

ỨNG DỤNG THUẬT TOÁN DI TRUYỀN CẢI TIẾN TRONG THIẾT KẾ TỐI ƯU HỆ THỐNG PHÂN PHỐI NƯỚC

AN IMPROVED GENETIC ALGORITHM FOR DESIGN OPTIMAZATION OF WATER DISTRIBUTION NETWORK

Vũ Đức Quyển

Học viện Kỹ thuật Quân sự

TÓM TẮT

Tối ưu thiết kế là bài toán quan trọng trong việc tối ưu chi phí xây dựng cũng như đảm bảo hiệu quả khai thác sử dụng hệ thống phân phối nước. Có rất nhiều phương pháp và thuật toán đã được phát triển, sử dụng và được kiểm tra bằng các mô hình chuẩn. Bài báo này áp dụng thuật toán di truyền cải tiến trên công cụ Epanet-Matlab để giảm thiểu chi phí giá thành của hệ thống, trong khi vẫn đảm bảo được các yêu cầu ràng buộc khác.

Từ khóa: *Mạng lưới phân phối nước; Tối ưu hóa; Thuật toán di truyền cải tiến; Matlab; Epanet.*

ABSTRACT

Design optimization is an important problem in optimizing construction costs as well as ensuring efficient exploitation and use of water distribution systems. There are many methods and algorithms that have been developed and used and tested using standard models. This paper applies an improved genetic algorithm on the Epanet-Matlab tool to reduce the cost of the system while ensuring other constraints.

Keywords: *Water distribution network; Optimzation; Improved genetic algorithm; Matlab; Epanet.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Vấn đề tối ưu hóa mạng lưới phân phối nước là một trong những bài toán quan trọng trong vấn đề quản lý và sử dụng tài nguyên trong điều kiện biến đổi khí hậu và khan hiếm tài nguyên hiện nay. Chi phí xây dựng mạng lưới chiếm khoảng 70% tổng chi phí xây dựng toàn bộ hệ thống cấp nước [1]. Do đó, một phương án đề xuất để giảm chi phí hệ thống là chọn kích thước đường ống thích hợp bán

sẵn trên thị trường để giảm thiểu chi phí của mạng nhỏ nhất mà vẫn đáp ứng được các yêu cầu thủy lực như áp lực và vận tốc dòng chảy [2].

Nhiều thuật toán tối ưu đã được phát triển trong những thập niên gần đây để giải quyết vấn đề này (Bhave 2003). Trong đó, các kỹ thuật tiến hóa như thuật toán di truyền (GA) (Dandy và các cộng sự 1996; Savic và Walters 1997; Wu và Simpson 2001; Vairavamoorthy

và Ali 2000, 2005), thuật toán tối ưu hóa bầy đàn và lai ghép Sedki và Ouaza, v.v... đã được nhiều tác giả sử dụng thành công trong giải quyết vấn đề này. Thuật toán di truyền tìm kiếm không gian giải pháp bằng cách tạo một quần thể ban đầu, tức là số lượng giải pháp trong không gian tìm kiếm, chọn chúng trong quá trình tiến hóa tiếp theo tùy theo mức độ phù hợp của chúng và lai ghép chúng bằng các cơ chế nhất định. Quá trình lựa chọn, đánh giá và kết hợp này tiếp tục cho đến khi không quan sát thấy sự cải thiện nào nữa về mức độ phù hợp; hoặc một số thể hệ cụ thể đã đạt được.

Trong bài báo này, chúng tôi sẽ trình bày một thuật toán di truyền cải tiến ứng dụng trên công cụ Matlab-Epanet để tính toán thủy lực và thiết kế tối ưu mạng lưới phân phối nước và so sánh kết quả thu được với các công trình đã công bố trước đó khi thử nghiệm với mạng Hà Nội [3].

2. THIẾT KẾ TỐI ƯU HỆ THỐNG PHÂN PHỐI NƯỚC

2.1. Mô hình bài toán thiết kế tối ưu hệ thống nước

Bài toán thiết kế tối ưu mạng lưới phân phối nước có thể được biểu diễn ở dạng toán học theo chiều dài ống và giá thành ống như sau [4]:

Hàm mục tiêu:

$$\min C = \min \sum_{i=1}^N f(D_i, L_i) \quad (1)$$

Trong đó: N là số lượng ống trong mạng, $f(D_i, L_i)$ là chi phí đoạn ống thứ i có đường kính D_i và chiều dài L_i .

Hệ thống phải thỏa mãn các yêu cầu sau:

$$\sum Q_v - \sum Q_r = Q_n \quad (2)$$

$$\sum h_f - \sum E_p = 0 \quad (3)$$

$$H_j \geq H_j^{\min}; j = 1, \dots, M \quad (4)$$

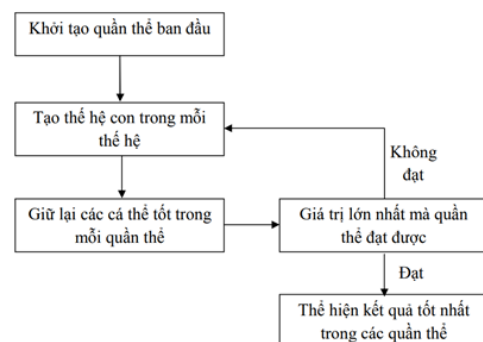
$$V_{\min} \leq V_j \leq V_{\max}; j = 1, \dots, M \quad (5)$$

$$D_i \in D \quad (6)$$

Với: Q_v là lưu lượng vào nút; Q_r là lưu lượng ra, Q_n là lưu lượng tiêu thụ tại nút; h_f là tổn thất áp lực theo Hazen-Williams hoặc Darcy-Weisbach; E_p là năng lượng bơm cung cấp vào mạng; H_j là áp lực nút tại j ; $H_j^{\min}$ là áp lực yêu cầu tối thiểu tại j ; M là số lượng nút trong mạng lưới; D là một bộ các kích thước đường ống thương mại tiêu chuẩn có sẵn trên thị trường.

2.2. Thuật toán di truyền

Thuật toán di truyền là một chuỗi các thuật toán mô phỏng tiến hóa được đề xuất bởi Holland và các cộng sự (1975), sau đó được tổng kết bởi DeJong, Goldberg và các học giả khác. Lưu đồ thuật toán được đưa ra trên Hình 1. Khi xây dựng bài toán sử dụng các biểu thức từ (1) tới (6), mỗi nghiệm hay mỗi nhiễm sắc thể (NST) trong di truyền là một bộ của N đường ống và có thể được biểu diễn bằng một mã nhị phân.

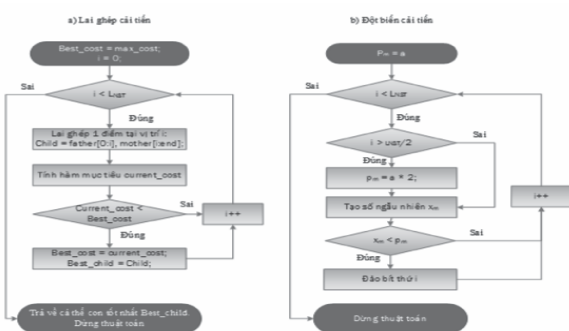


Hình 1. Cấu trúc của thuật toán di truyền truyền thống

Các nghiệm sẽ được tính toán thủy lực và đưa ra đánh giá về giá thành đầu tư và chi phí phạt dựa trên các vi phạm về ràng buộc. Các cá thể tốt nhất sẽ được lựa chọn để xây dựng quần thể mới. Quá trình lựa chọn được xác định bằng xác suất lựa chọn p_s . Sau đó, một số cá thể sẽ được thực hiện lai ghép theo một xác suất lai p_c xác định trước cho mỗi cặp cha mẹ lựa chọn ở bước trước đó. Xác suất này có thể thay đổi từ 0.6 tới 1.0 [5, 6]. Đối với lai ghép một điểm, điểm lựa chọn được chọn ngẫu nhiên trong nhiễm sắc thể của cha mẹ và các bit sau đó sẽ được trao đổi. Đột biến cũng xảy ra theo quy trình tương tự với xác suất đột biến p_m cho mỗi bit của các cá thể thu được khi lai ghép. Quần thể mới được đánh giá về chi phí và kiểm tra vi phạm các ràng buộc. Quá trình được thực hiện trong nhiều thế hệ và lưu lại các cấu hình mạng tốt nhất qua mỗi thế hệ. Như vậy, kết quả cuối cùng sẽ là cấu hình mạng có giá thành rẻ nhất.

2.3. Thuật toán di truyền cải tiến

Nhóm tác giả đưa ra mô hình thuật toán di truyền cải tiến mới để cải thiện quá trình lai ghép đơn điểm và đột biến. Hàm mục tiêu sẽ được sử dụng làm chỉ số cho điểm lai ghép, và các điểm lai ghép của toàn bộ nhiễm sắc thể được duyệt qua để nâng cao hiệu quả tìm kiếm nghiệm tốt nhất. Sơ đồ thuật toán của hai phương pháp này được đưa ra trên Hình 2.



Hình 2. Lưu đồ thuật toán lai ghép cải tiến (a) và đột biến cải tiến (b)

2.3.1. Lai ghép cải tiến

Điểm lai ghép đơn của GA được tạo thông qua một vị trí ngẫu nhiên trong chiều dài nhiễm sắc thể của bố mẹ. Để cải thiện quá trình này, nhóm tác giả đề xuất lai ghép từng gen trong nhiễm sắc thể của cha và mẹ, tính toán mức độ phù hợp và chọn cá thể tốt nhất. Các thử nghiệm cho thấy quá trình này có thể giảm số lần lặp và tăng độ hội tụ của nghiệm.

2.3.2. Đột biến cải tiến

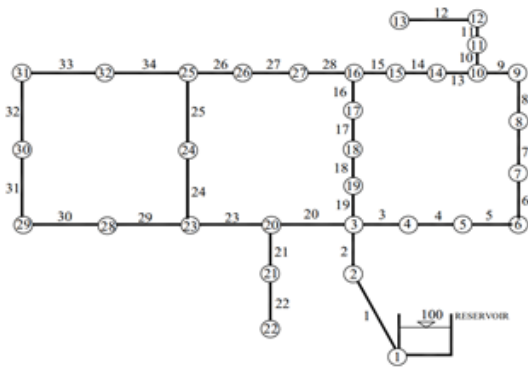
Thuật toán GA thông thường đặt một tỷ lệ đột biến tương đối lớn, và chỉ đột biến một gen trong nhiễm sắc thể của cá thể con khi số tạo ngẫu nhiên nhỏ hơn tỷ lệ đột biến. Đột biến cải tiến đặt một tỷ lệ đột biến nhỏ và sau đó đột biến một cách lựa chọn mỗi gen trong nhiễm sắc thể của các cá thể con. Điều này đảm bảo nửa đầu của gen và nửa sau của gen có cơ hội đột biến như nhau và có khả năng đột biến cùng lúc và làm tăng mức độ đa dạng cũng như độ ổn định của quần thể. Trong trường hợp ổn định tại điểm tối ưu cục bộ, nó sẽ giúp cho khả năng tìm kiếm toàn cục.

3. ĐÁNH GIÁ MÔ HÌNH

Hiệu suất của mô hình dựa trên thuật toán GA cải tiến được phát triển ứng dụng trong tối ưu hóa mạng lưới nước được đánh giá thông qua nghiên cứu điển hình là mạng Hà Nội [3].

3.1. Giới thiệu mạng Hà Nội

Mạng Hà Nội gồm 1 hồ chứa cung cấp cho 32 nút với 34 đường ống được lựa chọn từ 6 kích cỡ đường kính có sẵn. Mạng được cấu thành từ 3 vòng với hệ số Hazen-Williams của tất cả các ống được giả định là giống nhau và đều bằng 130. Bố trí của mạng được đưa ra trong Hình 3.



Hình 3. Mạng lưới phân phối nước Hà Nội

Độ cao của tất cả các nút là 0m, hồ chứa có độ cao 100m. Chiều dài đường ống và giá theo đường kính ống trong Bảng 1 và 2.

Bảng 1. Chiều dài các đoạn ống trong mạng Hà Nội

Ống	Chiều dài (m)	Ống	Chiều dài (m)	Ống	Chiều dài (m)
1	100	13	800	25	1300
2	1350	14	500	26	850
3	900	15	550	27	300
4	1150	16	2730	28	750
5	1450	17	1750	29	1500
6	450	18	800	30	2000
7	850	19	400	31	1600
8	850	20	2200	32	150
9	850	21	1500	33	860
10	950	22	500	34	950
11	1200	23	2650	-	-
12	3500	24	1230	-	-

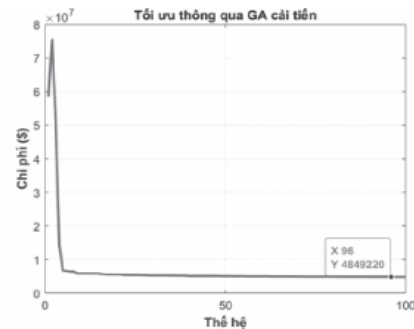
Không gian giải pháp của mạng tương đối lớn ($6^{34} = 2,87 \times 10^{26}$). Thuật toán được kiểm chứng trên Matlab và bộ công cụ Epanet với số lượng quần thể là 1000 và số thế hệ không quá 100, yêu cầu thỏa mãn áp lực cho mỗi nút không dưới 30 và so sánh với các kết quả hiện thời của Fujiwara và Khang, 1990; Savic và Walters, 1997; Vairavamoorthy và Ali, 2000; Neelakanta và Suribabu, 2006; Cunha và Sousa,

1999; Abede và Solomatine, 1998; Liong và Atiquzzaman, 2004.

Bảng 2. Chi phí cho từng kích cỡ đường ống

TT	Đường kính (inch)	Đường kính (mm)	Chi phí (\$/m)
1	12	304,8	45,73
2	16	406,4	70,4
3	20	508	98,38
4	24	609,6	129,33
5	30	762	180,75
6	40	1016	278,28

Kết quả tốt nhất đạt được trong các lần chạy là 4.849.215,60 \$. Quá trình hội tụ của kết quả tối ưu này được trình bày trong Hình 4. Các giá trị đường kính tương ứng với chi phí thấp nhất cho mạng được đưa ra trong Bảng 3.



Hình 4. Quá trình hội tụ của hàm chi phí tối ưu trong mạng Hà Nội

Trong bảng 5, khi các chi phí vốn được xem xét, kết quả của Cunha và Sousa (1999) và Savic và Walters (1997) là nhỏ hơn so với các nghiên cứu khác. Tuy nhiên, khi hệ thống này được mô phỏng thủy lực bằng Epanet, thì một số vi phạm áp lực xuất hiện, không đạt với giá trị áp suất nhỏ nhất tại các nút là 30. Có thể thấy phương pháp nghiên cứu này là tốt nhất trong số các kết quả nghiên cứu với giá thành nhỏ nhất so với hiện nay không chỉ về giá thành mà cả về áp lực nút.

Bảng 3. Kết quả giá trị đường kính tối ưu

Ống	Đường kính (mm)	Ống	Đường kính (mm)	Ống	Đường kính (mm)
1	1016	13	304.8	25	406.4
2	1016	14	304.8	26	304.8
3	762	15	304.8	27	406.4
4	1016	16	508	28	508
5	762	17	609.6	29	406.4
6	762	18	609.6	30	406.4
7	762	19	609.6	31	304.8
8	762	20	762	32	304.8
9	762	21	406.4	33	304.8
10	609.6	22	304.8	34	508.8
11	609.6	23	762	-	-
12	508.8	24	508	-	-

Bảng 4. So sánh kết quả giữa các nghiên cứu

	Savic & Walters	Cunha & Sousa	Abebe & Solomatin	Liong & Atiquzzama	Neelakantan & Suribabu	Nghiên cứu này
Tổng (tr.\$)	6.07	6.05	7.00	6.22	6.08	4.849
minP	29.73	29.66	30.23	30.05	30.01	30.8305

4. KẾT LUẬN

Bài báo này đưa ra một kỹ thuật di truyền cải tiến mới trong giai đoạn lai ghép và đột biến để tối ưu giá thành mạng lưới phân phối nước. Hiệu suất của mô hình được đánh giá thông qua nghiên cứu điển hình hệ thống phân phối nước tiêu chuẩn là mạng lưới Hà Nội trên bộ công cụ Matlab-Epanet. Qua so sánh với các nghiên cứu hiện nay, giải pháp này đưa ra cấu hình mạng lưới không chỉ có giá trị thủy lực tốt nhất (30.8376) mà còn có giá thành nhỏ nhất là 4.849.215,60 \$, tốt nhất so với hiện nay. Điều này thể hiện khả năng ứng dụng cao của phương pháp này trong các thiết kế tối ưu mạng lưới phân phối nước. ❖

Ngày nhận bài: 25/7/2023

Ngày phản biện: 20/8/2023

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Babu, K. S. J., Vijayalakshmi, D. P. (2013). *Self-Adaptive PSO-GA Hybrid Model for Combinatorial Water Distribution Network Design*. Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice, 4(1): 57–67.
- [2]. Mala-Jetmarova, H., Sultanova, N., Savic, D. (2018). *Lost in Optimisation of Water Distribution Systems? A Literature Review of System Design*. Water, 10(3): 307.
- [3]. Fujiwara, O., Khang, D. B. (1990). *A two-phase decomposition method for optimal design of looped water distribution networks*. Water Resources Research, 26(4): 539–549.
- [4]. Montesinos P., Garcia-Guzman A., Ayuso J.L (1999). *Water Distribution network optimaztion using a modified genetic algorithm*. Water Resources Research, 35: 319–333.
- [5]. Goldberg D. E. (1989), *Genetic algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley, Reading, Mass, 412.
- [6]. Liang S., W.T. Chan, J. ShreeRam (1995), *Peak-flow forecasting with genetic algorithm and SWMM*, J. Hydraul. Eng. 121:613-617.
- [7]. Savic, Dragan & Walters, Godfrey. (1997). *Genetic Algorithms for Least-Cost Design of Water Distribution Networks*. Journal of water resources planning and management, ASCE, 123(2): 67-77.