

GIẢI CHUỖI KÍCH THƯỚC CÓ KHẤU THÀNH PHẦN ĐÃ BIẾT SAI LỆCH GIỚI HẠN

SOLVING LINEAR DIMENSION CHAINS CONTAINING COMPONENTS WITH KNOWN LIMIT DEVIATIONS

Trần Minh Sang, Trần Văn Tiến*, Lưu Đức Bình, Phạm Nguyễn Quốc Huy

Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng, Đà Nẵng, Việt Nam¹

*Tác giả liên hệ / Corresponding author: tvtien@dut.udn.vn

(Nhận bài / Received: 03/9/2024; Sửa bài / Revised: 10/10/2024; Chấp nhận đăng / Accepted: 17/10/2024)

Tóm tắt - Ngày nay, nhiều chi tiết máy được chế tạo sẵn và cung cấp trên thị trường. Chúng có đầy đủ thông tin kích thước và các sai lệch giới hạn được thể hiện trong danh mục của nhà sản xuất. Tuy nhiên, thuật toán giải chuỗi theo phương pháp lắp lần hoàn toàn hiện nay có nhược điểm là: không được xây dựng để giải các chuỗi kích thước có khâu thành phần đã biết trước sai lệch giới hạn thuộc các chi tiết máy có sẵn. Do đó, một thuật toán cải tiến dựa trên phương pháp lắp lần hoàn toàn được phát triển để giải quyết vấn đề trên. Thuật toán cải tiến thêm vào 03 trường hợp cụ thể để có thể đáp ứng mọi vấn đề phát sinh trong thực tiễn giải chuỗi hiện nay. Các ví dụ đi kèm sẽ làm rõ bản chất của thuật toán, nhằm giúp người thiết kế hiểu và áp dụng nó vào các trường hợp thực tiễn.

Từ khóa - Chuỗi kích thước thẳng; phương pháp lắp lần hoàn toàn; sai lệch giới hạn; chi tiết chế tạo sẵn; thuật toán

1. Tổng quan

Khi sản xuất cụm chi tiết máy hay máy, chúng sẽ được lắp ráp từ nhiều chi tiết máy lại với nhau. Mỗi chi tiết máy tùy theo chức năng hoạt động mà được tính toán và thiết kế với kết cấu khác nhau. Tuy nhiên, ta có thể chia chi tiết máy trong cụm lắp ráp thành hai dạng chính: ① các chi tiết máy không tiêu chuẩn và không có sẵn trên thị trường, loại này phải được chế tạo riêng; ② các chi tiết máy được chế tạo sẵn (COTS) và bán trên thị trường, và do đó ta có thể chọn mua các chủng loại phù hợp. Khi lắp ráp các chi tiết máy, phải đảm bảo từng chi tiết hoạt động đúng chức năng và phải đảm bảo đúng yêu cầu lắp ráp của cụm chi tiết [1]. Các COTS đóng vai trò vô cùng quan trọng trong ngành công nghiệp sản xuất, đặc biệt là trong việc tối ưu hóa quy trình sản xuất. COTS được sử dụng trong nhiều lĩnh vực và mang lại rất nhiều lợi ích: giảm thiểu thời gian thiết kế và gia công; tiết kiệm chi phí sản xuất; đảm bảo độ chính xác và chất lượng vì được sản xuất theo tiêu chuẩn; đơn giản hóa quy trình bảo trì, thay thế và nâng cấp hệ thống; thiết kế phù hợp với nhiều loại máy móc và hệ thống khác nhau và giúp việc lắp ráp trở nên dễ dàng hơn; có sẵn trên thị trường, giúp giảm thiểu thời gian chờ đợi và đảm bảo nguồn cung ổn định [2-4]. Trong lĩnh vực cơ khí có thể kể tên một số công ty chuyên sản xuất các chi tiết máy tiêu chuẩn bán sẵn uy tín như: SKF Group, MISUMI Corporation, THK Co., Ltd., SMC... [5-8].

Abstract - Nowadays, commercial-off-the-shelf components (COTS) are fabricated and readily available on the market. These components come with dimensions that include limit deviations, as listed in manufacturers' catalogs. However, the existing algorithm used to solve dimension chains using the complete interchangeability method has a significant limitation: it cannot solve dimension chains where the COTS have predefined limit deviations. To overcome this limitation, an improved algorithm based on the complete interchangeability method has been developed. This improved algorithm outlines three specific cases to address all practical issues for solving the linear dimension chains. The accompanying examples help designers understand the algorithm's core principles, enabling them to apply the algorithm to their practical situations.

Key words - Linear dimension chain; complete interchangeability method; limit deviations; COTS; algorithm

Để đảm bảo yêu cầu lắp ráp thì người thiết kế phải quyết định dung sai (DS) và sai lệch giới hạn (SLGH) của từng kích thước tham gia vào chuỗi kích thước lắp ráp (CKT) ngay trong giai đoạn thiết kế. Việc chọn DS hợp lý ngay từ đầu sẽ góp phần rất lớn vào cải thiện năng suất và chất lượng sản phẩm. Để quyết định chính xác SLGH của từng kích thước thì phải lập và giải các CKT. Việc lập CKT có thể thực hiện bằng thủ công hoặc có thể lập tự động với sự hỗ trợ của máy tính, có thể tham khảo trong nhiều tài liệu [9-12].

Khi đã lập được CKT, ta đi tiến hành giải chuỗi. Việc giải CKT khi thiết kế dựa trên hai phương pháp: ① Phương pháp lắp lần hoàn toàn (LLHT), hay còn gọi là phương pháp cực đại – cực tiểu; ② Phương pháp lắp lần không hoàn toàn (LLKHT), hay còn gọi là phương pháp xác suất [13]. LLHT giữ độ lệch khâu khép kín (KKK) luôn nằm trong SLGH yêu cầu của nó với bất kỳ sự kết hợp nào của các kích thước thực của các khâu thành phần (KTP), tức là ngay cả tại các kích thước giới hạn trên và dưới [14]. Phương pháp này đảm bảo khả năng hoán đổi hoạt động của các chi tiết lắp. Tuy nhiên, KKK yêu cầu độ chính xác cao hoặc số lượng KTP nhiều thì DS của các KTP bị hạn chế và do đó chi phí sản xuất cao. Phương pháp trên phù hợp để giải các CKT với số lượng thành phần ít hoặc DS của KKK lớn, và được áp dụng cho sản xuất đơn chiếc hoặc loạt nhỏ. LLKHT giả định rằng khi lựa chọn ngẫu nhiên các KTP trong quá trình lắp ráp,

¹ The University of Danang – University of Science and Technology, Danang, Vietnam (Tran Minh Sang, Tran Van Tien, Luu Duc Binh, Pham Nguyen Quoc Huy)

các kích thước thực của các KTP hiểm khi đồng thời bằng các kích thước giới hạn của chúng. Do đó, xác suất xảy ra các kích thước giới hạn của KTP trong quá trình sản xuất sẽ nhỏ. Nếu chấp nhận một rủi ro nhất định là trong quá trình lắp ráp sẽ xuất hiện phế phẩm, DS của các KTP trong CKT có thể được tăng lên. Phương pháp này giúp giảm chi phí sản xuất và chủ yếu được sử dụng trong sản xuất hàng loạt lớn [15].

Hiện tại, có rất nhiều kỹ thuật giải CKT được phát triển dựa trên hai phương pháp trên. Zeng và cộng sự đã phát triển mô hình Jacobian-Torsor thống nhất dựa trên LLHT để phân tích DS của CKT phức tạp, mà CKT đó có chứa KTP bị ảnh hưởng bởi cấu trúc hình học của cụm lắp do nằm trong một CKT thẳng cục bộ khác [16]. Khodaygan và cộng sự đã đề xuất kỹ thuật giải mờ dựa trên 2 phương pháp LLHT và LLKHT để giải quyết CKT bị ảnh hưởng bởi cả DS kích thước và DS hình học [17]. Tsai và cộng sự đã phát triển kỹ thuật giải dựa trên LLKHT để giải quyết các CKT chứa các KTP có phân bố DS không phải phân bố chuẩn [18]. Yi và cộng sự đã đề xuất một kỹ thuật mới dựa trên thuật toán di truyền (GA), giải quyết kết hợp phân tích DS theo LLHT và thiết kế bền vững (robust design) [14]. Ngoài ra, còn nhiều kỹ thuật đề xuất khác được trình bày trong các tài liệu nghiên cứu để giải CKT một chiều, hai chiều hay ba chiều [19-23].

Một nhược điểm khi lập và giải CKT theo phương pháp LLHT và LLKHT là: ban đầu kích thước của các KTP chưa cho trước DS và SLGH, chúng chỉ được tìm ra khi hoàn thành việc giải CKT. Tuy nhiên, thực tế ngày nay cụm chi tiết được lắp ráp có sử dụng nhiều chi tiết COTS, các chi tiết này đã được biết trước DS và SLGH khi tra danh mục của nhà sản xuất [24, 25]. Nếu trong CKT có chứa các chi tiết COTS thì hiện tại chưa có chỉ dẫn hay đề xuất để giải quyết vấn đề này. Do đó, bài báo này trình bày một thuật toán cải tiến để giải các bài toán mà trong CKT có chứa một hay nhiều chi tiết COTS. Trong giới hạn của nghiên cứu, các tác giả tập trung cải tiến thuật toán giải CKT phẳng một chiều dựa trên phương pháp LLHT.

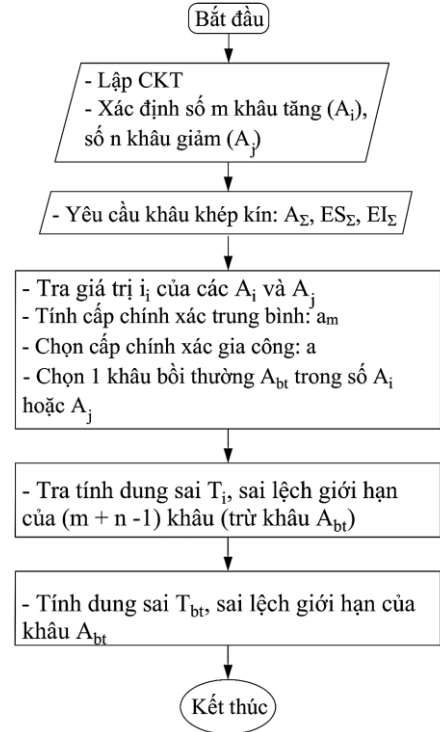
2. Thuật toán giải chuỗi kích thước

2.1. Thuật toán hiện tại

Hiện tại, việc giải CKT theo phương pháp LLHT được thực hiện khi SLGH của KKK được cho trước và các KTP đều chưa biết DS và SLGH. Trình tự giải được thực hiện theo các bước được thể hiện trong Hình 1 [15, 26]. Bước 1, dựa trên quan hệ về kích thước lắp ráp các chi tiết trong cụm lắp mà người thiết kế phải lập được CKT, xác định bao nhiêu m khâu tăng A_i và bao nhiêu n khâu giảm A_j . Bước 2, giá trị kích thước danh nghĩa (KTDN) A_Σ và SLGH ES_Σ và EI_Σ của KKK cần được định trước. Bước 3, tra các hệ số DS đơn vị i_j ; tính cấp chính xác (CCX) trung bình a_m , sau đó chọn CCX gia công a dựa vào việc so sánh a_m với các hệ số đặc trưng cho CCX đã được tiêu chuẩn; tiếp theo chọn một khâu bồi thường A_{bt} có thể nằm trong số khâu A_i hoặc A_j . Bước 4, ta đi tra DS T_i và SLGH ES_i và EI_i cho khâu tăng hoặc es_j và ei_j cho khâu giảm, chú ý là khâu bồi thường A_{bt} sẽ không được tra trong bước này. Bước 5, ta tính DS T_{bt} và SLGH $ES_{bt}(es_{bt})$ và

$EI_{bt}(ei_{bt})$ của khâu A_{bt} tùy thuộc nó là khâu tăng hay khâu giảm.

Từ thuật toán giải CKT đang sử dụng hiện tại, rõ ràng là các KTP ban đầu hoàn toàn không biết trước DS và SLGH. Nếu trong CKT có chứa các COTS thì chưa có hướng dẫn giải quyết. Do đó, thuật toán cải tiến dưới đây được đề xuất để khắc phục nhược điểm của thuật toán hiện tại.



Hình 1. Thuật toán giải CKT theo phương pháp LLHT

2.2. Thuật toán cải tiến

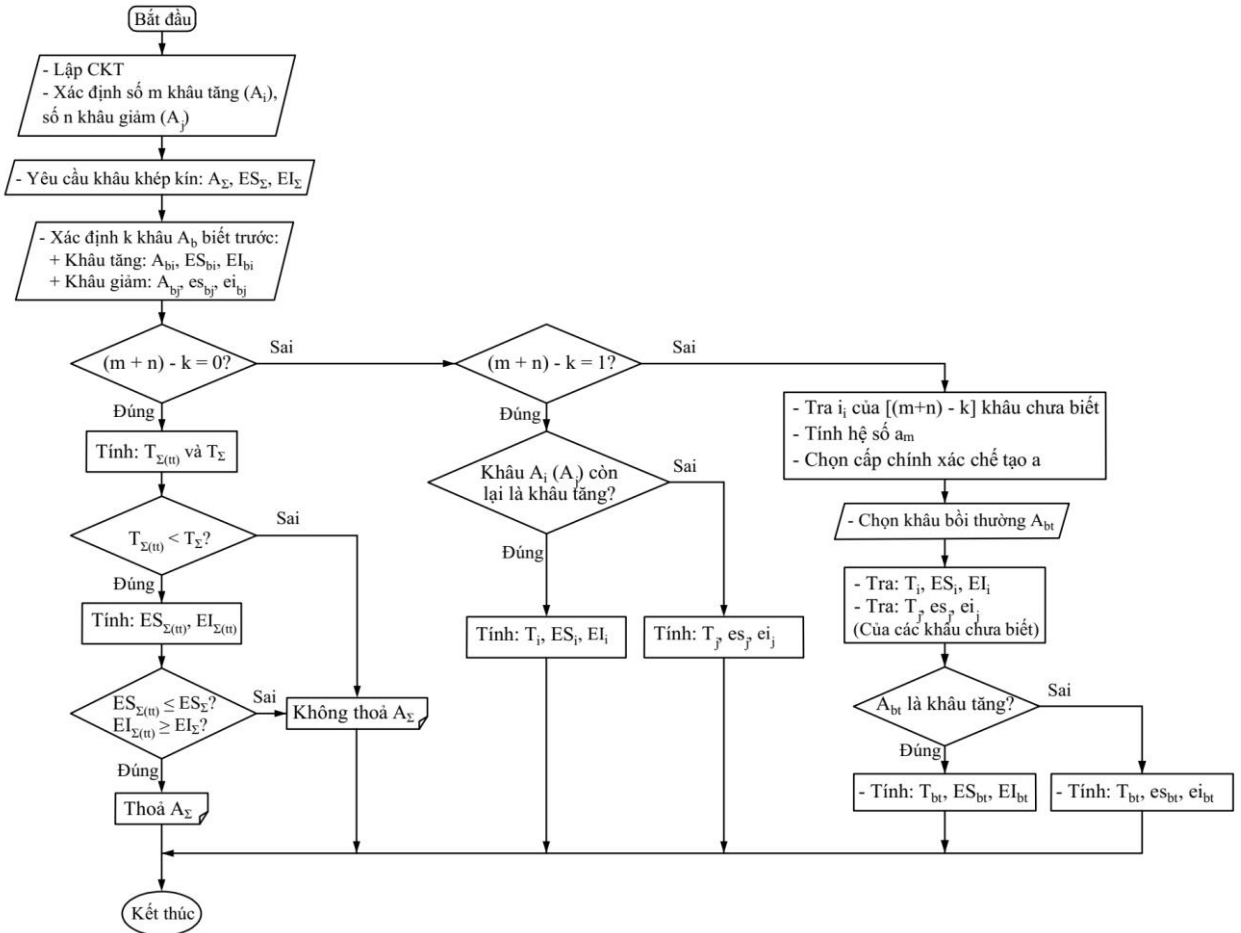
Thuật toán cải tiến được sử dụng nếu ban đầu trong CKT có chứa k KTP đã biết trước DS và SLGH. Thuật toán được thể hiện cụ thể trong Hình 2. Bước 1, tiến hành lập CKT, xác định tổng bao nhiêu m khâu tăng A_i và bao nhiêu n khâu giảm A_j . Bước 2, giá trị KTDN A_Σ và SLGH ES_Σ và EI_Σ của KKK cần được định trước. Bước 3, xác định k KTP nào đã biết, và tất nhiên là DS và SLGH của k khâu đó đều đã xác định. Đến đây, việc giải CKT chia ra 03 trường hợp như sau: ① CKT có toàn bộ KTP đã biết trước DS và SLGH, tương ứng $m + n - k = 0$; ② CKT chỉ còn một KTP chưa biết, tương ứng $m + n - k = 1$; ③ CKT có ít nhất hai KTP chưa biết, tương ứng $m + n - k \geq 2$.

Trường hợp ① xảy ra khi điều kiện $m + n - k = 0$ đúng, ta đi tính DS $T_{\Sigma(tt)}$ của KKK tính toán và DS T_Σ của KKK cho trước ở bước 2. So sánh điều kiện $T_{\Sigma(tt)} \leq T_\Sigma$, nếu nó sai thì ta kết luận “bài toán không thỏa yêu cầu cho trước của KKK A_Σ ”, nếu điều kiện trên là đúng thì ta đi tính SLGH của KKK tính toán $ES_{\Sigma(tt)}$ và $EI_{\Sigma(tt)}$. Sau đó, so sánh điều kiện $ES_{\Sigma(tt)} \leq ES_\Sigma$ và $EI_{\Sigma(tt)} \geq EI_\Sigma$, nếu sai thì kết luận “bài toán không thỏa yêu cầu cho trước của KKK A_Σ ”, nếu đúng thì kết luận “bài toán thỏa yêu cầu cho trước của KKK A_Σ ”. Khi điều kiện $(m + n) - k = 0$ là sai và điều kiện $(m + n) - k = 1$ là đúng thì ta xét đến trường hợp ②.

Khi trường hợp ② xảy ra, có nghĩa là bây giờ chỉ còn một KTP là chưa biết DS và SLGH. Trong trường hợp này ta cần xác định KTP còn lại đó là thuộc một trong số các khâu tăng A_i hay khâu giảm A_j . Nếu khâu còn lại là khâu tăng thì ta đi tính DS T_i và SLGH ES_i và EI_i ; nếu khâu còn lại là khâu giảm thì ta đi tính DS T_j và SLGH es_j và ei_j . Khi điều kiện $m + n - k = 1$ là sai, ta đi xét trường hợp ③.

Trường hợp ③ tương ứng với số KTP chưa biết tối

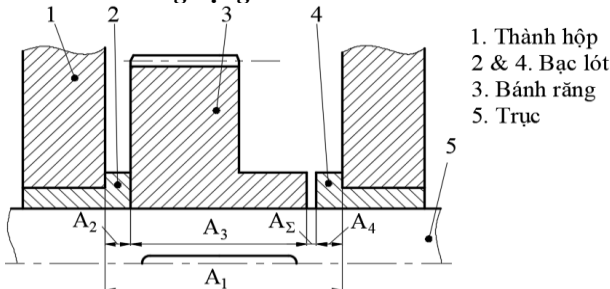
thiếu là 2 khâu ($m + n - k \geq 2$). Đầu tiên, ta đi tra hệ số kích thước i_i cho $(m + n) - k$ khâu chưa biết; tính hệ số cấp chính xác a_m , sau đó chọn cấp chính xác gia công a . Tiếp đến, ta chọn một khâu bồi thường A_{bt} . Ta tiến hành tra DS và SLGH cho tất cả các khâu A_i và A_j chưa biết. Bây giờ chỉ còn khâu A_{bt} là cần tính toán. Nếu khâu A_{bt} là khâu tăng thì ta đi tính DS T_{bt} và SLGH ES_{bt} và EI_{bt} . Nếu khâu A_{bt} là khâu giảm thì ta đi tính DS T_{bt} và SLGH es_{bt} và ei_{bt} .



Hình 2. Thuật toán cải tiến

3. Bài toán ứng dụng và kết quả

3.1. Bài toán ứng dụng



Hình 3. Phác họa bộ phận lắp và lập chuỗi kích thước lắp

Hình 3a thể hiện hình phác họa bộ phận lắp của một hộp giảm tốc một cấp bánh răng và CKT được thể hiện trong Hình 3b.

Trong CKT trên thì KKK A_{Σ} yêu cầu khe hở giữa bánh răng 3 và mặt mút của bạc lót 2 hoặc 4 là được phép dao động trong khoảng $[0,05 \div 0,75]$. KTDN các KTP được cho như sau: $A_1 = 49, A_2 = A_4 = 6, A_3 = 37$.

a. Bài toán 1: tất cả các KTP đều chưa biết DS và SLGH

Theo thuật toán hiện tại thì DS và SLGH của A_1, A_2, A_3 và A_4 đều chưa biết và cần phải đi xác định, sau đó các kích thước này do chính chúng ta tự gia công.

b. Bài toán 2: tất cả các KTP đã biết DS và SLGH

Trường hợp này khi sử dụng các chi tiết COTS thì ta đã biết trước DS và SLGH của các tất cả KTP. Ví dụ cụ thể: $A_1 = 49 \pm 0,35; A_2 = A_4 = 6_0^{+0,12}; A_3 = 37 \pm 0,3$

[27, 28]. Với dạng này, vì các KTP đã xác định nên ta đi tính toán DS và SLGH của KKK tính toán $A_{\Sigma(tt)}$ và kiểm tra xem nó có thoả mãn yêu cầu của KKK A_{Σ} cho trước hay không.

c. *Bài toán 3: chỉ còn một KTP duy nhất chưa biết DS và SLGH*

Trường hợp chỉ còn một KTP là chưa biết trước, ví dụ là khâu A_1 , còn các khâu A_2, A_3 và A_4 đều đã biết DS và SLGH: $A_1 = 49; A_2 = A_4 = 6_0^{+0,12}; A_3 = 37 \pm 0,3$. Lúc này, cần tính toán DS và SLGH khâu A_1 để thoả yêu cầu cho trước của KKK A_{Σ} trong CKT.

d. *Bài toán 4: còn ít nhất hai KTP trở lên chưa xác định*

Ví dụ trong trường hợp ta còn A_1 và A_3 là chưa xác định còn các khâu A_2 và A_4 đã biết DS và SLGH: $A_1 = 49; A_2 = A_4 = 6_0^{+0,12}; A_3 = 37$.

Thông số đầu vào của 4 dạng bài toán ứng dụng được tổng hợp trong Bảng 1. Trong đó, các ô màu vàng biểu thị khâu đã biết giá trị DS và SLGH, còn các ô màu xanh biểu thị khâu đã biết giá trị DS và SLGH, ô có ký hiệu “CB” biểu thị rằng giá trị DS và SLGH của các KTP chưa biết và cần phải đi tìm, ô có ký hiệu “-” là không dùng tới.

Bảng 1. Tổng hợp thông số đầu vào của 4 dạng bài toán

Bài toán	Khâu	A_i	A_j	KTDN (mm)	Đã biết		
					T_i (mm)	ES_i (esj) (mm)	ES_i (eij) (mm)
	A_{Σ}	-	-	-	0,7	+0,75	+0,05
1	A_1	X	-	49	CB	CB	CB
	A_2	-	X	6	CB	CB	CB
	A_3	-	X	37	CB	CB	CB
	A_4	-	X	6	CB	CB	CB
2	A_1	X	-	49	0,7	+0,35	-0,35
	A_2	-	X	6	0,12	+0,12	0
	A_3	-	X	37	0,6	+0,3	-0,3
	A_4	-	X	6	0,12	+0,12	0
3	A_1	X	-	49	CB	CB	CB
	A_2	-	X	6	0,12	+0,12	0
	A_3	-	X	37	0,6	+0,3	-0,3
	A_4	-	X	6	0,12	+0,12	0
4	A_1	X	-	49	CB	CB	CB
	A_2	-	X	6	0,12	+0,12	0
	A_3	-	X	37	CB	CB	CB
	A_4	-	X	6	0,12	+0,12	0

3.2. Kết quả tính toán

Từ các thông số đầu vào được liệt kê trong Bảng 1, thuật toán hiện tại đang sử dụng được trình bày ở Hình 1 được dùng để giải quyết dạng bài 1, và dựa vào thuật toán cải tiến trình bày ở Hình 2 để giải quyết các bài toán 2, 3 và 4. Kết quả tính toán được trình bày trong Bảng 2.

Với bài toán dạng 1, các DS T_i và SLGH $ES(es)$ và $EI(ei)$ của tất cả các KTP A_2, A_3 và A_4 và khâu bồi thường A_1 đều đã tìm được theo thuật toán Hình 1. Cụ thể $A_1 = 49_{+0,05}^{+0,26}; A_2 = A_4 = 6_{-0,12}^0; A_3 = 37_{+0,25}^0$. Ý nghĩa của bài toán này là: nếu các KTP được gia công theo đúng

các kích thước đã tính toán được ở trên, thì khi lắp ráp chúng lại với nhau sẽ thoả mãn được A_{Σ} có khe hở dao động trong khoảng $[0,05 \div 0,75]$.

Với dạng bài toán thứ 2, là bài toán dạng kiểm tra, nghĩa là các KTP A_i và A_j đều đã biết trước nên ta chỉ cần tính $T_{\Sigma(tt)}, ES_{\Sigma(tt)}$ và $EI_{\Sigma(tt)}$ sau đó so sánh nó có thoả yêu cầu của T_{Σ}, ES_{Σ} và EI_{Σ} cho trước hay không. Cụ thể, ta tính được:

$$T_{\Sigma(tt)} = \sum T_i = 0,7 + 0,12 + 0,6 + 0,12 = 1,54 \quad (1)$$

So sánh với DS T_{Σ} , ta có: $T_{\Sigma(tt)} = 1,54 > T_{\Sigma} = 0,7$. Điều này khẳng định rằng, nếu chọn mua các COTS ($A_1 = 49 \pm 0,35; A_2 = A_4 = 6_0^{+0,12}; A_3 = 37 \pm 0,3$), thì khi lắp ráp chúng lại với nhau chắc chắn không thoả mãn 100% yêu cầu của KKK A_{Σ} có khe hở dao động trong khoảng $[0,05 \div 0,75]$ được. Điều này có ý nghĩa quan trọng trong việc chọn mua các COTS, đòi hỏi người thiết kế phải có hiểu biết về cách giải CKT và lựa chọn COTS theo danh mục của nhà sản xuất để phù hợp với yêu cầu lắp ráp.

Với bài toán 3, chỉ còn duy nhất khâu tăng là chưa biết. DS của nó được tính như sau:

$$T_1 = T_{\Sigma} - (T_2 + T_3 + T_4) = -0,14 \quad (2)$$

Dung sai $T_1 = -0,14$ mang giá trị âm, như được thể hiện tại ô màu cam trong Bảng 2. Tuy nhiên, trị số DS luôn phải lớn hơn “0”. Điều này cho thấy, với DS và SLGH của các khâu A_2, A_3 và A_4 cho trước thì không thể tìm được DS khâu A_1 hợp lý để thoả yêu cầu khâu A_{Σ} . Như vậy, để thoả mãn yêu cầu khâu A_{Σ} , người thiết kế cần phải hiệu chỉnh tăng khe hở yêu cầu của KKK, hoặc chọn lại các khâu A_2, A_3 và A_4 có sẵn mà có giá trị DS và SLGH của chúng theo hướng giảm xuống.

Bảng 2. Kết quả của các bài toán ứng dụng

Bài toán	Khâu	i_i (μm)	a_m	a	IT	A_{bt}	T_i (mm)	ES (es) (mm)	ES (ei) (mm)
	A_{Σ}	-	-	-	-	-	0,7	+0,75	+0,05
1	A_1	1,56	152,8	160	12	X	0,21	+0,26	+0,05
	A_2	0,73				-	0,12	0	-0,12
	A_3	1,56				-	0,25	0	-0,25
	A_4	0,73				-	0,12	0	-0,12
2	A_1	-	-	-	-	-	0,7	+0,35	-0,35
	A_2	-				-	0,12	+0,12	0
	A_3	-				-	0,6	+0,3	-0,3
	A_4	-				-	0,12	+0,12	0
	$A_{\Sigma(tt)}$	-				-	-	-	-
$T_{\Sigma(tt)} > T_{\Sigma} \rightarrow$ không thoả yêu cầu của khâu A_{Σ}									
3	A_1	-	-	-	-	-	-0,14	-	-
	A_2	-				-	0,12	+0,12	0
	A_3	-				-	0,6	+0,3	-0,3
	A_4	-				-	0,12	+0,12	0
Không tìm được DS khâu A_1 để thoả yêu cầu khâu A_{Σ}									
4	A_1	1,56	147,4	160	-	X	0,21	+0,5	+0,29
	A_2	-	-	-	-	-	0,12	+0,12	0
	A_3	1,56	147,4	160	12	-	0,25	0	-0,25
	A_4	-	-	-	-	-	0,12	+0,12	0

Với bài toán 4, còn lại 02 KTP A_1 và A_3 là chưa biết. Ta đi giải CKT và có kết quả: $A_1 = 49_{+0,29}^{+0,5}$; $A_3 = 37_{-0,25}^0$. Điều này mang ý nghĩa: nếu các KTP biết trước $A_2 = A_4 = 6_0^{+0,12}$, thì cần gia công hai KTP A_1 và A_3 theo kích thước đã tìm được thì khi lắp ráp tất cả chúng lại với nhau sẽ thỏa mãn 100% A_Σ có khe hở dao động trong khoảng $[0,05 \div 0,75]$.

Từ hai dạng bài toán 1 và 4 ta thấy, khi số lượng KTP chưa biết trước DS và SLGH tối thiểu là hai khâu, kết quả tính toán DS và SLGH của các khâu còn lại sẽ thay đổi để đáp ứng yêu cầu của KKK A_Σ . Tuy nhiên, khi điều kiện số KTP chưa biết là $m + n - k \leq 1$ tương ứng với dạng bài 2 và 3, thì chưa chắc chắn rằng sẽ thỏa mãn được điều kiện A_Σ đã cho. Kết quả này cho thấy, tuy việc chọn chi tiết COTS luôn mang đến rất nhiều lợi ích như đã đề cập ở Mục 1, nhưng chúng cũng đòi hỏi người thiết kế phải có kinh nghiệm thực tiễn để giải quyết các vấn đề phát sinh như trong trường hợp bài toán 2 và 3.

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã đề xuất thuật toán cải tiến để giải bài toán chuỗi kích thước dựa trên phương pháp lắp lẫn hoàn toàn. Thuật toán cải tiến đã bổ sung thêm ba trường hợp giải bài toán chuỗi để đáp ứng thực tiễn hiện nay, khi mà nhu cầu người thiết kế và nhà sản xuất sản xuất ưu tiên sử dụng các chi tiết đã được chế tạo và bán sẵn trên thị trường. Bốn dạng bài tập ứng dụng thực tế đi kèm giúp các nhà thiết kế có thể nhanh chóng nắm bắt thuật toán và áp dụng cho những trường hợp cụ thể của riêng mình. Nghiên cứu cũng đã cho thấy, việc sử dụng các chi tiết có sẵn đòi hỏi người thiết kế phải có kinh nghiệm thực tiễn, nắm vững thông số kích thước, dung sai và sai lệch giới hạn của các chi tiết cần sử dụng từ danh mục của nhà sản xuất, từ đó có những hiệu chỉnh hợp lý thỏa mãn yêu cầu lắp ráp của cụm chi tiết lắp.

Lời cảm ơn. Bài báo này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách Khoa - Đại học Đà Nẵng với đề tài có mã số T2024-02-02.

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

COTS	Chi tiết bán sẵn trên thị trường
KTDN	Kích thước danh nghĩa
DS	Dung sai
SLGH	Sai lệch giới hạn
LLHT	Phương pháp lắp lẫn hoàn toàn
LLKHT	Phương pháp lắp lẫn không hoàn toàn
CCX	Cấp chính xác
KKK	Khâu khép kín
KTP	Khâu thành phần
m	Tổng số khâu tăng
n	Tổng số khâu giảm
A_i	Khâu thành phần tăng
A_j	Khâu thành phần giảm
A_Σ	Khâu khép kín
$A_{\Sigma(tt)}$	Khâu khép kín tính toán
A_{bt}	Khâu bồi thường

T_i	Dung sai khâu thành phần
T_Σ	Dung sai khâu khép kín
$T_{\Sigma(tt)}$	Dung sai khâu khép kín tính toán
ES_i, EI_i	Sai lệch giới hạn trên và dưới của khâu tăng
es_j, ei_j	Sai lệch giới hạn trên và dưới của khâu giảm
ES_Σ, EI_Σ	Sai lệch giới hạn trên và dưới của khâu khép kín cho trước
$ES_{\Sigma(tt)}, EI_{\Sigma(tt)}$	Sai lệch giới hạn trên và dưới của khâu khép kín tính toán

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] B. Lotter, *Manufacturing assembly handbook*. Butterworth-Heinemann, 2013.
- [2] C. Julian, T. Lucy, and J. Farr, "Commercial-off-the-shelf selection process", *Engineering Management Journal*, vol. 23, no. 2, pp. 63-71, 2011. <https://doi.org/10.1080/10429247.2011.11431896>.
- [3] S. Stoyanov and C. Bailey, "Modelling the impact of refinishing processes on COTS components for use in aerospace applications", *Microelectronics Reliability*, vol. 55, no. 9, pp. 1271-1279, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2015.07.030>.
- [4] C. Sharma and K. Purohit, *Design of machine elements*. Prentice-Hall of India, 2003.
- [5] SKF-Vietnam, "Products", *skf.com*, May 15, 2021. [Online]. Available: <https://www.skf.com/vn/products> [Accessed Aug. 25, 2024].
- [6] MISUMI Corporation, "Category", *vn.misumi-ec.com*, Nov. 26, 2017. [Online]. Available: <https://vn.misumi-ec.com/vona2/maker/misumi/>, [Accessed Aug. 25, 2024].
- [7] THK Bearing, "Product Categories", *THK Bearing*, Dec. 8, 2023. [Online]. Available: <https://www.ws-thk.com/category/thk/> [Accessed Aug. 25, 2024].
- [8] SMC Corporation, "Product Information", *smcworld.com*, Jun. 9, 2019. [Online] <https://www.smcworld.com/en-vn/> [Accessed Aug. 25, 2024].
- [9] Z. Liu, M. Huang, Z. Tang, and T. Liu, "Selection and evaluation of assembly dimension chain based on analytical hierarchy process", in *Proceedings of the Seventh Asia International Symposium on Mechatronics: Volume I*, 2020, pp. 870-878: Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9437-0_89.
- [10] O. V. S. Praveen, B. Dileep, S. Gayatri, K. Deepak Lawrence, and R. Manu, "Automated tolerance analysis of mechanical assembly using STEP AP 242 managed model-based 3D engineering", in *Proceedings of Industry 4.0 and Advanced Manufacturing*, I-4AM, 2019, pp. 149-157: Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-5689-0_14.
- [11] G. Zhenbo, W. Jing, C. Yanlong, and Y. Jiangxin, "Automatic generation of 3D assembly dimension chain based on feature model", *Procedia Cirp*, vol. 43, pp.70-75, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.02.012>.
- [12] Z. Gao, Z. Wang, Z. Wu, and Y. Cao, "Study on generation of 3D assembly dimension chain", *Procedia CIRP*, vol. 27, pp. 163-168, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.04.060>.
- [13] M. Q. Yu, Y. Yan, J. Hao, and G. X. Wang, "A nonlinear tolerance analysis method using worst-case and Matlab", *Advanced Materials Research*, vol. 201, pp. 247-252, 2011. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.201-203.247>.
- [14] R. Askri, C. Bois, H. Wargnier, and N. Gayton, "Tolerance synthesis of fastened metal-composite joints based on probabilistic and worst-case approaches", *Computer-Aided Design*, vol. 100, pp.39-51, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2018.02.008>.
- [15] B. R. Fischer, *Mechanical tolerance stackup and analysis*, 2nd edition. CRC Press, 2011.
- [16] W. Zeng, Y. Rao, P. Wang, and W. Yi, "A solution of worst-case tolerance analysis for partial parallel chains based on the Unified Jacobian-Torsor model", *Precision Engineering*, vol. 47, pp. 276-291, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2016.09.002>.

- [17] S. Khodaygan and M. R. Movahhedy, "A comprehensive fuzzy feature-based method for worst case and statistical tolerance analysis", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, vol. 29, no. 1, pp. 42-63, 2016. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2014.1002808>.
- [18] J. C. Tsai and C.-H. Kuo, "A novel statistical tolerance analysis method for assembled parts", *International Journal of Production Research*, vol. 50, no. 12, pp. 3498-3513, 2012. <https://doi.org/10.1080/00207543.2011.589411>.
- [19] H. Hassani and S. Khodaygan, "Direct tolerance analysis of mechanical assemblies with normal and non-normal tolerances for predicting product quality", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, vol. 35, no. 7, pp.743-760, 2022. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2021.2023221>.
- [20] Y. Cao, T. Liu, J. Yang, and H. Yan, "A novel tolerance analysis method for three-dimensional assembly", in *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 2019, vol. 233, no. 7, pp. 1818-1827. <https://doi.org/10.1177/095440541878997>.
- [21] S. Ma, T. Hu, and Z. Xiong, "Precision assembly simulation of skin model shapes accounting for contact deformation and geometric deviations for statistical tolerance analysis method", *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, vol. 22, no. 6, pp. 975-989, 2021. <https://doi.org/10.1007/s12541-021-00505-1>.
- [22] C. Zhou, Z. Liu, C. Qiu, and J. Tan, "A quasi-Monte Carlo statistical three-dimensional tolerance analysis method of products based on edge sampling", *Assembly Automation*, vol. 41, no. 4, pp. 501-513, 2021. <https://doi.org/10.1108/AA-09-2020-0144>.
- [23] X. Mu, Q. Sun, W. Sun, Y. Wang, C. Wang, and X. Wang, "3D tolerance modeling and geometric precision analysis of plane features for flexible parts", *Engineering Computations*, vol. 35, no. 7, pp. 2557-2576, 2018. <https://doi.org/10.1108/EC-10-2017-0388>.
- [24] JTEKT Corporation, "Tolerances and tolerance classes for bearings", *koyo.jtekt.co.jp*, Sept. 25, 2021. [Online]. Available: <https://koyo.jtekt.co.jp/en/support/bearing-knowledge/7-1000.html> [Accessed Aug. 30, 2024].
- [25] MISUMI Corporation, "Stripper Guide Bushings - Tolerance Range 3MIC", *vn.misumi-ec.com*, Jun. 24, 2017. [Online]. Available: <https://vn.misumi-ec.com/vona2/press/> [Accessed Aug. 30, 2024].
- [26] N. D. Ton, *Tolerance and assembly*. Hanoi: Vietnam education publishing house, 2007.
- [27] MISUMI Corporation, "Oil-free Guide Bushings -NAAMS Standard-", *misumi-ec.com*, Nov. 26, 2017. [Online]. Available: <https://vn.misumi-ec.com/vona2/press/P0300000000/P0311000000/P0311010000/> [Accessed Aug. 30, 2024].
- [28] KHK Gears Stock, "SS2.5-30J32", *khkgears2.net*, Jan. 2, 2018. [Online]. Available: <https://khkgears2.net/catalog2/SS2.5-30J32> [Accessed Aug. 30, 2024].