

THÔNG TIN VỀ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Tên luận án : Phát triển phương pháp phần tử hữu hạn đẳng hình học để phân tích và điều khiển đáp ứng kết cấu tấm nhiều lớp.

Chuyên ngành: Cơ kỹ thuật

Mã số ngành: 9520101

Họ và tên nghiên cứu sinh: Nguyễn Thị Bích Liễu.

Người hướng dẫn khoa học : PGS.TS. Nguyễn Xuân Hùng

PGS.TS. Đặng Thiện Ngôn

Cơ sở đào tạo: Khoa Xây dựng, trường đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM

I. Tóm tắt nội dung luận án

Luận án bao gồm 7 chương trong đó chương 1 nói về tổng quan nghiên cứu; chương 2 và 3 trình bày công cụ sử dụng tính toán là phương pháp số đẳng hình học dựa trên trích xuất Bézier và cơ sở lý thuyết cho bài toán tấm (bao gồm 4 loại bài toán tấm khác nhau), tương ứng; 3 chương tiếp theo đưa ra các ví dụ số minh họa cho phân tích tĩnh, dao động tự do, đáp ứng của 4 loại vật liệu mô hình tấm cho cả đáp ứng tuyến tính và phi tuyến với các dạng hình học khác nhau từ đơn giản đến phức tạp hơn. Ngoài ra trong các chương ví dụ số còn đưa ra các ví dụ số về điều khiển đáp ứng cho bài toán tấm vật liệu có dán lớp áp điện. Chương 7 là kết luận cũng như hướng phát triển của đề tài.

Bởi vì đóng vai trò quan trọng trong nhiều kết cấu kỹ thuật và công nghiệp hiện đại, kết cấu tấm nhiều lớp được sử dụng rộng rãi trong nhiều mảng kỹ thuật khác nhau chẳng hạn như hàng không, đóng tàu, kỹ thuật dân dụng, vv. Kết cấu tấm nhiều lớp có các tính chất cơ học tuyệt vời, bao gồm độ bền và độ cứng cao, khả năng chống mài mòn, trọng lượng nhẹ và nhiều đặc tính khác. Bên cạnh việc sở hữu các đặc tính vật liệu ưu việt, vật liệu tổng hợp nhiều lớp còn cung cấp thiết kế thuận lợi thông qua việc sắp xếp trình tự xếp chồng và độ dày các lớp để có được các đặc tính mong muốn, đó là lý do tại sao chúng nhận được sự quan tâm nghiên cứu đáng kể của nhiều nhà nghiên cứu trên toàn thế giới.

Phân tích đẳng hình học (có tên viết tắt tiếng Anh là IGA) được giới thiệu năm 2005 bởi Hughes và các cộng sự như là một sự đột phá trong tính toán mô phỏng số. Ưu điểm chính của IGA là sử dụng cùng một hàm dạng cơ sở để mô tả hình học và xấp xỉ cả nghiệm số. Nó tích hợp việc thiết kế dựa trên máy tính cũng như công nghệ liên quan đến việc sử dụng hệ thống máy tính để phân tích đối tượng hình học CAD (CAE) và những công cụ số hiệu quả khác để phân tích nhiều lớp bài toán kỹ thuật khác nhau. Chi phí tính toán giảm đáng kể vì hình học chính xác được tạo ra trong CAD, sau đó đưa vào tính toán mà không bị sai số hình học. IGA cho kết quả với độ chính xác cao hơn vì tính trơn và tính liên tục bậc cao hơn giữa các phần tử. Trong một thập kỷ phát triển gần đây, phân tích đẳng hình học đã vượt qua phân

tích phần tử hữu hạn (FEM) về tính hiệu quả và độ tin cậy đối với các bài toán khác nhau, đặc biệt đối với các bài toán có hình học phức tạp.

Trong luận án này, một công thức phần tử hữu hạn đẳng hình học được phát triển dựa trên trích xuất Bézier để giải quyết các bài toán tầm khác nhau, sử dụng lý thuyết biến dạng cắt bậc cao 7 bậc tự do cho cả phân tích và điều khiển đáp ứng của các cấu trúc tấm. Một điểm mới trong luận án này là sử dụng trích xuất Bézier. Trong phân tích đẳng hình học thông thường, các hàm cơ sở B-spline hoặc hàm trải rộng trên toàn bộ miền của các cấu trúc chứ không chỉ là một miền cục bộ như các hàm hình dạng Lagrangian trong FEM. Việc hàm dạng phân bố toàn cục như vậy gây ra việc thực hiện tính toán phức tạp. Do đó sử dụng trích xuất Bézier được coi là giải pháp khắc phục nhược điểm của hàm đệ quy NURBS và có thể tích hợp được vào những code FEM sẵn có.

Mặc dù IGA phù hợp với các bài toán có tính liên tục bậc cao, nghiên cứu sinh đã sử dụng lý thuyết biến dạng cắt bậc cao với liên tục C^0 , 7 bậc tự do, để thống nhất cho tất cả các chương. Để có sự thống nhất của các biến xấp xỉ, trong một số hình học phức tạp với các điều kiện biên đối xứng, thường khó áp điều kiện biên cho các thành phần đạo hàm nên trong luận văn này nghiên cứu sinh sử dụng IGA dựa trên trích xuất Bézier với 7 bậc tự do cho mỗi nút.

Hơn nữa, nghiên cứu sinh nghiên cứu cả đáp ứng tuyến tính và phi tuyến cho bốn loại vật liệu bao gồm tấm composite nhiều lớp, tấm composite nhiều lớp có lớp áp điện, tấm vật liệu chức năng dán lớp áp điện có lỗ rỗng được gia cường bằng các tấm graphene và tấm vật liệu áp điện chức năng có lỗ rỗng. Các thuật toán điều khiển cái dựa trên các tín hiệu phản hồi chuyển vị và vận tốc không đổi được áp dụng để điều khiển đáp ứng tĩnh và động của tấm cho cả tuyến tính và phi tuyến hình học, trong đó hiệu ứng của giảm chấn cấu trúc được xem xét, dựa trên điều khiển kín với các cảm biến và bộ truyền động áp điện. Các kết quả đạt được của phương pháp đề xuất phù hợp tốt với các lời giải giải tích và một số phương pháp tiếp cận có sẵn khác. Thông qua phân tích phần ví dụ số, các kết quả đạt được chỉ ra rằng phương pháp được đề xuất đạt được độ tin cậy cao khi so với các giải pháp khác đã được công bố trên các tạp chí uy tín. Ngoài ra, một số lời giải số cho các tấm vật liệu chức năng dán lớp áp điện có lỗ rỗng được gia cường bằng các tấm graphene và tấm vật liệu áp điện chức năng có lỗ rỗng có thể được coi là nguồn tài liệu tham khảo cho những nghiên cứu khác trong tương lai vì cho đến nay vẫn chưa có lời giải giải tích nào đưa ra.

II. Những đóng góp của luận án

Phương pháp số được sử dụng cho luận án là phương pháp phân tích đẳng hình học (IGA). Cách tiếp cận số này được trình bày vào năm 2005 bởi Hughes và cộng sự, tuy nhiên, nó vẫn còn hạn chế ở Việt Nam. IGA đã vượt qua phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) cả về hiệu quả và độ tin cậy đối với việc tính toán các bài toán kỹ thuật khác nhau, đặc biệt đối với các bài toán có hình học phức tạp.

Một lý thuyết biến dạng cắt bậc cao không ràng buộc tổng quát mới (UHSDT) được đưa ra. Lý thuyết đề xuất không chỉ không ràng buộc ứng suất cắt trên các bề mặt trên và dưới của các tấm bằng 0 mà còn không yêu cầu các hệ số hiệu chỉnh cắt. Lý thuyết này được viết dưới dạng tổng quát của các hàm phân bố. Tác giả đề xuất một hàm phân bố mà nó cung cấp kết quả tốt hơn so với các nghiệm tham khảo.

Thay vì sử dụng IGA truyền thống, tác giả sử dụng IGA dựa trên trích xuất Bézier cho tất cả các chương. Mục đích chính của IGA dựa trên trích xuất Bézier là thay thế các hàm cơ sở B-spline / NURBS (the B-spline or Non-uniform Rational B-spline) phân bố toàn cục bằng các hàm đa thức Bernstein sử dụng cùng một bộ hàm dạng cho mỗi phần tử tương tự như FEM. Như vậy sẽ dễ dàng tích hợp được những code FEM sẵn có trong các phần mềm thương mại. Bằng cách chọn đa thức Bernstein làm hàm cơ sở, IGA sẽ được thực hiện dễ dàng tương tự như cách triển khai trong FEM. Các hàm cơ sở B-spline / NURBS có thể được viết lại dưới dạng kết hợp các đa thức Bernstein và toán tử trích xuất Bézier. Đó được gọi là trích xuất Bézier cho B-spline / NURBS.

Cả đáp ứng tuyến tính và phi tuyến cho bốn loại vật liệu bao gồm tấm composite nhiều lớp, tấm composite nhiều lớp có dán lớp áp điện, tấm vật liệu có lỗ rỗng thay đổi chức năng dán lớp áp điện được gia cường bằng các tấm graphene và tấm vật liệu áp điện thay đổi chức năng có lỗ rỗng được nghiên cứu. Tất cả các bài toán liên quan đến bốn loại vật liệu này được khai thác phân tích và kỹ thuật điều khiển chủ động để điều khiển các đáp ứng tĩnh và động của các loại tấm này cũng được trình bày trong luận án.

Cho đến nay, các nhà nghiên cứu dường như chưa có nghiên cứu đáp ứng của tấm có lỗ rỗng thay đổi chức năng dán lớp áp điện được gia cường bằng các tấm graphene (PFGP-GPLs) sử dụng IGA dựa trên trích xuất Bézier cho cả phân tích tuyến tính và phi tuyến. Tất cả các kết quả đạt được được so sánh với những lời giải giải tích hoặc lời giải số đã được công bố trên những tạp chí quốc tế uy tín.

Một công thức phân tử hữu hạn đẳng hình học dựa trên trích xuất Bézier để phân tích dao động tự do của các tấm vật liệu áp điện chức năng có lỗ rỗng được chứng minh và trình bày. Công thức này được chứng minh lần đầu tiên. Trong công trình gần đây liên quan đến vấn đề này, chúng tôi đã đưa ra tần số dao động tự do cho một số hình học phức tạp chưa có giải giải tích hoặc lời giải số nào trước đây đưa ra.

Trong luận án này, chúng tôi đưa ra một bài toán có hình học phức tạp bằng cách sử dụng kỹ thuật multipatches để tính toán nhằm tận dụng lợi thế của IGA. Điều này khác với các luận án sử dụng IGA trước đây ở Việt Nam.

Luận án góp phần làm tăng nguồn tài liệu tham khảo về phương pháp đẳng hình học cho phân tích và điều khiển đáp ứng kết cấu tấm nhiều lớp cũng như tấm vật liệu áp điện thông minh những loại vật liệu có ứng dụng khá rộng rãi hiện nay.

Tp Hồ Chí Minh, ngày 29 tháng 09 năm 2019

Nghiên cứu sinh

Nguyễn Thị Bích Liễu

INFORMATION OF RESEARCH RESULTS

Dissertation title : DEVELOPMENT OF ISOGEOMETRIC FINITE ELEMENT METHOD TO ANALYZE AND CONTROL THE RESPONSE OF THE LAMINATED PLATE STRUCTURES

Major : Engineering Mechanics Major code: 9520101

PhD candidate : Nguyen Thi Bich Lieu

Supervisor one : Assoc. Prof. Dr. Nguyen Xuan Hung

Supervisor two : Assoc. Prof. Dang Thien Ngon

Training facilities : HCMC University of Technology and Education

I. Thesis summary

In this dissertation, an isogeometric finite element formulation is developed based on Bézier extraction to solve various plate problems, using a seven-dof higher-order shear deformation theory for both analysis and control the responses of laminated plate structures. The main advantage of the isogeometric analysis (IGA) is to use the same basis function to describe the geometry and to approximate the problem unknowns. IGA gives the results with higher accuracy because of the smoothness and the higher-order continuity between elements. For the last decade of development, isogeometric analysis has surpassed the standard finite elements in terms of effectiveness and reliability for various problems, especially for the ones with complex geometry.

In the conventional isogeometric analysis, the B-spline or Non-uniform Rational B-spline (NURBS) basis functions span over the entire domain of structures not just a local domain as Lagrangian shape functions in FEM. The global structure induces the complex implementation in a traditional finite element context. In addition, in order to compute the shape functions, the Gaussian integration points

force to transform to parametric space. By choosing Bernstein polynomials as the basis functions, IGA will be performed easily similar to the way of implementation in FE framework. The B-spline/NURBS basis can be rewritten in form of the combination of Bernstein polynomials and Bézier extraction operator. That is called Bézier extraction for B-spline/NURBS.

Although IGA is suitable for the problems which have the higher-order continuity, a higher-order shear deformation theory with C_0 -continuity is used for unification of all chapters. Furthermore, both linear and nonlinear responses for four material models are investigated such as laminated composite plates, piezoelectric laminated composite plates, piezoelectric functionally graded porous plates with graphene platelets reinforcement and functionally graded piezoelectric material porous plates. The control algorithms based on the constant displacement and velocity feedbacks are applied to control linear and geometrically nonlinear static and dynamic responses of the plate, where the effect of the structural damping is considered, based on a closed-loop control with piezoelectric sensors and actuators. The predictions of the proposed approach agree well with analytical solutions and several other available approaches. Through the analysis, numerical results indicated that the proposed method achieves high reliability as compared with other published solutions. Besides, some numerical solutions for PFGPM plates and FG porous reinforced by GPLs may be considered as reference solutions for future works because there have not yet been analytical solutions so far.

II. The new contributions of the dissertation

A generalized unconstrained higher order shear deformation theory (UHSDT) and the C_0 -higher order shear deformation theory (C_0 -HSDT) are given. UHSDT relaxes zero-shear stresses at the top and bottom surfaces of the plates. It reflects well nonlinear behavior through the plate thickness and can provide better solutions than the third order shear deformation theory.

The combination of IGA based on Bézier extraction with UHSDT and C0-HSDT for the static, free vibration analyses and dynamic control for four plate material models has been studied effectively. By using Bézier extraction operator, the implementation of IGA becomes significantly easier with Bernstein basis functions, which have a close resemblance to Lagrange shape functions as using C0 continuous Bézier elements. This can be a reasonable choice due to the basis functions are given on localized form and the way of implementation in IGA is similar to that in FEM.

In static, free vibration and dynamic analyses, the predictions of the proposed approach agree well with analytical solutions and several available other approaches. Through the analysis, numerical results indicated that the proposed method achieves high reliability as compared with other published solutions and slightly better than the UTSDT using IGA based on Bézier extraction. Interestingly, obtained results matched well with extant studies or available solutions in the literature. Furthermore, we achieved numerical solutions for PFGPM plates and piezoelectric FG porous reinforced by GPLs. It is known that there have not yet been analytical solutions so far, so numerical solutions may be considered as reference solutions for future works.

Both linear and nonlinear responses of FG porous reinforced by GPLs with piezoelectric sensors and actuators are investigated. The geometrically nonlinear equations are solved by the Newton-Raphson iterative procedure and the Newmark's time integration scheme. The influences of the porosity coefficients, weight fractions of GPLs as well as the external electrical voltage on the linear and geometrically nonlinear behaviors of the plates with different porosity distributions and GPL dispersion patterns are evidently investigated through numerical examples.

An isogeometric Bézier finite element method, and combined it with C0-type HSDT theory for electro-mechanical vibration analysis of functionally graded

piezoelectric material porous plates has been presented for the first time. Through the free vibration analysis, it is observed that external electric voltages, power-law index, porosity coefficient, porosity distribution, geometrical aspect ratios and various boundary conditions significantly affect natural frequencies of structures.

The control algorithms based on the constant displacement and velocity feedbacks are applied to control linear and geometrically nonlinear static and dynamic responses of the plate, where the effect of the structural damping is considered, based on a closed-loop control with piezoelectric sensors and actuators. For geometrically nonlinear static responses control of the FG porous plates, two effective algorithms, including the input voltage control with opposite signs applied across the thickness of two piezoelectric layers and the displacement feedback control algorithm are considered. In addition, the dynamic response of the FG porous plate can be expectantly suppressed based on the effectiveness of the velocity feedback control algorithm.

In this dissertation, in addition to some numerical examples with either square or circle/eclipse, there are various complex geometries which can be modeled easily with multi-patch approach. These complicated geometries can raise the IGA's advantages to the maximum.

Ho Chi Minh City, October 29, 2019

PhD candidate

Nguyen Thi Bich Lieu