

M-066

大型店舗におけるセンサを用いた人・スポットの状況推定の試み — e空間実現のための人・環境センサ活用 —

In-Store Context Estimation Using Sensors

- Application of Human and Environmental Sensing for Development of e-Space -

宮崎 陽司† 小西 勇介† 中尾 敏康† 小柴 等‡ 相原 健郎‡ 武田 英明‡
Yoji Miyazaki Yusuke Konishi Toshiyasu Nakao Hitoshi Koshiba Kenro Aihara Hideaki Takeda

1. はじめに

顧客の購買行動を促進し、売上げを向上させるためには、店舗内での行動を収集、分析し、活用することが重要である。例えば、顧客の関心に合う商品や売り場の情報を提供して誘導したり、動線をもとに商品の適切な配置を検討したりできる。

顧客行動の収集には、顧客ごとに行動を計測する方法と、店舗や売り場での顧客のマクロな行動を計測する方法がある。顧客ごとの行動計測方法として、小磯ら[3]は、顧客に小型 RF-ID タグを着用させ、店舗内の売り場に設置したリーダを用いて立ち寄った売り場を検出し、その動線から行動を分析するシステムを提案している。しかし、顧客にとって別途装置を着用する煩わしさがあることや、大型店舗を想定した場合、大勢の顧客に装置を配布するのは難しいという問題がある。一方、売り場でのマクロな行動の計測方法として田島ら[1]や豊嶋ら[2]の研究がある。田島ら[1]は、商品棚上部に超音波センサを下方に向けて複数設置し、検出した距離により顧客の立ち止まりと商品選択行動を検出するシステムを開発している。豊嶋ら[2]は、イベント会場に設置したビデオカメラの映像から、来場者の歩行軌跡を抽出し、行動を判別する方式を提案している。これらは、特定の商品棚、あるいは小規模な店舗内での行動判別を想定しており、大型店舗ではセンサの設置の手間やコスト面で課題がある。

我々は、顧客が普段利用する携帯端末や安価なセンサを用いて以下の行動を推定する技術を開発している。

フロアへの関心度 フロアに陳列されている商品やその商品カテゴリへの関心の度合いであり、嗜好の1指標である。顧客ごとの関心度を推定することで、商品推薦や売り場への誘導を効果的に行えると考える。

スポットの滞在人数 売り場(スポット)での滞在人数により、スポットの盛り上がり具合や、スポットにある商品への関心の集まり具合を推定できる。また、複数のスポットの滞在人数から店内の混雑状況を把握でき、来店者の適確な誘導や、店内のレイアウト変更に応用できる。

本稿では、「平成21年度 e空間実証事業(pin@clip)」において東急ハンズ渋谷店で収集した、センサデータや被験者データを用いて、顧客のフロアへの関心度やスポットの滞在人数の推定可能性について述べる。

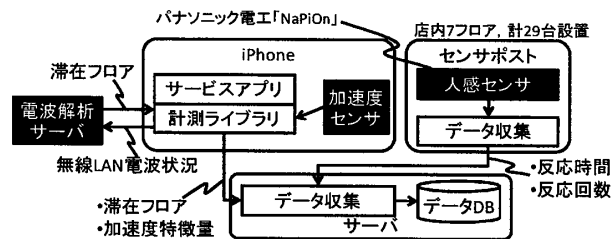


図1 タウンログ収集システム

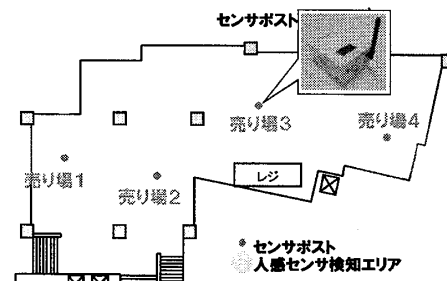


図2 センサポスト設置レイアウト例

2. タウンログ収集システム

東急ハンズ渋谷店内でのセンサデータを収集するため、図1に示すタウンログ収集システムを開発した。タウンログ収集システムは、加速度センサを備えた携帯端末(アップル社 iPhone)、市販の人感センサおよび、マイコンを備えたセンサ端末(センサポスト)、iPhoneやセンサポストからセンサデータを収集するサーバから構成される。本システムは従来システムに対し以下の特徴がある。

- 普段利用している携帯端末を用いて行動を計測するため、計測用に新たに装置を着用する煩わしさが少ない。また、装置を配布する必要もないため、コストをかけずに大勢の顧客に対して適用できる。
- 市販されている安価な人感センサを用いるため、大型店舗で多数設置でき、きめ細かく計測できる。また、スポットの天井に設置するだけで簡単に計測できる。

以下、各構成要素の詳細を説明する。

iPhone 上では、pin@clip サービス[6]を実行するためのサービスアプリと、センサデータを収集する計測ライブラリが動作している。計測ライブラリは、加速度センサのセンサデータの特徴量と滞在フロアを求め、定期的にサーバに送信する。加速度を 50Hz で計測し、1秒ごとに

平均値や分散値などの統計量、ピーク(閾値以上、かつ1秒間で最大の値をもつ加速度)の時刻と大きさを特徴量として求める。また、iPhoneの無線LAN機能を利用して

† NEC サービスプラットフォーム研究所
NEC Service Platforms Research Laboratories

‡ 国立情報学研究所
National Institute of Informatics

10 秒ごとに電波状態を計測し、電波解析サーバに問い合わせさせて滞在するフロア情報を取得する[4].

センサポストは、人感センサデータを常時収集し、定期的に統計量を計算し、サーバに送信する。具体的には、10 秒間ごとに人感センサが反応した回数と反応が継続した延べ時間を求め、サーバに送信する。人感センサの反応エリアは半径約 3m であり、スポットの棚周辺で人が動いた際に反応する。センサポストは店内の代表的なスポット 29 か所の天井に設置した。図 2 に、あるフロアでの設置レイアウト例を示す。

サーバは、iPhone の計測ライブラリやセンサポストから送信されたデータを収集し、データベースに格納する。

3. フロアへの関心度推定

本節では、顧客の移動行動からフロアへの関心度を推定できるかどうかについて検証する。フロアへの関心があらわれる行動として、商品を見たり、手に取ったりする行動が考えられる。しかし、これらの行動を加速度センサで認識することは困難である。そこで、我々は、フロア内での移動行動を推定し、移動行動と関心度との関係を調べ、移動行動から関心度の推定可能性を検証する。これまで停止、歩行動作から店舗毎への関心の強さを求める試み[5]はあるが、事後アンケートによる主観的な関心度のみ用いていた。そのため、ユーザ毎に関心の強さの基準が異なり、他のユーザとの比較や、ユーザ全体での関心を求められないなど、サービスで利用しづらいという課題があった。本節では、店舗内で客観的に観測した行動を用いて定義した関心度を用いて検証する。

3.1. 移動行動推定

計測ライブラリで計測した加速度センサの特徴量(加速度の分散、ピーク)を用いて、停止、歩行、歩行外動作を推定する。歩行外動作とは、しゃがんだり、かがんだり、端末を操作(多少動かす)したりするなど、移動のためではない動作を指す。

事前の分析により、各行動で計測される加速度に以下の特徴があることが分かった。

- 停止時には分散値が小さく、歩行時、歩行外動作時に分散値が大きい
- 歩行時の加速度のピーク出現間隔は約 600ms、歩行外動作時の出現間隔は一定していない

これらの特徴を踏まえ、5 秒ごとに図 3 に示すアルゴリズムにより行動を推定する。

2 人の被験者に対して予備実験を行い、アルゴリズムの行動推定性能を評価した。pin@clip の利用シーンを想定し、被験者は iPhone を手に持ち、画面を見ながら停止、歩行(廊下、階段)、歩行外(しゃがむ、かがむなど)動作を 15 秒間ずつ、決められた回数行い、その推定精度を評価した。推定例を図 4 に示す。本実験により、停止は約 8 割、歩行は約 9 割、歩行外動作は約 6 割の精度で推定できることを確認した。

3.2. データ収集実験

25 名のモニターユーザに東急ハンズ渋谷店内を約 1 時間回遊してもらい、その際調査員が同伴して、フロアの滞在時間、および立ち止った際の以下の行動を 10 秒ごとに記録した。

- 「iPhone 操作」 iPhone を操作している
- 「商品を注視」 商品の前に立ち商品を眺めている

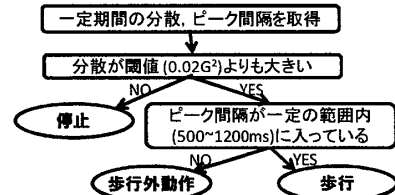


図 3 移動行動推定アルゴリズム

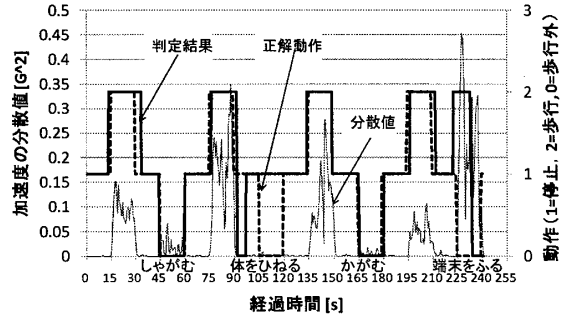


図 4 行動推定例

フロア名	1A	IN時刻	10:58	OUT時刻	11:03
停止開始	●				
iPhone操作	●	●			
商品を注視		●	●	●	
商品を手にとり/触る			●	●	
それ以外					

図 5 行動記録シート

- 「商品を手にとり/触る」 商品を手にとったり、展示品に触ったりする
- 「それ以外」 上記以外

記録シートを図 5 に示す。各フロアに到着した時刻を「IN 時刻」、フロアから出た時刻を「OUT 時刻」に記録する。そして、各フロアでモニターユーザが立ち止まっている間の行動を記録する。図 5 の例をもとに具体的に説明する。図 5 は、1A フロアに 10:58 から 11:03 まで滞在し、その間 2 回立ち止まった場合の記録である。モニターユーザが立ち止まると「停止開始」に印を入れ、次の移動開始までの間の停止中の行動を 10 秒ごとに記録する。1 回目の立ち止まりでは、iPhone 操作を 30 秒、商品注視を 30 秒行ったことを示している。そして移動し始めると、次に立ち止まるまで記録を一時停止する。2 回目の立ち止まりでは、商品を 10 秒間眺め、その後 20 秒間商品を手にとったことを示している。

データ収集実験では、回遊終了後モニターユーザにアンケートを行い、興味・関心をもったフロアを記録した。

3.3. 関心度

我々は、「フロアへの関心が高いときには、そのフロアでの滞在時間が長く、またフロアにある商品を眺めたり/商品を手にとったりする時間が長くなる」と考えた。そこで、次式によりフロアへの関心度を定義した。

$$(\text{関心度}) = (1 + \alpha \times ((\text{商品を注視した回数}) + (\text{商品を手にとり/触った回数})) \times (\text{フロア滞在時間}))$$

フロア滞在時間は、「OUT 時刻」と「IN 時刻」の差であり、1/10 秒単位で表現した。また、以降の分析では $\alpha = 0.5$ とした。

実験終了後に記録したアンケートをもとに、上記定義が適切であることを確認した。「関心あり」と回答した

表1 関心度とアンケート結果との関係

フロア	関心ありと回答	関心なしと回答
関心度の平均値	336.7	138.0

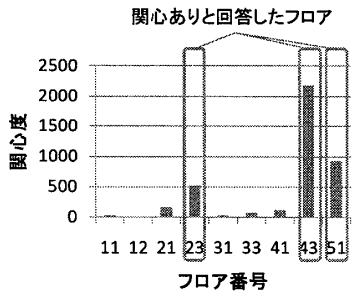


図6 ユーザの回答と関心度との関係例

フロア、「関心なし」と回答したフロアでの、それぞれの関心度の平均値を表1に示す。本結果から、「関心あり」と回答したフロアの関心度が高いことがわかる。また、図6に、あるユーザが滞在したフロアの関心度と、アンケート結果との関係を示す。本結果からユーザが「関心あり」と回答したフロアの関心度が高く、関心度がユーザの主観に近いことが確認できる。以上の結果から、関心度の計算式が関心を表す指標として適切であると考えられる。

3.4. 移動行動と関心度との関係分析

ユーザの移動行動からの関心度推定可能性を検証する。3.1節で述べた行動推定アルゴリズムにより、モニターユーザの各フロアでの行動を推定し、行動と関心度との関係を重回帰分析により分析した。具体的には、記録した行動から求めた各フロアの関心度を目的変数、そのフロアでの各行動に関する統計量(停止, 歩行, 歩行外, それぞれの回数と時間)を説明変数に用いた。分析には25名のモニターユーザのデータ(278データ)を用いた。重回帰式を以下に示す。また本重回帰式によって推定した関心

$$\begin{aligned}
 (\text{関心度}) = & -209.73 \\
 & + 24.24 \times (\text{停止回数}) + 0.00071 \times (\text{停止時間}) \\
 & + 0.41 \times (\text{歩行回数}) + 0.0011 \times (\text{歩行時間}) \\
 & - 17.4 \times (\text{歩行外動作回数}) + 0.0032 \times (\text{歩行外動作時間})
 \end{aligned}$$

表2 分析結果

重相関係数	0.89
決定係数	0.88

度と、調査データから求めた関心度との関係を図7に示す。

図7および相関係数, 決定係数から, 推定した行動と関心度との間には相関があり, 移動行動から関心度を推定できる可能性が示唆された。本結果から, 商品を眺めたり, 商品に触ったりするなどの直接関心を表す行動を取得しなくても, フロア滞在中の移動行動を観測することで, 顧客のフロアへの関心を推定できる可能性を検証できた。しかし, 関心度が低い場合に推定精度のばらつきが大きいことも読み取れる。サービスで利用する場合には, 推定結果がある閾値以上の値(例えば図の例では500以上)のときのみ関心度を利用するなど, 関心度の正当性を確保するなどの工夫が必要になると考えられる。

4. スポットの滞在人数推定

本節では, センサポストの人感センサによるスポットの滞在人数の推定可能性を検証する。具体的には, 実際

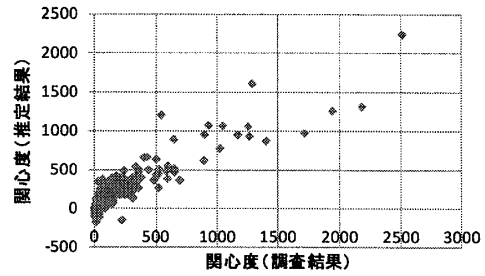


図7 関心度の推定結果

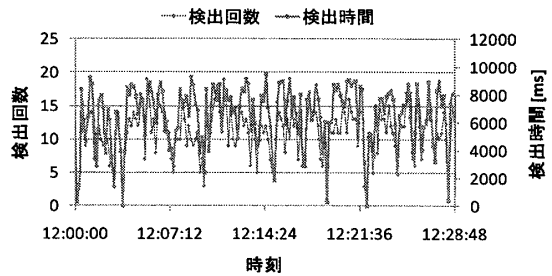


図8 人感センサデータ例

計測開始時刻	計測終了時刻	フロア	売場番号	カウントした人数
12:10	12:20	1A	111	5 6 2 5 3 5 1

12:00~12:20 フロア1A, スポット111の平均滞在人数は, 3.9人

図9 滞在人数の調査方法

に各スポットで調査した滞在人数と, 同期間のセンサポストの人感センサデータとの関係を分析する。

4.1. 人感センサデータ

センサポストの人感センサデータは, 10秒毎に計測データを出力する。計測データには, 10秒間に人の移動を検出した回数(センサがOFFからONになった回数)と, 検出し続けた時間(センサがONになっている時間)が含まれる。図8に人感センサデータ例を示す。

4.2. 滞在人数の調査

センサポストを設置したフロア, スポットでの10分間の平均滞在人数を調査した。4フロアの16か所の各スポットで, 2日間にわたり滞在人数を8回調査した。具体的には, 図9に示すように, 各スポットにおいて10分間に数回(5~12回)滞在人数を目視によりカウントし, その平均値をその時刻の滞在人数とした。

4.3. 滞在人数の推定可能性検証

滞在人数と人感センサデータとの関係を分析する。前節で調査した滞在人数と, 同時刻の人感センサデータとの関係を分析した。具体的には, 調査した滞在人数と, 人感センサの特徴量(検出時間, 検出回数, それぞれの10分間の平均値 AVE_t, AVE_n , 分散値 VAR_t, VAR_n)との関係を重回帰分析により分析した。分析結果を次式, 表3に示す。また, 重回帰式によるスポット滞在人数の推定値

$$\begin{aligned}
 (\text{スポット滞在人数}) = & 0.61 + 0.0014 \times AVE_t - 0.71 \times AVE_n \\
 & - 2.5 \times 10^{-7} \times VAR_t + 0.061 \times VAR_n
 \end{aligned}$$

表3 分析結果

重相関係数	0.74
決定係数	0.55

と計測したスポット滞在人数との関係を図10に示す。

図10より、検出時間、検出回数をもとに滞在人数を概ね推定できており、人感センサのセンサデータを用いてスポットの滞在人数を推定可能であることが分かる。さらに、図11に、回帰式による推定値と計測値との残差の分布を示す。図11から約80%のデータで計測値と推定値との差が1人程度以下であることから、回帰式により精度よく推定できることが分かる。しかし、図10において入口やレジ、エレベータホール、階段付近のスポットで誤差が大きい。このように人の通過が多いスポットでは、一定期間の統計量だけでなく、人感センサの反応間隔など、センサの反応傾向も特徴量として検討する必要があると考える。一方、大型店舗では商品は通路と通路に挟まれた商品棚に陳列されることが多く、人の通過が比較的少ないと考える。そのような売り場においては、人感センサにより滞在人数を精度良く推定できると考える。

回帰式を用いて、別の期間における、あるスポットの10分毎の平均滞在人数を推定した例を図12に示す。図12は、セール期間中、およびセール終了1週間後でのスポットの平均滞在人数推移を示している。セール期間中(a)では、開店から閉店まで常にスポットに平均5、6人がいることを表している。セール最終日(b)は、前日(a)と同様に開店から平均5、6人がいるが、閉店近くで滞在人数が減ってきている。そしてセール一週間後(c)では、あまり滞在人数が増えず、昼間に最大4、5人程度であることが分かる。このように、センサポストを用いることで、スポットの滞在人数推移が分かり、店内の混雑状況の把握や、店内のレイアウト変更にも活用できる。

5. おわりに

本稿では、顧客が普段利用する携帯端末や安価なセンサから得られるセンサデータをもとに顧客行動推定の可能性を示した。携帯端末を用いて推定した顧客の行動を用いてフロアへの関心度合いを推定したり、スポットに設置した市販の人感センサを用いて、滞在人数を推定したりできることを示した。今後は、他の店舗にも適用してデータ収集、分析を行い、汎用的な推定方式を開発していきたい。

謝辞

本研究は経済産業省「ITとサービスの融合による新市場創出促進事業（e空間実証事業）」の一環として行われた。また、実証実験は東急ハンズ 渋谷店の協力の下に行われた。記して感謝する。

参考文献

- [1] 田嶋, 超音波センサを用いた顧客振舞い認知システムの開発: IT活用による小売業売場生産性向上を目指した購買行動計測の基礎実験, Vol. 20, No. 2, PP.201-210, 知能と情報: 日本知能情報ファジィ学会誌, 2008.
- [2] 豊嶋, 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, Vol. 25, pp. 173-178, 情処研究報告 CVIM, 2006.
- [3] 小磯, 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, pp. 61-66, 情処研究報告 UBI, 2003.
- [4] 小西, 参照用無線機を用いた電波環境変動に対して頑強な無線 LAN 位置検知方式 - e空間実現のための人口ロ集技術の研究 -, 2M-5, FIT2010, 2010.

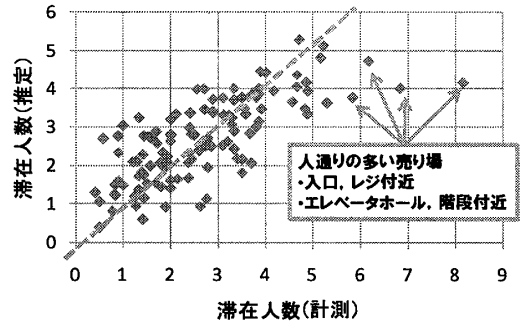


図10 滞在人数の計測値と推定値との関係

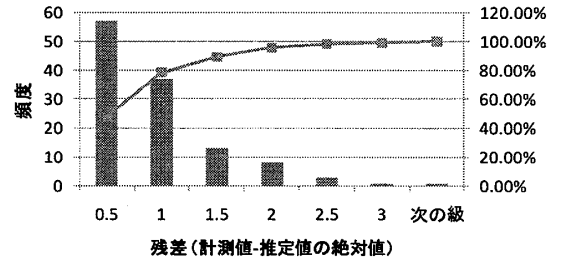


図11 推定残差分布

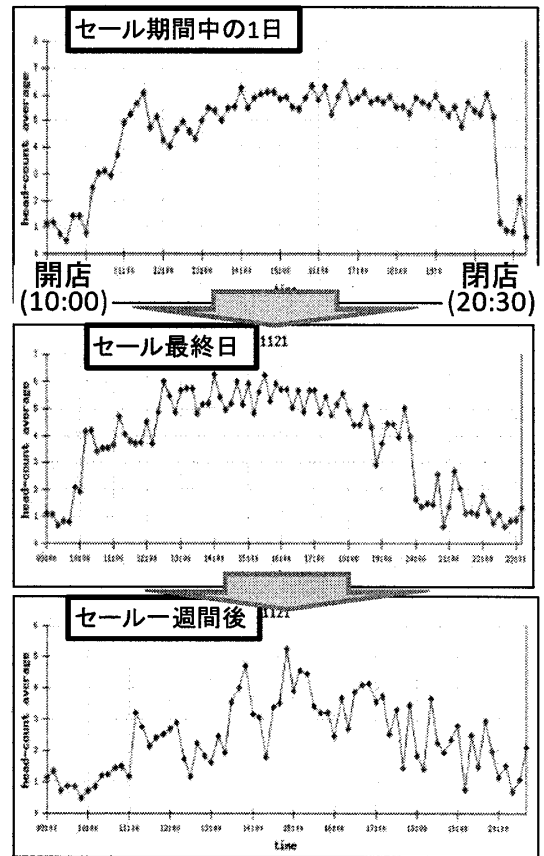


図12 滞在人数推定例

- [5] 千葉, ぶらっと Plat@自由が丘におけるタウンログ収集 (3) 携帯電話内蔵加速度センサを用いた関心推, pp. 281-284, FIT2009, 2009.
- [6] 中尾, 街なかソーシャル・ブックマーキング"pin@clipピナクリ" - e空間実現のためのサービス実証実験の全体像 -, 2M-2, FIT2010, 2010.