

センサフュージョンを利用した個人行動の未来予測機構

首藤 幸司

立命館大学大学院理工学研究科
shuma@ubi.cs.ritsumeai.ac.jp

西尾 信彦

立命館大学情報理工学部
nishio@cs.ritsumeai.ac.jp

概要

我々は、個人の日常行動において、個人の未来の行動を高確度に予測するシステムの実現を目指している。そこで本稿では、まず個人の各行動を特徴付けるコンテキストを複数種のセンサ情報から高確度に抽出する手法を提案する。ここでは、センサ種や行動範囲を限定しないコンテキスト抽出を可能にするため、センサフュージョン [1] を利用する。加えて、システムの情報分析だけでなく個人の意図を取り入れるユーザ参加型のコンテキスト抽出手法として設計する。また、現在のユーザのコンテキストから未来の行動を予測するために、過去のユーザの日常行動を形式化する手法を提案する。上述の2つの手法により、個人行動の未来予測機構を実現する。

キーワード： コンテキスト抽出，センサフュージョン，行動の未来予測，ユーザ参加型手法

Sensor fusion system for personal state prediction

Koji Shuto Nobuhiko Nishio

Department of Computer Science, Ritsumeikan University

ABSTRACT

Our goal is realization of a system that predicts future personal states reliably based on trivial personal movement. In this paper, we first propose an extraction technique for highly reliable contexts using multiple sensor data. We introduce a concept of sensor fusion in order to capacitate context extraction, unrestricted by user state or sensor type. Additionally, we design this as a user participatory technique that employs user intention in combination with system calculation. Second, in order to predict future personal states by current user context, we propose a technique to develop a certain pattern for trivial personal movement using in past multiple sensor data. With these two techniques, we will implement personal state prediction system.

Keyword: context extraction, sensor fusion, personal state prediction, user participatory technique

1. はじめに

現在、ユビキタス社会の到来に際して、人間の現在の状況に適切なサービス(コンテキストウェアサービス)の提供を目的とした研究が盛んに行なわれている。その研究分野の一つに、人間を取り巻く多数のセンサを用いて得られるセンサ情報から、人間の現在の状況を分析し、個人の未来の行動を予測する研究が存在する。この種の研究では、適切なサービスの提供を実現するために、取得したセンサ情報とコンテキストの適切な定義づけをどのように行なうか、という点が大きな問題となる。例えば、「研究室にいる」ことを象徴するセンサ情報は、「マグカップを使う」「キーボードに触る」など様々であり、それらは各個人によって千差万

別である。つまり、「研究室にいる」というあるコンテキストのあらゆる抽出手法を、システム開発者が予め用意しておくのは非現実的である。また、システム開発者が人間の一般的な行動を象徴するセンサ情報を範例として用意する手段もあるが、確率の観点などから範例のみで完結するコンテキスト抽出手法は適切ではない。以上のことから、多種多様なセンサ情報を適切なコンテキストへ定義づける処理は、各ユーザ自身が行なうことが望ましい。

しかし、単一のコンテキストは複数種のセンサ情報の集合によって特徴付けられることが多く、一般にセンサ情報とコンテキストは多：一の関係にあると考えられる。そのため、システムから提示された各センサ情報一つ一つを自分の行動と照らし合わせ、コンテキ

ストへ適切に定義づけていく作業はユーザにとって負担が大きい．そこで本稿では，個人の日常行動から取得される多種多様なセンサ情報からシステムが個人の状況や行動の変化を推測し，ユーザがその正当性を判断しながら必要に応じて修正するユーザ参加型コンテキスト抽出手法を提案する．さらに，本手法によって抽出された過去のコンテキストの抽出履歴から，ユーザの日常行動を形式化する手法を提案する

以降，第2章では本提案の関連研究について述べ，第3章では，本研究のアプローチとして，ユーザ参加型のコンテキスト抽出手法とユーザの日常行動形式化手法について述べる．第4章では，第3章で述べる本アプローチを実際に実現するシステムの設計について述べ，第5章で今後の方針について述べ，本稿をまとめる．

2. 関連研究

本章では関連研究に関して，高確度のコンテキスト抽出を目的とした研究，またユーザのシステム適切化処理を支援する研究の二分野に注目して述べる．

2.1 高確度のコンテキスト抽出を目的とした研究

抽出されるコンテキストの確度向上や実現性などを考慮した研究では，家屋やオフィスなど空間を限定するアプローチや，RFID タグなどセンサ種を限定して利用するアプローチなどが成されている．例えば，立命館大学の島川研究室で行なわれている TaggedWorld プロジェクトでは，人間の生活空間に存在するオブジェクトに 13.56MHz の近接型 RFID タグを埋め込んで人間の行動を認識し，RFID のアクセス履歴を基に行動パターンのモデル化やユーザの意図推測を行なう研究が成されている．[2][3]

また，多種多様なセンサを「家」という空間に埋め込み，人間の細かな行動のレベルで抽出する研究として Aware Home という研究が存在する．[6] この研究では，人間のコンテキストを抽出するために複数種のセンサを利用するセンサフュージョンという点が我々の研究と共通点であると言える．

2.2 ユーザのシステム適切化処理を支援する研究

慶應義塾大学の徳田研究室では，ユーザ自身が日用品に取り付けたセンサノード（光センサなどを装備）に対し，Spot & Snap インタラクションによって日用品のセマンティクスを与え，DIY(do-it-yourself) Smart Object Services の実現に取り組んでいる [5]．Spot & Snap インタラクションは，カメラとスポットライトが装備されたデバイスによって行なわれ，センサノードに装着された光センサがデバイスのスポットライトに反応し，そのとき撮影していた日用品とセンサ情報が対応付けられる仕組みになっている．

静岡大学の水野研究室では，センサデータ系列に対してユーザが手動でコンテキストを付与するツールを

開発している [4]．本研究では，USB カメラでセンサの動作環境を録画し，ユーザは USB カメラで撮影された動画を見てセンサデータにコンテキストを付与する手段を取っている．センサデータにコンテキストを付与する際の負担を減らすようシステムがサポートする点では我々の研究趣旨と類似しているが，我々は動画ではなく ON/OFF センサの変化をうまく利用する点でアプローチが異なっている．

多くの関連研究では，主にセンサ情報とコンテキストの対応付けをシステム開発者が様々な実験結果から範例として述べている．しかし各種センサ情報から特徴付けられるコンテキストはユーザによって千差万別であり，一意に決まらない．よって，コンテキスト抽出のルールは各ユーザが自分で決めるべきである．また，センサ情報からコンテキスト抽出のルールは，当初決めたものが以後永続的に有効である保証はなく，コンテキスト抽出のルール決定処理は継続的に行なう必要がある．以上のことから，われわれの提案は意義がある．また本研究では，センサフュージョンの概念を取り入れることで，人間の行動範囲や接触物体を限定せず多種多様なセンサ情報を利用して各個人の現状を判断し，未来を予測する手段を考えている．

3. 提案するアプローチ

本章では，個人行動の未来予測機構を実現するために提案する，ユーザ参加型コンテキスト抽出手法とセマンティッククラスタの抽出順序形式化手法の二つの手法について以下に詳しく述べる．

3.1 ユーザ参加型コンテキスト抽出手法

前章では，多種多様なセンサ情報から高確度なコンテキストを抽出するためには，ユーザ参加型のコンテキスト抽出手法が適切であると述べた．ここで，本手法の概要を図1に示す．

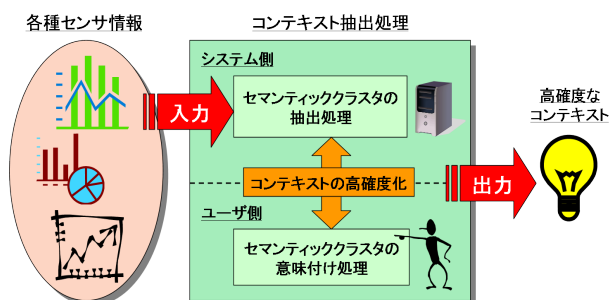


図1 ユーザ参加型コンテキスト抽出手法の概要

まず，システムは取得した複数種のセンサ情報からユーザの行動の変化を分析し，各行動を特徴付けると推測したセンサ情報群（以後，セマンティッククラスタと呼ぶ）をユーザに提示する．そして，ユーザは提示されたセマンティッククラスタが自分にとって有意義かどうかを判断し，システムにその旨を伝える．その際，

もし有意義であればそのセマンティッククラスタに適したコンテキストの意味付けを行ない、無意味であればそのセマンティッククラスタは自分にとって意味を成さないことを伝える。

本手法でポイントとなるのは、高確度なコンテキスト抽出を実現するためにシステムの情報分析とユーザの意図を併用すること、さらにそのときのユーザの負担を可能な限り軽減するようシステムが支援することの2点である。システムの情報分析だけで完結させてしまうコンテキスト抽出手法では、抽出結果として高確度なコンテキストは望めない。逆に、ユーザ自身のみで複数種のセンサ情報から規則性を発見し高確度なコンテキストを抽出することは、負荷の高さを考えると非現実的である。以上のことから、本手法は高確度なコンテキスト抽出を実現する上で妥当であると考えられる。ここで前提として、本研究ではセマンティッククラスタをセンサ情報から抽出できる最小単位のコンテキストと定義し、コンテキスト (CXT) とセマンティッククラスタ (SC) は以下のような関係を持つ。

$$CXT_i = \{j \mid j > 0, SC_{ij}\}$$

異種センサ間のセンサフュージョン

以下では、本手法を実現する上で重要となる「異種センサ間のセンサフュージョン」について詳しく述べる。以後進めるにあたり、大阪府に住んでいる学生 K 君が家から大学に行くまでの行動を例に挙げる。K 君が大学に行くまでに取る移動手段は、以下のようになる。

- 家 高槻駅：バス
- 高槻駅 南草津駅：電車
- 南草津駅 大学：バス

K 君は家から大学に行くまでに、Felica センサや速度センサなど複数種のセンサによって行動をセンシングされる機会があり、各種センサ情報は K 君の何らかのコンテキストを抽出する際に役立つ。しかし、単一種のセンサ情報のみから抽出されるコンテキストは低確度である可能性が高い。例えば、SUICA カードからは駅の改札口を通ったかどうか、また速度センサからは歩いているか交通機関を使っているかといった程度のコンテキストしか抽出できない、つまり、単一種のセンサ情報どれに注目しても、「駅のホームにいる」といった高確度なコンテキストを抽出するのは困難であり、この場合「電車に乗る前に携帯をマナーモードにする」といったサービスは提供できない。

そこで我々は、上記の問題を解決するために、図 2 に示すような同時期における異種センサ間のセンサフュージョンを利用してコンテキスト抽出を行なう。

上記の例で言えば、Felica センサと速度センサをセンサフュージョンし、「SUICA カードを使用し、歩速度で移動している」といったような状況を抽出すれば、そ

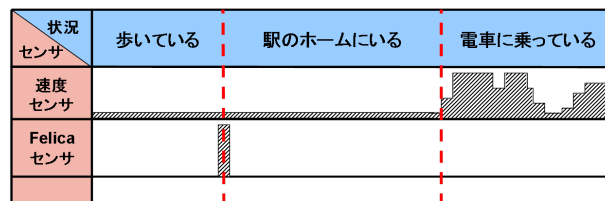


図 2 異種センサ間のセンサフュージョン

れは「駅のホームにいる」というコンテキストとして成り立つ。またこのとき、図 2 上での速度センサ情報と Felica センサ情報は、システムによってセマンティッククラスタとして抽出され、その後ユーザによって「駅のホームにいる」というコンテキストへ意味付けられる。このように、異種センサ間のセンサフュージョンを利用することで、単一のセンサ情報では特徴付けることができないコンテキストを抽出可能であるという利点が生まれる。

また、上記のようなセマンティッククラスタの抽出処理をシステムが行なうことによって、複数種のセンサ情報をコンテキストへ意味付ける作業をユーザが行なう必要がなくなり負荷を軽減することができる。さらに、人間の能力では気づかないような、複数種のセンサ情報の複雑な組み合わせから成り立つ潜在的セマンティッククラスタの抽出も可能になる。

3.2 セマンティッククラスタの抽出順序形式化手法

上述したように、異種センサ間のセンサフュージョンを利用することにより、様々なセマンティッククラスタが抽出可能となる。ここで人間の毎日の日常生活を振り返ってみる。人間は日常生活において、家や学校、会社といった幾つかの密接なランドマークを持っており、ランドマーク間での個人の行動順序にそれ程毎回差異はない。つまり、日常行動に限定した場合、時系列でのセマンティッククラスタの抽出順序は高確率で保たれる。

セマンティッククラスタの抽出順序性

以下では、「セマンティッククラスタの抽出順序性」について詳しく述べる。例えば、K 君が家から大学に行く過程で抽出されるセマンティッククラスタは、場合の一つとして図 3 に示すような抽出順序を保つとする。

例えば、図 3 中の「バスに乗っている」という同じセマンティッククラスタに注目すると、そのセマンティッククラスタだけでは次の行動は的確に予想できないことが分かる。この場合、一つ前の状態が「家」か「南草津駅」かによって、次の行動は大きく変化する。つまり、予測を行なう際には過去に抽出されたセマンティッククラスタを利用して、最近ユーザがどのような行動を取っていたのかを考慮しなければならない。また、現在と過去の複数のセマンティッククラスタを利用した未来行動の予測には、ユーザが過去に同じような行動

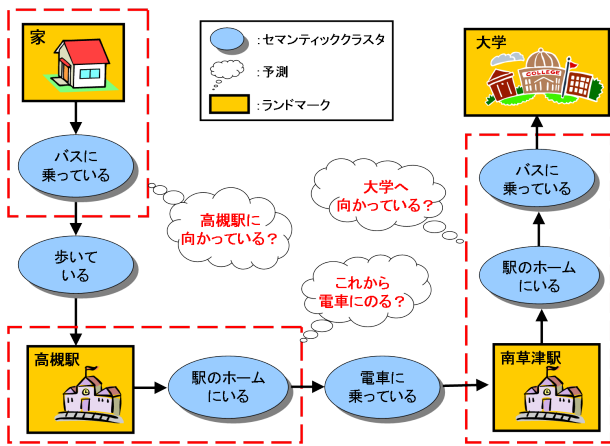


図3 セマンティッククラスタの抽出順序性

を取った際のセマンティッククラスタの抽出順序履歴が必要となる。逆に、過去に同じような行動を取った経歴がなければ、幾ら多くのセマンティッククラスタを利用してもユーザの未来行動は予測できない。以上のことから、ユーザの未来の行動や状況を予測するための要件として、過去に抽出されたセマンティッククラスタの抽出順序を形式化する手法を提案する。

4. 設計

本章では、個人行動の未来予測を行なうために必要なシステムの設計について述べる。

4.1 システム概要

システムは、センサ情報管理部、コンテキスト管理部、サービス管理部、コンテキストエディタの4要素で構成される。図4にその全体図を示し、それぞれの役割について以下で詳しく述べる。

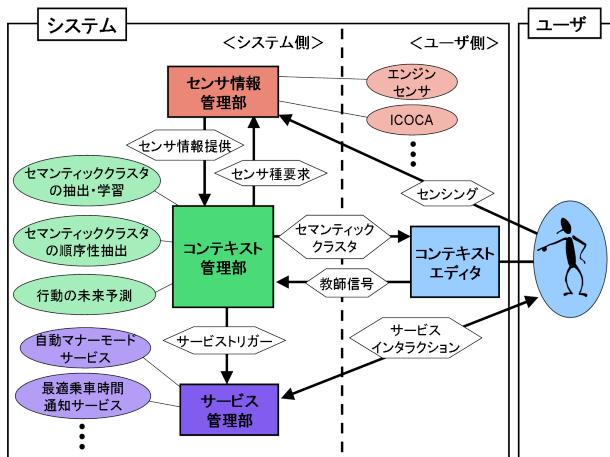


図4 システム全体図

- センサ情報管理部

ユーザが日常行動において、様々なコンピュータシステムからセンシングされた異種センサ情報を管理する役割を持つ。実用性を考えた場合、各コ

ンピュータシステムからセンシングされた情報のフォーマットは様でないことを考慮しなければならない。そのため、ユーザが持つデバイスと各デバイスによってセンシングされる情報を対応付けるセンサ情報フォーマット管理テーブルなども所持する必要がある。また、取得されたセンサ情報をコンテキスト管理部へ提供する際には、コンテキスト管理部からのフォーマット要求に応じて整形する機能も持つ。さらに、センサによっては、センサ自体の性能や外部の影響などによって、突然異常な値を示すことがある。この対策として、得られたセンサ情報に対して以下のような平滑化処理を行なう。

$$SD_i = \begin{cases} i = 0 : SD_0 \\ i > 0 : \alpha * SD_i + (1 - \alpha) * SD_{i-1} \quad (0 < \alpha < 1) \end{cases}$$

α は現在取得したセンサ値に対する重みである。 α を大きくすれば、取得したセンサ値とそれ程変わらない処理結果を示す。逆に α を小さくすれば、過去に取得したセンサ値が現在の値に大きく影響する。

- コンテキスト管理部

主に、異種センサ情報のセンサフュージョンとセマンティッククラスタの順序性に注目しながら、ユーザ参加型コンテキスト抽出手法を実行する役割を持つ。セマンティッククラスタを適切に抽出可能になると、その順序関係から個人行動の未来予測が可能になる。順序性から予測される未来行動の対象となるのは、日々繰り返される日常行動に限定されるが、第一章でも述べたように人間の行動の大半は繰り返されるため、個人の行動を充分支援するシステムの実現が可能である。

またサービス管理部に対しては、適切なタイミングでサービス開始トリガーを提供する。実際には、サービス管理部が発行したコンテキストとサービストリガーの対応表を参照し、抽出されたコンテキストをキーに条件に該当するサービスを検索する。

- サービス管理部

コンテキスト管理部からのサービストリガーを基に、ユーザとサービスインタラクションを行なう役割を持つ。コンテキスト管理部からのサービストリガーを適切に理解するために、予めサービスとサービスを発動させるためのコンテキスト条件の対応表を作成し、コンテキスト管理部に提出しておく。またサービスの発動条件は、各サービス開発者によって記述・設定可能となるように設計する。

- コンテキストエディタ

コンテキスト管理部とユーザのコミュニケーションを可能にする役割を持つ。コンテキスト管理部

はこのコンテキストエディタを介して、ユーザに取得した各センサ情報やセマンティッククラスタの抽出結果を提示したり、ユーザからの修正要求である教師信号を受け取る。コンテキストエディタは、システムが推測した結果を自分の行動と照らし合わせやすいようなツールである必要がある。そのため現時点では、各センサ情報に対して時間情報と取得場所情報を付随させる手段を考えている。

4.2 ユーザ参加型コンテキスト抽出手法

本節では、ユーザ参加型コンテキスト抽出手法について、その流れを図5を示し具体的に説明する。

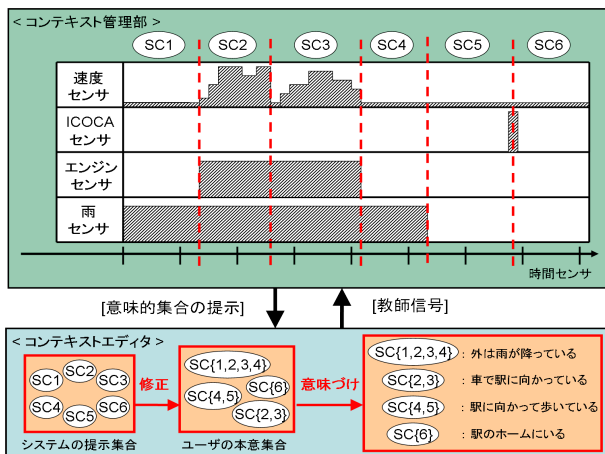


図5 ユーザ参加型コンテキスト抽出処理の流れ

始めに、センサ情報管理部から受け取ったセンサ情報に対して、異種センサ情報のセンサフュージョンを利用することで、個人の行動や状況を象徴するセマンティッククラスタを抽出する。次にコンテキストエディタを介して、異種センサ情報と抽出されたセマンティッククラスタをユーザに提示し、ユーザへコンテキストの意味づけを依頼する。このときユーザから教師信号があった場合、それを次のコンテキスト抽出処理に活かすといった学習機能を持つ。上記の処理を長期的に行なうことで、システムが行なうコンテキスト抽出処理の確度が向上する。

4.2.1 セマンティッククラスタの抽出処理 線引き処理

図5からも分かるように、システムは取得された各センサ情報からユーザの状況や行動の変化を推測して、その変化する境界線を引く。そして、境界で囲まれた各種センサ情報群をセマンティッククラスタとして抽出する。一般的にセンサは、出力する値が連続値であるか離散値であるかによって2つに大別される。上述した線引き処理は、主に離散値を出力するセンサ、中でもON/OFFセンサを基準にして行なう。その大きな理由としては、適切なタイミングで毎回確実に線を引くことが可能なためである。連続値を出力するセン

サを基準にした場合、一つのセンサ値が行動の変化を特徴付けることは稀であるため、複数のセンサ情報の変化を統計学的な観点から特徴付ける必要がある。統計学的処理から出力される結果は、常に役立つことが保証されないため、線引き処理の基準センサ情報とすることは不適切である。

ユーザによるON/OFFセンサ化

システムが抽出するコンテキストの確度向上のために、ユーザがシステムのコンテキスト抽出に役立つセマンティクスを事前にシステムに提示する手段を導入する。ON/OFFセンサがセマンティッククラスタの抽出に最適であることは前述したが、ユーザが明示的にセマンティクスを提示することによって、ON/OFFセンサ以外のセンサからの情報を、ON/OFFセンサからの情報のように扱うことができる。例えば、GPSから取得できる緯度経度情報は、ある緯度経度情報に意味を与えない限り、線引き処理においては扱いにくい。しかし、ユーザが自分と密接のあるランドマークの緯度経度をシステムに提示することによって、そのランドマークの位置情報が取得できたときON/OFFセンサのONに当たる情報として取得できる。

また、この手法を導入するためには、ユーザがセマンティクスをシステムへ適切に提示できるインターフェースが必要であり、本システムではその点をサポートすることを考えている。例えば、GPS情報のON/OFFセンサ化を目的とした場合、家や大学などの緯度経度情報をGoogle mapを介して提示するといった手段が考えられる。

4.2.2 セマンティッククラスタの意味づけ処理

本節では、各センサ情報値からシステムが予測した結果に対してユーザ自身が意味づけを行なう作業を支援する手法について述べる。ここで重要になるのは、ユーザにとって感覚的・視覚的に扱いにくい速度センサや照度センサのような連続値を出力するセンサからの情報を、いかに自分の行動に結び付けられるよう支援するかという点である。そこで本研究では、抽出されたセマンティッククラスタを提示する際に線引きの要因となったセンサ情報とそのときの時間をメインサポート情報として提示する。また、GPS携帯などから常にユーザの位置情報が取得できることを前提とした場合、天候やイベント情報といったその時間と場所に関係のあるメディア情報をサブサポート情報として提示する。さらに、システム開発者側が人間の一般的な行動を象徴するセンサ値群を範例として提示することも考えている。以上のことにより、各種センサ値をユーザが自分の行動と比較する点でサポートし、セマンティッククラスタの意味づけ処理を支援する。

4.3 セマンティッククラスタの抽出順序形式化手法

図3に示した例では、家から高槻駅までの移動手段はバスと徒歩であった。しかし、同じランドマーク間での日常行動においても、セマンティッククラスタの抽出順序が複数存在することが一般的である。そのため、セマンティッククラスタの抽出順序は、図6のように循環有向グラフで表現することが妥当であると考えられる。

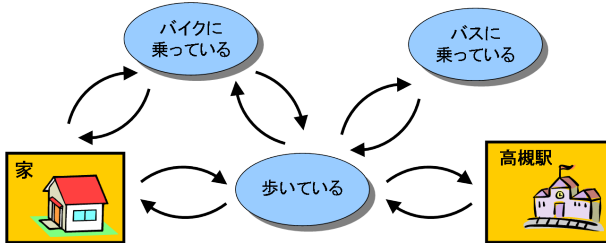


図6 セマンティッククラスタの循環有向グラフ

また、「歩く」や「バスに乗る」などは人間の基本的な行動であるため、特定のランドマーク間でしか行なわれない行動である可能性は格段に低い。よって、図6のような循環有向グラフを未来行動の予測において活用可能にするため、本研究ではセマンティッククラスタの抽出順序を二つのランドマーク間で形成し、それらのランドマーク間でのみ有効なグラフとして完結させる。

5. まとめと今後の研究活動

本稿では、個人の現在のコンテキストから未来の行動を予測するシステムを実現するために、ユーザ参加型コンテキスト抽出手法とセマンティッククラスタの抽出順序形式化手法を提案した。システムの情報分析に加えてユーザの意図をコンテキスト抽出処理に導入することで、複数種のセンサ情報から高確度なコンテキスト抽出が実現できる。さらに、過去のセマンティッククラスタの抽出履歴からその順序性を形式化することによって、現在のコンテキストからユーザの次の行動を予測することができる。このシステムを実現することで、システム側は個人の未来行動に適したコンテキストウェアサービスを提供することができる。今後は、本稿で提案した2つの手法を実装し、抽出されたコンテキスト確度や抽出処理にかかる時間、またユーザがセマンティック抽出処理の際にかかる負荷を実際に体験するなどを評価項目として、本システムの有用性を検証する。また現在では、実装に際して用いるセンサは au の GPS 携帯や我々の研究室の出席管理システムなどを考えている。

参考文献

- [1] 鏡 慎吾, 石川 正俊, “センサフュージョン – センサネットワークの情報処理構造 – (招待論文)”,

電子情報通信学会論文誌 (A), Vol.J88-A, No.12, pp.1404-1412, 2005.

- [2] 楓 仁志, 山原 裕之, 藤原 聡子, 野口 豊司, 東 辰輔, 島川 博光, “タグ付けられた世界における個人の行動特性を用いた意図推測”, ESS2005
- [3] 藤原 聡子, 島川 博光, “RFID アクセス履歴を用いた行動パターンのモデル化”, FIT2005
- [4] 佐々木 弘, 坂根 裕, 太田 剛, 水野 忠則, “センサデータからコンテキスト抽出を行なうためのビデオ録画を利用したコンテキスト手動付与ツール”, 2004-MBL-28, pp.125-130, (2004)
- [5] 米澤拓郎, 榊原寛, 中澤仁, 高汐一紀, 徳田英幸, “Spot & Snap: DIY Smart Object Service を実現するセンサノードとモノの関連付けインタラクション”, プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ (SPA X)
- [6] Kidd, C, et al. The Aware Home: A living laboratory for ubiquitous computing research. To appear in the Proceedings of CoBuild '99 (1999).