

## 多段階のパターン認識を用いた歩行軌跡データからの顧客行動判別

豊嶋伊知郎<sup>†</sup> 服部可奈子<sup>†</sup> 吉田 琢史<sup>†</sup> 板倉 豊和<sup>†</sup> 小磯 貴史<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 株式会社 東芝 研究開発センター システム技術ラボラトリー  
〒 212-8582 川崎市幸区小向東芝町 1  
E-mail: [tichiro.toyoshima@toshiba.co.jp](mailto:tichiro.toyoshima@toshiba.co.jp)

あらまし RFID・センサーネットワーク・画像処理技術等に代表される各種ユビキタスデバイスの発展により、実空間内における人間行動データを収集し蓄積することが可能な環境が整いつつある。平行して、それらにより収集されたデータを使用した行動判別の研究も数多く行われている。我々は人が行動する空間の状況を把握し、様々な価値を向上させる手法に関して研究を行っているが、空間内での人の行動データの収集技術と、それらを用いた行動判別技術は不可欠の要素技術である。本研究では、ユビキタスデバイス中では比較的安価でありかつ一般化しているカメラ画像から得た歩行軌跡データを入力とした、店舗内顧客の行動判別手法を提案する。本手法は、軌跡データからの「基本行動」判別とその判別結果に基づいて計算された「基本行動量」を入力とする「顧客行動判別」の2段階から成る。キーワード 歩行軌跡, 行動判別, 基本行動量, 多段階パターン認識, 画像処理

## A Description of Customer behavior in a retail store ,using Multi - Layered pattern recognition

Ichiro TOYOSHIMA<sup>†</sup>, Kanako HATTORI<sup>†</sup>, Takufumi YOSHIDA<sup>†</sup>, Toyokazu ITAKURA<sup>†</sup>, and Takashi KOISO<sup>†</sup>

<sup>†</sup>  
E-mail: [tichiro.toyoshima@toshiba.co.jp](mailto:tichiro.toyoshima@toshiba.co.jp)

**Abstract** As we can collect the data of human behavior in real world using ubiquitous devices (e.g. RFID,sensor-network,video camera), many reserches on human behavior such as Human Behavior Description devices in recent days. But some methods,developed in the researches are not useful,because the devices are very expensive,and not enough to use in practical. In this paper,we proposed a new method of Human Behavior Description using image data captured from video cameras which track customers in retail store. Our method consists of two process,one is Primitive-Behavior-Description from human trail data,and the other is Customer-Behavior-Description from Primitive-Behavior-Quantity.

**Key words** human trail,behavior description,primitive behavior quantity,multi-layered pattern recognition,image processing

### 1. 研究の背景

#### 1.1 様々な空間の価値向上

近年の急速なユビキタスデバイス技術の発展により、実空間上の人間行動をセンシングできる環境が整いつつあり、行動視測や情報支援等の新しい便利なシステムの開発が進みつつある。

我々は、人が集まる空間<sup>(注1)</sup>の価値<sup>(注2)</sup>向上のための研究開発を行っているが、その実現には各種の要素技術が必要とされる [1]。

具体的には空間内の人間行動データを収集する各種センシング技術、収集されたデータを分析し特性を把握する行動分析技術、シミュレーションを行い空間設計の最適化を目指す行動モデリング技術・マルチエージェント技術等がある。

(注1) : 小売店舗・駅・遊園地等をイメージされたい

(注2) : 収益性・快適性等様々な指標が考えられる

本研究は上記における行動分析技術の一環であると同時に、現在開発中である人間行動のエージェントベースモデルの基礎的知見の蓄積の役割も併せ持っている。

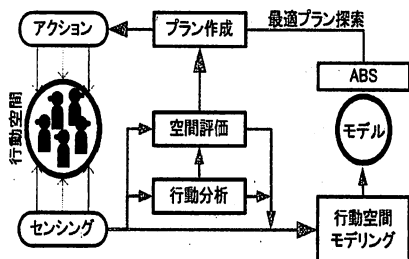


図1 空間の価値向上のフレームワーク

## 1.2 店舗内顧客行動

我々は価値を向上させる空間の一つとして、大規模小売店舗を想定しており、その収益性・快適性向上施策に関する研究を行っている。

小売店舗の中で顧客は様々な行動を行うが、店舗側が定量的に把握することで収益性改善につなげることのできる行動が存在する。以下はその一例である。

### (1) 迷走行動

店舗内で目的商品の売場がわからず、困っている状態

### (2) 購入検討行動

小売店舗内の目的商品売場で、購入検討/候補商品選択を行っている状態

### (3) 無目的行動

特定の目的商品を持たず来店している状態<sup>(注3)</sup>

### (4) 不審行動

「万引き」等に代表される異常行動

来店顧客に対して上記のような行動データを収集可能であるならば、店舗内外の改善施策に活用可能な情報となりうる。またリアルタイムな分析を行い、動的に販売員配置を行うことで売上の向上等を図ることが可能である。

以上の理由から、これらの行動を自動的に判別する技術が求められている。本研究の判別対象とする行動は、上記行動集合に代表される行動群である。

## 1.3 家電量販店実験の成果と課題

過去に我々は、家電量販店において Active-RFID 用いた歩行者行動観測システムにより店舗内顧客行動データの収集実験を数回にわたって実施した。

一連のデータに基づいた研究としては、大量の顧客行動データから顧客行動の傾向を抽出する「主線抽出手法」の開発<sup>[2]</sup>や、複数の確率分布の結合に基づく顧客行動モデルの構築があ

(注3)：家電量販店や郊外型大型小売店舗に多いパターンである

り<sup>[3][4]</sup>、それぞれ一定の成果を挙げている。

一方、上記観測システムでは店舗内の空間の表現を、有限個のスポット集合として定義しているが、これは売場等のシンボリックな表現である。

このような表現方法は、売場間の移動や売場毎の滞留時間を観測することは可能であり、行動分析やモデリングのプロセスでは、その粒度に対応した結果を得ることは可能であった。

一方、シンボリック表現を取ることで、1つの売場内での位置情報は、単一のスポットデータに縮退してしまう。たとえば、売場のどの辺りで立ち止まったのかという情報を確認することは不可能である。同様の理由で、一点で静止している行動と1つの売場内で往復を繰り返していた行動もデータ上では区別することができない。

以上の理由から、本研究が対象とする顧客行動は、シンボリックな空間表現の行動データから判別することは難しい。歩行者行動データをより詳細に収集するための、より高精度なデバイス及び手法が必要とされている。

## 2. 歩行軌跡データからの行動判別

前章の議論から、顧客行動判別のためにより詳細な行動データが必要とされている。今回我々が導入した行動データは2次元空間上の歩行軌跡データ(以後 軌跡データとよぶ)であり、データ取得デバイスとしてはビデオカメラを用いた。

### 2.1 ユビキタスデバイスの発展と近年の行動モデル研究

先述したように各種のユビキタスデバイスの発展が近年目覚ましい。

それらより得られるデータの一例を挙げると、画像処理技術における位置計測データや個人/視線識別データ、RFID に代表される無線通信系デバイスによる位置計測データ、加速度センサによる動作データ、脈拍・温度センサー等による生体情報データがある。またこれらを組み合わせることにより複合的なデータも取得可能である。

これらのセンシング技術と平行して、人間行動のモデル化や構築したモデルを用いたデータの判別/予測の研究も近年の潮流となっており、様々なモデルが数多く提案されている。

これらのモデルは、前述のデバイス群から得られたデータをモデル構築のための基礎データとし、パラメータ推定や精度評価に用いている。またこれらを用いたシステムも一部分野では実用化されている。

### 2.2 ビデオカメラを用いた歩行軌跡データ

本研究の目的は、ユビキタスデバイスから得られたデータから店舗内の顧客行動判別手法を構築することである。我々は、普及率や実用化可能性の点からビデオカメラを採用した。ビデオカメラから得る軌跡データは、フレームごとの2次元座標系の点列である。

ビデオカメラを用いる利点を以下で述べる。

#### (1) 低コスト

ユビキタスデバイス群の多くは、現状では開発途上の物も多く、動作の信頼性や供給継続性の点で不確実な点も多い。またコスト面からも、実装可能な価格にまで低下していないものも

多い。ビデオカメラは価格・普及率から考えた場合、上記の点に関しては使用に耐えうると考えられる。

また我々が対象としている小売店舗においては、防犯カメラ設置は常態化しており、既存インフラの活用という観点からも有効なデバイスであると考えられる。

(2) 設置の容易さ

ユビキタスデバイス中には音波センサーやRFIDリーダー等の、空間中に何らかの装置の設置が必要なデバイス群がある。これらの設置は、建築基準等に照らして設置が不可能である場合も多いしかし、前述の通り小売店舗等における防犯カメラ設置の状況から見ると、ビデオカメラの設置は比較的容易であると思われる

(3) 行動に与える影響の低さ

各種デバイスの中には、加速度センサーや生体情報センサーのように人体に装着してデータを収集/送信するものも多い。近年では軽量化や小型化が進んでいるため被観測者に与える物理的影響は軽微であると考えられる。

しかし、データを収集の事実から受ける心理的影響が存在する。とくに個人の性格や嗜好が行動に反映されやすい小売店舗においては、与える影響は無視できない。

ビデオカメラは顧客が装着する必要が無く、また日常性から、心理的影響に関しても、他のデバイスに比して少ないと思われる。

3. 本提案手法の概要

本手法の概略を述べる前に、主要概念である「基本行動」概念を導入する。

3.1 基本行動

1章にて述べた顧客行動群は、自然言語特有の曖昧さを含んでおり、定量的な定義ではない<sup>(注4)</sup>。

我々は、上記の行動群より客観的である基本行動の概念を導入し、上記行動群はそれら基本行動から構成されていると仮定する。

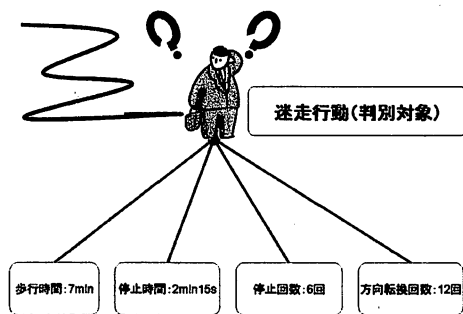


図2 基本行動のイメージ図

以下は現時点で導入している基本行動である。

(注4)：教師データ作成の困難性については後述

- 停止
- 歩行
- 走行
- 方向転換

これらは基本行動の一例に過ぎず、進展に応じて取捨選択や追加を行う予定である。

3.2 本手法の概要

本手法は、まず入力された軌跡データから計算される観測量を入力として基本行動判別を行う。次に、基本行動に基づいて計算される基本行動量を入力として顧客行動判別を行い、結果を出力する。基本行動量は一般的な判別問題の特徴量に相当する。

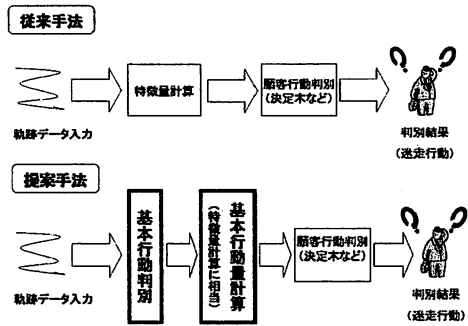


図3 従来手法との比較

基本行動量の計算方法については5章を参照されたい。

3.3 基本行動導入の利点

基本行動概念を導入することの利点を以下に述べる。

(1) 知識の再利用性向上

本手法において採用した基本行動量は、いずれも観測データに依存しない一般的な形式である。将来的に、本報告と異なるデータやデバイスを用いて行動判別を行う場合、その時点で有効性が確認されている基本行動量を用いることが可能である。

(2) 変数選択作業の効率化

精度の高い行動判別を行うには、判別に適した特徴量を選択する必要があり、特徴量の設定とそれらの取捨選択は必須の作業である。

本手法の基本行動は、比較的客観性の高い基本行動に基づいており「店内で迷っている人は、頻繁に方向転換する」や「不審行動は、一ヶ所で立ち止まり続けた後に走り出す」等の直観的認識を取り入れることが可能である。基本行動は、パターン認識の非専門家<sup>(注5)</sup>の知見を取り入れることができるという点でも有効である。

(注5)：販売員や顧客自身など。

#### 4. 軌跡データ収集実験概要

以下では、本研究にて使用している軌跡データの収集方法について述べる。

体育館のコート上に仮想店舗を設定し、その空間内をシナリオに基づいた行動を撮影して軌跡データを抽出した。

今回撮影した行動は、「購買検討行動」や「迷走行動」等、我々が小売店舗において判別対象としている行動であり、これらのデータを用いて後述の決定木を作成する。

##### 4.1 仮想店舗の設定

設定した仮想店舗を図4に示す。

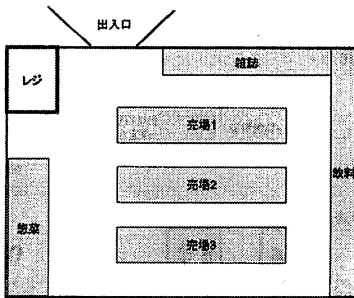


図4 今回設定した仮想店舗

本手法の応用範囲は本図にて表現されるような、中小型仮想店舗のみを対象とするものではなく、より大型の小売店舗も含まれる。今回は実験空間の制約と、小売店舗内の一連の行動<sup>(注6)</sup>を再現する必要性から上記の規模を決定した。

##### 4.2 色抽出による軌跡データ取得

今回得られた軌跡データは、「色追跡」と「実座標への変換」の二つのプロセスにより得られた。使用した画像データの形式はAVIであり、解像度は320×240、フレーム間隔は15fpsである。

色抽出プロセスでは、まず特定の色を指定しその指定色のRGB空間における近傍空間を構成する。指定色は観測対象の歩行者の着衣のうち一定量以上の面積を占める部分の色を用いた。データ中の各フレームごとに、上記近傍空間内に含まれる色の重心点を計算し、そのフレームにおける観測対象の座標とするが、直前フレームの重心点から一定距離以上離れている点に関しては重心計算の対象としない。

一連のフレームに対して以上の処理を行うことにより、画像座標系における軌跡データが抽出される。

##### 4.3 線形変換による実座標への変換

異なる二ヶ所から同一の行動を撮影し前節の手法を用いて画像座標系の軌跡データを抽出した。それら2つの軌跡データから、実座標系の軌跡データへの変換を行った。変換に用いた実

数行列の各要素は最小二乗法により決定した。

図5は変換後の軌跡の一例である。

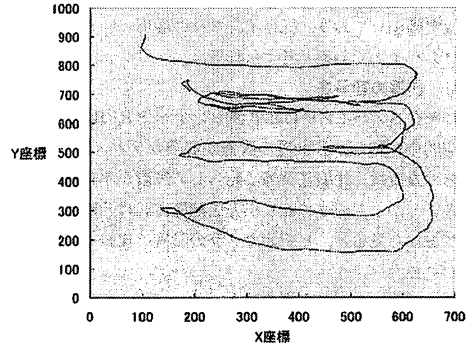


図5 「迷走行動」の軌跡列

実座標に変換せず、画像座標系の軌跡に対して直接判別を行うアプローチも考えられるが、その場合データには画像の特性が反映される。将来的な軌跡抽出デバイスの変更も考慮した場合、より一般的な結果を得ることが望ましい。それゆえ今回は実座標変換を行い、実座標系における軌跡データを生成した。

#### 5. 基本行動量(特徴量)計算

本章では基本行動量の計算方法およびその準備に関して述べる。

##### 5.1 前提となる観測量の計算

本節では、基本行動判別への入力となる観測量の計算方法を述べる。以下では $N$ は軌跡データの総フレーム数、 $T$ はフレーム間隔である。またFPSを1秒あたりのフレーム数とする。

##### 定義 軌跡データ

軌跡データは基本行動判別への入力データであり、一名の人間の位置座標をフレームごとに記録した $R^2$ ベクトルの列である。形式的な定義を以下で与える。

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_{N-1}, x_N\}, (x_i = (x_i^{(x)}, x_i^{(y)}))$$

$x_i^{(x)}, x_i^{(y)}$ はそれぞれ $i$ 番目のフレームにおける観測対象者の $x$ 座標および $y$ 座標である。

##### 定義 方向ベクトル列

方向ベクトル列は、軌跡データ列より各時点間の方向ベクトルを計算することによって得られる $R^2$ ベクトルの列である。

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_{N-2}, v_{N-1}\}, (v_i = x_{i+1} - x_i)$$

##### 定義 ノルム列

ノルム列は、方向ベクトル列の各要素のノルムを計算することによって得られるスカラー列である。

$$D = \{d_1, d_2, \dots, d_{N-2}, d_{N-1}\}, (d_i = |v_i|)$$

(注6)：入店、購入商品決定、支払、退店等

## 5.2 基本行動判別及び基本行動量計算

本節では基本行動判別及び、それに基づく基本行動量の計算方法を述べる。基本行動は各フレーム間に対してラベル付けされるものであり、各基本行動の判別結果は  $N-1$  または  $N-2$  要素の列を作る。

### 定義 停止行動列

停止行動列  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_{N-1}\}$  は以下で定義される。直視的には、その時点で停止していれば 1、停止していなければ 0 である。また閾値  $Th_{stop\&walk}$  は、別途収集した行動データから推定された線形判別関数により決定される。

$$s_i = \begin{cases} 1 & \forall k, d_{i+k} < Th_{stop\&walk} (k < |FPS|) \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

停止行動列  $S$  により、基本行動量の停止時間  $ST$  および停止回数  $SE$  を求める。

$$ST = T * \sum_{k=1}^{N-1} s_k$$

$SE$  は、 $s_i = 1$  である連続系列の個数をカウントすることで求められる。

### 定義 歩行行動列

歩行行動列  $W = \{w_1, w_2, \dots, w_{N-1}\}$  は以下で与えられる。また閾値  $Th_{walk\&run}$  は  $Th_{stop\&walk}$  と同様の方法で、歩行データと走行データから決定される。

$$w_i = \begin{cases} 1 & d_i < Th_{walk\&run} \wedge s_i \neq 1 \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

歩行行動列  $W$  に基づいて、 $ST$  と同様の方法で、歩行時間  $WT$  も求められる。

### 定義 走行行動列

走行行動列  $R = \{r_1, r_2, \dots, r_{N-1}\}$  は以下で与えられる。

$$r_i = \begin{cases} 1 & s_i \neq 1 \wedge w_i \neq 1 \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

走行行動列  $W$  にもとづいて、 $ST, WT$  と同様の方法で歩行時間  $RT$  も求められる。

### 定義 方向転換行動列

方向転換行動列  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_{N-2}\}$  は以下で与えられる。

$$c_i = \begin{cases} 1 & \cos\theta < 0 \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

$\cos\theta$  は  $v_i$  と  $v_{i+1}$  から決定される両ベクトルのなす角である。

方向転換行動列  $C$  にもとづいて、 $SE$  と同様の方法で方向転

換回数  $CE$  も求められる。

以上の基本行動量  $ST, SE, WT, RT, CE$  を特徴量として、該当軌跡のデータの顧客行動判別を行う。

## 6. 顧客行動判別

基本行動量計算後の最終的な顧客行動判別は、一般的なパターン認識の問題に帰着される。基本行動量データの特性や応用方法に応じた手法を選択することが望ましい。k-NN 法等の様々な手法が想定される場所であるが、現在我々は決定木を判別機械として用いている。

決定木を用いる利点としては、ひとつには *Boosting* 等の精度向上に関する先行研究の蓄積もあるが、最も大きい理由は行動理解の促進である [6]。

基本行動と、我々が判別したい抽象度の高い行動間の関係は、現時点で十分な知見は得られていない。一般的に言われるように、決定木は結果の可読性が高く、その出力結果は顧客行動理解の一助となる。

以下は期待される知識の一例である。

- 各行動の主要因子の発見
- 各行動間の類似性の発見

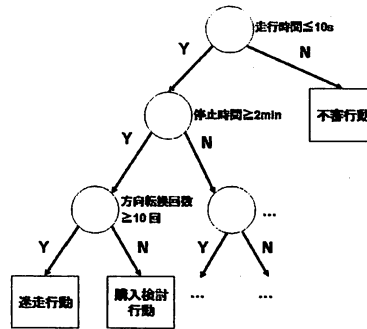


図 6 決定木イメージ図

## 7. 研究課題

本章では本提案手法の課題について述べる。

### 7.1 基本行動量判別制度の向上

本稿中で用いた基本行動の判別は、各フレームごとに、主として移動速度に基づいた判別を行っている。各フレームにおける判別結果は、観測誤差や判別手法そのものの限界から、一定の誤判別が発生する。

後半のプロセスである顧客行動判別の計算は、基本行動量の正確な計算を前提としており、基本行動判別の精度向上は必須条件である。今後は時系列解析手法を併用し、判別精度の向上を目指す。

### 7.2 教師データ作成手法の確立

4章で見たように、本手法に用いられる軌跡データはビデオカメラより得られるため、観測データそのものの収集と蓄積は

比較的容易である。一方で、決定木作成に用いる教師データの作成には困難が存在する。

教師データ作成のためには、各軌跡データ(対応する画像データでもよい)に「何の行動をしているか」というラベル付けが必要となるが、ラベルには一定の不確実性が伴う。

本論文中の実験方法のように、シナリオによるデータを用いた場合、演じていることからくる行動への影響が存在する。逆に、シナリオのない状態で撮影した映像を使用する場合、自己/他者が後からラベル付けを行う必要があるが、間違ったラベリングが発生することは想像に難くない。

この問題に対応したラベリング基準を作成することは、問題の根源性ゆえに困難である。現段階では実験を繰り返すことで、実用上問題のない手法を構築する予定である。

### 7.3 データ特性の把握と解決

今回使用した軌跡データは、ビデオカメラから得たものであった。歩行者軌跡を収集可能なユビキタスデバイスは、RFIDや音波センサーなどが存在するが、それぞれ観測誤差やセンシング間隔は異なる。

本手法はデバイスに依存しない軌跡データの判別手法の確立を目標としており、今回使用していないデバイスに関しても特性を把握し、より汎用性の高い技術開発を行いたいと考える。

## 8. 結 論

本論文では、ビデオカメラから得た軌跡データに基づく店舗内顧客行動判別手法を提案し、本手法の特徴である基本行動判別手法について詳述した。また主としてデータ取得に関する課題を抽出した。

今後は上記課題の解決を中心として、技術開発を進める方針である。

## 文 献

- [1] 今崎直樹. 群集の行動観測と分析. 信学技報, Vol. 105, No. 573, pp. 75-80, January 2006. ISSN : 0913-5685.
- [2] 小磯貴史, 服部可奈子, 吉田琢史, 今崎直樹. 歩行者動線分析システムを用いた大型家電量販店での行動分析. 情報処理学会研究報告, No. 2, pp. 61-66, 2003.
- [3] 豊嶋伊知郎, 小磯貴史, 吉田琢史, 服部可奈子, 今崎直樹. ユビキタス情報に基づく店舗内回遊モデル. 信学技報, Vol. 104, No. 727, pp. 61-66, March 2005. ISSN : 0913-5685.
- [4] 豊嶋伊知郎, 小磯貴史, 吉田琢史, 服部可奈子, 今崎直樹. 店舗内回遊モデルの定性的検証. 信学技報, Vol. 105, No. 361, pp. 7-12, October 2005. ISSN : 0913-5685.
- [5] 渡辺隆之. 店舗内購買行動とマーケティング適応-小売業とメーカーの協働局面-. 千倉書房, 2002. ISBN:4-8051-0781-2.
- [6] 福田剛志, 森本康彦, 徳山豪. データマイニング. 共立出版, 2001. ISBN:4-320-12002-7.
- [7] Jerome H. Friedman Trevor Hastie, Robert Tibshirani. *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*. Springer-Verlag, 2001. ISBN:0387952845.