

においに基づく状況認識の実現に向けて

小林 泰貴^{†1} 寺田 努^{†1} 塚本 昌彦^{†1}

近年、計算機の小型化・軽量化によりコンピュータを装着するウェアラブルコンピューティングに注目が集まっている。ウェアラブルコンピューティング環境では、複数の装着型センサを用いてユーザの状況を認識し、さまざまなサービスが提供される。状況認識のために従来用いられているセンサは加速度センサやジャイロセンサなどユーザの動きに基づくものが多かったが、そのようなセンサでは食事中やトイレ中など動作だけでは認識が困難な状況も存在していた。そこで本研究では、空間に漂うおいが時間や場所、状況によって変化する点に着目し、装着型においセンサに基づく状況認識を行う。においの特徴に基づいて状況識別を行う手法を提案し、加速度センサとにおいセンサ組み合わせることで従来は難しかった状況認識を行う。評価実験から食事中96%、トイレ中71%の認識率が得られ、においセンサで状況を認識できることを確認した。

Toward Context Recognition Based on Scent

YASUKI KOBAYASHI,^{†1} TSUTOMU TERADA^{†1}
and MASAHICO TSUKAMOTO^{†1}

In wearable computing environments, a wearable computer runs various applications using various wearable sensors. In the area of context awareness, through various systems use multiple sensors such as accelerometer and gyroscope, it is difficult to recognize the contexts such as having a meal, visiting a toilet. Therefore, we propose a new context recognition method based on scent using wearable scent sensors. Since we propose a context calculation algorithm considering the characteristics of scent, our method recognizes contexts that are difficult to be recognized by existing sensors. Additionally, detailed contexts are recognized by combining scent sensors with accelerometers. Evaluation results confirmed that scent sensors identify having a meal with 96% accuracy, visiting a toilet with 71% accuracy.

1. はじめに

近年、情報エレクトロニクス技術の進展によるコンピュータの小型化・高性能化・高機能化により、コンピュータを常時身に付けて生活するウェアラブルコンピューティングに注目が集まっている。さまざまなセンサやコンピュータを身に付けるウェアラブルコンピューティングは、従来のコンピュータの利用形態と比較して次の3つの特徴を持つ¹⁾。

- ハンズフリー：コンピュータを身体に装着しているため、両手を使用せずに情報を参照できる。
- 常時電源 ON：コンピュータはつねに電源が入っており、使いたいときにすぐに使える。
- 個人適応：センサなどの利用によりユーザの詳細情報を得て、きめ細かなサービスが提供できる。

ウェアラブルコンピューティングの発展に伴い、加速度センサやジャイロセンサ、筋電計²⁾ や心電計³⁾、GSR (Galvanic Skin Reflex: 皮膚電気反射)⁴⁾ といったさまざまなセンサを用いてユーザの行動や状況 (コンテキスト) を認識し、コンテキストに依存した適切なサービスを提供するシステム (コンテキストウェアシステム) が提案されている。特に、加速度センサは空間的な装着部位の動きが検出可能であり、静止時でも地球の重力を検出することによりその方向が取得可能であるため使い勝手が良く、コンテキストウェアシステムにおいて最も使用されているセンサである。しかし、日常生活では、加速度センサによる動きの検出では認識が困難な状況も存在し、ユーザの状況をより詳細に認識するには、動きの検出や体温、心拍数など生体情報のみでなく、空気の状態などユーザの周囲の情報から状況を認識することが求められる。

一方で、センサ技術の発展に伴い、人間の感覚器官と同様な情報をコンピュータで再現する研究や五感情報を利用した直観的なインタフェースが注目されている。特に嗅覚情報に着目すると、においセンサ (electronic nose)⁵⁾ の開発も進み、食品、飲料、化粧品、環境計測、防災、犯罪捜査、医用・健康管理などの多くの分野で実用化が期待されている⁶⁾。また、複数のにおいセンサを組み合わせたにおいのパターンの認識、および再現を行う研究⁷⁾ などにおいセンサを用いたさまざまなシステムが提案されており、著者らの研究グループでも小型におい出力装置とにおいセンサを搭載したにおい入出力デバイスを構築し、においの特性

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

を考慮したさまざまなアプリケーションを提案してきた⁸⁾。さらに、においセンサを室内に設置し、においによる居住者の活動認識を行うシステムも提案されている⁹⁾。しかし、ウェアラブルコンピューティング環境で、においセンサを装着して状況認識を行うシステムや加速度センサとにおいセンサを組み合わせて認識精度を向上させる研究は行われていない。

そこで本研究では、空間に漂うにおいが時間や場所、状況によって変化する点に着目し、においセンサをユーザに装着して周囲のにおいを検知することで、においに基づく状況認識を行う。加速度センサなど既存のシステムで用いられるセンサでは困難であった食事やトイレといった状況をにおいセンサを用いて認識し、動きや体温などユーザの体の情報から認識するのではなく、周囲の情報からユーザの状況を認識する。また加速度センサと併用することで、「外から歩いて室内に入り、椅子に座って食事をする」といったより詳しい状況認識を行う。

以降、2章で関連研究を紹介し、3章でにおいに基づく状況認識について述べ、4章で評価を行い、5章で本研究をまとめる。

2. 関連研究

2.1 コンテキストウェアシステム

コンテキストウェアシステムでは、一般に複数のセンサを組み合わせて利用する場合が多い。例として「歩いている」「走っている」「座っている」といったユーザの行動を認識し、状況に応じた情報提示を行うシステム¹⁰⁾、装着者の行動の記録や検索およびスケジュールとの連携するシステム¹¹⁾、装着者の治療支援や早期以上検出などの健康管理に関する支援を行うシステム⁴⁾などがある。これらのシステムでは、複数の加速度センサを使用することで認識精度を向上させている。加速度センサは、空間的な装着部位の動きが検出可能で、静止時でも地球の重力を検出することによりその方向が取得可能であるため使い勝手が良く、多くの研究で用いられている。

加速度センサと異種のセンサを組み合わせて利用する例として、健康管理システム⁴⁾がある。健康管理システムでは、腕時計型のセンサを用いて脈波、皮膚温などの生体情報と加速度データを計測することで食事中、歩行中、パソコンでキーボードを使って作業中などの動作を認識し、運動不足のときは運動不足解消を促すなど、状況に合わせてリアルタイムにアドバイスを提示する。

また、加速センサを使用しない例として、農作業支援システム CyferGear¹²⁾では、体の各部に装着した多種のセンサから気温や湿度、土壌の状態、果実の発育状況、画像、ユーザ

の位置などさまざまな情報を取得し、作物の発育状況の把握や、収集した情報に基づく知識獲得を行うなど、農作業を支援するさまざまなサービスを提供する。Froehlich らの研究では、1つの水圧センサを家庭用のバルブに設置し、バルブ開閉による水圧の変化を利用して、シャワー、トイレ、洗濯機などの使用状況を認識し、流量を算出するモニタリングシステムを提案している¹³⁾。

このように加速度センサを複数用いたシステム、加速度センサと異種のセンサを組み合わせて利用するシステム、それ以外のセンサを用いたシステムが提案されているが、においセンサを用いたコンテキストウェアシステムは提案されていない。

2.2 においセンサを用いたシステム

においをセンシングするセンサ素子は、濃度を測ることが目的のガスセンサと生物の嗅覚機能を模したバイオセンサの大きく2種類に分かれ、幅広い分野でにおいセンサの研究開発やその応用が行われている。例えば、車載用として Svenska Aeroplan AB 社のアルコキー¹⁴⁾がある。アルコールセンサ搭載のアルコキーは小型の携帯電話ほどのコンパクトなサイズで、ドライバーが呼気検査をして、アルコール量が規定値以下でないときエンジンがスタートしない仕組みになっており、飲酒運転防止に有効なシステムとして実用化されている。防災分野の応用では、従来、火災報知器は火災発生後の煙や炎を検知対象としていたのに対して、複数のにおいセンサを使って火災の早期発見を試す研究¹⁵⁾などがある。医療分野では、呼気から胃炎や胃潰瘍の原因とされるピロリ菌を検知するセンサや、乳がん患者が発する特有のにおい成分を検知するバイオセンサが実用化されている¹⁶⁾。また、センサ素子の中でも、水晶振動子電極上に感応膜を塗布したにおいセンサがある。これは、感応膜を変えることでさまざまな特性をもたせられる柔軟なセンサである。このセンサは、例えば、匂いの記録・再生システム⁷⁾で応用されている。異なる感応膜を塗布した水晶振動子ガスセンサを複数もつセンサアレイでにおいを測定し、測定結果から複数のにおいの素を調合しにおいの再現を実現している。また、この調合したにおいをセンサアレイで再測定し、対象のにおいと調合したにおいをできるだけ近づけることで、再現の精度を高めている。加えて、映像の撮影と同時にビデオカメラに取り付けたにおいセンサでにおいをセンシングし、再生時に映像に合わせて香りを発生させることで、香り付き動画コンテンツを生成するマルチモーダルなインタラクティブ嗅覚ディスプレイ¹⁷⁾を提案している。

以上、においセンサを活用した関連研究を紹介したが、においセンサを装着して状況を認識する研究は行われていない。

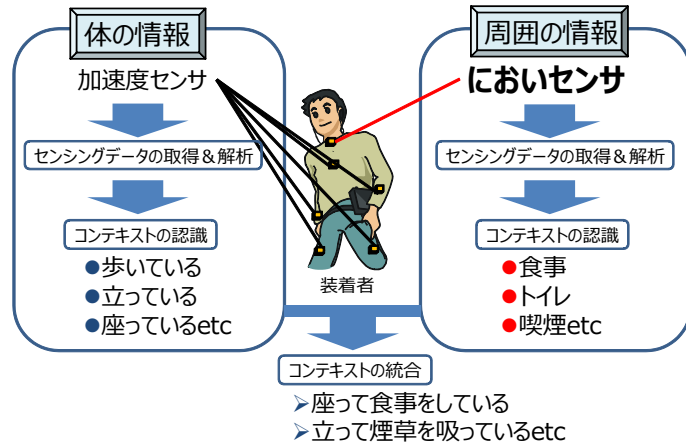


図1 においに基づく状況認識

3. においに基づく状況認識

2章で述べたように、既存のコンテキストウェアシステムでは、加速度センサの動きの検出や筋電計や心電計などの生体情報から認識する 경우가多く、ユーザ周囲の環境情報としては温度、湿度センサが利用されているが、においセンサを装着して状況認識を行う研究はなされていない。空気の汚れ、人の汗、食べ物などが発生するにおいは、人がいる場所や食べている物などを認識できる有効な手がかりであり、これまで認識困難であった日常生活の状況を認識できる可能性がある。したがって、このような状況を認識できるにおいセンサを選定し、においの特性を考慮した状況認識手法を構築する。

3.1 においセンサの選定

においセンサは、一般的に濃度を測ることが目的のガスセンサと生物の嗅覚機能を模したバイオセンサの2種類に分かれる。ガスセンサはこれまでさまざまな分野で実用されているが、においを検出するためには、複数のセンサを組み合わせる必要がある。一方、バイオセンサは、ガスセンサと比べ高感度且つ広範囲なにおい検出を行えるが、嗅覚自体が最近になって解明され始めた段階であり、ガスセンサに比べ、大型、高価なものが多い。そこで本研究では、装着に適した小型で低消費電力、安価な FIGARO 社のガスセンサを使用する。表2のようにさまざまな種類のガスセンサがあるが、ユーザの状況を認識するために、生活

表1 さまざまなガスセンサ

品名	品番	対象ガス	応用
空気の汚れ検知	TGS2602	アンモニア アルコール VOC	空気清浄機
硫化水素検知	TGS825	硫化水素	硫化水素警報器
メタン検知	TGS2611	メタン 天然ガス	家庭用ガス警報器
固体電解質 CO ₂ センサ	TGS825	二酸化炭素	居室用空気室制御
アルコール・有機溶剤検知	TGS2620	アルコール 有機溶剤	アルコールチェッカー
フロンガス検知	TGS832	フロン 有機塩素	冷媒フロンガス漏れ警報器

臭の要因となる成分に高感度な FIGARO 社のガスセンサを選択し、小型、軽量化を図るために3つのにおいセンサに限定した。使用するセンサとその特性を以下に示す。

- 空気の汚れガスセンサ (TGS2602)
煙草の煙や調理臭などに高感度であることに加え、硫化水素、VOC、アンモニアに高い感度を持ち、生活臭や空気の汚れを検知するのに優れており、より人間の感覚に近い制御が可能である。
- メタンガスセンサ (TGS2611)
メタンガスに高感度であり、家庭用ガス漏れ警報器などに使用されている。また、メタンガス自体は無臭であるが、排泄物などにも含まれているため、それらのおいを検知する指標となりうる。
- 二酸化炭素ガスセンサ (TGS4161)
二酸化炭素に高感度であり、その他のガスに対して濃度が增大してもほとんど感度を有さない。二酸化炭素は、人間の嗅覚器では嗅ぎ分けられないが、センサを用いることで室内の人口濃度や換気状態から装着者の状況を認識できる可能性がある。
選択したセンサはいずれも低消費電力、長寿命で低コスト、簡単な電気回路で使用可能であるという特徴をもつ。ヒーター電圧と回路電圧の2つの印加電圧が必要であるが、ヒーターに電圧を印加することで対象ガスに適した特定の温度にセンサを保てる。
これらのセンサを用いて実際に取得したセンサデータの一部を図2に示す。例えば、室内から外へ出た場合は各センサデータは大きく減少し、外から室内へ入室した場合は急激に高くなる、食事をしている場合は空気の汚れセンサやメタンガスセンサが細かく変動する、

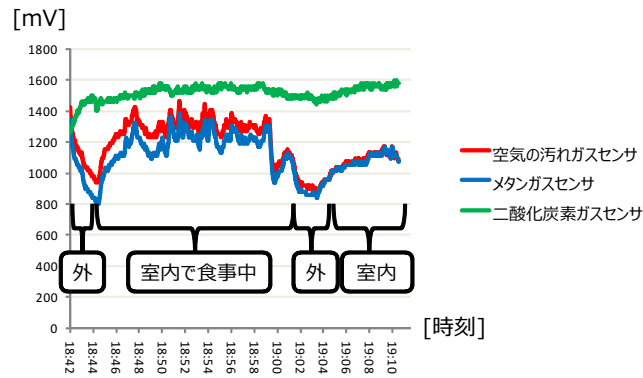


図2 センサデータの例

というようにセンサデータは状況に対して特徴的な値を示した。

3.2 従来用いられている特徴量による認識精度

一般的に状況認識を行う際に、センサデータをそのまま使うのではなく挙動を効率的に把握するために特徴量抽出と呼ばれる処理を行う。においセンサにおける最適な特徴量を決定するため、採取した「室内」「外」「食事」「トイレ」のコンテキストに対して、センサデータの生データ、平均値、分散値、差分値の4つの特徴量から算出した認識率を比較する。現在時刻を $t = T$ と仮定し、次式に従い3次元(3個のセンサ)センシングデータ $x_i(T) (i = 1, 2, 3)$ の過去 N サンプルの平均値 $\mu_i(T)$ 、分散値 $\sigma_i(T)$ および差分値 $\nabla u_i(T)$ を特徴量とする。

$$\mu_i(T) = \frac{1}{N} \sum_{t=T-N+1}^T x_i(t) \quad (1)$$

$$\sigma_i(T) = \frac{1}{N} \sum_{t=T-N+1}^T \{x_i(t) - \mu_i(t)\}^2 \quad (2)$$

$$\nabla u_i(T) = x_i(T) - x_i(T - N + 1) \quad (3)$$

これらの特徴量ベクトルとすべての学習データとのユークリッド距離を計算して、最も距

表2 特徴量ごとの認識率

	室内	外	食事	トイレ
生データ	7%	8%	36%	42%
平均値	5%	6%	36%	31%
分散値	23%	22%	67%	84%
差分値	32%	52%	40%	40%

離の近い学習データを検索し、そのデータに付与されているラベルが認識結果となる。得られたラベルと手動で付けたラベルを比較し、認識率を算出した。サンプリング周波数 1[Hz]、 $N = 60$ としたときの特徴量ごとの認識率の平均を表2に示す。表2から生データや平均値による認識率は特に低く、それぞれ単独では認識が困難であるため、においセンサの特性を考慮して特徴量を組み合わせる必要があることがわかった。

3.3 提案手法

生データまたは特徴量を単独で用いただけでは、認識率の向上は望めないため、においセンサの特性を活かした認識手法を提案する。

Step1 場所の認識

図2の例のように、室内に入ったときは各センサ値が大きく上昇し、外に出たときは下降することから、特徴量に差分値を用いて場所の判定を行う。その際、センサ値に変化のない場合は以前の状態が継続していると判断し、過去の認識結果を元に認識する。具体的には、あらかじめ「室内」「外」「継続判定(変化なし)」の場合の差分値を学習データとして用意し、センサから得た差分値とのユークリッド距離を計算して認識する。ここで、現在時刻 $t = T$ から N データサンプル前の時刻 $t = (T - N + 1)$ までのデータ列をウィンドウ $W_T = (x_{T-N+1}, \dots, x_T)$ とし、 N をウィンドウサイズと呼ぶ。「継続判定」と認識された場合はこのウィンドウサイズ N の中で最も多い認識結果を出力する。例えば、 $t = T$ で「継続判定」と認識され、 $t = (T - N + 1)$ から $t = T$ までで最も多く「室内」と認識されていれば、 $t = T$ でも「室内」とラベルを付ける。また、距離計算から「室内」及び「外」が最も距離の近い学習データとされても、設定された差分値の閾値を満たさない場合は継続判定を行い、誤認識を抑制する。

Step2 場所別のコンテキストの認識

次に Step1 で認識した場所ごとに「室内」の中で「食事」「トイレ」「室内(食事やトイレ以外のコンテキスト)」、「外」の中で「喫煙」「外(喫煙以外のコンテキスト)」のように、さらに詳しく認識する。特徴量は分散値を使用し、学習データとのユークリッ

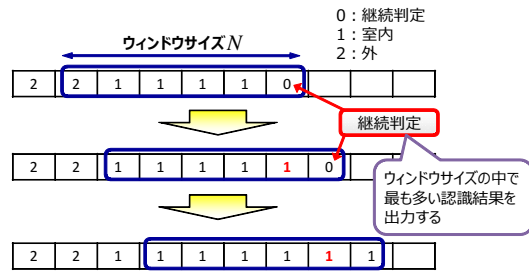


図3 継続判定手法

ト距離計算からラベルを付ける．設定した生データの閾値を満たさない場合は，継続判定を行う．

このように，認識方法を二層化し，特徴量を使い分けることで認識率を向上させる．また，特徴量抽出のためのウィンドウサイズを N_1 ，継続判定のためのウィンドウサイズを N_2 として，それぞれの最適なデータサイズを F 値で評価する． F 値とは，認識結果に含まれていた正解が全正解に占める割合を示す $recall$ (再現率) と認識結果に対して正解が占める割合を示す $precision$ (適合率) を組み合わせた評価尺度であり，

$$F = 2 / \left(\frac{1}{recall} + \frac{1}{precision} \right) \quad (4)$$

で表わされる．図4は， $N_1 = (10, 50, 70, 100, 250, 500)$ のときの N_2 と F 値の関係を示している．図4からサンプリング周波数が1[Hz] のとき F 値が最も高い値を示したウィンドウサイズは $(N_1, N_2) = (70, 50)$ であることがわかり，評価ではこのウィンドウサイズを用いる．

4. 評価

4.1 評価環境

評価では，3つのにおいセンサを首元に，加速度センサを足に装着した1名の被験者から採取したデータを用いた．データの採取は，3日間，合計約10時間行い，「室内」「外」「食事」「トイレ」の4つのコンテキストに対して，1日分のうち各20秒を学習データ，残りをテストデータとした．また，採取したデータに対して手動でラベルを付与した．使用した

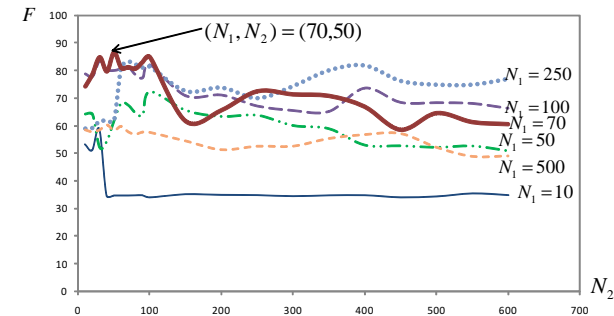


図4 ウィンドウサイズと F 値の関係

においセンサは，空気の汚れガスセンサ TGS2602，メタンガスセンサ TGS2611，二酸化炭素ガスセンサ TGS4161 であり，加速度センサは3軸加速度センサ MMA7260Q である．センサデータの入力制御，記録制御には，Microchip Technology 社の16bitPIC マイコン PIC24FJ32GA002 を使用し，サンプリング周波数1[Hz] でSDカード内にセンサデータを記録した．

4.2 評価結果

「室内」「外」「食事」「トイレ」の4つのコンテキストに対し，3.3節で述べた手法で認識率の評価を行う．評価結果を図5に示す Confusion Matrix で表わす．Confusion Matrix とは，コンテキストによって正しく認識された数と誤って認識された数を示す分類表であり，各セルはコンテキストの出力回数を示している．対角線上の色のついたセルが正しく認識が行えたときのものである．例えば，図5(d)では，「食事」データが入力された場合，1,419回正しく認識し，27回「外」と誤認識している．Confusion Matrix を用いることで各コンテキストの認識の難易度がわかる．まず，継続判定なしの場合の認識率を図5(a)(b)に，継続判定ありの場合の認識率を図5(c)(d)に示す．継続判定なしの場合，においては周囲の環境の影響を受けやすいため，同じ状況でもセンサ値は異なり，従来の単純な手法では精度が低くなった．それに対して継続判定ありの場合は，場所の認識率，場所別のコンテキストの認識率ともに，継続判定なしの場合よりも高い精度が得られたことから，継続判定手法が有用であることがわかる．また，場所別のコンテキストの認識結果では，「食事」が高い認識率を示した．これは，食事の際，調理臭に高感度な空気の汚れセンサの閾値がほぼ毎回一定値を越えていたことなどが理由として挙げられる．「トイレ」の認識率がやや落ちた

室内	8293	1185	87%		
外	333	852	71%		
室内	5699	772	1375	0	72%
外	197	852	136	0	71%
食事	619	355	492	0	33%
トイレ	25	58	37	46	27%
室内	9360	118	98%		
外	83	1102	90%		
室内	7285	78	482	1	93%
外	47	1102	14	22	90%
食事	20	27	1419	0	96%
トイレ	11	13	24	118	71%

図 5 おおいセンサを単独で用いた場合のコンテキスト認識結果

理由として、メタンガスセンサなどのセンサ値が急な上昇と下降を繰り返し、下降部分で「外」と誤認識、または分散値のユークリット距離計算で「食事」と誤認識されたことが挙げられる。食事やトイレ以外の状況を示す「室内」は、各センサの分散値が低い状況が多く認識率は高い結果となった。「外」に関しては、今回はさらに詳しいコンテキストを設けなかったため、場所の認識率がそのまま示されている。

4.3 加速度センサと組み合わせた評価結果

次に、おおいセンサに加えて、3軸加速度センサを足に装着して「移動」「静止」の2つのコンテキストを認識し、おおいの4つのコンテキストと組み合わせることでより詳しい状況認識を行った。加速度センサによる「移動」「静止」の2つのコンテキスト認識結果を図6(a)に、おおいセンサの4つのコンテキストと加速度センサの2つのコンテキストを組み合わせた詳しい認識結果を図6(c)に Confusion Matrix で示す。また、図6(b)に加速度センサのみを用いた詳しいコンテキストの認識結果を示し、おおいセンサを使用した場合と比較する。加速度センサによる認識は、センサデータの平均と分散を特徴量として抽出し、正規化した特徴量ベクトルとすべての学習データとのユークリット距離を計算して認識率を算出している。また、おおいの4つのコンテキストと組み合わせる際、加速度センサ

移動	1726	415	80%
静止	465	8196	94%

(a) 「移動」「静止」の認識

室内で歩いている	637	22	184	47	19	92	63%
室内で椅子に座っている	111	4441	219	0	1668	402	64%
外で歩いている	176	1	692	11	14	139	66%
外で立っている	17	2	17	111	1	18	66%
座って食事をしている	81	521	12	24	749	12	53%
座ってトイレをしている	22	0	17	14	1	112	67%

(b) 詳しいコンテキストの認識 (加速度センサのみ)

室内で歩いている	738	35	77	0	150	1	73%
室内で椅子に座っている	240	6272	1	0	332	0	91%
外で歩いている	25	3	966	3	14	22	93%
外で立っている	0	19	97	36	0	0	23%
座って食事をしている	8	5	0	27	1359	0	97%
座ってトイレをしている	9	2	8	5	24	118	71%

(c) 詳しいコンテキストの認識 (おおいセンサと加速度センサ)

図 6 加速度センサと組み合わせた場合のコンテキスト認識結果

で認識した移動状態を「歩いている」、静止状態を「立っている」または「座っている」とし、おおいのコンテキストと対応するよう置き換えた。加速度センサのみで行ったコンテキスト認識結果と比較して、おおいセンサと加速度センサを組み合わせたコンテキスト認識結果の方が全体的に高い精度が得られた。しかし、「食事」「トイレ」は基本的に静止状態なため、加速度センサの効果はそれほど得られなかった。また、「外で立っている」に関しても移動と静止の曖昧な状況が多く、加速度センサによる誤認識が影響してしまい、低い精度となった。今回使用した加速度センサは1つだけであったが、加速度センサの装着数を増やし認識率を上げる、またはサンプリング周波数を上げてコンテキスト数を増やせば、この問題は解決できると考える。これらの結果から、従来の加速度センサのみからでは難しかった、「どこで座っているのか」といった状況がおおいセンサと組み合わせることである程度認識

できることが確認できた。

5. まとめと今後の課題

本研究では、においセンサを装着してにおいに基づく状況認識を行った。既存のシステムで用いられる加速度センサなどでは認識困難な食事やトイレなどの状況をにおいの特性を考慮した手法で認識し、評価実験から食事 96%、トイレ 71% の認識率を得られた。また、加速度センサと組み合わせにより詳しい状況の認識を行った。

今後の課題としては、異種のおいセンサを使用する、においが影響するコンテキストを増やす、個人差の影響を確認するため被験者を増やすなどが挙げられる。使用した空気の汚れガスセンサ、メタンガスセンサ、二酸化炭素ガスセンサは、状況により異なる反応を示したが、空気の汚れガスセンサとメタンガスセンサは比較的似た反応を示し、二酸化炭素ガスセンサは室内と外の移動時のみ反応した。より適切なおいセンサの組み合わせを採用することで、認識できるコンテキストが増えると考えられる。今回は、「室内」「外」「食事」「トイレ」の4つのコンテキストで評価したが、他にも「喫煙」「講義中」「換気中」などにおいセンサが変化を示す可能性があり、これらのコンテキストに対してもセンサデータを採取し評価を行う予定である。さらに、今後においセンサの開発が進むにつれ、例えば食事でも何を食べているかまで認識できれば、健康管理・栄養管理システムへの応用が期待される。また、においの認識手法に関しても、閾値の設定方法、より適切なおいの特性を考慮した認識アルゴリズムを検討する予定である。

謝 辞

本研究の一部は、科学研究費補助金基盤基盤 (A)(20240007) および特定領域研究 (21013034) 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) 塚本昌彦: モバイルコンピューティング, 岩波新書 (2000).
- 2) Toda, M., Akita, J., Sakurazawa, S., Yanagihara, K., Kunita, M. and Iwata, K.: Wearable Biomedical Monitoring System Using TextileNet, *Proc. Int'l Symposium on Wearable Computers (ISWC 2006)*, pp. 119–120 (2006).
- 3) Shen, C.L., Kao, T., Huang, C. and Lee, J.H.: Wearable Band Using a Fabric-Based Sensor for Exercise ECG Monitoring, *Proc. Int'l Symposium on Wearable Computers (ISWC 2006)*, pp.143–144 (2006).
- 4) Ouchi, K., Suzuki, T. and Doi, M.: LifeMinder: A Wearable Healthcare Support System Using User's Context, *Proc. Int'l Workshop on Smart Appliances and Wearable Computing (IWSAWC 2002)*, pp.791–792 (2002).
- 5) 森泉豊栄, 中本高道: センサ工学, 昭晃堂, p. 89, (1997).
- 6) 中本高道, 森泉豊栄: 匂いセンシングシステム, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J82-C-I, No. 4, pp. 156–164 (1999).
- 7) 中本高道: 匂いの記録再生システムの開発, 検査技術 (Inspection engineering), Vol. 12, No. 10, pp. 6–11 (2007).
- 8) 小林泰貴, 竹川佳成, 寺田 努, 塚本昌彦: においを入出力とする小型デバイスの設計と実装, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2009) 論文集, Vol. 2009, pp. 605–613, (2009).
- 9) 上田芳弘, 古川真士, 木村春彦, 大藪多可志: においセンサを用いた居住者の活動認識-相関ルールによる認識率の向上-, 電気学会論文誌, Vol. 121-E, No. 6, pp. 343–350 (2001).
- 10) Ho, J. and Intille, S.S.: Using Context-Aware Computing to Reduce the Perceived Burden of Interruptions from Mobile Devices, *Proc. ACM Conf. on Human Factors in Computing Systems (CHI 2005)*, pp.909–918 (2005).
- 11) 山根隼人, 長尾 確: AcTree: 状況認識・記録による個人行動支援, 情報処理学会第 66 回全国大会論文集 (2004).
- 12) 中尾太郎, 寺田 努, 塚本昌彦, 宮前雅一, 庄司 武, 岸野泰恵, 義久智樹, 西尾章治郎, ウェアラブル型ルールデータベルシステムを用いた農作業支援システム, 情報処理学会第 65 回全国大会論文集, Vol. 5, pp. 239–242, (2003).
- 13) J. Froehlich, E. Larson, T. Campbell, C. Haggerty, J. Fogarty, and S. N. Patel: HydroSense: Infrastructure-Mediated Single-Point Sensing of Whole-Home Water Activity, *Proceedings of the International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp 2009)*, pp. 235–244, (2009).
- 14) Svenska Aeroplan AB 社, <http://www.saab.com/>.
- 15) 石樽大介, 竹井義法, 山ノ口崇, 南戸秀仁, 笠原 浩, 大藪多可志: ガスセンサアレイを用いた早期火災検知, 電子情報通信学会技術研究報告 (有機エレクトロニクス), Vol. 105, No. 261, pp. 35–38, (2005).
- 16) 山田一郎: 匂いセンサーの研究最前線, NATURE INTERFACE 2008, No. 39, pp. 9, (2008).
- 17) 太田黒滋樹, 木下雅史, 中本高道, 長濱雅彦, 石田多朗, 大西景太: インタラクティブ嗅覚ディスプレイと香る料理体験コンテンツへの応用, 電気学会研究会 (ケミカルセンサ研究会), Vol. 2006, No. 19, pp. 63–68, (2006).