

DỰ ĐOÁN LƯỢNG MƯA CHO TỈNH TÂY NINH DÙNG LOGIC MỜ

RAINFALL PREDICTION FOR TAY NINH PROVINCE USING FUZZY LOGIC

Nguyễn Tất Bảo Thiện¹, Mai Ngọc Hiền²

¹Học Viện Công nghệ Bưu Chính Viễn Thông; nguyentatbaothien@gmail.com

²Trường Đại học Công nghệ Thông tin - ĐHQG TP. HCM; ngochienmai05@gmail.com

Tóm tắt - Dự đoán lượng mưa là cần thiết đối với đời sống chúng ta và quan trọng với nông nghiệp. Nhóm tác giả mở rộng sự kiện dự đoán lượng mưa bằng cách áp dụng các luật suy luận và logic mờ. Có năm biến đầu vào cho mô hình mờ: độ ẩm, nhiệt độ, tốc độ gió, khí áp và loại mây. Hầu hết biến đầu vào có ba hàm liên thuộc, nhưng đầu vào loại mây có mười hàm liên thuộc theo phân loại quốc tế của mây. Mô hình chúng tôi sử dụng loại thừa số mây, là yếu tố tác động đến các sự kiện quan trọng gây ra mưa, dự đoán dựa trên sự quan sát loại mây và sự thay đổi điều kiện thời tiết. Bởi vì một số loại mây liên quan đến thời tiết khô ráo hay mưa nhỏ, trong khi đó một số khác thì liên quan đến mưa lớn. Mô hình áp dụng cho vị trí địa lý có vĩ độ từ 10057'20" đến 11047'20" và kinh độ từ 105047'50" đến 106029'50".

Từ khóa - Trí tuệ nhân tạo; logic mờ; dự báo mưa; dự đoán lượng mưa; dữ kiện thời tiết.

1. Đặt vấn đề

Dự báo thời tiết là một phần quan trọng của cuộc sống chúng ta và cũng là thách thức lớn cho các nhà khoa học. Đặc biệt là dự báo mưa và lượng mưa, luôn có ý nghĩa rất quan trọng đối với đất nước có nền nông nghiệp. Do đó, cũng có nhiều nghiên cứu về dự báo mưa, lượng mưa sử dụng các phương pháp khác nhau như xác suất thống kê, Fuzzy logic system, Artificial neural networks (ANN), ANFIS và kỹ thuật khai phá dữ liệu. Mô hình xác suất thống kê sử dụng các tham số mà những tham số này thường phụ thuộc vào các nhà phát triển hệ thống hay kinh nghiệm của các chuyên gia dự báo, hoặc trong một số trường hợp khác các nhà phát triển sử dụng giả thuyết ngầm định trong hệ thống. Nhưng khi quyền là hệ thống hỗn loạn không thể giới hạn bởi bất kỳ công thức toán hay vật lý động lực học trong khi quyền [12], [7]. Mô hình ANN có khả năng xử lý dữ liệu hỗn loạn và không xác định, điển hình là dữ liệu thời tiết. Để phát triển mô hình ANN cho dự báo lượng mưa điều quan trọng nhất là việc lựa chọn dữ liệu đầu vào và các thông số cần thiết, các dữ liệu sẽ được làm sạch và chuẩn hóa bởi vì tất cả các tham số là của các đơn vị khác nhau sẽ giúp các tham số đầu vào và đầu ra tương quan với nhau giúp cải thiện độ chính xác của kết quả dự đoán [14]. Dự báo lượng mưa là hệ phi tuyến nên mô hình ANFIS được kết hợp bởi ANN và FIS nhằm dự báo lượng mưa dựa trên dữ liệu năm trước. Mô hình được thiết kế, đào tạo và thử nghiệm với các chức năng thành viên khác nhau và số lượng thành viên khác nhau [10]. Đối với mô hình sử dụng các kỹ thuật khai phá dữ liệu là quá trình tìm mẫu tiên ẩn từ các tập dữ liệu lớn trong quá khứ nhưng thách thức lớn nhất của khai thác tri thức trong dữ liệu khi tượng là tiền xử lý dữ liệu vì kết quả sẽ bị ảnh hưởng rất lớn bởi chất lượng dữ liệu kém [6]. Trong tự nhiên, các dữ liệu thực có tính chất không rõ ràng và không chắc chắn [13]. Do đó, trong dự báo thời tiết cần có các kỹ

Abstract - The rainfall prediction is necessary for our life and important to agriculture. Authors expand the rainfall event prediction by applying rules based on reasoning and fuzzy logic. There are five parameters: humidity, temperature, wind speed, pressure and kind of cloud, which are input variables for our model. Most of input variables have three membership functions, but kind of cloud has ten membership functions following international classification of cloud. Our model uses factorial kind of cloud, which affects important events of the rainfall, we forecast basing on looking over kinds of cloud and transformed weather conditions. Because the number of kind of cloud attaches to dry weather or small rainfall, while others relate to heavy rain. Our model is applied to geographaical location from 10057'20" to 11047'20" latitude and from 105047'50" to 106029'50" longitude.

Key words - Artificial intelligence; fuzzy logic; rain forecast; rainfall prediction; weather event.

thuật và giải pháp giải quyết các vấn đề dựa trên các thông tin mang tính mơ hồ, định tính, không đầy đủ hoặc không chính xác. Do đó, đã có nhiều nghiên cứu đã áp dụng điều khiển mờ trong dự báo thời tiết và dự báo mưa. Vì điều khiển mờ thích hợp xử lý dữ liệu không rõ ràng và mơ hồ (uncertain, vague). Hơn nữa, logic mờ có khả năng xử lý biến ngôn ngữ là phương pháp được sử dụng trong phân tích các biến khí quyển, và thích hợp với dữ liệu chủ quan, định tính và số lượng thực nghiệm nhỏ [16].

Hansen là người đầu tiên đã áp dụng FIS trong mô hình dự báo [11], với kết quả khá cao tác giả đã chứng minh khả năng ứng dụng của FIS trong các mô hình dự báo. Sau đó, Hasan sử dụng bộ suy luận mờ trong mô hình dự báo lượng mưa trên bộ dữ liệu USDA [4]. Trong mô hình này tác giả sử dụng hai biến đầu vào sự giảm nhiệt (TP) và sự gia tăng tốc độ (WS) kết hợp giữa bảng qui luật mờ và độ ẩm tương đối được kết quả đầu ra là lượng mưa dự đoán có tỉ lệ sai số 12,35 so với lượng mưa thực tế.

Để chứng minh những khả năng ứng dụng cao của logic mờ trong dự báo mưa và lượng mưa các nhà khoa học đã công bố một số mô hình dự báo như: trong bài báo của các nhà khoa học Ai Cập. Họ sử dụng bộ dữ liệu 20 năm của sân bay Cairo [1972 – 1992] và 5 năm của trạm Mersa Matruh để xây dựng mô hình dự báo lượng mưa của hai trạm trên và qua kết quả đó tác giả so sánh và đánh giá khả năng dự đoán của ứng dụng FIS có độ chính xác cao hơn so với mô hình thống kê [2]. Và tiếp đó cũng có nhiều ứng dụng cho thấy khả năng ứng dụng FIS trong dự báo thời tiết và mưa đem lại kết quả khá cao [2], [5], [8], [9], [15].

Hiện nay, Việt Nam đã sử dụng các mô hình dự báo mưa cWRF, RAMS, dự báo mưa qua ảnh vệ tinh, ảnh radar ... hoặc dựa trên kinh nghiệm của người dự báo viên. Đặc biệt là ở Tây Ninh là tỉnh có nền kinh tế chủ yếu là nông nghiệp nhưng chỉ có một trạm khí tượng, 4 trạm thủy

vấn nhỏ và 15 trạm đo mưa cơ sở hạ tầng còn thô sơ và chưa đầy đủ. Kết quả dự báo chủ yếu dựa trên các trang web dự báo hoặc kết hợp với kinh nghiệm của các dự báo viên. Do đó, vấn đề hiện nay làm sao chúng ta có mô hình dự báo lượng mưa là rất cần thiết. Vì thế, trong bài báo này nhóm tác giả đề xuất mô hình dự báo lượng mưa xây dựng trên bộ suy luận logic mờ (FIS) áp dụng trên khu vực tỉnh Tây Ninh. Tuy logic mờ đã được phát triển ở Việt Nam rất lâu nhưng chỉ ứng dụng nhiều trong các lĩnh vực điều khiển thông minh và các dự báo trong lĩnh vực tài chính kinh tế và y tế, nhưng trong lĩnh vực thời tiết hay dự báo lượng mưa thì hầu như chưa có mô hình nào ứng dụng FIS.

Trong mô hình đề xuất có 5 giá trị đầu vào: nhiệt độ, độ ẩm, khí áp, tốc độ gió và mây, giá trị đầu ra của mô hình là lượng mưa dự đoán trong khoảng 0 – 150 mm. Từ rất lâu ông bà ta đã biết dự báo mưa khi quan sát các đám mây. Vì đặc điểm của mây (hình dạng, cấu trúc, kiểu, sự trong suốt) biểu diễn sự chuyển động của không khí nên những loại mây khác nhau gắn liền với các điều kiện thời tiết khác nhau. Một số mây gắn liền với thời tiết khô ráo hoặc mưa nhỏ, trong khi một số khác gắn với những trận mưa nặng hạt. Những thông tin này đã được sử dụng trong việc dự báo thời tiết hơn 2.000 năm. Sự hình thành những đám mây không tự nó gây ra giáng thủy vì cần phải có một cơ chế cung cấp nguồn hơi ẩm đi vào. Chỉ khi nào những giọt nước hay những tinh thể băng lớn lên đến một cỡ nào đó, chúng mới có thể rơi xuống xuyên qua những dòng khí đi lên dưới dạng giáng thủy [1]. Như vậy chỉ có mây không thì không thể tạo ra mưa mà còn kết hợp với các điều kiện thời tiết khác thì mây mới có thể cho mưa.



Hình 1. Tỉnh Tây Ninh

2. Dữ liệu

Dữ liệu được sử dụng xây dựng mô hình là bộ dữ liệu hai năm [2014 – 2015] của Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Miền Nam gồm số liệu về nhiệt độ, tốc độ gió,

độ ẩm... các ngày của từng tháng được lấy từ trạm khí tượng Tây Ninh. Nhóm tác giả chọn lựa bộ dữ liệu để huấn luyện cho mô hình và chọn bộ dữ liệu ngẫu nhiên để kiểm tra mô hình.

3. Dự đoán lượng mưa dùng mô hình mờ

3.1. Hệ thống logic mờ

Logic mờ được giới thiệu đầu tiên bởi giáo sư Lotfi Zadeh vào năm 1965. Logic mờ được phát triển từ logic truyền thống, nhưng được xây dựng cho phép diễn tả chính xác ý nghĩa của các mệnh đề không chính xác, không rõ ràng mang tính xấp xỉ và đa nghĩa.

Tập hợp mờ (fuzzy set) diễn tả quan hệ thành viên giữa một phần tử và tập hợp, quan hệ này được mô tả bằng một hàm liên thuộc/ hàm thành viên (membership function) thể hiện mức độ phụ thuộc của phần tử x vào tập mờ A có giá trị xác định trong $[0, 1]$.

Tập hợp mờ là tập hợp mà mỗi thành phần là một bộ số $(x, \mu(x))$. F là tập mờ được biểu diễn như sau:

$$F = \{(x, \mu_A(x)) / x \in X\} \quad (1)$$

Trong đó:

A : tập mờ trên không gian nền X nếu A được xác định bởi hàm: μ_A là hàm liên thuộc, $\mu_A(x)$ là độ liên thuộc của x vào tập mờ A .

VD: Cho tập nền về tuổi $[0, 80]$, ta xét 3 tập mờ:

A_1 (trẻ), A_2 (trung niên), A_3 (già) với hàm thuộc cho bởi:

$$A_1(x) = \begin{cases} 1: x \leq 20 \\ \frac{35-x}{15}: 20 < x < 35 \\ 0: x \geq 35 \end{cases} \quad (2)$$

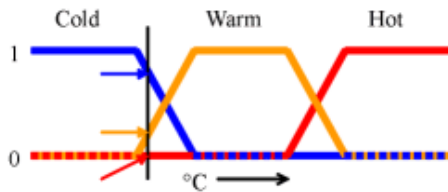
$$A_2(x) = \begin{cases} 0: x \leq 20; \text{ hoặc } \geq 60 \\ \frac{x-20}{15}: 20 < x < 35 \\ \frac{60-x}{15}: 45 < x < 60 \\ 1: 35 \leq x \leq 45 \end{cases} \quad (3)$$

$$A_3(x) = \begin{cases} 0: x \leq 45 \\ \frac{x-45}{15}: 45 < x < 60 \\ 1: x \geq 60 \end{cases} \quad (4)$$

Một số dạng hàm liên thuộc thường gặp trong điều khiển mờ: dạng tam giác, dạng hình thang, dạng chuông (bell), dạng phân bố Gauss...

Logic mờ thích hợp với các hệ thống phức tạp và không chính xác, định tính và lý thuyết tập mờ là một công cụ mạnh mẽ đã được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực như điều khiển thông minh, dự đoán trong y tế, kinh tế, thời tiết, mưa... Logic mờ có thể mô phỏng những phát biểu không rõ ràng của con người bằng cách sử dụng biến ngôn ngữ, đây là điểm khác biệt của logic mờ, những mô phỏng này thường là những kiến thức chuyên môn. Là sự tích lũy kiến thức, ý tưởng như là kết quả của kinh nghiệm của chuyên gia trong một hệ thống cụ thể. Do đó, quá trình ra quyết định có thể xem là biểu thức “nhận thức” mờ của các chuyên gia.

Về cơ bản biến ngôn ngữ mà giá trị của nó là các từ (word). Ví dụ “nhiệt độ” có giá trị biến ngôn ngữ là các từ như sau: lạnh (cold), nóng (hot) và ấm (warm).



Hình 2. Hàm thành viên của biến nhiệt độ

Để thực hiện logic mờ theo lý thuyết mờ của L.A. Zadeh (1965) được tiến hành qua 3 bước như sau:

Fuzzification (mờ hóa): bước đầu tiên là xác định phạm vi định nghĩa của biến đầu vào và đầu ra trong điều kiện thực tế.

Fuzzy rules determination and fuzzy inference (xác định các luật mờ và suy luận mờ): biến đổi các giá trị mờ của biến ngôn ngữ đầu vào thành các giá trị mờ của biến ngôn ngữ đầu ra dựa trên các luật hợp thành đã xây dựng.

Dạng tổng quát của các luật điều khiển mờ là bộ các quy tắc mờ dạng nếu ... thì ... (IF ... THEN ...), trong đó các điều kiện đầu vào và cả các biến ra sử dụng các biến ngôn ngữ. Viết ở dạng tổng quát, cơ sở các luật mờ cho dưới dạng sau:

Nếu x_1 là A_{k1} và x_2 là A_{k2} và ... và x_n là A_{kn} thì y là B_k (5)

Trong đó k là chỉ số của luật (luật thứ k trong tập luật), x_i là các biến đầu vào, A_{ki} là các tập mờ trên U_i ($i=1..n$), y là biến đầu ra và B_k là tập mờ trên V ($k=1..m$)

Suy diễn mờ là suy diễn từ mệnh đề điều kiện. Đây là phần quan trọng nhất của bộ điều khiển mờ trong quá trình mô hình hóa các bài toán điều khiển và chọn quyết định của con người trong khuôn khổ vận dụng logic mờ và lập luận sắp xỉ. Các luật suy diễn thường gặp: luật Modus Ponens, luật modus tollens. Các luật này sử dụng toán tử hợp thành trong suy diễn nên còn được gọi là các luật hợp thành.

Defuzzification (giải mờ): các kết quả suy luận mờ cuối cùng được biến đổi trở lại thành những giá trị tường minh. Có phương pháp giải mờ thường được sử dụng là: phương pháp điểm cực đại, phương pháp điểm trọng tâm.

Qui tắc điều khiển mờ Mamdani còn gọi là điều khiển ước lượng có dạng tổng quát:

R_i: nếu (x_1 là $\tilde{A}_{1,i}$) và... và (x_n là $\tilde{A}_{n,i}$) thì (y_1 là $\tilde{B}_{1,i}$),..., (y_m là $\tilde{B}_{m,i}$) (6)

Trong đó: n là số tín hiệu vào, m là số tín hiệu ra, $i=1..k$, với k là số qui tắc điều khiển.

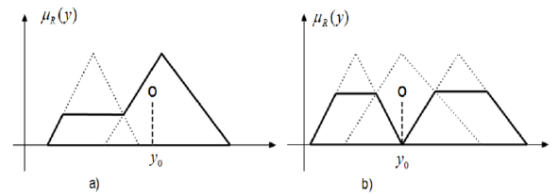
Kết luận của phương pháp điều khiển Mamdani là mệnh đề mờ.

Phương pháp trọng tâm:

Công thức tính giá trị y' như sau:

$$y' = \frac{\int_s y \mu_{B'}(y) dy}{\int_s \mu_{B'}(y) dy} \quad (7)$$

Với s là miền xác định của tập mờ B'

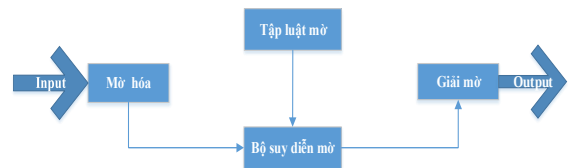


Hình 3. Phương pháp trọng tâm

3.2. Áp dụng logic mờ cho dự báo lượng mưa

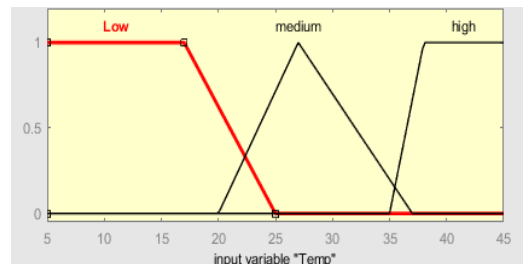
3.2.1. Tập mờ

Xây dựng mô hình, nhóm tác giả chọn năm giá trị đầu vào gồm: nhiệt độ, tốc độ gió, độ ẩm, khí áp và các loại mây là các biến ngôn ngữ được xác định và xây dựng các hàm thành viên tương ứng cho từng giá trị trên bộ công cụ Matlab. Các hàm thành viên được chọn là các dạng hình tam giác và hình thang với các giới hạn được rút trích từ bộ dữ liệu đã được huấn luyện.



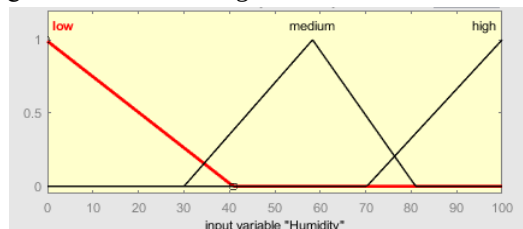
Hình 4. Hệ thống điều khiển mờ

Dựa trên các điều kiện hình thành mưa mây và bộ dữ liệu huấn luyện, xây dựng hàm thành viên cho các giá trị đầu vào lần lượt như sau: hàm thành viên nhiệt độ là low, medium và high trong phạm vi từ 5°C đến 45°C được thể hiện trong Hình 5.

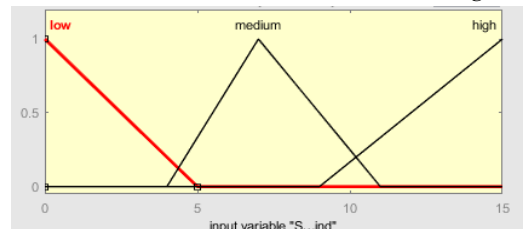


Hình 5. Hàm thành viên của biến vào Nhiệt độ

Hàm thành viên tốc độ gió xác định từ 0 – 15 km/h được thể hiện qua Hình 3 tương tự hàm thành viên độ ẩm thể hiện giá trị từ 0 – 100 trong Hình 6, 7.

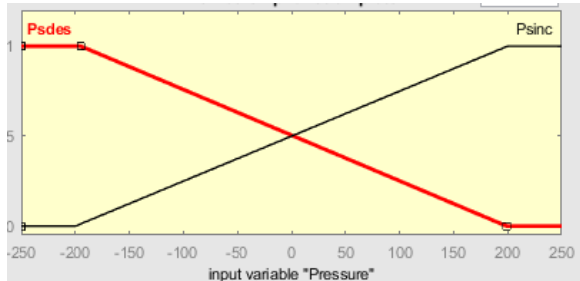


Hình 6. Hàm thành viên của biến vào Tốc độ gió

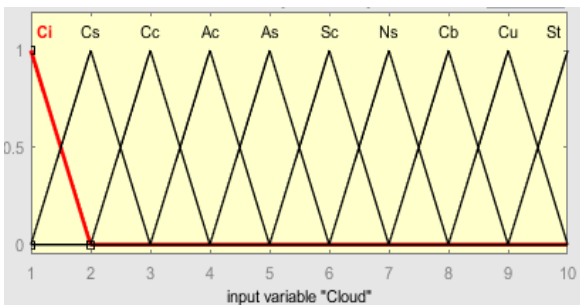


Hình 7. Hàm thành viên của biến vào Độ ẩm

Hàm thành viên khí áp thể hiện sự tăng hoặc giảm liên tục của khí áp được xác định đo độ giảm/tăng so với lần đo trước đó với phạm vi tăng giảm $[-250, 250]$. Mờ hóa giá trị đầu vào khí áp là thể hiện sự tăng hay giảm của khí áp được đo và xác định độ giảm/ tăng so với lần đo trước đó, sau đó cộng dồn 24 lần các giá trị đo giảm/tăng khoảng 2h (xác định qua thực nghiệm). 10 loại mây quốc tế được thể hiện hàm thành viên mây lần lượt qua Hình 8, 9.



Hình 8. Hàm thành viên của biến vào Khí áp



Hình 9. Hàm thành viên của biến vào Mây

3.2.2. Tập luật

Các tập luật được xây dựng dựa trên các nhận xét của các chuyên gia trong lĩnh vực dự báo thời tiết mưa trên cơ sở quan sát mây và các điều kiện thời tiết và tài liệu khí tượng thủy văn về các điều kiện thời tiết về hình thành mây và các điều kiện xảy ra mưa của từng loại mây và kết hợp với quá trình quan sát thực nghiệm, thống kê từ các tập dữ liệu huấn luyện khu vực dự báo, sau đó rút ra 540 tập luật.

Tập luật được thể hiện qua phát biểu mệnh đề điều kiện “Nếu - thì” trong đó mệnh đề điều kiện và mệnh đề kết luận là mệnh đề mờ.

If (Temp is Low) and (S_Wind is medium) and (Pressure is Psinc) and (Humidity is high) and (Cloud is Ns) then (Rainfall is PS)

If (Temp is Low) and (S_Wind is low) and (Pressure is Psinc) and (Humidity is low) and (Cloud is Ci) then (Rainfall is NL)

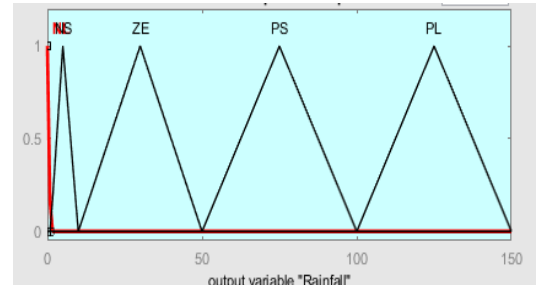
Sau các bước định nghĩa biến mờ, xây dựng cơ sở luật mờ từ các giá trị đầu vào của hệ thống, nhóm tác giả có một cấu trúc mô hình mờ đầy đủ với khả năng suy diễn. Để xây dựng bộ suy diễn mờ nhóm tác giả chọn phương pháp suy diễn Max – Min.

Hàm thành viên của biến ra có giá trị tương ứng với lượng mưa dự đoán trong khoảng 0-150 mm của mô hình được thể hiện Hình 10. Để thực hiện giả mờ ta xác định các trọng số của các giá trị ngôn ngữ dựa vào hàm thuộc. Sau đó dùng quy tắc Max-Min cho các luật mờ có liên quan.

Cuối cùng để giải mờ chọn điều khiển Mamdani và phương pháp trọng tâm.

Bảng 1. Biến ngôn ngữ của biến ra

NL	Very low
NS	Low
ZE	Normal
PS	High
PL	Very high

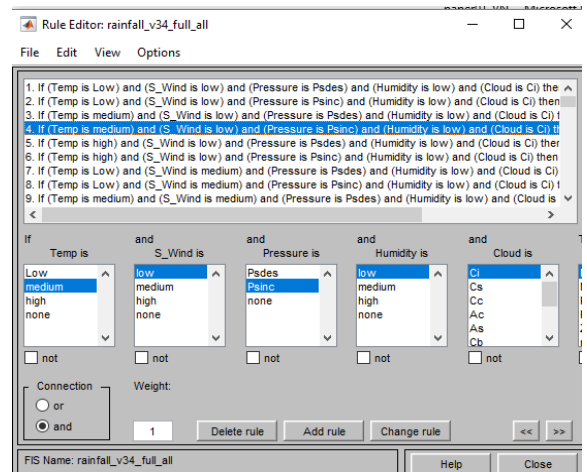


Hình 10. Output variable

4. Mô phỏng

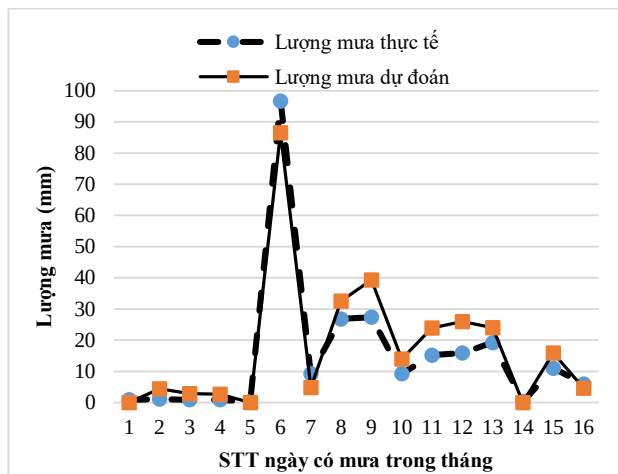
Mô hình dự đoán lượng mưa được thực hiện trên Matlab 2017b. Hệ thống suy luận mờ được xây dựng từ hơn 500 luật mờ. Một số luật mờ tiêu biểu được xây dựng trên mô hình simulink như sau:

1. If (Temp is Low) and (S_Wind is low) and (Pressure is Psdes) and (Humidity is low) and (Cloud is Ci) then (Rainfall is NL);
2. If (Temp is Low) and (S_Wind is low) and (Pressure is Psinc) and (Humidity is low) and (Cloud is Ci) then (Rainfall is NL);
3. If (Temp is medium) and (S_Wind is low) and (Pressure is Psdes) and (Humidity is low) and (Cloud is Ci) then (Rainfall is NL) (1);
4. If (Temp is medium) and (S_Wind is low) and (Pressure is Psinc) and (Humidity is low) and (Cloud is Ci) then (Rainfall is NL) (1).



Hình 11. Tạo các tập luật mờ

Hình 12, thể hiện kết quả giữa mô hình dự đoán logic mờ và kết quả thực tế như sau:



Hình 12. Kết quả so sánh của mô hình

5. Kết luận và hướng nghiên cứu tiếp theo

Nhóm tác giả đã xây dựng thành công mô hình dự báo mưa, lượng mưa dựa trên logic mờ đạt được kết quả khá cao. Qua đây ta thấy mô hình đề xuất thích hợp với những vùng xa vùng sâu nơi có hệ thống quan trắc còn thưa hoặc những nơi có điều kiện còn khó khăn trong quan trắc và dự báo. Ngoài ra, các kết quả đạt được cho thấy khả năng nổi bật của logic mờ trong biểu diễn hiểu biết, giá trị không rõ ràng định tính và giải quyết các vấn đề theo qui tắc ngôn ngữ tự nhiên; cụ thể là việc chuyển những kinh nghiệm dự báo thời tiết trong dân gian cũng như của các chuyên gia thành mô hình dự báo tự động.

Hướng phát triển tiếp theo của nhóm tác giả sẽ là nâng cao tỉ lệ phần trăm dự đoán cũng như cải thiện mô hình cho dự báo lượng mưa dài hạn bằng cách kết hợp mô hình đề xuất với mạng nơron nhân tạo.

Lời cảm ơn: Công trình này được tài trợ bởi Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Nguyễn Văn Tuấn và Nguyễn Đức Hạnh, *Nguyên Lý thủy văn*, Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, 2008.

[2] Somia A. Asklany, Khaled Elhelow, I. K. Youssef, và cộng sự, "Rainfall events prediction using rule-based fuzzy inference system", *Atmospheric Research*, 101(1), 2011, pp. 228-236.

[3] Malik Shahzad Kaleem Awan và Mian Muhammad Awais, "Predicting weather events using fuzzy rule based system", *Applied Soft Computing*, 11(1), 2011, pp. 56-63.

[4] M. Hasan, T. Tsegaye, X. Shi, và cộng sự, "Model for predicting rainfall by fuzzy set theory using USDA scan data", *Agricultural Water Management*, 95(12), 2008, pp. 1350-1360.

[5] Mahbub Hasan, Xingzhong Shi, Teferi Tsegaye, và cộng sự, "Rainfall Prediction Model Improvement by Fuzzy Set Theory", *Journal of Water Resource and Protection*, Vol.05No.01, 2013, pp. 11.

[6] Mr. Dhawal Hirani và Dr. Nitin Mishra, "A Survey On Rainfall Prediction Techniques", *International Journal of Computer Application (2250-1797)*, 6(2), 2016, pp. 28-42.

[7] O. S. Idowu và C. J. deW Rautenbach, "Model Output Statistics to improve severe storms prediction over Western Sahel", *Atmospheric Research* (Vol. 93), 2009, pp 419-425. ISSN 0169-8095, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2008.10.035>.

[8] R.G. Jimoh, M Olagunju, IO Folorunso, và cộng sự, "Modeling Rainfall Prediction using Fuzzy Logic", *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering* 1(4), 2013, pp. 8.

[9] Zhifka Muka, Elda Maraj và Shkelqim Kura, "Rainfall prediction using fuzzy logic", *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 4(12), 2017, pp. 5.

[10] Jignesh Patel và Dr. Falguni Parekh, "Forecasting Rainfall Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)", *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAEM)*, 3(6), ISSN 2319 - 4847, 2014, pp 262-269.

[11] Denis Riordan và Bjarne K Hansen, "A fuzzy case-based system for weather prediction", *Eng Intell Syst* (Vol. 10), 2002, pp 139-146.

[12] D. S. Wilks, "Multisite Generalization of a Daily Stochastic Precipitation Generation Model", *Journal of Hydrology*, Elsevier, (Vol. 210), 1998, pp 178-191.

[13] Ahmad Shahi, Rodziah Binti Atan và Md. Nair Sulaiman, "An Effective Fuzzy C-Mean and Type-2 Fuzzy Logic for Weather Forecasting", *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 2009, pp. 556 - 567.

[14] Hettal.M Tokle và JigneshA. Joshi, "Precipitation (rainfall) forecasting using art artificial neural network", *International Journal of modern Trends in Engineering and Science*, 3(12), 2016, pp. 91-96.

[15] Kiran Kumar Uraon và Shiv Kumar, "Analysis of Defuzzification Method for Rainfall Event", *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, 5(1), 2016, pp. 341 - 354.

[16] Andres Carrano, J. B. Taylor, R. E. Young, và cộng sự, "Fuzzy knowledge-based modeling and statistical regression in abrasive wood machining", *Forest Products Journal*, (Vol. 54), 2004, pp 66 -72.

(BBT nhận bài: 10/10/2018, hoàn tất thủ tục phản biện: 01/11/2018)