

人間モデリングのための生活行動デジタルコンテンツ構築ソフトウェアの開発

Software of Constructing Digital Human Daily Life Behavior Contents for Human Modeling

佐藤 知正¹⁾ 森 武俊²⁾ 西田 佳史³⁾ クリストファ アトケソン⁴⁾ ヨーキー マツオカ⁵⁾

- 1) 東京大学知能機械情報 (〒113-8656 文京区本郷三丁目 16 番 7 号 E-mail: tomo@ics.t.u-tokyo.ac.jp)
- 2) 東京大学情報学環 (〒113-8656 文京区本郷三丁目 16 番 7 号 E-mail: tmori@ics.t.u-tokyo.ac.jp)
- 3) 産業技術総合研究所 (〒135-0064 江東区青海 2-41-6 E-mail: y.nishida@aist.go.jp)
- 4) カーネギーメロン大学 (5000 Forbes Ave. Pittsburgh, PA 15213 USA E-mail: cga@cc.gatech.edu)
- 5) カーネギーメロン大学 (5000 Forbes Ave. Pittsburgh, PA 15213 USA E-mail: yoky@cs.cmu.edu)

ABSTRACT. This paper proposes a software of constructing digital human daily life behavior contents for human modeling purpose. The software consists of 1) room sensor systems software to observe human behavior and related object motion by vibration sensors or ultrasonic sensors, 2) wearable sensor system software to measure joint angle of human arms and legs, 3) human behavior accumulation system software to construct digital human behavior contents and 4) retrieval and presentation software to access and visualize the accumulated data on demand. The software is available from Internet.

1. 背景

人の機能のモデルをつくるデジタルヒューマンの研究には、人間のデータが欠かせない。特に、日常活動をしている人の行動をシステムが認識し支援する機械やロボットに役立つモデルを構築することを念頭においた場合、人の自然な行動を長期にわたって計測し、記録することが不可欠となる。

人の行動の記録と分析については、これまでは実験室レベルで人に負担を強いる形でこれを計測し、分析目的に個別に対応したフォーマットで記録されてきたにすぎない。長時間、自然な人間行動を、研究者が共有できるかたちで蓄積・検索できることが、この分野の研究にかかせない。

これらの状況に鑑み、著者らは、自然長期網羅的な人間行動の計測および蓄積を可能とすることを念頭に研究開発をスタートさせた。そして、人間モデリングのための日常生活行動デジタルコンテンツ構築ソフトウェアを実現した。

以下、本研究開発の目的、実現されたセンサと、データベースの枠組みと、その将来課題について述べる。

2. 目的

本研究の目的は、家庭やオフィスのような日常的な環境における人間の自然な生活行動を、長期間にわたって時空間的にシームレスに記録し、行動をキーとして体系的に検索・表示できるソフトウェア「生活行動のデジタルコンテンツ構築ソフトウェア」を実現することであった。

3. 成果の概要

年間の研究開発活動を通じて、生活行動のデジタルコンテンツ構築ソフトウェアとして、以下の機能を持つ

たソフトウェア群を実現した。

- a) 室内センサ情報に基づいた人間行動認識ソフトウェア (CMU・産総研・東大)
室内に配置した床振動センサ、超音波センサ等から人間の位置や環境の情報を計測し、どんな活動を行っているのかを認識するソフトウェア
- b) 身体センサ情報に基づいた人間行動認識ソフトウェア (CMU)
身体に取り付けた加速度センサ等によって人間の動作情報を集め、行動を認識するソフトウェア
- c) 人間行動情報蓄積ソフトウェア (東大)
種類や性能の異なる様々な室内センサと身体センサより得られる人間・環境情報を、生データ、イベント以上の各レイヤに関連づけ蓄積するソフトウェア
- d) 人間行動検索表示ソフトウェア (東大・産総研)
人間・環境イベント、人間・環境イベント、時刻などの行動を特徴づけるものをキーとして、必要な行動情報を検索し、ユーザが把握しやすいように表示するソフトウェア

以下、これらの成果についてその詳細を述べる

4. 室内センサ情報に基づいた人間行動認識ソフトウェア

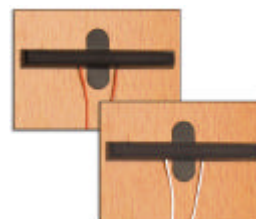


図 1 振動センサ

(1) 振動センサと歩調検出ソフトウェア

a) 概要:

室内センサ情報に基づいた人間行動認識ソフトウェアの要素機能として、a) ピエゾ振動センサを複数床に取り付け、b) 人間の足踏みによって発生する振動

を 96[kHz]でサンプリングし、振動が各センサへ到達する時間の差から人の位置を推定する歩調検出ソフトウェアを開発した。2つの振動センサを用いた実験により、人の位置を推定する機能の評価を行った。



図 2 歩調検出センサ

b) 計測センサシステム

開発した歩調検出センサシステムは、図 2 に示すような加速度センサ、ひずみゲージ、 piezo素子からなる振動センサを床下に取り付けることで、歩行中の振動を検出するシステムである。

b) 歩調検出ソフトウェア

生信号に対して、2次のバターワースフィルタを用いた結果の2乗和を求めることで、歩行中の床面と足の接触によるエネルギーに似た量が検出できる。以下、こ

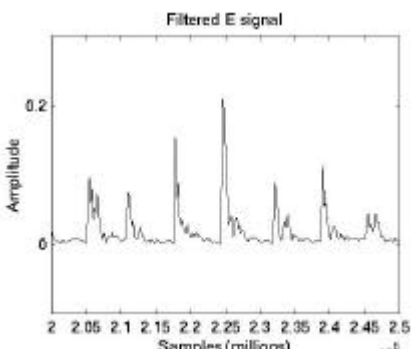


図 3 E信号

れを E 信号と呼ぶ。E 信号の検出例を図 3 に示す。複数の振動センサを利用して、この E 信号の到達時間の差を検出することで、人物の位置を推定することが可能である。図 4 は、E 信号を利用して推定された人物の位置の結果を示している。

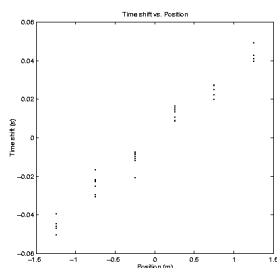


図 4 人物位置推定の結果

2) 対象物センサ化システム

a) 概要:

日常行動によって空間的な位置や構成要素間の状態が変わる対象物をセンサ化することで、日常行動を検出する対象物センサ化システムを試作し、これを用いて日常活動計測するためのソフトウェアを開発した。

試作した対象物センサ化システムは、ハードウェアとしては、1) 48個の超音波受信器と2) ホッチキス、ペットボトルなどの対象物に取り付けて使用する超音波送信機 24個からなり、ソフトウェアに関しては、1) 対象物 3次元位置推定機能、2) 対象物の形状・操作モデルから行動を認識する機能からなる。

開発したソフトウェアの3次元位置推定機能の性能を評価した結果、精度は、5[cm]で、分解能は、15[mm]程度であった。また、実際に、対象物(書類、ホッチキス、ペットボトル、ゴミ箱など)に1個以上の超音波発信器を取り付けることで対象物をセンサ化し、人間の活動によって発生する環境イベントを対象物の位置やレバーの角度の変化として出力する機能を実現した。コップを持った、ホチキスを床や机の上に置いた、といったピック&プレイスを認識させる実験を行うことで、行動認識機能を評価した。



図 5 対象物センサ化システムの概観

b) センサシステム

システムのハードウェアの構成図を図 6 に示す。PC、

ネットワーク部(HUB)、Time-of-flight計測部、超音波受信部、超音波送信制御部、無線ユニットから構成されている。超音波受信部は、超音波送信部からの超音波パルスを受信し、増幅するために用いる。HUBは、Time-of-flight計測部と超音波送信制御部に同期信号と計測すべき対象物



図 6 ハード構成



図 7 発信器が取り付けられた対象物の例

のIDを送信するために用いる。

Time-of-flight計測部は、同期信号を検出した時点から増幅された信号がある閾値を超えるまでの時間を計測するために用いる。対象物の3次元計測の原理は、超音波発信器(図7参照)から発信さ

れた信号を3個以上の受信部で受信し各々の受信部で超音波の到達時間を使って、laterationを行うことにより対象物の3次元位置を測定する。サンプリング周波数は約50Hzである。

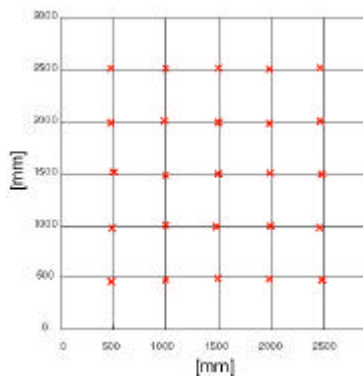


図 8 精度検証実験結果

図 8 は、2.5 x 2.5[m]の範囲で25点を選び、天井に取り付けられた受信器によって測定された対象物の位置と絶対座標との誤差を評価したものである。各点は、30回サンプリングして求めた平均値を示している。計測誤差は、最大で、約

5[cm]生じている。

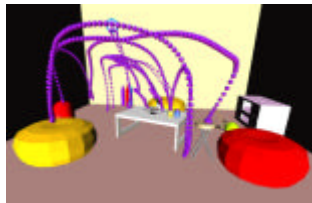


図 9 対象物 3次元位置推定結果

図9は、対象物が動いた時の3次元位置の検出結果を示している。

c)認識ソフトウェア

図10に示すように、本プロジェクトでは、行動認識ソフトウェアとして、対象物をセンサ化することで、対象物の性質を維持しつつ、対象物を使って行われる日常活動を頑健に計測し、認識された行動結果を出力するソフトウェアを作成した。日常生活環境中に存在するコップ、ホッチキス、椅子、ゴミ箱などの実オブジェクトに位置検出用のビーコン、ID番号、必要な場合は、センサを持たせ、計算機上で対象物指向に記述された対象物の属性や機能に関する知識やメソッド(仮想オブジェクト)と実オブジェクトとを頑健に結び付けることで、頑健な実時間行動計測と探索範囲限定による効率的な行動の認識を実現するソフトウェアである。机やコップ、紙とホッチキスなどの相対位置の変化を検出することで、「コップを持った。」「ホッチキスで留めた」などの活動を認識する機能を実現した。



図 10 センサ化システムとソフトウェア

5. 身体センサ情報に基づいた人間行動認識ソフトウェア

(1) 概要

身体センサ情報に基づいた人間行動認識ソフトウェアの基本機能として、高分解能の加速度センサを体の手首や肘に装着し、これらの加速度センサの出力から、各関節角を計算するソフトウェアを作成した。作成したソフトウェアの性能評価を行った。

(2) センサシステム

図11に示すように手首と肘などに三軸の加速度センサ(図12参照)を取り付けることで、手首や肩の関

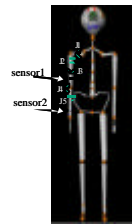


図 11 加速度センサの取り付け位置



図 12 加速度センサ

節角を推定するのに用いる加速度を検出するシステムを作成した。

センサは柔軟な布に取り付けられ、誰でも簡単に身に付けることができるものになっている。また、小型バッテリーを用いて携帯可能なデータ収集システムとなっている。

(3) 間接角度推定ソフトウェア

センサシステムによって、検出された加速度を利用し

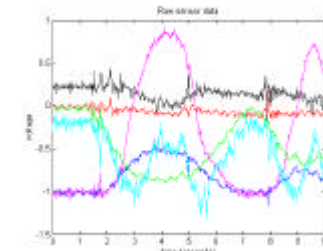


図 13 計測された加速度センサ出力

て、手首(1自由度)、肩(2自由度)、肘(1自由度)、鎖骨部(1自由度)の関節角(計5自由度)を検出する関節角度推定ソフトウェアを開発した。

開発したソフトウェアは、加速度センサの低周波成分を用いることで重力方向を推定し、腕などの関節角を推定する機能と、高周波成分の積分値を利用して運動障害等によって生じる腕の震動を検出する機能を持っている。また、ソフトウェアによる

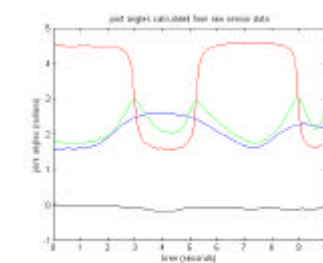


図 14 推定された関節角

角度推定の評価実験を行った。図13は、計測された加速度の例を示しており、図14は、関節角度の推定結果を示している。開発したフィルタリングソフトウェアでは、最大4.5度の誤差で計測することができる。

6. 人間行動情報蓄積ソフトウェア

(1) 概要

情報蓄積ソフトウェアとして以下の要素と機能を実現した。1) センサディスクリプタと呼ばれるセンサのサンプリングレート、位置、取得する環境情報、出力データ形式を記述した行動センサデータ構造を提案し、これを用いて様々なセンサを抽象化しデータベースにイベントやシンボルとして取り込む機能。2) 人間位置計測用床センサ 10Hz、就寝状態検知ベッドセンサ 2Hz などのように、サンプリングレートの異なるマルチセンサをマルチレート処理 (デシメーション・インターポレーション) することにより日常行動により発生した環境データと人間データの同時記録する機能。さらに実際に日常行動をデータベース化する実験を行い、センサディスクリプタの有効性、人間・環境データの同時計測機能を検証した。



図 15 蓄積シーン

(2) センサモジュール

人間行動およびその環境のデータを取得するためのセンサは、多種多様にわたる。センサ自体は、主に、取り付けられているものや分類により、まとめて扱うと便利であり、またそのような単位で追加されることが多いことから、それらのことをセンサモジュールと呼ぶこととする。計測、蓄積および検索は、センサモジュールごとに行う。センサモジュールは、抽象化のために XML によりその性質を記述する。

(3) センサディスクリプタ

XML 記述は、データベース側のテーブルの生成や環境内でのセンサ自体の検索を行う際に用いる。新しいセンサモジュールを導入する際には、必ず XML 記述をセンサモジュールについての DTD にそって作成するようにする。

センサモジュール記述は DTD にそって行なわれる。ただし、DTD による規定のみではあいまい性が残るので、他に守らなければならない事項については文の形で記述される。

サンプル的なモジュールとして、仮想的なセンサモジュールを考えて、XML ファイルについて説明する。この仮想的なモジュールはカメラ付きのエアコンと想定する。取得できる情報としては、生データとして電源の ON/OFF、エアコンの温度計、カメラからの JPEG 画像があるとする。また、それらを処理したデータとして、人の頭の位置、部屋内部の推定温度、人の向きを得られることとする。この例の実際の XML は下記ようになる。

```
<?xml version="1.0" ?>
<!DOCTYPE sensor-module (View Source for full doctype...)>
<sensor-module>
  <service-info>
    <name>sample-service</name>
    <manufacture>Unknown</manufacture>
    <vendor>Sampler</vendor>
    <version>1.0</version>
    <model>Sample model 1</model>
    <serial-number>2002020801</serial-number>
  </service-info>
```

```
<module-info virtual="false">
  <module-type>appliance</module-type>
  <module-name>SampleAirConditioner</module-name>
  <module-description>This is a sample module.</module-description>
</module-info>
<sensing-area>
  <rect x1="0" y1="0" z1="0" x2="0" y2="0" z2="0" />
</sensing-area>
<sensors sampling="10">
  <sensor type="thermometer" value-type="analog" x="0" y="0" z="0" />
  <sensor type="power" value-type="digit" x="0" y="0" z="0" />
  <sensor type="vision" value-type="binary" x="1.0" y="1.0" z="1.0" />
</sensors>
</module-info>
<processed-data-info>
  <human-part name="head" type="1" />
  <environment name="temperature" type="0" />
  <others name="direction">
    <value-type name="angle" type="float" />
  </others>
</processed-data-info>
<position-info>
  <address>NoWhere</address>
  <ip-address>127.0.0.1</ip-address>
  <position x="0.0" y="1.0" z="2.0" />
  <rotation a="0.0" b="0.0" c="0.0" d="0.0" />
</position-info>
</sensor-module>
```

記述は主に 3 つの部分に分かれる。Module-info は、モジュール全体での情報、そこに含まれるセンサの情報を記述する部分である。センサ一つ一つは sensors ノードに含まれる sensor で定義される。また、ある種の抽象センサを扱う場合には virtual 属性を true とする。Sensor ノードではセンサのタイプとそのデータタイプ、モジュール内での位置を記述する。

Processd-data-info は、処理後データの情報を記述する部分である。基本的に、人間にかかわる動作 human-part、環境 environment、その他 others の三つに分類される。Human-part では、センサによって取得される人間の部位情報を記述する。特に行動や動作と関連して人間の部位の位置情報を重要視して記述する。

Environment では、人間をとりまく環境に関わる情報でどのようなものが取れるかを記述する。たとえば部屋の温度・湿度など、直接的には行動に関係ないけれども環境として取得される重要なデータを記述しておく。

Others は上記二つに当てはまらない情報について記述する。できる限り使わないことが推奨される。

Position-info は、環境内におけるモジュールの位置の情報について記述する。環境内での絶対位置座標を基準とした XYZ 位置、軸系から見た回転座標系のクォーターニオンを指定する。モジュールには基本的に IP アドレスを一つ割り当てておく。

(4) センサモジュールとデータベーステーブル構造

データベースのテーブルはセンサモジュールにより動的に作られる。その際、センサデータそのままの情報とその処理後データに分けて作られる。それぞれのテーブルはグリニッジ標準時の 1970/1/1 からの時間のミリ秒の項と TIMESTAMP の項がつけられ、その後にデータがつくような構造となる。生データは、基本的にはそれぞれ Sensor1 から順に浮動小数点の 0.0~1.0 に正規化したデータとして蓄える。HumanPart の場合は、Name+ "_x"、

Name+ "_y" , Name+ "_z" , Name+ "_value" という順に付け加えられる。Environment の場合, name_value として付け加えられる。また, Others の場合は Value Type の Others の Name+Value Type の Name の形で項が付け加えられる。

センサディスクリプタの説明にある, 仮想的カメラつきエアコンディショナの場合には, 次のようなテーブルが作られる。

生データ

```
Millisec sensing_time sensor1 sensor2 sensor3
LONG TIMESTAMP FLOAT FLOAT OID
```

処理後データ

```
millisec sensing_time head_x head_y head_z
head_value temperature direction_angle
LONG TIMESTAMP FLOAT FLOAT FLOAT
FLOAT FLOAT FLOAT
```

データベーステーブルの作成は, 蓄積ソフトウェアなどが, このような XML 情報をもとに自動的に行う。

(5)蓄積メカニズム

蓄積は, ネットワークを用いたサーバ・クライアント方式で行なう。蓄積側にサーバプログラムをおき, それにセンサモジュール側がクライアントとして接続する形態をとる。この際, クライアント側は, サーバの IP アドレスをあらかじめ知っておく必要がある。接続時には, まずはじめに認証処理を行い, 次に蓄積を開始する。

認証処理は, 基本的には初期接続時に XML を送って行い, 次回以降は発行された ID を元に通信を行なう。また, 蓄積側でのセンサモジュールに関する処理もこの ID をもとに行なう。通信自体は TCP/IP を用いて行なわれる。

プロトコルは図のようになっている。基本的には $\$r\n までを一つの命令として受け取ることによるやりとりを行なっている。

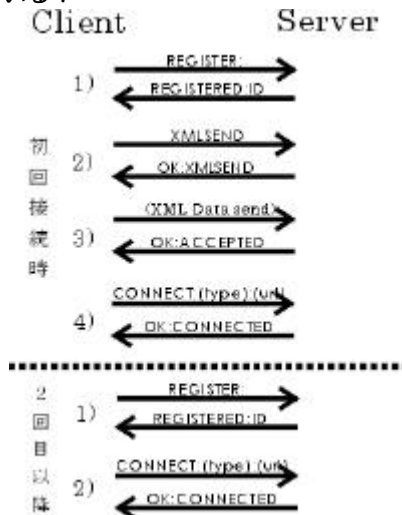


図 16 蓄積認証時通信プロトコル

認証が終わってから蓄積を行なう。これには大きくわけて三つの方法がある。1)Server Pull は, サーバ側からセンサモジュール側に働きかけることにより同期を取るタイプである。サーバからデータを取得してもらうまで, バッファリングする必要がある。2)Client Push は Server Pull とは逆にセンサモジュール側から書き込むタイプである。バッファが小さかったり, 画像などのようにデータが大きい場合に用いる。3)ClientBatchPush は, これまでの既存データをこのシステムに移行する場合や, ネットワーク常時接続を行えないような一度デー

タを蓄える必要がある場合に利用する。蓄積データの通信プロトコルを別途定める必要がある。

(6)蓄積実験

実際にこのシステムを利用して, 現実の人間の行動を蓄積しデータを作成した。

蓄積データ例は, 2002年1月14日22:30から環境センシングルーム Robotic Room II で取得されたセンサデータとそのときの磁気式モーションキャプチャ装置を使って計測されたモーションデータの一部である。このデータは WWW に公開情報として掲載されている。

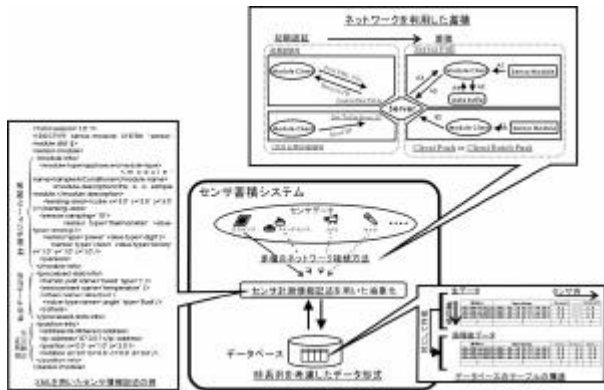


図 17 蓄積システムの構成

7. 人間行動検索表示ソフトウェア

人間行動検索表示ソフトウェアとして, 時間や人間・環境イベントといった行動を特徴付けるものをキーとして検索する機能と日常行動をテキストとグラフィックスで分かりやすく表示する機能を実現した。行動をテキスト化する機能としては, 対象物センサの出力を対象物の状態変数で記述し, 対象物状態遷移モデルと対象物間の状態遷移モデルを用いることで, 日常行動を同定しテキスト化する機能。グラフィックスで日常行動を表示する機能としては, 人間・環境イベントの変化をとらえ表示するソフトウェアを開発した。

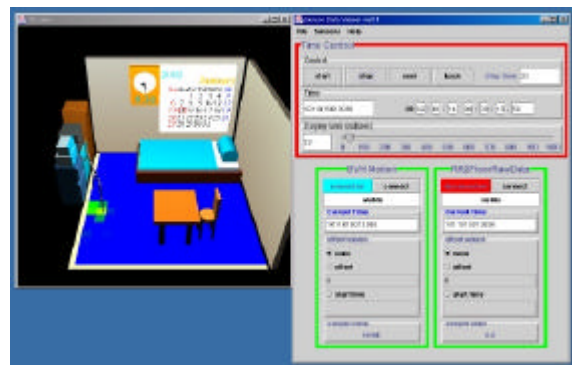


図 18 時間検索表示プログラム

8. まとめと将来課題

(1) 成果の公開 実現されたソフトウェアの一部を WEB 上で公開するなどの活動を通じて成果を広く公開している。具体的には,

- A) 行動認識ソフトウェア
- B) 生データ、イベントレベルの情報を蓄積するソフトウェア
- C) 行動を定義し、検索するソフトウェア

これらのソフトウェアを、以下の URL にて 2002 年 3 月より公開している。

<http://www.ics.t.u-tokyo.ac.jp/ipa/ipa2001/index-j.html>

もし、この CD にソフトが入れられるならそれを入れたい。

(2) 将来課題

構築した「生活行動のデジタルコンテンツ構築ソフトウェア」を利用すれば、自然で長期の日常行動より任意の区間、任意の種類データを切り出して蓄積し利用することが可能となる。この機能は、これまでのような限定された状況での特定の行動を特定の時間で区切った行動情報を蓄積し利用できる機能とは、一線を画する新たな応用分野を以下のように切り開く。1) 自然で膨大な人間の生活行動情報を研究者に提供できるので、実際に生活する人間のモデルを構築する強力な手段を提供する。2) 老人の生活を長期間蓄積しその生活情報に基づいてその個人に適合した内容のサービスを提供できるようになる。例えば、その人に適合した危険行動の防止など、リアルタイムな行動捕捉に基づくその場支援により、さまざまな生活をする老人が独立してより長い期間生活できるようサービスを可能としたり、ある個人の長期生活行動の記録情報を医者や介護人にみせることによって、個人に適合した医療や介護支援サービスを実現できたり、行動の長期にわたる経時変化を検出するためのデータが提供できるので、よりその個人に適した教育やトレーニングができるように支援すること、などが可能になる。その際には、長期生活行動の記録情報からその人の典型的な行動を抽出し、それとある特定の時間（その人の現在）やある特定の人（熟練者や教師など）によって行われた行動との差異をわかりやすく人に提示する「人間行動の短縮表示機能」が、重要な研究開発課題となる。例えば、本プロジェクトにより開発された検索表示ソフトウェアを発展させれば、人間行動の把握の手助けを行うために、特徴化された行動を効果的に表示するための標準・入力行動の比較表示機能が可能になると考えられる。この機能の探索は本プロジェクトの次ステップの課題として、人間行動の新たなセンサの開発や人間行動データベース（個人行動コンテンツ）の構築とともに重要である。

9. 参加企業及び機関

佐藤 知正	東京大学情報理工学系研究科
森 武俊	東京大学情報学環
西田 佳史	産業技術総合研究所
クリストファアトケソン	カーネギーメロン大学計算機科学科
ヨーキーマツオカ	カーネギーメロン大学計算機科学科