TỐI ƯU ĐA MỤC TIÊU SỬ DỤNG TÀI NGUYÊN NƯỚC BẰNG THUẬT TOÁN GIEN

ThS. Lê Xuân Cầu
Trung tâm tư liệu KTTV

Tóm tắt: Sử dụng tài nguyên nước luôn là bài toán đa mục tiêu. Thuật toán gien kết hợp với phương pháp ràng buộc và thử thống kê cho phép giải bài toán tối ưu đa mục tiêu một cách có hiệu quả mà các phương pháp truyền thống không có. Điều đó thể hiện ở kết quả giải hai bài toán về sử dụng nguồn nước sau đây. Việc xử lý thông tin ở mức bit làm cho thuật toán gien có thể dễ dàng kết hợp với một số mô hình khác để giải quyết có hiệu quả các bài toán liên quan đến sử dụng nước với thời gian nhanh và chi phí thấp.

I. Đa mục tiêu trong sử dụng tài nguyên nước

Tài nguyên nước thường được sử dụng và khai thác bởi các đối tượng khác nhau. Mỗi đối tượng lại muốn đạt được các mục tiêu của riêng mình. Các mục tiêu đó thường là không so sánh được với nhau (các hàm mục tiêu biểu diễn trong các đơn vị khác nhau) và chúng thường mâu thuẫn với nhau. Ví dụ, khi khai thác một nguồn nước, một đối tượng thải nước nhiễm bẩn thì muốn hiệu quả kinh tế (tính bằng đơn vị tiền tệ) phải đạt giá trị lớn nhất. Trong khi đó một đối tượng khác muốn chất lượng môi trường nước (biểu diễn qua đơn vị nồng độ nhiễm bẩn) phải tốt. Hai mục tiêu này không thể so sánh với nhau và mâu thuẫn với nhau. Bởi vậy khi sử dụng tài nguyên nước chúng ta luôn phải giải bài toán tối ưu đa mục tiêu.

Nếu có hơn hai hàm mục tiêu không so sánh được với nhau thì nói chung không có lời giải tối ưu duy nhất. Người ta thường tìm một cách nào đó để đưa các hàm mục tiêu không so sánh được về một hàm mục tiêu chung (chẳng hạn biểu diễn qua đơn vị tiền tệ) hoặc người ta đi tìm nghiệm không tồi (tối ưu Pareto). Nghiệm tối ưu Pareto là một nghiệm mà nếu muốn một hàm mục tiêu giảm thì phải có ít nhất một hàm mục tiêu tăng.

Các bài toán tối ưu đa mục tiêu sử dụng tài nguyên nước thường phải tìm cực trị của các hàm mục tiêu với các điều kiện ràng buộc nào đó. Các điều kiện ràng buộc có hai loại. Loại ràng buộc thứ nhất là các giới hạn vật lý trong thế giới thực mà không thể vi phạm. Chẳng hạn, điều kiện bảo toàn khối lượng hay biên độ dung lượng nguồn nước. Loại ràng buộc thứ hai ở dạng các mục tiêu ẩn mà chúng có thể vi phạm với việc trả giá cao. Chẳng hạn, yêu cầu về dòng chảy nhỏ nhất để chất lượng nước vẫn bảo đảm một mức nào đó.

Việc sử dụng nước thường yêu cầu phải đạt một số các mục tiêu khác nhau như an toàn quốc gia, chất lượng cuộc sống, an toàn kinh tế, sức khoẻ cộng đồng, tăng trưởng kinh tế khu vực, giảm thiệt hại lũ lụt, phòng chống thiên tai, bảo vệ môi trường, sản xuất nông nghiệp, cung cấp nước và chất lượng nước.

Tối ưu đa mục tiêu có thể hiểu là tối ưu vector. Giả sử có p hàm mục tiêu $Z_j(X)$, j=1, 2.., p. Khi đó bài toán đa mục tiêu có thể viết như sau:

$$maximize\ (Z_1(X), Z_2(X), \ldots, Z_p(X)) \quad (1)$$

thoả mãn các điều kiện

$$g_i(X) \geq b_i \quad i=1, 2, \ldots, m \quad (1')$$

Ở đây $X=(x_1, x_2,\ldots, x_n)$ là vector các biến quyết định.

Khi giải bài toán tối ưu đa mục tiêu cần phải tiến hành ba bước sau:

1. Xây dựng các hàm mục tiêu,
2. Đưa bài toán (1) về dạng có thể giải được dễ dàng hơn,
3. Giải bài toán tối ưu bằng một trong các phương pháp, sau đó sẽ chọn một lời giải tốt nhất.

Trong bước thứ hai có hai phương pháp thường dùng là phương pháp trọng số và phương pháp điều kiện ràng buộc.

Phương pháp trọng số yêu cầu cho trọng số tương đối của mỗi hàm mục tiêu để biến vector đa mục tiêu thành một hàm mục tiêu duy nhất. Bài toán (1) có thể viết dưới dạng sau:

$$\textit{maximize} \quad Z(X)= w_1.Z_1(X) + w_2.Z_2(X)+\ldots + w_p.Z_p(X) \qquad (2)$$

thoả mãn các điều kiện

$$g_i(X) \geq b_i \quad i=1, 2,\ldots, m \qquad (2')$$

Phương pháp điều kiện ràng buộc đưa bài toán (1) về dạng bài toán:

$$\textit{maximize} \quad Z_j(X) \qquad (3)$$

Thoả mãn các điều kiện

$$g_i(X) \geq b_i \quad i=1, 2,\ldots, m \qquad (3')$$

$$Z_k(X) \geq L_k \quad \forall\, k \neq j \qquad (3'')$$

Vấn đề đặt ra là các giá trị w_k và L_k không biết trước và việc chọn các giá trị này khó khăn và thường mang tính chủ quan của người giải.

Vậy một câu hỏi đặt ra là tại sao lại dùng thuật toán gien giải bài toán tối ưu đa mục tiêu trong khi đã có một loạt các phương pháp khác giải bài toán trên , chẳng hạn phương pháp thoả hiệp, phương pháp trội hơn, phương pháp biên soạn từ điển, phương pháp từng bước. Các phương pháp truyền thống giải bài toán (2) hoặc (3) thường cho quá nhiều nghiệm không tồi (tối ưu Pareto) cho nên ta thường không có đủ thời gian và công sức để xem xét và đánh giá nghiệm nào tốt hơn cả.

Khi áp dụng các phương pháp tối ưu cổ điển thường có mấy vấn đề sau:

1. Chúng tìm được cực trị toàn cục rất khó khăn và nhiều khi chỉ tìm được cực trị địa phương và hàm mục tiêu thường được yêu cầu là hàm liên tục,
2. Các nghiệm không tồi (tối ưu Pareto) thường rất nhiều nên việc chọn nghiệm khó khăn,
3. Kết quả nhiều khi phụ thuộc vào chủ quan của người sử dụng thuật toán (ví dụ cho các gía trị trọng số),
4. Chúng đòi hỏi nhiều công sức để biến đổi toán học và yêu cầu người sử dụng có trình độ toán cao.

Phương pháp gien tránh được các hạn chế trên. Nó cho phép tìm cực trị toàn cục của một hàm mục tiêu liên tục hay gián đoạn và sự tính toán mang bản chất tính toán tổ hợp nên nó có thể tự động chọn nghiệm tốt hơn cả trong các nghiệm tối ưu Pareto. Việc xử lý ở mức bit làm cho nó có khả năng ứng dụng rộng rãi và có hiệu quả. Công việc tính toán của thuật toán gien hoàn toàn dựa trên máy tính.

Sau đây tác giả chỉ ra sự kết hợp thuật toán gien và phương pháp điều kiện ràng buộc và phương pháp thử thống kê để giải bài toán tối ưu đa mục tiêu. Kết quả áp dụng thuật toán gien cho 2 bài toán tối ưu đa mục tiêu sử dụng tài nguyên nước: bài toán Reid-vemuri và bài toán phân bổ nguồn dòng chảy. So sánh kết quả nhận được với kết quả của phương pháp SWT (Surrogate Worth Trade-off method) trong[2, 3].

II. Tối ưu đa mục tiêu sử dụng tài nguyên nước bằng thuật toán gien

Thuật toán gien cho phép tìm cực trị toàn cục của một hàm mục tiêu bất kỳ liên tục hay gián đoạn và ứng dụng của nó trong mô phỏng điều hành 4 hồ chứa được trình bày trong [1]. Trên cơ sở đó tác giả ứng dụng nó để giải bài toán tối ưu đa mục tiêu.

Bằng phương pháp điều kiện ràng buộc bài toán (1) được đưa về bài toán (3) với các điều kiện (3'),(3''). Có 2 cách giải bài toán (3).

Cách 1: Người phân tích hệ thống cho trước các giá trị cận dưới L_k, sau đó dùng thuật toán gien để giải. Cách này phụ thuộc vào giá trị L_k.

Cách 2: Các giá trị cận dưới tối ưu L_k có thể xác định bằng một phương pháp nào đấy và sau đó dùng thuật toán gien để tìm cực trị toàn cục của bài toán (3).

Cách 1 hiển nhiên là thực hiện được vì theo định lý lược đồ, thuật toán gien luôn tìm được cực trị toàn cục. Trường hợp tầm thường này ta không xét ở đây. Trong cách 2 ta phải xây dựng một thuật toán để xác định các cận dưới một cách tự động để sau một quá trình tính toán ta luôn nhận được một nghiệm tối ưu. Sau khi thử nghiệm một loạt các phương pháp tác giả đề nghị dùng thuật toán sau đây để giải bài toán (3).

Nhận xét rằng khi sử dụng tài nguyên nước thì đối tượng sử dụng nước quan tâm đến hàm mục tiêu j của mình $Z_j(X)$ và luôn mong muốn nó đạt giá trị cực đại và ít nhất nó phải lớn hơn hoặc bằng giá trị trung bình. Do vậy, các giá trị cận dưới khởi đầu có thể xác định bằng phương pháp thử thống kê. Với các giá trị khởi đầu L_k^0 ta giải bài toán tối ưu (3) để nhận được nghiệm X_{opt} vậy ta có thể tính được cận dưới mới $L_k^1 = Z_k(X_{opt})$, rõ ràng các cận mới thoả mãn điều kiện $L_k^1 \geq L_k^0$. Trong (3) hoán đổi thay thế $Z_j(X)$ bằng một trong số các hàm mục tiêu còn lại $Z_{j1}(X)$. Do đó ta có hệ mới tương tự (3) với các cận mới, và bằng cách tính như vậy về nguyên tắc ta tìm được nghiệm tối ưu sau p bước. Kết quả thực nghiệm chỉ ra là sau bước đầu tiên ta có thể tìm được nghiệm tối ưu, điều đó có thể giải thích là thuật toán gien có khả năng tính tổ hợp các phương án khác nhau và các phương án luôn cạnh tranh để tồn tại. Các bước thứ hai chỉ minh chứng cho nhận xét đó là đúng và tạo niềm tin cho người ra quyết định.Khả năng của thuật toán trên thể hiện ở kết quả khi giải bài toán Reid-Vemuri và bài toán phân bổ nguồn dòng chảy.

III. Bài toán Reid-Vemuri

Bài toán được phát biểu trong [3, 5]. Đập hồ chứa nước sẽ được xây với bán kính mặt nước x_2 và thời gian lao động x_1 với tổng giá thành $f_1(x_1, x_2)$ được tính theo công thức:

$$f_1(x_1, x_2) = e^{0,01x_1}.x_1^{0,02}.x_2^2$$

Lượng tổn thất bay hơi $f_2(x_2)$ được tính theo công thức:

$$f_2(x_2) = (1/2).x_2^2$$

Dung tích hồ chứa được tính theo công thức:

$$f_3(x_1, x_2) = e^{0,005x_1}.x_1^{-0,01}.x_2^{-2}$$

Vấn đề đặt ra là tìm x_1 và x_2 sao cho tổng giá thành đầu tư nhỏ nhất, lượng nước tổn thất bốc hơi nhỏ nhất và dung lượng hồ chứa lớn nhất. Tức là có bài toán tối ưu đa mục tiêu như sau:

$$\textit{minimize } f_1(x_1, x_2)$$
$$\textit{minimize } f_2(x_2)$$

$$maximize\ f_3(x_1, x_2)$$

với các điều kiện:

$$50 \le x_1 \le 250$$

$$1 \le x_2 \le 50$$

Trong[3] dùng phương pháp SWT để giải bài toán trên và nhận được kết quả nghiệm tối ưu :

$$\begin{cases} x_1^* = 172{,}95 \\ x_2^* = 38{,}73 \end{cases} \text{ khi đó } \begin{cases} f_1^* = 9347{,}98 \\ f_2^* = 750 \\ f_3^* = 3750 \end{cases}$$

Thử nghiệm thuật toán gien ta nhận được kết quả nghiệm tối ưu:

$$\begin{cases} x_1^g = 200 \\ x_2^g = 26{,}24 \end{cases} \text{ khi đó } \begin{cases} f_1^g = 5656 \\ f_2^g = 344 \\ f_3^g = 1973 \end{cases}$$

Giá trị trung bình của các hàm mục tiêu gần đúng bằng:

$$\begin{cases} \bar{f}_1 = 5000 \\ \bar{f}_2 = 423 \\ \bar{f}_3 = 1973 \end{cases}$$

Rõ ràng rằng $f_1^* \ge \bar{f}_1$ và $f_2^* \ge \bar{f}_2$ điều này không mong đợi cho đối tượng quan tâm đến cực tiểu hàm mục tiêu f_1 và f_2 trong khi đó thì theo thuật toán gien ta nhận được $f_1^* \le \bar{f}_1$ và $f_2^* \le \bar{f}_2$ hơn nữa theo nghiệm của thuật toán gien thì tổng giá thành đầu tư và lượng nước tổn thất do bay hơi sẽ giảm khoảng 50% so với phương án từ SWT. Rõ ràng người quyết định sẽ thích nghiệm theo thuật toán gien hơn cả.

IV. Bài toán phân bổ nguồn dòng chảy

Bài toán được trình bày trong [3,4].Hệ thống nghiên cứu có 1 hồ chứa và n đối tượng (ví dụ các nhà máy) sử dụng nước và thải nước ở hạ lưu. Hồ chứa dùng để cấp nước và thông rửa dòng chảy ở hạ lưu. Chính quyền vùng sẽ kiểm soát lượng B.O.D của mỗi đối tượng sử dụng nước bằng nồng độ D.O ở vị trí n trên sông và xác định giới hạn lượng nước phải xử lý của mỗi đối tượng và lượng nước thông rửa tháo ra từ hồ chứa.

Giả sử các biến quyết định x_i, i=1, 2,.. .., n là phần trăm lượng chất thải phải xử lý, nó phải thoả mãn điều kiện $0{,}45 \le x_i \le 0{,}99$ và y là lượng nước thông rửa mà hồ chứa sẽ cấp. Người quyết định phải cố gắng đạt các mục tiêu sau:

1. Cực tiểu hoá tổng giá thành xử lý nước thải f_1.
2. Cực đại hoá lượng nước có trong hồ chứa f_2.
3. Cực tiểu hoá độ nhiễm bẩn trong sông f_3.

Tổng giá thành xử lý nước thải bằng:

$$f_1 = \sum_{i=1}^{n}(160{,}8 + 26{,}7q_i + (640{,}7 + 255{,}7q_i)(x_i - 0{,}45)^2)$$

Ở đây q_i là lượng nước thải của đối tượng i

Lượng nước có trong hồ bằng:

$$f_2 = S - y$$

$$S = 3{,}47$$

Lượng D.O tại bất kỳ điểm nào trên sông có thể tính từ phương trình Streeter-Phelps vậy nên:

$$f_3 = D.O = (\sum_{i=1}^{n} a_i(x_i - 0{,}45) + 0{,}45\sum_{i=1}^{n} a_i + b_1 y + (b_1 - c_1)) / ((c_2 - b_2) - b_2 y)$$

Ở đây a_i, b_1, b_2, c_1, c_2 là các tham số xác định phụ thuộc vào vị trí và điều kiện cụ thể của sông.

Vậy bài toán tối ưu đa mục tiêu như sau:

$$\begin{cases} \min(f_1) \\ \max(f_2) \\ \max(f_3) \end{cases}$$

Thoả mãn các điều kiện

$$0{,}45 \le x_i \le 0{,}99$$
$$0 \le y \le S = 3{,}47$$

Để thử nghiệm thuật toán gien, tác giả lấy số liệu các hằng số của a_i và q_i trong[3]

i	a_i	q_i	i	a_i	q_i
1	3331,8	45,2	9	199,9	0,5
2	342	4,7	10	1913,9	3,2
3	1539	4,2	11	1741	8,4
4	886	3,6	12	722	2,7
5	73	0,5	13	238	0,6
6	172	1,2	14	3633	12,1
7	189	0,8	15	2266	8,4
8	433	0,6			

b_1=7650

b_2=-971

c_1=1740

c_2=1930

Giá trị trung bình của các hàm mục tiêu gần đúng bằng:

$$\begin{cases} \bar{f}_1 = 8336 \\ \bar{f}_2 = 1{,}72 \\ \bar{f}_3 = 8{,}73 \end{cases}$$

Trong[3] dùng phương pháp SWT để giải bài toán trên và nhận được kết quả nghiệm tối ưu:

X=(0,47, 0,5, 0,7, 0,61, 0,48, 0,50, 0,51, 0,60, 0,52, 0,81, 0,62, 0,60, 0,53, 0,72, 0,67)

$$\text{khi đó} \begin{cases} f_1^* = 5943 \\ f_2^* = 3{,}33 \\ f_3^* = 6{,}06 \end{cases}$$

Dễ thấy $f_3^* \le \bar{f}_3$ là kết quả không mong muốn.

Thử nghiệm thuật toán gien ta nhận được kết quả nghiệm tối ưu:

X^{*g}=(o,52, 0,45, 0,70, 0,518, 0,642, 0,542, 0,58, 0,83, 0,51, 0,85, 0,61, 0,85, 0,53, 0,71) và y = 0,178

$$\text{khi đó} \begin{cases} f_1^g = 6423 \\ f_2^g = 3,46 \\ f_3^g = 8,73 \end{cases}$$

So sánh kết quả của thuật toán gien với kết quả của SWT thấy rằng hai giá trị cực đại f_2^g và f_3^g lớn hơn f_2^*, f_3^* và f_2^g và f_3^g đều thoả mãn rằng chúng lớn hơn hoặc ít nhất đạt giá trị trung bình. Người quyết định có lẽ sẽ thích nghiệm theo thuật toán gien hơn cả.

V. Kết luận

Sử dụng tài nguyên nước luôn là bài toán đa mục tiêu. Khi các hàm mục tiêu không thể so sánh với nhau và mâu thuẫn với nhau thì thuật toán gien là công cụ có hiệu quả để giải quyết bài toán tối ưu đa mục tiêu sử dụng tài nguyên nước (bao gồm khai thác nguồn nước và quản lý chất lượng nước). Kết quả giải hai bài toán trên minh chứng cho điều đó. Thuật toán gien xử lý thông tin ở mức bit nên nó cho phép giải quyết các bài toán tối ưu đa mục tiêu có hiệu qủa và việc phát triển mô hình sử dụng tài nguyên nước với chi phí thấp và thời gian ngắn nhưng lại cho kết quả tốt.

Tài liệu tham khảo

1. Lê Xuân Cầu. Ứng dụng của thuật toán gien trong nghiên cứu thủy văn. -Tạp chí Khí tượng Thủy văn, số 7(475)/ 2000.
2. Haimes Y. Y., Hall W. A., " Multiobjectives in Water Resources Systems Analysis: The Surrogate Worth Trade-off Method", Water Resources Research, Vol. 10, No.4, 1974
3. Haimes Y. Y., Hall W. A. & Freedman , " Multiobjective optimization in Water Resources Systems: The Surrogate Worth Trade-off Method", Developments in Water Science, No. 3, Elsevier, 1974
4. J. E. Hass ," Optimal Taxing for the Abatement of Water Pollution ", Water Resources Research, Vol. 6, No.2, 1970
5. Vemuri V., " Multiobjective optimization in Water Resources Systems", Water Resources Research, Vol. 10, No.1, 1974