

TS. NGUYỄN NHƯ HIỀN & TS. LẠI KHÁC LÃI

# HỆ MỜ & NƠN

## TRONG KỸ THUẬT ĐIỀU KHIỂN

*Sách Chuyên khảo dùng cho đào tạo Sau đại học ngành Điều khiển & Tự động hoá*

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC TỰ NHIÊN VÀ CÔNG NGHỆ

HÀ NỘI – 2007

# MỤC LỤC

LỜI NÓI ĐẦU .....	6
Chương 1: LÔGIC MỜ.....	1
1.1. TỔNG QUAN VỀ LÔGIC MỜ.....	1
1.1.1. Quá trình phát triển của lôgic mờ .....	1
1.1.2. Cơ sở toán học của lôgic mờ.....	1
1.1.3. Lôgic mờ là lôgic của con người .....	2
1.2. KHÁI NIỆM VỀ TẬP MỜ.....	3
1.2.1. Tập kinh điển .....	3
1.2.3. Các thông số đặc trưng cho tập mờ .....	4
1.2.4. Các dạng hàm liên thuộc của tập mờ.....	5
1.3. CÁC PHÉP TOÁN TRÊN TẬP MỜ.....	5
1.3.1. Phép hợp hai tập mờ .....	5
1.3.2. Phép giao của hai tập mờ.....	6
1.3.3. Phép bù của một tập mờ .....	8
1.4. BIẾN NGÔN NGỮ VÀ GIÁ TRỊ CỦA BIẾN NGÔN NGỮ.....	8
1.5. LUẬT HỢP THÀNH MỜ .....	9
1.5.1. Mệnh đề hợp thành.....	9
1.5.2. Mô tả mệnh đề hợp thành .....	9
1.5.3. Luật hợp thành mờ.....	10
1.5.4. Các cấu trúc cơ bản của luật hợp thành .....	11
1.5.5. Luật hợp thành đơn có cấu trúc SISO.....	12
1.5.7. Luật của nhiều mệnh đề hợp thành.....	19
1.5.7. Luật hợp thành SUM-MIN và SUM-PROD.....	22
1.6. GIẢI MỜ .....	23
2.6.1. Phương pháp cực đại .....	24
Chương 2: ĐIỀU KHIỂN MỜ.....	29
2.1. CẤU TRÚC CỦA BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ.....	29
2.1.1. Sơ đồ khối bộ điều khiển mờ.....	29
2.1.2. Phân loại bộ điều khiển mờ .....	30
2.1.3. Các bước tổng hợp bộ điều khiển mờ.....	31
2.2. BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ TÌNH.....	32

2.2.1. Khái niệm.....	32
2.2.2. Thuật toán tổng hợp một bộ điều khiển mờ tĩnh .....	32
2.2.3. Tổng hợp bộ điều khiển mờ tuyến tính từng đoạn.....	33
2.3. BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ ĐỘNG.....	35
2.4. THIẾT KẾ HỆ ĐIỀU KHIỂN MỜ BẰNG PHẦN MỀM MATLAB .	37
2.4.1. Giới thiệu hộp công cụ logic mờ .....	37
2.3.2. Ví dụ thiết kế hệ mờ .....	41
2.5. HỆ ĐIỀU KHIỂN MỜ LAI (F-PID) .....	45
2.6. HỆ ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI MỜ .....	46
2.6.1. Khái niệm.....	46
2.6.2. Tổng hợp bộ điều khiển thích nghi mờ ổn định.....	48
2.7. TỔNG HỢP BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ THÍCH NGHI TRÊN CƠ SỞ LÝ THUYẾT THÍCH NGHI KINH ĐIỂN.....	58
2.7.1. Đặt vấn đề.....	58
2.7.2. Mô hình toán học của bộ điều khiển mờ .....	60
2.7.3. Xây dựng cơ cấu thích nghi cho bộ điều khiển mờ .....	66
2.7.4. Một số ứng dụng điều khiển các đối tượng công nghiệp.....	70
Chương 3: TỔNG QUAN VỀ MẠNG NƠON.....	75
3.1. NƠON SINH HỌC .....	75
3.1.1. Chức năng, tổ chức và hoạt động của bộ não con người.....	75
3.1.2. Mạng nơon sinh học .....	76
3.2. MẠNG NƠON NHÂN TẠO .....	77
3.2.1. Khái niệm.....	77
3.2.2. Mô hình nơon .....	80
3.3. CẤU TRÚC MẠNG.....	83
3.3.1. Mạng một lớp.....	83
3.3.2. Mạng nhiều lớp.....	84
3.4. CẤU TRÚC DỮ LIỆU VÀO MẠNG .....	87
3.4.1. Mô tả vectơ vào đối với mạng tĩnh.....	88
3.4.2. Mô tả vectơ vào liên tiếp trong mạng động .....	89
3.5. HUẤN LUYỆN MẠNG.....	92
3.5.1. Huấn luyện gia tăng .....	92
3.5.2 Huấn luyện mạng theo gói.....	94
Chương 4: MẠNG PERCEPTRONS .....	98
4.1. MỞ ĐẦU .....	98

4.1.1. Mô hình nơron perceptron .....	98
4.1.2. Kiến trúc mạng perceptron .....	100
4.2. THIẾT LẬP VÀ MÔ PHÒNG PERCEPTRON TRONG MATLAB	100
4.2.1 Thiết lập .....	100
4.2.2. Mô phỏng (sim) .....	102
4.2.3. Khởi tạo .....	103
4.3. CÁC LUẬT HỌC .....	104
4.3.1. Khái niệm.....	104
4.3.2. Luật học Perceptron (learnp) .....	105
4.3.3. Huấn luyện mạng (train).....	107
4.4. CÁC HẠN CHẾ CỦA PERCEPTRON .....	111
4.5. SỬ DỤNG GIAO DIỆN ĐỒ HỌA ĐỂ KHẢO SÁT MẠNG NƠN	112
4.5.1. Giới thiệu về GUI .....	112
4.5.2. Thiết lập mạng Perceptron (mntool).....	113
4.5.3. Huấn luyện mạng.....	115
4.5.4. Xuất kết quả Perceptron ra vùng làm việc.....	116
4.5.5. Xoá cửa sổ dữ liệu mạng (Network/Data Window) .....	117
4.5.6 Nhập từ dòng lệnh .....	117
4.5.7. Cài biến vào file và nạp lại nó .....	118
Chương 5: MẠNG TUYẾN TÍNH.....	119
5.1. MỞ ĐẦU .....	119
5.1.1. Khái niệm.....	119
5.1.2. Mô hình nơron .....	119
5.2. CẤU TRÚC MẠNG.....	120
5.2.1. Cấu trúc.....	120
5.2.2. Khởi tạo nơron tuyến tính (Newlin) .....	121
5.3. THUẬT TOÁN CỰC TIỂU TRUNG BÌNH BÌNH PHƯƠNG SAI LỆCH.....	122
5.4. THIẾT KẾ HỆ TUYẾN TÍNH.....	123
5.5. MẠNG TUYẾN TÍNH CÓ TRỄ.....	123
5.5.1 Mất trễ.....	123
5.5.2. Thuật toán LMS (learnwh) .....	123
5.5.3. Sự phân loại tuyến tính (train).....	125
5.6. MỘT SỐ HẠN CHẾ CỦA MẠNG TUYẾN TÍNH.....	126

Chương 6: HỆ MỜ - NƠON (FUZZY-NEURAL).....	128
6.1 SỰ KẾT HỢP GIỮA LOGIC MỜ VÀ MẠNG NƠON .....	128
6.1.1 Khái niệm.....	128
6.1.2. Kết hợp điều khiển mờ và mạng nơon .....	129
6.2. NƠON MỜ.....	133
6.3. HUẤN LUYỆN MẠNG NƠON-MỜ.....	135
6.4. SỬ DỤNG CÔNG CỤ ANFIS TRONG MATLAB ĐỂ THIẾT KẾ HỆ MỜ - NƠON (ANFIS and the ANFIS Editor GUI).....	139
6.4.1. Khái niệm.....	139
6.4.2. Mô hình học và suy diễn mờ thông qua ANFIS (Model Learning and Inferencce Through ANFIS).....	140
6.4.3. Xác nhận dữ liệu huấn luyện (Familiarity Breeds Validation)...	141
6.5. SỬ DỤNG BỘ SOẠN THẢO ANFIS GUI .....	143
6.5.1. Các chức năng của ANFIS GUI .....	143
6.5.2. Khuôn dạng dữ liệu và bộ soạn thảo ANFIS GUI: kiểm tra và huấn luyện (Data Formalities and the ANFIS Editor GUI: Checking and Training) .....	144
6.5.3. Một số ví dụ.....	145
6.6. SOẠN THẢO ANFIS TỪ DÒNG LỆNH.....	153
6.7. THÔNG TIN THÊM VỀ ANFIS VÀ BỘ SOẠN THẢO ANFIS EDITOR GUI.....	157
6.7.1. Dữ liệu huấn luyện (Training Data).....	158
6.7.2. Cấu trúc đầu vào FIS (Input FIS Structure).....	158
6.7.3. Các tùy chọn huấn luyện (Training Options) .....	159
6.7.4 Tùy chọn hiển thị Display Options .....	159
6.7.5. Phương pháp huấn luyện (Method) .....	160
6.7.6. Cấu trúc đầu ra FIS cho dữ liệu huấn luyện.....	160
6.7.7. Sai số huấn luyện .....	160
6.7.8. Bước tính (Step-size) .....	160
6.7.9. Dữ liệu kiểm tra (Checking Data).....	161
6.7.10. Cấu trúc đầu ra FIS cho dữ liệu kiểm tra (Output FIS Structure for Checking Data) .....	162
6.7.11. Sai số kiểm tra (Checking Error).....	162
 TÀI LIỆU THAM KHẢO .....	 163

## LỜI NÓI ĐẦU

Ngày nay, các hệ thống mờ và mạng nơ ron ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực của đời sống xã hội. Đặc biệt, trong lĩnh vực điều khiển và tự động hoá, hệ mờ và mạng nơ ron ngày càng chiếm ưu thế và đã mang lại nhiều lợi ích to lớn. Với ưu điểm cơ bản là có thể xử lý với độ chính xác cao những thông tin "không chính xác" hệ mờ và mạng nơ ron là cơ sở của hệ "điều khiển thông minh" và "trí tuệ nhân tạo".

Để đáp ứng nhu cầu tìm hiểu và ứng dụng logic mờ và mạng nơ ron của đông đảo bạn đọc, được sự cổ vũ và động viên của BGH trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, chúng tôi đã mạnh dạn viết cuốn sách "Hệ mờ và nơ ron trong kỹ thuật điều khiển".

Cuốn sách được viết dựa trên các bài giảng về hệ thống điều khiển thông minh cho học viên cao học ngành Tự động hoá trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp. Cuốn sách không phân tích quá sâu những vấn đề lý thuyết phức tạp mà chỉ cung cấp cho bạn đọc những nội dung rất cơ bản về Hệ mờ, mạng nơ ron nhân tạo và hệ Mờ-nơ ron. Mục tiêu cao hơn là giúp bạn đọc biết cách khai thác những công cụ sẵn có của phần mềm MATLAB để phân tích, thiết kế các bộ điều khiển mờ, nơ ron nhằm điều khiển các đối tượng trong công nghiệp. Mỗi phần đều có các ví dụ cụ thể để hướng dẫn thiết kế.

Cuốn sách là tài liệu tham khảo cho học viên cao học, sinh viên ngành Điều khiển, các kỹ sư ngành Điện, Công nghệ thông tin và các nghiên cứu sinh quan tâm đến lĩnh vực điều khiển mờ và mạng nơ ron.

Trong quá trình biên soạn, không tránh khỏi còn nhiều sai sót. Chúng tôi mong nhận được sự đóng góp ý kiến của đồng nghiệp và bạn đọc gần, xa.

Xin chân thành cảm ơn!

Thái Nguyên, ngày 01 tháng 12 năm 2006

**Các tác giả**

# Chương 1

## LÔGIC MỜ

### 1.1. TỔNG QUAN VỀ LÔGIC MỜ

#### 1.1.1. Quá trình phát triển của lôgic mờ

Từ năm 1965 đã ra đời một lý thuyết mới đó là lý thuyết tập mờ (Fuzzy set theory) do giáo sư Lofti A. Zadeh ở trường đại học California - Mỹ đưa ra. Từ khi lý thuyết đó ra đời nó được phát triển mạnh mẽ qua các công trình khoa học của các nhà khoa học như: Năm 1972 GS Terano và Asai thiết lập ra cơ sở nghiên cứu hệ thống điều khiển mờ ở Nhật, năm 1980 hãng Smith Co. bắt đầu nghiên cứu điều khiển mờ cho lò hơi... Những năm đầu thập kỷ 90 cho đến nay hệ thống điều khiển mờ và mạng nơron (Fuzzy system and neural network) được các nhà khoa học, các kỹ sư và sinh viên trong mọi lĩnh vực khoa học kỹ thuật đặc biệt quan tâm và ứng dụng trong sản xuất và đời sống. Tập mờ và lôgic mờ đã dựa trên các thông tin "không đầy đủ, về đối tượng để điều khiển đầy đủ về đối tượng một cách chính xác.

Các công ty của Nhật bắt đầu dùng lôgic mờ vào kỹ thuật điều khiển từ năm 1980. Nhưng do các phần cứng chuẩn tính toán theo giải thuật lôgic mờ rất kém nên hầu hết các ứng dụng đều dùng các phần cứng chuyên về lôgic mờ. Một trong những ứng dụng dùng lôgic mờ đầu tiên tại đây là nhà máy xử lý nước của Fuji Electric vào năm 1983, hệ thống xe điện ngầm của Hitachi vào năm 1987.

#### 1.1.2. Cơ sở toán học của lôgic mờ

Lôgic mờ và xác suất thông kê đều nói về sự không chắc chắn. Tuy nhiên mỗi lĩnh vực định nghĩa một khái niệm khác nhau về đối tượng.

Trong xác suất thống kê sự không chắc chắn liên quan đến sự xuất hiện của một sự kiện chắc chắn" nào đó.

Ví dụ: *Xác suất viên đạn trúng đích là 0,*

Bản thân của sự kiện "trúng đích" đã được định nghĩa rõ ràng, sự không

chắc chắn ở đây là có trúng đích hay không và được định lượng bởi mức độ xác suất (trong trường hợp này là 0,8). Loại phát biểu này có thể được xử lý và kết hợp với các phát biểu khác bằng phương pháp thống kê, như là xác suất có điều kiện chẳng hạn.

Sự không chắc chắn trong ngữ nghĩa, liên quan đến ngôn ngữ của con người, đó là sự không chính xác trong các từ ngữ mà con người dùng để ước lượng vấn đề và rút ra kết luận. Ví dụ như các từ mô tả nhiệt độ "nóng", "lạnh", "ấm" sẽ không có một giá trị chính xác nào để gán cho các từ này, các khái niệm này cũng khác nhau đối với những người khác nhau (là lạnh đối với người này nhưng không lạnh đối với người khác). Mặc dù các khái niệm không được định nghĩa chính xác nhưng con người vẫn có thể sử dụng chúng cho các ước lượng và quyết định phức tạp. Bằng sự trừu tượng và óc suy nghĩ, con người có thể giải quyết câu nói mang ngữ cảnh phức tạp mà rất khó có thể mô hình bởi toán học chính xác.

Sự không chắc chắn theo ngữ vựng: Như đã nói trên, mặc dù dùng những phát biểu không mang tính định lượng nhưng con người vẫn có thể thành công trong các ước lượng phức tạp. Trong nhiều trường hợp, con người dùng sự không chắc chắn này để tăng thêm độ linh hoạt. Như trong hầu hết xã hội, hệ thống luật pháp bao gồm một số luật, mỗi luật mô tả một tình huống. Ví dụ một luật quy định tội trộm xe phải bị tù 2 năm, một luật khác lại giảm nhẹ trách nhiệm. Và trong một phiên tòa, chánh án phải quyết định số ngày phạt tù của tên trộm dựa trên mức độ rượu trong người, trước đây có tiền án hay tiền sự không,... từ đó kết hợp lại đưa ra một quyết định công bằng.

### **1.1.3. Logic mờ là logic của con người**

Trong thực tế, ta không định nghĩa một luật cho một trường hợp mà định nghĩa một số luật cho các trường hợp nhất định. Khi đó những luật này là những điểm rời rạc của một tập các trường hợp liên tục và con người xấp xỉ chúng. Gặp một tình huống cụ thể, con người sẽ kết hợp những luật mô tả các tình huống tương tự. Sự xấp xỉ này dựa trên sự linh hoạt của các từ ngữ cấu tạo nên luật, cũng như sự trừu tượng và sự suy nghĩ dựa trên sự linh hoạt trong logic của con người.

Để thực thi logic của con người trong kỹ thuật cần phải có một mô hình toán học của nó. Từ đó logic mờ ra đời như một mô hình toán học cho phép



mô tả các quá trình quyết định và ước lượng của con người theo dạng giải thuật. Dĩ nhiên cũng có giới hạn, đó là logic mờ không thể bắt chước trí tưởng tượng và khả năng sáng tạo của con người. Tuy nhiên, logic mờ cho phép ta rút ra kết luận khi gặp những tình huống không có mô tả trong luật nhưng có sự tương đương. Vì vậy, nếu ta mô tả những mong muốn của mình đối với hệ thống trong những trường hợp cụ thể vào luật thì logic mờ sẽ tạo ra giải pháp dựa trên tất cả những mong muốn đó.

## 1.2. KHÁI NIỆM VỀ TẬP MỜ

### 1.2.1. Tập kinh điển

Khái niệm tập hợp được hình thành trên nền tảng logic và được định nghĩa như là sự sắp xếp chung các đối tượng có cùng tính chất, được gọi là phần tử của tập hợp đó.

Cho một tập hợp A, một phần tử x thuộc A được ký hiệu:  $x \in A$ . Thông thường ta dùng hai cách để biểu diễn tập hợp kinh điển, đó là:

Liệt kê các phần tử của tập hợp, ví dụ tập  $A_1 = \{\text{xe đạp, xe máy, xe ca, xe tải}\}$ ;

- Biểu diễn tập hợp thông qua tính chất tổng quát của các phần tử, ví dụ: tập các số thực (R), Tập các số tự nhiên (N).

Để biểu diễn một tập hợp A trên tập nền X, ta dùng hàm thuộc  $\mu_A(x)$ , với:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{khi } x \in A \\ 0 & \text{khi } x \notin A \end{cases} \quad \begin{array}{l} \mu_A(x) \text{ chỉ nhận một trong 2 giá trị "1"} \\ \text{hoặc "0"} \end{array}$$

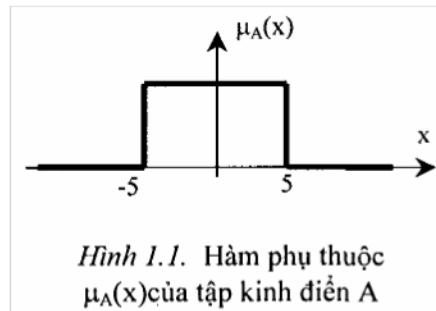
ký hiệu =  $\{x \in X \mid x \text{ thoả mãn một số tính chất nào đó}\}$ . Ta nói: Tập A được định nghĩa trên tập nền X.

Hình 1.1 mô tả hàm phụ thuộc  $\mu_A(x)$  của tập các số thực từ -5 đến 5.

$$A = \{x \in \mathbb{R} \mid 5 \leq x \leq 5\}$$

### 1.2.2. Định nghĩa tập mờ

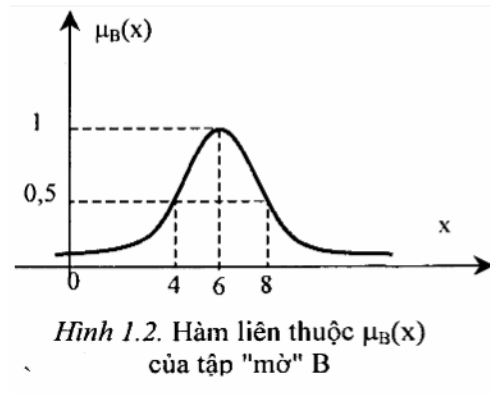
Trong khái niệm tập hợp kinh điển hàm phụ thuộc  $\mu_A(x)$  của tập A, chỉ có một trong hai giá trị là "1" nếu  $x \in A$  hoặc "0" nếu  $x \notin A$ .



Cách biểu diễn hàm phụ thuộc như trên sẽ không phù hợp với những tập được mô tả "mờ" như tập B gồm các số thực gần bằng 5:

$$B = \{x \in \mathbb{R} \mid x \approx 5\}.$$

Khi đó ta không thể khẳng định chắc chắn số 4 có thuộc B hay không? mà chỉ có thể nói nó thuộc B bao nhiêu phần trăm. Để trả lời được câu hỏi này, ta phải coi hàm phụ thuộc  $\mu_B(x)$  có giá trị trong khoảng từ 0 đến 1 tức là:  $0 \leq \mu_B(x) \leq 1$ .



Hình 1.2. Hàm liên thuộc  $\mu_B(x)$  của tập "mờ" B

Từ phân tích trên ta có định nghĩa: Tập mờ B xác định trên tập kinh điển M là một tập mà một phần tử của nó được biểu diễn bởi một cặp giá trị  $(x, \mu_B(x))$ . Trong đó  $x \in M$  và  $\mu_B(x)$  là ánh xạ.

Ánh xạ  $\mu_B(x)$  được gọi là hàm liên thuộc của tập mờ B. Tập kinh điển M được gọi là cơ sở của tập mờ B.

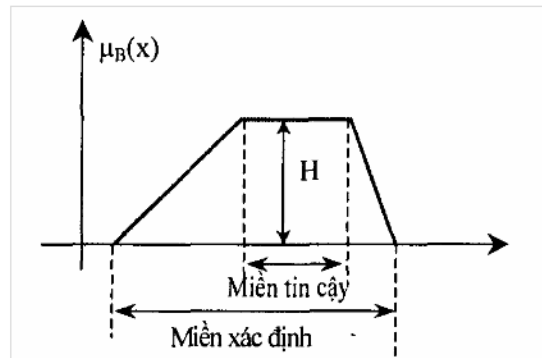
### 1.2.3. Các thông số đặc trưng cho tập mờ

Các thông số đặc trưng cho tập mờ là độ cao, miền xác định và miền tin cậy (hình 1.3)

+ **Độ cao** của một tập mờ B (Định nghĩa trên cơ sở M) là giá trị lớn nhất trong các giá trị của hàm liên thuộc:

$$H = \sup_{x \in M} \mu_B(x)$$

Một tập mờ có ít nhất một phần tử có độ phụ thuộc bằng 1 được gọi là tập mờ chính tắc ( $H = 1$ ). Ngược lại, một tập mờ B với  $H < 1$  gọi là tập mờ không chính tắc.



Hình 1.3. Độ cao, miền xác định, miền tin cậy của tập mờ

+ **Miền xác định** của tập mờ B (Định nghĩa trên cơ sở M) được ký hiệu bởi S là tập con của M có giá trị hàm liên thuộc khác không: