GIẢM BẬC CỦA PHƯƠNG TRÌNH MẠCH ĐIỆN PHỤ THUỘC THAM SỐ DỰA TRÊN NỘI SUY

TỔNG QUAN

1. Tình hình ngoài nước:

Nhiệm vụ chính của giảm bậc của hệ động lực hay giảm bậc của mô hình (Model order reduction-MOR) là xấp xỉ hệ động lực ban đầu bằng một hệ động lực khác có số chiều (bậc) nhỏ hơn rất nhiều. Lý thuyết MOR ra đời đã được hơn một nửa thế kỷ với sự xuất hiện của các công trình của Komsabi (1943), Loève (1945) và Karhunen (1946) về phương pháp Phân tích trực giao chính (Proper orthogonal decomposition-POD). Tuy nhiên nó chỉ thực sự thu hút được sự quan tâm khi máy tính được sử dụng rộng rãi hơn trong mô phỏng các hệ phức tạp và trở thành chủ đề nóng vào những năm 1990 với bài báo của Moore (1981) về phương pháp Chặt cân bằng (Balanced truncation) và luận án tiến sỹ của Grimme về phương pháp Không gian con Krylov (1996). Để có cái nhìn toàn diện hơn về MOR, xin xem quyến sách chuyên khảo của Antoulas (2005).

Hiện nay, do tầm quan trong của MOR trong việc trợ giúp máy tính để mô phỏng những hệ phức tạp, có rất nhiều nhóm các nhà khoa học trên thế giới đang nghiên cứu. Tại USA, có các nhóm Farhat (Stanford), Antoulas, Sorensen (Rice Univ.), Gugercin(Virginia Tech.), Wilcox (MIT), Freund (UC Davis),... Tại Đức có các nhóm Benner (MPI Magdeburg), Stykel (Univ. Augsburg), Lohmann (TU Munich), Haasdonk (Univ. Stuttgart), Ohlberger (Univ, Muenster), Volkwein (Univ. Konstanz),..., Tại Bỉ có nhóm Van Dooren (Univ. Louvain),...

Trong khi phát triển và ứng dụng các phương pháp MOR, các bài toán mới luôn luôn nảy sinh. Ở khía cạnh lý thuyết, trong rất nhiều trường hợp, hệ ban đầu có các tính chất như ổn định, bị động (passivity), phụ thuộc tham số, hay các cấu trúc đặc biệt, MOR phải được thực hiện sao cho hệ xấp xỉ cũng phải thừa hưởng được những tính chất tương ứng. Ở khía cạnh tính toán, MOR nên có độ phức tạp tính toán càng thấp càng tốt và sai số toàn cục của hệ xấp xỉ so với hệ ban đầu nên được kiểm soát bởi một cận trên

Trong số những bài toán con của MOR kể trên, MOR của hệ phụ thuộc tham số (Parametric model order reduction-PMOR) đặc biệt thu hút được các nhà nghiên cứu. Có rất nhiều các phương pháp PMOR đã được tìm ra và ứng dụng thành công cho những mô hình khác nhau. Có thể kể ra đây các phương pháp dựa trên Không gian con Krylov của Daniel [6], Feng [8], Li [12], Weile [16], các phương pháp dựa trên nội suy hàm chuyển của Baur [4,5], Son [14], nội suy ma trận hệ số của Amsallem [2], Degroote [7], Panzer [13], nội suy không gian chiếu trên đa tạp Grassmann của Amsallem [1], Son [15], và một số phương pháp khác [10,11]. Xin xem Luận án Tiến sỹ của chủ nhiệm đề tài [14] để có một cái nhìn toàn diện về PMOR.

Mặc dù đã có nhiều phương pháp PMOR được đề xuất, song ứng dụng chúng cho phương trình mạch điện phụ thuộc tham số lại không hề đơn giản. Lí do là vì phương trình mạch điện vừa có cấu trúc khối đặc biệt, vừa là một hệ vi phân đại số. Một mặt, MOR phải được tiến hành một cách khéo léo để xử lý được những ràng buộc đại số giữa các trạng thái của hệ (bên cạnh những ràng buộc vi phân). Lưu ý rằng các ràng buộc này về nguyên tắc cũng phụ thuộc tham số nên việc xử lý cực kỳ phức tạp. Mặt khác, MOR nên tận dụng những cấu trúc đặc biệt đó để giảm khối lượng tính toán. Có lẽ vì thế mà số các công trình về bài toán này chỉ có rất ít [6,9,12]. Lưu ý rằng phương pháp sử dụng trong [6,12] đều dựa trên Không gian con Krylov nên không cho ta chặn trên của sai số. Chỉ có phương pháp trong [9] là sử dụng nội suy, nhưng cũng chỉ xét nội suy hàm

chuyển, trong khi như trên đã chỉ ra, có nhiều phương pháp nội suy có thể sử dụng. Như vậy việc thực hiện thành công đề tài này sẽ đóng góp đáng kể vào việc giải bài toán này trên thế giới.

Tài liệu tham khảo

[1] D. Amsallem, C. Farhat. Interpolation method for adapting reduced-order models and application to aeroelasticity. AIAA Journal. 46(7), pp. 1803-1813, 2008.

[2] D. Amsallem, C. Farhat. An online method for interpolating linear reduced-order models. SIAM J. Sci. Comput., 33(5), pp. 2169-2198, 2011.

[3] A.C. Antoulas. Approximation of Large-Scale Dynamical Systems. SIAM, Philadenphia, 2005.

[4] U. Baur, P. Benner. Model reduction for parametric systems via balanced truncation and interpolation. at Automatisierungstechnik, 57(8), pp. 411-419, 2009.

[5] U. Baur, C. Beatie, P. Benner, S. Gugercin. Interpolatory projection methods for parameterized model reduction. SIAM J. Sci. Comput., 33(5), pp. 2489-2518, 2011.

[6] L. Daniel, O.C. Siong, L.S. Chay, K.H.Lee, J. White. A multiparameter moment-matching model-reduction approach for generating geometrically parameterized interconnect performance models. IEEE T. Comput. Aid. D., 23(5), pp. 678-693, 2004.

[7] J. Degroote, J. Veriendeels, K. Wilcox. Interpolation among reduced-order matrices to abtain parameterized models for design, optimization and probabilistic analysis. Int. J. Numer. Meth., 63, pp. 207-230, 2010.

[8] L.H. Feng, E.B. Rudnyi, J.G. Korvink. Preserving the film coefficient as a parameter in the compact thermal model for fast electrothermal simulation. IEEE T. Comput. Aid. D., 24(12), pp. 1838-1847, 2005.

[9] F. Ferranti, G. Antonini, T. Dhaene, L. Knockaert. Passivity-preserving interpolation based parameterized model order reduction of peec models based on scattered grids. Int. J. Numer. Model., 24(5), pp. 478-495, 2011.

[10] B. Haasdonk, M. Ohlberger. Efficient reduced models and a posteriori error estimation for parametrized dynamical systems by offline/online decomposition. Math. Comp. Model. Dyn., 17(2), pp. 145-161, 2011.

[11] A. Hay, J. Borggaard, I. Akhtar, D. Pelltier. Reduced-order models for parameter dependent geometries based on shaped sensitivity analysis. J. Comput. Phys., 229, pp. 1327-1353, 2010.

[12] Y.T. Li, Z. Bai, Y. Su. A two-directional Arnoldi process and its application to parametric model order reduction. J. Comput. Appl. Math., 226, pp. 10-21, 2009.

[13] H. Panzer, J. Mohring, R. Eid, B. Lohmann. Parametric model order reduction by matrix interpolation. at Automatisierungstechnik, 58(8), pp. 475-484, 2010.

[14] N.T. Son. Interpolation Based Parametric Model Order Reduction. PhD dissertation, Univ. Bremen, 2012.

[15] N.T. Son. A real time procedure for affinely dependent parametric model order reduction using interpolation on Grassmann manifolds. Int. J. Numer. Meth. Engng., 93(8), pp. 818-833. 2013.

[16] D.S. Weile, E. Mischielssen, E.J. Grimme, L. Gallivan. A method for generating rational interpolant reduced order models of two-parameter linear systems. Appl. Math. Lett., 12(3), pp. 93-102, 1999.

2. Trong nước

Tại Việt Nam, đứng trong tình trạng chung của Toán ứng dụng, lực lượng làm MOR còn tương đối mỏng nhưng đã bắt đầu hình thành. Theo chúng tôi được biết, TS. Hà Bình Minh (ĐH Bách khoa

Hà Nội) hiện cũng đang nghiên cứu một số vấn đề của lý thuyết MOR. Điều đáng chú ý là, một nhóm ngay tại Đại học Thái Nguyên, bao gồm PGS. TS. Nguyễn Hữu Công (ĐH Thái Nguyên), TS. Đỗ Trung Hải, ThS. Nguyễn Trung Kiên (Trường ĐH Kỹ thuật Công nghiệp) đang nghiên cứu ứng dụng các kỹ thuật MOR để giải các bài toán trong điều khiển tự động và kỹ thuật điện. Tuy nhiên, từ khi nêu ý tưởng thực hiện đề tài này, chúng tôi chưa có liên lạc cụ thể nào với nhau. Chúng tôi cho rằng việc hợp tác giữa chủ nhiệm đề tài và các nhà khoa học làm MOR trong nước, đặc biệt là ngay tại ĐH Thái Nguyên, cần được thực hiện càng sớm càng tốt để có thể đủ lực lượng tiến hành những dự án lớn hơn, tiến đến hình thành một nhóm làm MOR của Việt Nam.

Một số công trình có liên quan đến đề tài của những người làm MOR trong nước

[17] C.H. Nguyen, K.N. Vu, D.H. Dao. Applying order reduction model algorithm for balancing control problems of two-wheeled mobile robots. In Proceedings of 2013 8th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, Melbourne, pp. 1302-1307, 2013.

[18] C.H. Nguyen, D.H. Dao, H.T. Do. Designing controller by state space techniques using reduced order model algorithms. In Proceedings of Int. Conference on ICICTA, Guangdong, pp. 978-982, 2011

[19] H.L. Trelteman, H.B. Minh, P. Rapisarda. Dissipativity preserving model order reduction by rerention of trajectories of mimimal dissipation. Math. Control Signals Syst., 21, pp. 171-201, 2009.

3. Danh mục các công trình khoa học đã công bố thuộc lĩnh vực của đề tài của chủ nhiệm đề tài và những người tham gia

[20] N.T.Son. Interpolation Based Parametric Model Order Reduction. PhD Dissertation, University of Bremen, 2012.

[21] N.T.Son. A real time procedure for affinely dependent parametric model order reduction using interpolation on Grassmann manifolds. Int. J. Numer. Meth. Engng, 93(8), pp. 818-833, 2013.

MỤC TIÊU

Làm rõ về mặt lý thuyết việc áp dụng các phương pháp nội suy cho PMOR vào phương trình mạch điện phụ thuộc tham số.

Áp dụng các kết quả lý thuyết vào mô hình thực tế.

Nâng cao năng lực nghiên cứu của cá nhân chủ nhiệm đề tài; nâng cao chất lượng giảng dạy và nghiên cứu khoa học trong và sau đại học, đặc biệt là Toán ứng dụng trong Trường Đại học Khoa học, Đại học Thái Nguyên.

Duy trì và tăng cường quan hệ với các đối tác quốc tế và trong nước, là bước đầu để hình tìm kiếm nhân lực, hình thành một nhóm nghiên cứu MOR trong nước.

NỘI DUNG

1. Nội dung nghiên cứu

Lập phương trình mạch điện bằng phương pháp MNA (Modified Nodal Analysis).
Nghiên cứu phương pháp PABTEC và cách sử dụng phần mềm PABTEC.
Nghiên cứu chi tiết việc áp dụng 3 phương pháp PMOR dựa trên nội suy: nội suy hàm chuyển, nội suy ma trận hệ số, nội suy không gian chiếu cho mô hình xây dựng được bởi MNA.
Lập trình, tính toán trên máy tính sử dụng các dữ liệu từ những mô hình thực tế.

2. Tiến độ thực hiện

Thu thập tài liệu, viết thuyết minh và đề cương nghiên cứu (01/2014-03/2014)
Lập phương trình mạch điện phụ thuộc tham số sử dụng MNA (02/2014-03/2014)
Tìm hiểu phương pháp PABTEC và phần mềm PABTEC (04/2014-05/2014)
Tìm hiểu và áp dụng phương pháp nội suy hàm chuyển (06/2014-07/2014)
Tìm hiểu và áp dụng phương pháp nội suy ma trận hệ số (08/2014-09/2014)
Tìm hiểu và áp dụng phương pháp nội suy không gian chiếu (10/2014-12/2014)
Lập trình tính toán trên máy tính (01/2015-03/2015)
Viết báo gửi đăng (04/2015-07/2015)
Tổng hợp và hoàn thiện báo cáo (08/2015-10/2015)
Hoàn thành hồ sơ nghiệm thu và tổ chức nghiệm thu đề tài (11/2015-12/2015)

PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Đọc tài liệu, hiểu một cách tường tận các phương pháp PMOR dựa trên nội suy.
Áp dụng nó cho phương trình mạch điện phụ thuộc tham số, xử lý các vấn đề lý thuyết nảy sinh, đưa ra các nhận định có giá trị khoa học.
Kiểm tra các phương pháp lý thuyết bằng lập trình và chạy chương trình trên máy tính.

HIỆU QUẢ KTXH

Giáo dục, đào tạo: Thực hiện dự án thành công, một mặt nó cho thấy lực lượng giáo dục và sản phẩm giáo dục của ta hoàn toàn có khả năng tiếp cận những bài toán thực tế. Mặt khác, nó cũng cho thấy tính then chốt của giáo dục, đào tạo trong việc giải quyết những khó khăn trong đời sống và công nghệ, qua đó thu hút nguồn vốn ngoài ngân sách đầu tư cho giáo dục, đào tạo, thực hiện chủ trương xã hội hóa giáo dục của nhà nước.

Kinh tế, xã hội: Tựu chung lại, mục tiêu của dự án là trợ giúp máy tính trong việc mô phỏng những mô hình lớn, giảm thời gian tính toán cũng như tiết kiệm tài nguyên bộ nhớ của máy tính, giúp cho việc mô phỏng những mô hình lớn trên máy tính cá nhân trở thành khả dĩ. Do đó, trong nhiều trường hợp, nó sẽ giúp tiết kiệm chi phí mua sắm những máy tính có cấu hình lớn hay việc trang bị những trung tâm tính toán.
An ninh, quốc phòng: Giả sử kết quả của đề tài được áp dụng cho những phần mềm trong quốc phòng như trang bị cho tên lửa tự tìm mục tiêu, tên lửa đánh chặn. Do việc tăng tốc độ tính toán, nó sẽ giúp tăng tốc độ và khả năng phá hủy mục tiêu của tên lửa. Tất nhiên, những ứng dụng phức tạp như vậy cần những nghiên cứu sâu và đặc thù hơn.

ĐƠN VỊ SỬ DỤNG

Các phòng thí nghiệm mô phỏng mạch điện
Minh họa khi giảng dạy bậc sau đại học.