TỐI ƯU HOÁ THIẾT KẾ MẠNG NỘI BỘ BẰNG QUY HOẠCH TUYẾN TÍNH

OPTIMIZING LAN TOPOLOGICAL DESIGN WITH LINEAR PROGRAMMING

Lê Văn Minh, Huỳnh Ngọc Thọ
Trường Cao đẳng Công nghệ Thông tin, Đại học Đà Nẵng
Email: vanminh.le246@gmail.com, ngocthobkdn@gmail.com

TÓM TẮT

Hiện nay, mạng nội bộ ngày càng được sử dụng rộng rãi trong các doanh nghiệp và các tổ chức vì những lợi ích thiết thực mà nó đem lại cho quản lý. Một hệ thống mạng tối ưu cho doanh nghiệp đòi hỏi không chỉ tối ưu về mặt kỹ thuật mà còn đoài hỏi sự tối ưu về chi phí lắp đặt. Trong khi các nghiên cứu trong quá khứ tập trung vào việc sử dụng các thuật toán cơ bản (như thuật toán heuristic, thuật toán di truyền hay thậm chí là thuật toán cây bao trùm tối thiểu) vốn gặp khó khăn khi mô tả các ràng buộc từ phía người dùng, bài báo này trình bày một hướng tiếp cận mới về tối ưu hoá hệ thống mạng, hướng tiếp cận bằng quy hoạch tuyến tính. Ngoài ra, trong khi các phương pháp tối ưu trước đây tập trung vào yếu tố kỹ thuật của thiết kế mạng, bài báo này trình bày quá trình tối ưu hoá với tiêu chí là giảm thiểu chi phí một thiết kế mạng nhưng vẫn đảm tính các yêu cầu kỹ thuật của hệ thống mạng.

Từ khóa: tối ưu hoá; quy hoạch tuyến tính; thiết kế mạng; mạng cục bộ

ABSTRACT

Nowadays, the LAN is widely used in business and organizations because of its advantages for management. A optimal network design not only requires technical details but also needs an optimal deployment cost. While recent studies focus on the basic algorithm (such as heuristic algorithm, genetic algorithm or even mimimal spanning tree algorithm) which presents difficulties in describing the user constraints, this paper proposes a new approach to the topological design of this network by using the linear programming method. Besides recent studies addressing to the technical optimization, this paper deals with the way to use the linear programming to optimize the LAN topological design in terms of reducing the deployment cost but satisfying all the technical requirements.

Key words: optimization; linear programming; topological design; local area networks

1. Đặt vấn đề

Ngày này, công nghệ thông tin ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong quản lý, vì thế mạng cục bộ ngày càng được sử dụng rộng rãi trong các tổ chức cũng như các doanh nghiệp để đảm bảo việc liên lạc và trao đổi thông tin. Một hệ thống mạng cục bộ muốn hoạt động tốt cần đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật (yêu cầu thông suốt, yêu cầu về đảm bảo băng thông). Tuy vậy, chi phí lắp đặt cũng là một yếu tố cần quan tâm khi xây dựng một hệ thống mạng cho doanh nghiệp.

Trong khi phần lớn nghiên cứu tập trung vào việc tối ưu hoá các yếu tố kỹ thuật thì bài báo này trình bày quá trình tối ưu hoá về mặt chi phí của một thiết kế mạng bằng cách sử dụng quy hoạch tuyến tính. Trong trường hợp nghiên cứu cụ thể của bài báo này, bài toán đặt ra là làm thế nào để từ một thiết kế địa lý của một tòa nhà đưa ra một thiết kế mạng cục bộ (vị trí đặt các switch và cách đi dây) với giá thành thấp nhất.

2. Kết quả nghiên cứu và khảo sát

2.1. Sử dụng thuật toán heuristic để tối ưu thiết kế mạng

Hướng tiếp cận cổ điển nhất là sử dụng thuật toán heuristic để tối ưu thiết kế. Từ năm 1991, tác giả Khalil [1] đã trình bày hướng tiếp cận heuristic trong việc tối ưu thiết kế của hệ thống mạng cục bộ. Hướng tiếp cận cổ điển này thể hiện yếu điểm cơ bản đó là hoàn toàn dựa vào hàm đánh giá heuristic vốn không đưa bài toán về kết quả tối ưu. Ngoài ra, hướng tiếp cận này cũng đã kéo theo việc khó khăn trong việc đặc tả các ràng buộc thực tế đối với một hệ thống mạng (ví dụ: tại một số vị trí cụ thể (khu vực sẽ lắp đặt server) thì cần thiết lập nhiều hơn một switch).

2.2. Sử dụng thuật toán di truyền để tối ưu hoá thiết kế mạng

Một cải tiến từ hướng tiếp cận heuristic đó là việc sử dụng thuật toán di truyền được đề xuất bởi Elbaum [2]. Hướng tiếp cận này ưu việt hơn hướng tiếp cận heuristic ở chỗ việc tối ưu hoá được thực hiện bằng cách mô phỏng lại quá trình tiến hoá trong đó các tiêu chí đầu vào của thiết kế mạng được đại diện bởi một mã hoá của bộ gen còn hàm đánh giá được đại diện bởi hàm thích nghi của cá thể có bộ gen đó. Mặc dù hướng tiếp cận này đã có những cải tiến nhưng yếu điểm của nó vẫn là sự phụ thuộc hoàn toàn vào hàm đánh giá như thuật toán heuristic.

2.3. Hướng tiếp cận cây bao trùm

Một hướng tiếp cận khác mang lại ưu điểm rõ rệt về độ phức tạp đó là sử dụng cây bao trùm [3]. Hướng tiếp cận này xem các vị trí lắp đặt thiết bị đầu cuối đỉnh của đồ thị. Và bài toán trở thành xây dựng cây bao trùm tối thiểu qua đồ thị đã cho.

Hướng tiếp cận này thể hiện rõ sự tối ưu đó là thiết kế thu được sẽ có chi phí liên kết tối ưu. Cụ thể là nếu chúng ta sử dụng khoảng cách địa lý giữa các điểm làm trọng số của đồ thị thì kết quả thu được từ thuật toán này sẽ là một thiết kế mà tổng độ dài dây dẫn là thấp nhất. Tuy nhiên, đó không phải là chi phí tối thiểu vì tại các điểm giao nhau của dây dẫn, bắt buộc phải lắp đặt switch mà chi phí cho switch thì khá lớn so với chi phí cho dây dẫn.

2.4. Thành tựu gần đây về quy hoạch tuyến tính

Gần đây, cùng với sự phát triển của framework cho phép giải các bài toán quy hoạch toán học (như opensource GLPK hay IBM CPLEX), các nhà khoa học dần đưa các bài toán tối ưu về quy hoạch toán học. Cụ thể là trong công trình của Chevaleyre [4], quy hoạch toán học được sử dụng để tối ưu hoá việc lắp đặt biển báo dẫn đường cho việc di tản khi xảy ra sóng thần.

Thành tựu này đã hướng nhóm tác giả đến việc sử dụng quy hoạch tuyến tính cho việc tối ưu thiết kế mạng cục bộ.

3. Đề xuất giải pháp

3.1. Các định nghĩa

3.1.1. Đồ thị đặc tả hệ thống mạng

Gọi G=(V, E) là đồ thị mô tả hệ thống mạng. Với V là tập các đỉnh. $V = \{V_0,.., V_i, V_{i+1},.., V_{n-1}\}$; Với là số nút trên hệ thống mạng. Mỗi đỉnh $V_i(V_{ix}, V_{iy})$ đại diện cho một điểm đầu cuối hoặc điểm nối của hệ thống mạng, trong đó (V_{ix}, V_{iy}) là toạ độ của điểm đó. Và E là tập các cạnh $E = \{E_{ij}, 0 \le i, j < n\}$; Mỗi cạnh E_{ij} đại diện cho kết nối giữa V_i và V_j. Giá trị của E_{ij} chính là khoảng cách từ V_i đến V_j, với $E_{ij} < 100$ mét (theo quy định về giới hạn dây dẫn cho mạng cục bộ IEEE 802.3u)

3.1.2. Tập hợp các nút có thể liên kết

Gọi $CA_t = \{V_i, V_j, V_k,...\}$ là tập hợp đại diện cho một nhóm những nút mà giữa chúng ta có thể đi dây. Sau đó, gọi $CA = \{CA_0, CA_1,...\}$ là tập các nhóm mà trong mỗi nhóm ta có thể đi dây giữa các vị trí. Trên thực tế, tuỳ vào thiết kế của cơ sở hạ tầng (thiết kế của cả khu nhà hoặc kiến trúc cụ thể của từng toà nhà) nơi thiết lập hệ thống mạng mà có những điểm nút mà ta không thể đi dây. Ngược lại, cũng sẽ có những nút mà ta có thể đi dây. Do đó, nếu $\exists CA_t \in CA$ mà $V_i \in CA_t$ và $V_j \in CA_t$ thì V_i và V_j có thể nối với nhau.

3.1.3. Tập các switch được sử dụng

Gọi $S_x = \{S_{0,x},.., S_{n-1,x}\}$ là tập hợp những switch có x cổng được lắp đặt ($x \in X$; X đại diện cho số cổng của các loại switch $X = \{4, 8, 16, 24, 32\}$). Trong đó $S_{i,x}$ chỉ có 2 giá trị: giá trị 1 nếu nút V_i được lắp đặt switch hoặc giá trị 0 nếu không có switch được lắp đặt tại V_i. Ví dụ $S_{1,8} = 1$ nghĩa là một switch 8 cổng được lắp đặt tại nút thứ 1.

3.1.4. Tập các cạnh được sử dụng để nối dây

Gọi $A = \{A_{ij}, 0 \le i, j < n\}$ là tập hợp những cạnh được đi dây. Trong đó A_{ij} chỉ nhận 2 giá trị: giá trị 1 nếu có dây được lắp đặt để nối nút V_i và V_j hoặc giá trị 0 nếu không lắp đặt dây giữa V_i và V_j.

3.1.4. Chi phí cho thiết bị

Gọi Px (usd/unit) là giá của một switch có x cổng và Pl (usd/m) là giá của một một mét dây dẫn. Trong tình huống này chúng ta hoàn toàn có thể sử dụng đơn vị của tiền tệ Việt Nam như

ngàn đồng/1 switch hoặc ngàn đồng/1 mét dây.

3.2. Mô hình hoá về bài toán tối ưu hoá

3.2.1. Hàm mục tiêu

Mục tiêu của bài toán là giảm thiểu chi phí lắp đặt hệ thống mạng. Chi phí này được tính bằng tổng chi phí đi dây và tổng chi phí cho tất cả các switch sử dụng

$$f = min(Pl\sum_{i=0}^{n-1}\sum_{j=0}^{n-1}A_{ij}E_{ij} + \sum_{k}^{n-1}\sum_{x\in X}S_{kx}P_x)$$

3.2.2. Các ràng buộc

b1. Tổng số switch không được vượt quá số lượng đỉnh

$$\left(\sum_{k=0}^{n-1}\sum_{x\in X}S_{kx}\right) \le n$$

b2. Tại một nút chỉ có thể thiết lập tối đa 1 switch

$$\forall k \in [0,n) \Longrightarrow \left(\sum_{x\in X}S_{kx}\right) \le 1$$

b3. Những nút không cùng nhóm thì không được nối với nhau

$$\begin{cases} \forall i,j \in [0,n) \\ \nexists k(i \in CA_k \wedge j \in CA_k) \end{cases} \Longrightarrow A_{ij} = 0$$

b4. Những nút có nhiều hơn một kết nối bắt buộc phải có switch

$$\begin{cases} \forall i \in [0,n) \\ \left(\sum_{j=0}^{n-1}A_{ij} + \sum_{k=0}^{n-1}A_{ki}\right) > 1 \end{cases} \Longrightarrow \sum_{x\in X}S_{ix} \ge 1$$

b5. Tại mỗi nút, tổng số lượng kết nối không vượt quá số cổng của switch được thiết lập tại nút đó.

$$\forall i \in [0,n) \Longrightarrow \left(\sum_{j=0}^{n-1}A_{ij} + \sum_{k=0}^{n-1}A_{ki}\right) \le x\sum_{x\in X}S_{ix}$$

b6. Điều kiện bao trùm, tất cả các nút đều phải nối với ít nhất một cạnh

$$\forall i \in [0,n) \Longrightarrow \left(\sum_{j=0}^{n-1}A_{ij} + \sum_{k=0}^{n-1}A_{ki}\right) \ge 1$$

b7. Điều kiện của một cây, tổng số cạnh phải bằng n-1

$$\sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=0}^{n-1}A_{ij} = n-1$$

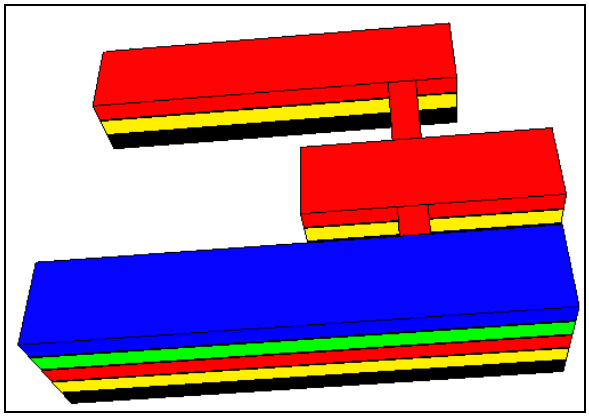
4. Thực nghiệm và đánh giá

4.1. Áp dụng đối với Trường Cao đẳng Công nghệ Thông tin, Đại học Đà Nẵng

Để đánh giá sự hiệu quả của giải pháp đưa ra, chúng tôi tiến hành thực nghiệm với kiến trúc thật của Trường Cao đẳng Công nghệ Thông tin, Đại học Đà Nẵng với trụ sở, ở Hoà Quý, Thành phố Đà Nẵng (Hình 1 là bàn đồ được chụp từ Google Map). Đầu vào của bài toán bao gồm:

* Bản đồ thông tin địa lý: bản đồ này mô tả các toà nhà, các phòng, các địa điểm cần đặt thiết bị đầu cuối (Hình 2 mô tả kiến trúc của các toà nhà).

Hình 1. *Bản đồ Trường Cao đẳng Công nghệ Thông tin, Đại học Đà Nẵng (nguồn Google Map)*

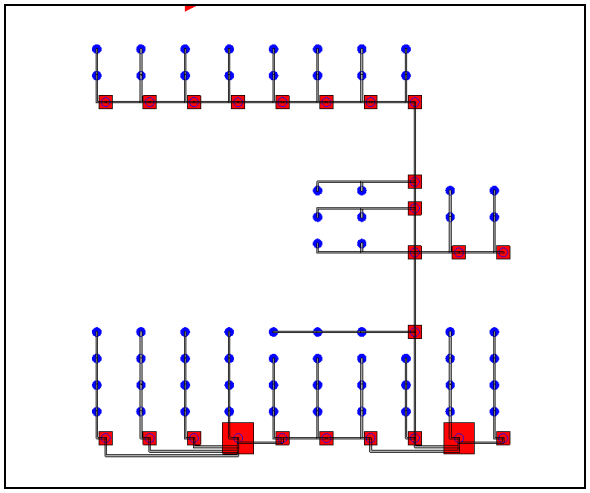


Hình 2. *Kiến trúc các toàn nhà của trường Cao đẳng Công nghệ Thông tin, Đại học Đà Nẵng (Kết quả thu được từ chương trình mô phỏng)*

* Giá thành của dây dẫn: Trong nghiên cứu này, sử dụng giá của dây dẫn là 1000 vnd/mét.

* Giá thành của các loại switch 4 cổng, 8 cổng, 24 cổng lần lượt là 100 nghìn đồng, 150 nghìn đồng, 350 nghìn đồng.

Đầu ra của bài toán là chi phí thiết lập hệ thống mạng cùng với thiết kế tương ứng. Bài toán được giải bằng platform tối ưu hoá CPLEX của IBM kết hợp với platform mô phỏng GAMA [5]. Trong đó CPLEX thực hiện việc phân tích mô hình toán học quy hoạch tuyến tính để đưa ra giải pháp tối ưu còn GAMA thực hiện việc mô phỏng hệ kết quả thu được từ CPEX đồng thời kiểm tra tính liên thông của hệ thống mạng.



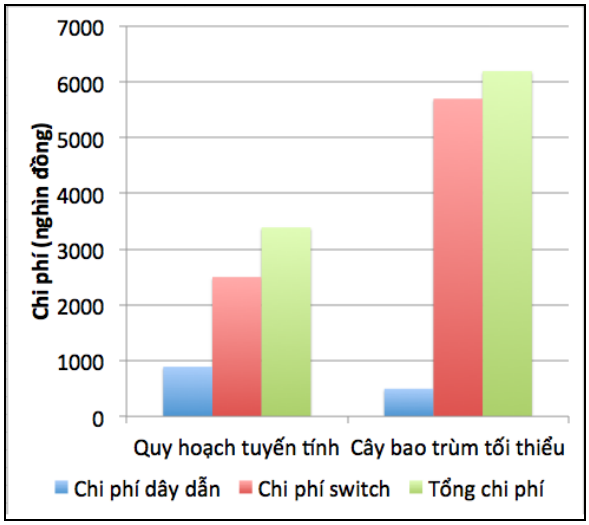
Hình 3. *Thiết kế mạng tối ưu thu được từ hướng tiếp cận quy hoạch tuyến tính*

Hình 3 là kết quả của thiết kế mạng tối ưu thu được từ hướng tiếp cận quy hoạch tuyến tính, trong đó: các điểm tròn đại diện cho các cổng nối với thiết bị đầu cuối; các hình vuông đại diện cho các switch (với hình vuông nhỏ đại diện cho switch 4 cổng, hình lớn hơn đại diện cho switch 8 cổng); các đoạn thẳng đại diện cho dây dẫn nối trực tiếp đến switch. Chú ý, mỗi switch đều có thêm 1 cổng ra (ngoài số cổng Lan) để kết nối với switch khác và các thiết bị đầu cuối chỉ nối với switch mà không nối với nhau.

4.2. So sánh với hướng tiếp cận cây bao trùm tối thiểu

Để có được đánh giá khách quan, chúng tôi áp dụng giải pháp cây bao trùm tối thiểu với cùng một dữ liệu đầu vào với giải pháp đề xuất. Sau đó so sánh kết quả. Kết quả thu được từ thực nghiệm cho thấy sự ưu việt của giải pháp đề ra.

Trên Hình 4, hướng tiếp cận cây bao trùm tối thiểu đưa ra một kết quả rất tiết kiệm dây dẫn. Chi phí cho dây dẫn của hướng tiếp cận cây bao trùm tối thiểu nhỏ hơn hẳn hướng tiếp cận của quy hoạch tuyến tính. Tuy nhiên, chi phí cho switch của hướng tiếp cận cây bao trùm là rất lớn. Điều này làm cho tổng chi phí của hướng tiếp cận cây bao trùm lớn hơn hẳn tổng chi phí được tính toán bằng hướng tiếp cận quy hoạch tuyến tính. Nguyên nhân cơ bản của sự chênh lệch này là do hướng tiếp cận cây bao trùm tối thiểu chỉ tập trung vào tối ưu hoá các kết nối giữa các điểm bằng cách giảm thiểu dây dẫn mà bỏ qua yếu tố switch vốn yêu cầu chi phí cao hơn hẳn dây dẫn.



Hình 4. *So sánh chi phí của 2 thiết kế đối với cùng một kiến trúc*

5. Kết luận

Bài báo đã trình bày giải pháp tối ưu hoá thiết kế mạng cục bộ bằng quy hoạch tuyến tính. Giải pháp này đưa ra được một thiết kế với chi phí nhỏ nhất từ một mô tả bằng dữ liệu thông tin địa lý. Giải pháp này đã được áp dụng đối với dữ liệu thật và đã thể hiện được sự ưu việt so với giải pháp cây bao trùm tối thiểu đối với chính dữ liệu thật ấy. Ngoài ra, với hướng tiếp cận quy hoạch tuyến tính này, người thiết kế hệ thống mạng dễ dàng thêm vào các ràng buộc tuỳ ý dựa theo điều kiện hoặc chính sách bảo mật của kiến trúc toà nhà (Ví dụ, tại một vị trí nào đó bắt buộc

phải thiết lập một switch để sau này từ đó có thể đặt thêm các server).

Về mặt phát triển, bài báo này mở ra một hướng nghiên cứu mới đó là ứng dụng quy hoạch tuyến tính vào các bài toán tối ưu thiết kế mạng. Một cách cụ thể, bài toán tối ưu thiết kế mạng cục bộ đã đề xuất này sẽ mở ra việc tối ưu hoá mạng diện rộng, tối ưu hoá mạng phức tạp (trong đó có sự tham gia của các thiết bị định tuyến, các thiết bị giao tiếp không dây).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] K. M. Khalil and P. A. Spencer, "A systematic approach for planning, tuning and upgrading local area networks", *in IEEE Global Telecommunications Conference GLOBECOM '91: Countdown to the New Millennium,* Conference Record, 1991, pp. 658–663.

[2] R. Elbaum and M. Sidi, "Topological Design of Local Area Networks Using Genetic Algorithms", *IEEE/ACM Trans. Networking,* vol. 4, pp. 766–778, 1996.

[3] C. Ersoy and P. Shivendra, "Topological Design of Interconnected LAN-MAN Networks", *IEEE JSAC,* vol. 11, no. 8, pp. 1172–1182, 1993.

[4] T. N. A. Nguyen, Y. Chevaleyre, and J. D. Zucker, "Optimizing the Placement of Evacuation Signs on Road Network with Time and Casualties in case of a Tsunami", *in 20th IEEE International Conference on Collaboration Technologies and Infrastructures* (Wetice 2011), 2011, no. i, pp. 394–396.

[5] A. Drogoul, E. Amouroux, P. Caillou, B. Gau- dou, A. Grignard, N. Marilleau, P. Taillandier, M. Vavasseur, D.-A. Vo, and J.-D. Zucker, "Gama: Multi-level and Complex Environment for Agent-based Mod- els and Simulations (demonstration)", *in the 2013 inter- national conference on Autonomous agents and multi-agent systems,* 2013, pp. 1361–1362.

(BBT nhận bài: 23/09/2013, phản biện xong: 12/11/2013)