

低コストな在室人数推定手法を用いた分散協調型デマンドコントロール

Cooperative and Distributed Demand Control

by Using Low-cost Indoor Head Counting Method

80816445 立川智一(Tomokazu Tachikawa) Supervisor 西宏章(Hiroaki Nishi)

1 序論

近年、人数計測システムへのニーズが高まっている。例えば道路における歩行者数や通行車両数の計測は、周辺地域の都市開発や渋滞緩和などを行う上で重要な要素の一つとなる。また、駅や空港、商業設備などでは、マーケティング、動線管理を行うために人数計測を行っている。さらに大規模需要家に導入されている Energy Management System (EMS) では各部屋の在室人数から空調や照明などを制御し、効率的なエネルギー利用を実現している。

これらの中でも特に、EMS における在室人数管理システムはセキュリティ、省エネルギーの観点から構築が求められている。そこで本研究では新たに人感センサと CO₂ 濃度センサによる在室人数推定手法を提案する。また分散協調型デマンドコントロールに提案手法を導入し、在室人数と室内快適性を考慮したデマンドコントロールを実現する。本在室人数推定手法は、室内環境センサを在室人数推定センサとしても併用し、従来の人数推定手法に比べて簡便に在室人数を推定することができる。

2 KNIVES の概要

KNIVES は分散協調型デマンドコントロールシステムである。KNIVES 端末は各需要家に設置され、建物内の消費電力を測定する。消費電力がデマンド目標値を上回ると判断された場合には電力消費機器を制御し、消費電力の削減を行う。その際、端末は需要家によって予め定められた優先度に基づき、空調、照明などの制御を行う。端末には μ CLinux モジュール・AVR、環境センサとして温度・湿度・照度・CO₂ 濃度センサが実装され、快適性を考慮した電力制御を実現する。

3 在室人数推定手法

本稿では、人感センサと CO₂ 濃度センサを用いた在室人数推定手法を提案する。推定にはまず人感センサを用いて部屋内の在室状況の推定を行う。人感センサを用いた推定フローチャートを図 1 に示す。人感センサには確率関数に基づく動作発生確率から待機時間を設定する。人感センサが動作を検出できなくなってから、この待機時間が経過すると室内が無くなったと判断される。人感センサを用いて在室状況を推定した結果、室内に人がいると判断された場合には、CO₂ 濃度センサを用いた人数推定を行う。

CO₂ 濃度センサを用いた人数推定にはザイデルの式から導出される (1) 式を用いる。この式は汚染質濃度の時間変化を予測する式であり、室内の換気量を推定する際に一般的に利用されている。人数推定には、式 1 における汚染質を CO₂ とし、汚染質発生量 M を人数 n と 1 人当たりの CO₂ 排出量 k の積に置き換えた (2) 式を用いる。本手法は建築空間において CO₂ の主な発生源が人の呼気であることに注目し、CO₂ 濃度の変化量から在室人数を推定するという手法である。人数推定に用いる各パラメータを表 1 に示す。人数を推定する際には、あらかじめ C_0 , Q , V を決定し、時刻 i および s の CO₂ 濃度 C_i および C_s を用いて算出する。 V は実測値や設計図から算出し、 C_0 及び Q は実環境において計測し、予測する。

$$C_i = C_0 + (C_s - C_0)e^{-\frac{Q}{V}(i-s)} + \left(1 - e^{-\frac{Q}{V}(i-s)}\right) \frac{M}{Q} \quad (1)$$

$$n = \frac{Q}{k \left\{1 - e^{-\frac{Q}{V}(i-s)}\right\}} \left\{C_i - C_0 - (C_s - C_0)e^{-\frac{Q}{V}(i-s)}\right\} \quad (2)$$

表 1 在室人数推定に用いる各パラメータ

記号[単位]	説明	記号[単位]	説明
C [ppm]	室内汚染質濃度	M [m ³ /h]	汚染質発生量 kn
C_0 [ppm]	汚染質発生のない環境下での室内汚染質濃度の定常値	k [m ³ /h person]	一人当たりの CO ₂ 排出量
V [m ³]	部屋の容積	n [person]	在室人数
Q [m ³ /h]	換気量	i, s [h]	時刻

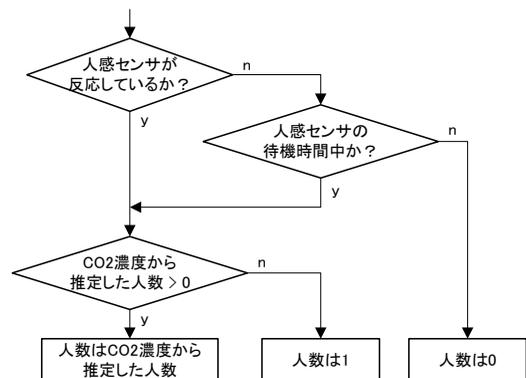


図 1 人数推定フローチャート

4 在室人数推定実験

提案手法の有効性を確認するために、2009年8月3日に小教室にて人数推定実験を行った。小教室の窓は施錠し、外気が流入しないよう考慮した。教室には外気取り入れ方式の空調が2台設置されており、これらを用いて24時間一定量の完全混合式機械換気を行った。人感センサは室内の全域を検出できるよう天井に設置し、KNIVES 端末を用いて値の計測を行った。また CO₂ 濃度センサは人の出入りによる影響を受けにくい出入り口から離れた位置の 750mm の高さに設置した。在室人数は教室内に設置したネットワークカメラを用いて目視によって計測し、在室人数推定は KNIVES 端末に実装されている μ CLinux モジュールで行った。計測した CO₂ 濃度、在室人数および推定人数を図 2 に示す。

提案手法は室内の在室状況を精度よく推定でき、平均推定誤差は 0.4 人であった。また本提案手法は計算資源の少ない小型の μ CLinux モジュールでも計算できるほど、簡便な推定手法である。以上より、提案手法は環境センサを人数推定センサとしても併用することで、低コストな人数推定を実現し、中規模あるいは小規模需要家において有効な人数推定手法であると言える。

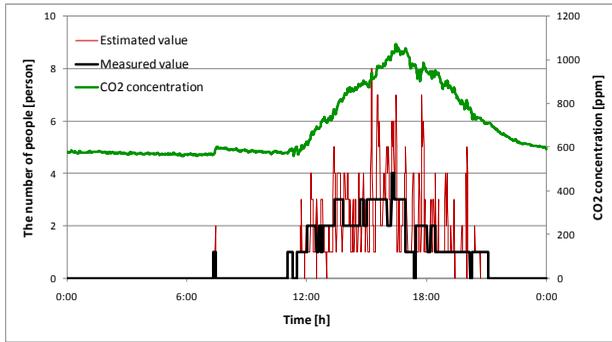


図2 室内 CO₂ 濃度、在室人数および推定人数

5 人数推定を用いた分散協調型デマンドコントロール実験

分散協調型デマンドコントロールは需要家間で電力の融通を行うため、単独のデマンドコントロールに比べて電力を効率的に利用できる。しかし、従来の分散協調型デマンドコントロールは電力量のみを考慮し、快適性や在室人数は考慮していなかった。そこで本章では提案手法を用いて推定された在室人数と快適性指標を分散協調型デマンドコントロールシステム KNIVES に導入し、そのメリットについて定量的に評価を行う。

前述したように従来制御では電力使用量のみを考慮し、快適性については考慮されていなかった。しかしながら、室内環境の悪化は学習効率や作業効率を低下させることが既往の研究により明らかになっている。温熱環境快適性指標には *PMV* や *SET** などがあるが、本実験では (3) 式に示す不快指数 *DI* を用いて制御パラメータを算出する。*DI* は様々な環境センサを持つ KNIVES 端末で算出可能な快適性指標の一つでもある。ここで T_a は気温、 RH は相対湿度である。

制御パラメータは快適性と在室人数から算出される室内の不快者数 n_D である。不快者数 n_D は (4) 式から算出され、実験では温度と湿度から求めた不快指数 *DI* から導かれる予測不快者率 R_{DI} と提案手法により推定された在室人数 n から不快者数を算出する。従来制御では需要家の優先度があらかじめ決定していたが、提案手法ではこの不快者数 n_D に応じて需要家の優先度を動的に変化させ、温熱環境快適性と在室人数を考慮した制御を行う。

$$DI = 0.81T_a + 0.01RH(0.99T_a - 14.3) + 46.3 \quad (3)$$

$$R_{DI} = \begin{cases} 0 & DI < 69.07 \\ 0.09DI - 6.2167 & 80 > DI \geq 69.07 \\ 1 & 80 \leq DI \end{cases} \quad (4)$$

$$n_D = n \cdot R_{DI} \quad (5)$$

実験を行った分散協調型デマンドコントロール環境を図3に示す。供給電源には以下の3種類の分散電源を実装した。ガスエンジン CGS は一定量 25kW の発電を行い、バックアップ電源としてリチウムイオン蓄電池が用意されている。

- ガスエンジン CGS 25kW x 1
- 風力発電機 6kW x 2
- リチウムイオン蓄電池 ±10kW x 1

また需要家として3つの実験室を用意し、各実験室に人感センサ、環境センサおよび KNIVES 端末を設置した。制御対象機器は空調であり、室内は夏場を想定し、ガスヒートポンプエアコンを用いて暖房を行った。以上のようなマイクログリッド環境内に KNIVES を構築し、従来手法および提案手法を用いた分散協調型デマンドコントロールを行った。

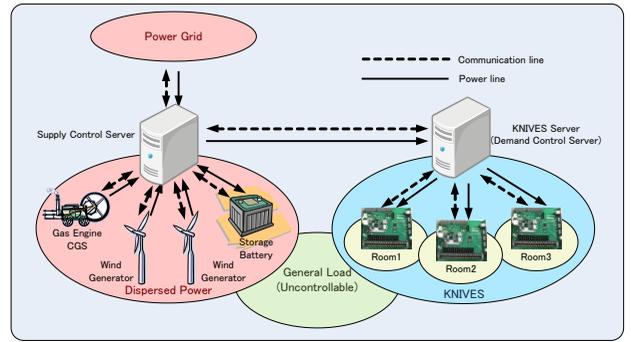


図3 分散協調型デマンドコントロール環境

まず、従来制御及び提案制御の同時同量評価を表2に示す。同時同量評価 ε [kWh] は (6) 式を用いて算出した。ここで P_{sc} [kWh] は受電点電力計画値、 P_T [kW] は受電点の実測値、 ΔT [h] は経過時間である。実験および評価では日本の同時同量周期に合わせて同時同量周期を30分とした。実験の結果、従来制御、提案制御共に、同時同量評価は蓄電池で十分吸収し得る値に抑えられた。

$$\varepsilon = P_{sc} - P_T \cdot \Delta T \quad (6)$$

次に両制御を用いた場合の実験室1における平均不快者数を図4に示す。経過時間が0~0.5時間の時には、提案制御を用いた時の平均不快者数は従来制御を上回るが、それ以外の時間では提案制御を用いることで平均不快者数が減少している。特に1~1.5時間経過時の平均不快者数は59%減と大幅に削減された。実験室全体では表2に示したように提案制御を用いることで、平均不快者数は9%、最多不快者数は33%減少した。

表2 従来制御と提案制御の比較

	同時同量評価	平均不快者数	最多不快者数
従来制御	0.53 kWh	0.78 人	3.99 人
提案制御	1.24 kWh	0.71 人	2.67 人

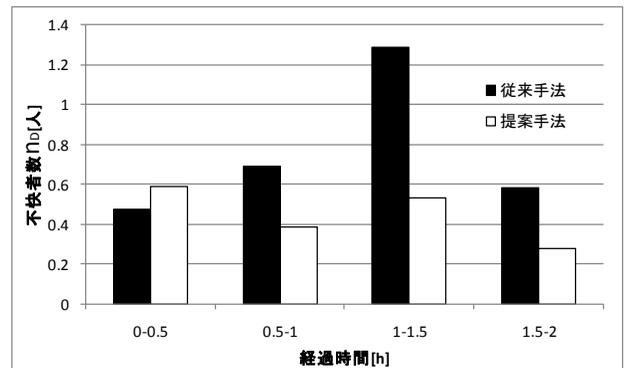


図4 実験室1における経過時間に応じた平均不快者数

6 結論

本稿では人感センサと CO₂ 濃度センサを用いた在室人数推定手法を提案した。本手法は環境センサを人数推定センサとしても併用するため、低コストな人数推定が可能である。また、本手法を分散協調型デマンドコントロールに導入し、実環境において制御実験を行った。在室人数と温熱環境快適性を考慮した提案手法の場合、従来制御に比べて平均不快者数が9%減少した。

参考文献

- 1) 内海康雄：換気—通風・気密性 (1) 換気の考え方，空気調和・衛生工学，第79巻，第1号，pp.69-75，2005.1
- 2) 田中俊六，岩田利枝，寺尾道仁，武田仁，土屋喬雄：最新建築環境工学，井上書院，2006.3，ISBN:4753017427