

# 疎に配置された赤外線センサを用いた 住宅内人物移動推定手法

村尾 和哉<sup>1,a)</sup> 寺田 努<sup>2,3,b)</sup> 矢野 愛<sup>4,c)</sup> 松倉 隆一<sup>4,d)</sup>

受付日 2015年12月20日, 採録日 2016年7月5日

**概要:** 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において, 人の存在あるいは人の移動を検出することで入退室情報の取得や位置推定を行い, ログの生成や室内灯の制御などを実現している. 従来研究における人の移動検出方法として, RFID などのタグを用いる手法が提案されているが, 家庭などで移動推定のために部屋間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. 人がデバイスを保持しない例として, 環境設置型カメラによる画像認識処理を用いる方法が存在するが, 人の移動を追うには環境内に至るところにカメラを設置しなければならず設置コストが高く, また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. 本論文では照明制御などを目的としてすでに多くの環境で設置されている赤外線人感センサを利用して, 家庭内における住人の移動推定を行う. 本論文で想定している赤外線センサの密度は一般的な天井照明と同程度 ( $5\text{ m}^2/\text{sensor}$ ) で, センシング領域に死角がある疎な環境である. 4 人家族を想定して 2 階建て戸建て住宅で行った評価実験の結果, 被験者に指示したシナリオの移動および人物を再現率 0.93 の精度で推定できた. 提案手法で得られる住人の移動情報を利用することで, 家電の効率的な制御や予測制御が実現できる.

**キーワード:** 赤外線人感センサ, 屋内移動推定

## Estimating Moving Trajectory with Sparsely Aligned Infrared Sensors in Home Environment

KAZUYA MURAO<sup>1,a)</sup> TSUTOMU TERADA<sup>2,3,b)</sup> AI YANO<sup>4,c)</sup> RYUICHI MATSUKURA<sup>4,d)</sup>

Received: December 20, 2015, Accepted: July 5, 2016

**Abstract:** We propose in this paper a method for estimating trajectories of the inhabitants in a home environment, which exploits the synergy between location and movement to provide the information necessary for intelligent home appliance control. Our goal is to carry out accurate movement estimation for multiple people in a home environment. We propose an approach that uses information gathered using only passive infrared sensors commonly found in lighting control systems. No special devices or video cameras are needed. Moreover, it is not necessary to carry out data collection for training. We evaluated our approach by conducting experiments in a real home fitted with sensors and we confirmed that trajectories were detected with 0.93 recall for four inhabitants who moved upon scenarios.

**Keywords:** Infrared sensor, Indoor moving estimation

<sup>1</sup> 立命館大学情報理工学部  
College of Information Science and Technology, Ritsumeikan University, Kusatsu, Shiga 525-8577, Japan  
<sup>2</sup> 神戸大学大学院工学研究科  
Graduate School of Engineering, Kobe University, Kobe, Hyogo 567-8501, Japan  
<sup>3</sup> 科学技術振興機構さきがけ  
JST PRESTO, Kawaguchi, Saitama 332-0012, Japan  
<sup>4</sup> 株式会社富士通研究所  
Fujitsu Laboratories Ltd., Kawasaki, Kanagawa 211-8588, Japan

### 1. はじめに

2005年にわ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5.2%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

a) murao@cs.ritsumeikan.ac.jp  
b) tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp  
c) yano.ai@jp.fujitsu.com  
d) r.matsukura@jp.fujitsu.com

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 (Buildig 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。たとえば、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。離席時にテレビの電源を切ることもできるが、衛星放送チューナの電源を同じように切ると、戻ってきたときの起動に時間を要する。このように、起動や効果が現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、ユーザはいっさいの機器を持たず、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。

本論文では、ユーザはいっさいの機器を装着することなく、すでに天井照明の制御など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、移動人物および移動経路を推定する手法を提案する。赤外線センサを利用する利点としては、1) 赤外線人感センサは比較的安価 (≈3USD) である、2) 赤外線人感センサはすでに多くの住宅やオフィスに導入されている、3) 赤外線センサは在/不在の情報のみを取得するためプライバシーを侵害しない、の3点があげられる。

提案手法では赤外線人感センサから得られる、時刻、場所、在/不在情報のみから複数人が同時に移動するような状況で、各住人の移動経路を推定する。本論文で使用する赤外線人感センサは、天井照明の制御のために設置されているものを2次的に利用し、密度は一般的な天井照明の密度と同等 (5m<sup>2</sup>/sensor) の比較的疎なものを想定している。また、提案手法ではフロアマップから移動可能経路を作成することで、事前のデータ収集は不要である。

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章で本論文をまとめる。

## 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つね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つねに装着しなければならない現実的には適用困難である。

ユーザはいっさいのデバイスを持たずに、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カ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, 接触センサはすべ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. 筆者らはすで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, 本論文では照明の制御のためにすでに設置されている人感センサのみを用いる.

また, 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 [8] 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様々であり, 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. 提案手法は家のモデルとして住人が主に滞在する部屋のリストを利用するが, 実際にデータを収集してモデルを構築する必要はない. また, 正解の移動情報を付与したデータとして, 間取りから機械的に生成したデータを用いるため, 実際に移動してデータを収集する必要はない.

### 3. 想定環境

本論文において提案手法を適用するために用意した実験用家屋は2階建て一軒家4LDKで, 12部屋で構成される. 1階には玄関(Entrance), リビング(Living), 台所(Kitchen), 洗面所(Lavatory), 浴室(Bath), 和室(Japanese), 1階便所(1F WC), 2階には洋室2部屋(洋室1(Western 1), 洋室2(Western 2)), 主寝室(Bed), 予備室(Spare), 2階便所(2F WC)がある. 本論文では便所や洗面台も部屋と定義する. 浴室以外の各部屋には少なくとも1個の赤外線人感センサが配置されている. 部屋以外の箇所では1階ホール, 1階廊下, 1階側階段, 2階側階段, 2階廊下に赤外線人感センサが設置されており, 住宅内に合計25個のセンサが設置されている. 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ミリ秒ごとにセンシングし, センサコントローラにセンサ値を送信する. センサコントローラは人物の在・不在判定を行い,

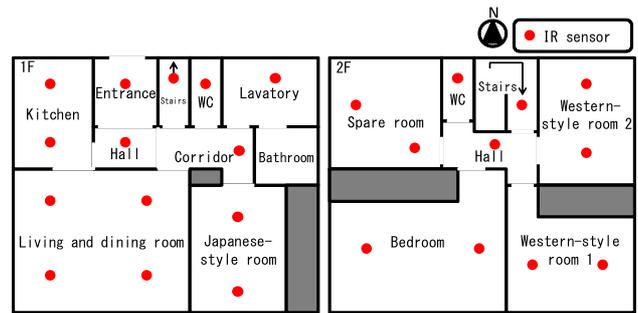
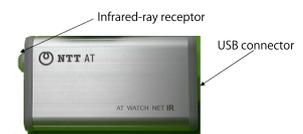


図1 実験家屋の間取りとセンサ設置箇所(灰色部分はクローゼットおよび物置きであり, 人は入らない)

Fig. 1 Floor plan of experimental house and sensor arrangement. The shaded areas are closets and storage.



(a) Snapshot of sensor on the ceiling.



(b) Sensor device.

図2 赤外線人感センサ

Fig. 2 Passive infrared sensor.

表1 センサの仕様

Table 1 Sensor specifications.

Item	Value	
Detection range	<5 m	
Detection angle	Horizontal	38°
	Vertical	22°
Price	5,900 JPY (tax included)	

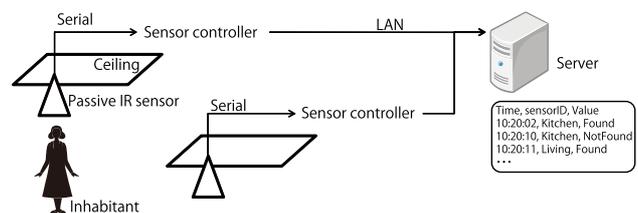


図3 センサの構成

Fig. 3 Sensor configuration.

サーバに通知した直近の状態と異なる状態が1秒間(2サンプル)継続すれば, サーバに現在の状態を通知する. 具体的には, 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.

ここで, 赤外線人感センサの特性について簡単に説明す

る。赤外線人感センサは物体が放射する赤外線を検出する受動型とセンサが赤外線を放射してその反射を検出する能動型があるが、本論文で用いるセンサは安価で、一般的に天井照明の制御に用いられている受動型である。赤外線センサは検出範囲内の赤外線の変化を検出するため、人が存在していても寝ていたり、座ったまま動いていなかったりすると「NotFound」が出力されることが頻繁に発生する。そのため本論文では「Found」の情報のみを利用する。また、センサの下を移動すればほぼ確実に「Found」が出力されるが、廊下の端を歩いたり、部屋の隅に滞在してセンサの検出範囲の境界を移動したりするとセンサが反応しない場合がある。また、部屋の入口付近を歩いて部屋内部のセンサの検出範囲に体の一部が入るとセンサが誤反応する場合がある。さらに、センサが検出できるのは移動物体の有無のみであり、移動人物を直接的に検出することはできない。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は複数の移動のセンサデータが混在する。ほかにも、住人同士の交差、移動経路の重複、出発地や目的地の重複などによって、移動経路上のセンサが移動した人数分すべて反応しない場合があるため、反応したセンサが設置されている場所を単純に接続して移動経路を検出することは困難である。

#### 4. 提案手法

本章ではサーバが受信したセンサ ID 列から移動経路および移動人物を推定する手法を述べる。一般的にセンシングデータから検出や認識処理を行う場合、センサ値を入力として SVM [9] や K-NN などの機械学習アルゴリズムを適用することが多いが、人感センサが出力する値は在・不在の 2 値であり、移動経路の違いによって特定のセンサの出力パターンが変化するものではない。移動経路によって異なるのは反応するセンサの ID であるため、本論文ではセンサの出力値ではなく反応したセンサの ID のみに着目し、センサの未反応や誤反応を考慮した手法を提案する。

提案手法は 2 段階の処理から構成されており、まずセンサの ID 列から部屋間の移動情報を検出する。その後、部屋間の移動情報を結合して移動経路推定を行う。本論文で述べる提案手法はオフライン処理であるが、容易にオンラインで処理へ適用できる。オフライン処理ではすべ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。

##### 4.1 部屋間移動検出

提案手法では図 4 に示すように、センサ ID をユニークな文字に置換することで、サーバで受信したセンサ ID 列を文字列に変換する。図の例では母と子が移動しており、移動が時間軸上で重複している。このとき、各移動によ

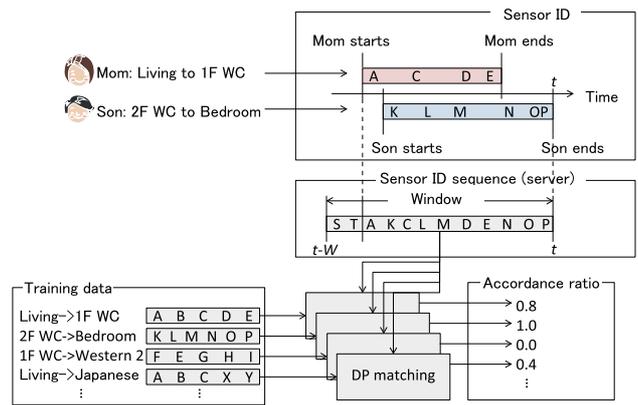


図 4 部屋間移動検出アルゴリズム  
Fig. 4 Room-to-room movement detection algorithm.

て反応するセンサ ID は、サーバ側ではどちらの移動由来か判断できず、まとめてタイムスタンプ順に並べられる。

部屋間移動検出では、時刻  $t$  において過去  $W$  秒間に出力された ID 列と想定されるセンサ ID 列（以降、テンプレート）との一致率（Accordance rate）を計算する。テンプレートは図 1 に示すフロアマップとセンサ設置箇所から部屋間移動経路上のセンサを通過順に並べて機械的に作成し、対応する部屋間移動のラベルとの組で構成され、事前に作成しておく。フロアマップ上におけるセンサの地理的接続関係を手動で定義すれば、計算機でテンプレートを網羅的に作成できるため、テンプレート作成に手間はかからない。一致率の計算を時刻 0 から  $N$  まで行い、最も一致率の高い移動と時刻を探索する。ただし、サーバで受信した  $N$  は ID 列の長さとする。一致率が閾値以上であれば該当する部屋間移動情報を出力し、一致した文字をオリジナルのセンサ ID 列から削除する。その後、再びすべての時刻で一致率を計算し、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移動から検出できる。ただし、最大となる一致率の移動が複数ある場合は、テンプレート長が最も長いものを選択する。テンプレート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。一致率に閾値を設けることで、住人が廊下の端を歩いてセンサが反応しなかった場合や 2 人がセンサの真下で交差してセンサが 1 回しか反応しなかった場合などのセンサの未反応を考慮してテンプレートと完全には一致しなかった移動も検出できる。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サ ID 列から削除することで、1 度検出された移動が再び検出されることを防いでいる。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センサ ID 列は互いに削除されないためすべての移動を検出できる。

一致率の計算方法を具体的に述べる。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 部屋間の移動のテンプレートを事前に保持しておき，ウィンドウ内の文字列とすべてのテンプレートで一致率を計算する．一致率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  $m$  のセンサ ID 列  $X_T = (x_1, \dots, x_m)$  と長さ  $n$  のテンプレート  $Y = (y_1, \dots, y_n)$  を比較する際， $m \times n$  行列  $d_{ij}$  を定義する．ただし， $x_i = y_j$  であれば  $d_{ij} = 0$  で， $x_i \neq y_j$  であれば  $d_{ij} = 1$  である．次に  $X_T$  および  $Y$  のインデックスのペアからなるパス  $P = (p_1, \dots, p_k)$  を以下の手順で探索する．

(1) Initialization:

$$\begin{aligned} Cost(0, 0) &= 0 \\ Cost(i, 0) &= \infty \text{ for } i = 1, \dots, m \\ Cost(0, j) &= \infty \text{ for } j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

(2) Cost calculation:

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

$$Cost(i, j) = d_{ij} + \min \begin{cases} Cost(i-1, j-1) \\ Cost(i-1, j) \\ Cost(i, j-1) \end{cases}$$

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

(4) Output:

Return  $P$

このように (2) ですべてのパスに対してコストを計算したあと，(3) で  $Cost(m, n)$  から  $Cost(1, 1)$  まで最小のコストを示す経路をたどることで文字列  $X_T$  と  $Y$  が最も一致する経路を探索し，その経路上で  $x_i$  と  $y_j$  を比較することでウィンドウ内の文字列のうちテンプレートと一致する文字を発見する．テンプレート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．テンプレートの文字列長が 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．全部屋間を実際に移動して採取したセンサデータに対して，一致率の閾値を 0.1 から 1.0 まで 0.1 刻みで変化させて提案手法を適用した予備実験の結果より，一致率の閾値が 0.8 のときに部屋間移動検出精度 (F 値) が最大

表 2 部屋間移動情報の例

Table 2 Example of room-to-room transition.

Time	Origin	Destination
08:00	Western 1	Living
08:10	Western 2	Living
08:16	1F WC	Living
08:25	Lavatory	Japanese
⋮	⋮	⋮

を示したため，本論文では一致率の閾値を 0.8 と設定する．

4.2 移動経路抽出

4.1 節で述べた部屋間移動検出によって表 2 に示すような部屋間移動情報  $M_i = (T_i, O_i, D_i)$  ( $1 \leq i \leq N_M$ ) が得られる．ただし， $T_i$  は検出時刻 (移動先の部屋に到着した時刻)， $O_i$  は移動元の部屋， $D_i$  は移動先の部屋， $N_M$  は検出された部屋間移動の数である．この部屋間移動情報には移動人物の情報は含まれていない．また，本論文で想定している赤外線人感センサの密度は疎であるため，廊下の端や部屋の隅などを通過するとセンサが反応しなかったり，移動せずに部屋の中で動くだけで反応したりするため，部屋間移動情報には移動したにもかかわらず情報が含まれていないことや，移動していないにもかかわらず情報が含まれていることがある．そのため，部屋間移動情報をもとに移動元の部屋と移動先の部屋を単純に接続するアプローチで移動経路を抽出すると，接続できない移動がある．提案手法では，疎に配置された赤外線人感センサを利用した場合の移動の誤検出や未検出に対処するために，得られた部屋間移動情報をもとに考えられるすべての移動をノード  $V_j(Room_j, People_j, Time_j, *Next_j)$  からなる木  $G$  で表現し，その木を網羅的に探索して，各住人に対して尤もらしい移動を抽出する． $j$  は通し番号， $Room_j$  は部屋， $People_j$  は在室人数， $Time_j$  は到着時刻， $*Next_j$  は子ノードへのポインタ配列である．

ただし，本論文では住人の数は既知であり，また夜は各住人はそれぞれの寝室で就寝しているため住人の移動は各自の寝室を初期配置とする．図 1 に示す住宅における父，母，姉，弟の 4 人家族を例にして，表 2 に示す部屋間移動情報を用いて具体的なアルゴリズムを以下に示す．例では，父，母，姉，弟の寝室 (初期配置) をそれぞれ主寝室，主寝室，洋室 1，洋室 2 とする．

1) 根の生成

各住人の初期配置を根としてノードを作成する．根は部屋ごとに作成し，同じ部屋を初期配置とする住人が複数いる場合は，根の在室人数に人数を格納する．父，母，姉，弟の寝室 (初期配置) はそれぞれ主寝室，主寝室，洋室 1，洋室 2 であるため，図 5 に示すように，主寝室，洋室 1，洋室 2 の 3 つの根が生成され，主寝室のノードの在室人数



図 5 根の生成  
Fig. 5 Creation of roots.

が 2 となる。根の時刻はセンシングを開始した時間を設定し、この例では 00:00 としている。

2) ノードの追加

$i = 0$  から  $N_M$  まで順番に  $M_i$  を読み込む。読み込んだ部屋間移動情報は人の存在する部屋からの移動であることが理想的であるが、未検出や誤検出により、移動元の部屋に人が存在しない場合がある。以下に示すように、移動を読み込んだ時点で、移動元の部屋および移動先の部屋に人が存在する場合と存在しない場合の 4 通りの場合分けでノードの追加を行う。

2-a)  $O_i = Room_J$  を満たす葉ノード  $V_J$  が存在し、 $D_i = Room_j$  を満たす葉ノードが存在しない場合

この場合は、人が存在している部屋から、誰も存在しない部屋に移動したと考えられるため、 $O_i$  から  $D_i$  に 1 人を移動させ、 $O_i$  の残りの人をそのまま  $O_i$  に滞在させる。具体的には、移動元に複数人滞在している ( $People_J > 1$ ) ならば、移動した人の移動先を表現するノード  $V_{N_v+1}$  と移動した人以外が滞在し続ける移動元を表現するノード  $V_{N_v+2}$  を作成する。各ノードのパラメータは  $Time_{N_v+1} = T_i$ ,  $Room_{N_v+1} = D_i$ ,  $People_{N_v+1} = 1$ ,  $Time_{N_v+2} = T_i$ ,  $Room_{N_v+2} = O_i$ ,  $People_{N_v+2} = People_J - 1$  となり、両ノードを移動元のノードの次のノード (子ノード) とするために  $*Next_J$  に  $V_{N_v+1}$  へのポインタと  $V_{N_v+2}$  へのポインタを追加する。ただし、 $N_v$  は  $M_i$  を読み込んだ時点での木  $G$  を構成するノード  $V$  の数である。移動元に 1 人しか滞在していない ( $People_J = 1$ ) ならば、移動元には残らないため  $V_{N_v+2}$  は作成しない。図 6 に示す例では、図 5 の状態において洋室 1 からリビングへの移動を追加している。

2-b)  $O_i = Room_J$  を満たす葉ノード  $V_J$  および  $D_i = Room_j$  を満たす葉ノード  $V_{J'}$  が存在する場合

この場合は、人が存在している部屋から、すでに人が存在する部屋に移動したと考えられるため、 $O_i$  から  $D_i$  に 1 人移動させ、 $O_i$  の残りの人をそのまま  $O_i$  に滞在させる。具体的には、移動元に複数人滞在している ( $People_J > 1$ ) ならば、移動先の人数が 1 人増えた状

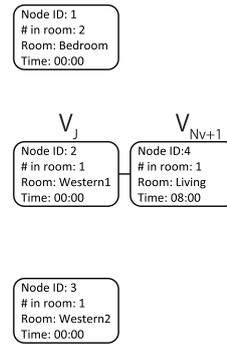


図 6 ノードの追加 2-a) (人が存在する部屋から、人が存在しない部屋へ移動する場合)

Fig. 6 Addition of a node when moving from a room with inhabitant(s) to a room without inhabitant 2-a).

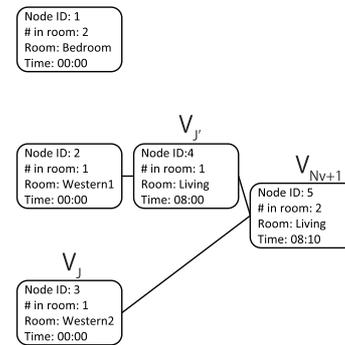


図 7 ノードの追加 2-b) (人が存在する部屋から、人が存在する部屋へ移動する場合)

Fig. 7 Addition of a node when moving from a room with inhabitant(s) to a room with inhabitant(s) 2-b).

態を表現するノード  $V_{N_v+1}$  と移動した人以外が滞在し続ける移動元を表現するノード  $V_{N_v+2}$  を作成する。各ノードのパラメータは  $Time_{N_v+1} = T_i$ ,  $Room_{N_v+1} = D_i$ ,  $People_{N_v+1} = People_{J'} + 1$ ,  $Time_{N_v+2} = T_i$ ,  $Room_{N_v+2} = O_i$ ,  $People_{N_v+2} = People_J - 1$  となり、ノード  $V_{N_v+1}$  をノード  $V_J$  およびノード  $V_{J'}$  の子ノードとするために  $*Next_J$  および  $*Next_{J'}$  に  $V_{N_v+1}$  へのポインタを追加する。さらに、ノード  $V_{N_v+2}$  をノード  $V_J$  の子ノードとするために  $*Next_J$  に  $V_{N_v+2}$  へのポインタを追加する。移動元に 1 人しか滞在していない ( $People_J = 1$ ) ならば、移動元には残らないため  $V_{N_v+2}$  は作成しない。図 7 に示す例では、図 6 の状態において洋室 2 からリビングへの移動を追加している。

2-c)  $O_i = Room_j$  を満たす葉ノードが存在せず、 $D_i = Room_J$  を満たす葉ノード  $V_{J'}$  が存在する場合

この場合は、誰も存在しない部屋から、すでに人が存在する部屋へ移動したことを表し、この時点までに作成された木  $G$  と矛盾が生じる。この原因として、時刻  $T_i$  以前に部屋  $O_i$  へ移動した部屋間移動情報が検出されなかった可能性と、時刻  $T_i$  以前にすでに部屋  $O_i$  から他の部屋に移動した部屋間移動情報が検出されており部屋間移動情報  $M_i$  が誤

りである可能性が考えられる．そのため，提案手法はこれらの可能性を表現するように木  $G$  を修正して  $M_i$  を追加する．まず，前者の可能性を表現するために，人が存在しているすべての部屋から部屋  $O_i$  を経由して部屋  $D_i$  へ移動する経路を追加する．具体的には，移動先である  $V_{J'}$  を除いて  $Time_j < T_i - 3[min]$  を満たす葉ノードを探索することで人が存在しているすべての部屋を探索し，この葉ノードの集合を  $\mathbf{V}_J \ni V_{J_k}$  とする． $Time_j < T_i - 3[min]$  を条件としている理由は， $Time_j$  は葉ノードの部屋に到着した時刻であるため， $Time_j$  と  $Time_i$  の差は葉ノードの部屋に滞在していた時刻，葉ノードの部屋から部屋  $O_i$  への移動に要する時間，部屋  $O_i$  に滞在していた時間，部屋  $O_i$  から  $D_i$  への移動に要する時間の合計であり，1 部屋の滞在時間を 1 分と見積もり，1 回の移動は最長 25 秒であったため，この時間は 3 分程度であると考えたためである．なお，照明の消し忘れなどで数秒だけ部屋に戻ることが現実的にはあるが，そのようなきわめて短い滞在は本人の意思をとまなう明確な目的を持った移動ではなく本論文の対象ではないため，1 部屋の滞在時間を最短 1 分と設定した．次に，部屋  $O_i$  への移動を補完するために，部屋  $O_i$  を表現するノード  $V_{N_v+1}$  を作成する． $V_{N_v+1}$  のパラメータは  $Time_{N_v+1} = T_i - 3[min]$ ， $Room_{N_v+1} = O_i$ ， $People_{N_v+1} = 1$  となる．さらに，移動後の部屋の状態を表現するノード  $V_{N_v+2}$  を作成する． $V_{N_v+2}$  のパラメータは  $Time_{N_v+2} = T_i$ ， $Room_{N_v+2} = D_i$ ， $People_{N_v+2} = People_{J'} + 1$  となる．そして，ノード  $V_{N_v+1}$  をノード  $V_{J_k} \in \mathbf{V}_J$  の子ノードとするために， $*Next_{J_k}$  に  $V_{N_v+1}$  へのポインタを追加する．同時に，ノード  $V_{N_v+2}$  をノード  $V_{N_v+1}$  およびノード  $V_{J'}$  の子ノードとするために， $*Next_{N_v+1}$  および  $*Next_{J'}$  に  $V_{N_v+2}$  へのポインタを追加する．

そして，後者の可能性を表現するために，人がノード  $V_{J_k} \in \mathbf{V}_J$  にとどまる経路を追加する．具体的には，1 つのノード  $V_{J_k}$  に対して 1 つのノード  $V_{N_v+2+k'}$  を作成する． $V_{N_v+2+k'}$  のパラメータは  $Time_{N_v+2+k'} = T_i$ ， $Room_{N_v+2+k'} = Room_{J_k}$ ， $People_{N_v+2+k'} = People_{J_k}$  となる．そして，ノード  $V_{N_v+2+k'}$  をノード  $V_{J_k}$  の子ノードとするために， $*Next_{J_k}$  に  $V_{N_v+2+k'}$  へのポインタを追加する．ただし， $k'$  は 1 から  $|\mathbf{V}_J|$  まで 1 ずつ増加する通し番号である．

図 8 の例では，図 7 の状態において 1 階便所からリビングへの移動を追加している．

**2-d)  $O_i=Room_j$  を満たす葉ノードおよび  $D_i=Room_j$  を満たす葉ノードが存在しない場合**

この場合は，誰も存在しない部屋から，誰も存在しない部屋に移動することを表し，この時点までに作成された木  $G$  と矛盾が生じる．この原因として 2-c) と同様の 2 つの可能性が考えられる．まず，前者の可能性を表現するために，人が存在しているすべての部屋から部屋  $O_i$  を経由し

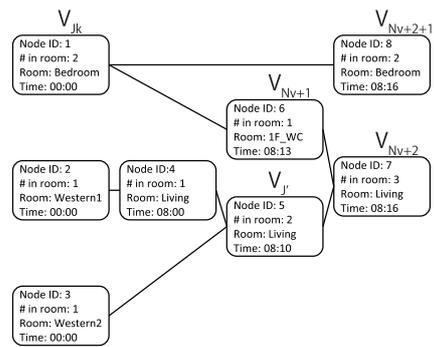


図 8 ノードの追加 2-c) (人が存在しない部屋から，人が存在する部屋へ移動する場合)

Fig. 8 Addition of a node when moving from a room without inhabitant to a room with inhabitant(s) 2-c).

て部屋  $D_i$  へ移動する経路を追加する．具体的には，2-c) と同様に  $Time_j < T_i - 3[min]$  を満たす葉ノードの集合  $\mathbf{V}_J \ni V_{J_k}$  を探索する．次に，部屋  $O_i$  への移動を補完するために，部屋  $O_i$  を表現するノード  $V_{N_v+1}$  を作成する．ノード  $V_{N_v+1}$  のパラメータは  $Time_{N_v+1} = T_i - 3[min]$ ， $Room_{N_v+1} = O_i$ ， $People_{N_v+1} = 1$  となる．さらに，移動後の部屋の状態を表現するノード  $V_{N_v+2}$  を作成する．ノード  $V_{N_v+2}$  のパラメータは  $Time_{N_v+2} = T_i$ ， $Room_{N_v+2} = D_i$ ， $People_{N_v+2} = 1$  となる．そして，ノード  $V_{N_v+1}$  をノード  $V_{J_k} \in \mathbf{V}_J$  の子ノードとするために， $*Next_{J_k}$  に  $V_{N_v+1}$  へのポインタを追加する．同時に，ノード  $V_{N_v+2}$  をノード  $V_{N_v+1}$  の子ノードとするために， $*Next_{N_v+1}$  に  $V_{N_v+2}$  へのポインタを追加する．

そして，後者の可能性を表現するために，人がノード  $V_{J_k} \in \mathbf{V}_J$  にとどまる経路を追加する．具体的には 1 つのノード  $V_{J_k}$  に対して 1 つのノード  $V_{N_v+2+k'}$  を作成する． $V_{N_v+2+k'}$  のパラメータは  $Time_{N_v+2+k'} = T_i$ ， $Room_{N_v+2+k'} = Room_{J_k}$ ， $People_{N_v+2+k'} = People_{J_k}$  となる．そして，ノード  $V_{N_v+2+k'}$  をノード  $V_{J_k}$  の子ノードとするために， $*Next_{J_k}$  に  $V_{N_v+2+k'}$  へのポインタを追加する．

図 9 の例では，図 8 の状態において洗面所から和室への移動を追加している．

**3) 木の探索**

上記手順に従って木  $G$  を作成し，各根から深さ優先探索によって部屋間移動情報から考えられる経路を網羅的に探索できる．図 9 の木からは表 3 に示す 8 本の移動経路が抽出される．

**4.3 移動人物推定**

抽出される移動経路の候補は生成される木の深さや枝分かれの数に依存するが，通常は膨大な数となるため，抽出された各移動経路を評価し，尤もらしい移動経路の選択および移動人物の推定を行う．しかしながら，事前知識を用

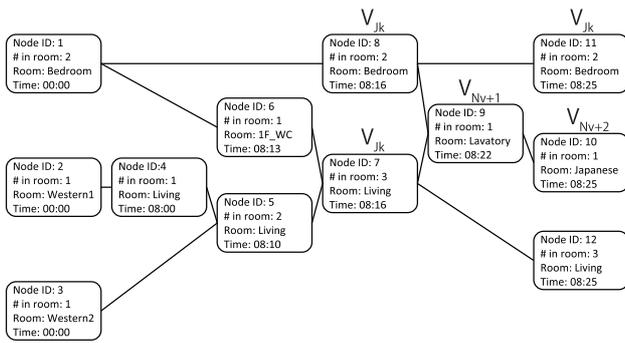


図 9 ノードの追加 2-d) (人が存在しない部屋から、人が存在しない部屋へ移動する場合)

Fig. 9 Addition of a node when moving from a room without inhabitant to a room without inhabitant 2-d).

表 3 移動経路の例

Table 3 Extracted moving trajectories.

#	Trajectory
1	Bed
2	Bed→Lavatory→Japanese
3	Bed→1F WC→Living→Lavatory→Japanese
4	Bed→1F WC→Living
5	Western 1→Living→Lavatory→Japanese
6	Western 1→Living
7	Western 2→Living→Lavatory→Japanese
8	Western 2→Living

いずかに移動経路および移動人物を評価することは困難であるため、表 4 に示すような各住人の主な利用部屋を事前に定義することを考える。表 4 の例では、朝・夜は各住人の寝室（自室）に滞在すると滞在時間に応じたスコアを加点する一方、他人の寝室に滞在するとスコアを減点する。昼の時間帯は父は出勤、姉と弟は学校で不在であるため、玄関に滞在するとスコアを加点する。本論文では玄関への滞在は外出として扱う。不在中は玄関以外の部屋に滞在するとスコアを減点する。母は昼の時間帯は各部屋を掃除するため、他人の寝室に滞在したときにスコアを加点する。

抽出された経路の 1 つを  $R = \{r_1, \dots, r_i, \dots, r_{N_r}\}$  とし、 $R$  のスコアは以下の式によって求められる。

$$score(R) = \sum_{i=1}^{N_r} (Time_{i+1} - Time_i) * w(Room_i) \quad (1)$$

ただし、 $r_i$  は移動経路上のノードの ID、 $w()$  は表 4 に示す重みであり、加点の場合 +1、減点の場合 -1 とする。また、最後に訪問した部屋に滞在した時間は不明であるため、 $Time_{N_r+1} = Time_{N_r} + 10[\text{min}]$  とすることで 10 分間滞在するものとした。この滞在時間は、最後に加点対象の部屋に滞在した移動を抽出できるように導入したものであり、この値が他の移動のスコアに影響を及ぼさないため、正数であればどのような値でもよい。

各移動経路ごとに各住人のスコアを算出し、各住人ごと

表 4 住人ごとのスコアの例

Table 4 Example of score for inhabitants.

Person	Period of time	Addition	Deduction
Mother	Morning/Night	Bedroom	Western 1
		Bedroom	Western 2
	Noon	Bedroom	Western 1
		Western 1	Western 2
Father	Morning/Night	Bedroom	Western 1
		Bedroom	Western 2
	Noon	Entrance (Outside)	All rooms
		Bedroom	Bedroom
Sister	Morning/Night	Western 1	Western 2
	Noon	Entrance (Outside)	All rooms
Brother	Morning/Night	Western 2	Bedroom
	Noon	Entrance (Outside)	Western 1
		Spare room	

に最もスコアの高い移動をその住人の移動経路として決定する。

## 5. 評価実験

### 5.1 実験環境

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。本論文では住人は母、父、姉、弟の 4 人である。4 人の住人は表 5 と表 6 に示す 2 つのシナリオに沿って起床から就寝までの活動を行った。移動のおおよその時刻はシナリオによって定められているが、移動のタイミングは各住人の判断で行った。また、シナリオに記載されている行動は必ず行うものとし、それ以外のトイレや洗面所、キッチンとリビングの行き来は被験者の自由である。

### 5.2 テンプレートの生成

移動とセンサ ID 列の関係を示すテンプレートとして、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すべての移動のデータを生成した。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すべての組合せを含めた。たとえばリビングは 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。このようにして作成したテンプレート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。 $W$  が短いと速い部屋間の移動を検出できなくなる。 $W$  が長くても提案手法の移動検出精度には影響しないが、テンプレートとウィンドウ内のセンサ ID 列との一致率の計算量が増加する。全部屋間を実際に移動してセンサデータ採取した予備実験より、1 回の移動に要する時間が最長 25 秒であったため、 $W$  は少なくとも 1 回分の移動を包含できる長さである 25 秒に設定した。ただし、住人に足の悪い老人がい

表 5 実験シナリオ 1

Table 5 Experiment scenario 1.

Time	Father	Mother	Sister	Brother
6:00		Wakeup 【1FWC】 【Lavaroty】 【Living】		
6:30	Wakeup 【1FWC】 【Lavaroty】 【Living】	【Kitchen】 Cooking 【Living】	Wakeup 【1FWC】 【Lavaroty】 【Living】	Wakeup 【1FWC】 【Lavaroty】 【Living】
7:00	Breakfast	Breakfast 【Kitchen】 【Living】	Breakfast	Breakfast
7:30	【Bedroom】 Prep for work 【Entrance】 Go out			
8:00			【Western 1】 Prep for school 【Entrance】 Go out	【Western 2】 Prep for school 【Entrance】 Go out
8:30		【Lavaroty】 Laundry ON		
9:00		Cleaning 【Western 2】 【Western 1】 【Spare】		
9:30		【Lavaroty】 Hang out washings 【Living】		
11:30		【Kitchen】 Cooking 【Living】 Lunch		
14:30		【Entrance】 Go out shopping		

るなどの場合は住人の移動速度に合わせて W を変える必要がある。

### 5.3 評価結果

父，母，姉，弟の移動経路推定結果を表 7 と表 8 に示す。表中の下線の部屋はシナリオと一致した移動先の部屋である。提案手法の性能を評価する指標として，シナリオで指示した移動が正しく検出された割合（再現率）と検出された移動のうちシナリオで指示された正しい移動の割合（適合率）を計算する。シナリオ 1 では各自の寝室から開始して，父は 4 回，母は 16 回，姉は 6 回，弟は 6 回の移動を指示されており，そのうち母の 9:30 の洗面所への移動および，弟の最後の玄関への移動が検出されなかった。シナ

表 6 実験シナリオ 2

Table 6 Experiment scenario 2.

Time	Father	Mother	Sister	Brother
15:30		Back home 【Entrance】 【Living】		Back home 【Entrance】 【Living】 【Western 2】
16:00			Back home 【Entrance】 【Living】 【Western 1】 【Entrance】 Go out Cram school	
16:30			Back home 【Entrance】 【Western 1】	【Living】
17:30			【Living】	
18:30		【Kitchen】 Cooking		
19:00	Back home 【Entrance】 【Living】 Dinner	Cooking end 【Living】 Dinner	Dinner	Dinner
19:30	【Lavaroty】 Bath 【Living】	【Kitchen】 Cleaning 【Living】		【Lavaroty】 Bath 【Living】
20:00			【Lavaroty】 Bath 【Living】	【Western 2】
22:30	【Bedroom】	【Bedroom】	【Lavaroty】 Bath 【Living】	【Western 1】
23:00			Go to bed	Go to bed
23:30	Go to bed	Go to bed		

リオ 2 では各自外（玄関）から開始して，父は 4 回，母は 8 回，姉は 8 回，弟は 6 回移動を指示されており，そのうち姉の 16:30 の洋室 1 への移動および，弟の 19:30 の洗面所への移動が検出されなかった。この結果，表 7 および表 8 の初期位置の部屋を除いて【】で表されている移動先の部屋が検出された割合である再現率は 0.93 となった。このような良い結果が得られた理由として，各住人の重みの結果正しい移動経路のスコアが高くなったことがあげられる。

一方，表 7 および表 8 において検出された初期配置の部屋を除く 98 回の移動のうち，48 回がシナリオに沿った正しい移動のため，適合率は 0.49 となった。適合率が低い理由として，台所とリビングの移動が複数検出された点があげられる。これはシナリオにはなく移動で住人が冷蔵庫に飲み物をとりに行った際の正しい移動とリビングを移動する際に誤って台所のセンサが反応した際の誤った移動の

表 7 各住人の移動経路推定結果 (シナリオ 1) (下線は正しく推定された移動)

Table 7 Results of trajectory estimation for the habitants. (Scenario 1) (The underlined rooms are correct estimations).

Habitant	Trajectory
Father	<u>Bed</u> →Living→1F WC→ <u>Wash</u> →Kitchen→Living→
	1F WC→Living→Kitchen→Living→ <u>Bed</u> →Living→Kitchen→Living→Western 1→ <u>Entrance</u>
Mother	<u>Bed</u> →Living→1F WC→ <u>Wash</u> →Kitchen→Living→
	1F WC→Living→ <u>Kitchen</u> →Living→Bed→Living→ <u>Kitchen</u> →Living→ <u>Wash</u> →Western 2→ <u>Western 1</u> → <u>Spare</u> →Living→ <u>Kitchen</u> →Living→ <u>Entrance</u>
Sister	<u>Western 1</u> →1F WC→ <u>Wash</u> →Kitchen→Living→
	1F WC→Living→Kitchen→Living→ <u>Western 1</u> → <u>Entrance</u>
Brother	<u>Western 2</u> →1F WC→ <u>Wash</u> →Living→Kitchen→
	Living→ <u>Western 2</u> →Living→Kitchen

表 8 各住人の移動経路推定結果 (シナリオ 2) (下線は正しく推定された移動)

Table 8 Results of trajectory estimation for the habitants. (Scenario 2) (The underlined rooms are correct estimations).

Habitant	Trajectory
Father	<u>Entrance</u> →Living→Kitchen→Living→ <u>Entrance</u> →
	Living→Kitchen→Living→ <u>Wash</u> →Living→ <u>Bed</u>
Mother	<u>Entrance</u> →Living→Kitchen→Living→1F WC→
	Living→ <u>Kitchen</u> →Living→ <u>Entrance</u> →Living→ <u>Kitchen</u> →Living→ <u>Wash</u> →Living→ <u>Bed</u>
Sister	<u>Entrance</u> →Living→Kitchen→Living→ <u>Western 1</u> →
	Living→Kitchen→Living→ <u>Entrance</u> →Living→Kitchen→Living→ <u>Wash</u> →Living→ <u>Western 1</u>
Brother	<u>Entrance</u> →Living→ <u>Western 2</u> →Living→Kitchen→
	Living→ <u>Western 2</u>

両方が含まれる。本論文の評価実験で用いた家の間取りでは、この誤検出を避けることは難しく、重要ではない移動として上位のアプリケーションで処理することで実質的な適合率は改善すると考えている。また、検出された個別の移動について見ると、表 8 の母の移動でシナリオにない便所が 1 回出現しているが、これは実験中の動画像を確認すると確かに便所に行っており、正しく検出できている。

これらの結果より、疎に配置された赤外線センサを用いて、おおよその人物移動推定が行えることが分かったが、より高精度かつ確定的な判断を行うためには、一部の部屋に追加のセンサを導入し、人の検出あるいは人の識別を行う機構が必要であると考えている。たとえば、机に荷重センサを設置することにより、人を識別できることを確認しており、机に特化したサービスを提供するとともに、それらの情報を提案システムが受け取ることを考えている。ほ

かにも、冷蔵庫やトイレ、浴室などにもセンサを導入する余地があると考えている。

## 6. まとめ

本論文では住宅に設置された人感センサを用いて住人の移動推定を行う手法を提案した。評価では 2 階建て 4LDK の実験用住宅で 4 人家族の 1 日の生活シナリオをもとに活動したデータを用いて移動経路を推定した。本論文では、すでに蛍光灯の ON/OFF 制御に用いられる人感センサを二次的にするような環境を想定しており、移動情報を抽出するためだけに設置するデバイスは移動判定を行うサーバおよびケーブル以外いっさいなく、住人はいっさいの機器を把持したり身につけたりする必要はない。

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。現在は住宅内に蛍光灯と同じ程度の数の人感センサを配置しているが、便所や洗面所などを除いてはすべ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ため、必要最小限のセンサ配置について研究を行う予定である。また、人感センサ以外にもすでに家庭内に存在するようなデバイスがあれば積極的に利用することを考えている。

謝辞 本研究の一部は科学研究費補助金基盤研究 (B) (15H02698) の支援によるものである。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, *Proc. 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, *Proc. 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, *Proc. International Conference on Pervasive Computing (Pervasive 2005)*, pp.62–79 (2005).
- [8] Doucet, A., Freitas de, N., and Gordon, N.: *Sequential Monte Carlo Methods in Practice*, Springer (2001).

- [9] Vapnik, V.: The Nature of Statistical Learning Theory, Springer (1995).



村尾 和哉 (正会員)

2006年大阪大学工学部電子情報エネルギー工学科卒業。2008年同大学院情報科学研究科博士前期課程修了。2008年独国ダルムシュタット工科大学 Visiting Researcher。2009年より独立行政法人日本学術振興会特別研究員 DC2。2010年大阪大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了。同年より独立行政法人日本学術振興会特別研究員 PD。2011年神戸大学大学院工学研究科助教。2014年立命館大学情報理工学部助教。独国フライブルク大学 Visiting Researcher (兼任)。現在に至る。博士(情報科学)。ウェアラブルコンピューティング、ユビキタスコンピューティングの研究に従事。IEEE, ACM, 日本データベース学会, ヒューマンインタフェース学会の各会員。本会シニア会員。



寺田 努 (正会員)

1997年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。1999年同大学院工学研究科博士前期課程修了。2000年同大学院工学研究科博士後期課程退学。同年より大阪大学サイバーメディアセンター助手。2005年より同講師。2007年神戸大学大学院工学研究科准教授。現在に至る。2004年より特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構理事。2005年には同機構事務局長を兼務。2002年には NEC インターネットシステム研究所客員研究員。2004年には英国ランカスター大学客員研究員。2005年には三菱電機先端技術総合研究所嘱託研究員。2006年 IPA 未踏クリエータ。2007年 ATR 客員研究員。2010年より JST さきがけ研究員を兼務。博士(工学)。アクティブデータベース, ウェアラブルコンピューティング, ユビキタスコンピューティングの研究に従事。IEEE, ACM, 電子情報通信学会, 日本データベース学会, ヒューマンインタフェース学会, 芸術科学会の各会員。本会シニア会員。



矢野 愛

1992年静岡大学教育学部卒業。同年株式会社富士通研究所入社。以来、TV会議システムやグループウェアの開発、コンテキストウェアサービスやセンサを用いた行動解析の研究に従事。最近は、EMS 実証実験から、様々なデバイスが多様な通信方式で接続される IoT システムの安定運用を実現するアーキテクチャの研究に従事。



松倉 隆一 (正会員)

1988年東北大学大学院工学研究科修士課程修了。同年株式会社富士通研究所入社。以来、携帯端末、電子会議等の開発を通じ、人の能力を引き出すインタラクションの研究に従事。最近はスマートホームの実証実験をきっかけに、様々なデバイスが接続可能な IoT アーキテクチャの実現とその応用に興味を持つ。2010~2014年富士通株式会社。1999年本会論文賞。2015年 HI 学会論文賞受賞。ACM, 人工知能学会, HI 学会各会員。