

スマートフォンを用いた生活行動認識技術

Living Activity Recognition Technology Using Sensors in Smartphone

大内 一成 土井 美和子

■ OUCHI Kazushige

■ DOI Miwako

人の日々の行動を把握することは、自身の健康管理や高齢者の見守りなど、状況に応じた適切な情報やサービスの提供に活用できる。しかし、宅内の生活行動を把握する方法としては、これまでは家中に多数のセンサを設置したり、身体に特別なセンサや複数のセンサを装着したりするものが多く、コストや拘束性が課題だった。

東芝は、スマートフォンに一般的に内蔵されている加速度センサとマイクを活用し、宅内の生活行動を把握する生活行動認識技術を開発した。また、宅外の行動を認識する技術と統合することで、宅内では歯磨きや掃除機がけなどの行動を、宅外では、歩行、走行、及び電車やバスの利用など主に移動に関する行動を、スマートフォン一つで連続的かつリアルタイムで把握できるようにした。

The monitoring of everyday living activities is applicable to various context-aware services including self-care and care for the elderly. Several indoor living activities have so far been recognizable by installing numerous ambient sensors, or by wearing a dedicated sensor or a number of sensors on the body. However, the cost of the sensors and the burden of wearing sensors are critical issues.

To rectify this situation, Toshiba has developed an indoor living activity recognition technology using only off-the-shelf sensors; namely, an accelerometer and a microphone that are commonly installed in smartphones. By incorporating an outdoor migration activity recognition technology into this technology, it has become possible to continuously monitor in real time not only indoor activities such as brushing teeth, vacuuming, and so on, but also outdoor activities such as walking, running, boarding a train or bus, and so on, by processing data from a continuously carried smartphone.

1 まえがき

社会の高齢化に伴い、高齢者（特に独居の場合）の家庭内の生活行動を見守ることは、安否の確認だけでなく、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提供など、高齢者のQOL（Quality of Life）向上などの観点からも重要である。

しかし、ひと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、行動を次のようにADL（Activities of Daily Living）とIADL（Instrumental ADL）に分類して評価する方法が、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。

- (1) ADL 食事、着替え、移動、排せつ、整容、入浴など生活を営むうえで欠かせない基本的な行動を指す日常生活動作
- (2) IADL 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より複雑で高次の活動を指す手段的日常生活動作

特に高齢者や障がい者の生活自立度評価の際には、バーセルインデックス（Barthel Index）^(注1)に代表されるADLの評価

(注1) 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、及び排尿のADL10項目を2～4段階で評価。

だけでは不十分で、IADLも重要な指標であるとされている⁽¹⁾。

これらの様々な宅内の生活行動を認識するために、家庭内のいたるところ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ーの行動を判断する仕組みがある⁽²⁾。専門の施設などではこのような方式による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、設置や運用のためのコストが課題となる。

一方で、ユーザーの身体にセンサを装着して行動を認識する試みがある。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が⁽³⁾、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仕組みもあるが^{(4), (5)}、専用デバイスであるため、コストと普及が課題である。

そこで東芝は、既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、生活行動認識技術を開発した⁽⁶⁾。

2 加速度と音を用いた生活行動認識技術

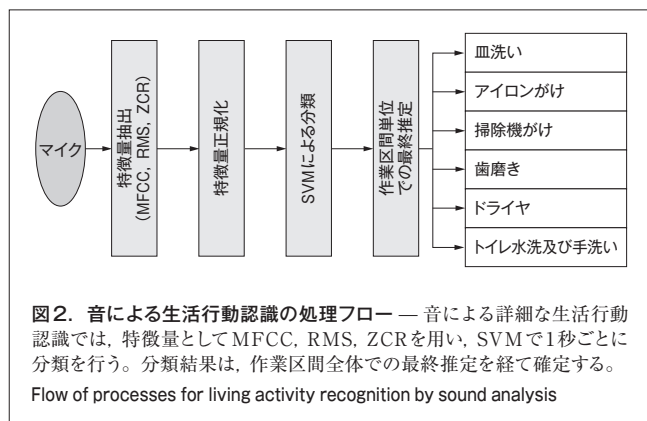
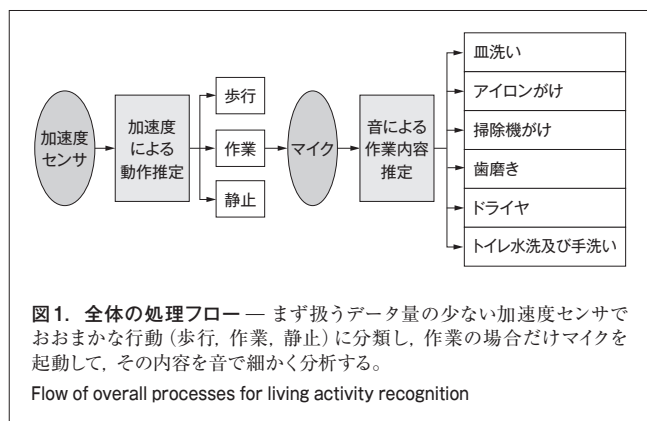
2.1 概要

人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、音で把握できる。当社が開発した技術はこの点に着目し、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、例えば音声認識を常時行うことと同様の重い処理負荷がかかるため、スマートフォンの電池を早く消耗してしまうことが懸念される。1秒間に扱うデータ量の一例で比較すると、歩数計などに用いる3軸加速度データは75バイト(10ビット, 20 Hzサンプリングの場合)であるのに対し、音分析に用いる音データは32,000バイト(16ビット, 16 kHzサンプリングの場合)であり、参考文献(7)によれば、加速度データの認識処理と音データの認識処理におけるCPU使用率は、それぞれ11%と25%である。したがって、まずデータ量と計算量が少ない加速度による行動分類(“歩行”, “作業”, “静止”)を行い、作業の場合だけマイクを起動して、その内容を音で細かく分析する。開発技術による全体の処理フローを図1に示す。

加速度によるおおまかな行動分類では、3軸加速度の1秒間の分散だけを用いる。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否かを、また、歩行以外は各軸の分散の大きさによって静止か作業かを判断する。

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。音による生活行動認識の処理フローを図2に示す。



認識対象とする作業は、例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。また、目的が一般的な健康管理と高齢者の見守りでは、認識すべき行動の種類が異なる。そこで、認識すべき行動時の音を事前に10秒間ずつ学習させることで、目的に応じたカスタマイズを行う。音の特徴量には、音声認識で用いられる人の聴覚上重要な周波数成分を強調したMFCC (Mel Frequency Cepstral Coefficients), 音の強度に関する音信号のRMS (Root Mean Square), 及び音の高さに関する音信号のZCR (Zero-Crossing Rate)を使用している。これらの特徴量を毎秒算出し、機械学習を用いる識別手法の一つであるSVM (Support Vector Machine)を用いて作業の分類を毎秒行う。最終的には、毎秒の認識結果を一つの作業区間全体で再評価し、その区間の作業をもっとも出現頻度の高い作業に決定する。ただし、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。

2.2 性能評価

家庭のリビングを模した施設において、社外の高齢者12名(60~70歳代, 男性6名, 女性6名), 一般成人9名(20~40歳代, 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、まず、対象の全行動を10秒間ずつ実施してもらうことで学習を行った。その後、作業リストを提示し、それに従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”, “トイレ水洗及び手洗い”の6作業を実施した。また、対象行動間のインターバルにおける被験者の任意行動, 例えば実験者との立ち話やストレッチなどの際に作業と判断された行動などについては、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、作業時の音による毎秒の分類結果は、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の混同行列(Confusion Matrix)に示すとおり、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

表1. 毎秒の生活行動認識の基本性能

Basic accuracy of living activity recognition every second

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	96.4
トイレ水洗及び手洗い	93.2

表2. 作業区間全体での補正後の混同行列

Confusion matrix of living activity recognition after additional correction procedure

		認識対象作業						認識対象外作業	再現率*2 (%)	F値*3 (%)
		血洗い	アイロンがけ	掃除機がけ	歯磨き	ドライヤ	トイレ水洗			
認識対象作業	血洗い	37			3		1	1	88.1	90.2
	アイロンがけ		36		4			2	85.7	81.8
	掃除機がけ			42					100	100
	歯磨き		3		36			3	85.7	80.9
	ドライヤ					42			100	100
	トイレ水洗						41	1	97.6	93.2
認識対象外作業		3	7		4		4	87	82.9	87.5
適合率*1 (%)		92.5	78.3	100	76.6	100	89.1	92.6	平均	90.5

- *1: その作業であると認識されたデータのうち、実際にその作業であった正しいデータの割合
- *2: 該当する作業のうち、その作業であると正しく認識されたデータの割合
- *3: 適合率と再現率を総合して評価する指標で、0~100%の間の値を取り、大きいほど良い結果であることを示す

動を精度良く認識できるようになる開発技術の特長を確認できた。

3 宅内外生活行動認識システム

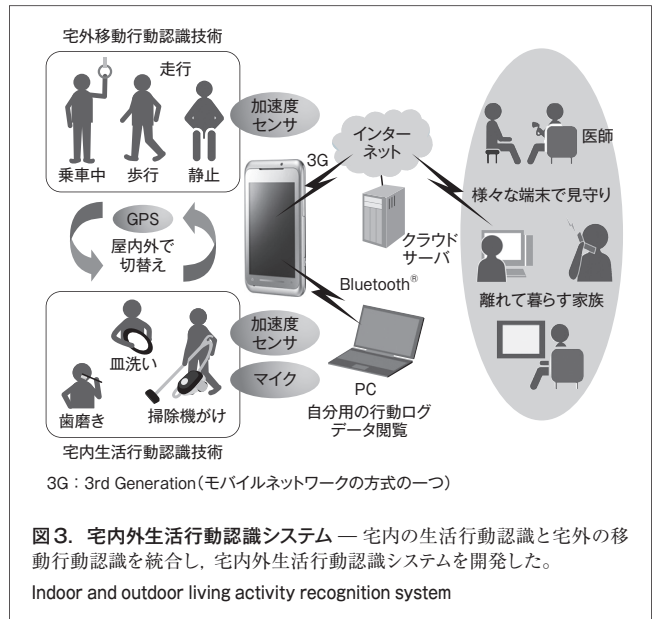
ここまで、スマートフォンを用いた宅内の生活行動認識技術について述べたが、当社は、宅外の歩行、走行、乗車(電車、バスなど)、静止など移動を中心とした宅外行動認識技術も開発した⁽⁸⁾。これらを一つのAndroidTM(注2)アプリケーションとして統合することで、図3に示す宅内外生活行動認識システムを開発した⁽⁹⁾。

GPS (Global Positioning System) 衛星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。事前に自宅を登録しておくことで、宅内でGPS衛星が捕捉できない場合でも、最後に測位できた地点が自宅周辺であれば自宅であると判断する。かりに窓際で測位できた場合も、登録した自宅の位置とほぼ一致することで宅内であると判断できる。一方、宅外で測位できない場合も、最後に測位できた地点が自宅から離れた場所であれば宅外であると判断する。

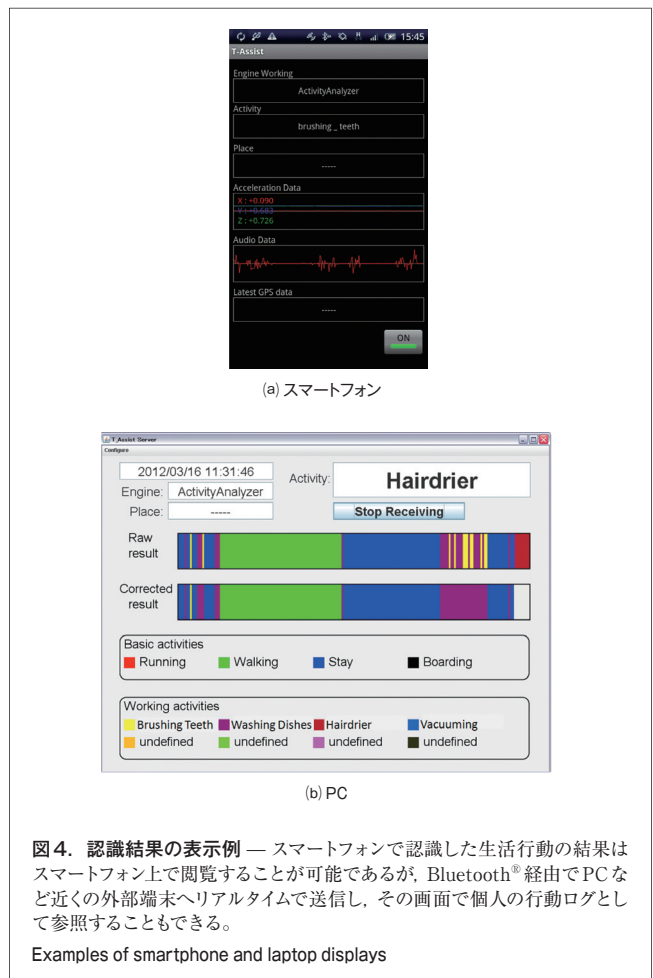
この機能により、一つのスマートフォンを携帯し続けるだけで、宅内外で使用する認識処理を自動で適切に切り替えて、シームレスな生活行動認識ができるようにした。

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できるが、認識結果をBluetooth[®](注3)経由でパ

(注2) Androidは、Google Inc.の商標又は登録商標。
 (注3) Bluetoothは、Bluetooth SIG, Inc.の登録商標。



ソコン(PC)など近くの外部端末へリアルタイムで送信し、その画面で個人の行動ログとして参照することもできる。スマートフォンとPCそれぞれの表示例を図4に示す。



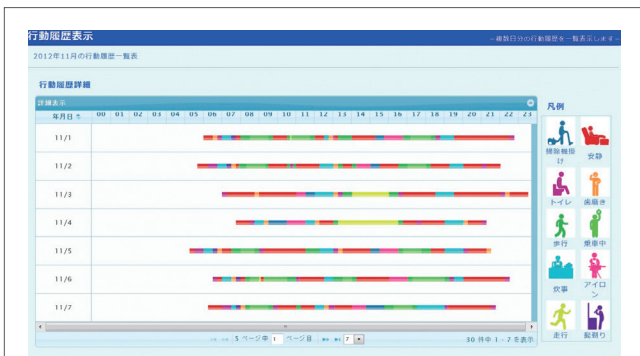


図5. サーバ上に蓄積した行動履歴の表示例 — 医師やケアマネージャー、あるいは離れて暮らす家族などが、TVや、PC、スマートフォンなど様々な端末から対象ユーザーの生活行動を把握することが可能である。
Example of activity log display on database server

更に、認識結果のログを定期的あるいは特定のイベントが発生したときなどのタイミングで、携帯電話回線経由でクラウドサーバへ送信し、サーバ上に蓄積したデータをHTML5 (Hypertext Markup Language 5) によりデータを表示する機能を実装した。これにより、医師やケアマネージャー、あるいは離れて暮らす家族などが、テレビ (TV) や、PC、スマートフォンなど様々な端末から対象ユーザー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1週間分の行動履歴を表示した例を図5に示す。

複数の日にわたって行動履歴を表示させることで、いつもの行動傾向の把握や、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、特に独居高齢者の安否確認や、生活自立度の把握、認知症の早期発見といった見守りサービスなどに有用であると考えられる。

4 あとがき

スマートフォンに内蔵されているセンサだけを用い、スマートフォン単体で、宅内の様々な生活行動を認識する技術を開発した。また、宅外の移動行動を認識する技術と統合し、スマートフォン一つを持ち続けるだけで宅内外の行動を連続的に把握することを可能にした。

スマートフォンで認識した行動の履歴は、クラウドサーバを介して、離れて暮らす家族などがTVやPCで把握し、高齢者や子どもの安全を見守るサービスなどに応用できる。

更に、ユーザー本人に対しても、その行動を常にスマートフォンが把握しているので、スマートフォンを取り出したときの状況に応じて適切な情報を先回りして表示したり、健康管理に関する情報をタイムリーに表示することによって生活習慣の改善を促したりするなど、様々な応用が可能である。

また、加速度センサ、マイク、及びGPSといった汎用性の高いセンサだけを用いる手法であるため、スマートフォン以外の

小型端末への適用も期待できる。

今後は、実際の日常生活における認識性能や消費電力の評価を進め、様々な用途への実用展開を検討していく。

なお、この研究の一部は、総務省の研究委託により実施したものである。

文 献

- (1) Katz, S. Assessing self-maintenance: activities of daily living, mobility, and instrumental activities of daily living. *Journal of the American Geriatrics Society*. **31**, 12, 1983, p.721 - 727.
- (2) 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. Pittsburgh, USA, 1999-10, Carnegie Mellon University. Springer, p.191 - 198.
- (3) Bao, L. et al. "Activity Recognition from User-Annotated Acceleration Data". Proceedings of the Second International Conference on Pervasive Computing (PERVASIVE 2004). LNCS 3001. Vienna, Austria, 2004-04, Austrian Computer Society. Springer, p.1 - 17.
- (4) 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*. **E87-D**, 6, 2004, p.1361 - 1369.
- (5) 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. Helsinki, Finland, 2010-05, Helsinki Institute of Information Technology and Univ. of Helsinki. Springer, p.246 - 264.
- (6) Ouchi, K. ; Doi, M. Living activity recognition using off-the-shelf sensors on mobile phones, *annals of telecommunications*. **67**, 7-8, 2012, p.387 - 395.
- (7) 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). Dublin, Ireland, 2011-05, ICST. <http://www.cs.dartmouth.edu/~campbell/papers/bewell_pervhealth.pdf>, (accessed 2013-05-17).
- (8) Cho, K. et al. "Human Activity Recognizer for Mobile Devices with Multiple Sensors". UIC/ATC2009, Symposia and Workshops on Ubiquitous, Autonomic and Trusted Computing. Brisbane, Australia, 2009-07, IEEE Computer Society. IEEE, p.114 - 119.
- (9) Ouchi, K. ; Doi, M. "Indoor-Outdoor Activity Recognition by a Smartphone". Adjunct Proceedings of the 14th ACM International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp 2012). Pittsburgh, USA, 2012-09, ACM. p.600 - 601.



大内 一成 OUCHI Kazushige

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。状況認識技術とそれを活用したヒューマンインタフェースの研究・開発に従事。情報処理学会、人間情報学会会員。Interactive Media Lab.



土井 美和子 DOI Miwako, Ph.D.

研究開発センター首席技監、博士 (工学)。ヒューマンインタフェースの研究・開発に従事。IEEE、電子情報通信学会、情報処理学会、電気学会、ヒューマンインタフェース学会会員。Corporate Research & Development Center