



جامعة محمد الخامس بالرباط
Université Mohammed V de Rabat

École Nationale Supérieure d'Informatique et d'Analyse des Systèmes
Centre d'Études Doctorales en Sciences des Technologies de l'Information et de l'Ingénieur

AVIS DE SOUTENANCE DE THÈSE DE DOCTORAT

Monsieur Yassin BELKOURCHIA

soutiendra publiquement sa thèse de Doctorat
en Sciences de l'ingénieur

Le Samedi 17 Avril 2021 à 11h00 à l'ENSAM de Rabat

Intitulé de la thèse

**MATHEMATICAL MODELING AND HYBRID OPTIMIZATION
METHODOLOGICAL APPROACHES: APPLICATION TO ACTIVE
CONTROL AND ENERGY HARVESTING BASED ON PIEZOELECTRIC
MATERIALS**

Devant le Jury composé de :

Président :

Pr. Khalid EL BIKRI, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Directeur de thèse :

Pr. Lahcen AZRAR, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Rapporteurs :

Pr. Mounir HADDOU, Professeur, INSA Rennes, Université de Rennes, France

Pr. Badr ABOU EL MAJD, PES, Faculté des Sciences, Université Mohammed V de Rabat

Pr. Rachid ELLAIA, PES, EMI, Université Mohammed V de Rabat

Examineurs :

Pr. Chafik NACIR, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Pr. Farah ABDOUN, PH, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Pr. Mohamed Zeriab ES-SADEK, PH, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat



MATHEMATICAL MODELING AND HYBRID OPTIMIZATION METHODOLOGICAL APPROACHES: APPLICATION TO ACTIVE CONTROL AND ENERGY HARVESTING BASED ON PIEZOELECTRIC MATERIALS

Abstract: This PhD thesis aims to develop a global optimization approaches to solve optimization problems under constraints by developing an efficient hybrid optimization methodology using new coupling techniques. For this aim, a hybrid optimization approaches using a new coupling technique based on the genetic algorithm (GA), sequential quadratic programming (SQP) and particle swarm optimization (PSO) combined with a projected gradient technique is elaborated in order to determine better optimized solutions and correct the solutions out of the domain. The main application of this procedure is the location optimization of piezoelectric sensors and actuators for active vibration control of plates and beams with piezoelectric patches and for energy harvesting.

Secondly, a stochastic perturbation of the deterministic classical methods and a combination with the simulated annealing is elaborated. The elaborated methodological approaches have been applied to well-known held back engineering design problems in order to test their efficiency. The solutions obtained by the proposed optimization techniques are generally improved than those given by other known methods in the open literature.

Otherwise, a numerical methodological approach is developed to solve the dynamic behavior of a singular problem of structures with piezoelectric patches under impacts. This technique is based on the differential quadrature method combined with the regularization procedure for space and implicit scheme for time domain. The proposed approach is applied to the dynamic behavior of beams with various boundary conditions and excited by impulse and harmonic piezoelectric actuators.

On other hand, mathematical modeling and numerical simulation are elaborated to solve a fluid-structure interaction (FSI) model for energy harvesting from ocean wave motion and piezoelectric patched structures. This model combines the Navier-Stokes equations and the dynamic structures' equations at large amplitudes. The resulting FSI model is solved by coupling the mixed finite element method with the differential quadrature method for the space discretization of the fluid and structure equations. An implicit time scheme and the Newton-Raphson method are used to solve the flow equations, while an adaptive nonlinear Newmark scheme is implemented to obtain the nonlinear dynamic response of the patched beams' deflection. The dynamic response of the harvester obtained are used to calculate the generated charge and voltage as well as the RMS of the generated electric power using both one and multiple piezoelectric patches. The value of RMS has been studied in relation to various parameters of the system. The effects on the energy harvesting of the Reynolds number and the number of the attached piezoelectric patches are deeply analyzed.

Keywords: Hybrid optimization, Border correction procedure, Genetic algorithm, Sequential Quadratic Programming, Particle Swarm Optimization, Stochastic perturbation, Simulated annealing, Constrained optimization, Navier-Stokes equations, Differential quadrature method, Finite Element Method, Regularization procedure, Actuators and Sensors, Energy harvesting, Piezoelectric patch, , Fluid-Structure Interaction, Nonlinear vibration.



Résumé : Cette thèse a pour objectif de développer une approche d'optimisation globale pour résoudre des problèmes d'optimisation sous contraintes en élaborant une méthodologie d'optimisation hybride efficace utilisant de nouvelles techniques de couplage. La première technique est basée sur l'algorithme génétique (GA), la programmation quadratique séquentielle (SQP) et l'optimisation par essaim de particules (PSO) combinés avec une technique de gradient projeté afin d'obtenir de meilleures solutions et de corriger les solutions hors du domaine. La principale application de cette procédure est la détermination de l'emplacement optimal des capteurs et actionneurs piézoélectriques pour le contrôle actif des vibrations des poutres et plaques avec des patches piézoélectriques ainsi que pour la récupération de l'énergie.

En deuxième lieu, on a perturbé de manière stochastique la méthode déterministe classique et on a combiné cette perturbation avec le recuit simulé. Les procédures ainsi développées ont été appliquées aux problèmes tests de conception d'ingénierie bien connus. Les solutions obtenues par les méthodologies proposées sont généralement améliorées par rapport aux résultats donnés par d'autres méthodes de la littérature.

Par la suite, une technique numérique a été développée pour résoudre le comportement dynamique des structures à effets singuliers avec des patches piézoélectriques et soumises aux chocs. Cette technique est basée sur la méthode de quadrature différentielle (DQM) combinée avec une procédure de régularisation pour la résolution spatiale et un schéma implicite pour la discrétisation temporelle. L'approche proposée est appliquée à l'analyse dynamique des poutres sous diverses conditions aux limites et excitées par des actionneurs piézoélectriques impulsifs et harmoniques.

D'autre part, la modélisation mathématique et simulation numérique ont été élaborées pour un modèle d'interaction fluide-structure (FSI) pour la récupération d'énergie à partir du mouvement des vagues océaniques et des structures à patches piézoélectriques. Ce modèle couple les équations de Navier-Stokes à celles de la dynamique des structures piézoélectriques en grandes déformations. Le modèle FSI, ainsi obtenu, a été résolu en couplant la méthode des éléments finis (FEM) mixtes avec la méthode quadrature différentielle (DQM) pour la discrétisation spatiale des équations de fluide et de structure. Un schéma temporel implicite et la méthode de Newton-Raphson ont été utilisés pour résoudre les équations de fluide, tandis qu'un schéma non linéaire adaptatif de Newmark a été mis en œuvre pour obtenir la réponse dynamique non linéaire de la déformation de poutres à patches piézoélectriques. La réponse dynamique obtenue a été utilisée pour calculer la charge, la tension et la valeur de RMS de l'énergie électrique générée en utilisant un et plusieurs patches piézoélectriques. La valeur de RMS a été étudiée en fonction des différents paramètres du système. En outre, les effets du nombre de Reynolds et du nombre de patches piézoélectriques sur la structure et sur l'énergie récupérée ont été analysés.

Mots clés : Optimisation hybride, Procédure de correction des frontières, Algorithme génétique, Programmation quadratique séquentielle, Optimisation par essaims de particules, Perturbation stochastique, Equations de Navier-Stokes, Méthode de quadrature différentielle, Méthode des éléments finis, Procédure de régularisation, Actionneurs et capteurs, Récupération d'énergie, Patch piézoélectrique, Interaction fluide-structure, Vibrations non linéaires

