

人感センサを用いた住宅内人物移動推定における センサ配置の最適化

村尾 和哉^{†1} 寺田 努^{†1,†2}
矢野 愛^{†3} 松倉 隆一^{†3}

近年、建物内にセンサを配置したスマートホームやスマートオフィスが出現してきたことで、人の位置情報や移動情報を把握して家電などの効率的な制御による省電力化が期待されている。従来研究における人の移動検出方法として、RFID タグを用いる手法が提案されているが、一般家庭などで移動推定のために部屋を移動するたびにタグをかざす作業はユーザの負担になる。一方、人はデバイスをもたない例として環境に設置されたカメラによる画像認識を用いる方法が存在するが、人の移動を追うには家中にカメラを設置しなければならず設置コストが高く、必要以上の情報を取得してしまうためプライバシーの面で適さない。本研究では蛍光灯制御のために既に設置されている赤外線人感センサを利用した一般家庭における住人の移動検出において、センサの設置箇所と検出精度の関係について調査する。

Optimization of Sensor Allocation for Detecting Human Movement by Passive Infrared Sensors in Home Environment

KAZUYA MURAO,^{†1} TSUTOMU TERADA,^{†1,†2} AI YANO^{†3}
and RYUICHI MATSUKURA^{†3}

Recently, smart home and smart office where sensors are installed are expected to reduce power consumption by effective home appliance control considering human positions and movements. Though the methods using RFID tags and cameras have been proposed so far, it is a burden to put the tag over a reader whenever passing through rooms and camera is costly and may invade our privacy. In this paper, we examine the relationship between sensor positions and detection accuracy for the simultaneous tracking in the home environment where passive infrared sensors have originally been installed for light control.

1. はじめに

2005年に我が国の二酸化炭素排出量を1990年比で2008年から2012年の間に6%削減することを約した京都議定書が発効され、二酸化炭素排出量削減は国民全体の社会問題として認識されている。このような背景による国民の省電力・省エネに対する意識の向上と情報科学技術の発展から、センサデバイスを用いて家庭内や事務所内の電力消費を最適化するHEMS (Home Energy Management System) やBEMS (Building Energy Management System) に注目が集まっている¹⁾。これらのシステムは家庭やオフィスに設置されたセンサデバイスを用いて機器のON/OFF制御を行うものである。例えば、テレビや照明に人感センサを設置して人の不在検出を行い、誰もいないときは自動的に電源を切ることで電力・二酸化炭素消費を削減する。しかしながら、現状では「誰もいなければ電源を切る」や「誰か現れたら電源を入れる」といった単純な制御しか行えず、エアコンなどの空調設備を単純に制御して頻繁にON/OFF制御を行うと、便所へ行くために一時的に部屋を離れただけで暖房が切れて温度が下がり、再び暖めなくてはならず無駄な電力が生じる。同様に、起動や効果があらわれるまでに時間を要する機器は人がその場所に現れる前に制御すべきである。

このような高度な制御には屋内での人物の移動に関する情報を取得する必要がある。これまでにカメラやRFIDタグなどを用いた屋内人物位置推定および移動推定手法が提案されているが、プライバシーの問題やユーザが追加的な作業を行う必要がある。一般的な普及を考えた場合、ユーザは一切の機器をもたず、操作をせず、ユーザに対して監視されている感覚を与えないシステムにする必要がある。

筆者らはこれまでに、ユーザは一切の機器を装着することなく、既に蛍光灯の制御に用いられ広く普及している赤外線人感センサのみを用いて、誰が、どのように移動したかを判定する手法を提案した。そこで、本稿ではセンサの設置位置が人の移動検出精度に与える影響を調査し、最適なセンサ配置を発見する。本研究で用いる人感センサは人間が発する赤外線を検出して検出範囲内の人間の有無のみを出力する一般的で安価なセンサであり、蛍光灯に設置されているものを2次的に利用するため少数のセンサでも稼働するシステムを想定し

^{†1} 神戸大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University

^{†2} 科学技術振興機構さきがけ
PRESTO, Japan Science and Technology Agency

^{†3} 株式会社富士通研究所
Fujitsu Laboratories Ltd.

ている．ある時点にある場所で未知のユーザが移動しているという情報のみから複数人が同時に移動するような状況で，各ユーザの移動情報を推定する．

以下，2章で関連研究を紹介し，3章で想定環境について述べ，4章で提案手法について説明し，5章で評価実験とその考察を示し，6章で本研究をまとめる．

2. 関連研究

センサを用いた人物移動検出手法はこれまでに複数行われており，カメラ画像を用いた人物検出手法では取得できる情報量の多さから人物や異常者，動線などを高精度で検出できる．カメラを用いたシステムの目的は主に外部からの侵入者の検知や工場での労働者の監視などであり，住宅内の住人に対しては常に監視されている感覚を与え，プライバシー保持の面でも望ましくない²⁾．また，RFID 端末を用いて移動箇所やモノのタグに接触することで移動情報を取得する手法が提案されている³⁾．接触を忘れない限り移動経路と移動人物を確実に検出できるのが特徴であり，オフィスなどで部屋の入退室用の鍵として IC カードを利用している環境であれば容易に適用可能であるが，住宅内では住人がデバイスを常時身につけ，移動時に毎回機器とのインタラクションをしなければならないという制約は厳しい．さらに，慣性センサを用いたデッドレコニングによる移動推定手法も存在する⁴⁾．これは屋外で建物や樹木の影，地下に入って GPS が位置情報を取得できないときに補完的に用いられるものであり，基本的に歩行や停止など想定する行動が制限されている．住宅のようにその場での方向転換など細かな動作が多く，移動範囲も狭い環境では誤差が大きくなると考えられ，さらにセンサを決まった箇所に決まった方向で常に装着しなければならない現実的には適用困難である．

ユーザは一切のデバイスをもたずに，環境に設置したセンサから得られる情報から位置や移動を推定する手法も提案されている．特殊なデバイスを用いている例としては，HVAC (Central heating, ventilation, and air conditioning) と呼ばれる家庭内の空調を一括管理するシステムのエアフィルタに気圧センサを設置して部屋移動やドア開閉時に生じる圧力差を利用した移動検出手法が提案されている⁵⁾．このシステムではエアフィルタ 1 か所だけにセンサを設置するだけで住宅内の移動を検出でき，導入や維持が容易であるという特徴があるが，移動検出の精度は 65%程度と低く，部屋の形状にも大きく依存する．また，HVAC の普及率は 1997 年時点でアメリカやカナダで約 66%，欧州やオーストラリアで 55%であり現在も増加中であるが，住宅が比較的小さい日本や韓国では普及していない．住宅が小さい場合はセンサを分散的に設置する手法が有効であると考えられる．

安価なセンサを複数配置する手法としては，Wren らが赤外線人感センサを大量に設置したオフィス内の人物動作検出を行っている⁶⁾．センサを数メートル間隔で格子状に配置し，隣接するセンサノードの反応順序から直進移動や方向転換，2 人の交差などを検出している．しかし，設置するセンサ数が数百個と多く，設置や維持コストが高い．一方，Wilson らは天井に設置した赤外線人感センサやドアに設置した接触センサを用いた複数人の移動検出手法を提案している⁷⁾．人感センサは 1 部屋に 1 個程度，接触センサは全ての部屋のドアに設置しており設置個数は少数であり現実的であるが，接触センサは移動検出が主目的であり，一般的に住宅には設置されていないため追加的に設置しなければならない．筆者らは既に別の目的のために屋内に設置されているセンサを二次的に利用し，追加的なセンサの設置を最小限にして住人の移動検出を行うことを目的としており，本研究では照明の制御のために既に設置されている人感センサのみを用いる．

また，疎に配置された人感センサのみを用いた研究として本田らは移動可能な経路とその上に存在する人感センサでセンサネットワークを構築し，センサノード間の発火時間差を利用して移動経路を検出している⁸⁾．想定環境や問題設定は類似しているが，家のようなさまざまな年代の人が存在する環境において同一の移動モデルを適用することは困難であると考えられる．

加えて，従来研究ではベイジアンネットワークやパーティクルフィルタなどの確率ベースの手法⁹⁾ が用いられているが，これらは事前に生活して大量のデータを収集し，正解の移動情報を付与しなければならない．家の間取りは家によってさまざまであり，他の家のモデルを利用することはできない．実際に対象とする家のデータを採取するには複数人が生活しているとデータの分離が困難であるため，住人が 1 人で移動情報を記録しながら数日間生活する必要がある⁷⁾．建築後に家主に引き渡す前にシステム構築者がデータ収集できるが，家主が住む前に他人が数日間生活することは考えにくい．本研究では事前のデータ収集を必要としない．

3. 想定環境

データを採取した実験用家屋は 2 階建て一軒家 4LDK で，12 部屋で構成される．1 階には玄関，リビング，台所，洗面所，浴室，和室，便所 (1 階便所)，2 階には洋室 2 部屋 (洋室 1，洋室 2)，主寝室，予備室，便所 (2 階便所) がある．本研究では便宜上便所と洗面所も部屋と定義する．浴室以外の各部屋には少なくとも 1 個のセンサが配置されている．部屋以外の設置箇所は 1 階ホール，1 階廊下，1 階側階段，2 階側階段，2 階廊下である．建物

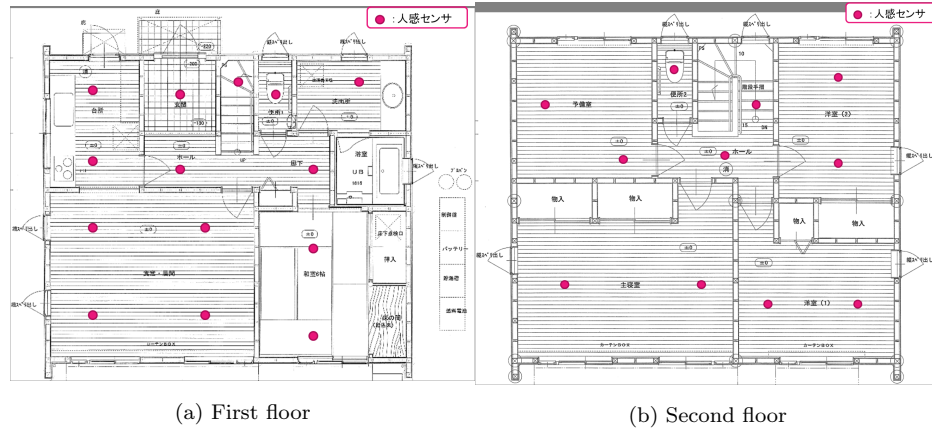


図 1 実験家屋の間取りとセンサ設置箇所

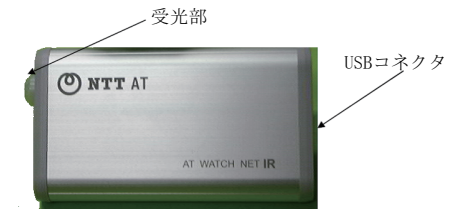
Fig.1 Floor plan of the experimental house and sensor arrangement.

内にセンサは合計 25 個設置されている。部屋の間取りおよびセンサ設置箇所を図 1 に、センサの設置の様子および外観を図 2 に示す。

人感センサは NTT アドバンスドテクノロジー株式会社製 SN-MP13 を使用した。センサの仕様を表 1 に示す。各センサは図 3 に示すようにセンサコントローラを介して住宅内にあるサーバに接続されている。センサは 500 ミリ秒おきにセンシングし、センサコントローラに情報を通知する。センサコントローラは人物の在・不在判定を行い、前回サーバに通知した状態と異なる状態が 1 秒間 (2 サンプル) 続けばサーバに現在の状態を通知する。センサの検出範囲内に動いている物体が現れると「Found」、その後範囲内から動いている物体が消えると「NotFound」が検出時刻および反応したセンサ ID とともにサーバに通知される。ただし、「Found」および「NotFound」は人の有無でなく、範囲内の移動物体の有無であり、人が存在していても動いていない場合は「NotFound」が出力される場合がある。そのため本研究では「Found」の情報のみを利用する。また、検出範囲外を移動したためにセンサが反応しない場合や隣接するセンサの検出範囲に入ったために誤反応する可能性がある。さらに、センサは移動物体の有無のみを検出するため、人物が誰であるかを直接検出することはできない。そのため、複数の住人が同時に移動する場合、サーバが受信したセンシングデータに複数の移動から発生するデータが混在する。これらの理由により、単純に反応したセンサが設置されている場所を接続して移動経路を検出することは困難である。ただし



(a) センサ設置の様子



(b) センサ外観

図 2 人感センサ

Fig.2 Passive IR sensor.

表 1 センサの仕様

Table 1 Sensor specifications.

| 検出距離 | 最大 5m | |
|--------|--------------|------|
| 検出範囲 | 水平方向 | 38 ° |
| | 垂直方向 | 22 ° |
| 検出ゾーン数 | 24 個 | |
| 価格 | 5,900 円 (税込) | |

簡単のため、住人は異なる 2 部屋間の移動のみを行うとする。便所を出て廊下で長時間静止したり、リビングを出て何かを思い出して再びリビングに戻るような移動は考えない。

4. 移動情報検出手法

本章ではサーバが受信したセンサ列から移動情報を推定する手法を述べる。温度や加速度

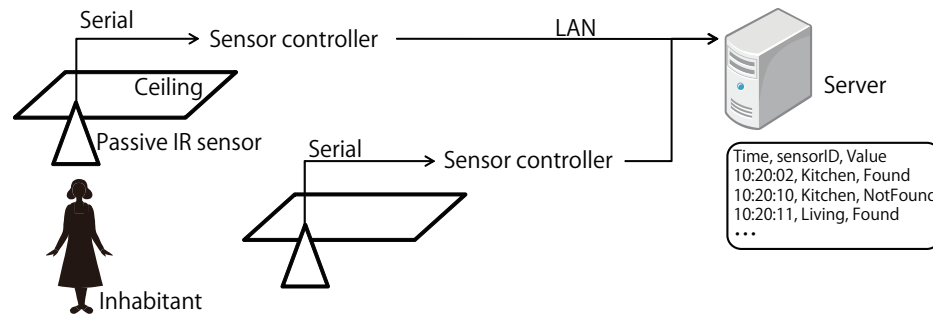


図 3 センサの構成
Fig. 3 Sensor configuration.

などの物理量を計測するセンサと異なり，本研究で扱う人感センサは得られるデータが異なる．前者はある特定のセンサ値が周囲の環境に応じて変化し，その変化を見ることで環境の変化や異常を検知できる．一方，後者は特定のセンサが出力する値は 2 値で，人の移動に応じて変化するのは反応するセンサの ID である．そのため，一般的な物理センサを用いた認識で用いられているようなセンシング値の変化量などの特徴量を抽出して SVM¹⁰⁾ や K-NN などの認識アルゴリズムをそのまま適用することはできない．そこで本研究ではセンサの出力値ではなくセンサの ID のみに着目する．また，本研究では可能な限りセンサを疎に配置するため，一度に反応するセンサの数も数個と少なく，隣接するセンサの反応順序などから直接「誰がどのような移動を行っているか」を推測することは困難である．そこで，本研究ではセンサの ID 列から移動情報を検出し，その後移動情報を結合して動線検出を行うボトムアップでのアプローチを試みる．ただし，本稿では移動検出手法のみを述べる．動線検出手法に関しては文献 11) に詳細に述べている．

移動情報を機器の制御などに用いる場合にはリアルタイムで処理しなければならないが，生活パターンを就寝後に解析して知識化するような場合は一日のデータをオフラインで処理する方法も有効であるため，本研究では，オフラインでの処理を考える．オンラインでの処理は今後の予定である．オフライン処理では全てのセンシングデータが与えられている状態で処理を行うため，オンライン処理よりも精度の良い結果が得られると考えられる．

提案手法では図 4 に示すように，センサ ID を 1 つの文字とし，サーバで受信したセンサ信号列を文字列に変換する．得られたセンサ ID 列の全ての時点においてその時点から過去 W 秒までに出力された部分 ID 列と全ての正解データとの一致率を計算し，最も一致率

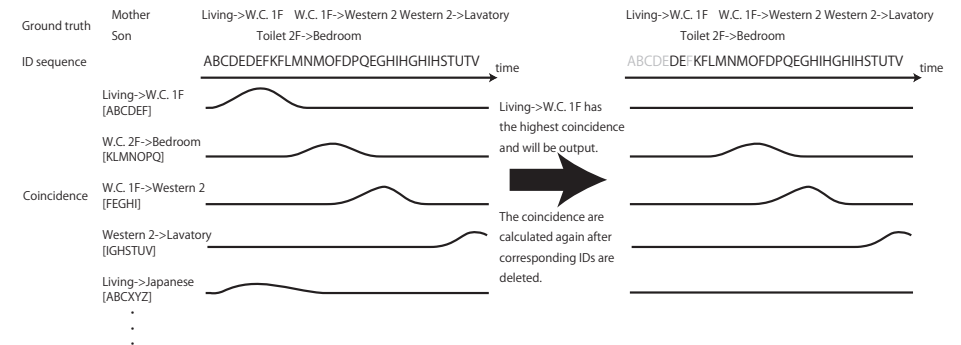


図 4 移動検出
Fig. 4 Movement detection.

の高い移動と時刻を探索する．その一致率が閾値以上であれば移動情報を出力し対応する文字をオリジナルのセンシングデータから削除する．その後，再び全ての時点全ての正解データに対して一致率を計算し，最大の一致率が閾値以下になるまで繰り返す．これにより最も正解のパターンに一致する部分から検出できる．ただし，閾値を上回る一致率の移動が複数ある場合は，一致率が最も高い移動のうち正解データ長が最も長いものを選択する．正解データ長も同じ移動が複数ある場合は時刻が最も若いものを選択する．

具体的な一致率の計算方法を述べる．各文字はタイムスタンプを保持しており，ある時刻 $T = t$ においてウィンドウと呼ばれる $T = t - W$ から $T = t$ までに出力された文字列を抽出する．考えられる 2 部屋間の移動とその際に出力されるセンサ ID の文字列 (正解データ) を事前に保持しておき，ウィンドウ内の文字列と全ての正解データで一致度を計算する．一致度の計算には以下に示す DP マッチングを応用した手法を用いる．長さ m と n の文字列 $X = (x_1, \dots, x_m)$ と $Y = (y_1, \dots, y_n)$ を比較する際， $m \times n$ 行列 d_{ij} を定義する．ただし， $x_i = y_i$ であれば $d_{ij} = 0$ で， $x_i \neq y_i$ であれば $d_{ij} = 1$ である．次に X および Y のインデックスのペアから成るパス $P = (p_1, \dots, p_k)$ を以下の手順で探索する．

(1) Initialization:

$$Cost(0, 0) = 0$$

$$Cost(i, 0) = \infty \text{ for } i = 1, \dots, m$$

$$Cost(0, j) = \infty \text{ for } j = 1, \dots, n$$

(2) Cost calculation:

Do for $i = 1, 2, \dots, m$
Do for $j = 1, 2, \dots, n$

$$Cost(i, j) = d(x_i, y_j) + \min \begin{cases} Cost(i-1, j-1) \\ Cost(i-1, j) \\ Cost(i, j-1) \end{cases}$$

(3) **Lowest-cost path search:**

$k = 0, i = m, j = n, p_k = (i, j)$

While $i \neq 1 \&\& j \neq 1$:

if $Cost(i-1, j-1) < Cost(i-1, j) \&\& Cost(i-1, j-1) < Cost(i, j-1)$

$i--, j--, k++, p_k = (i, j)$

else if $Cost(i-1, j) < Cost(i, j-1)$

$i--, k++, p_k = (i, j)$

else

$j--, k++, p_k = (i, j)$

(4) **Output:**

Return P

このように(2)で全てのパスに対してコストを計算した後,(3)で $Cost(m, n)$ から $Cost(1, 1)$ まで最小のコストを示す経路を辿ることで文字列 X と Y が最も一致する経路を探索し,その経路上で x_i と y_i を比較することでウィンドウ内の文字列のうち正解データと一致する文字を発見する.正解データの文字列のうちウィンドウに含まれていた文字の割合を一致率として算出する.正解データの文字列長が10であるとき,その文字列すべてが順序の入れ替わりがなくウィンドウに出現する場合は一致率は1となり,5文字しか一致しない場合は一致率は0.5となる.

このようにしてサーバで受信したID列の全ての時刻において全ての正解データとの一致率を計算し図4に示す操作を繰り返す.移動情報を出力して対応する文字列をオリジナルのセンシングデータから削除することで,一度検出された移動が再び検出されることを防ぐ.また,複数の住人が同時に移動した場合でも,異なる移動に対応するID列は互いに削除されないため全ての移動を検出できる.

5. 評価

5.1 評価環境

評価で用いるデータは,3章で紹介した2階建ての住宅において収集した.本研究では住人が1人の場合と2人の場合で評価を行う.表2に示すように浴室を除く11部屋間の可能な全ての移動を含む経路を移動した.ただし,リビングから移動する場合,直接1階廊下に出る経路と台所を経由する経路があるため,リビングを起点あるいは終点とするすべての移動は2通り採取した.2人の場合は表3に示すように2人の住人が各自の判断で自由に10分程度住宅内を移動した.自由に移動したため,すれ違いや同じ部屋に2人がいる場面もある.

移動とセンサID列の関係を示す学習データは事前に手作業によって作成した.具体的には始点と終点を結ぶ経路上に存在するセンサが順番に反応するとして全ての移動のデータを生成した.図1に示すように部屋には複数のセンサが設置されているため,部屋の反応するセンサは全ての組合せを含めた.例えばリビングは4個のセンサが設置されているため $2^4 - 1 = 15$ 通りである.このようにして事前に作成した学習データを用いて移動検出および動線検出処理を行い検出精度を評価する.センシングデータを切り取るウィンドウサイズ W は25秒とした.これは一回の移動にかかる時間が最長25秒であったためである.ここで,移動が正しく検出されたかの判断基準について述べる.データ収集時に記録した移動開始および終了時刻に基づき,移動終了後25秒以内に正しい移動が検出された場合のみ正解とし,それ以外の検出結果は不正解とする.

以上の評価環境において採取したデータに対して特定のセンサの出力を削除することでさまざまなセンサの組合せで移動検出精度をシミュレートする.例えば,1階側階段のセンサが無い場合のシミュレートは学習データおよびテストデータから1階側階段のセンサのデータを削除することで実現している.予備実験の結果から1人の場合,2人の場合ともに一致率の閾値が0.8で移動検出精度が最大となったため,本研究では一致率の閾値を0.8でシミュレーションを行う.

5.2 結果

25個のセンサを全て用いた場合および部屋以外に設置されたセンサをそれぞれ使用しなかった場合の精度をF値で図5に示す.ただし,F値 $= \frac{2 * Recall * Precision}{Recall + Precision}$ で表現される値であり,最大1,最小0をとり,大きいほど性能が良いことを示す.「玄関前なし」の結果は玄関前のセンサのデータのみ使用せず残り24個のセンサを使用した場合の移動検出精度で

表 2 移動シナリオ
 Table 2 Scenario

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|
| 玄関 | → | リビング | → | 玄関 | → | 台所 | → | 玄関 | → | 和室 | → | 玄関 | → |
| 洗面所 | → | 玄関 | → | 洗面所 | → | 玄関 | → | 1階便所 | → | 玄関 | → | 洋室1 | → |
| 玄関 | → | 洋室2 | → | 玄関 | → | 主寝室 | → | 玄関 | → | 予備室 | → | 玄関 | → |
| 2階便所 | → | 玄関 | → | 台所 | → | リビング | → | 1階便所 | → | リビング | → | 和室 | → |
| リビング | → | 洗面所 | → | リビング | → | 洗面所 | → | リビング | → | 洋室1 | → | リビング | → |
| 洋室2 | → | リビング | → | 主寝室 | → | リビング | → | 2階便所 | → | リビング | → | 予備室 | → |
| リビング | → | 台所 | → | 1階便所 | → | 台所 | → | 和室 | → | 台所 | → | 洗面所 | → |
| 台所 | → | 洗面所 | → | 台所 | → | 洋室1 | → | 台所 | → | 洋室2 | → | 台所 | → |
| 主寝室 | → | 台所 | → | 2階便所 | → | 台所 | → | 予備室 | → | 台所 | → | 1階便所 | → |
| 和室 | → | 1階便所 | → | 洗面所 | → | 1階便所 | → | 洗面所 | → | 1階便所 | → | 洋室1 | → |
| 1階便所 | → | 洋室2 | → | 1階便所 | → | 主寝室 | → | 1階便所 | → | 2階便所 | → | 1階便所 | → |
| 予備室 | → | 1階便所 | → | 和室 | → | 洗面所 | → | 和室 | → | 洗面所 | → | 和室 | → |
| 洋室1 | → | 和室 | → | 洋室2 | → | 和室 | → | 主寝室 | → | 和室 | → | 2階便所 | → |
| 和室 | → | 予備室 | → | 和室 | | | | | | | | | |

表 3 2人移動時のシナリオ
 Table 3 Scenario for two persons

| | 出発時刻 | 出発部屋 | 到着時刻 | 到着部屋 |
|------|----------|------|----------|------|
| 住人 A | 15:46:54 | 洋室 2 | 15:47:05 | 主寝室 |
| | 15:47:54 | 主寝室 | 15:48:09 | 2階便所 |
| | 15:49:54 | 2階便所 | 15:50:13 | 1階便所 |
| | 15:50:54 | 1階便所 | 15:51:04 | 洗面所 |
| | 15:51:34 | 洗面所 | 15:51:46 | 和室 |
| | 15:52:14 | 和室 | 15:52:31 | 玄関 |
| | 15:52:54 | 玄関 | 15:53:07 | 台所 |
| | 15:53:34 | 台所 | 15:53:54 | 洋室 2 |
| | 15:54:29 | 洋室 2 | 15:54:36 | 洋室 1 |
| | 15:54:54 | 洋室 1 | 15:55:05 | 予備室 |
| | 15:55:29 | 予備室 | 15:55:52 | リビング |
| | 15:56:29 | リビング | 15:56:51 | 主寝室 |
| 住人 B | 15:47:54 | リビング | 15:48:05 | 洗面所 |
| | 15:48:54 | 洗面所 | 15:49:15 | 主寝室 |
| | 15:50:24 | 主寝室 | 15:50:34 | 予備室 |
| | 15:51:24 | 予備室 | 15:51:36 | 洋室 2 |
| | 15:52:24 | 洋室 2 | 15:52:34 | 2階便所 |
| | 15:53:24 | 2階便所 | 15:53:36 | 洋室 2 |
| | 15:54:24 | 洋室 2 | 15:54:39 | リビング |
| | 15:55:24 | リビング | 15:55:31 | 台所 |
| | 15:56:24 | 台所 | 15:56:36 | 和室 |

ある。

1人の場合の結果では、全てのセンサを用いた場合 F 値 0.95 であった。これに対して「1F ホールなし」では F 値 0.92 となり、5 か所の中で最も低い精度となった。これは 1F ホールのセンサが無くなると精度が大幅に低下しており、1F ホールのセンサはこの環境では重要なセンサであることを意味する。これは 2 人の場合でも同様の結果となった。この理由として 1F ホールはほとんどの移動において通過する場所であることが挙げられる。一方、1 人の場合の「2F ホールなし」では F 値 0.98 となり、センサが無くなったことで逆に精度が上昇している。2F ホールのセンサの反応を確認すると、2F ホールのセンサは受光部の設置角度の問題から通過した場所が悪かったためかセンサ設置箇所を通過しているにもかかわらず反応していない場合が多く存在していた。そのため、2F ホールのセンサが反応しなかった移動の一致率が低下してしまい検出されなかったが、もともとセンサが設置されていないと正解データ長が短くなり一致率の分母が小さくなるためセンサが反応しなくても一致率が上昇し、検出精度が上昇したと考えられる。しかしながら、2 人の場合の「2F ホールなし」では F 値は 0.84 となり「全センサあり」と比較して精度は低下している。2 人の場合は 2F ホールのセンサは正常に反応しており、1F ホールのセンサが無くなった場合と同様に精度が低下したと考えられる。また、階段には 1F 側と 2F 側にセンサが設置されているが、1F 側のセンサを取り外しても階段通過時は 2F のセンサが反応するため大幅な精度の低下は見られない。同様に 2F のセンサを外しても 1F のセンサが反応するため大幅な

精度の低下は見られない。

以上の結果から、さまざまな経路の交差点となる部分のセンサが重要であることが分かる。また、途中で分岐のない通路に複数のセンサを配置しても効果が低いことが分かる。

次に、各部屋に複数設置されているセンサのうち 1 個のみを稼働させた場合の結果を図 6 に示す。ただし、注目している部屋以外のセンサは全て稼働している。例えば、「居間東奥」の場合はリビングの 4 個のセンサのうち東側奥のセンサのみ稼働し残り 3 個は使用しておらず、リビング以外の 21 個のセンサは稼働している。

リビングについて 1 人の場合の結果から、西側手前に設置されたセンサを使用した場合のみ F 値 0.85 となり残り 3 個箇所の精度 0.86 よりも低い結果となっている。この理由として西側手前のセンサは台所に近く、台所を目的地として台所に入った場合でもリビングの西側手前のセンサが反応する例があり、移動先がリビングとして誤検出されたためである。また、廊下側からリビングに入室した場合、西側手前のセンサは反応しなかったことも原

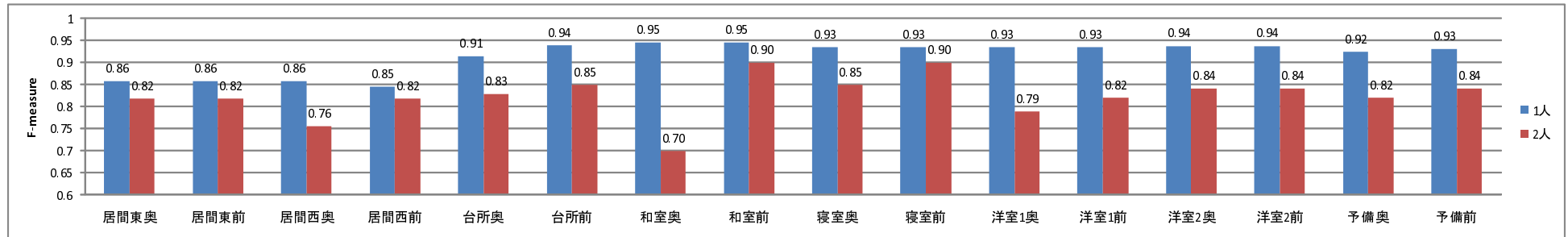


図 6 部屋の各センサを 1 個使用した場合の移動検出精度
Fig. 6 Movement detection accuracy when one sensor in the room is used.

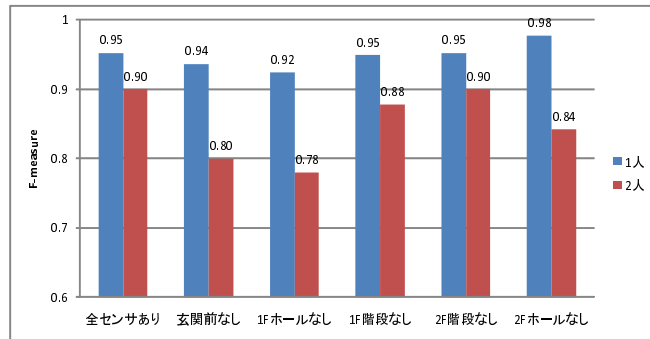


図 5 廊下のセンサを 1 個取り除いた場合の移動検出精度
Fig. 5 Movement detection accuracy when one sensor in the corridor is unused.

因として挙げられる。しかし、2 人の場合西側奥のセンサの F 値が 0.76 と低くなっている。これはデータ採取に参加した被験者がリビング入室時に西側奥まで入らなかったことが原因として挙げられる。

同様に台所、和室、寝室、洋室 1、洋室 2、予備室についても手前と奥のセンサのうち 1 個のみを稼働させた場合の結果を見る。ここで手前とは入口に近い方で、奥とは入口から遠い方である。結果より、1 人の場合と 2 人の場合の両方において全ての部屋で奥よりも手前のセンサが稼働している時に同等あるいは高い精度を示した。この理由として、和室、洋室 1、洋室 2、寝室、予備室に関しては、基本的には部屋に入って座ったり寝たりして休憩を

行うため部屋の奥まで入ったが、部屋に入って入口の近くで時間をつぶしていたりして奥のセンサが反応しないケースがあったためと考えられる。同様に台所に関しても奥まで入らずに奥側のセンサが反応しなかったために手前センサがある場合の結果が良かった。奥まで入らなかった理由として今回のデータ収集では台所に何か物を取りに言ったり機器を操作するといった目的が無かったため単純に台所に入ってその場で時間をつぶしたためである。

これらの結果から、部屋にセンサを設置する際は部屋の入口近くに設置する方が効果が高いことが分かった。しかし、リビングの西側奥のセンサが台所に入室しただけで誤反応したように、あまり入口に近づけすぎるとその部屋の前を通っただけでセンサが反応してしまう場合があるため、センサの検出範囲に注意する必要がある。

6. おわりに

本研究では住宅に設置された人感センサを用いた住人の移動検出において、センサの設置箇所に対する検出精度を評価した。評価では 2 階建て 4LDK の実験用住宅で収集したデータを用いて 1 人および 2 人の移動情報を抽出し、設置した 25 個のセンサ全てを使用した場合の精度と比較して、センサを取り除いたときに精度が変化しなかった場所と精度が低下した場所が明らかになった。廊下やホールなど部屋以外の場所においては多くの移動が交差する場所に設置したセンサが認識に貢献しており、逆に不安定な出力を行うセンサは除去した方が精度が改善することも分かった。分岐のない経路上において複数のセンサは他方のセンサが反応しなかった場合には有効であるが基本的には冗長であることも明らかになった。部屋に関しては入口近くに配置する方がいかなる入退室においても反応するため効果的で

あると分かったが、入口に近すぎると部屋の前を通過しただけで反応する場合があるためセンサの検出範囲を考慮して設置する必要がある。

住人の移動情報を得ることで、家電機器の高度な制御や予測的な制御による電力消費の削減、家庭内での互いの位置情報共有の実現が期待される。便所や洗面所などを除いては全ての蛍光灯に人感センサを設置することは一般的でなく導入や維持の面からも現実的ではない。本研究の結果から、センサの設置箇所と検出性能の関係が明らかになった。検出範囲や設置位置、角度なども考慮したセンサ配置について調査する予定である。

謝辞 本研究の一部は、科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業(さきがけ)および文部科学省科学研究費補助金基盤研究(A)(20240009, 23240010)によるものである。ここに記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 青木忠一, “IT によるエネルギー消費の動向と IT 利用によるエネルギー削減,” 電子情報通信学会誌, Vol. 90, No. 3, pp. 170–175 (2007).
- 2) 神尾 崇, “画像認識を応用した高度映像セキュリティシステム,” パナソニック技報, Vol. 54, No. 4, pp. 13–17 (2009).
- 3) 楓 仁志, 山原裕之, 野口豊司, 島田幸廣, 島川博光, “接触物体から個人の行動を認識するための確率的手法,” 情報処理学会論文誌, Vol. 48, No. 3, pp. 1479–1490 (2007).
- 4) 上坂大輔, 村松茂樹, 岩本健嗣, 横山浩之, “手に保持されたセンサを用いた歩行者向けデッドレコニング手法の提案,” 情報処理学会論文誌, Vol. 52, No. 2, pp. 558–570 (2011).
- 5) Patel, S. N., Reynolds, M. S., and Abowd, G. D., “Detecting Human Movement by Differential Air Pressure Sensing in HVAC System Ductwork: An Exploration in Infrastructure Mediated Sensing,” in *Proceedings of International Conference on Pervasive Computing (Pervasive 2008)*, pp. 1–18 (2008).
- 6) Wren, C. R. and Munguia-Tapia, E., “Toward Scalable Activity Recognition for Sensor Networks,” in *Proceedings of the International Workshop in Location and Context-Awareness (LoCA 2006)*, pp. 168–185 (2006).
- 7) Wilson, D. H. and Atkeson, C. G., “Simultaneous Tracking and Activity Recognition (STAR) Using Many Anonymous, Binary Sensors,” in *Proceedings of International Conference on Pervasive Computing (Pervasive 2005)*, pp. 62–79 (2005).
- 8) 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)論文集 CD-ROM (2006).
- 9) Doucet, A., Freitas de, N., and Gordon, N., “Sequential Monte Carlo Methods in Practice,” Springer (2001).

- 10) Vapnik, V., “The Nature of Statistical Learning Theory,” Springer (1995).
- 11) 村尾和哉, 寺田 努, 矢野 愛, 松倉隆一, “住宅内に設置した人感センサを用いた住人の移動推定手法,” 情報処理学会シンポジウムシリーズ マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO 2011) 論文集, pp. 315–322 (2006) .