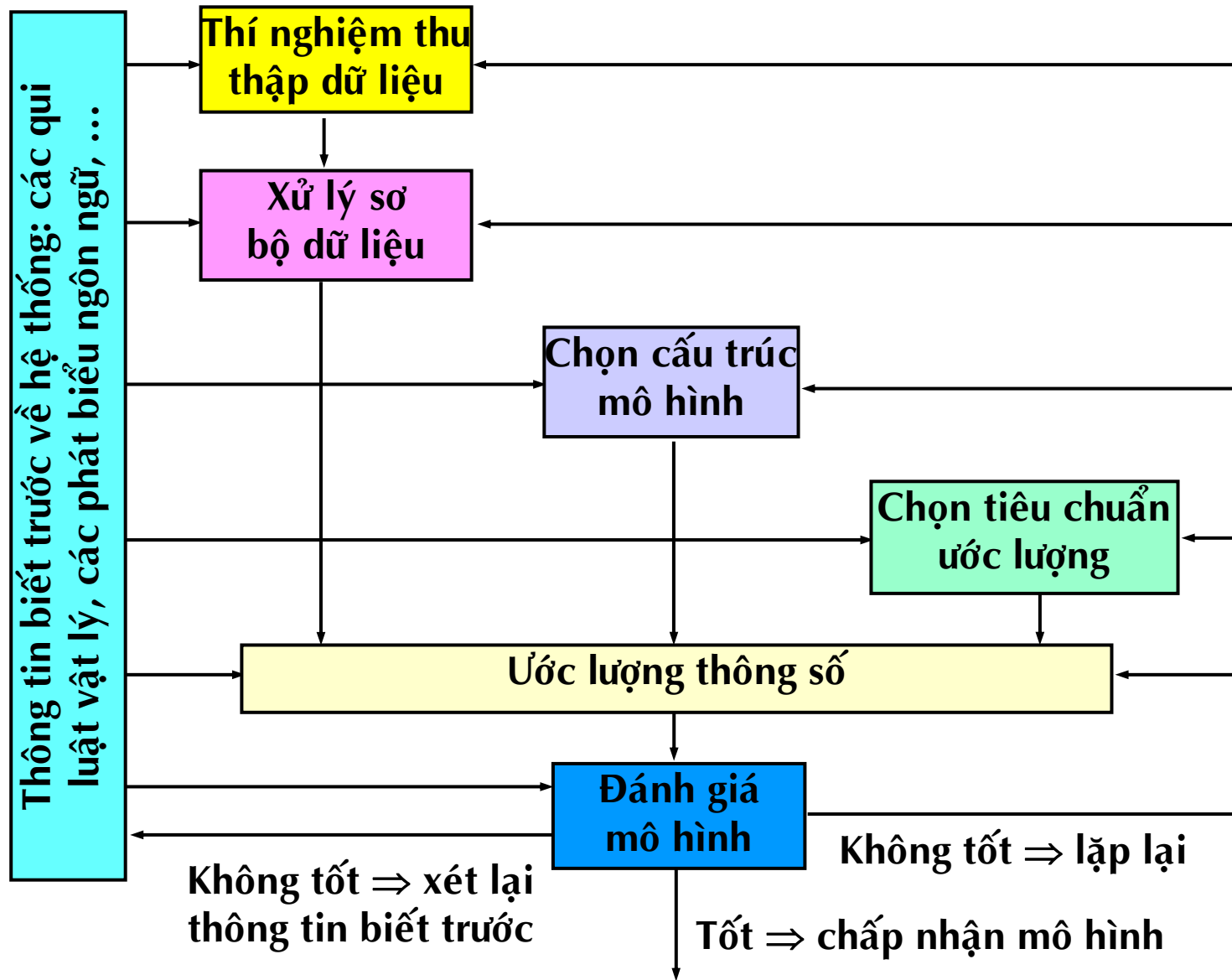
$$(m = 1300 \text{ kg}, A_{\rho} = 0.3 \text{ (Ns}^2/\text{m}^2), d = 100 \text{ (N)}, \tau = 0.2 \text{ (sec)})$$

Xét hệ thống điều khiển tốc độ xe ô tô, giả sử tầm của tín hiệu điều khiển là $-1000 \leq u \leq 1000 \text{ (N)}$, vận tốc chuyển động tối đa của xe là 30 (m/sec)

1. Thiết kế bộ điều khiển PI mờ điều khiển tốc độ xe bám theo tín hiệu đặt $v_d(t)$ có dạng xung với sai số xác lập bằng 0.
2. Hãy thiết kế mạng NN và huấn luyện mạng học bộ điều khiển PI mờ đã thiết kế ở trên bằng 2 cách.
3. Mô phỏng các hệ thống điều khiển đã thiết kế dùng Matlab

NHẬN DẠNG HỆ PHI TUYẾN

Ứng dụng nhận dạng hệ thống



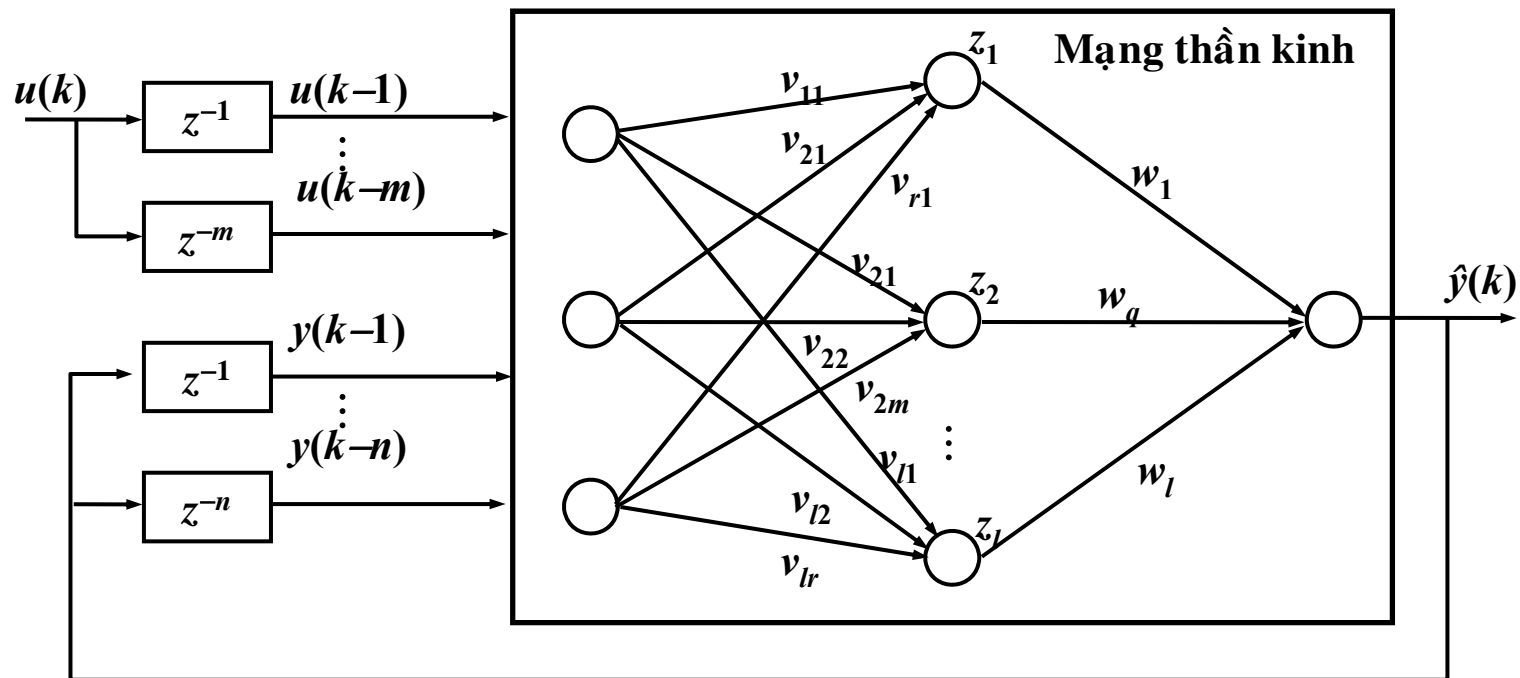
Mô hình hóa hệ phi tuyến dùng mạng thần kinh

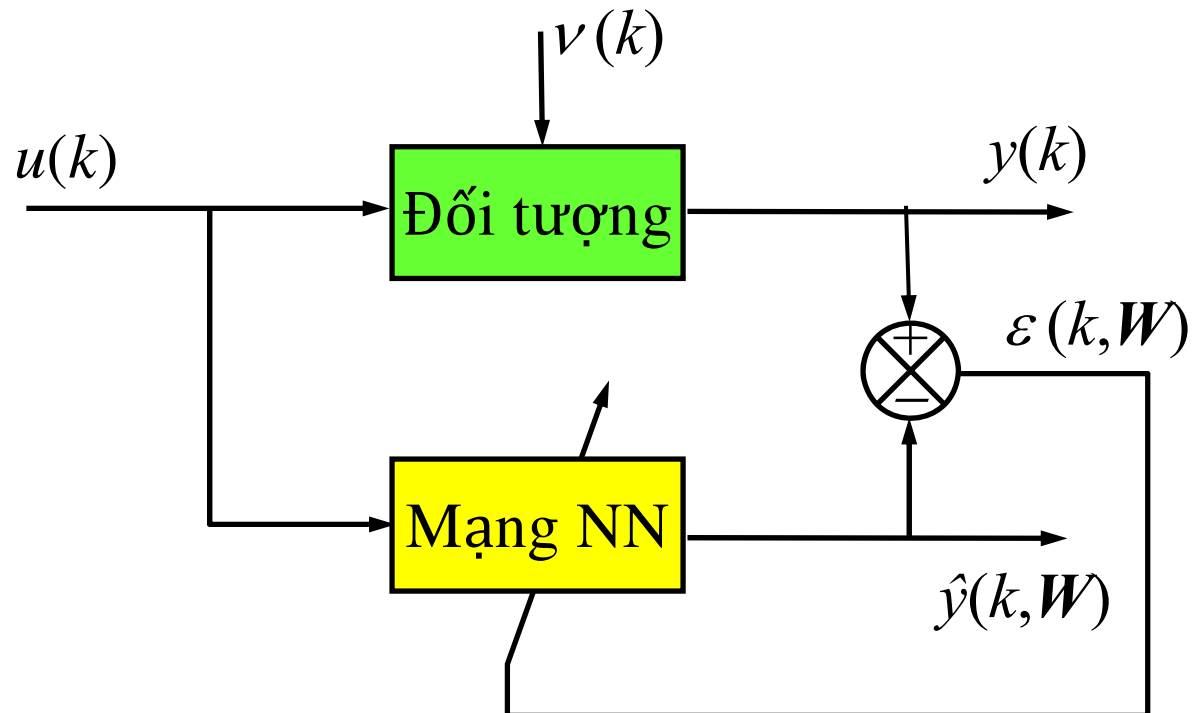
★ Đối tượng phi tuyến:

$$y(k) = f_0[u(k-1), \dots, u(k-m), y(k-1), \dots, y(k-n)] + v(k)$$

★ Mô hình:

$$\hat{y}(k, W) = f_{NN}[u(k-1), \dots, u(k-m), y(k-1), \dots, y(k-n)]$$

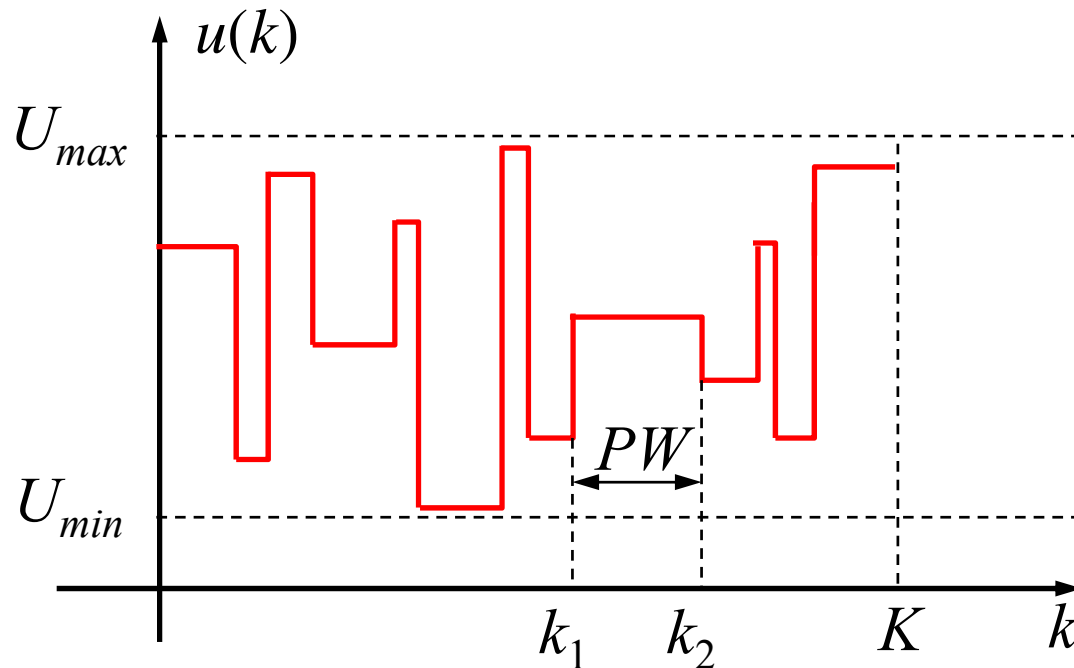




★ Chỉ tiêu bình phương tối thiểu huấn luyện mạng NN:

$$E(W) = \frac{1}{2} \sum_{k=k_0}^N \varepsilon^2(k, W) = \frac{1}{2} \sum_{k=k_0}^N [y(k) - \hat{y}(k, W)]^2$$

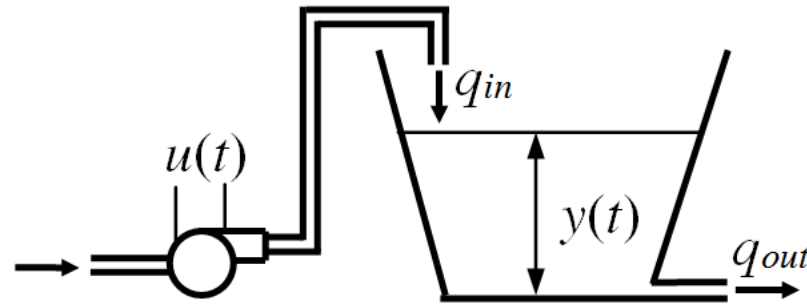
Tín hiệu vào để nhận dạng hệ phi tuyến



$$PW_{min} \leq PW \leq PW_{max}$$

- ★ Tín hiệu vào ngẫu nhiên có độ rộng xung và biên độ phù hợp để kích thích đặc tính phi tuyến của hệ thống trong miền làm việc cần nhận dạng.

Thí dụ nhận dạng hệ bồn đơn dùng mạng thần kinh



- Mô hình toán học hệ bồn nước (sử dụng để mô phỏng):

$$\dot{y}(t) = \frac{1}{A(y)} \left(Ku(t) - C_D a \sqrt{2gy(t)} \right)$$

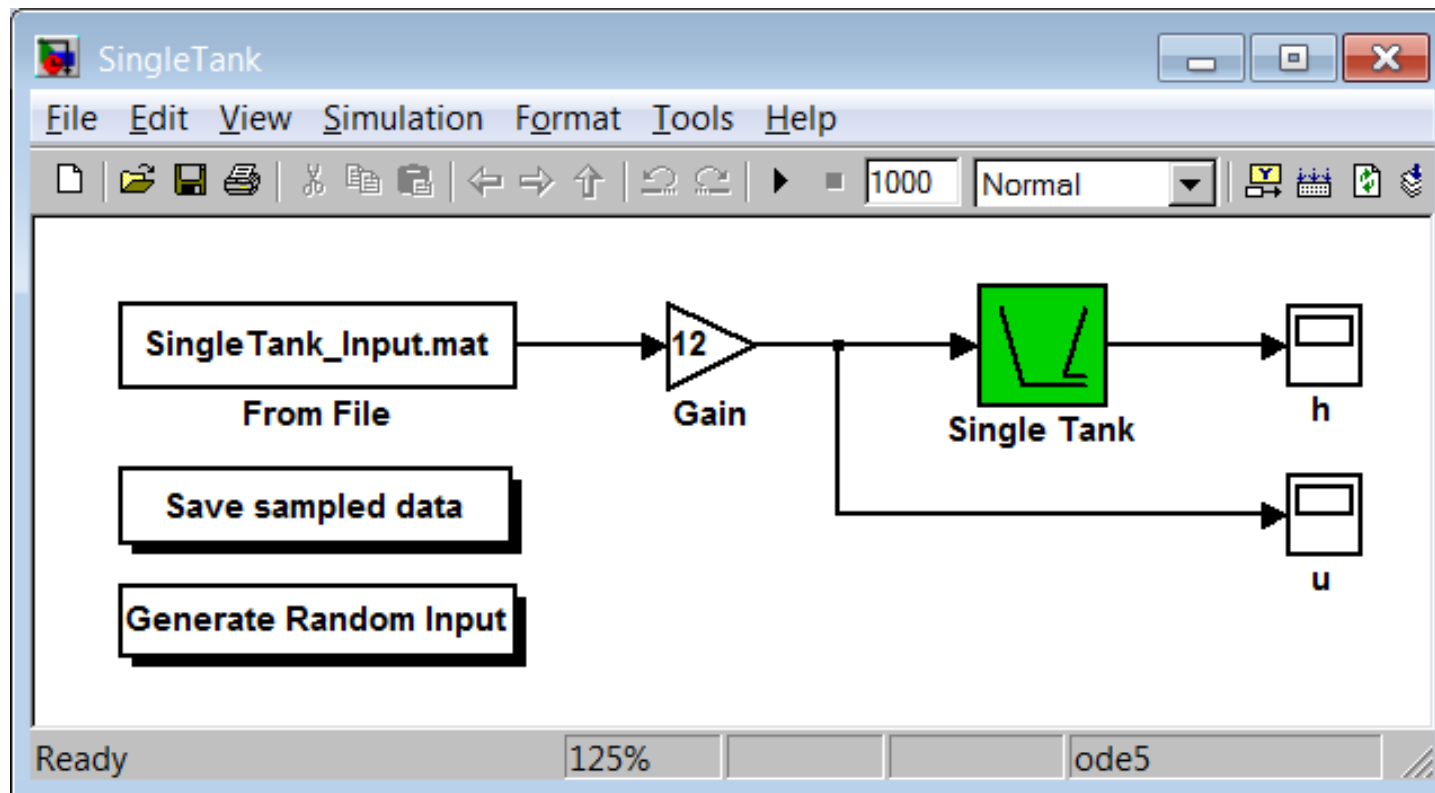
$$A(y) = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{y_{\max}} y + A_{\min}$$

- Yêu cầu: Nhận dạng hệ bồn đơn dùng mô hình mạng NN. Giả sử chu kỳ lấy mẫu là $T=1.0$ (sec), nhiễu đo mức chất lỏng có bị giá trị trung bình là $\mu = 0$ và phương sai là $\lambda = 0.1$.

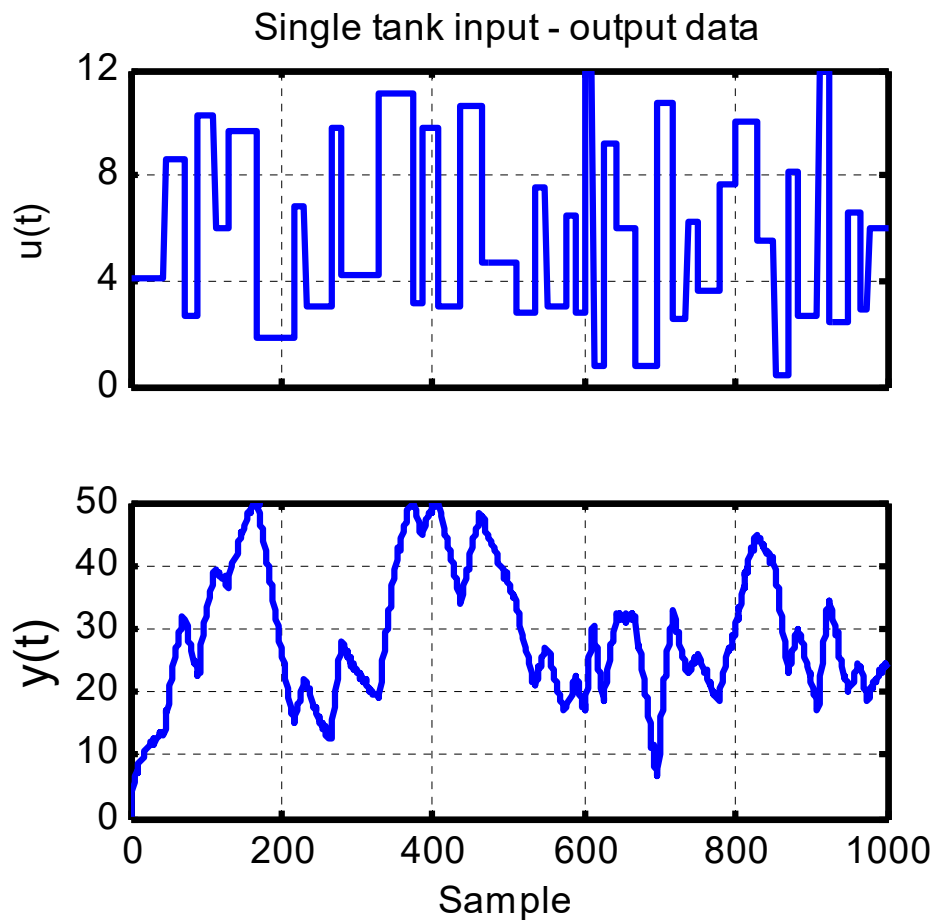
- $u(t)$ điện áp điều khiển máy bơm (V)
- $y(t)$: độ cao mực chất lỏng trong bồn (cm)
- $A(y)$: tiết diện ngang bồn chứa (cm^2) (phụ thuộc độ cao)
- y_{max} : độ cao cực đại của bồn chứa
- A_{max}, A_{min} : tiết diện ngang cực đại và cực tiểu
- k : hệ số tỉ lệ với công suất máy bơm
- a : tiết diện van xả (cm^2)
- g : gia tốc trọng trường ($981cm/sec^2$)
- C_D : hệ số xả (tùy loại chất lỏng)

Giá trị cụ thể: $y_{max} = 50cm$, $A_{max} = 200 cm^2$, $A_{min} = 100 cm^2$,
 $a = 1 cm^2$, $k = 300 cm^3/sec$, $C_D = 0.6$.

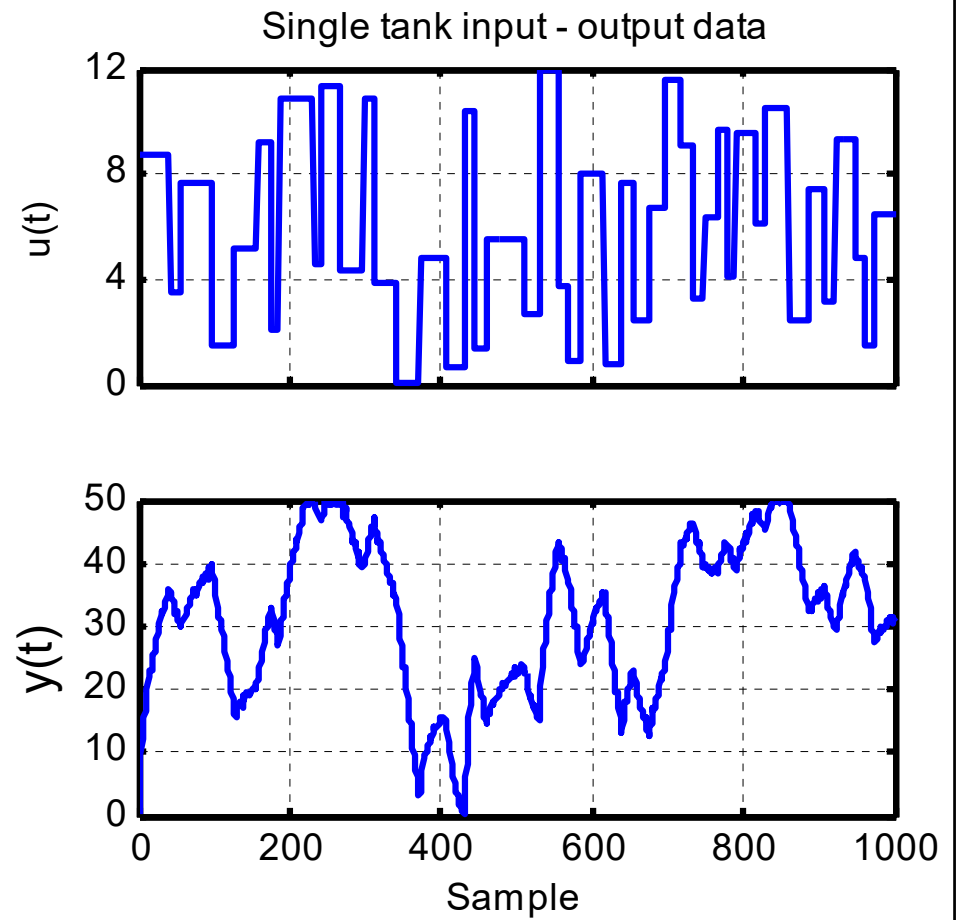
Sơ đồ mô phỏng thí nghiệm thu thập dữ liệu



- ❑ Khối SingleTank_Input: tín hiệu có biên độ và tần số ngẫu nhiên. Biên độ nằm trong khoảng $[0, 1]$
- ❑ Khối Gain nhằm tạo tín hiệu u có biên độ nằm trong miền $0 \leq u \leq 12V$



Dữ liệu huấn luyện mạng



Dữ liệu đánh giá



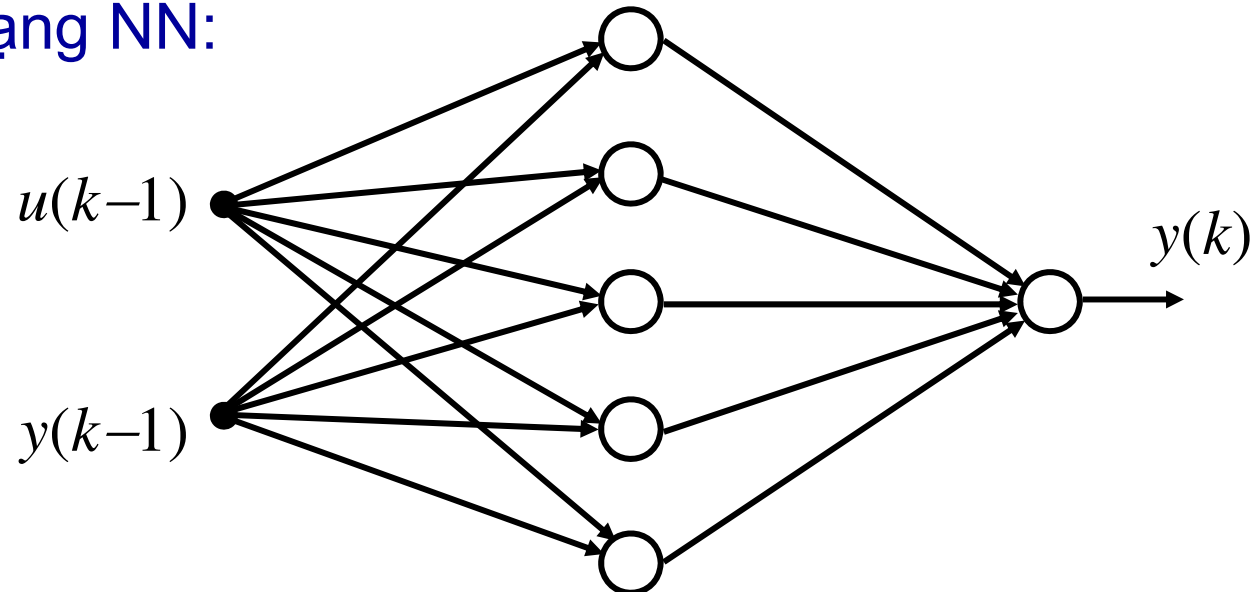
Cấu trúc mạng thần kinh nhận dạng hệ bốn đơn

- ❑ 2 ngõ vào: $y(k-1)$, $u(k-1)$
- ❑ 1 ngõ ra: $y(k)$
- ❑ Số tế bào thần kinh ở lớp ẩn: 5
- ❑ Hàm kích hoạt ở lớp ẩn: Sigmoid
- ❑ Hàm kích hoạt ở lớp ra: tuyến tính

Cấu trúc mạng thần kinh nhận dạng hệ bền đơn

$$y(k) = f_{NN}(u(k-1), y(k-1))$$

➤ Cấu trúc mạng NN:

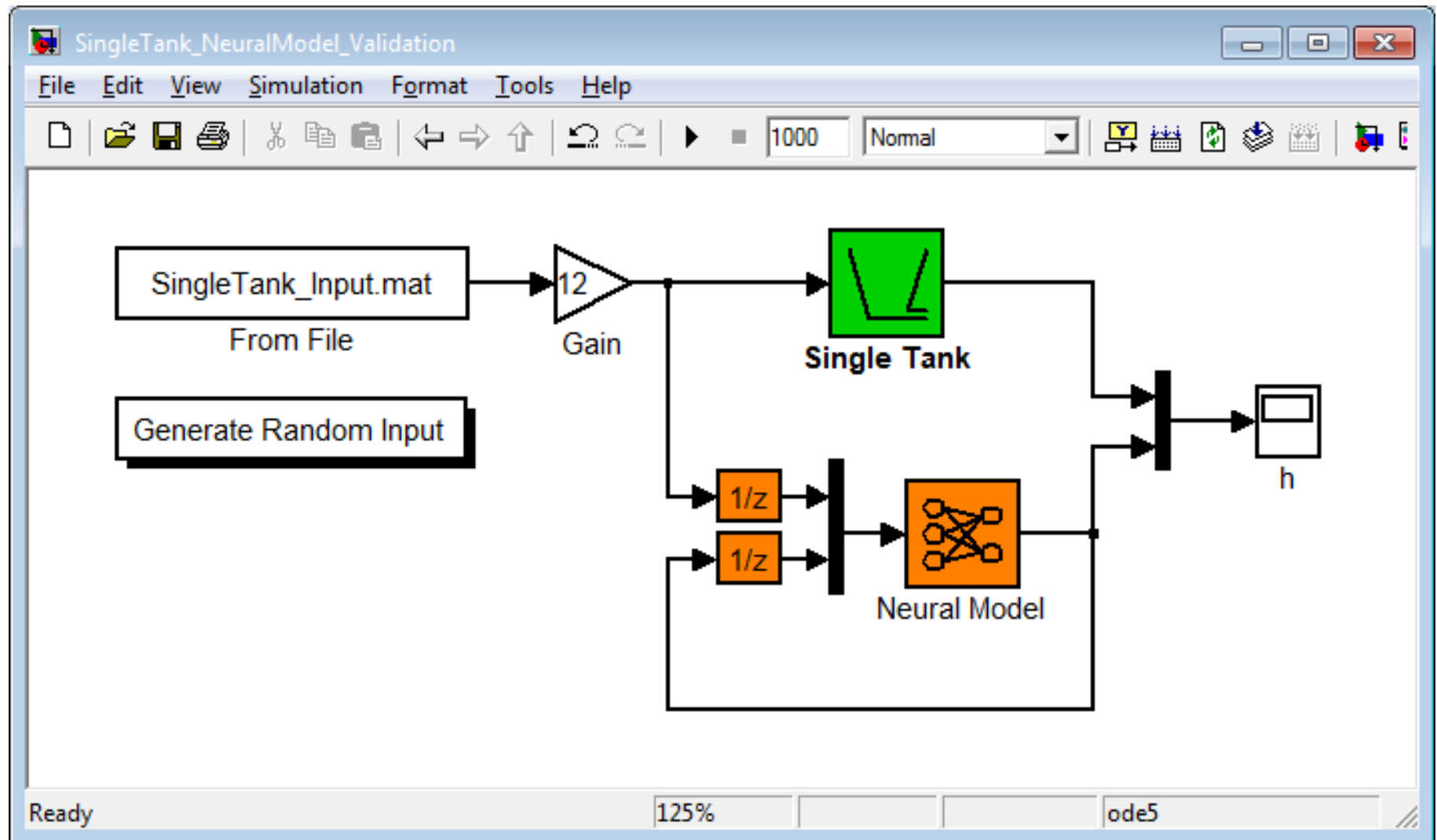


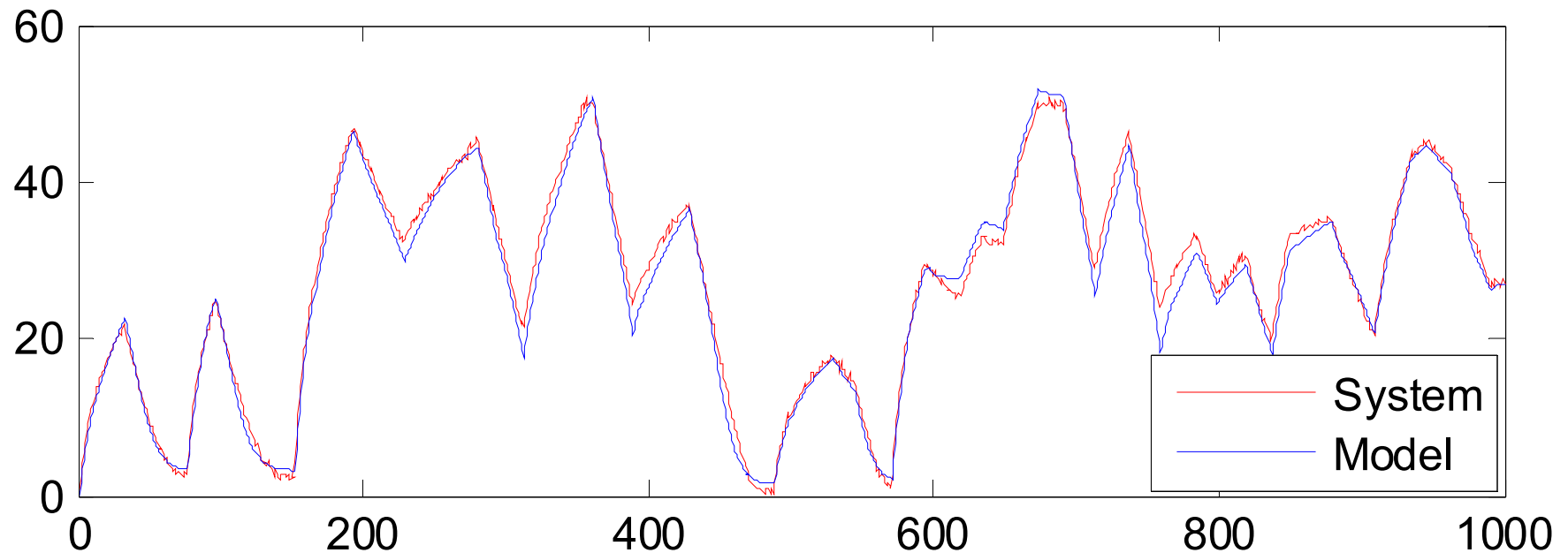
➤ Dữ liệu huấn luyện mạng:

$$X = \begin{bmatrix} u(1) & u(3) & \dots & u(K-1) \\ y(1) & y(2) & \dots & y(K-1) \end{bmatrix}$$

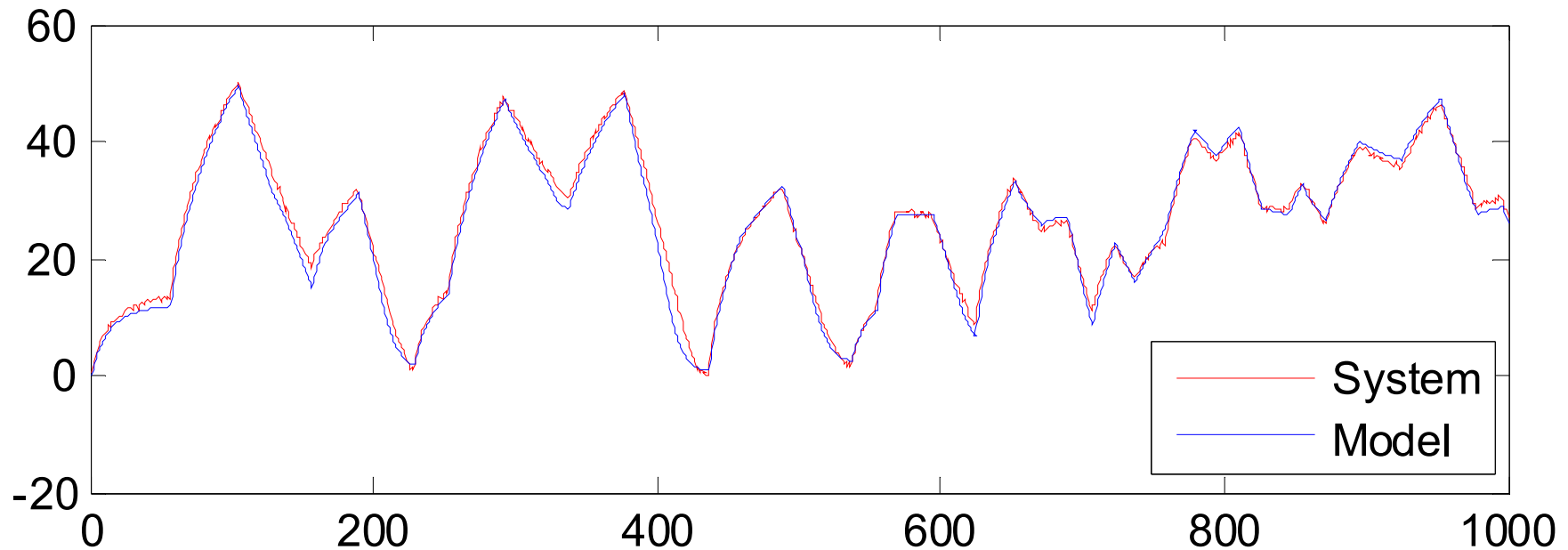
$$D = [y(2) \quad y(3) \quad \dots \quad y(K)]$$

Mô phỏng đánh giá mô hình mạng thần kinh



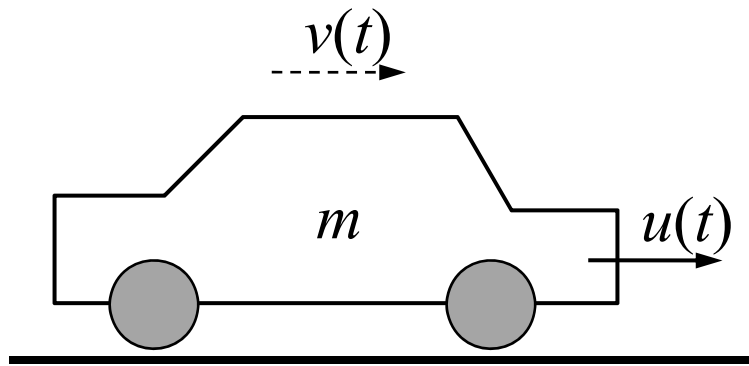


- ❑ Phân tích thặng dư: So sánh ngõ ra của mạng thần kinh với dữ liệu đã dùng để huấn luyện mạng.
- ⇒ Sai số giữa mô hình mạng thần kinh và tín hiệu ra của hệ đơn đơn không đáng kể



- ❑ Đánh giá chéo (Cross Validation): So sánh ngõ ra của mạng thần kinh với dữ liệu không dùng để huấn luyện mạng.
- ⇒ Sai số giữa mô hình mạng thần kinh và tín hiệu ra của hệ đơn đơn không đáng kể

Bài tập: Nhận dạng mô hình xe



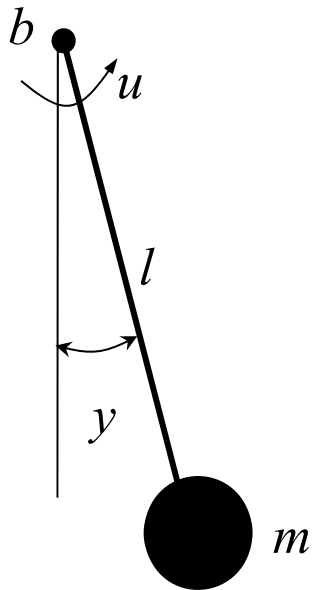
$$\begin{cases} \dot{v}(t) = \frac{1}{m}(-A_{\rho}v^2(t) - d + f(t)) \\ \dot{f}(t) = \frac{1}{\tau}(-f(t) + u(t)) \end{cases}$$

$$(m = 1300 \text{ kg}, A_{\rho} = 0.3 \text{ (Ns}^2/\text{m}^2), d = 100 \text{ (N)}, \tau = 0.2 \text{ (sec)})$$

Xét hệ thống điều khiển tốc độ xe ô tô, giả sử tầm của tín hiệu điều khiển là $-1000 \leq u \leq 1000 \text{ (N)}$, vận tốc chuyển động tối đa của xe là 30 (m/sec) . Giả sử tín hiệu đo vận tốc bị ảnh hưởng bởi nhiễu cộng có trung bình bằng 0 và phương sai bằng 0.1. Chu kỳ lấy mẫu 0.1 sec.

Hãy thiết kế mạng NN và huấn luyện mạng nhận dạng đặc tính động học phi tuyến của tốc độ xe ô tô

Bài tập: Nhận dạng đặc tính phi tuyến hệ con lắc



$m = 0.3(\text{kg})$: trọng lượng con lắc

$l = 0.5 (\text{m})$: chiều dài con lắc

$b = 0.2$: hệ số ma sát

$g = 9.81(\text{m.s}^2)$: gia tốc trọng trường

u : moment tác động vào trục quay

y : góc giữa con lắc và phương thẳng đứng [rad]

$$ml^2 \ddot{y}(t) + b\dot{y} + mgl \sin(y(t)) = u(t)$$

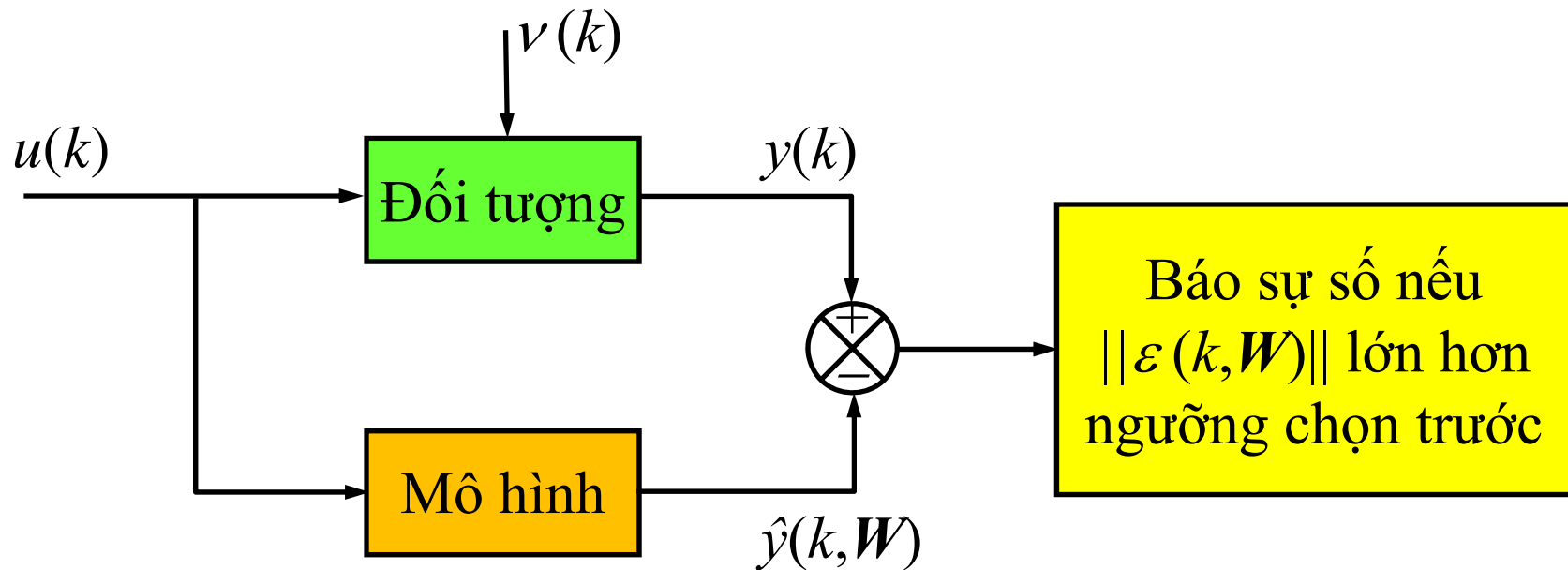
Giả sử tín hiệu đo góc con lắc bị ảnh hưởng bởi nhiễu có trung bình bằng 0 và phương sai bằng 0.001. Hãy thiết kế mạng thần kinh và huấn luyện mạng nhận dạng đặc tính động học phi tuyến của hệ con lắc trong miền $-\pi/3 < y < \pi/3$ (rad). Mô phỏng hệ thống với tín hiệu vào khác nhau chứng tỏ mạng thần kinh đã học được đặc tính phi tuyến của hệ con lắc.

(Chú ý cần chọn chu kỳ lấy mẫu phù hợp, gợi ý 0.01-0.2 giây.)



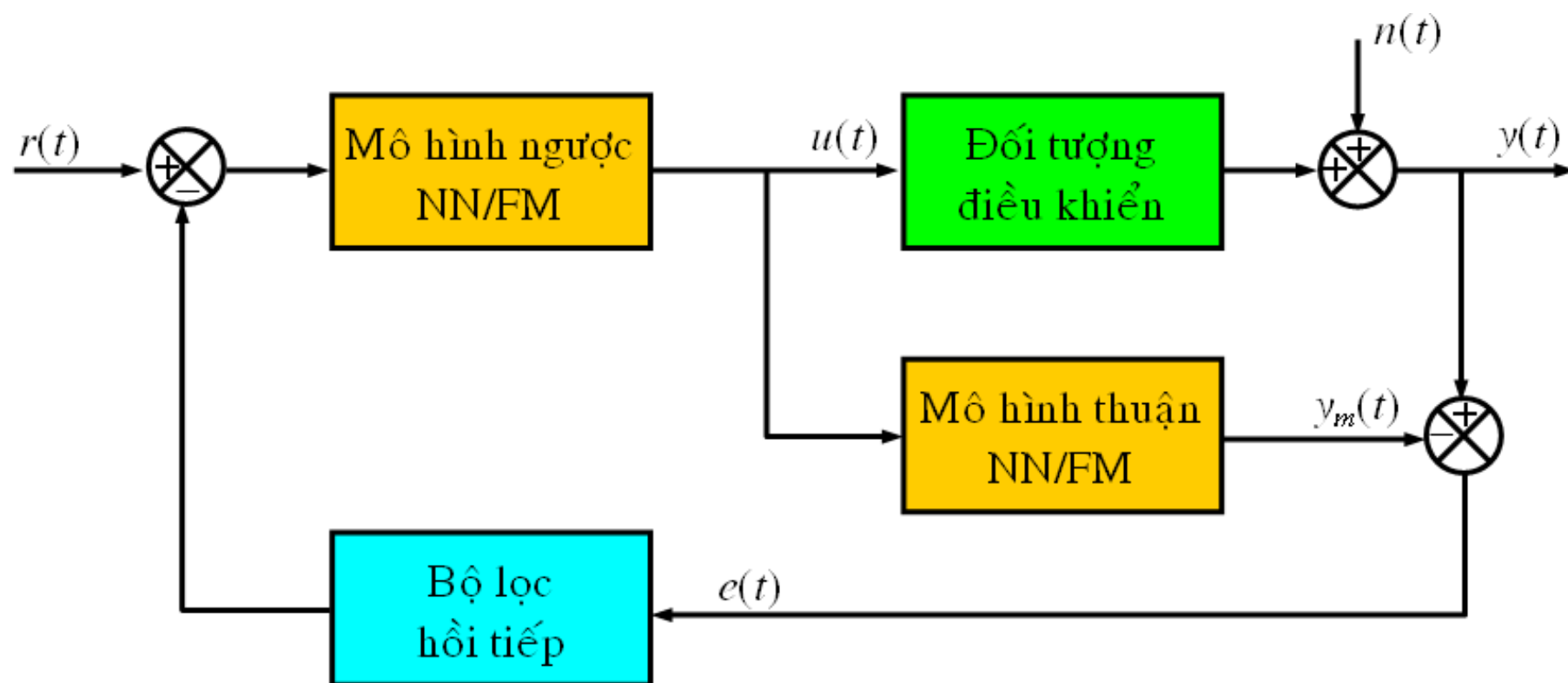
Bài tập: Nhận dạng đặc tính phi tuyến hệ con lắc

- ❑ Mô hình phi tuyến được ứng dụng trong:
 - Dự báo
 - Chuẩn đoán sự cố
 - Điều khiển: điều khiển dự báo, điều khiển thích nghi, điều khiển dùng mô hình ngược

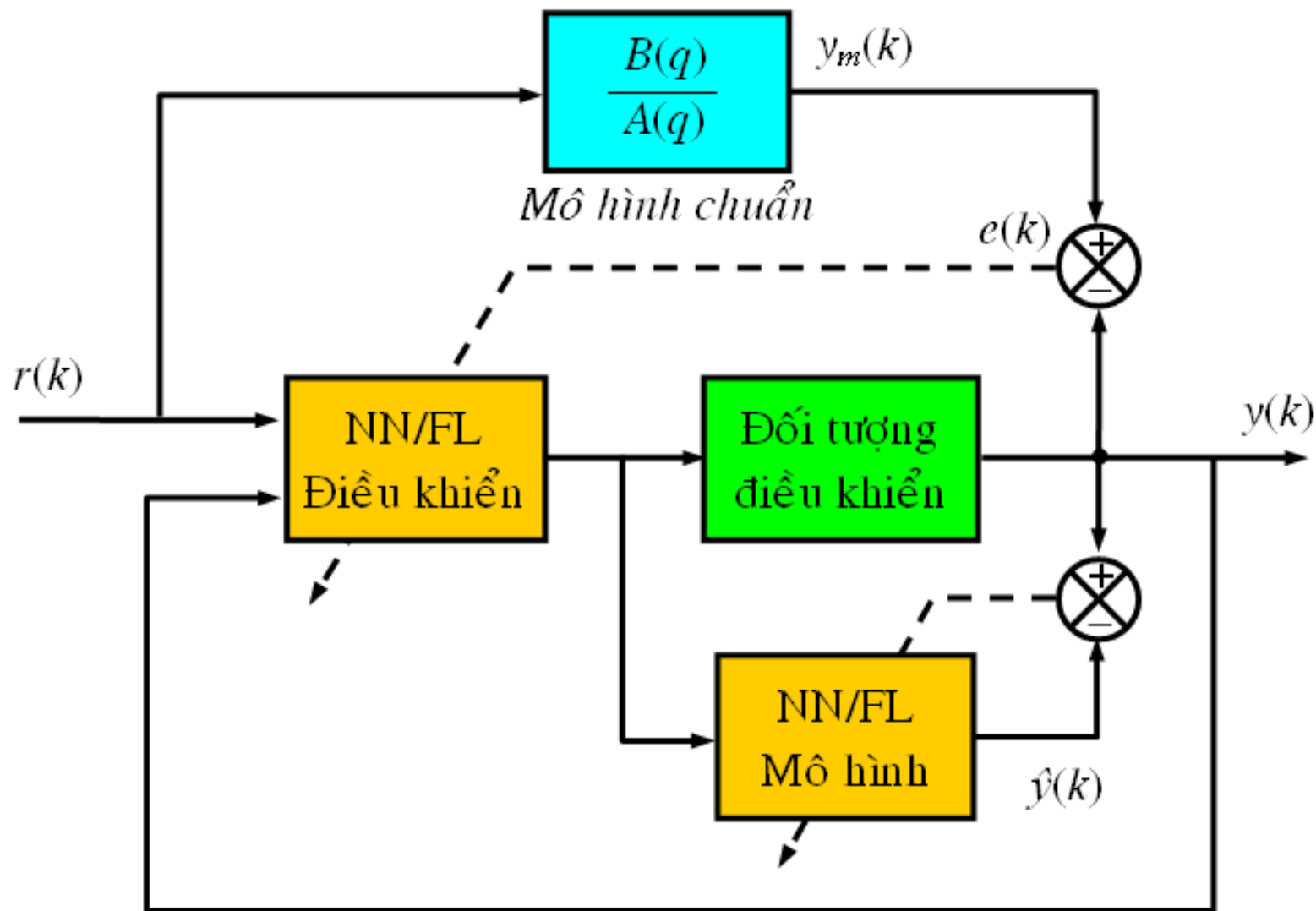


- ❑ Có thể sử dụng mô hình để chuẩn đoán sự cố động cơ điện, máy phát điện, các quá trình công nghiệp,...

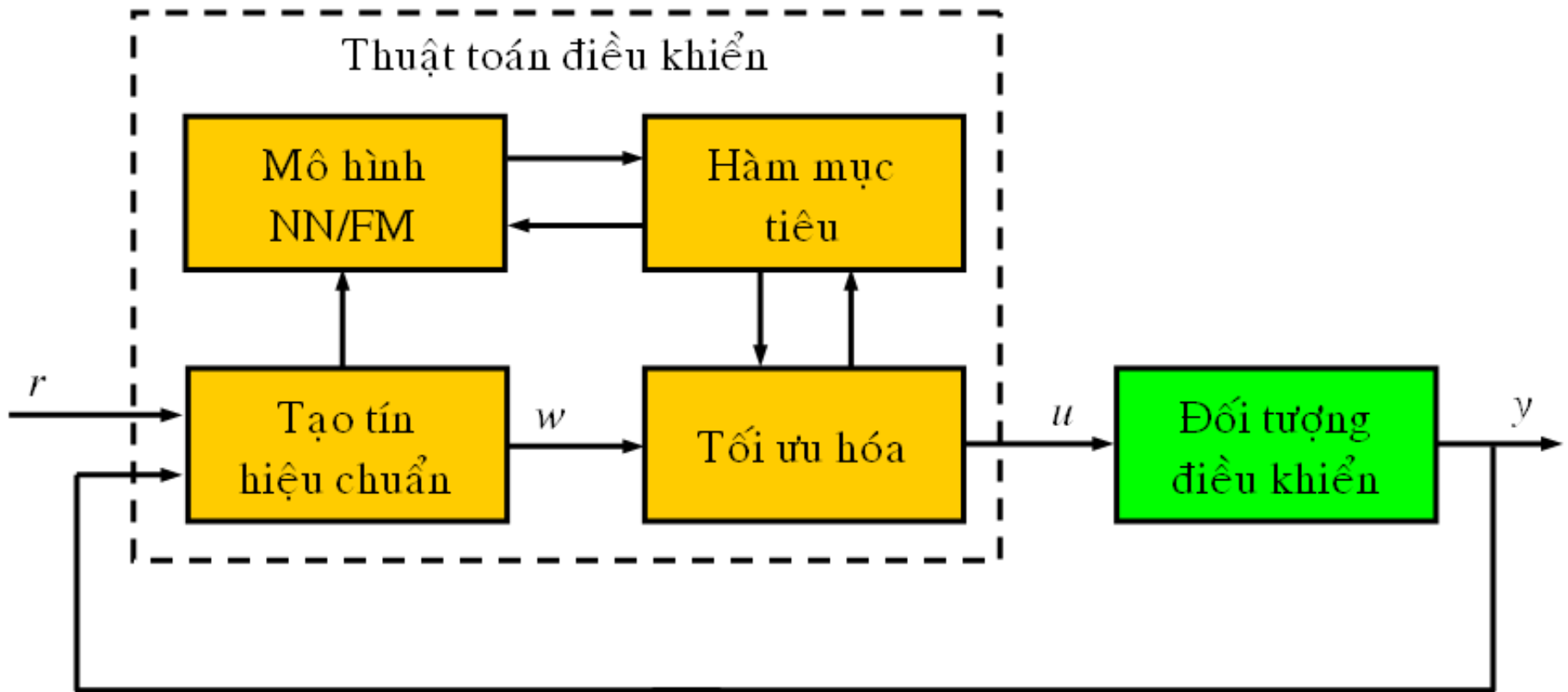
Điều khiển mô hình nội phi tuyến



Điều khiển theo mô hình chuẩn

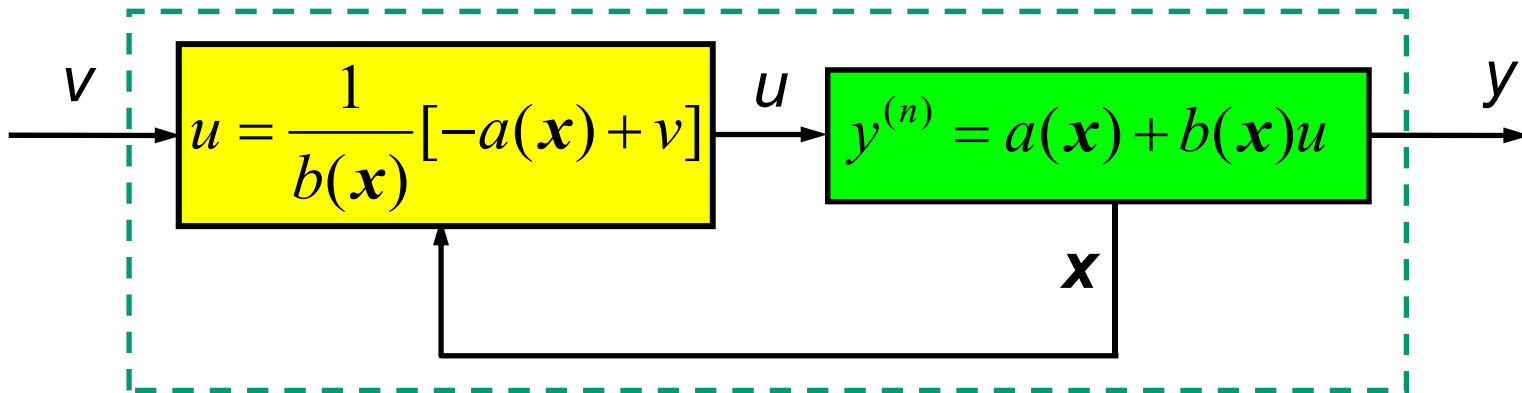
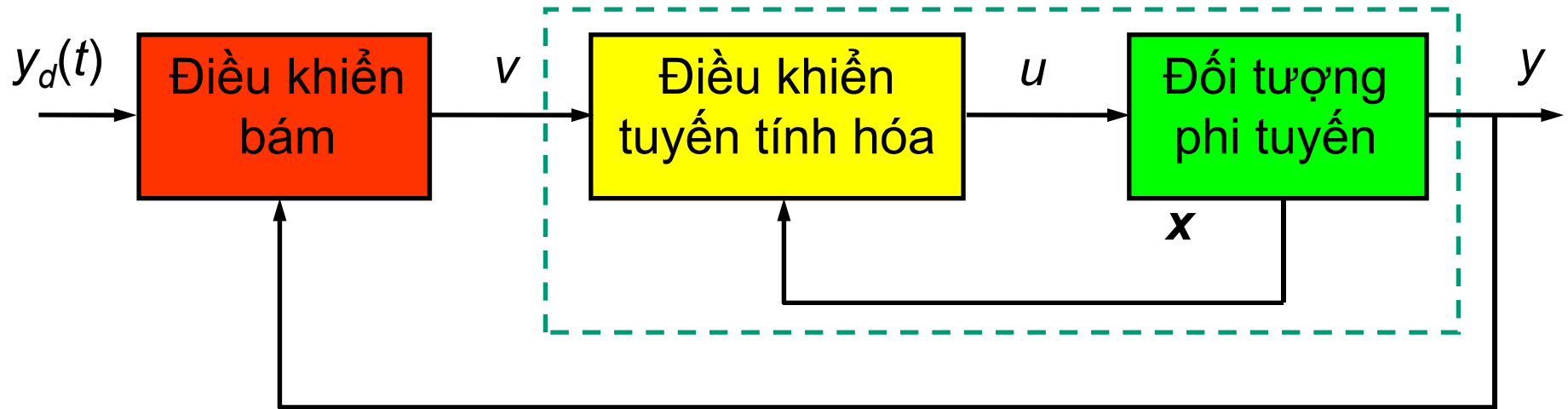


Điều khiển dự báo (Predictive Control)



- ★ Mô hình để dự báo đáp ứng của đối tượng trong tương lai
- ★ Thuật toán tối ưu hóa: tính toán chuỗi tín hiệu điều khiển tương lai bằng cách tối thiểu hóa một hàm mục tiêu.
- ★ Dời phạm vi dự báo theo thời gian sau mỗi chu kỳ lấy mẫu

Điều khiển thích nghi hệ phi tuyến hồi tiếp tuyến tính hóa



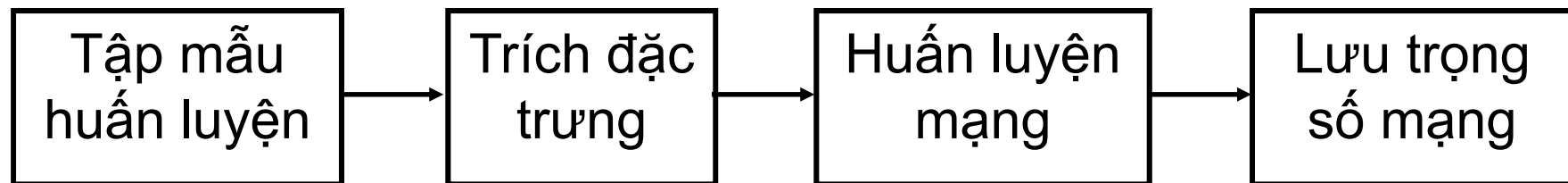
- ★ Dùng mạng thần kinh để nhận dạng trực tuyến các hàm $a(x)$ và $b(x)$ để thực hiện hệ thống điều khiển thích nghi gián tiếp

NHẬN DẠNG MẪU

- ★ Nhận dạng mẫu dùng mạng neuron: 2 bước
 - Huấn luyện mạng neuron dựa vào tập mẫu
 - Nhận dạng dùng mạng neuron đã huấn luyện

★ Huấn luyện mạng neuron:

- Trích đặc trưng
- Huấn luyện mạng sử dụng dữ liệu là các đặc trưng

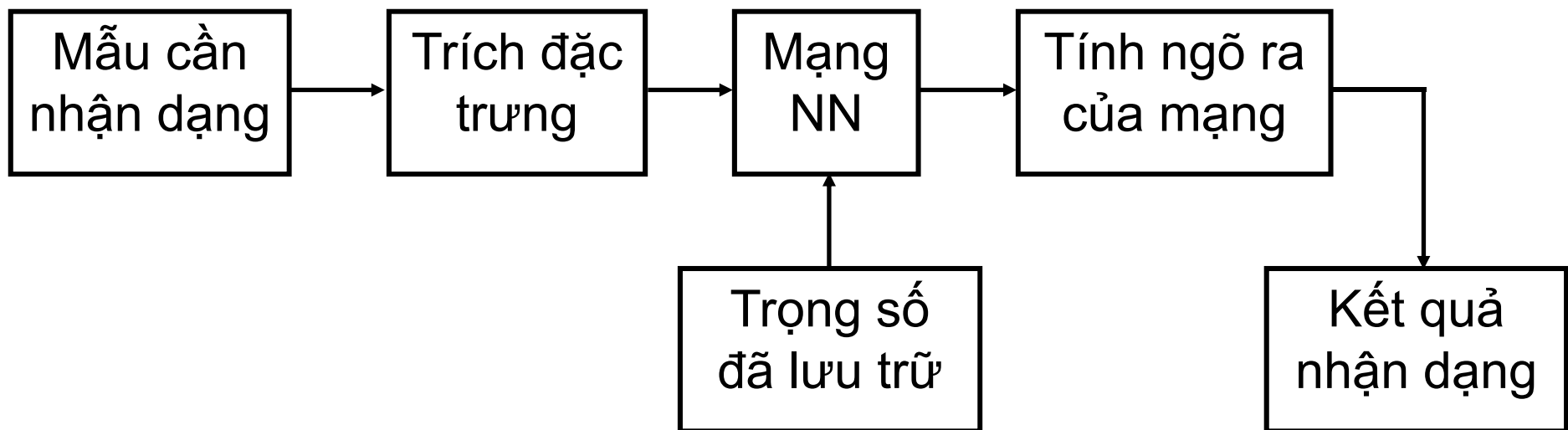


★ Trích đặc trưng: tùy theo từng bài toán cụ thể

- Nhận dạng tiếng nói: đặc trưng tần số, Mel,...
- Nhận dạng hình ảnh: đặc trưng mức xám của vùng ảnh, đặc trưng Haar, PCA,...

★ Nhận dạng:

- Trích đặc trưng
- Đưa đặc trưng vào ngõ vào của mạng, kết quả nhận dạng xuất hiện ở ngõ ra của mạng





Nhận dạng bảng số xe

- ★ Các bước thực hiện
 - Thu nhận ảnh bảng số
 - Tách bảng số
 - Tách chữ số
 - Trích đặc trưng
 - Huấn luyện mạng

★ Thu nhận ảnh bảng số



- ★ Một số phương pháp tách bảng số:
 - Nhận dạng màu
 - Dùng Haar-features và Adaboost
 - Phân tích phổ Fourier
 - Dùng đặc trưng các đường song song
 - Nhận dạng đường bao của khung bảng số

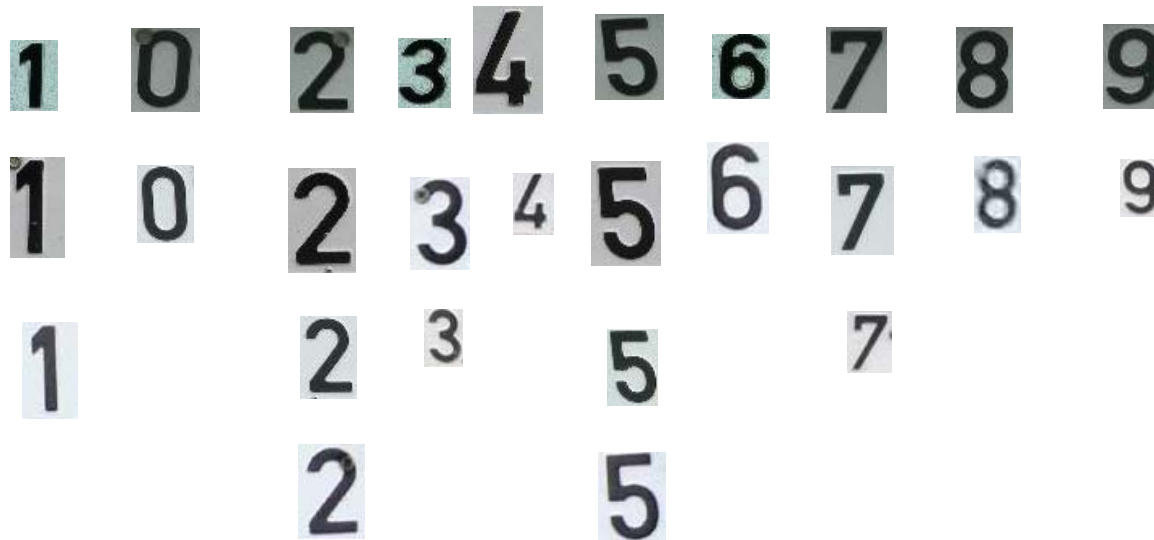
★ Tách chữ số

- Chia đều thành khoảng cố định



★ Tách chữ số

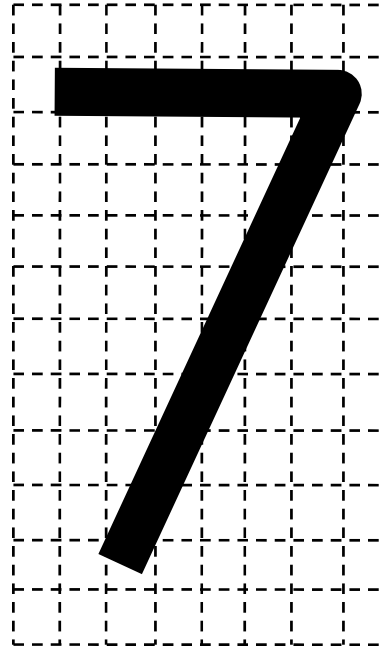
- Phương pháp đánh nhãn
- Phương pháp dựa vào cạnh lên và cạnh xuống
- ...



Các ký tự sau khi được tách

★ Trích đặc trưng

- Chia cửa sổ (ví dụ 12 hàng, 8 cột)
- Tính tổng pixel màu đen trong cửa sổ





Nhận dạng bảng số xe

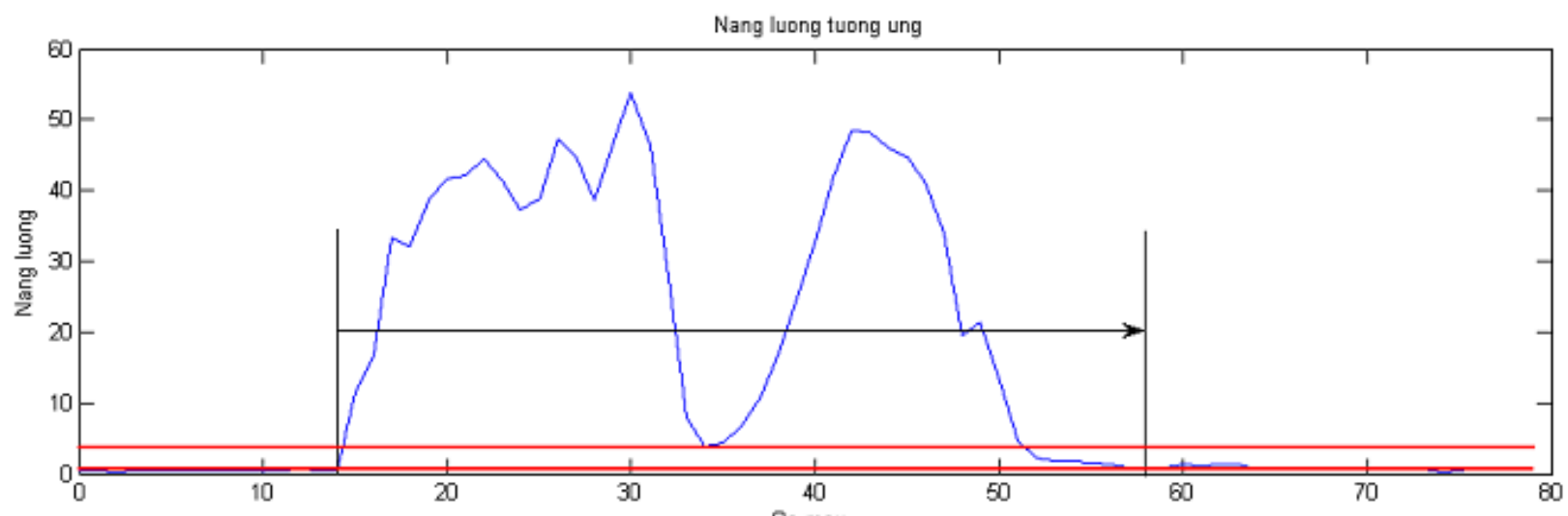
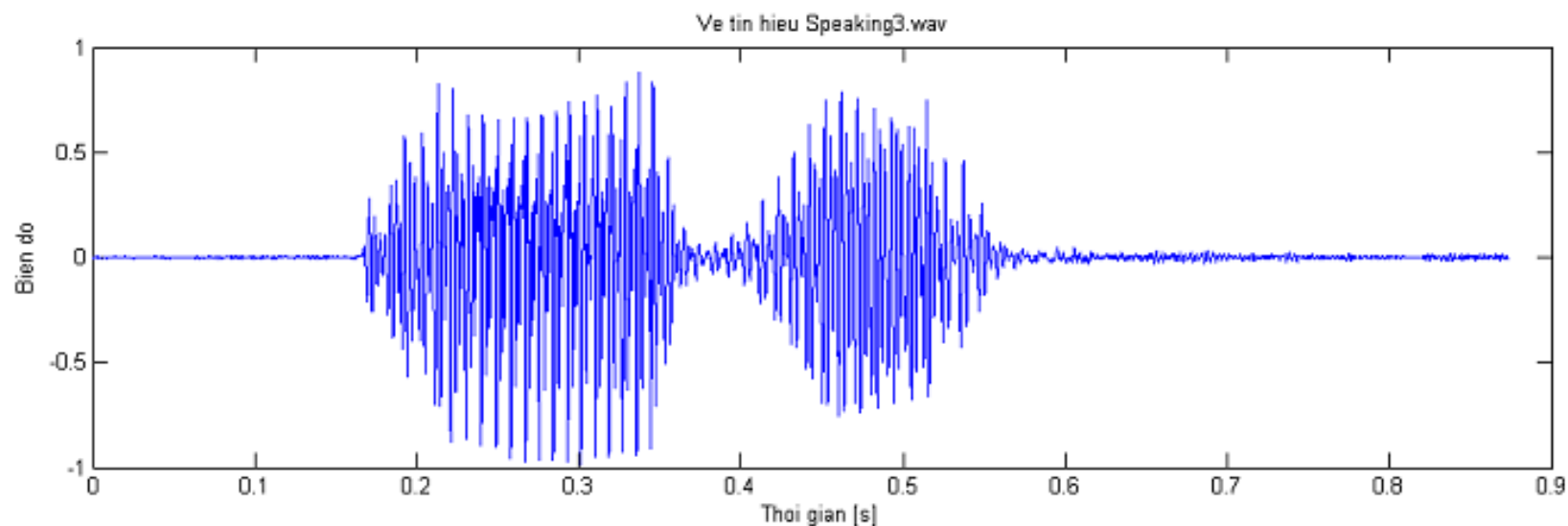
- ★ Tách bảng số
- ★ Tách chữ số
- ★ Trích đặc trưng
- ★ Huấn luyện mạng



Nhận dạng tiếng nói

- ★ Tách từ?
- ★ Đặc trưng?
- ★ Huấn luyện mạng
- ★ Nhận dạng

Tách từ dựa vào năng lượng





Chuẩn đầu ra chương 5

- ★ Huấn luyện mạng thần kinh học bộ điều khiển
- ★ Huấn luyện mạng thần kinh nhận dạng mô hình hệ phi tuyến
- ★ Huấn luyện mạng thần kinh dạng dạng đối tượng

- ★ Hiểu khái niệm về hệ thống điều khiển thông minh
- ★ Hiểu lý thuyết tập mờ, logic mờ, suy luận mờ và hệ mờ
- ★ Phân tích và thiết kế bộ điều khiển PID mờ
- ★ Hiểu khái niệm mạng thần kinh (nhân tạo), cấu trúc mạng và các thuật toán huấn luyện
- ★ Sử dụng mạng thần kinh trong nhận dạng và điều khiển
- ★ Phân tích các hệ thống điều khiển thông minh trong công nghiệp và dân dụng.
- ★ Sử dụng kỹ năng làm việc nhóm và kỹ năng giao tiếp để giải các bài tập lớn, đồ án thiết kế;
- ★ Sử dụng phần mềm Matlab trong mô phỏng và thiết kế hệ thống điều khiển thông minh