

店舗内に設置した全方位視覚センサによる顧客の行動解析

藤本喜彦[†] 小原ゆう[†] 柴田史久^{†††}
馬場口 登^{††} 八木康史[†]

あらまし 不審者の発見, 痴呆老人の監視, さらには商店街でのマーケティングなど人の行動解析へのニーズは高く, これまでに多くの行動解析システムが提案されている. 我々は, 広域空間の観察をシームレスに行える全方位視覚センサを用いた人物行動解析システムの構築を目指し, 実時間人物情報計測手法や個人認証手法などを実現してきた. 本稿では, これまで構築してきた実時間人物情報計測手法を用い, コンビニなどの店舗内における顧客行動の解析システムを提案する. 提案システムでは, 全方位映像から顧客の位置や移動速度を計算し, それらの情報から「店内をどのように移動したか」, 「どの商品に興味を示したか」といった顧客の活動状況を獲得することができる.

Behavioral Analysis of Customers by the Omnidirectional Sensor Installed in the Store

YOSHIHIKO FUJIMOTO, [†] YU OHARA, [†] FUMIHISA SHIBATA, ^{†††}
NOBORU BABAGUCHI ^{††} and YASUSHI YAGI [†]

Abstract The demand for a behavioral analyzing system is increasing in a variety of situations, so many systems have been proposed. We aim at constructing a behavioral analysis system which uses omnidirectional sensors for seamless observation in a wide-area. In this paper, we propose the system which analyzes customer's behavior by the technique for real-time person feature extraction. The features acquired from omnidirectional image enable us to know customer's behaviors such as how customers move inside of a shop or in which merchandises they show an interest.

1. はじめに

近年, 不審者の発見, 痴呆老人の監視, さらには店舗や商店街におけるマーケティングなど様々な分野で人の行動解析へのニーズが高まっている [1-6]. 例えば

商店街での顧客行動観察は, 店舗におけるレイアウト変更, 犯罪傾向, 売れ筋商品の把握などの目的に利用することができる.

一般に, このような行動解析システムでは人の出現場所や時刻が特定できないことから, 環境全体を常に監視しておく必要がある. こういった要求に対し, 全方位視覚センサは周囲 360 度の視野情報をシームレスに実時間観察可能であるため, 広域の行動観察に適していると言える. 図 1 は, 上向きカメラと下向きのミラーで構成された全方位視覚センサの一例である.

従来より, 全方位視覚センサを用いた人物の行動解析システムとして様々なシステムが提案されている.

[†] 大阪大学 産業科学研究所
I.S.I.R., Osaka University
^{††} 大阪大学大学院 工学研究科
Graduate School of Engineering, Osaka University
^{†††} 立命館大学 理工学部情報学科
Department of Computer Science
Faculty of Science and Engineering,
Ritsumeikan University

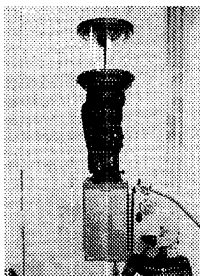


図 1 全方位視覚センサ
Fig. 1 Omnidirectional sensor

石黒らは、多数の全方位視覚センサを用いることで、広範囲を対象とする実時間人間追跡を実現し、さらに位置や方位に依存しないモデル VAMBAM を用いた実時間ジェスチャ認識システムを提案している [4]。また、青木らは全方位視覚センサに能動型カメラを組み合わせたシステムにより人物の異常の有無を判断する独居高齢者見守りシステムを提案している [5]。上記の例からも分かるように、行動解析はさまざまな場面で社会からのニーズが高まっていると言える。

一方、我々のグループにおいても、実時間で複数人物を発見・追跡できるシステム [7]、全方位カメラの横を通り過ぎる人物の顔画像から個人を特定する個人認証技術 [8]、さらに全方位の映像から異常発生部分 (イベント) のみを抽出し、時空間中でどのようなイベントがあったかを可視化、映像全体を要約するシステムを構築してきた [9]。我々のグループを含めこれらの研究は、全方位ビジョンにおける人物情報処理技術の基本技術の開発が主目的で、より実践的なシステムの開発が望まれている。

本稿では人物行動解析の応用として、全方位視覚センサを店舗内に設置し、その映像から顧客の行動を解析するシステムを提案する。ここで「顧客の行動」とは、「店内をどのように移動したか」、「どの商品に興味を示したか」といった活動状況に関する情報を指す。提案システムでは、これらの情報を全方位映像から顧客の位置および移動速度を推定・解析することにより獲得している。

ところで、店舗を対象とした行動解析システムの従来研究として、Brickstream System がある [6]。このシステムは、店舗の天井に設置した複数のカメラで取得した画像から顧客の移動軌跡を抽出し、この移動軌跡を解析することによって、各時間帯のレジの待ち時間などを推定するものである。我々が提案するシステムでは、全方位視覚センサを用いることで、同様の情報を 1 台のカメラで獲得することができるだけでなく、

各顧客の入店から出店までの一連の行動を他の顧客との関連を踏まえて途切れなく観察することができる特徴を有する。

以下、2 章で我々が提案する顧客行動解析システムについて説明し、3 章で、実際に店舗内の様子を全方位視覚センサで撮影した映像に対してシステムを適用した結果を述べ、4 章で、本稿のまとめと今後の課題を述べる。

2. 顧客行動解析システム

2.1 システムの概要

提案システムでは、全方位画像から人物領域を検出、その位置・速度情報を計測し、顧客の移動軌跡や時間の推移に伴う顧客の移動速度の変化状況を推定することで活動状況の解析を行う。

図 2 にシステムの概要を示す。以下、システムの各処理について説明する。

2.2 人物領域検出

人物の追跡を行うためには、まず全方位画像から人物領域を検出する必要がある。提案システムでは、背景差分法によって人物領域を検出する。図 3 に処理の流れを示す。

まず、環境に何も映っていない画像を背景画像としてあらかじめ取得しておく。この背景画像と全方位入力画像との差分を計算し、動的しきい値処理により 2 値化することで変化領域を検出する。さらに変化領域に対して極座標変換を行い、全方位視覚センサを中心とした方位ヒストグラムを作成する。このヒストグラム中で、閾値以上の頻度を持つ区間を人物領域とする。

このとき、時間の推移に伴う照明条件の変化や環境に不動物体が置かれるなどの背景の変化に対応するため一定間隔で背景画像の更新を行う。提案システムでは店舗内での顧客の興味を抽出することを目的としているため、立ち止まることは重要な情報となる。そこで、背景更新においては、人物領域以外の領域に対し

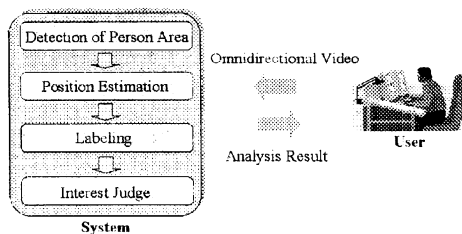


図 2 システムの概要
Fig. 2 System configuration

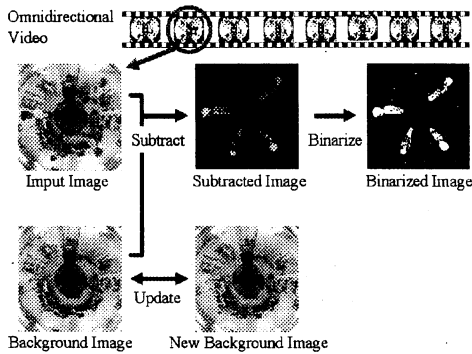


図3 人物領域検出

Fig. 3 Detection of person area

てのみ背景更新の対象とすることで、停留している人が背景に溶け込み、発見不可能とならないようにしている [7].

2.3 人物位置推定

実環境における人物位置を推定するために、検出した人物領域から足元座標、頭頂座標、人物方位を求め、手法としては、観測された足元座標を床面拘束により床面座標系に射影することで奥行きを推定する。一般に、人物が比較的センサから離れている場合は、足元座標を用いることができるが、人物がセンサに近く、足元部分が視野外となる場合は、上記の方法では奥行き推定ができない。そこで、通常、顧客は遠方から近づいてくることを利用し、足元が観測できる間に推定された位置情報と頭頂座標から顧客の背丈 h を推定し、頭頂座標を用いて全方位画像上の座標から、実環境上の座標への変換を行う。

具体的には、まず検出された人物領域の中で、最も差分頻度の大きな方位をその人物の方位 θ とする。次に画像中におけるセンサの中心座標 (c_x, c_y) から人物方位に点を走査していき、最も (c_x, c_y) に近い点の座標を人物の足元座標 (f_x, f_y) として取得する。さらに走査を続け、最も (c_x, c_y) から遠い点の座標を人物の頭頂座標 (h_x, h_y) として取得する。足元座標 (f_x, f_y) (または頭頂座標 (h_x, h_y)) と (c_x, c_y) との距離 l を式 (1) を用いて実環境での距離 L に変換する。

$$l = \frac{Lf(b^2 - c^2)}{(b^2 + c^2)(Z - c) - 2bc\sqrt{L^2 + (Z - c)^2}} \quad (1)$$

ここで、 b 、 c はミラーのパラメータ、 f はカメラの焦点距離、 Z は地表からミラーの焦点までの高さを表す。頭頂座標を用いる場合は、 Z から人物の身長 h を引い

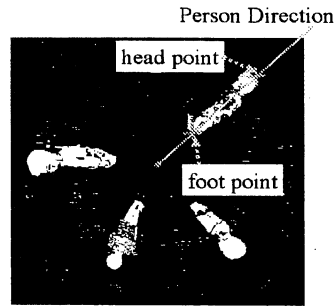


図4 人物位置推定

Fig. 4 Position estimation

ておく。この L と人物方位 θ から以下の式 (2) で実環境における人物位置を求めることができる。

$$\begin{cases} x = L \times \cos \theta \\ y = L \times \sin \theta \end{cases} \quad (2)$$

2.4 人物のラベル付け

前述した人物領域の検出を時系列で繰り返しながら前画像の人物領域 R_1 と現画像の人物領域 R_2 の重なりから各人物の追跡を行う。つまり、 R_2 の方位 θ_2 が R_1 の内部にあれば、 R_1 と R_2 を同じ人物として対応付ける。以下、人物領域に応じて4通りに場合分けし、人物のラベル付けを行う。

- 1) 人物領域が新しく出現した場合、新しく出現した人物領域に新たなラベルを付ける。
- 2) 1つの人物領域が1つの人物領域に対応する場合、前の人物領域が現在の人物領域に対応するものとして同じラベルを付ける。
- 3) 2つの人物領域が1つの人物領域に対応する場合、オクルージョンが発生したものとして新しいラベルを付ける。
- 4) 1つの人物領域が2つの人物領域に対応する場合、2つの人物領域それぞれに新しいラベルを付ける

提案システムのラベル付けでは、オクルージョン発生後の人物の対応付けは行っていない。これについては、領域間距離を用いて対応付けを行う手法などがあり、今後の課題とする [10].

2.5 興味判定

顧客がある棚の商品に興味を示した場合、その商品を確認するためゆっくりと歩行するものと考えられる。すなわち、歩行速度と興味の間には相関関係があるものと推察される。そこで、本システムでは人物の移動速度がある閾値以下になったときに「停留」したもの

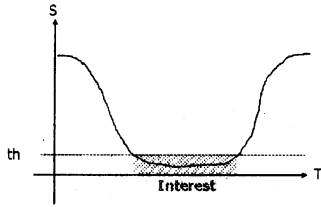


図 5 興味判定
Fig. 5 Interest judge

として、その時点での人物位置から最も近いところにある棚を調べることでの商品に興味を示したかを判定する。移動速度 s は前画像と現画像における人物の位置 (p'_x, p'_y) , (p_x, p_y) を用いて以下の式 (3) で求めている。

$$s = \frac{\sqrt{(p_x - p'_x)^2 + (p_y - p'_y)^2}}{t} \quad (3)$$

t は前画像と現画像との時間差である。

図 5 に例を示す。図中の横軸、縦軸はそれぞれ時間、移動速度を表しており、グラフは人物の移動速度の推移である。例では、斜線部分で移動速度が閾値以下になっているためこの部分を“興味を示した”と判定する。

2.6 システムのインタフェースと機能

ここでは、実装した行動解析システムのインタフェースおよび機能を説明する。システムのスクリーンショットを図 6 に示す。本インタフェースは「顧客の動線」と「停留と商品との関係」をユーザに提示するためのもので、以下の 3 つの部分で構成される。

1) 空間マップ部

環境のレイアウト図である。これは環境のサイズ、棚の大きさなどを実測し作成した。この画面では顧客の移動軌跡を表示することができる。移動軌跡は、顧客の移動速度、あるいは顧客ごとに色分けして表示することができる。長時間のデータに対して顧客の軌跡をまとめて表示した場合、それらが重複して見づらくなることが考えられるため、マップ内のマーキングを 1 回クリックすると、その人物の軌跡のみが点滅するようになっている。このとき、その人物に対応する速度グラフも同時に点滅する。さらにダブルクリックすると、そのマーキングの前後 5 秒間の映像が映像提示部にて提示される。

2) 速度グラフ部

横軸を時間、縦軸を移動速度とし、時間の推移に伴う顧客の移動速度の変化を提示する。ここでは、

顧客ごとにグラフを色分けしている。空間マップと同様、点をクリックすることによりグラフが点滅する。このとき、その人物に対応する空間マップの軌跡も同時に点滅するようになっている。またダブルクリックすると、その点の前後 5 秒間の映像が提示される。

3) 映像提示部

全方位映像を顧客方向の透視投影映像に変換したものを提示する [11]。このとき、時間と顧客のラベル番号も同時に提示する。

次にインタフェース下部にある各ボタンについて説明する。

“trajectory”

指定したラベル番号の移動軌跡と速度グラフを表示する。特定の顧客の動き、停留状況を知ることができる。

“distribution”

映像全体での顧客の分布を表示する。どの辺りに人が集まっていたかといった傾向を知ることができる。

“flash”

指定したラベル番号の移動軌跡と速度グラフを点滅させる。大量のデータから特定の顧客情報のみをクローズアップして見ることができる。

“label/speed”

移動軌跡の表示色を各顧客ごと、あるいは移動速度に応じて変化させる。どの商品の付近で停留が起こったかなどの情報が得られる。

“range select/normal”

領域指定、時間指定、速度指定を行うモードに切り替える。これにより特定の時間帯での顧客の動きや、特定の場所における人の集まり具合などを知ることができる。

3. 評価実験

実際の店舗にて撮影した映像を用いて試作システムの評価を行った。

3.1 実験環境

大阪大学豊中キャンパスの生活協同組合購買部福利厚生センター 2 F 店の協力で店舗内に高解像度全方位視覚センサを設置し、撮影を行った。今回の実験では、店舗内全域の観察を行いやすくするために、高解像度のハイビジョン全方位視覚センサを用いた。図 7 に実験環境を示す。右図は店舗のレイアウトで、表は棚番

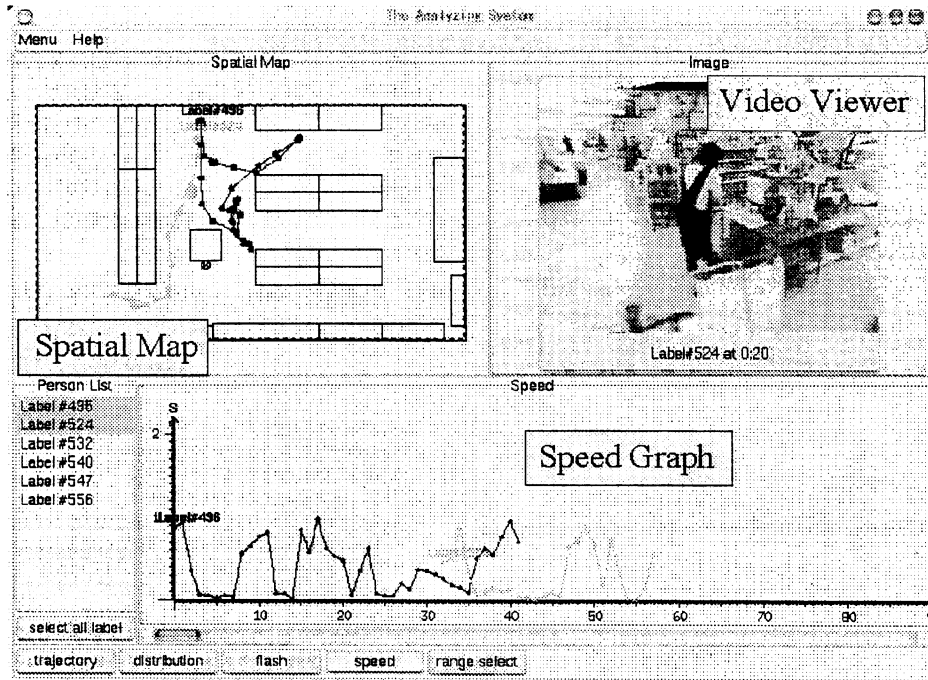


図 6 スクリーンショット
Fig. 6 Screen shot

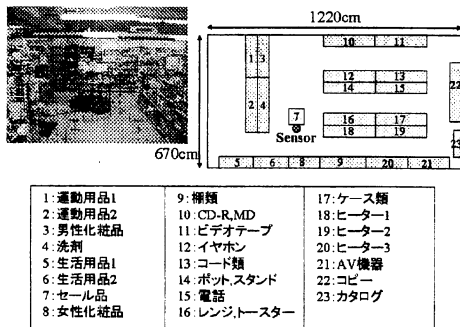


図 7 実験環境
Fig. 7 Experimental environment

表 1 全方位視覚センサの構成機器
Table 1 Configuration of omnidirectional sensor

ミラー	セイワ・プロ「HX-S10/HA-15Hi」
レンズ	FUJINON「HA15×8BEVM-G28」
カメラ	Sony「DXC-H10」

号と商品との対応関係である。また、実験で使用した全方位視覚センサの構成機器を表 1 に示す。

今回は実験映像として、平成 15 年 12 月 10 日の午

前 10 時から午前 12 時までに撮影した 2 時間分の映像に対してシステムを適用した。

3.2 実験結果

以下、システムの出力結果を示す。

- 顧客全体の情報 (図 8)
色の濃淡で顧客の移動速度を表している。顧客が停留した部分は色が濃くなっている。
- ある顧客の行動情報 (図 9 から 図 11)
移動軌跡、速度グラフ、透視投影画像を示す。

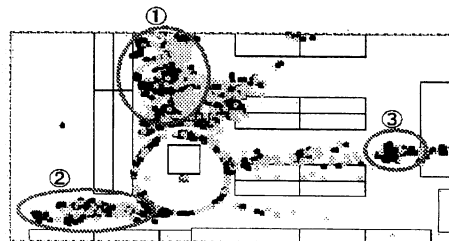


図 8 顧客全体の統計結果
Fig. 8 Total result

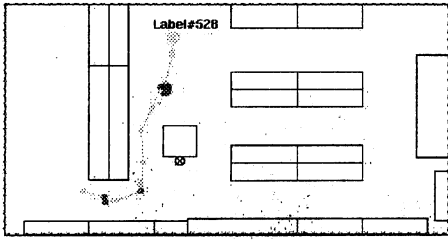


図9 移動軌跡
Fig. 9 Trajectory

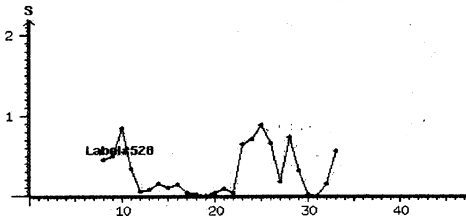


図10 速度グラフ
Fig. 10 Speed graph

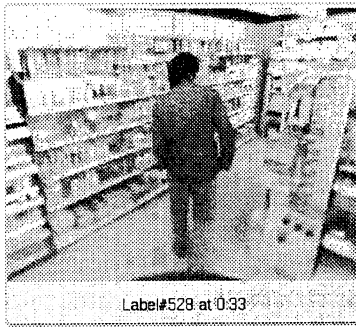


図11 顧客の様子
Fig. 11 Image of a customer

3.3 考察

統計結果により、「どこをよく人が通っているか」「どの辺りで停留しているか」といった顧客全体の動向についての大まかな情報を得ることはできた。図8の①、②、③は人がよく通過、停留していた場所である。①、②は環境への出入り、③はコピーを使用する学生が多かったことが理由として考えられる。

また、移動軌跡、速度グラフ、画像提示により特定の顧客について「店舗内をどのように移動したか」「どの商品に興味を示したか」を示すことができた。しかし、実験で使用した映像が2時間と短かったため顧客の行動パターンなどの情報を得ることはできなかった。

4. まとめ

本稿では、全方位視覚センサを用いた店舗内顧客の行動解析システムについて述べた。評価実験から、提案システムにより顧客の商品志向などの情報が獲得できることを確認した。今後は、商品との関係を自動的に抽出する部分の実装を行い、さらに長時間の観察を行うことで、同店舗での消費者動向を解析し、提案手法の有効性を確認する予定である。

謝辞 本研究の一部は、文部科学省科学研究費の補助を受けた。

参考文献

- 1) Kawasaki Naoyuki, Takai Yoshiaki, "Video Monitoring System for Security Surveillance based on Augmented Reality," The 12th ICAT, pp.180-181, 2002.
- 2) Sharath Pankanti, Andrew Senior, Lisa Brown, Arun Hampapur, Ying-Li Tian and Ruud Bolle, "PeopleVision: Privacy Protection in Visual Surveillance," IEEE Pervasive Computing Work in Progress Volume 2 No.1, January-March 2003, p.96
- 3) 青木 茂樹, 大西 正輝, 小島 篤博, 福永 邦雄, "人物の行動パターンの学習・認識と独居高齢者の非日常状態検出への応用," 第18回生体・生理工学シンポジウム論文集 (BPES2003), 3B1-3, pp.311-314, Oct. 2003.
- 4) 石黒浩, "分散全方位視覚による人間行動の認識," 情報処理学会研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア, No.131, pp.25-28, 2002
- 5) 青木優太郎, 土居元紀, "複数の全方位画像センサと能動型カメラを併用した独居高齢者見守りシステム," 平成14年度情報処理学会関西支部大会講演論文集, p.45-48, 2002.
- 6) Brickstream 社: Brickstream System, "http://www.brickstream.com/"
- 7) Takamasa Mituyoshi, Yasushi Yagi, Masahiko Yachida, "Real-time Human Feature Acquisition and Human Tracking by Omnidirectional Image Senso," Proc. IEEE Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems, pp.258-263, 2003.
- 8) Yu Ohara, Yasushi Yagi, Taro Yokoyama and Masahiko Yachida, "Face Identification Using Omnidirectional Image Sequence," IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.275-280(2002).
- 9) N. Babaguchi, Y. Fujimoto, K. Yamazawa, and N. Yokoya, "A system for visualization and summarization of omnidirectional surveillance video," Proc. 8th Int. Workshop on Multimedia Information Systems (MIS2002), pp.18-27, Oct. 2002.
- 10) 市川徹, 山澤一誠, 竹村治雄, 横矢直和, "高解像度全方位ビデオカメラを用いた遠隔監視システムにおけるイベント検出," 電子情報通信学会技術研究報告書, PRMU2000-213, Vol.100, No. 701, pp.87-94, Mar. 2001.
- 11) Y. Onoe, K. Yamazawa, H. Takemura, and N. Yokoya, "Telepresence by Real-Time View-Dependent Image Generation from Omnidirectional Video Streams," Computer Vision and Image Understanding, Vol.71, No.2, pp.154-165, Aug. 1998.