



Title	Design and Implementation of Comfort-aware Smart Building Energy Management Systems
Author(s)	Zhao, Dafang
Citation	大阪大学, 2022, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/89577
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

Abstract of Thesis

Name (Dafang ZHAO)	
Title	Design and Implementation of Comfort-aware Smart Building Energy Management Systems (快適性を考慮したスマートビルエネルギーマネジメントシステムの設計と実装)
Abstract of Thesis With economic development and the improvement of people's living standards, energy consumption is continuously increasing in residential and office buildings. The public is very conscious of energy savings and therefore it is necessary to use energy more effectively. Therefore, an effective building energy management system (BEMS) is of vital importance for modern building operation. To design and implement an intelligent BEMS, there are three major challenges that need to be addressed. The first challenge is the modeling and parameter identification of the control target, which is the most time-consuming part in BEMS design. The optimal control of BEMS using model-based control technologies is highly dependent on the "perfect" model or "perfect" estimation of stochastic/nonlinear dynamics of the system. Although a great process has been made in modeling building components. Until now, the systematic BEMS modeling methodology has not been established. The second challenge is the trade-off between energy savings of buildings and thermal comfort of occupants. In building energy management, energy savings should not infringe on occupant welfare, therefore, it is necessary to use appropriate control strategies that maintain a certain level of thermal comfort for occupants and minimize total energy consumption at the same time. Even though several studies proposed the BEMS that integrate energy savings and thermal comfort, such system have not been validated in real-world to verify its effectiveness. The third challenge is the privacy issues in the collection of occupancy data. The occupancy information which are significant factors for building operation and energy savings strategies. The collection of this information raises obvious privacy concerns. Therefore, designers must consider the privacy factor when designing occupancy-driven BEMS. This dissertation proposes a smart, comfort and privacy-aware design methodology in building energy management system by addressing the above three challenges. For the first modeling challenge, this dissertation proposes two novel models and practical parameter identification methods to improve the accuracy of the model and simplify the modeling process. For the second trade-off challenge, this dissertation proposes a very attractive framework for optimizing a cost function subject to energy consumption and thermal comfort constraints over a prediction horizon. This framework offers the advantage of controlling HVAC systems and addresses the trade-off between cost and comfort. Additionally, the proposed framework also addressed the power peak caused by concentrated HVAC operations. For the third privacy challenge, this dissertation proposes a low-cost privacy concerning occupancy estimation system based on the BLE beacon. Compared to other occupancy estimation methods, the proposed method achieves relatively high accuracy in occupancy detection without violating the privacy of the occupants. In addition, the proposed framework and occupancy estimation system are experimentally studied under real-world conditions.	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (Dafang ZHAO)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	准教授	谷口 一徹
	副 査	教 授	三浦 典之
	副 査	教 授	尾上 孝雄
	副 査	教 授	Francky Catthoor (IMEC, Katholieke Universiteit Leuven)

論文審査の結果の要旨

本論文は快適性を考慮したスマートビルのエネルギーマネジメントシステムの設計と実装に関する研究成果をまとめたものであり、以下の主要な成果を得ている。

1. 低コストでプライバシーを保護した在室人数推定手法の提案
建物のエネルギー消費のうち空調は大きな割合を占めており、空調の知的運用に向けて建物内の在室人数推定は重要性を増している。多くの在室人数推定手法ではコストやプライバシーの点で課題が報告されていたが、本論文では新型コロナウイルス感染症拡大抑止で開発されたGAEN (Google Apple Exposure Notification) フレームワークとCO2濃度センサによる在室人数推定手法を提案した。GAENフレームワークはBLE (Bluetooth Low Energy) を用いてプライバシーを保護した人の検出が可能であるが、特定の部屋の在室人数推定に用いるには推定精度の改善が必要であった。本論文では、GAENフレームワークに安価なCO2濃度センサを組み合わせることで推定精度を改善した。そして、低コストでプライバシーを保護しつつ85%以上の精度で在室人数推定が可能であることを実環境で示した。
2. オンラインエネルギーマネジメント向けハイブリッド蓄電池モデルの提案
建物のエネルギーマネジメントにおいて蓄電池は重要性を増している。エネルギーマネジメントで用いられる比較的軽量の蓄電池モデルでは残量推定など特定の目的に特化したモデルしか提案されておらず、エネルギーマネジメントで重要となる残量と充放電の振る舞いの両方を評価できるモデルは提案されていなかった。本研究では、リチウムイオン蓄電池を対象として残量と充放電の振る舞いの両方の高精度なシミュレーションを可能とするハイブリッド蓄電池モデルを提案した。残量推定は動力学モデル、充放電の振る舞いは電気回路モデルが高精度であることが知られており、それらを連携させたハイブリッド蓄電池モデルを提案した。提案したハイブリッド蓄電池モデルにより実測値と比較して1%の誤差でシミュレーション可能であることを示した。
3. 快適性を考慮した空調のオンラインエネルギーマネジメント手法の開発とシステム実装
空調の消費エネルギー削減に向けて、時々刻々変化する環境情報を考慮したオンラインエネルギーマネジメントが注目されている。本論文では、消費電力ピークカットと消費エネルギー削減を両立させる空調のオンラインエネルギーマネジメント手法を提案した。提案手法ではエネルギーマネジメント処理の全てをIoT向け小型計算機に実装するために、室温予測モデルの軽量化や最適化アルゴリズムの開発を行なった。学内の講義室で行なった実証実験では、提案手法は消費電力ピークを43%、消費エネルギーを23%削減した。

以上のように、本論文による快適性を考慮したスマートビルエネルギーマネジメントシステムの設計と実装する研究成果は、建物の消費エネルギーの削減やエネルギー利用の効率化に向けて有用なものである。よって、博士(情報科学)の学位論文として価値のあるものと認める。