

LÔGIC MỜ VÀ ỨNG DỤNG CỦA NÓ TRONG TRÍ TUỆ NHÂN TẠO

PHẠM VĂN DƯƠNG (*)

Bài viết giới thiệu logic mờ – một khuynh hướng logic phi cổ điển, trong đó tập trung vào một số vấn đề cơ bản nhất: khái niệm tập mờ và hàm đặc trưng; khái niệm logic mờ, chủ yếu là logic mệnh đề mờ và một số quy tắc logic mệnh đề mờ. Trên cơ sở đó, tác giả phân tích vai trò, ứng dụng của logic mờ trong việc xác lập hệ điều khiển mờ, một thành tựu trí tuệ nhân tạo. Theo tác giả, nhờ sử dụng được các kinh nghiệm vận hành đối tượng và xử lý điều khiển của các chuyên gia trong thuật toán điều khiển, hệ điều khiển mờ có khả năng tiến gần với tư duy điều khiển của con người.

Trong quá trình chinh phục tự nhiên, con người không ngừng cải tiến và hoàn thiện công cụ lao động nhằm mục đích tăng hiệu suất lao động, mang lại ngày càng nhiều của cải vật chất phục vụ cho cuộc sống của mình. Ngày nay, khi mà khoa học, kỹ thuật và công nghệ đã phát triển đến trình độ rất cao, con người ngày càng chuyển giao cho máy móc không chỉ các thao tác hoạt động cơ bắp mà cả một số thao tác hoạt động trí tuệ nữa. Kết quả là con người đã chế tạo ra những công cụ sản xuất “thông minh”. Tin học hoá và tự động hoá các dây chuyền công nghệ sản xuất đang là một xu thế của thời đại. Cơ sở của tự động hoá là các máy móc cơ khí được điều khiển bằng máy tính cài đặt các chương trình logic khiến chúng có khả năng hoạt động mô phỏng theo hoạt động của bộ não người. Những chiếc máy tính có khả năng đưa ra những tín hiệu điều khiển, dựa trên sự phân tích các tín hiệu phản hồi, hoạt động mô phỏng như hoạt động của tư duy con người được gọi là *trí tuệ nhân tạo*.

Để có được trí tuệ nhân tạo, cần phải hội đủ ba nền tảng quan trọng là toán học, điện tử học và logic học. Toán học có nhiệm

vụ xây dựng các chương trình thuật toán, các hệ đếm; điện tử học có vai trò xây dựng các mạch điện logic, các bộ nhớ và bộ xử lý vi điện tử - bộ não máy móc; logic học có vai trò xây dựng các hệ ngôn ngữ, các hệ suy diễn và phép tính logic. Trí tuệ nhân tạo không thể ra đời nếu thiếu một trong ba nền tảng quan trọng đó.

Tuy nhiên, trong phạm vi bài báo này, chúng tôi chỉ xin được đề cập một vấn đề rất nhỏ trong cụm vấn đề về vai trò của logic học đối với sự ra đời của trí tuệ nhân tạo. Cụ thể là, bài viết sẽ xem xét vai trò của logic mờ trong việc phân tích các mệnh đề mờ, nhằm mục đích *lượng hoá* giá trị logic của chúng và chuyển giao cho bộ não điện tử để đưa ra những tín hiệu điều khiển tự động hệ thống.

1. Tính “mờ” của ngôn ngữ tự nhiên

Trong cuộc sống, con người truyền thông tin cho nhau chủ yếu bằng ngôn ngữ tự nhiên. Mặc dù ngôn ngữ tự nhiên thường đa nghĩa hoặc có khi thiếu chính xác, nhưng nó vẫn là phương tiện truyền thông tin mạnh mẽ và thông dụng nhất giữa con người với nhau. Vượt qua tất cả những hạn

(*) Nghiên cứu viên Phòng Logic học, Viện Triết học, Viện Khoa học xã hội Việt Nam

chế độ của ngôn ngữ tự nhiên (đa nghĩa, thiếu chính xác, không rõ ràng (vagueness)), con người thường hiểu đúng và ít khi hiểu sai những điều mà người khác muốn nói với mình. Đây là điều mà máy móc từ trước tới nay không thể thực hiện được một cách hoàn hảo.

Tham vọng của các nhà toán học, lôgic học và công nghệ thông tin là muốn xây dựng cho máy móc khả năng suy diễn và xử lý thông tin, tức hoạt động tương tự như bộ óc của con người, để chúng có thể tiếp nhận những mệnh lệnh của con người thông qua ngôn ngữ tự nhiên và thực thi nhiệm vụ đó. Như vậy, vấn đề đặt ra ở đây là làm thế nào để máy tính hiểu được các mệnh đề của ngôn ngữ tự nhiên, ví dụ: "Bill Gate là một nhà tỷ phú", "Thanh là người cao", "Thời tiết hôm nay mát mẻ"...? Những mệnh đề này có nghĩa Bill Gate có tổng trị giá tài sản là 10 tỷ đô la hay 50 tỷ đô la, Thanh cao 1m70 hay 1m85, thời tiết hôm nay có nhiệt độ 18°C hay 25°C?

Để máy móc có thể hiểu và xử lý được những tri thức diễn đạt bằng ngôn ngữ tự nhiên, người ta cần phải xây dựng một lý thuyết lôgic toán cho phép mô tả chính xác ý nghĩa của các mệnh đề không rõ ràng, đa nghĩa; chẳng hạn: giàu, nghèo, cao, thấp, già, trẻ, đắt, rẻ, nhanh, chậm, mát mẻ, oi bức, sạch, bẩn... Vào năm 1965, Lotti Zahden, một nhà lôgic học và cũng là nhà toán học người Hà Lan, đã xây dựng thành công lý thuyết tập mờ và hệ thống lôgic mờ(1). Phát minh này của Lotti Zahden đã cho phép người ta có thể lượng hoá giá trị các mệnh đề mờ, nhờ đó truyền đạt một số thông tin cho máy móc qua ngôn ngữ tự nhiên, và chúng có thể "hiểu" khá chính xác nội dung của những thông tin đó. Đây là một bước tiến có tính đột phá trong việc phiên dịch hay *lượng hoá* những mệnh đề

của ngôn ngữ tự nhiên (có giá trị nội dung "không rõ ràng") sang ngôn ngữ nhân tạo.

2. Khái niệm chung về tập mờ

Trước khi đi vào tìm hiểu tập mờ, chúng ta hãy tìm hiểu những thuộc tính của tập rõ (tập cổ điển). Một tập rõ A trong một phạm vi nào đó có thể được xác định bằng cách liệt kê tất cả các phần tử của nó, chẳng hạn $A = \{0, 2, 4, 6, 8\}$. Trong trường hợp không thể liệt kê hết được các phần tử của tập A, người ta có thể chỉ ra những tính chất chính xác của những phần tử trong tập A phải thoả mãn, chẳng hạn $A = \{x \mid x \text{ là số tự nhiên}\}$. Một tính chất quan trọng nhất của tập rõ mà chúng ta cần chú ý, đó là một tập rõ hoàn toàn được xác định bởi *hàm đặc trưng* của nó. Hàm đặc trưng của tập rõ A được ký hiệu là $\lambda_A(x)$, là một *hàm chỉ nhận một trong hai giá trị* (0/1), nó nhận giá trị 1 khi x thuộc tập A và nhận giá trị 0 khi x không thuộc tập A. *Các phần tử của tập rõ luôn có một ranh giới rõ ràng giữa các phần tử thuộc và các phần tử không thuộc nó.* Trở lại ví dụ "người trẻ", những người thuộc độ tuổi nào được coi là trẻ? Giả sử chúng ta quy ước những người dưới 25 tuổi là trẻ, những người trên 55 tuổi là không trẻ. Như vậy, những người có độ tuổi từ 30, 35, 40, 45, 50 là người già hay trẻ? Trước đây, những người 50 tuổi đã được coi là già, bây giờ 50 tuổi không phải là già, nhưng cũng không được coi là trẻ. Như vậy, mệnh đề "x là người trẻ" không phải là một mệnh đề chính xác – cho phép xác định một tập rõ. Cũng tương tự như mệnh đề trên, các mệnh đề "y là người đẹp", "z là người giàu",... không phải là những mệnh đề "chính xác". Nếu tập rõ được xác định bởi các tính chất chính xác cho phép chúng ta biết một đối tượng là thuộc hay không thuộc tập đã cho và hàm

(1) *Từ điển triết học Cambridge*. Nhà xuất bản Cambridge 1995, tr.290.

đặc trưng của tập rõ chỉ nhận hai giá trị 0 hoặc 1, hàm đặc trưng của tập rõ nhận giá trị là 1 khi đối tượng thuộc tập đã cho; ngược lại, nó sẽ nhận giá trị 0 khi đối tượng không thuộc tập đó. Những ví dụ trên cho thấy, các tập mờ có đặc trưng là tính không rõ ràng, không chính xác. Các tập mờ được xác định bởi hàm đặc trưng mà giá trị của nó là các số thực từ 0 đến 1(2). Chẳng hạn, tập mờ những người thoả mãn tính chất người trẻ (chúng ta gọi là tập mờ người trẻ) được xác định bởi hàm đặc trưng nhận giá trị 1 trên tất cả mọi người dưới 25 tuổi, nhận giá trị 0 trên tất cả những người trên 55 tuổi và nhận giá trị giảm dần từ 1 tới 0 trên các tuổi từ 25 đến 55. Một tập mờ A trong miền U được xác định là một hàm $\mu_A: U \rightarrow [0, 1]$. Hàm μ_A được gọi là hàm đặc trưng của tập mờ A, còn $\mu_A(x)$ được gọi là mức độ thuộc của x vào tập mờ A. Khái niệm tập mờ là một khái niệm toán học hoàn toàn chính xác: một tập mờ trong miền U là một hàm xác định trên U và nhận những giá trị trong khoảng [0,1]. Như vậy, tập mờ là sự tổng quát của tập rõ bởi hàm đặc trưng của nó có thể lấy giá trị bất kỳ trong khoảng [0, 1], trong khi hàm đặc trưng của tập rõ chỉ lấy hai giá trị 0 hoặc 1. Nói cách khác, tập rõ là một tập mờ đặc biệt vì hàm đặc trưng của nó chỉ nhận hai giá trị [0, 1], còn hàm đặc trưng của tập mờ có thể nhận mọi giá trị trong khoảng này. Khái niệm tập mờ là sự tổng quát hoá khái niệm tập rõ. Người ta biểu diễn tập mờ A trong miền U bởi tất cả các cặp phân tử và mức độ thuộc của nó: $A = \{(x, \mu_A(x)) / x \in U\}$.

Ví dụ: giả sử vận tốc cho phép đối với xe du lịch 4 chỗ ngồi trên đường cao tốc từ 10 đến 100km/h và mỗi thang trên đồng hồ đo tốc độ ứng với 10 km, $U = \{10, 20, 30, 40...100\}$; chúng ta hãy xác định tập mờ A = “vận tốc cao”, B = “vận tốc trung bình”, C

= “vận tốc thấp” bằng cách cho mức độ thuộc của các vận tốc vào mỗi tập mờ trong bảng sau:

Vận tốc	A (vận tốc cao)	B (vận tốc trung bình)	C (vận tốc thấp)
10	0	0	1
20	0	0,1	0,8
30	0	0,5	0,7
40	0	0,8	0,6
50	0,1	1	0,4
60	0,2	0,8	0,1
70	0,5	0,3	0
80	0,8	0	0
90	1	0	0
100	1	0	0

Ví dụ này cho chúng ta thấy rằng, các tập mờ A, B, C biểu diễn những tính chất không chính xác, không rõ ràng. Qua bảng trên, chúng ta cũng thấy rõ tính chất của tập mờ - một tập mờ bao giờ cũng có nhân (tâm của tập mờ, là những phần tử thuộc tập mờ mà giá trị của hàm đặc trưng tại những điểm đó nhận giá trị gần 1).

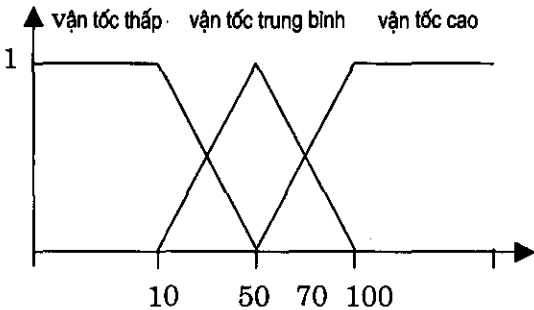
Như vậy, tập mờ dùng để biểu diễn các tính chất mờ. Khi biểu diễn một tính chất mờ bởi một tập mờ A và x là một phần tử bất kỳ thì mức độ thuộc của x vào tập mờ A là một số $\mu_A(x) \in [0, 1]$ (số này có giá trị nằm trong khoảng từ 0 đến 1). Nhân của tập mờ là những phần tử mà ở đó giá trị của hàm đặc trưng gần với 1.

3. Biến ngôn ngữ và mệnh đề mờ

Trong đời sống hàng ngày, chúng ta vẫn thường nói: “nhiệt độ cao”, “nhiệt độ trung bình”, “nhiệt độ thấp”. Chúng ta có thể xem biến “nhiệt độ” lấy các từ “cao”, “trung bình”, “thấp” làm các giá trị của nó. Khi một biến nhận các từ trong ngôn ngữ tự

(2) Từ điển triết học Cambridge. Sđd., tr.290.

nhiên làm các giá trị thì biến đó được gọi là biến ngôn ngữ (linguistic variable). Khái niệm này được L.Zadeh xây dựng năm 1973. Một biến ngôn ngữ được xác định bởi bộ bốn (x, T, U, M) . Trong đó, x là tên biến, chẳng hạn: “tốc độ”, “nhiệt độ”, “người giàu”...; T là một tập nào đó mà biến x có thể nhận, ví dụ nếu x là “nhiệt độ” thì T có thể là $T = \{\text{lạnh, mát, nóng, rất nóng}\}$, U là miền các giá trị vật lý mà biến số x có thể nhận, chẳng hạn: nếu x là “nhiệt độ” của một phòng có gắn máy điều hoà có giới hạn nhiệt độ từ 16 đến 30°C thì $U = [16...30]$; M là luật ngữ nghĩa, ứng với từ $t \in T$ với một tập mờ A_t trên miền U , ví dụ: x là “tốc độ”, $T = \{\text{vận tốc thấp, vận tốc trung bình, vận tốc cao}\}$ và các từ “vận tốc thấp”, “vận tốc trung bình”, “vận tốc cao” được xác định bởi các tập mờ trong hình vẽ sau:



Như vậy, biến ngôn ngữ chính là biến có thể nhận giá trị là các tập mờ trên một miền nào đó.

Trong logic cổ điển, một mệnh đề nguyên tử $P(x)$ là một mệnh đề có dạng x là P ; trong đó, x là ký hiệu một đối tượng nằm trong một tập các đối tượng U nào đó, P là một tính chất nào đó của các đối tượng trong U . Ví dụ, các mệnh đề: M là số nguyên, Y là người Việt Nam...

Trong các mệnh đề nguyên tử của logic cổ điển, tính chất P cho phép chúng ta xác định một tập con rõ A của U sao cho $x \in A$ và nếu x thoả mãn tính chất P . Ví dụ, tính chất “là số nguyên tố” xác định một tập con rõ của tập tất cả các số nguyên, đó là tập

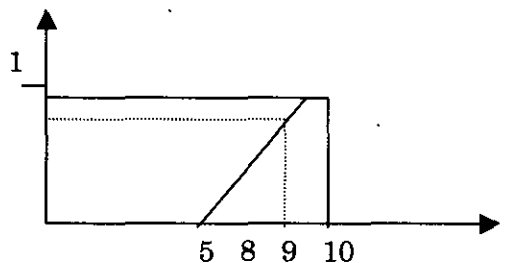
tất cả các số nguyên tố. Tương tự như vậy, tính chất “là tam giác cân” xác định một tập con rõ của tập tất cả các hình tam giác, đó là tập tất cả các tam giác cân. Nếu chúng ta ký hiệu giá trị chân lý của mệnh đề rõ là $\text{Truth}(P(x))$ thì $\text{Truth}(P(x)) = \lambda_A(x)$. Trong đó, $\lambda_A(x)$ là hàm đặc trưng của tập rõ A , tập rõ A được xác định bởi tính chất P .

Một mệnh đề mờ nguyên tử cũng có dạng x là t , tương tự như mệnh đề nguyên tử trong logic cổ điển. Song, ở đây, P không phải là một tính chất chính xác mà là một tính chất không rõ ràng, mờ. Ví dụ, các mệnh đề “tốc độ này là cao”, “thời này là tiết mát mẻ”,... Trong logic cổ điển, một mệnh đề chỉ có thể nhận giá trị chân lý là 1 khi nó đúng hoặc nhận giá trị chân lý là 0 khi nó sai; trong logic mờ, giá trị chân lý của một mệnh đề mờ là một số nằm trong khoảng $[0,1]$.

Theo định nghĩa biến ngôn ngữ, thì t trong tập mờ nguyên tử được xác định bởi một tập mờ A trên miền U . Như vậy, chúng ta có thể nói, mệnh đề mờ nguyên tử là mệnh đề có dạng x là A . Trong đó, x là biến ngôn ngữ, còn A là một tập mờ trên miền U các giá trị vật lý của x .

Nếu ký hiệu $P(x)$ là một mệnh đề mờ, thì giá trị chân lý của nó ($\text{Truth}P(x)$) được xác định là $\text{Truth}P(x) = \mu_A(x)$. Điều này có nghĩa giá trị chân lý của mệnh đề mờ $P(x) = “x$ là $A”$ là mức độ thuộc của x vào tập mờ A .

Ví dụ, giả sử có $P(x)$ là mệnh đề mờ “điểm giỏi”, tập mờ $A = “điểm khá”$ và $\mu_A(9) = 0,83$, khi đó mệnh đề mờ “điểm 9 là điểm giỏi” sẽ có giá trị chân lý là 0,83.



Cũng tương tự như trong logic cổ điển, từ các mệnh đề mờ nguyên tử, bằng cách sử dụng các phép tính logic hội, tuyển và phủ định (\wedge, \vee, \neg), người ta xây dựng nên các mệnh đề mờ phức tạp hơn.

4. Luật kéo theo mờ

Trong logic cổ điển, giả sử $P(x)$ và $Q(y)$ là các mệnh đề rõ được minh hoạ như các tập rõ A và B trên U và V tương ứng. Căn cứ vào bảng chân lý của phép kéo theo trong logic cổ điển, người ta suy ra rằng, mệnh đề $P(x) \rightarrow Q(y)$ được minh hoạ như quan hệ rõ trên $U \times V$.

Trong logic mờ, phép kéo theo mờ có hình thức mô phỏng tương tự như trong logic cổ điển: $\langle \text{mệnh đề mờ } A \rangle \rightarrow \langle \text{mệnh đề mờ } B \rangle$.

Hay viết theo một cách khác: Nếu $\langle \text{mệnh đề mờ } A \rangle$ thì $\langle \text{mệnh đề mờ } B \rangle$.

Nếu "lực tác động lớn" \rightarrow thì "gia tốc lớn".

Nếu "nhiệt độ cao" \rightarrow thì "áp suất lớn".

Nếu "khối lượng lớn" \rightarrow thì "quán tính lớn".

Cũng có thể viết một cách tổng quát $P(x) \rightarrow Q(y)$, trong đó $P(x)$ là mệnh đề mờ được minh hoạ như tập mờ A trên U và $Q(y)$ là mệnh đề mờ được minh hoạ như tập mờ B trên V .

Luật Modus ponens

Trong logic cổ điển, luật Modus Ponens được phát biểu như sau: từ hai mệnh đề $\text{if } P(x) \text{ then } Q(y)$ (3); nếu có $P(x)$ người ta suy ra $Q(y)$. Luật Modus Ponens được sử dụng phổ biến và rộng rãi nhất trong các lập luận. Trong logic mờ, luật này được phát biểu tương tự như sau: từ hai mệnh đề mờ "Nếu x là A " thì " y là B " và " x là A ", người ta tìm ra được mệnh đề mờ " y là B ". Nếu A' càng gần với A thì B' càng gần B , trong đó a và A' là các tập mờ trên U , còn b và B' là các tập mờ trên V .

Hay viết dưới dạng tổng quát:

Tiền đề 1 "Nếu x là A " thì " y là B "

Tiền đề 2 " x là A' "

Kết luận " y là B' "

Điểm cần lưu ý là, khác với luật Modus Ponens trong logic cổ điển, ở đây tiền đề 1 là luật kéo theo mờ với điều kiện là mệnh đề " x là A "; trong khi đó, tiền đề 2 là mệnh đề " x là A' " (là dữ liệu thu được từ quan sát) không đòi hỏi phải trùng với điều kiện của luật kéo theo trong tiền đề 1. Luật Modus Ponens được ứng dụng rất nhiều trong việc thiết kế những hệ mờ, là hệ tri thức được biểu diễn trong hệ mờ dưới dạng các luật kéo theo mờ.

5. Ứng dụng logic mờ trong việc xây dựng hệ điều khiển mờ

Trong các dây chuyền sản xuất tự động, những máy móc thông minh có bộ điều khiển mờ được xây dựng và hoạt động trên cơ sở lý thuyết tập mờ và logic mờ. Hiện nay, điều khiển mờ đang đóng vai trò quan trọng trong các hệ điều khiển hiện đại, nó có thể đáp ứng những tiêu chí kỹ thuật, như tính linh hoạt, tính ổn định, dễ thiết kế. Về nguyên lý, hệ thống điều khiển mờ cũng gồm các bộ phận thực hiện những chức năng như các hệ thống điều khiển khác, nhưng các bộ phận này lại hoạt động trên cơ sở bộ điều khiển mờ – cái có thể tiếp nhận và xử lý các thông tin phản hồi có nội dung không rõ ràng.

Một bộ điều khiển mờ cơ bản gồm 4 khối chức năng: khối mờ hoá, khối hợp thành, khối luật mờ và khối khử mờ. *Khối mờ hoá* thực hiện chức năng biến đổi các tín hiệu đầu vào thành một miền giá trị mờ với hàm đặc trưng đã chọn và ứng với biến ngôn

(3) Michael Dettlefsen, David Charles McCarty, John B. Bacon. *Logic from A to Z*. Routledge, 1999, p.68.

ngữ đầu vào đã được định nghĩa. Trong các dây chuyền sản xuất, những tín hiệu phản hồi thu được từ môi trường bằng quan sát, thông qua các tín hiệu phản hồi hoặc thông qua biến ngôn ngữ đều mang tính chất xấp xỉ, không chính xác, những mệnh đề này sẽ được mờ hoá. Đây là quá trình biến đổi những giá trị $x \in U$ thành một tập mờ A' trên U . Tập mờ này sẽ là dữ liệu quan trọng cho bộ suy luận mờ. *Khối hợp thành* có nhiệm vụ biến đổi các giá trị mờ hoá của biến ngôn ngữ đầu vào thành các giá trị mờ của biến ngôn ngữ đầu ra theo các luật mờ do người thiết kế thiết lập. *Khối luật mờ* gồm tập hợp các luật suy luận mờ - "Nếu... thì" dựa vào các luật mờ cơ sở được người kỹ sư thiết kế, xây dựng thích hợp với mỗi biến và giá trị của các biến ngôn ngữ theo quan hệ mờ. Đây là tập hợp các tri thức chuyên gia được xây dựng thành các luật cho suy luận theo mô hình các luật suy luận mờ. *Khối khử mờ* có chức năng biến đổi các giá trị mờ đầu ra thành các giá trị rõ để đưa ra tín hiệu điều khiển đối tượng. Để thực hiện chức năng này, khối khử mờ phải tìm ra một điểm rõ $y \in U$ làm đại diện tốt nhất cho tập mờ A' , tức là tìm ra giá trị hàm đặc trưng ứng với x trên tập mờ A' . Như vậy, khử mờ là tìm ra những giá trị gần nhân của tập mờ, mà ở đó hàm đặc trưng nhận giá trị cực đại bằng 1.

Trong bộ điều khiển mờ thì khối suy luận mờ và khối hợp thành là hai khối quan trọng nhất - cốt lõi của bộ điều khiển mờ. Hai khối này giúp cho việc lượng hoá những mệnh đề mờ thành những mệnh đề có nội dung chính xác ở tín hiệu đầu ra của bộ điều khiển. Chúng cho phép bộ điều khiển mờ có khả năng mô phỏng những hoạt động suy đoán của con người để đưa

ra được những tín hiệu điều khiển hiệu quả nhất. Thực chất, đây là quá trình lượng hoá giá trị các mệnh đề được phản hồi hoặc biến ngôn ngữ sang các giá trị chân lý chính xác mà căn cứ vào đó, máy móc có thể tiếp nhận được. Hệ điều khiển mờ sử dụng được các kinh nghiệm vận hành đối tượng và xử lý điều khiển của các chuyên gia trong thuật toán điều khiển; do vậy, điều khiển mờ có khả năng tiến gần với tư duy điều khiển của con người. Hệ điều khiển mờ có ưu thế trong việc điều khiển các hệ thống mà các thông tin đầu vào không đầy đủ hoặc không chính xác.

Kết luận

Lôgic mờ đã được áp dụng thành công trong nhiều lĩnh vực xây dựng trí tuệ nhân tạo, như các hệ chuyên gia trong y học, trong các phần mềm dự báo hoạt động quản lý kinh doanh, trong điều khiển tự động của các dây chuyền tự động hoá. Trong đó, thành tựu lớn nhất mà hệ mờ mang lại là những ứng dụng của chúng trong việc điều khiển tự động các quá trình công nghiệp. Trong các dây chuyền tự động hoá, những tín hiệu phản hồi thu nhận được thường mang tính xấp xỉ, không chính xác; lôgic mờ cho phép biểu diễn và xử lý các dữ liệu đó một cách đơn giản và hiệu quả nhất. Hệ điều khiển mờ đang được sử dụng phổ biến trong những hệ thống máy móc thế hệ mới, thế hệ máy móc "thông minh". Lôgic mờ có phạm vi ứng dụng rộng lớn và rất hiệu quả trong việc xây dựng các hệ điều khiển tự động, bởi các hệ điều khiển mờ có thể sử dụng tri thức của các chuyên gia về điều khiển và nó hoạt động dựa trên sự mô phỏng hoạt động của tư duy con người. □