

## 4.

スマートフォンを用いた  
生活行動認識基  
専  
般

— 家の中も外もスマホで行動認識 —

大内 一成 (株) 東芝

ここでは、特に宅内の生活行動認識に着目する。特殊なセンサを用いずに、スマートフォンに一般的に搭載されている加速度センサとマイクを用いてさまざまな生活行動を認識する手法を紹介する。

## 家の中の行動認識

社会の高齢化に伴い、高齢者（特に独居の場合）の日常の生活行動を見守ることは、無事暮らしていることの確認だけでなく、認知症の早期発見や、生活行動の変化に基づいた適切なタイミングでの問いかけ（離れた家族から電話をかけるなど）、コミュニケーションのきっかけの提供など、高齢者のQOL（Quality of Life）向上などの観点でも重要である。

しかし、一口に生活行動といってもその内容は多岐にわたる。このため、食事、着替え、移動、排泄、整容、入浴など生活を営む上で欠かせない基本的な活動を指す日常生活動作（ADL：Activities of Daily Living）と、炊事、掃除、洗濯などの家事全般や、金銭管理、服薬管理、外出など、ADLより複雑で高次な活動を指す手段的日常生活動作（IADL：Instrumental Activities of Daily Living）による行動の分類と評価が高齢者介護やリハビリテーションの分野で用いられている。特に高齢者・障がい者の生活自立度評価の際には、パーセルインデックス<sup>☆1</sup>に

☆1 Barthel Index：食事、車椅子からベッドへの移動、整容、トイレ動作、入浴、歩行、階段昇降、更衣、排便、排尿のADL10項目を2～4段階で評価。

代表されるADLの評価だけでは不十分で、IADLも重要な指標であるとされている。

これらのさまざまな生活行動を認識するために、宅内の至る所に各種センサを配置し、複数のセンサ情報を統合してユーザの行動を判断する取り組みがある<sup>1)</sup>。専門の施設等ではこのような方式による実運用の可能性も考えられるが、一般の家庭に持ち込むためには、設置コスト、運用コストが課題となる。

一方で、ユーザの身体にセンサを装着した行動認識の試みもある。多数の加速度センサを装着することで、詳細な行動の判別が可能になる<sup>2)</sup>が、日常生活で多数のセンサを常時身につけることは、拘束性が高く一般的には受け入れがたい。また、複数のセンサを搭載した腕時計型の専用デバイスを身につける取り組み<sup>3)、4)</sup>もあるが、専用デバイスであるため、コストと普及が課題である。

そこで、すでに広く普及しているスマートフォンを用い、内蔵の加速度センサに加え、通話用マイクを音センサとして積極的に活用した宅内の生活行動認識手法T-SARCAS（Two-Step Activity Recognition Combined with Acceleration and Sound）を開発した。

## 加速度と音を用いた行動認識

## 処理概要

人間は目を閉じていても周囲の人が何をしているか、ある程度音で把握することが可能である。本手法はこの点に着目し、マイクからの音を分析して、

その人が何をしているか認識する。しかし、音の分析を常時行い続けることは、たとえば音声認識を常時行うことと同様の処理負荷がかかるため、スマートフォンの電池を早く消費してしまうことが懸念される。たとえば文献5)では加速度データの認識処理、音データの認識処理の際のCPU使用率が、それぞれ11%、25%で、参考値としてMP3プレーヤ使用時は16%である。実際のスマートフォンの連続動作時間は他のアプリの使用状況や、通信状態、バッテリー容量、周囲の温度などさまざまな要因に影響を受けるが、丸一日の連続使用のためには、少なくともMP3プレーヤ程度かそれ以下には抑える必要があると考えられる。

本手法では、まず加速度センサのデータを用いて大まかな行動状態（「歩行」「作業」「静止」）を常時把握して、必要な場合（「作業」の場合）のみマイクを起動して、「作業」の内容を音で分析する。処理概要を図-1に示す。

加速度による大まかな行動状態分類は常時動作させるため、計算負荷の少ない分類手法として、3軸加速度の1秒間の分散のみを用いる手法とした。胸ポケットなどにスマートフォンが入った状態では、鉛直方向の加速度の分散で「歩行」か判断でき、各軸の分散の大きさによって「静止」かそれ以外の「作業」かを判断する。

次に「作業」と判断した場合にマイクを起動し、その内容を音で分析する。認識対象とする「作業」は、たとえば「歯磨き」では電動歯ブラシを使っている場合とそうでない場合で音の特徴が異なるし、掃除機などの家庭内器具もその動作音の特徴は機種によって異なる。また、目的が一般的な健康管理と、高齢者の見守りでは認識対象とすべき行動は異なる（高齢者の見守りにおいても、対象者によって見守るべき行動は異なる）。そこで、認識対象とする行動を事前に10秒間ずつ学習させることにより、必要な行動のみを精度よく認識することを目指

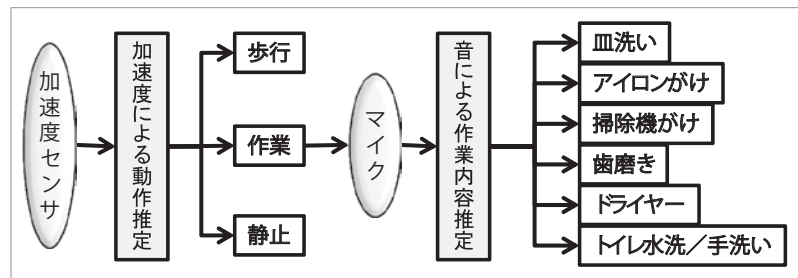


図-1 T-SARCAS 処理概要

した。音の特徴量には、音声認識で用いられる人間の聴覚上重要な周波数成分を強調した特徴量であるMFCC (Mel Frequency Cepstral Coefficients)に加え、音の強度に関するRMS (Root Mean Square)、音の高さに関するZCR (Zero-Crossing Rate)を用いることで認識性能の底上げが可能なることを予備実験で確認し、これらの特徴量を用いることとした。これらを毎秒算出し、教師あり学習を用いる識別手法の1つであるSVM (Support Vector Machine)を用いて「作業」の分類を毎秒行う。最終的には、毎秒の認識結果を1つの作業区間全体で再評価し、その区間の「作業」を最も出現頻度の高い作業に決定する（出現頻度が基準値を満たさない場合は、認識対象外作業と判断する）。

## 性能評価

家庭のリビングを模した施設において、高齢者（60歳以上）12名（男性6名、女性6名）、一般人（20～40歳代）9名（男性5名、女性4名）の計21名の被験者に、上着の胸ポケットにスマートフォンを携帯してもらい、作業リストを提示してそれにしたがって順に行動してもらった。「静止」「歩行」に加え、「作業」として「皿洗い」「アイロンがけ」「掃除機がけ」「歯磨き」「ドライヤー」「トイレ水洗/手洗い」の6作業を実施した。また、対象行動間のインターバル時の被験者の任意行動（実験者との立ち話、ストレッチなどの際に「作業」と判断された行動）については、認識対象外作業として扱った。

前段の加速度による「歩行」「作業」「静止」の3状態は、95%以上の精度で分類でき、「作業」時の音による分類は、毎秒実施する分類結果については

生活行動	分類性能 (%)
皿洗い	80.2
アイロンがけ	76.7
掃除機がけ	86.3
歯磨き	74.1
ドライヤー	96.4
トイレ水洗/手洗い	93.2

表-1 毎秒の生活行動認識性能

	認識対象作業					認識性能 (%)
	皿洗い	アイロンがけ	掃除機がけ	歯磨き	ドライヤー	
皿洗い	37			3	1	88.1
アイロンがけ		36		4	2	85.7
掃除機がけ			42			100
歯磨き		3		36		85.7
ドライヤー					42	100
トイレ水洗/手洗い					41	97.6
認識対象外作業	3	7		4	87	82.9

表-2 作業区間全体での補正後の confusion matrix

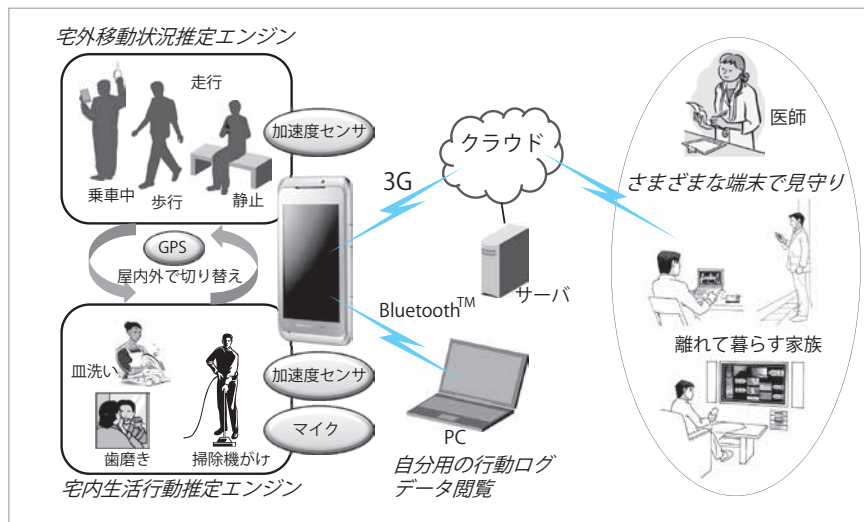


図-2 宅内外生活行動認識システム

表-1 に示すように平均 84.5% の精度であった。また、作業区間全体で補正した後の結果は、表-2 の confusion matrix に示す通り、平均 90% 以上の精度で分類でき、認識対象外の作業も 82.9% の精度でそれと判断できた。事前に対象作業を 10 秒間学習させることにより、その行動を即座に精度よく認識できることが確認できた。

## 宅内外生活行動認識システム

上述した家庭内の生活行動認識手法と、別途開発した「歩行」「走行」「乗車（電車、バスなど）」「静止」の移動を中心とした移動行動認識手法<sup>6)</sup>を 1 つの Android<sup>TM</sup> アプリとして統合し、図-2 に示す宅内外生活行動認識システムを開発した。

GPS 衛星の捕捉状況を利用した宅内外判定機能

により、自宅内にいると判断した場合は宅内生活行動認識を使用し、宅外に出たと判断した場合は宅外移動行動認識に切り替える。この機能により、1 つのスマートフォンを携帯し続けるだけで、宅内外で使用される認識処理を適切に切り替えて、シームレスな生活行動認識を行うことを可能にした。

また、スマートフォンで認識した生活行動の結果はスマートフォン上で閲覧することが可能であるが、認識結果を Bluetooth<sup>TM</sup> 経由でリアルタイムに PC など、近くの外部端末へ送信し、その画面で結果を閲覧することもできる。図-3 にスマートフォンでの表示例と PC での表示例を示す。スマートフォン上では加速度と音の生データの波形とともに、認識結果の行動名をリアルタイムに参照できる。PC 上では、スマートフォンで認識した現在の行動名に加え、毎秒実施する分類結果のグラフ（上段）と、作

業区間全体で補正した後の結果のグラフ（下段）を表示している。

また、認識結果のログを定期的あるいは特定のイベント発生時などのタイミングで、3G回線経由でクラウドへ送信し、サーバ上に蓄積したデータをHTML5で表示させる機能を実装した。HTML5で表示させることで、医師やケアマネージャ、あるいは離れて暮らす家族などが、TV、PC、スマートフォンなどさまざまな端末から対象ユーザの生活行動を把握することが可能となった。TVのブラウザに一週間分の行動履歴を表示した例を図-4に示す。

複数の日に渡って行動履歴を色別に表示することで、いつもの行動傾向の把握、いつもと違った行動などへの気づきが可能となる。この機能は特に独居高齢者の見守りサービス（無事の確認、認知症早期発見）などに有用である。

## 今後の展開

スマートフォン単体で、家の中の行動と外の行動の連続的なモニタリングができるシステムを開発した。現在は宅内外合わせて10種類程度の行動をリアルタイムに認識でき、認識対象の行動は短時間の事前学習により目的や対象者に応じてカスタマイズ可能である。今後は、実際の日常生活における性能評価を進めながら、さまざまな用途への実用展開を検討していきたい。

### 参考文献

- 1) Kidd, C. D., et al. : The Aware Home : A Living Laboratory for Ubiquitous Computing Research, In the Proceedings of the Second International Workshop on Cooperative Buildings-CoBuild'99, Position paper (1999).
- 2) Bao, L. and Intille, S. S. : Activity Recognition from User-Annotated Acceleration Data, Proceedings of the Second International Conference on Pervasive Computing (PERVASIVE 2004), LNCS 3001, pp.1-17 (2004).

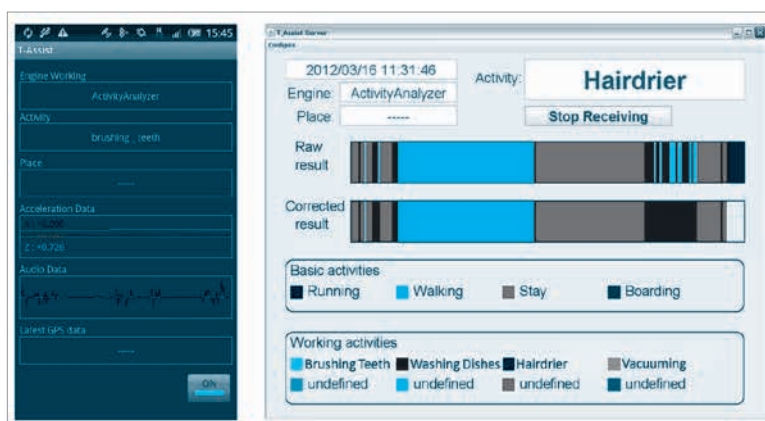


図-3 認識結果表示例（左：スマートフォン，右：PC）

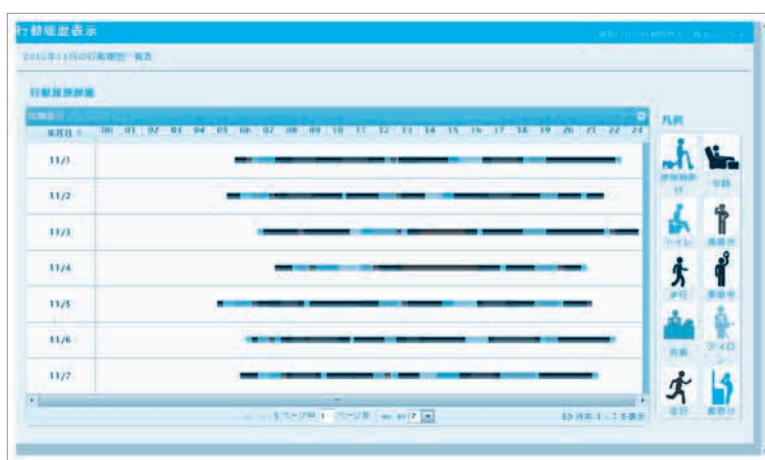


図-4 サーバ上に蓄積した行動履歴の表示例

- 3) Ouchi, K., et al. : LifeMinder : A Wearable Healthcare Support System with Timely Instruction Based on the User's Context, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E87-D, No.6, pp.1361-1369 (2004).
- 4) Maekawa, T., et al. : Object-Based Activity Recognition with Heterogeneous Sensors on Wrist, Proceedings of the Eighth International Conference on Pervasive Computing (PERVASIVE 2010), LNCS 6030/2010, pp.246-264 (2010).
- 5) Nicholas, D. L., et al. : BeWell : A Smartphone Application to Monitor, Model and Promote Wellbeing, 5th International ICST Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare (Pervasive Health) (2011).
- 6) Cho, K., et al. : Human Activity Recognizer for Mobile Devices with Multiple Sensors, UIC-ATC'09, Symposia and Workshops on Ubiquitous, Autonomic and Trusted Computing, pp.114-119 (2009).

(2013年2月20日受付)

謝辞 本研究の一部は総務省の研究委託により実施したものである。

大内一成（正会員） | kazushige.ouchi@toshiba.co.jp

1998年早稲田大学大学院理工学研究科物理学及应用物理学専攻修了。同年（株）東芝入社。現在、（株）東芝 研究開発センター インタラクティブメディアラボラトリー主任研究員。本会ユビキタスコンピューティングシステム研究会幹事。人間情報学会理事。