

## 「センシングルーム」における行動蓄積とパターン発見

森 武俊†

† 東京大学 大学院情報理工学系研究科 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

E-mail: †tmori@ics.t.u-tokyo.ac.jp

**あらまし** 部屋型日常生活行動計測環境で蓄積された行動データに基づき行動パターンを発見するシステムについて述べる。計測・蓄積には、個人の生活パターンを覚えて助ける知能住宅の第一歩として、部屋型の形態で研究を進めている「センシングルーム」を用いる。日常生活の場である住居環境において行動情報を計測・蓄積し、行動データにおける特徴的なパターンを学習するシステムを構築し、それに基づき居住者の行動を予測することを試みることで、住宅内における居住者の行動の傾向に基づく生活支援の可能性を明らかにすることを目的とする。行動エピソードと呼ぶ行動イベントの組み合わせにおいて頻出するものを発見するため、時系列相関ルールを応用したアルゴリズムを開発した。システムは、行動データを観測しルールに基づきこれから起こりそうな行動の予測を適切なタイミングで出力する。

**キーワード** パーベイシブセンシング、センサネットワーク、住居型行動計測支援環境、データマイニング、知能住宅

## Behavior Accumulation and Pattern Discovery in *Sensing Room*

Taketoshi MORI†

† Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo

Hongo 7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656 JAPAN

E-mail: †tmori@ics.t.u-tokyo.ac.jp

**Abstract** This paper proposes a behavior pattern discovery system based on accumulated behavior data in room-type sensing environment. The room called 'Sensing Room' is built as a first step of intelligent residence that remembers and supports living pattern. The behaviors in daily-life are recorded in the environment with embedded sensors, and the discovery system learns and predicts the characteristic patterns that would be followed by the behaviors to be predicted. The authors applied a method of discovering time-series association rules, which discovers frequent combinations of events that called episodes. The discovery system observes behaviors with the sensors in the room and outputs the prediction of the future behaviors based on the rules.

**Key words** Knowledge Discovery, Ubiquitous Sensing, Behavior Measurement, Pervasive Computing

### 1. はじめに

日常生活空間にセンサを埋め込み、住宅・部屋を知能化する試みは多数存在するが、過去に蓄積された情報に基づき人に対する支援を実現した例は必ずしも多くない [1], [2]。本研究では過去の情報を利用し、個人毎の生活習慣に合わせた支援を行う未来型住宅実現への第一段階として、行動に先んじた支援準備あるいは支援のために、蓄積された日常生活記録に基づいて生活行動のパターンを発見・把握するシステムの構築を目指す。それに基づき支援対象となり得る行動の発生を早期的に予測することを試みる<sup>(注1)</sup>。

### 2. 行動パターンの発見

#### 2.1 部屋型センシング環境による日常生活記録

本研究では部屋型センシング環境を用いて日常生活記録の生成及び住宅・居住者の状況把握を行う。部屋型センシング環境とは住居を構成する家具・家電機器などにセンサが組み込まれ、それらの状態やそれらに対する人の作用を計測する機能を備えた住居環境のことである。具体的には、研究室で構築中の「センシングルーム」環境 (Fig. 1) を用いる。日常生活記録とは部

(注1)：本研究はその一部を科研費若手研究 A(15680007) の援助により遂行し

ています。東京大学 21 世紀 COE「情報科学技術戦略コア」実世界情報システムプロジェクト RA の野口博史氏、東京大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻修士課程修了 (現日立) の高田有時氏の協力に感謝します。

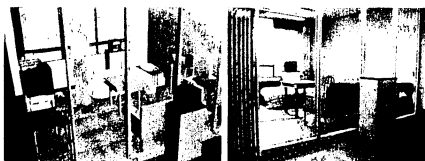


図1 センシングルームのデータ3D表示例と概観

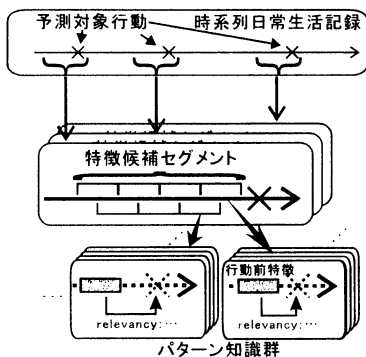


図2 行動パターン知識の生成

屋型センシング環境で計測された環境変化・居住者の行動を環境センサ群の時系列的出力として記録したものである。

## 2.2 生活支援のための行動パターン発見と予測

人間行動のパターンを利用した支援に関する従来研究の多くは、Web ページの閲覧中のリンク選択のような、行動が選択的に発生する問題領域においてユーザのモデルを構築し、次に発生する行動を予測することを主な目的としている。

一方、日常生活の行動に先んじて支援準備あるいは支援を行うには、「ある特定の行動が発生しそうな時に、それを十分な時間を残して早期的に検知することが可能であること」が求められる。また、早期的な行動予測を試みる以上、高精度な予測が常に可能であるとも限らないため、このことを許容して、行動パターンに基づいてある行動が予測されるという情報の他に、その予測の信頼度に関する情報も得られることが求められる。

## 2.3 行動パターン発見システム

そこで、実現すべき行動パターン発見システムは、

(1) 予測対象となる行動毎に日常生活記録から行動の発生前における特徴を発見・抽出して、その特徴と行動の間の時間的・確率的関係を知識として整理する。

(2) 日常生活のオンライン計測によるデータと、先に生成された行動パターン知識に基づくルールによって予測情報を出力する。

という2つの機能で構成されるものとする。以後、簡単のため、ある種類の行動(以下「予測対象行動」)の場合について、それを早期的に予測する処理を記す。

行動パターンに関する特徴発見機能の概要を Fig.2 に示す。まず、日常生活記録においてある一種の予測対象行動が発生した時刻それぞれに関して、その時刻以前の部分に複数の特徴候補セグメントを設定する。各セグメントの始点・終点は行動

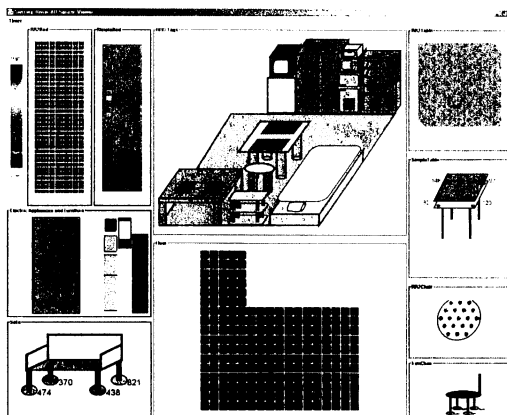


図3 センシングルームのセンサ(モジュール別)

発生時刻との相対時刻として定められる。次に、日常生活記録のうちこれらのセグメントに対応する部分に含まれる特徴を列挙し、予測対象行動との時刻関係が同一のセグメントに由来するもの毎にまとめる。また、それらの特徴の日常生活記録全体における出現頻度も算出することで、ある特徴が存在した場合に予測対象行動が、いつ、どの程度の確率で発生し得るのかという情報を得る。これらの情報をまとめたものを行動パターン知識とする。特徴の抽出及び表現には、後述する時系列相関ルール手法を用いる。

一般的に、時系列セグメントと行動発生時刻が離れるほどより早期的な予測に利用できるが、一方で行動と関連の深い特徴の発見が困難になる傾向にある。また、時系列セグメントの幅が大きいかほどより長期的な特徴を発見できる可能性があるものの、そのような特徴を用いた予測は必然的に行動発生時刻に関する誤差が大きくなる。

行動パターン知識に基づいて、実際の生活中に予測を行うには、やはり部屋型センシング環境においてオンライン計測を行い、計測中に行動パターン知識に利用されている特徴が出現した場合に、対応するパターン知識に基づいて発生が予測される行動及びその発生までの時間、予測の信頼度などの情報を出力する。このように、行動の計測・蓄積、パターン発見・抽出、パターン知識に基づく予測・支援は、同時並行的に進行させられる。

## 3. 時系列相関ルール法によるパターン特徴発見

本システムでは、パターン特徴の発見・抽出に Das らの時系列相関ルール法 [3] を参考にした方法を用いる。これは、時系列データをイベントの集合と見なし、イベント間の関係を分析するものである。イベントとは、その種類と発生時刻で表される情報要素である。本システムでは、日常生活記録中の環境センサ出力の変化をイベントとみなし、これによって日常生活記録をイベント列として表現する (Fig. 3.4)。HMM 等と比べ、ある特定のセンサの出力変化に注目した適切な処理が行い易い、値の変動が稀であっても問題が少ないといった特長を持つ方法

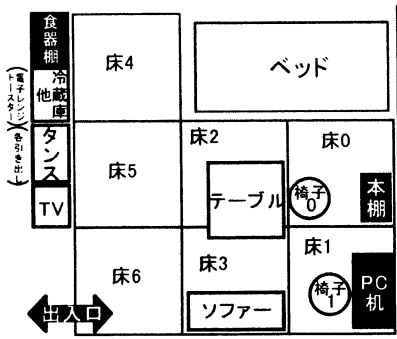


図4 部屋内のセンサとイベントとの関係

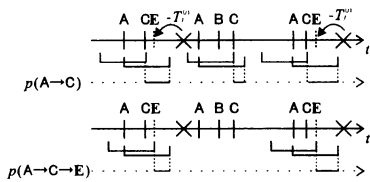


図5 行動パターン規則の適合率計算

である。

本研究で、パターン特徴はエピソードという複数種のイベントの組み合わせで表現される。例えば、食器棚の扉が開けられるイベントの後にテーブル上の荷重発生イベントと食器棚の扉が閉められるイベントが順不同で発生する、などである。ある時間幅で表される時系列セグメント内でこれらのイベントが条件を満たす順序で存在していれば、その他のイベントに関係なくエピソードが成立しているとする。対象とするイベント列全体に対して時系列セグメントウィンドウを移動させながらその中におけるエピソードの成立を判定することで、成立していたものの比率としてエピソードの出現頻度を得る。

### 3.1 早期予測のための行動パターン規則生成

行動パターン知識は、イベント及びエピソードの概念に基づいた行動パターン規則として表現される。ルールは、前提条件となる特徴すなわちエピソードと結論となる予測イベントから構成される。予測イベントとは予測対象行動の前に仮想的に設けられるイベントであり、その時刻は予測対象行動とエピソードが発見された特徴候補セグメントの時間関係に従う。行動パターン規則の適合率は、前提条件のエピソードとその最後に予測イベントを追加したエピソードそれぞれの出現頻度の比率として求められる (Fig. 5)。列挙されたエピソード全てについて生成されるルールから、適合率の極端に低いものや、適合率は高いものの条件成立が極端に稀であるものを選別するための評価基準としてJ値 [4] を用いる。

### 3.2 行動パターン規則を用いた予測出力

得られた行動パターン規則群の条件エピソードの出現を監視し、出現の時点で予測出力を行う。予測出力とは、予測される行動の種類他に、適用された予測ルールの信頼度、行動発生までの時間及びその誤差の情報である。信頼度はルールの適

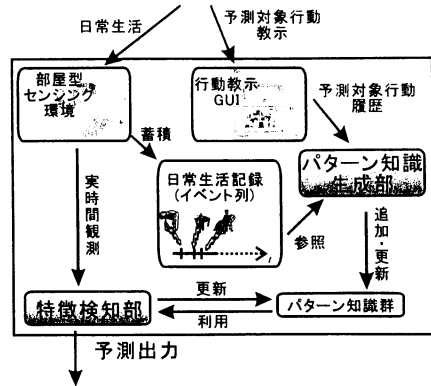


図6 オンライン計測蓄積・パターン発見・支援システム

合率、行動発生までの時間は予測イベントと予測対象行動の時間間隔、時間誤差は特徴候補セグメントの時間長となる。複数の行動パターンルールが同時に適用される場合は、適合率のみが異なるものについては最も高いものを採用する。

時系列セグメント内に含まれる特徴すなわちエピソードは、例えばセグメント内に  $A, B, C$  という3種類のイベントが順に存在した場合  $(A), (C), (B), (A \rightarrow C), (A \rightarrow B), (C \rightarrow B), (A, C), (A, B), (B, C), (A \rightarrow C \rightarrow B), ((A, C) \rightarrow B), (A \rightarrow (B, C)), (A, B, C)$  となる。

## 4. 構築した発見システム

以下の要素によって構成されるシステムを試作した。システム全体としては Fig. 6 のような構成となる。

### 4.1 部屋型センシング環境としてのセンシングルーム

日常生活記録の生成及び予測のためのオンライン計測には、研究室で構築している部屋型センシング環境センシングルーム [5], [6] を用いた。センシングルームは、人の存在を検知可能な床・椅子・ベッドセンサ、物体を検知可能なテーブルセンサ、タンスや冷蔵庫などの家具・家電機器の使用を検知可能なスイッチセンサなどによって構成されており、人はセンシングについて拘束されことなく長期間日常的な生活を行うことが可能である。

### 4.2 予測対象行動の教示に基づくルール生成・更新機能

センシングルーム内での日常生活中における過去の予測対象行動について、任意の時点で居住者が発生した予測対象行動の種類及びその時刻をシステムに GUI を通じて教示する。GUI には、予測対象行動の発生した時刻の候補が提示され、居住者はその中から適切なものを選択し教示する。システムは、教示が行われた場合、その行動に対応する特徴候補セグメントからエピソードの抽出を行い、それらに基づくルールの生成・更新を行う。

### 4.3 最新の行動パターン規則に基づく予測出力機能

行動パターン規則の生成・更新と並行して、実時間中の環境センサ出力に基づき予測出力を行う。予測出力にはその時点での最新のルールが用いられる。

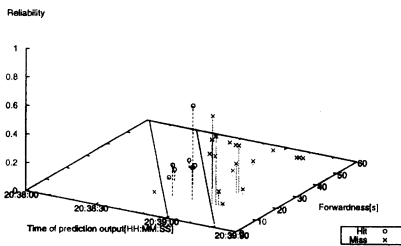


図7 外出行動の付近の予測出力

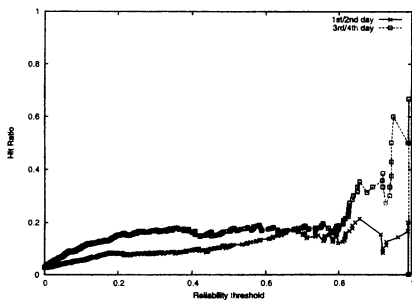


図8 外出行動の予測出力の信頼度と予測的中率の関係

## 5. パターン知識に基づく予測実験

構築したシステムの有効性を確認するために、日常生活中に数種類の行動が人により教示され、行動パターンルールが生成された場合に、それを利用して行われる予測出力を確認する実験を行った。

予測対象行動は外出・食事の開始などである。被験者はセンシングルーム内における4日間の生活を通じて、上に挙げた行動の後、その行動の時刻をGUIから教示するものとした。特徴候補セグメントは行動発生前5,15,25,35,45秒の点から各々さらに20秒前までの部分を採用した。

4日間の生活について出力された各行動に関する予測情報のうち、例として最終日における外出行動のうちの一つについてその前後における予測出力結果をFig.7に示す。図中の各点はそれぞれ外出行動に関する予測出力を表している。“Time of prediction output”は予測出力が行われた時刻，“Forwardness”は行われた予測出力の早期性、すなわちその予測出力が何秒後の行動を予測したものであるかを意味している。予測出力の時間誤差は特徴候補セグメントの長さすなわち20秒であるので、図中で“Forwardness”が15秒である予測は5秒後から25秒後間の行動を予測したものである。また，“Reliability”は予測出力の信頼度である。図中の実線は実際に発生した行動に対応する予測の存在すべき時間範囲を示している。従って、予測出力の時刻及びその早期性がこの間にあるものが「的中した」予測出力である。この例では、行動発生の約10秒から25

秒前に適切な予測が行われており、その後には行動発生の予想時刻を実際以上に遅く見積もった予測出力が続いている。

また、実験の1,2日目及び3,4日目における外出行動に関する予測出力の信頼度と的中率の関係をFig.8に示す。これらはそれぞれの期間において信頼度がある一定以上の予測出力に着目した場合にそれらの予測が実際に的中した割合を示したものである。横軸は着目する信頼度の閾値、縦軸は信頼度の条件を満たした予測出力の的中率である。この例では、信頼度が的中率の指標として有効であること、ならびに教示が積み重ねられた結果として、3,4日目は1,2日目に比べて予測出力の的中率が向上していることがわかる。

## 6. おわりに

日常生活記録を用いた行動パターン発見、それに基づく行動予測の考え方を示し、これを実現するシステムの構築を行った。このシステムは日常生活の予測対象である行動毎に、その行動に至るまでの日常生活環境中の環境センサ出力記録から関連の深い行動パターン特徴を発見し、この特徴の出現を監視することで予測を行う。

時系列相関ルール法により、生活記録をセンシングルーム内の環境センサ出力の変化を表すイベントの組み合わせとして表現し、このシステムを用いて実時間中に予測知識の更新と行動予測を並行して行う実験を4日間の日常生活について行い、実際に日常生活の行動のうち数種類について日常生活記録に基づいた行動予測が可能であることを示した。

本システムの手法を応用することで、外出や食事の準備開始などを予測して、例えば外出の場合は天気予報を、食事準備開始の場合は冷蔵庫内の食材情報などを提示することも考えられる。行動発生確率が高い時には音声で、低いときには目前にさりげなく表示する[7]といった方法をとることで、人にわずらわしさを感じさせない支援も可能になると期待される。

## 文 献

- [1] 日本経済新聞社: “知能住宅”, *日本経済新聞*, 朝刊科学面 (2005-05-09).
- [2] 森 武俊: “生活パターンを覚えて助ける知能住宅-センシングルーム2005-”, 電子情報通信学会技術報告 第二回ネットワーク・ロボット研究会, pp.20-24(2005).
- [3] G. Das, K. Lin, H. Mannila, G. Renganathan and P. Smyth: “Rule Discovery from Time Series”, *Proceedings of the Fourth International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, pp.16-22(1998).
- [4] P. Smyth and R. M. Goodman: “An Information Theoretic Approach to Rule Induction from Databases”, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, Vol.4, No.4, pp.301-316(1992).
- [5] T. Mori, H. Noguchi, A. Takada and T. Sato: “Sensing Room: Distributed Sensor Environment for Measurement of Human Daily Behavior”, *1st International Workshop on Networked Sensing Systems(INSS)*, pp.40-43(2004).
- [6] 森武俊, 佐藤知正: “人間共存ロボット: ロボティックルーム”, *システム・制御・情報*, pp.151-156(2000).
- [7] T. Mori, N. Hayama, H. Noguchi and T. Sato: “Informational Support in Distributed Sensor Environment Sensing Room”, *13th International Workshop on Robot and Human Interactive Communication(RO-MAN 2004)*, pp.353-358(2004).