

行動情報収集システムにおける階層化アノテーション管理手法

服 部 祐 一[†] 田 中 翔 太[†] 井 上 創 造[†]

近年、3 軸加速度センサやジャイロセンサなどのセンサを搭載したスマートフォンの普及により、人間の行動を解析する研究が盛んに行われている。人間の行動を解析するためには多人数かつ多くのセンサデータを集める必要がある。しかし、多くの人から多様なセンサデータを集めることは、容易ではない。我々は、様々なクライアントソフトウェアを用い行動情報を収集できる多様な行動情報を収集するためのプラットフォームを開発した。また、連続した行動情報に対するアノテーションは非常に重要な作業である。しかし、行動ラベルを対応付ける作業は人の手によって行われ、非常に時間と手間のかかる作業である。また、行動は複合的な構造を持ち、人手によるアノテーションはあいまいさを含む。そのため、作業者が効率的かつ正確にアノテーションするようにシステムが支援する必要がある。我々は、アノテーションを効率化するための行動情報のアノテーション管理手法として、階層的セグメンテーション機能と階層化アノテーションを持ったアノテーションソフトウェアを提案する。

Hierarchical Annotation Management Method for Activity Information Gathering System

YUICHI HATTORI,[†] SYOTA TANAKA[†] and SOZO INOUE[†]

Recently, the researches of activity recognition with sensor data are increased by the spread of smart phones with 3-axis accelerometers and gyroscopes. However, gathering various sensor data from many people is difficult. To solve this problem, we developed activity gathering platform using various client software. Moreover, annotating the data of continuous activities is also an important task. However, this task requires a large amount of it is done by hands. Moreover, an activity has a complex structure, and annotation by human often contains ambiguity. For this reason, a system needs to support so that a worker may add annotation efficiently and correctly. Therefore, we propose the annotation software which has the function of hierarchical segmentation and hierarchical annotation as a precise and invariant method.

1. はじめに

人間の行動が客観的に計測できるようになれば、様々な分野への応用が期待できる。例えば、医療分野においては生活習慣病の予防のために生活習慣を客観的に計測できる。また、農業分野においては農業従事者の行動記録を自動的に得る事ができるため、農作業の効率化を図る事が出来る。また、ダンスや伝統芸能など固有の動きが重要視される分野においては、師範などの手本とどれだけ近いかが評価できるため、客観的に動作の習熟度を確認することができる。これまでこのような行動の計測は難しかったが、近年、3 軸加速度センサやジャイロスコプといったセンサ類を搭載したスマートフォンが広く普及しており、それ

らが可能となりつつある。

人間の行動を解析するためには多人数かつ多くのセンサデータを集める必要がある。少人数で少量のセンサデータで学習を行えば、そのセンサデータに特化した学習となってしまう可能性が高いためである。しかし、多くの人から多様なセンサデータを集めることは、容易ではない。また、ユーザもただセンサデータを収集するだけでは、飽きてしまうため、継続的にセンサデータを収集することは難しい。そのため、ユーザに何らかのメリットを与えデータ提供意欲を持ってもらう仕組みが必要となる。そのため、我々は様々なクライアントソフトウェアを用い行動情報を収集できる多様な行動情報を収集するためのプラットフォームを開発した。

連続した行動情報に対するアノテーションは非常に重要な作業である。行動情報収集のためのプラットフォームにおいても、単体の行動であれば、行動ラベ

[†] 九州工業大学
Kyushu Institute of Technology

ルを付加することが容易であるが、連続した行動情報を収集した場合は、アノテーション作業が必要となる。アノテーションとは、行動情報に対して行動名などの行動ラベルを付け、その行動情報が何であるかを把握するものである。アノテーションがなければ、そのデータがどういったものであるかを把握することができない。一般的に行動認識では教師付き学習に基づく手法が広く用いられている。教師付き学習では、行動ラベルと対応したセンサデータを大量に学習に用いる。そのため、それらのデータを大量に用意することは重要である。しかし、行動ラベルを対応付ける作業は人の手によって行われ、非常に時間と手間のかかる作業である。そのため、アノテーションには、効率的にかつ正確に行動ラベルを付加する必要がある。アノテーションでは、行動ラベルと時間の正確性が重要であり、一般的なアノテーションソフトウェアでは動画画像等と連携しながら行動ラベルを付けることにより、より正確なアノテーションが可能となる。我々も動画画像と連携する手法を取り入れている。しかし、それだけでは、アノテーションの効率化という点においては不十分である。また、行動ラベルにも問題点があり、人間の行動というものは階層的に表現することができる。そのため、行動ラベルにおいても階層的にラベルを付加する必要がある。

そのため、我々は行動情報の階層化アノテーション管理手法として、階層的セグメンテーション機能とそれらの階層化アノテーションを持ったアノテーションソフトウェアを提案する。これにより、階層的なアノテーションが可能となり、さらに、自動的にセグメンテーションを行うことにより、アノテーション作業の効率化も図ることができる。我々は、階層的セグメンテーションの結果を元にグラフ構造を用いアノテーションを支援する。

本論文は、5つの章からなる。以下では、2章で関連研究を述べ、3章で多様な行動情報を収集するためのプラットフォームについて述べる。4章でアノテーション管理手法として階層化アノテーションと階層的セグメンテーション機能を持ったアノテーションソフトウェアについて述べ、5章でまとめる。

2. 関連研究

近年、スマートフォンなどに搭載されたセンサを用いた行動認識が盛んに行われており、それに伴いそれらのセンサデータを収集する試みが盛んになされている。Berchtoldらの研究¹⁾では、携帯情報端末とサーバを用いたシステム“ActiServ”を提案している。そ

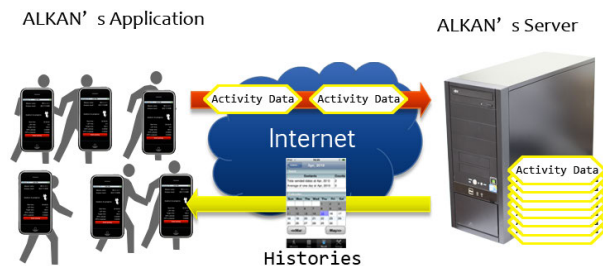


図 1 ALKAN 概要
Fig. 1 ALKAN overview

して、10個の行動について行動解析を行っている。しかし、体に取り付けていない“テーブルの上に置く”を除くと取り付け位置が3つしかなく、各行動も取り付け位置に対して3つずつである。Herrenらの研究²⁾では、20人のユーザに二つのセンサをつけ、角度と歩く速さを解析している。しかし、ユーザは指示に従って動いているため、これらは実際の日常行動のデータではない。

大規模に行動情報を収集する取り組みとしては、HASC Challenge³⁾がある。HASC Challengeでは、複数の研究室から行動データを収集することを提案している。そして、540人のユーザから6700の加速度データを収集している。この試みでは、センサデータ以外にも性別、身長、体重、靴の種類、床の種類などの情報も収集しており、データセットとしてより精度の高いデータを目指している。しかし、我々のアプローチは、行動情報を収集するプラットフォームシステムを提案し、利用範囲を広げることで精度は劣るが、より多くの行動データを収集することである。

2.1 大規模行動情報収集システム

我々は人間の行動を客観的に計測するための行動解析システムの構築を目標としている。行動解析には教師となるデータが必要となり、そのために多くの行動情報が必要となる。大量に行動情報を収集するシステムとして大規模行動情報収集システム「ALKAN」がある^{4),5)}。ALKANでは、iPhoneやiPod Touchなどの携帯情報端末と行動情報を収集するサーバを用い大量の行動情報を収集することを可能としている。ALKANの概要を図1に示す。しかし、ALKANは行動情報を収集するだけのシステムであり行動を行うユーザにメリットがない。また、ユーザが行える行動が固定されているため、システムに登録されていない行動の行動情報は収集することができない。

2.2 セグメンテーション

大村らの研究⁶⁾では、加速度データに対して自動セグメンテーション手法を利用して行動認識の再学習に利用している。これは、階層のないセグメンテーションであるが、我々は、階層化したセグメンテーション⁷⁾を用いてアノテーションを支援する。

2.3 アノテーション手法

河口らの HASC Tool⁸⁾は、データの収集から分析、利用、評価までを単一のソフトウェアで実現しており、様々な機能を搭載している。ラベル付与機能についても加速度波形に対してラベルを付与可能となっている。吉作らの ALATA⁹⁾は、アノテーションに能動学習手法を取り入れており、自動でのアノテーションを可能にしたアノテーションソフトウェアである。能動学習により作業者はすべてのセンサデータを確認する必要がなくなる。このソフトウェアでは、認識結果の確認・修正が必要なデータが強調されて表示され、ユーザによる認識結果の修正を支援する。しかし、これらのアノテーションソフトウェアは階層的なアノテーションに対応しておらず、時間に対して単一の行動ラベルを付加することしかできない。人間の行動は階層的に表現できるため、階層的なアノテーションは必要である。

3. 多様な行動情報を収集するためのプラットフォーム

多様な行動情報を収集するためには、ALKAN のように 1 種類のクライアントソフトウェアで行動情報を集めるのではなく、それぞれの行動に適したクライアントソフトウェアを用い行動情報を収集できる仕組みが必要となる。例えば、腹筋などのトレーニングのデータを集めるソフトウェア、歩行データを集めるための万歩計のソフトウェアといったようにそれぞれに特化したソフトウェアを提供することにより、様々な行動情報を収集することができる。それを実現するためには、サーバとクライアント間の通信及び行動情報収集に必要な情報が汎用化されたプラットフォームが必要となる。概要を図 2 に示す。

3.1 行動情報

我々が収集する行動情報に含まれる情報は、行動名などのメタデータとセンサデータである。なお、端末によってセンサデータの単位が違う場合があるので端末の機種名は重要である。

3.1.1 メタデータのフォーマット

本システムで用いるメタデータのフォーマットは XML を用いてユーザ ID、行動 ID、行動名、開始時間、終了時間、端末の機種名、クライアントソフトウェ

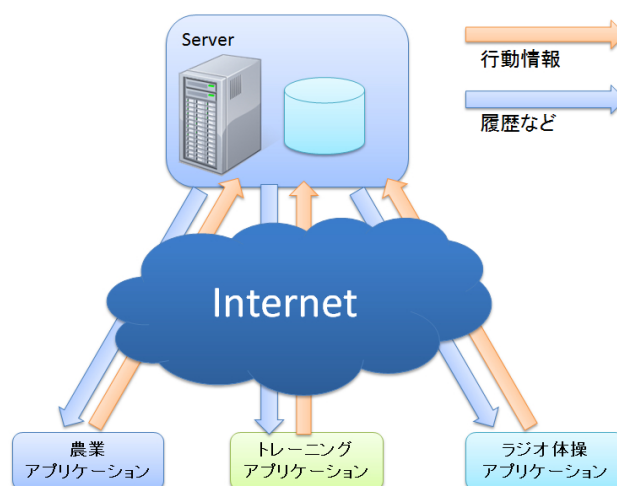


図 2 プラットフォーム概要
Fig. 2 Platform overview

```
timestamp(milli),x,y,z
1322790732908,-1.852367,2.043052,9.820271
1322790732909,-1.838747,2.083913,9.765789
1322790732909,-1.893228,2.083913,9.711308
1322790732910,-1.893228,2.043052,9.752169
1322790732923,-1.865988,1.988571,9.806650
....
```

図 3 3 軸加速度データの例
Fig. 3 Sample of accelerometer data

ア名、取り付け位置 ID、取り付け位置名、各センサの種類とサンプリングレート (Hz) を含む。

3.1.2 センサデータのフォーマット

本システムで用いるセンサデータのフォーマットの例を図 3 に示す。また、3 軸加速度センサの Android で取得できる値の単位は m/s^2 であるのに対し iPhone 等で得られる値の単位は $G(1G = 9.80665m/s^2)$ である。本システムでは、各端末とも RAW データを取得することとし、単位の変換は行わない。なお、3 軸加速度及びジャイロスコプのデータの 1 行目は、Unix タイムスタンプ (msec)、X 軸、Y 軸、Z 軸となっている。

3.2 サーバ

サーバ側では、クライアントから送信された行動情報を保存するとともに、ユーザ情報と行動の一覧を管理する。サーバ上の行動の一覧に登録されていなければ、その行動の情報を収集することはできない。なお、ユーザは登録さえしていれば Web ブラウザ上で自由に行動を登録することができ、登録した行動を元に行動のリストを作成することができる。サーバはクライ



図 4 クライアントソフトウェアの例 (エミュレータ上)
Fig. 4 Sample of client software on an emulator

アントから要求があれば行動のリストをクライアントに送信することができ、それによりクライアントが持つ行動のリストを更新することができる。

3.3 クライアントソフトウェア

クライアントソフトウェアは、主に iPhone や Android 端末などのスマートフォンを対象とする。汎用化された API を用いることにより、様々なクライアントソフトウェアの実現を可能としている。クライアントソフトウェアは、API を用い下記の作業を行う。

- (1) ユーザ認証
- (2) 行動のリスト取得
- (3) 行動情報送信
- (4) 履歴の取得

クライアントソフトウェアの例を図 4 に示す。

4. アノテーション管理手法

連続した行動情報に対するアノテーションは非常に重要な作業である。アノテーションでは、行動ラベルと時間の正確性が重要であり、一般的なアノテーションソフトウェアでは動画画像等と連携しながら行動ラベルを付けることにより、より正確なアノテーションが可能となる。我々も動画画像と連携する手法を取り入れている。しかし、それだけでは、アノテーションの効率化という点においては不十分である。また、行動ラベルにも問題点があり、人間の行動というものは階層的に表現することができる。そのため、行動ラベルにおいても階層的にラベルを付加する必要がある。

そのため、我々は行動情報の階層化アノテーション管理手法として、階層的セグメンテーション機能とそれらの階層化アノテーションを持ったアノテーションソフトウェアを提案する。

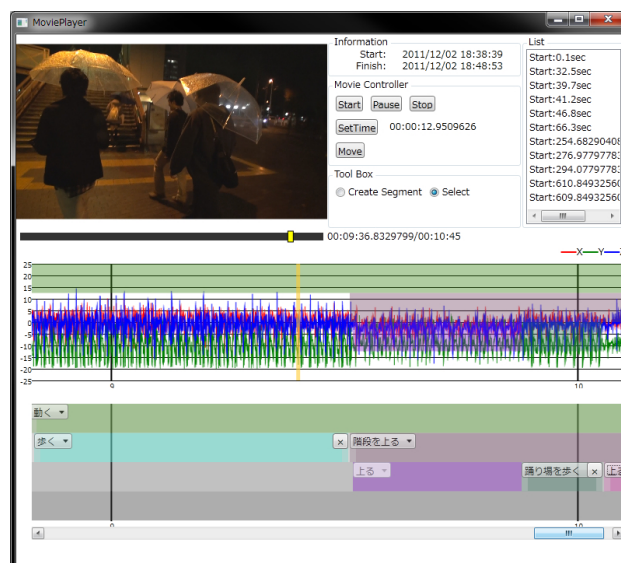


図 5 動画を使ったアノテーションソフトウェア
Fig. 5 Annotation software using video

4.1 動画画像を用いたアノテーション

我々は、動画画像を用いたアノテーションソフトウェアを開発した。動画画像を使ったアノテーションソフトウェアを図 5 に示す。動画画像を用いたアノテーションは一般的な方法であるが、本ソフトウェアでは、一般的なアノテーションソフトウェアと違い階層化アノテーションを導入した。また、アノテーション作業の補助としてデータを読み込んだ際に自動的にセグメンテーションする機能も導入している。その他実装している一般的な機能は下記の通りである。

- (1) 動画とセンサデータのずれの修正 (手動)
- (2) 動画画像再生 (再生、一時停止、停止、ジャンプ)
- (3) ラベル編集
- (4) ラベルのリスト表示
- (5) 開始時間終了時間等の表示

4.2 階層的セグメンテーション

本ソフトウェアでは、アノテーション作業の負担を軽減するために、最初にデータを読み込む際にセグメンテーションを行う。これにより、なにをやっているかまでは判別することはできないが、行動の移り変わりを容易に把握することができ、作業者はその結果に対して行動を選択するだけとなり、作業を軽減することができる。また、セグメンテーションされた結果は間違えることもあるため、結果を編集することも可能である。なお、セグメンテーションの手法は、文献⁷⁾の手法を使用した。この手法では、階層的にセグメンテーションを行うことができる。階層のないセグメンテーション手法では、時間窓幅 N に対するセグメンテーション結果として、時刻の列 T_N を得ることができる。こ

こで、入力となる時間窓幅を複数用意することにより、時間間隔を荒くまたは細かく調整することができる。上記の手法では、 $\mathcal{N}$ 種類の時間窓幅 $N_1, N_2, \dots, N_{\mathcal{N}}$ (ただし $0 < N_1 < \dots < N_{\mathcal{N}}$ とする) に対応してそれぞれセグメンテーションを行い、そのそれぞれの結果 $T_{N_1}, \dots, T_{N_{\mathcal{N}}}$ において、 T_{N_i}, T_{N_j} について $i < j$ である場合に限り、第 i 層より第 j 層が上位の層であるという。つまり、セグメンテーション結果が荒いほど、上位層になる。以下では、時刻 t が属する第 i 層のセグメント (つまり隣り合う $t_1, t_2 \in T_{N_i}$ について $t_1 \leq t < t_2$ となるような区間 $[t_1, t_2]$) を $s_i(t)$ とおく。

4.3 階層化アノテーション

階層的なセグメンテーションにおける構造情報を用いて、以下のようにしてアノテーションの支援を行うことができる。はじめに、アノテーション構造 G として、以下のような非巡回有効グラフ (DAG) を用意する。

$$G = (V, E)$$

ただしアノテーション集合 V は文字列の集合、 E は有向枝集合つまり $E \subseteq V \times V$ である。最初の時点では、 V も E も空集合とする。また、利用者は任意のセグメントに対して行動ラベル文字列を付与することができるものとする。利用者がセグメント $s_i(t)$ に行動ラベル文字列 l_i を付与したとする。この時、システムは以下を行う。

- (1) V に l_i を加える。
- (2) i の上位セグメント $s_j(t)$ のそれぞれについて、行動ラベル文字列 l_j が既に付与されていれば (l_i, l_j) を E に加える。
- (3) i の下位セグメント $s_k(t)$ のそれぞれについて、行動ラベル文字列 l_k が既に付与されていれば (l_k, l_i) を E に加える。

利用者がセグメント $s_i(t)$ にアノテーションを行おうとしたとき、システムは以下のように候補を提示する。

- (1) i の上位セグメント $s_j(t)$ のそれぞれについて、行動ラベル文字列 l_j が既に付与されていれば、 $(l, l_j) \in E$ である全ての l を候補に加える。
- (2) i の下位セグメント $s_k(t)$ のそれぞれについて、行動ラベル文字列 l_k が既に付与されていれば、 $(l_k, l) \in E$ である全ての l を候補に加える。

これによって、過去に付与したアノテーションに対して、その上位または下位のアノテーションを利用して新しいアノテーションの候補とすることができる。

4.4 例

図 6 に、提案手法の適用例を示す。図ではまず、あるデータに対して自動的に階層セグメンテーションが

行われる。それに利用者が行動ラベルを追加して行く中で、「歩行介助」という行動ラベルを付けたとする。すると、アノテーション構造 G に「歩行介助」に対応するノードと、上位層である「室内処置」への枝、および下位層である「歩く」からの枝が加えられる。次に、別の行動データに対して利用者がアノテーションをしようとしたとき「室内処置」というラベルの下位のセグメントに対して、 G における「室内処置」ノードに入る枝を持つノード「血圧測定」「心電測定」「歩行介助」が候補として提示される。このように、階層化したセグメンテーションの構造と、そこへの行動ラベル付けの履歴を利用して、利用者が新たにアノテーションをしようとする際にその候補を与えることができる。この手法は、

- セグメンテーションは教師なしの手法により自動的に行われるため、学習データや利用者の違いによる変動がなく、一意性が保たれる。
- 一つのアノテーションを行った際に、上位または下位のアノテーションも同時にやりやすくなる。
- 行動ラベルの表記揺れが少なくなる。

といった利点が考えられる。一方で、アノテーション構造 G に誤った構造が追加されると、その後その影響を引きずってしまうという欠点も考えられるため、今後改良が必要である。

5. おわりに

本論文では、様々なクライアントソフトウェアを用い行動情報を収集できる多様な行動情報を収集するためのプラットフォームを開発した。これにより、様々なクライアントソフトウェアを用意すれば、様々な行動情報が収集できることが期待される。また、行動情報の階層化アノテーション管理手法として、階層的セグメンテーション機能と動画像を用いた階層化アノテーションを持ったアノテーションソフトウェアを提案した。これにより、階層的なアノテーションが可能になるとともに、アノテーション作業者の作業を簡略化することができ負担を軽減できる。今後、開発したアノテーションソフトウェアの評価などを行いそれに基づいて改良していく予定である。

参考文献

- 1) M. Berchtold, M. Budde, D. Gordon, H. R. Schmidtke, and M. Beigl. “Actiserv: Activity recognition service for mobile phones”, In Proceedings of the Fourteenth International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2010),

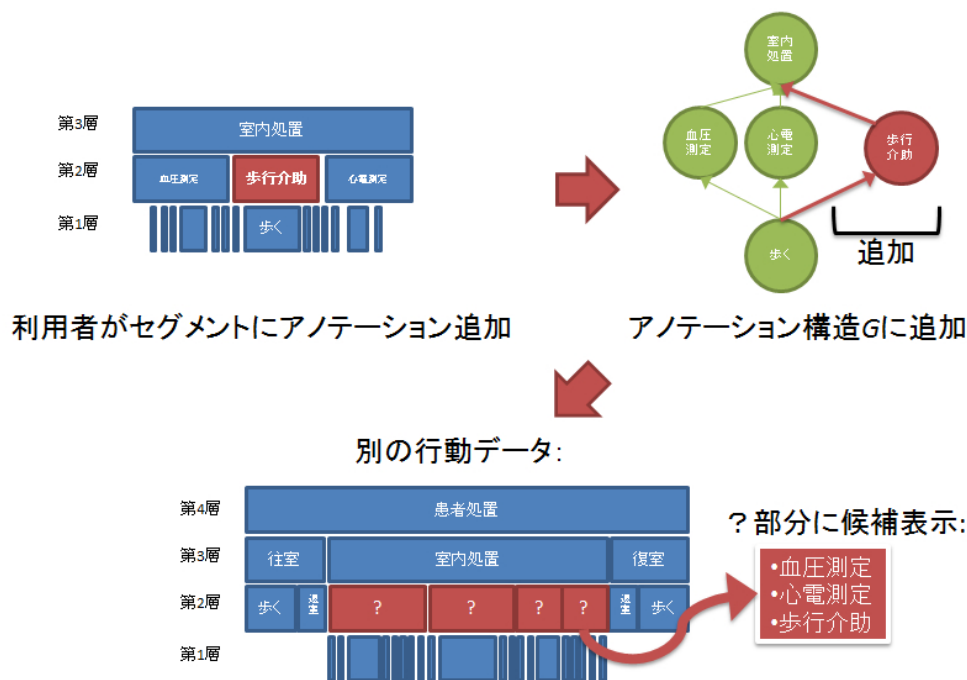


図 6 提案手法の適用例
Fig. 6 Sample of proposal method

- 2010.
- 2) R. Herren, A. Sparti, K. Aminian, and Y. Schutz. "The prediction of speed and incline in outdoor running in humans using accelerometry". *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 31(7):1053-9, 1999.
 - 3) Nobuo Kawaguchi, Ying Yang, Tianhui Yang, Nobuhiro Ogawa, Yohei Iwasaki, Katsuhiko Kaji, Tsutomu Terada, Kazuya Murao, Sozo Inoue, Yoshihiro Kawahara, Yasuyuki Sumi, Nobuhiko Nishio, "HASC Challenge: Gathering Large Scale Human Activity Corpus for the Real-World Activity Understandings", *Proc. Augmented Human Conference*, 1-5, March, 2011.
 - 4) 服部 祐一, 竹森 正起, 井上 創造, 平川 剛, 須藤 修, "携帯情報端末による大規模行動収集システムの運用と基礎評価", *マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2010) 予稿集*, pp. 583 - 590, July 6, 2010, Gifu, Japan.
 - 5) Yuichi Hattori, Sozo Inoue, Go Hirakawa, Osamu Sudo. "Gathering Large Scale Human Activity Information Using Mobile Sensor Devices", *International Workshop on Network Traffic Control, Analysis and Applications (NTCAA-2010)*, pp.708-713, Fukuoka, Japan, 2010.
 - 6) 大村 廉, 橋田 尚幸, 今井 倫太, "加速度データ自動セグメンテーションに基づく行動認識手法の性能評価", *第 27 回情報処理学会ユビキタス*

コンピューティングシステム研究会 (UBI), ユビキタス・センサネットワーク (USN) 共催研究発表会, July, 2010.

- 7) Sozo Inoue, Yuichi Hattori, "Toward High-level Activity Recognition from Accelerometers on Mobile Phones", *Proc. IEEE International Conferences on Cyber, Physical and Social Computing (CPSCOM 2011)*, 7 pages, Dalian, China, October 19, 2011.
- 8) Nobuo Kawaguchi, Nobuhiro Ogawa, Yohei Iwasaki, Katsuhiko Kaji, "Distributed Human Activity Data Processing Using HASC Tool", *Proceedings of the 13th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp2011)*, pp.603-604, 2011.
- 9) 吉作清彦, 大村 廉, "ALATA: 継続的なラベル付きデータ取得のための能動学習に基づくアノテーションツール", *第 31 回情報処理学会ユビキタスコンピューティングシステム研究会 (UBI)*, pp.17 - 24, July, 2011.