

Ecole Doctorale

Sciences pour l'Ingénieur

Institut de Recherche Dupuy de Lôme

AVIS DE SOUTENANCE DE THESE

Le lundi 15 février 2021 à 9h

à La Salle Vieilles Charrues - CAMPUS CESI BREST -2 avenue de Provence 29200 BREST
(visio + présentiel COVID-19).

Monsieur BOODI ABHINANDANA

soutiendra une thèse de doctorat sur le sujet suivant :

" On energy-efficient buildings: Hybrid dynamic modeling for analysis and control ".

Le jury sera ainsi composé :

- **M. AMIRAT YASSINE, Enseignant-Chercheur**
ISEN Brest - BREST
- **M. AUGER FRANCOIS, Professeur des universités**
Université de Nantes - SAINT-NAZAIRE
- **M. BACHA SEDDIK, Professeur des universités**
Université Grenoble-Alpes - GRENOBLE
- **M. BEDDIAR KARIM, Enseignant-Chercheur**
CESI Ouest Direction régionale - NANTES
- **M. BENBOUZID MOHAMED, Professeur des universités**
Univ. de Bretagne Occidentale - BREST
- **M. MAZARI BELAHCENE, Enseignant-Chercheur**
CESI - PUTEAUX
- **MME MIEGEVILLE LAURENCE, Maître de conférences**
CRTT de Saint-Nazaire - SAINT-NAZAIRE
- **M. PLOIX STEPHANE, Professeur des universités**
Université Grenoble Alpes - GRENOBLE

invité(e) :

- **M. JABOUIN YVES, Directeur Technique**
- NANTES

A BREST, le 02 février 2021

Le Président de l'Université de
Bretagne Occidentale,



A handwritten signature in black ink, appearing to read "JALLOU".

M. GALLOU

Titre : Bâtiments Eco-Energétiques : Modélisation Dynamique Hybride pour l'Analyse et le Contrôle

Mots clés : Modèle de bâtiment, simulation dynamique de bâtiment, modèle de réseau thermique, identification des paramètres, optimisation par essaim de particules, commande prédictive (MPC), gestion de l'énergie du bâtiment, confort thermique.

Résumé : Ces travaux de thèse proposent une approche alternative pour une modélisation simplifiée du modèle de réseau thermique des bâtiments. Ces travaux sont motivés par la nécessité de réduire la complexité de la modélisation des bâtiments et d'améliorer ainsi les performances tout en réduisant le coût calculatoire. Les différentes techniques de modélisation pour le développement d'un contrôleur basé sur un modèle ont été étudiées et analysées pour déterminer les modèles qui peuvent être utilisés pour la modernisation des bâtiments en cas de manque de données. Nous avons ainsi présenté différentes méthodes pour la modélisation dynamique des bâtiments y compris les facteurs influençant les performances d'un bâtiment. La mise en œuvre de contrôleurs intelligents permet de gérer correctement la consommation d'énergie et le confort dans les bâtiments. Ces contrôleurs doivent être réactifs pour envoyer les signaux de contrôle nécessaires. Dans ce contexte, le contrôleur a besoin d'un modèle de faible ordre, efficace sur le plan calculatoire et précis pour tendre vers de meilleures performances. Des systèmes d'ordre inférieur simplifiés sont développés en utilisant des modèles de réseau thermique d'ordre 2 avec une valeur optimale des résistances thermiques et des condensateurs. Afin de déterminer les valeurs de ces paramètres, une approche spécifique est proposée en utilisant une optimisation stochastique des essais de particules.

Cette méthode fournit une approximation significative des paramètres par rapport au modèle de référence tout en permettant au modèle d'ordre inférieur d'atteindre une efficacité calculatoire de 40 à 50% par rapport au modèle de référence. En outre, un nombre considérable de simulations sont réalisées pour évaluer les performances du modèle simplifié proposé par rapport à un modèle complexe plus avancé de gains solaires. Le modèle simplifié développé est ensuite validé avec des données mesurées dans un bâtiment réel (notre cas d'étude) où les résultats obtenus montrent clairement un haut degré de précision par rapport aux données réelles. Enfin, un contrôleur MPC (commande prédictive) est appliqué pour le bâtiment cas d'étude pour l'optimisation du confort thermique. Les résultats de simulations obtenus démontrent l'importance du contrôleur MPC dans la gestion des contraintes, le contrôle multi-objectifs et la génération d'une stratégie de contrôle optimale. Les résultats de l'optimisation énergétique montrent une réduction de 31% de la consommation d'énergie par rapport à un contrôleur conventionnel.

Title : On Energy-Efficient Buildings : Hybrid Dynamic Modeling for Analysis and Control

Keywords : Building model, dynamic building simulation, thermal network model, parameters identification, particle swarm optimization, Model Predictive Control (MPC), building energy management, thermal comfort.

Abstract : Low cost smart sensors, intelligent controllers, and IoT systems constitute key components to develop smart buildings. These smart systems produce optimal control strategies by continuous analysis of building performance. Two major parameters are controlled in the building: occupants' comfort and heating or cooling load consumption optimization. For such intelligent controllers applications, it is essential to have building model with high performance accuracy and computational efficiency. The existing building models range from complete analytical to fully data-driven and hybrid models. The analytical model is extremely complex to model and computationally inefficient, whereas the data-driven models require a large amount of data. However, in the case of data unavailability, application of data-driven models become impossible. This work presents, hybrid modeling for heat transfer dynamics of the building using lumped parameter thermal network modeling technique. An efficient building model is developed by having proper structural knowledge of low-order model and identifying its parameter values. Simplified low-order systems are developed using 2nd order thermal network models with optimal thermal resistors and capacitors value.

In order to determine the low-order model parameter values, a specific approach is proposed using a stochastic particle swarm optimization. This method provides a significant approximation of the parameters when compared to the reference model whilst allowing low-order model to achieve 40% to 50% computational efficiency than the reference analytical model. Furthermore, extensive simulations are carried out to evaluate the proposed simplified model with a more advanced complex solar gains model and identified parameters value. The developed simplified model is afterward validated with measured data from a case study building where the achieved results clearly show a high degree of accuracy compared to the actual data. Finally, an MPC controller is applied for the same case study building for thermal comfort optimization. Simulation results demonstrate the significance of the MPC controller in handling the constraints, multi-objective control, and producing optimal control strategy. The energy optimization results of the MPC have shown 31% of energy consumption reduction compared to a conventional controller.