



においに基づくコンテキストウェアシステム

寺田, 努
小林, 泰貴
塚本, 昌彦

(Citation)

コンピュータソフトウェア, 29(4):324-334

(Issue Date)

2012

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90002086>



においに基づくコンテキストウェアシステム

寺田 努 小林 泰貴 塚本 昌彦

近年、装着型センサ等を用いてユーザの行動や状況（コンテキスト）を認識し、さまざまなサービスを提供するコンテキストウェアシステムが多数提案・実用化されている。コンテキスト認識に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いが、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コンテキストが存在する。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、装着型においセンサに基づくコンテキスト認識手法を提案する。提案手法では、においの特徴に基づいた認識を行い、従来困難であったコンテキストを認識可能にする。評価実験から食事中 94%、トイレ中 97% の認識率が得られることを確認した。また、提案手法の利用例として、いくつかのアプリケーションを実装した。

Conventional context-aware systems normally use accelerometers and gyroscopes, and it is difficult to recognize contexts such as having a meal, or going to the toilet. We propose a new context recognition method based on scent using a wearable scent sensor. Since our algorithm considers the characteristics of scent, it recognizes contexts that find difficult to recognize by conventional sensors. Evaluation results confirmed that scent sensors identify having a meal with 94% accuracy, visiting a rest room with 97% accuracy. Furthermore, we implemented context-aware systems such as a life-log system for healthcare.

1 はじめに

近年、装着型センサ等を用いてユーザの状況（コンテキスト）を認識し、コンテキストに基づいた適切なサービスを提供するコンテキストウェアシステムに注目が集まっている。これまでに、加速度センサやジャイロセンサ、筋電計[1]や心電計[2]、GSR(Galvanic Skin Reflex: 皮膚電気反射)[3]といったさまざまなセンサを用いたシステムが提案されている。特に、加速度センサは装着部位の空間的な動きが検出可能であり、静止時でも地球の重力検出によりその姿勢方向が取得でき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利用されている。しかし、日常生活では、同じ座っているという動作でも、仕事場

で座っているときとトイレの便座に座っているときでは提供すべきサービスは大きく異なる。したがって、ユーザの状況をより詳細に認識するには、動き情報や体温、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実現可能になりつつある。特に嗅覚情報に着目すると、においセンサ[4]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[5]。また、複数のにおいセンサを組み合わせたにおいの認識および再現を行う研究[6]や、筆者らの研究グループで提案した小型の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[7]などにおいに基づくシステムも構築されている。さらに、室内に設置したにおいセンサによる居住者の活動認識の取り組み[8]や二酸化炭素センサを用いて

A Context-Aware System Based on Scent.

Tsutomu Terada, Yasuki Kobayashi, and Masahiko Tsukamoto, 神戸大学大学院工学研究科, Graduate School of Engineering, Kobe University.

コンピュータソフトウェア, Vol.29, No.4 (2012), pp.324-334.

[研究論文] 2012 年 2 月 29 日受付.

鉄道内の混雑度を推定する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コンテキスト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る研究は筆者の知る限りこれまで行われていない。

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、装着型のおいセンサを用いてにおいに基づくコンテキスト認識を行う手法を提案する。提案手法では、においの特性に基づく多段の認識を行うことで、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認識できる。

以降、2章で関連研究を紹介し、3章でにおいに基づくコンテキスト認識について述べる。4章で評価を行い、5章で応用システムを紹介し、6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、複数のセンサを組み合わせる場合が多い。例えば「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連携するシステム[11]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姿勢が取得でき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る利用する例として、健康管理システム[3]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 CyferGear[12]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]。

このように複数の加速度センサや加速度センサと異種のセンサの組合せ等多様なセンサによるコンテキストウェア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筆者らの知る限りこれまで提案されていない。

2.2 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、幅広い分野で研究開発や応用システムの提案が行われている。例えば、Svenska Aeroplan AB社の車載用小型アルコールセンサ「アルコキー」[14]は、ドライバーのアルコール摂取量が規定値以下でないとエンジンをスタートさせ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。また、防災分野では、従来の火災報知器が火災発生後の煙や炎を検知対象としていたのに対し、複数のにおいセンサを使って火災の早期発見を実現する研究[15]などが行われている。医療分野では、呼吸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。このセンサの利用例として、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を再現する匂いの記録・再生システム[6]が提案されている。その他に

も、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 [19] が提案されている。また、ソンの研究では、人間が感じる匂いの変化と匂いセンサの値の変化が一致するかを評価し、ライフログへの適用を目指している [17]。これらの研究はにおいセンサを活用したものであるが、においセンサを装着してコンテキスト認識を行っている本研究とは異なる。ソンの別の研究 [18] では、多数のガスセンサを装備したデバイスを用い、センサデータの主成分分析等を行ってセンサ値からのにおいの分類の可能性を論じている。この研究では、日常生活のいくつかの点をピックアップしてその点をクラスタとしてまとめることを目指しているのに対し、本研究では、日常生活のラベリングを行いコンテキストウェアシステムを構築することを目指しているため、屋内外を分類できるような新たなコンテキスト認識アルゴリズムを提案している点で異なる。

加速度センサとガスセンサ等を装着した例としては、LiveNet [20] や N-SMARTS [21] がある。前者は健康管理のために多数のセンサと同時に CO₂ センサを利用しているが、ユーザの呼吸量を取得するためにセンサを用いており、においの認識やにおいに関連付いたコンテキストの認識は行えない。後者は大気汚染の装着型ガスセンサを用いて調べるものであり、ユーザ状況の認識を行っていない。

3 おいに基づくコンテキスト認識

空気の汚れや人の汗、食べ物などが発するにおいは、人がいる場所や食べている物などを認識する有効な手がかりであり、これまで認識困難であった状況を認識できるようにする可能性がある。したがって、求める状況を認識できるにおいセンサを選定し、おいの特性を考慮した認識手法を提案する。

3.1 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 1 のようにさまざまな種類のガスセンサがあるが、ユーザのコンテキストを認識するために、生活臭の要因となる成分に高感度な FIGARO 社のガスセンサのなかで、小型、軽量化を図るために検出対象の成分に重複が少ない 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いる。
- **メタンガスセンサ (TGS2611)**: メタンガスに高感度でありガス漏れ警報器などに使用されている。メタンガスは排泄物などにも含まれているため、それらのにおいを検知する指標となる。
- **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ほとんど感度を有さない。人間は二酸化炭素を嗅ぎ分けられないが、室内の人口濃度や換気状態を検出することで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。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値の例を図 1 に示す。各部分は異なる状況における 10 分間のデータを示している。例えば、外から室内へ入室した場合は緩やかに各センサ値は上昇し、食事をしている場合は空気の汚れセンサが細かく変化する、トイレ中は空気の汚れセンサやメタンガスセンサが大きく変化する。これらの値変化は、従来のコンテキ

表 1 ガスセンサの例

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

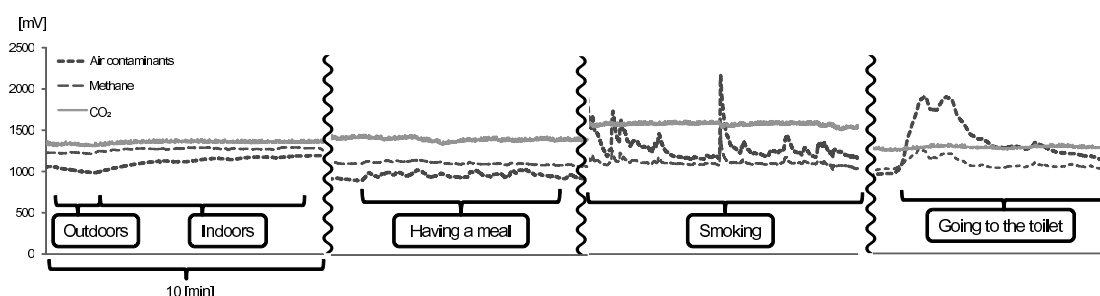


図 1 センサデータの例

スト認識における加速度センサ値のように、状況に対して特定の値をとったり定常的な値変化を行うものではないため、においセンサのためのコンテキスト認識アルゴリズムが必要であることが示唆された。

3.2 対象とするコンテキスト

本研究で検出対象とするコンテキストは、近年の高齢化社会化や核家族化のさらなる進行に対し、健康管理や QOL (Quality of Life) の向上を実現するためのシステムにとって有用なものが望ましい。例えば、睡眠時間や食事時間、排泄や運動など人間の根本的な活動に関わるコンテキストや、喫煙や飲酒などの健康に関わるコンテキスト、心拍や体温など健康状態を直接的に表すコンテキストが検出できれば、高度に日常生活を支援するシステムが構築できる。このうち、運動や睡眠など単純な人の動き情報で判別できるようなコンテキストや心拍など直接的に装着型センサで計測できるコンテキストは従来研究においてすでに認識システムが構築されているが、食事やトイレ、

喫煙は動き情報としては他の行動と識別するのが難しい。これらのコンテキストは例えば環境にセンサをばらまくことによって人間の移動を検出して識別することは可能であったが、高度なサービスを提供するためには外出先等でもできるだけ正確に認識する必要があるため、装着型センサによる検出が望まれる。また、動きとしては同様でも、屋内にいるのか屋外にいるのかで提供するサービスは大きく変化するため、屋内外の判別、可能であれば部屋の換気状況などが識別できれば便利なサービスを提供するシステムが構築できるといえる。

3.3 従来用いられている特徴量による認識精度

一般に、コンテキスト認識を行う際にはセンサ値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。そこで、採取した「室内」「外」「食事」「トイレ」「喫煙」のコンテキストに対して、においセンサ値の瞬時値、差分値、平均値、分散値の 4 つの特徴量を用いて認識を行う。

表 2 特徴量ごとの認識率

	瞬時値	差分値	平均値	分散値
室内	0.53	0.36	0.59	0.40
屋外	0.56	0.38	0.54	0.36
食事	0.83	0.36	0.87	0.45
トイレ	0.94	0.50	0.94	0.77
喫煙	0.83	0.50	0.78	0.71

表 3 特徴量を 2 つ組み合わせた場合の認識率

	平均と分散	平均と差分	差分と分散
室内	0.54	0.56	0.41
屋外	0.68	0.73	0.39
食事	0.93	0.90	0.37
トイレ	0.98	0.85	0.63
喫煙	0.88	0.74	0.63

差分値, 平均値, 分散値は, 現在時刻から過去 N サンプルを用いてそれぞれ計算する.

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, 最も距離の近い学習データに付与されているラベルを認識結果とした. 得られたラベルと手動で付けた正解ラベルを比較し, 認識率を算出した. センサのサンプリング周波数は $10[\text{Hz}]$, $N = 600$ としたときの特徴量ごとの認識率を表 2, 3 に示す. 表から瞬時値や平均値でも「食事」「トイレ」「喫煙」など特徴的なセンサデータを示したコンテキストに対してはある程度認識できることがわかる. また平均値と分散値を組み合わせた認識率の平均は 0.80 で最も認識率の高い特徴量の組み合わせとなった. しかし「室内」や「外」といったコンテキストは認識率が低くなっている. これは前節で述べたように, 従来使われている特徴量ではにおいセンサの状況に対する特性を表現しづらいためであると考えられる.

3.4 提案手法

前節で述べたように従来方式では認識が難しいコンテキストが存在するため, においセンサの特性を活かした認識手法を提案する. 提案手法の概要を図 2 に示す. 提案手法は下記の 2 ステップからなる.

Step1: コンテキストの分類

図 1 の例のように, 室内に入ったときや外に出た

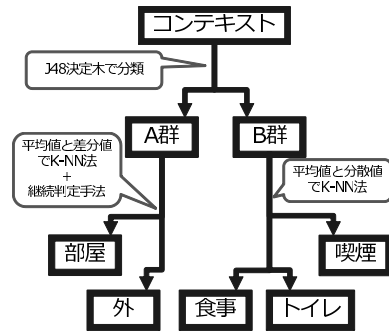


図 2 提案手法の概要

ときはセンサ値は緩やかに変化するが, 気候や部屋の状態など環境に影響されやすく, 日によってセンサ値にずれが生じるため, 瞬時値や平均値のみでは認識は困難である. 一方, 食事中やトイレ中は特徴的なセンサ値を示すため, 平均値と分散値で十分認識できる. そこで, 変化が緩やかで環境の影響を受けやすいコンテキストを A 群 (室内, 外), 状況に対しセンサデータが特徴的なコンテキストを B 群 (食事, トイレ, 喫煙) と分類する決定木を J48 アルゴリズムを用いて生成する. 本研究では決定木の作成にはデータマイニングツール WEKA [22] を用いている. WEKA は Waikato 大学を中心に開発されているデータマイニングツールであり, 特に提案手法では分類器として J48 アルゴリズム [23] を用いている. J48 アルゴリズムは決定木を構築するための代表的なアルゴリズムである C4.5 アルゴリズムを WEKA 上に実装したものである.

ここで, 決定木のみを用いてすべてのコンテキストの認識を行わない理由は, 決定木のみでは上記の群の特性を活用できず, 認識精度が大幅に低くなってしまうためである. 具体的な精度低下については 4 章で述べる.

Step2: 継続判定とコンテキストの認識

Step1 で識別された群ごとにコンテキストを認識する. A 群のコンテキストは, 状況が変わった後にセンサ値が緩やかに変化し続けるため, 差分値で認識を行う. その際, センサ値に変化が少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

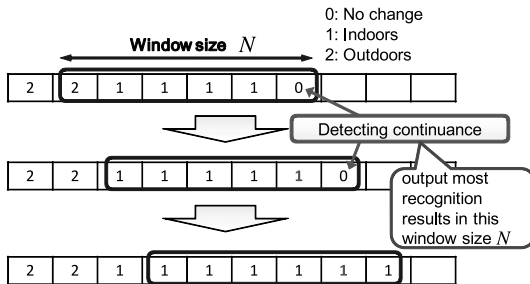


図3 継続判定法

果を継続させる。具体的には、あらかじめ「室内」「外」「継続 (変化なし)」の場合の差分値と平均値を学習データとして用意し、取得データとのユークリッド距離を計算して認識する。ここで、図3に示すように、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、「継続」と認識された場合はこのウィンドウの中で最も多い認識結果を出力する。例えば、 $t = T$ で「継続」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。一方、B群のコンテキストは、平均値と分散値を特徴量として用い、ユークリッド距離を用いて認識する。

このように、センサデータの種類によってコンテキストを分類して二層化し、特徴量を使い分けることで認識率を向上させる。

4 評価

提案手法によるコンテキスト認識精度を評価した。評価では、3.1節で述べた3つのにおいセンサを首元に、加速度センサ MMA7260Q を手、足、腰に装着した3名の被験者から採取したデータを用いた。データの採取日は2010年3月～11月の9日間で、「室内」「外」「食事」「トイレ」「喫煙」の5つのコンテキストに対して、それぞれのコンテキストのデータからランダムに取得した20サンプルを学習データ、残りをテストデータとした。また、被験者はセンサの他に小型のピンホールカメラを装着しており、記録映像を確認しながら採取したセンサデータに対して手動で

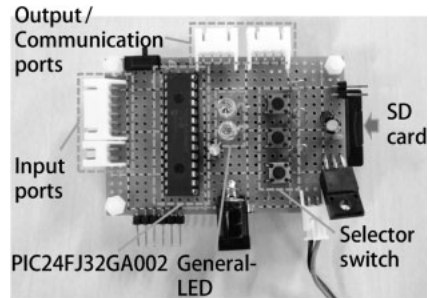


図4 データロガーのプロトタイプ

正解ラベルを付与した。その際、たとえば「トイレ」であればトイレに入るときから出るときまでというように、映像を確認しながらラベルの切れ目を決定した。センサデータの入力・記録制御には、Microchip Technology社のPIC24FJ32GA002を搭載したデータロガー(図4)を作成し、サンプリング周波数10[Hz]でSDカード内にセンサデータを記録した。実装デバイスの外形寸法は、バッテリーを含めて $70 \times 50 \times 25\text{mm}$ で、デバイスの質量は約120gである。また、特徴量抽出および継続判定のためのウィンドウサイズはともに600とした。各コンテキストの詳細を下記に示す。

- **室内:** 大学の研究室内(4つ)、廊下、エレベータ、食堂(食事中を除く)、トイレ、コンビニエンスストア、飲食店、被験者の自宅などがこのコンテキストに含まれる。部屋の窓が開放され、換気中の場合も「室内」としている。外から部屋に入室したときに各センサ値が緩やかに上昇し、入室後しばらくすると各センサ値は変化しなくなる。
- **外:** 屋外での行動とベランダに出たときなどが含まれ、主に大学付近(神戸市灘区六甲台地区)で採取されたデータである。室内から外に出たときに各センサ値が緩やかに下降し、しばらくすると各センサ値は変化しなくなる。他のコンテキストと比較して、各センサ値は低い値をとる。
- **食事:** 食べ物を食べ始めてから食べ終わるまでを対象とする。また、大学の食堂や飲食店に入室しただけの場合は「室内」としている。本実験で被験者が食べたものは、一般的な定食メニュー、カレー、インスタントカップ麺、コンビニ弁当、

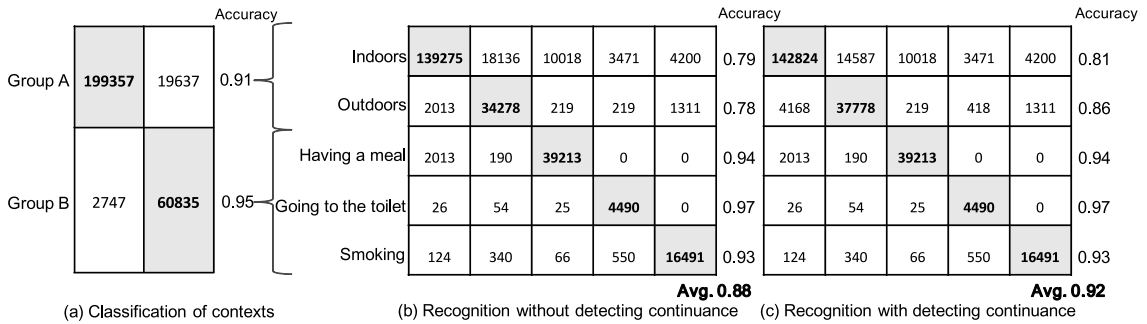


図5 においセンサによるコンテキスト認識結果

	Accuracy				
Indoors	71591	37085	556	43565	22302
Outdoors	11814	13634	143	5809	12210
Having a meal	8085	1415	4666	8933	18317
Going to the toilet	485	439	35	2816	820
Smoking	3233	74	51	679	13533
Avg. 0.44					

図6 決定木のみを用いた場合の認識結果

サンドウィッチ、スナック菓子などであった。食べ物や口を運ぶときに空気の汚れセンサやメタンガスセンサの値が細かく変化する。

- **トイレ**: 排便の区間を対象とし、食事と同様にトイレに入室しただけの場合は「室内」としている。空気の汚れガスセンサやメタンガスセンサが急激に上昇する。
- **喫煙**: 煙草を吸い始めてから終わるまでを対象とし、全て屋外の喫煙所で採取されたデータを用いる。煙草の煙がセンサに近づく度に空気の汚れセンサや二酸化炭素ガスセンサが急激に変化し、ノコギリ波のようなセンサ値をとる。

「室内」「外」「食事」「トイレ」「喫煙」の5つのコンテキストに対し、提案手法の認識率を図5のConfusion Matrixに示す。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。対角線上の灰色のセル

が正しく認識が行えたときのものである。例えば、図5(b)では、「食事」データが入力された場合、27,378回正しく認識し、1328回「室内」と誤認識している。図5(a)は決定木によるA群とB群の分類結果、図5(b)は認識結果(継続判定なし)、図5(c)は認識結果(継続判定あり)をそれぞれ示す。コンテキストの分類ではA群0.88、B群0.94の認識率が得られ、その後のコンテキスト認識(継続判定なし)では平均で0.87の精度が得られた。これは、3.2節の従来手法の中で最も精度のよかった認識率0.80よりも高い認識率であり、階層化が有効であることがわかる。また、評価に用いる5つのコンテキストに対してWEKAを用いて決定木を生成し、認識した結果を図6に示す。決定木生成のための学習データは各コンテキストのデータからランダムに200サンプル選択して用いた。結果が平均認識率0.44と提案手法と比較して大幅に悪くなったことから、閾値ベースの決定木の分類だけではにおいによるコンテキスト認識が困難であることがわかり、2種類の認識手法を組み合わせた提案手法が有用であることが確認できた。さらに、A群に対して継続判定を行った場合、継続判定なしの場合と比較して精度が向上しており、周囲の環境の影響を受けやすい「室内」や「外」などのコンテキストに対しては継続判定が有効であることがわかった。誤認識の原因としては、部屋の換気を屋内外の移動と認識、煙草の煙が風で吹き飛ばされた、逆に煙草のにおいが服にこびりついた、食事にあまりにおいの発しないものを食べた、などがあった。

ここで、3種のにおいセンサを用いて認識した場合

表 4 においセンサの組み合わせを変えた場合の認識率

	空気の汚れ	メタンガス	二酸化炭素	空気の汚れ メタンガス	メタンガス 二酸化炭素	二酸化炭素 空気の汚れ
室内	0.52	0.29	0.50	0.53	0.47	0.55
外	0.46	0.34	0.44	0.50	0.54	0.68
食事	0.67	0.65	0.57	0.84	0.90	0.79
トイレ	0.72	0.73	0.74	0.91	0.81	0.87
喫煙	0.59	0.51	0.59	0.69	0.65	0.84

	Walking indoors	Standing indoors	Sitting indoors	Walking outdoors	Sitting outdoors	Sitting and having a meal	Going to the toilet and standing	Going to the toilet and sitting	Standing and smoking	Sitting and smoking	Accuracy
	3744	209	95	3542	291	41	575	81	942	418	0.37
	1478	3580	225	377	187	274	888	137	6001	230	0.26
	1581	1374	46232	121	85	2861	3	22380	193	38961	0.40
	308	141	33	6765	571	1	1067	12	951	107	0.67
	446	209	2	17	86	53	55	1	80	2	0.09
	457	57	9958	275	79	4443	21	2715	274	5188	0.18
	28	3	23	27	118	0	29	0	48	0	0.10
	0	1	517	0	3	77	0	100	0	247	0.10
	152	1962	130	1	1732	52	1282	0	1087	182	0.16
	152	0	593	23	0	483	0	471	0	641	0.27

(a) 加速度センサのみ

	Walking indoors	Standing indoors	Sitting indoors	Walking outdoors	Sitting outdoors	Sitting and having a meal	Going to the toilet and standing	Going to the toilet and sitting	Standing and smoking	Sitting and smoking	Accuracy
	17499	671	277	2773	275	132	33	22	196	28	0.79
	965	12345	374	223	1255	75	592	0	340	8	0.76
	1470	947	106944	358	927	4669	187	1043	1	1375	0.90
	3116	75	21	32144	542	15	26	0	34	0	0.89
	5	63	0	299	3743	1	0	0	101	0	0.88
	22	14	1774	0	14	34327	0	0	0	0	0.94
	2	0	0	0	1	0	1669	3	0	0	0.99
	0	0	8	0	0	0	0	948	0	4	0.98
	0	64	0	5	127	0	258	0	7658	0	0.94
	0	0	0	3	8	194	0	0	13	3118	0.93

(b) においセンサ+加速度センサ

図 7 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

に対して、センサ数を減らして組み合わせを変えたときの認識結果を算出し、各コンテキストに対して有効であったセンサを調べた結果を表 4 に示す。表より、センサ 1 つではどのコンテキストも認識が困難であることがわかる。またセンサ 2 つでは、「食事」や「トイレ」はある程度認識できるが、センサ 3 つで認識した場合と比較して認識率は全体的に低く、センサ数を増やしたほうが認識精度を向上できることを確認した。さらに、各コンテキストに対して有効であったセンサは、「室内」「外」「喫煙」は空気の汚れセンサや二酸化炭素センサ、「食事」「トイレ」は空気の汚れセンサとメタンガスセンサであることが確認できた。

次に、においセンサに加えて、3 軸加速度センサを手、足、腰に装着して「歩く」「立つ」「座る」の 3 つのコンテキストを認識し、においの 5 つのコンテキストと組み合わせてより詳しいコンテキスト認識を行った結果を図 7 に示す。図 7(a) は加速度センサのみを用いた結果、図 7(b) はにおいセンサと加速度センサを組み合わせた認識結果である。加速度センサによる認識は、10Hz のサンプリング周波数で取得した 3 次

元加速度データに対し、ウィンドウサイズ 20 サンプルで平均および分散を正規化したものを特徴量ベクトルとしている。得られ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ド距離を計算して k-NN 法 ($k = 3$) で認識結果を得ている。また、「立って食事」など実験中被験者が行わなかったコンテキストは評価対象外とした。図左の加速度センサのみを用いた結果は、10 種類のコンテキストを直接学習させた場合の結果であり、図右のにおいセンサと組み合わせた結果は加速度センサから同様の方法で 3 つのコンテキスト(歩く、立つ、走る)を認識し、さらに前節までのアルゴリズムを用いてにおいセンサで認識した 5 つのコンテキストを組み合わせたものを認識結果としている。図から明らかなように、加速度センサのみと比較して、においセンサと組み合わせた提案手法の方が大幅に高い精度が得られた。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」といった状況がに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 アプリケーションの実装

提案したにおい認識手法を活用したいくつかの応用システムを実装した。

ライフログ: 図 8 に示すライフログシステムでは、においセンサと加速度センサに加えてカメラを装着し、提案手法に基づく詳細なラベリングを行いながらロギングを行う。においセンサや加速度センサのデータは、データロガーに接続された ZigBee モジュール経由でウェアラブルコンピュータに送信され、アプリケーションでは、においセンサや加速度センサのデータ、カメラの映像、過去のログデータを常時確認できる。また、カメラ画像を記録中にトイレのにおいを検知したら記録を自動 OFF にしてプライバシーを保護したり、食事を認識したら食事部分の写真を撮り後に一覧表示できるなど、におい情報を活用した高度なロギング機能をもつ。

生活管理システム: 前述のライフログシステムは、生活管理システムとしても応用できる。たとえば深夜の食事を認識し「夜食は控えましょう!」と警告するなど、不規則な時間帯での食事や煙草の吸いすぎを認識し、警告を表示して健康的な生活をするようアドバイスする。また、トイレの間隔を検出し、いつもと比べてトイレ間隔が長い場合、水分の摂取や繊維質の多い食品を推薦したり、食事間隔を蓄積することで、食事に適した時間になったら自動的に近所のレストランを提示する。さらに、食歩歩きや歩き煙草、部屋で悪い姿勢で作業中、といったにおいと加速度を組み合わせたコンテキストを認識し、正しいマナーで生活するよう忠告する。

パーソナル消臭システム: 認識したにおいに対して、特定のにおいであれば自動的に適した消臭を行う。消臭には、筆者らが開発した小型のにおい入出力デバイス(図 9)を使用する。このデバイスは、コマンドにより動的に動作を変更でき、細やかなにおい出力制御ができるため、利用者の嗅覚の麻痺を防ぎながらにおいを出力できる。例えばトレーニングなどで出た汗を認識し、香水などを出力して体臭をコントロールしたり、居酒屋やカラオケ BOX で衣服についた煙草のにお

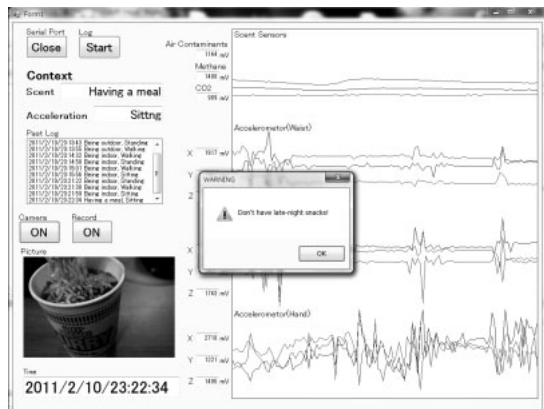


図 8 健康管理用ライフログの GUI

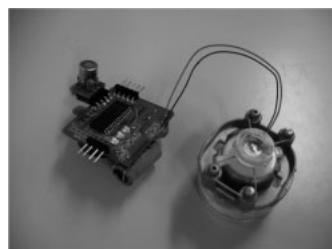


図 9 におい出力デバイス

おいを消臭する。

においマーカ: 提案システムは場所のにおいデータを場所と関連づけて記録できるため、後に同じにおいデータが得られたときにそれをトリガとしたサービスが起動できる(その場合のコンテキストはすべて B 群として記録される)。また、識別しやすい香りを出力するデバイスを配置することで、画像マーカ等を用いることなく特定の場所をシステムが識別できる。例えば、におい入出力デバイスを環境に設置してにおいを出力し続けることで、においセンサを装着したユーザはにおいデータをもとに自分の通過した点を認識できる。従来のビジュアルマーカのように画像処理を行わず、目に見えないにおいマーカにより広告の表示や街案内などを香りとともに出力することも可能となる。

6 まとめと今後の課題

本研究では、装着型においセンサを用いたにおいに

基づくコンテキスト認識手法を提案した。従来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 94%, トイレ 97% の認識率を達成した。また、加速度センサと組み合わせて詳細なコンテキスト認識を行い、においセンサが加速度センサに対して補助的に利用可能であることを示した。さらに、提案手法を用いた応用システムを紹介した。

今後の課題としては、異種のにおいセンサの利用や認識対象となるコンテキストの増加、個人差の影響を確認するため被験者をさらに増やすことなどが挙げられる。使用したにおい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わずかに反応した。より適切なおいセンサの組み合わせを見つけることで、認識できるコンテキストが増えると考えられる。また、今回は5つのコンテキストで評価したが、他にも部屋の混み具合や換気状況、トレーニング中などにおいてセンサが変化を示すことを確認しており、これらのコンテキストに対してもセンサデータを取り評価を行う予定である。

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)によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] Toda, M., Akita, J., Sakurazawa, S., Yanagihara, K., Kunita, M. and Iwata, K.: Wearable Biomedical Monitoring System Using TextileNet, in *Proc. Int'l Symposium on Wearable Computers (ISWC 2006)*, 2006, pp. 119–120.
- [2] Shen, C.L., Kao, T., Huang, C. and Lee, J.H.: Wearable Band Using a Fabric-Based Sensor for Exercise ECG Monitoring, in *Proc. Int'l Symposium on Wearable Computers (ISWC 2006)*, 2006, pp. 143–144.
- [3] Ouchi, K., Suzuki, T. and Doi, M.: Life-Minder: A Wearable Healthcare Support System Using User's Context, in *Proc. Int'l Workshop on Smart Appliances and Wearable Computing (IW-SAWC 2002)*, 2002, pp. 791–792.
- [4] 森泉豊栄, 中本高道: センサ工学, 昭晃堂, 1997, p. 89.
- [5] 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 (1999), pp. 156–164.
- [6] 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 (2007), pp. 6–11.
- [7] 小林泰貴, 竹川佳成, 寺田努, 塚本昌彦: においを入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 (DI-COMO2009) 論文集, Vol. 2009, 2009, pp. 605–613.
- [8] 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 (2001), pp. 343–350.
- [9] 中村友宣, 小川剛史, 清川清, 竹村治雄: 二酸化炭素センサによる鉄道車内混雑度推定を用いたウェアラブル学習システムのための利用者コンテキスト認識, 電子情報通信学会技術研究報告 (マルチメディア・仮想環境基礎), Vol. 107, No. 554 (2008), pp. 49–54.
- [10] Ho, J. and Intille, S.S.: Using Context-Aware Computing to Reduce the Perceived Burden of Interruptions from Mobile Devices, in *Proc. ACM Conf. on Human Factors in Computing Systems (CHI 2005)*, 2005, pp. 909–918.
- [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ース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, 2003, pp. 239–242.
- [13] Froehlich, J., Larson, E., Campbell, T., Haggerty, C., Fogarty, J. and Patel, S. N.: HydroSense: Infrastructure-Mediated Single-Point Sensing of Whole-Home Water Activity, in *Proceedings of the International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp 2009)*, 2009, pp. 235–244.
- [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 (2005), pp. 35–38.
- [16] 山田一郎: 匂いセンサーの研究最前線, NATURE INTERFACE 2008, No. 39 (2008), p. 9.
- [17] ソン・ヨンア, 寛康明, 高橋桂太, ドロネー・ジャンジャック, 苗村健: 匂い情報を手掛かりにしたライフログシステムにおけるイベント検出手法の基礎検討, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 109, No. 75 (2009), pp. 95–100.
- [18] ソン・ヨンア, 寛康明, ドロネー・ジャンジャック, 苗村健: 日常生活の匂い記録に向けたセンシングシステム

ム的设计及び評価, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 16, No. 4 (2011), pp. 677–686.

- [19] 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 (2006), pp. 63–68.
- [20] Sung, M. and Pentland, A.: LiveNet: Health and Lifestyle Networking Through Distributed Mobile Devices, in *Proc. of Workshop on Applications of Mobile Embedded Systems (WAMES 2004)*, 2004, pp. 15–17.
- [21] Honicky, R., Brewer, E. A., Paulos, E. and White, R.: N-SMARTS: Networked Suite of Mobile Atmospheric Real-time Sensors, in *Proc. of ACM SIGCOMM Workshop on Networked Systems for Developing Regions (NSDR 2008)*, 2008, pp. 25–30.
- [22] WEKA, <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>.
- [23] Witten, I. H. and Frank, E.: *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*, Morgan Kaufmann, 2011.



寺田 努

1999 年大阪大学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。2004 年には英国ランカスター大学客員研究員を

兼務。博士 (工学)。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 等 5 学会の会員。



小林 泰貴

2009 年神戸大学工学部電気電子工学科卒業。2011 年同大学大学院工学研究科電気電子工学専攻修士課程修了。コンテキストウェアシステムに興

味をもつ。



塚本 昌彦

1987 年京都大学工学部数理工学科卒業。1989 年同大学大学院工学研究科修士課程修了。同年シャープ (株) 入社。1995 年大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻講師, 1996 年同専攻助教授, 2002 年同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助教授, 2004 年神戸大学電気電子工学科教授となり, 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長を兼務。工学博士。ウェアラブルコンピューティングとユビキタスコンピューティングの研究に従事。ACM, IEEE 等, 8 学会の会員。