

センサネットワークを利用した省電力化のための人物誘導

黒田 晋矢[†] 岡本 章裕^{††} 横山 昌平^{†††} 福田 直樹^{†††} 石川 博^{†††}

[†]静岡大学大学院情報学研究科 ^{††, †††}静岡大学情報学部情報科学科
〒432-8011 静岡県浜松市中区城北 3-5-1

E-mail: [†]gs07023@s.inf.shizuoka.ac.jp, ^{††}cs05019@s.inf.shizuoka.ac.jp,
^{†††}{yokoyama, fukuta, ishikawa}@inf.shizuoka.ac.jp

あらまし 近年、地球温暖化やエネルギー問題が重要な環境問題として認知されている。本研究では、電力利用者の誘導による省電力化の仕組みについて提案を行う。単純な省電力化は電力利用者にとって負担となり、作業効率を低下させる可能性がある。そこで、電力利用者の快適性を考慮しつつ省電力化を達成することを目指す。複数の部屋を利用可能な状況において、できる限り利用可能な部屋数を制限し、無駄な電力利用を抑制する。そのために、人の位置を推定し、各部屋の利用状況を把握するために、センサネットワークを利用する。各部屋の利用状況の履歴から、空間的・時間的な誘導を行い、過剰な電力利用の抑制を目指す。

キーワード：センサデータ、センサネットワーク、省電力化、マイニング

Human Leading for Controlling Power Consumption with Sensor Network

Shin-ya KURODA[†], Akihiro OKAMOTO^{††}, Shohei YOKOYAMA^{†††},
Naoki FUKUTA^{†††}, and Hiroshi ISHIKAWA^{†††}

[†]Graduate School of Informatics, Shizuoka University
^{††, †††}Computer Science Program, Faculty of Informatics, Shizuoka University
〒Johoku 3-5-1, Naka-ku, Hamamatsu-shi, 432-8011 Japan
E-mail: [†]gs07023@s.inf.shizuoka.ac.jp, ^{††}cs05019@s.inf.shizuoka.ac.jp,
^{†††}{yokoyama, fukuta, ishikawa}@inf.shizuoka.ac.jp

Abstract In this paper, we propose a method for electric power conservation by human leading. If the system enforces people to follow the suggestions, they will feel be dulled. Therefore, we should take into consideration of their comfortable states, while saving power consumptions. Under the situation that we can use many rooms, we limit available rooms as possible as few for power saving. For this purpose, we use Sensor Network for presuming where people are and understanding about room using. Considering past usage data of rooms, the system lead people to use appropriate places on appropriate time for better control of power consumption.

Key words Sensor Data, Sensor Network, Power Consumption, Data Mining

1. はじめに

近年、地球温暖化が重要な環境問題として認知され、二酸化炭素排出量の削減が叫ばれている。また、ここ数年の原油価格の高騰により、今後の電力価格の高騰は確実なものであると予想される。ところで、

さまざまなオフィスで業務の電子化が進み、セキュリティ意識の高まりと共にシンクライアントが利用されるようになってきている[1]。そのような中で、作業スペースを固定されることなく業務ができるフリースペースな環境が増加している。本研究では、コス

トを抑えつつ簡単に導入できる省電力化の方法として、人物誘導による電力消費を抑制するための仕組みを提案する。人物誘導は、例えば複数の部屋を少人数で利用している場合、ひとつの部屋に利用者を集めることで、照明や空調の過剰使用を抑制することによる省電力化が期待できる。誘導を行う上で注意することは、誘導される利用者に過剰な負荷をかけてしまい、作業能率を低下させることがないようにすることである。利用者に過剰な負荷をかけずに誘導を行うために、快適性を指標として導入する。ただし、本稿では、部屋の大きさに対する快適な人数を快適性の基準とし、具体的な快適性の定義は行わない。人物誘導を行うにあたり、人物の位置を把握する必要がある。本研究では、センサネットワーク[2]を用いてセンサデータの収集を行い、人物位置推定を行う。

2. 関連研究

本研究は、知的クラスター創成事業のプロジェクトの一部で、本研究が属するプロジェクトでは、センサネットワークを用いたエコライフサポートシステムの開発を行っている。その中で、センサネットワークやセンサデータベースの構築、データマイニングによるエコライフサポートの実現を目指している。エコライフとは、現状の生活環境における快適さを維持しつつ、省電力化を目指すものである。本研究の位置づけは、エコライフサポートシステムのうち、エコを実現するためのアプリケーションの実装であり、センサネットワークが収集したセンサデータを利用して省電力化を行うものである。本研究の成果により、エコと快適性の両立を達成することで、エコライフサポートシステムに貢献する。

2. 1 省電力化

森本ら[3]は、照明設備の省エネ制御に関するシステムの開発を行った。人感センサと調光センサを利用し、昼光利用と人の在・不在による照明の階調調整を行うことにより、12%程度の省エネ効果が期待できるとしている。人感センサと調光センサは、照明設備の間に天井埋め込み式で設置され、24時間常時稼働することで省電力化を実現している。通常のオフィスより照明利用が多い施設に竣工時に導入され、確かな省エネ効果を示す一方で、既に建築済み

の現存する建物に導入する場合、センサが埋め込み式であるため、配線や設置工事などに多大な導入コストがかかると考えられる。本研究では、センサ端末を設置するだけで機能するセンサネットワークを利用することで、導入コストの抑制ができる。

2. 2 人物位置推定

Eagle ら[4]は、携帯電話と基地局の通信記録、および、携帯電話に付属する Bluetooth と、配置が固定された様々な Bluetooth 端末の通信記録を用いて、携帯電話所持者の移動データを収集し、現在位置推定や携帯電話所持者同士の関係を推測する Reality Mining の研究を行っている。Reality Mining では、代替センサとして携帯電話を利用しているが、データ記録用のモジュールを付属させた携帯電話を被験者が携帯することでセンサとして利用している。本研究では、利用者に特別な準備を行わせることなく位置推定を行うために、センサネットワークを用いる。

本田ら[5]は、赤外線センサネットワークを用いて、人の移動を追跡するシステムを構築した。隣接する赤外線センサの発火時間の平均と分散から上限と下限を設定し、隣接するセンサの連続発火を人の移動と見なして、人の移動を追跡することが可能となった。本田らの研究においては、人の移動を追跡することが目的であり、人数を把握することは難しい。本研究では、人数を把握することが必要であるため、人数を把握することを目的としたマイニングを考える。

2. 3 センサネットワーク

本研究では、センサネットワーク用のセンサモジュールとして、複数のセンサを搭載したマルチセンサボードを利用する。服部ら[6]は、距離情報、音響情報、画像情報の3種を収集するマッシュセンシングシステムを開発し、それらの情報を統合して状況を把握する研究を行った。本研究では、単純化とコストの抑制のため、画像情報を取り扱わず、温度や照度といった環境情報から状況把握を行う。

3. 電力消費の抑制

本研究では、電力消費を抑制することを目的とする。電力消費の抑制にはさまざまな方法があるが、もっとも重要なことは、利用者が不快に感じないこ

とである。例えばエアコンで冷房を行う際、設定温度を1℃上げると10%消費電力が低下すると言われている。しかし同時に、室温が25℃から1℃上がる毎に作業効率が2%低下するという報告がある[7]。このように、省電力化と快適性にはトレードオフが存在し、電力利用者が不快に感じない程度の負荷に抑えるか、別の快適性を提供することで、利用者の快適性を保持することが必要である。

3. 1 省電力化の例

省電力化の例をあげる。事務所や学校といった施設において、必ず共通する電気機器として、照明と空調が挙げられる。

照明に対して省電力化を行う場合、階調調整による消費電力の低減が考えられる[3]。例えば日中は窓からの採光を利用し、窓側の席は照明を暗くする。また、廊下側で採光できない場合でも日中なら多少照明を暗くすることはできる。また、残業時間など、部屋の中において人がいる場所が限られている場合には、人がいない場所は暗く、もしくは消灯することで省電力化できる。照明を階調調整することによる省電力化は、人がいるかどうかをセンサで監視するだけでよく、単純に構成することができる。ただし、照明を階調調整可能なものに変更する必要がある、照明の数に応じて導入コストが増加する。

次に空調の省電力化について考える。空調は元々、空調機器自体に省電力化の仕組みをもっており、設定温度の調整が省電力化に貢献する方法として考えられる。一般的に夏は28℃、冬は20℃に設定することが省エネである、といわれているが、室温が25℃から1℃上昇する毎に作業効率が2%低下するという報告もある[7]。電力消費を最も抑える方法は、空調を利用しないことである。部屋の利用状況をデータとして収集し、部屋の利用を終える前に適当な時間で空調を切ることにより、省電力化は可能である。ただし、部屋の利用頻度や、利用時間が不規則であれば、適当な時間を決めることができず省電力化を行うことは難しい。

3. 2 利用者の誘導と消費電力の抑制

単純で効率的な省電力化として、使用可能な部屋を制限することを考える。部屋を使用しなければ、少なくとも照明と空調を利用する必要がなくなり、

省電力効果は確実である。部屋を制限する方法として、部屋の利用者を誘導することが考えられる。誘導とは、部屋の容量が許す限りひとつの部屋に利用者を集めることであり、部屋を利用しようとする人に適切な部屋を指示したり、もしくは部屋を利用している人に部屋の移動を促したりすることである。

誘導による消費電力の抑制は確実な効果があるが、同時に、部屋を移動させられる利用者に対しては負荷を与えることになる。誘導を行う際には、利用者に対する負荷を考慮し、適切な方法、タイミングを選択するための仕組みを考える。誘導の方法としては、部屋に入る前に使用可能な部屋を知らせること、部屋を使用中に部屋の移動を指示することの2点が必要になる。

また、誘導の方法において、メールや電子掲示板等で指示する方法や、音声による指示を行う方法が考えられるが、どういった方法が利用者に受け入れられるか調査する必要がある。また、指示に従わず、部屋を移動しない利用者に対する処置も必要である。本稿では、これら誘導の方法に関しては課題とし、詳述はしない。

3. 3 快適性

利用者の誘導は、電力消費を抑制することができる一方で、利用者に対して負荷を与えることになる。例えば、ひとつの部屋に過剰な人員を割り当てれば、作業スペースが確保できないなど、不便さを感じる事が挙げられる。過度の負荷を利用者に与えると、電力消費を抑制する利点より、作業効率が低下する欠点のほうが大きくなる。作業効率の低下は作業時間の延長を促す結果になる可能性があり、結果的に電力消費量が増大する。つまり、誘導には利用者の快適性を考慮、確保する必要がある。Fanger[8]は、PMVによる快適指数を定義したが、本研究における快適性は、人が作業を行う際の指標として、部屋の許容量を示すものである。快適性の要因には、室温や明るさといった部屋自体の環境的な要因と、部屋に対する人の量や人同士の距離といった人間関係の要因が考えられる。本研究では問題の単純化のために、それぞれの部屋で快適に過ごせる人数をキャパシティとして仮に設定し、快適性の指標とする。快適性の指標をどう決定するかは今後の課題とし、実際に即したスレッシュホールドを定める際には、快適性

の要因ごとにアンケートを取るなど、快適、不快に感じる状態を明確に区別する必要がある。

4. 位置推定と誘導

利用者を誘導するためには、利用者がどこにいるか、どのくらいの人数がいるか、なるべく正確に把握する必要がある。利用者の現在地の把握にはいくつかの方法がある。画像解析による人物の把握や、RFID タグを用いた認証[9]等が考えられる。

本研究では、センサネットワークを用いて人物位置推定を行う。そのための予備実験として、ひとつの部屋への入退室にかかる時間を調べ、上限と下限を設定し、部屋の入退室を推測するための予備実験を行った。また、予備実験を元に、誘導を行うためのアルゴリズムについて考察した。

4. 1 センサネットワーク

センサネットワークとは、任意に配置したセンサ同士が自立的にネットワークを形成し、センサデータを収集する仕組みである。本研究で利用するセンサネットワークは、センサボード上に無線モジュール、モーションセンサ、照度センサ、温度センサを有し、乾電池で動作する端末を用いる。端末が収集したセンサデータを無線通信によりデータベースに格納し、データマイニングにより任意の形式で利用する。また、センシング間隔は任意に設定でき、現状では秒単位の調整が可能である。

センサネットワークはセンサノード、シンクノード、データベースで構成される。センサノードは各センサにより環境数値を取得し、シンクノードに送信する。シンクノードは受信したデータをデータベースへ送信し、データを蓄積する。センサネットワークの利点は、無線による通信、シンクノードによる通信の中継が可能であり、また自立的にネットワークを形成可能であり、ノードを設置するだけでネットワークが形成されるため、設置が容易であることが挙げられる。また、欠点としては、センサノードの配置に関わらず稼働させられるため、センサノードが適切な位置に配置されない場合、データを収集できない、収集したデータを利用する価値がないといった場合がある。

4. 2 部屋の入退室推測

本研究の目的は、部屋を利用する人物を誘導することによる消費電力の抑制である。誘導の為に、各部屋の利用状況を把握することが必要である。本研究では、自立的にネットワークを形成でき、設置が容易なセンサネットワークを利用することを前提としている。そこで、センサネットワークを利用した人物位置推定を行うための予備実験を行った。予備実験の前提として、人の通過をカウントすることには不適當と考えられるセンサを利用し、どの程度正確にデータを取得できるかを調査する。また、予備実験の目的は、入退室の際にモーションセンサが人の動きを検知し続ける時間を計測し、部屋の入り口を入退室する際にどの程度の時間を要するかを調査することである。

4. 2. 1 予備実験

部屋の出入り口の扉に、部屋の内側と外側にそれぞれモーションセンサを配置し、一人の被験者が部屋の入退室を繰り返すことでデータの収集を行った(図 1)。扉の状態を (1) 扉が開いている、(2) 扉は閉まっているが、鍵は開いている、(3) 扉も鍵も閉まっている、という 3 状態にし、1 つの状態につき 10 往復のデータを収集し、扉の状態による入退室に要する時間を調査した。なお、センサがデータを収集する間隔は毎秒 1 回である。また、収集したデータを調査したところ、状態(3)のみ 11 往復のデータを収集していたことがわかった。

4. 2. 2 実験結果

実験結果を図 2、表 1~3 に示す。図 2 はモーションセンサが検知した値を時系列に並べたものである。モーションセンサは動きを検知すると 7~9 の値を、検知しない場合は 1023 を記録する。表 1~3 は、図 2 において、人が通過したと考えられる連続したデータを 1 つのセッションとし、セッションごとの秒数をまとめたものである。セッションの取り方は人の目により判断した。図 2、表 1~3 より、モーションセンサを 2 つ用いてデータを取得することにより、人が部屋に入退室するのに要する時間を把握でき、入退室推測に利用できることがわかった。

4. 3 誘導の仕組み

予備実験により、センサネットワークによる人物

表 1 状態(1)

	入室(秒)	退室(秒)
session 1	3	7
session 2	6	6
session 3	4	3
session 4	5	6
session 5	6	7
session 6	4	7
session 7	4	6
session 8	3	6
session 9	5	4
session 10	5	6
total	45	58
average	4.5	5.8
variance	0.97	1.54

表 2 状態(2)

	入室(秒)	退室(秒)
session 1	7	14
session 2	7	10
session 3	5	10
session 4	10	8
session 5	9	8
session 6	13	7
session 7	6	9
session 8	6	6
session 9	8	6
session 10	8	8
total	79	86
average	7.9	8.6
variance	2.8	2.66

表 3 状態(3)

	入室(秒)	退室(秒)
session 1	10	8
session 2	8	13
session 3	12	12
session 4	12	11
session 5	8	9
session 6	9	7
session 7	10	7
session 8	11	11
session 9	8	10
session 10	8	9
session 11	12	12
total	108	109
average	9.8	9.9
variance	2.45	3.31

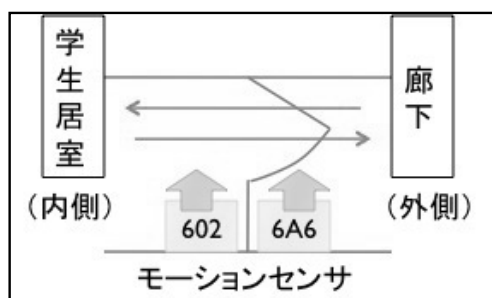


図 1 予備実験 概要

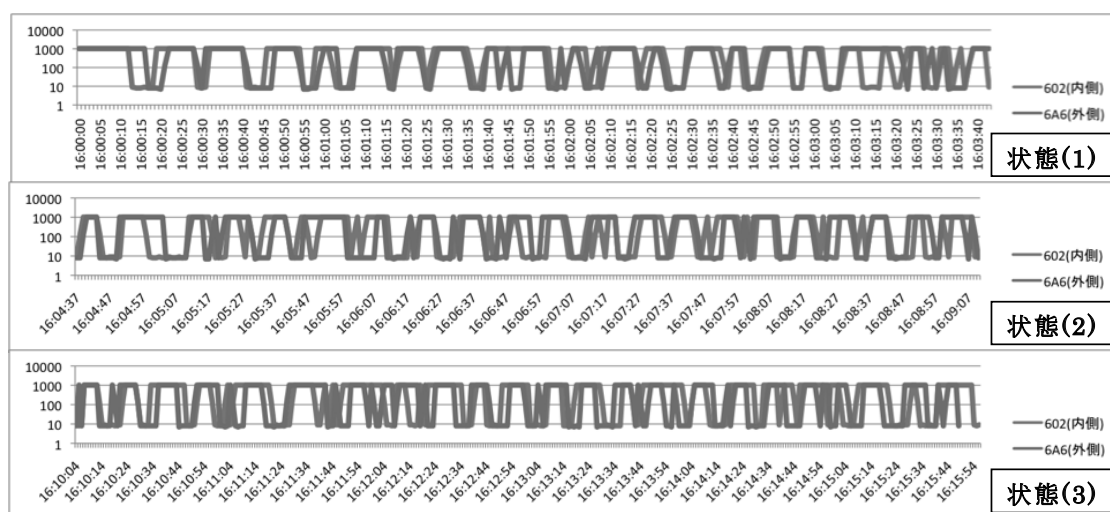


図 2 モーションセンサの時系列データ

の位置を把握できることがわかった。部屋に滞在する人数、時間を元に、実際の誘導を行う。なお、本項では、利用者が快適に作業できる部屋の人数をキャパシティと呼ぶこととする。

まず、誘導を開始する条件となるトリガを述べる。トリガとして考えられるのは、(i) 部屋の人数の増減、(ii) 時間である。また、出勤記録などから個人が特定でき、その個人が特徴的な行動をする場合には、(iii) 個人単位の誘導トリガを設定することも考えられる。また逆に、(iv) 誘導を行わない条件も設定する必要がある。

(i) 部屋の人数をトリガとする場合

部屋の人数をトリガとする場合、任意に定めた誘導を行わない最小人数を下回る、もしくは、部屋のキャパシティを越えるときに誘導を行う。前者の場合、すでに利用者がいる他の部屋のキャパシティに余裕があればそこへ誘導することで、利用する部屋

数を減らし、消費電力の抑制を行う。また、他の部屋に誘導できない場合、利用者に対して部屋のキャパシティに余裕があればそこへ誘導することで、利用する部屋数を減らし、消費電力の抑制を行う。また、他の部屋に誘導できない場合、利用者に対して部屋のキャパシティが著しく過剰であれば、利用履歴から推定した今後の最大利用人数を考慮し、適切なキャパシティの部屋へ誘導することで消費電力の抑制が可能である。

後者の場合、利用者の快適性を損なわないよう、新たに開放する部屋を決定し、そこへ誘導する。新たに部屋を開放する場合、各部屋の利用履歴から以降の利用者の最大人数を推定し、適切なキャパシティをもつ部屋を決定する。過剰なキャパシティをもつ部屋を提供しないことで、消費電力の増加を抑制することができる。また、適正なキャパシティの部屋を開放することで、過剰に誘導する可能性を低下

させ、負荷を減らすことができる。

(ii) 時間をトリガとする場合

時間をトリガとする場合、1時間毎など一定間隔で誘導を行う方法と、昼休みや休憩時間などの定められた時間に誘導を行う方法、もしくは両者を組み合わせた方法が考えられる。時間をトリガにする場合、現在の部屋の利用状況と、履歴からの今後の利用状況の推測から、誘導を行うか判断する。

(iii) 個人単位の誘導トリガを設定する場合

個人単位で誘導トリガを設定する場合、その個人が取る特徴的な行動に合わせた誘導を行うことができる。例えば出勤時間が早い社員がいれば、推定される以降の部屋の利用状況から、適切なキャパシティの部屋へ誘導する。逆に出勤時間が遅く、退社時間も遅い社員なら、利用されている部屋のうちキャパシティが最も低い部屋に誘導することが考えられる。

(iv) 誘導を行わない条件

これまでに述べたように、誘導の目的は電力消費の抑制である。ただし、誘導によって頻繁に移動する場合、利用者にとっての負荷となり、快適性を損なうことになる。そこで、トリガの条件を満たしても誘導を行わない条件を設定する。まず、誘導を行ったあと、一定の猶予期間を設定する。また逆に、定時的に誘導を行う場合、トリガの条件が満たされた時間から定時誘導を行う時間までが一定期間より短ければ、定時誘導まで誘導を行わない。また、センサデータの履歴から、任意の時間内に高い確率で人が増え、再び誘導を行う必要があると推測される場合には誘導を行わない。

以上の条件を元に、誘導を行うシステムを構築する。条件の中では、部屋の利用履歴を元にした推測を条件に誘導を行うか判断することがある。正確な推測を行うためには、十分な量のデータと、精度の高いマイニングが必要である。十分な量のデータについて、本稿で述べた予備実験では、部屋の出入り口にのみセンサを設置し、人の通過を検知したデータを記録したが、実環境にセンサを配置する場合は、部屋の中や廊下など、様々な場所に設置する。また現状で実装されている3つのセンサ以外のセンサを、拡張モジュールとしてセンサボードに搭載できるため、必要なデータが増えるとしてもセンサボードの拡張により対応することができる。センサネットワ

ークを用いることで、部屋の入退室以外のデータを収集できるため、より精度の高い状況把握が可能になると考えられる。また、利用履歴からの推測を行う際、精度の高いマイニング技術を用いることで、正確な推測ができるようになり、誘導による省電力効果を高めることができると考えられる。

5. おわりに

本稿では、人物誘導による省電力化の仕組みについて提案を行った。また、人物誘導のための部屋の利用状況の把握に関して、部屋の入退室推測のための予備実験を行い、ある程度の指標を得た。その指標を元に、人物誘導の仕組みを提案した。今後の課題として、誘導方法の具体化、誘導システムの構築、快適性の定義、利用状況の詳細把握を行うシステムの構築が挙げられる。さらに、システムが稼働した際に得られる省電力効果について検証を行い、システム導入によるメリットを具体化する。また、誘導の条件を定義するために、センサデータや部屋の利用状況を比較する補助を行う分析ツールを導入する。

文 献

- [1] 神戸雅一, 桑田喜隆, 本橋賢二, 小豆川裕子, 箱守聡, シンクライアント環境を用いた次世代型ワークスタイルとワークプレイス, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.1(20080115) pp.116-129, 2008
- [2] 稲坂朋義, センサネットワーク技術 ZigBee 技術の動向と今後の展開, 電子情報通信学会技術研究報告: IN, 情報ネットワーク, Vol.104, No.437(20041111) pp.43-48, 2004
- [3] 森本康司, 太田正明, オフィスにおける照明設備の省エネ制御, 東芝レビュー Vol.59, No.10, 2004
- [4] N. Eagle, A. Pentland, Reality Mining: Sensing Complex Social Systems, Personal and Ubiquitous Computing, Vol.10, No.4, 2006
- [5] 本田誠一, 福井健一, 森山甲一, 栗原聡, 沼尾正行, 赤外線センサーネットワークによる人物追跡, 人工知能学会 全国大会(第20回), 2A3-2, 2006
- [6] 服部傑, 亀田能成, 大田友一, 非日常性の認識に向けた多数センサの関連付け, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE 2004-43, 2004.12
- [7] YOMIURI ONLINE (読売新聞), <http://home.yomiuri.co.jp/news/20080718hg01.htm>, 2008.08
- [8] P. O. Fanger, Thermal Comfort, McGraw-Hill, 1972
- [9] 小林ちひろ, 竹内勇剛, 公共空間への情報提示を利用したグループコミュニケーション支援, 電子情報通信学会技術研究報告: HCS, ヒューマンコミュニケーション基礎, Vol.106, No.219, pp.25-30, Aug. 2006